

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

СЕМИДЕСЯТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов
17–21 апреля 2017 г.



УДК 001
ББК 72
С30

С30 Семидесятая международная студенческая научная конференция ГУАП: сб. докл.:
В 4 ч. Ч. 1. Технические науки / СПб.: ГУАП., 2017. 329 с.: ил.
ISBN 978-5-8088-1207-9 (Ч. 1)
ISBN 978-5-8088-1206-2

Представлены доклады Семидесятой международной студенческой научной конференции
ГУАП, прошедшей в апреле 2017 г.

Научные работы студентов ГУАП посвящены актуальным проблемам авиационного и аэро-
космического приборостроения, проблемам развития новых информационных технологий, радио-
техники, электроники и связи, современным проблемам экономики, философии и права.

Под общей редакцией
доктора юридических наук, профессора
В. М. Боера

Редакционная коллегия:

А. Р. Бестугин, доктор технических наук, доцент,
А. С. Будагов, доктор экономических наук, доцент,
А. Д. Жуков, канд. технических наук, доцент,
К. В. Лосев, доктор экономических наук, доцент,
И. А. Павлов, кандидат военных наук, доцент,
Е. Г. Семенова, доктор технических наук, профессор,
М. Б. Сергеев, доктор технических наук, профессор,
В. А. Фетисов, доктор технических наук, профессор,
Н. А. Чернова, кандидат экономических наук,
В. Ф. Шишляков, доктор технических наук, профессор

Ответственный секретарь редакционной коллегии *В. Н. Соколова*

ISBN 978-5-8088-1207-9 (Ч. 1)
ISBN 978-5-8088-1206-2

© Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения, 2017

УКД 656.02

А.В. Башкина

студент кафедры системного анализа и логистики

Н.Н. Майоров

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПЕРЕВОЗЧИКА

Центральное место среди многих логистических процедур принятия решений по транспортировке занимает процедура выбора перевозчика или нескольких перевозчиков. Часто эта процедура доверяется транспортно-экспедиционной фирме, с которой у грузовладельца имеются деловые отношения. При этом экспедитору задаются определенные характеристики груза, критерии и ограничения.

В тех случаях, когда логист самостоятельно решает проблему выбора перевозчика, он должен основываться на определенной схеме выбора. Если определен вид транспорта, то должен быть проведен анализ специфического рынка транспортных услуг, на котором действует, как правило, достаточно большое количество перевозчиков, имеющих разную организационно-правовую форму [1].

Методы выбора перевозчика

Известно несколько методов выбора перевозчика.

1. В методе, предложенном Feddin J.H. [2], при анализе затрат и результатов доставки груза оценка прибыли производится как стохастическая случайная переменная. Эта оценка используется для вероятностного утверждения относительно ожидаемых прибылей и позволяет выявить причины снижения прибылей, а также определить пути ее повышения.

2. Суть метода стоимостной оценки заключается в том, что выбор перевозчика предполагается обусловленным стремлением фирмы к оптимизации стоимости товара и определяется переменной прибылью. Таким образом, выбор определяется стремлением торговой фирмы максимально увеличить прибыль за счет оптимального сочетания параметров перевозки и товарного рынка [3].

3. В методе матриц решение задачи выбора перевозчика связывается с анализом конъюнктуры рынка (степени дефицитности и стоимости услуг, наличия альтернативных каналов приобретения, частоты предложения и т.п.). Для формализации процедур выбора перевозчиков по критерию минимума расходов применяется матрица, по строкам которой указываются объемы заказа и условия поставки (размер партии, частота, гарантированные периоды, транспортные средства и упаковка, оказываемые услуги и т.п.), по столбцам – производители одноименных услуг (перевозчики), а на пересечении строк и столбцов – стоимости услуг и тарифы. Определяя наименьшие затраты по столбцам, покупатель может выбирать потенциального перевозчика. Окончательный выбор производится с учетом характеристик уровня качества обслуживания, которые могут быть оценены по балльной системе. Недостатком данного метода является сложность формализации [4].

4. Выбор перевозчика в методе учета технологических параметров основан на связях между физическими параметрами груза (масса, объем, способность портиться, отношение его стоимости к весу) и системы перевозки (скорость, частота перевозок и т. п.), то есть выбор определяется технологическими параметрами. Отбор параметров осуществляется исходя из эмпирических соображений. Наибо-

лее часто используемыми параметрами являются: масса отправляемого груза, расстояние перевозки, стоимость за тонну, вид предмета торговли, годовой тоннаж перевозимого предмета торговли, тариф за перевозку, время перевозки, степень надежности. Многие из этих параметров относятся в большей степени к товару, чем к эффективности деятельности фирмы. Ни один из вышеперечисленных параметров, взятых по отдельности, не помогает вскрыть источник прибыли. Таким образом, концепция первичной связи выбора перевозчика с товаром как предмета перевозки является центральной.

5. Метод абстрактного перевозчика описывает перевозящего абстрактный товар в виде вектора параметров, которые перевозчик предлагает грузоотправителю. Метод основан на минимизации стоимости каждого параметра и на приравнивании маргинальной стоимости к маргинальной прибыли как условия равновесия. Ожидаемая годовая стоимость доставки данного количества товаров равняется сумме стоимостей перевозки и складирования. Абстрактный перевозчик определяется по трем характеризующим его параметрам: стоимости перевозки, стоимости перевозимого товара и времени перевозки. Стоимости оформления заказа, складских перевозок и перевозки полного количества товаров являются экзогенными параметрами. Модель метода расширена для того, чтобы она могла учитывать некоторые другие факторы, такие, как неопределенность спроса и времени доставки.

6. Еще существует метод элиминирования по параметрам. Вместо одновременного рассмотрения всех параметров перевозчика для его оценки, заказчик проводит поиск параметров последовательным образом, исходя из тех, которые считаются самыми значимыми по отношению к менее значимым. В качестве параметров, описывающих перевозчиков, рассматриваются время перевозки, надежность времени прибытия в пункт назначения, частота перевозки, тариф на перевозку, исключение поврежденной и потерь [5].

Обычно при выборе перевозчика часто используют специально разработанные ранговые системы показателей (табл. 1) [6].

Таблица 1

Ранговая система выбора перевозчика

Содержание критерия	Ранг
Надежность времени доставки	1
Затраты (тарифы) на транспортировку	2
Общее время доставки	3
Готовность (гибкость) перевозчика к изменению тарифов	4
Финансовая стабильность перевозчика	5
Наличие дополнительного оборудования по грузопереработке	6
Стабильность предоставления услуг	7
Наличие дополнительных услуг по комплектации и доставке груза	8
Потери и хищения груза (сохранность груза)	9
Экспедирование отправок	10
Квалификация персонала	11
Мониторинг отправок	12
Готовность перевозчика к изменению сервиса	13
Гибкость схем маршрутизации перевозок	14
Сервис на линии	15
Процедура заявки (заказ транспортировки)	16
Качество организации продаж транспортных услуг	17
Наличие специализированного оборудования	18

Схема выбора перевозчика с помощью ранжированных систем критериев заключается в прямом сравнении суммарного их рейтинга.

Алгоритм выбора представляет собой последовательность выполнения аналитических операций, направленных на выявление, оценку и собственно выбор перевозчика. В табл. 2 приведен пример использования алгоритма выбора перевозчика.

Процедура оценки перевозчика начинается с анализа рынка транспортных услуг и заключается в предварительном отборе нескольких перевозчиков, удовлетворяющих логистическим требованиям к транспортировке определенного вида груза.

Таблица 2

Рейтинговая оценка и выбора перевозчика

Критерии	Ранг/ вес	Перевозчики					
		Оценка	рейтинг	оценка	рейтинг	оценка	рейтинг
Надежность времени доставки	1/5,00	3	15,00	1	5,00	2	10,00
Тариф за перевозку	2/2,50	1	5,00	2	10,00	3	15,00
Финансовая стабильность перевозчика	5/1,00	1	5,00	3	15,00	2	10,00
Потери и хищения груза (сохранность груза)	9/0,55	3	14,85	2	9,90	2	9,90
Мониторинг отправок	12/0,42	2	10,08	2	10,08	1	5,04
Суммарные показатели		10	49,93	10	49,98	10	49,94

В табл. 2 предварительно отобраны три перевозчика, а в качестве критериев их оценки приняты: надежность времени доставки; тариф на перевозку; финансовая стабильность перевозчика; сохранность груза; отслеживание отправок.

Степень удовлетворения перевозчиков оценивается независимыми экспертами с помощью критериев по трехбалльной системе:

- 1 – «хорошо»;
- 2 – «удовлетворительно»;
- 3 – «плохо».

Вычисление рейтинга перевозчика по каждому фактору производится с учетом весовых коэффициентов, которые получаются путем деления общего количества факторов на соответствующий ранг. Учет ранга факторов весовым коэффициентом особенно важен в случаях равенства баллов, набранных перевозчиками с помощью критериев оценки.

Заключение

Эффективность перевозки грузов различными видами транспорта определяется путем сопоставления суммарных расходов предприятия на перевозку, содержание производственных запасов, размеры которых, в зависимости от применения того или иного вида транспорта, меняются в широких пределах. Многими специалистами в области транспортной логистики принято считать, что важным условием при выборе вариантов транспортного обслуживания является наличие соответствующей инфраструктуры.

Результаты анализа существующих систем доставки грузов от производителя или базы до места назначения показали, что при выборе вида транспорта первоочередное внимание уделяется следующим факторам:

- надежность соблюдения графика доставки;
- время доставки;
- стоимость перевозок.

Приведенные примеры и рекомендации приемлемы для условий доставки стандартных грузов транспортом общего пользования.

Библиографический список

1. *Мхитарян К.Р.* Логистика: учеб. пособие. Ростов-на-Дону: ЮРГИ, 2008. 98 с.
2. *Бажин И.И.* Логистика: компакт-учебник. Харьков: Консум, 2003. 277 с.
3. *Сироткин В.Б.* Управление стоимости компаний: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2001. 100 с.
4. *Уваров С.А.* Логистика: общая концепция, теория, практика. СПб.: «ИНВЕСТ-НП», 2004. 185 с.
5. *Кириченко А.В., Кузнецов А.Л., Ражев О.А., Фетисов В.А.* Введение в транспортную логистику: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2011. 228 с.
6. *Лукинский В.С., Лукинский В.В., Плетнева Н.Г.* Логистика и управление цепями поставок: учебник. 2016. 357 с.

УДК 629.735.33

А. Г. Бекасова

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

А. Э. Медина

научный руководитель

АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Актуальной темой научных исследований в сфере космических технологий в настоящее время является замена больших аппаратов группировками малых спутников, имеющих общее целевое назначение и выполняющих совместную задачу. Такого рода замена позволяет:

- 1) снизить расходы на выведение аппаратов на орбиту;
- 2) сделать аппараты приспособляющимися к выполняемым задачам;
- 3) увеличить срок существования оборудования на орбите (при выходе из строя одного из аппаратов вся группировка не теряет работоспособности) [1].

Однако наряду с этими преимуществами появляется новая задача – необходимость управления относительным положением малых спутников на орбите при различных формах группировки и внешних возмущениях [2, 3]. В рамках этой задачи необходимо измерять положение аппаратов друг относительно друга. Одним из способов её решения является измерение ориентации посредством оптических камер, установленных на борту МКА. Точность такого измерения напрямую зависит от характеристик камеры и программы, производящей обработку изображений.

Таким образом, необходима отработка алгоритма работы системы. Статья посвящена разработке испытательного стенда для определения относительного расположения и ориентации подвижных объектов посредством изображений, получаемых с камеры, и оценки точности такого метода.

Подобная система измерения может использоваться как в группировках МКА, так и на любых других подвижных объектах, расстояние и взаимную ориентацию которых необходимо определить.

Испытательный стенд представляет собой совокупность двух измерительных систем – системы технического зрения и системы измерения ориентации посредством датчиков, которые необходимы для контроля и определения точности информации, получаемой с камеры.

Принцип работы системы технического зрения поясняется рис. 1.

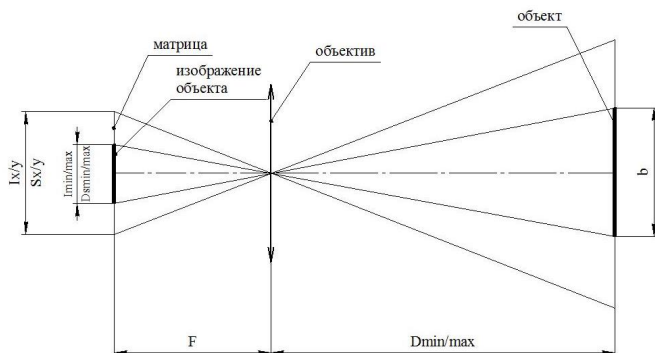


Рис. 1. Изображение, формируемое на матрице камеры

Он основан на обработке изображений объекта, получаемых с камеры. Чем меньше расстояние между объективом камеры и снимаемым объектом, тем, соответственно, большее изображение получается на матрице камеры. При известных истинных размерах объекта и характеристиках камеры, а также определив количество пикселей полученных изображений, по формуле (1) может быть вычислено расстояние от снимаемого объекта до камеры. При этом точность определения расстояния возрастает при его уменьшении и при увеличении истинного размера объекта. Это справедливо до тех пор, пока изображение объекта не выходит за пределы кадра.

В качестве «маркеров» для работы системы технического зрения предлагается использовать светодиоды, установленные на ребрах корпуса объекта, что позволяет улучшить различение очертаний аппарата камерой.

Формула, используемая для реализации алгоритма:

$$D_{\min/\max} = \frac{bF I_{x/y}}{D_{S_{\min/\max}} S_{x/y}} \quad (1)$$

где $D_{\min/\max}$ – минимальное и максимальное расстояние до объекта с учетом методической погрешности; b – размер предмета; F – фокусное расстояние камеры

$$I_{\min/\max} = \frac{D_{S_{\min/\max}} S_{x/y}}{I_{x/y}} \text{ – размер изображения (мм);}$$

$D_{S_{\min/\max}} = D_s \pm p$ – максимальное и минимальное количество пикселей в изображении с учетом погрешности; $I_{x/y}$ – разрешение изображения по горизонтали/вертикали; $S_{x/y}$ – размер сенсора по горизонтали/вертикали; $p=0.5$ – точность;

Испытательный стенд решено построить на основе универсальной аппаратно-вычислительной платформы Arduino. Контроллер Arduino выбран в связи с его простотой и удобством, что очень важно на этапе макетирования устройства.

Испытательный стенд состоит из двух частей: подвижной платформы с исследуемым объектом и датчиками, а также неподвижной части с камерой и ПК (рис. 2). Платформа имеет возможность вращения вокруг трех осей, моделируя таким образом положение спутника на орбите.

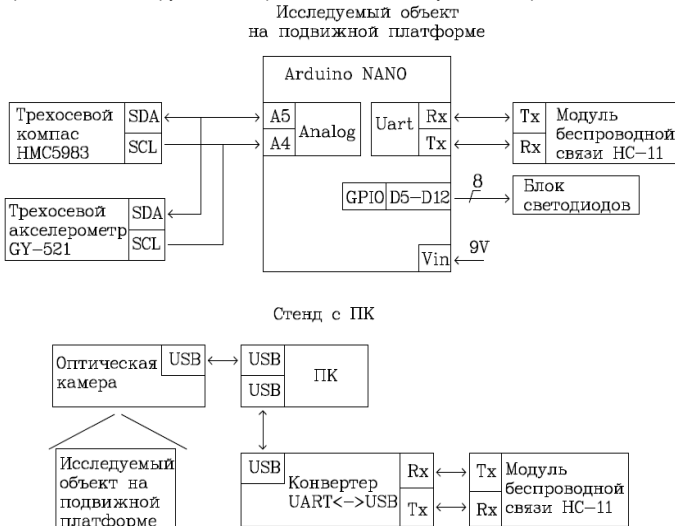


Рис. 2. Структурная схема испытательного стенда

Система датчиков представлена совокупностью акселерометра для измерения углов крена и тангажа и магнитометра для измерения угла рыскания (курса). Датчики расположены на подвижном объекте, получаемые ими сигналы посредством модуля беспроводной связи для обработки через конвертер USB-UART передаются на ПК.

Для программирования устройств, построенных на базе платы Arduino, используется среда разработки Arduino.

Программа состоит из следующих основных этапов.

- По информационному каналу датчиков:
 - считывание показаний с акселерометра и датчика магнитного поля;
 - расчет углов тангажа, крена и курса;
 - беспроводная передача по UART интерфейсу;
 - конвертирование сигналов для связи с ПК посредством конвертера UART-USB.
- По каналу технического зрения:
 - получение изображения с камеры;
 - обработка изображения;
 - расчет углов ориентации и расстояния.

Далее производится объединение данных, полученных по двум каналам, сравнение результатов и оценка точности.

Разрабатываемый испытательный стенд позволяет отработать принцип работы и алгоритм измерения расстояний системой технического зрения на начальном этапе проектирования, а также оценить его точность посредством сравнения полученной информации о положении объекта с измерениями датчиков ускорений и магнитного поля.

Библиографический список

1. Кушнирук М.С., Иванов Д. С. Исследование алгоритмов управления движением группы спутников с помощью аэродинамической силы сопротивления // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2015. № 28. 30 с.
2. Nebylov A. Sukrit S. Medina A. Relative Motion Control of Picosatellites Constellation in Independent Orbits. 20th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace – ACA 2016, August 21-25, 2016. Sherbrooke, Quebec, Canada.
3. Nebylov A. Medina A. Relative Motion Control of Nano-Satellites Constellation. IFAC Workshop on Advanced Control and Navigation for Autonomous Aerospace Vehicles, 2015. p. 245-250, Seville, Spain.

УДК 629.735.33

Е.А. Белкина

кафедра эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

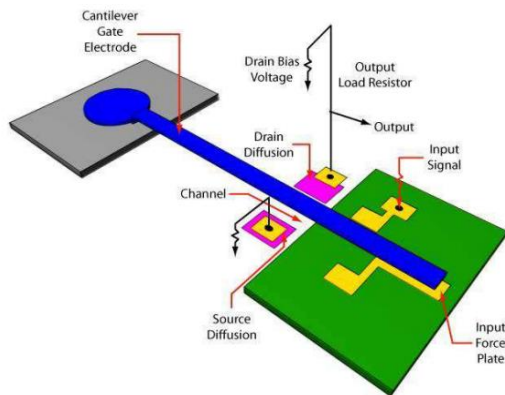
Н.А. Овчинникова

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – это множество микроустройств самых разнообразных конструкций и назначения, производимых сходными методами с использованием модифицированных групповых технологических приемов микроэлектроники. Объединяет их два признака. Первый – это размер, второй – наличие движущихся частей и предназначение к механическим действиям. В мире они известны под аббревиатурой MEMS – MicroElectroMechanicalSystems. Такие системы получаются путем комбинирования механических элементов, датчиков и электроники на общем кремниевом основании посредством технологий микропроизводства. Все элементы могут быть реализованы в виде единого изделия, причем сразу десятками или сотнями, как микросхемы на кремниевой пластине. В основе этого лежит апробированная традиционная технология производства полупроводниковых интегральных микросхем.

Типичные размеры микроэлектромеханических элементов лежат в диапазоне от 1–100 мкм, тогда как размеры кристалла MEMS микросхемы имеют размеры от 20 микрометров до одного миллиметра.



В 1964 году компания Вестингауз под руководством Харви Натансона выпустила первую серийную MEMS. Это устройство объединяло в себе механические и электронные компоненты и называлось резонантным затворным транзистором (РЗТ, рисунок). Его длина составляла около миллиметра. Также он был чувствителен к широкому диапазону входного электрического сигнала. Он работал как частотный фильтр, т.е. пропускал сигналы определенного диапазона [5].

1. Изготовление МЭМС

Микросистемная технология непригодна для производства опытных образцов. Если схема производства для массового производства по групповой технологии нарушается, то это влечёт за собой дополнительные расходы, поэтому производство опытного образца следует избегать настолько, насколько это возможно. Кроме высокой стоимости производства опытного образца для выполнения производственного цикла требуется очень большое количество времени. В зависимости от сложности цикл занимает несколько дней, недель или даже полгода. За то же самое время огромное количество вариантов конструкции может быть проверено при помощи моделирования [4].

В отличие от традиционных систем, возможность ремонта микросистем и особенно интегральных схем очень ограничена. Таким образом, главная цель при разработке состоит в том, чтобы получить полностью функционирующую систему в первой же реализации. Хотя типичная интенсивность отказов

относительно высока (около 10%), контролируемость системы также является важной задачей при проектировании.

На сегодняшний день микросистемы состоят из отдельных компонентов, таких как сенсоры и актюаторы, которые интегрированы и упакованы вместе с управляющей и вычислительной электроникой. МЭМС отличаются разнообразием применений. Для проектирования, таким образом, возникает вопрос, в какой степени отдельные этапы проектирования могут быть стандартизированы и автоматизированы. Не все шаги могут быть автоматизированы одинаково. В особенности концептуальное проектирование и разработка принципов действия, которые основаны на творческой способности разработчика и, следовательно, не могут быть стандартизированы [2].

2. Материалы для МЭМС

При создании микросистем выделяют две группы материалов:

1. Конструкционные (стекло, монокристаллический, поликристаллический, пористый кремний, диоксид и нитрид кремния, полиимид, вольфрам, никель, медь, золото, алмазо-подобный углерод), используемые для формирования:

- несущих конструкций;
- токоразводки;
- смазки.

2. «Активные умные» (никель/титан, пермаллой, кварц, окись цинка, пьезокерамика, материалы группы АЗ В5, А4 В6), выполняющие за счет электростатических, электромеханических, пьезоэлектрических, магнитных, оптических явлений и эффекта памяти формы функции:

- источников движения;
- механизмов передачи движения;
- сенсорных и активирующих сред.

Мировой опыт изготовления MEMS основан на широком использовании кремния – дешевого и доступного материала. Однако технологий кремниевой микромеханики и обработки информации на кремнии (КМОП-схемы) недостаточно для успешного развития МЭМС. Поэтому большое значение имеют системы, в которых наряду с кремнием и другими полупроводниковыми материалами используются полимеры, керамика, металлы [3].

3. Технологии производства МЭМС

Для изготовления микросистем главным образом используется групповая технология. При использовании подобной технологии одновременно обрабатывается большое количество элементов, при чём ручное вмешательство либо вообще не требуется, либо оно незначительно.

Так как микросистемы имеют крошечные размеры, издержки на материалы малы, а это означает, что производственные затраты низкие, несмотря на то, что накладываются особые требования на необходимую чистоту материалов. Стоимость заводов по производству высока. Производственное оборудование требует очень высокой точности (чистое помещение, покрытие...). Кроме того, высоких издержек требуют обслуживание и контроль (например, управление производственным процессом, контроль над нанесением покрытия).

В настоящее время существует несколько базовых технологий производства МЭМС, составной частью которых, в том числе, являются микроактюаторы.

3.1. Кремниевая объёмная микрообработка. Под кремниевой объёмной микрообработкой понимают технологию глубинного объёмного травления, причём травление может быть как жидкое химическое анизотропное, так и плазменное.

3.1.1. Сухое травление.

3.1.2. Жидкое химическое анизотропное травление. В этом процессе используется то, что разные кристаллографические направления кристалла травятся с разной скоростью (остаётся поверхность с ориентацией 111).

3.2. Кремниевая поверхностная микрообработка. Главной особенностью этой технологии является то, что она совместима с полупроводниковой технологией, для микрообработки используется КМОП-технология.

3.3. LIGA-технология. Аббревиатура означает: рентгенолитография, гальваника и формовка.

3.4. SIGA-технология. Аббревиатура означает: ультрафиолетовая литография, гальваника и формовка.

3.5. Технология корпускулярно-лучевого формообразования

3.6. Волоконная технология. Изделия из стекла с малым поперечным сечением в виде определенной микроструктуры и технология их изготовления известны достаточно давно (микрочанальные пластины, рентгеношаблоны из стекловолкна, устройства волоконной оптики). Суть стекловолоконной технологии заключается в спекании пучка стеклянных волокон (полых или сплошных), различающихся избирательностью к травлению по отношению к растворителю, вытягивании этого пучка до требуемого поперечного размера, разрезании вытянутой части пучка на куски и вытравливании затем из куска растворимых волокон. Укладка волокон в пучок осуществляется таким образом, что нерастворимые волокна образуют в сечении пучка структуру (топологию) изготавливаемой микроструктуры в некотором масштабе [1].

4. Применение МЭМС

4.1. Сенсоры. По сложности своей сенсоры – самые простые микромашины, зачастую представляющие собой просто тонкие металлические или «силиконовые» мембраны, небольшие чувствительные волоски или намагниченные запиратели. По этой причине, они первыми из всех MEMS систем перекочевали из-под бинокляров экспериментальных лабораторий на поточные промышленные конвейеры фабрик и заводов. Их активно используют в датчиках движения, вибрации, высоты и глубины, давления, магнитодатчиках современных подрывных устройств, минах, торпедах, в детонаторах и т.д.

4.2. Актюаторы.

4.2.1. Термические приводы.

4.2.2. Электромагнитные моторы.

4.2.3. Генераторы. Созданный лабораторией BellLabs миниатюрный электромагнитный вибратор имеет поистине пылеподобные размеры: его длина равна толщине человеческого волоса, а ширина – вдвое меньше. Осциллятор под действием внешнего электромагнитного поля может генерировать колебания с частотой 50 кГц. Компания LucentTechnologies, владелец BellLabs, планирует применять такого рода вибраторы в MEMS переключающих устройствах –оптических коммутаторах телекоммуникационных сетей нового поколения.

4.2.4. Зеркала. Миниатюрное гексагональное зеркальце, состоящее из 127 более мелких подвижных зеркальц, интегрировано на управляющую плату. Такой вариант MEMS-зеркал был разработан авиационным институтом – AirForceInstituteofTechnology (AFIT) для военных нужд.

4.2.5. Конверторы.

5. Вывод

MEMS-технологии могут стать уникальным, простым решением для многих прежде сложных системных задач мониторинга и управления – и это объясняется не только их вышеперечисленными преимуществами, включая простоту интегрирования миниатюрного интегрального компонента в клиентскую систему. Сегодня клиенту предлагается возможность создания собственных, уникальных комплексных решений, что стало возможным как благодаря развитию технологий производства и тестирования, так и доступности оборудования для локального создания MEMS – устройств и решений на их основе в рамках собственной технологической линии заказчика [6].

Библиографический список

1. *Досовицкий Г. А.* Микроэлектромеханические системы. http://www.nanometer.ru/2010/09/30/mems_218368.html
2. *Яшин К.Д., Осипович В.С., Божко Т.Г.* Разработка МЭМС // Нано- и микросистемная техника. 2008. №1. С. 28-34.
3. *Акульшин Ю.Д.* и др. Микросистемная техника//Введение в МЭМС.
4. *Дрожжин А.* MEMS: микроэлектромеханические системы. http://mobilenews.3dn.ru/news/mems_mikroehlektromekhanicheskie_sistemy_chast_2/2010-10-25-353.
5. *Саленко Д.С.* Автоматика и программная инженерия. 2013. №3(5). 74 с.
6. *Распопов В. Я.* Микромеханические приборы. 2007. 400с.

УДК 629.7.072

А.В. Бируля

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Я. Мамаев

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

УПРАВЛЕНИЕ ОБУЧЕНИЕМ ПИЛОТОВ НА ОСНОВЕ АВТОМАТНОГО ПОДХОДА

Традиционное обучение характеризуется тем, что учитель излагает информацию в обработанном, готовом виде; ученики воспринимают и воспроизводят ее. Существенными недостаткам традиционного обучения являются: учебно-познавательный процесс в большей степени носит репродуктивный (воспроизводящий) характер, вследствие чего у учащихся формируется репродуктивный стиль познавательной деятельности; в большей степени ориентированность на память, а не на мышление; это обучение также мало способствует развитию творческих способностей, самостоятельности, активности; объем сообщаемой информации превышает возможности ее усвоения; отсутствует возможность приспособить темп обучения к различным индивидуально-психологическим особенностям учащихся; контролируется только наличие знаний и умений, а насколько глубоко учащийся понимает материал, каким образом он усвоил материал (зазубрил, списал) – почти не контролируется.

Проблема низкой эффективности традиционного обучения привела к появлению и развитию автоматизированного обучения, где процессом управляет не преподаватель, а автоматизированная обучающая система (АОС). Первоначально данные системы работали только по жестко раз и навсегда заданному алгоритму. Позже стали разрабатываться методики и АОС, их реализующие, которые используют механизм адаптации, индивидуализирующие обучение (интеллектуальные обучающие системы). В основе методик и систем часто лежит использование различных методов искусственного интеллекта. Данные системы позволяют несколько повысить эффективность обучения по сравнению с традиционной формой. Однако существующие подходы обладают рядом недостатков, которые не позволяют значительно повысить эффективность обучения, а в ряде случаев, когда нельзя использовать такой элемент проверки как тестирование, эффективность управления снижается до уровня традиционного обучения. Поэтому в настоящий момент проблема низкой эффективности обучения остается по-прежнему острой, а ее решение – актуальной задачей [1].

Подготовка оператора-навигатора («О-Н») воздушного судна (ВС) – это трудоёмкий и дорогостоящий процесс. Она подразделяется на курс теоретического обучения и этапы практической подготовки – тренажёрной и лётной, на учебном ЛА. Как отмечает А.А. Красовский, между тренажёрной и лётной практической подготовками летчика и традиционной теоретической их подготовкой наблюдается разрыв. Компьютеризация теоретического обучения и внедрение автоматизированных обучающих систем (АОС) предназначены для ликвидации этого разрыва [2].

От деятельности «О-Н» зависит успешность выполнения полётного задания и человеческие жизни. Учитывая тот факт, что оператор функционирует в экстремальных условиях, качество его подготовки должно быть высоким. Специфика работы «О-Н» – это решение им штурманских задач. Следовательно, что при итоговом контроле и оценке знаний, умений и в управлении обучением должны использоваться задачи, решаемые штурманом в полете (тесты открытого типа), а при входном и текущем контроле и оценивании знаний могут использоваться и тестовые задания закрытого типа.

Одним из важнейших условий создания эффективной АОС является обеспечение необходимого уровня обратной связи с обучаемым. Средства интерактивности позволяют решить четыре задачи, обязательные для любой системы обучения:

- 1) получить информацию об исходном уровне подготовки обучаемого;
- 2) обеспечить возможность выбора им индивидуального маршрута прохождения учебного курса;

3) предоставить ему возможность повторного выполнения правильных действий и/или отказа от ошибочных;

4) оценить достигнутый уровень подготовки.

Необходимо решить не только задачу оценивания знаний, но и задачу управления обучением.

Поскольку будущий «О-Н» по окончании изучения теоретического материала приступает к подготовке к полетам на авиационном тренажёре (АТ), где от него потребуются умения и навыки в решении практических навигационных задач, при создании АОС теоретический курс должен быть подкреплён примерами, приближёнными к конкретным навигационным задачам на борту ВС.

Практика использования адаптивных компьютерных систем в подготовке персонала охватила почти все сферы человеческой деятельности. Компьютеризированный тестовый контроль привлекает внимание педагогов в различных сферах, в том числе инструкторов в авиации, в качестве универсальной формы контроля знаний обучаемых, так как эта процедура тем самым позволит избавить их от «рутинной работы», такой как проверка тестов.

В магистерской диссертации предлагается использование автоматов для перехода между главами и разделами адаптивной обучающей системы (АдОС). Разрабатываемая АдОС состоит из теоретического материала, разбитого на разделы, после изучения которых производится тестирование, и в зависимости от результата теста по изученному разделу происходит переход к следующему разделу, по определенной траектории обучения, либо изучение раздела заново. Также предусмотрено входное тестирование. Переход между разделами осуществляется при помощи автоматного подхода.

В рамках автоматного программирования предполагается, что написание программы начинается только после ее проектирования (построения графов) и реализация функций входных и выходных воздействий при излагаемом подходе почти не содержит логики. Поэтому программы либо сразу работают, либо требуют минимальной отладки [3]. При необходимости проведения отладки для автоматных программ могут генерироваться отладочные протоколы, которые отражают поведение программ в терминах автоматов (состояний, переходов, значений входных и выходных воздействий), так как в автоматном программировании автоматы являются частью программ, представленных в визуальной форме, а не в текстовой, нетрадиционной для программистов. При использовании автоматного программирования остаются диаграммы, понятные человеку, по которым программа была построена формально, а при традиционном программировании – только программа.

Для того чтобы начать обучение, пользователю нужно запустить файл-приложение, далее выбрать курс. После чего происходит загрузка учебного модуля курса, выбор модуля. Если модуль выбран – идёт формирование контента, далее изучение материалов и промежуточный контроль. Если это был первый вход в АдОС, то выбирается первый модуль, перед изучением которого необходимо пройти первоначальное тестирование (входной контроль) [4]. Если промежуточный контроль успешно пройден, то осуществляется переход на следующий модуль курса. А если прохождение промежуточного контроля неуспешно, тогда происходит переход на начало текущего модуля. После многократного неуспешного прохождения промежуточного контроля по одному модулю, осуществляется переход на предыдущие модули курса. Когда количество повторов становится больше порогового значения, происходит вмешательство преподавателя. После изучения последнего модуля и успешного прохождения промежуточного контроля, осуществляется итоговый контроль при успешном завершении которого преподаватель фиксирует результат.

Преподаватель может направить обучаемого на любой модуль, то есть в любое предыдущее состояние автомата, также может его обнулить, завершить обучение данного модуля или всего курса.

В заключении нужно отметить, что данная адаптивная обучающая система лучше аналогов, тем, что обучаемый, изучая теоретический материал, двигается по своей, определённой, траектории обучения, решая задания закрытой формы, такие как тестовые вопросы с вариантами ответов, где необходимо только выбрать правильный, так и решая задания открытой формы, такие как сложные задачи которые необходимо решать на борту ЛА. Также считаю, что данную систему можно использовать для обучения студентов, изменяя теоретический материал и содержание тестов под необходимую учебную дисциплину.

Библиографический список

1. *Латыпова В.А.* Управление процессом обучения на основе процессного подхода при автоматизированной проверке сложных открытых задач / Интернет-журнал Науковедение. Т. 7. №6 (ноябрь – декабрь 2015).
2. *Красовский А.А.* Основы теории авиационных тренажеров. – М.: Машиностроение, 1995, 304 с.
3. *Шальто А.А.* Автоматное программирование / ИТМО, СПб.
4. *Кравченко Ю.А., Тимашков Д.И.* Моделирование адаптивных информационных систем на основе ретроспективных данных / Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2013. – № 1 (12).

УДК 629.7.052

А. В. Бландинова

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОТКАЗЕ ОДНОГО ИЗ КАНАЛОВ АЗИМУТАЛЬНО-ДАЛЬНОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Одними из главных задач систем радиотехнического обеспечения полетов авиации являются задачи обеспечения навигации и посадки летательных аппаратов в сложных метеоусловиях и ночью. Получившие широкое распространение радиосредства ближней навигации, такие как международная дальномерная радиотехническая система DME, обеспечивают решение только части задачи, т.е. определение местоположения летательного аппарата (ЛА) относительно стационарных наземных приемопередатчиков (радиомаяков), координаты которых заранее известны на борту ЛА [1].

Иногда возникает ситуация, когда необходимо восстановить навигационную информацию при отсутствии полноформатной информации об азимуте и дальности относительно точки расположения навигационных средств на поверхности Земли. Такая ситуация возникает при отказе одного из каналов РСБН (радиотехническая система ближней навигации) или при использовании упрощенных наземных навигационных средств на временных площадках и использовании малой авиации с минимальным набором бортовых средств навигации. Парк таких самолетов в России достаточно большей, часто они используются в плохих погодных условиях, в малонаселенной местности. Безопасность полетов в таких условиях в значительной степени зависит от надежности определения местоположения самолета относительно цели.

Для определения местоположения ЛА при отказе одного из каналов РСБН необходимо составить математическую модель.

За основу были взяты уравнения движения ЦМ ЛА в полярных координатах [9], которые имеют следующий вид:

$$\frac{dd}{dt} = V \cos(A - \Psi); \frac{dA}{dt} = -\frac{V}{d} \sin(A - \Psi), \tag{1}$$

где d – дальность, A – азимут, V – скорость ЛА, Ψ – курс.

Уравнения движения(1) в векторной форме с учетом измерений дальности и/или азимута могут быть записаны следующим образом:

$$\dot{x}(t) = f[x(t), t] + B[x(t), t]w(t); y(t) = h[x(t), t] + v(t), \tag{2}$$

где вектор состояния $x(t) = [dA]^T$; $w(t)$ и $v(t)$ – вектор возмущений, действующих на ЛА в полете и вектор ошибок измерений. Эти случайные процессы для быстролетящего ЛА являются широкополосными и обычно моделируются белыми шумами со следующими статистическими характеристиками:

$$M[w(t)] = 0, M[w(t+\tau)w^T(t)] = Q(t) \delta(\tau), M[v(t)] = 0, M[v(t+\tau)v^T(t)] = R(t) \delta(\tau).$$

Поскольку возмущения, действующие на ЛА, и ошибки измерений не зависят друг от друга, то можно записать

$$M[w(t)v^T(t)] = 0;$$

В этом случае уравнение обобщенного фильтра Калмана примет вид

$$\hat{x}(t) = f(\hat{x}, t) + K(t)[y - h(\hat{x}, t)], \tag{3}$$

где матрица коэффициентов передачи

$$K(t) = P(t) \left(\frac{\partial h}{\partial \hat{x}} \right)^T R^{-1},$$

а матрица ковариаций ошибок оценок вектора состояния удовлетворяет уравнению Риккати:

$$\dot{P}(t) = \frac{\partial f}{\partial \hat{x}} P + P \left(\frac{\partial f}{\partial \hat{x}} \right)^T - P \left(\frac{\partial h}{\partial \hat{x}} \right)^T \cdot R^{-1} \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial \hat{x}} \right) P + B(x) Q B(x)^T, P(0) = P_0. \quad (4)$$

Здесь

$$f(x) = \begin{bmatrix} V \cos(A - \Psi) \\ -\frac{V}{d} \sin(A - \Psi) \end{bmatrix}; B(x) = \begin{bmatrix} -\cos(A - \Psi) \\ -\frac{1}{d} \sin(A - \Psi) \end{bmatrix}; w(t) = \Delta V. \quad (5)$$

Матрица частных производных для уравнения (4) примет вид

$$\frac{\partial f}{\partial \hat{x}} = \begin{bmatrix} 0 & -V \sin(\hat{A} - \Psi) \\ \frac{V}{d^2} \sin(\hat{A} - \Psi) & -\frac{V}{d} \cos(\hat{A} - \Psi) \end{bmatrix} \quad (6)$$

При измерении только дальности $y=d$, а значит $h(x) = d$ и $\left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$.

Уравнение обобщенного фильтра Калмана (3) для данной задачи будет выглядеть следующим образом:

$$\dot{\hat{x}}(t) = f(\hat{x}, t) + P(t) \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{r} \cdot [y - h(\hat{d})] \quad (7)$$

или в скалярной форме

$$\dot{\hat{d}} = V \cos(\hat{A} - \Psi) + \frac{P_{11}(t)}{r} (d_{изм} - \hat{d}), \quad (8)$$

$$\dot{\hat{A}} = -\frac{V}{d} \sin(\hat{A} - \Psi) + \frac{P_{12}(t)}{r} (d_{изм} - \hat{d}). \quad (9)$$

где коэффициенты передачи фильтра определяются в процессе численного интегрирования уравнений (4), которые после тождественных преобразований принимают вид:

$$\dot{P}_{11} = -2V \sin(\hat{A} - \Psi) P_{12} - \frac{P_{11}^2}{r} + \cos^2(\hat{A} - \Psi); \quad (10)$$

$$\dot{P}_{12} = -V \sin(\hat{A} - \Psi) P_{22} + \frac{V}{d^2} \sin(\hat{A} - \Psi) P_{11} - \frac{V}{d} \cos(\hat{A} - \Psi) P_{12} - \frac{P_{12} P_{11}}{r} - \frac{1}{d} \sin(\hat{A} - \Psi) \cos(\hat{A} - \Psi); \quad (11)$$

$$\dot{P}_{22} = \left(\frac{V}{d^2} \sin(\hat{A} - \Psi) P_{12} - \frac{V}{d} \cos(\hat{A} - \Psi) P_{22} \right) 2 - \frac{P_{12}^2}{r} + \frac{1}{d^2} \sin^2(\hat{A} - \Psi). \quad (12)$$

В случае измерения только дальности $y=A$, а значит $h(x) = A$ и

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial A}{\partial [d \ A]} = \begin{bmatrix} \frac{\partial A}{\partial d} & \frac{\partial A}{\partial A} \end{bmatrix} = [0 \ 1] \text{ и } \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

В этом случае уравнения обобщенного фильтра Калмана (3) примут вид

$$\dot{\hat{d}} = V \cos(\hat{A} - \Psi) + \frac{P_{12}}{r} (A_{изм} - \hat{A}); \quad (13)$$

$$\dot{\hat{A}} = -\frac{V}{d} \sin(\hat{A} - \Psi) + \frac{P_{22}}{r} (A_{изм} - \hat{A}). \quad (14)$$

Для моделирования работы алгоритма оптимального оценивания координат самолета необходимо совместно решать систему уравнений описывающих движение ЦМ самолета, и систему уравне-

ний, состоящую из уравнений для расчета элементов матрицы ковариаций и уравнений ФКБ для оценивания координат самолета. Для решения данной задачи была построена схема в программном пакете Matlab-simulink.

В ходе исследования было выявлено, что на точность определение местоположения ЛА влияет угол на котором расположена траектория полета от маяка. Наилучшей траекторией для полета была выбрана траектория с произвольными параметрами (рис. 1, 2), когда ЛА маневрирует.

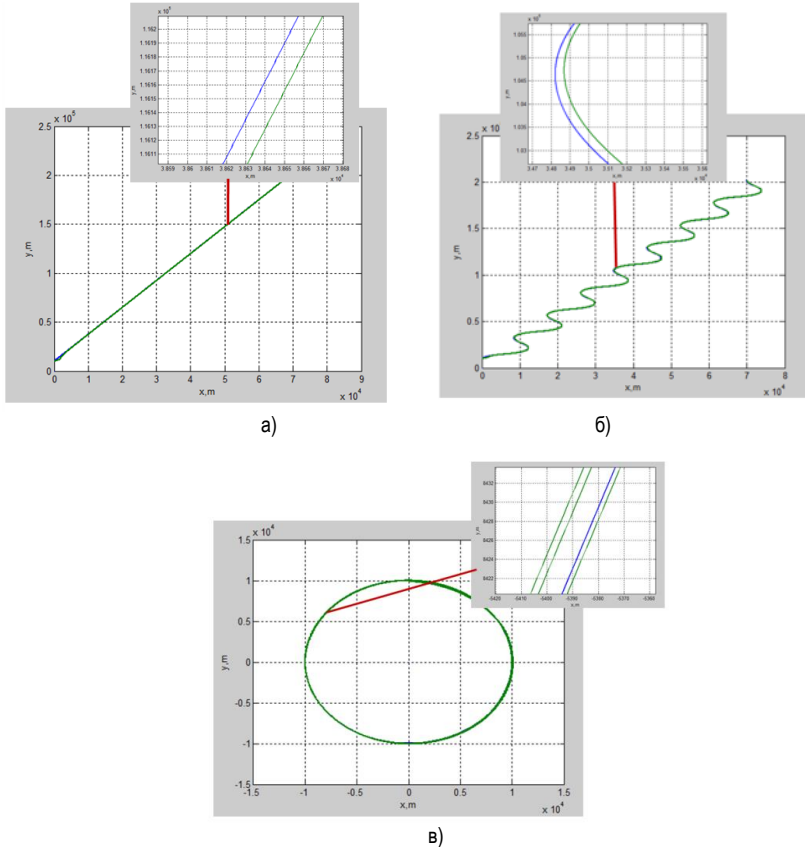


Рис. 1. Графики определения местоположения ЛА при полете по: а – прямой линии, б – произвольной траектории и в – окружности в случае измерения только дальности

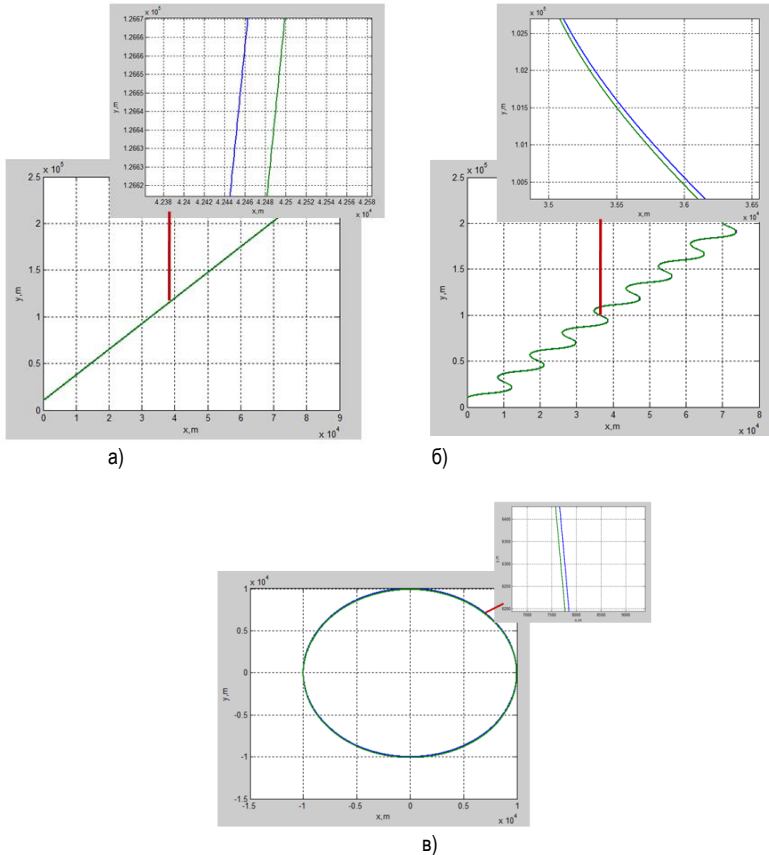


Рис. 2. Графики определения местоположения ЛА при полете по: а – прямой линии, б – произвольной траектории и в – окружности в случае измерения только азимут.

Полет по прямой траектории дает наихудшие результаты, поэтому пилотам не рекомендуется лететь по данной траектории. Также при полете строго на маяк и от него, а также при зависании вертолета определение координат невозможно.

Библиографический список

1. Federal Aviation Administration (FAA) (Creator). VOR, VOR/DME, and VORTAC Siting Criteria Paperback. 2012.
2. Ефимов В.В. Основы авиации. Ч. I. Основы аэродинамики и динамики полета летательных аппаратов. М., 2003.
3. Фам Туан Кыюнг. Исследование полной наблюдаемости одной нелинейной системы. Вестник Ижевского государственного технического университета. Ижевск, № 3. 2011.

УДК 629.7.067

П.О. Борисов

магистр кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Г. Никитин

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАНЕВРИРОВАНИЯ КВАДРОКОПТЕРА

При осуществлении полета беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) типа квадрокоптер в воздушном пространстве с наличием высотных сооружений, избегание столкновений с объектами порой затруднительно или вовсе невозможно в силу ограниченности угла обзора камеры, используемой для передачи видеоизображения с борта в режиме настоящего времени. Разработка системы ухода от столкновений с неподвижными объектами позволит осуществлять полет в воздушных территориях с большим количеством сооружений в виде препятствий.

В статье рассматривается алгоритм, позволяющий при критическом приближении БПЛА к объекту выключить оператора из контура управления, избежать столкновения, после чего управление снова передается оператору. Выключение из контура управления оператора во время маневра позволяет исключить человеческий фактор и свести к минимуму вероятность неуспешного маневра.

Работа алгоритма основывается на векторной математической модели. Дальность действия измерителя расстояния делится на составляющие отрезки, длина которых (V_1 и V_2) зависит от скорости полета аппарата. На рис. 1 схематично изображено данное разбиение на отрезки [1].

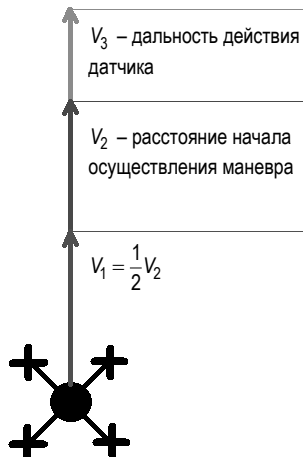


Рис. 1. Разбиение дальности действия датчика на составляющие отрезки

Для корректного маневра в необходимую сторону алгоритм должен учитывать, с какой стороны квадрокоптер приближается к объекту [2]. В связи с этим, необходимо использовать три датчика расстояния: один – направленный вдоль продольной оси летательного аппарата (ЛА) и два других с неко-

торым углом отклонения от первого (размещаются с разных сторон от датчика, направленного вдоль продольной оси). Три датчика определения расстояния до объекта имеют диаграмму распространения сигнала, направленную в сторону движения ЛА. На рис. 2 представлено осуществление маневрирования.

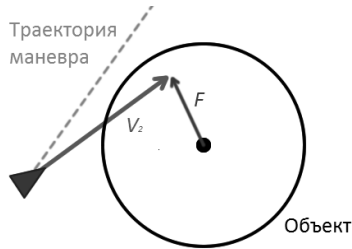


Рис. 2. Выработка траектории маневра

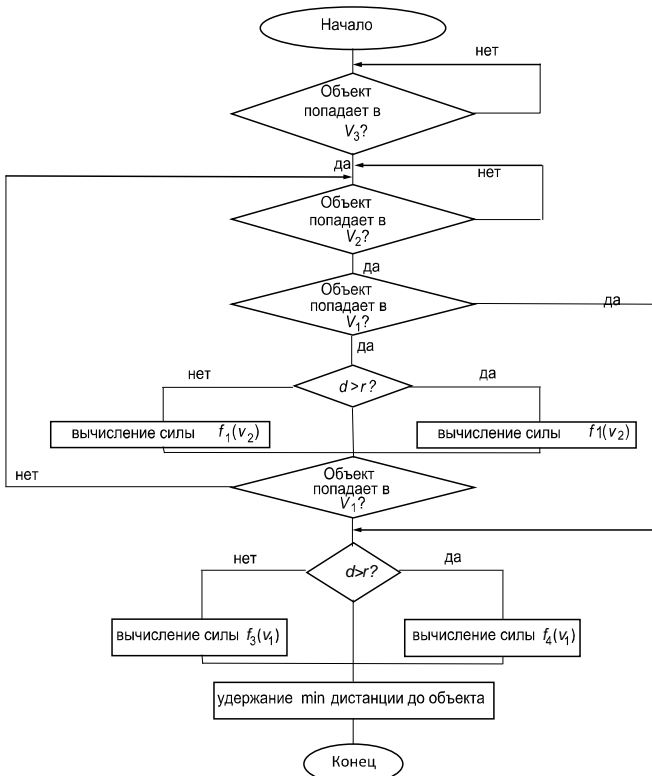


Рис. 3. Алгоритм управления маневрированием.

На рис. 2 помимо ранее описанного отрезка V_2 изображен вектор F [3]. Данный вектор направлен перпендикулярно к краю отрезка V_2 он необходим для расчета управляющих воздействий системы

избегания столкновений на регулируемый параметр (частоту вращения двигателей), то есть, от длин векторов V_2 и F зависит то, насколько резким будет маневр и в какую сторону он будет осуществляться.

Разрабатываемый алгоритм состоит из следующих этапов работы:

1. обнаружение препятствия;
2. отключение ручного управления из контура управления;
3. определение пути преодоления препятствия (по часовой/против);
4. снижение скорости и выработка управляющих сигналов;
5. облет препятствия;
6. возврат управления оператору.

На рис. 3 представлен разработанный алгоритм. Представленный алгоритм работает следующим образом: сначала определяется, в какой из отрезков (см. рис. 1) попадает объект, после чего определяется, с какой стороны данный объект находится. При определении вышеуказанных параметров, системой вырабатывается такое управляющее воздействие, при котором ЛА избежит столкновения с неподвижным объектом, не приближаясь критически близко к объекту (при маневре расстояние от аппарата до объекта не должно быть меньше минимального).

На основе разработанного алгоритма была написана компьютерная программа, моделирующая процесс работы алгоритма маневрирования. Результат работы данной программы изображен на рис. 4.

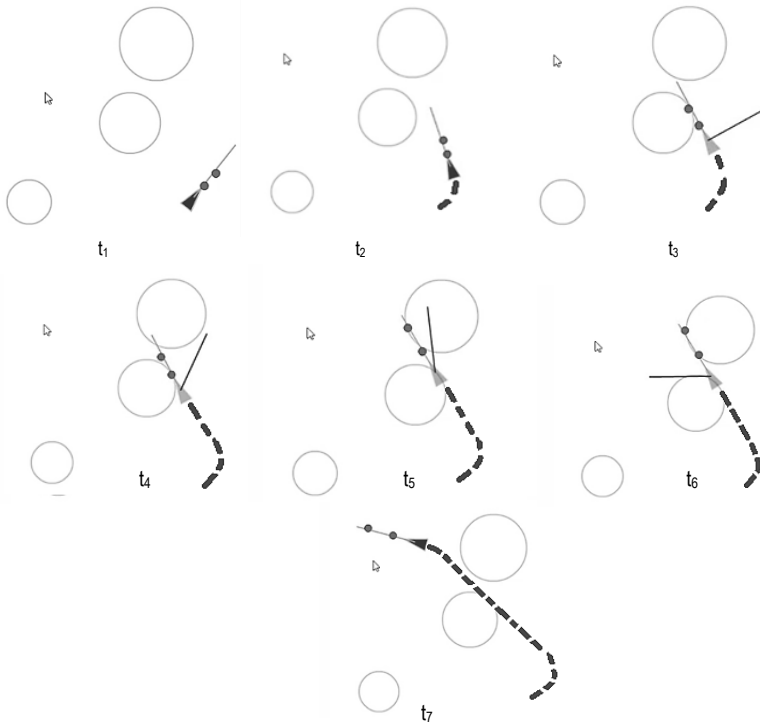


Рис. 4. Результат работы программы маневрирования

На рис. 4 изображен результат моделирования работы алгоритма маневрирования в моменты времени t . Целью работы данной программы было достижение конечного пункта, определяемого оператором. Полет БП ЛА начинается с момента времени t_1 . Начиная с момента времени t_3 , алгоритм вырабатывает управляющее воздействие для осуществления маневра (управление ЛА переходит от оператора к алгоритму). В момент времени t_7 ЛА достигает заданной точки маршрута. Как видно из представленного рисунка, алгоритм с задачей маневрирования справился. Пунктирной линией отображена траектория передвижения ЛА при перемещении к конечной точке.

По итогам работы программы, основанной на разработанном алгоритме, ясно, что данный алгоритм позволяет, маневрируя между объектами, избежать столкновений вне зависимости от их количества и удаленности друг от друга.

Библиографический список

1. *Prathamesh Salaskar, Saeed Paranjpe, Jagdish Reddy, Arish Shah* Quadcopter – Obstacle Detection and Collision Avoidance// International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 17 Number 2 – Nov 2014.
2. *Joseph Wagster, Matthew Rose, Hovig Yeralian* Obstacle Avoidance System for a Quadrotor UAV// California State Polytechnic University, Pomona, CA 91768.
3. *Marcelo Becker, Rafael Coronel B. Sampaio, Samir Bouabdallah, Vincent de Perrot, Roland Siegwart* In flight collision avoidance for a MiniUAV robot based on onboard sensors// CAPES (Grant # 0269-05-0)

УДК 004.451.44

В. В. Виноградов, И. Р. Федоров, Д. М. Шакуров, Е. Р. Иванова

студенты кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

С. В. Осмоловский

научный руководитель

АНАЛИЗ ВЫПОЛНИМОСТИ ЗАДАЧ В СОВМЕСТНЫХ МНОГОЯДЕРНЫХ АЛГОРИТМАХ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Введение

За два последних десятилетия произошло стремительное расширение областей применения *систем реального времени* (СРВ, real-time systems). Теперь СРВ используют в качестве систем управления и встраиваемых систем (embedded system) в различных отраслях промышленности (авионика, космические бортовые системы, автомобилестроение и т.д.), а также в отрасли информационных технологий (сетевые мультимедийные, телекоммуникационные и мобильные встраиваемые системы). Также стоит отметить, что СРВ все чаще стали базироваться на многоядерной процессорной платформе.

Важнейшим свойством СРВ является не только получение корректных результатов выполнения, но и соблюдение заранее определенных временных ограничений. Следовательно, существует набор требований, соблюдение которых должно быть гарантировано априорно (до старта системы). А предоставить эти гарантии позволяют методы и алгоритмы планирования (scheduling) прикладных задач, а также методики анализа выполнимости (планирования) [1].

В научно-исследовательских работах, посвященных СРВ, большое внимание уделяется *алгоритмам планирования* – набору правил, согласно которому производится переключение задач и выделение им требуемых ресурсов. Эти алгоритмы базируются на модели задач реального времени, которая содержит требуемую информацию о временных характеристиках и параметрах задач в СРВ [2].

Можно выделить два типа алгоритмов планирования: *политики планирования* (scheduling policies, scheduler, планировщик) и *тесты планируемости* (schedulability tests). Политики планирования контролируют расписание задач. Они работают в системе одновременно с задачами на этапе выполнения и в режиме онлайн принимают решения по планированию, основываясь на характеристиках и ограничениях задач. Тесты планируемости до запуска системы производят проверку соблюдения гарантий выполнения задач к заданным *критическим срокам* (дедлайнам, deadline).

Данная статья посвящена важной составляющей, используемой при проведении анализа планируемости задач в системах реального времени – тестам планируемости. В работе приведена общая методика разработки тестов планируемости для совместных многоядерных алгоритмов планирования реального времени. На основе существующих VCL-тестов планируемости для алгоритмов G-EDF и EDZL будет представлен VCL-тест планируемости совместного многоядерного алгоритма планирования EDF-PL. Также проводится исследование и сравнительный анализ данных тестов планируемости.

Системная модель

Модель задач в СРВ описывается с помощью набора из n спорадических задач

$$T = \underset{\text{def}}{\overset{\text{def}}{\{ \tau_i \}_{i=1}^n}}.$$

Каждая задача τ_i определяется кортежем $\tau_i = (C_i, D_i, T_i)$, где C_i – *наихудшее время выполнения* (worst-case execution time, WCET), D_i – *относительный дедлайн* и T_i – *минимальное время между поступлениями работ* (также называемый периодом). Время выполнения задачи τ_i не должно превышать ее относительный дедлайн и период, т.е. $C_i \leq \min\{D_i, T_i\}$. В данной работе рассматриваются системы с ограниченным дедлайном (constrained deadline), где относительный дедлайн не превышает

периоды задач, т.е. $D_i \leq T_i$. Каждая задача спорадически порождает (генерирует) бесконечную последовательность работ. Каждая работа J_i^j задачи τ_i характеризуется моментом поступления r_i^j и моментом завершения f_i^j . Моменты поступления последовательных работ каждой задачи τ_i разделяются минимальным временем поступления T_i . Ещё одной важной характеристикой задачи является время отклика (response time) R_i – максимальный из всех работ интервал времени от поступления до завершения работы

$$R_i = \max_{J_i^j \in \tau_i} (f_i^j - r_i^j)$$

Также важным параметром работы является резерв времени (laxity, slack time) x_i – интервал времени, в течение которого работа может находиться в состоянии ожидания, а не выполнения, и все еще имеет возможность завершиться до своего дедлайна.

Задачи являются независимыми (отсутствуют отношения предшествования) и вытесняемыми, а каждое отдельное ядро процессора может выполнять не более одной работы в один момент времени. Работа не может выполняться одновременно на нескольких ядрах (параллельное выполнение). Любая работа задачи может начать свое выполнение не ранее, чем завершит свое выполнение предыдущая работа данной задачи.

Аппаратная часть системы состоит из m идентичных процессорных ядер и ее можно описать как $\pi = \{s_i\}_{i=1}^m$, где s_i – емкость (скорость) i -го процессора (ядра) и $s_i = 1.0$ для всего диапазона $1 \leq i \leq m$. Емкость процессора характеризует его вычислительные возможности по выполнению расписания задач. Если задача выполняется за 1 единицу времени с емкостью s_i , то ее оставшееся время выполнения декрементируется на значение s_i .

Для удобства изложения материала введем классификацию работ относительно временного интервала $[a, b]$:

- «входящая» – работа, поступление которой происходит до момента времени a , но некоторая часть работы выполняется в интервале $[a, b]$;
- «исходящая» – работа, поступление которой происходит до момента времени b , но некоторая часть работы выполняется после интервала $[a, b]$;
- «внутренняя» – работа, которая поступает и завершается внутри интервала.

На рис. 1 представлены все три типа работ относительно временного интервала $[a, b]$. J_i^1 работа является «входящей», J_i^2 работа является «внутренней», J_i^3 работа является «исходящей».

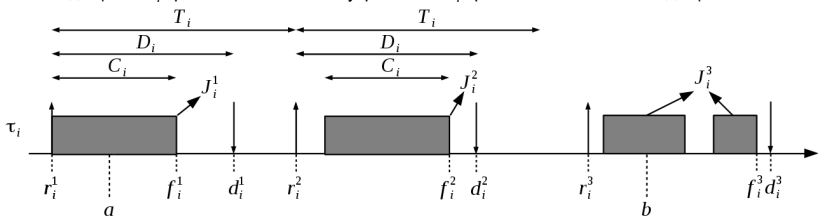


Рис. 1. Последовательность работ задачи τ_i

Также введем еще важные для данной работы понятия. *Вычислительная нагрузка* (workload) $W_i(a, b)$ работы J_i^j на интервале времени $[a, b]$ – объем процессорного времени (суммарное количество единиц времени), требуемый работе J_i^j для выполнения на интервале времени $[a, b]$. *Общая вычислительная нагрузка* (total workload) $W(a, b)$ – сумма вычислительных нагрузок $W_i(a, b)$ для всех работ, выполняемых на интервале времени $[a, b]$.

Тесты планируемости

С точки зрения теории планирования реального времени планирование называется *выполнимым* (feasible), если все задачи могут быть завершены в соответствии с набором указанных ограничений. Набор задач называют *планируемым* (schedulable), если существует хотя бы один алгоритм, который может производить выполнимое планирование [1].

Пусть A обозначает алгоритм планирования. Тогда набор задач называется A -планируемым на заданной процессорной платформе, если A соблюдает все дедлайны при планировании всех возможных наборов работ, которые могут быть порождены набором задач [3].

Тест планируемости A – алгоритм, который принимает в качестве входных данных спецификацию набора задач (тип, количество, параметры и т.д.) и многоядерной процессорной платформы, и определяет, является ли данный набор задач A -планируемым. Тест планируемости называется *достаточным* (sufficient), если он определяет лишь некоторые A -планируемые наборы задач. Тест планируемости называется *необходимым* (necessary), если все наборы задач, которые являются непланируемыми политикой планирования A , в соответствии с результатами работы теста планируемости A также определяются, как непланируемые. Тест планируемости, который является достаточным и необходимым, называется *точным* (exact). Таким образом, точный тест планируемости определяет все A -планируемые наборы задач.

Важно понимать, что достаточный тест планируемости A не определит набор задач как A -планируемый, если на самом деле он таковым не является [3].

Тесты планируемости применяются до начала фактического функционирования СРВ (в режиме офлайн). Поэтому они могут быть вычислительно сложными и обладать длительным временем выполнения, если при этом они смогут улучшить производительность системы на этапе ее функционирования (в режиме онлайн), а также смогут повысить вычислительную эффективность использования ресурсов.

Ключевым понятием многих тестов планируемости является *интерференция* (interference). Интерференция $I_{i,k}$ задачи τ_i на τ_k задачу представляет собой сумму длин всех интервалов, в которых работа задачи τ_k с самым большим временем отклика готова к выполнению, но не выполняется, а работы задачи τ_i выполняются [3]. Интерференция задачи τ_i на задачу τ_k проиллюстрирована на рис. 2.

Общая интерференция I_k всех задач на τ_k задачу представляет собой сумму длин всех интервалов, в которых работа задачи τ_k с самым большим временем отклика готова к выполнению, но не может выполняться из-за задач с более высоким приоритетом. Она определяется согласно формуле 1.

$$I_k = \frac{\sum_{i \neq k} I_{i,k}}{m} \tag{1}$$



Рис. 2. Интерференция всех задач на τ_k задачу

Методика разработки тестов планируемости

Совместное многоядерное планирование лучше всего подходит для применения, когда системную нагрузку необходимо равномерно распределять между процессорными ядрами, производя

ее своевременную балансировку.

На данный момент существует специализированная методика разработки достаточных тестов планируемости для совместных многоядерных алгоритмов планирования реального времени. Суть данной методики заключается в предположении, что заданный набор задач τ не планируем на платформе из m процессоров с применением определенного алгоритма планирования, и на основании этого организуется вывод условий, которые должны обязательно выполняться для того, чтобы данное предположение было истинным. Далее с помощью отрицания данных условий получают достаточный тест планируемости.

Данный подход включает следующие этапы [3]:

1. Определение непланируемого набора работ. Если набор задач τ не планируем, то существует набор работ, порожденных τ , при котором алгоритм пропустит дедлайн. Такой набор работ обычно определяется как обладающий некоторыми дополнительными свойствами, например, он может быть определен как минимальный набор работ, в котором будет пропущен дедлайн, или как набор работ, для которого пропуск дедлайна происходит в самый ранний момент времени и т.д.

2. Определение рассматриваемого интервала времени Int . Определение интервала времени Int , в котором спрос общей вычислительной нагрузки W набора работ должен превысить некоторую нижнюю границу W_L для возникновения пропуска дедлайна.

3. Определение верхней границы спроса. Определение верхней границы спроса общей вычислительной нагрузки W_U – верхняя граница максимальной вычислительной нагрузки, которую может породить набор задач τ в интервале времени Int .

4. Определение достаточного условия планируемости. Необходимым условием пропуска дедлайна является неравенство 2.

$$\exists Int :: W_U > W_L \quad (2)$$

путём отрицания условия 2 получаем достаточное условие планируемости набора задач 3.

$$\forall Int :: W_U \leq W_L \quad (3)$$

Различные тесты планируемости отличаются способами определения непланируемого набора работ, интервала времени Int , и вычисления W_U и W_L .

Тест планируемости BCL для алгоритма EDF-PL

На текущий момент в сообществе систем реального времени уже разработан ряд тестов планируемости для совместных многоядерных алгоритмов планирования реального времени. Одним из самых нетребовательных с точки зрения накладных расходов на этапе выполнения является тест планируемости, разработанный учеными Bertogna, Cirinei и Lipari для алгоритма G-EDF в соответствии с методикой, изложенной выше [4]. Далее данный тест будем обозначать акронимом BCL (от имен авторов публикации, в которой тест впервые был представлен). Тест BCL использует спорадическую модель задач с *ограниченными дедлайнами* (constrained-deadline). В данной работе BCL расширен для алгоритма планирования EDF-PL, основываясь на аналогичных тестах для алгоритмов G-EDF и EDZL [5, 6, 7].

Сначала определим непланируемый набор работ. Для этого предположим, что набор задач τ не является EDF-PL-планируемым на m идентичных процессорах. Следовательно, должны существовать наборы работ, порожденные τ , пропускающие дедлайн. Предположим, что дедлайн пропустит работа задачи τ_k в момент времени t_d . Работу, пропускающую дедлайн, далее будем называть *проблемной*. Для определения условия пропуска дедлайна в тесте планируемости BCL используется временной интервал между поступлением проблемной работы τ_k и пропуском данной работой дедлайна. Далее данный интервал будем называть *проблемным окном*.

В алгоритме планирования EDF-PL каждой работе приоритет назначается согласно алгоритму G-EDF, но он может быть срочно повышен до наивысшего значения для кризисной работы. *Кризисной* называется работа, резерв времени которой во время её выполнения становится меньше минимального оставшегося времени до завершения выполнения из m работ с ближайшими 28

дедлайнами. Т.е. это та работа, которая пропустила бы дедлайн при использовании политики планирования G-EDF. Необходимым условием пропуска дедлайна для алгоритма EDF-PL является ситуация, когда резерв времени проблемной работы меньше минимального времени, оставшегося до завершения m кризисных работ [8].

Для теста планируемости EDF-PL необходимо вывести альтернативную формулу определения верхней границы интерференции $\bar{l}_{i,k}$. Это связано с тем, что кризисная работа может внести свой вклад в интерференцию даже если её дедлайн наступает позднее, чем у проблемной работы. Такой случай представлен на рисунке 3.

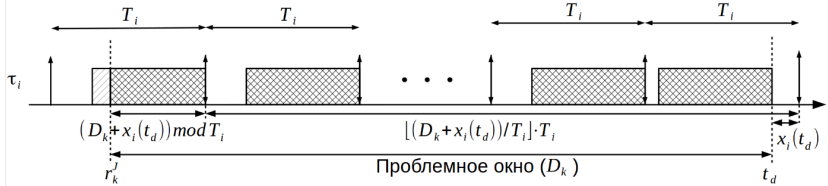


Рис. 3. Наибольшая интерференция задачи τ_i в проблемном окне

Пусть α – множество задач из набора задач τ , не содержащих кризисные работы, а β – множество задач, которые могут содержать кризисные работы. Исходя из этого определим $\bar{l}_{i,k}^\beta$ – верхнюю границу интерференции для задач, содержащих кризисные работы. $\bar{l}_{i,k}^\beta$ будет наибольшей, когда последняя работа задачи τ_i в проблемном окне является кризисной. Заметим, что $\bar{l}_{i,k}^\beta$ будет зависеть от резерва времени x_i кризисной работы в момент времени t_d . Тогда получим оценку $x_i(t_d)$. Из определения резерва времени следует неравенство 4.

$$x_i(t_d) \leq D_i - C_i \quad (4)$$

Так как мы считаем, что проблемная работа пока не является кризисной, то резерв времени проблемной работы должен быть не меньше, чем у последней работы задачи τ_i . Следовательно, резерв времени $x_i(t_d)$ должен также удовлетворять неравенству 5.

$$x_i(t_d) \leq D_k - C_k \quad (5)$$

Кроме того, чтобы работа стала кризисной, ее резерв времени должен быть меньше минимального времени, оставшегося до завершения работ с ближайшими дедлайнами. В худшем случае он равен минимальному наихудшему времени выполнения из всех задач, отличных от τ_i . Следовательно, значение $x_i(t_d)$ должно также удовлетворять неравенству:

$$x_i(t_d) \leq \min_{\tau_j \in \tau, j \neq i} (C_j)$$

Наконец, верхняя граница x_i для момента времени t_d , обозначаемая как $\bar{x}_i(t_d)$, определяется согласно формуле 6.

$$\bar{x}_i(t_d) = \min(D_i - C_i, D_k - C_k, \min_{\tau_j \in \tau, j \neq i} (C_j)) \quad (6)$$

Первая работа задачи τ_i в проблемном окне может выполняться не более $\min(C_j, (D_k + \bar{x}_i(t_d)) \bmod T_i)$ единиц времени. Каждая из последующих работ может выполняться C_j единиц времени. Количество таких работ равно $(D_k + \bar{x}_i(t_d)) / T_i$. В результате для $\bar{l}_{i,k}^\beta$ получаем выражение 7.

$$I_{i,k}^{\beta} \leq \bar{T}_{i,k}^{\beta} = (D_k + \bar{x}_i(t_d)) / T_i C_i + \min(C_i, (D_k + \bar{x}_i(t_d)) \bmod T_i) \quad (7)$$

Простейшим подходом, используемым при разработке тестов планируемости, является пессимистичный подход. При его использовании для алгоритма EDF-PL будем предполагать, что все задачи содержат кризисные работы. Т.е. верхняя граница интерференции будет определяться согласно формуле 7.

Таким образом, набор задач τ является EDF-PL-планируемым на m идентичных процессорных ядрах, если для каждой $\tau_k \in \tau$, условия 8 или 9 не соблюдаются более, чем m раз.

$$\sum_{i \neq k} \min(D_k - C_k, \bar{T}_{i,k}^{\beta}) < m(D_k - C_k) \quad (8)$$

$$\sum_{i \neq k} \min(D_k - C_k, \bar{T}_{i,k}^{\beta}) = m(D_k - C_k) \text{ and } \exists i \neq k : 0 < \bar{T}_{i,k}^{\beta} \leq (D_k - C_k) \quad (9)$$

Исследование тестов планируемости

В рамках данной работы представляются результаты первоначального (базового) исследования эффективности пессимистичного VCL-теста планируемости алгоритма EDF-PL, а также проводится их сравнительный анализ с VCL-тестами планируемости G-EDF и EDZL.

Для исследования тестов планируемости алгоритмов EDF-PL, G-EDF и EDZL псевдослучайным образом было сгенерировано 100 000 наборов спорадических задач, каждый из которых обладает заданным (одинаковым для всех наборов задач) коэффициентом использования. Эффективность (уровень планируемости) каждого теста планируемости для заданного значения коэффициента использования оценивается при анализе параметров всех 100 000 наборов задач для определения коэффициента успеха (success ratio):

$$SR = \frac{\text{наборы задач без пропуска дедлайнов}}{\text{все наборы задач}} \cdot 100 \%$$

Каждый набор (множество) задач τ с общим коэффициентом использования U_{tot} генерируются следующим образом. Коэффициент использования задачи τ_i определяется с использованием непрерывного равномерного распределения в пределах диапазона [0.1, 1.0]. Пока неравенство $\sum_{\tau_k \in \tau} U_k + U_i \leq U_{tot}$ выполняется, то τ_k включается в набор τ . Коэффициент использования последней

включаемой в набор задачи устанавливается в соответствии с $U_i = U_{tot} - U(\tau)$ так, что общий коэффициент использования равен U_{tot} . Период задачи τ_i равномерно распределен в диапазоне [1000 мкс, 100000 мкс]. Наихудшее время выполнения задачи рассчитывается как $C_i = U_i T_i$. В данном исследовании использовались спорадические задачи с ограниченным дедлайном. Относительный дедлайн каждой задачи определяется случайным образом в интервале от наихудшего времени выполнения задачи до ее периода, т.е. $D_i = [C_i, T_i]$

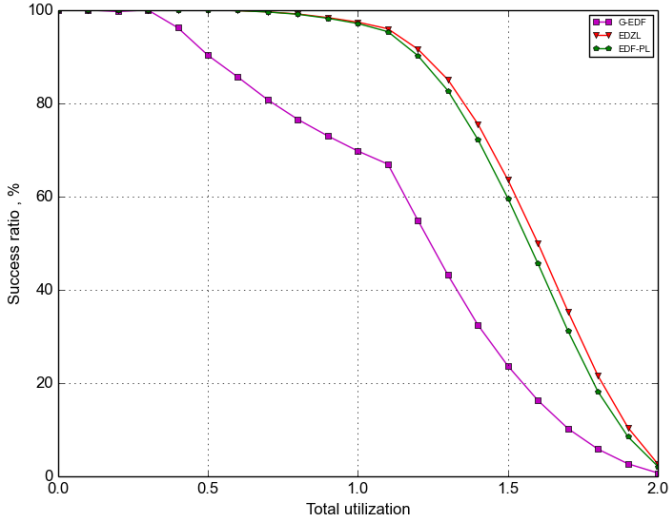
Используя сгенерированные таким образом наборы задач производится оценка эффективности тестов планируемости (используя коэффициент успеха).

На рис. 4,а и 4,б приведены результаты моделирования, использующиеся для оценки производительности тестов планируемости для задач с ограниченным дедлайном на 2 и 4 процессорных ядрах для трех алгоритмов планирования: G-EDF, EDZL и EDF-PL (пессимистичный).

При сравнении алгоритма G-EDF и алгоритмов, учитывающих резерв времени (EDZL и EDF-PL), значительный выигрыш в эффективности наблюдается у последних. В частности, у G-EDF коэффициент успеха становится меньше 100% в момент, когда общая нагрузка (total workload, коэффициент использования) достигает уровня 20-30%, в то время как при использовании EDF-PL и EDZL коэффициент успеха начинает снижаться на уровне 35-45% коэффициента использования. EDZL стабильно пре-

восходит EDF-PL, но тест планируемости EDF-PL весьма конкурентоспособен по своей производительности в сравнении с EDZL. Что касается коэффициента использования системы, то в момент снижения коэффициента успеха ниже 100% разница между EDF-PL и EDZL не превышает 5%. И с увеличением количества ядер эта разница уменьшается.

а)



б)

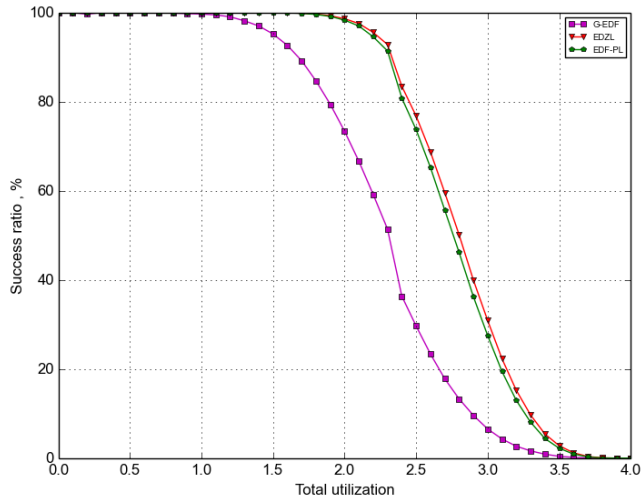


Рис. 4. Производительность тестов планируемости спорадических задач с ограниченным дедлайном на: а – 2-х ядерной процессорной системе; б – на 4-х ядерной процессорной системе

Стоит заметить, что тесты планируемости для совместных многоядерных алгоритмов планирования зачастую являются пессимистичными. Это означает, что наборы задач, которые будут отклонены тестами планируемости, могут быть планируемы на этапе выполнения системы. Следовательно, увеличение строгости тестов планируемости является ключевым вопросом для совместных многоядерных алгоритмов планирования.

Заключение

В данной статье был представлен пессимистичный VCL-тест планируемости для совместного многоядерного алгоритма планирования реального времени EDF-PL. Было проведено его исследование и сравнительный анализ с VCL-тестами планируемости популярных алгоритмов планирования G-EDF и EDZL.

По результатам исследования тестов планируемости можно сделать вывод, что EDF-PL демонстрирует схожую с EDZL эффективность теста планируемости. Соответственно, учитывая большие накладные расходы EDZL, связанные с количеством вызовов политик планирования, EDF-PL является хорошим вариантом для планирования задач с ограниченными дедлайнами на многоядерной платформе.

В последующих работах, посвященных тестам планируемости EDF-PL, будет повышаться их «строгость», а также будет приведено их исследование для спорадических задач с неявным дедлайном.

Библиографический список

1. *Виноградов В.В., Федоров И.П.* Методы планирования задач в системах реального времени на многоядерных процессорах // Шестьдесят девятая международная студенческая научная конференция ГУАП: Ч.1 Технические науки: сборник докладов. 18-22 апреля 2016 г., СПб.: ГУАП, 2016. С. 19-24.
2. *Осмоловский С.В.* Методы планирования задач в операционных системах реального времени // Научная сессия ГУАП: Ч.1 Технические науки: сборник докладов 9-11 апреля 2012 г./ СПб.: ГУАП, 2012. С. 100-104.
3. *Baruah S., Bertogna M., Buttazzo G.* Multiprocessor Scheduling for Real-Time Systems // Springer US, 2015.
4. *Bertogna M., Cirinei M., Lipari G.* Improved schedulability analysis of edf on multiprocessor platforms / M. Bertogna., // In IEEE ECRTS, pages 209– 218, 2005.
5. *Lee J., Shin I.* EDZL Schedulability Analysis in Real-Time Multicore Scheduling // IEEE Transactions on Software Engineering. IEEE, Vol. 39, No. 7, 2013. pp. 910–916.
6. *Baker T., Cirinei M., Bertogna M.* EDZL scheduling analysis // Real-Time Systems. Springer Netherlands, 2008, Vol. 40, No. 3, pp. 264-289.
7. *Bertogna, M.* Real-time scheduling analysis for multiprocessor platforms // Ph.D. dissertation, Scuola Superiore Sant'Anna, 2008.
8. *Осмоловский С.В., Шакуров Д. М., Иванова Е. П.* и др. Алгоритмы совместного многоядерного планирования задач для систем реального времени // Научная сессия ГУАП: сборник докладов. Апрель 2017. Т. Ч. 1. Технические науки. (в печати).

УДК 004.053

В. А. Волков

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. Ю. Сыщиков

старший преподаватель – научный руководитель

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВЫХ ТОПОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА VIPE

В современном мире сетевые технологии являются важнейшим элементом любой коммуникационной среды. Сети различных топологий и стандартов применяются во многих системах, их корректная работа невозможна без согласованного взаимодействия всех объектов системы.

Неправильное функционирование сети может привести к неблагоприятным последствиям вплоть до уничтожения реального объекта, что в свою очередь может привести к огромным финансовым потерям или даже к гибели людей. В целях повышения эффективности работы сети применяется подход предварительного тестирования на имитационной модели.

Качественное тестирование сети позволит реальной системе корректно функционировать на протяжении всего периода эксплуатации. На качество тестирования влияют следующие факторы:

- 1) корректная работа комплекса моделирования;
- 2) достоверность имитационной модели сети;
- 3) компетентность тестировщиков, производящих тестирование.

Рост вычислительных мощностей ЭВМ и доступные инструменты моделирования дают возможность проводить тестирование сетей любых протоколов и топологий. Но проблема повышения качества тестирования всегда актуальна, так как будут появляться все более сложные и требовательные к результатам тестирования системы. В целях обеспечения максимально удобного и эффективного проектирования модели сети предложен удобный подход к ее построению – визуальный подход. Такой подход может обеспечить лучшее взаимодействие проектировщика с объектом тестирования: ясна топология тестируемой сети и проще изменить или получить информацию о любом компоненте.

Инструмент построения визуальной модели сети должен давать возможность разрабатывать модели разных топологий и стандартов. Существует большое множество комплексов моделирования с уникальным, строго регламентированным форматом входных конфигурационных файлов, в связи с этим появляется необходимость создания механизма настройки формата генерируемых файлов конфигурации.

Обозначив требования, предъявляемые к графическому инструменту построения модели сети, нужно выделить основные компоненты, необходимые для решения поставленных задач:

- графическая среда, в которой происходит взаимодействие разработчика с проектируемой моделью сети;
- набор визуальных компонентов среды, которыми могут быть представлены отдельные элементы сети;
- механизм генерации конфигурационных файлов и настройки элементов модели сети.

Среда разработки VIPE (англ. Visual Integrated Parallel Environment) – комплексный инструмент, концепция которого заключается в визуальном подходе к программированию. Такой подход подразумевает разработку программы путем добавления на рабочее пространство графических элементов различного назначения.

Схема программы состоит из следующих компонентов:

- узел – структурный элемент, предназначенный для обработки и хранения данных и для управления вычислениями;
- связь – средство описания взаимодействия узлов.

Оказалось, такой подход к разработке является удобным для построения модели сети: можно представить узел в качестве конкретного объекта сети, а связь между узлами будет являться каналом связи.

Среда разработки VIPE предоставляет удобный механизм разработки пользовательской библиотеки узлов, что позволяет сторонним разработчикам создавать собственные библиотеки, узлы которых будут являться графическим представлением объектов тестируемой сети.

Однако, универсального графического инструмента и механизма разработки библиотек недостаточно для решения поставленной задачи, так как необходимо предоставить разработчикам механизм формирования параметров отдельных объектов и дать возможность определять формат генерируемых конфигурационных файлов в соответствии с комплексом моделирования.

Для этого в графический инструмент была интегрирована поддержка плагинов. Плагин (англ. Plugin) – независимый подключаемый модуль, позволяющий расширить функциональную часть приложения. Так как среда разработки VIPE разрабатывается на платформе .NET компании Microsoft, был применен стандартный инструмент MEF (англ. Managed Extensibility Framework), позволяющий решить задачу масштабируемости приложения посредством добавления независимых модулей. Осталось предоставить разработчикам программный интерфейс приложения (англ. Application Programming Interface, API) для реализации идеи визуального проектирования.

В состав API входит набор методов, позволяющие разработчикам:

1. Управлять жизненным циклом плагина.
2. Формировать диалоговое окно настройки узлов и связей между ними.
3. Устанавливать цвет узлов и добавлять комментарии к связям.
4. Определять формат и структуру генерируемых файлов конфигурации.

Благодаря совокупности вышеперечисленных компонентов был разработан универсальный графический инструмент, позволяющий независимым разработчикам создавать модель сети любого протокола и топологии, так как узлы схемы могут представить любой объект сети и отсутствуют ограничения на число узлов, расположенных на рабочем пространстве среды разработки VIPE.

В качестве демонстрационного примера был разработан графический инструмент построения сети SpaceWire. Имеется программный комплекс моделирования сети, который осуществляет тестирование сетей протокола SpaceWire. Перед работой в комплекс должны быть загружены конфигурационные файлы текстового формата, в которых описаны параметры объектов исследуемой сети.

Компоненты, необходимые для решения поставленной задачи:

- библиотека компонентов сети SpaceWire, узлы которой будут описывать конкретные объекты сети

- плагин для настройки параметров каждого объекта сети в соответствии с форматом комплекса моделирования и дальнейшая генерация в конфигурационные файлы.

Была разработана библиотека объектов сети SpaceWire (рис. 1), которая в полной мере описывает каждый элемент.

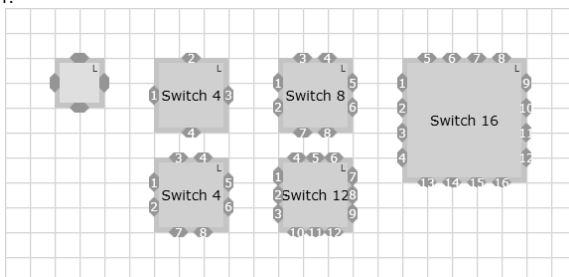


Рис. 1. Библиотека объектов сети SpaceWire

Перетаскивая объекты на рабочую область среды разработки VIPE, можно составить визуальную модель сети любой топологии (рис. 2). В модели может быть неограниченное число узлов и произвольная установка связей между ними, среда разработки не накладывает никаких ограничений.

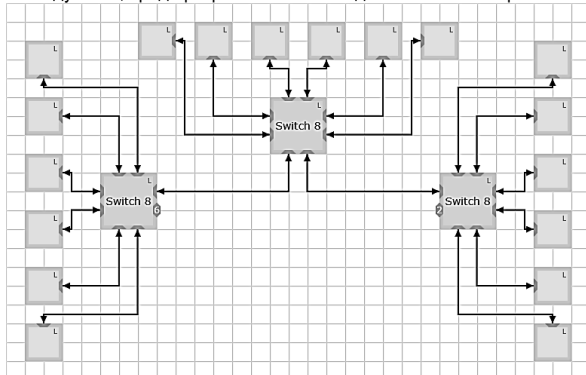


Рис. 2. Схема модели сети

Далее необходимо установить параметры каждому объекту сети в соответствии с предъявляемыми требованиями. По нажатию правой кнопкой мыши на нужный объект и выборе пункта установки конфигурации появится диалоговое окно настройки параметров объекта. На этом этапе работа делегируется созданному плагину, который ранее был инициализирован и подключен. Формат диалогового окна определяется сторонним разработчиком плагина. Установив параметры (рис. 3) и сохранив их, они преобразуются в текстовое свойство объекта. Стоит отметить, что формат конфигурационных файлов может отличаться в зависимости от типа настраиваемого объекта сети. В таком случае плагин может определить тип объекта и вызвать другое диалоговое окно если потребуется.

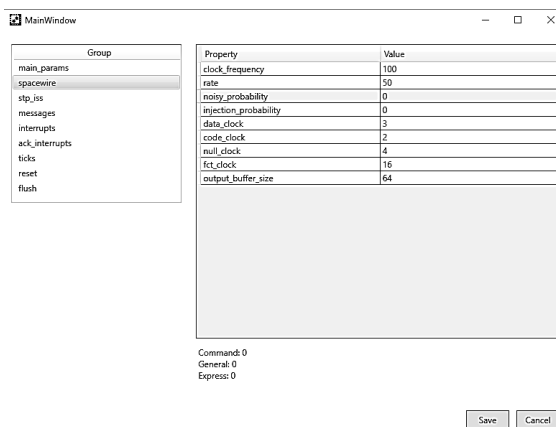


Рис. 3. Диалоговое окно настройки терминального узла схемы

Так же при необходимости можно настроить параметры узлов (рис. 4).

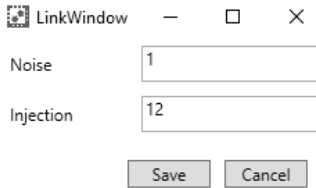


Рис. 4. Диалоговое окно настройки узла схемы

```

name:
log_mode:
data_log_limit:

spacewire
clock_frequency:    100
rate: 50
noisy_probability:  0
injection_probability: 0
data_clock: 3
code_clock: 2
null_clock: 4
fct_clock: 16
output_buffer_size: 64
    
```

Рис. 5. Сгенерированный фрагмент конфигурационного файла

Генерация конфигурационных файлов определена в соответствии с комплексом моделирования, разработчику плагина необходимо лишь организовать корректную логику работы независимого модуля.

При экспорте схемы нужно выбрать путь, куда будут сохранены сгенерированные файлы. Результатом работы является набор сгенерированных текстовых файлов, которые соответствуют формату входных конфигурационных файлов для комплекса моделирования (рис. 5).

Сгенерированные таким образом файлы являются пригодными в качестве входных конфигурационных файлов для программного комплекса моделирования.

Визуальное представление должно повысить качество и уменьшить временные затраты на проектирование сетей: нет необходимости беспокоиться за корректность формата сгенерированных данных, а наглядность схемы позволит быстрее внести правки в модель тестируемой сети. Так же это улучшает сопровождаемость и повышает удобство хранения модели.

Разработанный графический инструмент позволяет проектировать модель сети любой сложности и топологии. Возможность создавать библиотеки компонентов сети и механизм плагинов делает инструмент универсальным средством описания сетей всевозможных протоколов и топологий. Стоит отметить, что можно создавать модель как сетей, так и других сложных систем.

Библиографический список

1. Syschikov A., Sheynin Y., Sedov B., Ivanova V. Domain-Specific Programming Environment for Heterogeneous Multicore Embedded Systems. International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS). 2014. Т. 5. №. 4. С. 1-23.
2. Шейнин Ю. Е., Оленев В. Л., Лавровская И. Я., Коробков И. Л. Система автоматического проектирования для моделирования и создания бортовых сетей SpaceWire / СПб.: ГУАП. 2017. 9 с.
3. Шейнин Ю. Е., Солохина Т., Петричкович Я. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределенных комплексов / Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2006 С. 64-75
4. Microsoft: Managed Extensibility Framework, URL: [https://msdn.microsoft.com/library/dd460648\(v=vs.110\).aspx](https://msdn.microsoft.com/library/dd460648(v=vs.110).aspx)

УДК 53.088.6

М. А. Глазунова

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

Р. Н. Малаханов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Программирование графических элементов для МФЦИ (рис. 1) имеет ряд сложностей. Поскольку объем памяти ограничен, необходимо подбирать наиболее оптимальные алгоритмы и типы данных. Программирование всех элементов, с учетом последующих корректировок может занимать по времени 2-6 месяцев. Возникает вопрос, как можно ускорить процесс программирования без ухудшения результатов, т.е. с сохранением оптимальности того кода, который создает специалист в данной области.

Исходя их пунктов, которые выполняются человеком при программировании элементов для МФИ, можно определить следующие требования к системе: осуществление распознавания символов с шаблона, заранее подготовленного в отделе документации, их классификация (определение формы, размера, цвета, положение от центра координат и других характеристик), распознавание, программирование этих элементов для МФЦИ. В будущем код может быть скорректирован программистом, если возникнет такая потребность. Для распознавания графических элементов могут быть использованы современные методы компьютерного зрения. Данные методы относятся к искусственному интеллекту и представляют собой различные виды нейронных сетей, генетические алгоритмы, метод опорных векторов. Наиболее успешными среди нейронных сетей в данном вопросе можно назвать сверточные сети (разновидность многослойного персептрона).

Инструментом для реализации сверточной сети послужила среда программирования MatLab (также для упрощения процесса в ней существует такой набор инструментов, как Neural Network Toolbox (инструменты для синтеза и анализа нейронных сетей)).

В используемой сверточной сети выбраны следующие параметры: всего 8 слоев, из которых 3 слоя подвыборки, 3 слоя свертки и 2 полносвязных слоя. На вход поступает одно изображение размером 32 на 32 пикселя. Для активации нейронов используется нейронная линейная передаточная функция.

Для обучения и тренировки сети используется база данных, в которую включены 256 изображений символов, в основном прописные и строчные буквы русского алфавита, а также цифры и специальные знаки. Шрифт, используемый на индикаторах МФЦИ (см. рис. 1), называется PT_SANS, он может варьироваться по размеру, цвету, а также смещению, отличительная особенность – отсутствие засечек. Основная проблема при формировании базы данных – размеры символов на кадре могут отличаться, и для подачи на вход сети их необходимо привести к одному масштабу.

По результатам исследований, были получены графики, показывающие точность сверточной нейронной сети после обучения и тестирования на выборке изображений (рис. 2).

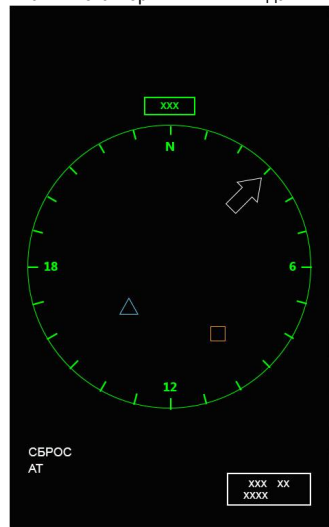


Рис. 1

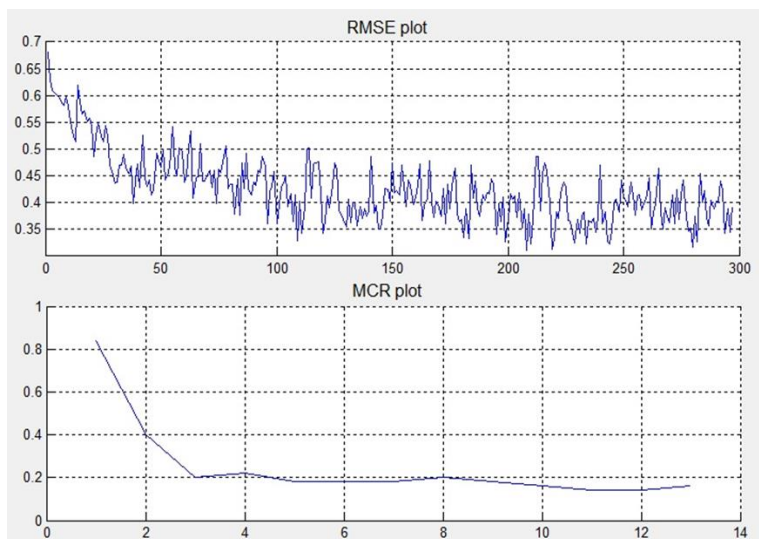


Рис. 2. Графики коэффициента ошибки и среднего квадрата ошибки:

MCR – график коэффициента ошибочной классификации; MSE – график среднего квадрата ошибки; количество эпох – 3; количество итераций – 1000; значение MSE – 0,39; значение MCR – 0,16

Исходя из полученных результатов, можно говорить о достаточно высокой точности распознавания изображений с помощью СНС. Это обусловлено инвариантностью сети в масштабе, сдвиге и искажении входного изображения. Улучшить результаты можно с помощью увеличения обучающей выборки, а также путем поиска лучших параметров сети (подобрать наиболее оптимальные).

Таким образом, можно говорить о возможности создания системы, способной осуществлять распознавание и программирование графических элементов для МФИ с помощью методов искусственного интеллекта, которая могла бы облегчить процесс программирования МФИ и улучшить показатели по срокам выполнения таких задач.

Библиографический список

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд-е / Издательский дом «Вильямс», 2006. 1104 с.
2. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / пер. с польск. И. Д. Рудинского: Горячая линия – Телеком, 2006. 452 с.

УДК 681.782.473

С.С. Горкалов

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В.Г. Никитин

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЕХАНИЗМЕ СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ

В ходе разработки перспективной оптической станции были замечены колебания оптических элементов. С учетом сложности конструкции оптической станции, оценка амплитуды колебаний оптических элементов является трудоемким и дорогостоящим процессом. Вследствии чего была поставлена задача оценить амплитуду колебаний методом физико-математического моделирования динамических процессов.

На основе трехмерной твердотельной модели оптической станции в САПР программе SolidWorks (рис.1), которая содержит информацию о массе, объеме и моментах инерции деталей и информации о приводах оптической станции была получена динамическая модель в рабочей среде Simulink (рис.2).

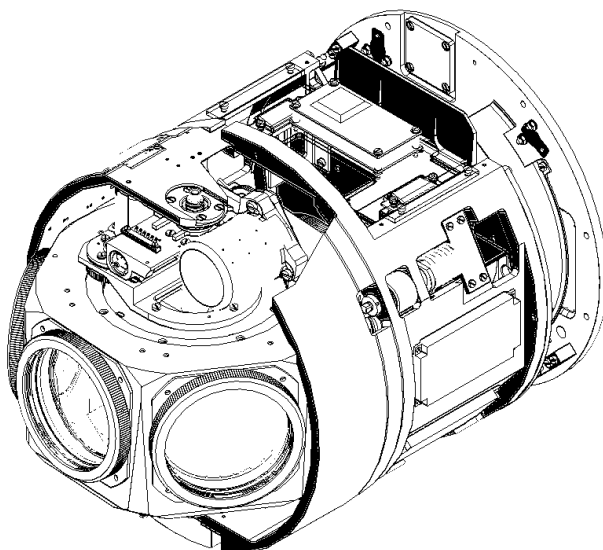


Рис. 1. Модель оптической станции в САПР программе SolidWorks

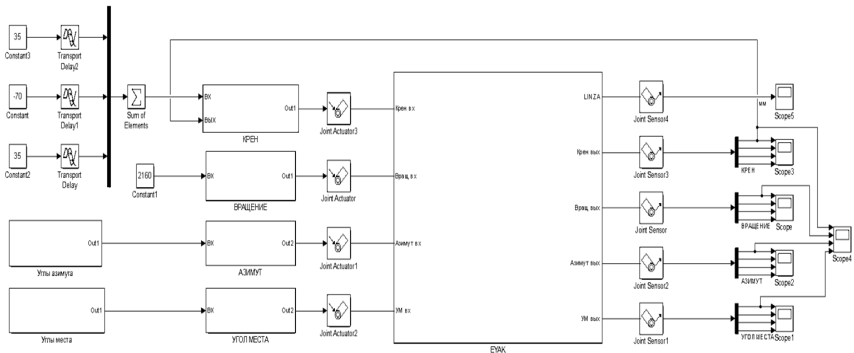


Рис. 2. Динамическая модель оптической станции в рабочей среде Simulink

В результате моделирования была получена анимация механических процессов оптической станции (рис. 3), графики переходных процессов по каналам крена, азимута, угла места (рис. 4) и перемещения оптических элементов (рис. 5).



Рис. 3. Кадр анимации описывающей механические процессы оптической станции

На графике, представленном на рисунке 5, можно наглядно оценить, что амплитуда колебаний достигает +17мкм и -15мкм, при одновременном повороте по углу места и по азимуту. Этот показатель значительно превышает допуск ± 5 мкм.

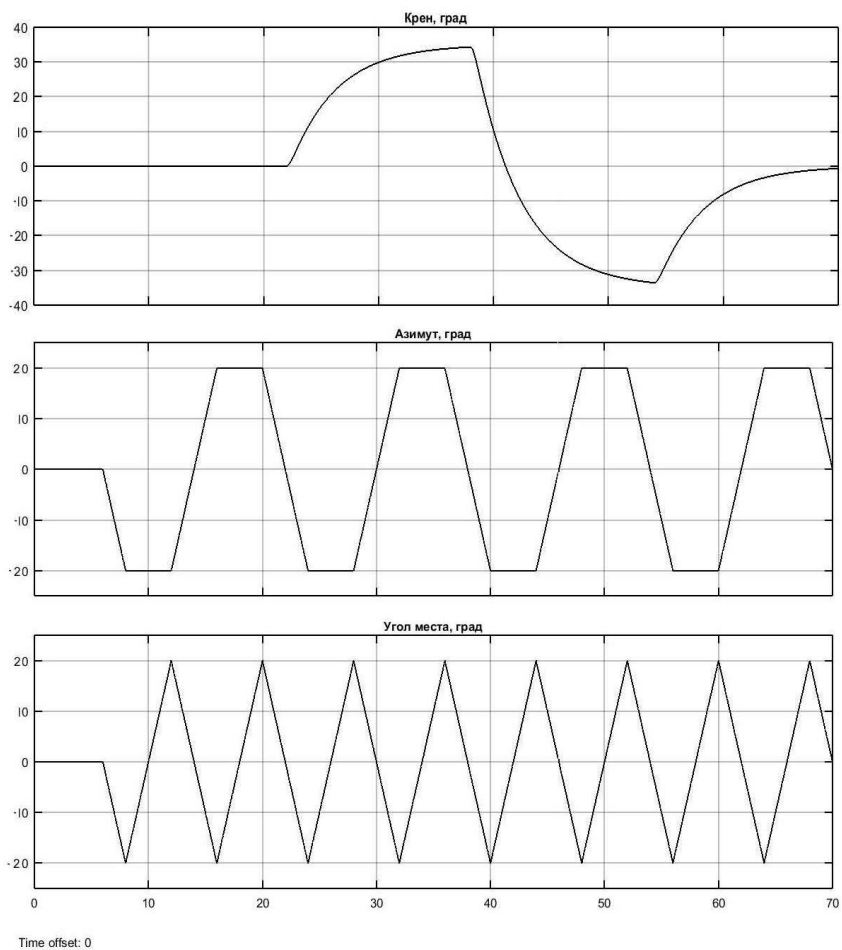


Рис. 4. Графики изменения углов оптической станции по каналам крена, азимута, угла места

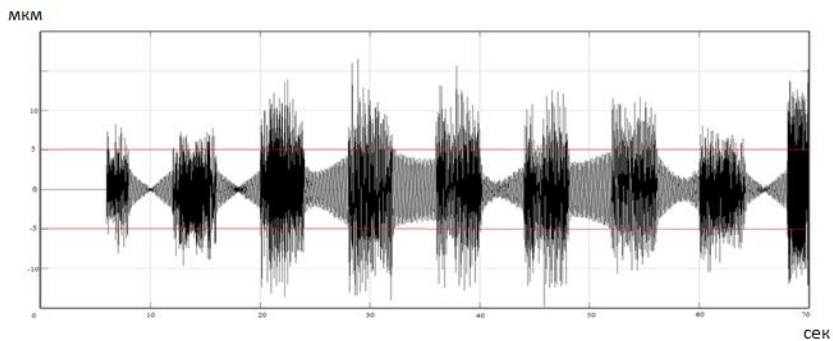


Рис. 5. Графики колебаний оптических элементов оптической станции

Таким образом, с помощью метода физико-математического моделирования динамических процессов в оптической станции по полученным данным можно оценить амплитуду колебаний оптических элементов, что является доступным и эффективным методом оценки.

Библиографический список

1. Блинов О.В., Кузнецов В.Б. Исследование механических систем в среде SimMechanics (MatLab) с использованием возможностей программ трехмерного моделирования: метод. указания. Иваново, 2012. 19 с.
2. Мусалимов В.М., Заморув Г.Б., Калапышина И.И. и др. Моделирование мехатронных систем в среде Matlab (Simulink/ Simmechanics): учеб. пособие СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 114 с.

УДК 629.735 33

А.Ю. Дикан, М.В. Ключков

магистранты кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

М.Е. Тихомиров

доцент – научный руководитель

**КОМПЛЕКСНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
В СИСТЕМАХ ДЕМПФИРОВАНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ**

Упругие деформации конструкции приводят к перераспределению аэродинамических сил и являются причиной изменения характеристик устойчивости и управляемости, определенных для «жесткого» самолета. Для процесса управления и получения информации о параметрах движения необходимо учитывать упругие свойства фюзеляжа, крыла, хвостового оперения крупногабаритного летательного аппарата, самолета, прежде всего. Упругие свойства проявляются при полете в турбулентной атмосфере, при выполнении резких маневров, при прикладывании управляющих воздействий на самолете [1].

Вследствие проявления упругих свойств отдельные элементы конструкции или отдельные фрагменты конструкции, крыла например, подвергаются колебаниям или движениям с ускорением. В этих местах могут быть установлены датчики первичной информации, на которые в качестве помех упругие колебания наложат свое влияние. Для исключения вредного влияния упругих деформации на систему управления, необходимо, чтобы в выходных сигналах информационно-измерительного комплекса отсутствовали составляющие упругих деформаций. Поэтому проблема нейтрализации помех при комплексировании датчиков угловых скоростей является актуальной. Решение вопроса о компенсации помех от упругих свойств объекта управления и наблюдения – проблема, решение которой возможно путем комплексного решения [2].

Структурная схема контура стабилизации, обеспечивающего решение задачи демпфирования упругих колебаний, приведена на рис. 1 [3].

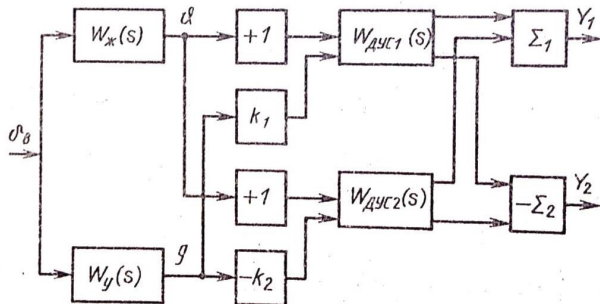


Рис. 1. Структурная схема контура стабилизации

В качестве чувствительного элемента в схеме используются датчики угловой скорости. Они устанавливаются в пучностях. Передаточные функции объектов управления (жесткого самолета $W_{ж}$, «упругого» самолета $W_{г}$, датчиков угловых скоростей $W_{ДУС}$) определяются по формулам:

$$W_{ж}(s) = \frac{k_{ж}(1 + T_{ж}s)}{s(1 + 2\xi_{ж}T_{ж}s + T_{ж}^2s^2)}; \tag{1}$$

$$W_y(s) = \frac{k_y}{1 + 2\xi_y T_y s + T_y^2 s^2}; \quad (2)$$

$$W_{\text{ДУС}}(s) = \frac{s}{1 + 2\xi_{\text{д}} T_{\text{д}} s + T_{\text{д}}^2 s^2}. \quad (3)$$

Рассматриваем случай, когда в изгибных колебаниях преобладает составляющая одного первого тона. При помощи двух датчиков угловой скорости выделим сигнал, пропорциональный первой производной изгиба корпуса

Предполагается, что датчики угловой скорости с передаточными функциями расположены по длине корпуса так, что первый датчик воспринимает сигналы производных от изгиба и углового положения синфазно, а второй – со сдвигом фаз на 180°.

Подбираем соответствующие коэффициенты и составляем математическую модель, где ξ - коэффициент демпфирования, k – коэффициент усиления. Тогда передаточные функции будут иметь вид:

$$W_{\text{ж}}(s) = \frac{0.5s + 1}{0.25s^3 + 0.1s^2 + s}; \quad (4)$$

$$W_y(s) = \frac{0.1}{0.01s^2 + 0.004s + 1}; \quad (5)$$

$$W_{\text{ДУС}}(s) = \frac{s}{0.01s^2 + 0.01s + 1} \quad (6)$$

Полученная система, смоделированная в среде Matlab Simulink, представлена на рисунке 2.

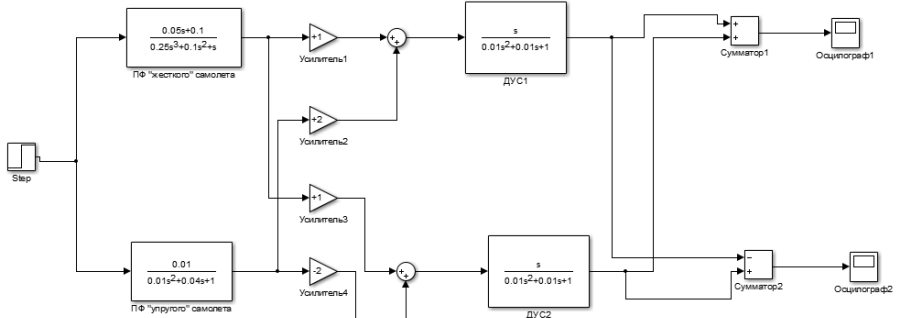


Рис. 2. Модель системы

Моделирование системы осуществляется с помощью подачи ступенчатого сигнала в качестве воздействия на фюзеляж. На выходе получаем сигналы, которые содержат раздельную информацию о движении объекта как твердого тела и об изгибных колебаниях корпуса, которые носят характер полигармонических колебаний. Необходимо убедиться, что сигналы от упругих колебаний не ухудшат характеристик системы управления при построении информационно-измерительного комплекса.

Разделение сигнала необходимо для того, чтобы в случае, когда параметры упругих деформаций в процессе полета достигают недопустимых значений, в системе управления можно было принять специальные меры для их подавления (предотвращения).

Получившиеся результаты представлены на рис 3 и 4.

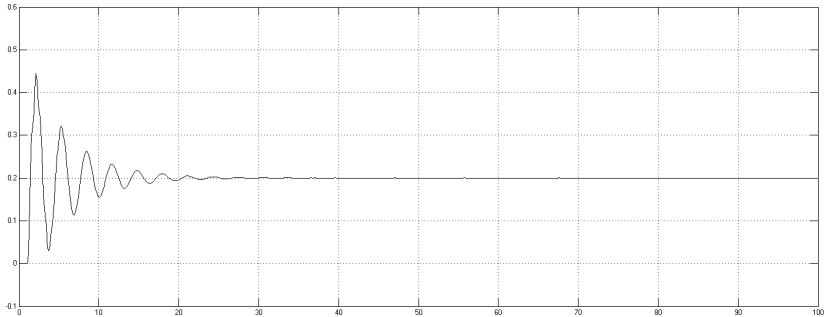


Рис. 3. Реакция на воздействие при «абсолютно жестком» самолете

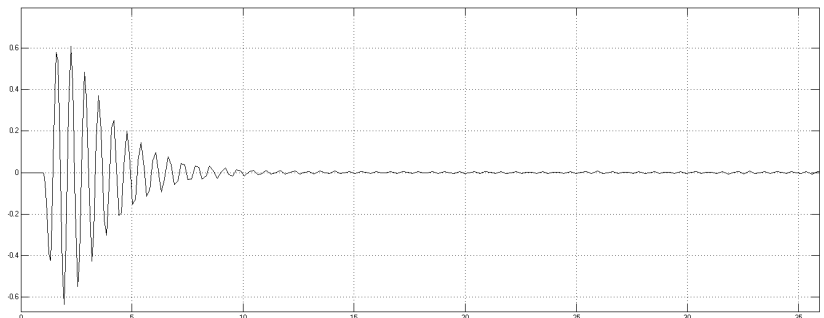


Рис. 4. Реакция на воздействие с учетом упругости

Первый график – это реакция фюзеляжа на воздействие, если принимать самолет как абсолютно жесткое тело. По оси абсцисс отмечено время переходного процесса, а по оси ординат – частоты колебаний. Второй график – это реакция фюзеляжа на воздействие для самолета с учетом упругих деформаций.

В результате проведения исследования была смоделирована система контура стабилизации, которая обеспечивает задачу демпфирования упругих колебаний. После моделирования были получены сигналы, содержащие раздельную информацию о движении самолета. Данные моделирования позволяют исследовать возможность компенсации упругих колебаний и изучить способы нейтрализации помех от этих колебаний.

Библиографический список

1. *Тотиашвили Л.Г.* Продольная устойчивость и управляемость летательного аппарата. РИИ ГВФ имени Ленинского комсомола, 1963. 240 с.
2. *Колесников К.С., Сухов В.Н.* Упругий летательный аппарат как объект автоматического управления. М.: Машиностроение, 1974. 268 с.
3. *Синяков А.Н., Шаймарданов Ф.А.* Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками. М.: Машиностроение, 1991. 320 с.

УДК 004.93'12

А. Ю. Дубанов

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Р. Луцке

д-р техн- наук, профессор – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОТДЕЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛАДОНИ ОТ ФОНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Камеры с каждым днем становятся дешевле, компактнее и доступнее. Устройств, обладающих встроенной камерой всё больше [1]. Это предоставляет возможность управлять оборудованием дистанционно при помощи жестов и без использования дополнительных устройств, таких как пульт дистанционного управления. Подобная реализация интерфейсов упрощает процесс управления оборудованием и нуждается лишь в наличии программного обеспечения (Далее ПО). Разработку данного ПО включает моя квалификационная работа на тему «Распознавание жестов ладони для управления оборудованием». Отделение изображения ладони от фона является первостепенной задачей при разработке вышеупомянутого ПО [2].

Для того чтобы изображение было менее чувствительно к освещению сцены, необходимо провести предварительную обработку изображений. Обработка светлых и темных изображений несколько отличается. В светлых изображениях определяется средняя яркость R' , G' , B' в каждом из цветовых каналов R , G , B (RGB – аддитивная цветовая модель). После чего цвет каждого пикселя изменяется как:

$$R'' = R - R', G'' = G - G', B'' = B - B'; \quad (1)$$

Затем в каналах R'' , G'' , B'' находим минимальную яркость M и вычитаем её из яркости каждого цветового канала:

$$R = R'' - M, \hat{G} = G'' - M, \hat{B} = B'' - M; \quad (2)$$

Тогда в каналах \hat{R} , \hat{G} , \hat{B} находим максимальное значение яркости N и нормализуем цветовые каналы:

$$R\# = \hat{R} \cdot \frac{255}{N - M}, G\# = \hat{G} \cdot \frac{255}{N - M}, B\# = \hat{B} \cdot \frac{255}{N - M}; \quad (3)$$

При обработке темного изображения в первую очередь находим наиболее яркую точку в каналах R' , G' , B' и считаем ее белой. Для того, чтобы она стала белой, преобразуем цветовые каналы:

$$R^r = \frac{\hat{R} \cdot 255}{R'}, G^r = \frac{\hat{G} \cdot 255}{G'}, B^r = \frac{\hat{B} \cdot 255}{B'}; \quad (4)$$

Оттенки цвета кожи человека и элементы фона, как правило, отличаются [3-4]. Что делает возможным обнаружение области ладони посредством сегментации изображения по цветовым особенностям. Методы обнаружения области ладони также различаются для светлых и темных изображений.

Сегментация светлых изображений производится в цветовом пространстве HSV (HSV – цветовая модель, в которой координатами цвета являются: Hue – цветовой тон, Saturation – насыщенность, Value (значение цвета) или Brightness – яркость). Гистограммы яркости каналов оттенка (рис. 1) и насыщенности цвета (рис. 2) кожи человека имеют совершенно разные моды, связанные с кожей и фоном [3]. Таким образом, сегментирование изображения в этих цветовых каналах для определения цвета кожи может быть выполнено посредством фиксации пороговых значений.



Рис. 1. Типичная гистограмма оттенка цвета кожи (а) и гистограмма оттенка цвета кожи и фона (б)

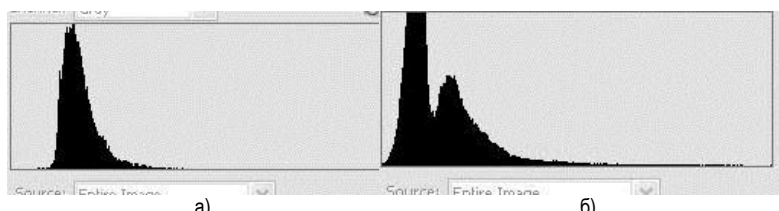


Рис. 2. Типичная гистограмма насыщенности цвета кожи (а) и гистограмма насыщенности цвета кожи и фона (б)

Сегментация темных изображений выполняется в цветовом пространстве г-г (Цветовое пространство где $g = R/(R+G+B)$, $g = G/(R+G+B)$). Цветовые параметры цветового пространства г-г вычисляются из цветовых параметров пространства RGB. Формулы для положения границ поля цвета кожи в пространстве г-г вычисляются методом обнаружения цвета кожи «skin locus» (рис. 3). Простая функция принадлежности «skin locus» определяется парой квадратичных функций, определяющих верхнюю и нижнюю границы цветового кластера кожи [5].

Отслеживание сначала инициализируется путем определения области кожи в сцене, выполняется преобразование RGB в г-г, и пиксели, принадлежащие коже используются для получения исходной гистограммы цвета кожи. Затем вычисляется гистограмма г-г всей сцены, и гистограмма цвета кожи делится на эту гистограмму, чтобы устранить цвета, общие для кожи и фона, таким образом обеспечивая лучшее разделение [5].

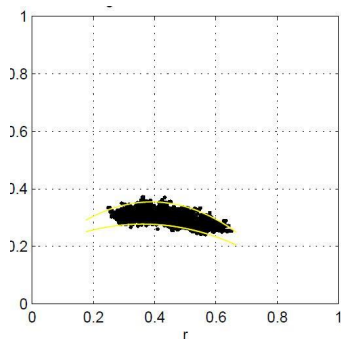


Рис. 3. «Skin locus» в цветовом пространстве г-г (параболические границы показаны желтыми линиями)

Проведенные исследования позволили проанализировать методы отделения изображения ладони из фона на основе анализа цветовой информации. Изученные методы предоставляют возможность разработки ПО для распознавания жестов ладони для управления оборудованием и позволяют продолжать исследования в области моей квалификационной работы.

Следует отметить, что полученные результаты выделения области ладони из фона нуждаются в дальнейшем улучшении путем подавления шума сегментации. Например, методами морфологической фильтрации [6]. Кроме того, целью моих дальнейших исследований следует выделить компенсацию изменения условий наблюдения в процессе слежения за ладонью.

Библиографический список

1. *Chai D., Ngan K.* «Face segmentation using skin-color map in videophone applications», IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, vol. 9 no. 4 pp. 551-564, 1999.
2. *Kakumanu P., Makrogiannis S., Bourbakis N.* A survey of skin-color modeling and detection methods / Pattern Recognition. – 2007. – Vol. 40(3). – pp. 1106-1122.
3. *Fleck M., Forsyth D., Bregler C.* Finding Naked People / Proc. of Fourth European Conference on Computer Vision (ECCV'96), Volume II, April 14-18. – Cambridge, UK: University of Cambridge, 1996. – pp. 592-602.
4. *Shin M.C., Chang K.I., Tsap L.V.* Does Colorspace Transformation Make Any Difference on Skin Detection? / Proc. of 6th IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV 2002), December 3-4. – Orlando, FL, US: IEEE Computer Society, 2002. – pp. 275-279.
5. *Soriano M., Martinkauppi B., Huovinen S., Laaksonen M.* Using the skin locus to cope with changing illumination conditions in color-based face tracking. Proc. IEEE Nordic Signal Processing Symposium, Kolmarden, Sweden, 2000, pp.383–386.
6. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 767 с.

УДК629.784

Р. П. Дуркин

магистр кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

А. П. Григорьев

соискатель степени канд. техн. наук – научный руководитель

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Беспроводные системы сбора информации находят широкое применение в промышленности (мобильная телефония, информационные технологии, интеллектуальные измерительные системы и беспроводные системы контроля) [1], тем не менее по ряду причин (недостаточная надежность, высокая себестоимость, чувствительность к климатическим условиям и пр.) данные системы на борту космического аппарата в настоящее время не нашли широкого применения, но намечаются тенденции к актуализации их использования в авиационной и ракетно-космической технике (РКТ) за счет потенциальной возможности организации простоты контроля и обслуживания, а также снижения массогабаритных характеристик, что является первостепенной задачей в области РКТ. В частности, реализация на таком протяженном объекте, как транспортно-энергетический модуль – ТЭМ (длина 53,4 м) беспроводной телеметрической системы упростит процесс раскрытия подвижных элементов конструкции (ПЭК) данного космического аппарата и, как следствие возрастет простота и надежность. Также стоит отметить, что отказ от столь протяженных кабелей позволит, как предполагается, уменьшить массу ТЭМ (рис.1).



Рис. 1. Процесс раскрытия ПЭК транспортно энергетического модуля

Беспроводной обмен данными может быть реализован в рамках комплексной программы экспериментальной отработки (КПЭО) изделий РКТ при проведении электро-радиотехнических и летных испытаний данного изделия.

Для реализации беспроводной передачи данных на борту космического аппарата должны решаться следующие частные задачи:

1. Разработка беспроводной системы сбора информации.

Радиомодуль, принимающий информацию с датчиков, будет располагаться в отсеке служебных систем. Датчики передают параметры через радиоканал на радиомодуль, после чего информация поступает в бортовую информационно-телеметрическую систему (БИТС), которая загружает информацию в радиопередающее устройство (РПУ). С РПУ информация поступает на антенно-фидерное устройство (АФУ) и передается либо на спутник-ретранслятор, либо непосредственно на «Землю» во время штатного сеанса связи. Возможны два варианта реализации радиомодуля: выносной и встраиваемый (входящий в состав БИТС).

В качестве измеряемых на ТЭМ параметров, в зависимости от комплектации его различными системами-потребителями, могут выступать:

- параметры раскрыва (раскрыв панелей солнечных батарей, радиопанелей и пр.). Данные параметры, как правило, контролируются с помощью сигнальных датчиков (концевые микропереключатели с двумя состояниями: логический ноль – раскрыт, логическая единица – ПЭК свернуты). Тем не

менее возможны и альтернативные варианты, к примеру – визуальный вариант (с помощью фото и видеокамер);

- параметры ядерной энергетической установки (давление, температура, радиационный фон, контролируемый детектором-измерителем радиационной обстановки борта и т.д.);

- параметры служебных систем (ток нагрузки, напряжение системы электропитания и т.д.).

2. Решение вопроса электропитания.

Возможны различные способы электропитания системы беспроводного сбора и передачи информации в составе ТЭМ: штатное и дополнительное (с применением внешних источников питания (ВИП)):

- от солнечных батарей (штатных, входящих в состав системы электропитания (СЭП)), или технологических (автономных, размещаемых дополнительно на изделии) [2];

- от ядерной энергетической установки, питающей ТЭМ в целом [2];

- от радиосигналов самой беспроводной системы сбора информации (как при организации беспроводной зарядки мобильных телефонов, стандарт wi-fi).

3. Обеспечение требуемой радиационной стойкости.

Основными путями минимизации радиации могут быть:

- резервирование (переход на дополнительные полуккомплекты приборов, в том случае если основные выйдут из строя) [3];

- защитные покрытия приборов, для отражения радиации [4];

- выбор наилучшей компоновки (размещение в защитных отсеках или размещение за наиболее защищенными от радиации приборами).

4. Электромагнитная совместимость.

Электромагнитная совместимость достигается путем разбиения частот, на которых работают датчики, на определенные диапазоны, не пересекающиеся друг с другом.

5. Анализ массогабаритных характеристик при изменении компоновки изделия вследствие замены проводных датчиков на беспроводные.

В связи с отсутствием в беспроводных системах проводных каналов связи, будет произведен сравнительный анализ проводных систем сбора информации с беспроводными системами с целью раскрытия актуальности применения беспроводных устройств.



Рис. 2. Процесс компоновки

В заключение стоит отметить, что ТЭМ находится на стадии разработки, из-за чего вышеописанные внедрения могут быть возможны. В частности, проблема компоновки осуществляется с использованием пакетов прикладных программ, которые моделируют воздействие радиации на приборы (с введением в программу определенных исходных данных) в результате которого определяются сроки службы приборов в условиях радиации и производится выбор наилучшей компоновки, обеспечивающей максимальный срок службы (рис. 2).

Библиографический список

1. Шахнович И.А. Современные технологии беспроводной связи. М.: Техносфера, 2006. 288 с.
2. А.Г. Козлов, В.В. Ходосов. Системы электропитания космических аппаратов. СПб., 2011. 105 с.
3. Матвеевский В.Р. Надежность технических систем: учеб. пособие. М.: Московский Государственный институт электроники и математики, 2002. 113 с.
4. Боровков В.В., Брисман Б.А и др. Радиационная стойкость органических материалов: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 272 с.

УДК 629.735.33

М. А. Дьяков, А. В. Шведов

студенты кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

О. В. Кириченко

старший преподаватель – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

Важными факторами при выполнении боевой задачи являются условия окружающей среды. Если не учитывать их при выполнении полетов и подготовки авиационной техники (АТ) к полетам, то возможно возникновение авиационного происшествия, которое может повлечь за собой серьезную поломку АТ. Практика применения АТ в условиях, отличающихся от аэродрома базирования, показала, что из-за влияния окружающей среды приходится использовать новые подходы к предполетному обслуживанию АТ. На данный момент отследить влияние высоких температур на подготовку АТ к полету можно на примерах войны в Афганистане.

Серьезным испытанием для АТ является влияние сухого жаркого климата на планер, оборудование и двигатель.

Если рассматривать производные сухого климата, то можно выделить следующие факторы:

- пыль,
- солнечная радиация,
- колебания температур атмосферного воздуха,
- повышенная влажность,
- биологические воздействия,
- сложный рельеф местности.

Частицы пыли в воздухе оказывают влияние на работу силовых установок воздушного судна (ВС) и воздействуют на движущиеся детали: лопасти несущего и рулевого винта вертолета, приводы отклоняемых поверхностей самолета, на механизацию стоек шасси.

Влияние частиц пыли и песка в воздухе на авиационный двигатель (АД) проявляется эрозией лопаток компрессора. Она приводит к износу профиля лопатки, что вызывает её недостаточное охлаждение и как следствие перегрев. Для защиты лопаток компрессора АД от пыли используются пылезащитные устройства (ПЗУ), которые устанавливаются перед воздухозаборниками газотурбинных двигателей вертолетов. Они предназначены для очистки воздуха, поступающего в двигатель, от пыли, песка и посторонних предметов во время руления, взлета и посадки вертолета на песчаных аэродромах и запыленных площадках с целью уменьшения абразивного износа элементов его проточной части. При установке ПЗУ следует учесть, что вес вертолета увеличивается на 50 кг, а центровка смещается вперед на 20 мм при нормальном взлетном весе. Также часовой расход топлива на крейсерской скорости полета вертолета с включенной системой ПЗУ увеличивается на 18 кг/ч, при этом величина крейсерской скорости полета остается неизменной.

При заправке ВС в пыльную бурю возможно попадание пыли в топливную систему, это приводит к преждевременному выходу из строя топливных фильтров. При попадании пыли в масляную систему изменяются свойства масла, что негативно сказывается на охлаждении подвижных деталей, происходит засорение воздушно-масляных радиаторов, все это приводит к повышению температуры масла. Также частицы пыли увеличивают трение между трущихся деталей, что приводит к уменьшению их ресурса и к росту температуры деталей. Совокупность роста температуры и недостаточного охлаждения масла приводит к перегреву элементов АД, главного, хвостового и промежуточного редуктора.

Во время пыльных бурь скорость ветра может достигать 20-25 м/сек, это способствует проникновению частиц пыли и песка в отсеки и оборудование ВС. При эксплуатации в условиях сухого климата рекомендуется частая замена смазки трущихся пар, а штоки стоек шасси рекомендуется не смазывать,

так как при низкой влажности воздуха и высоких температур хромированные детали не корродируют, а наличие смазки на штоке увеличивает количество пыли, которая может привести к механическим повреждениям стоек шасси и уменьшить их ресурс.

Следует отметить неблагоприятное влияние пыли и песка на электрические контакты: отказы радиостанции из-за загрязнения контакта кнопки «передачи», не полный отстрел неуправляемых и управляемых реактивных ракет вследствие попадания пыли на контактные кольца блоков управления ракет.

При зарядке ВС кислородом необходимо проверить зарядные штуцеры на наличие пыли, так как попадание частиц пыли может привести к внутренней негерметичности клапанов воздушной системы.

Приемник воздушного давления (ПВД) также следует проверять на чистоту, наличие пыли в ПВД может влиять на точность его работы, а в некоторых случаях вывести его из строя. Для обеспечения безотказной работы ПВД, необходимо после окончания полетов надевать на приемники специальные чехлы с красными флажками.

Пыль, соединяясь с влагой (выпадающей росой) образует агрессивную смесь, которая ускоряет возникновение коррозии практически на всех авиационных металлах и сплавах. Коррозия вызывает локальные ослабления в структуре детали, это может вызвать преждевременное ее разрушение, особенно критично такое явление в авиационных двигателях (АД). Лопатки компрессора АД подвержены инерционным и газовым нагрузкам. При возникновении коррозии на лопатке компрессора образуется ослабленный участок в ее структуре, который под действием нагрузок может привести к обрыву пера лопаток, это приводит к снижению газодинамической устойчивости АД, возникновению помпажа и даже к выходу из строя АД.

Именно высокие температуры атмосферного воздуха уменьшают запас двигателя по помпажу. Это может быть причиной заброса температуры выше допустимой и ухудшения приемистости двигателя.

Колебания температуры атмосферного воздуха по горизонтали и вертикали, а так же географическое местонахождение ВС и его положение по высоте существенно влияют на увеличение удельного и, следовательно, часового расхода топлива, что сказывается на снижении дальности и продолжительности полета.

Помимо коррозии на целостность лакокрасочных покрытий и смазочных материалов влияет и солнечная радиация. Солнечная радиация – это электромагнитное и корпускулярное излучение Солнца. Следует отметить, что солнечная радиация не относится к ионизирующему излучению. В результате действия солнечной радиации на АТ:

- происходит старение материалов обшивки фюзеляжа,
- ухудшаются защитные свойства лакокрасочных покрытий,
- уменьшается вязкость смазочных материалов, и как следствие увеличивается износ подвижных элементов самолетных систем.

В горной местности, когда высота полета близка к высоте гор, условия самолетовождения усложняются. При этом заметно ухудшаются условия визуальной ориентировки, сокращается дальность действия радиотехнических средств и видимость световых ориентиров, появляется стесненность маневрирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Зона просмотра местности при полетах в горах из-за зон закрытия и невозможности наблюдения обратных склонов гор значительно сокращается.

Длинноволновые и коротковолновые радиостанции могут быть подвержены «горному эффекту». Сущность «горного эффекта» состоит в том, что электромагнитные волны, отражаясь от неровностей земной поверхности (гор, холмов), интерферируют с полем прямой волны радиостанции и искажают его.

При выполнении полетов в замкнутых долинах и ущельях может возникнуть опасная ситуация, когда при сужении долины ВС не сможет развернуться, ни набрать высоту, с тем, чтобы преодолеть горный хребет или перевал, поэтому в процессе предварительной подготовки экипаж тщательно изучает рельеф местности в полосе не менее ± 50 км от линии заданного пути, направления ущелий и

горных долин, господствующие высоты, вычерчивает профиль рельефа местности вдоль маршрута, наносит ограничительные радиопеленги.

Кроме того, причиной для авиационного инцидента могут быть птицы. Столкновение ВС с птицами происходит чаще всего при взлете и посадке, то есть вблизи аэродромов. При попадании птицы в двигатель, наибольшие повреждения получает компрессор. Характер и значительность повреждений компрессора АД зависят от:

- скорости полета птицы и ВС,
- размеров и массы птицы,
- от прочности элементов компрессора.

При попадании птицы в двигатель возможны следующие последствия:

• потеря газодинамической устойчивости, без существенных механических повреждений компрессора АД,

- механические повреждения лопаток компрессора АД.

Для повышения работоспособности АД при попадании в него птицы на сегодняшний день создаются противопомпажные системы и усиливаются элементы компрессора АД.

Вывод: основными факторами, влияющими на техническую и летную эксплуатацию авиационной техники в условиях сухого жаркого климата, являются пыль и перепады температуры, которые приводят к образованию конденсата на узлах и деталях авиационной техники. В таких условиях необходим тщательный контроль коррозии на деталях ЛА, и проверка частоты контактов и подвижных деталей на предмет нахождения пыли. В данных условиях эксплуатации авиационной техники необходимо строгое соблюдение руководств по эксплуатации и техническому обслуживанию АТ.

Библиографический список

1. Барашков А.А., Куклев А.В. Анализ факторов, влиявших на эксплуатацию авиационной техники и личный состав частей ВВС 40-й армии в Афганистане (1979-1989)// Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1.
2. Афганская арена. Орлы Афганистана в первые годы войны. Часть 4. Авиация в Афганистане. Борьба на земле за живучесть в воздухе. Особенности эксплуатации авиационной техники в условиях Афганистана.
3. Александров В. Г., Выржиковский Б. В., Галенко В. Г. и др. Техническая эксплуатация авиационной техники. М.: Военное издательство, 1967. 416 с.
4. Белкин А. М., Миронов Н. Ф., Рублев Ю. И., Саранский Ю. Н. Воздушная навигация: справочник. М.: Транспорт, 1988. 303 с.

УДК 629.73.015

М.А. Дьяков

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Р.Н. Кокочкин

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

М.Е. Тихомиров

доцент – научный руководитель

ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА ПРИ ПОЛЕТЕ НАД ЗОНОЙ ЗАДЫМЛЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

По данным Федерального агентства лесного хозяйства на территории Российской Федерации за 2016 год было зарегистрировано 11025 лесных пожаров общей площадью 2658999 гектар. Для тушения очагов возгорания используются самолеты Бе-200ЧС и Ил-76ТД, оснащенных выливным авиационным прибором ВАП-2. При тушении с воздуха необходимо производить сброс воды на оптимальной высоте для большей эффективности, если высота будет выше необходимой, то вода долетит до земли в виде водяной пыли, которая менее эффективно борется с пламенем [1]. Для выливного авиационного прибора ВАП-2 значение оптимальной высоты составляет 80 метров. При таких условиях экипажу самолета приходится находиться в зоне малой видимости (задымления) и в зоне высоких температур. Над зоной пожара образуется дым, из-за этого меняется плотность и состав газовой среды, что может повлиять на аэродинамику самолета и работу авиационных двигателей.

При расчетах плотности газовой смеси примем температуру над пожаром на высоте 80 метров равной двум значениям: 350К и 400К. Выбор нескольких значений температур обусловлен непостоянством протекания процессов в лесных пожарах и различными условиями внешней среды. Более точные значения температур могут быть получены путем изучения лесных пожаров и замера температур в зоне задымления. Определения плотности газовой среды в зоне задымления будет определяться в несколько этапов:

1. Определение выхода газообразных продуктов сгорания в процентном соотношении относительно удельной массы горючего вещества (на примере березы и сосны).
2. Расчет плотности газообразных продуктов сгорания в зависимости от заданных температур (350К и 400К).
3. Расчет суммарной плотности газообразных продуктов сгорания (дыма).
4. Расчет плотности газовой смеси (дыма и воздуха).

[4] Для определения выхода газообразных продуктов сгорания воспользуемся данными по составу химических веществ, при сухой перегонки абсолютно сухой березы и сосны (табл. 1). Древесина берется абсолютно сухой, чтобы точнее проследить газовую фазу сгорания вещества.

Расчет плотности газовой смеси будет производиться по формуле

$$\rho_{\text{см}} = (\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2 + \dots + \rho_n V_n) / (V_1 + V_2 + \dots + V_n), \quad (1)$$

где ρ_n – плотность газа в составе смеси, V_n - объем занимаемый газом.

Объем газа найдем по формуле:

$$V_n = m_n / \rho_n, \quad (2)$$

где m_n – масса газа, выделившегося при сухой перегонке.

При расчете объема необходимо учесть изменение плотности газа в зависимости от температуры. Плотность природных газов берется согласно стандартам ГСССД 96-86 (для CO_2), ГСССД 47-83 (для C_2H_4), ГСССД 195-01 (для CH_4). Одной из проблем при расчете является недостаток данных по плотности газов в диапазоне рассматриваемых температур, то есть отсутствие единого шага температуры в табличных данных, приведенных в стандартах. Также существует проблема, связанная с процес-

сом окисления угарного газа (CO), при высоких температурах он вступает в реакцию с кислородом, находящимся в составе воздуха, и является в реакции восстановителем:

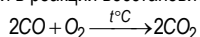


Таблица 1

Сведения о составе химических веществ, получаемых при сухой перегонке абсолютно сухой древесины и ее компонентов, % масс

Продукты сухой перегонки	Береза сухая	Сосна сухая
Уголь древесный	34,6	41,1
Газы:		
CO ₂	10,8	11,0
C ₂ H ₄	0,21	0,25
CO	3,61	4,07
CH ₄	0,59	0,64
Метиловый спирт	1,74	0,96
Ацетон	0,21	0,20
Метилацетат	0,02	0,01
Уксусная кислота	7,70	3,80
Смола	8,62	12,8
Прочие органические вещества	8,86	8,72
Вода	21,5	15,5

Из-за этого точный состав газовой смеси в зоне задымления лесного пожара определить сложно, так как процессы непостоянны, поэтому в дальнейших расчетах будем считать, что при температуре 350K угарный газ присутствует в составе газовой смеси в полном объеме, а при температуре 400K он полностью преобразуется в CO₂.

Для расчета массы газов будем использовать данные о сухой перегонке сосны (сухой), так как значения для сухой березы и сосны практически одинаковые, а выход газообразных продуктов сгорания для сосны (сухой) больше.

Таблица 2

Масса газов, выделившихся при сухой перегонке сосны (сухой)

	CO ₂	C ₂ H ₄	CO	CH ₄
m _г , кг	0,11	0,0025	0,0407	0,0064

Плотность газов в зависимости от температуры определяем согласно стандартам ГСССД.
При T=350K:

Таблица 3

Плотность газов при T=350K

	CO ₂	C ₂ H ₄	CO	CH ₄
ρ _г , кг/м ³	1,517	0,952	0,9675	0,5518

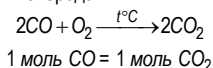
Зная массу, рассчитаем объем, занимаемый газообразными продуктами сгорания сосны (сухой).

Таблица 4

Объем газов, выделившихся при сухой перегонке сосны (сухой) и при T=350K

	CO ₂	C ₂ H ₄	CO	CH ₄
V _п , м ³	0,0725	0,0026	0,0421	0,0116

При T=400K в расчет не берется CO, так как предполагается, что он в полном объеме вступает в реакцию с кислородом, входящим в состав воздуха. Учитывая данное предположение, рассчитаем теоретическую массу продукта реакции CO и кислорода:



Молярные массы CO и CO₂:

$$M(CO) = 28,0101 \text{ г / моль}$$

$$M(CO_2) = 44,01 \text{ г / моль}$$

Находим количество вещества реагента:

$$\nu(CO) = m(CO) / M(CO) = 0,0407 \cdot 10^3 / 28,0101 = 1,453 \text{ моль}$$

По уравнению химической реакции (УХР) вычислим теоретическое количество вещества ($\nu_{теор.}$) и теоретическую массу ($m_{теор.}$) продукта реакции:

$$\nu_{теор.} = \frac{\nu(CO)}{\nu(CO_2)} = \frac{1}{1} \Rightarrow \nu(CO_2) = 1,453 \text{ моль}$$

$$m_{теор.} = \nu(CO_2) \cdot M(CO_2) = 1,453 \cdot 44,01 = 63,95 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

Согласно расчетам теоретической массы продукта реакции находим суммарную массу CO₂:

$$m(CO_2) = 0,11 + 0,06395 = 0,17395 \approx 0,174 \text{ кг}$$

Для дальнейших расчетов потребуется плотность газов при T=400K. Плотность берется согласно стандартам ГСССД.

Таблица 5

Плотность газов при T=400K

	CO ₂	C ₂ H ₄	CH ₄
ρ_n , кг/м ³	1,326	0,8455	0,4826

Определив суммарную массу CO₂, рассчитаем объем газов по формуле (2).

Таблица 6

Объем газов, выделившихся при сухой перегонке сосны (сухой) и при T=400K

	CO ₂	C ₂ H ₄	CH ₄
V _п , м ³	0,1312	0,0030	0,0133

Газовая смесь в зоне задымления состоит из газообразных продуктов сгорания топлива (сухой сосны) и воздуха, поэтому для дальнейшего расчета плотности газовой смеси потребуется плотность воздуха при заданных температурах (табл. 7).

Таблица 7

Плотность воздуха при заданных температурах

	350K	400K
$\rho_B, \text{кг/м}^3$	1,000	0,876

[5] Также необходимо учесть объем и массу воздуха необходимый для горения одного килограмма дерева. Для горения сухой древесины необходимо 5,9 килограмм воздуха. Зная необходимую массу, найдем объем воздуха при заданных температурах (табл. 8).

Таблица 8

Объем воздуха, необходимый для горения одного килограмма древесины, при заданных температурах

	350K	400K
$V_n, \text{м}^3$	5,900	6,735

Зная плотность и объемы всех составляющих газовой смеси, рассчитаем ее плотность по формуле (1) для температуры 350K и 400K (табл. 9).

Таблица 9

Плотность газовой смеси при заданных температурах

	350K	400K
$\rho_{CM}, \text{кг/м}^3$	1,005	0,884

Сравнивая данные плотности воздуха (табл. 7) и расчетные значения плотности смеси (табл. 9), можно сделать вывод, что газы, выделяющиеся при сгорании древесины, незначительно повышают плотность газовой среды, при температуре 350K плотность смеси больше плотности воздуха на 0,5%, а при температуре 400K на 0,91%. Основное влияние на плотность газовой смеси оказывает высокая температура. Изменение плотности смеси можно приравнять к изменению плотности воздуха в зависимости от температуры. Для оценки влияния плотности смеси на летные характеристики самолета рассмотрим формулу расчета подъемной силы (Y_a):

$$Y_a = C_{ya} \cdot \frac{\rho V^2}{2} S, \quad (3)$$

где C_{ya} – коэффициент подъемной силы; ρ – плотность воздуха (газовой смеси); V – скорость полета; S – характерная площадь самолета (площадь крыла).

Если задать условия, что самолет летит с постоянным углом атаки и с постоянным положением закрылок, то подъемная сила будет зависеть только от плотности газовой смеси (ρ) и скорости полета (V), так как коэффициент подъемной силы и площадь крыла будут неизменными по принятым условиям. Если плотность смеси изменилась в n раз, тогда для сохранения подъемной силы необходимо увеличить скорость полета в \sqrt{n} раз. Также высокая температура газовой смеси влияет на режим ра-

боты авиационного двигателя (АД). Температура перед камерой сгорания в АД будет выше расчетной, процесс горения воздушно-топливной смеси в камере сгорания будет протекать иначе, возможно повышение температуры потока газов направленных из камеры сгорания на турбину АД, что может привести к изменению физических свойств лопаток колеса турбины. При изменении состава и температуры газовой смеси, поступающей в камеру сгорания, возможно неполное сгорание топлива, что может стать причиной накопления топливных паров в камере сгорания и частях АД, это может привести к помпажу двигателя или его возгоранию.

Вывод: плотность газовой смеси в зоне задымления практически не отличается от плотности воздуха при аналогичных температурах. Основное влияние на изменение плотности газовой смеси оказывает температура. Для точной оценки влияния газовой смеси в зоне задымления лесного пожара на летные характеристики самолета необходимы экспериментальные измерения состава газовой смеси в зоне задымления и ее температуры на разных высотах над лесным пожаром.

Библиографический список

1. МЧС России [электронный ресурс]. URL: <http://www.mchs.gov.ru/document/219065> (22.03.2017)
2. *Варгафтик Н.Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972. 720 с.
3. *Чиркин В.С.* Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М.: Атомиздат, 1967. 474 с.
4. *Хошев Ю.М.* Дровяные печи. Процессы и явления. М., 2014. 392 с.
5. *Архипов В.А., Синогина Е.С.* Горение и взрывы. Опасность и Анализ последствий: учеб. пособие. ТГПУ: Изд-во Томского Государственного Педагогического Университета. 2007. 124 с.

УДК 004.021

А. С. Евдокимов

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

К. Н. Рождественская

ассистент – научный руководитель

ОБЗОР АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ МАРШРУТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПУТЕЙ В СЕТИ SPACEWIRE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ PLUG-AND-PLAY

Для увеличения пропускной способности сети SpaceWire и повышения ее надежности может использоваться альтернативная маршрутизация. Она позволяет передавать пакеты по сети через альтернативные каналы, связывающие коммутаторы SpaceWire. Для передачи данных можно использовать любой свободный канал. SpaceWire позволяет соединять соседние элементы сети (узлы и маршрутизаторы) неограниченным числом каналов, тем самым создавая избыточность коммутационной сети для увеличения отказоустойчивости информационно-вычислительных систем и комплексов бортового оборудования (КБО) в целом [1].

Альтернативные каналы в сетях используются двумя способами:

1. В режиме резервирования, когда один из каналов функционирует, а остальные находятся в «горячем» резерве для замены отказавшего соединения. В этом случае улучшается только одна характеристика сети – работоспособность (*надёжность*).

2. В режиме баланса нагрузки. При этом данные могут передаваться параллельно по всем альтернативным соединениям, что позволяет повысить и производительность, и работоспособность [2].

Для организации альтернативных каналов требуются протоколы и алгоритмы маршрутизации, выходящие за рамки базовых.

Глобально методы маршрутизации можно разделить на три типа:

1. Фиксированная (статическая) маршрутизация.
2. Фиксированная альтернативная маршрутизация.
3. Адаптивная (динамическая) маршрутизация [3].

При использовании фиксированной маршрутизации для установки соединения между парой источник–приёмник используется заранее определенный маршрут. Как правило, этот маршрут является кратчайшим путем. Достоинством такого подхода является отсутствие потребности в сборе информации о состоянии сети, а также, отсутствие таблиц маршрутизации, которых, как правило, нет или таблицы являются очень примитивными (они не передают никакой маршрутной информации). Экономия ресурсов выливается в основной недостаток статической маршрутизации: при невозможности установок соединения по фиксированному маршруту запрос на установку соединения блокируется. Ниже представлены самые распространенные алгоритмами, относящиеся к фиксированному типу маршрутизации:

- а) алгоритмы случайной маршрутизации – в данном алгоритме узел посылает пакет в случайном направлении (порт);
- б) лавинная маршрутизация (алгоритмы заполнения) – пакеты посылаются во все выходные направления (порты);
- в) алгоритмы скорейшей передачи (алгоритм горячей картошки) – как только маршрутизатор получает пакет – он старается скорее его отослать;
- г) алгоритмы кратчайшей очереди (наименьшей загрузки) – пакет передаётся в порт, который наименее загружен;
- е) алгоритм по предыдущему опыту – алгоритм использующий примитивную таблицу маршрутизации, которая содержит запись, дублирующую предыдущую передачу.

В случае фиксированной альтернативной маршрутизации для установки соединения используется список фиксированных кратчайших маршрутов. Вначале алгоритм производит установку соединения по первому маршруту в списке. Если данный маршрут занят, то установка соединения происходит по следующему маршруту в списке. Недостаток такого подхода аналогичен предыдущему: если все маршруты, содержащиеся в списке, заняты или недоступны, то запрос блокируется.

Адаптивная маршрутизация находит маршрут для заданного запроса установки соединения динамически, однако для этого необходимы мониторинг и учет текущего состояния сети. Преимуществом данного подхода является гибкость и низкий уровень вероятности блокировки по сравнению с методами, которые приведены выше. Таким образом, наиболее целесообразным является использование адаптивной маршрутизации [4].

Адаптивная маршрутизация отличается тем, что принятие решения о направлении передачи пакетов осуществляется с учетом изменения как топологии, так и нагрузки сети. Существует несколько модификаций адаптивной маршрутизации, различающихся тем, какая именно информация используется при выборе маршрута. Наибольшее распространение получили следующие модификации: локальная, распределенная, централизованная и гибридная адаптивные маршрутизации.

Локальная адаптивная маршрутизация основана на использовании информации, имеющейся в данном узле и включающей: таблицу маршрутов, которая определяет все направления передачи пакетов из этого узла; данные о состоянии выходных линий связи (работают или не работают); длину очереди пакетов, ожидающих передачи. Информация о состоянии других узлов связи не используется. Таблица маршрутов определяет кратчайшие маршруты, обеспечивающие доставку пакета адресату за минимальное время. Преимущество такого метода состоит в том, что принятие решения о выборе маршрута производится с использованием самых последних данных о состоянии узла. Недостаток метода в его «близорукости», поскольку выбор маршрута осуществляется без учета глобального состояния всей сети. Следовательно, всегда есть опасность передачи пакета по перегруженному маршруту.

Распределенная адаптивная маршрутизация основана на использовании информации, указанной для локальной маршрутизации, и данных, получаемых от соседних узлов сети. В каждом узле формируется таблица маршрутов (каталог) ко всем узлам назначения, где указываются маршруты с минимальным временем задержки пакетов. До начала работы сети это время оценивается исходя из топологии сети. В процессе работы сети узлы периодически обмениваются с соседними узлами, так называемыми таблицами задержки, в которых указывается нагрузка (длина очереди пакетов) узла. После обмена таблицами задержки каждый узел перерасчитывает задержки и корректирует маршруты с учетом поступивших данных и длины очередей в самом узле. Обмен таблицами задержки может осуществляться не только периодически, но и асинхронно в случае резких изменений нагрузки или топологии сети. Учет состояния соседних узлов при выборе маршрута существенно повышает эффективность алгоритмов маршрутизации, но это достигается за счет увеличения загрузки сети служебной информацией. Кроме того, сведения об изменении состояния узлов распространяются по сети сравнительно медленно, поэтому выбор маршрута производится по несколько устаревшим данным.

Централизованная адаптивная маршрутизация характеризуется тем, что задача маршрутизации для каждого узла сети решается в центре маршрутизации (ЦМ). Каждый узел периодически формирует сообщение о своем состоянии (длине очередей и работоспособности линий связи) и передает его в ЦМ. По этим данным в ЦМ для каждого узла составляется таблица маршрутов. Естественно, что передача сообщений в ЦМ, формирование и рассылка таблиц маршрутов – все это сопряжено с временными задержками, следовательно, с потерей эффективности такого метода, особенно при большой пульсации нагрузки в сети. Кроме того, есть опасность потери управления сетью при отказе ЦМ.

Гибридная адаптивная маршрутизация основана на использовании таблиц маршрутов, рассылаемых ЦМ узлам сети, в сочетании с анализом длины очередей в узлах. Следовательно, здесь реализуются принципы централизованной и локальной маршрутизации. Гибридная маршрутизация компенсирует недостатки централизованной маршрутизации (маршруты, формируемые центром, являются несколько устаревшими) и локальной («близорукость» метода) и воспринимает их преимущества: маршруты центра соответствуют глобальному состоянию сети, а учет текущего состояния узла обеспечивает своевременность решения задачи [5].

По виду информации, которой обмениваются маршрутизаторы, можно выделить две группы, каждая из которых связана с одним из следующих типов алгоритмов [6]:

1. Дистанционно-векторные алгоритмы (Distance Vector Algorithm, DVA).
2. Алгоритмы состояния каналов (Link State Algorithm, LSA).

В алгоритмах дистанционно-векторного типа каждый маршрутизатор периодически и широкоэшелательно рассылает по сети вектор, компонентами которого являются расстояния от данного маршрутизатора до всех известных ему сетей. Под расстоянием обычно понимается число транзитных узлов. Метрика может быть и иной, учитывающей не только число промежуточных маршрутизаторов, но и время прохождения пакетов между соседними маршрутизаторами или надежность путей.

Дистанционно-векторные алгоритмы хорошо работают только в небольших сетях. В крупных же они загружают линии связи интенсивным широкоэшелательным трафиком. Изменения конфигурации обрабатываются по этому алгоритму не всегда корректно, так как маршрутизаторы не имеют точного представления о топологии связей в сети, а располагают только обобщенной информацией – вектором расстояний, – к тому же полученной через посредников. Работа маршрутизатора в соответствии с дистанционно-векторным протоколом напоминает работу моста, так как точной топологической картины сети такой маршрутизатор не имеет. Наиболее распространенным протоколом на базе дистанционно-векторного алгоритма является протокол RIP.

Основные недостатки дистанционно-векторных алгоритмов:

1. Плохая адаптация к отказам маршрутизаторов, интерфейсов, подсетей.
2. Возможность возникновения маршрутных петель.
3. Данный алгоритм используется для небольших сетей.

Алгоритмы состояния каналов позволяют каждому маршрутизатору получить достаточную информацию для построения точного графа связей сети. Все маршрутизаторы работают на основании одинаковых графов, в результате процесс маршрутизации оказывается более устойчивым к изменениям конфигурации. «Широкоэшелательная» рассылка (т. е. передача пакета всем ближайшим соседям маршрутизатора) производится здесь только при изменениях состояния связей, что в надежных сетях происходит не так часто. Вершинами графа являются как маршрутизаторы, так и объединяемые ими сети. Распространяемая по сети информация состоит из описания связей различных типов: маршрутизатор-маршрутизатор, маршрутизатор-сеть.

Для того чтобы понять, в каком состоянии находятся линии связи, подключенные к его портам, маршрутизатор периодически обменивается короткими пакетами со своими ближайшими соседями. Этот служебный трафик также засоряет сеть, но не в такой степени, как, например, пакеты RIP, из-за намного меньшего объема.

Примерами протоколов на базе алгоритма состояния связей могут служить IS-IS (Intermediate System to Intermediate System) стека OSI, OSPF (Open Shortest Path First) стека TCP/IP и протокол NLSP стека Novell.

Следует заметить, что для нахождения маршрутов для формирования альтернативных путей можно применить обширный математический аппарат. Так, наиболее известным решением задачи выбора оптимального маршрута в случае альтернативной маршрутизации является метод отклонения (девиации) потока, частный случай метода Франка-Вольфе [7].

В заключение, следует отметить, что на данный момент протокол SpaceWire с использованием технологии Plug-and-Play предусматривает поддержку одного из видов альтернативной маршрутизации: групповую адаптивную маршрутизацию. Текущая реализация альтернативной маршрутизации, не смотря на название, относится к фиксированной альтернативной маршрутизации, что не позволяет в полной мере использовать все возможности и ресурсы сети. Несмотря на то, что групповая адаптивная маршрутизация обеспечивает в некоторой мере надежность сети, для увеличения производительности необходимо выбрать или разработать другой протокол.

Из всех рассмотренных алгоритмов для повышения как надежности, так и производительности, следует рассматривать лишь адаптивные (динамические) алгоритмы маршрутизации. Из представленных выше модификаций, наиболее подходящими будут централизованные (в качестве центра маршрутизации будет выступать менеджер) и гибридные алгоритмы адаптивной маршрутизации. Поскольку

протокол SpaceWire не ограничивает размер сети, то было бы логично использовать алгоритмы состояния каналов как базу для передачи служебной информации о состоянии сети.

Библиографический список

1. Шейнин Ю., Солохина Т., Петричкович Я. Технология spacewire для параллельных систем и бортовых распределенных комплексов // Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 5 изд. / 2006 С. 64-75.
2. Платунова С.М. Методы проектирования фрагментов компьютерной сети: учеб. пособие. ИТ-МО, СПб., 2012.
3. Сети ЭВМ и средства телекоммуникаций, URL: <https://sites.google.com/site/gosyvmkss12/ceti-ebm-i-spedctva-telekommunikacij/14-klassifikacia-algoritmov-marsrutizacii>
4. Zang N., Jue J. P., Mukherjee B. A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical networks. Optical Network Magazine, 2000, No 1, pp. 47-60.
5. СГА Информатика: Сети ЭВМ и телекоммуникаций, URL: <http://sga-informatika.ru/1006012/232-102-routing-methods.html>
6. Протоколы маршрутизации. Информационные технологии, URL: http://wiki.ru/sites/informatsionnye_tekhnologii/articles-12946.html
7. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. М.: Техносфера, 2003. С.314-321.

УДК 620.179.16

Д.А. Зеленцова

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Г. Никитин

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВОК НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В настоящее время ультразвуковая контрольно-измерительная аппаратура находит применение в самых различных областях науки и техники. При этом одним из основных узлов любой установки, предназначенной для использования в названных целях, является электроакустический преобразователь. Для его создания возможно использование различных физических принципов, однако наибольшее распространение в наши дни получили преобразователи пьезоэлектрического типа. В зависимости от требований, предъявляемых к аппаратуре, с их помощью преобразуются различные сигналы, которые могут отличаться по форме, амплитуде, спектральному составу. Это, в свою очередь, вызывает необходимость формулировки требований к частотному и динамическому диапазонам преобразователей. В частности, при исследовании физических свойств материалов преобразователи выполняют важные функции, необходимые для решения спектрометрических задач. Многие ультразвуковые измерительные системы, особенно используемые в ультразвуковой дефектоскопии должны быть широкополосными.

Одними из важнейших характеристик пьезоэлектрического преобразователя являются длительность и амплитуда излучаемого импульса. В данной работе будет показано, как изменяются эти показатели от удельного акустического сопротивления согласующего четвертьволнового слоя при различных степенях демпфирования пьезоэлектрического преобразователя. Другими словами, как конструкция ПЭП влияет на указанные выше характеристики.

Имеется пьезопластина, возбуждаемая электрическим напряжением $U(t)$, которая через согласующий четвертьволновый слой с удельным акустическим сопротивлением Z_n нагружена на воду. Тыльная сторона пластины в качестве акустической нагрузки имеет демпфер с удельным акустическим сопротивлением Z_d . Рабочей средой является вода (рис. 1)

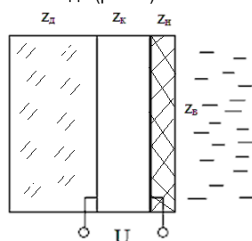


Рис. 1. Конструкция ПЭП

Рассмотрим случай, когда пьезокерамическая пластина с одной стороны нагружена на жидкость (воду), а с другой, «тыльной стороны», соприкасается с воздухом, то есть $Z_d=0$. Так на рисунке 2 представлена форма импульса колебательной скорости при $Z_n=2,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$. Из рисунка видно, что длительность по уровню -20 дБ составляет 18,9 полупериода. Максимальное значение $V_{\text{max}}=4,937$ (в условных единицах). Увеличение Z_n до значения $3,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ приводит к снижению импульса до 10,1

полупериода, $V_{\max}=5,574$ (рис. 3). При $Z_H=4,2 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$, $\tau_H=8$ полупериода, $V_{\max}=5,901$ (рис. 4). Дальнейшее увеличение Z_H приводит к увеличению длительности импульса. Так на рис. 5 при $Z_H=5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$, $\tau_H=12,2$ полупериодов, $V_{\max}=6,031$.

Следовательно, при $Z_H=4,2 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$ достигается оптимальное значение удельного акустического сопротивления слоя.

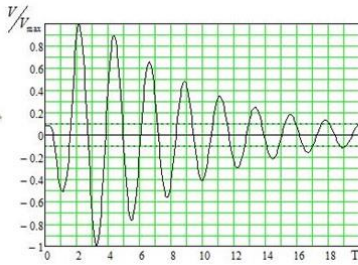


Рис. 2. $Z_H=2,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$



Рис. 3. $Z_H=3,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$

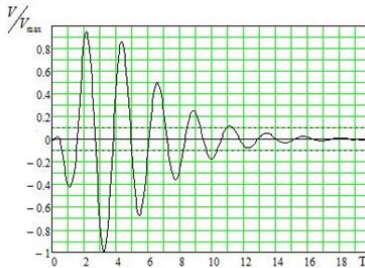


Рис. 4. $Z_H=4,2 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$



Рис. 5. $Z_H=5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$

Представляет интерес исследование подобной зависимости, но при наличии демпфера с различными степенями демпфирования. В качестве примера приведены графики для случая, когда $Z_d=6$. Так, на рис. 6 представлена форма импульса колебательной скорости при $Z_H=1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$. Из рисунка видно, что длительность по уровню -20 дБ составляет 11 полупериода. Максимальное значение $V_{\max}=2,854$ (в условных единицах). Увеличение Z_H до значения $3,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$ (рис. 7) приводит к снижению импульса до 7,8 полупериода, $V_{\max}=4,442$. При $Z_H=4,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$ (рис. 8), $\tau_H=6,3$ полупериода, $V_{\max}=4,695$. Дальнейшее увеличение Z_H приводит к увеличению длительности импульса. Так на рис. 9 при $Z_H=4,8 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{М}}$, $\tau_H=8,9$ полупериодов, $V_{\max}=4,791$.

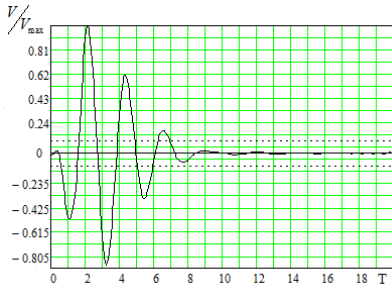


Рис. 6. $Z_{\text{н}}=1,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

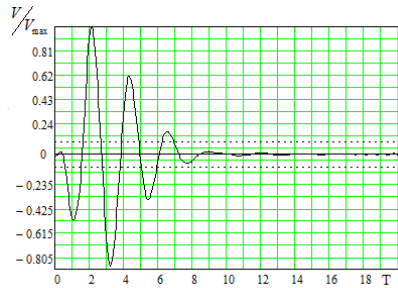


Рис. 7. $Z_{\text{н}}=3,5 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

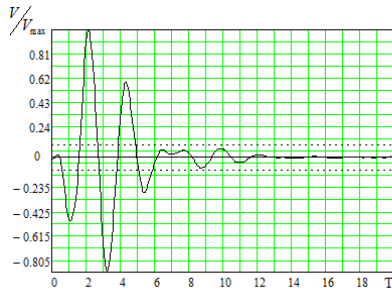


Рис. 8. $Z_{\text{н}}=4,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

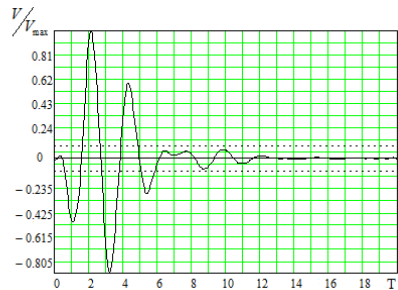


Рис. 9. $Z_{\text{н}}=4,8 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$

Далее приведены графики зависимостей длительности акустического импульса от удельного акустического сопротивления слоя при различных степенях демпфирования и амплитуды излучаемого импульса от удельного акустического сопротивления слоя при различных степенях демпфирования (рис. 10 и 11).

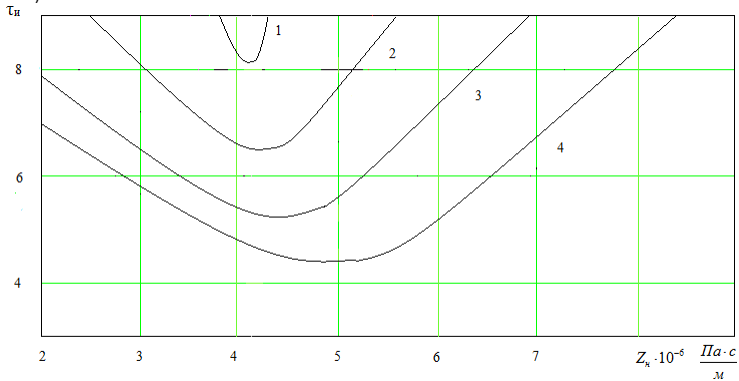


Рис. 10. Графики зависимостей длительности акустического импульса от удельного акустического сопротивления слоя при различных степенях демпфирования

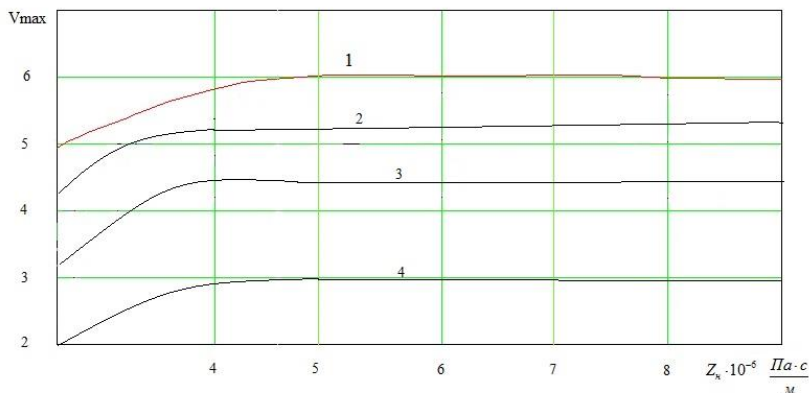


Рис. 11. Графики зависимостей амплитуды излучаемого импульса от удельного акустического сопротивления слоя при различных степенях демпфирования

Из рис. 11 видно, что в случае отсутствия демпфера (кривая 1) значение удельного акустического сопротивления слоя, при котором достигается минимально короткий импульс (примерно 7,8 полупериодов) составляет $Z_n = Z_{opt} = 4,2$. При этом указанная длительность импульса соответствует очень узкому диапазону значений Z_n . По мере увеличения Z_d отмечается расширение указанной области значений Z_n .

Ограничение рассматриваемого диапазона возможных значений Z_d величиной $9 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$ определено реальными значениями степеней демпфирования, которые достигаются при изготовлении демпферов на эпоксидной основе с наполнителем из порошка вольфрама.

Так кривой 1 соответствует $Z_d = 0$ (демпфер отсутствует), 2 – $Z_d = 3 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$, 3 – $Z_d = 6 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$, 4 – $Z_d = 9 \cdot 10^6 \frac{\text{Па} \cdot \text{с}}{\text{м}}$.

Зависимость максимальной амплитуды импульса колебательной скорости V_{max} от значений Z_n представлена на рис. 11 в относительных единицах.

Таким образом, в настоящей работе исследованы характеристики (длительность и амплитуда) пьезопреобразователя в виде пластины с демпфером и согласующим слоем. В качестве акустической нагрузки выбрана водная среда. Исследование проводилось на основе разработанного математического аппарата, позволяющего определить форму импульса на выходе пьезопреобразователя при его возбуждении электрическим напряжением в виде полупериода синусоиды на частоте равной собственной частоте пластины. Было определено оптимальное значение удельного акустического сопротивления накладки, при котором достигалась минимальная длительность излучаемого импульса. Чем меньше длительность, тем точнее обнаружение дефекта. Также было исследовано влияние различных степеней демпфирования. Можно сделать вывод, что при отсутствии демпфера даже достаточно малые изменения параметра Z_n (на величину примерно $\pm 4\%$) ведут к увеличению длительности импульса по сравнению с минимальной его длительностью в 7,8 полупериода. С ростом Z_d влияние становится менее критичным, а, следовательно возможно более точное обнаружение дефекта.

Библиографический список

1. Алёшин Н.П., Белый В.Е., Волпилкин А.Х. Методы акустического контроля металлов. М.: Машиностроение, 1989.
2. Голубев А.С. Преобразователи ультразвуковых дефектоскопов. Л.: ЛЭТИ, 1986.
3. Ермолов И.Н., Гитис М.Б., Королёв М.В. Ультразвуковые пьезопреобразователи для неразрушающего контроля. М.: Машиностроение, 1986.
4. Гитис М.Б. Преобразователи для импульсной ультразвуковой дефектоскопии. Основные теоретические положения (обзор) // Дефектоскопия. 1981. №2. С. 65-84.

УДК 681.51

С. А. Иванова

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

В настоящее время создание средств автоматизации расчетов является актуальной задачей. В учебной деятельности такие средства могут применяться не только для получения информации, но и для проверки знаний или правильности ручных расчетов. В Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения на кафедре аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов для выполнения лабораторных и курсовых работ по дисциплинам «Информационно-статистическая теория измерений» и «Комплексование» студенты пользуются набором программ, созданным до появления ряда современных версий операционной системы Windows. Со временем корректная работа этих программ без установки дополнительного программного обеспечения (ПО) на большинстве компьютеров стала невозможной из-за несовместимости с современными версиями операционной системы Windows. Более того, эти программы не связаны между собой и отсутствует руководство по их использованию, что не позволяет студенту самостоятельно разобраться в особенностях их применения. В связи с этим потребовалось разработать новый программный продукт, специально предназначенный для изучения методов обработки измерительной информации с целью повышения уровня знаний студентов.

На основе широкого класса линейных алгоритмов фильтрации и классификации навигационных сигналов реализовано ПО в виде приложения, работающего в последних версиях операционной системы Windows. Данное ПО было разработано в среде Microsoft Visual Basic 6.0 на языке программирования Visual Basic. К основным возможностям этого языка можно отнести реализацию гибкого и удобного интерфейса для приложения, обработку событий мыши и клавиатуры, работу с графикой, обработку файлов и каталогов на жестком диске, а также возможность внедрения в приложение различных объектов, поддерживающихся другими программами.

С помощью разработанной программы можно проводить сравнительный анализ различных видов алгоритмов фильтрации классификации сигналов, а также производить рациональный выбор наиболее подходящего из них для дальнейшего использования. На данный момент в ПО реализованы линейные оптимальные и оптимально-инвариантные алгоритмы оценки полезного сигнала комплексной системы, состоящей из двух измерителей, и классификации сигналов по критериям В. А. Котельникова и Неймана-Пирсона. В разработанном ПО решаются задачи синтеза и анализа алгоритма оценки полезного сигнала измерительной системы. С помощью программы можно анализировать не только качественные характеристики линейных безынерционных и инерционных комплексных систем, но и такие свойства, как робастность и помехозащищенность.

В этой работе измерения описываются линейной моделью с аддитивной погрешностью, некоррелированной с полезным сигналом [1]:

$$Y_i(t) = R_j X(t) + H_i(t),$$

где $i = 1, 2$ – номер канала измерения; $Y(t)$ – вектор результатов измерений с размерностью 2×1 ; $X(t)$ – значение полезного сигнала (ПС) в момент времени t ; R – вектор масштабных коэффициентов с размерностью 2×1 ; $H(t)$ – вектор аддитивных погрешностей измерений (ПИ) размерностью 2×1 .

Исходными данными для синтеза оценки полезного сигнала в общем случае являются моменты полезного сигнала и помехи, а для классификации – пороговые значения входного сигнала и законы распределения полезного сигнала и помехи. В качестве критерия оптимальности или показателя качества системы выбран критерий минимума среднего квадрата ошибки оценки.

На данный момент в разработанном ПО реализованы линейные безынерционные и инерционные алгоритмы оценки сигналов. Безынерционные алгоритмы можно проклассифицировать в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1. Указанные разновидности безынерционных алгоритмов применены для получения оценки полезного сигнала в комплексной системе, состоящей из двух измерителей и контрольной аппаратуры (КА) с заданными вероятностными характеристиками. По результатам показаний КА принимается двувальтернативное решение об исправности или отказе измерителя. С помощью разработанной программы пользователь может рассмотреть результаты синтеза и анализа безынерционных линейных алгоритмов с учетом показаний реальной КА или идеальной КА, при идеальных измерителях, а также с учетом надежности измерителей по критерию квазиэффективной точности.

Суть использования критерия квазиэффективной точности состоит в том, что вероятности исправности и отказа измерителей приравниваются соответствующим вероятностям принятия решения КА об исправности или отказе измерителей. Определение надежности измерителей таким образом существенно упрощает алгоритм синтеза оценки, но снижает эффективность комплексирования.



Рис. 1. Классификация линейных безынерционных алгоритмов оценки сигналов, реализованных в ПО

На рис. 2 представлены сочетания видов корреляционных функций стационарных погрешностей измерителей комплексной системы, для которых в программе реализованы линейные инерционные алгоритмы фильтрации Винера. Важно отметить, что инерционную оценку сигнала можно получить не только для комплексной системы, но и для одного измерителя, рассматривая корреляционную функцию погрешности одного из измерителей как корреляционную функцию помехи.

На рис. 2 приняты следующие обозначения: $K_1(\tau)$, $K_2(\tau)$ – корреляционные функции стационарных погрешностей первого и второго измерителей комплексной системы, соответственно; α_1 , α_2 – ширины спектров погрешностей измерителей; β_1 , β_2 – преобладающие частоты погрешностей измерителей, соответственно; σ_1 , σ_2 – среднеквадратические отклонения погрешностей измерителей; C^2 – спектральная плотность погрешностей, описываемых белым шумом.



Рис. 2. Классификация линейных инерционных алгоритмов оценки сигналов, реализованных в ПО

Помимо синтеза и анализа оценки полезного сигнала по выбранному алгоритму в приложении предусмотрено выполнение классификации сигналов измерительной системы. Основной задачей классификации является нахождение оптимального изменения контрольного допуска на полезный сигнал по отношению к области допустимых значений по критериям В.А. Котельникова и Неймана-Пирсона [2]. В программе реализованы алгоритмы классификации сигналов для нормально-нормального, равномерно-нормального и нормально-равномерного законов распределения полезного сигнала и помехи. Проанализировать результаты классификации можно по графикам зависимостей рисков заказчика и изготовителя, достоверностей каналов измерений, вероятностей нахождения сигналов системы в области допустимых значений от изменения контрольного допуска на полезный сигнал, систематической погрешности измерений, среднего квадратичного отклонения полезного сигнала.

В работе также рассматриваются задачи исследования системы технического обслуживания (СТО) приборного оборудования летательных аппаратов (ЛА) на основе графоаналитического подхода [3]. Данный подход используется для повышения безопасности полетов ЛА путем оптимизации параметров систем и режимов технического обслуживания. Наиболее важными вероятностными характеристиками СТО являются готовность, достоверность, риски заказчика и изготовителя систем контроля объектов эксплуатации. Методика оценки перечисленных показателей СТО рассматривается на основе использования модели изменений состояний бортового комплекса ЛА, определяемой дискретным марковским процессом с непрерывным временем и дискретным множеством состояний. Любой объект обслуживания описывается размеченным графом состояний, для которого составляется система дифференциальных уравнений Колмогорова для определения вероятностей состояний объекта. На основе решения системы линейных дифференциальных уравнений Колмогорова проведен анализ зависимостей вероятностных характеристик приборного оборудования ЛА от изменения интенсивностей изменения состояний характеризующих точность, надежность и достоверность контрольной аппаратуры.

На данный момент в части ПО, связанной с исследованием СТО, реализованы возможность построения размеченного графа состояний; автоматическое составление и решение алгебраических уравнений Колмогорова; нахождение установившихся значений вероятностей состояний объекта в стационарном режиме. Важной особенностью разработанного приложения является возможность ввода формул для определения вероятностных характеристик объекта обслуживания, интересующих пользователя. Для анализа влияния интенсивностей смены состояний объекта на его вероятностные характеристики предусмотрено построение соответствующих графиков.

В процессе разработки данного программного продукта решались не только задачи предметной области, но и реализации пользовательского интерфейса. На данный момент его основными особенностями является контроль ввода исходных данных и наличие системы подсказок для исправления ошибок ввода. Помимо этого есть возможность сохранения введенных исходных данных при завершении работы с приложением и повторного их использования при запуске программы. Результаты работы программы представлены в удобной для восприятия форме: в виде графиков и таблиц. В дальнейшем планируется снабдить разрабатываемый пакет руководством и подсказками по его использованию, а также теоретическими материалами по алгоритмам обработки измерительной информации. Это позволит студентам самостоятельно разбираться в работе программы без консультации преподавателя и применять её для решения задач, связанных с обработкой сигналов.

В заключение следует отметить, что на данный момент разработано ПО, позволяющее синтезировать некоторые линейные инерционные и безынерционные алгоритмы оценивания и анализировать полученные результаты. Помимо этого в программе предусмотрено выполнение квазиоптимальной классификации параметров сигналов измерительной системы и исследование СТО приборного оборудования ЛА. Внедрение программы в учебный процесс позволит студенту не только экономить время на расчетах, но и сравнивать различные виды алгоритмов обработки сигналов между собой по показателям качества, робастности и помехозащищенности измерительной системы, а затем определять, какой из них является наиболее подходящим для использования при заданных исходных данных. Таким образом, пользователь получает более полное представление о преимуществах и недостатках каждого из рассмотренных им алгоритмов и может применять полученные знания для решения более сложных задач.

Библиографический список

1. *Иванов Ю. П., Никитин В. Г.* Информационно-статистическая теория измерений. Методы оптимального синтеза информационно-измерительных систем, критерии оптимизации и свойства оценок: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2011. – 104 с.
2. *Иванов Ю. П., Никитин В. Г., Чернов В. Ю.* Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2002. – 120 с.
3. *Арсенова Е. Е., Иванов Ю. П., Овчинников Л. А.* Теория надежности приборов в системах летательных аппаратов: учеб. пособие. – Л.: ЛЭТИ, 1977. – 80 с.

УДК 629.735.33

Е.Г. Ильина, Т. Ле

студенты кафедры эксплуатации и управления в аэрокосмических системах

А. И. Панфёров

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

БЕСПИЛОТНЫЕ МУЛЬТИКОПТЕРЫ

Одним из приоритетных направлений развития современной авиации во всем мире является беспилотная авиация. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) становятся главной продукцией многих авиационных предприятий. Сами БПЛА обходятся намного дешевле пилотируемых летательных аппаратов. Отсутствие пилота даёт возможность отказаться от бортовых систем жизнеобеспечения, снизить массу и габариты, а также увеличить диапазон допустимых перегрузок. Огромное влияние имеет и фактор безопасности – при потере БПЛА исключается потеря пилота. Управление БПЛА может осуществляться дискретно или непрерывно. В последнем случае БПЛА называют дистанционно-пилотируемым летательным аппаратом (ДПЛА). Диапазон уже существующих и находящихся на стадии разработки аппаратов довольно широк: от БПЛА мини- и микро-класса до весьма тяжелых многоторных машин. Некоторые БПЛА способны выполнять сверхдальние и сверхвысотные полеты протяженностью до нескольких месяцев. Существенным недостатком БПЛА является уязвимость систем дистанционного управления, что особенно важно для БПЛА военного назначения, однако назначение современных БПЛА не ограничивается только военной областью. Они широко применяются и в гражданских целях (аэросъемка, строительство, городское, сельское, лесное хозяйство, телекоммуникации и т. д.). Расширение сферы применения способствует дальнейшему развитию беспилотной авиационной техники [1].

Увеличение количества разработок БПЛА в последнее десятилетие связано с успешным технологическим развитием, например:

- появление новых легких и особо прочных материалов (композитных);
- быстрое развитие микроэлектроники (микроконтроллеров, микросистемных навигационных датчиков, приемопередатчиков радиосигналов, СВЧ-устройств, миниатюрных видеокамер и т. д.);
- появление и быстрое развитие высокоэффективных возобновляемых источников питания (на основе литий-полимерных аккумуляторов, топливных элементов и др.);
- разработки в области высокоресурсных бесколлекторных электродвигателей, а также реактивных и поршневых двигателей;
- развитие спутниковых систем глобального позиционирования;
- общее развитие вычислительной техники, включая появление специальных операционных систем, интерфейсов, математического и алгоритмического обеспечения.

Мультикоптеры относятся к БПЛА вертолетного типа (рис.1), имеющим больше двух несущих винтов. Этот тип аппаратов известен также как БПЛА с вращающимся крылом. Подъемная сила у аппаратов этого типа так же, как и у пилотируемых летательных аппаратов, создается аэродинамически, но это происходит за счет вращающихся лопастей несущего винта (винтов), а не за счет крыльев.

Мультикоптеры (рис.2) используют бесколлекторные электродвигатели и литий-полимерные аккумуляторы в качестве источника энергии. Из-за этого их полётные характеристики достаточно ограничены. Обычно вес мультикоптера составляет до 4 кг, при времени полёта до 30 минут (до 50 минут у некоторых экземпляров). Они могут поднять груз весом до 3 кг, что позволяет вести с них фото- или видеосъемку, используя небольшую камеру. Существуют и более крупные модели мультикоптеров, с шестью и восьмью роторами, способные поднять груз массой до 30 кг. Иногда применяют соосное расположение несущих роторов в целях увеличения грузоподъёмности, например, в случае гексакоптера, который имеет 12 моторов и 12 пропеллеров. Скорость полёта мультикоптера может быть от нуля (неподвижное висение в точке) до 110 км/ч. Запас энергии позволяет некоторым мультикоптерам улетать на расстояние до 12 км. На практике же радиус действия ограничен прямой видимостью (100–200 м при

ручном управлении), либо дальностью действия аппаратуры радиоуправления. При этом, используя усилители мощности радиосигнала и систему направленных антенн, лучшие мультикоптеры способны обеспечивать стабильное радиоуправление на расстоянии до 100 км. Таким образом, именно время полёта в большей степени ограничивает радиус действия. Это приводит к тому, что мультикоптеры обычно применяются как аппараты «ближнего радиуса действия»: для любительских полётов, для фото- и видеосъёмки близко расположенных объектов и т. д., в то время как беспилотные самолёты с аккумулятором такой же ёмкости способны улетать на расстояние до 15 км при высоте полёта до 2 км [2].

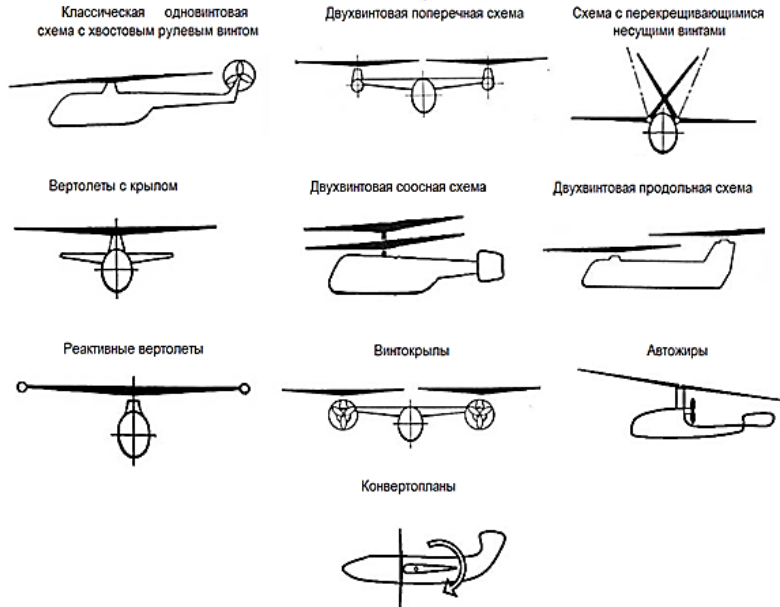


Рис. 1. Схемы построения аппаратов вертолётного типа



Рис. 2. Схемы построения мультикоптера

Рассмотрим различные схемы построения мультикоптеров (рис. 3).

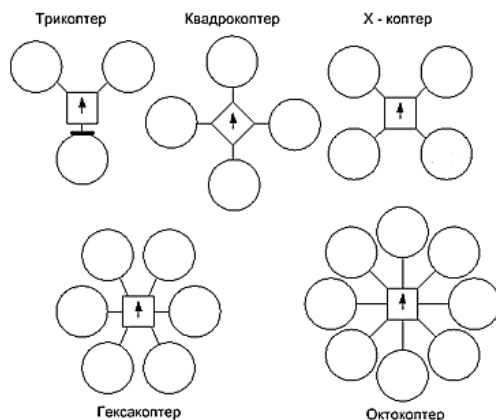


Рис. 3. Схемы построения мультикоптеров

Трикоптер является наиболее простой схемой построения мультикоптеров. Обычно трикоптер движется двумя винтами вперед, а третий винт является хвостовым. Первые два винта вращаются в противоположном направлении, взаимно компенсируя при этом реактивные закручивающие моменты. Так как у хвостового винта нет пары, для компенсации его реактивного момента ось вращения этого винта немного наклоняют в сторону, противоположную направлению закручивания, с помощью специального сервопривода и тяги, которые используются для стабилизации или управления положением аппарата по курсу.

Существуют производные от трикоптера схемы построения. В некоторых из них отсутствуют механически подвижные части, и корпуса всех двигателей жестко зафиксированы на своих местах. При этом один или все три двигателя имеют симметричные им относительно горизонтальной плоскости двигатели с толкающими винтами, направленными вниз. За счет изменения соотношения частот вращения винтов происходит управление курсовым углом и направлением перемещения.

Квадрокоптер является самой популярной схемой построения мультикоптеров. Четыре ротора жестко зафиксированы, и это позволяет организовать довольно простую схему организации движения. Существуют две таких схемы движения: схема «+» и схема «х». Схема «+» состоит из одного переднего ротора, одного заднего и двух боковых. В схеме «х» передними являются одновременно два ротора, два других являются задними. Смещения в боковом направлении также реализуются одновременно парой соответствующих роторов. При одинаковой частоте вращения пар, аппарат неподвижен относительно вертикальной оси. Если увеличить частоту вращения для одной пары, а для другой – уменьшить на ту же величину (чтобы сохранить общий вертикальный вектор тяги неизменным), то будет реализован поворот влево или вправо вокруг вертикальной оси. При одновременном одинаковом изменении частот вращения всех винтов будет осуществляться подъем или снижение квадрокоптера. Для движения в каком-либо направлении двигатель, соответствующий направлению желаемого смещения, должен уменьшить частоту вращения, противоположный ему – увеличить на ту же величину, а два других – оставить без изменения.

Способ управления частотами вращения винтов для схемы «+» несколько проще и понятнее, чем для схемы «х», однако последняя используется все же чаще из-за конструктивных преимуществ: при такой схеме проще разместить фюзеляж, который может иметь вытянутую форму, бортовая видеокамера имеет более свободный обзор.

Гексакоптеры и октокоптеры более грузоподъемны по сравнению с квадрокоптерами из-за наличия большего количества роторов. При выходе из строя одного из роторов они могут сохранять устой-

чивый полёт. Этот вид мультикоптеров отличается меньшим уровнем вибраций, что важно для фото- и видеосъемки. Гексакоптеры и октокоптеры являются самыми стабильными, дорогими и тяжелыми аппаратами среди мультикоптеров [3].

Перспективы развития мультикоптеров очень оптимистичны. Ставятся задачи по расширению диапазона действия аппаратов, а также увеличению времени непосредственно самой работы. Необходимым условием для развития мультикоптеров является их полная автоматизация, т.е. освобождение человека от участия в процессе пилотирования. Это значит, что следует прилагать усилия в разработке таких систем автоматического управления. Следовательно, нужно оснащать аппараты микроакселерометрами, микрогироскопами, стабилизаторами скорости вращения двигателя и другими устройствами, которые будут отвечать требованиям заданных систем автоматического управления [4].

Мультикоптеры способны значительно упростить жизнь человеку. Они могут использоваться в сельском хозяйстве, медицине, спорте, чрезвычайных ситуациях. Также эти аппараты смогут работать несколько недель без подзарядки, если использовать энергию солнечных батарей. А наличие искусственного интеллекта сделает мультикоптер самостоятельной единицей.

Библиографический список

1. *Корченко А. Г., Ильяш О. С.* Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2012. № 4. С. 27-35.
2. *Карякин В.В.* Беспилотные летательные аппараты // Проблемы национальной стратегии. 2015. С. 130-145.
3. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / *В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова, В.В. Адамовский, Р.А. Красноперов.* Уфа: Фотон, 2014. 217 с.
4. *Каляев И. А., Лохин В.М., Макаров И. М.* и др. Интеллектуальные роботы: учеб. пособие для вузов. М.: Машиностроение, 2007. 360 с.

УДК 629.735.33

Е. Г. Ильина

студентка кафедры эксплуатации и управления в аэрокосмических системах

Н. А. Овчинникова

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

В последнее время в технике измерения и регулирования параметров различных процессов в отдельную отрасль выделилось изготовление и применение датчиков. Эта отрасль постоянно развивается и служит основой создания разнообразных вариантов систем автоматического регулирования.

Датчик измерения перемещения – это прибор, предназначенный для определения величины линейного или углового механического перемещения какого-либо объекта. Существует множество видов датчиков перемещения, а направление их применения зависит от принципа действия, точности, цены и прочих параметров.

По принципу действия датчики перемещения делятся на:

- емкостные;
- оптические;
- индуктивные;
- вихретоковые;
- ультразвуковые;
- магниторезистивные;
- потенциометрические;
- магнитострикционные;
- на основе эффекта Холла.

Емкостным датчиком называется преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления. Принцип работы датчика данного типа основан на взаимосвязи ёмкости конденсатора с его геометрической структурой, т. е. на изменении расстояния между пластинами из-за внешнего воздействия (рис. 1).

Определение ёмкости позволяет оценить расстояние между пластинами конденсатора, т. к. ёмкость конденсатора изменяется обратно пропорционально величине расстояния между пластинами. Изменение ёмкости можно зафиксировать несколькими способами, но в любом случае конденсатор необходимо включить в электрическую цепь. Обычно датчик делается дифференциальным. Это позволяет увеличить точность и чувствительность, а также уменьшить влияние механических сил [4]. Такой датчик дает возможность контролировать и величину перемещения, и направление этого перемещения.

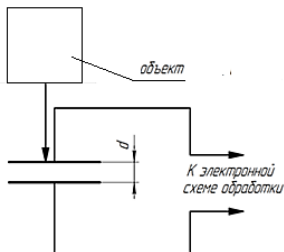


Рис. 1. Емкостный датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора

Одной из реализаций емкостного датчика перемещений является измеритель, содержащий конденсатор с подвижным диэлектриком. Он также имеет ёмкость в качестве выходного параметра. Вследствие перемещения диэлектрической пластины между обкладками конденсатора происходит изменение его ёмкости. Если пластина связана с объектом, то изменение ёмкости конденсатора говорит о перемещении данного объекта [1].

Ёмкостные датчики применяются в различных сферах. Их используют в системах регулирования и управления производственными процессами в различных отраслях промышленности.

Датчики данного типа применяются для контроля заполнения резервуаров жидким, порошкообразным или зернистым веществом, в качестве конечных выключателей на автоматизированных линиях, станках, конвейерах, и т. д. Их преимуществами являются высокая чувствительность, малый вес и габариты, небольшая сила взаимодействия между пластинами, а также простота приспособления формы конденсатора к различным задачам. Последнее свойство позволяет с помощью одной измерительной схемы производить различные измерения неэлектрических величин. К недостаткам этих датчиков относятся необходимость усиления снимаемого сигнала, необходимость защиты датчика от влияния паразитных емкостей и посторонних электрических полей, и необходимость применения источника напряжения повышенной частоты (от 1 кГц до десятков МГц).

К оптическим датчикам перемещения относятся бесконтактные датчики, разработанные на основе оптической триангуляции (рис. 2). Они отличаются высокой точностью, линейностью и весьма высоким быстродействием. По сути, такой датчик является дальнометром. Он определяет расстояние до объекта измерений, фиксируя рассеянное поверхностью объекта излучение и определяя угол отражения. Это даёт возможность определить расстояние до объекта. Чувствительным элементом может являться либо аналоговый модуль, либо цифровая линейка. Датчики перемещения данного типа используются, в основном, для измерения толщины пластиковых деталей в автомобильной промышленности, для 3D-контроля поверхности кровельной черепицы, а также при копланарности выводов микросхем.

Другой тип оптического датчика, предназначенный для регистрации и определения параметров малых перемещений и вибраций, содержит двойную решётчатую конструкцию, а также источник света и фотодетектор (рис. 3). Одна решётка механически закреплена на объекте, а вторая неподвижна. Изменение интенсивности света регистрируется фотодетектором. Точность датчика увеличивается, если период решётки уменьшается. Но при этом сужается его динамический диапазон. В оптических датчиках, которые учитывают поляризацию света, может быть реализован алгоритм разделения объектов по отражательным свойствам поверхности. Но, чем чувствительнее датчик, тем выше его стоимость [3].

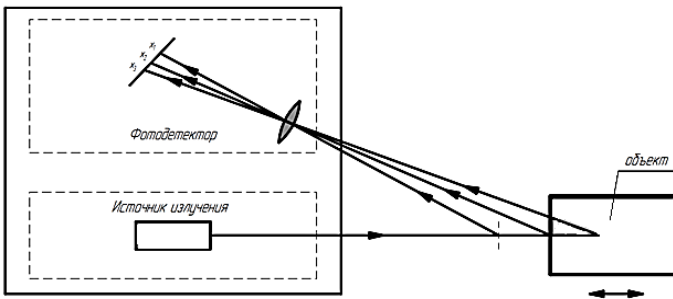


Рис. 2. Оптический датчик перемещения на основе оптической триангуляции

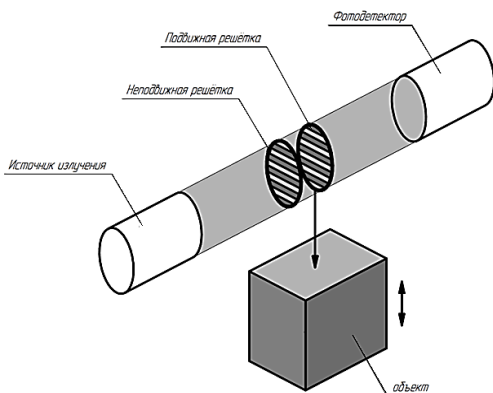


Рис. 3. Оптический датчик перемещения на основе дифракционных решеток

Индуктивными датчиками перемещения называются электромагнитные датчики. Они разработаны на индуктивных и индуктивно-потенциометрических измерениях. Эти датчики износостойкие, не требуют обслуживания, компактные, защищены от воздействия на них внешних факторов. Они имеют различные диапазоны измерений, классы точности и конструктивные исполнения, а также оснащаются интегрированной или внешней электроникой. Одной из конфигураций датчика данного типа является измеритель, в качестве чувствительного элемента которого используется трансформатор с подвижным сердечником. Перемещение внешнего объекта приводит к перемещению сердечника, что вызывает изменение потокоцепления между первичной и вторичной обмотками трансформатора. О положении внешнего объекта измерений можно судить исходя из положения сердечника, а его положение в свою очередь зависит от амплитуды вторичной обмотки, которая зависит от потокоцепления.

Вихретоковые датчики перемещения содержат регистратор и генератор магнитного поля. С помощью регистратора определяется величина индукции вторичных магнитных полей. Генератор создаёт магнитное поле, пронизывающее материал объекта измерений. Это поле порождает в объёме объекта вихревые токи (токи Фуко), которые создают вторичное магнитное поле. Параметры этого поля определяет регистратор. На основании этих параметров вычисляется расстояние до объекта. Чем ближе объект измерений, тем больший магнитный поток пронизывает его объём, а это приводит к усилению вихревых токов и индукции вторичного магнитного поля.

В ультразвуковых датчиках перемещения фиксируются отражённые от объекта измерений. Структурная схема содержит регистратор и источник ультразвуковых волн. Временная задержка определяется между моментом отправки и приёма ультразвукового импульса. Это позволяет измерять расстояние до объекта измерения с очень высокой точностью [2].

В магниторезистивных датчиках используется зависимость электрического сопротивления магниторезистивных пластинок от направления внешнего магнитного поля, а также от величины этого поля. Датчик состоит из постоянного магнита и электрической схемы. Она содержит магниторезистивные пластинки, которые включены по мостовой схеме, и источник постоянного напряжения. Объект измерения состоит из ферромагнитного материала. При движении в магнитном поле объект изменяет его структуру, из-за чего меняется сопротивление пластинок, а мостовая схема фиксирует рассогласование. По величине этого рассогласования можно судить о положении объекта.

Магнитострикционный датчик представляет из себя протяжённый канал-волновод. Вдоль этого канала свободно перемещается постоянный кольцевой магнит. Если на проводник, находящийся внутри волновода, подать электрические импульсы, то он создаёт магнитное поле. Это магнитное поле суммируется с полем постоянного магнита. Момент вращения канала создаётся результирующим полем. Это явление называется эффектом Вайдемана. Импульсы вращения распространяются по каналу в обе стороны со скоростью звука (в зависимости от материала канала). Положение постоянного маг-

нита определяется посредством регистрации временной задержки между отправкой электрического импульса и приёмом импульса вращения. Канал может иметь большую длину (до нескольких метров). Положение магнита может быть определено с точностью до нескольких микрометров. Магнитострикционные датчики отличаются устойчивостью к неблагоприятным условиям и малой чувствительностью к перепадам температуры.

Датчики на основе эффекта Холла имеют структуру, схожую со структурой магниторезистивных датчиков, но в данном случае в основу положен эффект Холла. Ток проходит через проводник, на который действует внешнее магнитное поле, что приводит к появлению разности потенциалов в поперечном сечении проводника.

Основой потенциометрического датчика перемещения является электрический контур, который содержит потенциометр. Вследствие линейного перемещения объекта сопротивление потенциометра меняется. Величина линейного перемещения объекта пропорциональна величине сопротивления потенциометра и величине падения напряжения на нём. Потенциометрические датчики получили наиболее широкое распространение из-за простоты реализации и низкой стоимости [5].

В настоящее время наиболее широкое применение получили датчики на основе оптических эффектов ввиду универсальности и прецизионности бесконтактного измерения перемещения исследуемого объекта. Помимо высоких метрологических характеристик, волоконно-оптические датчики обладают высокой надёжностью, долговечностью, стабильностью, небольшой массой, малыми габаритами и энергопотреблением, совместимостью с микроэлектронными устройствами обработки информации при низкой трудоёмкости изготовления и небольшой стоимости, что делает их применение весьма перспективным.

Библиографический список

1. *Аш Ж.* Датчики измерительных систем. Книга 1. М.: Мир, 1992. 480 с.
2. *Михайлов В. В., Манойлов М.А.* Обзор методов измерения малых перемещений в приложении системы автоматического регулирования сканеров СЗМ // Научное приборостроение. 2013. Т. 23. №2. С. 27–37.
3. *Куликовский Л.Ф., Зарипов М.Ф.* Индуктивные преобразователи перемещений с распределёнными параметрами. М.: Энергия, 1966. 112 с.
4. *Соболева Н. А., Меламид А. Е.* Фотоэлектронные приборы. М.: Высшая школа, 1974. 376 с.
5. *Шандров Б. В., Чудаков А. Д.* Технические средства автоматизации: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Академия, 2007. 368 с.

УДК 681.51

М. С. Казаков

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

Б. Л. Бирюков

ст. преподаватель – научный руководитель

СЕЛЕКТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В КОМПЛЕКСНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Фильтрация измерительных сигналов на борту летательных аппаратов является одной из важных задач, решаемых вычислительным комплексом. В данной статье ставится задача разработки и исследования алгоритмов фильтрации сигналов в информационно измерительных системах БПЛА в условиях изменяющихся характеристик входных процессов.

Решение рассматриваемой задачи исследуется применительно к комплексной системе определения курса летательного аппарата. Для системы выбрана схема с фильтром разностного сигнала. В качестве первичных измерителей были выбраны следующие датчики:

- одноосевой МЭМС-датчик угловой скорости (гироскоп) с вибрирующим кремневым кольцом;
- трехосевой МЭМС-магнитометр.

Предполагается, что в данных датчиках присутствуют погрешности следующего вида:

- полиномиальная регулярная (гироскоп);
- гармоническая (гироскоп и магнитометр);
- флуктуационные процессы (магнитометр);
- белый шум (гироскоп).

В рамках данной задачи вводится предположение о том, что параметры указанных погрешностей могут изменяться во времени. Для того чтобы уменьшить воздействие (или полностью устранить влияние) выше перечисленных погрешностей, предлагается разработать систему, в которой будет присутствовать несколько алгоритмов фильтрации. Чтобы выявить, какая из данных погрешностей воздействует на систему и какой алгоритм фильтрации нужен для её подавления, в систему вводится блок идентификации погрешностей (в данной статье не рассматривается). На рис. 1 приведена приближенная структурная схема системы фильтрации сигналов.

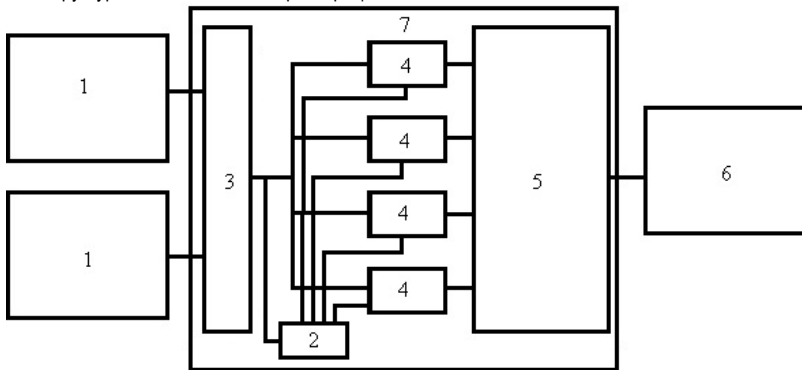


Рис. 1. Структурная схема системы фильтрации сигналов: 1 – первичные измерители, 2 – блок идентификации погрешности, 3 – блок преобразования координат, 4 – фильтры, 5 – блок выбора подходящего алгоритма фильтрации, 6 – интерфейс, 7 – вычислитель

С каждой из вышеперечисленных погрешностей был сопоставлен определённый алгоритм ее подавления.

Модель полиномиальной погрешности имеет вид [1]:

$$u(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + \dots + c_k t^k,$$

где, $c_i, i=0, 1, 2, \dots, k$, – случайные величины. Для устранения полиномиальной погрешности функции преобразования сигналов выбираются исходя из требования обеспечения астатизм необходимого порядка. Дисперсия ошибки оценки $D_{\hat{\varepsilon}}$ комплексной системы является общепринятым критерием качества обработки измерительной информации, и в данном случае её значение в установившемся режиме определяется соотношением [2]:

$$D_{\hat{\varepsilon}} = \int_{-\infty}^{+\infty} |1 - W_{\Phi}(j\omega)|^2 S_{\varepsilon_1}(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{+\infty} |W_{\Phi}(j\omega)|^2 S_{\varepsilon_2}(\omega) d\omega,$$

где $S_{\varepsilon_1}(\omega)$, $S_{\varepsilon_2}(\omega)$ – спектральные плотности погрешностей измерителей $\varepsilon_1, \varepsilon_2$. Результаты вычисления составляющих дисперсии ошибки представлены на рис. 2.

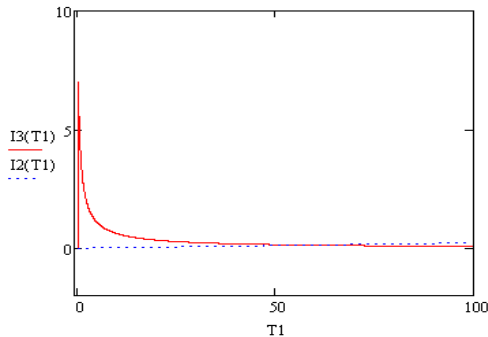


Рис. 2. Зависимость составляющих дисперсии ошибки оценки от постоянной времени фильтра: $I_3(T_1)$, $I_2(T_1)$ – первая и вторая составляющие дисперсии ошибки; T_1 – постоянная времени.

Из графика видно, что первая составляющая дисперсии монотонно убывает с увеличением постоянной времени, вторая составляющая возрастает с увеличением постоянной времени и стремится к постоянному значению.

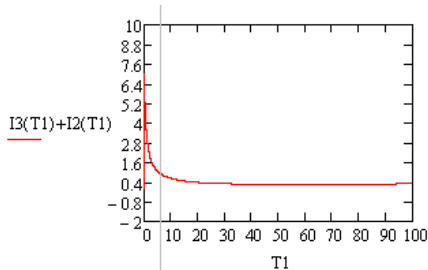


Рис. 3. Сумма первой и второй составляющей дисперсии ошибки от постоянной времени

У суммы данных составляющих наблюдается минимум на интервале 40-90 секунд (рис. 3).

Для ослабления флуктуационных погрешностей, включая составляющую в виде белого шума, используется фильтр Калмана. Оптимальный фильтр описывается векторно-матричным дифференциальным уравнением для оценки сигнала $\hat{X}(t)$ [1]:

$$\dot{\hat{X}}(t) = A(t)\hat{X}(t) + B(t)[Y(t) - C(t)\hat{X}(t)], \quad \hat{X}(t_0) = \hat{X}_0,$$

где **A**, **C** – матрицы параметров входных процессов. Матрица коэффициентов усиления, определяемая по формуле:

$$B(t) = K(t)C^T(t)Q^{-1}(t),$$

ковариационная матрица ошибок фильтрации $K(t)$ определяется из уравнения Риккати:

$$\dot{K} = KA + KA^T - KC^TQ^{-1}CK + G, \quad K(t_0) = \theta_{y_0},$$

где **Q** и **G** – матрицы интенсивности шумов измерения и формирующих шумов соответственно. Результаты вычисления матрицы K представлены на рис. 4, 5 (на рисунке обозначено $R12_k$).

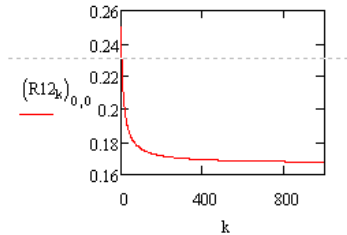


Рис. 4. Дисперсия ошибки оценки флуктуационной погрешности гироскопического датчика

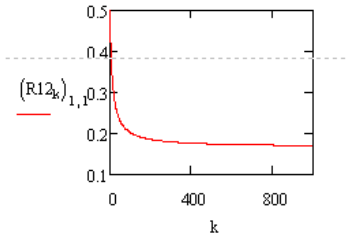


Рис. 5. Дисперсия ошибки оценки флуктуационной погрешности магнитометра

Апостериорная дисперсия погрешности по каналу гироскопа убывает с $0.26 (\text{°})^2$ до, приблизительно, $0.17 (\text{°})^2$. Апостериорная дисперсия погрешности по каналу магнитометра с $0.5 (\text{°})^2$ до приблизительно $0.16 (\text{°})^2$. В обоих случаях убывание дисперсии наблюдается за 1000 шагов.

На рис. 6 и 7 показаны зависимости изменения элемента 0,0 и 1,0 матрицы усиления фильтра Калмана от времени. Эффективная длительность переходного процесса коэффициентов усиления фильтров не превышает 200 шагов.

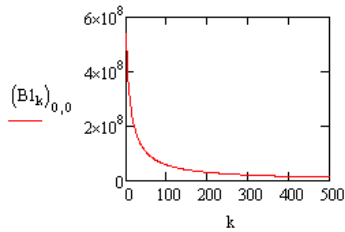


Рис. 6. Коэффициент усиления фильтра по каналу гироскопического датчика

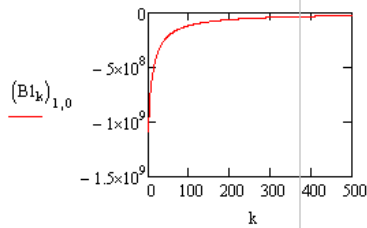


Рис. 7. Коэффициент усиления фильтра по каналу магнитометра

Для устранения гармонической помехи используется полосно-заграждающий фильтр. Так как заранее не известны частоты гармонической помехи, то этот фильтр реализован по каскадной схеме включения для подавления помехи в большем диапазоне частот. Информация о границах диапазона поступает из блока идентификации погрешности. Исходным звеном для определения полосно-заграждающего фильтра заданного порядка используется фильтр второго порядка с передаточной функцией [3]:

$$W_{P\Phi}(s) = \frac{\rho(s^2 + \omega_0^2)}{s^2 + \beta\omega_0 s + \gamma\omega_0^2},$$

где β, γ коэффициенты, определяющие порядок фильтра. В данной работе рассматривается полосно-заграждающий фильтр 4-го порядка.

Рассмотренные фильтры при условии их согласованной работы должны обеспечить соответствие точности комплексной измерительной системы заданным требованиям при изменяющихся характеристиках погрешностей измерителей.

Библиографический список

1. Иванов Ю. П. и др. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. 207 с.
2. Арсенова Е. Е. и др. Проектирование приборов и систем летательных аппаратов. – Л.: Изд-во ЛИАП, 1982. – 103 с.
3. Джонсон Д. и др. Справочник по активным фильтрам. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 128 с.
4. Располов В. Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.

УДК 681.786.42

С.С. Кирдянкин

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.В. Перлюк

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СПУТНИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Групповые полёты позволяют решать множество задач, таких как наблюдение за земной поверхностью, исследование физических полей, картографирование магнитосферы, мониторинг поверхности океана, отслеживание транспортных потоков и миграций стад диких животных, краткосрочное прогнозирование землетрясений и т. п.

Для решения таких задач требуется управление группой пикоспутников. Но выполнять согласованный полет группировки с наземного центра невозможно. Для обеспечения взаимной пространственной ориентации спутников друг относительно друга необходимы автономные системы управления, позволяющие оперативно реагировать на изменяющуюся обстановку.

Система технического зрения обеспечивает определение текущих координат положения на траектории микроспутника (ведомого по отношению к ведущему микроспутнику). Это необходимо для последующих задач:

- 1) Управление движением группы микроспутников не только по жестко заданной траектории, но и изменением траектории движения микроспутников в режиме реального времени.
- 2) Оперативное изменение состава группы (от 1 до 10 реальных микроспутников) в зависимости от условий выполнения поставленной задачи.
- 3) Разделение группы в процессе выполнения задачи на несколько подгрупп в рамках исходной задачи с ведущим микроспутником в каждой подгруппе.

Была сформирована структура учебно-исследовательского комплекса (рис. 1). Здесь макет спутника снабжен инфракрасными светодиодами, которые расположены на вершинах куба. Эти светодиоды фотографируются веб-камерой, подключенной к управляющему компьютеру с установленным программным обеспечением Labview с системой технического зрения (ТЗ). Включение светодиодов осуществляется по заданной в микроконтроллере Arduino программе, чтобы исключить неоднозначность в определении положения микроспутника, когда линии визирования для разных светодиодов могут совпадать. Согласование работы спутника и компьютера осуществляется по радиоканалу с помощью работающих по протоколу SPI радиомодулей APC-220.

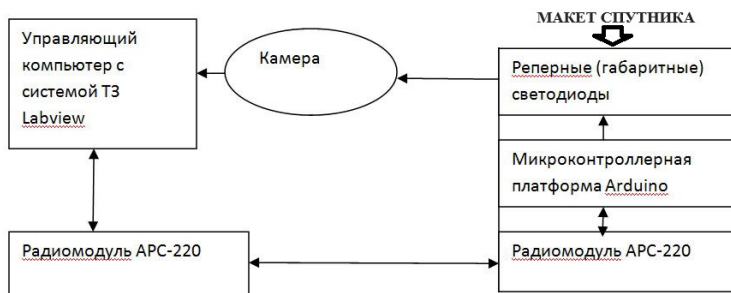


Рис. 1. Структура учебно-исследовательского комплекса

1. Камера

Для решения задачи применим бортовую оптическую камеру, снабженную интеллектуальным модулем ТЗ. С помощью камер каждый из спутников группировки сможет «видеть» своих соседей и оперативно изменять свою траекторию, выдавать предупреждающую информацию на соседние спутники для обеспечения выдерживания заданной конфигурации группы.

2. Техническое зрение

Компания «National instruments» – мировой лидер среди поставщиков решений для систем тестирования, измерений и управления. Заказчиками компании являются инженеры, ученые и технические специалисты, работающие в самом широком спектре отраслей и технологий. Компания имеет представительства в 41 стране.

У «National instruments» большой опыт в реализации сложных систем технического зрения. В настоящее время компания предлагает утилиту технического зрения NI Vision Development Module.

С помощью библиотек данного модуля разработаны различные учебные приложения технического зрения, позволяющие на практике изучать методы обработки изображения.

3. Микроконтроллер

В проекте используется микроконтроллерная платформа Arduino. Платформа пользуется популярностью благодаря удобству и простоте языка программирования. Микроконтроллер на плате программируется при помощи языка Arduino и среды разработки Arduino. Проекты устройств могут работать самостоятельно, либо взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере.

4. Светодиоды

Для управления включением реперных светодиодов, которые подключены к платформе Arduino, используется схема изображенная на рис. 2.

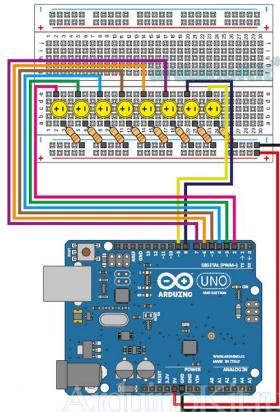


Рис. 2. Схема подключения светодиодов к платформе

На рис. 3 изображена отсчетная система координат. Красным цветом показано начальное расположение прозрачного куба с инфракрасными светодиодами.

В первый спутник установлено восемь инфракрасных светодиодов. Они расположены в углах прозрачного куба и нумеруются от 1 до 8. На втором спутнике установлена видеокамера.

На чувствительной матрице видеокамеры имеются изображения инфракрасных светодиодов. Координаты этих светодиодов измеряются специальной программой и передаются для вычисления углов относительной ориентации и вычисления относительных координат x , y , z .

При решении задач относительной ориентации и навигации предполагается, что для видеокамеры могут быть «видны» все светодиоды или произвольные наборы от 3 до 8 светодиодов.

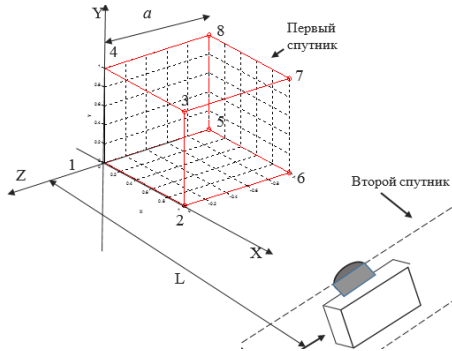


Рис. 3. Отсчетная система координат

Ориентация одного спутника относительно другого определяется тремя углами Эйлера. Прежде всего, задается опорное положение, относительно которого отсчитывается ориентация спутника. Для каждого поворота спутника вводится квадратная матрица направляющих косинусов (рис. 4).

$$A_{\psi} = \begin{bmatrix} \cos\psi & 0 & -\sin\psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\psi & 0 & \cos\psi \end{bmatrix} \quad A_{\vartheta} = \begin{bmatrix} \cos\vartheta & \sin\vartheta & 0 \\ -\sin\vartheta & \cos\vartheta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{\gamma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix}$$

Рис. 4. Матрицы направляющих косинусов после поворота спутника на углы ψ , ϑ , γ соответственно

Алгоритм определения погрешности измерения приведен ниже.

1. Первым делом в программе определяется начальное положение спутника, после чего задается его расположение после трех разворотов.
2. На матрице видеокамеры имеются изображения инфракрасных светодиодов, координаты которых измеряются.
3. По результатам этих измерений координат на матрице видеокамеры составляются уравнения с неизвестными ψ , ϑ и γ .
4. Решение системы уравнений осуществляется стандартными средствами ПО «Matlab», командой «fsolve», в которой используется метод наименьших квадратов.

Библиографический список

1. Куприянова Н.В., Овчинников М.Ю., Пеньков В.И., Селиванов А.С. Пассивная система ориентации первого российского наноспутника ТНС-0. Препринт Института прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН, 2005г., №46.
2. Научно-популярный сайт о космосе. <http://www.cosmos-journal.ru/articles/686>
3. MATLAB and Simulink, The MathWorks Incorporated, <http://www.mathworks.com/>

УДК 629.783

А.В. Кононенко

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Г. Никитин

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ УПРУГОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Проблема управления космическими аппаратами возникла на самой заре освоения околоземного пространства, так как только точное соблюдение заданной траектории и ориентации позволяет выполнять поставленные задачи. Для достижения объектом управления требуемого положения относительно некоторой системы координат используется система ориентации. Данная система имеет в своём составе комплекс измерителей, систему управления и исполнительные механизмы (органы управления). Имеющиеся на борту космического аппарата датчики выдают информацию о текущих углах поворота в систему управления. Она, в свою очередь, вырабатывает управляющие сигналы для исполнительных органов, которые создают момент, благодаря которому аппарат поворачивается относительно осей связанной системы координат.

Решение задачи ориентации в общем случае разбивается на 2 подзадачи: управление жёстким телом и управление упругим телом. Особенно актуальной вторая подзадача стала после появления на корпусе запускаемых аппаратов солнечных панелей, подверженных множеству возмущающих воздействий.

Для того чтобы обеспечить требуемые углы поворота, например, искусственного спутника Земли (ИСЗ), относительно некоторой системы координат, необходимо в контуре управления учесть тона его упругих колебаний, возможные ошибки измерения углов, а также множество других особенностей. Следует помнить, что помимо ориентации стоит задача сохранения достигнутого положения, которая решается системой стабилизации. Таким образом, система ориентации должна обеспечивать поворот ИСЗ с последующими его колебаниями относительно заданного угла с амплитудой не большей той, которую может выдержать система стабилизации.

Целью работы явилось получение схемы работы системы ориентации и рассмотрение с помощью этой схемы возможных для реализации законов разомкнутого управления.

Ставились задачи построить модель системы ориентации упругого космического аппарата и получить зависимости угла ориентации от времени при различных способах управления.

При моделировании космического аппарата искусственно разделим его на жёсткое и упругое тело, рассмотрим их по отдельности. Движение жёсткого тела относительно центра масс характеризуется уравнениями Эйлера [1]:

$$I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y) \omega_y \omega_z = M_x;$$

$$I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z) \omega_z \omega_x = M_y; I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x) \omega_x \omega_y = M_z,$$

где I_x, I_y, I_z – главные моменты инерции космического аппарата. Однако для того чтобы избежать вырождения уравнений при углах поворота больше 180° , воспользуемся кватернионным способом задания ориентации [2]:

$$e_k = N_k \bar{\Lambda},$$

где e_k – орты связанного с телом базиса, i_k – орты системы отсчёта, а Λ – нормированный кватернион.

В общем случае движение присоединённого гибкого тела описать обыкновенными дифференциальными уравнениями не удастся – необходимо использовать методы конечно-элементного анализа. Но в первом приближении динамику гибкого тела можно моделировать конечным набором осцилляторов, описываемых линейными дифференциальными уравнениями второго порядка с возбуждением в правой части [3]:

$$\frac{d^2\varphi_i}{dt^2} = -2c_i v_i \frac{d\varphi_i}{dt} - v_i^2 \varphi_i + \left(\bar{\delta}_i \frac{d\ddot{\omega}}{dt} \right)$$

где φ_i – переменная, характеризующая угловое отклонение i -го осциллятора от положения равновесия, c_i – коэффициент демпфирования i -го колебания, v_i – собственная частота, $\bar{\delta}_i$ – значения вектора инерционных факторов влияния, а производная $\frac{d\ddot{\omega}}{dt}$ – угловое ускорение центрального тела. Работу таких осцилляторов можно воспроизвести с помощью колебательных звеньев.

Также неотъемлемой частью системы ориентации космического аппарата являются органы управления. В их качестве выберем реактивные двигатели. Основной характеристикой таких двигателей является тяга, которая определяется по следующей формуле:

$$P = mW_c + F_c (p_c p_n),$$

где m – массовый расход (расход массы) рабочего тела за 1 сек; W_c – скорость рабочего тела в сечении сопла; F_c – площадь выходного сечения сопла; p_c – давление газов в сечении сопла; p_n – давление окружающей среды. При неизменяемом диаметре сопла и других постоянных параметрах двигателя его работу можно моделировать с помощью простого усилительного звена.

В работе исследуем некоторые релейные законы управления:

- 1) простейшее импульсное управление;
- 2) ноль-финитное управление [4], которое можно выразить с помощью формулы

$$u(t) = u_0 [1[t] - 1[t - \tau_u] + 1[t - \tau_c] - 1[t - \tau_u - \tau_c]],$$

где τ_c – время подачи второго импульса; τ_u – длительность импульса;

- 3) управление с профилированием управляющего воздействия;
- 4) ноль-финитное управление с профилированием.

Моделирование произведём в программной среде MATLAB-Simulink. На рис. 1 представлена упрощённая структурная схема системы ориентации, согласно которой строится модель.

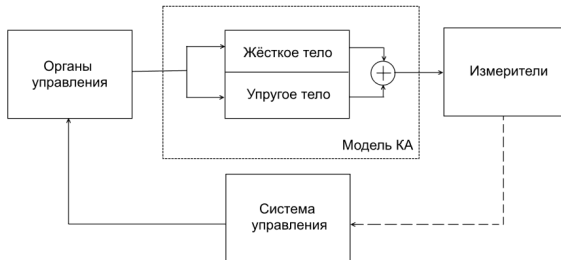


Рис. 1. Структурная схема системы ориентации

Так как в данной работе рассматриваются исключительно законы разомкнутого управления, то данные с измерителей не будут использоваться в контуре управления. Также стоит отметить, что из трёх углов положения космического аппарата рассматривается угол рысканья и его изменение. Ноль-финитное управление осуществляется по 11 тону упругих колебаний. Профилирование управляющего воздействия производится с помощью аperiodического звена 1-го порядка. Для данной модели про-

граммный угол рысканья составил 12° . Получившаяся модель представлена на рис. 2. В модели жёсткое тело изображает блок «6DOF Кватернион», преобразующий управляющие силы и моменты в изменение угла положения жёсткого тела. Свойства блока показаны на рис. 3, в них можно увидеть массу аппарата и его тензор инерции. Упругое тело представлено набором колебательных звеньев (рис. 4), соответствующих осцилляторам, в соответствии с тем, что было сказано выше.

В левом нижнем углу модели (рис. 2) расположены блоки, реализующие исследуемые законы управления. Для решения задачи ориентации вырабатываются два импульса – прямой и обратный, графики управляющих воздействий показаны на рис. 5, на рис. 6 представлены результаты моделирования – графики изменения угла рысканья.

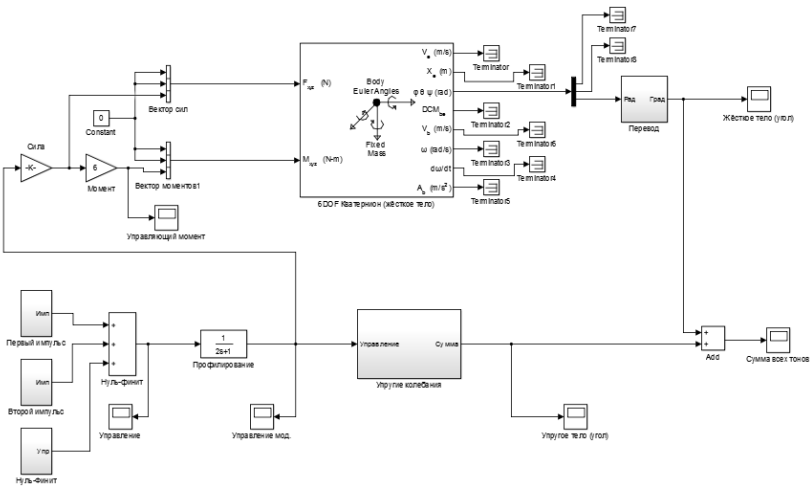


Рис. 2. Модель системы ориентации в среде MATLAB-Simulink

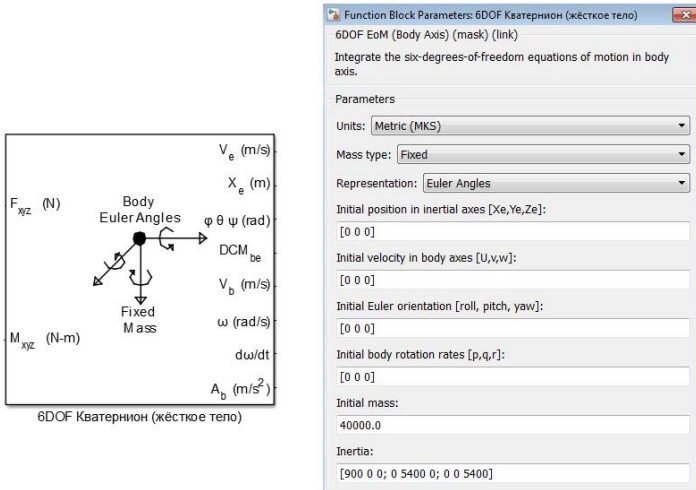


Рис. 3. Окно свойства блока «6DOF Кватернион»

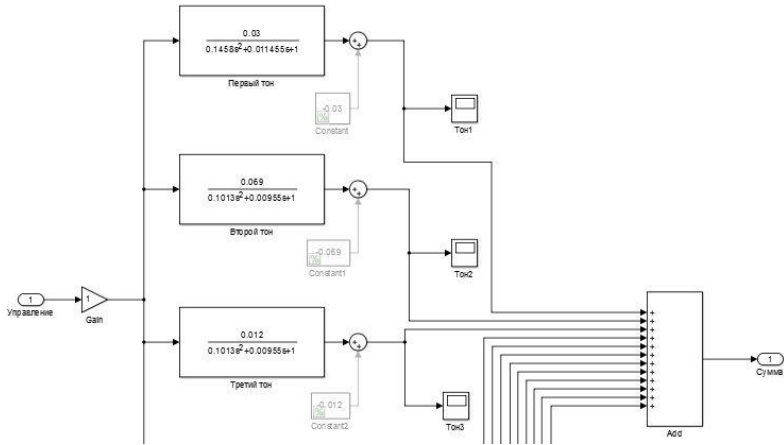


Рис. 4. Внутреннее строение блока «Упругие колебания»

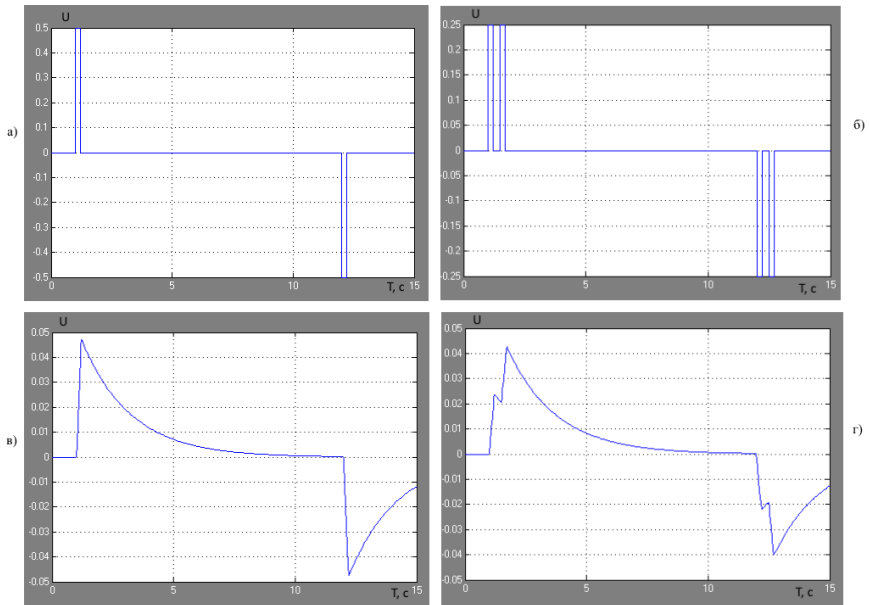


Рис. 5. Графики управляющих воздействий: а) импульсное управление; б) нуль-финитное управление; в) управление с профилированием импульса; г) нуль-финитное управление с профилированием

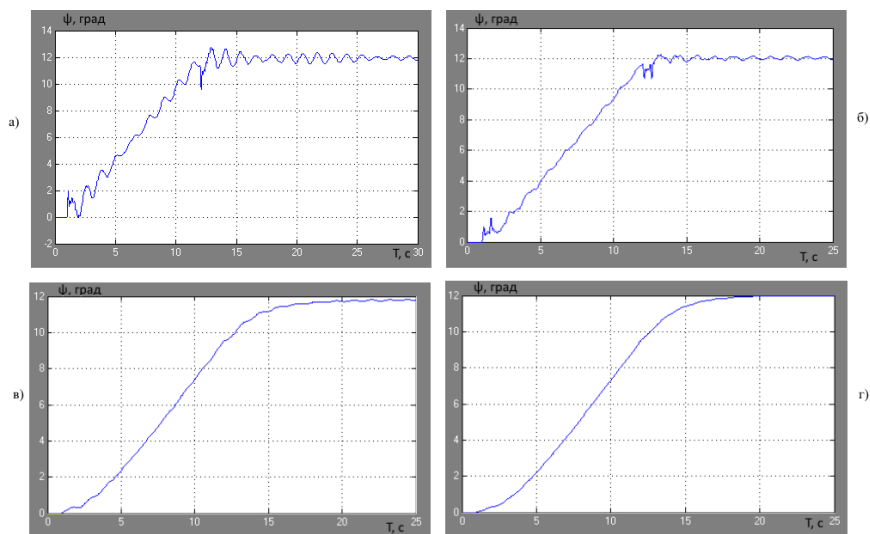


Рис. 6. Графики изменения угла положения: а) при импульсном управлении; б) при нуль-финитном управлении; в) при управлении с профилированием импульса; г) при нуль-финитном управлении с профилированием

Как видно из графиков, немодифицированное импульсное управление даёт установление заданного угла с погрешность в пол градуса в течение 13 секунд, нуль-финитное управление – 4 секунды, управление с профилированием импульса – также примерно 4 секунды, а нуль-финитного управления с профилированием управляющего воздействия – 3 секунды.

Таким образом, нуль-финитный закон управления с профилированием управляющего воздействия показал наилучший по точности результат. При преодолении некоторых недостатков метода, сопутствующих технической реализации, данный закон управления может оставаться объектом исследования и стать в конечном итоге частью систем ориентации реальных космических аппаратов, а профилирование управляющего импульса может ещё улучшить качество управления.

Библиографический список

1. Кузовков Н.Т. Системы стабилизации летательных аппаратов: учеб. пособие. М., 1976. 304 с.
2. Амелькин Н.И. Динамика твердого тела. // Московский физико-технический институт. М., 2000. 80 с.
3. Гриневич Д.В. Разработка методики моделирования динамики управляемого космического аппарата с упругой изменяемой конструкцией: автореф. дис. ... канд. техн. Наук (05.07.02, 01.02.06) / Национальный Исследовательский Университет, Московский Энергетический Институт. М., 2014. 169 с.
4. Синяков А.Н. Системы управления упругими подвижными объектами. Л., 1981. 200 с.

УДК 681.3

А.М. Красавин

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Н.А. Шехунова

канд. техн. наук, профессор – научный руководитель

АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЦИИ БОЛЬШИХ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ДЛЯ РОССИЙСКОГО СТАНДАРТА ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ

Введение

Генерация больших простых чисел относится к классическим вычислительным проблемам, известным с древних времен. Эти числа используются при решении ряда трудных задач из различных разделов математики и ее приложений, к которым, в частности, относятся современная криптография, имитационное моделирование, тестирование материнских плат персональных компьютеров – вот далеко не полный перечень практического применения простых чисел.

В настоящее время в системах защиты информации широко используются асимметричные (двухключевые, многоключевые) криптографические преобразования. Раздел прикладной математики, посвященный разработке и анализу асимметричных криптографических преобразований, получил название современной криптографии [1], в отличие от классической криптографии К. Шеннона, занимающейся симметричными шифрами [2].

Известно, что в настоящее время асимметричные криптографические преобразования широко используются для построения алгоритмов электронной цифровой подписи [1,3]. Среди этих алгоритмов следует отметить алгоритм ЭльГамала, положенный в основу стандартов цифровой подписи РФ и США (ГОСТ Р 34.10-94 и ГОСТ Р 34.10-2011, DSS и ECDSS), алгоритм ЭЦП RSA, который по сути является стандартом ЭЦП Европейского союза. Кроме того, асимметричные криптографические преобразования составляют основу ряда криптографических протоколов распределения закрытых ключей по открытым каналам, самым популярным из которых является протокол Диффи-Хеллмана [3]. Высокая надежность (криптостойкость, невозможность подделки подписи) перечисленных алгоритмов и протоколов достигается за счет использования в них больших простых чисел. В настоящее время в различных криптографических приложениях используются числа размерности 256, 512, 1024 бит и больше. Для реализации таких приложений требуются значительные вычислительные и временные ресурсы, позволяющие выполнение трудоемких операций арифметики многократной точности.

Настоящая работа посвящена результатом анализа детерминистического теста на простоту, входящего в стандарт ЭЦП России и сравнению его производительности с производительностью некоторых вероятностных тестов на простоту, которые используются в стандартах ЭЦП других стран.

Анализ детерминистического теста на простоту, входящего в стандарт ЭЦП РФ

Прежде всего заметим, что существующие тесты для проверки целых чисел на простоту, можно разделить на три группы: детерминистические, вероятностные, и основанные на использовании гипотез (на предположении истинности очень правдоподобной, но не доказанной гипотезы) [4].

Вероятностные тесты эффективно используются для тестирования чисел, однако, в результате получаются так называемые псевдо простые числа, которые с вероятностью $p > 0$ могут являться составными. Многократно повторяя вероятностный тест с модифицированными исходными данными, вероятность p можно сделать как угодно малой.

Детерминистические тесты позволяют с вероятностью 1 определить, является ли испытуемое число простым или нет. Они, как правило, более сложные в реализации по сравнению с вероятностными. Однако, когда необходимо генерировать очень большие простые числа и иметь абсолютную гарантию того, что построенное число простое, предпочтительно использовать детерминистический тест.

Как было отмечено выше, в работе исследуется алгоритм, реализующий детерминистический тест.

Этот тест основан на следующей теореме:

Теорема [4]. Пусть $p = qN + 1$, где q – нечетное простое число; N – четное, и $p < (2q + 1)^2$. Число p является простым, если выполняются следующие два условия:

- 1) $2^{qN} = 1 \pmod{p}$;
- 2) $2^N \neq 1 \pmod{p}$.

Опишем алгоритм, реализующий тест. Пусть требуется сформировать простое число p длины $t \geq 17$ бит. С этой целью строится убывающий набор натуральных чисел t_0, t_1, \dots, t_s , где $t_0 = t$ и $t_s < 17$ бит, для которых выполняется условие $t_i = \lfloor t_{i-1}/2 \rfloor$. Последовательно вырабатываются простые числа p_s, p_{s-1}, \dots, p_0 , причем длина числа p_i равна значению t_i для всех $i = 1, \dots, s$. Исходное простое значение p_s формируется путем случайного выбора числа размером менее 17 бит и проверкой на простоту методом пробного деления.

Генерация простого числа p_{i-1} по простому числу p_i осуществляется с использованием следующей формулы:

$$p_{i-1} = p_i N + 1,$$

где N – случайное четное число, такое, что длина числа $p_i N + 1$ равна значению t_i . Число p_{i-1} простое, если одновременно выполнены следующие два условия:

- 1) $2^{p_i N} = 1 \pmod{p_{i-1}}$,
- 2) $2^N \neq 1 \pmod{p_{i-1}}$.

Если хотя бы одно из условий не выполнено, число p_{i-1} отвергается, значение N увеличивается на два, вычисляется новое значение p_{i-1} , которое снова проверяется на простоту по указанным двум условиям. Алгоритм работает до тех пор, пока не будет получено простое число p_{i-1} .

Анализ алгоритма, реализующего детерминистический тест проверки на простоту.

Основными характеристиками детерминистических тестов на простоту являются время работы теста и способность теста не пропускать простые числа. Проведенные мной исследования алгоритма, реализующего тест для российского стандарта ЭЦП показали, что некоторые простые числа могут быть алгоритмом не распознаны. Приведем примеры таких простых чисел, воспользовавшись теоремой, представленной выше:

- 1) $p = 13367 = 1 + 82 \cdot 163$, $q = 163$;
- 2) $p = 121369 = 1 + 312 \cdot 389$, $q = 389$;
- 3) $p = 122921 = 1 + 280 \cdot 439$, $q = 439$;
- 4) $p = 649657 = 1 + 504 \cdot 1289$, $q = 1289$;
- 5) $p = 3203431780337 = 1 + 397424 \cdot 8060489$, $q = 8060489$.

Каждый из этих примеров не проходит по первому условию теоремы $2^{qN} = 1 \pmod{p}$ (результат false).

Кроме чисел, которые не удовлетворяют условию теоремы, значительное количество чисел, как показали экспериментальные исследования, пропускает и собственно алгоритм. Это происходит из-за строгих условий увеличения значения (размера) большого числа p . Длина q изменяется в пределах степени двойки, при этом длина числа N соответствующая q .

Для примера. В качестве первого значения p выбираем число, представимое 4 битами. Следовательно, размер q будет равен 11 или 13 (все простые числа длиной 4 бита). Искомое число p длиной 8 бит. Из всевозможных восьми битных простых чисел (а их 23), с данным параметром q будет найдено 3. Из шестнадцати битных (~3000) при параметрах q и N длиной по 8 бит распознается лишь 13 и т.д.

Для исправления этого недостатка мною была предложена модификация рассматриваемого теста. Алгоритм, реализующий предлагаемую модификацию, состоит из следующих шагов. Пусть требуется сформировать простое число $2^{255} \geq p \leq 2^{256}$. Тогда:

- 1) исходные данные: q – случайное простое число; N – четное.

2) $p=qN+1$.

3) Если

3.1) $p < (2q + 1)^2$,

3.2) $2^{qN} = 1 \pmod p$,

3.3) $2^N \neq 1 \pmod p$,

то p простое.

Иначе, $k = N+2$ и переходим к пункту 2.

4) Если $p < 2^{255}$, то q заменяем на p и переходим к пункту 2.

5) Если $2^{255} \geq p \leq 2^{256}$, то p найдено.

6) Если $p > 2^{256}$, то находим предыдущий множитель q и $N = N+2$ до тех пор, пока $p=qN+1$ не окажется в промежутке $2^{255} \geq p \leq 2^{256}$ и не будет удовлетворять условиям пункта 3.

Хорошо известно, что асимптотически время работы детерминистического теста всегда растет экспоненциально, а многие вероятностные тесты работают за полиномиальное время [4]. Так самый быстрый вероятностный тест Миллера-Рабина [4,5], который используется в стандарте DSS, имеет сложность алгоритма: $O(k^2 \log^2 n)$, k – количество раундов. Опишем кратко этот тест.

Пусть $n > 2$ – натуральное число, тогда представим число $n-1$ в виде $n-1 = 2^s t$, где t – нечетно, а s – неотрицательно. Число a является свидетелем простоты для числа n , если выполняется одно из условий:

$a^{\frac{n-1}{2}} \equiv 1 \pmod n$ или $a^{(2^i)^t} \equiv 1 \pmod n$. Количество свидетелей простоты увеличивают достоверность алгоритма.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

Вероятность нахождения простого числа за один раунд 1/4.

Чтобы оценить время работы исследуемого в работе детерминистического теста и его модификации для конкретных размеров простых чисел и сравнить их с характеристиками теста Миллера-Рабина были выполнены компьютерные эксперименты, результаты которых приведены в таблице.

Оцениваемые алгоритмы были реализованы программно. Все числа, полученные в ходе работы алгоритмов были проверены методом пробного деления (перебором делителей от 2 до $\sqrt{n/2}$). Каждым алгоритмом было сгенерировано большое количество простых чисел, размер которых, выбирался в диапазоне до 1024 битов.

Таблица

Сравнительный анализ времени работы тестов

Разрядность сгенерированного простого (псевдопростого числа) в битах	Исследуемые тесты / время работы теста (мс)		
	Вероятностный Миллера-Рабина	Детерминистический ГОСТ Р 34.10	Детерминистический, модифицированный
256	0,42	0,30	0,45
512	5,6	2,6	13,3
1024	81,0	49	110

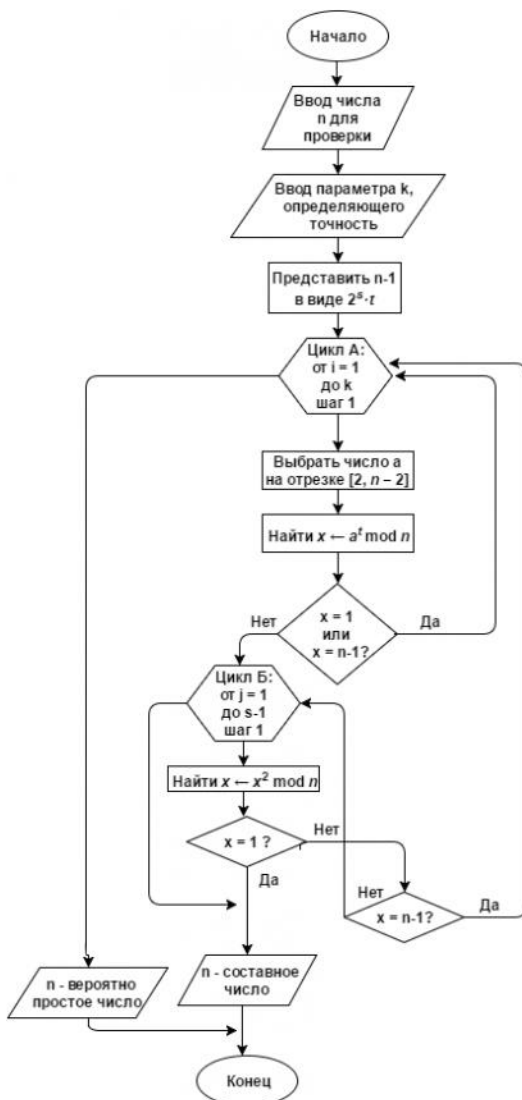


Рис. 1. Алгоритм проверки числа на простоту при помощи теста Миллера-Рабина

Для теста Рабина-Миллера была выбрана вероятность необнаружения составного числа 2^{-100} . По результатам работы программ можно увидеть что алгоритм, входящий в состав стандарта ЭЦП РФ оказался самым быстрым из тестируемых при указанной разрядности чисел.

Заключение

Проведенное исследование показало, что основными достоинствами алгоритма генерации больших простых чисел в ГОСТе Р 34.10-94 и ГОСТе Р 34.10-2001 являются:

- 1) генерация истинно простых чисел,
- 2) высокая скорость по сравнению с алгоритмами генерации, используемыми в других стандартах ЭЦП.

К недостатку исследуемого алгоритма можно отнести пропуск некоторых простых чисел, информация о которых в принципе может незначительно облегчить криптоанализ системы ЭЦП.

Библиографический список

1. *Крэндалл Р., Померанс К.* Простые числа. Криптографические и вычислительные аспекты. УРСС, Либроком, 2011. 664 с.
2. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи. М.: Госстандарт России, 2001. 12 с.
3. Процедуры выработки и проверки электронной цифровой подписи на базе асимметричного криптографического алгоритма. М.: Госстандарт России, 1994. 14 с.
4. *Молдовян Н.А.* Теоретический минимум и алгоритмы цифровой подписи. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 304 с.
5. *Акритос А.* Основы компьютерной алгебры с приложениями. М.: Мир.:1994. – 544с.
6. *Анохин М. И., Варновский Н. П., Сидельников В. М., Яценко В. В.* Криптография в банковском деле. – М.: МИФИ, 1997.

УДК 681.51

М. А. Крохалева

магистрант

Ю. П. Иванов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФИНИТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Цель работы заключается в проведении сравнительного анализа методов фильтрации Калмана и финитной обработки сигналов по точности оценки координат летательного аппарата. Оцениваемым сигналом является географическая широта местоположения летательного аппарата, которая определяется на основе обработки поступающей от ИНС и СНС информации. Для получения оценки используется комплексная информационно-измерительная система с фильтром разностного сигнала (ФРС), на вход которой поступают сигналы от инерциальной (ИНС) и спутниковой (СНС) навигационных систем.

В работе исследуется инвариантная финитно – временная фильтрация оцениваемых сигналов, которая позволяет устранить нарастающую в квадратичном виде регулярную ошибку в результатах измерения датчиков ИНС и уменьшить флюктуационную ошибку.

Сигнал на входе ФРС имеет следующий вид:

$$\eta_i = \eta_{СНС i} - \eta_{ИНС i},$$

где $i = 1 \dots N$, η_i , $\eta_{ИНС i}$, $\eta_{СНС i}$ – скалярные случайные гауссовские временные последовательности, где ошибка ИНС определяется как совокупность флюктуационной и регулярной ошибок:

$$\eta_{ИНС i} = \eta_{ИНС i} (фл) + \eta_{ИНС i} (рег),$$

где $\eta_{ИНС i} (фл)$ – сумма дискретного винеровского процесса в момент времени i ;

$$\eta_{ИНС i} (рег) = a \cdot (i \cdot d)^2,$$

$$a = \sqrt{D_1} \cdot \omega_1,$$

где $i = 1 \dots N$ – шаг, d – дискрет, D_1 – дисперсия смещения нуля a акселерометра, входящего в состав ИНС. ω_1 – случайная дискретная гауссовская величина со среднеквадратическим значением, равным 1.

Ошибка СНС выбрана стационарным случайным процессом в виде белого гауссовского шума и определяется следующей формулой:

$$\eta_{СНС i} = \sigma_0 \cdot \omega_i,$$

где σ_0 – среднеквадратическое отклонение ошибки СНС.

Погрешности ошибок ИНС и СНС не коррелированы между собой.

В данной работе исследуется оптимальная финитно-временная обработка, основанная на следствии теоремы ортогонального проецирования [1]. Ее суть заключается в использовании ограниченного набора измерений в виде вектора размерностью $r \times 1$, который учитывает текущее и предыдущее $r-1$ измерения. Оптимальная оценка погрешности ИНС по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценки на выходе ФРС комплексной навигационной системы осуществляется с использованием матричного оператора финитной обработки размерностью $r \times r$, который определяется корреляционными матрицами исследуемых помех [2]:

$$\mathbf{A} = \mathbf{E} - \mathbf{K} \eta_{СНС} \cdot \mathbf{K}_z^{-1}, \quad (1)$$

где \mathbf{E} – единичная матрица размерностью $r \times r$, $\mathbf{K} \eta_{ИНС}$, \mathbf{K}_z – корреляционные функции ИНС и СНС соответственно, выражения для которых записываются в виде матриц размерностью $r \times r$:

$$\mathbf{K} \mathbf{z} = \mathbf{K} \eta_{СНС} + \mathbf{K} \eta_{ИНС},$$

где $\mathbf{K} \eta_{ИНС}$ – матрица корреляционных моментов погрешностей ИНС размерностью $r \times r$, учитывающая флюктуационную и регулярную ошибки,

$$\mathbf{K} \eta_{СНС} = \mathbf{E} \cdot \sigma_0^2.$$

Оптимальная финитно-временная оценка погрешности ИНС имеет следующий вид:

$$\hat{H}_{\text{ИНС},i} = \mathbf{A} \cdot \boldsymbol{\eta}_i, i = 1 \dots N. \quad (2)$$

В соответствии с формулами (1) и (2) было осуществлено моделирование с помощью программы «MathCAD 15».

При моделировании были выбраны следующие исходные параметры:

- объем выборки $N = 8000$;
- СКО ИНС $\sigma_1 = 0,00005 \text{ м}$, СКО СНС $\sigma_0 = 3 \text{ м}$;
- память финитного фильтра $r = 6$;
- дискрет $d = 2$;
- дисперсия смещения нуля акселерометра $D_1 = 0,00002 \text{ м}^2/\text{с}^4$.

При исследовании робастности и помехозащищенности исходные параметры изменялись в следующих диапазонах:

- диапазоны изменения входных данных: $\sigma_1 = 2 \cdot 10^{-5} \dots 10 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$, $\sigma_0 = 1 \dots 5 \text{ м/с}^2$, $r = 2 \dots 8$, $D_1 = 2 \cdot 10^{-4} \dots 10 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$, $d = 0,4 \dots 1,2$;

Фильтр Калмана в работе рассматривается в классическом варианте [3], где начальный вектор состояния размерностью 3×1 определен в следующем виде:

$$X = \begin{bmatrix} \sigma_1 \cdot 2d \cdot \omega_i \\ a^2 \cdot 4d^2 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

При использовании финитно-временной обработки сигналов (ocenka2) и фильтра Калмана (ocenka2) получены следующие зависимости погрешности ИНС и ее оценок $\hat{H}_{\text{ИНС},i}$ с использованием рассматриваемых фильтров, представленные на рис. 1.

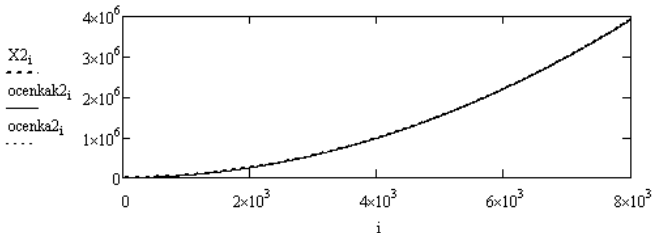


Рис.1. Зависимость оценок ошибки ИНС с помощью фильтров от дискретного времени i

Как видно из рис. 1, рассматриваемые виды обработки сигналов практически повторяют заданную модель сигнала, что говорит о большой точности фильтров при определении оценки ошибки ИНС. Также было проведено сравнение фильтров по дисперсиям ошибок оценок ИНС (рис. 2).

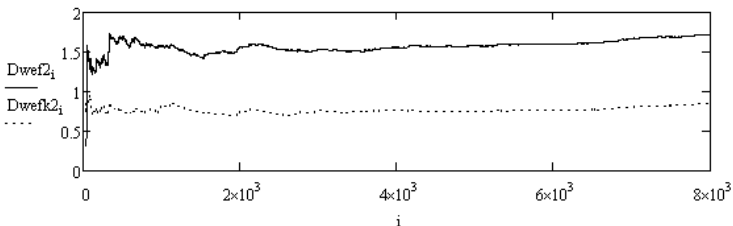


Рис. 2. Зависимость значений дисперсий ошибок оценок исследуемых фильтров от дискретного времени i

При использовании фильтрации Калмана дисперсия ошибки оценки (D_{wefk2}) равна $0,847 \text{ м}^2/\text{с}^4$, при финитной обработке (D_{wef2}) – $1,714 \text{ м}^2/\text{с}^4$. Таким образом, фильтр Калмана в два раза точнее определяет оценку широты положения летательного аппарата по сравнению с финитной обработкой.

Был проведен анализ влияния изменения исходных параметров на качество работы фильтров. При изменении памяти финитного фильтра $r1$ в заданном диапазоне (Рис.3), дисперсия ошибки оценки по результатам финитной обработки уменьшается и приближается к результатам фильтрации Калмана ($DEk2$).

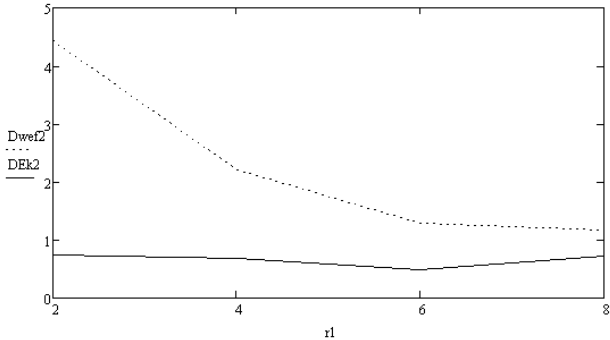


Рис. 3. Зависимость дисперсий ошибок оценок исследуемых фильтров от памяти $r1$

На основании проведенного моделирования можно сделать следующие выводы:

- 1) при выбранных исходных данных финитная оптимальная обработка в 2 раза уступает по точности фильтру Калмана;
- 2) приближения финитной обработки к фильтру Калмана можно достичь путем увеличения памяти фильтра;
- 3) исследуемые методы фильтрации обладают свойствами помехозащищенности и робастности. Преимущества финитной обработки, выявленные по результатам моделирования:
 - является более универсальной;
 - более устойчива к изменению параметров вследствие отсутствия обратной связи;
 - является более простой при реализации алгоритма обработки;
 - не требуется представления сигналов в пространстве состояний.

Библиографический список

1. Иванов Ю. П., Никитин В.Г. Информационно-статистическая теория измерений: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2011. 104 с.
2. Иванов Ю. П., Бирюков Б. Л. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем: учеб. пособие. – СПб.: ГУАП, 2008. 160 с.
3. Степанов О. А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. – СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. – 417 с.

УДК 621.391.8

А.С. Кузьмин

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Ф.А. Таубин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

ОБЗОР МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В СЕТЯХ LTE

Сети LTE – это беспроводные сети, использующие для передачи информации каналы связи, подверженные влиянию множества помех таких как [1]:

- 1) межсимвольная интерференция;
- 2) модуляционные потери;
- 3) эффективность антенны;
- 4) потери наведения;
- 5) атмосферные помехи и шум атмосферы;
- 6) помехи соседнего канала;
- 7) неидеальная синхронизация и др.

Обмен между базовой станцией и мобильной станцией строится по принципу циклически повторяющихся кадров (в терминологии LTE – радиокادر). Длительность радиокadra – 10 мс [2].

Стандарт LTE предусматривает два типа радиокадров. Тип 1 предназначен для частотного дуплексирования – как для полного дуплекса, так и для полудуплекса. Такой кадр состоит из 20 слотов (длительностью 0,5 мс), нумеруемых от 0 до 19. Два смежных слота образуют субкадр (рис.1). При полнодуплексном режиме радиокadры в восходящем и нисходящем каналах передаются параллельно, но с оговоренным в стандарте временным сдвигом [2].



Рис. 1. Структура кадра LTE при частотном разделении дуплексных каналов

Радиокادر типа 2 (рис.2) предназначен только для временного дуплексирования. Он состоит из двух полукадров длительностью по 5 мс. Каждый полукадр включает 5 субкадров длительностью 1 мс. Стандарт предусматривает два цикла временного дуплексирования – 5 и 10 мс. В первом случае 1-й и 6-й субкадры идентичны и содержат служебные поля DwPTS, UpPTS и защитный интервал GP. При 10-мс цикле TDD 6-й субкадр используется для передачи данных в нисходящем канале. Субкадры 0 и 5, а также поле DwPTS всегда относятся к нисходящему каналу, а субкадр 2 и поле UpPTS – к восходящему. Распределение остальных субкадров определяется таблицей [2].

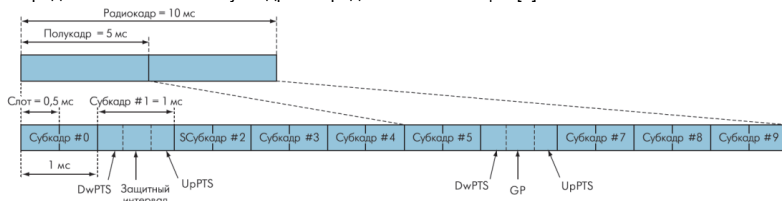


Рис. 2. Структура кадра LTE при временном разделении дуплексных каналов

Распределение субкадров в радиокadre типа 2,
D – нисходящий канал, U – восходящий, S – субкадр со специальными полями

Конфигурация	Цикл TDD, мс	Номер субкадра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	S	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	S	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	S	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

Формирование сигнала в нисходящем канале достаточно стандартно для современных систем цифровой передачи информации. И для уменьшения влияния помех оно включает в себя процедуры канального кодирования, скремблирования, формирования модуляционных символов, распределения по антеннам и синтеза OFDM-сигналов [2].

В канальном кодировании предполагается вычисление контрольных сумм для блоков данных. Затем эти блоки подвергаются обработке кодером со скоростью 1/3. В сетях LTE возможно использование сверточного кодера, либо турбокодера. Далее используется технология MIMO (Multiple-Input Multiple-Output systems). В такой системе уменьшение вероятности ошибки обеспечивается за счет одновременного разнесения на передачу и на прием [3, 4]. Кодированная последовательность распределяется по антеннам, где происходит синтез OFDM-сигнала и обработка с помощью пространственно-временного кода, использующего схему Аламути [5]. На стороне приема все процедуры выполняются в обратном порядке.

В данной статье будет рассмотрен турбокод со скоростью 1/3. Турбокод представляет собой систематический код, полученный каскадированием сверточных кодов. Известно, что существуют 2 основные конструкции кодера турбокода: одна получается при параллельном, другая при последовательном каскадировании кодов [6].

Спецификация TS-36.212 предполагает использование турбокодов в сетях LTE, образующихся при параллельном соединении двух сверточных кодов, с внутренним перемежителем и скоростью кодирования 1/3. Кодер такого кода представлен на рис. 3 [6].

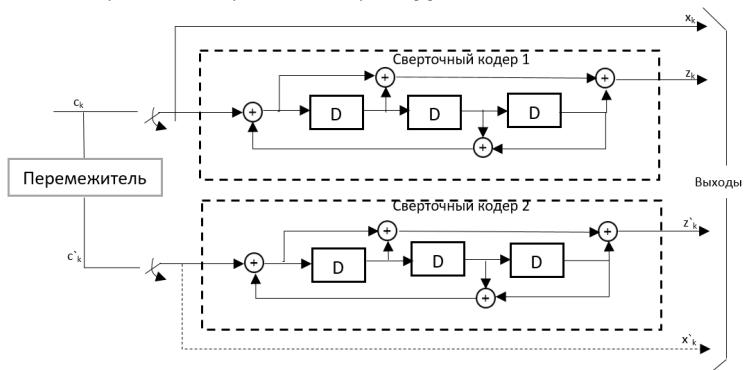


Рис. 3. Кодер турбокода со скоростью кодирования 1/3

Наиболее важным моментом при проектировании турбокодов с параллельным каскадированием является правильный выбор составляющих кодов и перемежителя. Исследования показали, что для турбокода этого типа наилучшими составляющими являются рекурсивные сверточные коды, так как их использование значительно уменьшает количество слов с меньшим весом, что является показателем эффективности турбокода [7].

Работа кодера осуществляется следующим образом.

Перед кодированием в регистры кодера должны быть записаны нули. В процессе кодирования биты турбокода снимаются в следующем порядке:

$$\begin{aligned} d_k^{(0)} &= x_k, \\ d_k^{(1)} &= z_k, \\ d_k^{(2)} &= z_k, k = 0, 1, 2, \dots, K - 1. \end{aligned} \quad (1)$$

где x_1, x_2, \dots, x_k – биты, поступающие на вход кодера, z_1, z_2, \dots, z_k – биты с выхода первого сверточного кодера, z'_1, z'_2, \dots, z'_k – биты с выхода второго сверточного кодера. Биты x_1, x_2, \dots, x_k принято считать информационными, а с выходов сверточных кодов проверочными.

Роль перемежителя состоит в преобразовании входной последовательности так, чтобы комбинации бит C , соответствующие кодовым словам с низким весом, были преобразованы в комбинации, дающие кодовые слова с высоким весом на выходах остальных кодеров. При кодировании формируются кодовые слова так, чтобы получалось максимально возможное среднее расстояние между ними [8]. Кроме этого перемежитель уменьшает корреляцию между соседними символами кодового слова, что позволяет при декодировании уменьшить вероятность ошибки. Наилучшими характеристиками обладают турбокоды с псевдослучайными перемежителями [6].

При поступлении на вход перемежителя последовательности c_1, c_2, \dots, c_k на выходе образуется последовательность

$$c_i = c_{\Pi(i)}, i = 0, 1, \dots, K - 1.$$

Последовательность номеров $\Pi(i)$, в соответствии с которой изменяется порядок следования бит, формируется согласно формуле

$$\Pi(i) = (f_1 i + f_2 j) \bmod K.$$

Параметры f_1 и f_2 зависят от битовой последовательности K и определяются таблицей, приведенной в спецификации TS-36.212.

Для декодирования турбокодов используется декодирование Витерби с мягким решением, позволяющее получить очень близкие к пропускной способности канала характеристики [6].

Были проведены исследования эффективности декодирования сверточных турбокодов в каналах с замираниями для различных длин кодируемого блока. На рис. 4 представлены графики помехоустойчивости для сравнения результатов декодирования турбокодов в канале с замираниями и АБГШ. Отмечено, что для обоих рассматриваемых каналов эффективнее использовать блоки увеличенной длины (16 Кбит), вероятность ошибочного декодирования которых достигает 10^{-5} при $E_b/N_0=1,7 \dots 2,5$ дБ. Блоки длиной $L < 1024$ бит, демонстрируют вероятность ошибки декодирования более 10^{-4} при $E_b/N_0=3 \dots 6$ дБ в зависимости от используемой модели канала [9].

Критерием выбора параметров кода служит минимум количества кодовых блоков с малым взаимным расстоянием при максимуме среднего расстояния в противоположность весьма распространенному критерию максимума минимального расстояния между кодовыми блоками. Такой критерий обеспечивает более высокую достоверность декодирования при низком отношении сигнал-шум, чем критерий минимума максимального расстояния.

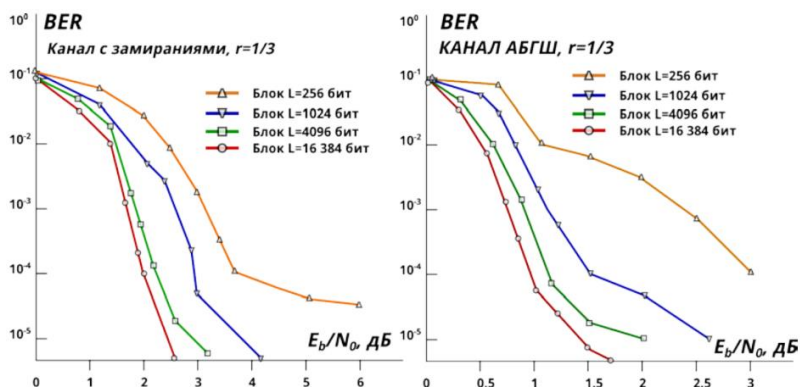


Рис. 4. Эффективность декодирования сверточных турбокодов в канале АБГШ и канале с замираниями

Снижение вероятности ошибки декодирования достигается увеличением длины информационного блока без увеличения вычислительной сложности алгоритма декодирования. Иначе говоря, управляя длиной блока, можно управлять вероятностью ошибки на выходе декодера.

Библиографический список

1. Спярд, Бернанд. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
2. Вишневецкий В., Красилов А., Шахнович И. Технология сотовой связи LTE – почти 4G // Электроника НТБ. Выпуск #1/2009
3. IEEE Press, 2004 I. E. Telatar: «Capacity of Multi-Antenna Gaussian Channels.» European Transactions on Telecommunications, 1999, Technical Memorandum, Bell Laboratories, Lucent Technologies, vol. 10, no. 6, pp. 585-595, October 1998.
4. Foschini G. J., Gans M. J. On Limits of Wireless Communication in a Fading Environment when Using Multiple Antennas. Wireless Personal Communications. vol. 6. 1998. N 3, pp. 311-335,
5. Arunabha Ghosh, David R. Wolter, Jeffrey G. Andrews and Runhua Chen, «Broadband Wireless Access with WiMax/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential.» IEEE Commun. Magazine, vol. 43, Feb. 2005. N 2. pp. 129-136.
6. Зубарев Ю.Б., Овечкин Г.В. Помехоустойчивое кодирование в цифровых системах передачи данных – расширенная версия 2 из «Электросвязи».
7. Specification TS-36.212 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding. 3GPP
8. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 204 с.
9. Небаев И. А. Анализ эффективности турбокодов в системах обработки и передачи данных: дис. ... канд. тех. наук. 2013. СПб., 2013. 166 с.

УДК 53.088.6

И. В. Лебедев

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

Б. Л. Бирюков

старший преподаватель – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАЛЬНЫХ ПОКАЗАНИЙ ДАТЧИКОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Массовый интерес к квадрокоптерам возник в последнее десятилетие, когда стали широко распространены миниатюрные микроэлектромеханические датчики, относительно емкие и мощные аккумуляторы и электродвигатели с улучшенными характеристиками. Из-за большого числа быстро движущихся элементов, чем в беспилотных ЛА, выполненных по стандартной самолетной схеме, на борту квадрокоптера присутствуют более интенсивные вибрации. Поэтому требуются меры по снижению их влияния на точность измерений. В то же время присутствуют и собственные погрешности датчиков с флуктуационной составляющей погрешности. Для ослабления влияния погрешностей используются алгоритмы фильтрации. Вследствие того, что погрешности имеют разную природу, для их ослабления могут быть применены отдельные фильтры с целью упрощения алгоритма фильтрации. Их оптимизация также может быть выполнена отдельно. Вместе с тем, принимая во внимание то, что показателем качества системы является конечная точность определения рассматриваемых параметров движения, оптимизацию фильтров следует осуществлять согласованно.

Для ослабления влияния погрешностей используется Фильтр Калмана. Его синтез осуществляется в варианте построения непрерывной стохастической системы и последующим определением параметров фильтра. В качестве исходного варианта был использован алгоритм фильтра Калмана в нестационарном режиме. Для выполнения оптимизации системы, состоящей из двух фильтров, в стационарном режиме необходимо выражения для фильтра Калмана перевести в операторный вид. Это представляется возможным реализовать, используя установившиеся значения матрицы $P(t)$ фильтра Калмана.

Таким образом, полученное выражение для нахождения оценки вектора $X(t)$ (в этом векторе оцениваются следующие параметры: вертикальная скорость, высота, низкочастотная погрешность баро-высотомера, уход нуля акселерометра) выглядит следующим образом:

$$\dot{X}(t) = A\hat{X}(t) + A_0 Y_{акс}(t) + K(t) [Y_{бв}(t) - C\hat{X}(t)].$$

Для исследования алгоритма оценивания параметров вертикального движения квадрокоптера в пакете Matlab была разработана программа обработки сигнала акселерометра и баро-высотомера с использованием выражения для фильтра Калмана. В качестве стенда для исследования были использованы следующие элементы: BMP180 – датчик давления воздуха, MPU6050 – трехосный акселерометр, Arduino UNO – плата для обработки сигналов датчиков и выдачи их в COM-порт ЭВМ. В результате выполнения программы были получены временные зависимости измерения высоты с помощью баро-высотомера и оценки высоты (рис. 1, а) и интеграла показаний акселерометра и оценки вертикальной скорости (рис. 1, б).

Из представленных на графиках результатов видно, что оценки компонентов оцениваемого вектора сходятся к их истинным значениям. Однако оценивание проходит довольно долго, так как в векторе оцениваемых параметров присутствует постоянная величина – отклонение нуля акселерометра, и именно оценивание этого параметра проходит дольше всего.

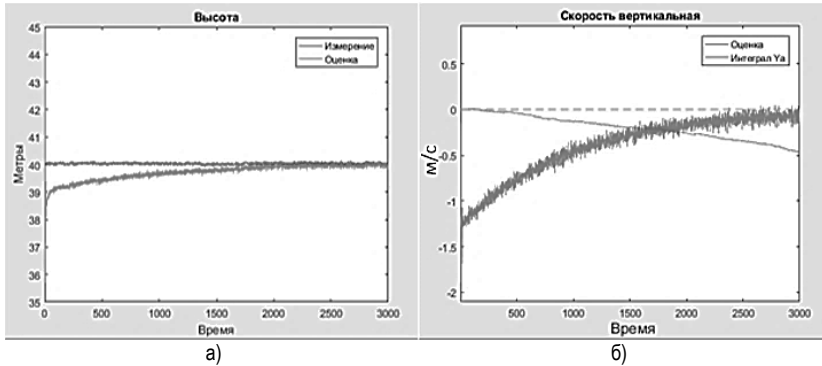


Рис. 1. Графики зависимости оцениваемых параметров вертикального движения квадрокоптера от времени

Представленные выше зависимости не учитывают наличия вибрационной погрешности, вызванной работой силовой установки. Для уменьшения ее влияния и улучшения оценивания параметров вертикального движения допустимо использовать дополнительный фильтр. Учитывая различные виды погрешностей (вибрационной и других), допустимо с целью упрощения синтеза рассматривать раздельное построение соответствующих фильтров. Так как спектр вибраций на борту квадрокоптера является преимущественно дискретным и расположен в основном выше по частоте, чем другие составляющие погрешности, то для снижения влияния вибрационной погрешности использован фильтр нижних частот (ФНЧ). При синтезе фильтра предполагается взаимная некоррелированность вибрационной составляющей с остальными составляющими погрешности.

Для оценивания качества полученной системы необходимо получить выражение для дисперсии ошибки оценки высоты.

Полная ошибка, проходящая через систему, складывается из двух частей:

- динамическая ошибка, представляющая собой отклонение оценки сигнала от истинного значения, возникающее при обработке измеренного сигнала. Динамическая ошибка в операторном представлении вычисляется по формуле

$$\varepsilon_d(p) = \hat{H}(p) - H(p),$$

где $\hat{H}(p)$ – результат преобразования $H(p)$ в системе, $H(p)$ – полезный сигнал;

- флуктуационная ошибка, представляющая собой отклонение оценки сигнала от истинного значения, возникающее из-за наличия в выходном сигнале датчиков погрешностей, вызываемых вибрациями на борту ЛА, ветром, электронным шумом компонентов и т.д.

Флуктуационная ошибка вычисляется по формуле

$$\varepsilon_f(p) = \varepsilon_{f1}(p) + \varepsilon_{f2}(p),$$

где $\varepsilon_{f1}(p)$ и $\varepsilon_{f2}(p)$ – флуктуационные составляющие ошибки оценки высоты по измерительному каналу акселерометра и баровысотометра соответственно.

После получения выражения для динамической и флуктуационной составляющей погрешности рассчитываются соответствующие составляющие дисперсии ошибки. Для расчета составляющих дисперсии ошибки может быть использована следующая формула [2]:

$$D_\varepsilon = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |\Phi(j\omega)|^2 S_\varepsilon(\omega) d\omega,$$

где $S_{\xi}(\omega)$ – спектральная плотность случайного процесса, порождающего данную составляющую ошибки, $\Phi(j\omega)$ – передаточная функция преобразования при прохождении случайного процесса через систему. Так как спектральные плотности сигналов представляют собой дробно-рациональные функции от ω , то вычисление такого интеграла можно свести к вычислению интегралов стандартного вида [2]:

$$D_{\varepsilon} = I_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{B_n(j\omega)}{A_n(j\omega)A_n(-j\omega)} d\omega.$$

Приведенное выше выражение для вычисления интеграла стандартного вида используется для вычисления дисперсии каждой составляющей погрешности, которые после суммируются. На основе выражения для дисперсии ошибки оценки высоты может быть проведена параметрическая оптимизация фильтра – выбор частоты среза ФНЧ с учетом допуска по снижению точности оценки в сравнении с использованием полноразмерного фильтра Калмана.

Для расчета полной ошибки оценки высоты написана программа в математическом пакете Matlab. В качестве исходных данных использовались параметры датчиков, применяемых в выше описанном моделировании (рис. 1). В результате расчетов была получена зависимость полной ошибки оценки высоты полета квадрокоптера от частоты среза ФНЧ. При этом частота вибрации силовой установки была выбрана равной 20 об/с.

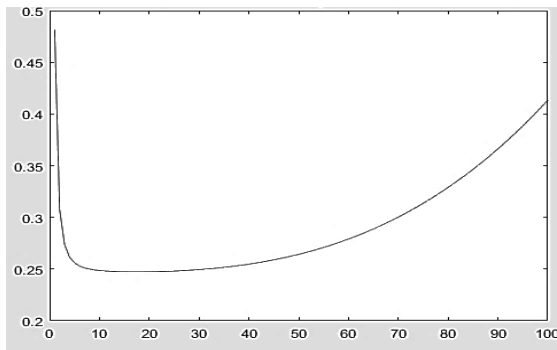


Рис. 2. Зависимость полной дисперсии ошибки оценки высоты от частоты среза ФНЧ

Из графика видно, что минимум ошибки находится в районе 20 Гц, что соответствует частоте вибрации силовой установки. Это объясняется тем, что если частота среза ФНЧ находится ниже 20 Гц, то он «обрезает» частотный спектр полезного сигнала, а если больше 20 Гц, то через фильтр усиливается прохождение вибрационной составляющей погрешности. Таким образом, зная частоту вибрации силовой установки, можно управлять параметрами ФНЧ для обеспечения наилучшего оценивания полезного сигнала.

Проведенное моделирование показало, что использование дополнительного фильтра является целесообразным, так как приводит к существенному снижению составляющей дисперсии ошибки оценки, вызванной вибрационной составляющей погрешности акселерометра.

Библиографический список

1. Тихонов В. И. Харисов В. Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с.: ил.
2. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления / – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с. – (Серия: Специалист).

УДК 629.7.072

А.А. Легкий

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Я. Мамаев

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ

В магистерской работе рассматривается задача по разработке мотивационной формы адаптивного тестирования обучаемого, за счет потенциальной возможности использования различных подсказок при ответе на любой вопрос из текущих вопросов теста закрытого типа.

При использовании подсказок обучаемый получает возможность повысить вероятность угадывания правильного ответа, при этом так же реализуется процедура психологической разгрузки и существенно повышается заинтересованность. Обучаемому в рамках текущего контроля знаний для получения оценки предлагается пройти мотивационное тестирование. При этом дается возможность использования широкой номенклатуры подсказок, которые с одной стороны формируют интерес, а с другой – позволяют в кратчайшие сроки повысить эффективность контроля знаний, сводя при этом процедуру контроля к легкой игровой задаче. Обучаемый реализует одну из стратегий прохождения теста (сам по своему усмотрению выбирает состав и количество подсказок, определяет их рациональное использование и т.д.) [3].

Для того чтобы обучаемый более успешно «настроился» на тестовую форму контроля знаний, используется система многоуровневых подсказок, каждая из которых представляет собой определенную игровую деятельность, способную заинтересовать обучаемого, либо за счет обеспечения последовательного логического приближения к правильному ответу, либо путем представления некоторой интеллектуальной информации, способной восстановить «подзабытые» знания или «натолкнуть» на правильный ответ [2].

Подсказки подразделяют на следующие категории:

- 1) Подсказки по форме временного распределения в ходе проверки знаний обучаемого:
 - до окончательного ответа применяются до смены вопроса; позволяют перед окончательным ответом еще раз проверить свои теоретические выкладки и обдумать ответ.
 - во время ответа – например, подсказка, позволяющая убрать половину неправильных вариантов ответа в текущем вопросе.
- 2) Разделение подсказок по форме игровой и интеллектуальной направленности [3]:
 - в виде информации к размышлению – краткая информация, представляющая из себя «интеллектуально законченное сообщение», позволяющее либо натолкнуть обучаемого на правильный ответ или уменьшить (в его понимании) некоторое кол-во неправильных ответов.
 - замена текущего вопроса на аналогичный по сложности или по семантической категории вопроса.
 - замена текущего вопроса на более легкий по сложности или по семантической категории (если есть на данный момент такая возможность);
 - временный пропуск текущего вопроса, с оговоркой, что обучаемый вернется к нему в конце тестового контроля;
 - дополнительное время, отведенное на дачу ответа для текущего вопроса, учитывает индивидуальные психофизиологические особенности тестируемого [4].
 - подсказка, убирающая половину неправильных вариантов ответа в текущем вопросе (50/50). Увеличивает вероятность дачи правильного ответа;
 - указание количества правильных ответов в тестовом задании (для поливариантной базы), при этом существуют две разновидности данной подсказки:
 - а. Точное указание – указывается ровно столько, сколько правильных вариантов ответа в тестовом задании.

- b. Приближенное значение – показывается приближенное количество вариантов ответа, например, не менее 2, не более 3.
 - временная пауза в ходе тестового контроля для осуществления релаксации обучаемого.

Пример тестового задания представлен на рисунке 1 [1].

Задание №1 Метеорологический ветер и ветер навигационный.

Укажите правильное соответствие цифр на рис. 2 и углов ветра. Ответ запишите в таблице.

Навигационные углы	ответ
$\delta_{н.н}$	3
$\delta_{н.м}$	
$\delta_{н.у}$	
ΔM	4
ΔA	
δ	6

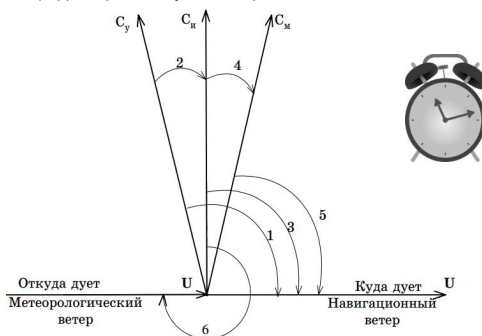


Рис. 2 – метрологический и навигационный ветер

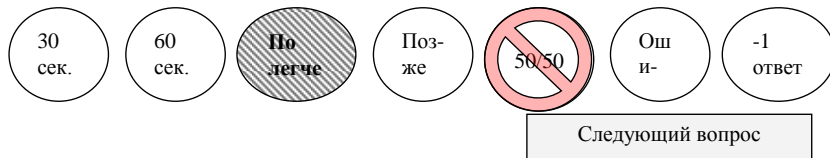


Рис. 1. Пример тестового задания

Таким образом, использование игровых технологий позволяет реализовать элементы обучающего тестирования с эффективными мотивационными алгоритмами, направленными на повышение заинтересованности обучаемых. Помимо игровых технологий в обучении используются задания осуществляющие процесс перехода от изучения одного параграфа в главе или процесс перехода от изучения одной главы к другой, напоминая необходимые ранее приобретенные знания, которые могут понадобиться в решении дальнейших задач в ходе тестирования. Данные элементы тестирования способны интенсифицировать процесс обучения, путем создания условий для опережающей самостоятельной работы.

Библиографический список

1. *Мамаев В.Я., Синяков А.Н., Петров К.К., Горбунов Д.А.* Воздушная навигация и элементы самолетовождения. СПб., 2002 256с.:
2. *Григорьев А.П. Чернялевский А.О.* Разработка и исследование универсальных баз данных для организации дистанционного адаптивного тестового контроля знаний авиационных специалистов. Педагогическая наука и современное образование. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2015. С. 254 – 257.
3. *Григорьев А.П. Долгий А.И.* Контроль, диагностика и восстановление знаний в дистанционных адаптивных обучающих системах. Педагогическая наука и современное образование: сборник статей 2 Международной научно практической конференции, посвященной Дню российской науки. СПб.: Изд. РГПУ им. А.И. Герцена, 2015.
4. *Дуплик С.В.* Модели педагогического тестирования обучаемых // Вестник Казан, гос. Техн. ун-та им. А.Н. Туполева. 2003. №2. С. 74-79.

УДК 681.2

А.Н. Локотко

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

Ю.П. Иванов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

Исследуется задача повышения оценки точности высоты полета летательного аппарата (ЛА) методом спектрально-финитной, оптимальной обработки с использованием датчиков бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) и радиовысотомера.

Основная задача при использовании таких датчиков – устранение регулярной ошибки БИНС и флуктуационной радиовысотомера. Для этого в данной работе представлена схема с фильтром разностных сигналов (ФРС), обеспечивающая инвариантность ошибки оценки на выходе комплексной системы от полезного сигнала.

Чаще всего в роли такого фильтра выступает фильтр Калмана. Но у такого фильтра помимо основных достоинств есть и свои недостатки, такие как: возможная неустойчивость работы фильтра в случае несоответствия внешних воздействий расчетным характеристикам фильтра, требование точного математического описания вида помех, высокая чувствительность к интервалу измерения (дискрету).

Таких проблем не возникает, если в качестве ФРС использовать алгоритм спектрально-финитной фильтрации, основная идея которого заключается в представлении:

1. наблюдаемого сигнала в виде вектора состояний, состоящего из r компонент, полученных на конечном интервале времени наблюдения;

2. сигнала в виде спектра, состоящего из вектора s – спектральных компонент.

Использование схемы без обратной связи и работа с конечным вектором предыдущих значений сигнала (объемом памяти), позволяет получить универсальность такого фильтра и обеспечить точность с любым заданным приближением к фильтру Калмана при увеличении размерности наблюдаемого вектора.

Спектральное представление обеспечивает сжатие входной информации и уменьшает размерность входного сигнала, что повышает помехоустойчивость комплексной системы.

Оценка высоты полета на выходе комплексной системы записывается выражением:

$$\hat{X}^* = X + \hat{H}^*,$$

где X – полезный сигнал.

Оценку ошибки сигнала на выходе фильтра разностного сигнала \hat{H}^* , при финитно-временной обработке можно представить в следующем виде:

$$\hat{H}_i^* = A_i^* \cdot Z_i, \quad i=1,2,\dots,N,$$

где A_i^* – оператор фильтра размерностью « $r \times r$ »; Z_i – разностный сигнал, $Z_i = Y_{1i} - Y_{2i}$; Y_{1i} и Y_{2i} – результаты измерений сигнала с БИНС и радиовысотомера соответственно.

Разностный сигнал Z_i – это вектор памяти предыдущих значений записывается он в следующем виде:

$$Z_i = \begin{pmatrix} Z_i \\ Z_{i-1} \\ \vdots \\ Z_{i-r+1} \end{pmatrix}$$

Оператор Ана основании следствия теоремы ортогонального проецирования [1]

$$A_i^* = K_{X_i} \cdot K_{Z_i}^{-1},$$

$r \times r$ $r \times r$ $r \times r$

где K_{X_i} и $K_{Z_i}^{-1}$ смешанная и начальная корреляционные матрицы.

Для представления информации в спектральном виде для матрицы K_{X_i} определяется матрица собственных чисел и собственных векторов с помощью процедуры, которая описана в работе [3].

Нахождение собственных чисел матриц K_{X_i} и $K_{Z_i}^{-1}$ осуществляется по формулам:

$$K_{X_i} c = B^T \cdot K_{X_i} \cdot B;$$

$$K_{Z_i} c = B^T \cdot K_{Z_i} \cdot B,$$

где $K_{X_i} c$ – матрица собственных чисел, соответствующая корреляционной матрице K_{X_i} ; $K_{Z_i} c$ – матрица спектральных моментов для матрицы K_{Z_i} ; B – матрица собственных векторов корреляционной матрицы K_{X_i} .

Таким образом, оператор A преобразуется в спектр через собственные вектора матрицы K_{X_i} :

$$A c = K_{X_i} c \cdot K_{Z_i}^{-1} c.$$

Оценка погрешности БИНС в спектральном представлении будет определяться выражением

$$\hat{H} c = B \cdot A c \cdot B^T Z_i.$$

После этих операций матрица $A c$ из частотной области переводится обратно, во временную область:

$$A_T = B \cdot A c \cdot B^T$$

В работе сравнивается эффективность спектрально-финитного фильтра с фильтром Калмана. Исползуется классический фильтр Калмана, у которого вектор состояния учитывает координату и ее производные.

В данной работе проведено моделирование при следующих начальных данных:

– флуктуационная ошибка БИНС задается выражением

$$\eta_{\text{ФЛ}}(t) = \sigma_{\text{БИНС}} t;$$

– регулярная ошибка БИНС представляется в виде

$$\eta_{\text{РЕГ}}(t) = \sigma_{\text{БИНС.РЕГ}} t^2;$$

– ошибка радиовысотомера представлена в виде белого шума:

$$\eta_{\text{РВ}}(t) = \sigma_{\text{РВ}} \xi(t),$$

где СКО БИНС – $\sigma_{\text{БИНС}} = 0.01$ м, СКО радиовысотомера – $\sigma_{\text{РВ}} = 3$ м.; регулярная ошибка БИНС – $\sigma_{\text{БИНС.РЕГ}} = 0.02$ м.

–объем выборки, $N = 6000$;

–память, $r = 4$;

–количество спектральных компонент, $s = 1$;

–дискрет, $d = 3$.

По результатам моделирования было показано, что метод спектрально-финитной обработки незначительно уступает по точности фильтру Калмана. На рис. 1 показано, как оба фильтра справляются

с выделением регулярной ошибки, поступающей с БИНС. Видно, что крутизна нарастания ошибки определена точно.

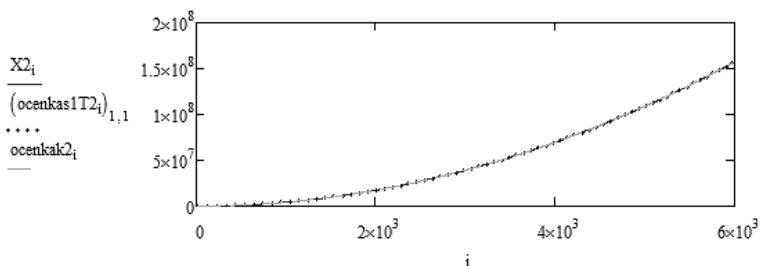


Рис. 1. Оценка погрешности на выходе ФРС:

$X2$ – реальная ошибка; *ocenkak2* – оценка ошибки на выходе ФРС Калмана;
ocenkas1T2 – оценка ошибки на выходе ФРС работающего по спектрально-финитному методу

Дисперсии ошибок оценок не увеличиваются с течением временив фильтре Калмана и спектрально-финитном фильтре и равны $D_K = 1,677$, $D_{C\Phi} = 2,408$ соответственно. Однако, $D_{C\Phi}$ можно вплотную приблизить в величине D_K , если увеличить размер вектора r .

Выводы:

- спектрально-финитная фильтрация незначительно отличается по точности от Калмановской фильтрации и может быть приближена к ней с увеличением r ;
- из r спектральных компонент в данномслучае достаточно использовать одну компоненту, это ведет к упрощению алгоритма обработки;
- оптимальная обработка позволяет обеспечить астатизм 2-го порядка после окончания переходного процесса;
- Оба алгоритма обеспечивают робастность и помехозащищенность при изменении начальных параметров;
- при изменении дискрета, наиболее чувствительным является фильтр Калмана.

Библиографический список

1. Иванов Ю. П., Никитин В. Г. Информационно-статистическая теория измерений. Методы оптимального синтеза информационно-измерительных систем, критерии оптимизации и свойства оценок: учеб. пособие / – СПб.: ГУАП, 2011. – 104 с.
2. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. – 496 с.
3. Емелин А. Собственные значения (числа) и собственные векторы. Примеры решений [Электронный ресурс] URL: http://mathprofi.ru/sobstvennye_znachenija_i_sobstvennye_vektory.html

УДК 629.7.072

М. С. Мазиков

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В.Я. Мамаев

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ОЦЕНИВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗВОРОТА САМОЛЁТА НА ТРЕНАЖЁРЕ

Значимость и ценность получения и применения новых знаний, умений и навыков постоянно растут, поэтому необходимо постоянно стремиться осваивать новые эффективные технологии обучения.

В процессе обучения участвуют минимум два человека: учитель и обучаемый. Преимущество такого процесса заключается в том, что обучаемому нужно затрачивать много меньшее количество времени на поиски и освоение необходимого материала. Учитель уже знаком со спецификой и многими проблемами, возникающими при освоении данного материала.

Поскольку в процесс обучения вовлекается всё большее число людей, он становится более затратным, в связи с чем возникает вопрос автоматизации процесса обучения. В последние годы активно развиваются искусственные нейронные сети (ИНС) и генетические алгоритмы (ГА). Кроме того, использование ИНС сводит к нулю влияние личностных взаимодействий. История нейронных сетей начинается с понятия ИНС, представляющая собой модель мозга человека. Она представляет собой множество связанных между собой нейронов, имеет несколько входных и выходных сигналов. Способность провести оценку знаний с использованием нечёткой логики позволяет использовать их в алгоритмах обучения. В зависимости от типов и количества связей могут быть: полностью связанные и неполностью связанные, однослойные и многослойные сети, с прямым и обратным распространением [1]. Тип применяемой ИНС зависит от решаемой задачи. ГА используются для оптимизации процесса обучения ИНС.

С развитием технических средств появилась возможность реализовать системы, использующие всё те же механизмы, но более универсальные и обладающие необходимой надёжностью. Появилась возможность сократить участие учителя в процессе обучения до контроля подобных алгоритмов. В связи с этим можно классифицировать процесс обучения на две большие группы – обучение с учителем и без него [2]. Существует тенденция стремления к обучению без учителя, т.е. полная автоматизация процесса обучения. Задача преподавателя сводится к изменению самого алгоритма, так как сам по себе процесс обучения является дорогостоящим.

Подготовка экипажа любого аппарата, находящегося в воздухе, на суше, воде или под водой не является исключением. Одной из часто решаемых задач является следование по маршруту. Следовать по заданному маршруту сложнее всего в воздухе и под водой, так как при этом происходит перемещение по всем трём координатам. В воздушном пространстве скорости на несколько порядков выше, чем под водой. Поэтому полёт по маршруту организовать сложнее всего. При этом требования к точности следования по маршруту такие же высокие, как и для аппаратов, находящихся в других условиях (суша, вода) [3].

Одной из целей обучения является доведение действий экипажа до полного автоматизма. Связано это с тем, что при пилотировании необходимо решать большое количество задач. Все они требуют времени. При этом исход воздушного боя напрямую зависит от времени, затраченного на выполнение манёвра.

Перед тем как предоставить лётному составу настоящий самолёт, отработка действий проходит на тренажёрах. Это связано с тем, что на начальных этапах обучения вероятность ошибки выше, кроме того, это экономически выгодно и проще. Управление можно разделить на три основных режима – автоматический, директорный и ручной. При полёте в автоматическом режиме воздушное судно управляется бортовой ЦВМ. В ручном режиме управление производится лётчиком с минимумом вмешательства автоматических систем. Директорный режим упрощает задачу пилотирования – лётчику даются

визуальные рекомендации на счёт управления. Пример – шкала и перемещающийся указатель, упрощающие задачу до уменьшения отклонения стрелки от рекомендованного значения.

При обучении полёту по маршруту и выполнении разворотов необходимо оценивать качество прохождения отдельных участков [3]. Так как уровень обучаемого может быть разным, необходимо прохождение отдельных участков с различной точностью. Обучение удобнее всего проводить в директорном режиме. При большом количестве попыток у обучаемого складывается образ правильного прохождения полёта, который в дальнейшем поможет при пилотировании. В тренажёре для решения такой задачи можно использовать специальный индикатор.

Качество прохождения поворота можно оценивать по максимальному отклонению от идеальной траектории. В качестве примера можно выделить 4 различные области. При выполнении манёвра в пределах коридора (рис. 1) σ – оценка «отлично», 2σ – «хорошо», 3σ – «удовлетворительно» и далее – «не зачёт», где σ – среднеквадратическое отклонение. Ширину коридоров определяет преподаватель. Отклонение в сторону, противоположную углу разворота, возможно только при сильном сносе самолёта (боковом ветре).

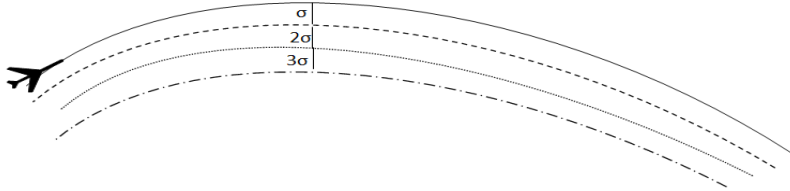


Рис. 1. Области, соответствующие оценкам

Оценку параметров разворота можно проводить с помощью алгоритма на основе ИНС. Так как разворот осуществляется преимущественно в двух плоскостях, задачу можно свести к оценке траектории по двум координатам.

Проведём настройку и обучение ИНС в системе MATLAB 7 [4]. С помощью команды `net = newff([200 -200; 350 -50; 500 100; 580 180; 650 250; 700 300; 750 350; 800 400; 820 420; 850 450; 890 490; 920 520; 940 540; 950 550; 980 580; 990 590; 1000 600], [17, 4], {'tansig', 'purelin'})`; генерируется нейронная сеть с 17 входными, 17 промежуточными и 4-мя выходными нейронами. Диапазон принимаемых значений указан в скобках в виде максимального и минимального значений, которые может принимать нейрон. Функции активации для слоёв нейронов – гиперболический тангенс и линейная пороговая функция для 1-го и 2-го слоёв соответственно. На вход подаются только координаты оси ординат. По оси абсцисс шаг =50.

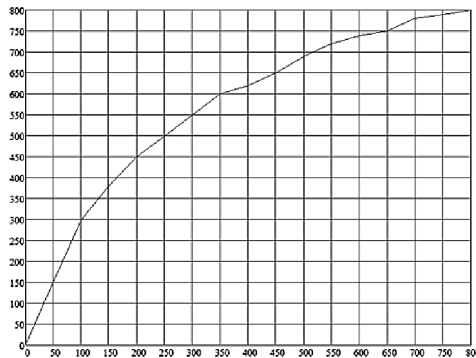


Рис. 2. Пример траектории

В качестве коридоров было выбрано изменение значений на 50. Соответственно, для первого коридора соответствует значение -50 от идеальной траектории, -100 для второго, -150 для третьего и > 150 для последнего. В соответствии с этими коридорами были сформированы значения для обучения искусственной нейронной сети.

На выходе, в зависимости от оценки, наблюдаются следующие изображения (рис. 3). На рисунке 3, а представлен результат при вводе данных, соответствующих оценке «отлично», 3, б – «хорошо». При дальнейшем тестировании был сделан вывод что каждый сигнал отвечает за оценку: жёлтый – «отлично», фиолетовый – «хорошо», зелёный – «удовлетворительно» и красный – «не зачёт».

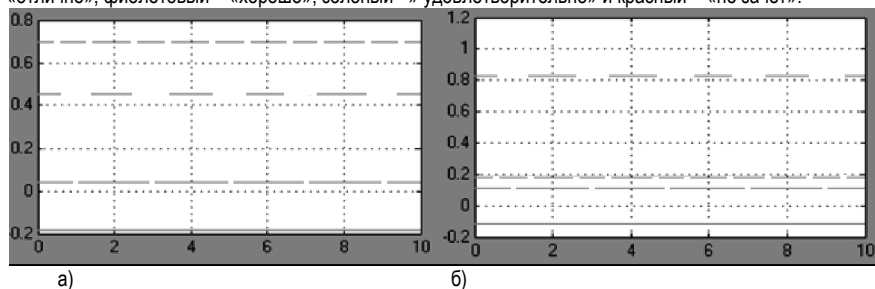


Рис. 3. Результаты оценивания прохождения разворота

В идеальной ситуации при большей выборке сигнал будет приближаться к единице. В данном примере была выборка из 16 значений, из которых по 4 значения, соответствующих каждому из выходных нейронов (оценка).

При изменении идеальной траектории полёта с последующим обучением нейронной сети можно использовать данный алгоритм. Также присутствует гибкость относительно оценивания траекторий.

Библиографический список

1. Лазарев В.М., Свиридов А.П. Нейросети и нейрокомпьютеры: монография. – М.: 2011. – 131 с.
2. Бессонов А.А., Мамаев В.Я., Пармонов П.П. Интеллектуальные обучающие системы: учеб. пособие / СПб.: ГУАП, 2013, 156 с.
3. Молоканов Г.Ф. Объективный контроль точности самолетовождения. – М.: Военное изд-во Министерства обороны СССР. 1980. 126 с.
4. Сивохин А. В., Лушников А. А., Шибанов С. В. Искусственные нейронные сети: лаб. практикум / – Пенза: Пенз. гос. ун-та, 2004. – 136 с.

УДК 629.7.054.07

В. С. Макареевский

магистрант кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

С. Ф. Скорина

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ СДВИГА ВЕТРА

В настоящее время основной тенденцией развития гражданской авиации является повышение безопасности при увеличении объема перевозок и уменьшении финансовых затрат. Причем, безопасность необходимо обеспечивать на всех этапах полета. Взлет и посадка являются самыми сложными, а следовательно, наиболее уязвимыми (с точки зрения опасности) этапами полета. Связано это, прежде всего, с большим числом решаемых задач при дефиците времени экипажа воздушного судна (ВС). Конечно, нельзя забывать и об опасных метеоявлениях, которыми сейчас, как никогда раньше, богат климат нашей планеты.

Сильный сдвиг ветра (СВ) может привести к катастрофе. По мнению экспертов, за последнее десятилетие количество авиапроисшествий и инцидентов, в которых сдвиг ветра был отмечен как сопутствующий фактор, заметно уменьшилось. Однако именно сдвиг ветра представляет серьезную опасность для авиации. Сдвиг ветра (англ. Wind Shear) является характеристикой пространственной изменчивости ветра и определяется как векторная разность (или градиент) скоростей ветра в двух точках пространства, отнесенная к расстоянию между ними [1]. Часто сдвиг ветра характеризуют более простой формулировкой – изменение направления и (или) скорости ветра в атмосфере на очень небольшом расстоянии.

Сущность сдвига ветра в том, что если одна из составляющих турбулентного вихревого возмущения воздуха совпадает с направлением полета ВС и его скорость сравнима со скоростью потока, обтекающего крыло, то происходит как бы его торможение (вплоть до нуля) или ускорение. Подъемная сила резко меняется, и ВС, имеющее на посадке малые скорость и высоту, может изменить траекторию движения, а это в свою очередь может привести к приземлению до начала взлетно-посадочной полосы или выкатывание за ее пределы. Горизонтальные составляющие являются продолжением кольцевых струй, также расположенных вихрей, имеющих и вертикальные составляющие. Поэтому можно, с достаточной точностью, оценивать сдвиг ветра по изменению скорости ветра, высоте над небольшой площадью (зона взлета и посадки).

Одним из следствий зарождения или наличия сдвига является порывистость ветра. Сдвиг ветра, как правило, возникает вблизи или под кучево-дождевыми облаками, в зоне атмосферных фронтов, при наличии инверсии у поверхности земли, а также в горной местности и прибрежных районах [3]. Различают положительный и отрицательный СВ. Положительный, когда скорость ветра на высоте больше, чем у земли. Отрицательный, когда скорость на высоте меньше, чем у земли. Изменения направления и (или) скорости ветра в определенном слое атмосферы могут сочетаться с турбулентностью и (или) сильными вертикальными потоками воздуха, поэтому-то сдвиги ветра относятся к категории опасных внешних воздействий среды. Классифицируют устойчивые и неустойчивые сдвиги ветра. Устойчивый связан, например, с заметными температурными инверсиями на малых высотах, горными волнами, обтеканием потоком препятствий и т.п., имеет тенденцию затрагивать определенный район и сохраняться долгое время (несколько часов). Неустойчивый сдвиг ветра обусловлен конвективной облачностью, грозами, обычно короточен (минуты), маломасштабен, перемещается с большой скоростью, обладает высокой интенсивностью.

Поскольку сдвиг ветра опасен для полета, особенно при взлете и посадке в непосредственной близости от земли, актуальной задачей является разработка систем обнаружения и предупреждения сдвига ветра, оповещения о нем в аэропортах, а также создание и определение стандартных моделей сдвига ветра. Важно также совершенствовать летную подготовку пилотов с помощью имитации сдвига ветра на тренажерных комплексах. Уменьшению количества катастроф, связанных со сдвигом ветра способствовали успехи в разработке наземного и бортового оборудования, предназначенного для обнаружения сдвига ветра и предупреждения экипажа ВС и диспетчера о нем. В ряде случаев устанавливают анемометры с вынесенными датчиками, которые смонтированы на мачтах, расположенных вбли-

зи траектории захода на посадку. Но проблема продолжает быть актуальной. Экипаж ВС по-прежнему не располагает достоверным прогнозом о сдвиге ветра в районе аэродрома. Динамика ВС при попадании в условия сдвига ветра зависит от многих факторов, и в каждый момент полета предельные значения сдвига ветра, при которых возможен благополучный исход полета, могут меняться [2].

Аварии, катастрофы, произошедшие по вине «сдвига ветра», дают яркую картину того, что экипажи, как правило, поздно распознают, что заход на посадку происходит в условиях сдвига ветра. Если к этому добавить невозможность определить и вертикальную протяженность этого явления, то становится очевидным, что пилот попадает в очень сложную ситуацию, которая зачастую и заканчивается аварией или катастрофой. Следовательно, для того, чтобы бороться с этим явлением, надо: оперативно уметь определять наличие сдвига ветра, его величину, длительность воздействия на воздушное судно, знать и оперативно определять критическую величину сдвига ветра, при котором должен быть начат немедленный уход на второй круг. К сожалению, современные методы определения или прогнозирования не обладают возможностью предоставления экипажу этой информации. В лучшем случае они определяют наличие сдвига, да и то с ошибкой, ибо это явление очень подвижно как по месту, так и во времени проявления. Очевидно, чтобы решить эти вопросы, нужно, чтобы аппаратура по определению сдвига ветра была, во-первых, способна замерять сдвиг ветра и его величину, продолжительность воздействия и, во-вторых, была размещена на борту воздушного судна. Кроме этого, необходимо знать критические значения сдвига ветра, опасные для посадки. При этих условиях можно будет говорить о силе этого явления и именно в отношении данного воздушного судна и, соответственно, о степени опасности.

Запатентованные в настоящее время приборы по определению сдвига ветра, и установленные на борту воздушных судов, имеют методические ошибки при выявлении этого опасного явления и не способны определять его величину. Что касается вертикальных порывов ветра, приборы в принципе не способны учитывать эти возмущения атмосферы. Следовательно, для полного учета всех вышеперечисленных внешних воздействий на воздушное судно и для повышения безопасности при посадке необходим прибор, работающий на принципиально новых подходах по выявлению сдвига ветра. Наиболее вероятный метод, которым можно было бы не только определить сдвиг ветра, но и измерить его величину – это определить ускорение, вызванное именно сдвигом ветра, переводить эти ускорения в эквивалентные величины сдвига ветра и сравнивать их с критическими значениями для данной категории воздушного судна. Это позволит при достижении текущими значениями величин сдвига ветра критических вовремя выдавать экипажу команду об уходе на второй круг. Решение задачи по нахождению ускорений, вызванных именно сдвигом ветра, возможно. Ускорение по осям X и Y появляются в случаях изменения режима работы двигателей, угла атаки и внешних воздействий. Все ускорения, связанные с этими причинами, имеют свои, строго индивидуальные закономерности. Знание зависимости величины ускорений по оси Y от величины ускорений по оси X дает возможность составить алгоритм по нахождению ускорений, вызванных сдвигом ветра и, таким образом, определить величину сдвига ветра. Возникающие центробежные ускорения при эволюциях воздушного судна легко могут быть выделены из суммы всех ускорений, если акселерометры установить в определенных местах воздушного судна. При попадании воздушного судна в такие опасные метеоявления, как сдвиг ветра, вертикальные порывы ветра, прибор, работающий на вышеизложенных принципах, сможет вычислять ускорения, связанные со сдвигом ветра, из общей суммы ускорений по осям X и Y , определять по ним величины сдвига ветра, сравнивать их с критическими (опасными), записанными в его памяти и выдавать рекомендации экипажу.

Установка данного прибора позволит решить вопрос о выявлении такого замаскированного и опасного явления, как сдвиг ветра, определить его величину, оценить степень опасности при попадании воздушного судна в условия возмущенной атмосферы.

Библиографический список

1. ИКАО. Сдвиг ветра// Циркуляр186-AN/122. 2001. С. 3-10.
2. Ушаков А. Air Traffic Control & Управление Воздушным Движением// Противостоять сдвигу ветра. 2016. № 20. С. 26-30.
3. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. Санкт Петербург – 2005. С. 7-15

УДК 629.735.33

М. С. Макаренко

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В. Н. Феногаканд

техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЕМКОСТНОГО РАСХОДОМЕРА

Проблема создания высоконадежных авиационных и космических двигательных установок связана с необходимостью достоверной оценки их технического состояния в процессе штатной эксплуатации. Традиционно используемые для их контроля датчики расхода тахометрического типа обладают низкой чувствительностью к малым расходам рабочей жидкости и кроме того вносят искажения в пространственную геометрию потока жидкости в трубе. А кроме того, значительные габариты таких датчиков делают их абсолютно неприемлемыми для одного из наиболее перспективных направлений развития современной космонавтики – микроспутников.

С другой стороны, новые физические принципы измерения скорости потока, такие как использование емкостных датчиков для контроля расхода диэлектрической жидкости являются весьма многообещающими с точки зрения построения миниатюрных датчиков, обладающих высокой чувствительностью к малым расходам. Кроме того, подобные датчики могут найти широкое применение и в других областях, например в медицине. На основе вышесказанного, моя магистерская диссертация, которая посвящена исследованию и разработке емкостного измерителя расхода жидкости является актуальной и важной в практическом смысле.

В моей работе я собираюсь оценить расход жидкости по измерению дозы расхода рабочего тела с помощью емкостного расходомера. Его принцип действия основан на зависимости взаимодействия электрических и гидродинамических полей, образующихся между пластинами конденсатора. В работе будет разработана математическая модель емкостного расходомера с различными вариантами конструкций, с помощью которых я смогу провести компьютерных эксперимент по исследованию протекающих в датчике процессов, прежде всего явления «сноса заряда» при движении рабочей жидкости. Также в работе будет исследовано влияние утечек заряда через жидкость и на чувствительность измерений.

Для решения поставленной задачи я буду использовать емкостной метод, который основан на поляризации диэлектрической жидкости при движении ее в магнитном поле. Работа данного емкостного расходомера основана на известном положении о том, что если между двумя пластинками поместить жидкость, относительная диэлектрическая проницаемость которой отличается от 1, то электрическая емкость такого конденсатора изменится. Чем больше величина относительной диэлектрической проницаемости, тем на большую величину изменится емкость C_1 . О ее значении обычно судят по электрическому току зарядки конденсатора.

Так, если к заряженному конденсатору приложить постоянное напряжение $U_и$, снимаемое с выхода источника напряжения, имеющего внутреннее сопротивление R_1 , то электрический ток зарядки характеризуется уравнением

$$i(t) = \frac{U_и}{R_1} e^{-\frac{t}{\tau_3}}$$

По окончании переходного процесса, длительность которого равна $(3...5)\tau_3$, где $\tau_3 = R_1 C_1$, ток зарядки стремится к 0, а в конденсаторе C_1 , накопится электрический заряд Q , равный:

$$Q = C_1 U_и$$

Упрощенная схема емкостного расходомера, в котором использовано изменение заряда конденсатора при движении жидкости, изображена ниже (рис. 1).

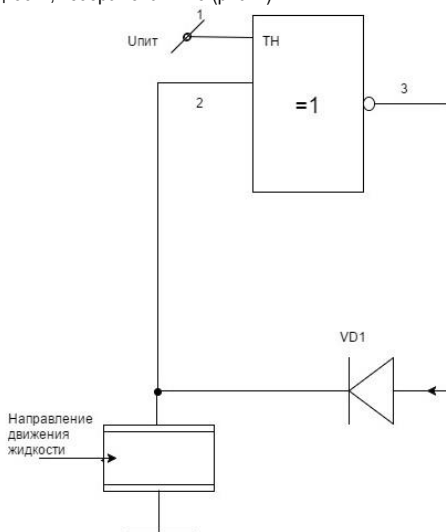


Рис. 1. Упрощенная схема емкостного расходомера

При подаче питания конденсатор зарядится до напряжения U_{num} , что приведет к появлению на входе 2 триггера Шмитта высокого потенциала и отсутствию напряжения на выходе. При разряде конденсатора до $U_{num} / 2$ происходит срабатывание триггера Шмитта, появление на его выходе напряжения U_{num} , что приводит к новому заряду конденсатора до напряжения питания U_{num} . [2]

При отключении источника питания вследствие процессов релаксации заряда конденсатора уменьшается с течением времени. Его значение зависит от температуры диэлектрика. Кроме того, на время самозарядки влияют потери, которые всегда имеются в реальном диэлектрике.

Заряженный конденсатор в течение некоторого времени сохраняет свой заряд, если поляризованный при подаче напряжения диэлектрик находится между его обкладками. Если диэлектрик начнет перемещаться, то часть заряда уйдет из этого пространства, что приводит к снижению заряда в конденсаторе и уменьшению напряжения на его обкладках. Чем выше скорость движения диэлектрической жидкости, тем больше можно получить электрический сигнал, характеризующий значение расхода.

Первичный измерительный преобразователь расходомера – это трубопровод, внутри которого установлены обкладки или система обкладок конденсатора. Наиболее выгодно и целесообразно трубопровод выполнять с прямоугольным поперечным сечением. В его стенках вровень с поверхностью расположены электропроводящие обкладки конденсаторов 1, ..., n (см. рис.2). [1]

В качестве материала трубопровода может быть использован любой твердый диэлектрик, имеющий требуемые механические свойства. Толщина зазора между пластинами конденсатора во много раз меньше ширины h и длины трубопровода. При таких размерах есть основание ожидать, что движение жидкости между пластинами носит ламинарный характер.

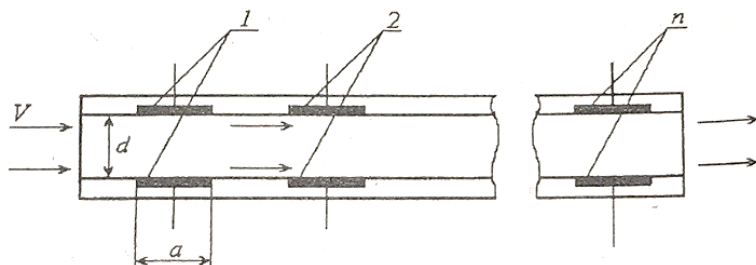


Рис. 2. Конструкция первичного измерительного преобразователя с прямоугольным сечением трубопровода

Уходящая из объема между обкладками диэлектрическая жидкость сохранит часть остаточной поляризации в случае если ее движение имеет ламинарный характер. При турбулентном движении поляризация должна быстро исчезать. Определяя промежуток времени, в течение которого продвигается поляризованный участок на известное расстояние, можно оценить расход жидкости при ее движении через трубопровод с известным сечением [1].

Из вышесказанного можно сделать выводы.

1. Преимуществами данного расходомера является работоспособность в сложных условиях, компактность и простота реализации.
2. При исследовании расходомера возникает ряд вопросов относительно расположению, конструкции датчиков и их влияния на прохождение жидкости и чувствительности измерений, также влияния параметров жидкости и др.
3. При исследовании и создании емкостного расходомера необходимо будет учитывать методы измерения жидкости и провести анализ уже известных статей и изобретений по данному вопросу, взяв во внимание все недостатки конструкций и других параметров.

Библиографический список

1. Гусев В.Г., Мулик А.В. Принципы построения емкостных измерителей расхода диэлектрических жидкостей// Приборы и системы управления. – 1998. – №2. - С. 53-57.
2. Фенога В.Н., Белогузов В.С., Перлюк В.В. Исследование физического принципа измерения скорости потока диэлектрической жидкости емкостным датчиком// Научная сессия ГУАП. Ч. 1: Сб. докл. / СПб.: ГУАП, 2009. С. 7-10.

УДК 004.023

С. С. Миронов

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

И. Л. Коробков

магистр техники технологии – младший научный сотрудник института Высокопроизводительных компьютерных и сетевых технологий

В. Л. Оленев

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ

В сетях SpaceFibre [1] возможно сетевые перегрузки, которые могут возникнуть из-за понижения производительности коммутационного оборудования вследствие тяжелых условий эксплуатации космического аппарата [2]. В результате потоки данных от целевой аппаратуры и управляющие команды не могут быть доставлены узлам назначения с допустимыми задержками из-за перегруженного выходного порта коммутатора. В этой ситуации возможно применение механизмов обеспечения качества сервиса стандарта SpaceFibre, позволяющие упорядочить потоки данных во времени. Для этого используется механизм «Планирование» совместно с «Приоритеты», «Гарантированная пропускная способность», при котором каждому потоку данных, передающемуся через отдельный виртуальный канал (ВК) SpaceFibre, назначается перечень временных интервалов (расписание), в течение которых данные только от этого потока могут быть переданы, а также уровень приоритета, ожидаемая пропускная способность [3]. В связи с тем, что в стандарте SpaceFibre не описан алгоритм построения расписания, актуальной задачей является разработка такого алгоритма. Данная статья посвящена применению генетического алгоритма (ГА) для решения этой актуальной задачи.

ГА является стохастическим поисковым алгоритмом, итеративно изменяющим множество объектов, которые представляют собой закодированные решения рассматриваемой задачи. ГА подробно был изложен в 1975 году Джоном Холландом и воплощает представления о дарвиновской эволюции на основе генерации, тестирования и отбора наиболее жизнеспособных особей [4].

Ключевые достоинства ГА [4]:

- ГА использует знания о прошлых решениях. Он обеспечивает концентрацию решений в наиболее эффективных областях пространства допустимых решений;

- ГА не накладывает ограничения на свойства функции пригодности в виде непрерывности, дифференцируемости. Функция пригодности для ГА как «черный ящик», которая на вход получает параметры, а на выход выводит результат: пригодно решение или нет;

- ГА естественным образом позволяет распараллеливать вычисления. Это значительно увеличивает скорость расчетов при использовании распределенной вычислительной сети или многопроцессорных компьютеров.

В ГА используются термины, заимствованные из естественной генетики. Основные из них приведены ниже [4]:

- особь – вариант решения рассматриваемой задачи;

- хромосома – закодированное представление особенностей особи;

- ген – неделимая часть хромосомы, отвечающий за конкретный признак;

- популяция – множество особей, которые могут быть представлены в виде хромосом.

Количество хромосом в популяции постоянно;

- промежуточная популяция – набор хромосом (особей), которые получили право размножаться;

- потомок – хромосома, полученная после работы оператора скрещивания;

▪ функция относительной пригодности (ОП). Определяет пригодность хромосомы, её качество [4]: количественная или качественная оценка.

Работа ГА осуществляется посредством действий генетических операторов: селекции, скрещивания, мутации. До запуска ГА необходимо определить: функцию пригодности, критерий пригодности и критерий остановки алгоритма; способы кодирования и декодирования хромосом; метод работы для каждого генетического оператора (например, количество хромосом для мутации и правило мутации).

Общее описание ГА по шагам [4]:

Шаг 1. Инициализация начальной популяции, кодирование хромосом.

Шаг 2. Тестирование хромосом функцией ОП, вычисление оценки каждой хромосомы.

Шаг 3. Проверка выполнения критерия остановки, найдено ли искомое решение.

Если «да», то переход на шаг 7, иначе – шаг 4.

Шаг 4. Селекция: отбор хромосом по критерию пригодности для промежуточной популяции.

Шаг 5. Скрещивание: комбинирование и смешивание отобранных хромосом для получения хромосом новой популяции – популяции потомков.

Шаг 6. Мутация: случайный выбор некоторого количества хромосом и случайное изменение одного из их генов. Призвана сообщить потомкам новые признаки, которые могли отсутствовать в родительской популяции или популяции потомков, если полученные потомки оказались хуже родителей. Переход на шаг 2.

Шаг 7. Декодирование хромосом. Вывод найденного решения. Завершить работу алгоритма.

В результате выполнения ГА, будет найдено решение задачи в виде одной особи или набора особей, которые удовлетворяют критерию остановки алгоритма.

В задаче составления расписания для виртуальных каналов SpaceFibre терминам ГА будут соответствовать следующие:

- особь – расписание, состоящее из перечня временных интервалов, во время которых разрешено передавать данные из ВК;

- хромосома – конфигурационные параметры ВК: *общее количество временных интервалов, расписание, уровень приоритета, ожидаемая пропускная способность* и др. Закодированы в битовой строке фиксированной длины;

- ген – один из конфигурационных параметров ВК.

Функция ОП будет выполнять два действия: декодировать каждую хромосому в особь (т.е. в расписание) и давать ей количественную оценку – задержки передачи пакетов и объем переданных пакетов через каждый ВК. Оценка будет вычисляться путем имитационного моделирования передачи трафика на модели порта коммутатора SpaceFibre с использованием расписания.

Для анализа текущего состояния популяции могут быть использованы разные критерии пригодности. Описание некоторых известных критериев приведено ниже [4]:

- *селективное давление* – отношение ОП наилучшей хромосомы к средней ОП всей популяции;

- *селективное отклонение* – абсолютная разность между нормализованной ОП хромосомы и вероятностью её участия в воспроизводстве;

- *селективная распространенность* – ранжирование количества возможных потомков одной хромосомы;

- *потеря разнообразия* – процент хромосом популяции, которые отбрасываются и не участвуют в дальнейшей селекции;

- *ранговая селекция* – популяция сортируется в соответствии со значениями ОП, которая каждой хромосоме присваивается только в зависимости от ее положения (ранга) в отсортированной популяции.

Критерием остановки будет являться нахождение хотя бы одного расписания, при применении которого задержки и объем переданных пакетов для всех ВК будут меньше либо равны заданным допустимым значениям.

Следующий этап – определение способа кодирования и декодирования хромосом. *Общее кол-во временных интервалов* и *уровень приоритета* имеют целочисленное значение и могут быть

представлены в виде числа в двоичной системе счисления. *Расписание* изначально записывается в виде двоичного вектора. Кодировать и декодировать этот параметр нет необходимости. Вектор состоит из N бит, где N – общее количество временных интервалов. Бит «1» означает, что из ВК могут быть отправлены данные в соответствующий временной интервал.

Параметр *ожидаемая пропускная способность* имеет два ограничения: 1) это вещественное число и 2) значение параметра изменяется в пределах от минимального положительного числа до 0,9. Для соответствия этим ограничениям закодируем данный параметр битовой строкой s_k , используя следующую формулу (1) [4]:

$$s_k = \left(2^n - 1\right) \frac{(x_k - x_{\min})}{(x_{\max} - x_{\min})}, \quad (1)$$

где n – длина битовой строки, x_{\min} – минимальное значение, x_{\max} – максимальное значение ОПС, x_k – значение *ожидаемой пропускной способности*.

Точность представления этого параметра зависит от длины битовой строки. Увеличение количества битов для кодирования увеличивает вычислительные затраты. С другой стороны, это позволяет достичь большей точности, а значит охватить большее пространство поиска.

Для корректной работы функции пригодности необходим способ декодирования хромосомы. Такие параметры, как *уровень приоритета* и *общее кол-во временных интервалов* декодируются при помощи перевода числа из двоичной системы счисления в десятичную. *Ожидаемая пропускная способность* x_k декодируется с использованием формулы (2) [4]:

$$x_k = s_k \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{(2^n - 1)} + x_{\min}. \quad (2)$$

Далее необходимо выбрать метод селекции [4]. Поскольку существуют различные методы селекции, то было проведено сравнение основных методов между собой. Достоинства и недостатки каждого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов оператора селекции.

Метод селекции	Достоинства	Недостатки
<i>Стохастический отбор с заменой</i>	Все особи имеют шансы оказаться в промежуточной популяции	Нет гарантии сохранения лучших особей, требуются дополнительные вычисления
<i>Стохастический отбор с остатком</i>	«Хорошие» особи обязательно попадут в промежуточную популяцию	Требуются дополнительные вычисления
<i>Турнирная селекция</i>	Не требует дополнительных вычислений или упорядочивания особей	Нет гарантии сохранения лучших особей
<i>Селекция с отсечением</i>	Отбираются только лучшие особи	Требует сортировать особи по пригодности
<i>Селекция генов (оцениваются гены, а не вся хромосома)</i>	Выбираются особи только с лучшим 1 геном (или более), ускорение сходимости	Требует многоточечного скрещивания, возможна преждевременная сходимость

Затем следует выбрать один из способов скрещивания [4]. Для оператора скрещивания входными данными является промежуточная популяция, а выходными – популяция, мощность которой равна мощности популяции до применения оператора селекции. В общем случае случайно выбираются две хромосомы, из которых будут сформированы новые хромосомы – потомки. Оператор может быть реализован двумя способами: *бинарным* или *всеобщим кроссовером*.

При *бинарном кроссовере* для двух хромосом промежуточной популяции случайным образом выбирается точка (-и) раздела (-ов), и они поочерёдно обмениваются отсечёнными частями.

При *всеобщем кроссовере* каждый бит хромосомы является точкой скрещивания. Для скрещивания формируется маска с длиной, равной хромосоме, которая указывает, от какой хромосомы брать бит.

Наконец, для оператора мутации необходимо задать вероятность изменения некоторого количества бит (или гена) у потомков, чтоб сообщить потомкам новые признаки [4]. Вероятность может быть малой. Мутация может быть использована для изменения *уровня приоритета и/или ожидаемой пропускной способности* ВК.

В данной статье были описаны особенности реализации ГА для задачи составления расписания виртуальных каналов стандарта SpaceFibre, разрабатывающегося для организации информационного обмена в бортовых сетях перспективных космических аппаратов. Представлено описание ГА по шагам. Обоснованы способы представления конфигурационных параметров ВК SpaceFibre для ГА, описаны критерии пригодности и остановки ГА, а также приведено сравнение основных методов селекции, рассмотрены способы скрещивания и оператор мутации.

Библиографический список

1. *Parkes S., Ferrer A., Gonzalez A., McClements C.* SpaceFibre Specification Draft H9 // Scotland, University of Dundee, January 2019, 233 p.
2. *Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В.* Космическая электроника. Книга 1 / М.: Техносфера, 2015. 696 с.
3. *Коробков И.Л., Суворова Е.А., Матвеева Н.А., Шейнин Ю.Е.* Исследование стандарта SpaceFibre при применении технологии виртуального прототипирования // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 18. №1(2). 2016. С. 390-396
4. *Бураков М. В.* Генетический алгоритм: теория и практика: учеб. пособие / СПб.: ГУАП, 2008. 164 с.

УДК 629.73.05

Е. Н. Мухина

магистрант

В. Г. Никитин

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ

Современные КА в основном имеют нежесткую конструкцию корпуса, а также множество больших выносных элементов (солнечные панели, антенны), которые являются гибкими конструкциями, что при ориентации КА приводит к возникновению упругих колебаний [1, 3]. Эти колебания, вызванные внешними возмущающими моментами и действием управляющих моментов, имеют широкий спектр частот. Они приводят к изменению информации получаемой с датчиков, которые могут вызывать ошибки в управлении КА и привести к резонансным автоколебаниям. Для исключения влияния упругих колебаний необходимо, чтобы в сигналах информационно-измерительного комплекса отсутствовали сигналы упругих деформаций [2]. В данной работе А.Н. Синякова предложен метод уменьшения влияния упругих колебаний, который называется методом нейтрализации упругих колебаний. Целью данной работы является исследование методов нейтрализации упругих колебаний с использованием методов цифровой фильтрации.

Для работы системы угловой стабилизации используют информацию, поступающую с информационно-измерительного комплекса, который позволяет определить положение спутника в пространстве и характер его движения.

Функциональная схема угловой стабилизации и ориентации показана на рис 1. Текущее угловое положение определяется на основе поступающих данных от чувствительных элементов, представляющих собой различные датчики (электронно-оптические – использующие в качестве опорных ориентиров небесные тела – Солнце, Землю, Луну, звезды; гироскопические – позволяющие определить, как угловое положение, так и его угловые скорости, и др.)

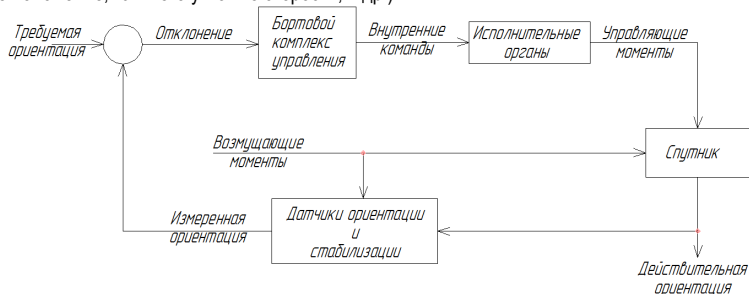


Рис. 1. Функциональная схема ориентации и стабилизации

Для борьбы с влиянием упругих колебаний на КА, в данной работе рассматриваются следующие варианты нейтрализации помех с помощью:

режекторного фильтра, а также с помощью фильтров высших и низших частот (рис. 2–5).

Фильтры настраиваются на частоты нейтрализуемых тонов колебаний и подавляет их в сигналах датчиков, поступающих на систему управления [2]. Так как при угловая стабилизация имеется большой дефицит во времени, то для реализации фильтров (рис. 2, рис. 4) были выбраны эллиптические БИХ (с бесконечной импульсной характеристикой) фильтры, имеющие крутой спад амплитудной характеристики, что приводит к эффективному разделению частот.

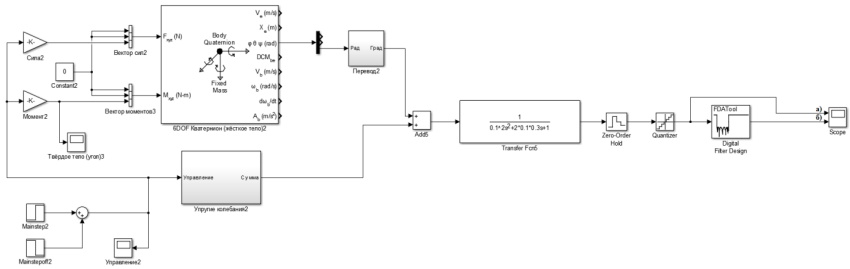


Рис. 2. Модель нейтрализации помех с помощью режекторного фильтра.

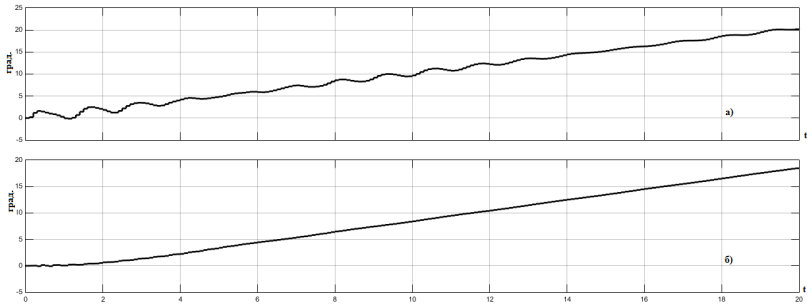


Рис. 3. Результаты моделирования нейтрализации помех с помощью режекторного фильтра

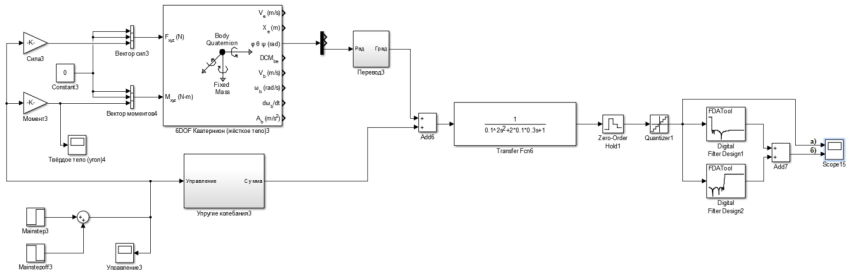


Рис. 4. Модель нейтрализации помех с помощью фильтров высших и низших частот

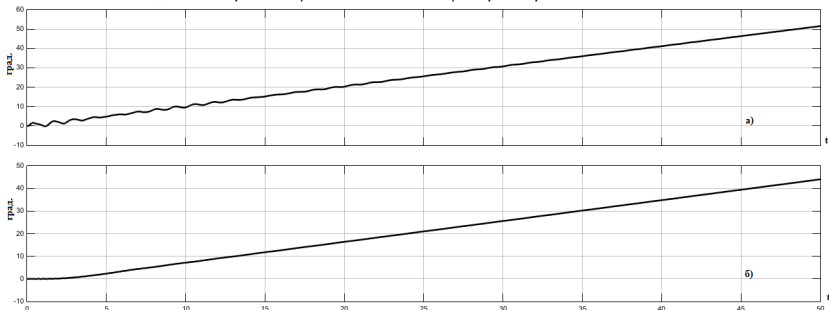


Рис. 5. Результаты моделирования нейтрализации помех с помощью фильтров высших и низших частот

2. Нейтрализация помех при комплексировании датчиков угловой скорости (рис. 6–9).

Нейтрализация упругих колебаний, может быть реализована при помощи двух датчиков угловой скорости (ДУС) рис. 6. Предполагается, что ДУСы имеют идентичные характеристики и расположены по длине корпуса так, что первый датчик расположен в узле колебаний, а второй – в пучности. Таким образом, сигнал с одного ДУСа будет содержать информацию о КА как жесткого тела, а с другого – информацию об упругих колебаниях корпуса [2].

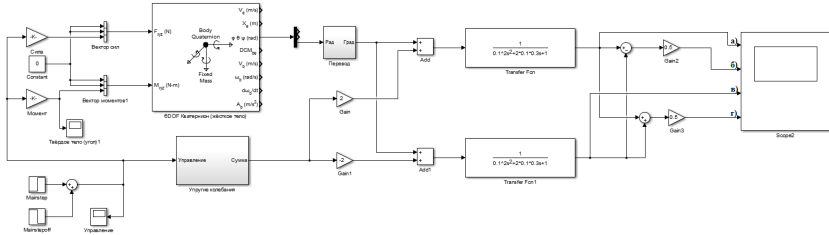


Рис. 6. Модель нейтрализации помех при комплексировании датчиков угловой скорости

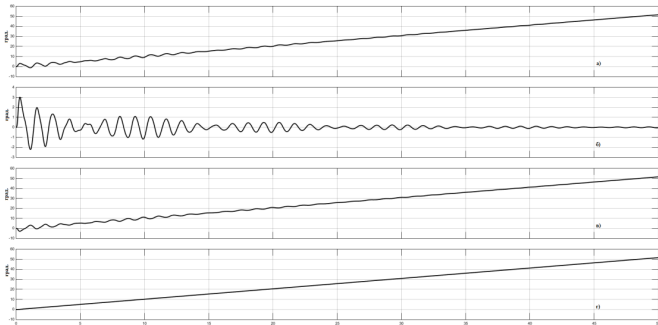


Рис. 7. Результаты моделирования нейтрализации помех при комплексировании датчиков угловой скорости

3. Нейтрализация помех при помощи трех ДУС (рис. 8, 9).

Выделение сигнала пропорционально скорости изгиба корпуса, при помощи трех ДУС [2] (рис. 8).

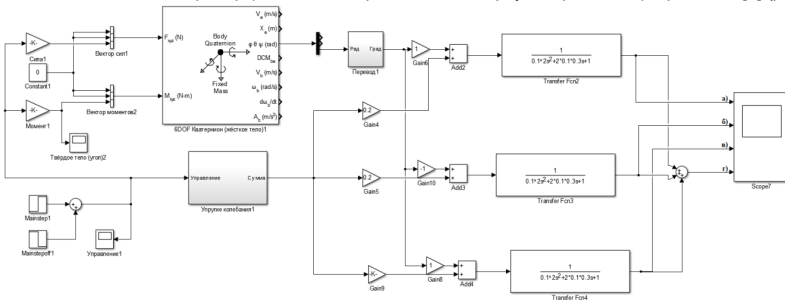


Рис. 8. Модель нейтрализации помех при помощи трех ДУС

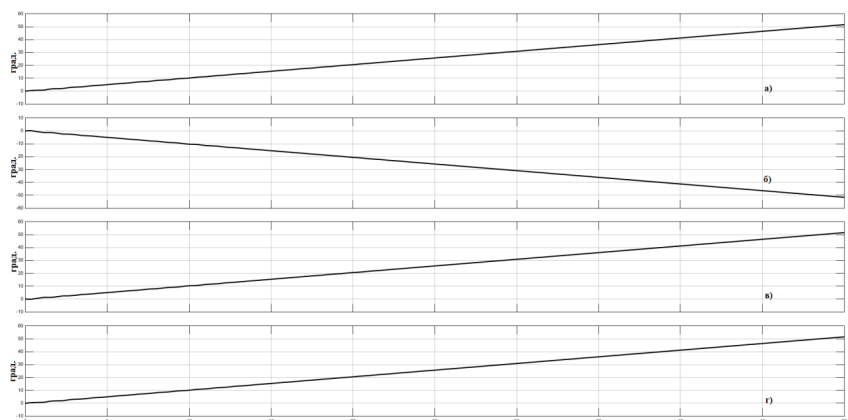


Рис. 9. Результаты моделирования нейтрализации помех при помощи трех ДУС

Из графиков (рис. 3, 5, 7, 9) видно, что рассмотренный методы нейтрализации помех позволяют исключить влияние погрешности измерителей, вызванных упругими колебаниями на систему управления, что позволяет повысить качество ориентации нежесткого КА.

Библиографический список

1. *Синяков А.Н.* Системы управления упругими подвижными объектами. – Л.: ЛГУ.1981 – 200 с.
2. *Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В.* Комплексирование информационно измерительных устройств летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 207 с.
3. *Каргу Л. И.* Точность гироскопических устройств систем управления летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.

УДК 004.33

Н.А. Немчинов, Н.В. Марченков

магистранты кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

С. И. Ковалев

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ КОДА ГОЛЕЯ,
РЕАЛИЗОВАННЫХ НА БАЗЕ FPGA**

В устройствах хранения и передачи информации есть необходимость в помехоустойчивом кодировании. Это связано с возникновением ошибок при передаче и хранении информации. Причинами возникновения ошибок могут быть помехи в канале, старение флэш-памяти, космическое излучение и другие. Известно много классов помехоустойчивых кодов, которые имеют свои области предпочтительного применения. Область предпочтительного применения определяется сложностью реализации декодера для выбранного кода на определенной элементной базе. Наиболее известными подклассами кодов, используемых для обеспечения надежного хранения и передачи информации в аэрокосмических системных комплексах, являются такие подклассы алгебраических кодов как коды Хэмминга, БЧХ-коды и коды Рида-Соломона. В настоящей работе рассматриваются варианты декодеров для кода Голея, и их имплементация на базе FPGA. Было реализовано несколько наиболее известных алгоритмов и определены области их предпочтительного применения.

Код Голея и алгоритмы его декодирования широко известны и подробно описаны в литературе по теории кодирования. Данный код применяется во многих системах передачи и хранения информации. Код Голея является уникальным по параметрам, лежит на верхней границе Хэмминга, то есть относится к узкому классу совершенных кодов, он плотно упакован, его группа автоморфизмов является группой Матье [1]. В настоящей работе анализируются алгоритмы декодирования двоичного кода Голея с параметрами $(n = 23, k = 12, d = 7)$ и $(n = 24, k = 12, d = 8)$, где n – длина кодового слова, k – количество информационных символов и d – минимальное расстояние.

Известно много методов декодирования кода Голея, которые отличаются друг от друга некоторыми параметрами реализации, такими как количество тактов на декодирование кодового слова, занимаемая площадь декодирующего устройства на кристалле (при реализации в виде ASIC) и максимальная частота, на которой может работать декодирующее устройство.

В представляемой работе рассмотрены следующие три алгоритма декодирования:

- Табличный (синдромный) алгоритм декодирования
- Алгоритм декодирования Меггитта
- Декодер для кода, со специальной структурой кодового слова вида $(a+x)(a+b+x)(b+x)$, называемый ниже комбинированным.

Алгоритмы декодирования были реализованы на базе FPGA фирмы Xilinx с использованием языка Verilog. Отладка, синтез и имплементация выполнялись в программном комплексе Vivado 2016.3.

Табличный алгоритм подразумевает, что в памяти хранится таблица соответствия синдромов и векторов ошибок. Любой линейный код может быть приведен к систематическому виду и в большинстве приложений можно ограничиться исправлением ошибок только на информационной части. Таким образом, размер хранимой таблицы в этом случае будет равен $2048 * 12$. Данная таблица может быть уменьшена путем оптимизации, учитывающей тот факт, что многие синдромы имеют одинаковые векторы ошибок на первых 12 (информационных) позициях. Процесс декодирования сводится к трём шагам (см. рис. 1):

1. Вычисление синдрома принятой кодовой последовательности.
2. Нахождение в таблице вектора ошибок информационной части, соответствующего полученному синдрому. Если такого синдрома нет в таблице, следовательно информационная часть кодового слова свободна от ошибок.

3. Исправление кодовой последовательности с помощью вектора ошибок, найденного по таблице соответствия синдромов и векторов ошибок.

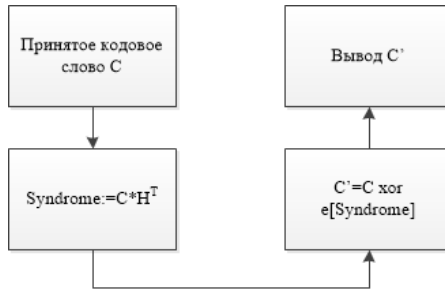


Рис. 1. Блок схема табличного алгоритма

Алгоритм Меггитта состоит из следующих этапов (рис. 3):

1. Принятая кодовая последовательность циклически записывается в приемный буфер и, одновременно с этим, вычисляется синдром (рис. 2).
2. Приемный буфер с принятой кодовой последовательностью и синдром циклически сдвигаются и одновременно с этим вычисляются два дополнительных синдрома [2]
3. Когда вес любого из синдромов становится меньше определенного порога, то ошибка считается найденной и исправляется.

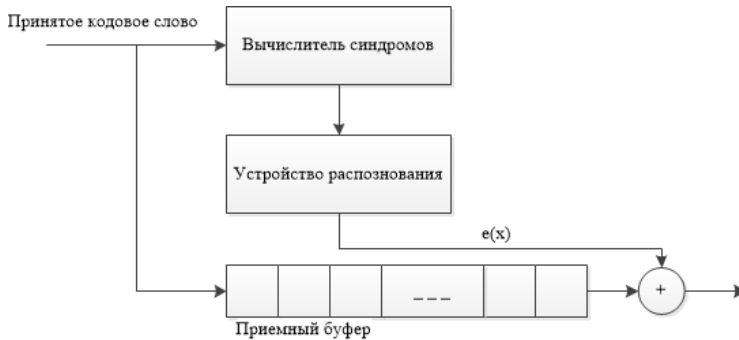


Рис. 2. Структурная схема декодера Меггитта для кода Голея (23.12.7)

Алгоритм с кодовым словом вида $(a+x)(a+b+x)(b+x)$ [3]

Слова $a, b \in$ коду Хэмминга $g(8, 4, 4)$, слово $x \in$ коду Хэмминга $g'(8, 4, 4)$, который образован кодовыми словами из g , записанными в обратном порядке. Такая реализация в итоге даст расширенный код Голея (24.12.8) [4].

Декодирование данного кода описывается следующими шагами:

Пусть принятое кодовое слово имеет вид $C=(a+x+e_1)(a+b+x+e_2)(b+x+e_3)$, где e_1, e_2 и e_3 вектора ошибок лежащие на соответствующих частях слова.

1. Находим $A_i = (a+x)+x_i+e_1, A'_i = a+e_2+e_3, B_i = (b+x)+x_i+e_3, B' = b+e_1+e_2$, где $i \in [0, 1, \dots, 15]$.
2. Исправляем ошибки в A_i, A', B_i, B' как в словах кода Хэмминга $(8, 4, 4)$. Формируем массивы A'', B'' , где A''_i равно декодированному слову A_i или декодированному слову A' . Выбор осуществляется

по наименьшему количеству ошибок, обнаруженных и исправленных при декодировании. Для массива B' , выполняются аналогичные действия с B_i и B' .

3. Формируем из A''_i и B''_i кодовое слово длины 24 по правилу $(A''_i+x_i)(A''_i+B''_i+x_i)(B''_i+x_i)$ и сравниваем с принятым зашумленным кодовым словом $(a+x+e_1)(a+b+x+e_2)(b+x+e_3)$. В качестве результата декодирования, выбираем такие A''_i , B''_i , x_i , которые обеспечивают наименьшее расстояние Хэмминга между принятым вектором и восстановленным кодовым словом.

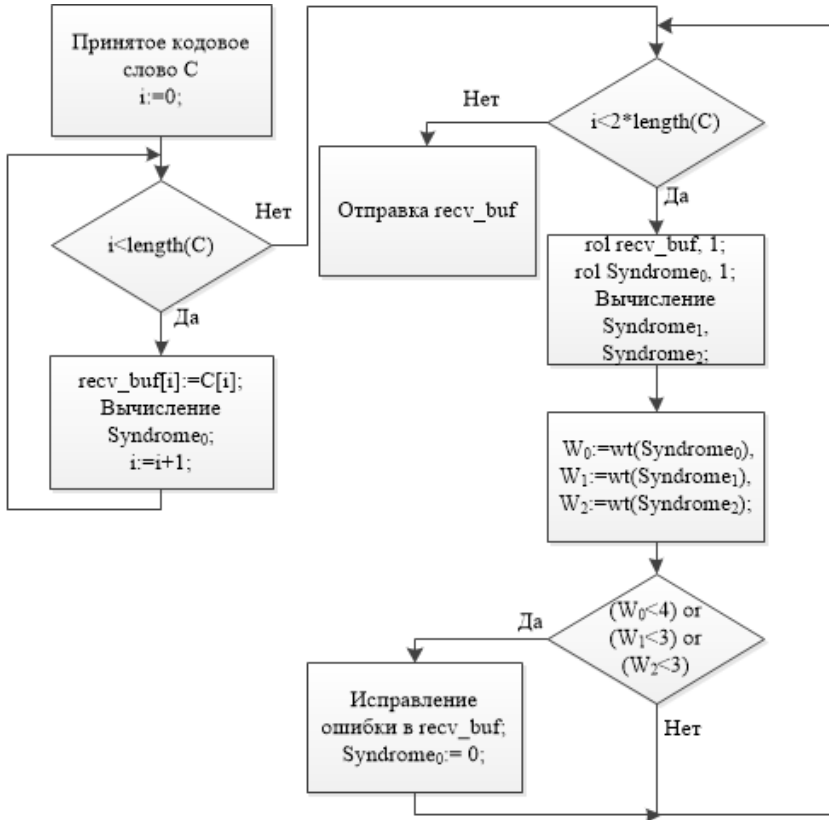


Рис. 3. Блок схема алгоритма Меггита

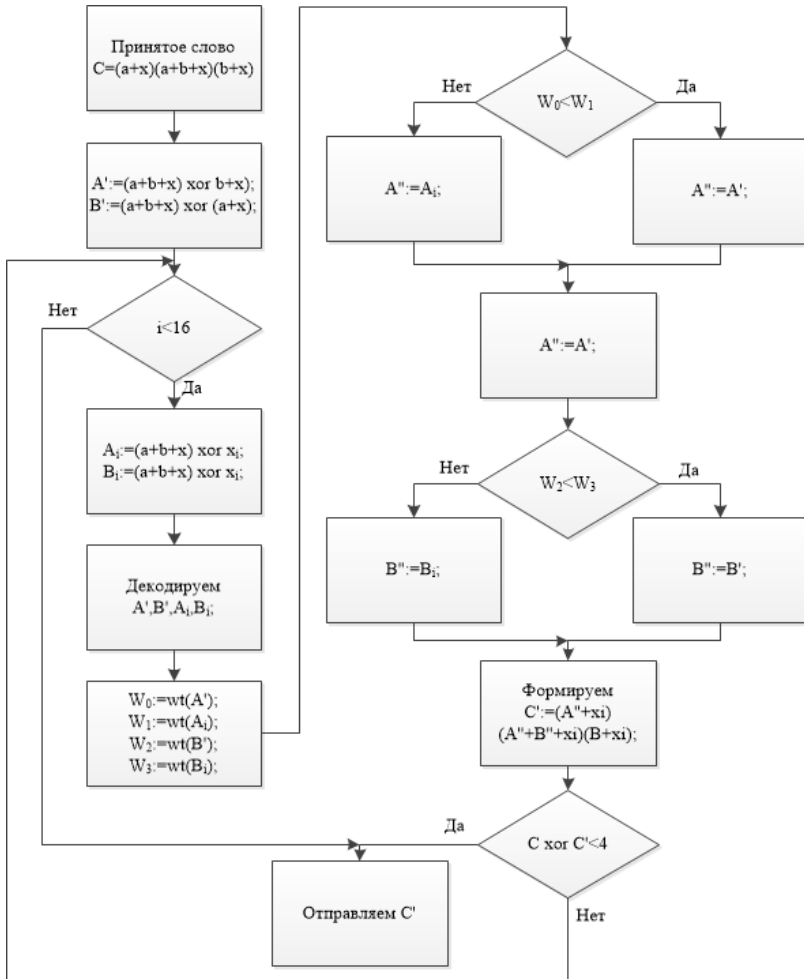


Рис. 4. Блок схема комбинированного алгоритма

В нашей исследовательской работе код Хэмминга $g(8, 4, 4)$ имеет порождающую матрицу G^{ab} :

$$G^{ab} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Код Хэмминга $g'(8, 4, 4)$ описывается порождающей матрицей G^s следующего вида:

$$G^s = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Кодовые слова вида $(a+x)(a+b+x)(b+x)$ соответствуют порождающей матрице G^{abx} вида:

$$G^{abx} = \begin{pmatrix} G^{ab} & G^{ab} & 0 \\ 0 & G^{ab} & G^{ab} \\ G^x & G^x & G^x \end{pmatrix}$$

В результате выполнения исследований по реализации декодеров были получены следующие характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики реализованных алгоритмов						
Алгоритм декодирования	Количество логических элементов			Такты на декодирование	Частота (МГц)	Производительность (слов в секунду)
	LUT	FF	IO			
Табличный	478 0.16%	37 0.01%	39 6.50%	3	344	$114 \cdot 10^6$
Меггитта	141 0.05%	66 0.01%	39 6.50%	73	413	$565 \cdot 10^4$
$(a+x)(a+b+x)(b+x)$ Этот же вариант в среднем по множеству ошибок	131 0.04%	98 0.02%	52 8.67%	65 35	247	$380 \cdot 10^4$ $705 \cdot 10^4$

LUT (lookup table) – таблица поиска. IO – Порты ввода/вывода. FF (Flip-Flops) – Триггеры.

Рассмотренные три алгоритма имеют различные предпочтительные сферы применения:

1. Табличный декодер предпочтителен в системах, требующих максимального быстродействия.
2. Декодер Меггитта имеет смысл использовать, в системах, требующих минимальное количество логических элементов.
3. Декодер для кода $(a+x)(a+b+x)(b+x)$ представляет собой промежуточный вариант по среднему быстродействию и количеству логических элементов в сравнении с первыми двумя декодерами.

Библиографический список

1. Питерсон У.У., Уэлдон Э.Дж. Коды, исправляющие ошибки. М.: «Мир». 1976. 594 с.
2. Колесник В.Д., Мирончиков Е.Т. Декодирование циклических кодов. М.: «Связь». 1968. 253 с.
3. Ковалев С.И., Крачковский В.Ю. Об одном классе кодов» в межвузовском сборнике. Системы обработки и передачи информации. Л.: ЛИАП. 1982. 153 с.
4. Мак-Вильямс Ф., Слоэн Н. Теория кодов, исправляющих ошибки. М.: «Связь». 1979. 745 с.

УДК 004.056.53

И. К. Носков

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. В. Рабин

кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СХЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ АФФИННЫХ ПРОСТРАНСТВ

В наши дни большинство цифровых объектов создаются для того, чтобы их увидела ограниченная группа лиц (покупатели, авторизованные пользователи, сотрудники организации и т.п.). Отсюда вытекают проблема: у пользователей появляется легкая возможность несанкционированного распространения цифрового объекта без согласия автора. Следовательно, перед автором встает задача сделать несанкционированный доступ как можно более дорогим и сложным.

Решение проблемы незаконного копирования и распространения документов на данный момент направлено на затруднение возможности создания нелегальных копий оригинала, а также на поиск нелегальной копии и нарушителя или группы нарушителей, осуществивших её создание и последующее распространение.

В данной статье описан один из методов защиты цифровых объектов от нелегального копирования, рассмотрены схемы отслеживания на базе аффинного пространства и их возможное расширение для большего количества пользователей.

Поставщик данных, который хочет предотвратить безнаказанное копирование цифрового объекта, должен встроить в каждую копию уникальное множество меток. Если появится нелегальная копия, то можно, благодаря меткам, однозначно идентифицировать пользователя, занимающегося нелегальным распространением. Такие множества меток известны как цифровые отпечатки пальцев [1].

При этом существует проблема: предположим, что некая группа пользователей (коалиция) собралась вместе и сравнила принадлежащие им копии цифрового объекта. В этом случае они могут обнаружить расположение уникальной метки (или ее части) и заменить ее другой. Получится совершенно новая, пиратская, копия, которая не указывает ни на одного члена группы.

Предположим, что имеется b пользователей. Поставщик данных генерирует базовое множество T из v ключей и назначает k ключей каждому пользователю. Эти k ключей образуют пользовательский персональный ключ, и мы будем обозначать персональный ключ для пользователя U через $P(U)$. Некоторые пользователи могут дать неавторизованным пользователям пиратский декодер F . Пиратский декодер F будет состоять из k базовых ключей, выбранных из T таких, что $F \subseteq \cup_{U \in C} P(U)$, где C есть коалиция нарушителей. Неавторизованный пользователь может быть способен открыть документ, используя пиратский декодер F .

Чтобы предотвратить возможность безнаказанной атаки сговора, в работе [2] была введена схема отслеживания, которая способна выявить, по крайней мере, одного нарушителя из коалиции.

Определение 1. Предположим, что любой подозреваемый пользователь U есть член коалиции C , тогда как пиратский декодер F создан C и $|C| \leq c$. Тогда схема называется c – отслеживаемой схемой, и такая схема обозначается как c -TS(k, b, v).

Обнаружение одного из нарушителей может быть осуществлено простым сравнением $|F \cap P(U)|$ для всех пользователей U . Если следующая формула

$$|F \cap P(U)| \geq |F \cap P(U)|$$

выполняется для всех пользователей, таких как $V \neq U$, то U определяется как подозреваемый пользователь.

Схемы отслеживания могут быть построены на базе аффинных пространств. Для схем отслеживания используется матричное представление аффинного пространства.

Для аффинного пространства $AG(d, q)$ имеются следующие формулы:

$$n = q^d, w = q^{d-1}(q^d - 1)/(q - 1),$$

где n – количество точек над полем F_q , принадлежащих d -мерному пространству; w – количество прямых над полем F_q , принадлежащих d -мерному пространству.

Для построения схемы отслеживания на базе аффинного пространства необходимо представить это пространство в матричном виде.

Аффинное пространство в матричном виде представляется следующим образом:

- выбирается любая прямая, принадлежащая выбранному полю;
- каждый элемент в строке соответствует точке, принадлежащей выбранному полю;
- для выбранной прямой строка заполняется таким образом, что если точка принадлежит прямой, то на данной позиции ставится 1, и 0 – если не принадлежит;

Для примера рассмотрим аффинную плоскость $AG(2, 5)$. Например, берется прямая $Y = 2X + 1$ для F_5 . Тогда точки, принадлежащие этой прямой, будут следующие: (0, 1); (1, 3); (2, 0); (3, 2); (4, 4). И если точки выписать следующим образом:

(0, 0); (0, 1); ...; (0, 4); (1, 0); ...; (1, 4); (2, 0); ...; (3, 0); ...; (4, 0); ...; (4, 4),

то прямая для данного уравнения будет выглядеть так:

[0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1]

Во многих случаях число пользователей в схеме будет увеличиваться после того, как система будет установлена. В схеме отслеживания невозможно изменить персональные ключи, которые уже выданы, когда схема расширяется, поэтому существует операция вложения, которая позволяет, не изменяя персональных ключей, расширить схему.

Рассмотрим операцию вложения как расширение предыдущей схемы отслеживания при увеличении количества пользователей.

Определение 2. Пусть T будет множество v базовых ключей $c-TS(k, b, v)$, и пусть T' будет множество v' базовых ключей $c-TS(k, b', v')$, где $v < v'$, $b < b'$ и $T \subseteq T'$. Предположим, что каждый персональный ключ $c-TS(k, v, b)$ есть также персональный ключ $c-TS(k, b', v')$ (то есть для кодового слова из $c-TS(k, b', v')$ первые v позиций будут такие же, как и для $c-TS(k, b, v)$, а остальные $v'-v$ позиции будут нулевыми). Тогда считается, что первая схема является вкладываемой во вторую схему.

В [1] подробно описаны конструкции (дизайны), на основе которых можно построить схемы отслеживания, а в [3] приведены следующие теоремы.

Теорема 1. Если существует $2-(v, k, 1)$ -дизайн, который может быть вложен в $2-(v', k, 1)$ -дизайн, тогда существует $\sqrt{k-1}-TS(k, (v^2-v)/(k^2-k), v)$, которая может быть вложена в $\sqrt{k-1}-TS(k, ((v')^2-v)/(k^2-k), v')$.

Для любого числа q , которое является степенью простого числа, и для любого целого числа $i < j$, существует $2-(q^i, q, 1)$ -конструкция, которая может быть вложена в $2-(q^j, q, 1)$ конструкцию (другими словами, аффинная геометрия $AG(i, q)$ есть подгеометрия $AG(j, q)$). Применяя теорему 2, получим следующий результат.

Теорема 2. Пусть q есть простое число, и пусть i и j будут положительными целыми числами такими, что $i < j$. Тогда существует $\sqrt{q-1}-TS(q, q^{i-1}(q^i-1)/(q-1), q^i)$, которая может быть вложена в $[\sqrt{q-1}-TS(q, q^{j-1}(q^j-1)/(q-1), q^j)]$.

Для примера будет рассмотрено вложение для $q = 5$, $i = 2$, $j = 3$ (т.е. вложение геометрии $AG(2, 5)$ в $AG(3, 5)$), тогда по теореме 1 схема отслеживания $2-TS(5, 30, 25)$ может быть вложена в $2-TS(5, 30, 25)$.

Из геометрии известно, что любая прямая трехмерного пространства может быть построена по следующей формуле:

$$\frac{X-x_0}{a} = \frac{Y-y_0}{b} = \frac{Z-z_0}{c}$$

где x_0, y_0, z_0 – координаты любой точки, принадлежащие данной прямой; a, b, c – координаты направляющего вектора.

В случае $z_0 = 0$ и $c = 0$ данное уравнение принимает следующий вид:

$$\begin{cases} Z = 0, \\ aY = bX + d. \end{cases}$$

Получается, что все прямые, удовлетворяющие этой системе уравнений, лежат в плоскости Oxy . Второе уравнение этой системы можно преобразовать следующим образом:

$$\begin{cases} Y = mX + q, & \text{если } a \neq 0, \\ X = h, & \text{если } a = 0. \end{cases}$$

Количество прямых, удовлетворяющих данной формуле, будет равно 30, и они будут повторять прямые, которые входят в аффинную плоскость $AG(2,5)$.

В данной статье даны комбинаторные описания схем отслеживания в терминах множеств, описаны аффинные пространства, приведен пример матричного построения аффинного пространства, а также исследовано и приведен пример встраивания схем отслеживания, которые позволяют давать схемы, являющиеся расширяемыми к более ранним версиям, чтобы приспособить их к большему количеству пользователей, и приведены примеры отслеживающей схемы и ее вложения. Исходя из этого, можно сделать вывод, что при вложении схемы отслеживания в более крупную длина отпечатка пальцев существенно увеличивается.

Библиографический список

1. Colbourn C. J., Dinitz J. H. eds. CRC Handbook of Combinatorial Designs, CRC Press, Inc., 1996.
2. Boneh D., Shaw J. Collusion-secure fingerprinting for digital data, 1995.
3. Stinson D. R., Wei R. Combinatorial Properties and Constructions of Traceability Schemes and Frameproof Codes, January 16, 1997.

УДК 629.735.33

А. С. Петров

магистрант кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

В. К. Пономарев

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

НАВИГАЦИОННАЯ ДАЛЬНОМЕРНАЯ СИСТЕМА

Работа посвящена принципу обработки сигналов в мультидальномерной системе для получения координатной информации о местоположении воздушного судна.

В современном мире самым совершенным средством с точки зрения точности определения координат воздушных судов, является GNSS (Global Navigation Satellite Systems – глобальная навигационная спутниковая система), включающая GPS (Global Positioning System) и ГЛОНАСС.

Зональная навигация в последние годы успешно вытесняет традиционные методы навигации с использованием наземных радиосредств. В будущем, с развитием спутниковых навигационных систем, зональная навигация полностью вытеснит старые методы навигации. Поэтому ICAO (International Civil Aviation Organization – Международная организация гражданской авиации) установила, что GNSS должна внедряться постепенно, а в переходный период должна сохраняться наземная инфраструктура существующих навигационных систем и соответствующее бортовое оборудование.

Зональная навигация (RNAV) – это метод навигации, позволяющий воздушным судам выполнять полет по любой желаемой траектории в пределах зоны действия радиомаячных навигационных средств или в пределах, определяемых возможностями автономных средств или их комбинации (определение ИКАО) [2].

Зональная навигация – разновидность навигации, которая отличается от обычной лишь двумя чертами: возможностью задания произвольных траекторий и обеспечением наведения при полете по ним.

Раньше маршрут полета должен был проходить строго через радионавигационные средства (на каждом участке маршрута должно было обеспечиваться радионавигационное наведение). Но при применении такого метода навигации увеличивается длина маршрута и итоговая стоимость перевозки. Следовательно, выполнение полета без привязки к РНС дает ряд преимуществ. Во-первых, это значительно уменьшает время полета и экономит топливо и другие расходы, связанные с эксплуатацией воздушного судна. При выполнении полета с использованием оборудования RNAV не требуется широкой сети наземных радионавигационных средств. Кроме того, применение RNAV позволяет эффективнее использовать воздушное пространство, тем самым увеличивая его пропускную способность.

Поэтому более точное определение RNAV могло бы выглядеть следующим образом: «зональная навигация – навигация с использованием технических средств, обеспечивающих наведение при полете по любой желаемой траектории». Оборудование, обеспечивающее возможность такой навигации, стали называть «оборудованием зональной навигации» или «оборудованием RNAV». Оно должно автоматически определять местоположение воздушного судна по одному или нескольким навигационным датчикам и вычислять расстояние вдоль линии пути, время полета до выбранного пункта, боковое отклонение, а также обеспечивать непрерывную индикацию отклонения на приборах, то есть обеспечивать наведение. Сама же траектория задается, как правило, геодезическими координатами (широтой и долготой) нескольких ее точек, называемых точками пути.

Но, как это ни странно, основным источником информации о местоположении в современных бортовых навигационных системах является не спутниковая навигационная система, а инерциальная навигационная система. Инерциальная система хоть и имеет свойство накапливать погрешность, но у нее есть один неоспоримый плюс: она полностью автономна. К тому же, за счет применения лазерных гироскопов и акселерометров, современные IRS (Inertial Reference System) имеют довольно высокие показатели точности, уход составляет не более 1–2 морских миль за час полета.

Однако чтобы IRS обеспечивала необходимую точность определения координат, ее необходимо периодически корректировать по более точным координатам, например, это показания **GPS** или наземных радиомаяков **DME/DME**. Маяки **VOR/DME** и **DME/DME** могут выступать самостоятельными датчиками координат для системы **RNAV**.

В перспективе планируется полностью отказаться от наземных радиосредств и перейти на **GNSS**, которая включает уже действующие системы **GPS** и **ГЛОНАСС**, а также осуществляется запуск европейской системы **GALILEO**. Одновременное использование нескольких независимых спутниковых навигационных систем позволит значительно улучшить точность и надежность навигации методом **RNAV**.

В соответствии с поставленной ICAO задачей развития навигационных систем в будущем инфраструктура угломерных **VOR** должна сокращаться, взамен расширяя технологии, использующие дальномерные маяки **DME**. Таким образом можно повысить точность навигации. Задача получения координат воздушного судна по двум измеренным дальностям (режим **DME/DME**) является классической и решается в навигационных вычислителях многих навигационных комплексов. Но с появлением сканирующих дальномеров стало возможным использовать в обработке сигналы большого количества дальномерных маяков, что повысит точность и надежность оценки местоположения воздушного судна. Такой режим навигационных данных, при котором используются сигналы многих дальномерных маяков и является мультидальномерными.

Задача состоит в разработке принципов обработки сигналов в мультидальномерной системе для получения координатной информации о местоположении воздушного судна. Будут рассматриваться принципы построения навигационной системы для гражданской навигации, основанной на использовании доступных наземных радиодальномерных средств. Так же будет учитываться, что в процессе полета изменяется количество, состав и расположение доступных дальномерных маяков (**DME**). При полете в районах с высокой плотностью дальномерных маяков предлагается использовать специальный алгоритм выбора ограниченной группировки, обеспечивающий наименьшую ошибку определения координат. Так же внимание будет уделяться особенностям формирования оптимального алгоритма комплексной обработки сигналов мультидальномерной системы и автономных измерений. Будут рассматриваться особенности постановки задачи для этого режима навигации.

Современная организация полетов в гражданской авиации предусматривает использование технологии **RNAV**, при которой воздушное судно может перемещаться по произвольно проложенному маршруту. Этот маршрут определяет расположение наземных маяков, информация от которых может быть использована в навигационном комплексе воздушного судна. Количество маяков, по сигналам которых бортовой приемник осуществляет слежение, ограничено. Это ограничение определяется как особенностями работы современных навигационных комплексов, так и наличием в районе полета маяков, предназначенных для обслуживания летательных аппаратов на фактической высоте полета.

В зонах аэродромов количество маяков, информация от которых может быть использована, превышает возможности используемого навигационного комплекса. Поэтому используется специальный алгоритм выбора оптимальной группировки маяков. При этом решаются задачи выбора маяков по комплексному критерию, учитывающему геометрический фактор, дальность и зону обслуживания маяка. На втором этапе синтезируется алгоритм обработки сигналов и выдачи информации о местоположении воздушного судна.

Для повышения точности и надежности навигации обычно используют комплексную обработку измерений с привлечением информации, получаемой от автономных датчиков [1, 4]. Итерированный навигационный комплекс обычно проектируют на основе фильтра Калмана, который предполагает знание априорных данных о статистических характеристиках ошибок в измерениях. Однако уровень ошибок радиотехнических навигационных средств существенно зависит от условий распространения радиосигналов и геометрического фактора. Следует принимать во внимание и изменение состава навигационных средств при движении по маршруту. В этих условиях эффективным оказывается использование адаптивных методов фильтрации [3]. Относительная сложность реализации адаптивных алгоритмов определяет необходимость исследования альтернативных вариантов. Рассматриваемый здесь

алгоритм основан на международном стандарте [4], определяющем СКО измерения наклонной дальности следующим образом:

$$\sigma_{DME} = \sqrt{(0.05NM)^2 + \text{MAX}[(0.085)^2, (0.0125 * D)^2]}, \quad (1)$$

где D – фактическая наклонная дальность в морских милях (NM) или

$$\sigma_{DME} = \sqrt{(92.6\text{m})^2 + \text{MAX}[(157.4)^2, (0.0125 * D)^2]},$$

если D – измеряется в метрах.

Измеренные дальности и данные автономных средств навигации предварительно пересчитываются в географическую систему координат. Поскольку в сканирующем «запросчике-приемнике» дальности реализуется последовательная схема работы с выбранными радиомаяками, для обработки измерений используется фильтр Калмана, обеспечивающий прогнозирование сигналов радиомаяков и выдающий оптимальную оценку местоположения воздушного судна при наличии избыточных измерений:

$$\hat{x}_i = \bar{x}_i + K_i(z_i - C_i\bar{x}_i), \quad (2)$$

где

$$\bar{x}_{i+1} = A_i\hat{x}_i + B_i\bar{w}_i; K_i = P_iC_i^T R_i^{-1}; P_i = (M_i^{-1} + C_i^T R_i^{-1} C_i)^{-1}; M_{i+1} = A_i P_i A_i^T + B_i Q_i B_i^T. \quad (3)$$

Матрицы Q_i и R_i определяются ошибками автономных средств навигации и ошибками измерения широты и долготы с помощью каждого из измерений наклонной дальности.

Проведенные исследования и моделирование показали работоспособность и эффективность использования мультидальномерной системы. В районах с плотным расположением маяков DME такая система обеспечивает приемлемую для самолетовождения точность.

Библиографический список

1. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. Введение в теорию оценивания, СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электроприбор", 2009. 496 с.
2. Руководство по требуемым навигационным характеристикам (RNP). DOC 9613-AN/937. ICAO, 1994.
3. Пономарев В. К., Панферов А. И., Поленов Н. М. Построение адаптивных алгоритмов обработки навигационной информации на основе спектрального анализа обновляемых процессов / Научно-технические ведомости СПбГПУ №4 (82) 2009. С. 164-168.
4. Minimum Aviation System Performance Standards: Required Navigation Performance for Area Navigation. RTCA. IncorporatedUSA, DO-236B, Supersedes DO-236A, October 28, 2003.

УДК 629.7.052

М. И. Петрушенко

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ МЭМС ГИРОСКОПА LL – ТИПА

В настоящее время большое внимание уделяется разработке микроэлектромеханических систем (МЭМС) гироскопов, служащих для измерения угловой скорости [1]. МЭМС гироскопы широко применяются как в гражданских целях (смартфоны, автомобильная промышленность), так и военных (в составе БИНС систем ракетных и снарядных комплексов).

Перед тем, как дойти до конечного пользователя, МЭМС гироскопы проходят этапы испытаний и калибровки, которые трудоемки и продолжительны по времени, а после их проведения значительная часть МЭМС может быть отбракована. Поэтому отбраковка МЭМС целесообразна на раннем этапе производства. Критерием отбраковки может служить добротность.

Добротность – параметр колебательной системы, определяющий ширину резонанса и характеризующий, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за один период колебаний. Обозначается символом Q (от англ. quality factor).

Добротность обратно пропорциональна скорости затухания собственных колебаний в системе, то есть, чем выше добротность колебательной системы, тем меньше потери энергии за каждый период и тем медленнее затухают колебания [2]. Известно, что добротность есть величина, характеризующая резонансные свойства и определяющая поведение линейной колебательной системы, а для микроэлектромеханической колебательной системы, используемой в МЭМС-гироскопах, отличается очень высокой добротностью (более 50000 ед.). Отбраковку таких сенсоров для применения в устройствах измерения угловой скорости можно производить по критерию допустимого порогового значения добротности.

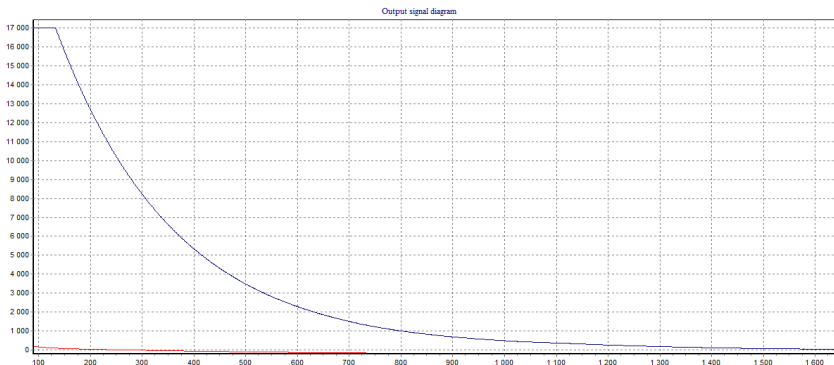


Рис. 1. Падение амплитуды закачки гироскопа от времени (при температуре +24 С)
 $Q = 275\,419$ ед., среднеквадратичное отклонение за 10 измерений = 627 ед.

Способ определения добротности, основанный на раскатке подвижных масс по входной (выходной) оси на заданную амплитуду, следующий: после установления амплитуды в фиксированный момент времени снимается переменная составляющая в выбранном канале, как только амплитуда качания подвижных масс уменьшится в 2.74 раза, производится расчет добротности механической системы кремниевых элементов по следующей формуле:

$$Q = 3.14 * F_{res} * T,$$

где Q – значение добротности; F_{res} – значение резонансной частоты в Гц; T – время затухания колебаний до уровня в 2.74 раза ниже исходного.



Рис. 2. Падение амплитуды зачки гироскопа от времени (при температуре +50 °С)
 $Q = 190\,937$ ед. , среднеквадратичное отклонение за 10 измерений = 976 ед.

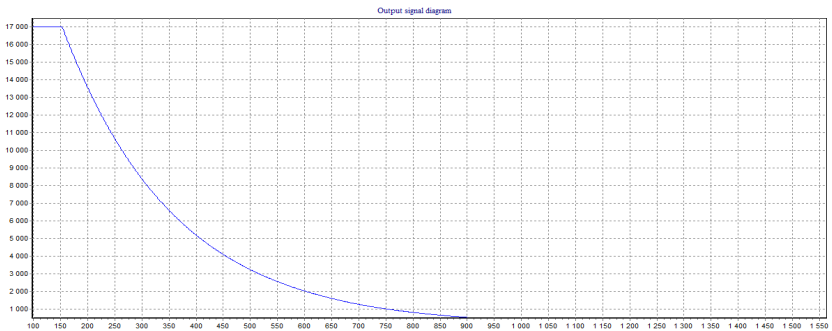


Рис. 3. Падение амплитуды зачки гироскопа от времени (при температуре -50 °С)
 $Q = 255\,419$ ед. , среднеквадратичное отклонение за 10 измерений = 434 ед.

Данный метод позволяет определять добротность, не прибегая к использованию внешнего измерительного оборудования, тем самым ускоряя процесс измерения добротности. Недостатком данного метода может быть неточность измерения времени затухания или ложное срабатывание алгоритма при определении амплитуды.

Библиографический список

1. Пешехонов В.Г. Гироскопы начала XXI века / Гироскопия и навигация, 2003. №4 С.5-18.
2. Стрелков С. П. Введение в теорию колебаний. 2 изд., М., 1964 Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959.
3. Евстафьев С.Д. Калибровка информационных характеристик гироскопа. 2012.
4. Люкшонков Р.Г. Термокомпенсация микромеханических гироскопов с контуром стабилизации амплитуды первичных колебаний. 2015.

УДК 614.0.06: 625.7/8

А.А. Пляскина

студентка кафедры эксплуатации и управления в аэрокосмических системах

С.Ф. Скорина

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШИХ В СТАЦИОНАРНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ

Наука не стоит на месте. Фактически каждый год человечество придумывает какие-то новые изобретения или усовершенствует уже ранее придуманные. Благодаря тому, что современная медицина опирается в своем развитии на другие отрасли естествознания и, в частности, на биологию, физиологию, биохимию, генетику, физику, электронику и инженерное дело, она с каждым годом делается все могущественней и постепенно обретает полную власть над человеческим организмом. Тема данной работы посвящена проблеме обеспечения угловой стабилизации пострадавшего при транспортировке в медицинское учреждение. В работе рассмотрены традиционные подходы к иммобилизации пострадавшего в машинах скорой помощи, предложены направления работ по обеспечению стабильного положения носилок при перемещении транспортного средства в условиях реального состояния отечественных дорог, приведен сравнительный анализ традиционных и перспективных подходов к иммобилизации пострадавшего.

Актуальность данной тематики очевидна. Транспортировка, также как и перевозка больных является неотъемлемой частью единого лечебно-диагностического процесса, осуществляемого сотрудниками скорой медицинской помощи. Необходимость выделения этого этапа лечебно-диагностического процесса связана с тем, что она обладает рядом особенностей, которые позволяют ее считать одним из наиболее опасных и важных этапов лечения. На этапе эвакуации во время перевозки состояние больного может ухудшиться в следствие качки автомобиля при движении, особенно это касается пострадавших с потерей крови, черепно-мозговой травмой, травмой позвоночника и людей, которым требуется незамедлительная операция.

Анализ статистические данные о состоянии автомобильных дорог в ряде округов Российской Федерации показывает [1], что количество дорог, отвечающих нормативным требованиям в г. Санкт-Петербург, начиная с 2012-2015 год уменьшается, такую же ситуацию можно наблюдать и в Москве, а это два самых многочисленных города по количеству населения. Причем количество дорог, отвечающих нормативным требованиям, в Санкт-Петербурге примерно в 2 раза больше чем в Москве, однако численный показатель идет на спад, что не может не сказаться на усложнении ситуации эвакуации пострадавших в места дальнейшего прохождения лечения. Состояние дорог в российской глубинке по объективным причинам существенно хуже состояния дорог в городах – «миллионниках» и оставляет желать лучшего.

Проанализировав данные интернет ресурсов можно сказать, что за последнее время значительно улучшилось оснащение необходимыми предметами в машинах скорой помощи, а также технические характеристики носилок, но тем не менее, проблема иммобилизации пострадавших и больных при транспортировке остается достаточно острой. Так например, мягкие бескаркасные носилки достаточно удобны в применении и минимальны по стоимости. В качестве более дорогостоящей альтернативы выступают жестко-каркасные изделия, позволяющие надежно фиксировать больного в том или ином положении. Более современный вариант данной продукции – кресельные носилки, легко трансформируемые из лежачего положения в сидячее, оборудованные колесиками. Переноски с ремнями – еще одно средство, препятствующее изменению больным его положения, что в отдельных случаях может губительно отразиться на его состоянии. Во время дорожных аварий и при осуществлении спасательных операций на открытой местности, вдали от цивилизации находят свое применение яркие носилки с катафотами. Бескаркасные носилки «Плащ» –

оптимальный вариант для служб скорой помощи. Легко складываемые матерчатые носилки, именуемые в силу их компактности «Плащ», широко используются сегодня в стационарных и мобильных медпунктах, военных госпиталях, службах спасения и экстренного реагирования, в экстремальной медицине. Они актуальны для работы в замкнутых и стесненных пространствах, оснащены несколькими парами ручек и фиксационными стропами.

Отдельные модели машин скорой помощи оборудованы, как реанимационная палата. Техническая комплектация турбированного реанимобиля скорой помощи позволяет автомобилю быть более маневренным при езде, не создавать повышенную вибрацию и не раскачиваться на скорости. Реанимобили включают в свое оснащение полный перечень необходимого оборудования: аппарат искусственной вентиляции легких, монитор пациента, дефибриллятор, запас кислорода для обеспечения функции легких и дыхания, полный набор медикаментов, приборы для дозированной подачи лекарственных веществ, капельницы, растворы. Кушетка снабжена дополнительной системой амортизации. Голова больного фиксируется в специальном держателе, что позволяет избегать последствий шатания и тряски. Однако при всех достоинствах носилок и современном оснащении машин скорой помощи, они не обеспечивают полную стабилизацию пациента в условиях движения транспорта, особенно в условиях низкого качества отечественных дорог. Последнее особо актуально не только в условиях сельской местности, но и даже в таких крупных мегаполисах, как Москва и Санкт-Петербург.

Выходом может стать применение на эвакуационных транспортных средствах принципов гироскопической стабилизации [2]. При этом от таких устройств не требуется обеспечение высокой точности стабилизации, характерной для таких устройств в составе инерциальных систем ориентации, навигации и управления. Для целей обеспечения иммобилизации пострадавшего при транспортировке вполне достаточно точности стабилизации в 1-2 градуса. Последнее обстоятельство обуславливает возможность использования недорогих комплектующих изделий гиростабилизатора – чувствительных элементов, исполнительных устройств в виде двигателей разгрузки, усилительно-преобразовательных блоков. Облегчает решение задачи и то обстоятельство, что достаточно использовать двухосный стабилизатор, поскольку требуется обеспечить стабильное положение пострадавшего только относительно плоскости горизонта. Относительно небольшое время транспортировки позволяет существенно упростить схему гиростабилизатора, обоснованно отказавшись от систем коррекции.

Ориентировочные, прикидочные расчеты, выполненные для типовых весогабаритных характеристик традиционных средств иммобилизации пострадавших и самих пострадавших показали, что такой гиростабилизатор может быть построен исключительно на отечественных комплектующих изделиях. Его применение может существенно повысить эффективность и безопасность эвакуационных мероприятий, проводимых как службами экстренной медицинской помощи, так и различными транспортными средствами отряда Центроспас в составе Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

Библиографический список

1. <http://www.autostrada.info/ru/> – Информационный ресурс «Автострада»: Актуальное состояние дорожного покрытия трасс Украины, Белоруссии, России.
2. *Севееров Л.А.* Механика гироскопических систем. М.: МАИ, 1996. 137 с.

УДК 004.932.4

А. В. Рузавин

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Р. Луцке

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

КОМПЕНСАЦИЯ ДЕФОКУСА ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Задачей исследования является компенсация дефокуса на мобильном устройстве, снабжённом инерциальными датчиками, такими как гироскоп и акселерометр. Дефокус – это дефект, вызванный движением камеры во время экспонирования, движением объекта на сцене, съёмкой на длинной выдержке, атмосферной турбулентностью и т.д.

Следует отметить, что на практике результатом для этой задачи является некоторое приближённое решение, получить её точное решение нельзя.

Сама по себе компенсация дефокуса изображения была рассмотрена и реализована во множестве работ и статей [1,2,3] и для её решения существует множество методов, каждый из которых имеет свои сильные и слабые стороны. В данной статье рассмотрено лишь несколько из возможных методов:

а. Метод обратной фильтрации [4] – простой метод деконволюции. Имея данные о функции рассеяния точки (ФРТ), соответствующей дефокусу, можно выполнить обратное дефокусу преобразование, тем самым добиться улучшения качества изображения. Этот метод использует амплитудный и фазовый спектры.

Данный метод является простым, однако, его использование часто нецелесообразно так как, уже при незначительных шумах, он даёт плохой результат.

б. Фильтр Винера [5] – в отличие от ранее рассмотренного метода обратной фильтрации, почти не подвержен влиянию помех. Связано это с тем, что при его синтезе, вместе с ФРТ, используется информация о спектральных плотностях мощности изображения и шума.

Первый недостаток данного фильтра – наличие краевых эффектов, проявляющихся в виде осциллирующей помехи, маскирующей восстановленное изображение. Второй – наличие константы, которую необходимо подбирать вручную, чего хочется избежать.

с. Алгоритм Ричардсона-Люси [6, 7] предложенный независимо Ричардсоном в 1972 году и Люси в 1974 году, является нелинейным, что может дать лучший результат, по сравнению с методом обратной фильтрации и фильтром Винера, и итерационным, что может вызвать трудности, связанные с выбором критерия останова итераций.

Данный метод использует метод максимального правдоподобия, для которого предполагается, что изображение подчиняется распределению Пуассона. В отличие от метода обратной фильтрации и фильтра Винера, он не использует преобразование Фурье [8], все вычисления проводятся в пространственной области.

Этот метод, как и другие методы, основанные на методе максимального правдоподобия, ведёт к усилению шума в восстановленном изображении. Избежать усиления шума можно, задав правило останова в данном алгоритме: итерации заканчиваются на шаге, когда шум превышает заданный порог. Другим способом борьбы с усилением шума является выполнение размывтия полученного изображения.

Таким образом, в качестве критерия останова может использоваться установленное пользователем ограничение на максимальное число итераций, которое выбирается исходя из требований к качеству обработки и быстродействию, или исходя из условия малого изменения результата на каждой последующей итерации.

В таблице содержится краткий обзор результатов сравнения рассмотренных алгоритмов компенсации.

Сравнения описанных алгоритмов

	Метод обратной фильтрации	Фильтр Винера	Алгоритм Ричардсона-Люси
Устойчивость к шумам	-	+	+
Отсутствие констант	+	-	+
Методы обработки сигналов	в частотной области	в частотной области	в пространственной области

Как следует из таблицы, из исследованных в работе методов, лучшим, для решаемой задачи, является алгоритм Ричардсона-Люси, обладающий хорошей помехоустойчивостью и отсутствием каких-либо констант.

Алгоритм запускается с первой аппроксимации f_0 восстановленного изображения, после чего, аппроксимация улучшается с каждой последующей итерацией, используя поправочный коэффициент на основе отношения между размытым изображением и аппроксимацией. Первая аппроксимация должна быть определена до начала итераций [1].

На первом шаге итерации выполняется свёртка текущей аппроксимации восстановленного изображения с ФРТ h :

$$\phi_n = h \otimes f_n \quad (1)$$

Второй шаг вычисляет поправочный коэффициент на основе результата последней работы и исходного (плохого) изображения:

$$\phi_n = h \otimes \frac{g}{\phi_n}, \quad (2)$$

где $\frac{g}{\phi_n}$ – попиксельное деление. Если $\phi_n = 0$, то результат деления будет равен 0. Производится свёртка с ФРТ, повернутой на 180 градусов вокруг её центрального элемента.

Наконец, третьим шагом каждой итерации из текущей аппроксимации и поправочного коэффициента рассчитывается новая аппроксимация изображения:

$$f_{n+1} = f_n \cdot \phi_n, \quad (3)$$

где « \cdot » – попиксельное умножение.

Исследуемая в работе задача подразумевает, что в алгоритме Ричардсона-Люси будет использована ФРТ построенная на основе траектории движения камеры, синтезированной по показаниям инерциальных датчиков мобильного устройства, а не на основе изображения, благодаря чему функция дефокуса будет построена на порядок точнее. Точность функции дефокуса повысится за счёт того, что частота отсчётов инерциальных датчиков многократно превышающей частоту кадров.

Так как достаточно качественные инерциальные датчики появились относительно недавно, данное решение, на текущий момент, нигде не применяется, что является новшеством.

При снятии данных с датчиков возникают трудности:

- Данные с инерциальных датчиков снимаются без остановки, а значит неизвестно, с какого момента они относятся к текущему изображению, а с какого нет. Между моментом t_{e1} окончания формирования одного изображения (рис. 1, А) и началом t_{s2} формирования следующего (рис. 1, А), существует область простоя, на которой с сенсорной матрицы камеры не поступает никакой полезной информации, при этом данные на инерциальных датчиках продолжают считываться (рис. 1, В), и такие данные не несут информации, по которой можно вычислить движение мобильного устройства в момент съёмки кадра. Такие бесполезные данные не должны учитываться при обработке изображения.

- Частота отсчётов датчиков разнится с частотой кадров.

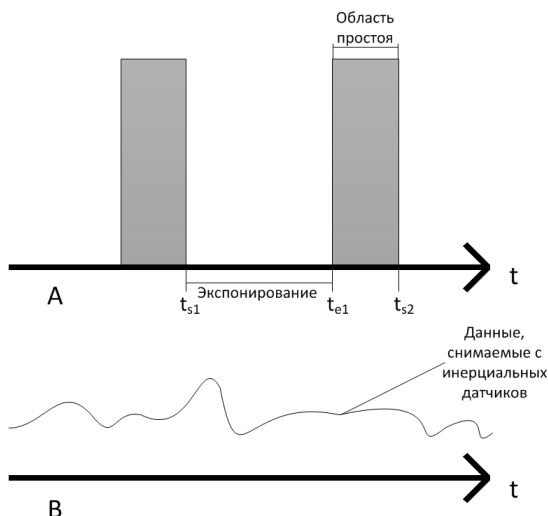


Рис. 1. Процесс захвата кадра матрицей камеры (А) и процесс снятия показаний с инерциальных датчиков (В)

Область между t_{s1} и t_{e1} является временным промежутком, на которой происходит экспозиция ($\approx 30\text{мс}$); область между t_{e1} и t_{s2} является временным промежутком, на котором осуществляется простой, на котором сенсорные матрицы камеры не принимают новой информации.

Использование инерциальных датчиков, для получения дополнительных данных, предполагает решение задачи синхронизации экспозиции и снятия данных с этих датчиков. Вариантом является сравнение корреляцией графика локальных во времени скоростей, измеренных датчиками, с графиком скоростей смещения, измеренных по соответствующим пикселям в соседних кадрах.

Не стоит отрицать возможность ошибок, при снятии показаний с инерциальных датчиков, поэтому данные, полученные с них, следует обработать одним из фильтров, снижающих уровень шума. Предварительные исследования показывают, что хорошим выбором, для данной задачи, станет фильтр Калмана.

Проведённые исследования позволили проанализировать методы компенсации дефокуса, среди которых был выбран алгоритм Ричардсона-Люси. Данный алгоритм предоставляет возможность разработки на мобильном устройстве ПО предназначенного для компенсации дефокуса и продолжать исследования в области моей дипломной работы.

В дальнейшей работе необходимо исследовать методы синхронизации снятия данных с инерциальных датчиков мобильного устройства и захвата кадра, а также исследовать фильтры для снижения уровня шума в показаниях датчиков.

Библиографический список

1. Prof. Dr. Xiaoyi. Jiang, Dr. Da-Chuan Cheng, Steffen Wachenfeld, Kai Rothaus Motion Deblurring // Department of Mathematics and Computer Science University of Muenster 2004/2005. 24 с.
2. Mathias Andersson Image processing algorithms for compensation of spatially variant blur // Linköping: Tekniska Högskolan i Linköping, 2005. 71 с.
3. Igor R. Stojanović Non-iterative methods for digital image restoration // Сербия: university of Nis, 2013. 130 с.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений / М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

5. *Василенко Г. И., Тараторин А. М.* Восстановление изображений / М.: Радио и связь, 1986. 304 с.
6. *Richardson W.H.* Bayesian-Based Iterative Method of Image Restoration // Journal of the Optical Society of America, 1970. Vol. 62, № 1. P. 55–59.
7. *Lucy L.B.* An iterative technique for the rectification of observed distributions // The Astronomical Journal, 1974. Vol. 79, № 6. P. 745–754.
8. *Дэвид А. Форсайт, Джин Понс* Компьютерное зрение. Современный подход // Москва: Вильямс, 2004. 928 с.

УДК 534.2

Е. В. Савенкова

магистрант кафедры №11

Р. Н. Малаханов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРАХ

В настоящее время ультразвуковые расходомеры нашли широкое применение в различных областях промышленности. Эти приборы отличаются простотой и надежностью в эксплуатации и имеют небольшие массы габариты. Существенным недостатком является низкая точность измерения расхода в трубах маленького диаметра, что не позволяет их использовать в авиационном приборостроении. Одним из способов повышения точности может быть обработка получаемых сигналов от пьезоэлектрического преобразователя. Для этого необходимо использовать модель излучения такого датчика.

Наибольшее распространение получили расходомеры, основанные на измерении разности времен прохождения акустических колебаний по потоку и против него. Значительно реже используются ультразвуковые расходомеры, в которых акустические колебания направляются перпендикулярно к потоку и измеряется степень отклонения этих колебаний от первоначального направления [1]. Однако именно для расходомеров второго типа существует математическая модель распространения колебаний, разработанная А.А. Харкевичем. Следует отметить, что эта модель описывает частный случай и для того чтобы ее можно было использовать для расходомеров первого типа, необходимо учитывать угол между плоскостью излучателя и потоком вещества. В настоящей работе разрабатывается описанная математическая модель, с помощью которой определить параметры излучения с большей достоверностью, что позволит повысить точность получения сигнала.

В своей работе А. А. Харкевич рассматривает метод вычисления ближнего поля круговой антенны в случае, когда проекция точки наблюдения оказывается в пределах излучающего круга [2]. Возмущение достигает точки А в момент $t = \frac{r_0}{c}$ (рис. 1).

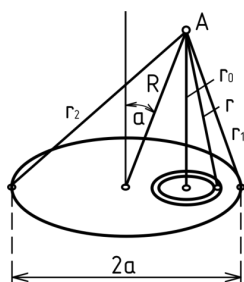


Рис. 1. Проекция точки наблюдения на излучающий круг

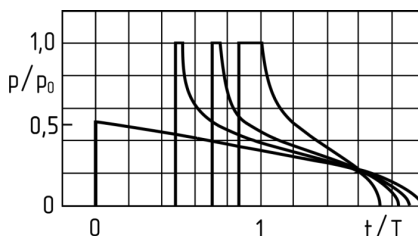


Рис. 2. Графики зависимости давления от времени

Давление принимает значение $p = \omega u_s$, и сохраняет значение до $t = \frac{r_1}{c}$. В интервале $\frac{r_1}{c} < t < \frac{r_2}{c}$, $p = \frac{1}{\pi} \omega u_s \beta(ct)$. С момента $t = \frac{r_2}{c}$ в точку A возмущения не приходят и $p = 0$. Аналитически все вместе записывается так:

$$p = \omega u_s \left\{ \sigma_0 \left(t - \frac{r_0}{c} \right) - \sigma_0 \left(t - \frac{r_1}{c} \right) + \frac{1}{\pi} \beta(ct) \left[\sigma_0 \left(t - \frac{r_1}{c} \right) - \sigma_0 \left(t - \frac{r_2}{c} \right) \right] \right\}, \quad (1)$$

где c – скорость распространения излучения, u_s – напряженность, ω – волновое сопротивление, r – расстояние до точки наблюдения.

Графики $p(t)$ представлены на рис. 2 для $a/R = 1$.

Далее в рассмотренную модель А.А. Харкевича вводится угол между плоскостями излучателя и наблюдаемой точки для того, чтобы от частного случая распространения излучения перейти к наиболее используемому на практике. На рис. 3 приведена проекция точки наблюдения на плоскость излучателя.

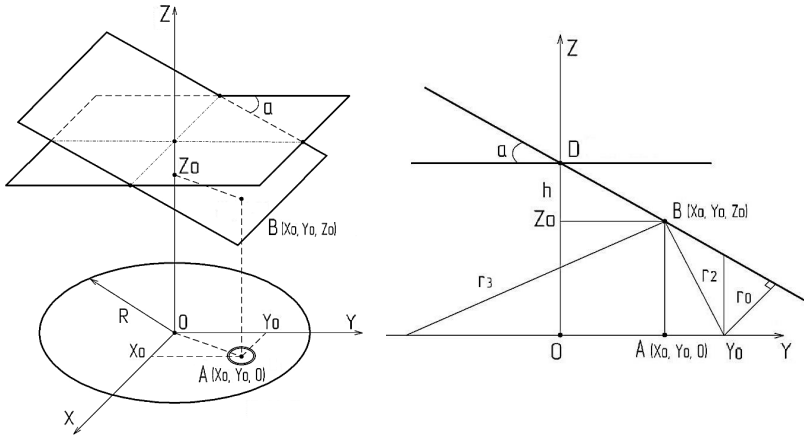


Рис. 3. Проекция точки наблюдения на плоскость излучателя

В начальной фазе явления в точку A приходят возмущения от полного кольца и до тех пор, пока будет выполняться равенство (3) и кольцо не коснется границы излучающего круга. В дальнейшем в точку A будут приходить возмущения от усеченного кольца, пока кольцо полностью не выйдет за пределы излучающего круга. После этого нарастание потенциала прекратится.

1. Момент начала плоского участка:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\sqrt{x_0^2 + y_0^2}} \quad z_0 = D - h = D - \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Момент начала плоского участка

$$t_1 = \frac{z_1}{c} = \frac{D - \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \operatorname{tg} \alpha}{c}. \quad (3)$$

Если $\alpha = 0$, то $\operatorname{tg} \alpha$ и последнее выражение совпадает с формулами А.А. Харкевича.

2. Момент прихода возмущения до плоскости наблюдения.

$x_0 = 0, y_0 = R_1$, тогда формула (2) принимает вид:

$$z_0 = D - R \operatorname{tg} \alpha = r_1 \quad (4)$$

$$\cos \alpha = \frac{r_0}{z_0}, \text{ откуда } r_0 = z_0 \cos \alpha = D \cos \alpha - R \sin \alpha \quad (5)$$

3. Конец плоского участка.

$$r_2 = \sqrt{\left(R - \sqrt{x_0^2 + y_0^2}\right)^2 + z_0^2}; \quad t_2 = \frac{r_2}{c} \quad (6)$$

4. Конец излучения.

$$r_3 = \sqrt{\left(R + \sqrt{x_0^2 + y_0^2}\right)^2 + z_0^2}; \quad t_3 = \frac{r_3}{c} \quad (7)$$

На основе разработанной математической модели было произведено моделирование в среде MatLab. Результаты приведены на рис. 4 – 6.

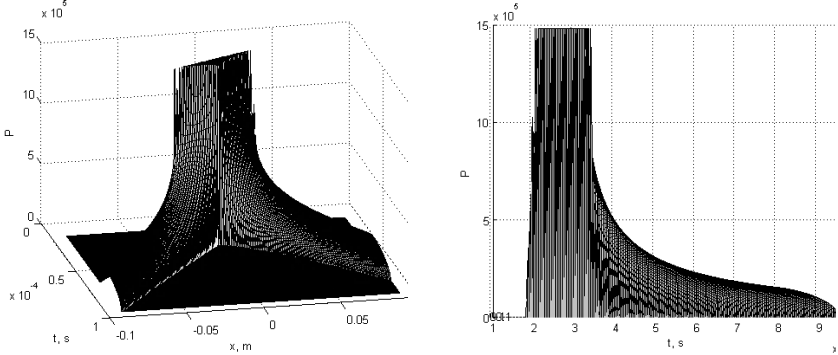


Рис. 4. График изменение давления излучения в зависимости от времени

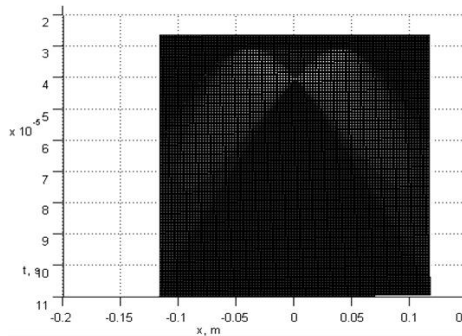


Рис. 5. График изменение давления излучения в зависимости от времени ($\alpha = 0$)

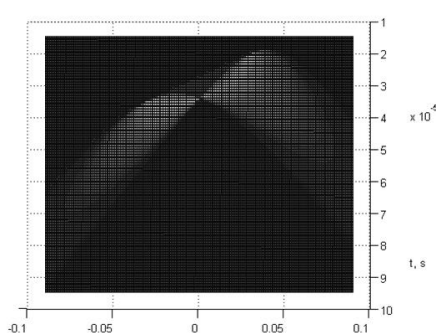


Рис. 6. График изменение давления излучения в зависимости от времени ($\alpha = 20$)

Из графиков видно, что при разных углах наклона плоскости наблюдения давление существенно изменяется (рис. 5 – 6).

В заключении следует отметить, что расположение плоскости излучения пьезоэлектрического преобразователя под разными углами относительно плоскости наблюдения существенно влияет на характеристики излучения. Так как на практике используются датчики именно такого конструктивного расположения, очень важно учитывать угол между плоскостями.

Библиографический список

1. *Кремлевский П. П.* Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник. Кн. 2 / под общ. ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
2. *Харкевич А. А.* Неустановившиеся волновые явления – Государственное издательство технико-теоретической литературы. М., 1950. – 78 с.

УДК 004.074, 004.052.2, 004.052.3

Д. М. Саксин

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

М. О. Алексеев

канд. техн. наук – научный руководитель

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ БОРТОВОЙ FLASH-ПАМЯТИ

Любое бортовое устройство, находящееся на орбите, подвергается разного рода факторам, способствующим неверной работе устройства или же полному выходу его из строя. В настоящей работе рассмотрены реальные факторы влияния на бортовую flash-память, ее структура и методы повышения ее отказоустойчивости.

В основу технологии флэш-накопителей легла схема полевого транзистора с двумя затворами [1], где плавающий затвор способен сохранять заряд (рис. 1). При «зарядке» плавающего затвора создается поток электронов между истоком и стоком, часть из которых набирает достаточное количество энергии, чтобы преодолеть барьер (создается тонким слоем диэлектрика) и оказаться запертой на плавающем затворе. Для однобитного транзистора определена логика:

- Ячейка хранит логическую единицу, если количество электронов (заряд) на плавающем затворе ее превышает отметку в 5000.
- Ячейка хранит логический ноль, если заряд на плавающем затворе более 30000 электронов

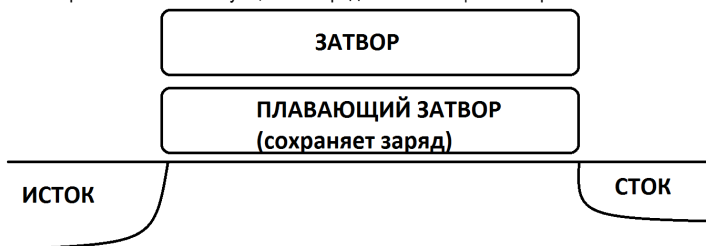


Рис. 1. Однотранзисторная ячейка памяти

• Процесс записи может быть реализован двумя методами: методом инжекции горячих электронов или методом туннелирования Фаулера-Нордхейма.

• Для процесса удаления (стирания ячейки памяти) на управляющий затвор подается высокое отрицательное напряжение ($\approx 9В$), а на область истока – положительное напряжение. Таким образом электроны туннелируют из плавающего затвора в область истока.

При организации массива памяти каждый транзистор подключается к двум перпендикулярным шинам: управляющие затворы – к линии слов, а стоки – к битовой линии.

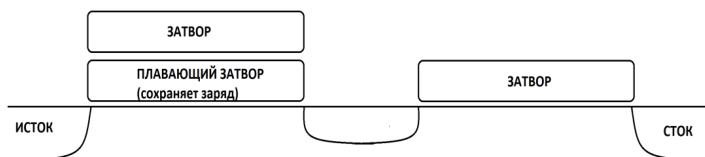


Рис. 2. Двухтранзисторная ячейка памяти

Двухтранзисторная ячейка (рис. 2) позволяет создавать более компактные и хорошо масштабируемые микросхемы памяти, так как транзистор с плавающим затвором изолирован от битовой линии. В данном случае для операций записи и стирания используется метод туннелирования Фаулера-Нордхейма, позволяющий снизить напряжение для операции записи.

Существует два потенциально опасных пояса вокруг Земли:

- Внутренний пояс Ван Аллена, располагается на высоте ≈ 4000 км и состоит в основном из протонов.
- Внешний пояс Ван Аллена, располагается на высоте ≈ 17000 км и состоит в основном из электронов.



Рис. 3. Радиационные пояса Земли в разрезе

Частицы, находящиеся в поясах, двигаются по замкнутым орбитам. Существует бразильская аномалия, где внутренний пояс находится на высоте около 200 км от Земли. С ростом энергии заряженных частиц, оказывающих воздействие на космические аппараты, в материалах и элементах аппаратуры усиливаются вызываемые ими радиационные эффекты:

- ионизация и возбуждение атомов вещества;
- ядерные превращения;
- образование дефектов структуры.

Имеются два вида излучений, которые опасны для бортового оборудования: коротковолновое электромагнитное излучение (рентгеновское излучение и гамма-излучение) и потоки частиц (электроны, позитроны, нейтроны, альфа-частицы, тяжелые ионы (процесс деления ядер)). Источниками данных видов излучения являются [2]:

- солнечная радиация;
- галактическое космическое излучение;
- внутренний радиационный пояс Земли;
- внешний радиационный пояс Земли.

Радиационные изменения, возникающие в материалах и элементах аппаратуры, делят на 2 типа [1]. Обратимые происходят в материалах в процессе облучения и практически полностью исчезают после его прекращения. (ионизация и возбуждение атомов вещества). Необратимые непрерывно накапливаются в процессе облучения и сохраняются полностью или частично после его прекращения (образование радиационных дефектов). Радиационная стойкость оценивается по необратимым эффектам, которые способны привести к отказу или полному выходу прибора из строя.

Предельно допустимый поток – максимальное число попаданий частиц к единице площади, которое может выдержать прибор без изменения параметров. Существует еще один критерий для оценки радиационной стойкости – величина поглощенной дозы излучения, при которой происходят заметные изменения параметров приборов и материалов. Этот критерий измеряется энергией излучения, поглощаемая единицей массы вещества. Измеряется в Грехах (Гр), где Гр = Дж/кг. Иногда используется другая единица измерения – РАД, $1 \text{ РАД} = 10^{-2} \text{ Гр}$.

Методы повышения радиационной стойкости цифровой аппаратуры к одиночным радиационным эффектам можно разделить на [1]:

- Технологические и схемотехнические

Изменение электрических параметров элементов интегральных схем, использование новых материалов, изменение топологии устройств

- Конструктивные

Направлены на использование защитных материалов для уменьшения потока ионизирующих частиц (например, экранирование).

- Системотехнические

Эти методы ориентированы на повышение стойкости аппаратуры с использованием специальных аппаратно-алгоритмических решений. К ним относятся резервирование, помехоустойчивое кодирование, методы программного и аппаратного контроля

В качестве основных методов повышения радиационной стойкости специалисты приводят следующие [1,3]:

- снижение номинальных параметров питания (позволяет снизить вероятность возникновения необратимых радиационных эффектов);

- контроль параметров энергопотребления элементов (позволяет снизить вероятность возникновения необратимых радиационных эффектов, в частности, тиристорного замыкания);

- соблюдение определённых условий функционирования оборудования (в частности, температурный режим в значительной степени сказывается на интенсивности возникновения некоторых радиационных эффектов);

- использование технологии «кремний на изоляторе» позволяет в несколько раз снизить вероятность возникновения необратимых радиационных эффектов;

- отключение питания при прохождении участков орбиты с высокой интенсивностью радиации;

- периодическая перезапись значений, хранимых в памяти, используется для борьбы с «мячками» ошибками;

- перемежение ячеек памяти позволяет уменьшить вероятность многократных ошибок;

- контроль «жестких» ошибок в микросхемах памяти и обход отказавших ячеек;

- равномерное использование ячеек и блоков памяти;

- переключение на резервную память при высокой частоте сбоев и накопленных отказах текущей используемой памяти;

- использование избыточности (помехоустойчивое кодирование, резервирование).

Безальтернативными методами, повышающими надёжность хранения информации в накопителях КА, является введение избыточности – структурной или информационной. Структурная избыточность предполагает включение в схему дополнительных резервных блоков/устройств с целью повышения надёжности. Информационная избыточность вводится для обеспечения целостности и достоверности больших объёмов информации, которая записывается и хранится в постоянной памяти [1]. Введение информационной избыточности обеспечивается использованием помехоустойчивого кода. При создании современных флэш-накопителей космических аппаратов актуальной является задача построения специальных классов помехоустойчивых кодов, позволяющих обнаруживать и исправлять ошибки (сбои и отказы аппаратуры), вызванные космическим излучением.

Библиографический список

1. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка и исследование надежных методов хранения информации в аэрокосмических системах и комплексах», номер госрегистрации 1141031400626, номер темы С8, код проекта 2716. – СПб., 2015. – 164 с.

2. Акишин А. И., Новиков Л. С. Воздействие окружающей среды на материалы космических аппаратов. – М.: Знание, 1983. – 64 с. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия». № 4).

3. Гобчанский О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов // Современные технологии автоматизации. 2001.

УДК 629.735.33

Д.Р. Саласский

магистрант кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Н.А. Овчинникова

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

АЭРОФОТОСЪЕМКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

История аэрофотосъемки началась еще в середине XIX столетия. С развитием фототехники стало понятно, что аэрофотосъемка имеет огромный потенциал. Но полеты на дирижаблях и воздушных шарах были слишком дорогие, поэтому использовать их было невыгодно. Нужен был более простой и доступный способ. В начале XX века Юлиус Нойброннер предложил установить маленькую камеру на почтового голубя. Способ прижился и его использовали даже во время Первой мировой войны.

До этого были попытки установить камеру на воздушного змея. Но этот способ не прижился, так как для запуска змея нужен был ветер, а во время посадки камера могла разбиться.

1909 год стал знаменательным потому, что над Римом пролетел первый летательный аппарат тяжелее воздуха. Его использовали для съемки короткометражного фильма.

В 1911 году появилась первая полуавтоматическая камера, предназначенная специально для аэрофотосъемки.

Первая мировая война стала настоящим толчком в истории аэрофотосъемки. Для получения информации о силах вражеских войск стали повсеместно использовать аэрофотосъемку.

Широкое применение аэрофотосъемки для геодезии и картографии также началось во времена Первой мировой войны. Австралийские летчики поднимались в воздух специально, чтобы фотографировать местность, на основе этих снимков делались новые карты.

Первопроходцем коммерческой аэрофотосъемки можно считать Шермана Фэйрчайлда. Он организовал первую компанию по производству самолетов для полетов в условиях высокогорья. Один из его самолетов оснастили двумя камерами. Каждый кадр с этих камер охватывал территорию в 600 кв. км.

Беспилотная аэрофотосъемка тесно связана с аэрофотосъемкой в целом, так как первые летательные аппараты, оснащенные камерами, были беспилотными. Но воздушный шар или летающего змея нельзя отнести к полноценным беспилотным летающим аппаратам. Их история началась позднее.

Первая попытка запустить тяжелый беспилотный аппарат была произведена в 1933 году. Три биплана, оснащенных системой радиоуправления, были запущены из аэродрома Великобритании. Два из них потерпели крушения, а третьему удалось совершить удачный полет, что и стало началом эпохи беспилотных летательных аппаратов.

Беспилотная аэрофотосъемка не пользовалась большим успехом в картографии. Первые БПЛА не могли летать на длинные дистанции и подниматься на необходимую высоту, поэтому чаще использовалась традиционная авиация. Но для беспилотников нашлось применение. Их стали активно использовать в военных целях во время Вьетнамской войны. Военные самолеты и вертолеты часто подвергались обстрелам ПВО. Беспилотники было намного сложнее обнаружить и сбить, поскольку они были менее шумными и меньше по размерам. Да и потеря БПЛА была не такой значительной, как потеря дорогостоящего летательного аппарата и пилота. После этого беспилотники удачно применялись на Ближнем востоке, Афганистане и Югославии.

Сегодня БПЛА используются как в военном деле, так и для картографии. Современные беспилотники можно разделить на 4 основные группы: микро, мини, миди и хард.

Микро – это самые маленькие БПЛА, их масса не более 1 кг. Они способны находиться в воздухе около часа и подниматься на высоту до 1 км.

Мини – более крупные беспилотники массой до 50 кг. Такие аппараты способны летать на протяжении нескольких часов и взмывать в воздух на высоту до 5 км.

Миди – это летательные аппараты массой до 1000 кг. Такой беспилотник может летать около 12 часов и подняться в воздух на 10 км.

Хард – самые большие БПЛА. Время полета таких аппаратов около 30 часов, а высота полета до 20 км.

Современные беспилотные летательные аппараты могут сфотографировать местность с любой высоты, что облегчает процесс создания карт. Они более компактные и экономные, чем самолеты и вертолеты, поэтому все чаще используются для аэрофотосъемки местности. Кроме того, различные дроны и квадрокоптеры стали доступными для пользователей, сегодня каждый человек может приобрести для себя небольшой беспилотник.

В последние года очень резко возрос спрос на беспилотные летательные аппараты для частного использования, а именно квадрокоптеры. Их покупают с различными целями, кто-то покупает их просто для развлечения, но чаще их берут для аэросъемок: при наблюдении за природой, съемке репортажей, охране правопорядка и др. Возрастающее желание использовать квадрокоптеры обусловлено их экологичностью, компактностью, бесшумностью. Из-за резкого набора популярности в этой отрасли одновременно и возрастает спрос на фото и видеоаппаратуру способную делать снимки с квадрокоптеров.

Фото и видео аппаратура в гражданском секторе и военном очень сильно различается. Военные БПЛА оснащены самыми передовыми камерами, что конечно нельзя сказать о камерах в гражданском секторе. Из-за большого спроса на квадрокоптеры возникает потребность в фото и видеоаппаратуре, способной делать качественные снимки с дронов, и желательно с не очень высокой ценой.

На данный момент существуют два популярных способа стабилизации изображения при съемки с дронов:

1. Гироплатформа. Гироплатформа имеет определенный вес и особенности крепления, поэтому не каждый дрон способен летать с ней! Это является достаточно большим минусом в современном мире, так как человеку приходится покупать либо специальный дрон, который стоит порядком дороже, либо пытаться найти другой способ для реализации своих потребностей. Стабилизация изображения данным способом зависит лишь от свойств гиро платформы и очень часто используются в профессиональных съемках, где цена не так сильно играет роль и можно позволить купить специальный дрон и дорогую гироплатформу.

2. Стабилизация с помощью микроэлектромеханических систем (МЭМС). Один из самых ярких примеров это камеры GoPro, которые получили огромную популярность в последнее время из-за своих качеств. Эти камеры способны стабилизировать изображение не многим хуже, чем гиро платформы, но куда более универсальны. Они могут использоваться, как и для съемки с дронов так и с любого другого места, например, со шлем у велосипедиста. Камера имеет очень высокое разрешение съемки, при своих маленьких размерах и своей прочности. GoPro продаётся по всему миру и почти не имеет конкурентов.

Из-за набора популярности дронов и аэрофотосъемки в гражданском секторе и из-за малой конкуренции среди производителей, создание своей собственной системы стабилизации изображение является очень перспективной задачей в наше время. У всех существующих производителей такой аппаратуры очень дорогой ценник, то есть если разработать свою собственную систему на основе МЭМС без потери качества фото- и видеосъемки, но при уменьшение цены на производство можно занять свое место на быстро набирающем спросе рынке.

УДК 044.438

А. С. Сатуленков

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов

канд. тех. наук, доцент – научный руководитель

МЕТОДЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ЦИФРОВЫХ ИНДИКАТОРАХ

Трехмерная графика получила широкое применение в видео играх, киноиндустрии, мультипликации и т. п. Современные методы создания трехмерных моделей, текстурирования и рендеринга в реальном времени дают возможность создавать реалистичные объекты, и даже целые миры. Данный опыт можно применить к разработке различных приборов, пультов, управления и при разработке различных симуляторов.



Рис. 1.

Авиагоризонт АГР-72

Разработку одного из приборов можно продемонстрировать на примере задания АО «Вертолеты России», основная задача которого создать реалистичную трехмерную модель по примеру авиагоризонта АГР-72Ф для снижения визуальной нагрузки оператора и повышения безопасности, при взлете и посадке. Работать индикатор должен на платформе Linux с поддержкой процессора ARM a9.

В мире существуют аналоги создания трехмерного авиагоризонта, например прибор, разработанный в среде Adobe Flash. Сама мультимедийная платформа используется для рисования простейшей анимации, интернет баннеров и т.п., также она имеет ряд значительных недостатков:

- чрезмерная нагрузка на центральный процессор, связанная с неэффективностью виртуальной машины Flash Player;
- слабая детализация сцен и объектов.

Для решения задачи по созданию реалистичного трехмерного авиагоризонта нужно подобрать необходимые программы для создания трехмерного объекта, рисования текстур и программирования самой модели с учетом сопряжения таковой с реальными датчиками.

Для создания объекта в формате описания геометрии (вершин модели и текстур) существует много специализированных пакетов таких как 3DMAX, Maya, XSI, Cinema 4D, Blender. Из перечисленных программ выбор пал на Blender, так как в нем есть все необходимые инструменты для рисования объектов, работы с текстурами и т.д. Пример представлен на рис. 2–4. Данная среда разработки является открытой и все что будет создано в ней, будет являться неоспоримой интеллектуальной собственностью автора.

Так же в Blender есть возможность получения оптимальной развертки для объектов, это необходимо для дальнейшего рисования текстур, что очень упрощает задачу при работе с шаром.

При рисовании текстур был выбран редактор векторной графики Adobe Illustrator. В нем имеется необходимый набор инструментов для работы с цветами, слоями, трансформации видов и т.п.

В данной задаче понадобится два вида текстур: с цветными данным, и не цветными параметрами, которые будут содержать информацию о местах, где нужно сделать углубление и выпуклости. Пример можно увидеть на рис. 5 и 6.

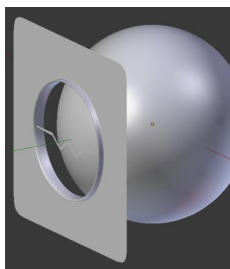


Рис. 2
Создание трехмерной модели

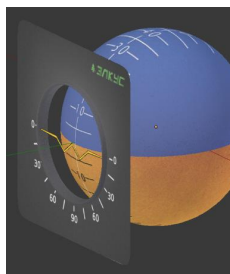


Рис. 3
Наложение текстур

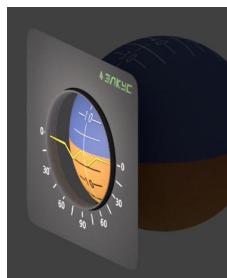


Рис. 4
Добавление шейдеров и
освещения

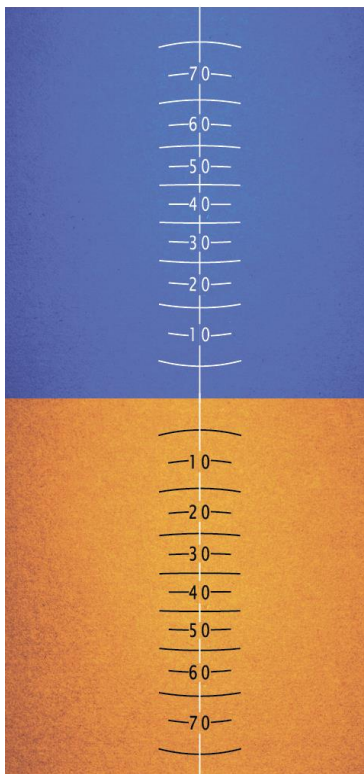


Рис. 5
Текстура с цветными данными

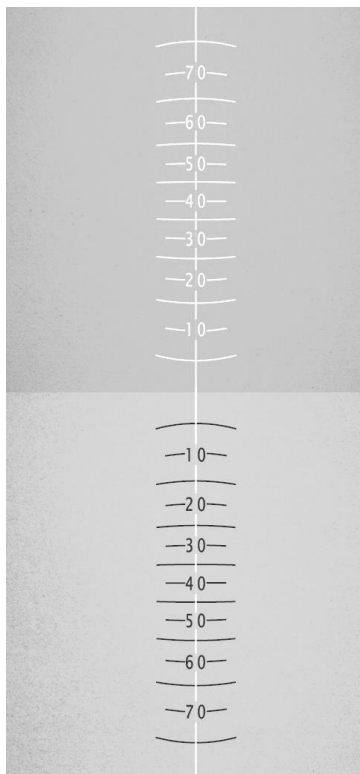


Рис. 6
Текстура с не цветными данными

Для программирования трехмерных объектов рекомендуется использовать язык JAVA, но к сожалению работа с внешними устройствами становится проблематичной, поэтому выбор остановился на языке C++ с использованием открытых библиотек Qt.

Библиотеки Qt дают возможность для работы с OpenGL, сценой, камерой, освещением, также есть возможность рендеринга в реальном времени, работой с внешними устройствами, сборка под разные ОС. Результат можно увидеть на рис. 7.

При программировании был учтён фактор того что датчики могут меняться, и при дальнейшей работе с индикатором не нужно пересобирать проект целиком, достаточно только написать динамическую библиотеку с фикциями чтения информации с датчиков, и добавить ее в папку с программой. Единственный минус, что нужно использовать один и тот же компилятор что и при создании модели.

Данная методика хороша тем что можно менять внешний вид прибора, не переделывая весь проект целиком, достаточно только нарисовать новые текстуры и заменить старые на новые в папке программы.

За счет добавления шероховатостей, углублений и объемности получился более реалистичный авиагоризонт, по сравнению с двух мерным, что сказывается на восприятии пилотажной информации и тем самым сказывается на безопасности пилотирования. Сравнение двух приборов можно увидеть на рис. 7 и 8.

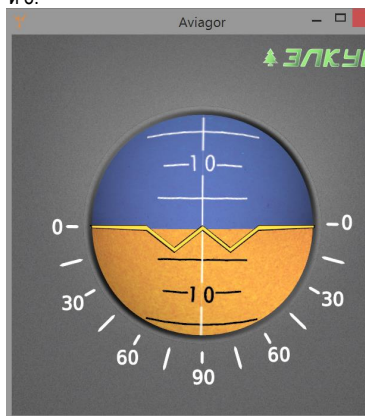


Рис. 7

Трёхмерная модель авиагоризонта



Рис. 8

Двухмерная модель авиагоризонта

Библиографический список

1. Шлее М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2017.
2. Колисниченко Д.Н., Ален Питер В. Linux: Полное руководство
3. Прахов А. А. Самоучитель Blender. БХВ-Петербург, 2016.

УДК 658.562.012.7

Л.А. Сильченкова

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Г. Никитин

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

М.Н. Собаев

инженер-дефектоскопист ПАО «Силовые машины – консультант

СРАВНЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МЕТОДИК НЕРАЗРУШАЮЩЕГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ

Ультразвуковой контроль сварных соединений является одним из важнейших этапов в процессе производства продукции в энергомашиностроении. Он применяется для выявления и оценки дефектов, скрытых в сварном шве, в том числе и на достаточно больших его глубинах. В связи с независимым друг от друга развитием дефектоскопии в разных странах, возникли разные институты разработки методов и норм проведения ультразвукового контроля. Благодаря росту международных торговых отношений, порой возникают ситуации, когда продукцию машиностроительного производства, произведенную по нормативно-технической документации одной страны, необходимо реализовать в других странах с иными стандартами по качеству. Вследствие этого возникает вопрос пересмотра норм оценки под требование заказчика.

В данной работе рассматриваются зарубежная и отечественная методики оценки дефектов на реальной несплошности сварного соединения, проводится анализ достоверности контроля данных методик.

Ультразвуковая дефектоскопия основана на выявлении распространения в металле ультразвуковых колебаний и отражения их от дефектов, нарушающих сплошность металла (трещин, раковин и др.). Для осуществления ультразвукового контроля используются специальные приборы – ультразвуковые дефектоскопы, которые позволяют найти дефекты на композитных материалах, пластмассе, металле, определить их точные координаты и приблизительные размеры. Дефектоскоп генерирует звуковую волну, проводит замер и фиксирует амплитуду колебаний. Одним из лидеров на рынке аппаратуры контроля и толщинометрии является фирма GE Inspection Technologies. Данное предприятие располагает широким спектром различного оборудования, одним из которых является портативный дефектоскоп Krautkramer USM 35.

Одними из основных методик проведения контроля сварных соединений в энергомашиностроении на предприятии являются методики ПНАЭ Г-7-030, разработанная отечественными специалистами, которая базируется на ГОСТ 14782-76 [2] и ГОСТ 22368-77 [3], и EN ISO 17640, созданная европейскими инженерами. Выбор метода контроля зависит от требований нормативных документов страны заказчика. Однако, каждый из методов имеет свои особенности проведения контроля и нормы допуска, которые определяют степень брака. В европейской методике контроля сварных соединений частота пьезоэлектрического преобразователя должна быть в диапазоне от 2 до 5 МГц и ее следует выбирать в соответствии с установленными условиями приемки. На основании данных о выбранной частоте, толщине контролируемого сварного соединения и вида выбранного преобразователя задается опорный уровень. Угол между лучом и нормалью к поверхности, от которой происходит отражение, должен быть в диапазоне от 35° до 70°. В отечественной методике контроля сварных соединений частота пьезоэлектрического преобразователя должна быть в диапазоне от 1,25 до 6 и ее следует выбирать в зависимости от толщины сварного соединения. Угол выбирается по тому же принципу; должен быть в диапазоне от 45° до 75° ± 5°. Отличие этих методик заключается в следующем: в отечественной методике используется прямой и отраженный метод сканирования, в европейской только прямой. В европейской норме, рассмотренной ранее методике, в зависимости от группы толщин задается требуемый опорный уровень и отклонение от него в зависимости от протяженности выявленной несплошности. В отечественной методике зависимости от толщины задается эквивалентной площадью (опорный уро-

вень дефекта выбирается самостоятельно) по браковочному или по уровню фиксации. В данной методике протяженность ограничивается десятью миллиметрами.

Оценим достоверность контроля и риски заказчика и изготовителя каждой из методик. Существует ряд показателей для оценки качества средств контроля, которые связаны с достоверностью контроля. Одним из таких является показатель безусловной достоверности канала «годен» и «негоден».

[4] Безусловная достоверность канала «годен» D_0 определяется совместной вероятностью нахождения оптимальной оценки \hat{X}^* вектора состояния объекта в поле допуска G_0 и значения вектора X в поле допуска g_0

$$D_0 = P\{\hat{X}^* \in G_0 / X \in g_0\} = \int_{G_0} \int_{g_0} f(x^*, x) dx dx^*$$

Безусловная достоверность канала «негоден» D_1 определяется совместной вероятностью нахождения оптимальной оценки \hat{X}^* вектора состояния объекта в поле допуска G_1 и значения вектора X в поле допуска g_1

$$D_1 = P\{\hat{X}^* \in G_1 / X \in g_1\} = \int_{G_1} \int_{g_1} f(x^*, x) dx dx^*$$

Безусловный риск изготовителя α определяется совместной вероятностью нахождения оптимальной оценки \hat{X}^* вектора состояния объекта в поле допуска G_1 и значения вектора X в поле допуска g_0

$$\begin{aligned} \alpha &= P\{\hat{X}^* \in G_1, X \in g_0\} = \int_{G_1} \int_{g_0} f(x^*, x) dx dx^* = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{g_0} f(x^*, x) dx dx^* - \int_{G_0} \int_{g_0} f(x^*, x) dx dx^* = \\ &= \int_{g_0} h(x) dx - D_0 = p_0 - D_0, \end{aligned}$$

где p_0 - априорная вероятность того, что X принадлежит области допустимых значений g_0 .

Безусловный риск изготовителя β определяется совместной вероятностью нахождения оптимальной оценки \hat{X}^* вектора состояния объекта в поле допуска G_0 и значения вектора X в поле допуска g_1

$$\begin{aligned} \beta &= P\{\hat{X}^* \in G_0, X \in g_1\} = \int_{G_0} \int_{g_1} f(x^*, x) dx dx^* = \int_{G_0} \int_{-\infty}^{\infty} f(x^*, x) dx dx^* - \int_{G_0} \int_{g_0} f(x^*, x) dx dx^* = \\ &= \int_{G_0} f(x^*) dx - D_0 = p_{0\hat{X}^*} - D_0, \end{aligned}$$

где $f(\hat{X}^*)$ – плотность распределения вероятности вектора \hat{X}^* ; $p_{0\hat{X}^*}$ – вероятность нахождения вектора \hat{X}^* в поле допуска G_0 .

При использовании данных критериев оценки достоверности контроля выполняется следующее условие нормировки:

$$D_0 + D_1 + \alpha + \beta = 1.$$

Выполненные расчеты с помощью программы class4 позволяют сравнить достоверности обоих методик контроля. Из представленных графиков на рис. 1 и 2 изменения рисков заказчика и изготовителя в зависимости от допуска на контролируемый параметр можно сделать вывод о том, что риск изготовителя у отечественной методики гораздо, чем у европейской.

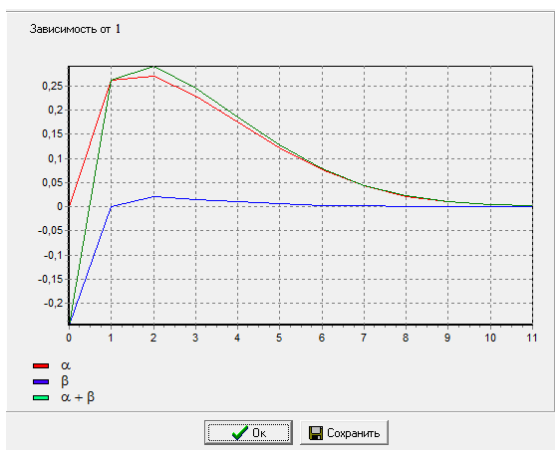


Рис. 1. Безусловные риски заказчика и изготовителя европейской методики

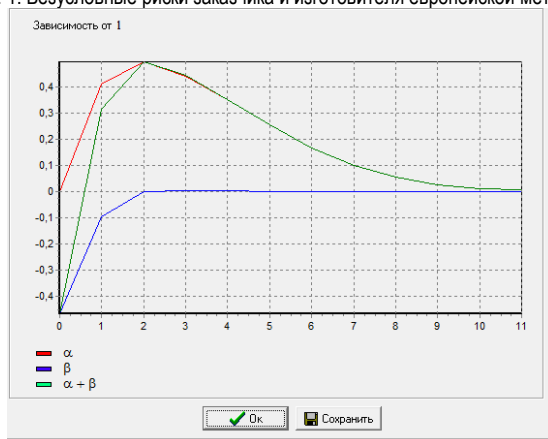


Рис. 2. Безусловные риски заказчика и изготовителя отечественной методики

Большой риск изготовителя приводит к отбраковке исправных изделий, что приводит к экономическим потерям и снижению эффективности контроля.

Библиографический список

1. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении / 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: СВЕН, 2007. 296 с.
2. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Метода ультразвуковые. – М.: Изд-во стандартов, 1986. С. 26.
3. ГОСТ 22368-77. Контроль неразрушающий. Классификация дефектности стыковых сварных швов по результатам ультразвукового контроля. М.: Изд-во стандартов, 1977. С. 20.
4. Иванов Ю.П., Никитин В.Г., Чернов В.Ю. Контроль и диагностика измерительно-вычислительных комплексов: учеб. пособие / СПб.: ГУАП, 2004. 98 с.

УДК 004.65

А.А. Смиренников

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А.Ю. Сыщиков

старший преподаватель – научный руководитель

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ (IN-MEMORY DATA GRID)

В современном мире, у любого крупного софта, который выполняет от нескольких тысяч операций в секунду, в качестве back-end стоит реляционная база данных на жестком диске. В некоторых сферах применения программного обеспечения есть такое понятие, как fast changes data, то есть быстроизменяющиеся данные. Данные, над которыми постоянно выполняют какие-либо операции, требуют максимально быстрого доступа для приложения, иначе приложение будет работать очень медленно. Данные находящиеся в реляционной базе данных на жестком диске, не могут предоставить столь высокую скорость доступа для ПО.

Также необходимо отметить, что современные базы данных на жестком диске не могут обеспечить высокий уровень надежности для данных, особенно для fast-changes data. Так как репликация данных на резервные сервера происходит очень медленно, из-за медленности жесткого диска. Соответственно пока происходит репликация, первоначальные данные настолько сильно изменятся, что информация хранящаяся на резервных серверах, станет просто не актуальной.

Современные СУБД на жестком диске не справляются с задачами построения распределенных систем и обладают большим временем отклика, поэтому они не подходят для организации хранения fast changes data. В данной статье представлен обзор технологии распределенного хранения данных в оперативной памяти (In-Memory Data Grid, IMDG), которая разработана как альтернатива традиционным СУБД и в первую очередь предназначена для решения вопросов надежности хранения и скорости доступа к данным.

1. Технология распределенного хранения данных в памяти

1.1. Введение в технологию IMDG

IMDG (In-Memory Data Grid) представляет собой распределенное иерархическое (не реляционное) хранилище данных в оперативной памяти вычислительного кластера. Такие хранилища характеризуются следующими особенностями:

- Данные хранятся в оперативной памяти. Это позволяет значительно ускорить доступ к ним по сравнению с хранилищами на постоянных носителях, таких как HDD или SSD.

- Данные хранятся на нескольких серверах. При этом используются механизмы репликации и сегментирования (партиционирования). Механизм репликации предполагает хранение одних и тех же данных в нескольких местах для снижения риска их потери. Механизм сегментирования предполагает разделение данных между серверами по логическим признакам с целью снижения количества кросс-серверных запросов (запросов данных одновременно с нескольких серверов) при работе приложений, использующих эти данные.

- Серверы являются равноправными. Каждый из них отвечает за обработку своего сегмента данных

- Используется объектная модель данных. Иными словами, в IMDG хранилище попадают в точности те же объекты, с которыми работают приложения. Этот факт является принципиальным отличием IMDG от реляционных баз данных, в которых объект хранится в виде строки таблицы с определённым набором столбцов.

- При необходимости возможно добавление и удаление серверов для хранения данных. За счет этого решается проблема горизонтальной масштабируемости.

- Также возможно использование традиционных СУБД в качестве архивного хранилища.

Общая схема работы IMDG-систем приведена на рис. 1.

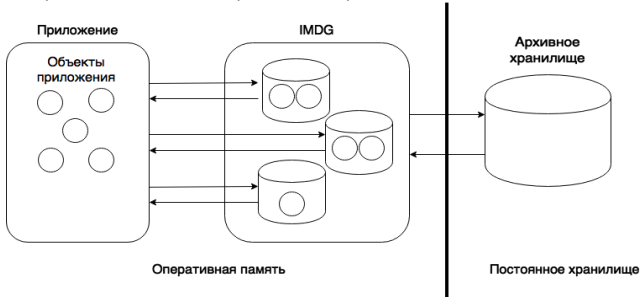


Рис. 1. Общая схема работы IMDG-систем

Хранение данных в IMDG работает по принципу распределённой хэш-таблицы: объектами хранения являются пары «ключ-значение», причём ключами и значениями могут быть любые объекты бизнес-модели. Реализации могут поддерживать два режима работы кэша, транзакционный (transactional) и атомарный (atomic). В транзакционном режиме вы можете группировать несколько операций кэширования в транзакции, в то время как атомарный режим поддерживает несколько однородных операций. Атомарный режим является более легким и, как правило, имеет более высокую производительность по сравнению с транзакционными кэшами. Сегментирование IMDG-хранилища выполняется по ключам и типам объектов, то есть в каждом сегменте хранятся все значения одного типа, соответствующие одному ключу. Этот ключ также называется критерием сегментирования. Наглядно принцип сегментирования показан на рис. 2.

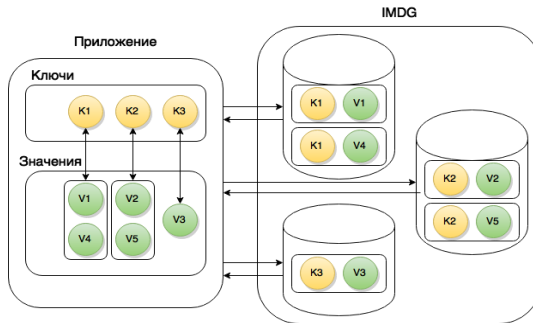


Рис. 2. Принцип сегментирования данных

Также существует разделение кешей по уровню их реплицирования. Есть полностью реплицированный кэш (replicated cache): полная копия данных хранится на каждом узле (рис. 3). И существует партицированный кэш (partitioned cache): части данных хранятся на нескольких узлах (рис. 4). Минимальная единица миграции данных между узлами, являющимися группой объектов, – партиция.

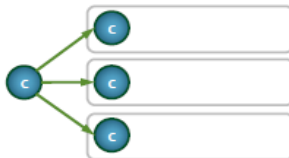


Рис. 3. Принцип работы replicated cache



Рис. 4. Принцип работы partitioned cache

1.2. Apache Ignite

Рассматривать IMDG технологию будем на основе одной из ее реализаций, а именно на АРАСНЕ IGNITE – это классическое IMDG- решение. Все узлы в кластере Ignite делятся на клиентские и серверные. Серверные узлы могут хранить данные, участвуют в кэшировании, вычислении выполнения, обработке потоков и т.д. В то время, как клиентские узлы обеспечивают возможность удаленного подключения к серверам, позволяют использовать весь набор API Ignite. Клиентский узел не может хранить данные, кроме локального кэша. По умолчанию все узлы Ignite запускаются как серверные, а клиентский режим должен быть явно включен.

Для передачи служебной информации (heartbeat, топология кластера) серверные узлы объединяются в кольцо. Исчезновение/добавление серверного узла изменяет топологию кластера (рис. 5). Клиентский узел не входит в кольцо, но имеет полную информацию о топологии кластера и может обращаться напрямую к любому узлу. Добавление/исчезновение клиентских узлов не меняет топологию кластера (рис. 6).

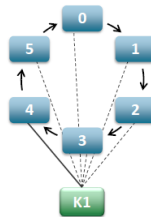


Рис. 5. Структура топологии

	Серверный узел	Клиентский узел
Хранение данных	✓	✗
Участие в топологии	✓	✗
Локальное кэширование общих данных (near cache)	✓	✓
Прямое соединение со всеми узлами кластера	✓	✓
Вычисление affinity для прямого обращения к нужному объекту	✓	✓
Инициация и координация распределённых транзакции в кластере	✓	✓
Участие в распределённых вычислениях	✓	✓
Полностью проходит процедуру авторизации	✓	✓

Рис. 6. Сравнение клиентского и серверного узла.

1.3. Обеспечение целостности кластера

Клиентские узлы не участвуют в heartbeat; потеря клиентского узла не требует реакции остальных узлов. При невозможности связаться с соседним серверным узлом серверный узел пытается связаться со следующим по топологии узлом, передавая информацию о потере. Когда информация дохо-

дит до координатора (старейшего узла в топологии), он формирует новую топологию. При потере узла-координатора координатором становится следующий за ним в топологии узел. При потере связи между частями кластера (например, если узлы находятся в разных подсетях) возможна фрагментация, т. е. формирование нескольких кластеров (нескольких колец).

1.4. Обеспечение целостности данных

Настройки кластера определяют, сколько копий данных хранится в кластере. Affinity- класс Ignite, обеспечивающий распределение данных по узлам, именно он определяет, как копии распределяются по узлам. В случае изменения топологии (добавление или исчезновение серверных узлов) affinity пересчитывается: если изменился список узлов для кэша, то для каждой партии вычисляется `partitionToNode()` и при необходимости партия перемещается на другой узел или создаётся там заново. Для партий, основные копии которых находились на пропавшем узле, выбираются новые основные копии. Настройки кластера определяют, сколько копий данных хранится в кластере. При потере серверного узла кластер выжидает некоторое время, заданное в конфигурации; если за это время узел вернулся в топологию, его состояние актуализируется. Если узел не вернулся в течение заданного периода времени, на оставшихся узлах автоматически могут создаваться дополнительные партии.

2. Пример применения технологии IMDG для реальной задачи

Американской компании ChronoTrack – поставщику IT-решений для организации автомобильных гонок – потребовалось решение, которое распределяло бы вычисление алгоритма для каждого участника гонки и делало бы это на многих серверах, обеспечивая высокую производительность в реальном времени. GridGain предложила ChronoTrack интегрированное решение между данными и вычислительной сетью. В итоге данные с RFID-меток (они прикреплены на нагруднике каждого спортсмена) стали поступать непосредственно в сетку и в реальном времени расчеты обновлялись. Если раньше публикация данных занимала до пяти минут, то с использованием GridGain время сократилось до 10 секунд.

3. Выводы

Технология IMDG просто незаменима для быстро меняющихся (fast-changes) данных. Ведь запись данных в традиционной БД на жестком диске – самая долгая операция, и соответственно перенос данных в оперативную память ускорит работу приложения в тысячу раз. Во всяком случае, так утверждает GridGain. Также данная технология умеет горизонтально масштабироваться, в отличие от традиционных баз данных. Конечно есть различные надстройки над такими БД, типа Oracle RAC, которые позволяют проводить горизонтальную масштабируемость над реляционными БД, но пока что они работают гораздо хуже в плане балансировки данных и скорости работы.

Библиографический список

1. Федоров Е., Насырова М. IMDG как основное хранилище – помнить всё! URL: <https://www.youtube.com/watch?v=vOkn62ohkB8>
2. GigaSpaces XAP Elastic Caching Edition Feature List. URL: <https://www.gigaspaces.com/content/gigaspaces-xap-elastic-caching-edition->
3. ScaleOut StateServer описание продукта. URL: <https://www.scaleoutsoftware.com/products/stateserver/>
4. Черняк Л. Второе рождение гридов. <https://www.osp.ru/os/2013/08/13037859>
5. Oracle Enterprise Manager Cloud Control Online Documentation Library. http://docs.oracle.com/cd/E73210_01/index.htm
6. Enterprise Manager Cloud Control Oracle Fusion Middleware Management Guide. Monitoring a Coherence Cluster URL: http://docs.oracle.com/cd/E73210_01/GSSOA/GUID-D36DCC07-0DE1-4C74-AA3F-74C1978D8060.htm#GSSOA10136. Simplified Management and Monitoring
7. URL: <https://www.gridgain.com/products/software/enterprise-edition/management-tool>

УДК 004.932.2 (4)

Д. А. Старченко

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Р. Луцив

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ

Мониторинг местности по аэрокосмическим снимкам подразумевает анализ общего состояния местности и отдельных ее элементов, анализ изменений, происходящих со временем, поиск и наблюдение за определенными объектами, расположенными на местности. Для проведения анализа изображения необходима предварительная обработка изображения, включающая в себя проведение сегментации. Одной из основных задач сегментации аэрокосмического снимка в контексте мониторинга местности является разделение элементов на четыре основных класса [1]:

- Растительность.
- Почва.
- Искусственные объекты.
- Вода (снег/лед).

После решения этой задачи становится возможным проведение анализа снимка с целью оценки состояния местности, обнаружения каких-либо изменений на местности и т.д. В качестве основных способов сегментации следует выделить:

- Анализ формы объектов. Объекты, создаваемые человеком, в большинстве случаев, имеют более правильную форму в сравнении с естественными объектами.

- Текстурный и спектральный анализы изображения [2].

- Спектральные индексы, основанные на различии отражающей способности различных объектов в видимом и инфракрасном диапазоне (ИК). Подобные индексы широко применяются как для сегментации аэрокосмических снимков, так и для мониторинга состояния растительности, водной поверхности, городской застройки, почв и т.д. График отражающей способности различных материалов в видимом и ИК-диапазоне приведен на рис. 1.

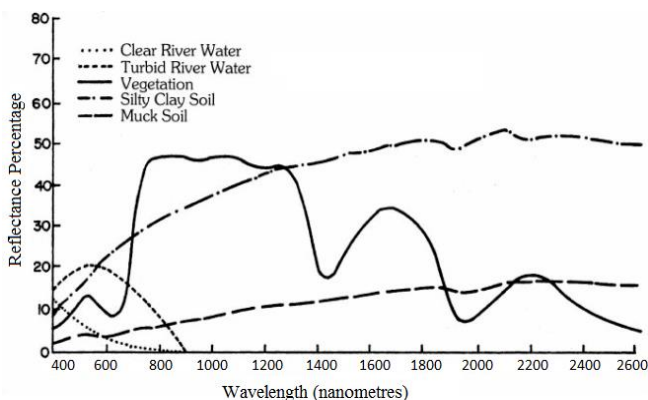


Рис. 1. Отражающая способность элементов местности в видимом и ИК диапазоне

Спектральные индексы как метод сегментации.

При использовании спектральных индексов для сегментации аэрокосмических снимков наиболее широко применяется вегетационный индекс NDVI [3], основанный на разнице отражающей способности растительной биомассы в видимом и ближнем ИК диапазоне:

$$NDVI = \frac{N - R}{N + R},$$

где N – отраженный свет в ближней ИК-области спектра, R – отраженный свет в видимой области спектра. Первоначальный вариант NDVI использует красный канал, но также существуют варианты, использующие дополнительно зеленый и синий каналы, а также их комбинации. Основным предназначением данного индекса является выделение и анализ состояния растительности. Тем не менее, в большинстве случаев он не позволяет разделить воду и искусственные объекты на изображении. В случаях, когда на изображении присутствует большое количество воды, совместно с NDVI используется NDWI [4], служащий для выделения и мониторинга состояния водной поверхности и основанный на разности отражения в зеленом и ближнем ИК-канале:

$$NDWI = \frac{G - N}{G + N},$$

где N – отраженный свет в ближней ИК-области спектра, G – отраженный свет в зеленой области спектра. На рис. 2 представлен пример сегментации с использованием индексов NDVI и NDWI.

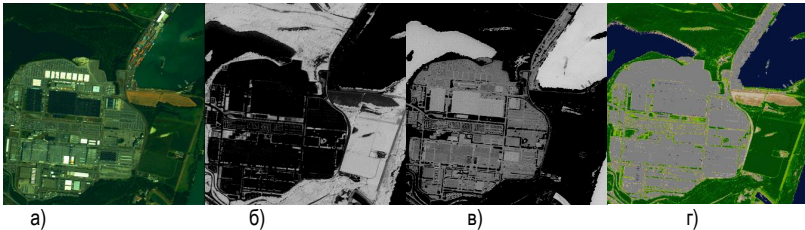


Рис. 2. Изображение, полученное в 2001г. а – исходное изображение местности; б – положительные значения NDVI; в – положительные значения NDWI; г – изображение NDVI+NDWI в псевдоцветах

Факторы, влияющие на результат

На результат вычисления спектральных индексов и последующей сегментации изображения влияет множество факторов, среди которых в качестве основных можно выделить:

- Атмосферный шум [5]. При прохождении света через атмосферу поглощается и рассеивается некоторое его количество. Количество поглощаемого и рассеиваемого света может сильно изменяться на протяжении одной сцены по причине изменения параметров атмосферы с течением времени. Это, в свою очередь, изменяет количество света, попадающего на приборы, и может вызвать ошибки в вычислении индексов. Особенно сильно это влияет на результат сравнения изображений, полученных в разное время.

- Почвенный шум [6]. Почва может вносить ошибки в определение значения индекса в случае разреженной растительности или мелководья для водных индексов, а также изменения влажности почвы.

• Освещенность местности. На неравномерно освещенной местности значения спектрального индекса для двух одинаковых объектов, расположенных в разных частях изображения, могут значительно различаться.

• Малое различие отражающей способности элементов местности. Например, для воды и бетона разница отражающей способности в видимом и ближнем ИК-диапазоне достаточно невелика. Это приводит к ошибкам сегментации при применении индексов, основанных на использовании видимого и ближнего ИК-диапазона, даже при малом уровне атмосферного и почвенного шума.

На рис. 3 представлен результат сегментации изображения с высоким уровнем атмосферного и почвенного шума.

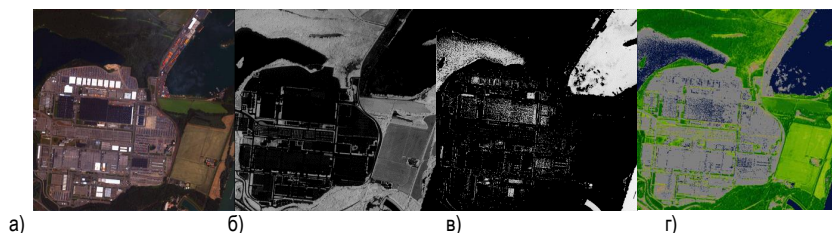


Рис. 3. Изображение, полученное в 2003г. а – исходное изображение местности; б – положительные значения NDVI; в – положительные значения NDWI; г – изображение NDVI+NDWI в псевдоцветах.

Основные способы коррекции результатов

Атмосферная коррекция [5] – один из этапов предварительной обработки изображения. Под атмосферной коррекцией подразумевается коррекция яркости пикселей с учетом характеристик используемого сенсора, положения солнца относительно изучаемой местности (т.е. данных об освещенности местности) и модели атмосферы в данной местности. В большинстве случаев атмосферная коррекция производится в автоматическом режиме, при этом не учитывается модель атмосферы. Проведение коррекции «вручную» не всегда возможно, так как для этого могут потребоваться данные или методы, которые могут оказаться недоступны.

Индексы, устойчивые к почвенному шуму, в большинстве случаев, учитывают угол наклона почвенной линии и/или используют корректирующие коэффициенты.

Почвенная линия – гипотетическая линия в спектральном пространстве, описывающая изменение спектра открытой почвы на снимке. Для определения почвенной линии нужно построить график распределения яркости пикселей (рис. 4), используя в качестве координат яркости пикселей в красном и ближнем ИК-каналах (пространство RED – NIR) [7]. В нижней правой части графика распределения в большинстве случаев будет наблюдаться относительно линейная часть. Почвенная линия – это прямая линия, которая наилучшим образом описывает эту часть графика (см. рис. 4, а).

При вычислении индекса TSAVI [8] учитывается как наклон почвенной линии, так и координата ее пересечения с осью NIR, а также используется «усиливающий коэффициент» X:

$$TSAVI = \frac{s(N - sR - a)}{R + s(N - a) + X(1 - s^2)},$$

где N – отраженный свет в ближней ИК области спектра; R – отраженный свет в красной области спектра, s – угол наклона почвенной линии; a – координата пересечения почвенной линии с осью NIR; X – усиливающий коэффициент.

Хотя, как видно из рисунка 4,б, этот индекс мало искажается почвенным шумом, он подвержен сильному искажению атмосферным шумом. Также, для него требуется вычисление угла наклона почвенной линии, координаты пересечения почвенной линии с осью NIR и подбор «усиливающего» коэффициента X . Также он имеет меньший динамический диапазон, чем NDVI. Эти факторы сильно затрудняют его применение.

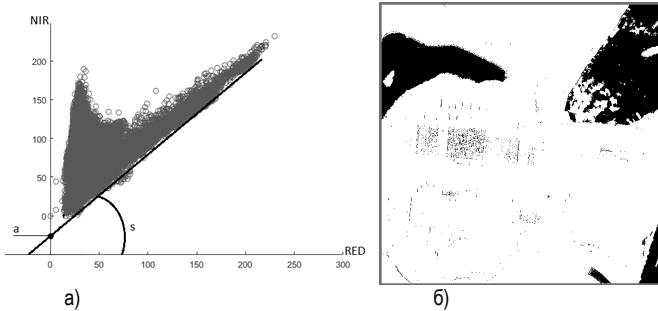


Рис. 4. График RED-NIR и выделение воды (показана черным цветом) с помощью TSAVI:
 а – график распределения яркости пикселей в пространстве RED – NIR;
 б – выделение воды с помощью TSAVI

Атмосферно-устойчивые индексы предназначены для уменьшения влияния атмосферного шума на результат вычисления и в большинстве случаев используют в качестве корректирующего коэффициента значения синего канала изображения, например индекс ARVI [9], который использует для коррекции разность между значениями в синем и красном канале:

$$ARVI = \frac{N - (R - y(B - R))}{N + (R - y(B - R))}$$

где N – отраженный свет в ближней ИК области спектра; R – отраженный свет в красной области спектра, B – отраженный свет в синей области спектра; y – весовой коэффициент.

Индекс ARVI значительно снижает влияние атмосферы, но, как и большинство вегетационных индексов, не позволяет разделить воду и искусственные объекты. Результат вычисления индекса ARVI для изображений представлен на рис 5.

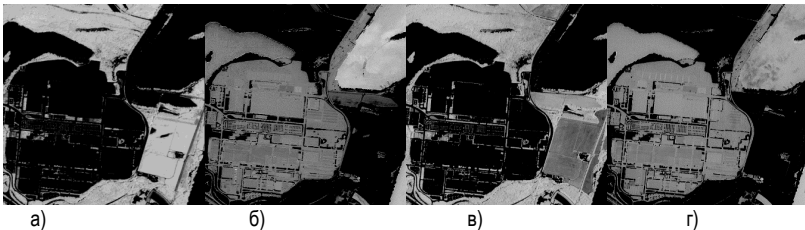


Рис. 5. Значения ARVI для изображений. Положительные (а) и отрицательные (б) значения для снимка 2001г., положительные (в) и отрицательные (г) значения для снимка 2003г.

Построение новых индексов и предлагаемое решение для выделения воды

Иногда существующие индексы бывают неэффективны. В таких случаях возникает необходимость в доработке существующих индексов или построении новых. Например, необходимо выделить воду на изображении. Вода имеет большую отражающую способность в зеленом диапазоне, и меньшую – в красном и ближнем ИК. Тогда можно выразить индекс как отношение значений в зеленом канале к сумме значений в красном и ИК. При необходимости к нему можно добавить корректирующий коэффициент для уменьшения почвенного шума, а также использовать синий канал для снижения влияния атмосферы по аналогии с атмосферно – устойчивыми индексами. В итоге, формула расчета значения устойчивого к влиянию почвенного и атмосферного шума, будет иметь вид:

$$CWI = \frac{G - a(B - G) + 0,05}{N + R},$$

где N – отраженный свет в ближней ИК области спектра, R – отраженный свет в красной области спектра, G – отраженный свет в зеленой области спектра, B – отраженный свет в синей области спектра, a – весовой коэффициент.

Как видно из рис. 6, а–г, предложенный индекс достаточно устойчив к почвенному шуму. Для обеспечения устойчивости к влиянию атмосферного шума на вычисление значений индекса необходимо произвести подбор весового коэффициента a . Для изображений с малым уровнем атмосферного шума предполагается использование коэффициента, равного 1. Уменьшение значения коэффициента примерно до 0,23 позволяет значительно снизить влияние атмосферы на результат выделения воды на изображении (см. рис. 6, в, з). Дальнейшее уменьшение этого значения может оказаться неприемлемым, так как может привести к ошибкам сегментации. Также, как видно из рис. 6, индекс CWI более устойчив к влиянию почвенного и атмосферного шума, чем NDWI.

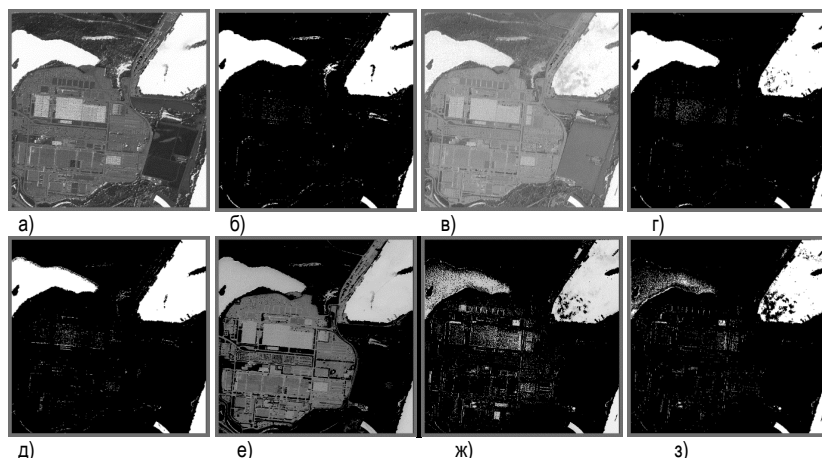


Рис. 6. Выделение воды с помощью CWI и NDWI(вода выделена белым цветом). Значения CWI (а) и выделение воды (б) для изображения 2001 г., значения CWI (в) и выделение воды (г) для изображения 2003 г., значения NDWI (д) и выделение воды (е) для изображения 2001 г., значения NDWI (ж) и выделение воды (з) для изображения 2003 г.

Заключение

По результатам проведенного анализа спектральных индексов, используемых для решения задачи сегментации аэрокосмических снимков, были сформулированы следующие выводы:

- разница отражающей способности воды и искусственных материалов типа бетона/асфальта в видимом и ближнем ИК-диапазоне довольно мала, поэтому их разделение проблематично даже при малом уровне шума;

- «Устойчивые» к одному типу шума индексы не всегда эффективны, если присутствует оба типа шума. Индексы, устойчивые к обоим типам шума могут быть недоступны, или же содержать ошибки;

- Исходя из предыдущих пунктов – для решения подобных проблем может потребоваться как совместное применение нескольких индексов так и использование дополнительных методов (анализ формы объектов и др.);

- Применение индекса CWI, представленного ранее, позволяет отделить воду от остальных классов на изображении, но требует дальнейшего тестирования и, возможно, доработки;

Исходя из представленных выводов, наиболее целесообразными направлениями в дальнейшем исследовании следует признать:

- совместное применение нескольких устойчивых индексов с целью более качественной сегментации изображений;

- тестирование предложенного индекса CWI с использованием большей коллекции исследуемых изображений и доработка этого индекса по результатам тестирования;

- тестирование эффективности использования дополнительных методов анализа снимков для более точного разделения элементов местности на подклассы, в том числе выделения отдельных объектов в классе искусственных объектов.

Библиографический список

1. Онлайн сборник спектральных индексов, <http://www.indexdatabase.de>. (дата обращения: 11.04.2017).
2. Фраленко В. П. «Методы текстурного анализа изображений, обработка данных дистанционного зондирования Земли» // Программные системы: теория и приложения. Вып. 4, 2014. № 5. С. 19–39.
3. Rouse J.W. et al. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. / 3rd ERTS Proceedings, 1974. v. 1. pp. 48-62.
4. Gao. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. / Gao. 1996.
5. Белов А. М., Мясников В. В. Атмосферная коррекция гиперспектральных изображений с помощью приближённого решения уравнения MODTRAN // КО. 2014. №3.
6. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds / A. R Huete et al. Remote Sensing of Environment, 1985, vol. 17, pp. 37-53.
7. Kauth R. J. et al. The tasseled cap – A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat / Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 1976, West Lafayette. Pp. 41-51.
8. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation / F. Baret et al. 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS. Vancouver, 1990.
9. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS / Y. J Kaufman et al. IEEE Proc. 1992, N. Y.: IEEE, pp. 261-270.

УДК 004.057.4

В.Е. Степанов

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

И.Я. Лавровская

научный сотрудник

В.Л. Оленев

канд. техн. наук, зав. лабораторией ВКТ МК – научный руководитель

МНОГОПОЛОСНЫЕ ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ БОРТОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

SpaceWire – технология высокоскоростных коммуникаций и комплексирования бортовых систем космических аппаратов. Стандарт специфицирует интерфейсы и протоколы высокоскоростного информационного сетевого обмена для построения распределенных систем сбора и обработки данных, решения задач управления на борту космических аппаратов. SpaceWire позволяет строить комплексные инфраструктуры высокоскоростной распределенной обработки данных и управления космическими аппаратами, включающей в себя датчики, вычислительные элементы, модули памяти, подсистемы передачи информации с борта космического аппарата, а также наземное оборудование контроля и настройки бортовых систем космического аппарата [1].

Один из механизмов данного стандарта – адаптивная маршрутизация. Адаптивная маршрутизация – режим маршрутизации при котором одному логическому адресу ставится в соответствие набор выходных портов. Пакет с соответствующим адресом назначения может передаваться в любой выходной порт определенной группы. Любой порт, не занятый передачей пакета может использоваться для передачи очередного пакета. Адаптивная маршрутизация может использоваться для передачи высокоинтенсивных потоков данных. Однако, использование адаптивной маршрутизации не эффективно при таком применении, поскольку могут неудачно выбираться выходные порты на роутерах, что ведет к уменьшению полезной пропускной способности. Также адаптивная маршрутизация не эффективна для передачи высокоинтенсивных потоков данных из-за больших потерь данных при разрыве одного из соединений и возможного изменения порядка следования пакетов при приеме [2].

Для решения вышеобозначенных проблем ведется разработка нового протокола многополосной передачи данных для сетей SpaceWire.

Обзор существующих решений

Многополосная передача существует в различных стандартах, которые могут быть использованы для различных целей как в сетях общего назначения, так и в бортовых сетях. К ним можно отнести PCI-Express, RapidIO и SpaceFibre. Также существует протокол LACP, который позволяет агрегировать линии Ethernet таким образом, чтобы они действовали как многополосный канал.

PCI-Express (PCI-E) – стандарт включающий в себя высокоскоростной протокол с использованием двунаправленных соединений типа точка-точка, называемое линией (lane). Соединение (link) может использовать несколько линий между двумя устройствами PCI Express состоит из одной (x1) или нескольких (x2, x4, x8, x12, x16 и x32) двунаправленных последовательных линий. Каждое устройство должно поддерживать соединение, по крайней мере, с одной линией (x1). Для PCI-E возможны несколько скоростей работы (2.5, 5, 8, более 8 гигабайт в секунду) и в зависимости от скорости, использует разные механизмы сериализации и десериализации на физическом уровне. На скоростях 2.5 и 5 гигабайт в секунду используется 8b/10b кодирование, при этом параллельность, многополосность передачи обеспечивается логическим подблоком физического уровня.

Байты распределяются между всеми линиями поочередно (рис.1).

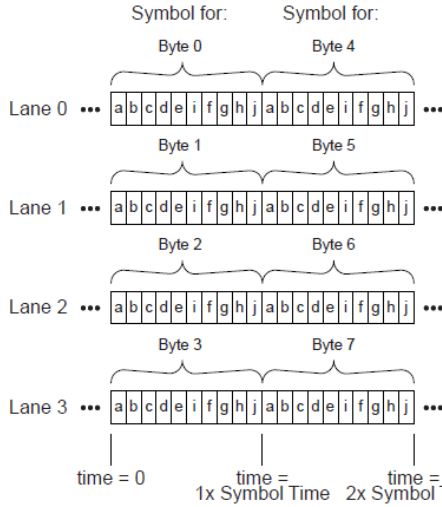


Рис. 1. Распараллеливание в PCI-E при использовании скоростей до 8 гигабайт/сек

При скоростях 8 гигабайт/сек и выше используется 128b/130b кодирование. При этом байты (символы) объединяются в блоки, для которых используются заголовки из двух бит (рис. 2) [3].

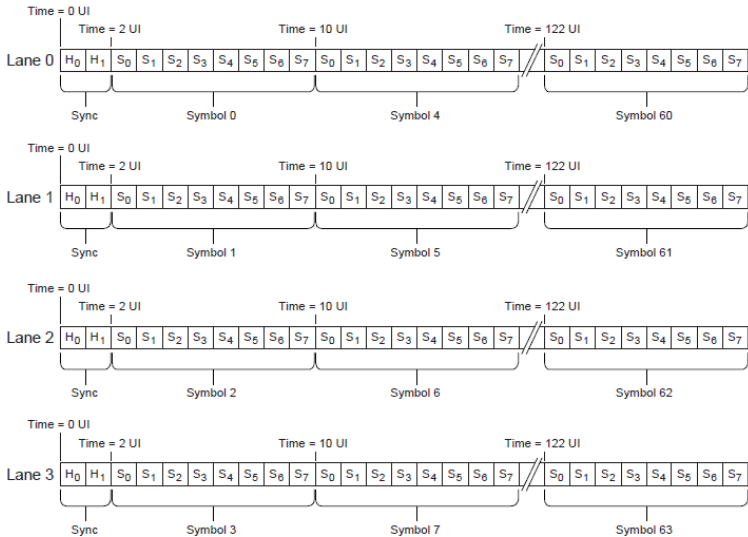


Рис. 2. Распараллеливание в PCI-E при использовании скоростей от 8 гигабайт/сек и выше

SpaceFibre – технология для аэрокосмических бортовых сетей, позволяющая достигать скорости передачи данных до 2,5 Гбит/с по одной линии. За счет многополосной передачи в SpaceFibre пропускная способность возрастает до 40 Гбит/с. За многополосную передачу данных в стандарте SpaceFibre отвечает уровень Multi-Lane Layer (рис. 3).

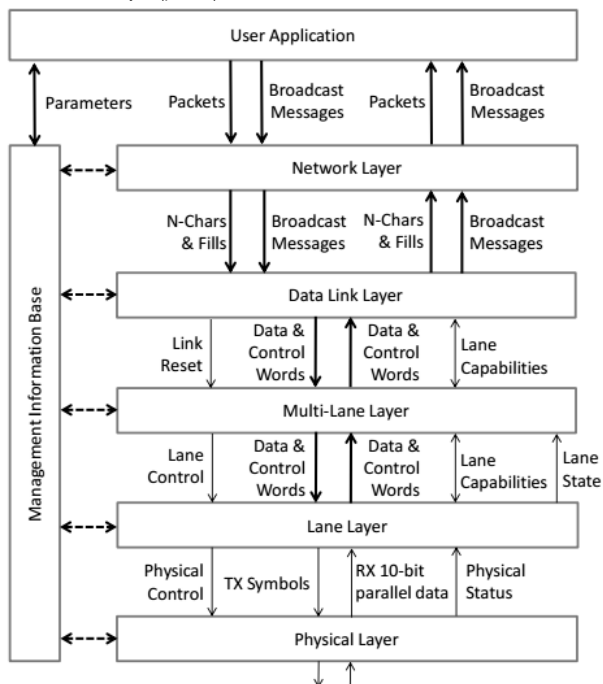


Рис. 3. Стек протоколов SpaceFibre

Распараллеливание в SpaceFibre выполняется по словам. Стандарт SpaceFibre описывает использование FIFO для синхронизации, для восстановления порядка байтов. Уровень Multi-Lane содержит такие FIFO на каждой линии, размером в 3 или 4 слова [4].

RapidIO – это высокопроизводительный интерфейс передачи данных для соединения микросхем в рамках одной печатной платы, а также для соединения между собой нескольких печатных плат. Данный интерфейс был разработан для применения во встраиваемых системах.

Распараллеливание в RapidIO выполняется посимвольно (рис. 4).

Для RapidIO возможна структурная асимметрия – такая физическая организация, при которой для разных направлений передачи существует разное количество физических однонаправленных каналов [5].

LACP – открытый стандартный протокол агрегирования каналов, описанный в документах IEEE 802.3ad и IEEE 802.1aq. LACP имеет возможность для балансирования трафика. Данный стандарт используется в сетях Ethernet и лежит в основе других протоколов агрегирования линий Ethernet. Распараллеливание в LACP выполняется по кадрам [6].

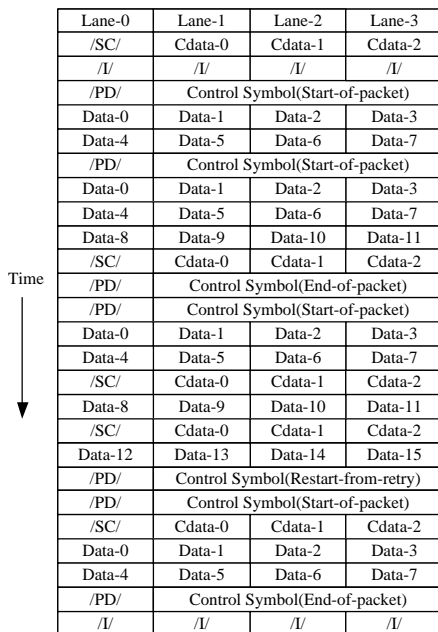


Рис. 4. Пример распараллеливания в RapidIO

Сравнение протоколов для многополосной передачи данных

В таблице сравнений приведены различные характеристики протоколов, такие как способ распараллеливания, расположение блока, отвечающего за распараллеливание. Также существуют графы с максимальным количеством линий, и работой и перечислены буферы для работы многополосного канала и результирующие скорости. Протоколы отличаются способами распараллеливания, В большинстве случаев за распараллеливание отвечает отдельный блок, а количество линий равняется 16 или 32. Для большинства протоколов необходимы дополнительные буферы.

Таблица сравнения

Протокол	Способ распараллеливания	Место в иерархии	Максимальное количество линий	Буферы	Результирующая скорость
PCI-E	Посимвольно	Логический подблок в физическом уровне	32	Входные буферы	для 16 линий – ~126.031 Гбит/с
Space-Fibre	По словам	Отдельный уровень Multi-Lane layer	16	Синх. буферы для каждой линии	40 Гбит/с
RapidIO	Посимвольно	Часть уровня LP-Serial Physical Layer	16	Буферы уровня LP-Serial	~128 Гбит/с (теор. до 320 Гбит/с)
LACP	По кадрам	Отдельный протокол (ниже уровня MAC- клиента)	32	нет дополнительных буферов	В зависимости от нижних уровней

Заключение

В ходе работы были рассмотрены различные протоколы, определяющие механизмы многополосной передачи данных. Рассмотрены разные подходы к организации многополосной передачи данных, такие как: посимвольное распараллеливание, распараллеливание по словам и распараллеливание по кадрам.

В настоящее время идет работа над уровнем многополосной передачи данных для сетей SpaceWire. Планируется, что новый механизм будет обеспечивать режим асимметричной передачи данных.

Библиографический список

1. ECSS-E-ST-50-12C. Space engineering SpaceWire – Links, nodes, routers and networks/31 июля 2008 с. 2
2. *Suvorova E., Sheynin Yu., Olenev V., Lavrovskaya I.* Multichannel Adaptive Routing for Intensive Data Packet Flows Transmission. SpaceWire networks and protocols, Long Paper. с.9
3. PCI Express Base Specification Revision 3.0. / 10 ноября 2010 с.193
4. *Parkes S., Ferrer A., Gonzalez A., McClements C.* SpaceFibre Specification Draft H9. 2017. с. 133.
5. RapidIO™ Interconnect Specification Part 6: LP-Serial Physical Layer Specification/ 4 ред., 2016. с. 115.
6. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети / 3-е издание, СПб.: Питер, 2008. с. 547.

УДК 629.7.05

Г.А.Тарасов

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Б.Л.Бирюков

старший преподаватель – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ УГЛОВ

В системах стабилизации бокового движения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) всегда необходимо учитывать параметры движения, получаемые с измерителей летательного аппарата, включая датчики аэродинамических углов (ДАУ). В данной работе рассматривается участок прямой связи системы управления, включающей объект управления и указанный датчик.

Целью работы является исследование влияния динамических характеристик датчика угла скольжения на качество управления боковым движением.

Для решения задачи управления боковым движением летательного аппарата рассмотрены его линеаризованные уравнения бокового движения [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\beta}{dt} - \frac{qS}{m} c_z^\beta \beta - \frac{g}{V} \gamma \cos \vartheta - \omega_x \sin \alpha - \omega_y \sin \alpha &= W_z; \\ \frac{d\omega_x}{dt} - \frac{qSl}{J_x} m_x^\beta \beta - \frac{qSl}{J_x} m_x^{\omega_x} \omega_x - \frac{qSl}{J_x} m_x^{\omega_y} \omega_y &= \frac{qSl}{J_x} m_x^{\delta_3} \delta_3 + M_{x\beta}; \\ \frac{d\omega_y}{dt} - \frac{qSl}{J_y} m_y^\beta \beta - \frac{qSl}{J_y} m_y^{\omega_x} \omega_x - \frac{qSl}{J_y} m_y^{\omega_y} \omega_y &= \frac{qSl}{J_y} m_y^{\delta_n} \delta_n + \frac{qSl}{J_y} m_y^{\delta_3} \delta_3 + M_{y\beta}; \\ \frac{d\gamma}{dt} - \omega_x + \omega_y \tan \vartheta &= 0; \quad \frac{dz}{dt} = V(\psi - \beta) - U_z; \quad \frac{d\psi}{dt} = \frac{\omega_y}{\cos \vartheta}; \\ \frac{dW_z}{dt} &= -\alpha_v W_z + \mu * n. \end{aligned} \right\}$$

В данной системе уравнений учтены все аэродинамические параметры движения, необходимые для пилотирования летательного аппарата.

В работе рассматривается случай горизонтального полета с учетом малости угла ψ . В операторной форме система уравнений примет вид:

$$\left. \begin{aligned} (p + n_{11})\beta + (n_{12}p + n_{14})\gamma + n_{13}p\psi &= f_1; \\ n_{21}\beta + (p + n_{22})p\gamma + n_{23}p\psi &= -n_3\delta_3 + f_2; \\ n_{21}\beta + n_{32}p\gamma + (p + n_{33})p\psi &= -n_n\delta_n + f_3. \end{aligned} \right\}$$

Данная система уравнений может быть представлена в виде структурной схемы, представленной на рис. 1.

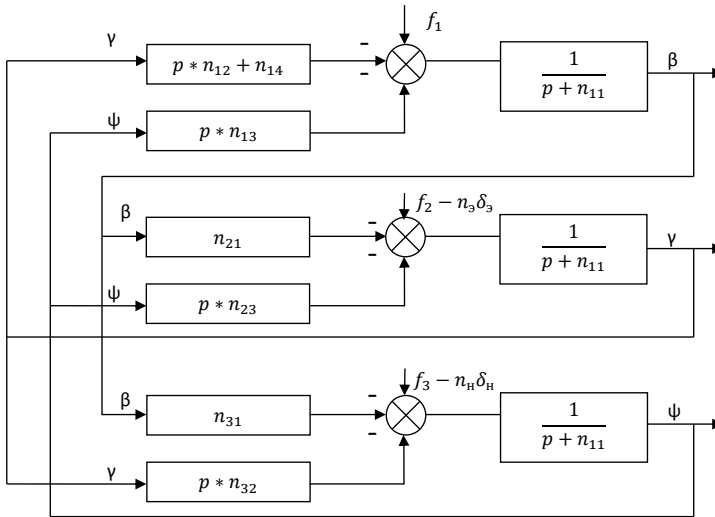


Рис. 1. Структурная схема БПЛА в горизонтальном полете с учетом малости угла ψ

Данная математическая модель собственного бокового движения БПЛА была промоделирована в среде имитационного моделирования Simulink. В результате моделирования получены графики, свидетельствующие о том, что используемая модель движения является корректной.

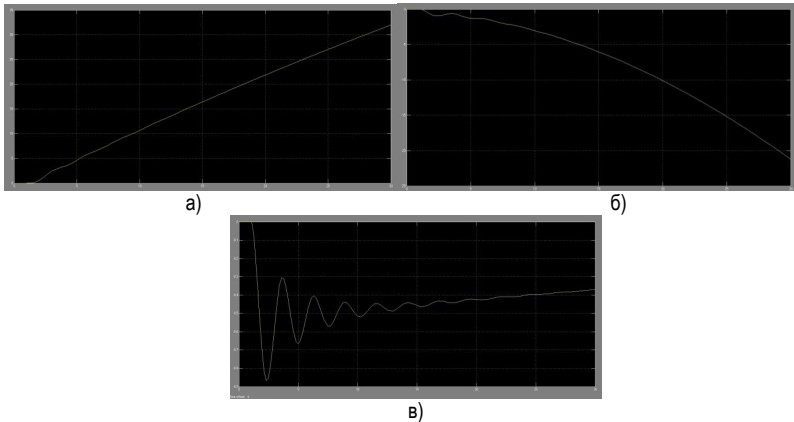


Рис. 2. Поведение аэродинамических углов в математической модели собственного бокового движения БПЛА: а – поведение угла крена; б – поведение угла рыскания; в – поведение угла скольжения

Информация об угле скольжения поступает от комбинированного датчика угла атаки и скольжения, который представляет собой сочетание приемника воздушных давлений и двух установленных

под углом 90° флюгерных датчиков аэродинамических углов, каждый из которых содержит два соосно расположенных флюгера.

На основе анализа динамических свойств флюгерного ДАУ в соотношении с принципом действия и особенностями процессов преобразования информативных сигналов составлена структурная схема, отражающая динамику протекающих процессов [2]. Данная схема представлена на рисунке 3.

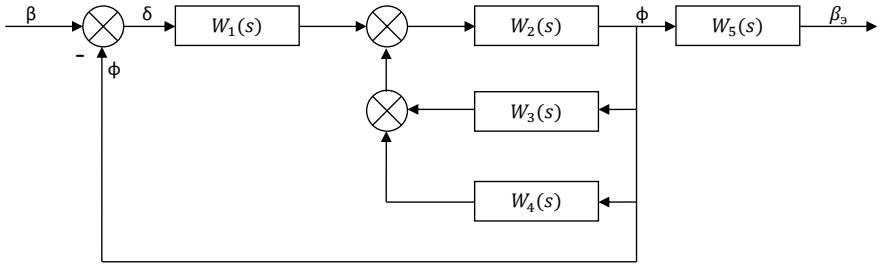


Рис. 3. Структурная схема флюгерного ДАУ

Применив данный флюгерный ДАУ к приведенной выше системе управления БПЛА, была получена структурная схема, представленная на рисунке 4.

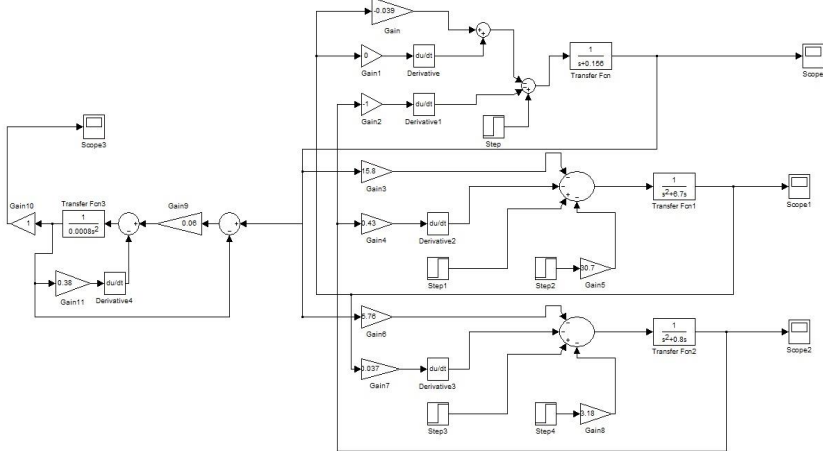


Рис. 4. Структурная схема системы управления с включением в нее датчика угла скольжения

Промоделировав данную систему, был получен график зависимости угла скольжения от времени (рис. 5).

По данному графику можно сказать, что после включения в систему флюгерного ДАУ зависимость угла скольжения от времени практически не изменилась. Фазовый сдвиг незначителен, колебательность графика уменьшилась.

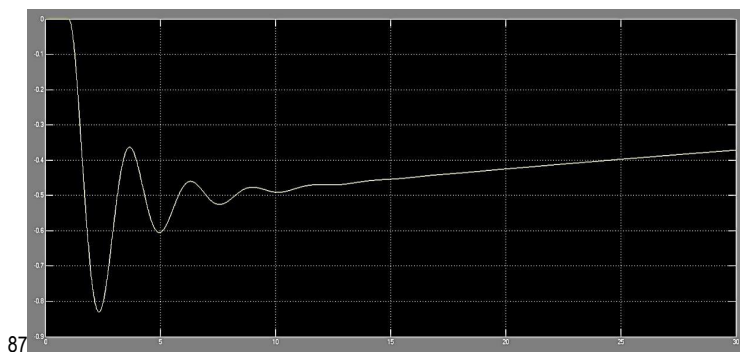


Рис. 5. Изменение угла скольжения со временем

Полученные в ходе исследования характеристики датчика позволяют применить его в замкнутой системе управления. Для улучшения динамических характеристик контура управления допустимо ввести необходимые корректирующие звенья.

Библиографический список

1. Боднер В. А. Системы управления летательными аппаратами / 2-е изд. М.: Машиностроение, 1973. 504 с.
2. Солдаткин В. М. Методы и средства измерения аэродинамических углов летательных аппаратов / Казань: Гос. техн. ун-та, 2001. 448 с.

УДК 004.3'1

М.С. Фалеева

студент кафедры вычислительной техники и информатики

В.В. Розанов

аспирант – научный руководитель

ИСТОРИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ

В настоящее время система на кристалле (СнК) представляет собой высокотехнологичный элемент, используемый в повседневных вещах, таких как носимая электроника, портативные компьютеры и т.д. При создании такого элемента основными параметрами являются энергопотребление и габариты. В случае СнК габариты определяются в первую очередь технологическим процессом изготовления, который принято характеризовать цифрой и размерностью, например, 10 нм (нанометров). Рассмотрим историю развития систем на кристалле и определим возможность дальнейшего развития технологии изготовления СнК.

В качестве характеристики технологического процесса производства микросхем указывают минимальные контролируемые размеры топологии фотоповторителя (контактные окна в оксиде кремния, ширина затворов в транзисторах и т. д.) и, как следствие, размеры транзисторов (и других элементов) на кристалле. Этот параметр, однако, находится во взаимозависимости с рядом других производственных возможностей: чистотой получаемого кремния, характеристиками инжекторов, методами фотолитографии, методами вытравливания и напыления [1].

В 1970-х годах минимальный контролируемый размер серийно производимых микросхем составлял 2-8 мкм, в 1980-х он был уменьшен до 0,5-2 мкм.

В 1990-х годах стали внедряться в производство и быстро совершенствоваться экспериментальные методы: в начале 1990-х процессоры изготавливали по технологии 0,5-0,6 мкм (500-600 нм), потом технология дошла до 250–350 нм. Следующие процессоры уже делали по технологии 180 нм. В 2002-2004 годах были освоены техпроцессы 90 нм.

Следующие процессоры изготавливали с использованием УФ-излучения (экцимерный лазер ArF, с длиной волны 193 нм). В среднем, внедрение лидерами индустрии новых техпроцессов происходило каждые 2 года, при этом обеспечивалось удвоение количества транзисторов на единицу площади: 45 нм (2007), 32 нм (2009), 22 нм (2011), производство 14 нм начато в 2014 году, освоение 10 нм процессоров началось в 2017 году и было реализовано в одном из устройств от компании Samsung.

Когда возникла потребность заказчиков и потребителей в более быстродействующей и малогабаритной схеме, которую можно произвести в небольшие сроки начали появляться новые технологии производства. Первым появилась технология под названием ASIC (Application specific Integrated Circuit)-технология изготовления заказных интегральных схем (ИС) с большим числом элементов и сложной внутренней структурой. Данная тенденция получила широкое распространение во всем мире, так как являлась единственным способом быстрой реализации сложных изделий микроэлектроники для портативной и носимой аппаратуры.

В дальнейшем появилась тенденция создания микросхем на печатной плате. Причиной возникновения этой технологии послужила проблема внесения изменений в реализованную схему при использовании других технологий производства ИС. Технология печатных плат не может конкурировать с точки зрения производительности, энергопотребления, надежности и массогабаритных характеристик с монолитным решением – интегральной микросхемой системного уровня интеграции. В результате появилась отдельная группа системного уровня интеграции SLI (System Level Integration) нашедшая реализацию лишь в заказных микросхемах с фиксированной архитектурой. После появления данной группы схем появляется класс «Система на Кристалле», объединивший в себе качества предыдущих двух групп микросхем и получивший такие положительные качества как малогабаритность, повышенная производительность, малое энергопотребление и уменьшенную цену конечного изделия.

В 60-е годы XX века известный менеджер и теоретик микроэлектроники Гордон Мур сформулировал тенденцию в развитии технологии микросхем в виде эмпирического правила, получившего название «закон Мура». Согласно этому правилу минимальный размер элементов микросхем уменьшается в $\sqrt{2}$ раз, а число элементов на кристалле увеличивается в 2 раза через каждые 2,5 года. И вот уже 40 лет «закон Мура» выполняется лишь с небольшими отклонениями. Однако, действие «закона Мура» ограничено молекулярными размерами и физическими законами, лежащими в основе технологии и физики полупроводниковых приборов. Тем временем, до настоящего времени полупроводниковая промышленность при подготовке планов развития ориентируется на «закон Мура».

Первый согласованный план развития полупроводниковой промышленности был разработан в США и действовал 10 лет с 1990 по 1999 г. План получил название «дорожная карта» – NTRS (National Technology Roadmap for Semiconductors). Следующий план разработан уже на срок 15 лет с 2000 до 2014 года и стал международным. План называется традиционно «дорожная карта» ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors). Рубежи 2014 г. соответствуют достижению минимальных размеров элементов 14-15 нм. Согласно «дорожной карте» технологическое оборудование, технологические процессы, физические структуры элементов микросхем разрабатываются для создания нового производства, обеспечивающего уменьшение размеров элементов в $\sqrt{2}$ раз и увеличение числа элементов вдвое.

В создании систем на кристалле меньшего размера стоит ряд ограничений:

- толщина подзатворного диэлектрика – SiO₂ которая не может быть менее 1 нм как по технологическим причинам (это два молекулярных слоя), так и по причине туннельных токов через диэлектрик. Сейчас технологический предел оценивается в 2,0 нм;

- с уменьшением размеров и токов приборов повышается их чувствительность к космическим частицам и продуктам радиоактивного распада в материалах конструкции БИС. Схемными и конструктивными средствами избежать сбоев нельзя;

- контактные потенциалы в структуре не масштабируются, поэтому напряжение питания нельзя уменьшить менее 0,5 В;

- пропорциональное масштабирование требует уменьшения размеров не только транзисторов, но и проводников, что тоже пока невозможно;

- минимальные литографические размеры ограничены свойствами оптических материалов. Для самого коротковолнового лазера на F₂, имеющего длину волны излучения 157 нм, используется оптика на основе CaF₂, сейчас неизвестны оптические материалы с большей шириной запрещенной зоны;

- при получении размеров элементов менее 60 нм с использованием электронной литографии требуются уже неорганические электронорезисты. Размеры органических молекул в резистах составляют десятки нанометров и получить размер менее одной молекулы невозможно. Чувствительность известных неорганических резистов много ниже, чем органических;

- на данный момент нет высокопроизводительного электронно-лучевого оборудования, а для его создания требуется определенное время [2].

В настоящий момент существует способ решения проблемы на уровне транзисторов. Он состоит во внедрении инноваций в область электроники, путем создания Фотонных транзисторов, способных без потери усиления выполнять свои функции. Исследователи из Венского университета показали полупроводниковый транзистор, который для переключения между значениями 0 и 1 использует вместо электрических импульсов свет. Стоит отметить, что команда ученых уже продемонстрировала похожий транзистор, но он имел один существенный недостаток – для его работы требовалась внешняя магнитная катушка. Эта модель была доработана. Теперь, для работы фотонного транзистора нового поколения не только не требуется внешняя магнитная катушка, но и скорость переключений у него гораздо выше, а энергопотребление – ниже [4].

Основываясь на проведенном исследовании, можно предположить, что будущее СнК лежит в области технологий фотонных транзисторов. Однако сейчас трудно определить сроки перехода от полупроводников к фотонам и, очевидно, при переходе к новым технологиям понадобятся новые методы оценки и планирования развития технологии СнК на фотонах.

Библиографический список

1. *Адамов Ю.Ф.* Проектирование систем на кристалле. М., 2005. 20 с.
2. *Щука А.А.* Нанозлектроника. М., 2015. 177 с.
3. *Шагури И.* Системы на кристалле. Особенности реализации и перспективы применения/ И. Шагури Электронные компоненты: Электроника, 2009. – № 1.
4. *Левичев, В.В.* Электронные и фотонные устройства: принцип работы, технологии изготовления. СПб., 2015. 26 с.

УДК 519.216

Е.С. Чеусова

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов.

Ю.П. Иванов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АДАПТИВНОЙ ФИНИТНО-ВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Для определения текущей координаты летательного аппарата используются различные навигационные системы: бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС) и спутниковая навигационная система (СНС). В связи с тем, что в алгоритмах БИНС имеют место операции интегрирования, погрешности по скорости и координате накапливаются со временем. Существуют способы алгоритмической компенсации погрешностей БИНС [3], например, при использовании фильтра Калмана. Целью работы является разработка альтернативного финитно-временного оптимального метода оценки на основе использования комплексной системы, а также проведение сравнительного анализа между адаптивным финитно-временным алгоритмом и фильтром Калмана по показателю точности при изменении исходных данных. Критерий оптимизации – минимум среднего квадрата ошибки оценки. Рассматривается случай, при котором алгоритм работает в условиях априорной неопределенности характеристик полезного сигнала. Оптимальная оценка сигнала получается на основе использования оператора преобразования (определяемого теоремой ортогонального проецирования [1]) разностного сигнала на входе комплексной системы.

В данной работе рассмотрены регулярная и флуктуационная погрешности акселерометра, которые влияют на накопление ошибки по координате.

Модель измерения имеет следующий вид:

$$Y_i = R_i X_i + H_i, i = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где X_i – скалярный сигнал, определяющий текущую координату ЛА в моменты времени i , R_i – единичный вектор комплексирования на i -м шаге размерности 2×1 , H_i – вектор погрешностей измерения на i -й момент времени, со следующими компонентами:

$$H_{1,i} = H_i^{\text{БИНС}} = \Delta\varphi_i + a_0; H_{2,i} = H_i^{\text{СНС}} = \xi_i, \quad (2)$$

где ξ_i – последовательность скалярных величин, определяющих белую шумную погрешность измерения координаты СНС с нормальным распределением $N(0, \sigma_{\text{СНС}}^2)$; $\Delta\varphi$ – ошибка определения координаты.

Модель погрешности БИНС:

$$\Delta\varphi_i = \Delta\varphi_{i-1} + \Delta v_i \cdot d; \Delta v_i = \Delta v_{i-1} + a_1 \cdot d + \omega_i \cdot d, \quad (3)$$

где a_0 – погрешность ввода начального значения координаты в виде постоянной случайной величины с нулевым математическим ожиданием и дисперсией D_0 , d – дискрет, a_1 – смещение нуля акселерометра в виде постоянной случайной величины с нулевым математическим ожиданием и дисперсией D_1 ; ω_i – последовательность скалярных величин, определяющих дискретный белый шум с нормальным распределением $N(0, \sigma_{\text{БИНС}}^2)$; Δv – ошибка определения скорости.

Ставится задача устранения регулярной погрешности БИНС $H_i^{\text{БИНС}}$ и уменьшения влияния флуктуационной ошибки СНС. Модель сигнала на входе фильтра разностного сигнала:

$$Z_i^{\text{PC}} = H_i^{\text{БИНС}} - H_i^{\text{СНС}}. \quad (4)$$

Формируется вектор измерений размерностью $r \times 1$, где r – объем используемой памяти сигнала:

$$Z_i = \left[Z_i^{PC}, Z_{i-1}^{PC}, \dots, Z_{i-r}^{PC} \right]^T. \quad (5)$$

Оптимальная оценка погрешности БИНС размерностью $r \times 1$:

$$\hat{H}_i^* = A_i^* \cdot Z_i, \quad (6)$$

Оператор оптимального преобразования, определяемый теоремой ортогонального проецирования размерностью $r \times r$.

$$A_i^* = E - K_i^{CHC} \cdot [\hat{K}_i^Z]^{-1}, \quad (7)$$

где \hat{K}_i^Z – оценка матрицы корреляционных моментов измерений размерностью $r \times r$; E – единичная диагональная матрица размерностью $r \times r$,

$$K_i^{CHC} = \begin{bmatrix} \sigma_{CHC}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{CHC}^2 \end{bmatrix} - \text{корреляционная матрица погрешности СНС.}$$

Адаптивная матрица корреляционных моментов измерений \hat{K}_{zi} определяется следующим отношением [2]:

$$\hat{K}_i^Z = \hat{K}_{i-1}^Z + \frac{1}{i-1} ((Z_i - \hat{M}Z_i) \cdot (Z_i - \hat{M}Z_i)^T - \hat{K}_{i-1}^Z); \quad \hat{M}Z_i = \hat{M}Z_{i-1} + \frac{1}{i-1} (Z_i - \hat{M}Z_{i-1}). \quad (8)$$

Начальные значения нулевые.

Оценку среднего квадрата ошибки исследуемого алгоритма можно получить двумя способами. Во-первых, на основе соотношения, справедливое для произвольной оценки:

$$\hat{K}_i^{Epr} = K_i^{\hat{H}} - \hat{K}_i^{H^{БИНС}Z} \cdot A_i^T - A_i \cdot \hat{K}_i^{H^{БИНС}Z} + \hat{K}_i^{H^{БИНС}Z}. \quad (9)$$

Оценка матрицы корреляционных моментов оцениваемого и наблюдаемого процессов размерностью $r \times r$,

$$\hat{K}_i^{H^{БИНС}Z} = M[H_i^{БИНС} \cdot Z_i^T] = \hat{K}_i^Z - K_i^{CHC} = \hat{K}_i^{H^{БИНС}}. \quad (10)$$

Соотношение (9) получено с использованием (6) и

$$\hat{K}_i^{Epr} = M[(H^{БИНС} - \hat{H}) \cdot (H^{БИНС} - \hat{H})^T]. \quad (11)$$

Адаптивная матрица корреляционных моментов оценок погрешности БИНС:

$$K_i^{\hat{H}} = A \cdot \hat{K}_i^Z \cdot A^T. \quad (12)$$

Во-вторых, оценку среднего квадрата ошибки рассматриваемого алгоритма фильтрации можно получить, пользуясь соотношением, определяющим только оценку оптимальной фильтрации:

$$\hat{K}_i^{Eopt} = \hat{K}_i^{H^{БИНС}} - K_i^{\hat{H}}. \quad (13)$$

Для определения периода адаптации можно использовать выражения (9) и (13), сравнивая разность установившегося значения и первых элементов матриц на каждом шаге. Решение об окончании адаптации принимается, когда разность на каком либо шаге будет меньше по модулю заданного значения δ и в течении определенного интервала времени не выходит за пределы δ .

Моделирование проводилось в системе автоматизированного проектирования Mathcad. Номинальные значения: Объем выборки $N=1000$; дискрет $d = 1c$; СКО погрешности СНС $\sigma_{CHC} = 3m$; дисперсия смещения нуля акселерометра $D_1 = 0.02 \left(\frac{M}{c^2} \right)^2$; дисперсия погрешности ввода начальной координаты $D_0 = 0m^2$; СКО беложумной погрешности БИНС $\sigma_{БИНС} = 0.01 \frac{M}{c^2}$; размерность вектора измерений $r = 4$.

Основные результаты моделирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты моделирования

Величина	Диапазон изменения	Дисперсия ошибки оценки финитно-временного алгоритма, m^2	Дисперсия ошибки оценки фильтра Калмана, m^2
d, c	[0.1, ..., 2]	Колеблется в диапазоне от 2.1 до 3.8	Увеличивается от 0.5 до 1.7
$\sigma_{СНС}, M$	[1, ..., 5] в модели измерения	Имеет минимум 3 на значении СКО 3, на границах равна соответственно 6 и 14.8	Возрастает от 0.18 до 4.05
$\sigma_{СНС}, M$	[1, ..., 5] в корреляционной матрице	Имеет минимум 3 на значении СКО 3, на границах равна соответственно 8.1 и 20.5	Уменьшается в диапазоне от 2.6 до 1
$D_1 \cdot \left(\frac{M}{c^2}\right)^2$	[0.02, ..., 0.1]	Колеблется в диапазоне от 3 до 3.7	Колеблется в диапазоне от 1.9 до 2.4
$\sigma_{БИНС} \cdot \frac{M}{c^2}$	[0.02, ..., 0.1]	Колеблется в диапазоне от 2.8 до 3.83	Колеблется в диапазоне от 1.5 до 2.1
r	[1, ..., 6]	Уменьшается с 6 до 3 при $r \in [1, ..., 3]$, далее постоянна	Постоянна, равна 1.5

Результаты исследования показали, что (каждая величина изменялась по очереди в диапазоне указанном в таблице 1, при этом остальные величины оставались неизменными, указаны выше):

1. При увеличении размерности вектора измерения (5), точность оценки адаптивного финитно-временного алгоритма повышается в два раза.
2. Изменения параметров модели погрешности БИНС в выше указанных диапазонах мало влияют на дисперсию ошибки оценки адаптивного финитно-временного.
3. При изменении СКО погрешности СНС дисперсия ошибки оценки увеличивается в несколько раз, а эффективность комплексирования увеличивается от 0.1 до 2.
4. Адаптивный финитно-временной алгоритм не требует представлять сигнал в пространстве состояний и решения уравнения Рикатти.
5. Финитно-временной алгоритм имеет точность оценки в 1.5-2 раза меньше, чем точность оценки, полученной с использованием фильтра Калмана при номинальных значениях параметров.
6. На одну выборку фильтр Калмана тратит 0.4 секунды, а финитно – временной 0.03 секунды.
7. Время адаптации финитно-временного порядка 400 секунд ($\delta=0.1$ *установившееся значение).
Можно сделать вывод, что финитно-временной алгоритм с заданными характеристиками уступает по точности фильтру Калмана, но варьируя параметры можно добиться ее повышения. Адаптивный финитно-временной алгоритм является вычислительно более простым. Исследуемый метод устойчив и универсален относительно модели полезного сигнала.

Библиографический список

1. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов. Л.: Машиностроение, 1984. 50 с.
2. Матвеев В.В, Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем: учеб. пособие. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009. 232 с.
3. Тартаковский Г.П., Релин В.Г. Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптации информационных систем. М.: Советское радио, 1977. 140 с.

УДК 004.627

В. П. Шарихин

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Ф. А. Таубин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

Цифровое видео нашло широкое распространение в современном мире. Большую часть трафика в современных сетях передачи данных составляет видеоинформация. Видео в несжатом виде представляет собой очень большие объемы информации. Что в свою очередь вызывает ряд проблем при ее передаче и хранении. Поэтому, видео информацию хранят и передают в сжатом виде. Для уменьшения объема данных видеопоследовательностей за последние десятилетия было разработано множество стандартов компрессии видео. В данной статье будут рассмотрены некоторые стандарты сжатия видео и проведено их сравнение.

Под видео, как правило, понимают последовательность изображений (кадров), сопровождаемую связанным с ней звуком. На суммарный объем передаваемых данных (ширину видеопотока – *BitRate*), основное влияние оказывают следующие параметры:

- *Частота кадров (Frame Rate)* – количество кадров видеопоследовательности, сменяющихся в секунду;

- *Экранное разрешение (Spatial Resolution)* – количество точек (пикселей) по горизонтали и вертикали, из которых состоит изображение на экране;

- *Глубина цвета и цветовое разрешение (Color Resolution)* – данный параметр показывает, какое количество цветов, а также, какое соотношение цветовых компонент используется при формировании изображения;

- *Качество изображения (Image Quality)* – характеристика, позволяющая оценить качество видео по сравнению с оригиналом, зависит от совокупности всех предыдущих параметров [1], [2], [3].

MJPEG (Motion JPEG) – стандарт, в основе которого лежит покадровое сжатие видеопоследовательности с помощью алгоритма *JPEG*, основными этапами которого являются: *переход к цветовому пространству YUV* – для отображения цвета используется яркостная компонента, что позволяет регулировать цветовое разрешение; *дискретизация изображения* – разбиение изображения на блоки пикселей, изменение цветового разрешения изображения; *дискретное косинусное преобразование* – переход от пространственного представления изображения к спектральному; *квантование* – удаление высокочастотных компонент, отвечающих за высокую детализацию; *«zig-zag» – сканирование* – считывание квантованных коэффициентов дискретного косинусного преобразования в вектор; *групповое кодирование (Run Length Encoding)* – преобразование вектора в более компактный формат; *энтропийное кодирование (по Хаффману)* – кодирование с помощью кода Хаффмана, при котором наиболее часто встречающиеся значения кодируются более короткими кодовыми комбинациями [4], [5], [6].

MPEG-4 Part 2 / Advanced Simple Profile (ASP) – часть стандарта *MPEG-4*, описывающая формат сжатия видеоданных. В основе компрессии, помимо описанных в стандарте *MJPEG*, лежат следующие принципы: *кадры видеопоследовательности подразделяются на три типа* – I-кадры – сжимаются независимо от других кадров, P-кадры – сжатые с использованием сравнения с ссылочными (I- или P-) кадрами в одну сторону, B-кадры – сжатые с использованием сравнения с ссылочными кадрами в обе стороны; *каждый кадр разделяется на макроблоки* – блоки пикселей 16x16, используемые для предсказаний с компенсацией движения и преобразований; *поблочная компенсация движения* – макроблоки в текущем кадре могут быть предсказаны с помощью совпадающих макроблоков в ссылочных кадрах, при этом кодируется только вектор движения [7].

MPEG-4 Part 10 / Advanced Video Coding (AVC) – стандарт сжатия видеосигналов, технически идентичный стандарту H.264. В основе компрессии лежат принципы, позволяющие значительно повы-

силь эффективность сжатия видео по сравнению с предшествующими стандартами: *многокадровое предсказание* – для определения содержимого кадра стало возможным использование до 32 ссылочных кадров; *предсказание на основе кадров любых типов* – возможность предсказания на основе В-кадров; *компенсация движения с переменным размером блока* – более точное выделение области движения; *внутрикадровое предсказание* – содержимое макроблоков рассчитывается в соответствии с содержимым соседних макроблоков; *адаптивный выбор размера блока для дискретного косинусного преобразования* – могут использоваться блоки разных размеров; *использование внутреннего фильтра деблокинга* – удаление артефактов блочности; *использование усовершенствованных алгоритмов энтропийного кодирования* – CABAC (Context-adaptive binary arithmetic coding, самый сложный, обеспечивает наибольшее сжатие), CAVLC (Context-adaptive variable-length coding, проще чем CABAC, меньше сжатие) вместо алгоритма Хаффмана [8], [9].

Для сравнения видеостандартов было проведено экспериментальное кодирование тестовых видеопоследовательностей с использованием библиотек с открытым исходным кодом – *FFmpeg* [11]. Компрессия производилась в соответствии с каждым из представленных алгоритмов, после чего была проведена оценка качества сжатого видео. Для оценки качества была использована демонстрационная версия утилиты *MSU Video Quality Tool* [12], позволяющая оценить значение пикового отношения сигнал/шум – *PSNR (Peak Signal-Noise Ratio)*. Оценка *PSNR* производилась в соответствии с формулой:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{MaxErr^2 w h}{\sum_{i=1, j=1}^{w, h} (x_{i,j} - y_{i,j})^2}, \quad (1)$$

где *MaxErr* – максимально возможное абсолютное значение разницы цветковых компонентов компрессированного и оригинального изображения, *w* – ширина изображения; *h* – высота изображения [13]. *PSNR* рассчитывалось как среднее значение для всех кадров видеопоследовательности, для каждой компоненты цвета (табл. 1, 2).

Для проведения экспериментов были выбраны две стандартные тестовые видеопоследовательности: *WATERFALL* (352x288, 25 fps, 260 frames, RGB24) – большая часть изображения остается неизменной и *FOOTBALL* (352x288, 25 fps, 260 frames, RGB24) – видеопоследовательность с большим количеством динамических сцен [14].

Таблица 1

Зависимость значения *PSNR [дБ]* от значения *Bitrate [Кбум/с]* – *WATERFALL*

Bitrate (Кбит/с)	2000				2500				3000			
	Y	U	V	AVG _{yuv}	Y	U	V	AVG _{yuv}	Y	U	V	AVG _{yuv}
MJPEG	30.5	32.2	34.9	32.5	31.8	33.1	35.6	33.5	33.0	34.0	36.3	34.4
MPEG-4 ASP	37.6	37.7	39.7	38.3	38.6	38.5	40.4	39.2	39.6	39.3	41.2	40.0
H.264 AVC	42.6	42.2	44.8	43.2	43.5	42.7	45.4	43.8	44.2	43.1	45.9	44.4

Таблица 2

Зависимость значения *PSNR [дБ]* от значения *Bitrate [Кбум/с]* – *FOOTBALL*

Bitrate (Кбит/с)	2000				2500				3000			
	Y	U	V	AVG _{yuv}	Y	U	V	AVG _{yuv}	Y	U	V	AVG _{yuv}
MJPEG	33.1	37.6	39.3	36.7	34.8	38.8	40.2	37.9	36.3	39.8	40.9	39.0
MPEG-4 ASP	36.2	39.7	41.1	39.0	37.6	40.6	42.0	40.1	38.7	41.3	42.6	40.9
H.264 AVC	39.2	42.1	43.5	41.6	40.6	42.9	44.3	42.6	41.7	43.6	44.9	43.4

Полученные экспериментальные данные представлены в виде графиков на (Рис. 1). На данном рисунке четко прослеживается соотношение качества компрессированного видеоизображения для рас-

смотренных стандартов при одинаковом коэффициенте сжатия, а также зависимость от количества динамических сцен.

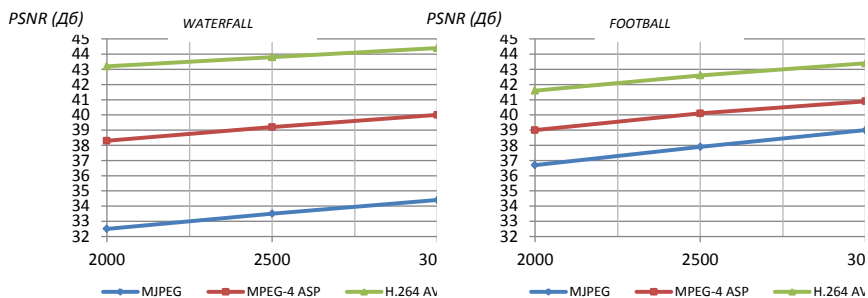


Рис. 1. Графики зависимости значения PSNR (дБ) от Bitrate (Кбит/с)

Соотношение аналогичных блоков пикселей видеоизображений для рассматриваемых стандартов, с шириной видеопотока, равной 2000 (Кбит/с), изображено на рис. 2. На данном рисунке можно увидеть явно выраженные артефакты блочности для изображения, кодированного с помощью MJPEG, возникающие в результате дискретного косинусного преобразования блоков пикселей (8x8). На изображении, кодированном в соответствии с MPEG-4 ASP также, но в меньшей степени по сравнению с MJPEG, заметны артефакты блочности, а также размытие некоторых участков изображения. Изображение H.264 практически не уступает оригинальному по качеству.

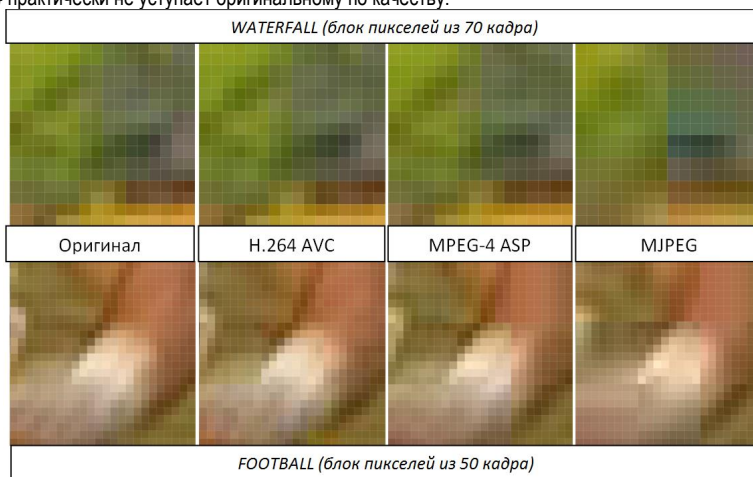


Рис. 2. Качественные различия изображений для разных стандартов при Bitrate = 2000 Кбит/с

Также, было проведено сравнение степени сжатия видео для каждого из алгоритмов при одинаковом качестве видео ($PSNR = 35$ [дБ]). Оценка степени сжатия видео рассчитывалась как отношение объема видеофайла оригинального видео к объему компрессированного видеофайла (табл. 3). Размер файла с оригинальной видеопоследовательностью как для WATERFALL так и для FOOTBALL составляет 77246 Кбайт.

Коэффициенты сжатия видео при одинаковом значении PSNR =35(дБ)

	WATERFALL		FOOTBALL	
	Объем файла (Кбайт)	Коэффициент сжатия	Объем файла (Кбайт)	Коэффициент сжатия
MJPEG	4212	18	4071	19
MPEG-4 ASP	982	79	2041	37
H.264 AVC	264	292	1255	61

Ошибки, которые могут возникнуть в битовом потоке видеосигнала при передаче по каналам с помехами, для каждого из рассмотренных стандартов различаются. Так, для *MJPEG* свойственно внутрикадровое пространственное распространение ошибок (рис. 3) (каждый кадр кодируется отдельно), в *MPEG-4 ASP* используется межкадровое предсказание и компенсация движения, что может приводить к временному распространению ошибок, в *H.264*, применяется внутрикадровое предсказание, что может повлечь появление дополнительных пространственных ошибок.



Рис. 3. Пример пространственного распространения ошибок в видеоизображении

В данной работе были рассмотрены стандарты сжатия видеоинформации, которые нашли широкое применение в системах видеонаблюдения. Были рассмотрены основные принципы, в соответствии с которыми осуществляется компрессия видео в соответствии с предложенными стандартами, а также проведено их сравнение. *MJPEG* обладает самым простым, с точки зрения реализации алгоритмом. Самый сложный алгоритм компрессии имеет стандарт *H.264*. От сложности алгоритма напрямую зависят количество вычислительных ресурсов, необходимых для реализации алгоритма, а также время его выполнения. Наилучшее качество изображения, по сравнению с остальными стандартами, при одинаковом коэффициенте сжатия, показал стандарт *H.264*, что связано с использованием фильтра деблокинга. Алгоритм *H.264*, также показал наилучшую степень сжатия изображения при одинаковом качестве. Для видеопоследовательности *WATERFALL*, его преимущество по сравнению с *MPEG-4 ASP* составило примерно 73%, а по сравнению с *MJPEG* – 94%, что связано с большим количеством статических сцен в видео, которые кодируются в основном за счет ссылочных кадров. Для последовательности *FOOTBALL* преимущество значительно меньше, по сравнению с *MPEG-4 ASP* – 38%, *MJPEG* – 68%. Стандарт *H.264* является наиболее уязвимым к канальным ошибкам, из-за возможности пространственного и временного распространения ошибок, и нуждается в надежном помехоустойчивом кодировании данных, отвечающих за содержимое ссылочных кадров и управляющей информации перед ее передачей по каналам с ошибками.

Библиографический список

1. Компьютерное цифровое видео [электронный ресурс] Url: http://nazimrustamov.narod.ru/inftehnologiya/lek_31.pdf (дата обращения: 10.04.2017)
2. Цифровое видео и его характеристики [электронный ресурс] Url: <http://www.studfiles.ru/preview/4114388/page:2#3> (дата обращения: 10.04.2017)

3. Чузунков В. Статья «Цифровое видео и его характеристики, стандарты сжатия и форматы видеофайлов», 13.10.2012
4. Володин Ф. Статья «Изобретаем JPEG», 17.12.2013
5. JPEG [электронный ресурс] URL: <http://keygene.narod.ru/1.htm> (дата обращения: 12.04.2017)
6. Marcus M. Статья «JPEG Image Compression», 01.06.2014
7. MPEG-4 [электронный ресурс] Url: <https://en.wikipedia.org/wiki/MPEG-4> (дата обращения: 12.04.2017)
8. Стандарт сжатия видеоизображения H.264 [электронный ресурс] URL: <http://www.spectrsb.ru/art/38.html> (дата обращения: 12.04.2017)
9. H.264/MPEG-4 AVC [электронный ресурс] Url: https://en.wikipedia.org/wiki/H.264/MPEG-4_AVC (дата обращения: 12.04.2017)
10. Мамчев Г.В. «Цифровое телевизионное вещание», Горячая линия – Телеком, 2014, Глава 3.
11. FFmpeg [электронный ресурс] Url: <http://ffmpeg.org/> (дата обращения: 24.03.2017)
12. MSU Quality Measurement Tool: Download Page [электронный ресурс] Url: http://www.compression.ru/video/quality_measure/vqmt_download.html (дата обращения: 24.03.2017)
13. MSU Quality Measurement Tool: Metric Information [электронный ресурс] Url: http://www.compression.ru/video/quality_measure/info.html (дата обращения: 24.03.2017)
14. Тестовые видеопоследовательности [электронный ресурс] Url: <http://media.xiph.org/video/derf/> (дата обращения: 26.03.2017)

УДК 614.876

А. В. Шведов, Д. В. Климинский

студенты кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами.

А. А. Клепиков

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АВИАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Среди внешних факторов, воздействующих на летательный аппарат, наиболее неблагоприятным является радиационное облучение. Радиационное воздействие приводит к физико-химическим изменениям свойств материалов авиационного оборудования летательного аппарата, и, как следствие, к функциональным отказам.

Явление радиоактивности состоит в самопроизвольных превращениях неустойчивых изотопов одного элемента в изотопы другого, с испусканием одной или нескольких элементарных частиц с различными видами излучений. Ядра вещества, подверженные такому распаду, называются радиоактивными.

Радиация – статический процесс, то есть одинаковые ядра распадаются за различное время, следовательно, нельзя предсказать, когда именно распадется данное нестабильное ядро, а динамика процесса описывается сложно.

Радиационное излучение может быть как естественным, так и искусственным.

К естественному радиационному излучению относятся:

- космическое излучение;
- излучение естественных радиоактивных элементов (ряд тория, ряд урана, ряд актиния).
- К искусственному радиационному излучению относятся:
- эффекты испытаний и применения ядерного оружия;

– радиационный фон ядерной энергетики с инфраструктурой и промышленности (объектов ядерно – топливного цикла).

Радиоактивные продукты ядерного взрыва, осевшие на какую-либо поверхность, испускают альфа -, бета -, гамма-лучи:

- α -распад – испускание ядром атома α -частицы, представляющей собой совокупность двух протонов и двух нейтронов;
- β -распад – испускание атомным ядром электрона и антинейтрино, позитрона и нейтрино; а также поглощение ядром атомного электрона из своей электронной оболочки с испусканием электронного нейтрино;
- γ -распад – испускание ядром кванта очень «жесткого» (более «жесткого», чем рентгеновское) электромагнитного излучения.

Потоки α - и β - частиц, позитронов, нейтронов, протонов, ускоренных ионов относятся к корпускулярному ионизирующему излучению.

Корпускулярным называется ионизирующее излучение, состоящее из частиц с ненулевой массой.

γ -излучение – это фотонное излучение, возникающее как при переходе атомных ядер из одного энергетического состояния в другое, обладающее меньшей энергией, так и при аннигиляции частиц.

В результате воздействия радиационного излучения (квантового и волнового) на конструкции и элементы оборудования летательного аппарата, протекают физико-химические процессы, связанные с изменениями кристаллических структур металлов, структур полимеров, а также изменениями вещества на атомно-молекулярном уровне, что приводит к ухудшению эксплуатационных параметров. Данные процессы могут проявляться не сразу, а через неопределенный интервал времени.

При облучении элементов конструкции нейтронами, ионами, электронами изменяются следующие свойства материалов: твердость, предел текучести, пластичность, ползучесть. Кроме того понижается коррозионная стойкость металлов, ускоряется старение веществ других групп материалов, изменяется структура вещества различных жидкостей и топлив.

На сегодняшний день в авиационной промышленности в конструкциях используются следующие группы материалов:

- стали;
- цветные металлы;
- композитные материалы;
- заклепочные материалы;
- герметизирующие материалы;
- пластмассовые материалы;
- лакокрасочные материалы и покрытия;
- резинотехнические и текстильные материалы;
- кожи.

На рис. 1 представлена модель радиационных повреждений, возникающих при столкновении нейтронов с атомами кристаллической решетки какого-либо материала (Модель Зеегера).

При столкновении нейтрон передает атому часть энергии, достаточной для разрыва межузельной связи, благодаря чему происходит цепное смещение атомов, разрушающее кристаллическую решетку и с образованием большого количества свободных вакансий. Один нейтрон создает тем больше вакансий, чем больше энергия межатомной связи в металле.

Потоки нейтронов, благодаря своей энергии возбуждают атомы кристаллической решетки, вызывая тем самым их колебания, что приводит к резкому повышению температуры материала. Высокие температуры и нейтронное облучение вызывают ядерные реакции с образованием гелия, в результате чего образуются газовые пузыри на границах зерен.

На исследовательско – технологической базе НИЦ «Курчатовский институт» осуществляются интенсивные исследования по восстановлению материалов после радиационного воздействия путем радиационного отжига. Данные исследования не завершены. Наибольшее воздействие радиационное облучение оказывает на элементную базу авиационного оборудования в составе контуров управления. К настоящему времени сформирована общая картина радиационного дефектообразования в МОП («металл – оксид – полупроводник») – приборах (рис. 2). Поглощение излучения в окисле сопровождается генерацией электронно-дырочных пар (процесс 1 на рис. 2). Часть образующихся пар рекомбинирует за времена порядка 10^{-12} с (процесс 2). Избежавшие рекомбинации электроны и дырки разделяются электрическим полем окисла (процесс 3) и участвуют в процессах переноса подвижного заряда через окисел (процесс 4) и захвата на глубокие уровни (5).

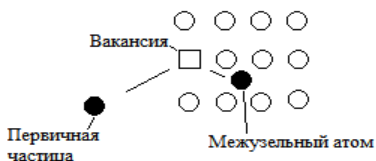


Рис. 1. Модель Зеегера

Образующиеся под действием радиации электроны намного более подвижны, чем дырки, и покидают слой окисла за время порядка 1 пс. Дырки, которым удалось избежать рекомбинации, под действием электрического поля испытывают стохастические переходы, передвигаясь через оксидный

слой. Этот подвижный заряд в окисле вызывает зависящий от времени сдвиг порогового напряжения. При достижении дырками границы раздела полупроводник – окисел или металл – окисел некоторые из них захватываются глубокими центрами, приводя к остаточному сдвигу порогового напряжения. В дальнейшем происходят отжиг части захваченных дырок и генерация поверхностных состояний (процесс 6).

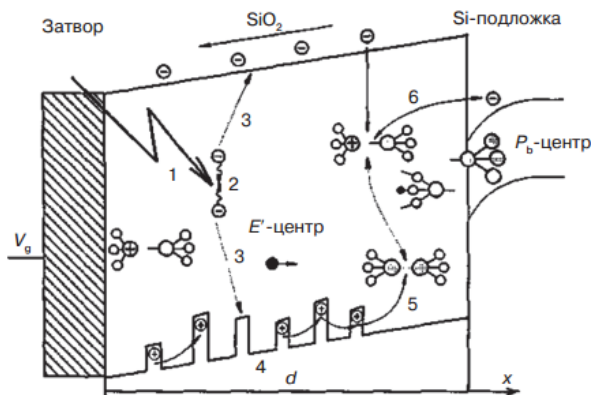


Рис. 2. Схематическое изображение основных процессов, происходящих в окисле при облучении МОП – приборов

Снижение радиационной чувствительности интегральных микросхем в достаточной степени достигается применением различных конструктивно – технологических и схмотехнических методов.

К первой группе методов можно отнести: применение оптимальной топологии (например, охранных колец); выбор толщины подзатворного окисла и режимов его формирования и отжига; использование самосовмещенных низкоомных поликремниевых контактов; применение диэлектрической изоляции элементов интегральной микросхемы и др.

Ко второй группе методов можно отнести: схмотехническую компенсацию изменения параметров МОП – транзисторов при облучении; оптимизацию напряжения питания интегральной микросхемы; использование резервирующих систем, в том числе информационного резервирования большой интегральной схемы оперативного запоминающего устройства за счет избыточного кодирования данных.

В МОП – приборах была обнаружена повышенная чувствительность к радиации при низких температурах (77–90К), что обусловлено образованием в SiO₂ дополнительного положительного заряда. Причиной этого процесса является уменьшение подвижности дырок в окисле с понижением температуры. При повышении температуры увеличивается эмиссия электронов из полупроводника или металла, что снижает величину накопленного положительного заряда в SiO₂. повышенная температура ($T = 673$ К) приводит к ускорению деградации параметров МОП БИС под действием рентгеновского излучения.

Облучение образцов полупроводниковых приборов гамма квантами с энергией 1,25 МэВ проводилось на установке «Исследователь» при температуре 300±310К. Мощность дозы гамма-излучения составляла 0,5÷1,0 Гр/с, доза – 103±105 Гр. Дозиметрия гамма-излучения проводилась образцовыми глюкозными детекторами ДОГ-0.05/2 или твердотельными стеклянными детекторами ДТС-0.01/1.0

Гамма – установка «Исследователь» содержит свинцово – стальной защитный корпус, в центре которого установлен облучатель в виде трех кассет с 36 изотопными источниками типа ГИК-7-2 в каждой. Всего – 108 гамма – источников, которые располагаются вокруг рабочей облучательной камеры объемом 4200 см³.

Испытания БИС на стойкость к эквивалентному воздействию импульсного гамма-излучения проводились с использованием лазерного имитатора «РАДОН-5М». При этом использовались следующие режимы: длина волны лазерного излучения – 1,08 мкм; энергия излучения в импульсе – 50 мДж; длительность импульса – 12 нс; максимальное значение имитируемой мощности дозы – 1012 рад (Si)/с. Облучение микросхем проводилось сверху при предварительно удаленной крышке корпуса. Дозиметрия проводилась по показаниям калиброванного детектора лазерного излучения БКЛИ-601.

Испытания БИС и тестовых структур на стойкость к эквивалентному воздействию стационарного гамма-излучения проводились с использованием рентгеновского имитатора «РЕИМ-2». Эффективная энергия рентгеновского излучения составляла 10 кэВ. Эквивалентная мощность дозы составляла 70±100 рад/с. Дозиметрия проводилась по показаниям калиброванного детектора рентгеновского излучения БДРИ-601.

Воздействие облучения на полимерные материалы приводит к разрыву полимерных цепочек. Смещение обрывков цепей молекулярных образований полимеров и появление свободных радикалов изменяет свойства полимеров, способствуют их разрушению с потерей изоляционных и диэлектрических свойств.

Большинство пластиков, используемых в качестве изоляционных материалов, в условиях высоких температур и при интенсивном облучении твердеют и становятся хрупкими, что приводит к их шелушению и разрушению при изгибе.

Таблица

Радиационная стойкость материалов и элементов оборудования летательных и космических аппаратов

Материал, изделие	Доза, Гр*	Последствия радиационного воздействия на материалы	Проявления последствий радиационного воздействия на материалы в работе АО
Полупроводниковые приборы	10 ³ -10 ⁴	Деформация кристаллической решетки	Увеличение обратных токов, снижение усиления
Оптические стекла	10 ³ -10 ⁴	Возбуждение атомов в спектральной области центров окрашивания	Ухудшение прозрачности за счет радиационного окрашивания
Полимерные материалы	10 ⁴ -10 ⁶	Разрыв полимерных цепочек	Деградация оптических, механических и электроизоляционных характеристик
Металлы	10 ⁹ -10 ¹⁰	Разрушение кристаллической решетки	Ухудшение механических свойств

(*) – 1 Гр (Грей) = 1 Дж/кг или 100 рад

Существуют различные методы и устройства контроля электрофизических и физико-механических параметров материалов и покрытий, но они обладают недостаточными возможностями в области измерения величин диэлектрической и магнитной проницаемостей.

На сегодняшний день актуальна задача разработки способов сканирования диэлектрической и магнитной проницаемости сверхвысокочастотным излучением, а также измерения волнового сопротивления по большим поверхностям с технической реализацией.

Экспериментальные исследования по определению электрофизических параметров и обнаружению дефектов в радиопоглощающих покрытиях (РПП) после радиационного облучения проводятся в беззеховой камере с помощью специально разработанной и созданной измерительно – вычислительной системы.

В каждом РПП создают дефекты типа «отверстие» с различным диаметром (формируют модель).

В ходе эксперимента с целью получения исходных массивов экспериментальных показателей напряженностей электрического поля проводится сканирование исследуемой области РПП указанной измерительно – вычислительной системой.

После статистической обработки массивов показателей напряженности с идентификацией моделей выявляются неоднородности покрытия.

В результате ионизации летательного аппарата, его дальнейшая эксплуатация не представляется возможной, прежде всего, из-за негативного влияния на летный экипаж, а так же вследствие потери работоспособности элементов авиационного оборудования.

Существуют примеры различных работ по защите экипажа и оборудования от влияния радиоактивного излучения (например, самолет М-50 с ядерной силовой установкой), однако материалы по ним закрыты.

По результатам приведенного обзора можно сделать следующие выводы.

В результате анализа материалов открытых источников, можно предположить, что проводимые ранее исследования влияния радиоактивного облучения на летательный аппарат и экипаж имели целью лишь повышения вероятности выполнения текущей боевой задачи.

Возможность продолжения эксплуатации авиационной техники в длительном последующем периоде не рассматривалась.

С целью определения возможности длительной эксплуатации авиационной и космической техники в агрессивных радиационных условиях необходимы как теоретические, так и лабораторные эксперименты со следующими приоритетными задачами:

1. Теоретический расчет физико – математических моделей для построения прогноза состояния материалов при непрерывном радиационном облучении.

2. Оценка возможностей использования летательного аппарата после воздействия радиоактивного облучения различных видов.

Предполагаемый комплекс лабораторных моделей синтезируется с целями:

- исследования явлений вторичной радиоактивности элементов летательного аппарата, включая ионизирующее излучение,

- исследования изменений свойств материалов авиационного оборудования при непрерывном радиационном воздействии.

3. Разработка технологических решений, связанных с сохранением работоспособности и безотказности авиационного оборудования в условиях «жесткого» радиоактивного облучения в процессе выполнения текущей боевой задачи.

4. Изучение медико-биологических последствий воздействия радиоактивного облучения на экипаж летательного аппарата с разработкой лечебных и профилактических процессов, а также проектированием средств защиты на основе современных технологий с применением новейших, в том числе нано-материалов.

Библиографический список

1. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. М.: Наука, 1980. 728 с.
2. Старовойтов Э.И. Сопrotивление материалов. М.: Физматлит, 2008. 384 с.
3. Новиков Л. С. Радиационные воздействия на материалы космических аппаратов: учеб. пособие. М.: Университетская книга, 2010. 192 с.
4. Зеегер К. Физика полупроводников / пер. с англ. М.: Мир, 1977. 615 с.
5. Белоус А. И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Космическая электроника: в 2-х кн. – кн. 1. М.: Техносфера, 2015. 696 с.
6. Федюнин П. А., Казьмин А.И. Способы радиоволнового контроля параметров защитных покрытий авиационной техники. М.: Физматлит, 2013. 184 с.

УДК 629.7.067.8

С. А. Ширяев

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

М. Е. Тихомиров

доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ МАЛОГАБАРИТНОГО СПАСАЕМОГО ЗАЩИЩЕННОГО БОРТОВОГО НАКОПИТЕЛЯ

Бортовые устройства регистрации предназначены для сбора, накопления и сохранения информации о параметрах полёта (скорости, высоте, курсе, положении летательного аппарата (ЛА), параметрах систем и его агрегатов), звуковой и речевой информации (переговоров экипажа, звуковой обстановки в кабине и салоне ЛА). Накопленная в полёте информация позволяет не только расследовать причины лётного происшествия, но и решать задачи эксплуатационного контроля авиационной техники и контроля техники пилотирования.

По существующим требованиям к устройствам регистрации, изложенным в нормативных документах, таких как ОСТ 1 01080-95, ED-112 и др. на борту воздушного судна (ВС) может устанавливаться система с одним, либо с двумя аварийными совмещенными защищенными регистраторами в зависимости от взлетной массы ВС. В случае применения на борту ВС спасаемого бортового накопителя в совокупности со стационарным аварийным накопителем значительно повышается шанс сохранения зарегистрированной информации при авиационном происшествии.

Целью разработки является создание малогабаритного спасаемого защищенного бортового накопителя (СБН), входящего в систему накопления, отделения и маркирования местоположения регистратора полетной информации (СБОР), обеспечивающей сохранность накопленной информации и работоспособность средств маркирования в течение 150 часов в случае авиационного происшествия над земной и водной поверхностями, а также в условиях воздействия разрушающих факторов. Область применения системы – бортовая аппаратура вертолетов.

В состав системы СБОР входят:

- отделяемый блок (ОБ) – спасаемый защищенный бортовой накопитель;
- разъединительный блок (РБ);
- трехкомпонентный датчик перегрузок;
- пульт дистанционного управления.

Система СБОР решает следующие задачи:

- регистрацию полетной информации, необходимой для расследования лётного происшествия;
- обработку сигналов датчиков, входящих в состав системы и выработку команды на отделение ОБ;
- отделение блока ОБ от воздушного судна в воздухе с последующим спуском по траектории, близкой к траектории воздушного судна;
- отделение блока ОБ от воздушного судна в водной среде с последующим всплытием;
- защиту содержимого накопителя регистратора от воздействия разрушающих факторов;
- маркирование местоположения ОБ с помощью аварийного радиомаяка на протяжении не менее 150 часов.

Алгоритм функционирования системы СБОР представлен на рис. 1.

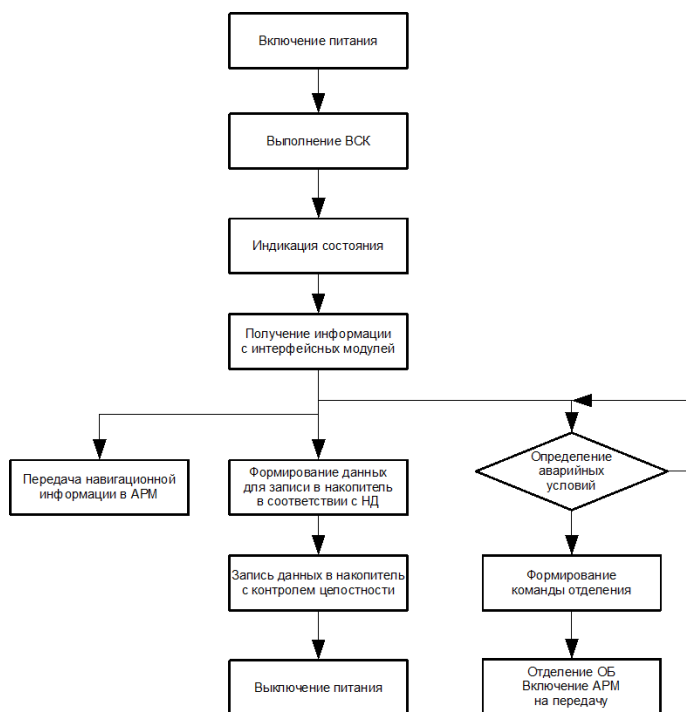


Рис. 1. Алгоритм функционирования системы СБОР

При выполнении условий, характеризующих летное происшествие, формируется команда для включения механизма отделения. При этом производится электрическое и механическое разделение отделяемого блока от разделительного и, таким образом, от корпуса воздушного судна. Отделяемый блок системы, содержащий модуль УЗМП, обладает положительной плавучестью, что позволяет облегчить поиск регистратора, например, при летном происшествии над водной поверхностью.

С целью облегчения поиска защищенного модуля памяти отделяемый блок содержит радиомаяк и автономный источник питания. Включение радиомаяка производится через несколько секунд после отделения ОБ от воздушного судна. Радиомаяк отделяемого блока предназначен для работы в международной спутниковой поисково-спасательной системе КОСПАС-SARSAT. В состав радиомаяка входит передатчик, работающий на частоте в диапазоне 406 МГц, сигнал которого принимается спутниками поисково-спасательной системы. В результате приема и обработки переданного радиомаяком сигнала определяется район нахождения отделяемого блока, в который направляются поисково-спасательные службы. Передаваемый сигнал содержит цифровое сообщение, включающее регистрационный номер воздушного судна, а также может содержать координаты места, полученные от бортового оборудования воздушного судна на момент отделения или от навигационного приемника, входящего в состав отделяемого блока опционально. Состав цифрового сообщения может быть изменен в процессе эксплуатации системы.

Радиопередатчики сигнала на частотах 121,5 и 243 МГц, входящие в состав радиомаяка, позволяют поисково-спасательным службам, находящимся в районе поиска, определить точное положение отделяемого блока методом радиопеленгации.

Отделяемый блок содержит:

- защищенный модуль памяти;

- средства маркирования на водной поверхности – аварийный радиомаяк (АРМ);
- блок питания средства маркирования.

Блок ОБ обладает положительной плавучестью как в морской, так и в пресной воде в течение не менее 30 суток.

Конструктивное исполнение блоков, входящих в состав изделия, обеспечивает замену любого однотипного блока без дополнительных регулировок. В основу конструирования заложен принцип блочно-модульного построения изделия. Конструктивно выделенные блоки допускают независимую сборку и контроль. Расположение деталей и сборочных единиц в составе блоков обеспечивает свободу доступа к каждому из них без съема соседних деталей и сборочных единиц, что позволяет выполнять работы по техническому обслуживанию и ремонту в короткие сроки с минимальной трудоемкостью.

Моделирование конструктива СБН и получение его 3D-модели производилось в программе Autodesk Inventor. Autodesk Inventor является системой трёхмерного твёрдотельного и поверхностного параметрического проектирования (САПР) компании Autodesk, предназначенная для создания цифровых прототипов изделий. Инструменты Inventor обеспечивают полный цикл проектирования и создания конструкторской документации.

В результате моделирования была получена 3D-модель спасаемого бортового накопителя. Внешний вид СБН, а также вид в разрезе представлены на рис. 2.

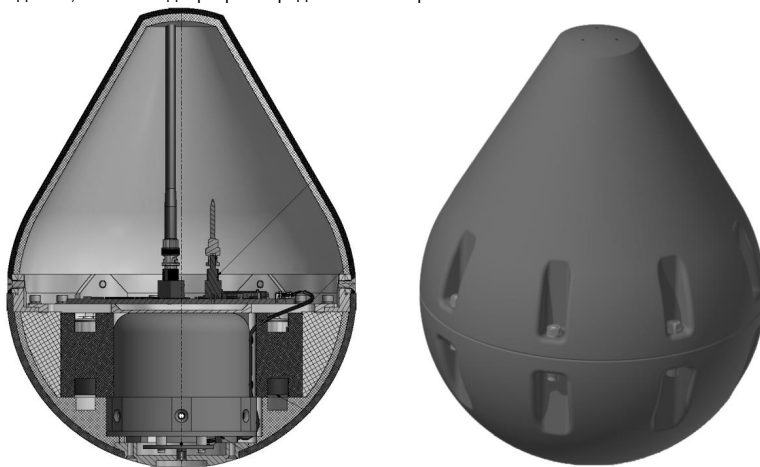


Рис. 2. Внешний вид СБН и вид в разрезе

Данная модель полностью соответствует требованиям технического задания, а также современным российским и международным требованиям к устройствам регистрации, устанавливаемых на ВС.

Библиографический список

1. Квалификационные требования КТ-160D, условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования.
2. ED-112. Minimum operational performance specification for crash protected airborne recorder systems.
3. ОСТ 1 01080-95. Общие технические требования. Устройства регистрации бортовые с защищёнными накопителями.
4. Технические документации на бортовые системы сбора и регистрации полётной информации предприятия АО «НПО»ПРИБОР».

УДК 681.2.085

И.А. Шкаликов

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительных-вычислительных комплексов

Д.Ю. Крысин

канд. техн. наук, ассистент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО МАГНИТНОГО КОМПАСА

Существуют различные виды компасов: магнитный, индукционный, гирополукомпас и другие. Большинство из них характеризуются значительной массой, габаритами, высокой ценой и сложностью калибровки. Между тем, в настоящее время непрерывно расширяется сфера применения электронных магнитных компасов, которые являются недорогими и компактными устройствами с точностью измерения, сопоставимой с точностью индукционных датчиков [1]. В качестве измерителя используется магниторезистивный датчик, который позволяет определить величину проекций вектора магнитной индукции. Вычислителем является микроконтроллер. Как и всем выше перечисленным устройствам, устанавливаемым на борту летательного аппарата, электронному магнитному компасу свойственны погрешности. Наиболее существенными из них являются девиационные погрешности.

Девиация возникает в результате воздействия магнитного поля ферромагнитных материалов летательного аппарата на чувствительный элемент датчика. Как правило, девиация делится на круговую и полукруговую. Причиной возникновения круговой девиации является наличие магнитотвердых материалов обладающих свойствами постоянного магнита, вблизи датчика. Круговая девиация характеризуется постоянной величиной, не зависящей от курса летательного аппарата. Причиной возникновения полукруговой девиации является наличие магнитомягких материалов. Полукруговая девиация является изменяющейся по закону синуса величиной, зависящей от курса летательного аппарата [2].

Существуют два основных способа компенсации круговой и полукруговой девиаций: аппаратный (на основе девиационного прибора с постоянными магнитами) [2] и программно-алгоритмический. В таблице приведены достоинства и недостатки каждого из способов. На основе результатов их анализа, в качестве предмета исследования выбран программно-алгоритмический способ.

Таблица

Результаты сравнительного анализа способов компенсации девиационных погрешностей

Способы	Достоинства	Недостатки
Аппаратный	Надёжность, работоспособность при отключении электропитания, отсутствие электронных компонентов	Относительно низкая точность, использование материалов создающих дополнительное магнитное поле, относительно большие габариты и масса
Программно-алгоритмический	Более высокая точность, простота использования	Относительно сложный математический аппарат калибровки

Программно-алгоритмический способ включает два основных этапа: запись результатов измерения и их обработку. Запись результатов измерения выполняется во время кругового движения летательного аппарата на горизонтальной поверхности. Обработка результатов измерения заключается в вычислении калибровочных коэффициентов. Калибровочные коэффициенты включают коэффициенты усиления, коэффициенты смещения нуля и коэффициенты магнитомягкого железа.

Для поиска калибровочных коэффициентов обычно используется метод наименьших квадратов [3]:

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (1)$$

где X – матрица результатов измерения проекций вектора магнитной индукции; Y – матрица квадратов модулей, вычисленных для каждого измерения трех проекций вектора магнитной индукции; β – матрица калибровочных коэффициентов.

Найденные калибровочные коэффициенты используются для коррекции результатов измерения проекции вектора магнитной индукции:

$$M_{x_1, y_1, z_{13x1}} = M_{\cos_{3x3}} * M_{si_{3x3}} * M_{sc_{3x3}} * X_{3x1} + M_{v_{3x1}}, \quad (2)$$

где M_{\cos} – матрица направляющих косинусов, M_{si} – матрица коэффициентов магнитомягкого железа, M_{sc} – диагональная матрица коэффициентов усиления, X – матрица результатов измерения, M_v – матрица смещений нуля. Матрица направляющих косинусов определяет угловую ориентацию системы координат, связанной с датчиком, относительно географической системы координат.

После калибровки скорректированные результаты измерения проекции вектора магнитной индукции можно использовать для нахождения магнитного курса φ летательного аппарата с помощью следующей формулы:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{M_{y1}}{M_{x1}}\right), \quad (3)$$

где M_{x1} и M_{y1} – проекции вектора магнитной индукции на горизонтальные оси X и Y географической системы координат.

Программно-алгоритмический способ компенсации круговой и полукруговой девиаций имеет относительно сложный математический аппарат калибровки, однако является более простым в использовании, чем аппаратный способ. Программно-алгоритмический способ может быть реализован в программном обеспечении микроконтроллера.

Библиографический список

1. Шкаликов И. А., Крысин Д. Ю. Структура электронного магнитного компаса // Шестидесят девятая международная студенческая научная конференция ГУАП: Сб. докл.: В 2 ч. Ч. 1. Техническая наука / СПб.: ГУАП, 2016. – С. 161-163.
2. Браславский Д. А. и др. Авиационные приборы. М.: Машиностроение, 1964. 736 с.
3. Статья на английском от NXP, AN4246, Calibrating an eCompass in the presence of hard- and soft iron interference, 11/2015.

УДК 535.345.673: 517.51

А. М. Бабинцева

магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

Л. Н. Пресленев

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ МАТЕРИАЛА ПРОХОДНОЙ ОПТИКИ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ В ДИАПАЗОНЕ 2-8 МКМ

Знание оптических констант в ближнем и среднем ИК диапазонах элементов проходной оптики необходимо для задания определенных параметров системы при проектировании таких оптических приборов, как приборы ночного видения, ночные прицелы и комплексы «день-ночь».

Несмотря на то что оптические константы (коэффициенты преломления n_λ и поглощения α_λ) [1] различных материалов являются справочными данными, они очень отличаются в зависимости от марки материала и способов изготовления.

Оптические константы, как правило, заданы в области отсутствия полос поглощения. В данной работе разработан и обоснован метод определения оптических констант материалов проходной оптики при наличии полос поглощения [2]. Метод базируется на коррекции спектров по поглощению с последующим определением оптических констант спектров, в которых отсутствует поглощение, но остается дисперсионная зависимость коэффициента преломления от длины волны.

Проведены измерения спектров пропускания и отражения материала проходной оптики CaF_2 в диапазоне спектра 2 – 8 мкм. Результаты измерения этих спектров, а также спектр поглощения, приведены на рис. 1.

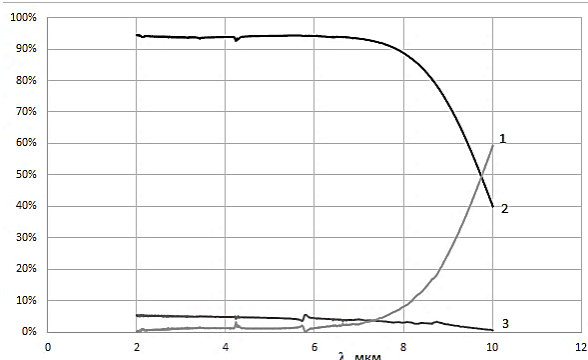


Рис.. 1. Экспериментальные спектры CaF_2 : 1 – поглощения, 2 – пропускания, 3 – отражения

Пропускание $T(\lambda)$, отражение $R(\lambda)$ и поглощение $A(\lambda)$ отражают закон сохранения энергии $1 = T(\lambda) + R(\lambda) + A(\lambda)$. Энергия является аддитивной величиной. В силу этого можно разделить по-

глощение A на две части. Одна – это та часть энергии, которая теряется в пропускании $A_T(\lambda)$, вторая $A_R(\lambda)$ – в отражении

$$A = 1 - R(\lambda) - T(\lambda) = A_R(\lambda) + A_T(\lambda) \quad (1)$$

Уравнения, связывающие спектры отражения(или пропускания) с поглощением и спектры без поглощения в подложке, можно записать в виде

$$A_R(\lambda) = R_1 - R = f_R A; \quad (2)$$

$$A_T(\lambda) = T_1 - T = f_T A, \quad (3)$$

где $R = R(\lambda)$ и $T = T(\lambda)$ – спектры отражения и пропускания подложки с поглощением, R_1 и T_1 – спектры отражения и пропускания подложки без поглощения. f_R и f_T – функции коррекции спектров, которые определяют долю поглощения в отражении или пропускании. Уравнения (2) и (3) позволяют найти скорректированные на поглощение спектры R_1 и T_1 .

Для нахождения T , R , $A_T(\lambda)$ и $A_R(\lambda)$ использовался рекуррентный метод [3]. Интерференций света, отраженной от поверхности материала, пренебрегаем. Суммирование прошедших и отраженных пучков с учетом поглощения дает

$$T = [\tau_0 \exp(-\alpha d)] / [1 - \rho_0^2 \exp(-\alpha d)]; \quad (4)$$

$$R = \rho_0 + [\tau_0^2 \rho_0 \exp(-2\alpha d)] / [1 - \rho_0^2 \exp(-2\alpha d)]. \quad (5)$$

Здесь ρ_0 – отражение, τ_0 – пропускание на границе раздела воздух–материал, α – коэффициент поглощения. При $\alpha \ll 1$ ρ_0 имеет вид:

$$\rho_0 = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2, \quad \tau_0 = 1 - \rho_0 \quad (6)$$

где $n_1 = 1$ – коэффициент преломления воздуха, n_2 – коэффициент преломления материала.

Анализ уравнений (4) и (5) в общем виде затруднителен. В дальнейшем будем анализировать численные решения этих уравнений. Численные расчеты RT спектров, спектров поглощения A , $A_T(\lambda)$ и $A_R(\lambda)$ функций коррекции f_R и f_T проводились с помощью программы FilmManager [4], в которой предусмотрен расчет спектров подложки конечной толщины, и заданными значениями коэффициента экстинкции k (или поглощения α) и n_2 .

Для оценки точности и возможности предложенного метода, использовалась модель материала с полосой поглощения в области $\lambda = 5$ мкм и с коэффициентом преломления $n_2 = 1.399$, близким к коэффициенту преломления CaF_2 . Коэффициент преломления n_2 в области полосы поглощения имел дополнительную дисперсионную зависимость.

Толщина материала бралась равной 0,4 см, что соответствует толщине широко распространенных в оптическом приборостроении пластин CaF_2 .

При малых значениях коэффициента отражения, знаменателем $[1 - \rho_0^2 \exp(-\alpha d)]$ из уравнения (4), можно пренебречь. Принимая это внимание, решение уравнения (4) относительно $\exp(-\alpha d)$, принимает вид:

$$\exp(-\alpha d) = T_{\text{экс}}(\lambda) / \tau_0^2, \quad (7)$$

где $T_{\text{экс}}(\lambda)$ – спектр пропускания, полученный экспериментально на спектрофотометре.

Вышеописанным методом находились коэффициент преломления n_λ в материале и коэффициент экстинкции k_λ , которые приведены в таблице.

λ , МКМ	k_λ	n_λ
2	$8,1333 \cdot 10^{-7}$	1,398
3	$6,1067 \cdot 10^{-6}$	1,402
4	$6,6733 \cdot 10^{-6}$	1,391
5	$6,3767 \cdot 10^{-6}$	1,379
6	0,00000706	1,377
6,5	$1,0843 \cdot 10^{-5}$	1,371
7	$1,4307 \cdot 10^{-5}$	1,378
7,5	$2,5617 \cdot 10^{-5}$	1,376
8	0,00004802	1,375

Проведены исследования оптических констант (ОК) CaF_2 с использованием пошаговой методики и программы *FilmManager* [4]. Полученные значения ОК материала CaF_2 [2] совпадают с литературными данными.

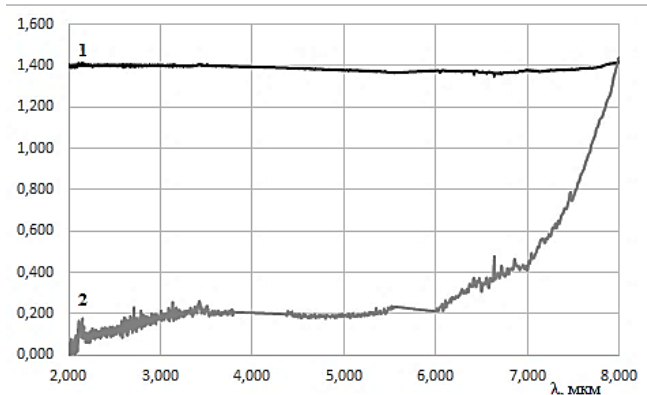


Рис. 2. Дисперсионные зависимости коэффициента преломления 1 и коэффициента экстинкции 2 от длины волны

На рис. 2 представлены полученные нами дисперсионные зависимости коэффициентов преломления и экстинкции от длины волны. Значения коэффициентов экстинкции взяты в 10 раз больше полученных для удобного соотношения на графике с коэффициентом преломления.

Библиографический список

1. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1970. 856 с.
2. Собошук Н. О., Асеев В. А. Измерение малых поглощений в кристаллах CaF_2 : Научный журнал. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.
3. Гребенщиков И. В., Власов А. Г., Непорент В. Г. и др. Просветление оптики. М.; Л.: ОГИЗ. Гос. изд-во технико-теорет. лит., 1946. 212 с.
4. Котликов Е. Н., Новикова Ю. А. Программа синтеза и анализа интерференционных покрытий «FilmManager». Научный журнал «Информационно-управляющие системы». №1(68), 2015. С.15-20.

УДК 621.382.049.77.002

П.В. Белопицкая

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

В. П. Парин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Цель работы: проведение анализа задач обеспечения требуемых параметров чистых помещений и принципов управления параметрами при реализации технологических процессов изготовления полупроводниковых пластин. На основе проведенного анализа необходимо сформировать подходы и требования по реализации элементов системы контроля среды в современных конструктивах.

Для изготовления различной электронной аппаратуры требуется выполнение необходимых условий и требований к параметрам среды, в которой должны выполняться технологические операции. Для поддержания требуемых условий технологической среды на предприятиях создаются специальные чистые помещения (ЧП), где выполняются все необходимые условия.

Обобщенное понятие чистое помещение (cleanroom) для различных технологических операций изготовления электронных и микроэлектронных средств – это помещение, в котором контролируются параметры воздушной среды (содержание твердых частиц, газовый состав, температура, влажность, давление).

К настоящему времени разработано большое количество методов и основанных на них устройств, позволяющих измерять все необходимые параметры среды. Например, для выполнения технологического процесса (ТП) изготовления полупроводниковых пластин в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002, установлен класс требований к технологической среде ИСО 3. Контролируемыми параметрами, для данного класса являются температура, давление, влажность, газовый состав, концентрация частиц в воздушной среде. Естественно, чем выше требования к параметрам технологической среды, тем в большей степени требуется не только контроль, но и управление параметрами.

Рассмотрим важнейшие технологические операции, выполняемые в условиях нормативной технологической среды. К ним следует отнести:

- формирование партии пластин монокристаллического кремния;
- химическую обработку пластин, термическое окисление, фотолитографию «п+–скрытый слой», травление окисла, ионное легирование сурьмой, бором термообработку (разгонка сурьмы), отжиг р-скрытого слоя в окислительной среде, удаление слоя SiO₂ химическим травлением, термическое окисление;
- удаление слоя SiO₂ химическим травлением, наращивание эпитаксиального слоя п-типа;
- термическое окисление, фотолитография «Глубокий коллектор», травление SiO₂ до Si, диффузия фосфора (загонка), разгонка фосфора в окислительной среде;
- фотолитография «Разделение», травление SiO₂ до Si, диффузия бора (загонка), разгонка бора в окислительной среде, контроль качества разделения измерением вольт-амперных характеристик и т.д.

Контроль окружающей среды в производственном помещении в соответствии с заданными требованиями выполняется с использованием датчиков в конструктиве интегральных микросхем – микроэлектронных датчиков. В состав такого датчика входят чувствительный элемент (сенсор), устройство питания и устройство нормализации выходного сигнала для сопряжения датчика с приемными устройствами обработки сигнала с датчика. Функциональность современных датчиков такого класса постоянно растет и фактически некоторые из них представляют собой «систему в корпусе»(СвК).

Выходной сигнал датчика может быть аналоговым или цифровым, аналоговые датчики обеспечивают высокую точность и быстродействие, а датчики с цифровым выходом обладают повышенной

устойчивостью к помехам и с легкостью сопрягаются с микроконтроллерами и для этого встраивается управляющая логика.

Одним из передовых производителей микроэлектронных датчиков всех типов, является компания STMicroelectronics. В номенклатуре STM присутствуют и широко известны аналоговые датчики серий LMx 34/35, например LM234 и LM335 в корпусах TO-92 и SO-8 [1], выполненные по биполярной технологии.

Управлять режимами работы и сбором данных можно при помощи двухпроводного интерфейса SMBus 2.0 с возможностью установки частоты измерений (max 32 изм./с) и точности от 9 до 12 разрядов с соответствующим разрешением (максимум 0,06 °C). На дополнительных инверсных выходах ИМС bVENI и Addr/Ihertm формируются сигналы прерывания и включения внешних устройств при достижении определенной температуры.

Представляет интерес ультракомпактный датчик влажности и температуры HTS221, выпускающийся в шестивыводном корпусе H1.GA размером 2x2x0,9 мм и предназначенный для применения в устройствах управления климатом – отоплением, вентиляцией, кондиционированием воздуха и т.п. [1].

В работе [2] описано устройство, предназначенное для контроля параметров чистых помещений (температуры, давления, влажности, газового состава, концентрации частиц) посредством сбора и обработки информации от датчиков, поступающей в виде нормализованных аналоговых сигналов частотой 50 Гц и амплитудой $\pm 10В$.

Устройство для экспресс-контроля состава газовой среды [1], защищенное как полезная модель, относится к области газового анализа, а именно к устройствам распознавания состава многокомпонентных газовых смесей. Распознавание состава газовой среды осуществляется на основе сигналов, генерируемых массивом полупроводниковых сенсоров, путем обработки их совокупного векторного сигнала с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС), выполненных на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС).

Новым является то, что вычислительный модуль, в котором реализован алгоритм ИНС, выполнен на основе ПЛИС, к которой подключена энергонезависимая флэш-память и устройство отображения информации со светодиодным индикатором и переключателями, задающими режим работы. Мультисенсорный модуль может состоять из линейки датчиков, например, хеморезистивного типа на основе полупроводниковых структур.

В производстве микроэлектронных устройств предъявляются очень жесткие требования к различным параметрам среды: к уровню содержания аэрозольных частиц в воздушной среде и влиянию статического электричества, по защите от электромагнитного излучения, солнечного света, вибраций. Особенно высокие требования к ЧП стали предъявляться в связи с развитием субмикронных нанотехнологий. В чистых помещениях микроэлектроники, чистота достигается преимущественно с помощью правильной компоновки помещений, подбором материалов, правильной работой системы воздухоподготовки.

Для обеспечения обеспыленности производственной воздушной среды предприятия микроэлектронного производства стараются размещать в зеленых зонах вдали от других промышленных предприятий. Для промышленных зданий и помещений используются материалы, легко поддающиеся очистке и не загрязняющие окружающий воздух. Перед подачей в помещения воздух проходит специальную систему фильтрации, а производственные помещения оборудуются системами кондиционирования. Давление воздуха внутри зданий должно несколько превышать атмосферное для уменьшения самопроизвольного проникновения наружного воздуха, минуя фильтр и вентилятор. Особо тщательно оборудуются помещения 1-3-го классов, которые принято называть гермозонами. В гермозонах обеспечиваются не только определенные температура, влажность, запыленность, но и определенные скорость и направление перемещения воздуха, способствующие эффективному удалению пыли, образующейся при работе оборудования и движениях персонала.

Обеспечение необходимых требований по микроклимату и чистоте воздушной среды связано со значительными материальными затратами, поэтому целесообразно отдельные операции, к которым предъявляются единые требования, группировать в общем помещении. Рекомендуемые для различных операций классы микроклимата и чистоты производственных помещений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемые для различных операций классы микроклимата
и чистоты производственных помещений

Наименование технологических операций	Класс помещения		Класс рабочего объема по запыленности
	Класс помещения	Класс рабочего объема по запыленности	Наименование технологических операций
Химическая обработка пластин и подложек, окисление пластин, диффузия примесей	3	3	2
Скрайбирование и разделение пластин, присоединение выводов	3	5	5
Герметизация и контроль герметичности, изготовление толстопленочных ИМС	3	5	-

Из-за влажности воздуха производственных помещений происходит адсорбция паров воды поверхностью пластин, а также элементами рабочих объемов технологических установок, что при нагреве может приводить к образованию нежелательных окислов. Следует отметить, что адсорбция паров воды поверхностью изделий происходит более активно, чем кислорода воздуха, вследствие малых размеров молекул воды, поэтому влажность в производственных помещениях должна быть минимальной (но не ниже 30 %, установленных санитарными нормами). По температурно-влажностным параметрам соответствующим отраслевым стандартам устанавливается три класса производственных помещений (табл. 2).

Таблица 2

Параметры технологической среды производственных помещений

Характеристика воздушной среды	Класс помещения				
	1	2	3	4	5
Температура, °С	летом	22±0,5	20±1	20±2	По ГОСТ 12.1.005-76
	зимой	22±0,5	23±1	23±2	
Относительная влажность, %	45±5	50±5	50±10		
Максимальное число частиц размером ≥0,5мкм на 1 л воздуха	4	35	350	1000	3500

Кроме твердых частиц в технологических средах содержатся различные технологические газы и продукты газирования различных материалов.

Технологические газы в производстве ИМС используют в разных целях. Защитные газы (азот, аргон, гелий) применяют для исключения процессов окисления и коррозии на операциях с высокой температурой (пайка, сварка, герметизация, продувка реакторов эпитаксиальных и диффузионно-окислительных установок, транспортировка газов-реагентов и т. п.). Газы-реагенты используются в качестве диффузантов, окислителей, травителей, восстановителей и т. д. Такие газы, как аргон, азот, кислород, могут применяться в качестве плазмообразующих в процессах ионно-плазменного распыления, плазмохимической обработки, вакуум-плазменного травления.

В качестве примера рассмотрим решение задачи обеспечения требуемых условий технологической среды, выполненное при проектировании технологической операции изготовления полупроводниковой пластины.

1 этап. Выбираем состав задач, подлежащих решению для данной технологической операции:

– Выбор такой конструкции ЧП, которая обеспечивает максимальную защиту продукции. Чаще всего в ЧП для микроэлектроники используется однонаправленный (ламинарный) поток нисходящего

воздуха. Для обеспечения однонаправленности потока, как правило, применяются перфорированные фальшполы.

- Обеспечение стабильности параметров среды чистых помещений, узкого диапазона поддержания влажности и температуры.
- Использование оборудования для очистки воды, применяемой в процессе обработки пластин.
- Разработка системы распределения технологических жидкостей, которая позволяет предотвратить перекрестные загрязнения.
- Разработка системы распределения газов, которая должна быть герметичной и не выделять загрязнений.
- Обеспечение возможности поддерживать необходимые значения температуры и влажности воздуха в чистом помещении.
- Применение высокотехнологичных систем управления и контроля: датчиков для контроля содержания токсичных и опасных материалов, систем мониторинга параметров технологической среды и др.
- Создание "гибкого" производства, которое позволит вносить изменения в систему чистых помещений без существенного ущерба для производственных процессов и с минимальными затратами.

2 этап. Выбираем класс чистого помещения.

Классы чистых помещений

Общепринятая классификация делит ЧП на шесть основных классов: класс 1, 10, 100, 1000, 10 000 и 100 000. Каждый класс определяет максимально допустимое количество частиц в заданном объеме воздуха.

Чистота помещения по взвешенным в воздухе частицам обозначается классификационным числом N . Максимально допустимая концентрация частиц C_n , частиц/м³ с размерами, равными или большими заданного размера D , для данного класса чистоты определяется по формуле

$$C_n = 10^N \left(\frac{0,1}{D} \right)^{2,08}$$

где N – классификационное число ИСО, которое не должно превышать значения 9. Промежуточные числа классификации ИСО могут быть определены с наименьшим допустимым приращением, равным 0,1; 0,1 – константа, мкм; D – заданный размер частиц, мкм; C_n (концентрация частиц) округляется до целого числа, при этом используется не более трех значащих цифр.

3 этап. Выбираем диапазон и систему контроля и регулирования климатических параметров помещения.

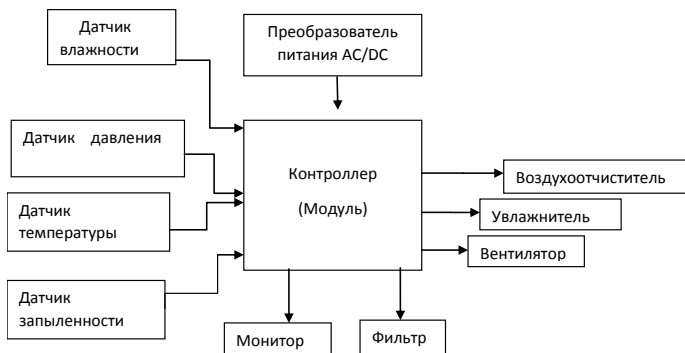


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы контроля параметров чистых помещений

Для контроля процесса изготовления необходимо задать допустимый диапазон влажности и температуры в ЧП.

Для решения задачи контроля загрязнения воздуха, давления, температуры, влажности во всем объеме помещения разработана система управления воздухоочистителем, увлажнителем, фильтром и вентилятором. Система состоит из комплекта устройств, способных следить за уровнем всех параметров во всем объеме помещения и контролировать работу приборов. Система построена на микроконтроллерах, применение которых рекомендуется для серийного производства. Структурно-функциональная схема системы контроля и управления приведена на рис. 1. Функциональная схема микроконтроллера представлена на рис. 2.

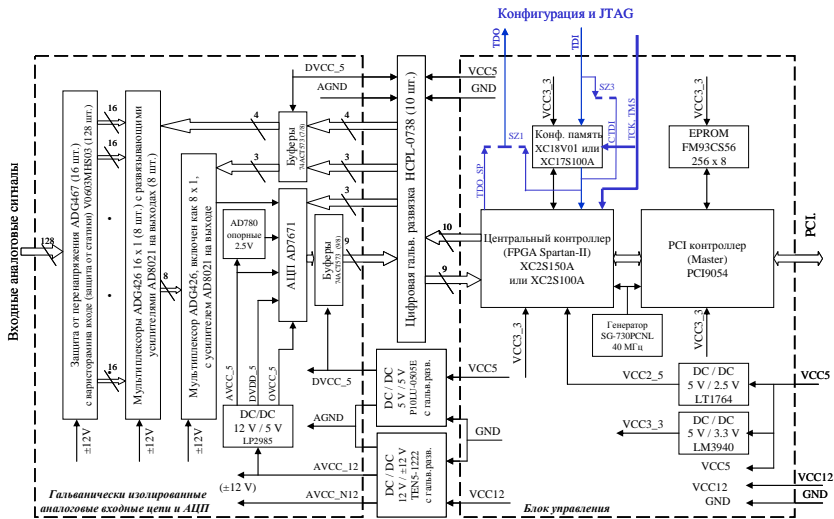


Рис. 2. Функциональная схема микроконтроллера

Разработанная система контроля и управления ЧП для изготовления полупроводниковых пластин обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими системами. Систему можно наращивать по числу каналов информации и по числу управляемых ЧП, изменять значения параметров управления, достаточно просто перестраивать на другие наборы параметров под различные операции производства микросредств.

Библиографический список

1. Технология изделий интегральной электроники: учеб. пособие / под общ. ред. А.П. Достанко и Л.И. Гурского. – Минск: «Интегралполиграф», 2009. -379 с.
2. <http://www.cleanroomparts.ru/o-chistiykh-pomeshcheniyakh/klassy-chistoty.html> – техника и технологии чистых помещений

УДК 621.316.54

Н.А. Беляева

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

В.П. Ларин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Задачей данной публикации является проведение анализа ЭКБ с целью формирования перечня компонентов и их исполнения для выполнения последующих исследований применимости в аппаратуре спутников связи.

Элементы ЭКБ выбирались для исследования, анализа и выбора под требования функционирования вычислительных систем (ВС), исходя из эксплуатационных качеств, функциональных и технологических параметров, с учетом перспективы применения, качества и долгосрочности сопровождения их производства, совместимости с другими компонентами.

При выборе элементной базы особое внимание обращалось на требования механической и климатической стойкости, предъявляемые к разрабатываемой аппаратуре. Выполнение крайних жестких требований стойкости к внешним влияющим факторам (ВВФ) диктует необходимость надежного механического крепления элементов на печатной плате (ПП), гарантированный отвод тепла, защиту элементов и паяных соединений от воздействия влаги, агрессивных сред. При условии применения отечественной ЭКБ и материалов это возможно только при использовании на ПП элементов (прежде всего микросхем) поверхностного монтажа (планарного, SMD) в металлокерамических корпусах, с расположением выводов по периметру корпуса. Применение ИМС в пластмассовых корпусах допустимо при соответствии характеристик микросхем требованиям группы эксплуатации аппаратуры.

При выборе ЭКБ особое внимание уделялось достижению унификации и минимизации номенклатуры компонентов, используемых для построения модулей и блоков ВС.

Все элементы электронной компонентной базы (ЭКБ) разделены на следующие группы:

- сетевые БИС;
- программируемые логические ИС (ПЛИС);
- микропроцессоры;
- БИС памяти (RAM и Flash);
- прочие ИМС: рассыпная логика – ИМС малой степени интеграции, микросхемы ЦОС, генераторы, преобразователи уровней и т.п.

Критерии отбора ЭКБ. Элементы ЭКБ выбирались для исследования, анализа и выбора под требования функционирования вычислительных систем (ВС), исходя из эксплуатационных качеств, функциональных и технологических параметров, с учетом перспективы применения, качества и долгосрочности сопровождения их производства, совместимости с другими компонентами.

В настоящее время широко применяются микросхемы в BGA корпусах, обеспечивающих повышенную плотность монтажа. Однако, ведущие производители микросхем с целью повышения надежности характеристик изделий ограничивают применение BGA корпусов в военной и космической технике. Как правило, штатно применяются микросхемы в металлокерамических корпусах в планарном исполнении, а BGA ИМС используются для отладки и мягких условий эксплуатации.

Например, фирма «Аэрофлекс Микроэлектроник» («Aeroflex Microelectronic») выпускает каждый тип микросхем в трех исполнениях корпуса: планарном, штыревом и BGA, и потребитель самостоятельно выбирает тип корпуса ИМС под свои требования.

Конструктивная особенность BGA корпуса – матрица шариковых выводов – диктует специфические требования к разводке печатной платы, технологии ее изготовления и монтажа. Имеются и другие особенности применения микросхем в BGA корпусах:

а) для монтажа микросхем в BGA-корпусах требуется специализированное дорогостоящее оборудование: конвекционная печь и аппарат для рентгеновского контроля, требующие высококвалифицированного обслуживающего персонала;

б) качественная трассировка печатной платы с использованием ИМС в BGA корпусах возможна только на многослойной печатной плате (МПП), минимум 8 слоев, 4 или 5 класса точности. Ремонт и доработки таких плат технологически сложны, высок риск повреждения;

в) пластмассовый корпус разрешен к применению в группах эксплуатации 1.2.3; 2.1.1; 2.2.1; 2.4.1; 2.5.1; 2.5.2; 2.6.1; 2.6.2; 2.7 в терминах ГОСТ РВ 20. 39.304-98. Применение разных микросхем в разных группах ведет к разунификации изделия, к увеличению его цены.

Выводы по BGA корпусам:

Использование ИМС в BGA-корпусах повышает стоимость разработки, изготовления и сопровождения аппаратуры; требует узкоспециализированной квалификации персонала; пластмассовое исполнение корпуса ограничивает применение по группам эксплуатации. Таким образом, использование в ВС для жёстких условий эксплуатации микросхем в BGA корпусах не целесообразно.

Анализ микропроцессоров. Список микропроцессоров сформирован на базе перечня МОП-44. Из списка исключены все микросхемы с восьмиразрядным ядром и шестнадцатиразрядные ИМС с производительностью менее 15 MIPS как неперспективные и неэффективные для построения современных процессорных устройств с высокой производительностью (табл. 1).

Таблица 1

Анализ микропроцессоров серии 1896

	1986BE91T1	1986BE91T2	1986BE91T3	1986BE91Y1	1986BE91Y2	1986BE91Y3
Корпус	132	108	88	64	48	42
Ядро	ARM Cortex-M3					
ПЗУ	128 Кбайт Flash					
ОЗУ	32 Кбайт					
Питание	2,0...3,6 В					
Частота	80 МГц					
Температура	Минус 60 ... + 125 С°					
Порты ВВ	96	74	62	45	31	25
USB	Device и Host FS (до 12 Мбит/с) встроенный PNY					
UART	2	2	2	2	2	2
CAN	2	2	2	2	1	1
SPI	2	2	2	2	1	1
АЦП 12р 1Мвыборка/с	16 каналов	16 каналов	10 каналов	8 каналов	5 каналов	3 канала
ЦАП 12р.	2	1	2	1	1	1
Компаратор	3 входа	3 входа	3 входа	2 входа	2 входа	нет
Шина	32 р.	16 р.	16 р.	8 р.	8 р.	нет

Дальнейший анализ проводился на основании соответствия общим критериями отбора ЭКБ и следующим требованиям, изложенным ниже:

а) высокие параметры стойкости к ВВФ. ИМС должна соответствовать унифицированным требованиям стойкости к ВВФ предъявляемыми к ВС согласно ТЗ.

б) некритичные требования к технологичности изготовления, позволяющие по максимуму использовать не новое и не самое современное технологическое оборудование, имеющееся на отечественных предприятиях. Требования к технологичности зависят от габаритов и геометрии корпуса, длины и шага выводов микросхемы, метода пайки, состава припоя, необходимостью оснастки для тех или иных операций и т.п.

в) по предварительным оценкам собственная производительность микропроцессора на уровне от 30 до 50 MIPS решает задачи организации вычислительного процесса на всех уровнях управления. Процессоры следующего порядка производительности имеют более сложную архитектуру; как правило, предназначены для специфической сложной обработки потоков и массивов данных; чаще всего оборудованы специализированными интерфейсами; работая в распределенных вычислительных системах, используют малый процент своих возможностей; требуют больше времени в освоении и отладке, что в совокупности, выводит на первый план неблагоприятное соотношение между эффективностью применения, и ценой, сложностью изготовления и отладки.

г) отдельно следует учесть критерий отбора скорости работы с внешней памятью: при использовании отечественной ЭКБ производительность процессора в основном определяется не величиной его тактовой частоты, а быстродействием используемой внешней памяти. Со встроенной памятью быстродействие максимально, но типовые размеры встроенной памяти (2-128Кбайт) не соответствуют современным требованиям программного обеспечения к ее объемам (0,5-1 Мбайт), т.е. быстродействие процессора ограничивается временными характеристиками микросхем внешней памяти. На сегодняшний день в качестве отечественной быстродействующей внешней памяти возможно использование только типа SRAM, и быстродействие процессорного ядра в основном будет определяться ее быстродействием. SRAM серии 1645PУ3, PУ4 обладает временем выборки 25-35нс, что с учетом задержки работы схем буферизации и дешифрации адреса обеспечивает быстродействие порядка 12-15MIPS. Использование памяти типа SDRAM, обеспечивает большее быстродействие, но ИМС SDRAM отсутствуют в перечне МОП-44, возможно использовать только импорт. Таким образом, применение быстродействующих процессоров эффективно при работе с собственным встроенным ОЗУ и использование отечественных микросхем внешней памяти SRAM совместно с процессорами производительностью выше 15MIPS не эффективно. В отдельных процессорах эту ситуацию частично выправляет наличие КЭШ команд и КЭШ данных, но кэширование ускоряет только чтение и только повторяющейся информации. В результате, одним из требований к процессорам становится наличие и использование большого объема встроенной памяти, как ОЗУ, так и ПЗУ, способной работать на максимальной частоте процессора.

Выводы по результатам анализа микропроцессоров.

Необходимой стойкостью к ВВСФ из представленных микросхем обладают серии 1867, 1892, 1986, 1901, 5890.

Большинство анализируемых процессоров – Л1879ВМ1, Л1879ВМ2, 1890ВМ5Ф, 5890ВЕ1Т, 1891ВМ1, 1891ВМ2, 1891ВМ3Я, 1891ВМ4Я, 1892ВМ5Я, 1892ВМ8Я – выпускаются в ВГА-корпусе, что резко ограничивает их применение.

Выпускаемые в надежных планарных металлокерамических корпусах процессоры 1867ВЦ2АТ, 1890ВМ1, 5890ВМТ обладают низкой производительностью, недостаточной для решения функциональных вычислительных задач.

Процессор 1867ВЦ2АТ реализуют неэффективную устаревшую 16-и разрядную архитектуру.

Процессор Л1879ВМ2 реализуют векторную архитектуру, предназначенную для решения специфических вычислительных задач.

За исключением Л1879ВМ2, 1986ВЕ91Т, 1901ВЦ1Т и всей серии 1891 у процессоров отсутствует (или нет достаточного объема) встроенное ОЗУ. Это ограничивает объемы быстрых операций с его применением и ведет к использованию микросхем внешнего ОЗУ с соответствующими ограничениями скорости записи/чтения информации и, как следствие, снижению производительности.

За исключением 1986ВЕ91Т, 1901ВЦ1Т у процессоров отсутствует (или нет достаточного объема) встроенное Flash-ПЗУ. Это ведет к применению микросхем внешнего Flash-ПЗУ с соответствующими ограничениями скорости.

Процессоры 1867ВЦ6Ф, Л1879ВМ2, 1890ВЦ3Т, 1892ВМ8Я не включены в МОП-44.

Процессоры серии 1891 работают только с SDRAM памятью и только с РСІ-интерфейсом, который не является открытым стандартом. ИМС памяти типа SDRAM отсутствует в ограничительном перечне МОП-44.

Также следует отметить высокий уровень энергопотребления процессоров 1891 и, как следствие, необходимость рассеивания большой мощности с корпуса процессора – до 6-15Вт.

В технологически удобном планарном металлокерамическом корпусе с высокими показателями СВВФ, с наибольшим объемом встроенной памяти в РФ выпускаются СБИС 1986ВЕ1Т и 1901ВЦ1Т, 32 Кбайт ОЗУ плюс 128 Кбайт Flash памяти, и 128 Кбайт ОЗУ плюс 128 Кбайт Flash памяти, соответственно.

Для достижения максимальной унификации и минимизации номенклатуры и количества типов отечественных ИМС, используемых при построении ВС, в качестве основного целесообразно применять процессор 1986ВЕ91Т на базе процессорного ядра ARM Cortex-M3. Выпуск ИМС серии 1986ВЕ91 в корпусах шести типов с различными аппаратными ресурсами периферии (табл. 2) позволяет применять одно и то же процессорное ядро в аппаратуре с различными интерфейсами и вычислительными задачами. А также, применять в различных модулях подобные (или аналогичные) компоненты ШПО модулей, что является важным шагом на пути к унификации программно-аппаратных ресурсов.

В качестве перспективного процессора замены 1986ВЕ91Т необходимо рассматривать микросхему 1901ВЦ1Т, изготавливаемого на базе ядер ARM Cortex-M3 и TMS320C54, совмещенных на одном кристалле (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительная характеристика микросхем 1986ВЕ91Т и 1901ВЦ1Т

Характеристика \ ИМС	1986ВЕ91Т1	1901ВЦ1Т
Корпус	Планар 132	Планар 132
Ядро	ARM Cortex-M3	ARM Cortex-M3/TMS320C54
ПЗУ	128 Кбайт Flash	
ОЗУ	32 Кбайт	32 Кбайт/256 Кбайт
Питание	2,0...3,6 В	
Частота	80 МГц	80 МГц/120 МГц
Температура	Минус 60 ... + 125 С°	
Порты ВВ	96	96
USB	Device и Host FS (до 12 Мбит/с) встроенный PHY	
UART	2	3
CAN	2	-
SPI	2	3
Блок шифрования ГОСТ 28147-89	-	+
АЦП 12р 1Мвыборка/с	16 каналов	2 канала
ЦАП 12р.	2	2
Аудиокодек	-	+
Компаратор	3 входа	2 входа
Шина	32 р.	32 р.

Таким образом, сформирован перечень ЭКБ, рекомендуемой для использования в ВС космической аппаратуры.

Библиографический список

1. Руководство по эксплуатации LDM-K1986ВЕ92Q1 – LDM-SYSTEMS. <https://www.ldm-systems.ru/f/doc/catalog>
2. Новости – Современная электроника. <https://www.soel.ru/.../razrabotan-tekhprotsess- proizvodstva-grafenovykh-tranzistoro>

УДК 620.190

Е. В. Богданов

магистрант кафедры конструирования и технологии лазерных и электронных средств

В.П. Пашков

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО УЗЛА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

В статье проводится сравнение результатов применения современных программных комплексов для расчета прочности узлов на печатной плате (ПП). В качестве объекта расчетов используется электронный узел на печатной плате. Прочностные расчеты ведутся по конечноэлементным моделям с использованием программных комплексов «SolidWorks 2016» и «ANSYS 16».

Основными целями статических расчетов узлов на ПП являются обеспечение их прочности, жесткости и устойчивости при действии эксплуатационных нагрузок. Прочность конструкций обеспечивается подбором характеристик их элементов, исключая возможность появления пластических деформаций и повреждений в любых условиях работы [1]. Анализ прочностных характеристик конструкций может быть произведен с помощью различных вычислительных программных комплексов. В частности, для этого могут быть использованы конечноэлементные программные комплексы (ПК) «SolidWorks» и «ANSYS».

Исходные данные: печатная плата с параметрами $a=120\text{ мм}$, $b=100\text{ мм}$, $h=1,5\text{ мм}$, масса элементов $Q_{\text{эрс}} = 35\text{ гр.}$, материал ПП СТЭФ. В табл. 1 приведены характеристики материала ПП, а в табл. 2 показан вариант закрепления платы в изделии.

На рис. 1 приведена 3D-модель исследуемой печатной платы.



Таблица 1

Характеристики материала печатной платы

Марка материала	Плотность ρ , г/см ³	Модуль упругости $E \cdot 10^6$, Н/см ²	Коэффициент Пуассона
СТЭФ	2,47	3,3	0,279

Таблица 2

Вариант закрепления печатной платы

№	Вариант закрепления	k_{α}
1		22.37
2		44.371

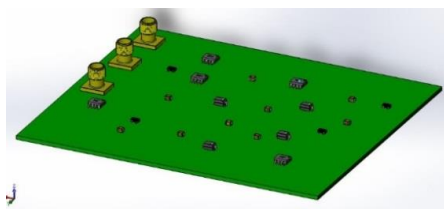


Рис. 1. 3D-модель печатной платы

Произведем расчет собственных частот ПП.

1. Находим площадь ПП: $S_{пп} = a \cdot b$; $S_{пп} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$;
2. Зная плотность материала, определим массу платы: $M_{пп} = \rho_{пп} S_{пп} h$; $M_{пп} = 0,044 \text{ кг}$.
3. Цилиндрическая жесткость материала ПП, D , н*м: $D = E \cdot \frac{h^3}{12(1-\mu^2)}$; $D = 10,065$

4. Приведенная к площади пластины масса радиоэлементов и ПП:

$$\frac{Q_{зрз} + Q_{пп}}{S_{пп}} = 6,622 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2};$$

5. Собственная частота ПП определяется по формуле: $f_0 = \left(\frac{K_{\alpha}}{2\pi a^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{m_n}}$ Гц

$$\text{Для первого варианта закрепления: } f_0 = \left(\frac{K_{\alpha}}{2\pi a^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{m_n}} = 304,81 \text{ Гц}$$

$$\text{Для второго варианта закрепления: } f_0 = \left(\frac{K_{\alpha}}{2\pi a^2} \right) \cdot \sqrt{\frac{D}{m_n}} = 608,97 \text{ Гц}$$

Расчет в программных комплексах

Для упрощения проведения расчета массу ПП представим как сумму массы печатного основания с массой ЭРЭ:

$$M_{\text{общ}} = M_{пп} + Q_{зрз} = 0,079 \text{ Кг}$$

Пересчитаем плотность печатной платы так, чтобы печатный модуль с размерами расчетной ПП имел массу 0,079Кг.

$$\rho_{пп} = \frac{M_{\text{общ}}}{S_{пп} h} = 4,414 \cdot 10^3 \text{ г / см}^2$$

Расчет в программном комплексе "ANSYS"[2].

Зададим граничные условия, совпадающие с первым вариантом закрепления ПП (рис. 2.)

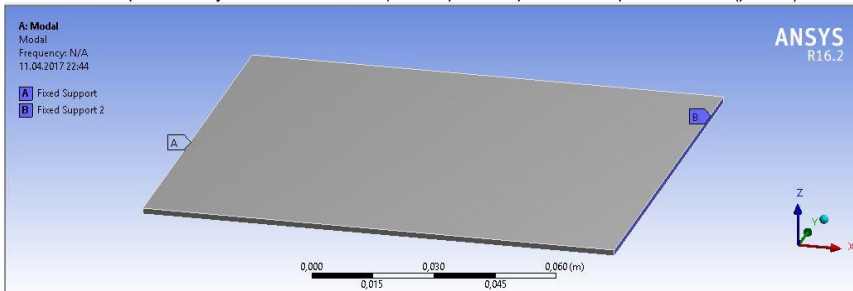


Рис. 2. Граничные условия закрепления ПП

В связи с простотой расчета тонкая настройка сетки не производится, сетка генерируется в автоматическом режиме (рис. 3).

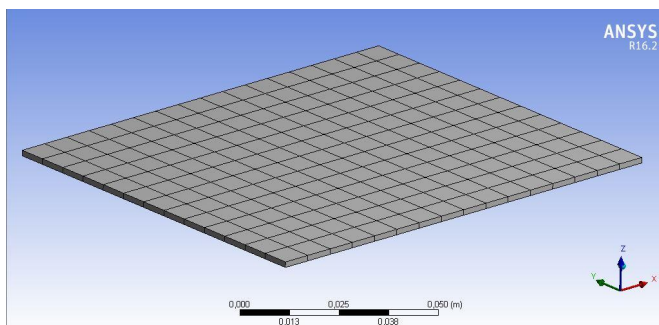


Рис. 3. Конечноэлементная сетка

Результат вычисления приведен на рис. 4.

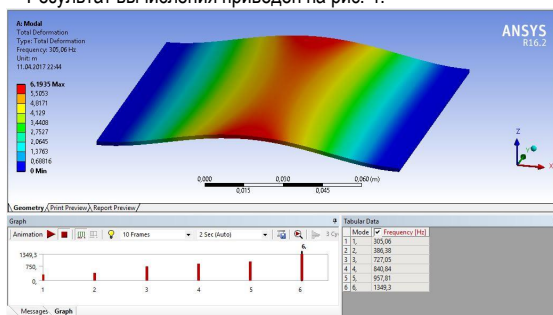


Рис. 4. Результат вычисления

Tabular Data		
Mode	Frequency [Hz]	
1	305,06	
2	386,38	
3	727,05	
4	840,84	
5	957,81	
6	1349,3	

Рис.5. Собственные частоты ПП

В результате вычисления были найдены 6 первых собственных частот ПП (рис. 5), а также получены формы колебаний на каждой резонансной частоте.

Результат вычисления представлен на рис. 6, собственные частоты ПП представлены на рис.10.

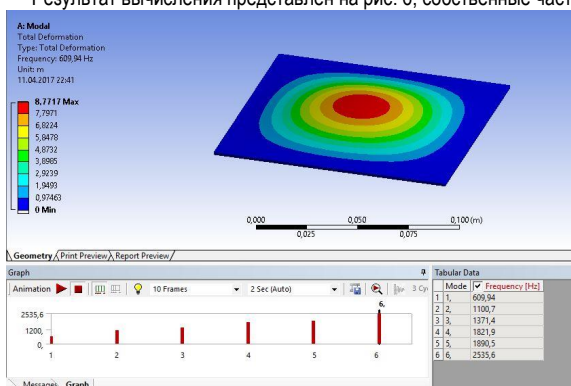


Рис.6. Результат вычислений

Tabular Data		
Mode	Frequency [Hz]	
1	609,94	
2	1100,7	
3	1371,4	
4	1821,9	
5	1890,5	
6	2535,6	

Рис. 7. Собственные частоты ПП

Расчет в программном комплексе SolidWorks [3].

В связи с простотой расчета тонкая настройка сетки не производится, сетка генерируется в автоматическом режиме.

Результат вычисления приведен на рис. 8.

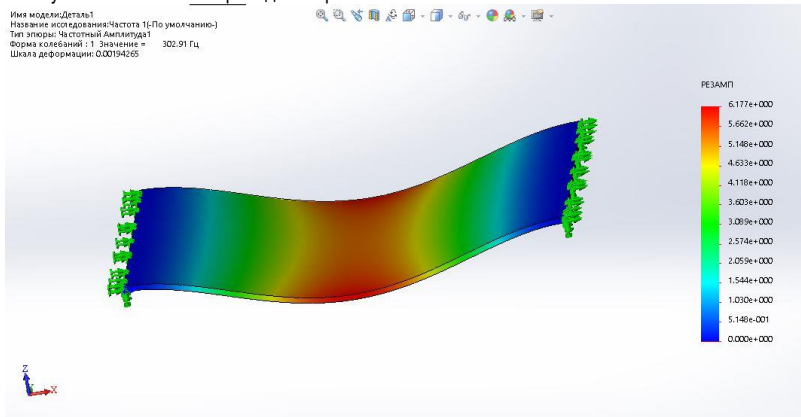


Рис. 8. Результат вычисления

Зададим граничные условия, совпадающие с первым вариантом закрепления ПП (рис. 9).

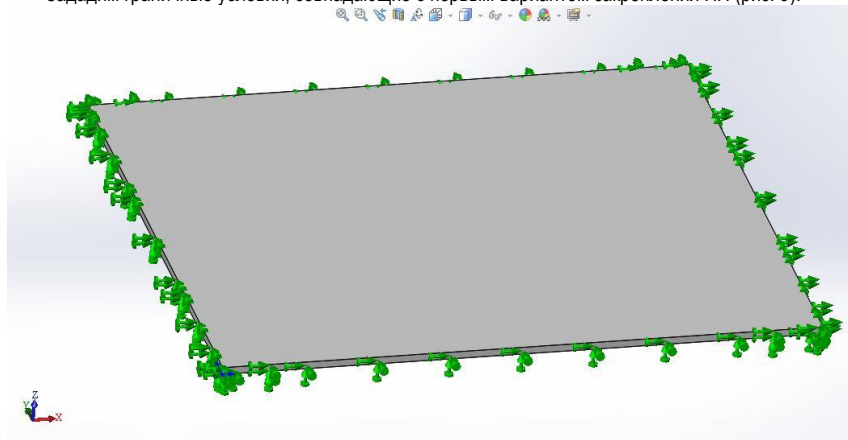


Рис.9. Граничные условия закрепления ПП

Результат вычисления приведен на рис. 10.

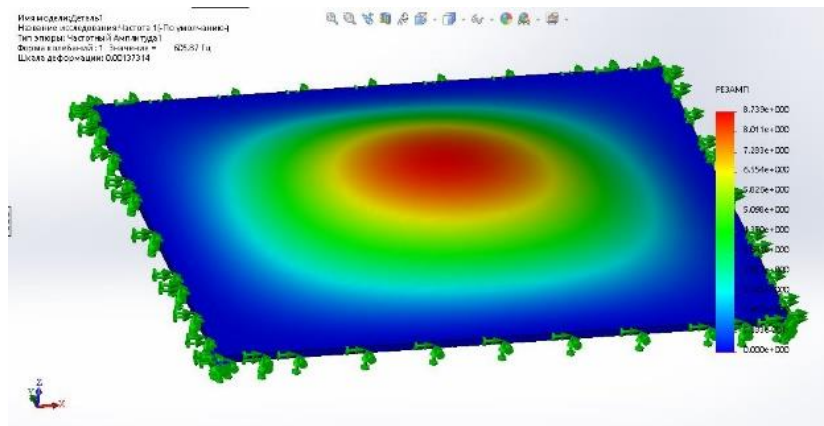


Рис.10. Результат вычисления

Таблица 3

Вариант закрепления	Результаты исследований				
	Собственная частота F_0 , Гц				
	Ansys	Погр. %	SolidWorks	Погр. %	Расчетная
	305,06	0,08	302,91	0,63	304,81
	609,94	0,16	605,87	0,51	608,97 Гц

В результате исследований можно сделать вывод, что оба программного продукта обеспечивают высокую точность расчетов. Однако, погрешность программного продукта ANSYS в обоих случаях оказалась меньше. Поэтому при расчетах сложных задач предпочтительней пользоваться программным пакетом ANSYS. Высокая точность данного программного пакета достигается за счет построения более качественной сетки, а присутствие возможности ее тонкой настройки обеспечивает высокую точность расчета даже самых сложных задач.

Библиографический список

1. Пашков В.П. Методы и устройства для испытаний изделий аэрокосмической техники: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2012.
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: справочное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
3. Прохоренко В.П. SolidWorks. Практическое руководство, М.: ООО "Бином Пресс", 2004. – 448 с.

УДК 543.27-43

В.И. Бубнов

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

Б.Г. Филатов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ВЫБОР ДАТЧИКА ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

В настоящее время для экологического мониторинга промышленных и жилых зон, решения задач обеспечения жизнедеятельности персонала ответственных объектов используются автоматические многокомпонентные газоанализаторы, которые замещают высокоточные, но громоздкие и дорогостоящие классические газоаналитические системы (хроматографы, спектрометры), основным конструктивным элементом которых являются газочувствительные датчики.

Для решения широкого класса задач (контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны химических предприятий, переработки газа и нефти, контроля и автоматизации технологических процессов, раннего обнаружения пожаров, контроля параметров воздушной среды на предприятиях атомной промышленности и подводных лодках) требуется оперативное определение концентраций компонентов газовых смесей. При этом, для предотвращения аварийных и нестандартных производственных ситуаций концентрации компонентов газовых смесей необходимо определять с высокой точностью.

Погрешности при определении концентраций компонентов газовых смесей многокомпонентными газоанализаторами могут возникать в результате воздействия внешних возмущающих факторов, таких как перекрестная чувствительность датчиков, входящих в состав многокомпонентного газоанализатора, по отношению к другим компонентам газовой смеси, а также давление, влажность окружающей среды и температура. В связи с этим основной целью при выборе датчика для портативного газоанализатора является повышение селективности с учетом перекрестной чувствительности каналов, в зависимости от комбинации датчиков в составе газоанализатора, при подаче различных газов и их смесей при воздействии давления, влажности и температуры.[1]

Проблема повышения селективности и снижения погрешностей автоматических приборов, предназначенных для непрерывного анализа состава воздушной среды, в том числе многокомпонентных газоанализаторов, является актуальной научной проблемой, которой посвящено значительное количество научных трудов. Подавляющее большинство научных работ направлено на снижение погрешностей определения концентраций компонентов газовых смесей многокомпонентными газоанализаторами с электрохимическими датчиками, возникающих в результате перекрестной чувствительности газочувствительных датчиков. При этом применение в газовом анализе электрохимических датчиков позволяет повысить общую эффективность приборов газового анализа за счет повышения их быстродействия, срока службы и значительного уменьшения стоимости. Высокая селективность датчиков такого типа обеспечивается природой основной электродной химической реакции. Регулировать чувствительность и селективность электрохимических датчиков, можно варьируя состав электролита, а также состав и структуру электродного материала. Помимо этого, возможны следующие дополнительные методы повышения селективности этих датчиков:

- применение молекулярных фильтров, пропускающих только молекулы определяемого газа;
- использование замкнутого цикла реакций, когда образующиеся ионы и продукты реакции на одном электроде, используются в реакции, протекающей на другом электроде;
- введение дополнительных электродов: четырехэлектродные датчики и электрод сравнения.

Среди разрабатываемых приборов, предназначенных для непрерывного анализа газовых сред можно выделить три основные группы: мультисенсорные системы, представляющие собой матрицы на основе однотипных сенсоров (чаще электрохимических и полупроводниковых), многокомпонентные газоанализаторы на основе одного полупроводникового датчика, работающего в ре-

жиге термоциклирования и многокомпонентные газоанализаторы на основе нескольких однотипных или различных типов датчиков.

Анализ научных трудов, направленных на уменьшение погрешностей, связанных с перекрестной чувствительностью датчиков, позволил выделить два основных пути разрешения данной проблемы: использование методов обработки сигналов датчиков и разработка новых или совершенствование существующих газочувствительных датчиков (поиск легирующих добавок и материалов).

В подавляющем большинстве научных работ для обработки сигналов датчиков с целью повышения селективности измерений наиболее часто встречается использование аппарата искусственных нейронных сетей, а также численные методы решения нелинейных уравнений и их систем.

Однако, достигнутые результаты в ряде научных работ, посвященных повышению селективности газочувствительных датчиков, нашли свое применение в системах «Электронный нос», использующихся для распознавания составов газовых смесей, а при количественном анализе газовых смесей, не учитывалось комплексное влияние факторов окружающей среды, что при совместной обработке сигналов датчиков может привести к значительному увеличению количества погрешностей.

Технологическая сложность процесса изготовления новых и модифицированных газочувствительных датчиков, низкая стабильность и воспроизводимость характеристик, получаемых образцов, препятствуют их внедрению в массовое производство, что существенно ограничивает область их использования.

Для повышения селективности и снижения погрешностей определения концентрации компонентов газовых смесей, связанных с влиянием факторов окружающей среды, используются технические и технологические решения (методики пробоподготовки [2], температурная стабилизация корпуса датчиков [3], импульсный режим нагрева газочувствительных датчиков для снижения влияния влажности [4]) и различные методы и алгоритмы обработки сигналов датчиков.

Однако, применяемые технические и технологические решения в большинстве случаев не обеспечивают требуемый уровень погрешностей, снижают быстродействие и увеличивают стоимость приборов, не позволяя при этом осуществить комплексное подавление влияния факторов окружающей среды. Применяемые алгоритмы обработки информации базируются на методах решения систем линейных уравнений или заключаются в нахождении функции обратного преобразования для уравнений невысокой сложности. Применение таких алгоритмов для решения систем многопараметрических нелинейных уравнений практически невозможно, так как потребуются введение значительного числа упрощений, например, линеаризации функций преобразования, что приведет к значительным погрешностям. Учитывая то, что применение технических и технологических решений не только не обеспечивает требуемый уровень погрешностей, но и снижает общую эффективность многокомпонентных газоанализаторов, применение методов совместной обработки сигналов датчиков является наиболее перспективным. При этом актуальной является задача поиска такого метода обработки информации, который бы позволил обеспечить комплексное снижение погрешностей, вызванных перекрестной чувствительностью датчиков и влиянием окружающей среды. Учитывая, что наибольшей эффективностью для решения задач повышения селективности измерений обладает метод нейронных сетей, острой научно-технической проблемой является создание многокомпонентных газоанализаторов на основе нейронных сетей, обеспечивающих одновременное проведение количественного анализа для установления концентраций компонентов, повышение селективности и снижение чувствительности к факторам окружающей среды.

Анализ характеристик выпускаемых промышленностью газочувствительных датчиков показал, что применяемые методы повышения селективности измерений (применение систем пробоподготовки) снижают их общую эффективность и не позволяют достичь высокой точности измерений. Показано, что для повышения качественных характеристик газоанализаторов целесообразно использовать датчики электрохимического и полупроводникового типов, а для снижения погрешно-

стей измерений использовать методы совместной обработки сигналов датчиков на основе нейронных сетей.

Библиографический список

1. *Айвазов Б.В.* Введение в хроматографию. М.:Высш.школа. 1983. 240 с.
2. *Кораблев В.А.* Устройство термостатирования проб газа в газоанализаторах. Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. Исследования и разработки в области физики и приборостроения. - 2006. – Вып.31. -С.91-93.
3. *Hughes R.C.* Electro-thermal modeling of a microbridge gas sensor. R.C. Hughes, R.P. Manginell, J.H. Smith, A. J. Ricco, D.J. Moreno Sandia National laboratories. – 1997. -P. 360-371.
4. *Анисимов О.И.* Исследование отклика тонкопленочного сенсора на основе оксида олова в импульсном режиме для различных газов. О.В. Анисимов, Н.К. Максимова, Е.Ю. Севастьянов, Е.В. Черников Известия вузов. Физика. – 2006. – №3. – С. 186-187.

УДК 681.5.09

Д.В. Гусев

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств.

О.М. Филонов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель.

ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

Современные автоматизированные технологии основываются на применении гибких производственных комплексов, робототехники, компьютерной техники. Гибкий производственный комплекс (ГПК) – комплекс, состоящий из нескольких гибких производственных модулей, объединенных автоматизированной системой управления и автоматизированной транспортно-складской системой, автономно функционирующей в течение заданного интервала времени и имеющей возможность встраивания в систему более высокого уровня автоматизации. Преимущество ГПК в мелкосерийном, многономенклатурном производстве, заключается в быстром реагировании на возникающие в производственном процессе возмущения. Но оно действует только при надежном функционировании ГПК. В случае отказа возникают проблемы более значительные, чем при обычной неавтоматизированной технологии [1].

Следовательно, необходимо создать методику оперативной оценки надежности, ориентированной на вычислительную технику, которая будет с помощью статистических методов позволять прогнозировать возникновение сбоев и оптимизировать процесс отладки отказов системы. Это в значительной степени повысит экономические показатели системы. Воспользуемся традиционной методикой ориентировочной оценки надежности, которая позволяет решать следующие задачи:

1. Получить зависимости $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ и $P_4(t)$ в зависимости от изменения интенсивностей ($\omega, \mu, \lambda, v = const$)
2. Определить время переходного процесса изменения вероятностей $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ и $P_4(t)$.
3. Определить коэффициент готовности системы.

Методику анализа ГПК можно рассмотреть на примере ориентировочного расчета ГПК, состоящего из двух модулей [1]. Потоки отказов и восстановлений ТО и СУ – простейшие. ТО имеет поток отказов ω и поток восстановлений μ . СУ имеет поток отказов λ и поток восстановлений v , ($\omega, \mu, \lambda, v = const$).

Состояния системы определяются следующим образом (рис. 1):

- E1 – система "СУ-ТО" – работоспособна; (P/P)
- E2 – СУ – работоспособна, ТО – отказало; (O/P)
- E3 – СУ – отказала, ТО – работоспособно; (P/O)
- E4 – СУ – отказала, ТО – отказало (O/O).

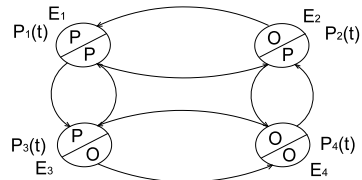


Рис. 1. Граф состояний и переходов надежности гибкого производственного модуля.

Составление графа переходов (рис. 1) осуществляется расположением на плоскости состояний системы E1 – P/P, E2 – O/P, E3 – P/O, и E4 – O/O. Каждому состоянию системы соответствуют вероятности нахождения системы в каждом из этих состояний $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ и $P_4(t)$. Далее фиксируются переходы системы из одного состояния в другое. Например, из состояния E1 в состояние E2 система переходит с интенсивностью отказов ТО – ω . Этот переход представлен стрелкой. Обратный переход осуществляется с интенсивностью μ . Аналогично представляются все возможные остальные переходы. Судя по графику, система состояний является замкнутой, т.е. из любого состояния есть обрат-

ный переход в другое состояние. Это означает, что в замкнутой системе стационарный режим существует всегда.

Следующим этапом является составление дифференциальных уравнений Колмогорова. Для составления первого уравнения рассмотрим изменение вероятности $P_1(t)$ нахождения системы в состоянии E1. Вероятность нахождения системы в состоянии E1 через время Δt определяется соотношением

$$P_1(t + \Delta t) = P_1[1 - (\omega + \lambda)\Delta t] + P_2(t)\mu\Delta t + P_3(t)\nu\Delta t;$$

Первый член выражения, $P_1[1 - (\omega + \lambda)\Delta t]$, показывает вероятность того, что система, находясь в состоянии E1, за время Δt либо не изменит своего состояния, либо перейдет в состояние E2 с интенсивностью отказов ТО – ω , или E3 с интенсивностью μ . Выражение $P_2(t)\mu\Delta t$ – вероятность того, что система, находясь в состоянии E2, за время Δt перейдет в состояние E1, а слагаемое $P_3(t)\nu\Delta t$ – вероятность перехода системы из состояния E3 в состояние E1.

Аналогично для состояний E2 и E3

$$P_2(t + \Delta t) = P_2[1 - (\mu + \lambda)\Delta t] + P_1(t)\omega\Delta t + P_4(t)\nu\Delta t;$$

$$P_3(t + \Delta t) = P_3[1 - (\nu + \omega)\Delta t] + P_1(t)\lambda\Delta t + P_4(t)\mu\Delta t;$$

Четвертое уравнение может быть получено из первых трех, следовательно, оно не записывается.

Разделив эти уравнения на Δt и взяв производную, получим систему уравнений Колмогорова

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_1(t)}{\partial t} &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_1(t + \Delta t) - P_1(t)}{\Delta t} \\ \frac{\partial P_1(t)}{\partial t} &= -(\omega + \lambda)P_1(t) + \mu P_2(t) + \nu P_3(t) \\ \frac{\partial P_2(t)}{\partial t} &= -(\mu + \lambda)P_2(t) + \omega P_1(t) + \nu P_4(t) \\ \frac{\partial P_3(t)}{\partial t} &= -(\nu + \omega)P_3(t) + \lambda P_1(t) + \mu P_4(t) \\ P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) &= 1 \end{aligned}$$

Четвертое уравнение представляет собой условие полной группы событий. Система уравнений Колмогорова включает столько уравнений, сколько вершин в графе состояния объекта. При этом учитывается условие полной группы событий, т.е. $\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1$.

Исходные данные для решения уравнений: $\omega = 0,5; \lambda = 0,8; \mu = 0,25; \nu = 0,25;$

Шаг $\Delta t = 0,2; P_1 = 1; P_2 = 0; P_3 = 0; P_4 = 0$

Таблица 1

Результаты решения системы дифференциальных уравнений надежности ГПК

№	V1	V2	V3	V4	P1	P2	P3	P4	SUM
1	-0,26	0,1	0,16	0	0,74	0,1	0,16	0	1
2	-0,1794	0,053	0,0944	0,032	0,5606	0,153	0,2544	0,032	1
3	-0,1253	0,0255	0,0531	0,0467	0,4352	0,1785	0,3075	0,0787	1
4	-0,0888	0,0099	0,0274	0,0514	0,3463	0,1884	0,3349	0,1301	1
5	-0,0638	0,0016	0,0116	0,0506	0,2824	0,1900	0,3466	0,1808	1
6	-0,0466	-0,0026	0,0022	0,0469	0,2358	0,1874	0,3488	0,2278	1
7	-0,0345	-0,0043	-0,0032	0,0420	0,2013	0,1830	0,3450	0,2698	1
8	-0,0259	-0,0048	-0,0061	0,0368	0,1754	0,1782	0,3395	0,3067	1
9	-0,0197	-0,0045	-0,0075	0,0317	0,1557	0,1736	0,3320	0,3385	1
10	-0,0152	-0,0039	-0,0079	0,0271	0,1405	0,1697	0,3240	0,3657	1
11	-0,0118	-0,003	-0,0078	0,0229	0,1286	0,1664	0,3162	0,3886	1
12	-0,0093	-0,0026	-0,0074	0,0193	0,1193	0,1637	0,3088	0,4080	1
13	-0,0074	-0,0020	-0,0068	0,0162	0,1119	0,1617	0,3019	0,4243	1
14	-0,0059	-0,0015	-0,0061	0,0136	0,1060	0,1601	0,2958	0,4379	1

№	V1	V2	V3	V4	P1	P2	P3	P4	SUM
15	-0,0047	-0,0011	-0,0055	0,0114	0,1012	0,1590	0,2903	0,4493	1
16	-0,0038	-0,0008	-0,0048	0,0095	0,0973	0,1582	0,2854	0,4589	1
17	-0,0031	-0,0005	-0,0042	0,0079	0,0942	0,1576	0,2811	0,4669	1
18	-0,0025	-0,0003	-0,0037	0,0066	0,0916	0,1573	0,2774	0,4735	1
19	-0,0021	-0,0002	-0,0032	0,0055	0,0895	0,1571	0,2741	0,4791	1
20	-0,0017	-8,7E-5	-0,0028	0,0046	0,0878	0,1570	0,2713	0,4837	1
21	-0,0014	-9,1E-6	-0,0024	0,0038	0,0864	0,1570	0,2688	0,4876	1
22	-0,0011	4,45E-5	-0,0021	0,0032	0,0852	0,1570	0,2667	0,4908	1
23	-0,0009	7,99E-5	-0,0018	0,0027	0,0842	0,1571	0,2649	0,4936	1
24	-0,0008	0,0001	-0,0015	0,0022	0,0834	0,1572	0,2633	0,4958	1
25	-0,0006	0,0001	-0,0013	0,0019	0,0828	0,1573	0,2619	0,4978	1
26	-0,0005	0,0001	-0,0011	0,0016	0,0822	0,1575	0,2608	0,4994	1
27	-0,0004	0,0001	-0,001	0,0013	0,0817	0,1576	0,2598	0,5007	1
28	-0,0003	0,0001	-0,0008	0,0011	0,0813	0,1577	0,2589	0,5018	1
29	-0,0003	0,0001	-0,0007	0,0009	0,0810	0,1578	0,2582	0,5028	1
30	-0,0002	9,96E-5	-0,0006	0,0007	0,0807	0,1579	0,2576	0,5036	1
31	-0,0002	9,14E-5	-0,0005	0,0006	0,0805	0,1580	0,2570	0,5043	1
32	-0,0001	8,31E-5	-0,0004	0,0005	0,0803	0,1581	0,2566	0,5048	1
33	-0,0001	7,49E-5	-0,0003	0,0004	0,0802	0,1581	0,2562	0,5053	1
34	-0,0001	6,7E-5	-0,0003	0,0004	0,0800	0,1582	0,2559	0,5057	1
35	-0,0001	5,96E-5	-0,0002	0,0003	0,0799	0,1583	0,2556	0,5060	1
36	-9,5E-5	5,28E-5	-0,0002	0,0002	0,0798	0,1583	0,2553	0,5063	1
37	-8E-5	4,65E-5	-0,0002	0,0002	0,0797	0,1584	0,2551	0,5066	1
38	-6,7E-5	4,09E-5	-0,0001	0,0002	0,0797	0,1584	0,2549	0,5068	1
39	-5,6E-5	3,58E-5	-0,0001	0,0001	0,0796	0,1585	0,2548	0,5069	1
40	-4,8E-5	3,12E-5	-0,0001	0,0001	0,0796	0,1585	0,2547	0,5071	1
41	-4E-5	2,72E-5	-0,0001	0,0001	0,0795	0,1585	0,2546	0,5072	1
42	-3,4E-5	2,36E-5	-9,4E-5	0,0001	0,0795	0,1585	0,2545	0,5070	1
43	-2,9E-5	2,05E-5	-8E-5	8,8E-5	0,0795	0,1586	0,2544	0,5074	1

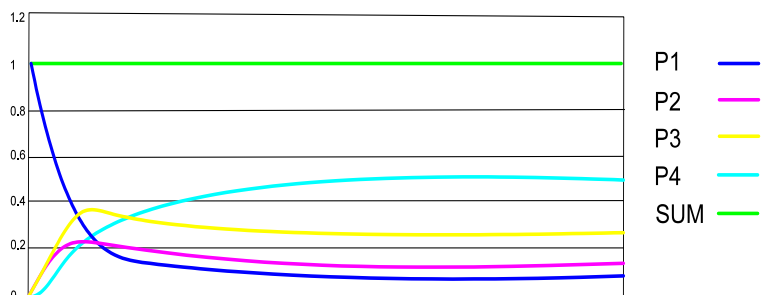


Рис. 2. Графическое изображение результатов решения системы дифференциальных уравнений надежности ГПК

Таблица 2

Результаты решения системы алгебраических уравнений надежности ГПК
в стационарном режиме

Матрица А				Известный вектор-столбец	
-1,3	0,25	0,25	0	0	
0,5	-1,05	0	0,25	0	
0,8	0	-0,75	0,25	0	
1	1	1	1	1	
Обратная матрица А ⁻¹				Результат	
-0,87302	-0,13228	-0,18519	0,079365	P1 =	0,079365
-0,07937	-0,82011	0,185185	0,15873	P2 =	0,158730
-0,46032	0,132275	-1,14815	0,253968	P3 =	0,253968
1,412698	0,820106	1,148148	0,507937	P4 =	0,507937

Решив систему алгебраических уравнений (табл. 2) получаем вероятности нахождения системы в одном из состояний. Построив график на основе этих значений (рис. 2), получим характеристику изменения вероятности нахождения объекта в определенном состоянии и имеем возможность наглядно увидеть момент наступления стационарного режима. Коэффициент готовности можно определить по следующей формуле $K_r = t_{cp} / (t_{cp} + t_b)$

После нахождения коэффициента готовности системы можно судить о ее надежности, пригодности в условиях производства и экономической целесообразности ее использования, что позволяет выстроить наиболее эффективный план проведения мероприятий по предотвращению сбоев (отказов) системы. Возможно также нахождение комплексов наиболее подверженных отказам, с целью повышения надежности всей системы.

Библиографический список

1. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надёжности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 702 с.

УДК 621.791.3:396

Е.М. Дорофеева

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

В.П. Ларин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ПАЙКА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Ультразвуковая пайка и лужение – это эффективные экономичные промышленные технологии, позволяющие получать высококачественные соединения с труднопаяемыми металлами и сплавами (алюминием, титаном, нержавеющей сталью) и осуществлять лужение большинства материалов, применяемых в электронике: керамики, стекла, ферритов, полупроводников. Процессы ультразвуковой пайки и сварки привлекают исследователей низкотемпературными воздействиями на соединяемые элементы, не вызывающими их конструктивных и структурных изменений.

Традиционно процессы пайки выполняются с применением флюсов. Интерес к процессам бесфлюсовой ультразвуковой пайки (далее УЗ-пайки) и лужения деталей и выводов электронных компонентов вызван экологическими проблемами удаления флюсов, поскольку они обладают высокой коррозионной активностью и удаление их остатков требует дополнительных технологических процессов, которые приводят к загрязнению окружающей среды. Более того, бесфлюсовая пайка и лужение обуславливают высокую экономичность процессов – отсутствуют операции флюсования и очистки, не требуются затратные материалы.

Главная роль при ультразвуковой металлизации керамических материалов отводится процессу кавитации. Под действием кавитационных микроударов поверхность керамики очищается от мелкой фракции основного материала, в результате чего открывается доступ к порам, которые под действием возникающих в жидком припое за счет кавитации высоких давлений заполняются припоем, обеспечивая тем самым достаточную прочность сцепления.

Для металлизации стеклокерамических материалов, состоящих из стекла в виде группы оксидов SiO_2 , BaO , PbO , а также Na_2O , K_2O , TiO_2 в количестве 20–30%; и керамики на основе SrTiO_3 , CaTiO_3 и TiO_2 , используемой в электронике для изготовления монолитных конденсаторов постоянной емкости как в обычном исполнении, так и в чиповом варианте, применены припои на основе Sn, не содержащие Pb и имеющие добавки металлов: Zn, In, Sb, Ag, а также стандартные припои, имеющие в своем составе Pb. Конструктивно соединение металлических деталей с керамическими, стеклянными, полиимидными, фторопластовыми деталями или металлизация неметаллических деталей может рассматриваться как конструкционная система на нижнем иерархическом уровне конструкции изделия – на микроуровне. Важнейшим свойством такой конструкционной системы является механическая прочность. Механическая прочность паяных соединений различных припоев со стеклокерамическими материалами зависит от состава припоя. Зависимость механической прочности паяных соединений от характеристик припоя показана в таблице.

Состав припоя, %	Температура плавления, °С	Прочность, МПа
Sn – 100	232	2,5
Sn – 10, Sb – 2, ост. Pb	268-285	3,0
In – 100	155	3,5
Sn – 50, In – 50	117	5,0
Sn – 38, Zn – 54, ост. Cd	150-165	5,2
Sn – 90, Zn – 10	200	8,0
Sn – 80, Zn – 20	200-250	10,0
Zn – 10, In – 10, Sb – 2, ост. Sn	175-185	18,2

Структура оловянно-свинцового припоя типа Sn-Pb представляет собой механическую смесь зерен свинца и олова различной величины. Оба металла относятся к группе инертных, то есть имеют невысокое химическое сродство и слабое сцепление с паяемыми материалами. При УЗ-пайке такой припой испытывает повышенное окисление. При добавлении Ag и Sb повышается твердость и уменьшается зернистость. Кристаллы Sb имеют структуру абразивных зерен, что увеличивает абразивное воздействие на оксидные пленки и в некоторой степени увеличивает механическую прочность паяных соединений.

Система Sn-In представляет собой механическую смесь зерен индия и олова. Индий повышает смачивающую способность припоя, поскольку он стоек к окислению, является благородным металлом и обладает высокой пластичностью. Однако его легкоплавкость и высокая стоимость затрудняют его использование для пайки.

Прочность соединений со стеклокерамикой припоев систем Sn-Zn и Sn-Zn-In-Sb при оптимальных режимах УЗ-металлизации в равной степени зависит от степени шероховатости поверхности стеклокерамики, что иллюстрируется графиком а на рис. 1. [1]

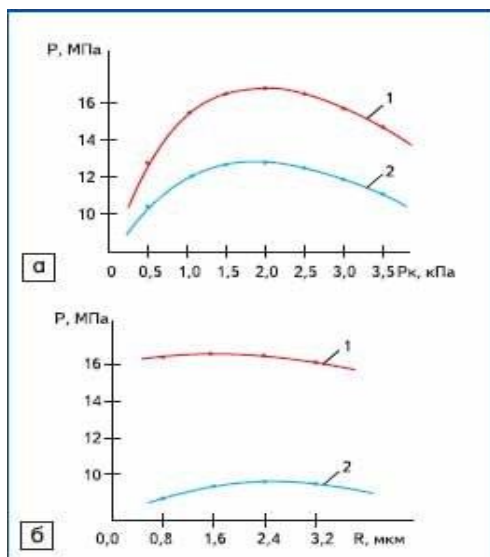


Рис. 1. Зависимости прочности соединений:

а) от степени шероховатости поверхности;

б) от кавитационного давления в припоях: 1) Sn-Zn-In-Sb, 2) Sn-Zn

С уменьшением шероховатости поверхности прочность соединений снижается, что может быть объяснено уменьшением площади контакта. В области более грубого микрорельефа появляются локальные микротрещины во впадинах микронеровностей, являющихся хорошими концентраторами напряжений. Максимальное значение прочности соответствует кавитационным давлениям в припое от 1,5 до 2,5 кПа (на рис. 1, б). При кавитационном давлении менее 1,0 кПа наблюдается недостаточное смачивание, неравномерное заполнение всех микротрещин жидким припоем.

В составе припоев типа Sn-Zn присутствуют кристаллы цинка высокой твердости, нерастворимые в олове, что значительно увеличивает абразивное воздействие. Zn относится к группе активных диффузионно-подвижных металлов и вступает в химическую связь с большинством паяемых металлов.

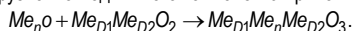
Для исследования механических, физических и химических свойств паяного соединения, как конструкционной системы, введем в рассмотрение факторы паяного соединения $K_{\text{ФПС}}$ и конструкционные факторы $K_{\text{ФК}}$. К факторам $K_{\text{ФПС}}$ относятся тип соединения (точка, серия точек, непрерывный шов), паяльный зазор, нахлестка, угол скоса, шероховатость материала, условия образования припоя, кристаллизации шва и заполнения зазора припоем, способ удаления окисной пленки, источник нагрева, осуществление давления на соединяемые детали. Факторы $K_{\text{ФК}}$ состоят из конструкционного класса изделия, масштабного фактора (границы исследуемой системы), размеры и форма системы, масса, направление и величина внешних сил, воздействующих на изделие, внешние климатические факторы и временные характеристики их перепадов и др.

Одним из структурно-чувствительных методов исследования соединений металлов с керамикой, позволяющим косвенно подтвердить наличие переходной зоны, является метод измерения тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta$).

Образцы стеклокерамики, шлифованные на алмазном диске до толщин 2,0; 1,5; 1,0; 0,8; 0,6; 0,4 мм, металлизировались припоем системы Sn–Zn–In–Sb при температуре 270 ± 5 °C в течение 10 с. Величины емкости и добротности образцов измеряли на частоте 10 МГц с помощью стандартных приборов. С уменьшением толщины стеклокерамического образца емкость образцов изменилась незначительно, однако $\text{tg}\delta$ возрос почти в 2 раза, что может указывать на наличие переходной зоны. Микроструктурное исследование паяных соединений, проведенное на электронном микроскопе ЭММА-2 с увеличением в 1000 раз и на сканирующем электронном микроскопе MINI SEM с увеличением в 700 раз, показало, что вдоль поверхности стеклокерамики наблюдается тонкая зона интерметаллида размером до 3 мкм, образовавшегося в пограничном слое припоя. Отмечено смачивание частицами индия поверхности стеклокерамики, которые, располагаясь вдоль границы со стеклокерамикой, увеличивают тем самым прочность соединений. В то же время ярко выраженной диффузионная зона между припоем и стеклокерамикой, а также проникновение припоя вглубь стеклокерамики не отмечены. Рентгеноструктурный анализ соединений со стеклокерамикой, проведенный на дифрактометре ДРОН-2 с использованием излучения $\text{CuK}\alpha$, позволил выявить ряд особенностей механизма образования соединения. При анализе рентгенограмм чистых исходных материалов (стеклокерамики и припоя) отмечены рефлексы, соответствующие двойным оксидам $2\text{PbO}\cdot\text{SiO}_2$, $\text{BaO}\cdot\text{SiO}_2$, образовавшимся в процессе спекания стеклокерамической массы, а также наличия оксидов цинка ZnO и ZnO_2 в припое. При расшифровке рентгенограмм паяных соединений выявлены рефлексы, соответствующие сложным интерметаллидам $\text{Pb}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$, BaZnSiO_4 , а также оксиду In_2O_3 , что свидетельствует об окислительном характере протекающих химических реакций. Анализ химического состава стеклокерамики показывает, что наименьшей устойчивостью в аморфной фазе стеклокерамики отличаются оксиды свинца и бария. Однако взаимодействие между этими оксидами и компонентами припоя будет протекать только в том случае, если оно будет иметь термодинамическую разрешенность. Термодинамический расчет наиболее вероятных путей получения интерметаллидов $\text{Pb}_2\text{ZnSi}_2\text{O}_7$ и BaZnSiO_4 , проведенный по уравнению Гиббса-Гельмгольца, показал, что изобарный потенциал химической реакции $\Delta Z = -3,7$ ккал и протекающие химические реакции образования сложных интерметаллидов возможно при температуре выше 400 °C:



При воздействии энергии УЗ-колебаний на расплавленный припой за счет развития интенсивных кавитационных явлений на границе со стеклокерамикой возникают локальные тепловые микрополя, температура в которых может достигать 1000 °C, также за счет интенсивной турбулизации припоя микропотоками образуются сложные оксидные соединения в результате окислительных реакций между двойными оксидами аморфной фазы стеклокерамики, отличающимися меньшей термодинамической устойчивостью, и оксидами диффузионно-подвижного компонента припоя – цинка следующего типа:



Таким образом, активация энергией УЗ-колебаний позволяет осуществлять бесфлюсовую пайку и лужение большинства металлов и сплавов, применяемых в электронике. Бесфлюсовая пайка более экономична, поскольку исключаются такие операции, как флюсование и очистка, требующие затрат времени и материалов. Бесфлюсовая пайка в ряде случаев является необходимым условием внутрен-

него монтажа и герметизации микроселектронной аппаратуры. С помощью УЗ-пайки и металлизации возможно соединение таких труднопаяемых материалов, как никелевые, алюминийевые и магниевые сплавы, а также неметаллических материалов: керамики, стеклокерамики, ферритов, полиимиды, фторопласта. Это создает возможность экономии драгоценных металлов, наносимых на диэлектрические поверхности электронных компонентов в качестве металлизации.

Колебания, параллельные обрабатываемой поверхности, для процессов УЗ-пайки и металлизации, особенно при локальном введении энергии в зону взаимодействия, предпочтительнее с точки зрения повышения прочности паяных соединений, обеспечения высокой стабильности процессов и уменьшения механического воздействия на обрабатываемые изделия. Процесс формирования соединений металлов с неметаллическими материалами имеет термохимический характер, на первом этапе воздействие УЗ-энергии интенсифицирует смачивание материалов, а затем за счет термических эффектов способствует протеканию химического взаимодействия между компонентами припоя и аморфной фазы стеклокерамики. Применение бессвинцовых припоев с добавками Zn, In, Ag увеличивает адгезионную активность припоев и снижает их окисление при УЗ-пайке.

Факторы, характеризующие паяное соединение как конструкционную систему микроуровня в изделии, рассмотренные в статье, являются исходными условиями для последующего построения моделей паяного соединения и процесса УЗ-пайки.

Библиографический список

1. Ланин В.Д. Бесфлюсовая ультразвуковая пайка в электронике // Технологии в электронной промышленности. М., 2007. №16. С. 23-27.
2. Кундас С.П., Ланин В.Д., Тявловский М.Д., Достанко А.П. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники / М.: Книга, 2002. 264 с.

УДК 62-1

Н.К. Духовской

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств.

А.Е. Новиков

ассистент кафедры – научный руководитель.

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ В БЕСПРОВОДНЫХ ВЕЛОКОМПЬЮТЕРАХ

С развитием велоспорта совершенствовалась как конструкция самого велосипеда, так и физическая подготовка велосипедиста, что позволяло проезжать все большие расстояния. Это требовало более точных данных о поездке и о тренировке спортсменов, и для этого были созданы специальные механические приборы- велосчетчики. Они могли принимать число оборотов колеса и по введенной заранее длине окружности колеса выдавать расстояние, которое проехал спортсмен. По такому же принципу работают велокомпьютеры, но вдобавок они вычисляют скорость, время в пути, километраж отдельных поездок и много других параметров, которые во многих случаях желательно иметь перед глазами.

Современные комплексы состоят из трех основных частей: магнита, герконового датчика и компьютера, который крепится перед глазами велосипедиста. Основная проблема заключалась в том, как довести сигнал от датчика к приемнику. Так появилось два типа велокомпьютеров: проводные и беспроводные.

В проводных датчик и приемник соединены проводом, по которому передается сигнал. Достоинствами такой конструкции являются надежность передачи сигнала и дешевизна. Однако, провод доставляет массу неудобств. Во-первых, тонкий кабель является самой уязвимой частью всего велосипеда. Он легко рвется, перетирается, и даже гниет. Во-вторых, мы можем разместить датчик только вилке, возле оси колеса, что не всегда может быть удобно из-за ее конструктивных особенностей. Она может быть или слишком узкая, как на треновых велосипедах, или же это будет мягкая вилка с большим ходом, который может достигать 200 мм, как на велосипедах для экстремального бездорожья. В-третьих, возникает проблема с подключением других датчиков, таких как пульсометр, календарь или ваттметр, ведь тогда нам бы потребовалось огромное количество проводов, с размерами которых при крупносерийном выпуске было бы довольно сложно угадать из-за разных размеров рам, и подобные приборы можно было бы делать только на заказ. Ну, и в-четвертых, провод может попасть в движущиеся части, такие как трансмиссия или колеса.

Этих недостатков полностью лишены беспроводные велокомпьютеры. Мы можем разместить датчик там, где нам удобно, нас не стесняют размеры и конструктивные особенности велосипеда. Мы можем подключить несколько датчиков, не боясь путаницы с проводами. Однако, такая конструкция имеет свои минусы [1-3]. Первый – высокая цена. Беспроводной прибор примерно в два раза дороже проводного с аналогичным набором функций. Второй минус, это необходимость ставить защиту от помех. Самый наглядный случай – линии электропередач. Стоит велосипедисту проехать под проводами, как прибор может выдать скорость 100 или 120 км/ч.

Чтобы избежать подобных проблем, было принято решение перевести сигнал из радиопередач в цифровой формат.

При потенциальном кодировании информационные биты логические нули и единицы передаются прямоугольными импульсами напряжений. Прямоугольный импульс длительности T имеет спектр, ширина которого обратно пропорциональна длительности импульса, поэтому, чем меньше длительность информационного бита, тем больший спектр занимает такой сигнал. Для преднамеренного уменьшения спектра первоначально узкополосного сигнала в технологии DSSS в каждый передаваемый информационный бит (логический 0 или 1) в буквальном смысле встраивается последовательность так называемых чипов. Если информационные биты (логические нули или единицы) при потенциальном кодировании информации можно представить в виде последовательно-

сти прямоугольных импульсов, то каждый отдельный чип – это тоже прямоугольный импульс, но его длительность в несколько раз меньше длительности информационного бита. Последовательность чипов представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, то есть нулей и единиц, однако эти нули и единицы не являются информационными. Поскольку длительность одного чипа в l раз меньше длительности информационного бита, то и ширина спектра преобразованного сигнала будет в l раз больше ширины спектра первоначального сигнала. При этом и амплитуда передаваемого сигнала уменьшится в n раз.

Чтобы уменьшить спектр сигнала и сделать его неотличимым от естественного шума, можно воспользоваться произвольной (случайной) чиповой последовательностью. Однако, возникает вопрос: а как такой сигнал принимать? Ведь если он становится шумоподобным, то выделить из него полезный информационный сигнал не так-то просто, но возможно, если соответствующим образом подобрать чиповую последовательность. Используемые для уменьшения спектра сигнала чиповые последовательности должны удовлетворять определенным требованиям автокорреляции. Под термином автокорреляции в математике подразумевают степень подобия функции самой себе в различные моменты времени. Если подобрать такую чиповую последовательность, для которой функция автокорреляции будет иметь резко выраженный пик лишь для одного момента времени, то такой информационный сигнал возможно будет выделить на уровне шума. Для этого в приемнике полученный сигнал умножается на ту же чиповую последовательность, то есть вычисляется автокорреляционная функция сигнала. В результате сигнал становится опять узкополосным, поэтому его фильтруют в узкой полосе частот и любая помеха, попадающая в полосу исходного широкополосного сигнала, после умножения на чиповую последовательность, наоборот, становится широкополосной и обрезается фильтрами, а в узкую информационную полосу попадает лишь часть помехи, по мощности значительно меньшая, чем помеха, действующая на входе приемника.

Однако, остается проблема сохранения работоспособности, если рядом движутся устройства одной модели. Согласно алгоритму несущая частота сигнала скачкообразно меняется 1600 раз в секунду по 79 рабочим частотам шириной в 1 МГц. Последовательность переключения между частотами для каждого соединения является псевдослучайной и известна только передатчику и приёмнику, которые каждые 625 мкс (один временной слот) синхронно перестраиваются с одной несущей частоты на другую. Таким образом, если рядом работают несколько пар «приёмник-передатчик», то они не мешают друг другу. Этот алгоритм является также составной частью системы защиты конфиденциальности передаваемой информации: переход происходит по псевдослучайному алгоритму и определяется отдельно для каждого соединения. Эта технология известна под названием bluetooth.

Если продолжать развивать тему велоспорта, то сюда же можно отнести велосипедные трансмиссии с электронным переключением передач [3]. К достоинством таких систем можно отнести высокую эргономичность и минимальный ход рычагов управления, что позволит сохранить гонщику силы на больших дистанциях, а также более точно переключать скорость и забыть проблему износа тросиков. Однако стоимость таких устройств превышает стоимость механических аналогов почти в два раза. Кроме этого, электроника зависит от аккумуляторов, которые надо периодически подзаряжать. Такие проблемы малопривлекательны для велотуризма, хотя зарядка батарей хватит на довольно продолжительное время работы.

Вывод. На сегодняшний день беспроводное оборудование работает достаточно надежно и стабильно, чтобы быть востребованным на рынке. Мы можем свободно ездить в городе, вдоль линий электропередач, в толпе других велосипедистов со схожими приборами, при этом не беспокоясь ни о сбоях, ни о состоянии проводов. Но не всем сильно мешает провод. Если ваши поездки ограничиваются выездом в соседний магазин или в гости к друзьям по выходным, то дешевого проводного устройства будет более чем достаточно. Выбор спортсменов же падает на продвинутые беспроводные модели с широким функционалом. Однако за подобный комфорт приходится платить. Стоимость среднего "беспроводника" составляет 4000-6000 р, против 1000-3000 р за проводное устройство. И если хороший велокомпьютер может себе позволить даже спортсмен-новичок, то навесное оборудование с электронным переключением передач покупают только круп-

ные команды мирового, и, реже, континентального уровня, так как если стоимость высокоуровневого механического комплекта на сегодняшний день составляет примерно 130.000 р, то за его электронную модификацию придется выложить уже свыше 220.000 р.[4]

Библиографический список

1. Принцип действия bluetooth [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
2. Технология DSSS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/416694>
3. Использование велокомпьютера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://velo.zhzh.info/news/2012-03-26-49>
4. Каталог изделий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.chainreactioncycles.com/ru/ru>

УДК 621.3.036.2

Д. А. Жданов

студент кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

И. А. Гарютин

старший преподаватель – научный руководитель

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТЕПЛОТВОДЯЩЕГО РАДИАТОРА ДЛЯ ТРАНЗИСТОРА В КОРПУСЕ ТО-247

Одной из важнейших задач, решаемых разработчиками РЭА сегодня, является задача теплоотвода. В частности, этот вопрос касается силовой электроники при проектировании источников и систем электропитания. Предложена методика расчёта радиатора для транзисторов, выполненных в корпусе ТО-247, а также практическая проверка данной методики на примере транзистора IRFP460.

Для расчёта алюминиевого ребристого радиатора понадобятся следующие данные: температура кристалла транзистора $T_j = 80\text{ }^\circ\text{C}$; температура окружающей среды $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$; мощность, выделяемая транзистором $P = 16,8\text{ Вт}$; тепловое сопротивление кристалл-корпус $R_{jc} = 0,45\text{ }^\circ\text{C/Вт}$.

Формула для расчёта суммарного максимального теплового сопротивления [2]:

$$R_{ja} \leq \frac{T_j - T_a}{P} \quad (1)$$

Тепловое сопротивление радиатор-окружающая среда рассчитывается по формуле

$$R_{sa} = R_{ja} - R_{jc} - R_{cs}, \quad (2)$$

где R_{cs} – тепловое сопротивление корпус-радиатор.

Тепловое сопротивление корпус-радиатор зависит от типа корпуса и берется из справочного листа для транзистора. Для корпуса ТО-247 оно равно $0,24\text{ }^\circ\text{C/Вт}$, но в реальных условиях при использовании термопасты и подложки это значение доходит до $1\text{ }^\circ\text{C/Вт}$ и более. Расчёт производится для максимального значения $1\text{ }^\circ\text{C/Вт}$.

Максимальная температура радиатора рассчитывается по формуле [2]:

$$T_s = T_j - P \cdot (R_{jc} + R_{cs}) \quad (3)$$

По формулам (1)–(3):

$$R_{ja} \leq \frac{80 - 25}{16,8} = 3,27\text{ }^\circ\text{C/Вт};$$

$$R_{sa} = 3,27 - 0,45 - 1 = 1,82\text{ }^\circ\text{C/Вт};$$

$$T_s = 80 - 16,8 \cdot (0,45 + 1) = 55,64\text{ }^\circ\text{C}.$$

По графику (рис. 1) определим поправочный коэффициент K_1 на разницу температуры радиатора и окружающей среды [1].

Для охлаждения радиатора используется вентилятор со скоростью воздушного потока $2,8\text{ м/с}$. По графику (см. рис. 2) определяется поправочный коэффициент K_2 на реальную скорость воздушного потока [1].

В наличии имеется радиатор с длиной профиля 97 мм . По графику (см. рис. 3) определяется поправочный коэффициент K_3 на длину радиатора [1].

Чтобы найти общую поправку, перемножаются все поправочные коэффициенты:

$$K = K_1 K_2 K_3 = 1,36 \cdot 0,8 \cdot 1,37 = 1,49.$$

С учетом поправок радиатор должен обеспечивать тепловое сопротивление:

$$R_{sa} = \frac{1,82}{1,49} = 1,22\text{ }^\circ\text{C/Вт}.$$

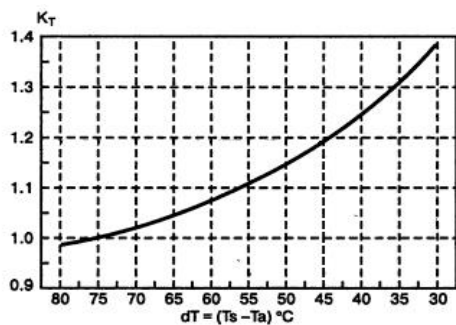


Рис. 1. Поправочный коэффициент на разницу температуры радиатора и окружающей среды

$$T_s - T_a = 55,64 - 25 = 30,64 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$K_t \approx 1,36$$

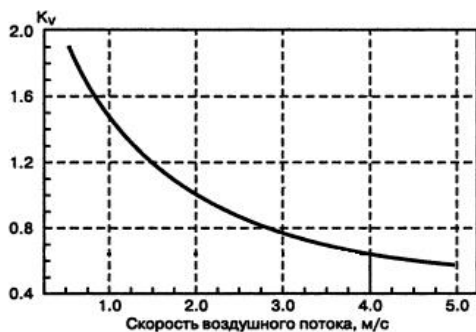
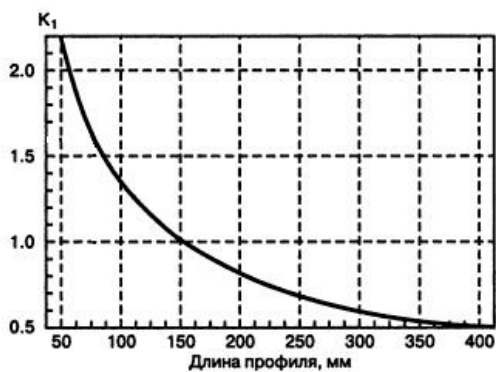
Рис. 2. Поправочный коэффициент на скорость воздушного потока $K_v = 0,8$ 

Рис. 3. Поправочный коэффициент на длину радиатора

$$K_l = 1,37$$

На рис. 4 приводятся графические зависимости между периметром сечения алюминиевого радиатора и его тепловым сопротивлением для принудительного (линия 1) и естественного (линия 2) охлаждения воздушным потоком.

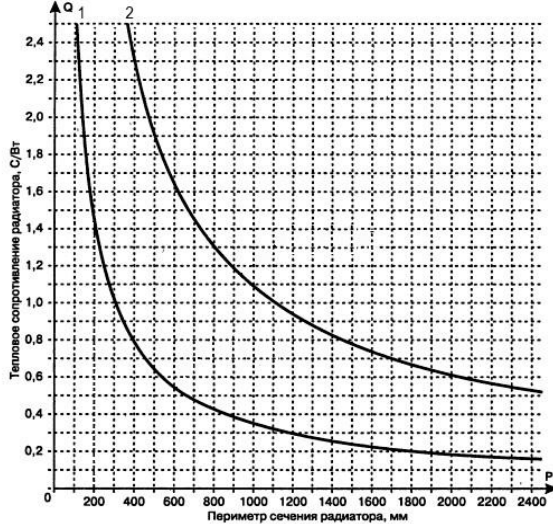


Рис. 4. Зависимости между сечением алюминиевого радиатора и его тепловым сопротивлением

По графику видно, что для охлаждения транзистора требуется радиатор с периметром сечения около 225 мм. Для группы из нескольких транзисторов данное значение умножается на количество транзисторов.

Чтобы из предлагаемой методики получить площадь радиатора, необходимо умножить длину радиатора на его периметр:

$$S_p = 225 \cdot 97 = 218 \text{ см}^2$$

Площадь ребристого радиатора получается равной 218 см². Температура радиатора при мощности рассеяния транзистора около 17 Вт теоретически будет равна 55-56 °С, а температура кристалла 80 °С. Проверка расчёта производится включением транзистора по схеме (см. рис. 5). Для этого транзистор крепится винтом к ребристому алюминиевому радиатору, постепенно увеличивается мощность путём увеличения напряжения питания. Контроль температуры радиатора осуществляется с помощью термомпары.

По результатам проверки построена экспериментальная и теоретическая кривые зависимости (см. рис. 6), где 1 — экспериментальная, 2 — теоретическая.

По графикам видно, что экспериментальная кривая имеет небольшое отклонение от теоретической. Погрешности могут быть обусловлены тем, что температура окружающей среды могла быть ниже приведенной в расчёте на 2-3 °С, площадь радиатора отличалась на несколько см², также могла отличаться скорость воздушного потока, т. к. в расчёте использовалось значение, рассчитанное для вентилятора теоретически. Погрешности можно свести к минимуму несколькими способами: провести точные измерения температуры окружающей среды и скорости воздушного потока; подобрать радиатор точно в соответствии с расчётами; использовать более дорогостоящее оборудование для контроля температуры (например, тепловизор). Часто при разработке радиоэлектронной аппаратуры не требуется большой точности, а данная методика позволяет оценить габаритные размеры радиатора. Эксперимент показал, что данную методику можно использовать на практике.

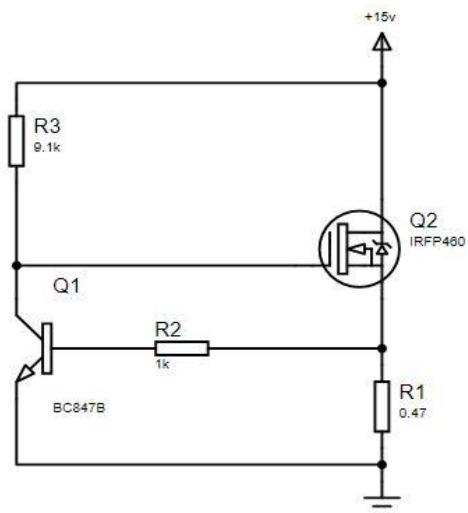


Рис. 5. Схема включения транзистора

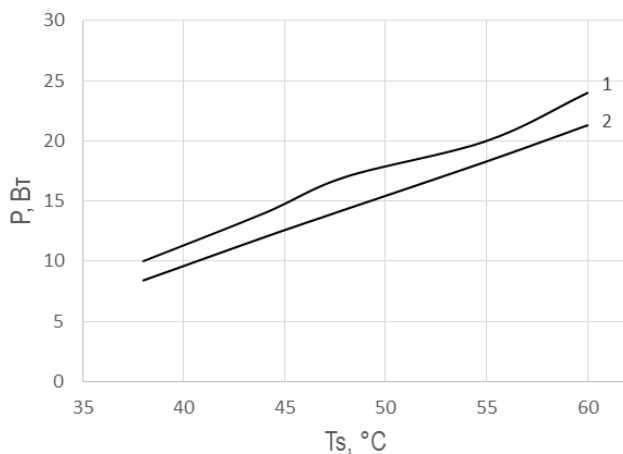


Рис. 6. Кривые зависимости температуры радиатора от мощности, рассеиваемой транзистором

Библиографический список

1. <https://www.aavid.com/sites/default/files/literature/MaxClip-Extrusion-Profiles-Catalog.pdf>
2. Скрипников Ю. Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1973, 48 с.

УДК 76.13.15

И.С. Зеленев

студент кафедры медицинской электроники

А.С. Афанасенко

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Электрокардиография – информативный способ инструментальной диагностики, который позволяет качественно и быстро выявлять нарушения в работе сердечно-сосудистой системы. Самый надежный неинвазивный метод диагностики.

При работе сердца образуются электрические поля, качества которых можно регистрировать с помощью специального прибора – электрокардиографа. Работа электрокардиографа основана на принципе регистрации электрических импульсов, возникающих при работе сердца. Прибор регистрирует эти биопотенциалы и позволяет наглядно представить работу главного органа человека.

Методы электрокардиографии постоянно совершенствуются, но все равно имеют ряд недостатков. Несмотря на огромный прогресс в разработке новых методов диагностики и терапии, различные патологии сердечно – сосудистой системы представляют большую опасность для жизни человека. Ишемическая болезнь сердца (ИБС) является ведущей причиной смертности и инвалидизации трудоспособного населения в большинстве стран мира.

Следствием разработок по преодолению недостатков методов электрокардиографии и предполагаемая дальнейшее развитие тенденции повышения разрешающей способности аппаратных, алгоритмических и программных средств анализа тонкой структуры ЭКС, стало появление нового метода – электрокардиографии сверхвысокого разрешения (ЭКГ СВР). Метод ЭКГ СВР не только объединяет в себе возможности всех других методов, но и превосходит их в области регистрации, обработки и анализа низкочастотных высокочастотных составляющих ЭКС. Такие составляющие ЭКС содержат важные данные о нормальной и патологической электрофизиологии сердца, о протекающих в нем нормальных физиологических процессах и о развитии патологических явлений.

Для реализации электрокардиографии сверхвысокого разрешения с 2010 года коллективом сотрудников кафедры медицинской радиозлектроники ГУАП, кафедры патофизиологии Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И. П. Павлова и Института экспериментальной медицины Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В. А. Алмазова на специальных лабораторных макетах, разработанных в научно-образовательном центре «Биомедицинской радиозлектроники и информатики» (НОЦ БРЭИ, ГУАП, СПб), проводятся совместные исследования, посвященные поиску новых ЭКГ-маркеров процесса развития ишемического повреждения миокарда у подопытных животных.

Исследования на подопытных животных однозначно подтвердили возможность фиксации методом ЭКГ СВР начала развития ишемии на более ранней стадии, чем это возможно при использовании существующих ЭКГ-методик.

По причине того, что лабораторные макеты не имеют пользовательского интерфейса, возникает необходимость его разработки.

Для того, чтобы разработать интерфейс передачи данных для электрокардиографа сверхвысокого разрешения, возникла необходимость решения следующих задач:

1) Разработка программы для приема данных с цифрового электрокардиографа сверхвысокого разрешения на персональный компьютер по wi-fi.

2) Разработка простейшего протокол передачи данных (символьный или бинарный). Программа должна иметь минимальный пользовательский интерфейс для управления процессом записи файлов.

Для передачи данных от электрокардиографа сверхвысокого разрешения к персональному компьютеру, планируется использование wi-fi модуля WizFi220.

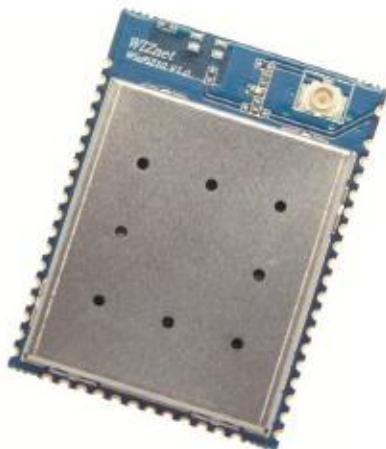


Рис. 1. Wi-fi модуль WizFi220

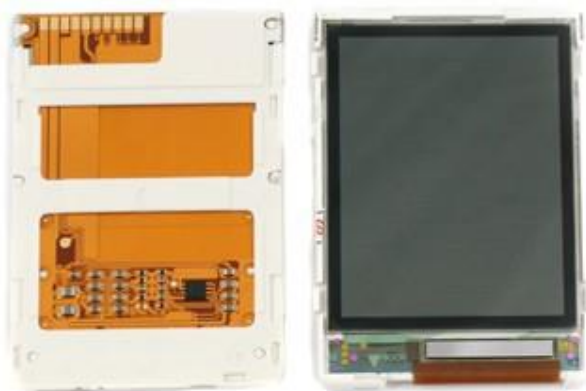


Рис. 2. Дисплей siemens MK 65

WizFi220 размером 32x24.5 имеет следующие характеристики:

Вся настройка – через UART

- время старта – 20 мс;
- относительно малое потребление: 34 мкА в режиме ожидания, 125 мА – приём, 250 мА – передача;
- поддерживает стандарты 802.11b/g/n.

- поддержка следующих типов шифрования: WEP, WPA/WPA2-PSK, Enterprise EAP-FAST, EAP-TLS, EAP-TTLS, PEAP;

- температурный диапазон: -40°C... 85°C.

Для отображения вводимых данных планируется использование дисплея: Siemens SK 65. Такой дисплей, при своей недорогой цене, имеет высокую надежность и простоту установки.

Всего дисплей имеет 10 контактов:

1. RS – сигнал переключения команда / данные
2. RESET – сигнал сброса дисплея
3. CS – сигнал выбора устройства SPI
4. CLK – тактовый сигнал SPI
5. DAT – сигнал MOSI SPI
6. 2.9V и 1.8V – питание дисплея
7. LED+, LED_GND – питание и земля цепи подсветки
8. GND – земля дисплея.

Для разработки простейшего протокола передачи данных планируется использование следующих программных сред: Visual Studio и Matlab.

Таким образом, решение поставленных задач с использованием элементной базы позволит решить вопрос с интерфейсом для электрокардиографа сверхвысокого разрешения.

Библиографический список

1. *Зайченко К.В., Зяблицкий А.В., Краснова А.И., Сергеев Т.В.* От струнного гальванометра до электрокардиографии сверхвысокого разрешения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. №9. С. 62-78.

2. *Гуляев Ю. В., Зайченко К.В.* Электрокардиография сверхвысокого разрешения. Задачи. Проблемы. Перспективы // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 9. С. 5-15.

3. *Бегун П.И., Кривожижина О.В., Зяблицкий А.В.* Современные методы диагностики и предоперационного прогнозирования состояния биологических объектов в кардиологии. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 9. С. 40-48.

УДК 62-133.2

А.А. Канатова

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

А.Г. Михайлов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ШПУЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Для сварки конструкций из тонколистового металла наибольшее применение получили полуавтоматы дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе (углекислый газ или смеси). Данные полуавтоматы включают в себя источник питания, блок управления, механизм подачи проволоки и газовый баллон. Механизм подачи проволоки располагается в корпусе полуавтомата и проталкивает проволоку по рукаву к сварочной горелке. Такой толкающий механизм обычно выполняется в виде двухроликowego устройства, один ролик которого через редуктор приводится во вращение электродвигателем, а второй поджимает проволоку.

В настоящее время многие фирмы стали выпускать в продажу самозащитную порошковую проволоку, использование которой позволяет обойтись без газовых баллонов. Она имеет конструкцию в виде трубки, заполненной сварочным порошком. При сварке этот порошок полностью сгорает, но при этом – высвобождает облако газа, которое защищает нагретый электрод от воздействия воздуха. Сердечник проволоки – это комбинация разнообразных ферросплавов, руд, минералов, металлов и иных элементов, которые обеспечивают получение швов с заданными эксплуатационными параметрами, а также устойчивое и стабильное осуществление сварочной процедуры. Полуавтоматы с самозащитной порошковой проволокой могут использоваться в качестве портативных аппаратов: легких и компактных, используемых для ремонтных и сварочно-монтажных работ, для работ в труднодоступных местах благодаря отсутствию среди необходимого оборудования дополнительных баллонов. Но сварка самозащитной порошковой проволокой имеет и свои недостатки: сама по себе порошковая проволока обладает малой жесткостью. Это требует применения механизма автоматической подачи проволоки с ограниченным усилием сжатия на подающих роликах.

С целью использования существующих конструкций полуавтоматов для сварки порошковой проволокой группа компаний «Аврора» предложила ряд решений этой проблемы: уменьшить длину канала подачи проволоки, заменить металлический витой канал на пластиковый с тефлоновым покрытием, ввести насечку на ведущем ролике или использовать конструкцию электромагнитного тормоза катушки, который включается после выключения исполнительного двигателя. Но и эти меры не обеспечивают бесперебойную подачу порошковой проволоки по рукаву и даже сейчас сварщики сталкиваются с трудностями при подаче тонкой и мягкой проволоки толкающим механизмом.

Последующие работы над данной проблемой привели к созданию механизма подачи шпульного типа, где катушка с проволокой и двигатель располагаются непосредственно на горелке. В таких механизмах используется катушка минимальных размеров согласно ГОСТ 25445-82. Внешний диаметр катушки составляет 100 мм, общая масса катушки с проволокой – 1 кг, масса проволоки – 0,8 кг. Общая масса горелки с электродвигателем составляет не более 3 кг. Шпульные механизмы подачи не изготавливаются на российских предприятиях, а те механизмы, что есть в продаже – импортные и дорогостоящие.

Все это делает актуальным создание отечественных малогабаритных шпульных механизмов подачи порошковой проволоки. Это позволит перейти к созданию мобильных сварочных постов российского производства, что особенно важно в условиях роста монтажных работ.

Учитывая вышеизложенное, был произведен выбор отечественного электродвигателя для использования его в качестве исполнительного электродвигателя шпульного механизма подачи порошковой проволоки.

В ходе работы был исследован российский рынок электродвигателей. Для выбора электродвигателя шпульного механизма подачи большое значение имеет масса и габаритные размеры, так как механизм располагается непосредственно в горелке. Поэтому в основу методики положен выбор электродвигателя по отношению массы к номинальному моменту.

По этому критерию нами была выбрана серия коллекторных электродвигателей постоянного тока типа ДПР производства ЗАО «МЭЛ» г. Воронеж. Двигатели с полым якорем ДПР, благодаря малой массе и габаритам на единицу мощности, высокому быстродействию, минимальному статическому моменту трения и хорошей равномерности вращения, являются практически идеальными исполнительными элементами для высококачественных широкодиапазонных регулируемых электроприводов, в том числе и для шпульного механизма подачи порошковой проволоки [1].

Основные размеры используемой катушки с порошковой проволокой соответствуют указанным в ГОСТ 25445-82. Общая масса катушки с проволокой составляет 1 кг, масса проволоки – 0,8 кг. Момент инерции, создаваемый такой катушкой, найдем по формуле момента инерции полого цилиндра относительно его оси вращения:

$$J = \frac{m(d^2 + d_0^2)}{8}, \quad (1)$$

где m – масса катушки с проволокой; d – внешний диаметр намотанной проволоки; d_0 – внутренний диаметр намотанной проволоки.

Момент инерции полной катушки с проволокой будет равен $J = 1325 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Номинальная частота вращения двигателей этой серии, $n_{\text{дв ном}} = 4500$ об/мин или 75 об/с, скорость подачи порошковой проволоки $V_{\text{пр}}$, необходимая для сварки тонколистового металла – от 2 до 14 м/мин (от 33,3 до 233 мм/с) [2], радиус стандартного ролика механизма подачи $R = 15$ мм. На номинальной частоте вращения электродвигатель должен обеспечить максимальную скорость подачи проволоки $V_{\text{пр max}}$ равную 233 мм/с.

Скорость вращения ролика при данной скорости подачи проволоки:

$$n_{\text{рол}} = \frac{V_{\text{пр max}}}{2\pi R} = \frac{233}{2\pi \cdot 15} = 2.4 \frac{\text{об}}{\text{с}}.$$

Коэффициент редукции будет равен:

$$i = \frac{n_{\text{дв ном}}}{n_{\text{рол}}} = \frac{75}{2.4} \approx 30.$$

Приводим момент инерции катушки с проволокой к валу двигателя через редуктор:

$$J_{\text{пр}} = \frac{J}{i^2} = \frac{1325 \cdot 10^{-6}}{900} = 1.47 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент инерции якоря электродвигателя должен быть больше рассчитанного приведенного момента инерции нагрузки.

Был выбран коллекторный электродвигатель постоянного тока ДПР-62-Н1-07А, имеющий максимальное значение отношения номинального момента вращения к массе в серии. Паспортные данные электродвигателя ДПР-62-Н1-07А представлены в табл. 1 [3].

Кроме массогабаритных показателей и значения вращающего момента, важным критерием выбора является возможность погашения тормозящим устройством катушки момента инерции раскрученной катушки с проволокой до того момента, когда проволока начнет перехлестываться и запутываться. В учебном центре группы компаний «Аврора» указано, что для того, чтобы проволока при торможении не успевала перехлестываться необходимо, чтобы угол, на который повернется катушка с проволокой за время торможения, не превышал 2° [2].

Найдем моменты инерции, создаваемые полной катушкой с проволокой, катушкой, заполненной наполовину и пустой катушкой.

Таблица 1

Паспортные данные электродвигателя постоянного тока коллекторного ДПР-62-Н1-07А

Технические характеристики	Значение
Напряжение питания, В	14
Мощность, Вт	9,25
Номинальная частота вращения, об/мин	4500
Номинальный вращающий момент, мН · м	19,6
Момент инерции якоря, кг · м ²	$3,53 \cdot 10^{-6}$
Масса, кг, не более	0,41

Момент инерции полного мотка проволоки, рассчитанный по формуле (1), будет равен:

$$J_1 = \frac{0,8(0,09^2 + 0,05^2)}{8} = 1060 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Так как объемная плотность проволоки на катушке постоянна, рассчитаем внешний диаметр намотанной проволоки, массой 0,4 кг. Полученное значение внешнего диаметра $d = 72,80 \cdot 10^{-3}$ м.

Соответственно, моменты инерции, создаваемые катушкой с проволокой, заполненной наполовину и пустой катушкой, будут равны:

$$J_2 = \frac{0,4(0,07^2 + 0,05^2)}{8} = 296 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_3 = \frac{0,2(0,1^2 + 0,016^2)}{8} = 256 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Угол, на который повернется катушка с проволокой за время торможения, найдем по формуле

$$\varphi = \frac{J\omega^2}{2iM_{\text{торм}}}, \quad (2)$$

где φ – угол, на который повернется катушка с проволокой за время торможения, рад; J – момент инерции катушки с проволокой, кг · м²; ω – угловая скорость катушки с проволокой, рад/с; i – коэффициент редукции; $M_{\text{торм}}$ – тормозной момент, равный номинальному моменту электродвигателя, Н · м.

Угловую скорость можно найти по формуле:

$$\omega = \frac{V_{\text{пр max}}}{R}, \quad (3)$$

где ω – угловая скорость катушки с проволокой, рад/с; $V_{\text{пр max}}$ – максимальная скорость подачи проволоки, м/с; R – внешний радиус намотанной проволоки, м.

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов выбега катушки с проволокой за время торможения для трех случаев

Параметры	Полная катушка с проволокой	Катушка, заполненная проволокой наполовину	Пустая катушка
Масса проволоки на катушке m , кг	0.8	0.4	0.2 (масса катушки)
Внешний радиус намотанной проволоки R , м	0.045	0.037	0.050 (радиус катушки)
Момент инерции, создаваемый катушкой с проволокой J , кг · м ²	$1060 \cdot 10^{-6}$	$296 \cdot 10^{-6}$	$256 \cdot 10^{-6}$
Угловая скорость катушки с проволокой ω , рад/с	5.10	6.40	4.66
Угол, на который повернется катушка с проволокой за время торможения, φ , °	1.3	0.5	0.2

Из табл. 2 видно, что катушка с проволокой за время торможения не будет проходить более 2°, а значит проволока не будет перехлестываться и запутываться.

Таким образом, электродвигатель ДПР-62-Н1-07А имеет малые габаритные размеры и массу, максимальное значение номинального вращающего момента к массе, момент инерции, приведенный к валу двигателя, меньше номинального значения, а также исключает возможность запутывания проволоки во время торможения катушки. Поэтому делаем вывод, что электродвигатель ДПР-62-Н1-07А можно использовать в качестве исполнительного двигателя шпульного механизма подачи порошковой проволоки для сварки тонколистового металла портативным полуавтоматом.

Библиографический список

1. Канатова А. А. Возможность использования электродвигателя типа ДПР в механизме подачи порошковой проволоки // Шестьдесят девятая международная студенческая научная конференция ГУАП: Сб. докл.: В 2 ч. Ч.1. Технические науки / СПб.: ГУАП., 2016. С. 193.
2. Группа компаний «Аврора» в России [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Москва, 2010-2016. URL: <http://aurora-online.ru> (дата обращения: 20.03.2017).
3. Закрытое акционерное общество «МЭЛ» [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Воронеж, 2005. URL: <http://www.oomei.ru> (дата обращения: 17.09.2016).

УДК:615.47:616-072.7

А.В. Касаткин

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

А.С. Афанасенко

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК КАРДИОЦИКЛА В ЭКГ

Электрокардиограмма (ЭКГ) представляет собой запись электрических потенциалов активности сердца, снятую с одного или нескольких отведений, и состоит из периодической последовательности кардиоциклов. В типичном кардиоцикле выделяют несколько элементов: Р-волна, QRS-комплекс и Т-волна [1].

Запись ЭКГ включает обычно 12 отведений: три стандартных (I, II, III), три усиленных однополюсных отведения от конечностей (avR, avL, avF) и шесть грудных однополюсных отведений (V1–V6). В процессе регистрации на экране монитора сигнал отображается в реальном масштабе времени, что затрудняет детальный анализ сигналов, поэтому производится избыточная запись в базу данных, предполагающая последующую их редакцию.

Отбор и редактирование данных производится после записи ЭКГ в базу данных с целью выделения участков ЭКГ для дальнейшего анализа. На этом этапе возможно медленное воспроизведение сигнала на экране монитора, его остановка. В любом месте записи могут быть установлены маркеры – метки, чтобы с помощью соответствующей команды удалить участки записи, непригодные для анализа.

Выделение характерных графоэлементов и измерение параметров ЭКГ. Наиболее важным этапом работы программы является распознавание зубцов Р, Q, R, S, Т

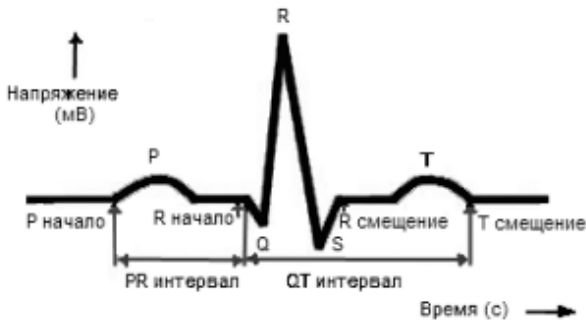


Рис. 1. Зубцы ЭКГ

Для устранения многочисленных мелких зубцов, маскирующих истинные точки перегиба и максимумы сигнала ЭКГ, используют преобразование сигнала спрямляющими функциями или полиномами различных порядков; эта задача решается также устройствами цифровой фильтрации высокочастотных составляющих. Выделенные точки начала и конца каждого зубца являются основой для измерения длительности комплексов, интервалов и сегментов кардиограммы.

Интерпретация результатов анализа и оформление заключения основываются на полученных элементах ЭКГ и измерении их параметров.

Метод снятия показателей на ЭКГ основывается на фиксации диастол и систол, которые прямым образом указывают на активность сердечной мышцы. Чтобы понимать показатели ЭКГ, необходимо учитывать циклический характер работы сердца. Синусовый ритм также фиксируется в процессе ана-

лиза, после чего доктор определяет норму сердечной деятельности. Несмотря на то, что для каждого человека данные с ЭКГ являются индивидуальными, существуют четкие нормы, отклонение от которых указывает на приобретенные или патологические проблемы сердца.

Поскольку миокард желудочков массивнее миокарда предсердий и имеет не только стенки, но и массивную межжелудочковую перегородку, то распространение возбуждения в нем характеризуется появлением сложного комплекса QRS на ЭКГ. Как правильно выделить в нем зубцы?

Прежде всего, оценивают амплитуду (размеры) отдельных зубцов комплекса QRS. Если амплитуда превышает 5 мм, зубец обозначают заглавной (большой) буквой Q, R или S; если же амплитуда меньше 5 мм, то строчной (маленькой): q, r или s.

Зубцом R (*r*) называют любой положительный (направленный вверх) зубец, который входит в комплекс QRS. Если зубцов несколько, последующие зубцы обозначают штрихами: R, R', R" и т. д. Отрицательный (направленный вниз) зубец комплекса QRS, находящийся перед зубцом R, обозначается как Q (*q*), а после – как S (*s*). Если же в комплексе QRS совсем нет положительных зубцов, то желудочковый комплекс обозначают как QS.

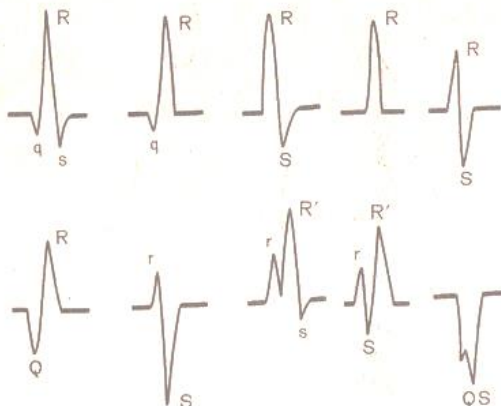


Рис. 2. Варианты комплекса QRS

В норме зубец Q отражает деполяризацию межжелудочковой перегородки, зубец R – основной массы миокарда желудочков, зубец S – базальных (т.е. возле предсердий) отделов межжелудочковой перегородки. Зубец RV1, V2 отражает возбуждение межжелудочковой перегородки, а RV4, V5, V6 – возбуждение мышцы левого и правого желудочков. Омертвление участков миокарда (например, при инфаркте миокарде) вызывает расширение и углубление зубца Q, поэтому на этот зубец всегда обращают пристальное внимание.

Программное обеспечение – проектируется таким образом, чтобы обеспечить высокую достоверность выявления и измерения параметров элементов ЭКГ (интервалов, сегментов, комплексов), на основании которых осуществляется постановку диагностического заключения.

Условно работу ПО разделяют на следующие три этапа:

- Сглаживание и фильтрация ЭКГ.
- Обнаружение и измерение характерных элементов ЭКГ.
- Постановка диагностических заключений.

Более подробно это выглядит таким образом. Экспертная система строится по принципу последовательности расшифровки ЭКГ и постановки диагноза:

1. Анализ сердечного ритма

- оценка регулярности сердечных сокращений,
- подсчет числа сердечных сокращений,

II. Определение поворотов сердца вокруг переднезадней продольной и поперечной осей:

- определение положения электрической оси сердца во фронтальной плоскости,
- определение поворотов сердца вокруг продольной оси,
- определение поворотов сердца вокруг поперечной оси

III Анализ предсердного зубца P.

IV Анализ желудочкового комплекса QRST:

- анализ комплекса QRS,
- анализ сегмента RS–T,
- анализ зубца T,
- анализ интервала Q–T.

V. Электрокардиографическое заключение.

В заключении указывается:

- регулярность ритма;
- ЧСС;
- положение электрической оси сердца;
- наличие ЭКГ синдромов.

В результате будет разработан алгоритм выделения характерных точек электрокардиосигнала, основанный на анализе «гауссовых» производных сигнала. Характерным точками являются вершины зубцов P, Q, R, S, T, а также пограничная точка между S и T зубцами. Реализовать алгоритм в среде matlab и продемонстрировать его работу на сигналах с патологиями и без.

Библиографический список

1. *Мурашко В. В., Струтынский А. В.* Электрокардиография. – 3-е изд. М. – 1998. –312 с.

УДК 53(075)

Н. И. Коробков

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

И. А. Гарютин

ст. преп. – научный руководитель

МАГНИТНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКОВ

Одной из главных задач в исследовании параметров ферритовых сердечников, при проектировании импульсных источников питания, заключается в том, чтобы выяснить, сколько энергии мы можем накопить в исследуемом образце без достижения состояния насыщения. Состояние насыщения сердечников является одним из важнейших факторов при проектировании импульсных источников питания, трансформаторов и других средств обеспечения энергии. Так как ток во вторичных обмотках дросселей и трансформаторов будет течь только в случае, если магнитное поле будет переменным, а в состоянии насыщения магнитное поле меняться не будет. Это, в свою очередь, означает, что вся энергия, подаваемая на трансформатор после достижения насыщения, будет идти на бесполезный нагрев.

Целью данной статьи является рассмотрение одного из методов исследования параметров ферритовых сердечников.

Исследование параметров ферритовых сердечников производится путём подачи коротких низкочастотных импульсов на исследуемый образец с параллельным просмотром на экране осциллографа значений напряжения. Для того чтобы достигнуть состояния насыщения мы меняем длительность импульса, подаваемого на образец, и смотрим за изменением напряжений на исследуемом образце и на датчике тока, который по схеме включен последовательно с индуктивностью. Номинал датчика тока выбираем пропорциональным единице для удобства расчёта значения тока, протекающего по обмотке индуктивности. До тех пор, пока импульс будет слишком короткий, для того, чтобы перевести сердечник в состояние насыщения, ток на феррите будет расти медленно либо его не будет вовсе. Как только длительность импульса будет достаточно для насыщения, осциллограмма перестанет менять своё значение. Это значит, что все диполи внутри сердечника развернулись по направлению электромагнитного поля, возникающего в обмотке, и дальнейшее накопление энергии в сердечнике невозможно.

Основной формулой для расчёта количества энергии, накопленной в сердечнике за время t является формула [1].

$$W = \int_0^t \frac{LI^2(t)}{2} dt \text{ QUOTE,} \quad (1)$$

где L – индуктивность сердечника, I – сила тока протекающего по обмотке, t – время импульса подаваемого на образец.

В качестве примера был исследован образец ферритового сердечника М-1000НМ с начальной магнитной проницаемостью $\mu = 1000$. Индуктивность сердечника вычисляется по формуле

$$L = W^2 * \frac{\mu}{2500} * h * \frac{D_{нар} + D_{вн}}{D_{нар} - D_{вн}} [2],$$

где L – индуктивность, W – число витков, μ – начальная магнитная проницаемость сердечника, $h = 6$ мм, $D_{нар} = 20$ мм, $D_{вн} = 12$ мм – размеры кольца (рис. 1).

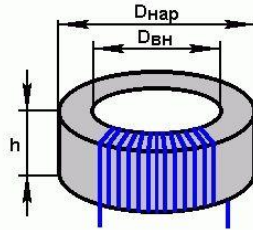


Рис. 1. Ферритовый сердечник

$$L = 10^2 \times \frac{1000}{2500} * 6\text{мм} * \frac{20\text{мм} + 12\text{мм}}{20\text{мм} - 12\text{мм}} = 9.6 \text{ мГн}$$

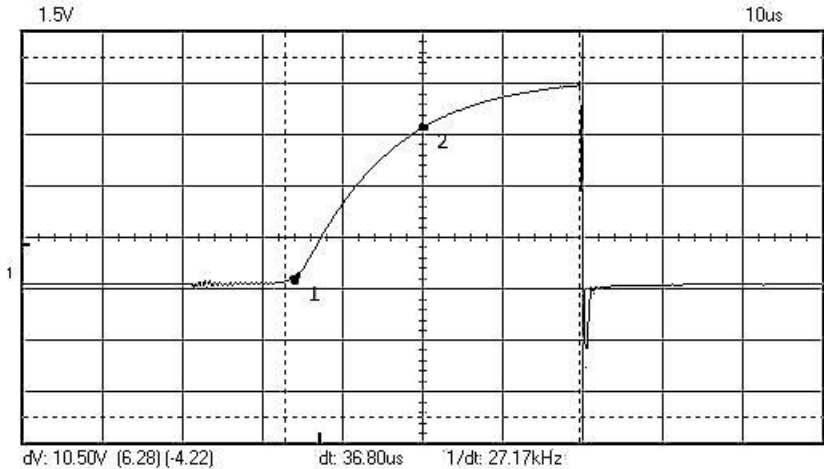


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на датчике тока

По результатам измерений на датчике тока была получена осциллограмма, приведенная на рис. 2. На этой осциллограмме видно, что насыщение сердечника начинается после достижения точки 2, а значит и рабочий участок для импульсного трансформатора можно выбрать 1-2. На этом участке изменение тока условно считаем линейным, а точку 1 началом отсчёта координат, поэтому функция зависимости тока от времени будет выглядеть следующим образом: $I(t) = kt$. Для вычисления количества энергии, накопленной на сердечнике, воспользуемся формулой (1):

$$W = \int_0^{0.000015} \frac{0,0096\text{Гн} * (666667t)^2}{2} dt = 0.24\text{мВм} .$$

Вывод: в статье был рассмотрен магнитный метод исследования параметров ферритовых сердечников. В качестве примера мы исследовали образец М-1000НМ (20x12x6).

Библиографический список

1. Семёнов Б.Ю. Силовая электроника от простого к сложному. М.: Высшая школа, 2017, 417 стр.
2. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы. М.: СОЛОН-Пресс 1976, 352 стр.

УДК 621.391.82

Н.В. Корчигин

магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

Д.К. Шелест

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

ВЛИЯНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРИ КОРОТКИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСАХ

Обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) при проектировании электронных средств играет важную роль для обеспечения стабильной и долгосрочной работы устройств. Одной из важнейших задач ЭМС является защита электронных компонентов от воздействия внешних электромагнитных излучений, которые могут вызвать сбои в работе аппаратуры и даже вывести ее из строя [1]. Эта задача традиционно решается экранированием электронной аппаратуры. Однако расположение радиоэлектронной аппаратуры внутри замкнутых металлических корпусов, как правило, невозможно. Наличие отверстий в экране бывает необходимо в связи с теми или иными конструкционными решениями, в частности, для теплоотвода. Чтобы обезопасить технику от внешних электромагнитных импульсов, отверстия необходимо делать определенной формы и размера, а также необходимо выбирать оптимальную площадь расположения отверстий.

В данной статье рассмотрены экспериментальные результаты исследования ослабления спектральной плотности энергии электромагнитного импульса, переносимого волнами вертикальной и горизонтальной поляризации, вносимого экраном с эллиптическими отверстиями.

Измерения проводились на антенном измерительном широкополосном комплексе ТМСА-40Д14. Назначение комплекса – измерение радиотехнических характеристик антенных устройств в диапазоне частот 0,8-40 ГГц. Схема измерений стенда представлена на рис. 1, а макет исследуемого блока на рис. 2.

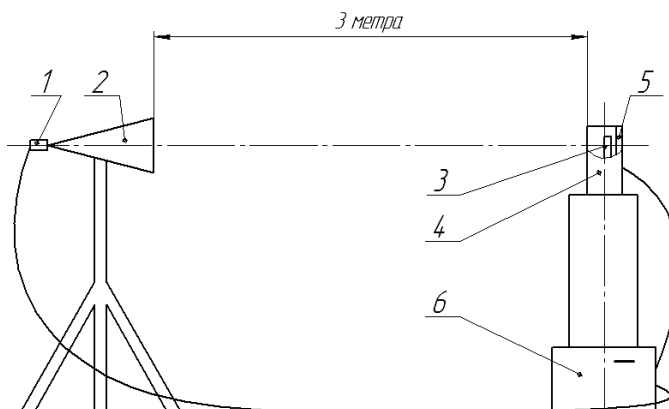


Рис 1. Схема лабораторного стенда: 1 – генератор импульсов; 2 – излучающая антенна П6-23; 3 – приемная антенна; 4 – корпус с отверстиями; 5 – поглотитель; 6 – стробоскопический осциллограф
комплекс антенный измерительный широкополосный ТМСА-40Д14

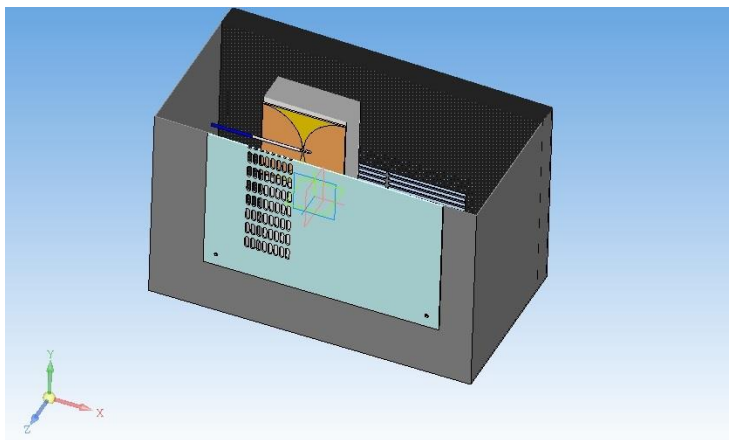


Рис. 2. Исследуемый экранируемый блок

Макет представляет собой металлический корпус с габаритами 390x400x210 мм, толщина стенок 1 мм. Задняя стенка макета покрыта слоем радиопоглощающего материала, который поглощает и предотвращает возникновение внутри корпуса стоячих волн [2]. (Пористый широкодиапазонный радиопоглощающий материал марки C-RAM AR, толщина 25,4 мм). В передней стенке корпуса имеются эллиптические отверстия (рис. 3).

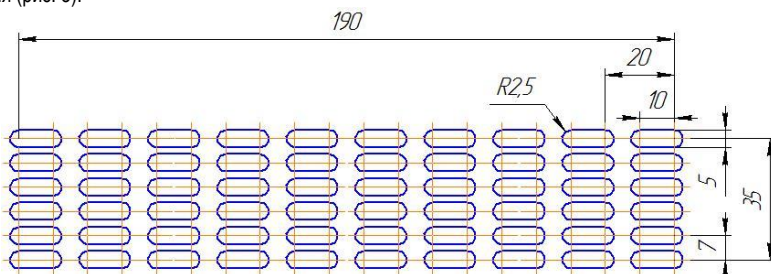


Рис. 3. Характеристики отверстий на лицевой стенке экрана

При измерениях внутри корпуса, напротив отверстий располагалась широкополосная антенна типа Bow – tai [3]. Генератор импульсов, подключенный к антенне-имитатору, вырабатывает импульсы в виде «ступеньки», сигнал подается на антенну-имитатор и принимается антенной, расположенной внутри корпуса (рис. 4). Принятый сигнал разлагается в интеграл Фурье и для анализа используется спектральная плотность мощности на выходе антенны. Ослабление импульса экраном с отверстиями оценивается путем анализа спектральной плотности мощности на выходе антенны в присутствии стенок и в ее отсутствие.

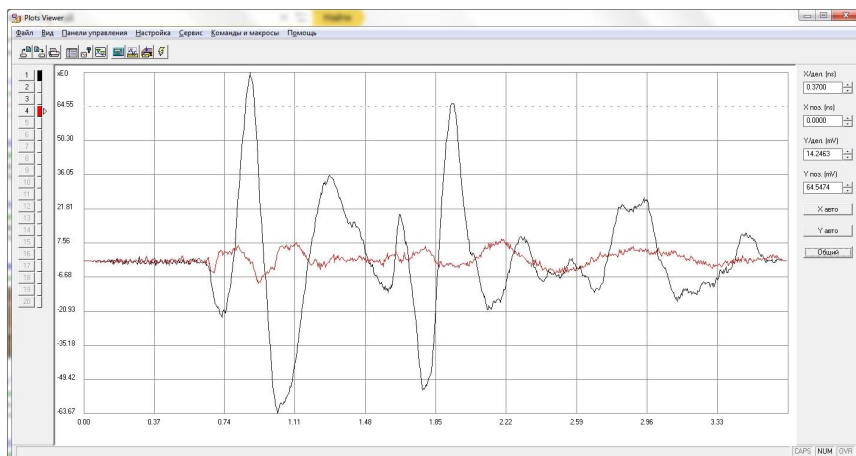


Рис. 4. Импульсы, на выходе антенны Bow – tai

Черным цветом показан сигнал на выходе антенны Bow – tai, с открытой крышкой корпуса. Красным цветом – на выходе антенны Bow – tai с закрытой крышкой корпуса и эллиптическими отверстиями. Как видно из рисунка, наличие экрана, несмотря на отверстия, значительно снижает амплитуду импульса на 60 mV.

На рис. 5 и рис. 6 представлены спектральные плотности мощности на выходе антенны, расположенной внутри корпуса при облучении его импульсом, переносимым волной вертикальной и горизонтальной поляризации.

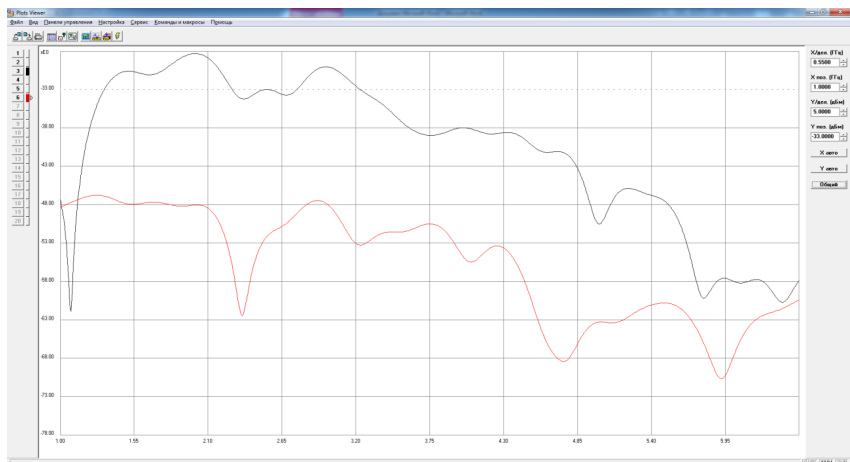


Рис. 5. Измерение горизонтальной поляризации. Черным цветом показан принятый сигнал без передней стенки, красным – после прохождения эллиптических отверстий

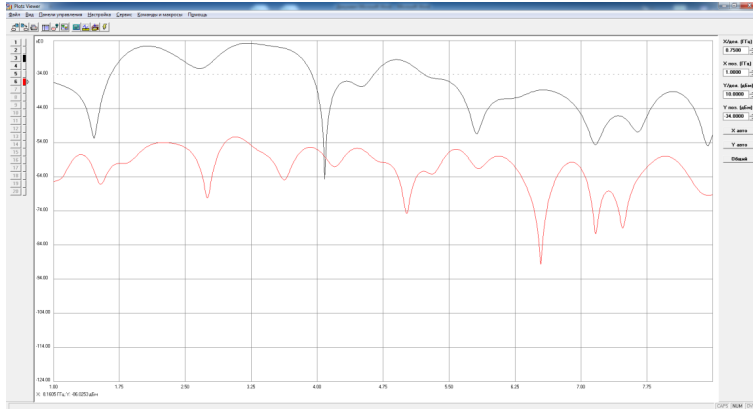


Рис. 6. Измерение вертикальной поляризации. Черным цветом показан принятый сигнал без передней стенки, красным – после прохождения эллиптических отверстий в лицевой

Из приведенных графиков видно, что экран с эллиптическими отверстиями, вытянутыми вдоль колебаний вектора H падающей волны, снижает спектральную плотность мощности внутри корпуса на 15-20 дБ в полосе частот 1,5-6 ГГц. Глубокие узкие провалы на графиках являются результатами интерференции, вызванной особенностями конструкции и размещением антенны внутри корпуса, поэтому они не рассматриваются.

По результатам измерений можно сделать следующие выводы:

- Эллиптические отверстия позволяют снизить амплитуду импульса на 60 мV
- Эллиптические отверстия позволяют снизить мощность, проникающую внутрь блока на 15 – 20 дБ в широкой полосе частот.
- Размеры отверстий, места их расположения в стенках должны определяться конструктором при проектировании устройства и зависят от многих параметров, в том числе: компоновка блока, тепловые расчеты и т.д.

Библиографический список

1. Кечиев Л. Н., и др. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. М.: Книга, 2008. – 478 с
2. Гизатуллин З.М. Повышение эффективности экранирования металлических корпусов электронных средств. // Технологии ЭМС. 2010. № 3(34) С. 37-43.
3. Mahmoud K.R. Design optimization of bow-tie antenna for 2.45 GHz RFID readers using a hybrid BSO-NM algorithm // Progress In Electromagnetics Research, PIER 100, 2010, p.105-117.

УДК 629.735.33

А. И. Кривалова

студентка кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

В. П. Ларин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ

Вакуумно-плазменные технологии относятся к наукоемким технологиям, позволяющим осуществлять обработку материалов и формировать структуры на наноразмерном уровне. Широкое применение процессов плазмохимического травления в технологии микроэлектроники отражает важную тенденцию развития технологии, заключающуюся в переходе от жидкостных процессов к «сухим» газофазным процессам. Эта область технологии является наиболее динамично развивающейся в последние годы. Результаты исследований реализуются в совершенствовании оборудования, которое определяет современный уровень технологии плазмохимического травления и достижениях высоких качественных значений технологических параметров процесса [1].

В данной статье изложены результаты исследования процесса плазмохимического травления (ПХТ), влияния различных факторов на основные характеристики процесса и качество травления. Процесс ПХТ привлекателен тем, что обладает селективностью, равномерностью, и скоростью, сравнимыми с жидкостным химическим травлением, но не требует очистки поверхностей после обработки, позволяет одновременно травить подложки и удалять фоторезистивные маски, а также может использоваться для любых материалов.

Травление – процесс удаления вещества с поверхности твердых тел. При ПХТ для удаления материала используется энергия химических реакций между ионами и радикалами активного газа и атомами (или молекулами) обрабатываемого вещества с образованием летучих стабильных соединений.

Операции размерного травления по функциональному назначению подразделяются на следующие группы:

- травление органических материалов. Типичным примером является вскрытие окон в экспонированной фоторезистивной маске (фоторезист – органический светочувствительный полимер) для последующего размерного травления нижележащего слоя.

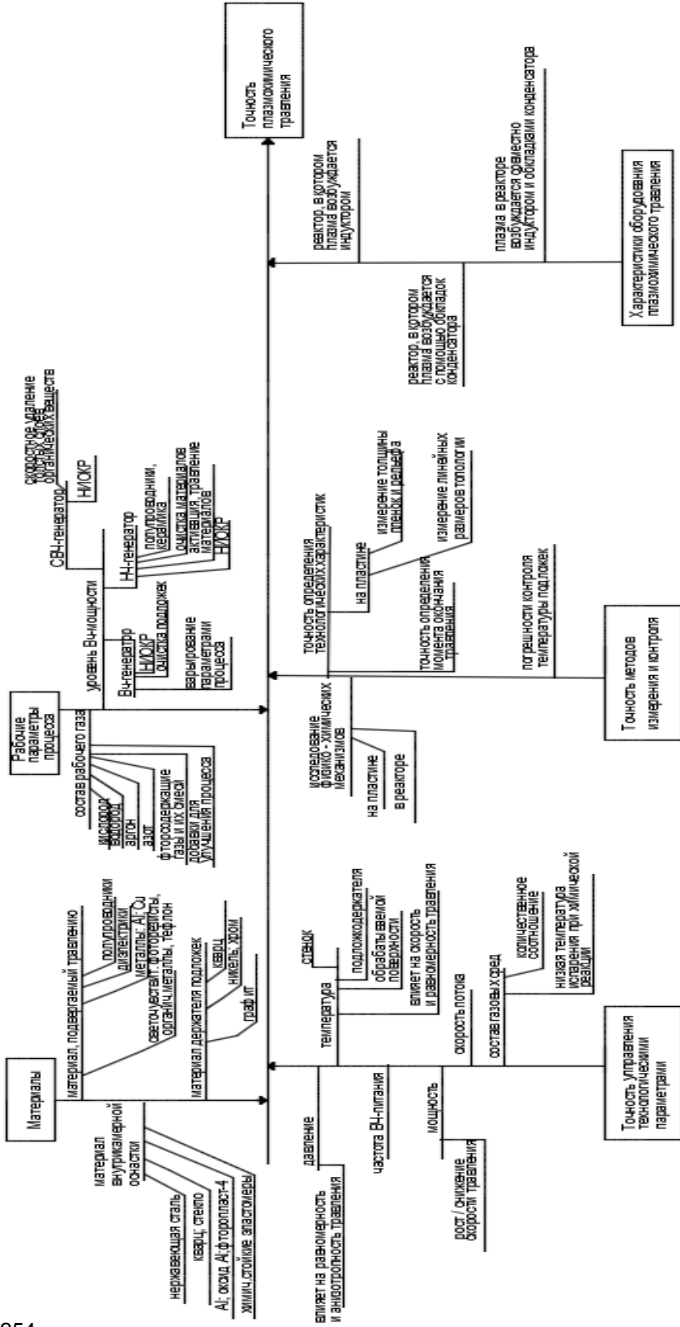
- травление неорганических материалов. Среди таких процессов в первую очередь следует отметить размерное травление моно- и поликристаллического Si, диэлектрических пленок SiO₂ и Si₃N₄ а также пленок некоторых металлов (Al, Cu, Fe, W, Mo и др.), используемых для создания межэлементных соединений, контактов [1].

Технологический процесс травления характеризуется определенными параметрами: скорость травления, анизотропность, селективность травления, равномерность, предельно разрешенный размер, текстура поверхности и др. Все они взаимосвязаны с физико-химическими параметрами применяемых процессов травления.

Рассмотрим основные технологические характеристики методов вакуумно-плазменного травления (ВПТ).

Предельное размерное разрешение – это характеристика, достигаемая в процессе травления. Она является критерием качества переноса рисунка и выражается количеством различных линий на единицу длины, воспроизводимых в процессе травления. Разрешение зависит от селективности и равномерности травления, анизотропности и некоторых других. Разрешение во многом определяется способом ВПТ. Наивысшее разрешение реализовано методом ионного травления.

Под анизотропией при плазменном травлении понимают удаление материала пластины в направлении, перпендикулярном ее поверхности. Наиболее высокую анизотропию обеспечивают системы травления, работающие при низком давлении рабочего газа.



Рисунок

Селективность – это отношение скоростей травления двух различных материалов, например Si и SiO₂, в одной и той же плазме. Селективность понижается при использовании высоких мощностей, температуры и напряжения смещения на подложкодержателе. Величина селективности является основным критерием качества плазменного травления. Выбор газов и технологических параметров для селективного травления материалов остается важнейшей проблемой для специалистов. Факторы, влияющие на селективность травления: состав рабочего газа, уровень ВЧ-мощности, материал держателя подложек. Если при травлении Si и SiO₂ в смеси, содержащие CF₄, добавить в рабочий газ кислорода скорость травления этих материалов резко возрастает. Добавлением в плазму CF₄ водорода либо водородсодержащего хладона (CF₃H) достигается повышение селективности травления SiO₂/ Si.

Главная задача любого процесса удаления материала – получить воспроизводимое вертикальное и горизонтальное травление в разных партиях пластин или на пластинах одной партии. Допустимой нормой при анизотропном травлении структур можно считать неравномерность на уровне не более 10%. Травление субмикронных структур может потребовать равномерности на уровне нескольких процентов на всей площади пластины.

Факторы, влияющие на текстуру поверхности при плазменном травлении, пока не вполне изучены. Но известно, что текстурирование возникает в случае преобладания химической составляющей травления. Предполагают, что неровности поверхности могут быть обусловлены и присутствием небольшого количества нетравящихся примесей из реакторных электродов. Если неровность обусловлена наличием примесей, то проблему можно решить заменой электродного материала.

Для управления технологическими характеристиками процесса плазменного травления наряду с давлением, частотой ВЧ-питания, мощностью, скоростью потока, температурой и геометрией реактора могут использоваться и химические переменные, в частности состав подаваемых газовых сред.

Рассмотрим более подробно данные параметры процесса. Рабочее давление влияет на активацию газа и направленность ионного потока (длина свободного пробега между соударением частиц). Давление является важным параметром, влияющим на равномерность и анизотропию травления. С понижением рабочего давления увеличивается анизотропия и разрешающая способность процесса.

Травление часто выполняется в два этапа: вначале с высокой скоростью удаляется основная часть пленки, а завершающая стадия процесса проводится при уменьшенных значениях потребляемой мощности или с менее активными реагентами. Можно сказать, что увеличение мощности разряда приводит к увеличению числа активных частиц, ионов, росту энергии ионного воздействия, тепловой нагрузки, но ее влияние на ряд других технологических характеристик не столь однозначно. Увеличение мощности может приводить и к росту скорости травления, и к ее снижению; то же можно сказать и об анизотропии, и о селективности травления, когда может снижаться скорость травления основного слоя, но еще более сильно – скорость травления нижележащего слоя.

Что касается температуры стенок, подложкодержателя и обрабатываемой поверхности, то в современных установках, регулируя температуру стенок, повышают селективность процессов и снижают уровень привносимой дефектности при обработке определенного количества пластин. Температура подложкодержателя для увеличения адсорбции активных частиц должна быть ниже температуры стенок. Снижение температуры подложкодержателя обеспечивает повышение селективности травления материалов ИС к фоторезистивным маскам либо одного материала по отношению к другому.

Подходящий выбор травящего газа плазмы необходим для достижения удовлетворительного профиля травления, равномерности процесса, контролируемой селективности и необходимой производительности. Успешное проведение процесса ПХТ в основном определяется правильным выбором рабочего вещества: газа или смеси газов. В качестве рабочих веществ используются галогенсодержащие и инертные газы, легколетучие жидкости, кислород и водород. Кислород и галогены – наиболее сильные окислители, водород – эффективный восстановитель. Радикалы и ионы, образующиеся в электрическом разряде на этих газах, способны взаимодействовать практически со всеми материалами. Необходимо, чтобы энергетические частицы реактивной плазмы образовывали с обрабатываемым материалом летучие соединения при достаточно низких температурах. Их испарение с поверхности и последующая откачка обеспечивает необходимое удаление обрабатываемого материала. Формирование нелетучего соединения останавливает или значительно затормаживает процесс ПХТ.

При выборе материала внутрикамерной оснастки: электродов, важным критерием является их физическая и химическая стойкость по отношению к среде процессов травления. Стенки реактора должны быть прогреваемыми до минимально необходимой температуры, гладкими и минимально взаимодействовать с плазмой (продукты взаимодействия плазмы и материала стенок не должны травить или полимеризоваться на подложке). Материал электродов должен быть инертен по отношению к химически активным частицам плазмы и иметь близкие с материалом стенок коэффициент гибели частиц. С этой целью электроды делают из сильно анодированного алюминия. Применение алюминия, кварца, фторопласта обусловлено низкими коэффициентами их распыления и минимальным влиянием этих распыленных материалов на подложку [2].

Все факторы, параметры, влияющие на качество ПХТ, выявленные в процессе проведенного исследования, представлены на рисунке в виде диаграммы Исакавы.

Критичными параметрами плазменной обработки являются: рабочее давление; газовый поток и его концентрация: объем и тип газа влияют на скорость травления; энергия ВЧ-поля: влияет на скорость травления и температуру заготовок; температура материала: влияет на скорость и равномерность травления; время обработки: в сочетании со скоростью травления позволяет оптимизировать равномерность обработки [3].

Для выполнения качественного ПХТ необходимо настраивать технологический процесс плазменной обработки по-разному, учитывая зависимость технологических характеристик от критичных параметров, рассмотренных в данной статье.

Библиографический список

1. *Ефремов А. М., Светцов В. И., Рыбкин В. В.* Вакуумно-плазменные процессы и технологии: учеб. пособие; ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново, 2006. 260 с.
2. *Галперин В. А., Данилкин Е. В., Мочалов А.И.* Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учеб. пособие; под ред. С.П. Тимошенко. – 3-е изд. (эл.). – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 238 с. : ил. – (Нанотехнологии).
3. *Медведев А., Пересьпин С.* Использование плазмы в производстве печатных плат. Технологии в электронной промышленности. 2013. №3. 18-20 с.

УДК 004.655.2

М.И. Кривых

студент кафедры медицинской радиоэлектроники

А.С. Афанасенко

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА

Электрокардиография – самый распространенный вид исследования работы сердца. Это ценный метод диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы, основанный на измерении колебаний электрического поля сердечной мышцы.

Электрокардиограмма – это графическое отображение электрических потенциалов, возникающих во время сокращений сердца. ЭКГ является наиболее распространенным, массовым, недорогим, доступным исследованием, позволяющим получить много информации о состоянии сердца. Поскольку ЭКГ-сигнал представляет собой временную зависимость проекции интегрального электрического вектора сердца на линию отведения, то, моделируя изменение ИЗВС в пространстве и получая его проекции на различные линии отведения, можно получить модель временного ряда ЭКГ[1]. Техника регистрации сердечных импульсов довольно проста, обычно процедура не занимает более 10 минут.

База данных – набор сведений, хранящихся некоторым упорядоченным способом, это хранилище данных. Сами по себе базы данных не представляли бы интереса, если бы не было систем управления базами данных (СУБД). Система управления базами данных – совокупность языковых и программных средств, которая осуществляет доступ к данным, позволяет их создавать, менять и удалять, обеспечивает безопасность данных и т.д. В общем, СУБД – это система, позволяющая создавать базы данных и манипулировать сведениями из них. А осуществляет этот доступ к данным СУБД посредством специального языка – SQL. SQL – язык структурированных запросов, основной задачей которого является предоставление простого способа считывания и записи информации в базу данных.

В последнее время термин "NoSQL" стал очень модным и популярным, активно развиваются и продвигаются всевозможные программные решения под этой вывеской. Синонимом NoSQL стали огромные объемы данных, линейная масштабируемость, кластеры, отказоустойчивость, нереляционная.

NoSQL относится к базе данных, которая не основана на SQL (Structured Query Language), языке, чаще всего ассоциирующимся с реляционными базами данных. По факту, NoSQL-данные не являются реляционными, NoSQL БД обычно не имеют схем, и они имеют более согласованную модель, чем имеющиеся в традиционных реляционных БД. Термин "NoSQL" означает, что традиционные реляционные БД не позволяют решить все задачи, особенно те, которые связаны с большими объемами данных. Термин был расширен до значения "Not only SQL", который означает поддержку для потенциальных SQL-интерфейсов в каждом ядре нереляционной БД. Разработчики приложений, которые используют NoSQL решения, не обязательно исключают реляционные БД, а вместо этого видят ценность правильности использования каждого из хранилищ, данных для решения соответствующей задачи.

Существует из наиболее известных базы записей электрокардиограмм: MIT-BIH: база данных аритмий Массачусетского технологического института и больницы «Beth Israel»; AHADB: База данных Американской кардиологической ассоциации для оценки детекторов желудочковых аритмий NST DB: база данных для тестирования помехоустойчивости; ESCDB: База данных ST-T Европейского кардиологического общества; CU DB: база данных стабильных желудочковых аритмий Крейтонского Университета. Все перечисленные базы данных, за исключением AHA DB, частично или полностью доступны на сайте «PhysioNet» [2], который представляет собой базирующуюся в Массачусетском технологическом институте (Бостон, США) общественную службу поддержки исследований в области обработки сложных физиологических сигналов. На сайте «PhysioNet» размещены около сотни баз данных электрокардиограмм и других физиологических сигналов. Эти базы данных представлены в едином форма-

те (первоначально разработанном для MIT-BIH) и предназначены как для поддержки работ по созданию новых программно-алгоритмических средств, так и для обеспечения процедур тестирования аппаратуры и пакетов программ.

База данных InfluxDB, написанная на языке Go – продукт новый: первый его релиз состоялся в октябре 2013 года. Она позиционируется как база данных для хранения временных рядов, метрик и информации о событиях. В числе преимуществ InfluxDB в первую очередь нужно выделить следующие: отсутствие зависимостей (следствие того, что она написана на Go); возможность работы в том числе и в кластерном режиме; наличие библиотек для большого числа языков программирования (Python, JavaScript, PHP, Haskell и других); SQL-подобный язык запросов, с помощью которого можно производить различные операции с временными рядами (объединение, слияние, разбиение на части); удобный графический интерфейс для работы с БД; InfluxDB позволяет хранить большие объемы данных.

В качестве низкоуровневого хранилища пар «ключ-значение» в InfluxDB используется база данных LevelDB. Для этой цели можно также использовать RocksDB (по утверждению разработчиков InfluxDB, именно это хранилище показывает наилучшую производительность), и LMDB.

Записывать данные в InfluxDB можно различными способами. Во-первых, данные в формате JSON можно передавать через HTTP API. Во-вторых, InfluxDB поддерживает протокол Carbon, используемый в инструменте для обработки и визуализации данных Graphite. В-третьих, данные можно отправлять по протоколу UDP.

InfluxDB может использоваться в качестве бэкенда для Graphite, и благодаря этому можно существенно повысить его производительность. Поддерживается также возможность работы с дашбордом для метрик Grafana.

Несомненным плюсом InfluxDB являются и широкие возможности интеграции с другими программными продуктами – например, инструментом для обработки логов Fluentd, демонами для сбора статистики CollectD и StatsD, фреймворками для мониторинга Sensu и Shinken.

Имеются клиентские библиотеки для языков JavaScript, Ruby, Ruby on Rails, Python, Node.js, PHP, Java, Clojure, Common Lisp, Go, Scala, R, Erlang, Perl, Haskell, .NET(C#) [3].

В результате будет разработан прототип системы хранения кардиосигналов на основе базы Influxdb, реализовать минимальный интерфейс пользователя для загрузки/выгрузки данных в виде текстовых файлов, а также подключить визуализацию данных на основе библиотеки Grafana. При разработке системы в качестве исходных данных использовалась база данных электрокардиограмм PhysioNet. Кроме этого был произведен анализ InfluxDB с целью изучения вопросов, связанных с созданием базы данных. В базы данных вносятся время и дату выполнения кардиограммы, заболевание, электрокардиограмма.

Библиографический список

1 Дощицин В. Л. Практическая электрокардиография. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1987. – 336 с.

2 <http://www.physionet.org>

3 Rick Cattell Scalable SQL and NoSQL Data Stores / Cattell Rick / SIGMOD Record, December 2010.

– 27 с.

УДК 681.3

В. С. Логинова

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

В. П. Ларин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

ЗАДАЧИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКИХ РАЗРАБОТОК И НАПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЙ

Необходимость создания интеллектуальных систем возникла при решении сложнейших задач в различных областях науки, в том числе таких, которые на сегодняшний день под силу только человеческому мышлению.

Основные усилия в области создания и использования искусственного интеллекта (ИИ) предпринимаются в направлении эмуляции мышления человека – разработке методов, которые позволили бы запрограммировать машину таким образом, чтобы она могла моделировать (воспроизводить) или даже превосходить способности человеческого разума.

Одним из направлений ИИ являются экспертные системы. Экспертная система может полностью взять на себя функции поддержки принятия решения человеком при решении сложных задач, выполнение которых обычно требует привлечения опыта человека-специалиста.

В современных условиях наиболее эффективным решением проблемы ИИ является создание экспертных систем (ЭС) технологического или конструкторско-технологического назначения в силу большой трудоемкости процессов проектирования и огромного числа требований и ограничений в процессе создания каждого конкретного изделия [1]. Основой таких ЭС могут служить существующие ЭС, решающие похожие задачи в производственной и других научно-технических областях. Например, задачи планирования, анализа и диагностирования, управления и др. Существующие ЭС решающие эти задачи естественно имеют определенную специфику, которая заключается в оригинальности данных, которыми оперирует конкретная ЭС, особенности набора правил для управления этими данными. Каждая ситуация, событие описывается сугубо оригинальным составом данных и решений. Несмотря на эти особенности прикладного характера, для решения конструкторско-технологических задач все же возможно заимствование системной структуры (архитектуры) ЭС, организации базы данных (БД) и базы знаний (БЗ), стратегии поиска решений и др.

В большинстве случаев не удается организовать однозначный выбор порядка выполнения проектирования, причиной чему является либо отсутствие достаточных знаний о данной предметной области, либо существование множества близких к оптимальному решений. Неполнота имеющихся знаний означает, что ЭС должна следовать стратегии наименьшего принуждения и обладать способностью формировать предложения по наилучшему развитию текущего частичного варианта проекта. Поскольку такое предложение не всегда может быть правильным, программа должна иметь возможность обнаружить нарушение имеющихся ограничений в текущем незавершенном варианте проекта и либо вернуться и попробовать другой вариант продолжения, либо предложить способ устранения обнаруженного несоответствия. При реализации такой стратегии важную роль играет механизм записи и сохранения ранее принятых решений и отношений между ними.

Если задачи конструирования в определенной области могут иметь несколько вариантов решения, то самая простая стратегия для ЭС – выбрать первое подходящее, ограничиваясь проверкой только жестких ограничений. Перебор нескольких вариантов и их последующее сравнение требует слишком больших вычислительных затрат. Это связано, в первую очередь, с тем, что проблемы конструирования или выбора компоновки многокомпонентной системы определены на довольно большом, а иногда и на бесконечно большом пространстве поиска вариантов, и этим они разительно отличаются от проблем классификации.

Совершенно очевидно, что размер пространства решений влияет на проблемы конструирования значительно сильнее, чем на проблемы классификации.

Методы, основанные на знаниях, являются реальной альтернативой алгоритмическому подходу в тех случаях, когда имеется достаточный объем знаний в конкретной предметной области, которые позволяют

реализовать стратегию предложения и пересмотра или предложения и исправления. Но для реализации таких методов требуется довольно специфический механизм управления и обратного прослеживания решений, принимаемых программой.

Каждому объекту соответствует карточка с набором односложных атрибутов (фактов), в достаточной мере описывающих данный объект. Эти атрибуты образуют картотеку исследуемых объектов. Каждому исследованию соответствует свой набор односложных атрибутов. Такое описание позволяет накапливать статистическую информацию для экспертного запроса, как по картотеке, так и по исследованиям, проводить по атрибутам быстрый поиск и идентификацию объекта. Набор атрибутов пользователь определяет и заполняет в том объеме, который считает достаточным для своей работы. Набор атрибутов формируется динамически и каждый вновь включенный атрибут автоматически становится ключевым для поиска. Набор атрибутов исследуемого объекта может задаваться группой пользователей в том объеме, который им необходим для полноты информации. Это должно осуществляться как минимум через два списка атрибутов. Один список пользователей. Второй список библиотечный для согласованного ведения карточки и стыковки вводимых данных. Метод исследования объекта определяется исходя из интересов пользователя. Этот метод определяет составные части объекта, порядок исследования, формализации данных и так далее.

Формализация данных должна придерживаться некоторых общих правил независимо от метода исследования. Например, на каждую составную часть исследования составляется описание и заключение. Должна допускаться вариация описаний и заключений. При необходимости, эти компоненты могут произвольно дополняться новыми компонентами.

Построение системы на вышеперечисленных постулатах должно иметь механизм подготовки формализованных документов и элементы экспертной оценки формализованных данных на этапе их ввода через формализованный документ и на стадии анализа этих данных. Экспертная оценка должна опираться как минимум на несколько видов подсистем разной степени сложности. Тогда можно надеяться на составление заключения на основе первичных описаний. Для этого введем понятие интеллектуальности и попробуем задать шкалу интеллектуальности экспертной оценки.

Первая степень – это когда результат может быть получен методом сверки введенных значений с таблицей или номограммой.

Вторая степень позволяет пользователю по введенному описанию составной части исследования получить возможность подсказки для заключения, если для этого есть необходимость и время для ожидания формирования такой подсказки.

Третья степень использование сложных методов формирования комплексного заключения, базирующихся на системе принятия решений, теории вероятности, функций предпочтения и так далее.

Рассмотрим процесс создания конструкторской ЭС, взяв за основу систему, которую условно можно считать в определенной степени близкой по возможным приложениям. Рассмотрим систему *R1/XCON* [2], которая была создана для помощи разработчикам при определении конфигурации вычислительной системы на базе вычислительных устройств и блоков семейства *VAX*. Коммерческая версия системы, разработанная совместно университетом Карнеги–Меллон и корпорацией *Digital Equipment*, получила наименование *XCON*.

Практическим применением системы *XCON* была разработка конфигураций вычислительных комплексов *VAX-11/780*, *VAX-11/750* и последующих модификаций продукции *DEC*.

Задачу системы *R1* нельзя отнести к типу тривиальных. Типовой вычислительный комплекс включает 50-100 компонентов, главными из которых являются центральный процессор, устройство управления оперативной памятью, блоки управления интерфейсом по шинам *UNIBUS* и *MASSBUS*, причем все эти компоненты подключены к единой плате синхронизации. Шинные интерфейсы поддерживают обмен с широкой номенклатурой периферийных устройств – устройствами внешней памяти на магнитных лентах и дисках, принтерами и т.п. В результате имеется возможность строить системы самой различной конфигурации.

Получив заказ с спецификацией характеристик объекта проектирования, ЭС должна принять решение о том, какие устройства нужно включить в состав комплекса и как их объединить в единую систему. Принять решение о том, соответствует ли определенная конфигурация тем характеристикам, которые представлены в заказе, не так просто, поскольку для этого нужно обладать знаниями о возможностях и характеристиках всех компонентов и отношениях между разными компонентами. Не менее сложна и задача оптимальной компоновки комплекса из выбранного набора компонентов, поскольку при ее решении

нужно принимать во внимание множество ограничений на взаимное расположение компонентов в структуре комплекса. Например, подключение модулей расширения к устройству синхронизации требует учитывать ограничения по токовой нагрузке, существующие для устройства синхронизации, и распределение приоритетов прерываний для подключаемых модулей расширения. Таким образом, задачу выбора конфигурации можно с полным правом считать классической конструктивной проблемой, которая требует для своего решения значительного объема экспертных знаний.

В ЭС, взятой за основу, главным является подход, предполагающий, что процесс решения направляется данными (*data-driven*). Сначала программа определяет множество компонентов и далее пытается сконструировать такую конфигурацию этих компонентов, которая удовлетворяла бы ограничениям, вытекающим как из характеристик отдельных компонентов, так и из отношений и связей между ними. Для реализации программы был использован язык *OPS5*, один из первых языков представления правил, прямым предшественник языка *CLIPS*.

Успешная работа программы ЭС нуждается в знаниях двух видов: знания о характеристиках компонентов – электрических (напряжение питания, потребляемая мощность, параметры выходных сигналов и т.п.), механических (габариты, тип и количество разъемов), структурных (количество портов) и т.п. и знания об ограничениях, накладываемых на "совместимость" компонентов, – правилах формирования частичных конфигураций и их расширения.

Знания о компонентах хранятся в БД отдельно как от памяти системы порождающих правила, так и от рабочей памяти транзитных элементов данных. Таким образом, БД имеет статическую структуру, в то время как рабочая память является динамической. В отличие от памяти порождающей системы организованной в виде набора модулей, управляемых по определенной схеме, БД состоит из записей обычной структуры, которые для каждого компонента хранят информацию о его классе, типе и множестве характеристик [1].

Знания об ограничениях сохраняются в виде правил в памяти продукционной системы программы ЭС. Левая часть правил описывает условия (ситуацию), при соблюдении которых возможно расширение частичной конфигурации, а правая часть описывает, как выполняется расширение. В начале сеанса работы с системой рабочая память пуста, а в конце сеанса в ней содержится описание сформированной конфигурации. Компоненты в этом описании представлены в виде лексем, имеющих вид векторов, состоящих из элементов "атрибут-значение". С информацией, хранящейся в БД компонентов, ЭС может выполнять несколько видов операций: генерировать новую лексему, отыскивать лексему, отыскивать подстановку для заданной лексемы, извлекать атрибуты, связанные с заданной лексемой, и извлекать шаблон, который в дальнейшем должен быть заполнен.

Помимо лексем компонентов, рабочая память содержит элементы – модули [1], которые представляют частичные конфигурации конструкции, результаты вычислений и символическое описание текущей задачи. Система хранит десятки тысяч правил, значительная часть которых определяет, какое следующее действие должна выполнить программа. Такие управляющие знания о предметной области позволяют программе ЭС принимать решение о том, с чего начинать и как расширять структуру комплекса, не используя при этом сложные процедуры поиска. Программа ЭС, как правило, не нуждается в обратном прослеживании неудовлетворительных решений, которое можно было бы использовать для отмены сформированной частичной конфигурации и замены ее новой.

Использованные в рассмотренной структуре ЭС управляющие знания малочувствительны к очередности применения отдельных правил. Этим она отличается от систем, в которых общая задача конфигурирования решается разделением на подзадачи и выбором групп правил, соответствующих определенной подзадаче. В результате процесс решения проблемы в ЭС направляется последовательностью активизированных правил.

Библиографический список

1. Ларин В. П. Автоматизация процесса выбора конструктивно-технологических решений при проектировании бортовой электронной аппаратуры / В. П. Ларин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 7. – Часть 1. – С. 63–66.
2. Jung Gen Wu and other, A model-based expert system for digital system design // IEEE DESIGN & TEST OF COMPUTERS: December, 1990. P. 24 – 40.

УДК 681.5.08

М.М. Марачковский

студент кафедры конструирования и технологии лазерных и электронных средств

А.Г. Михайлов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРА

В работе получена математическая модель MEMS-акселерометра, которая позволяет проводить моделирование систем измерения параметров движения с учетом его динамических свойств.

MEMS-акселерометры используются как для определения угловой ориентации аппарата, так и для уточнения его позиции. Область применения датчиков очень широка от игровых систем до навигационных систем. Для эффективного использования MEMS-акселерометров необходимы эффективные и надежные алгоритмы обработки и анализа их выходных сигналов. В ходе разработки таких алгоритмов необходимо учитывать множество факторов, влияющих на точность определения координат объекта и определения скорости его перемещения [1].

Существенное влияние на результаты измерения, в системах измерения параметров движения на базе MEMS-акселерометров, оказывают динамические свойства данных акселерометров. Учет этих свойств в алгоритме обработки выходных сигналов акселерометров позволит добиться повышения точности измерения.

Таким образом, целью настоящей работы является создание математической модели MEMS-акселерометра, основанной на принципе его работы и учитывающей его статические и динамические параметры.

В качестве системы отсчета при составлении уравнения динамики принимаем систему, связанную с Землей. Результирующее ускорение движения инерционной массы в этой системе определяем согласно выражению:

$$a_p = a + a_{вн}, \quad (1)$$

где a_p – ускорение движения инерционной массы в системе, связанной с Землей; a – ускорение движения объекта в системе отчета, связанной с Землей; $a_{вн}$ – ускорение движения инерционной массы датчика в системе отчета, связанной с системой координат 0-х' внутри датчика.

Движение инерционной массы с ускорением a_p обеспечивает сила, связанная с ним согласно второму закону Ньютона:

$$F = m \times a_p, \quad (2)$$

где F – сила, действующая на инерционную массу; m – величина инерционной массы.

При движении на инерционную массу действует сила упругости упругого элемента и сила сопротивления движению. Их сумма равна силе в выражении (2).

Сила упругости, согласно закону Гука:

$$F_y = -k \times x', \quad (3)$$

где F_y – сила упругости, действующая на инерционную массу; k – жесткость упругого элемента; x' – смещение инерционной массы внутри датчика относительно нулевого положения в системе координат 0-х'.

Сила сопротивления движению инерционной массы внутри датчика:

$$F_c = -b \times \frac{dx'}{dt}, \quad (4)$$

где F_c – сила сопротивления движению инерционной массы; b – коэффициент сопротивления.

С учетом зависимостей (3) и (4) представим выражение (2) в виде:

$$m \times a_p = -k \times x' - b \times \frac{dx'}{dt}, \quad (5)$$

Определим величину $a_{\text{вн}}$, как вторую производную смещения инерционной массы внутри датчика:

$$a_{\text{вн}} = \frac{d^2 x'}{dt^2}, \quad (6)$$

С учетом выражений (1) и (6) представим выражение (5) в виде:

$$m \times a + m \times \frac{d^2 x'}{dt^2} = -k \times x' - b \times \frac{dx'}{dt}, \quad (7)$$

Преобразовав выражение (7), получим дифференциальное уравнение, связывающее величину ускорения движения объекта с величиной смещения инерционной массы, которое регистрируется датчиком:

$$m \times \frac{d^2 x'}{dt^2} + k \times x' + b \times \frac{dx'}{dt} = -m \times a, \quad (8)$$

Применив к выражению (8) преобразование Лапласа с учетом нулевых начальных условий, получим:

$$m \times p^2 \times x'(p) + b \times p \times x'(p) + k \times x'(p) = -m \times a(p), \quad (9)$$

где $x'(p)$ – изображение по Лапласу смещения инерционной массы внутри датчика; $a(p)$ – изображение по Лапласу ускорения движения объекта вдоль оси чувствительности датчика.

Находим передаточную функцию датчика по каналу ускорение – смещение инерционной массы, используя выражение (9):

$$W_1(p) = \frac{x'(p)}{a(p)} = \frac{-m}{m \times p^2 + b \times p + k}, \quad (10)$$

где $W_1(p)$ – передаточная функция датчика ускорения по каналу ускорение – смещение инерционной массы.

Поскольку выходное напряжение датчика прямо пропорционально смещению инерционной массы, используя выражение (10) можно записать передаточную функцию датчика по каналу ускорение – выходное напряжение:

$$W_D(p) = \frac{K_D}{a_1 \times p^2 + b_1 \times p + 1}, \quad (11)$$

где $W_D(p)$ – передаточная функция датчика по каналу ускорение – выходное напряжение; K_D – статический коэффициент датчика по каналу ускорение – выходное напряжение; a_1 и b_1 – коэффициенты, определяющие постоянные времени объекта второго порядка.

Выражение (11) является математической моделью акселерометра. Для его практического использования необходимо найти статический передаточный коэффициент датчика и коэффициенты, определяющие постоянные времени.

Получена обобщенная математическая модель MEMS-акселерометра в виде передаточной функции. Данная модель может быть использована при моделировании систем мониторинга движения. Так же данная модель позволяет исследовать влияние динамических параметров данного акселерометра на измерительные ошибки.

Библиографический список

1. Волков В.Л. Обоснование требований к параметрам микромеханического акселерометра // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеяева. 2011. №2 (87). С.288-295.

УДК621.391.823

С.Р. Нурғалиев

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

А.В. Семенов

старший преподаватель – научный руководитель

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ

Электромагнитная совместимость – это способность электрооборудования удовлетворительно функционировать в условиях электромагнитных воздействий со стороны окружающей среды, а также не оказывать недопустимого воздействия на эту окружающую среду, которая включает в себя другое электрооборудование. В последнее время пристальное внимание уделяется вопросам обеспечения электромагнитной совместимости электронных устройств и модулей с их отдельными узлами и компонентами. Рост требований к дальнейшему улучшению характеристик электромагнитной совместимости (ЭМС) обусловлен тем, что область применения электронных устройств постоянно расширяется. Системные решения на основе микроэлектроники и полупроводниковой электроники применяются во всех сферах промышленности, домашнего хозяйства и на транспорте. В настоящее время оценка продукции с точки зрения ЭМС необходима в ещё большей степени, чем на ранних этапах развития электроники.

Электромагнитные помехи возникают вследствие природных явлений или как результат технических процессов. Примерами естественных помех могут служить атмосферные разряды (электромагнитные импульсы, возникающие при ударе молнии или электростатические разряды). В промышленном оборудовании основным источником помех являются процессы переключения в электрических цепях, связанные с очень быстрым изменением токов и напряжений, что в свою очередь, ведёт к появлению электромагнитных помех, которые могут быть периодическими или случайными. Воздействие этих помех может носить, как кондуктивный (в виде наводки на токи или напряжения в проводниках), так и излучательный (под влиянием переменного электромагнитного поля) характер.

Тип кондуктивной помехи, когда наведённый в проводниках ток имеет знак, т.е. с одинаковой амплитудой протекает как в прямом, так и в обратном направлении, называется симметричной, или дифференциальной, помехой. Если ток помехи замыкается на землю или протекает по проводнику в одном направлении, то такая помеха называется асимметричной, или синфазной. Сигналы помех имеют различные виды в частотной и временной области (рис. 1).

Электромагнитная связь между источником и приёмником помех может возникать в результате:

- гальванической связи (наиболее распространённый случай), которая создаёт симметричные помехи;
- ёмкостной связи, возникающей в результате воздействия переменного электрического поля на паразитные конструктивные ёмкости;
- индуктивной связи, вызванной нахождением проводника, по которому течёт ток в переменном магнитном поле;
- электромагнитной связи, которая может иметь кондуктивный характер (возникает как наводка на проводниках в кабельных жгутах или на проводящих дорожках печатной платы).

Классификация отказов, связанных с воздействием ЭМС, представлена в табл. 1.

Значительное число видов помех ЭМС и связанных с ними отказов требуют серьезных исследований по обеспечению помехоустойчивости. В табл. 2 приведены результаты анализа таких методов, применительно к электротехнической аппаратуре.



Рис. 1. Представления различных сигналов помех в частотной и временной области

Таблица 1

Виды помех и возможные виды отказов, вызываемые этими помехами

Микросекундные импульсные помехи	<ul style="list-style-type: none"> Перегорание плавких предохранителей; Разрушение интерфейсных элементов (трансформаторов, оптронов, преобразователей и т.п.); Перекрытие между цепями ввода-вывода и внутренними цепями аппаратуры, приводящие к выходу из строя основных логических элементов.
Наносекундные импульсные помехи	<ul style="list-style-type: none"> Ложное срабатывание индикаторов из-за изменения состояния соответствующих логических схем под действием помех; Перезагрузка из-за срабатывания сторожевых таймеров и других средств самоконтроля; «Зависание» аппаратуры из-за появления фатальных ошибок в программных данных; Временный (до 3-5 мин) выход из строя схем на основе КМОП-логики; Невосстанавливаемое повреждение интегральных схем.
Электростатический разряд	<ul style="list-style-type: none"> Перезагрузка из-за срабатывания сторожевых таймеров и других средств самоконтроля; «Зависание» аппаратуры из-за появления фатальных ошибок в программных данных; Невосстанавливаемое повреждение интегральных схем.
Магнитные поля промышленной частоты	<ul style="list-style-type: none"> Нарушение работы электронно-лучевых дисплеев (время восстановления – до нескольких часов).
Импульсные магнитные поля	<ul style="list-style-type: none"> Нарушение работы электронно-лучевых дисплеев (время восстановления – до нескольких часов).

Как показал анализ, при проектировании и производстве электротехнического оборудования должны выполняться такие мероприятия, как: широкое использование унифицированных узлов с достоверными данными по характеристикам ЭМС (особенно это касается корпусов, средств подавления помех, интерфейсных элементов, блоков питания и т.п.); применение апробированных проектных решений; совмещение исследовательских и сертификационных испытаний; использование модульной структуры. В итоге результатом затраченных усилий на обеспечение ЭМС является высокая надежность работы электротехнического оборудования, что компенсирует все затраченные усилия.

Методы обеспечения помехоустойчивости электротехнической аппаратуры

Оптимизация конструкции электронных узлов	Учет требований ЭМС при выборе элементной базы; Раздельное размещение цифровых блоков, чувствительных аналоговых цепей, интерфейсных элементов и блоков питания; Минимизация длины скоростных цифровых шин и площади образуемых ими контуров.
Оптимизация схемы заземления узлов аппаратуры	Использование заземляющей плоскости для высокочастотных и цифровых блоков; «Земли» на плате объединяются в одной точке; «Земли» разных плат присоединяются к общей точке на корпусе.
Организация электропитания	Питание аппаратуры, используемой системами РЗА, без ИБП запрещается; Входы питания следует защищать с помощью устройств ограничения перенапряжений и дополнительных фильтров.
Требования к корпусу аппаратуры	Аппаратура должна быть снабжена экранирующим корпусом из связанных друг с другом металлических панелей; Площадь и размер отверстий в экранирующем корпусе должны быть минимальны; Все неиспользуемые при нормальной работе клавиатуры, разъемы, индикаторы и т.п. закрываются специальной крышкой или заглубляются в корпус аппаратуры.
Цепи ввода-вывода	Требования к подключению и защите цепей ввода-вывода ставятся в зависимости от назначения цепей. В зависимости от назначения цепей, используются различные методы борьбы с помехами, в их числе: устройства ограничения перенапряжений, оптронные развязки, фильтры и т.п.
Мониторинг состояния аппаратуры	Аппаратура должна быть снабжена встроенными средствами самодиагностики; Данные мониторинга аппаратуры должны немедленно записываться в энергонезависимую память с указанием точного времени.
Резервирование	С точки зрения ЭМС, эффективным является резервирование путем параллельного включения неидентичных каналов, при этом резервный канал может реализовывать более примитивный алгоритм (если главный канал цифровой, резервный канал может быть аналоговым).
Программные средства повышения помехоустойчивости	Использование точек самоконтроля в программах; Переход на незанятый адрес или неиспользуемое прерывание должен приводить к вызову программы обработки ошибок; Проверка программ и данных при считывании; Контроль диапазона допустимых значений данных; Цифровая фильтрация; Использование стандартизованных протоколов с коррекцией ошибок для обмена информацией с другими устройствами.

Библиографический список

1. Конспект лекций по ЭМС, основные понятия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5170771/>
2. Лекция. Электромагнитная совместимость [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mylektsii.ru/5-132563.html>
3. РД 34.20.116-93. Методические указания по защите вторичных цепей электрических станций и подстанций от импульсных помех. М., 1993. С. 3-11.

УДК 621.383

И.А. Париевский

студент кафедры биомедицинской радиоэлектроники

Б.С. Гуревич

д-р техн. наук – научный руководитель

ВОЗМОЖНОСТИ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭКГ СИГНАЛА СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Метод электрокардиографии сверхвысокого разрешения (ЭКГ-СВР) реализует следующие возможности:

- охватывает все диапазоны и может выполнять все процедуры широко используемых известных методов электрокардиографии;

- обеспечивает регистрацию ЭКС в уникальных амплитудном и частотном диапазонах в условиях воздействия помех различной природы [1].

Достоинства метода ЭКГ СВР по сравнению с другими известными методами ЭКГ проиллюстрированы на рис. 1.



Рис. 1. Сравнение современных методов электрокардиографии по амплитудно-частотному диапазону регистрации ЭКС

Акустооптические приборы, использующие явление дифракции Брэгга на акустической волне, давно и широко используются для различных видов обработки электронных сигналов, в том числе для спектральной, корреляционной обработки, выполнения операций свертки, корреляции и других [2].

На сегодняшний день существует несколько видов акустооптических процессоров:

- корреляторы – вычисляют корреляцию двух сигналов;
- конвольверы – выполняют математическую операцию свёртки двух сигналов;
- матрично-векторные процессоры – выполняют операции линейной алгебры;
- анализаторы спектра вычисляют Фурье-спектр сигнала.

Принцип работы акустооптического анализатора спектра с временным интегрированием аналогичен принципу работы акустооптического коррелятора, но в качестве одного из сигналов применяется опорный сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ-сигнал) с заранее заданными характеристиками. Схема устройства приведена на рис. 2. В этой схеме один из сигналов $s_0(t)$ представляет собой

ЛЧМ-колебание с прямоугольной огибающей, а другой сигнал $s_1(t)$ – ЛЧМ-колебание, модулированное по амплитуде анализируемым сигналом.

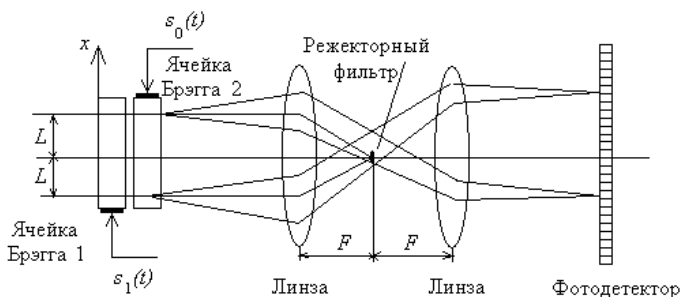


Рис. 2. Оптическая схема акустооптического анализатора спектра с временным интегрированием

Внутри одного периода сканирования ЛЧМ-сигнала по частоте этот сигнал может быть описан выражением

$$s_0(t) = A \cos(\omega_1 t + g t^2 / 2), \quad (1)$$

где g – коэффициент пропорциональности, описывающий крутизну линейной модуляции по частоте.

Анализ показывает, что если принять время накопления заряда на фотодетекторе равным длительности ЛЧМ-колебания, то накопленный заряд на фотодетекторе будет пропорционален спектру анализируемого сигнала [3].

Разрешимый частотный интервал для акустооптического анализатора спектра такого типа определяется временем накопления сигнала фотодетектором, поэтому он может в принципе составлять величину порядка единиц-десятков Гц. Одним из способов увеличения разрешения по частоте может служить охлаждение фотодетектора.

Анализ показал, что стандартная КМОП-линейка типа elis-1024 обеспечивает время накопления порядка 1 с при комнатной температуре. Увеличение времени накопления до 10...20 с на этой линейке может быть обеспечено путем ее охлаждения до температуры примерно -10С. Для охлаждения фотодетектора может быть применен компактный элемент. Пельтье. Таким образом, возможно достижение частотного разрешения, вполне достаточного для акустооптического анализа не только высокочастотной части диапазона сигналов ЭКГ СВР, но и диапазона, стандартной ЭКГ. (взято из доклада)

Явным преимуществом метода является возможность осуществлять обработку электрических сигналов с разрешением в единицы герц, при этом основным недостатком является узкая полоса анализируемых частот.

Исходя из вышесказанного, предложенный метод позволяет производить обработку ЭКС СВР методом акустооптической обработки спектра.

Библиографический список

1. Зайченко К. В. Радиозлектронные технологии в электрокардиографии сверхвысокого разрешения для ранней диагностики кардиопатологий // Известия ВУЗов: радиозлектроника, Киев. 2014. Т.57. № 11. С. 629.
2. Кулаков С. В. Акустооптические устройства спектрального и корреляционного анализа сигнала // Л.: Наука. 1978.
3. Егоров Ю. В., Наумов К. П., Ушаков В. Н. Акустооптические процессоры. М.: Радио и связь. 1991.

УДК 534

Д.А. Платонов

студент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств.

П.Н. Петров

Канд. техн. наук – научный руководитель.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ УСТРОЙСТВА НА ПАВ

В настоящее время находят широкое применение устройства на ПАВ. Они используются в системах передачи и обработки информации, при измерениях различных физических величин и т. п. Как правило, в таких устройствах используются широкоапертурные преобразователи возбуждения и приема ПАВ, в которых длина электродов решетки много больше длины акустической волны ($l_{эл} \gg \lambda$). При обработке сигналов радиочастотных антенных решеток в ряде применений становится целесообразным использование малоапертурных преобразователей ПАВ, в которых длина электродов может составлять от единиц до $(10-20)\lambda$, т.е. становится соизмеримой с длиной волны. Интерес представляет исследование акустических полей, создаваемых решетками таких преобразователей как в ближней, так и дальней зоне преобразователей [1, 2, 3]. Использование приемных ПАВ преобразователей для исследования таких полей, в которых ярко выражены эффекты дифракции и интерференции акустических волн, трудоемко, неэффективно и дорого. Кроме того, нанесение дополнительных ПАВ структур приведет к искажению распределения акустического поля. Более эффективным являются оптические способы определения параметров ПАВ преобразователей и исследования формируемых ими акустических полей. Основное их достоинство – отсутствие влияния на структуру полей, высокая чувствительность при определении параметров и относительная простота [4]. Кроме того, они позволяют наблюдать структуру волновых полей ПАВ без искажений, которые могут быть свойственны другим методам измерения.

Оптические методы исследования акустоэлектронных устройств на ПАВ основаны на анализе оптического излучения, рассеянного неоднородностями, которые вызваны распространением ПАВ. Эти неоднородности могут быть геометрическими (изменяют угол падения света на поверхность исследуемого устройства) и физическими (изменяются физические параметры среды). Неоднородности оказывают на падающий свет действие, аналогичное фазовой дифракционной решетке (рис. 1), если световой пучок перекрывает несколько длин ПАВ.

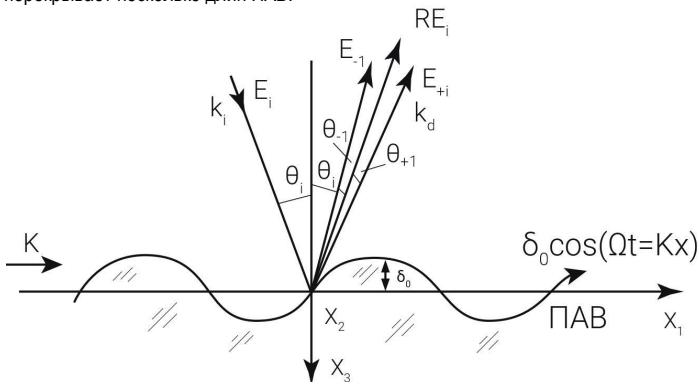


Рис. 1. Взаимодействие света с ПАВ при отражении от исследуемого устройства

Так как эта решетка движется, то частота света в дифракционных максимумах ω_m сдвинута вследствие эффекта Доплера относительно частоты падающего света ω_0 на величину, кратную частоте ПАВ Ω :

$$\omega_m = \omega_0 + m \Omega,$$

где $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Сдвиг по частоте вверх наблюдается для света, отклоненного в сторону распространения ПАВ, и вниз – для света, отклоненного в противоположную сторону.

Так же, как и при дифракции света на объемной акустической волне, в зависимости от геометрии области взаимодействия, существуют два вида дифракции света на ПАВ, отличающиеся разными дифракционными спектрами: Рамана–Ната и Брэгга. Дифракция Рамана–Ната наблюдается при малой протяженности области взаимодействия света с акустической волной и ее спектр в этом случае представляет собой дифракционные порядки, равноотстоящие от направления зеркального отражения на угол

$$\theta_m = \arcsin m\lambda/\Lambda,$$

где λ и Λ – длина световой и акустической волны соответственно.

На высоких частотах при большой протяженности области взаимодействия имеет место дифракция Брэгга, спектр которой состоит из двух дифракционных порядков: нулевого и первого, причем интенсивность первого максимума будет наибольшей, если свет падает под углом Брэгга к направлению распространения акустической волны:

$$\theta_b = \arcsin \lambda/2\Lambda.$$

Вид дифракции зависит от безразмерного параметра $Q = 2\pi L\lambda/\Lambda^2$, где L – длина области взаимодействия световой и акустической волн.

При $Q \ll 1$ имеет место режим Рамана–Ната, при $Q \gg 1$ наблюдается дифракция Брэгга. Поскольку при оптическом зондировании длина взаимодействия света с ПАВ невелика и обычно $\lambda/\Lambda \ll 1$, рассеяние света на ПАВ соответствует режиму Рамана–Ната.

В связи с этим, для проведения исследований разработано и изготовлено ПАВ устройство, топология которого представлена на рис. 2.

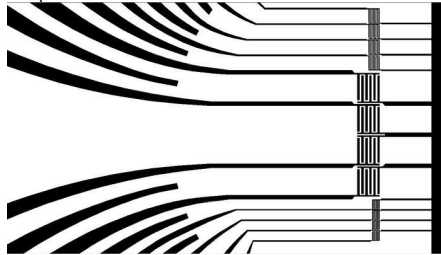


Рис. 2. Топология расположения ВШП

На поверхность пластины из кристалла ниобата лития (срез ZY) нанесены три решетки ПАВ преобразователей с рабочими частота 25МГц, 50МГц и 75МГц. Каждый преобразователь имеет 4 пары электродов. В направлении распространения ультразвука поверхность пластины покрыта металлической пленкой, а на ее края нанесен поглотитель.

Известен ряд оптических методов зондирования ПАВ устройств с целью определения их параметров [4,5]. Один из них – метод прямого зондирования – является наиболее простым. Он позволяет определять энергетические профили и затухание, а также исследовать дифракционные явления при распространении ПАВ. Упрощенная схема установки, реализующей этот метод, представлена на рисунке 3.

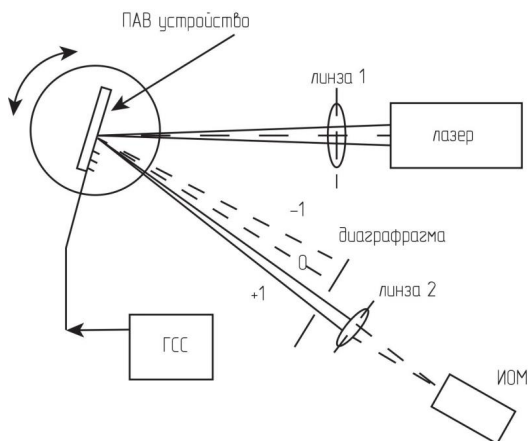


Рис. 3. Схема установки прямого зондирования ПАВ

В состав установки входит гелий-неоновый лазер ($\lambda = 0,63$ мкм), две фокусирующие линзы, поворотный столик с микрометрическими подвижками по двум координатам и измеритель оптической мощности. Электрический сигнал поступает на ВШП ПАВ устройства с выхода генератора синусоидального сигнала (ГСС). Оптическое излучение лазера диаметром ≈ 1 мм фокусируется сферической линзой (фокусное расстояние 110 мм) на металлизированную поверхность ПАВ устройства. В результате взаимодействия с ПАВ происходит дифракция лазерного излучения, первый дифракционный порядок которого через сферическую линзу поступает на вход измерителя оптической мощности (ИОМ).

В процессе проведения эксперимента электрический гармонический сигнал с амплитудой 4 В и частотой 25 МГц подавался на один из центральных ВШП. Оптическое излучение фокусировалось по оси распространения ПАВ на расстоянии ≈ 1 мм после преобразователя. Излучение первого порядка через вторую фокусирующую линзу поступало на ИОМ. Его мощность составила 53 дБм. Излучение других порядков максимально экранировалось. Расчеты с использованием ниже приведенного соотношения [4] показали, что амплитуда ПАВ составила $\approx 0,5$ нм.

$$\delta_0 \approx \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot \cos(\theta_i) \cdot R} \cdot \sqrt{\frac{I_1}{I_0}},$$

где λ – длина волны лазера, θ_i – угол падения лазерного излучения на поверхность устройства на ПАВ, R – коэффициент отражения, I_1 , I_0 – эффективность первого и нулевого дифракционных пучков соответственно.

Исследование акустического поля, проведенное на расстоянии 5 мм от пьезопреобразователя, показало, что ширина акустического пучка составила 1,8 мм, что соответствует расчетным данным.

Таким образом, получены предварительные результаты исследования акустического поля малоапертурного ПАВ преобразователя с использованием прямого оптического зондирования (рис. 4).

Для получения более точных результатов исследования в схему установки можно включить интерферометр Фабри-Перо (это позволит добиться увеличения чувствительности примерно на два порядка).

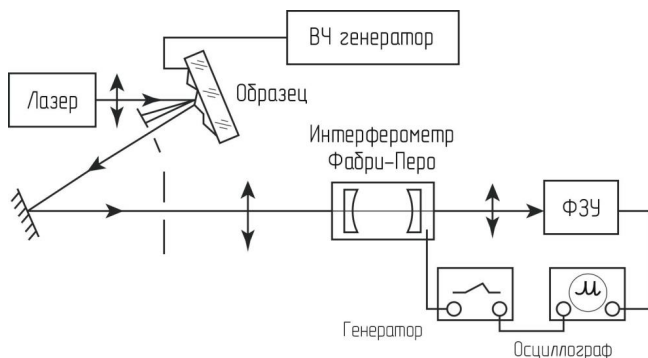


Рис. 4. Схема установки для измерения амплитуды ПАВ с использованием спектроскопии Фабри-Перо

Интерферометр Фабри-Перо позволяет с высоким разрешением выделять необходимый спектральный компонент с частотой $\omega_0 + \Omega$ или $\omega_0 - \Omega$ в присутствии сильной спектральной линии с частотой ω_0 . Одно из зеркал интерферометра монтируется на пьезоэлектрической пластине, которой обеспечивается перемещение зеркала при подаче пилообразного напряжения. При этом осуществляется сканирование по частоте. Прошедший через интерферометр свет детектируется методом прямого зондирования [6].

Такой метод зондирования отличается широкой полосой рабочих частот. Однако есть и одно существенное ограничение – им является невозможность измерения фазы.

Библиографический список

1. Петров П.Н., Сенин А.В. Пространственно-временная обработка сигналов акустоэлектронными устройствами с масштабными переизлучающими решетками / Информационно-управляющие системы. 2006. № 3. С.5-11.
2. Petrov P.N. Spatial pulse response of the multielement acoustoelectronic processor // Proc. SPIE, Vol. 3900, 1999. p. 263-266.
3. Кравец Е.В., Петров П.Н. Пространственная импульсная характеристика акустоэлектронных устройств обработки сигналов антенных решеток // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. № 2. С. 93-97.
4. Кравец Е.В. Акустоэлектронное устройство обработки сигналов гидролокаторов кругового обзора для подводных переходов трубопроводов // Датчики и системы. 2016. №1, с. 30-34.
5. Вороховский Я.Л., Молоток В.В., Клуздин В.В., Пресленев Л.Н. Измерение амплитуды упругих смещений кварцевого резонатора / Информационно-управляющие системы. 2009, № 6 (43), с.63-67.
6. Гранкин И.М., Запрудный А.М., Кулаева Ч.Г. Оптические системы измерения параметров устройств на поверхностных акустических волнах // Зарубежная радиоэлектроника. 1984. №11.

УДК 614.842.435

А. Ю. Поликарпова

магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

Е. В. Кравец

кан. техн. наук – научный руководитель

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ ВОЗГОРАНИЙ

В настоящее время для определения и ликвидации пожара широко применяются пожарные извещатели. В соответствии с ГОСТ 12.2.047-86 автоматический пожарный извещатель – устройство для формирования сигнала о пожаре, реагирующее на факторы, сопутствующие пожару [1]. Любой пожар сопровождается изменением характеристик окружающей среды, обусловленным развитием очага горения, и возникновением конвективного теплового потока над ним. К таким характеристикам можно отнести повышенную температуру окружающей среды, дым и продукты горения, а также электромагнитное излучение пламени.

По принципу формирования информационного сигнала о пожаре извещатели пожарной сигнализации делятся на активные и пассивные. В пассивном извещателе изменение физической величины, используемой для обнаружения, преобразуется в электрический сигнал. Этот сигнал обрабатывается по определенному алгоритму, и при регистрации изменений в нем извещатель принимает решение о наличии очага возгорания в контролируемой зоне и выдаёт тревожное извещение [2]. Активный извещатель включает в себя, кроме упомянутых элементов, источник, излучающий зондирующий сигнал в контролируемое пространство.

В зависимости от вида контролируемого параметра извещатели можно разделить на: тепловые, дымовые, пламенные, газоанализаторы, комбинированные. Комбинированный пожарный извещатель – устройство, реагирующее на два или более фактора пожара [3]. По способу обнаружения возгорания дымовые извещатели подразделяются на оптические и ионизационные.

Остановимся подробнее на работе и технических характеристиках дымовых оптико-электронных пожарных извещателей, которые можно разбить на две подгруппы: точечные и линейные [1,2]. Целью такого анализа является рассмотрение преимуществ и недостатков этих видов извещателей.

Точечный (однопозиционный) извещатель – устройство, реагирующее на изменение параметра, который контролируется вблизи его компактного чувствительного элемента [2,4].



Рис. 1. Принцип работы точечного дымового извещателя

Принцип действия точечного дымового пожарного извещателя и оценка его чувствительности поясняются следующим образом. В дымовой камере извещателя устанавливаются под углом друг к другу источник инфракрасного излучения и фотоприемник. В дежурном состоянии инфракрасное излу-

чение не попадает на площадку фотоприёмника, либо попадает лишь минимальный сигнал, что дает возможность оценивать работоспособность (исправность) извещателя. Увеличение в дымовой камере концентрации продуктов горения приводит к отражению оптического сигнала от них, увеличению светового потока на фотоприемнике, а, следовательно, и тока в цепи фотодиода. Электронный узел извещателя оценивает изменение принимаемого сигнала и принимает решение о выдаче тревожного извещения самостоятельно или в комплекте с приемно-контрольным прибором. Точечный извещатель распознаёт пожар только в непосредственной близости. Конкретные параметры индивидуальны и зависят от высоты, на котором расположено устройство, возможных параметров и даже технических условий помещения. Из преимуществ выделяется распространённость, доступность и лёгкая установка. К недостаткам относится частое появление ложных сигналов, которые вызывают пыль, пар и насекомые. В случаях, когда возгорание не сопровождается дымом, прибор среагирует гораздо позже, либо не среагирует вовсе.

Линейный пожарный извещатель реагирует на факторы пожара в протяженной, линейной зоне. В настоящее время всё большее применение находят линейные оптико-электронные дымовые извещатели (рис. 2). Данный тип извещателей предназначен для обнаружения очагов возгораний в помещениях с большой высотой потолков или большим объёмом [1]. Линейные дымовые пожарные извещатели дымовой камеры не имеют. Исполнение таких извещателей может быть двухблочным (передатчик – приемник) или одноблочным – передатчик с приемником совмещены в одном корпусе, а оптический луч попадает на приемник через специальный отражатель. Дальность действия таких извещателей может быть более 100 м. В основу работы линейного дымового извещателя положен принцип ослабления светового потока при прохождении его через задымлённую среду. Линейный извещатель представляет собой устройство, состоящее из двух блоков. Один из блоков – оптический передатчик – содержит в себе генератор модулирующего сигнала, генератор оптического сигнала, управляемый током, и коллимирующую оптику. Второй блок – оптический приёмник, включающий в себя приёмный объектив, фотоприёмный элемент и средства постдетекторной обработки.

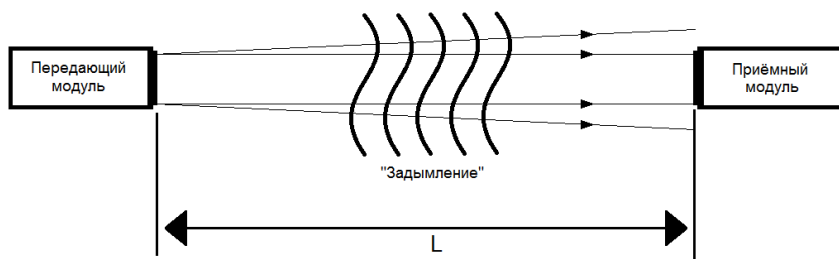


Рис. 2. Линейный оптико-электронный извещатель

Область пространства, которую охватывает луч, становится зоной чувствительности извещателя. В отсутствии признаков возгорания (дыма), излученный оптический (зондирующий) сигнал без существенных потерь достигает приёмника. В случае возникновения задымления в защищаемом объёме возникает ослабление передаваемого сигнала, что является признаком наличия возгорания. Линейный дымовой извещатель может защищать зону протяженностью до 100–200 м и, соответственно, заменяет в зависимости от длины и высоты помещения более 10 – 20 точечных дымовых извещателей. Необходимо также отметить, что все современные линейные извещатели имеют несколько порогов чувствительности и компенсацию заплыления оптики и светофильтров, что позволяет учесть условия эксплуатации, снизить вероятность ложных срабатываний и снизить расходы на техническое обслуживание. У точечных извещателей данные функции реализованы только в адресно-аналоговых системах. Это объясняется жесткими ограничениями по массогабаритным характеристикам и по электропотреблению, налагаемыми на точечные пожарные извещатели [4,5].

Проанализировав оптические методы обнаружения возгораний дымовых извещателей, можно отметить, что преимущество линейного извещателя перед точечным заключается в большей зоне контроля. Сложность монтажа, тестирования и технического обслуживания точечных дымовых извещателей при наличии высоких потолков определяет дополнительные преимущества линейных извещателей. Причем установка точечных извещателей в помещениях высотой более 12 метров запрещена из-за резкого снижения их эффективности: дым при достижении потолка распространяется на большую площадь, соответственно снижается его удельная плотность и соответственно увеличивается время определения возгорания. Этот эффект практически не влияет на работоспособность линейного извещателя, так как снижение удельной оптической плотности компенсируется увеличением протяженности области задымления. Высокая эффективность линейных извещателей в таких условиях определила возможность защиты помещений значительной высоты [2, 3]. Еще одним преимуществом линейного извещателя является меньшее количество ложных срабатываний. Для обнаружения возгораний на ранней стадии необходимо выбирать пожарный извещатель в зависимости от типа помещений и условий эксплуатации.

Библиографический список

1. *Лаврус, В. С.* Охранные системы. М.: Солон, 1996. - 270 с.
2. *Алексеевко, В. Н., Сокольский Б. Е.* Системы защиты коммерческих объектов. Технические средства защиты. М., 1992. – 94 с.
3. *Федоров А. В., Членов А. Н., Лукьянченко А. А.* и др. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / М: Академия ГПЧС МЧС России, 2009. – 158 с.
4. Информационный ресурс Пожарные извещатели. Термины и определения. URL: <http://axk.com.ru/pozharnye-izveschateli-terminy-i-opredelenija>.
5. *Шаровар Ф. И.* Устройства и системы пожарной сигнализации. М.: Стройиздат, 1985. – 375 с.

УДК 681.5.09

К.В. Саеченко

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств.

Д.К. Шелест

д-р техн.наук, профессор – научный руководитель

ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Актуальность данной темы состоит в том, что события последних лет указывают на необходимость анализа, статистики и тенденции роста надёжности РЭА, которые должны рассматриваться на самом высоком государственном уровне. Государственная программа развития электронной и радиоэлектронной промышленности, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 15.12.2012, носит комплексный характер и отражает общесистемное развитие электроники в целом.

Проблема надёжности заключается в необходимости сохранять свойства и характеристики объекта во времени для всех значений параметров в установленных пределах. При этом объект должен выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях. Кроме этого, обеспечение надёжности позволяет минимизировать экономические проблемы, проблемы кадров и другие проблемы производства [1].

Наиболее целесообразным параметром надёжности по свойству безотказности является вероятность безотказной работы. Это объясняется следующими особенностями показателя:

– он входит в качестве сомножителя в другие, более общие характеристики системы, например, в эффективность и стоимость;

– характеризует изменение надёжности во времени;

– может быть получен расчетным путем в процессе проектирования системы и оценен в процессе её испытания.

Если система S может переходить из одного состояния в другое случайным образом в произвольный момент времени, то говорят о *случайном процессе с непрерывным временем*. При отсутствии последствия такой процесс называют *непрерывной марковской цепью*. При этом вероятности переходов между состояниями $S_i \rightarrow S_j$ в любой момент времени равны нулю (в силу непрерывности времени). В связи с этим утверждением, вместо вероятности перехода P_{ij} вводится величина *плотности вероятности перехода* из состояния S_i в состояние S_j :

$$\lambda_{ij}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{p_{ij}(t + \Delta t) - p_{ij}(t)}{\Delta t}; i \neq j.$$

Если величины $\lambda_{ij}(t)$ не зависят от времени $\lambda_{ij}(t) = \lambda_{ij}$, то марковский процесс называется *однородным*. Если за относительно малое время Δt система может изменить свое состояние не более чем один раз, то говорят, что случайный процесс является *ординарным*. Величину λ_{ij} называют *интенсивностью перехода* системы из состояния S_i в состояние S_j .

Положим, что переход системы из работоспособного состояния S_1 в состояние отказа S_0 осуществляется под действием пуассоновского простейшего потока отказов элементов системы с интенсивностью $\lambda_{10} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$; где λ_i - интенсивность отказов i -го элемента схемы; n – количество элементов схемы. Все отказовые состояния системы, при отказах отдельных элементов, можно объединить в одно – S_0 .

Данную задачу можно представить в виде графа, приведенного на рис. 1, состоящего из двух состояний «работоспособное» – S_1 и «отказовое»- S_0 , в каждом из которых система может находиться с вероятностями соответственно $P_1(t)$ и $P_0(t)$

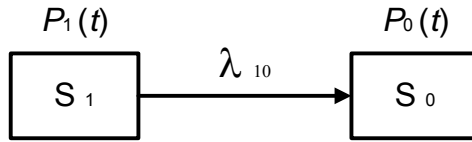


Рис. 1. Граф состояний невосстанавливаемой системы

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (1) с постоянными коэффициентами называемая уравнениями Колмогорова (по имени академика Колмогорова, предложившего такой метод анализа марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем) может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\lambda_{10}P_1(t), \\ \frac{dP_0(t)}{dt} &= \lambda_{10}P_1(t), \\ P_1(t) + P_0(t) &= 1. \end{aligned} \tag{1}$$

Третье алгебраическое уравнение системы определяет нормировочное условие полной группы событий. Данную систему дифференциальных уравнений решают при начальных условиях : $t = 0$: $P_1(0) = 1$; $P_0(0) = 0$ [2-4].

Правые части дифференциальных уравнений представляют собой скорости изменения вероятностей P_1 и P_0 .

$$\begin{aligned} V1 &= -\lambda_{10}P_1(t), \\ V0 &= \lambda_{10}P_1(t). \end{aligned}$$

Тогда выражение (1) можно представить как

$$\begin{aligned} dP_1(t) &= -\lambda_{10}P_1(t) \cdot dt, \\ dP_0(t) &= \lambda_{10}P_1(t) \cdot dt, \end{aligned} \tag{2}$$

Расчет вероятностей безотказной работы P_1 и отказа P_0 можно получить путем интегрирования выражений (1), (2) с помощью метода Эйлера. Таблица с результатами расчета приведена ниже. Начальные условия записываются в столбцы таблицы соответственно P1 и P2 в «0» итерации.

На последующих итерациях значения вероятностей вычисляются по формуле Эйлера $P_{i,j+1} = P_{i,j} + h \cdot V_{i,j}(t_j, P_{i,j})$, где $P_{i,j+1}$ – вероятность нахождения системы в i -м состоянии на $j+1$ –м шаге; $P_{i,j}$ – вероятность нахождения системы в i -м состоянии на j –м шаге; $V_{i,j}(t_j, P_{i,j})$ – скорость изменения вероятности нахождения системы в i -м состоянии на j –м шаге; $h \equiv \Delta t$ – временной шаг интегрирования.

На первой итерации в столбцы V1 и V0 записывают выражения (1.2)

$$\begin{aligned} &= -\lambda_{10} \cdot P_1(0), \\ &= \lambda_{10} \cdot P_1(0), \end{aligned}$$

где λ_{10} – интенсивность отказов; $P_1(0) = 1$; Δt – временной интервал шаг интегрирования. В столбцы P1 и P2 записывают текущие значения $P_1(t) = P_1(0) + dP_1(t)$ и $P_0(t) = P_0(0) + dP_0(t)$:

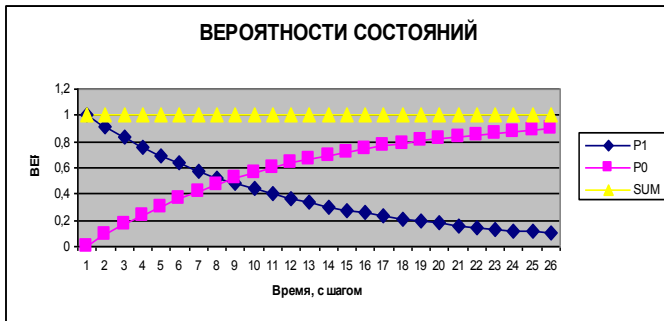
$$\begin{aligned} &= \text{СУММ}(D9;B10), \\ &= \text{СУММ}(E9;C10). \end{aligned}$$

В последнем столбце записывается сумма вероятностей нахождения системы во всех состояниях, представляющих полную группу событий, т.е. $P_1 + P_0 = 1$.

Графики зависимостей $P_1(t)$ и $P_0(t)$ приведены на рис. 2.

Результаты расчета вероятностей состояний невосстанавливаемой системы

Надежность невосстанавливаемой системы					
V1 = P1		Tср =		6,666667	
V0 = P1		Шаг=		0,581	
Итерация	V1	V0	P1	P0	SUM
0			1	0	1
1	-0,0871	0,08715	0,91285	0,08715	1
2	-0,0795	0,079555	0,833295	0,166705	1
3	-0,0726	0,072622	0,760673	0,239327	1
4	-0,0662	0,066293	0,694381	0,305619	1
5	-0,0605	0,060515	0,633865	0,366135	1
6	-0,0552	0,055241	0,578624	0,421376	1
7	-0,0504	0,050427	0,528197	0,471803	1
8	-0,0460	0,046032	0,482165	0,517835	1
9	-0,0420	0,042021	0,440144	0,559856	1
10	-0,0383	0,038359	0,401785	0,598215	1
11	-0,0350	0,035016	0,36677	0,63323	1
12	-0,0319	0,031964	0,334806	0,665194	1
13	-0,0291	0,029178	0,305628	0,694372	1
14	-0,0266	0,026635	0,278992	0,721008	1
15	-0,0243	0,024314	0,254678	0,745322	1
16	-0,0222	0,022195	0,232483	0,767517	1
17	-0,0202	0,020261	0,212222	0,787778	1
18	-0,018	0,018495	0,193727	0,806273	1
19	-0,0168	0,016883	0,176843	0,823157	1
20	-0,0154	0,015412	0,161432	0,838568	1
21	-0,0140	0,014069	0,147363	0,852637	1
22	-0,0128	0,012843	0,13452	0,86548	1
23	-0,0117	0,011723	0,122797	0,877203	1
24	-0,0107	0,010702	0,112095	0,887905	1
25	-0,0097	0,009769	0,102326	0,897674	1

Рис. 2. Зависимости вероятности безотказной работы $P_1(t)$ и вероятности отказа $P_0(t)$

Из графиков рис. 2 видно, что зависимость $P_1(t)$ представляет собой экспоненту. Среднее время наработки до отказа T_{cp} определяется из соотношения $T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \frac{1}{\lambda}$. Для полученной величины $\lambda_{10} = 0,15$, среднее время наработки до отказа

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_{10}} = \frac{1}{0,15} = 6,66.$$

Так как при этом значении $P(t)$ составляет всего лишь 0,5, то это допустимо для дешевой аппаратуры, быстрая замена которой легко восполнима.

Библиографический список

1. *Половко А. М., Гуров С. В.* Основы теории надёжности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 702 с.
2. Расчет надёжности ЭА [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://studopedia.su/19_99209_raschet-nadezhnosti-ee-po-vnezapnim-otkazam.html
3. Показатели безотказности невосстанавливаемых объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ee-system.ru/pokazateli-nevosstanavlivaemyx/>
4. Показатели надёжности невосстанавливаемых систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://studopedia.su/11_2804_pokazateli-nadezhnosti-nevosstanavlivaemih-sistem.html

УДК 681.2.083

И.В. Садовников

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

Д.К. Шелест

д-р техн- наук, профессор – научный руководитель

МЕТОДЫ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТАХ И МОДУЛЯХ

Обзор основных методов термографии, применимых для осуществления контроля и обнаружения дефектов различного рода в электронных компонентах.

Методы активной термографии успешно применяются в производстве электронных компонентов и модулей, как мощный инструмент диагностики и профилактического контроля стоимости качества. Инфракрасная термография называется активной, когда источник энергии создаёт температурный контраст между интересующим объектом и фоном. Активный подход необходим во многих случаях, когда исследуемые части находятся в температурном равновесии с окружающей средой. Серьёзные ограничения разрешающей способности данного метода связаны с использованием ИК-диапазона излучения (пространственное разрешение порядка единиц микрометров).

Динамическая термография может быть применена для выявления двух групп неисправностей: дефектов, связанных (пробой, протечки) и не связанных с локально производимым теплом (разрывы, трещины, отсутствие спайки между слоями). Нагрев источников тепла для выявления дефектов первой группы производится с помощью подачи электричества на тестовый образец электронного модуля. Для выявления дефектов второй группы необходимо использование внешних источников тепла (галогеновая лампа, лазер, лампа-вспышка).

В настоящее время существует и развивается несколько различных методов активной термографии: импульсная, импульсно-фазовая, частотно-модулированная, синхронная (*lockin* термография) и термография ступенчатого нагрева.

Выявление скрытых дефектов с помощью термографии

Излучение, воспринимаемое тепловизором складывается из трёх составляющих: тепловая энергия, излучаемая объектом, энергия, отражаемая фоном, и энергия, прошедшая через материал исследуемого объекта. ИК камера улавливает слабый и шумный сигнал, который может быть дополнительно ухудшен за счёт аббераций оптики и электромагнитных шумов матрицы и других элементов камеры [1]. В связи с этим, необходимо качественно обработать полученные данные определёнными алгоритмами для снижения шума и повышения контрастности картины. Как правило, общая схема системы тепловизионной установки состоит из: источника излучения, объекта исследования, ИК-камеры, ЭВМ для анализа и обработки результатов.

Импульсная термография

Импульсная термография осуществляется путём краткосрочного нагрева образца импульсным излучением и наблюдением за изменением его температуры $T(t)$. Наличие скрытых дефектов снижает скорость диффузии, что позволяет наблюдать на поверхности исследуемого объекта области с отличной от окружающего пространства температурой. Стоит отметить, чем глубже будет располагаться дефект, тем позже и с меньшей контрастностью картины он проявится. Время наблюдения t является функцией (в первом приближении) квадрата глубины z , а потеря температурного контраста C пропорциональна третьей степени глубины:

$$t \approx \frac{z^2}{\alpha} ; C \approx \frac{1}{z^3}, \quad (1)$$

где α – коэффициент диффузии материала [1].

Важно учитывать два ограничения: наблюдаемые дефекты будут находится вблизи поверхности, а температурный контраст будет слабым. Радиус наименьшего регистрируемого дефекта должен быть в два раза больше, чем его глубина под поверхностью. Это правило справедливо для однородных изотропных материалов. Чем ближе к поверхности дефект, тем лучше будет соотношение сигнал/шум [1].

Синхронная термография

Принцип действия синхронной термографии основан на периодическом облучении поверхности исследуемого объекта (ультразвуком, микроволновым излучением, лампой-вспышкой), исследовании и анализе локальных температур на поверхности объекта.

Волна проникает сквозь препятствия, поглощается, а фаза сдвигается. Достигнув области с неоднородными по отношению к окружающему пространству термофизическими свойствами, она частично отражается. Отражённая и исходная волны интерферируют на поверхности объекта, проявляя интерференционную картину локальной температуры поверхности [2].

Внутренняя структура объекта затем может быть получена путем оценки фазового сдвига локальных температур поверхности по отношению к характеристикам входной волны. Возможность определения внутренних термофизических неоднородностей, однако, требует применения оптимальной частоты анализирующего излучения, которая зависит от термофизических свойств исследуемого объекта и от его толщины [2]. Результаты на рис. 1 представлены в виде амплитудных и фазовых изображений, которые с математической точки зрения получают с помощью преобразований Фурье температурных сигналов.

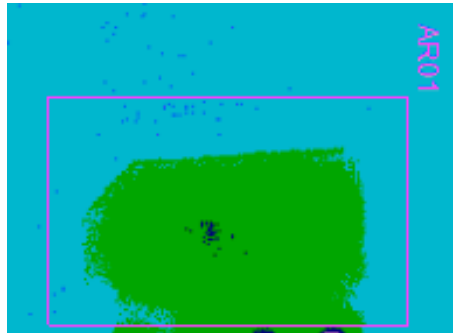


Рис. 1. Скрытые дефекты датчика Холла

Термография со ступенчатым нагревом

В технике ступенчатого нагрева используют более длинные импульсы, чем в импульсной термографии (от нескольких секунд до нескольких минут). Интерес представляет изменение температуры поверхности образца во время нагрева импульсом и динамика возврата к первоначальному состоянию после прекращения нагрева. С помощью данной техники возможно измерение толщины покрытий (включая многослойные покрытия), определение целостности подложки и оценка структуры композитных материалов. На данный момент для нагревания применяются только оптические источники излучения, но нет никаких ограничений на использование других источников и методов нагрева [3].

Эмпирическое соотношение для толщины покрытия L

$$t_c = 0,36L^2 / \alpha, \quad (2)$$

где t_c – время термического перехода, а α – термический коэффициент диффузии. Время термического перехода наблюдается в тот момент, когда кривая начинает отклоняться от полубесконечности (прямая линия на рис. 2) [3].

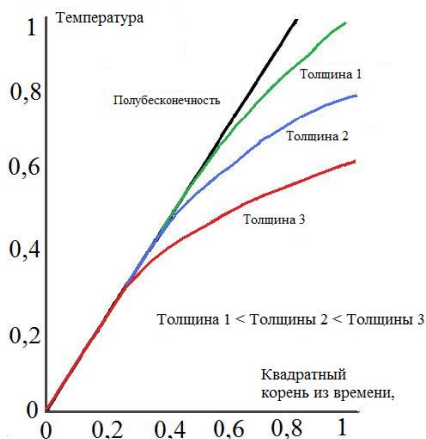


Рис. 2. Динамика нормализованной температуры различной толщины покрытий для метода ступенчатого нагрева

Обнаружение дефектов покрытия и подложки происходит при сравнении данных исследуемого электронного компонента или модуля с эталонными значениями. Для обеспечения постоянного нагрева во время измерений может быть использован лазерный источник излучения.

Заключение

Термофизические характеристики электронного элемента, глубина расположения и размер дефекта определяют выбор используемого метода термографии и время обнаружения. Краевые параметры обнаруженных дефектов определяются уровнем шума. Требования для оборудования (частота кадров, мощность и продолжительность нагрева, тип термографического метода) определяются свойствами исследуемого объекта. Термография ступенчатого нагрева лучше всего подходит для определения толщины покрытий и целостности подложки материалов. Импульсная термография лучше всего подойдет для нахождения отслоения, короткого замыкания, плохой герметизации или узких трещин.

Библиографический список

1. Вавилов В. Инфракрасная термография и температурный контроль. М.: Спектр, 2009. 544 с.
2. Breitenstein O. Lock-in IR Thermography for Functional Testing of Electronic Devices// Int. Conf. on Quantitative Infrared Thermography. 2004. №7. С. 1–6.
3. Nondestructive Handbook, Infrared and Thermal Testing: В 10 т. Коламбус, Огайо, 2001. Т. 3. 732 с.

УДК 621.3.019.3

В. В. Солдатенкова

студент кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

Н. Н. Иванов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Надежность паяных соединений (ПС) это способность их функционирования при заданных условиях эксплуатации в течение определенного периода времени без превышения допустимого уровня отказов.

На этапе проектирования основное влияние на технологичность и надежность паяных соединений в электронных модулях (ЭМ) оказывают выбор компонентов и качество материалов, используемых для сборки ЭМ. При выборе типа компонента, кроме его способности работать в требуемых условиях эксплуатации и функциональных возможностей, важное значение имеет тип корпуса, форма и материал финишного покрытия его выводов, что предопределяет контролепригодность, то есть способность к проведению диагностирования, качество и металлургию ПС, а значит и его надежность. [1]

Правильность выбранных проектных решений, качество выполнения технологических операций на этапе опытного производства проверяется использованием метода ускоренных испытаний.

Целью ускоренных испытаний является получение отказа или накопленного повреждения по аналогичному механизму, но за меньшее время, нежели для этого требуется в условиях эксплуатации. Достигнуть этого можно несколькими путями. Можно увеличить значение параметра, от которого зависит долговечность, таким образом уменьшить долговечность. Можно поддерживать значение этого параметра на уровне, соответствующем условиям эксплуатации, но вызывать его воздействие с более высокой частотой, отчего сокращается длительность испытаний. Возможно применение сочетания этих двух подходов.

Важно понимать, какие параметры влияют на долговечность, как эти параметры связаны с условиями испытаний и каким образом изменение частоты и/или амплитуды приложения этих параметров влияет на долговечность. Совершенно необходимо понимать связь между ускоренными испытаниями и реальными воздействиями условий эксплуатации, которые претерпевают ускорение. Часто при ускоренных испытаниях происходит отказ иного типа или отсутствует надлежащее соответствие эксплуатационным условиям. Таким образом, это ускорение является недостоверным, и его не следует применять без четкого знания связи между условиями при эксплуатации и при ускоренных испытаниях. Без этого понимания любые выводы, сделанные по результатам ускоренных испытаний, вероятно, будут неверными и, следовательно, использовать их нельзя. Например, неприемлемо проводить испытания в диапазоне температур от -55 до +125°C, если при эксплуатации имеет место диапазон от -20 до +100°C, поскольку при пониженных температурах ниже -20 °C проявляются другие механизмы отказов, нежели в температурном диапазоне эксплуатации.

Хотя применение ускоренных испытаний может быть опасно ввиду вносимых погрешностей, оно, вообще говоря, неизбежно, поскольку расчетный ресурс обычно слишком велик для проведения более реалистичных испытаний. Таким образом, совершенно необходимо понимать природу факторов, влияющих на ресурс и связь между условиями при эксплуатации и при ускоренных испытаниях.

Для ускорения тех или иных механизмов отказа существует несколько типов ускоренных испытаний. Для ускорения механизмов отказа ПС применяются испытания на температурную усталость, тепловой удар и/или вибрацию. [2]

Для прогнозирования значений показателей долговечности применяют метод конечных элементов, позволяющий осуществить расчет степени повреждения ПС. В зависимости от уровня нагрузки устанавливается определенная пластическая деформация ПС. Рассчитанное пластическое удлинение или превращенная энергия деформации за каждый температурный цикл представляют собой, напри-

мер, увеличение повреждения. Оценка долговечности может быть проведена при наличии усталостной модели. Эта модель описывает функциональную связь между элементом повреждения и механическим отказом. Параметр механического отказа при термомеханической нагрузке – количество температурных циклов, после которых с определенной вероятностью происходит отказ паяного соединения. Для оценки долговечности паяльных материалов широкое распространение получили вариации эмпирического степенного математического выражения Коффина и Мэнсона. Составление эмпирической функции происходит на основании ускоренных испытаний. Для каждого сплава припоя необходимо проведение отдельных экспериментов. Для этого должны быть известны механизмы повреждения в ПС, а также вызывающая их нагрузка. В паяльном материале пластическая деформация, вызванная термически инициированными напряжениями, ведет к возникновению дефектов, которые, в свою очередь, ведут к механическому отказу. Для ускорения повреждения ПС подвергаются большей нагрузке по сравнению с обычными условиями эксплуатации. Для испытания электронных модулей существует целый ряд нормированных международных испытаний на стойкость к термоциклированию, которые целенаправленно ведут к деформации ПС. Циклически изменяющаяся пластическая деформация паяного контакта ведет к возникновению дефектов и трещин, которые в итоге становятся причиной механического ослабления соединения и его отказа. [3]

Для наглядности, на рис. 1 представлен график (петля гистерезиса), который доходчиво поясняет принцип накопления усталости. Он характеризует зависимость циклической долговечности от вероятности разрушения. Строится по результатам испытаний на усталость большого числа образцов при постоянных значениях амплитуды и среднего напряжения цикла.

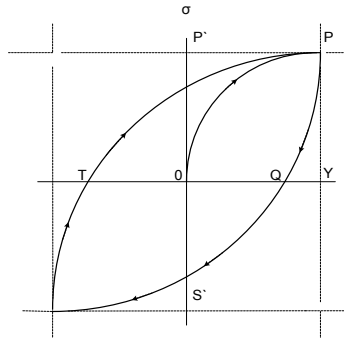


Рис. 1. Петля гистерезиса при циклическом нагружении, приводящем к цикловому усталостному повреждению

В данной работе для проведения ускоренных испытаний планируется использовать методику, основанную на модели Энгельмайера-Уайлда. Данная модель состоит из двух частей: физической и статистической. В физической вычисляется количество циклов, после которых отказ произойдет у 50% компонентов исследуемой партии, а статистическая часть представлена двумя параметрами распределения Вейбулла. Комбинация этих двух частей позволяет рассчитать количество циклов, после проведения которых произойдет отказ у $x\%$ компонентов исследуемой партии:

$$N_f(x\%) = \frac{1}{2} \left[\frac{2\epsilon_f}{\Delta D} \right]^{\frac{1}{c}} \left(\frac{\ln(1-0,01x\%)}{\ln(0,5)} \right)^{\frac{1}{\beta}},$$

где ΔD – оценка циклического повреждения; ϵ_f – коэффициент пластического усталостного разрушения; c – показатель усталостной пластичности; β – коэффициент формы распределения Вейбулла.

Надежность ПС и электронного модуля в целом закладывается в процессе проектирования, при выборе компонентов, материалов, конструктивных параметров, а реализуется в процессе производства после отработки и полной оптимизации параметров технологии сборки и монтажа.

Анализируя методики можно сказать, что все они позволяют обеспечить надежность ПС еще на этапе разработки. И каждая представленная методика может быть успешно применена. Для выбора необходимо учитывать главные целевые установки: ускоренные испытания позволяют при больших перегрузках быстрее выявлять неисправности; метод конечных элементов позволяет осуществить расчет степени повреждения паяного соединения; методика по модели Энгельмайера-Уайлда на сегодняшний день является одной из самых популярных и суть заключается в получении более 50% отказов ПС каждого типа. Производятся расчеты для оценки надежности в соответствии с исходными данными об условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. *Егоров Л.* Паяные соединения. Конструктивно-технологические аспекты обеспечения надежности // Печатный монтаж. 2011. №2. С.139-145
2. IPC-SM-785 -Руководство по ускоренным испытаниям на надежность паяных соединений поверхностного монтажа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pcbdesigner.ru/ipc-na-russkom-yazyke>
3. *Уве Пале, ГансЮрген Альбрехт* Технологическое обеспечение надежности // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 8. С.48-56.

УДК 629.735.33.

С. А. Степанова

магистрант кафедры медицинских радиотехнических систем

Б. С. Гуревич

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

СЪЕМ И ВТОРИЧНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГИСТОГРАММ

В данной работе рассматривается один из вариантов вторичной обработки электрокардиосигналов сверхвысокого разрешения (ЭКС СВР).

В электрокардиографии (ЭКГ) исходящие от сердца электрические импульсы фиксируются на поверхности кожи специальными датчиками-электродами, а затем программно преобразуются в графическое изображение и могут быть выведены на бумагу. Полученная электрокардиограмма является прямым результатом исследования и будет представлена в виде сложной кривой линии показаний разности потенциалов электрического сигнала, свидетельствующих об активности сердца для оценки его основных показателей.

В рамках работы по изучению тонкой структуры биоэлектрических сигналов, проводимой на кафедре медицинской радиоэлектроники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, был разработан экспериментальный электрокардиограф сверхвысокого разрешения. Особенностью ЭКГ СВР является разделение входного сигнала на два канала: низкочастотный (НЧ) (канал синхронизации) и высокочастотный (ВЧ). Введение ВЧ-канала позволяет дополнительно усилить ВЧ составляющие ЭКС, имеющие незначительный размах, введя их в диапазон входного напряжения АЦП. Анализ этих значений имеет большую роль для диагностики развития патологий и постановки диагноза. Сравнительные характеристики существующих ЭКГ и разработанного метода ЭКГ СВР говорят об увеличенной информативности электрокардиосигнала за счет повышения количества значений кардиограммы. Исходными данными являются записи ЭКГ (продолжительностью от минуты до нескольких минут), снятые с разработанного электрокардиографа как в диапазоне СВР, так и в стандартном диапазоне без усиления.

Как известно, важным моментом изучения какого-либо процесса является построение его математической модели. В данной работе исследуем данные сигнала при помощи закона распределения значений RR-интервалов как случайных величин в исследуемом их ряду. Распределение величин RR-интервалов можно представить в виде столбиковой диаграммы – гистограммы. Для высокоточного определения временных характеристик отдельных элементов кардиоцикла следует провести разработку алгоритмов с вычислением показателей описательной статистики и ряда комплексных индексов, характеризующих функционирование различных регуляторных систем. Такой анализ позволит получить сравнительные данные ЭКГ здорового животного и животного испытывающего искусственные патологии.

При анализе результатов электрокардиографического исследования важно отметить, что данными ЭКС являются временные ряды. Временной ряд представляет собой перечень числовых значений однородных сопоставимых показателей в последовательные моменты или периоды времени. В основе анализа временных рядов лежит идея, что данные, характеризующие объект, процесс в прошлом, можно использовать для прогнозирования будущих значений. Поэтому в процессе их анализа используют статистические показатели.

В первую очередь используем формулу математического ожидания для определения среднего значения продолжительности RR-интервала. Данная величина обладает наименьшей изменчивостью среди всех показателей сердечного ритма, так как является одним из наиболее гомеостатируемых параметров организма, а значит её значительное отклонение может быть рассмотрено как возможная патология в работе сердца. Математическое ожидание вычисляется как

$$M = \frac{\sum_{i=1}^X z_i \times k_i}{\sum_{i=1}^X z_i},$$

где z_i – экспериментально полученные значения ряда; x – случайная величина; k_i – значения производящей функции последовательности

Далее определение моды – диапазона наиболее часто встречающихся значений кардиоинтервалов. Мода указывает на наиболее вероятный уровень функционирования системы кровообращения (точнее, синусового узла) и при достаточно стационарных процессах совпадает с математическим ожиданием. В переходных процессах значение M -Мо может быть условной мерой нестационарности, а значение Мо указывает на доминирующий в этом процессе уровень функционирования.

Далее рассчитывается амплитуда моды – число кардиоинтервалов, попавших в диапазон моды (%) по формуле

$$\Delta M_0 = \frac{z_{max}}{\sum_{i=1}^X z_i} \cdot 100,$$

где z_{max} – максимальное значение в ряду. Амплитуда моды отражает степень централизации управления сердечным ритмом.

Вариационный размах отражает степень вариативности значений кардиоинтервалов в исследуемом динамическом ряду. Вариационный размах считается как разность между максимальным и минимальным значением: $\Delta K = K_{max} - K_{min}$.

Также рассчитываем стандартные показатели, характеризующие случайные величины, в том числе среднеквадратическое отклонение, являющееся одним из основных показателей вариабельности сердечного ритма, и коэффициент вариации. Последний по физиологическому смыслу не отличается от среднего квадратического отклонения, но является показателем, нормированным по частоте пульса.

Дисперсия интервала т.е. разность между самым длинным и самым коротким интервалом является важным показателем поскольку предложена как метод оценки гетерогенности миокарда. В данном случае мы можем судить об однородности электрической работы миокарда. Дисперсия вычисляется как

$$\delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^X z_i \times (k_i - M)^2}{\sum_{i=1}^X z_i - 1}.$$

Коэффициент асимметрии позволяет судить о степени стационарности процесса, либо о наличии и выраженности переходных процессов. Коэффициент асимметрии считается по формуле

$$As = \frac{\sum_{i=1}^X z_i \times (k_i - M)^3}{\delta^3 \sum_{i=1}^X z_i}.$$

Показатель эксцесса представляет собой отклонение вершины распределения вверх или вниз от вершины кривой нормального распределения и рассчитывается как

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^X z_i \times (k_i - M)^4}{\delta^3 \sum_{i=1}^X z_i} - 3.$$

К сожалению, во всех случаях высока распространенность ошибки измерения и часто возможен перекрест значений у пациентов с заболеваниями сердца и здоровых, не существует границ возможной погрешности, а кроме того, существуют другие критерии риска данных состояний. Тем не менее, расчет статистических значений может являться ключевым для выявления возможных нарушений поскольку сейчас мы имеем возможность сравнить такие значения не только в спокойном состоянии, но и при искусственно вызванной патологии.

Все расчеты производятся в среде программирования Visual Studio. Рассмотрим скриншоты работы программы. Для здоровых мышей в состоянии покоя регистрируется нормальная гистограмма, близкая по виду симметричной кривой Гаусса – рис. 1.

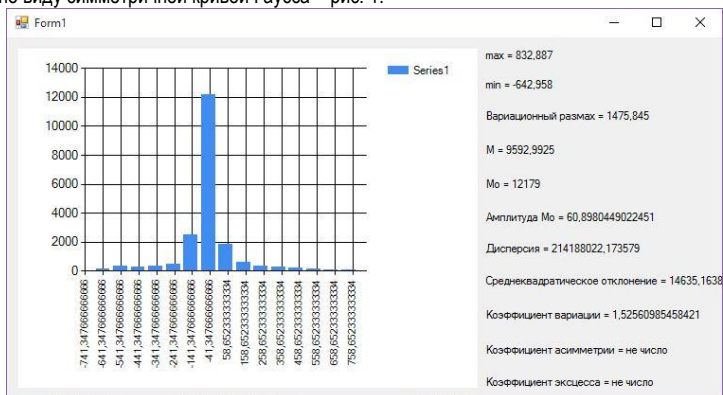


Рис. 1. Гистограмма распределения значений амплитуды для здоровой мыши

Для сравнения анализ ЭКГ с искусственно вызванной патологией представлен на рис. 2. Асимметричная форма гистограммы указывает на нарушение стационарности процесса регуляции ритма сердца и наблюдается при переходных состояниях.

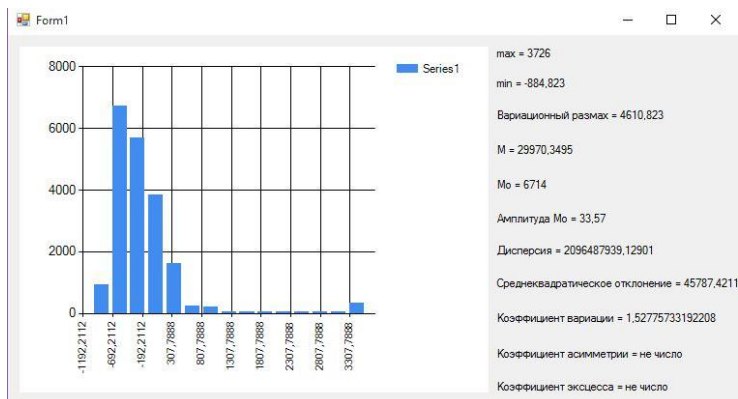


Рис. 2. Гистограмма распределения значений амплитуды для мыши с патологией

Таким образом, в данной статье сформулирована задача на основе проведенного эксперимента результатом которого являются данные СВР. Для их вторичной обработки предложен метод гистографии реализуемый в программно-техническом средстве оконного интерфейса. Также получены статистические данные для оценки кардиоинтервалов. Будущая работа связана с анализом этих показателей и их влияния на развитие сердечных патологий.

Библиографический список:

1. *Зайченко К.В., Сергеев Т.В.* Аналоговая обработка электрокардиосигналов со сверхвысоким разрешением // Труды вузов России. Радиоэлектроника. 2009. Вып 3. С. 27-34.
2. *Поздняков Н.В., Татарченко И.П., Соловьева К.В.* Инструментальная оценка факторов риска в прогнозе кардиальных событий при ишемической болезни сердца / Пенза. Журнал «Функциональная диагностика» №3, 2010 год
3. *Юрьева О.Д.* Исследование помехоустойчивости методов измерения длительности RR-интервала // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» Серия Биотехнические системы в медицине и экологии. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ, 2007. вып.1. С. 9-19.
4. *Биллиг В. А.* Алгоритмы и задачи / Электронное издание: <http://pmk.tversu.ru/dis/99/part1.pdf>
5. Методические рекомендации по анализу variability сердечного ритма у спортсменов в видах спорта на выносливость с применением математических методов / Электронное издание: <http://csp-athletics.ru/images/doc/metod/control/metod-control-10.pdf>
6. *Баевский Р. М., Волков Ю. Н., Нидеккер И. Г.* Статистический, корреляционный и спектральный анализ пульса в физиологии и клинике / Сб. Математические методы анализа сердечного ритма. М.: Наука, 1968. С. 51-61.

УДК 654.01

В.Р. Стойкова

магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

А.Р. Бестугин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Двадцать первый век сформировал информационное общество, главным ресурсом которого являются данные. Но, как и любая ценность, информация нуждается в защите от доступа посторонних, что крайне тяжело в условиях компьютеризации общества. Для пресечения различного рода посягательств на частную и конфиденциальную информацию разрабатывают методы защиты данных на всех этапах их обработки и использования. Это может быть как обеспечение безопасности протяженных объектов, так и конкретных локальных точек. Акусто-опто-волоконный канал связан с несанкционированным съемом речевой информации через штатные волоконно-оптические каналы передачи информации. В используемом канале происходит модуляция светового потока на акустических частотах путем формирования поля, исходящего от носителя информации. Промодулированный полем световой поток может выйти за пределы места локализации информации. В этом случае злоумышленник имеет доступ к точке регистрации сигнала для его последующей демодуляции. Проблема устранения возможности несанкционированного доступа успешно решается несколькими путями. К ним относятся звукоизоляция среды канала передачи (уменьшение влияния акустических воздействий на среду канала), фильтрация носителя информации непосредственно в канале связи, маскировка носителя информации путем введения маскирующего сигнала и зашумление канала передачи информации путем создания искусственных помех и шумов на акустических частотах. По данным признакам технические средства защиты разделяют на пассивные, то есть устройства, обеспечивающие сокрытие объекта, и активные – «уничтожающие» средства негласного получения информации путем создания маскирующих помех. В данной работе исследуются активные технические средства защиты, поскольку прямое воздействие на внутреннюю работу ВОЛС путем изменения модуляции сигнала более действенный способ борьбы с несанкционированным съемом информации, нежели сокрытие объекта пассивными средствами путем экранирования. Работа активных технических средств защиты подразделяется на обнаружение канала утечки и на нейтрализацию этих каналов. В связи с этим ставится вопрос о предпочтительности использования того или иного метода работы устройств защиты данных. На основе вышеизложенного задача проведенной работы состоит в сравнительном анализе активных технических средств защиты ВОЛС от несанкционированного съема (конфиденциальной) информации и выборе оптимального прибора защиты на основе выделенных критериев.

Решение поставленной задачи базируется на сравнительном анализе активных технических средств негласного съема информации на основании способов пресечения утечки информации и принципов работы изобретений, найденных путем патентного поиска. Рассмотрен ряд российских патентов, датированных числами не позднее две тысячи девятого года, имеющих прямое отношение к защищенным системам оптической связи.

1. Волоконно-оптический детектор угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации.

Принцип действия прибора (рис. 1) основан на регистрации световых потоков в волокне с их последующим разделением на штатные, то есть связанные с физической реализацией протокола передачи данных, и нештатные – источники света, несанкционированно подключенные к волоконно-оптическим коммуникациям [1].

Сущность изобретения заключается в поиске утечки информации по трем признакам:

- обнаружение нештатного светового потока;

- штатный световой поток имеет акустическую модуляцию по амплитуде, фазе, поляризации или частоте;
- нештатные световые потоки, разделенные по оптическому спектру, имеют акустическую модуляцию по амплитуде, фазе, поляризации или частоте.

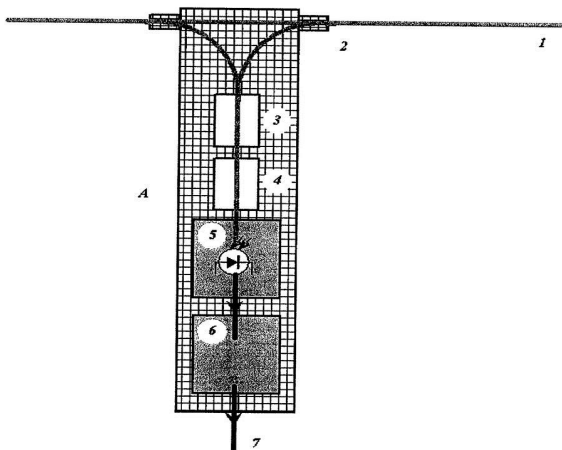


Рис. 1. Принципиальная опико-электронная схема способа детектирования каналов утечки: А – детектор атаки; 1 – штатная оптоволоконная линия; 2 – съемные и несъемные соединения; 3 – оптический фильтр; 4 – анализатор излучения; 5 – аналого-цифровой преобразователь; 7 – выходной электрический цифровой сигнал

Волоконно-оптический детектор угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации хоть и является эффективным устройством по обнаружению и нейтрализации каналов утечки речевой информации, но имеет существенные минусы:

- регистрация световых потоков спектрального диапазона вне штатных спектральных полос производится фотоприемниками с максимумом спектральной чувствительности в области видимого диапазона, такими, как кремниевые *p-i-n* фотодиоды. Но для регистрации слабых оптических сигналов необходимо заменить *p-i-n* фотодиоды на фотоэлектронный умножитель или лавинный фотодиод, что делает волоконно-оптический детектор не универсальным устройством;
- производить изменения в конструкции прибора или же заменять его в соответствии с режимом работы диода затруднительно, так как в большинстве случаев волоконно-оптический детектор подключается к волокну через неразъемное соединение на основе сварки волокон или встраивается в существующее активное волоконно-оптическое оборудование;
- анализ утечки данных не является достаточно точным. Для полной достоверности необходимо проводить анализ с помощью вычислительных систем безопасности, размещаемых непосредственно у канала и там, куда цифровая информация о сигнале поступит по тому же каналу связи.

2. Способ и устройство активной защиты конфиденциальной речевой информации от утечки по акусто-оптоволоконному каналу на основе внешнего оптического зашумления (рис. 2).

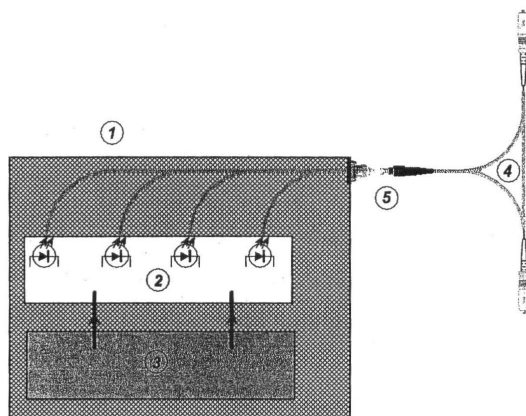


Рис. 2. Обобщенная блок-схема способа и устройства по оптическому зашумлению волоконно-оптического канала передачи информации: 1 – широкополосный генератор света; 2 – набор светодиодов; 3 – аудиоплеер; 4 – ответвитель; 5 – соединительные элементы

Способ предотвращения утечки речевой информации (см. рис. 2) заключается в том, что искусственный оптический сигнал помехи, модулированный на акустических частотах с шумовым спектром, вводится в соединения через волоконно-оптический ответвитель. Сигнал зашумляет речевую информацию. Преимущество устройства по сравнению с ранее предложенной моделью [2]:

- может работать, как на постоянной основе, так и непосредственно во время совещаний
- в выключенном состоянии устройство не влияет на работу системы.

Но наряду с этим имеется ряд минусов, из-за которых устройство уступает приборам с аналогичным принципом действия (см. патент *RU 2416166 C2*, кл. *H04K 3/00*):

- при включении может полностью нейтрализовать работу системы связи, если интенсивность внешнего оптического шумового сигнала превышает интенсивность информационного;
- в качестве генератора света используют набор светодиодов на разные длины волн, чтобы перекрыть рабочий диапазон от 400 нм до 1600 нм, поскольку одиночных источников света на данный диапазон не производится, а установка нескольких светодиодов, соединенных ответвителями, усложняет и удорожает конструкцию;
- воздействие на канал связи проходит только в модульных устройствах.

Перечисленные минусы превалируют над эффективностью устройства, так как прибор работает исключительно в режиме акустической модуляции и уступает аналогам, работающим в нескольких режимах.

3. Способы и устройства активной защиты речевой информации от прослушивания по акустооптоволоконному каналу утечки.

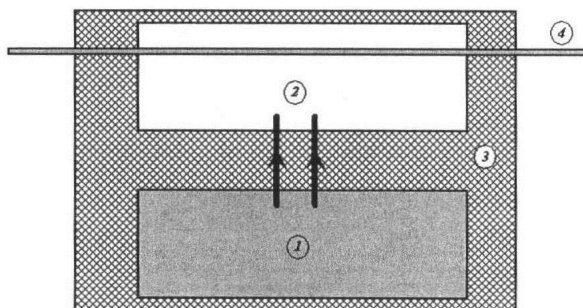


Рис. 3. Общая блок-схема, характеризующая принципы функционирования устройства:

- 1 – звуковой генератор; 2 – волоконно-оптический модулятор;
3 – корпус; 4 – штатный волоконно-оптический кабель

Способ предотвращения утечки речевой информации (рис.3) заключается в том, что путем физического воздействия вибрационным, акустическим, электрическим или магнитным полем вызывается модуляция светового потока, за счет чего происходит маскировка канала передачи данных. Устройство при схожей с предыдущим вариантом конструкции и принципе действия, имеет ряд преимуществ перед ним [3]:

- обладает различными типами оптических эффектов, использование которых зависит от способа воздействия на оптический кабель. То есть, если необходимо эффективно воздействовать внешне на штатный кабель, применима виброакустическая модуляция, а если воздействие на канал происходит в модульных устройствах – электрическая, магнитная или иная модуляция;
- при включении устройство не вносит значительных изменений в общую работу системы связи;
- воздействие на штатный кабель не требует вмешательства в кабель путем его разрушения;
- реализация задачи предотвращения утечки речевой информации не требует 100% глубины модуляции, так как штатный кабель, не имеющий закладок, слабо чувствителен к внешним акустическим полям, то есть глубина модуляции – доли процента и, следовательно, помехи должна иметь такую же небольшую величину;
- неточность исполнения не вносит критических ошибок и может быть даже полезной, внося добавочную неравномерность передачи шумового сигнал;
- различные виды шумов, записанные во флеш-памяти плеера, запускаются с пульта управления по радиоканалу, что не требует постоянного присутствия в непосредственной близости от устройства.

Недостатки устройства:

- модуляция электрическим и магнитным полями путем возбуждения вибраций внутри кабеля может оказывать недостаточный эффект, если воздействие происходит в полностью диэлектрическом кабеле. В таком случае необходимо локально вводить металлические части в кабель;
- если возникает опасность использования закладок, способных промодулировать излучение в ВОЛС с 100% глубиной модуляции, то появляется вынужденная необходимость применять форсированный режим работы, при котором зашумление имеет также 100% глубину модуляции. Это делает невозможным работу системы.

На основании принципа действия технических средств защиты каналов оптической связи и их конструкции, описанных в рассмотренных патентах, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективное устройство описано в патенте «Способы и устройства активной защиты речевой информации от прослушивания по акусто-опто-волоконному каналу утечки». Данный прибор, благодаря расширенному диапазону методов зашумления канала и меньшим материальным затратам на составляющие кон-

струкции, наиболее удобен для обеспечения безопасности передачи данных. Несмотря на это, устройство не является универсальным, поскольку сохраняется возможность ослабления модуляции при воздействии на полностью диэлектрический канал связи и отказа работы системы при использовании закладок. На основании вышеизложенного следует, что устройство может выступить в качестве опорного для создания более совершенного прибора, конструкция и принцип действия которого будет учитывать использование различных материалов каналов связи и исключит возникновение случаев недостаточно эффекта модуляции.

Библиографический список

1. *Гришачев В.В.* Пат. 2428798 С2 Российская Федерация, МПК Н04В 10/12, G01R 29/08. Волоконно-оптический детектор угроз утечки речевой информации через волоконно-оптические коммуникации / заявитель и патентообладатель *Гришачев В.В.*; заявл. 14.09.2009; опубл. 10.09.2011, Бюл. № 25. 12 с.
2. *Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А.* Пат. 2416166 С2 Российская Федерация, МПК Н04К 3/00. Способы и устройства активной защиты речевой информации от прослушивания по акусто-опто-волоконному каналу утечки / заявитель и патентообладатель *Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А.*; заявл. 27.04.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10. 13 с.
3. *Гришачев В.В., Халяпин Д.Б., Шевченко Н.А.* Пат. 2416166 С2 Российская Федерация, МПК Н04К 3/00. Способ и устройство активной защиты конфиденциальной речевой информации от утечки по акусто-опто-волоконному каналу на основе внешнего оптического зашумления / заявл. 27.04.2009; опубл. 10.04.2011, Бюл. № 10. 10 с.

УДК 629.07

М. И. Тарала

магистрант кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов

А. Р. Бестугин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Сегодня авиационное сообщение является обычным делом, при этом воздушному судну (ВС) необходимо обеспечить условия для безопасного перелета. Важный этап в авиасообщении – посадка самолета на взлетно-посадочную полосу, что является наиболее опасным моментом в процессе перелета. При выполнении захода на посадку экипаж ЛА связывается с диспетчером, отвечающим за эту процедуру, и передает ему управление ЛА. Диспетчер через определенные промежутки времени сообщает экипажу ЛА данные об их местоположении относительно продолжения осевой линии взлетно-посадочной полосы (ВПП). При получении информации об отклонении от курса экипаж ЛА предпринимает корректирующие действия только по указанию диспетчера. Перед входом в глиссаду экипажу ЛА дается команда на снижение, после чего диспетчер через равные промежутки времени сообщает местоположение ЛА относительно глиссады. При превышении пороговых отклонений ЛА от курса и глиссады после прохождения дальнего приводного радиомаяка, экипажу ЛА дается команда об уходе на второй круг [1]. Все необходимые параметры ЛА диспетчер получает с помощью радиотехнических или оптических приборов. На сегодняшний день, наиболее распространенный метод обнаружения летательного аппарата (ЛА) и измерения его параметров при посадке – использование радиолокационной системы посадки (РСП), в состав которой входят несколько радиолокационных станций (РЛС). Существуют также оптические аналоги РСП – оптические локационные системы (ОЛС), но их самостоятельная работа сопряжена с рядом трудностей.

Для контроля посадки ЛА на ВПП могут быть использованы различные типы ОЛС: активная и пассивная. В основе каждой ОЛС лежит приемник оптического излучения (ПОИ), способный фиксировать излучение в ультрафиолетовом, видимом или инфракрасном диапазоне. Активные ОЛС – такие системы, которые способны своими средствами подсвечивать искомую цель. К таким средствам могут относиться некогерентные прожекторы видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов и когерентные лазеры. Принцип работы такой системы строится на сравнении излученного сигнала с принятым отраженным. Современные активные ОЛС строятся на базе CO_2 , неодимовых, рубиновых лазеров и лазеров на парах меди. Газовые CO_2 -лазеры обладают высокими средними выходными мощностями (до десятков киловатт), высокой монохроматичностью (ширина спектра несколько килогерц), высоким КПД (до 20%), работают как в непрерывном, так и в импульсном режиме, компактны. Твердотельные неодимовые и рубиновые лазеры используются в основном в импульсном режиме (частота повторения 0,1...100 Гц); энергия их излучения в импульсе до единиц джоулей; КПД единицы процентов. Лазеры на парах меди обеспечивают высокую частоту повторения (до десятков килогерц) при средней мощности до 100 Вт [2]. Пассивные ОЛС – системы, которые регистрирует собственное излучение цели, также к пассивным ОЛС относят полуактивные системы, фиксирующие естественное излучение (солнечное), переотраженное целью. Пассивные ОЛС обычно работают в ближнем ИК-диапазоне и затрагивают видимый диапазон.

Одна из ОЛС описана в патенте *RU 2579771*. Авторы патента относят свое изобретение к измерительной технике, конкретно к многофункциональным оптико-электронным измерительным установкам для калибровки активных и пассивных каналов средств обнаружения, сопровождения и распознавания воздушных и наземных объектов.

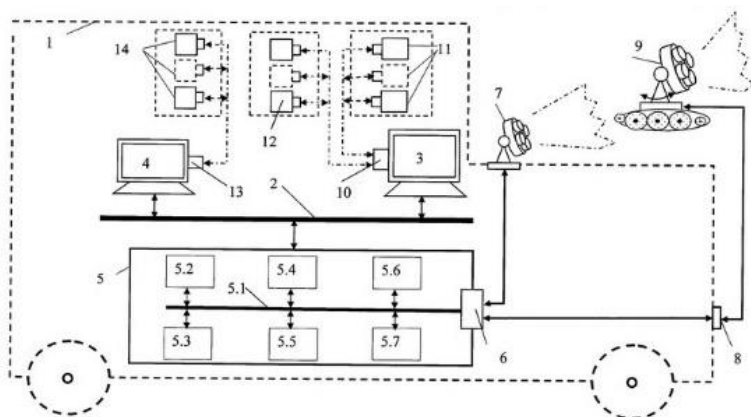


Рис. 1. Функциональная схема мобильной многофункциональной оптико-электронной испытательной станции

На рис. 1 представлена функциональная схема мобильной многофункциональной оптико-электронной испытательной станции для калибровки активных и пассивных каналов оптико-электронной системы (ОЭС) по обнаружению, сопровождению и распознаванию наземных и воздушных объектов в ИК, видимом и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах электромагнитных волн. Здесь 1 – передвижной контейнер на колесном ходу; 2 – интерфейсная линия связи; 3 – автоматизированное рабочее место испытателя; 4 – автоматизированное рабочее место метеоролога; 5 – электронно-вычислительная машина обработки сигналов и управления испытанием; 6 – вводно-выводное устройство; 7 – контрольно-измерительная аппаратура; 8 – интерфейсная шина; 9 – калибруемая ОЭС с пассивными и/или активными каналами ИК, видимого и/или УФ диапазонов электромагнитных волн; 10 – модем для дистанционного управления выносными эталонами; 11 – выносные эталоны; 12 – источники оптических помех; 13 – модем для дистанционного управления метеорологическими приборами, приема измеренных параметров атмосферы и введения метеорологических поправок в результаты испытаний ОЭС; 14 – метеорологические приборы; 5.1 – плата сопряжения; 5.2 – процессор; 5.3 – оперативное запоминающее устройство; 5.4 – съемный блок памяти программ испытаний; 5.5 – съемный блок памяти исходных данных; 5.6 – съемный блок памяти результатов оптико-электронных измерений; 5.7 – съемный блок памяти метеорологических данных. Изобретение разработано на уровне опытного образца и программного аппарата. Испытания опытного образца в местах дислокации ОЭС показали достижение заявленного технического результата – повышение точности измерений параметров ОЭС. Одновременно повысилась надежность калибровки ОЭС, сокращено время ее испытаний. В результате обеспечивается уменьшение количества ложных срабатываний ОЭС, повышение надежности правильной работы ОЭС и вероятностей правильной обнаружения, сопровождения и распознавания наземных и воздушных объектов [3]. К недостаткам системы можно отнести ее громоздкость и время на подготовку к работе.

Другим примером ОЭС может служить патент *RU 2325671*, авторы которого относят свое изобретение к автоматическому регулированию, предназначенному для систем автоматического наблюдения и сопровождения за подвижными объектами в пространстве преимущественно с качающегося основания. Это изобретение может быть использовано для управления воздушным движением

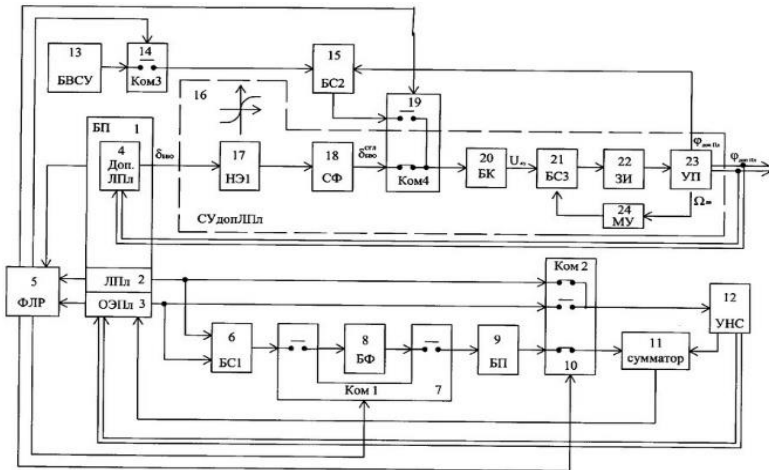


Рис. 2. Функциональная схема следящей ОЛС

На рис. 2 – функциональная схема предлагаемой следящей ОЛС сопровождения подвижных объектов. Следящая ОЛС состоит из блока пеленгаторов (БП) 1, включающего локационный (ЛПЛ) 2, оптико-электронный (ОЭПл) 3 и дополнительный локационный пеленгатор с переключающимся полем зрения (доп. ЛПл) 4, установленных на общей платформе (по крайней мере их приемные устройства), формирователя логики режимов (ФЛР) 5, первого блока сравнения (БС1) 6, первого коммутатора (Ком 1) 7, блока фильтрации (БФ) 8, блока памяти (БП) 9, второго коммутатора (Ком 2) 10, сумматора 11, устройства наведения и стабилизации (УНС) 12, блока выработки сигналов упреждения (БВСУ) 13, третьего коммутатора (Ком 3) 14, второго блока сравнения (БС2) 15, системы управления дополнительного локационного пеленгатора (СУ доп. ЛПл) 16, включающей в себя первый нелинейный элемент (НЭ1) 17, сглаживающий фильтр (СФ) 18, четвертый коммутатор (Ком 4) 19, блок коррекции (БК) 20, третий блок сравнения (БС3) 21, датчик интенсивности (ЗИ) 22, управляемый привод (УП) 23, масштабный усилитель (МУ) 24. Блок коррекции для сопровождения нескольких собственных объектов включает в себя второй (НЭ2) 25, третий (НЭ3) 26 и четвертый (НЭ4) 27 нелинейные элементы, пятый коммутатор (Ком 5) 28, второй масштабный усилитель (МУ2) 29, ПИД-регулятор 30, четвертый блок сравнения (БС4) 31. ПИД-регулятор включает в себя третий масштабный усилитель (МУ3) 32, интегратор (И) 33, четвертый нелинейный элемент (НЭ4) 27, дифференциатор (Д) 34, пятый блок сравнения (БС5) 35. Блок коррекции для сопровождения одного собственного объекта включает в себя сглаживающий фильтр (СФ) 36 и интегрирующе-дифференцирующий фильтр (ИДФ) 37. Локационный и оптико-электронный пеленгаторы механически соединены между собой и установлены на одной платформе с дополнительным локационным пеленгатором. Платформа имеет кинематическую связь с выходным валом устройства наведения и стабилизации, а дополнительный локационный пеленгатор имеет возможность автономного наведения по курсу и углу места с помощью собственного управляемого привода. Технический результат изобретения заключается в повышении помехозащищенности работы системы управления и обеспечении сопровождения наблюдаемого объекта при выводе и сопровождении собственного объекта вплоть до его встречи с наблюдаемым объектом. Указанный результат достигается за счет того, что в следящую ОЛС сопровождения введен дополнительный локационный пеленгатор, установленный на общем основании с основными локационным и оптико-электронным пеленгаторами, имеющий высокоточную систему управления и блок выработки сигналов упреждения. Система управления дополнительного пеленгатора обеспечивает захват собственного объекта в упрежденной точке и его ввод на

линию визирования основных пеленгаторов [4]. К недостаткам системы можно отнести ее не универсальность, т.к. радиолокационные модули в составе ОПС дублируют работу РСР, а также связанные с этим денежные затраты.

Еще один пример – патент *RU 2426074*, Изобретение относится к области авиационного приборостроения и может быть использовано как средство контроля автоматизации процессов управления: воздушным движением, регистрации ЛА, группы целей для повышения безопасности взлета-посадки, выполнения «круга» и пилотажа ЛА в зоне аэродрома, при сертификации, проведении авиационных выставок, шоу и т.д.

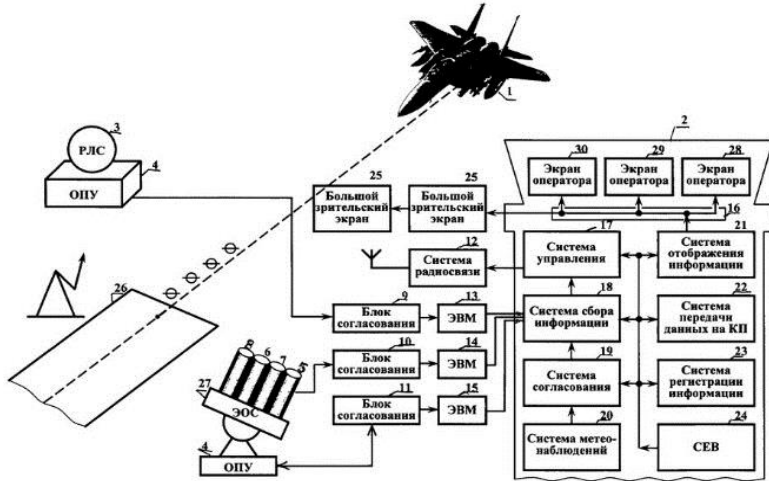


Рис. 3. Структурная схема аэродромного автоматизированного комплекса

На рис. 3 приведена структурная схема аэродромного автоматизированного комплекса, где изображено: 1 – воздушное судно (ВС), летательный аппарат (ЛА); 2 – командный пункт (КП) управления УВД; 3 – посадочная радиолокационная станция (РЛС); 4 – опорно-поворотное устройство (ОПУ) измерения угловых координат; 5 – лазерный дальномер; 5, 6, 7, 8 – единая конструкция ИК, телевизионных камер и лазерного дальномера с ОПУ – 4; 6 – система измерений по узкому телевизионному каналу; 7 – система телевизионного обзора; 8 – канал телевизионных ИК-измерений; 9, 10, 11 – блоки согласования; 12 – система радиосвязи; 13, 14, 15 – вычислительные устройства – ЭВМ; 16 – полеты управления терминалами системы отображения информации УВД; 17 – система управления полетами ЛА; 18 – система сбора информации – локальная вычислительная сеть (ЛВС); 19 – система согласования метеоданных; 20 – система метеонаблюдений; 21 – система отображения информации УВД; 22 – система передачи данных на командный пункт (КП); 23 – система регистрации информации; 24 – система единого времени (СЕВ); 25 – большие зрительские экраны; 26 – взлетно-посадочная полоса (ВПП); 27 – электронно-оптическая система; 28 – телевизионный экран; 29 – экран измерительной информации; 30 – экран ИК-измерений.

Технический результат – повышение безопасности полетов. Для достижения данного результата в комплекс введена опико-электронная ИК телевизионная система с широким и узким диапазонами поля зрения камер для поиска, слежения и отображения ЛА, система регистрации информации, системы сбора, обработки, представления и отображения информации расположены на командном пункте УВД. Передатчики импульсной лазерной дальномерной системы, посадочной радиолокационной станции, выходы телевизионной системы через блоки согласования и вычислительные устройства ЭВМ связаны с системой сбора информации, выполненной в виде локальной вычислительной сети с систе-

мой управления полетами ЛА, взаимосвязанной с системой передачи данных на командный пункт соответствующих пультов управления, с системой единого времени [5]. Недостатком системы является необходимость постоянного контроля со стороны оператора.

В качестве примера может выступать ОЛС на основе телевизионной камеры в паре с тепловизионной. Такая двухканальная ОЛС способна обнаруживать летательный аппарат как по его собственному тепловому излучению, так и по отраженному – солнечному. Также такая ОЛС способна работать в сложных метеорологических условиях (туман, облачность) и при радиолокационных помехах. В перспективе возможна даже полная замена РЛС на ОЛС, но эффективность самостоятельной работы ОЛС находится на стадии исследования. При использовании ОЛС необходимо учитывать высокую направленность зондирующего излучения, а также узкие поля зрения приемных каналов, т.к. это сильно ограничивает возможности ОЛС по обзору пространства. Работу ОЛС могут ограничивать метеоусловия, узкие окна прозрачности атмосферы в выбранном диапазоне и квантовый характер электромагнитного излучения.

Таким образом, различные ОЛС могут быть использованы при решении задач:

- уточнения радиолокационных измерений при обеспечении полётов в районах аэродромов;
- видеоконтроля и регистрации этапов взлета и посадки воздушных судов;
- обнаружения опасных для полетов авиации явлений метеорологической и орнитологической обстановки, потенциально опасных (конфликтных) ситуаций между воздушными судами и другими воздушными и наземными объектами;
- юстировки и калибровки ОЭС;
- контроль воздушной обстановки и управления экипажами летательных аппаратов на авиационных полигонах.

Наибольший интерес из рассмотренных патентов представляет *RU 2426074*, при обеспечении ему большей автономности и минимального контроля со стороны оператора. Также перспективным является разработка универсальной и недорогой ОЭС, способной работать совместно с любыми аэродромными РСР, обеспечивая точность измерений параметров ЛА в сложных для радиолокации условиях.

Библиографический список

1. *Бестугин А.Р., Велькович М.А., Володягин А.В.* и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением / под науч. ред. *Ю.Г. Шатракова*; Санкт-Петербург, Политехника, 2014, 450 с.
2. Оптическая локация. URL: http://www.laserportal.ru/content_686
3. Пат. 2579771 С2 Российская Федерация, МПК G 01 M 11/00, G 01 J 1/00. Многофункциональная оптико-электронная испытательная станция / *И.М. Хмаров, А.С. Вишняков, Н.Н. Глазков, Н.И. Хмаров, С.В. Шахов*; заявитель и патентообладатели *И.М. Хмаров, А.С. Вишняков, Н.Н. Глазков, Н.И. Хмаров, С.В. Шахов*; заявл. 11.12.2006; опубл. 27.05.2008, Бюл. № 15 – 14 с.
4. Пат. 2325671 С1 Российская Федерация, МПК G 01 S 13/66. Следящая локационно-оптическая система сопровождения подвижных объектов / *А.Л. Рыбас, А.В. Жуков, Е.В. Александров* и др.; заявитель и патентообладатель Государственное унитарное предприятие «Конструкторское бюро приборостроения»; заявл. 27.03.2016; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10 – 12 с.
5. Пат. 2426074 С1 Российская Федерация, МПК G 01 S 23/00. Аэродромный автоматизированный комплекс мониторинга, управления и демонстрации полетов летательных аппаратов / *В. Е. Архангельский, Н.Н. Шматов, К.С. Худяков, Ю. И. Калинин, С. М. Жадовский, А.Ю. Макарова*; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова"; заявл. 12.04.2010; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22. – 12 с.

УДК 621.391.82

А.Ю. Турбанов

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

П.А. Хабаров

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ВЛИЯНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТУРНИКЕТНОЙ АНТЕННЫ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 0,9-2 ГГц

Основным методом обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) в части устойчивости к воздействию электромагнитного поля, а также соответствия требованиям к уровню излучаемых помех является электромагнитное экранирование. Установка экранов на помехоизлучающие элементы обеспечивает разделение сигналов, необходимое для функционирования. Экранированная радиоэлектронная аппаратура повышает избирательность приемников, помехозащищенность чувствительной аппаратуры, чистоту сигнала генераторов, точность работы приборов. Правильный выбор метода экранирования, материала экрана и его конструкции очень важны именно на начальном этапе проектирования, поскольку он будет определять возможность успешного прохождения испытаний на ЭМС и качественного функционирования разрабатываемой аппаратуры.

В данной статье рассмотрены результаты измерений влияния экрана на турникетную антенну диапазона 0,9-2ГГц.

Измерения проводились на стенде измерения параметров антенн АКЯЦ.411728.14 ПС. Турникетная антенна диапазона ДЗ, представляет собой два скрещенных вибратора [1], выполненных в виде печатного узла, который помещается в цилиндрический резонатор с напльвами, выполняющими роль креплений для печатного узла. На резонаторе сделаны вертикальные разрезы, которые позволяют расширить рабочий диапазон частот антенны. Внешний вид турникетной антенны диапазона ДЗ приведен на рис. 1. Внутренний диаметр резонатора составляет 150 мм, внешний диаметр 153 мм, а его высота 54.5 мм. За счет напльвов диаметр резонатора увеличивается до 169 мм.

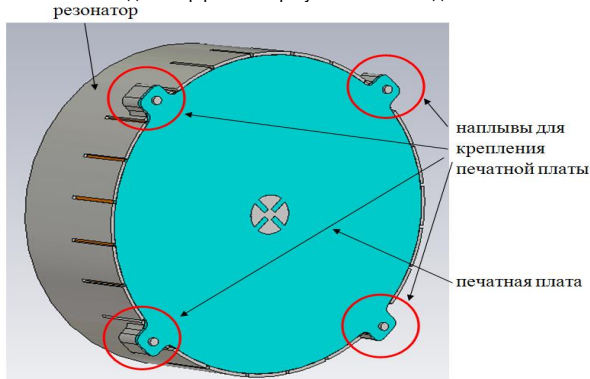


Рис. 1. Внешний вид турникетной антенны диапазона ДЗ. Вибраторные излучатели с одной стороны и согласующая емкость с другой. В качестве материала для печатной платы используется стеклотекстолит FR-4 толщиной 1.5 мм

На рис. 2. приведены для сравнения частотные зависимости КСВн турникетной антенны в свободном пространстве и на экране. Поскольку КСВн выходов турникетной антенны мало отличаются друг от друга, то для сравнения приведены зависимости для одного из выходов. Как видно из графика, 300

искажения, вносимые экраном, минимальны: наблюдается незначительный рост максимального значения КСВн в рабочем диапазоне частот (2.1 вместо 2), а также небольшой перегиб характеристики в районе частоты 2.1 ГГц, который, однако, не превышает уровня КСВн = 2.

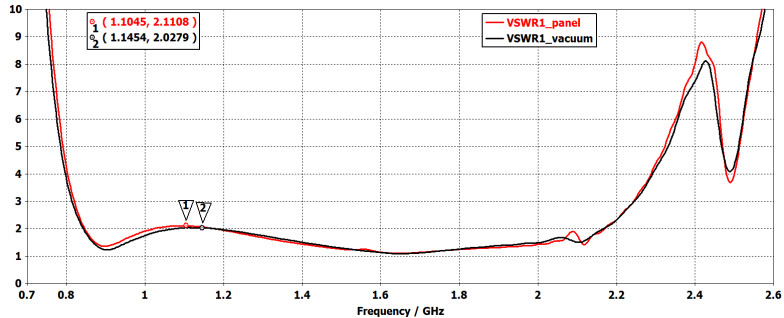


Рис. 2. Частотная зависимость КСВн одного из выходов турникетной антенны диапазона ДЗ на панели (красная линия) и в вакууме (черная линия)

Поскольку антенна располагается на экране трапецеидальной формы, то влияние, оказываемое экраном на вибраторы турникетной антенны, будет зависеть от их взаимного расположения и в рассматриваемой конфигурации будет различно. Поэтому на рис. 3 для сравнения приведены частотные зависимости ШДн в Е- и Н-плоскостях для горизонтального и вертикального вибраторов в составе турникетной антенны, расположенной на экране, а также для одного из них при расположении антенны в свободном пространстве.

Из приведенных зависимостей видно, что наличие экрана существенно расширяет диаграмму направленности в Е-плоскости (сплошные линии на рис. 3), в большей части рабочего диапазона. Однако в верхней части диапазона, начиная с частоты 1.7 ГГц для первого вибратора и с 1.7 ГГц для второго вибратора, диаграмма направленности наоборот сужается, достигая минимального значения 53° – 55° в районе частоты 2 ГГц. В Н-плоскости для горизонтального вибратора, за исключением участка выше 2 ГГц, происходит уменьшение ширины диаграммы направленности во всем рабочем диапазоне частот. Для вертикального вибратора, в отличие от горизонтального, ШДн увеличивается не только выше 2 ГГц, но и в центральной части рабочего диапазона частот 1.25–1.55 ГГц. Минимальное значение ШДн в Н-плоскости зависит от положения вибратора и составляет 63° для горизонтального и 60° для вертикального.

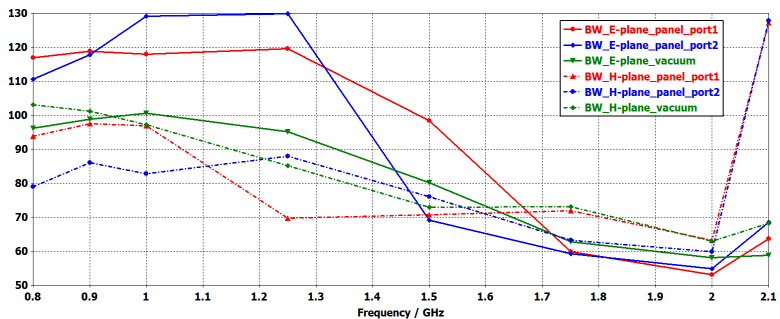


Рис. 3. Частотная зависимость ШДн турникетной антенны в Е- (сплошные линии) и Н-плоскостях (штрихпунктирные линии)

Зеленые линии на рис 3 соответствуют антенне в свободном пространстве, красные и синие – горизонтальному и вертикальному вибраторам турникетной антенны на экране соответственно

На рис. 4 для сравнения приведены частотные зависимости коэффициента усиления (КУ) турникетной антенны на линейной поляризации при расположении антенны на экране и в свободном пространстве. Как видно из этих зависимостей, в большей части рабочего диапазона КУ горизонтального вибратора антенны на экране мало отличается от КУ антенны в свободном пространстве, незначительно увеличиваясь, в пределах 1 дБ на частотах выше 1.6 ГГц. Для вертикального вибратора отличия КУ наблюдаются во всем рабочем диапазоне частот, однако в большей его части не превышают 0.5 дБ. Уменьшение КУ на 1 дБ в нижней части диапазона вызвано деформированием главного максимума и уменьшением уровня сигнала в направлении по нормали к плоскости экрана.

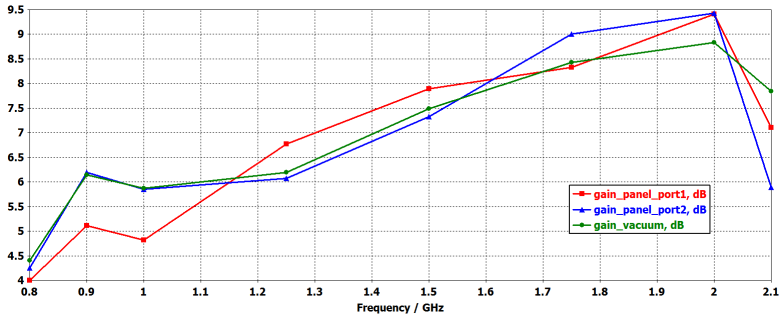


Рис. 4. Частотная зависимость КУ турникетной антенны в свободном пространстве (зеленая линия) и на экране (красная и синяя линии)

Поскольку в ряде систем кроме амплитудной диаграммы направленности антенны важна ее фазовая ДН, необходимо оценить, как металлический экран влияет на них [2]. Для этого на рис.5–8 приведены для сравнения фазовые ДН в Е- и Н-плоскостях для турникетной антенны в свободном пространстве, а также для горизонтального и вертикального вибраторов при расположении антенны на экране. При этом стоит отметить, что направлению на главный максимум амплитудной ДН соответствует угол 0° в Е-плоскости и 90° в Н-плоскости.

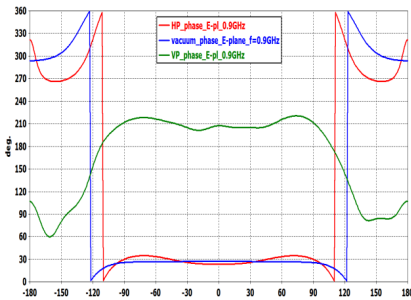


Рис. 5. Фазовые ДН в Е-плоскости на частоте 0,9 ГГц

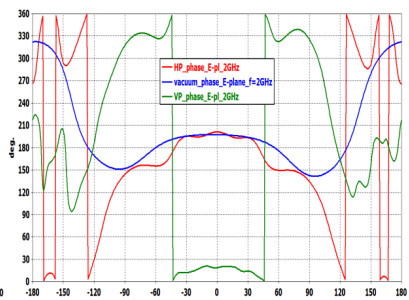


Рис. 6. Фазовые ДН в Е-плоскости на частоте 2 ГГц

На рис. 5–8 для горизонтального (красная) и вертикального (зеленая) вибраторов турникетной антенны на экране, а также одного из вибраторов турникетной антенны в свободном пространстве (синяя)

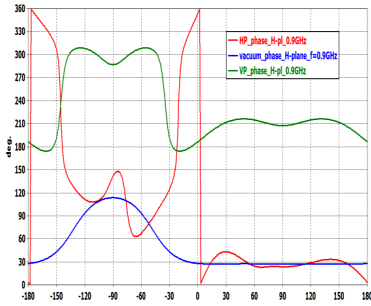


Рис. 7. Фазовые ДН в Н-плоскости на частоте 0,9 ГГц

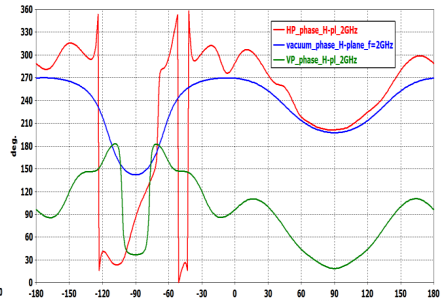


Рис. 8. Фазовые ДН в Н-плоскости на частоте 2 ГГц

Приведенные на рис. 5–8 фазовые ДН были рассчитаны для фиксированной точки, являющейся фазовым центром турникетной антенны, расположенной в свободном пространстве, на нижней частоте рабочего диапазона. Из приведенных диаграмм видно, что линейный участок, который присутствует на ДН антенны, расположенной в свободном пространстве, на нижней частоте рабочего диапазона, искажается и имеет точки перегиба как в Е-, так и в Н-плоскости, что приводит к увеличению разброса фазы в требуемом секторе углов. Кроме того, как и в случае антенны в свободном пространстве, фазовая ДН с ростом частоты претерпевает квадратичные искажения, что говорит о перемещении фазового центра турникетной антенны вдоль оси антенны. Дополнительные исследования показали, что фазовый центр, смещается вглубь резонатора при увеличении частоты. Однако, в отличие от антенны в свободном пространстве, это смещение более существенно и составляет порядка 50 мм, тогда как в антенне без экрана оно не превышало 10 мм. С учетом влияния металлического экрана можно отметить, что в требуемом секторе углов $-45^\circ \dots +45^\circ$ отклонение фазы от центрального значения в Е-плоскости растет от 4° на нижней частоте диапазона до 17° на верхней, без экрана от 0.5° до 10° , независимо от положения вибратора. В Н-плоскости отклонение растет от 7° на нижней частоте до 28° на верхней, тогда как без экрана эти значения составляли 0.2° и 18° соответственно. Исходя из приведенных значений, можно сделать вывод, что наиболее сильное влияние на фазовые ДН экран оказывает в Н-плоскости и оно почти не зависит от положения вибратора на экране.

В таблице приведены основные характеристики, полученные при измерениях турникетной антенны диапазона ДЗ на экране, а также аналогичные параметры для антенны в свободном пространстве.

Характеристика	Полученное значение		
	горизонтальный вибратор на экране	вертикальный вибратор на экране	без экрана
КСВн, не более	2.2:1	2.2:1	2:1
ШДН в Е-плоскости, град.	$53^\circ \dots 120^\circ$	$55^\circ \dots 130^\circ$	$58^\circ \dots 100^\circ$
ШДН в Н-плоскости, град.	$63^\circ \dots 100^\circ$	$60^\circ \dots 90^\circ$	$63^\circ \dots 103^\circ$
КУ, дБ	4.8..9.4	5.8..9.4	5.8..8.8
Изменение фазы в Е-плоскости, град.	$8^\circ \dots 34^\circ$		$1^\circ \dots 20^\circ$
Изменение фазы в Н-плоскости, град.	$14^\circ \dots 56^\circ$		$0.4^\circ \dots 36^\circ$

Исходя из значений, приведенных в таблице, можно сделать вывод, что экран оказывает негативное влияние на характеристики антенны, однако эти изменения, за исключением искажения фазо-

вых ДН и формирования боковых лепестков на амплитудных, незначительны. Также стоит отметить, что формируемые боковые лепестки лежат за пределами рабочего сектора углов и формируются в основном только в верхней части рабочего диапазона, а искажения фазовых ДН могут быть учтены при дальнейшей обработке принятых антенной сигналов.

Библиографический список

1. *Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И.* Устройства СВЧ и антенны. М.: Радиотехника, 2006. – 376 с.
2. *Сазонов Д.М.* Антенны и устройства СВЧ: Учебник для радиотехнических спец. вузов. - М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.

УДК: 330.47:51.761

В. А. Фабричное

магистрант кафедры медицинской радиоэлектроники

Б.С. Гуревич

д-р техн. наук – научный руководитель

АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ МАТЕРИНСКИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ВЕЙВЛЕТ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ

Обработка сложных нестационарных сигналов на сегодняшний день находит широкое применение при анализе временных рядов, интернет-трафика, биржевых котировок, данных дистанционного геофизического зондирования, распознавании образов и речевых сигналов, задачах связи, теоретической физики и математики, медицины, сжатию изображений и мультимедиа-информации и т.д. При этом решение ряда задач, связанных с обработкой нестационарных сигналов, параметры которых (например частота) изменяются во времени, оказывается неэффективным или невозможным в рамках традиционного преобразования Фурье [1].

Многообразие методов вторичной обработки, применяемых для решения задач анализа биологических сигналов при различных видах электрофизиологических исследований, связано с тем, что эти сигналы, имеющие сложную и нередко шумоподобную структуру, являются существенно слабыми, регистрируются на фоне различных, а, иногда, мощных помех и при этом несут важную и разнообразную информацию о строении и функционировании живых организмов, о протекающих в них нормальных физиологических процессах и о развитии патологических явлений. В настоящее время, в рамках развития метода электрокардиографии сверхвысокого разрешения (ЭКГ СВР) [2] намечены подходы к решению указанных задач, проведено предварительное обобщение различных методов анализа и специальных процедур вторичной обработки электрокардиосигналов (ЭКГ) [3].

В данной работе рассмотрено применение вейвлет-преобразования для обработки ЭКГ СВР. Вейвлет-преобразование – преобразование, похожее на преобразование Фурье (или гораздо больше на оконное преобразование Фурье) с совершенно иной оценочной функцией. Основное различие лежит в следующем: преобразование Фурье раскладывает сигнал на составляющие в виде синусов и косинусов, т.е. функций, локализованных в Фурье-пространстве; напротив, вейвлет-преобразование использует функции, локализованные как в реальном, так и в Фурье-пространстве. В общем, вейвлет-преобразование может быть выражено следующим уравнением:

$$F(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \varphi_{(a,b)}^*(x) dx,$$

где * – символ комплексной сопряженности и функция φ – некоторая функция. Функция может быть выбрана произвольно, но она должна удовлетворять определённым условиям.

Как нетрудно видеть, вейвлет-преобразование на самом деле является бесконечным множеством различных преобразований в зависимости от оценочной функции, использованной для его расчёта. Это является основной причиной, почему термин «вейвлет-преобразование» используется в весьма различных ситуациях и применениях [4].

Таким образом, вейвлет-преобразования, в отличие от оконного преобразования Фурье, которое имеет постоянный масштаб в любой момент времени для всех частот, имеет лучшее представление времени и худшее представление частоты на низких частотах сигнала и лучшее представление частоты с худшим представлением времени на высоких частотах сигнала.

На основе анализа литературных источников приведем наиболее часто используемые материнские вейвлеты:

- 1) Морле (Morlet).
- 2) WAVE (гауссов первого порядка).

- 3) WHAT – «Мексиканская шляпа» (гауссов второго порядка).
- 4) DOG – разность двух гауссианов.
- 5) FHAT – «Французская шляпа»
- 6) HAAR
- 7) Шеннона
- 8) Пауля
- 9) Коши

Наиболее удобными для анализа квазипериодических сигналов (в нашем случае ЭКГ СВР) являются вейвлеты Пауля, Коши и Морле. Удобство заключается в том, что модуль НВП (непрерывное вейвлет-преобразование) при использовании комплексных материнских вейвлетов соответствует аналогу амплитудного спектра вейвлет-преобразования, а аргумент НВП характеризует аналог фазовых составляющих спектра [5].

Вейвлеты Пауля и Коши часто применяются в квантовой механике, так как они хорошо приспособлены для анализа процессов, подчиняющихся принципу причинности (не создают паразитной интерференции между прошлым и будущим). Также данные вейвлеты применяются для анализа сейсмических сигналов, потому что хорошо аппроксимируют всплески (соответствующие сейсмической активности) и позволяют раздельно анализировать информацию об амплитудах и фазах колебаний [6].

Формула расчета частотно-временного разрешения материнского вейвлета:

$$S_{wt} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2n+1}{2n-1}}$$

Так же заметим, что потенциально меньшее значение площади частотно-временного разрешения обеспечено для материнского вейвлета Морле, что априори указывает на преимущество данного вейвлета относительно выигрыша по частотно-временному разрешению [7].

Таким образом, для ЭКГ СВР стоит использовать вейвлет Морле, так как он уже зарекомендовал себя в области анализа ЭКГ и выигрыш по частотно-временному разрешению у него больше, чем у других вейвлетов.

Библиографический список

1. Голубинский А. Н., Астахов Р. А. Обоснование выбора материнского вейвлета непрерывного вейвлет-преобразования для анализа речевых сигналов // Вестник Воронежского института МВД России. 2014. №1. С. 11-18.
2. Гуляев Ю. В., Зайченко К.В. Электрокардиография сверхвысокого разрешения. Задачи. Проблемы. Перспективы // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. №9. . С. 5-15.
3. Зайченко К.В. , Горелова Н.А. , Омельченко В. П., Поливанный Ф.Г. Частные решения процедур вторичной обработки ЭКС по методу ЭКГ СВР для поиска временных характеристик маркеров кардиопатологий // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. №9. С. 31-38.
4. Вейвлет-преобразование // gwyyddion.net URL: <http://gwyyddion.net/documentation/user-guide-ru/wavelet-transform.html> (дата обращения: 15.05.17).
5. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлет анализ и его приложения. М.: ФИЗМАТ-ЛИД, 2003.
6. Штарк Г.Г. Применения вейвлетов для цифровой обработки сигналов. М.: Техносфера, 2007.
7. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2001.

УДК629.735.33

Д.Л. Хабаров

магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

В.Г. Федченко

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ MEMS-ГИРОСКОПА

В наше время широкое применение обретают датчики, базирующиеся на микроэлектромеханических системах, называемых MEMS. В данной статье проведен анализ MEMS-датчиков для измерения угловой скорости (гироскопа) с целью формирования определяющих характеристик гироскопа для его моделирования как звена системы автоматического управления. Эти характеристики приняты в расчетах при моделировании гироскопа в программе MATLAB пакета Simulink. В результате исследования можно выявить влияние того или иного параметра на результат моделирования объекта совместно с другими элементами системы (источниками сигналов и так далее).

Распространение датчиков, исполнительных элементов и других устройств автоматики на основе микроэлектромеханических систем, называемых MEMS, связано с тем, что такие системы позволяют существенно снизить габариты изделий, стоимость их производства, повысить надежность, точность и быстродействие, а также сократить сроки разработки отдельных устройств автоматики за счет использования готовых решений, интегрирующих в себе электрические, механические, электронные и программно-аппаратные (цифровые) средства формирования, преобразования и обработки сигналов. Крайне актуально расширение сфер применения MEMS и в дальнейшем вследствие перечисленных выше их преимуществ. С этой целью наиболее желательно детально разобраться с описанием математической модели таких объектов как динамических элементов, преобразующих сигналы, с позиции автоматического управления.

В статье рассмотрены одни из важных характеристик гироскопа, которые учтены при моделировании гироскопа в программе MATLAB в пакете Simulink, как звена системы автоматического управления.

При моделировании воспользуемся данными гироскопа ADIS16133, приведенными в таблице. Произвольно выберем один из доступных диапазонов значений, например, $1400^\circ / \text{sec}$. Следовательно, значение чувствительности будет равно $0,05^\circ / \text{sec} / \text{LSB}$ [1]. Входом гироскопа является частота вращения, а выходом – 16-битное значение сигнала. В самом простом виде модель гироскопа можно представить в виде линейного звена с показателями, значение которого можно взять из документации гироскопа и которое численно равно значению чувствительности.

Таблица

Механические характеристики гироскопа ADIS16133

Parameter	Test Conditions/Comments	Min	Typ	Max	Unit
GYROSCOPES					
Dynamic Range		± 1200	± 1400		$^\circ / \text{sec}$
Initial Sensitivity	GYRO_OUT register only	0.0495	0.05	0.0505	$^\circ / \text{sec} / \text{LSB}$
Repeatability ¹	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$			± 1	%
Sensitivity Temperature Coefficient	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$		± 16		ppm/ $^\circ\text{C}$
Nonlinearity	Best fit straight line		± 0.008		% of f_s
Bias Repeatability ^{1,2}	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$, 1 σ		± 1		$^\circ / \text{sec}$
In-Run Bias Stability	$+25^\circ\text{C}$, SMPL_PRD = 0x001F		0.0017		$^\circ / \text{sec}$
Angular Random Walk	1 σ , $+25^\circ\text{C}$		0.75		$^\circ / \text{hr}$
Linear Acceleration Effect on Bias	1 σ		0.03		$^\circ / \text{sec} / g$
Bias Voltage Sensitivity	VCC = 4.85 V to 5.15 V		0.02		$^\circ / \text{sec} / V$
Output Noise	SMPL_PRD = 0x001F		0.27		$^\circ / \text{sec rms}$
Rate Noise Density	f = 25 Hz, SMPL_PRD = 0x001F		0.0122		$^\circ / \text{sec} / \sqrt{\text{Hz rms}}$
Bandwidth	-3 dB		335		Hz
Sensor Resonant Frequency			14.5		kHz

Результат моделирования показан на рис. 1, но данная модель далека от совершенства и поэтому этот результат лишь предварительный.

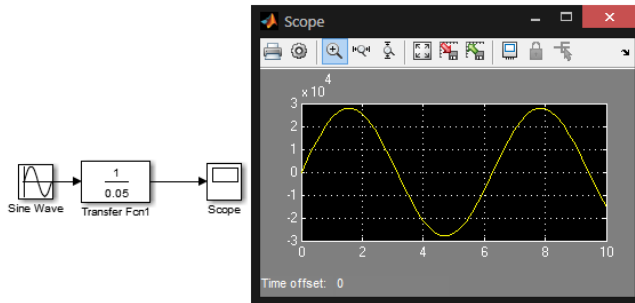


Рис. 1. Результат моделирования гироскопа на основе простейшей модели

MEMS-гироскоп – обычное твердотельное устройство не имеющее движущихся частей, исключением является сенсорное кольцо, которое имеет возможность колебаться [2]. Оно выявляет величину и направление угловой скорости за счет использования эффекта «силы Кориолиса». Во время вращательного движения гироскопа силы Кориолиса воздействуют на кремниевое кольцо, отклоняя его. Данное отклонение фиксируется при помощи конденсаторов. Данная составляющая гироскопа описывается системой второго порядка. Значения коэффициентов приняты равными: $w=1400$, $a=0,27$ [3]. Результаты моделирования такого элемента показаны на рис. 2.

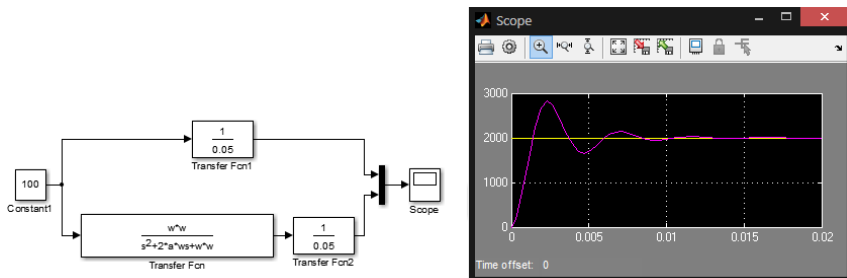


Рис. 2. Результат моделирования после добавления динамической составляющей в модель гироскопа

Данный сенсор, как и все гироскопы, имеет смещение нуля на величину, которую можно скомпенсировать. Для этого следует, осуществить калибровку гироскопа. На некоторый период времени включить гироскоп и не подавать входной сигнал. На выходе будет сигнал, примерный вид, которого показан на рис. 3.

В среде Simulink шум можно смоделировать при помощи блока Band-Limited White Noise [4] рис. 4, задавая значение параметра в соответствии с документацией.

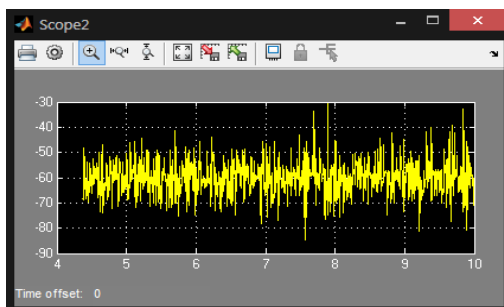


Рис. 3. Имитация выходного сигнала гироскопа при отсутствии входного воздействия

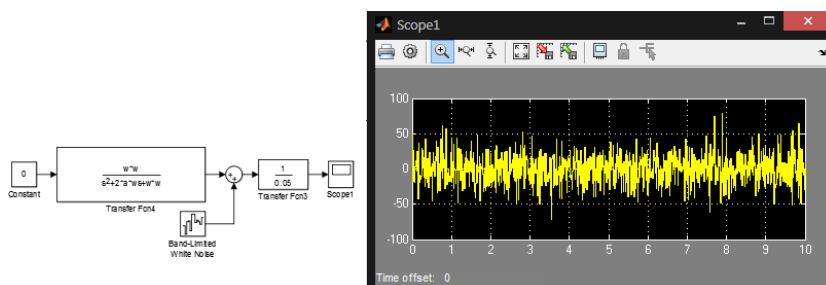


Рис. 4. Имитация выходного сигнала гироскопа при отсутствии входного воздействия и при компенсированном смещении нуля

Так как выход данного гироскопа цифровой 16-битный, это необходимо учесть в модели в виде блока насыщения, показанного на рис. 5, где максимальные и минимальные величины будут, следовательно, равны:

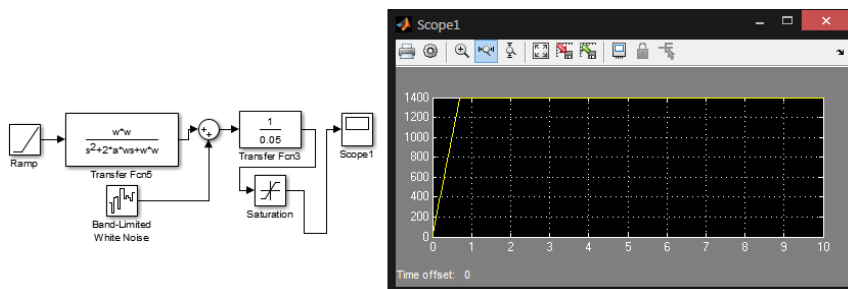


Рис. 5. Имитация выходного сигнала гироскопа в состоянии насыщения

В данной статье выполнено моделирование одного из основных параметров гироскопа, как звена системы автоматического управления. В ходе последовательных этапов можно было отметить приближение результата моделирования к характеру поведения реального объекта.

Библиографический список

1. ADIS16133* product page quick links | TEMP SENSOR [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/datasheets/ADIS16133.pdf>
2. *Крекотень Ф.* Современные МЭМС-гироскопы и акселерометры // Петербургский журнал электроники. 2011. №1. С.81-96.
3. Modeling and simulation of MEMS accelerometers and gyroscopes using order-reduction methods [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.slideshare.net/rabieelzoghbi1/modelingand-simulation-of-mems-26184524>
4. *Черных И.В.* Simulink: Инструмент моделирования динамических систем [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/9_1.php

УДК 621.757

А.А. Цигас

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

В.П. Ларин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ

Проблема биологической подвижности является одной из ключевых проблем современной биофизики. Разнообразные типы подвижности присущи живым объектам на всех уровнях организации: от отдельных клеточных органелл до высокоорганизованной подвижности организмов в целом.

Целью данной статьи является изложение результатов исследований, проведенных по одному из актуальнейших направлений мировых научных исследований – создание искусственной мышцы. Как будет показано, данные исследования проходят в таких областях знаний, как биохимия, биофизика, электромиография, химия полимеров, нанотехнологии и др. Сложность проведенного анализа состоит в том, что отсутствует нормативная база научного направления, не проводилось достаточно точной классификации направлений и методов проведенных и проводимых исследований. Решение этих вопросов отстает от стремительного продвижения и расширения исследований.

Одна из актуальных задач современной биологии – познание физико-химических основ биологической подвижности. Биологическое движение происходит за счет прямого превращения энергии химических связей в механическую работу.

Во всех системах подвижности – простейших и сложных – удается обнаружить так называемые контракильные белки, т. е. сокращающиеся белки разных типов. В различной форме и на различных уровнях организации белковые макромолекулы перемещаются в пространстве относительно друг друга. Процесс подвижности осуществляется за счет энергии, освобождаемой при расщеплении аденозинтрифосфорной кислоты. В общем виде биологическая подвижность определяется сочетанием трех факторов [1]: 1) физическими и химическими свойствами макромолекул сократительных белков и надмолекулярных ансамблей, 2) кинематическими механизмами макромолекул и их комплексов, т. е. исполнительных «устройств» подвижности, 3) энергетическим обеспечением подвижности – циклом превращения энергии химических связей и ее использования исполнительными механизмами.

Практически весь субстрат мышц является ферментом аденозинтрифосфата (АТФ). В процессе расщепления АТФ меняются механические свойства субстрата, что позволило охарактеризовать всю систему как механо-химический двигатель. Общность свойств молекулярно-механических систем была показана в дальнейшем на разных объектах. Теперь известно, что основной субстрат мышц, включает два белка – миозин и актин [2].

Актуальность моделирования сократительной активности мышечной ткани обусловлена попытками создания искусственных мышц на основе активных и адаптивных материалов с использованием различных физических принципов генерации усилий, включая магнито- и электрострикцию, влагопоглощение полимерными гелями, эффект «памяти формы» на основе фазовых переходов и т.п. [3].

На рис. 1 представлена феноменологическая модель мышцы с «параллельным» сократительным элементом.

Модель (рис. 1), состоящая из сократительного (P_0), инерционного (k) и упругого (c_0) элементов, описывает сократительную активность мышцы. Сократительный элемент моделирует взаимодействие актиновых и миозиновых нитей саркомера мышцы посредством поперечных актомиозиновых мостиков. Механическое поведение сократительного элемента описывалось уравнением Хилла.

$$\dot{u}_s = -b \frac{P_0 - P_s}{P_s + a}, \quad (1)$$

где P_0 – максимальная сила, развиваемая мышцей при изометрическом возбуждении; a , b – экспериментально определяемые параметры; u_s – удлинение сократительного элемента; P_s – растягивающая сила, действующая на сократительный элемент. Точка над символом означает производную по времени от соответствующей величины.

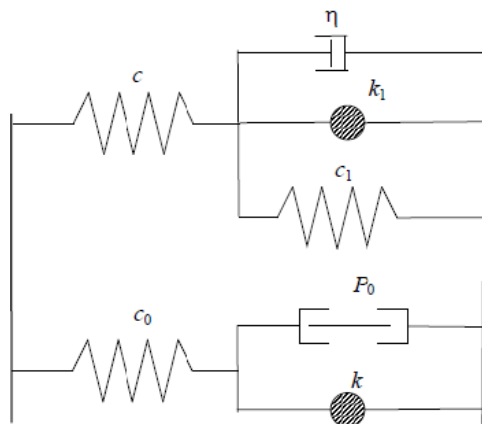


Рис. 1. Феноменологическая модель мышцы с «параллельным» сократительным элементом

Соотношение (1) описывает лишь фазу стационарного сокращения мышцы, когда скорость сокращения, количество тянущих l и тормозящих m поперечных мостиков не изменяются со временем.

Нужно иметь в виду, что мышцы в составе опорно-двигательного аппарата участвуют в пространственных перемещениях организма (локомоциях) и манипуляциях с пространственными объектами – т.е. в предметной деятельности. Это обстоятельство предъявляет дополнительные требования к искусственным мышцам – по параметрам усилия, размеров, массы, точности, управляемости. Таким образом, исследователь в процессе моделирования искусственной мышцы вынужден «держать прицел» на сферу применения – в составе человекоподобного устройства и в условиях, приближенных к стандартной жизнедеятельности человека, так как именно эта сфера применения задает ограничения на возможную реализацию системы. Стремление к точному копированию живых мускулов, с одной стороны, и полное абстрагирование от условий реального применения искусственных мускулов, с другой, – две крайние степени использования принципа антропоморфизма в исследовательской работе.

В живом организме клетки периодически обновляются, а вот в монолитном техническом устройстве подобное обеспечить крайне сложно. Рассмотрим направления современных исследований и те материалы, которые являются объектами исследований.

Первые исследования в области искусственных мышц были напрямую связаны с эффектом памяти формы, который присущ некоторым сплавам.

Память формы обнаружили у никель-титанового сплава, изделие из которого можно произвольно деформировать, но при нагреве оно восстанавливает свою первоначальную форму. На сегодняшний день известно уже более десятка сплавов с памятью формы на базе разных элементов. Однако семейство нитиноловых сплавов остается самым распространенным.

Также для создания искусственных мышц используются нейлоновые или полиэтиленовые волокна, которые при нагревании сокращаются. Витые волокна нейлона или полиэтилена имеют такие преимущества, как конечная стоимость, отсутствие гистерезиса и долговечность. Отсутствие гистерезиса, то есть особенности запоминания формы при деформации, обеспечивает дальнейшее точное управление сжатием.

Полиэтилен обладает меньшей сжимаемостью, зато ему характерны свойства большей сопротивляемости. Это преимущество позволяет поднимать огромные массы. К тому же, характеризуемый процесс вполне обратим: охлаждаясь, витые волокна снова обретают первоначальные размеры.

Создание искусственных мускулов из полимерных лент углерода, кислорода и фтора. При подаче электрического тока распределение зарядов на поверхности такой ленты меняется, и она изгибается. Простой манипулятор из четырех лент позволяет обхватить небольшой предмет и поднять его с земли.

Разработка искусственных мускулов – очень молодая область знаний. Технологии, которые предложены на данный момент, не позволяют обеспечить полное повторение движения мышцы на всех уровнях, поэтому требуют нового подхода к решению проблемы.

Всем известный пластик обладает необычным свойством: он может производить электричество при растяжении или сжатии. Эта способность до сих пор используется лишь в узких отраслях, однако теперь исследователи заставили волокна этого материала вырабатывать еще больше электроэнергии, что позволяет расширить область его применения: «зеленая энергетика», «искусственные мышцы» и др.

Доктор Вальтер Войт из университета Далласа (UT Dallas), штат Техас, и его коллеги уже не первый год работают с **поливинилиденфторидом (PVDF)**, и за это время достаточно хорошо его изучили. Ученые утверждают, что, подобрав условия, можно сделать из него пьезоэлектрик, что означает, что при растяжении материал будет генерировать электрический ток, или, наоборот, при подведении электричества к поверхности материала – менять форму. PVDF и другие материалы с аналогичными свойствами уже нашли применение в современной технологии, например в качестве датчиков давления в тачпадах и датчиков наклона в электронике, но если его пьезоэлектрические свойства значительно улучшатся, потенциал этого полимера вырастет в разы. В лаборатории найден способ включить фуллерены и одностенные углеродные нанотрубки в PVDF волокна (*изображены на рисунке*), что позволило удвоить пьезоэлектрические свойства. Данные добавки: фуллерены – крошечные сферы из атомов углерода, а также нанотрубки – были выбраны, поскольку они обладают интересными свойствами, и уже достаточно хорошо изучены учеными в различных направлениях. Углеродные наноструктуры выравнивают и повышают общую силу электрического поля. Таким образом, по словам Войта, PVDF-углеродные гибриды являются лучшими пьезоэлектрическими композитами из описанных в настоящее время в научной литературе

По словам Войта, чтобы включить эти нитеподобные структуры в класс «искусственных мышц» – общее название для материалов, способных сжиматься или разжиматься под действием электрического тока или температуры – нужно сделать их более мощными. Одним из способов добиться этого стала разработка **Рея Бомана** из университета Далласа, который взял пучок нейлоновых волокон толщиной в десять человеческих волос и скрутил их в длинную плотную спираль наподобие старого телефонного шнура, только в миниатюрных масштабах. Такая структура может сжиматься почти на 50 процентов при нагревании и поднимать около 16 фунтов (более 7 кг). Эффект похож на скручивание ленты: если растягивать ее, когда она скручена в виде спирали, то спираль выдерживает гораздо большие нагрузки в отличие от прямой. Доктор Войт надеется создать подобный эффект для своих PVDF-углеродных волокон, которые значительно превосходят нейлон по пьезоэлектрическому эффекту, и будут иметь лучший отклик на электрический ток. В конечном счете данные разработки могут быть использованы для создания синтетических мышц, которые могли бы сделать протезы более подвижными.

Вместе с развитием технологий получения искусственных мышц из полимерных композиций, многообещающие результаты показывает и альтернативная технология – выращивание искусственных мышц. И на переднем крае этого направления находится команда разработчиков из Университета Дюка (США). Еще в прошлом году им удалось вырастить в своей лаборатории мышечные ткани, которые обладают такой же гибкостью, эластичностью и силой, как и мышечные ткани естественного происхождения. Более того, эти искусственные мышцы, имплантированные в организмы подопытных животных, имеют способность к самостоятельной регенерации в случае их повреждения. Исследователям удалось научиться управлять сокращениями мышцы с помощью электрических импульсов. Таким образом,

открываются возможности создания бионических протезов, причем эти протезы могут быть не только для восстановления конечностей, но и, еще важнее, для восстановления сердца.

Ещё одним примером является создание в Университете Иллинойса миниатюрного биоробота, который состоит из мышцы и каркаса и умеет ходить с заданной скоростью по команде микропроцессора. Мышца выращена из сердечных клеток крысы. А чтобы эти клетки сокращались по команде, к ним внедрили миобласты скелетной мышцы. При подаче импульсов из генератора, встроенного в каркас, мышца сокращается и за счет асимметричности конструкции каркаса, биоробот передвигается.

В ходе проведенных поисковых исследований выяснилось, что подобные исследования успешно проводились в СССР в 70-80-х годах. Они и предопределили последующее развитие нейроинформатики и нейросетевых технологий. Научные работы по исследованию механизмов мышечной подвижности проводились и в ЛИАП-е на кафедрах конструирования и технологии и электронной медицины..

Итогом проведенного анализа направлений и результатов исследований является следующее:

- все исследования по прикладной цели можно разделить на медицинские (протезирование) и робототехнические (создание гибкого привода);

- сформировались два основных направления получения мышечной ткани, соответствующей свойствам и характеристикам ткани мышц человека, это получение искусственного композиционного материала и «выращивание» тканевого материала.

Достоинства и преимущества каждого из направлений пока рано оценивать, но с позиции технологической реализации очевидна большая перспектива в направлении исследований искусственных материалов, по сравнению с «технологиями выращивания».

Библиографический список

1. *Рубин А.Б.* Биофизика: в 3-х томах. Т.2. Биофизика клеточных процессов. Биофизика мембранных процессов. М. ИКИ 2013. – 384 с.
2. *Джаксон М.* Молекулярная и клеточная биофизика. М.: Мир., 2017. – 552 с.
3. *Селицкая Е.А.* Моделирование мышечного сокращения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 10, 2009. Вып. 4. С. 218 – 223.

УДК

П.М. Черноусова

студентка кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

В.П. Ларин

д-р техн. наук, профессор – научный руководитель

НАДЕЖНОСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПАЙКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ ПРИБОРОВ

Целью данной работы является выполнение обзорно-аналитического исследования по проблеме надежного проектирования технологической системы пайки электронных узлов приборов.

В настоящее время при изготовлении, ремонте и эксплуатации аппаратуры в основном применяется объемный монтаж. Надежность аппаратуры с объемным монтажом в значительной степени зависит от надежности паяных электрических соединений при выполнении процессов поверхностного монтажа компонентов на печатные платы (ПП).

Надежность паяных соединений (ПС) выводов/контактов компонентов на поверхность контактных площадок печатных плат (ПП) является одной из основных составляющих надежности электронного модуля (ЭМ). Надежность ПС зависит от множества факторов, которые должны учитываться при проектировании модуля, начиная с выбора компонентов и материалов при проектировании топологии ПП, и реализуется качеством исполнения ПС в процессе монтажа модуля.

Надежность ПС обеспечивается соблюдением комплекса требований, норм, правил и процедур при проектировании и изготовлении модулей, сформулированных в IPC-D-279, «Руководство по проектированию надежных сборок на печатных платах с использованием технологии поверхностного монтажа», а также в ряде стандартов IPC (рис. 1), следующих трех основных принципов:

- технологичности;
- контролепригодности;
- надежности.

При выборе типа компонента, кроме его функциональных возможностей и способности работать в требуемых условиях эксплуатации, немаловажное значение имеет тип корпуса, форма его выводов и материал финишного покрытия выводов, что предопределяет контролепригодность, качество и металлургию ПС, а значит и его надежность. Конструкция паяного узла должна обеспечивать хорошее затекание припоя в зазор между выводами спаиваемых элементов, неподвижность выводов в процессе пайки и уменьшение влияния внешних механических нагрузок на соединения в процессе эксплуатации аппаратуры. Величина зазора зависит от металла спаиваемых проводов, флюса, припоя. Неподвижность выводов достигается их загибанием перед пайкой, а уменьшение влияния внешних механических нагрузок в условиях эксплуатации (вибрации и ударов) – дополнительным креплением.

Применение импортных компонентов уже на этапе их выбора позволяет оценить ожидаемую надежность ПС. Сведения по надежности ПС, приводимые в технических данных фирм-изготовителей компонентов, полезны для сопоставительного сравнения и прогнозирования в первом приближении эксплуатационной надежности ПС. Стандартом регламентированы требования и методы ускоренных испытаний для оценки надежности ПС при эксплуатации. Этот стандарт устанавливает требования по режимам термоциклирования в зависимости от условий эксплуатации аппаратуры и продолжительность испытаний по количеству термоциклов. Из пяти режимов ускоренных испытаний на термоциклирование, установленных стандартом, интерес представляет следующий: диапазон температур от 0 до 100°С, два цикла в час, количество циклов до 6000. Выбор указанного диапазона температур обусловлен температурным режимом эксплуатации ЭМ АСУ ТП: от 10 до 40°С.

Режим процесса пайки (степень и продолжительность нагрева) выбирается с учетом свойств флюса, основных металлов и припоя. Также необходимо учитывать отрицательное влияние повышенного температурного режима пайки на надежность полупроводниковых приборов.

Надежность паяных соединений во многом определяется чистой поверхностью и оптимальным зазором между спаиваемыми металлами, гарантирующим проникновение в них жидкого припоя, равномерным нагревом выводов элементов на 30–50°C выше температуры полного расплавления припоя. Необходимо отметить, что в пайках объемного монтажа часто встречаются ложные пайки, когда припой, полностью покрывая место спая и имея блестящую поверхность, не обеспечивает хорошего электрического соединения. Основная причина возникновения таких дефектов заключается в неудовлетворительной подготовке мест пайки.

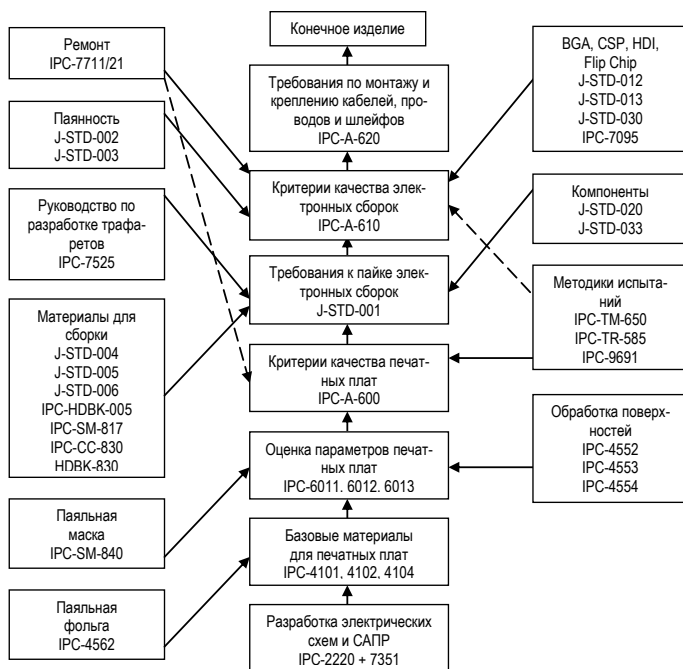


Рис. 1. Комплект стандартов IPC

При оценке надежности паяных электрических соединений необходимо учитывать возможные причины возникновения отказов, среди которых различают отказы, обнаруженные сразу же после окончания монтажа, и отказы, происшедшие спустя несколько недель, месяцев после пуска аппаратуры в эксплуатацию.

Причинами первых отказов в большинстве случаев являются дефекты материалов или метода пайки, причинами вторых – неправильная конструкция паяного узла и преждевременное ухудшение физико-химических свойств припоя, вызванное неудовлетворительным выбором режима пайки.

Контроль качества паяных соединений должен быть неотъемлемой частью технологического процесса. Обеспечение высокого качества ПС возможно только при решении целевых задач надежного проектирования технологической системы (ТС) сборки и монтажа электронных модулей.

Рассмотрим методику формирования требований на проектирование ТС сборки и монтажа и синтеза системы с использованием публикаций [1, 2].

Множество факторов, определяющих качество ПС, представлено на рис. 2.

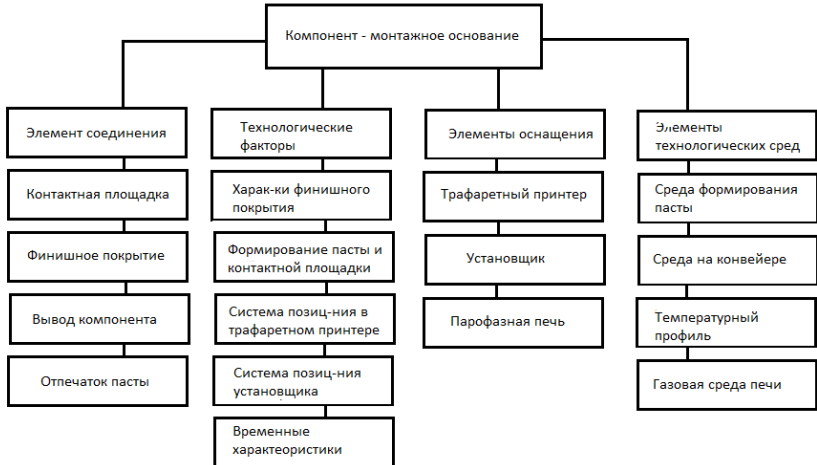


Рис. 2. Система факторов в соответствии с определяющими функциями

Сформулируем постановку задачи на проектирование ТС, обеспечивающей бездефектность производства модулей.

Пусть имеется $d_j \in D$ – множество изделий – объектов данного производства (запущенных и планируемых к запуску); $v_\alpha \in V$ - множество технологических операций в ТС, где $\alpha = 1, \dots, \gamma$ - число разновидностей операций; $q_i \in Q$ - множество единиц оборудования, где $i = 1, \dots, \tau$ - число разновидностей специализаций оборудования.

Требуется выполнить синтез ТС, реализующей все множество V технологических операций для обеспечения изготовления всей номенклатуры D изделий на выбранном множестве оборудования Q при соблюдении условия $k(q_i) \rightarrow \max\{K_{эфф}, K_{БД}\}$, где $K_{эфф}$ – показатель эффективности системы, $K_{БД}$ – показатель бездефектности.

Технологические решения принимаются с использованием матриц: «объекты – операции» $\{D'_n\} \times \{v_\gamma\}$, «объекты – оборудование» $\{D'_n\} \times \{q_i\}$, «операции – оборудование» $\{v_\gamma\} \times \{q_i\}$.

В результате требуется определить совокупность технических средств (варианта технической реализации ТС), удовлетворяющих выполнению выбранных функций с максимальным значением показателя эффективности (критерия качества функционирования).

Комплексный показатель качества функционирования, ориентированный в основном на выходное качество изделий, изготовленных в ТС монтажа (технично-экономическая оценка), можно выразить следующим образом:

$$X_n = \Psi\{Q_{X_n}(t), \Pi_{X_n}(t), C_{X_n}(t), H_3(t)\}$$

где X_n – показатель выходного качества изделий; $Q_{X_n}(t)$ - средний уровень качества изделий за период t (стабильность качественного показателя), $\Pi_{X_n}(t)$ – показатель производительности выпуска качественных изделий, $C_{X_n}(t)$ – среднее значение технологической себестоимости, $H_3(t)$ – потери от дефектности, незавершенное производство и др.

Выводы:

- надежность электронных модулей в значительной степени зависит от надежности паяных соединений;

- надежность паяных соединений определяется в основном факторами качества ТС сборки и монтажа;
- сформулирована постановка задачи синтеза ТС сборки и монтажа;
- приведен комплексный показатель качества функционирования ТС, определяющий в конечном итоге уровень бездефектности производства.

Библиографический список

1. *Ларин В.П., Шелест Д.К.* Комбинированный метод проектирования технологических систем приемочного контроля сложных изделий // Датчики и системы. 2016. № 1. С. 21-27.
2. *Ларин В.П.* Функционально-структурный синтез технологических систем // Международное научное периодическое издание «Новая наука: от идеи к результату» по итогам международной научно-практической конференции (Ижевск, 04.08.2016 г.). – Ижевск: АМИ, 2016. С. 192-197.

УДК 615.47

Н. А. Швыров

магистрант кафедры конструирования и технологии электронных и лазерных средств

В. В. Винников

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЖИВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Электроды можно разделить на две основные категории: поверхностные электроды (SEs) и имплантируемые электроды (IEs) (табл. 1). Поверхностные электроды (SEs) – неинвазивные, предназначены для наложения на участки поверхности тела человека и на открытые поверхности органов. Имплантируемые электроды (IEs) – инвазивный тип электродов, которые обеспечивают более локализованные измерения. Имплантируемые в свою очередь подразделяются на: мышечные электроды (MBEs) (эпимизиальные и внутримышечные) и нервные электроды (MBEs) (эпинеуральные и интранервальные). Все различные имплантируемые электроды и представленные классификации могут быть разделены на четыре категории с учетом цели и места использования. Целью использования электродов является работа в нерве или мышце, а расположение связано с инвазивностью.

Таблица 1

Имплантируемые электроды (IES) для управления протезами		
	Экстра	Интра
Мышцы	Эпимизиальные	Внутримышечные (Спиральный, Имплантируемые миоэлектрические датчики (IMES))
Нервы	Эпинеуральные (Манжетный, плоский невральный электрод (FINE))	Интранервальные (Планарные массивы микроигл (MEAs), Восстановительный)

Проведем анализ электродов с позиций конструктивно-технологического исполнения и проблем использования.

Эпимизиальные (экстра-мышечные) электроды пришиты к эпимизию, что приводит к меньшему повреждению мышечных волокон, чем от внутримышечных электродов, и, поскольку они подвержены меньшему механическому напряжению, их продолжительность жизни больше. После инкапсуляции (образование капсулы вокруг чуждых для организма веществ) эпимизиальный электрод входит в фасцию и не перемещается вместе с мышцей. Также было замечено, что электрод свободно находится в кармане капсулы, что, предположительно, уменьшает некоторые механические напряжения [3]. Общим типом внутримышечного электрода является спиральный провод, который может быть расположен черескось или полностью имплантирован. Спираль допускает определенное движение, которое необходимо во время мышечных сокращений. Один спиральный провод можно использовать в монополярной или в биполярной конфигурации. Более сложные устройства в этой категории включают имплантируемые миоэлектрические датчики (IMES). Эта технология является концептуально более интересным решением для долгосрочной реализации. Эти устройства могут быть имплантированы подкожно без необходимости хирургического вмешательства, и они питаются, управляются и адресуются с помощью телеметрии от внешней катушки. В случае ампутантов катушка помещается в гнездо протезного устройства, и данные для считывания можно извлечь, используя обратную телеметрию. IMES – это небольшие беспроводные внутримышечные устройства (16,7мм×2,4мм) с биполярными электродами, которые могут передавать необработанные или интегрированные миоэлектрические сигналы (MES) [4].

К нервным электродам относятся манжетные, плоские, массивы микроигл и восстановительные электроды. Манжетные электроды уменьшают проблемы механического напряжения и смещения, которые являются общими для мышечных электродов. Это уменьшает вероятность отказа электрода. Тем не менее, в случае сбоя, их можно извлечь и заменить, причинив меньший ущерб, чем при использовании других инвазивных конструкций электродов. Мышечная длина и конечное положение не влияют на показания и стимуляцию при использовании манжетных электродов. Было показано, что нервная ткань инкапсулирует электроды и действует как стабилизатор, предотвращая смещение манжеты при движениях конечностей [5]. Электроды-манжеты обычно имеют окружные и дискретные контакты. Основной функциональной проблемой касающейся манжетных электродов является ограниченный доступ к информации из центральных нервных пучков. Плоский электрод для соединения с нервом (FINE) решает эту проблему, слегка расплющивая нерв, тем самым уменьшая расстояние до аксона. Идея этой конструкции заключается в естественной перестройке нерва, чтобы получить доступ к большинству пучков без ущерба для барьера кровь-нерв. [3] Планарные массивы микроигл (MEAs) представляют собой массив из микроигл, зафиксированных на пластине. Острие каждой микро-иглы является электродом и, как правило, выполняется из оксида иридия или платиноиридиевого сплава. Вся остальная конструкция выполнена из изолирующего биосовместимого материала. Площадь пластины составляет несколько мм². Контактные площадки располагаются на задней поверхности пластины. Электроды подобного типа являются наиболее подходящими для записи сигналов с большого числа изолированных нервных волокон. Сетчатый (восстановительный) электрод представляет собой тонкую пластину (подложку), линейные размеры которой составляют 1–2 мм, из гибкого, легкого и биосовместимого материала с множеством отверстий, внутри которых располагаются электроды. Пластина фиксируется на срезе нерва, через отверстия прорастают (регенерируют) пучки аксонов, таким образом, создается электрический контакт нервных клеток с электродом. Количество отверстий может составлять несколько десятков или сотен. Подобные электроды применяются для имплантации в периферические нервы. Электроды могут быть выполнены в виде металлического кольца, расположенного внутри отверстия, или в виде металлизации вокруг отверстия (в этом случае надежность электрического контакта несколько ниже) [4].

В табл. 2 представлено сравнение поверхностных и имплантируемых электродов, также проведем сравнение мышечных и нервных электродов. В случае ампутации большинство мышц, необходимых для движений, удаляются. Однако аксоны, которые использовались для иннервации этих мышц, остаются. Их нейронной активности, связанной с движением конечностей будет достаточно для контроля простых движений в роботизированном протезе.

Таблица 2

Сравнение поверхностных и имплантируемых электродов

	Поверхностные электроды	Имплантируемые электроды
Установка	Необходима подготовка кожи пациента	Установка в клинических условиях
Стабильность	Высокая экологическая зависимость (то есть потная или сухая кожа)	Долгосрочный стабильный импеданс после инкапсуляции тканей
Съем сигнала	Невозможно записать информацию со всех мышц в культе из-за суперпозиции мышц	Возможны записи с отдельных моторных единиц, а также прямые записи с нервов
Информация	Обеспечивает более общую пространственную характеристику распределения потенциала	Больше мест для контроля, уменьшает перекрестные помехи и обеспечивает доступ к информации из нервов
Длительность использования	Проблемы с кожей и стабилизацией препятствуют длительному размещению	Различные мышечные и нервные электроды имплантируются людям на длительные сроки

Теоретически нервные электроды лучше из-за большого количества информации, которую они могли бы получить. Сигналы к нескольким мышцам могут быть получены из одного нерва и поэтому для получения той же информации, что и с одного нервного электрода с несколькими контактами, по-

требуется несколько мышечных. Примечательно, что последнее утверждение не будет верным, если электроды были помещены в отдельные пучки.

Кроме того, было обнаружено, что нейроэлектрические сигналы (NES) проявляют большую регулярность формы, чем мышечные. Это облегчает распознавание образов и тем самым повышает стабильность системы управления. Поскольку мышечные электроды имеют порядок mV , а а нервные – порядка μV , с первых легче проводить запись.. С другой стороны, пик биосигналов в разных спектрах (МЭ 200 Гц, НЭ 2000 Гц), дает возможность фильтрации [5]. Вариации позиций мышечных электродов в отношении мышц приводят к зависящему от позиции сигналу, что не является проблемой для нервных электродов. Кроме того, нервные электроды устраняют проблемы механического напряжения, становясь стабильнее с течением времени и давая электроду и проводам больший срок службы [5]. Наконец, нервные электроды по своей природе более подходят для обеспечения обратной связи.

Анализируя мышечные и нервные электроды, можно сказать, что все они могут эффективно применяться. Однако для широкого практического применения этих электродов необходимо решить проблему обеспечения безопасной и долговременной (несколько десятков лет) интеграции в ткани человека.

Библиографический список

1. Имплантируемые электрические и механические интерфейсы с нервами и мышцами / пер. с англ. Хоффер Д.А., Лойд Г.Е. 1980. 361 с.
2. Эффективность эпимизиальных электродов в нижних конечностях / пер. с англ. Джон А., Дэвис Дж., Биери С. 2004. 520 с.
3. Электрод спиральной нервной манжеты для стимуляции периферических нервов. Пер. с англ. Неаполь Г.Г. Мортимер Дж. Т. Суини Д.Д., Сделки по биомедицинскому обслуживанию. №35. 1988. 905 с.
4. Сафин Д.Р., Пильщиков И. С., Ураксеев М. А. Применение имплантируемых микроэлектродов в системах управления протезами/ Д. Р. Сафин, Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета №2. 2010. С. 104-109.
5. Жизнеспособность имплантируемых электродов для естественного контроля протезов / пер. с англ. Макс Ортис-Каталан, Рикард Бранемарк, Бо Хаканссон, 2012. 211 с.

УДК 621.396.75

С.И. Ян

магистрант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств

О.Л. Смирнов

канд. техн. наук, доцент – научный руководитель

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МАКЕТА МАР НА ОСНОВЕ ЛИНЗЫ РОТМАНА

Одним из методов повышения вероятности обнаружения источников излучения и снижения погрешности пеленгования является использование многолучевых антенных решеток в комплексах радиомониторинга [1, 2].

Перспективностью работ в области создания многолучевых антенных решеток (рис. 1) обусловлена необходимостью повышения потенциала комплексов радиотехнической разведки для обнаружения локаторов LPI и особенностями размещения комплексов на носителях.

По результатам моделирования был изготовлен макет многолучевой антенной решетки диапазона 8,0 – 18,0 ГГц, на диаграммо-образующем устройстве типа линзы Ротмана.

Для антенной решетки диапазона 8,0 – 18,0 ГГц были изготовлены решетки горизонтальной (рис. 1, а) и вертикальной поляризации (рис. 1, б). На рис. 1, б кроме антенной решетки показаны маломощные усилители, фазосдвигающие переходы и ДОУ.

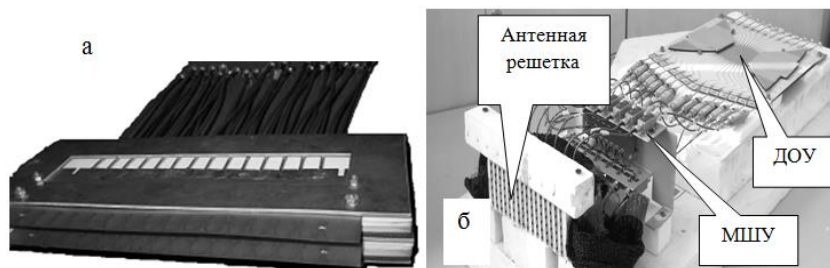


Рис. 1. Макет многолучевых антенных решеток диапазона 8,0 – 18,0 ГГц:

а – горизонтальной поляризации; б – вертикальной поляризации

Для снижения уровня стоячих волн в диаграммо-образующем устройстве были использованы накладки из радиопоглощающего материала типа «Лист-50», расположенные на линиях, соединяющих линзу с дополнительными выходами, нагруженными на резисторы. Эти накладки видны на рис. 1, б.

ДОУ возбуждается кабелями, распаянными непосредственно на печатную плату, что позволяет упростить процесс изготовления макета.

Для данной решетки плоскостью сканирования является Н-плоскость.

Каждый излучатель антенной решетки представляют собой синфазную решетку из четырех антенн Вивальди, что позволило сузить диаграммы направленности лучей в угломестной плоскости. Сужение ДН в угломестной плоскости было сделано с целью увеличения коэффициента направленного действия МАР [1, 2].

При измерении характеристик излучателей в составе МАР было обнаружено, что соседние элементы решетки заметно влияют друг на друга, что приводит к искажению формы диаграмм отдельных излучателей и изменению их ориентации в азимутальной плоскости с частотой. С целью снижения этого влияния, между элементами решетки были расположены поглощающие пластины, изготовленные из материала «Лист-50». На рис. 2 показан излучатель с наклеенной поглощающей пластиной.

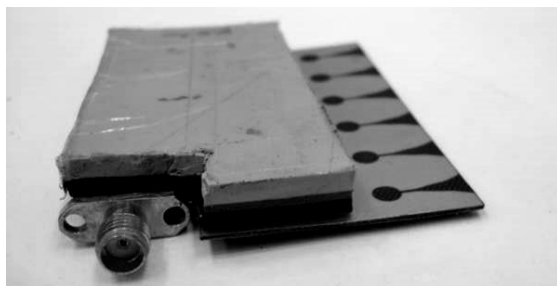


Рис. 2. Излучатель антенной решетки вертикальной поляризации диапазона 8,0 – 18,0 ГГц с поглощающей пластиной

После доработки излучателей получены следующие характеристики: ширина диаграмм направленности отдельных излучателей в составе решетки в рабочем диапазоне частот (8,0–18,0 ГГц) в Е-плоскости изменяется от 18° до 36° , ширина диаграммы направленности излучателей в Н – плоскости решетки, кроме крайних, мало зависит от частоты и составляет около 90° , для крайних излучателей ширина ДН изменяется от 130° в нижней части диапазона до 70° – в верхней. Зависимость ДН крайних излучателей от частоты не оказывает существенного влияния на характеристики решетки, поскольку при возбуждении антенной решетки используется спадающее амплитудное распределение на апертуре МАР, в макете оно было создано с помощью аттенуаторов.

На рис. 3, 4 приведены центральные азимутальные сечения (угол места 0°) нормированных диаграмм направленности МАР на нескольких частотах рабочего диапазона (лучи пронумерованы слева направо).

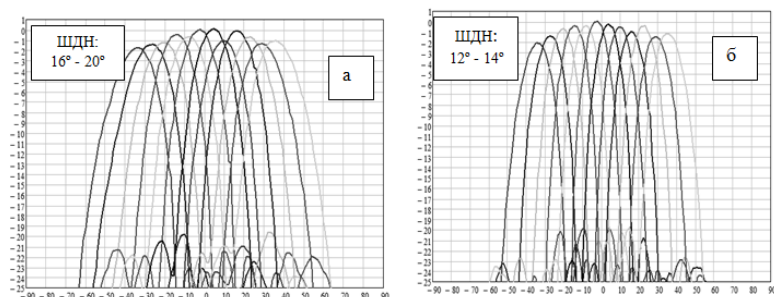


Рис. 3. ДН 12-лучевой антенной решетки: а – 8,0 ГГц, б – 11 ГГц

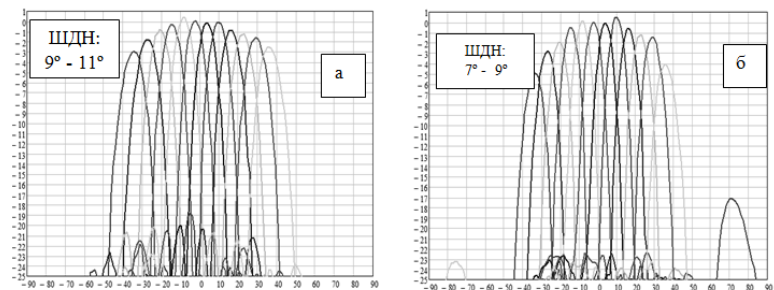


Рис. 4. ДН 12-лучевой антенной решетки: а – 15,0 ГГц, б – 18,0 ГГц

Из приведенных диаграмм направленности видно:

- сектор обзора решетки по максимумам крайних лучей составляет около 70° ;
- направления максимумов лучей не зависят от частоты;
- коэффициент усиления периферийных лучей ниже, чем у центральных, причем, разница увеличивается с ростом частоты;
- уровень боковых лепестков ниже минус 19 дБ, что удовлетворяет требованиям ТЗ;
- центральные лучи уже периферийных;
- уровни пересечения соседних лучей понижаются с ростом частоты;
- дифракционный лепесток появляется только вблизи верхнего края диапазона.

Таким образом, на основе смоделированной, с помощью программ, линзе Ротмана было разработано диаграммо-образующее устройство, входящее в макет многолучевой антенной решетки. Характеристики исследованного образца соответствуют предъявленным требованиям, что показало применимость использованных методов расчета при разработке многолучевых антенных решеток и диаграммо-образующих устройств.

Библиографический список

1. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток / под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радио и Связь, 1994. – 592 с.
2. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. М.: Высшая школа, 1988. – 434 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Аэрокосмические приборы и системы

Башкина А. В. ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПЕРЕВОЗЧИКА	3
Бекасова А. Г. АППАРАТНЫЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ	7
Белкина Е. А. МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	10
Бируля А. В. УПРАВЛЕНИЕ ОБУЧЕНИЕМ ПИЛОТОВ НА ОСНОВЕ АВТОМАТНОГО ПОДХОДА	14
Бландинова А. В. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОТКАЗЕ ОДНОГО ИЗ КАНАЛОВ АЗИМУТАЛЬНО-ДАЛЬНОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ	17
Борисов П. О. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА МАНЕВРИРОВАНИЯ КВАДРОКОПТЕРА.....	21
Виноградов В. В., Федоров И. Р., Шакуров Д. М., Иванова Е. Р. АНАЛИЗ ВЫПОЛНИМОСТИ ЗАДАЧ В СОВМЕСТНЫХ МНОГОЯДЕРНЫХ АЛГОРИТМАХ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	25
Волков В. А. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ СЕТЕВЫХ ТОПОЛОГИЙ С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА VIPE	33
Глазунова М. А. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ	37
Горкалов С. С. АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МЕХАНИЗМЕ СКАНИРОВАНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ	39
Дикан А. Ю., Ключков М.В. КОМПЛЕКСНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА В СИСТЕМАХ ДЕМПФИРОВАНИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ	43
Дубанов А. Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОТДЕЛЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛАДОНИ ОТ ФОНА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЦВЕТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ	46
Дуркин Р. П. ОРГАНИЗАЦИЯ БЕСПРОВОДНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	49
Дьяков М. А., Шведов А. В. ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА.....	51
Дьяков М.А. ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОЛЕТА ПРИ ПОЛЕТЕ НАД ЗОНОЙ ЗАДЫМЛЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА.....	54
Евдокимов А. С. ОБЗОР АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ МАРШРУТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ПУТЕЙ В СЕТИ SPACEWIRE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ PLUG-AND-PLAY	59
Зеленцова Д. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ УСТАНОВОК НЕРАЗРУЩАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.....	63
Иванова С. А. РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ	68
Ильина Е. Г., Ле Т. БЕСПИЛОТНЫЕ МУЛЬТИКОПТЕРЫ	72
Ильина Е. Г. ДАТЧИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ.....	76

Казаков М. С. СЕЛЕКТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В КОМПЛЕКСНОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ.....	80
Кирдянкин С. С. ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СПУТНИКА НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ.....	84
Конonenко А. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ УПРУГОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	87
Красавин А. М. АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЦИИ БОЛЬШИХ ПРОСТЫХ ЧИСЕЛ ДЛЯ РОССИЙСКОГО СТАНДАРТА ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ	92
Крохалева М. А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФИНИТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	97
Кузьмин А. С. ОБЗОР МЕТОДОВ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ В СЕТЯХ LTE	100
Лебедев И. В. ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАЛЬНЫХ ПОКАЗАНИЙ ДАТЧИКОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИК	104
Легкий А. А. ИНТЕЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ	107
Локотко А. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ФИНИТНОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В КОМПЛЕКСНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ.....	109
Мазиков М. С. ОЦЕНИВАНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ РАЗВОРОТА САМОЛЁТА НА ТРЕНАЖЁРЕ..	112
Макареевский В. С. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ СДВИГА ВЕТРА	115
Макаренко М. С. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЕМКОСТНОГО РАСХОДОМЕРА.....	117
Мионов С. С., Коробков И. Л. ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ	120
Мухина Е. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ	124
Немчинов Н. А., Марченков Н.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ КОДА ГОЛЕЯ, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА БАЗЕ FPGA	128
Носков И. К. СХЕМЫ ОТСЛЕЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ АФФИННЫХ ПРОСТРАНСТВ.....	133
Петров А. С. НАВИГАЦИОННАЯ ДАЛЬНОМЕРНАЯ СИСТЕМА	136
Петрушенко М. И. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ МЭМС ГИРОСКОПА LL – ТИПА..	139
Пляскина А. А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ И ЭФФЕКТИВНОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШИХ В СТАЦИОНАРНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ	141
Рузавин А. В. КОМПЕНСАЦИЯ ДЕФОКУСА ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАНИЙ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА	143
Саевенкова Е. В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗЛУЧЕНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРАХ	147
Саксин Д. М. ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ БОРТОВОЙ FLASH-ПАМЯТИ.....	151
Саласский Д. Р. АЭРОФОТОСЪЕМКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....	154
Сатуленков А. С. МЕТОДЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ЦИФРОВЫХ ИНДИКАТОРАХ	156
Сильченкова Л. А. СРАВНЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ МЕТОДИК НЕРАЗРУШАЮЩЕГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ.....	159

Смиренников А. А. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ (IN-MEMORY DATA GRID).....	162
Старченко Д. А. МЕТОД СЕГМЕНТАЦИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИНДЕКСОВ	166
Степанов В. Е. МНОГОПОЛОСНЫЕ ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ БОРТОВЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	172
Тарасов Г. А. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ УГЛОВ.....	177
Фалеева М. С. ИСТОРИЯ И ПУТИ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ.....	181
Чеусова Е. С. ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ АДАПТИВНОЙ ФИНИТНО-ВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	184
Шарихин В. П. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ.....	187
Шведов А. В., Килиминский Д. В. ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА АВИАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	192
Ширяев С. А. РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛИ МАЛОГАБАРИТНОГО СПАСАЕМОГО ЗАЩИЩЕННОГО БОРТОВОГО НАКОПИТЕЛЯ.....	197
Шкаликов И. А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО МАГНИТНОГО КОМПАСА.....	200

Радиотехника, электроника и связь

Бабинцева А. М. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ МАТЕРИАЛА ПРОХОДНОЙ ОПТИКИ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ В ДИАПАЗОНЕ 2-8 МКМ.....	202
Белолипецкая П. В. УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.....	205
Беляева Н. А. КРИТЕРИИ ВЫБОРА КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	210
Богданов Е. В. АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО УЗЛА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ.....	214
Бубнов В. И. ВЫБОР ДАТЧИКА ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА.....	219
Гусев Д. В. ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	222
Дорофеева Е. М. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ПАЙКА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ.....	226
Духовской Н. К. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ В БЕСПРОВОДНЫХ ВЕЛОКОМПЬЮТЕРАХ.....	230
Жданов Д. А. МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТЕПЛОТВОДЯЩЕГО РАДИАТОРА ДЛЯ ТРАНЗИСТОРА В КОРПУСЕ ТО-247.....	233
Зеленов И. С. РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФА СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.....	237
Канатова А. А. ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ШПУЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ.....	240
Касаткин А. В. МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК КАРДИОЦИКЛА В ЭКГ.....	244

Коробков Н. И. МАГНИТНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРРИТОВЫХ СЕРДЕЧНИКОВ.....	247
Корчигин Н. В. ВЛИЯНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ ПРИ КОРОТКИХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСАХ	249
Кривалова А. И. ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ	253
Кривых М. И. БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА.....	257
Логинова В. С. ЗАДАЧИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ КОНСТРУКТОРСКИХ РАЗРАБОТОК И НАПРАВЛЕНИЯ РЕШЕНИЙ.....	259
Марачковский М. М. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ MEMS-АКСЕЛЕРОМЕТРА.....	262
Нургалиев С. Р. СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ.....	264
Париевский И. А. ВОЗМОЖНОСТИ АКУСТООПТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭКГ СИГНАЛА СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ	267
Платонов Д. А. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ УСТРОЙСТВА НА ПАВ.....	269
Поликарпова А. Ю. АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ ВОЗГОРАНИЙ.....	273
Савченко К. В. ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ	276
Садовников И. В. МЕТОДЫ ТЕРМОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТАХ И МОДУЛЯХ.....	280
Солдатенкова В. В. АНАЛИЗ МЕТОДИК ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	283
Степанова С. А. СЪЕМ И ВТОРИЧНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИИ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГИСТОГРАММ.....	286
Стойкова В. Р. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ	290
Тарапа М. И. ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ.....	295
Турбанов А. Ю. ВЛИЯНИЕ ЭКРАНИРОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТУРНИКЕТНОЙ АНТЕННЫ ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 0,9-2 ГГц	300
Фабричного В. А. АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ МАТЕРИНСКИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ВЕЙВЛЕТ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛОВ.....	305
Хабаров Д. Л. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ MEMS-ГИРОСКОПА	307
Цигас А. А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДВИЖНОСТИ.....	311
Черноусова П. М. НАДЕЖНОСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПАЙКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ ПРИБОРОВ	315
Швыров Н. А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЖИВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОДОВ.....	319
Ян С. И. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ МАКЕТА MAP НА ОСНОВЕ ЛИНЗЫ РОТМАНА	322

Научное издание

СЕМИДЕСЯТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов
17–21 апреля 2017 г.

Ответственный за выпуск:
А. В. Бобович

Материалы публикуются в авторской редакции
Подготовка к печати *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 14.09.17. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 19,2. Уч.-изд. л. 20,2. Тираж 150 экз. Заказ № 375.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67