

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 62-5

А. А. Алексеев – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Я. Мамаев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧЕ АСТРОНАВИГАЦИИ

При полетах вне Земной атмосферы (гиперзвуковые ЛА, КА) эффективным методом определения местоположения является метод звездной ориентации (астронавигации). В условиях, когда является невозможное получение информации о местонахождении ЛА с помощью внешних факторов, может быть использована автономная астронавигационная система. Для КА астронавигация является важнейшим способом ориентации, и методы её осуществления и реализации являются важнейшими для точности определения местоположения КА, что может существенно сказываться на работе систем связи, телевещания и определения положения объектов на поверхности Земли.

Суть работы астронавигационной системы сводится к тому, чтобы получить изображение звездного неба, распознать видимые участки, найти навигационные звезды и вычислить координаты ЛА относительно них [1]. Из 6000 звезд, видимых невооруженным глазом, навигационными считаются 24. Это наиболее яркие звезды, примерно до 2-ой звездной величины. Вся информация об их характеристиках хранится в определенной базе данных (бортовом каталоге), по которой и происходит сравнение с видимой картиной неба. Схема функционирования прибора представлена на рис. 1. Свет от звезд, проходя через оптическую систему, проецируется на фоточувствительную

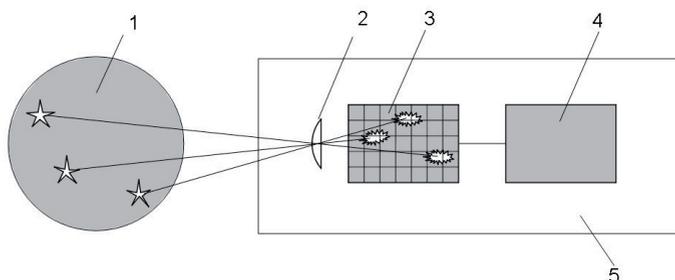


Рис. 1. Схема функционирования прибора звездной ориентации
(1 – участок звездного неба, 2 – оптическая система, 3 – фоточувствительная матрица,
4 – вычислительный блок, 5 – опто-электронный прибор)

матрицу. Данные с матрицы проходят аналого-цифровое преобразование и поступают для обработки в вычислительный блок прибора. Задача программной составляющей прибора состоит в анализе последовательности кадров звездного неба для выделения на фоне помех звезд и их поиске в бортовом каталоге. После нахождения звезд в бортовом каталоге система выдает положение КА в геоцентрической системе координат.

Существуют различные методы распознавания участков неба и алгоритмы поиска звезд в бортовом каталоге [2]. Одни из них относятся к геометрическим алгоритмам, суть которых заключается в том, что группы звезд характеризуются различными свойствами (площадь, периметр и т. д.) составленными из них сферических многоугольников. Поиск в каталоге групп звезд, зафиксированных в поле зрения прибора, осуществляется, согласно этим характеристикам. Суть графовых алгоритмов заключается в поиске изоморфного подграфа в графе, при наличии погрешности в весах ребер подграфа. Характерной особенностью графовых алгоритмов является то, что в бортовом каталоге хранятся все взаимные угловые расстояния рабочих звезд, попадающих одновременно в поле зрения прибора. В сеточных алгоритмах группа звезд опознается как дискретизированный образ на декартовой системе координат. Среди всех звезд выбирается опорная звезда (pivot star) и ближайшая к ней. Система координат плоскости анализа преобразуется таким образом, что опорная и ближайшая к ней звезды лежат на одной оси координат. В дальнейшем анализируются только звезды, находящиеся в пределах заданного радиуса от опорной звезды. Плоскость анализа делится на квадратные сегменты. Если на площадь сегмента попадает проекция светящейся точки, то соответствующее сегменту значение принимается равным 1, и 0 – в противном случае. Дальнейший анализ состоит в побитовом сравнении полученного образа с образами, хранящимися в базе данных.

Так как задача распознавания звездного неба является прямой задачей распознавания образа, то целесообразным является использование аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС – математические модели, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей, представляющие собой систему соединенных между собой искусственных нейронов. Для использования ИНС проходят так называемое обучение что, по сути, является нахождением коэффициентов связей между нейронами. Как правило, передаточные (активационные) функции всех нейронов в сети фиксированы, а веса являются параметрами сети и могут изменяться. Некоторые входы нейронов помечены как внешние входы сети, а некоторые выходы – как внешние выходы сети. Подавая любые числа на входы сети, мы получаем какой-то набор чисел на выходах сети. Таким образом, работа НС состоит в преобразовании входного вектора x в выходной вектор y , причем это преобразование задается весами сети [3]. Общий вид нейрона представлен на рис. 2.

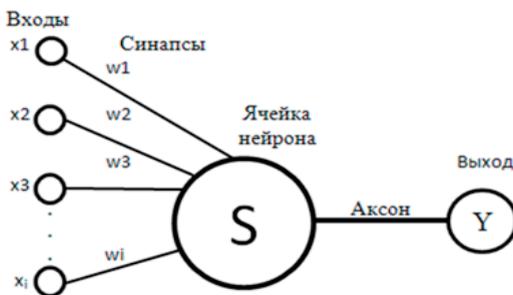


Рис. 2. Общий вид нейрона

В состав нейрона входят умножители (синапсы), сумматор и нелинейный преобразователь. Синапсы осуществляют связь между нейронами и умножают входной сигнал на число, характеризующее силу связи, – вес синапса. Сумматор выполняет сложение сигналов, поступающих по синаптическим связям от других нейронов, и внешних входных сигналов. Нелинейный преобразователь реализует нелинейную функцию одного аргумента – выхода сумматора. Эта функция называется функцией активации или передаточной функцией нейрона. Нейрон в целом реализует скалярную функцию векторного аргумента. Математическая модель нейрона описывается соотношениями:

Текущее состояние нейрона определяется, как взвешенная сумма его входов:

$$s = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (1)$$

Выход нейрона – есть функция его состояния:

$$y = f(s) \quad (2)$$

В общем случае входной сигнал, весовые коэффициенты могут принимать вещественные значения. Выход (y) определяется видом функции активации и может быть как действительным, так и целым. Во многих практических задачах входы, веса и смещения могут принимать лишь некоторые фиксированные значения. Синаптические связи с положительными весами называют возбуждающими, с отрицательными весами – тормозящими.

Таким образом, нейрон полностью описывается своими весами w_i и активационной функцией $f(s)$. Получив набор чисел (вектор) x , в качестве входов, нейрон выдает некоторое число y на выходе.

Аппарат ИНС прекрасно справляется с задачей распознавания образов и классификации, что является важным для поставленной задачи астронавигации. То есть, этот аппарат должен справляться с задачей распознавания звездных участков неба, определения созвездий и навигационных звезд.

На данном этапе работы проводится исследование параметров и выбор наилучших характеристик разрабатываемой нейронной сети, моделирование созвездий для обучения ИНС. В итоге будут исследованы результаты разработанного нейросетевого классификатора и сравнены с методами, используемыми в существующих астроориентаторах. Полученную модель системы распознавания звездных образов можно будет использовать в качестве демонстрационной модели принципов работы астронавигационных систем при обучении и применить в разрабатываемых обучающих системах по дисциплине «Воздушная навигация».

Библиографический список

1. Li Chunyan, Li Ke, ZHANG Longyun, JIN Shengzhen & ZU Jifeng. Star pattern recognition method based on neural network // Chinese Science Bulletin 2003 Vol. 48 No. 18. С. 1927–1930.
2. Кружилов И. С. Методы и программные средства повышения эффективности распознавания групп звезд в автономной астронавигации: Автореф. дис. к-та технических наук: 05.13.11/ Моск. энерг. ин-т (Техн. ун-т). М., 2010. 22 с.
3. Змитрович А. Н. Интеллектуальные информационные системы. Минск.: НТООО «Тетрасистемс», 1997. 368 с.

УДК 621.391

М. А. Баранов – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ БЕЗЫНЕРЦИОННЫХ ОЦЕНОК И КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ

В настоящее время в большинстве случаев при разработке алгоритмов оценки сигналов не учитываются надёжностные характеристики измерителей. В процессе появления отказов прерывается работа измерителей или ухудшается точность оценок сигнала. Наличие избыточности каналов измерения сигналов позволяет преодолеть эти трудности при отказе измерителей и обеспечить идентификацию измерителей без использования контрольной аппаратуры [1, 2].

В данной работе на основе использования стационарной комплексной системы с фильтром разностного сигнала [1], исследуются оптимально-инвариантные алгоритмы линейной и нелинейной безынерционной обработки сигналов. При исследовании методов оценок сигналов предполагалось, что погрешности измерителей являются стационарными случайными процессами. Погрешность первого измерителя аппроксимируется белым шумом, моделью погрешности второго измерителя является марковский случайный процесс. В качестве априорной информации предполагается, что известны математические ожидания и дисперсии погрешностей каждого измерителя при нахождении их в различных состояниях и взаимный их коэффициент корреляции. Были рассмотрены радиотехнические и барометрические датчики скорости полета летательного аппарата. Модели измерения являются линейными с аддитивными погрешностями.

$$Y_i = RX_i + H_i, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots$, i – дискретные моменты времени измерения сигнала; R – матрица комплексирования размером 2×1 ; X_i – скалярный полезный сигнал на i -ом шаге; H_i – вектор погрешностей измерения сигнала размерности 2×1 на i -ом шаге.

$$\hat{x}^* = Y_{2,i} + F^*(Z_j), \quad (2)$$

где $Y_{j,i}$, $j = 1, 2$ – результаты измерения скорости полета летательного аппарата соответственно радиотехническим и барометрическим измерителями в i -й момент времени; $Z_j = Y_{1,i} - Y_{2,i}$ – разностный сигнал измерения скорости полета летательного аппарата; $F^*(\cdot)$ – оптимальный оператор безынерционной оценки погрешности второго измерителя.

В качестве критерия оптимальности используется средний квадрат ошибки оценки.

В работе рассматриваются следующие алгоритмы оптимально-инвариантных оценок:

- 1) нелинейная оптимальная оценка, в виде условного математического ожидания погрешности второго измерителя по результатам разностного сигнала Z_j ;
- 2) линейная оценка оптимальная по критерию усреднённой по состояниям измерителей дисперсии ошибки оценки (критерий эффективной точности);
- 3) линейная квазиоптимальная оценка;
- 4) линейная минимаксная оценка сигнала.

Для сравнения показателей качества оценок исследуемых в работе методов была также рассмотрена линейная оптимальная оценка без учёта отказов измерителей (фильтрация Калмана). В работе был также исследован способ оптимальной идентификации состояния измерителей по критерию В. А. Котельникова без использования контрольной аппаратуры.

Основная задача исследования рассматриваемых методов безынерционной обработки состояла в проведении сравнительного анализа эффективности оценок и достоверности классификации в зависимости от изменения исходных данных и сравнения с дисперсией ошибки оценки фильтрации Калмана. В качестве эффективности оценок сигнала использовались отношения усредненных дисперсии погрешностей измерителей к дисперсиям ошибок оценок исследуемых методов безынерционной обработки сигналов.

При этом изменялись следующие исходные данные: дисперсии ошибок погрешностей в случае безотказной работы измерителя и в состоянии отказа, достоверности каналов «годен» и «негоден», эффективности комплексирования.

В данной работе приведены зависимости изменения эффективностей комплексирования ($\gamma_{2DE\Sigma pr_us_nelin}$ – нелинейная оптимальная оценка, $\gamma_{2DEpr_usr_lin}$ – линейная оценка по критерию усреднённой по состояниям измерителей дисперсии ошибки оценки и γ_{2DEkpr} – линейная оценка без учёта отказов измерителей (фильтрация Калмана)) от изменения вероятности безотказной работы ($PH11$) и дисперсии погрешностей ($DH11$) первого измерителя в исправном состоянии рис. 1 и 2.

Из приведенных зависимостей видно, что фильтрация Калмана при заметных вероятностях отказа и больших дисперсиях погрешностей измерителя в исправном состоянии уступает алгоритмам усреднённой по состояниям измерителей и нелинейной оптимальной оценки.

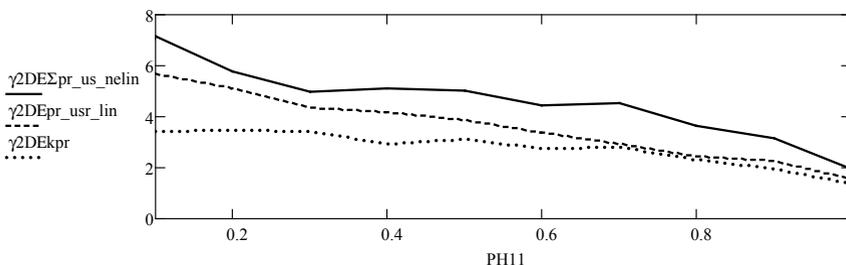


Рис. 1. Зависимость эффективностей комплексирования оптимальных линейных и нелинейных оценок от изменения вероятности безотказной работы первого измерителя в исправном состоянии ($PH11$)

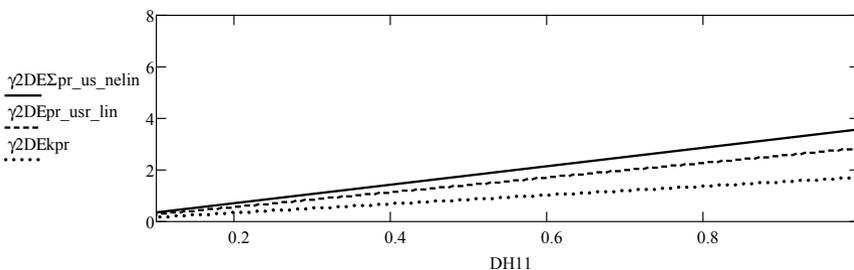


Рис. 2. Зависимость эффективностей комплексирования оптимальных линейных и нелинейных оценок от изменения дисперсии погрешностей первого измерителя в исправном состоянии ($DH11$)

В результате проведенного моделирования и сравнительного анализа была показана эффективность предложенного нелинейного метода оценки по отношению к другим.

В результате можно составить мажоритарный ряд по эффективности оценки рассмотренных алгоритмов: нелинейная оптимальная оценка, линейная квазиоптимальная оценка, линейная оценка оптимальная по критерию усреднённой по состояниям измерителей дисперсии ошибки оценки (критерий эффективной точности), линейная минимаксная оценка сигнала, линейная оптимальная оценка без учёта отказов измерителей (фильтрация Калмана).

Библиографический список

1. Комплексование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов: учебное пособие для вузов / Ю. П. Иванов, А. Н. Синяков, И. В. Филатов; Ред.: В. А. Боднер. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1984. 207 с.
2. Иванов Ю. П. Комплексная оптимально-вариантная инерционная обработка сигналов с учетом отказов измерителей / Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2003. № 1. с. 42–49.

УДК 504.4.054.

О. М. Борисюк – студентка кафедры техносферной безопасности

А. А. Кораблева (канд. хим. наук, доц.) – научный руководитель

НАНОТЕХНОЛОГИИ И ИХ ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Сфера нанотехнологий считается во всем мире ключевой темой для технологий XXI века. Возможности их разностороннего применения в таких областях экономики, как производство полупроводников, медицина, сенсорная техника, экология, автомобилестроение, строительные материалы, биотехнологии, химия, авиация и космонавтика, машиностроение и текстильная промышленность, несут в себе огромный потенциал роста.

Тем не менее, токсичность многих наноматериалов уже заставила задуматься многих ученых, провозгласивших развитие нанотехнологий приоритетной задачей на ближайшее будущее. Не меньшее внимание привлекает проблема влияния наноматериалов на окружающую среду. Но серьезное изучение поведения наночастиц в окружающей среде началось лишь недавно. Известно, например, что наночастицы способны накапливаться в воздухе, почве и сточных водах, однако у науки пока что не хватает данных для точного моделирования таких процессов. Наночастицы могут разрушаться под действием света и химических веществ, а также при контактах с микроорганизмами, но и эти процессы пока что не слишком хорошо изучены. Наноматериалы, как правило, легче вступают в химические превращения, нежели более крупные объекты того же состава, и поэтому способны образовывать комплексные соединения с ранее неизвестными свойствами. Это обстоятельство увеличивает технологическую перспективность нанообъектов и в то же время заставляет с особым вниманием относиться к связанным с ними рискам.

Одним из вопросов, которым задаются как ученые, так и обыватели, в особенности жители мегаполисов, является воздух, который мы вдыхаем.

По последним наблюдениям американских ученых, в атмосфере нашей планеты уже находится значительное количество наночастиц. Как заявляют ученые Алексей Хализов, Реньи Цанг и другие с отделения атмосферных исследований Техасского университета агрокультуры и машиностроения (Texas A&M University), количество наночастиц в разных частях света увеличивается, но почему это происходит, остается загадкой. Ученые занимаются вопросом, как образуются наночастицы и каким образом проис-

ходит увеличение их количества, когда они вступают во взаимодействия с различными органическими испарениями.

«Погодные изменения – самое существенное последствие наличия наночастиц» – подчеркивает Реньи Цанг. «Образуясь, наночастицы собираются в облака и могут влиять на погоду. Они могут образовываться в районах, где есть нефтехимические заводы, выбрасывающие много аэрозоля, около других заводов».

А вот ученые из университета Пердью (Purdue University) в США пришли к выводу, что наночастицы, попадающие в почву, не причинят экосистеме никакого заметного вреда. Был проведен ряд опытов, в которых фуллерены помещали в различные виды почв и затем исследовали их поведение и их влияние на микроорганизмы и минеральные вещества. Результаты наблюдений показывают, что никакой негативной динамики не происходит: микроорганизмы живут и здравствуют, баланс веществ не затронут.

Однако организмы, находящиеся в основании пищевой пирамиды, как, например, земляные черви, могут заглатывать наночастицы, находящиеся в почве, и передавать их животным на более высоких уровнях пищевых цепей.

Исследователи из группы специалистов по токсикологии окружающей среды Язона Унрайна (Jason Unrine) из Университета Кентукки поставили эксперимент – они поместили земляных червей в искусственную почву, в которую специально были внесены наночастицы золота. Выбор наночастиц золота был обусловлен тем, что они стабильны, нерастворимы и могут быть легко обнаружены существующими аналитическими методами.

Через 28 дней ткани червей были изучены на предмет содержания наночастиц. Оказалось, что золото присутствует в металлической, а не ионной форме.

Было обнаружено, что наночастицы золота диаметром 20 и 55 нм аккумулируются организмами земляных червей; наивысшая концентрация наночастиц золота была зарегистрирована в пищеварительном тракте. Хотя аккумуляция наночастиц в организме червей не приводила к существенному увеличению их смертности. Черви, развивавшиеся в земле с наночастицами, давали на 90% меньше потомства, чем черви из контрольной партии, которые не подвергались воздействию наночастиц.

Специалист по защите окружающей среды из Университета Браун, Роберт Хёрт (Robert Hurt) заявляет, что результаты работы являются наглядным свидетельством в пользу того, что наночастицы могут попадать в организм непосредственно из почвы и накапливаться в тканях.

Другой проблемой является исследование поведения наночастиц в воде. На данный момент этот вопрос разработан слабо. Вопрос сложен тем, что необходимы комплексные исследования по поводу способности каждого из видов грунтов или искусственных фильтров задерживать те или иные наночастицы. Данным вопросом занимаются в настоящее время ученые из Технологического института Джорджии (Georgia Institute of Technology). Ими проводилась серия опытов, в ходе которых через колбы, заполненные песком, грунтом, микрогранулами стекла и иными материалами пропускалась вода, содержащая фуллерены. Выяснилось, что песок задерживает до 80% наночастиц, однако ученые также пришли к выводу, что на фильтрацию влияет состав воды. Наличие в воде гуминовой кислоты или поверхностно-активных веществ позволит наночастицам свободно проходить через песок.

В мире разгорается спор об опасности нанотехнологий для всего живого на планете.

Первыми тревогу забили активисты организации SVTC – Silicon Valley Toxics Coalition. Ими был опубликован отчет, где собраны все факты наблюдений за последствиями проникновения и перемещения внутри живых клеток нанотрубок – каркасных молекул, состоящих из атомов углерода. «Известно, что микроскопические частицы являются причиной возникновения и обострения хорошо известных заболеваний, к которым относятся асбестоз, силикоз, гранулема и воспаление легких, – отмечается в отчете. – Основываясь на этих знаниях, можно ожидать, что попадание наночастиц в дыхательные пути тоже несет в себе угрозу здоровью людей».

Так, ученые специально инфицировали нанотрубками клетки человеческого организма, а затем проверили их на предмет жизнеспособности. Результаты анализов показали, что сначала клетки пытались сопротивляться вторжению нанотрубок, поглощая их лизосомами – органеллами, отвечающими за «ликвидацию» инородных частиц в организме. Но на этот раз лизосомы оказались бессильны – наночастицы все равно проникали через цитоплазму в клеточное ядро. В итоге уже на четвертый день эксперимента все инфицированные клетки погибли.

Наночастицы проникают в различные типы клеток и накапливаются в них; они способны распространяться по кровеносным и лимфатическим сосудам, вызывают окислительный стресс и воспаление.

Например, испытания моноклонального антитела TGN1412 (препарат предназначался для лечения таких заболеваний как ревматоидный артрит и лейкемия) в Великобритании, проведенные на нескольких видах животных, показали, что только у обезьян оно вызывает набухание лимфатических узлов. Между тем, шестеро добровольцев, принявших участие в клинических исследованиях этого препарата, оказались в тяжелейшем состоянии. Через несколько минут после введения препарата у них начались сильнейшие боли в мышцах, судороги, приступы удушья и рвота. Врачи констатировали у добровольцев обширные воспалительные процессы в различных тканях и множественную дисфункцию внутренних органов. Тяжелейшие отеки до неузнаваемости изменили внешность некоторых пострадавших.

Несмотря на столь страшные возможные последствия применения нанопроductии, до сих пор не проводятся надлежащие токсикологические исследования. А ведь наночастицы могут не только вызывать окислительный стресс (который запускает механизм мутагенеза и ведет к наследственным заболеваниям, онкологии, порокам развития), но и повреждают ДНК (генотоксическое поражение клетки). Эти повреждения приводят к атеросклерозу, инициируют канцерогенез.

Не меньшую опасность представляет собой и технология производства этих самых наноматериалов. Например, изготовление нанотрубок требует огромных затрат и усилий. Сначала углеродную смесь прокачивают при температуре 1000 °С через специальный реактор, заполненный катализаторами, к примеру, железом, никелем, кобальтом и золотом. Потом полученный материал обрабатывают при температуре 100 °С в растворе соляной кислоты, а затем его подвергают воздействию раскаленного до 500 °С воздуха для удаления частиц аморфного углерода.

Понятно, что все отходы производства необходимо утилизировать, но пока проработка очистительных сооружений специально под нужды нанотехнологов находится лишь в зачаточном состоянии. Тем не менее, заманчивые перспективы использования чудо-трубок пока берут верх над всеми экологическими соображениями. Еще бы! Ведь нанотрубки – это универсальный материал технологий будущего, обладающий удивительной прочностью, а в зависимости от своего размера и формы, нанотрубка может обладать либо проводящими, либо полупроводниковыми свойствами.

Ситуация осложняется тем, что многие наноструктуры производятся не одним, а несколькими способами. Это обстоятельство увеличивает ассортимент рисков, с которыми могут сталкиваться или уже сталкиваются работники нанотехнологической индустрии. С другой стороны, оно дает основание предположить, что внешне одни и те же нанопроductы, изготовленные на основе различных технологий, будут оказывать неодинаковое воздействие на человека и его среду обитания.

Но, несмотря на всю опасность, которую может таить в себе нанотехнология, она имеет и положительный аспект. В последние годы опубликовано множество оптимистических прогнозов о способах применения нанотехнологий, которые могут кардинально изменить методы, ныне применяемые в микроэлектронике, оптоэлектронике и медицине. Поэтому нанотехнологии обладают поистине гигантским потенциалом. Очевидно, что нанотехнологиям еще суждено сыграть свою роль в новейшей истории. Остается лишь следить за продолжением исследований. Ведь любое достижение скрывает за собой проблемы, которые могут встать перед человечеством.

Библиографический список

1. Публикации нанотехнологического общества «Нанометр». (<http://www.nanometer.ru>)
2. Материалы с сайта научно-популярного проекта «Элементы». (<http://www.elementy.ru>)
3. Материалы с сайта о нанотехнологиях #1 в России Nanonewsnet. (<http://www.nanonewsnet.ru>)
4. Статьи из интернет-журнала о нанотехнологиях «Нано Дайджест». (<http://nanodigest.ru>)
5. Сыч В. Ф., Дрожжина В. П. Введение в нанотехнологии. Биология. УлГУ, 2008.

УДК629.7.018.3

А. П. Григорьев – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Я. Мамаев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

**РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОГО ОБУЧАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА ПО НАВИГАЦИИ
НА БАЗЕ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА**

Профессиональная подготовка оператора летательного аппарата – это трудоёмкий и дорогостоящий процесс. Она складывается из курса теоретического обучения, практических тренажёрной и лётной подготовок (рис. 1). Между тренажёрной и лётной практической подготовками летного состава и традиционным теоретическим обучением имеет место разрыв. Компьютеризация теоретического обучения и внедрение автоматизированных обучающих систем (АОС) предназначены для ликвидации этого разрыва.

Одно из основных требований к обучающим системам – адаптивность. Адаптивная обучающая система (АдОС) позволяет не просто тренировать обучаемого и контролировать его знания, но и по результатам деятельности обучаемого может определить, какие знания недостаточны или ошибочны, и вернуть обучаемого на соответствующий раздел теории или практики, либо дать дополнительные разъяснения, т.е. позволяет адаптировать процесс обучения под особенности каждого конкретного обучаемого, работающего с системой. Обязательным элементом любой АдОС является блок автоматизированной проверки знаний. В последнее время тестовый контроль привлекает все большее внимание педагогов в самых разных сферах как наиболее универсальная форма контроля знаний.

Тестовый контроль отличается: эффективностью при самостоятельной работе; объективностью в оценке знаний; экономией времени преподавателя; высокой степенью дифференциации тестируемых по уровню знаний; возможностью индивидуализации процесса обучения; прогнозированием темпа и результата обучения; возможностью выявления структуры знаний каждого слушателя для дальнейшего изменения методики



Рис. 1. Подготовка оператора летательного аппарата

обучения. Разработка тестовых заданий и обработка результатов тестирования подробно изложены в [1] и [4], а известные модели тестирования – в [3]. Наиболее прогрессивными в настоящее время являются адаптивные модели тестирования, в которых сложность заданий меняется в зависимости от правильности ответов испытуемого.

Применение в АдОС автоматизированной проверки знаний на базе адаптивного тестирования (АТ) позволяет повысить эффективность обучения.

Важно также отметить, что обучение оператора ЛА необходимо рассматривать как управляемый и контролируемый процесс решения тестовых навигационных заданий. Определение свойств этих заданий и выдача комментариев по каждому из них должны осуществляться на основе идентификации знаний обучаемого на каждом шаге обучения. В процессе обучения должен соблюдаться принцип продвижения от простого учебного материала (УМ) к сложному, причем переход к новой теме осуществляется только в случае успешного усвоения предыдущего материала. Таким образом, реализуются основные принципы адаптивного обучения.

При обучении авиационных специалистов практическую подготовку подразделяют на тренажёрную и лётную (см. рис. 1). Применение процедурных тренажёров на базе ПК позволяет более качественно подготовить лётный состав к работе на комплексных тренажёрах и учебном ЛА. Процедурные тренажёры позволяют отрабатывать большой спектр авиационных задач, они просты в эксплуатации, удобны и экономически эффективны.

Включение в АдОС процедурного тренажёра позволяет повысить эффективность подготовки авиационных кадров. Проектирование на базе ПК, принимая во внимание все вышеперечисленные принципы построения АОС, даёт возможность рассмотреть проект адаптивного обучающего комплекса (АдОК).

В рамках данной статьи предлагается рассмотреть проект АдОК по навигации. Данный комплекс представляет собой программную среду, устанавливаемую на автоматизированное рабочее место (АРМ) обучаемого или ПК, и состоит из следующих основных модулей (рис. 2).

1. Электронный учебник штурмана (ЭУШ).

Является основным учебным и методическим пособием для обучаемого. Изучение всех глав ЭУШ предусмотрено учебным планом по данной предметной области. Изучение теоретического материала обучаемым предусмотрено как в рамках аудиторных лекционных занятий, так и в рамках самостоятельной работы.

2. Процедурный тренажёр штурмана (ПТШ).

Осуществляет практическую лётную подготовку обучаемого. Позволяет тренировать обучаемого в решении отдельных штурманских задач, преимущественно связанных с горизонтальным полётом по маршруту.



Рис. 2. Адаптивный обучающий комплекс по навигации на базе персонального компьютера

3. Модуль выдачи результатов (МВР).

Информирует и обучаемого и инструктора (преподавателя) о текущих, промежуточных результатах изучения дисциплины. Оценка выдаётся в абсолютном виде (% правильных ответов на вопросы теста) и в единицах 5-бальной или 12-бальной (по выбору преподавателя) шкалы оценивания.

4. Журнал успеваемости (база оценок).

База данных, защищённая паролем, доступная только для преподавателя. В журнале сохраняются все оценки обучаемого за полный период курса. Преподаватель в любой момент может ознакомиться с текущей или итоговой успеваемостью конкретного обучаемого, для установления положительных или отрицательных тенденций процесса обучения.

5. Модуль контроля, диагностики и восстановления знаний (МКДВЗ). Состоит из четырёх блоков (Рис. 2): блок адаптивного тестирования (БАТ), блок контроля знаний (БКЗ), блок диагностики знаний (БДЗ). Блок восстановления знаний (БВЗ).

БАТ реализует промежуточное (в рамках изученного параграфа или главы) или итоговое (в рамках всего курса) адаптивное тестирование знаний обучаемого по материалу из соответствующего учебно-методического пособия (ЭУШ).

БКЗ осуществляет текущий или итоговый контроль знаний обучаемого (производится только оценка).

БДЗ осуществляет диагностику, то есть указывает какие знания недостаточны или ошибочны. Часто БКЗ и БДЗ объединяют в общий блок контроля и диагностики знаний (КДЗ).

БВЗ позволяет дать дополнительные разъяснения по материалу, в котором обучаемый допустил ошибку, или вернуть обучаемого на соответствующий раздел теоретического материала.

Процесс обучения в АдОК будет происходить следующим образом. На ПК обучаемого устанавливается программная среда «АдОК Навигатор», состоящая из всех ранее рассмотренных модулей (рис. 2). В начале курса подготовки обучаемый имеет доступ только к ЭУШ, после прохождения каждой главы этого учебника он проходит обязательное контрольное тестирование знаний. Вопросы задаются в виде адаптивных тестовых заданий, то есть сложность варьируется в зависимости от правильности ответа обучаемого. Выполняется оценка, и производится анализ полученных результатов. После прохождения тестирования обучаемому выставляется оценка его знаний по 5-бальной или 12-бальной шкале (на выбор преподавателя). Результаты тестирования отображаются на экране и сохраняются в журнале успеваемости. Если обучаемый успешно прошёл тестирование, он допускается к изучению следующей главы из ЭУШ. Если тестирование было неудачным, то МКДВЗ указывает обучаемому ошибки и возвращает на соответствующий раздел теоретического материала. После повторного изучения материала обучаемый имеет возможность вторично пройти контрольное тестирование знаний. После успешного прохождения всего теоретического материала, с последующим написанием итогового теста, обучаемый допускается до тренажерной подготовки, то есть получает доступ к модулю «Процедурный тренажёр штурмана» (Рис. 2). ПТШ осуществляет практическую лётную подготовку обучаемого. Позволяет отработать решение отдельных штурманских задач, предусмотренных преподавателем и курсом обучения. После успешного завершения подготовки на процедурном тренажёре обучаемый получает итоговую оценку по курсу «Навигация».

Библиографический список

1. Аванесов В. С. Композиция тестовых заданий. М.: АДЕПТ, 1998.
2. Васильев В. И., Тягунова Т. Н., Хлебников В. А. Триадная сущность шкалы оценивания // Дистанционное образование. 2000. № 6. С. 19–25.
3. Глова В. И., Дуплик С. В. Модели педагогического тестирования обучаемых // Вестник Казан, гос. техн. ун-та им. А. Н. Туполева. 2003. № 2. С. 74–79.
4. Нейман Ю. М., Хлебников В. А. Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. М., 2000.

УДК629.7.018.3

А. П. Григорьев – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Я. Мамаев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

НЕЙРОНЕЧЁТКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЗНАНИЙ ОПЕРАТОРА-НАВИГАТОРА

Обучение оператора-навигатора (ОН) состоит из теоретической и практической подготовки. Теоретическая подготовка предполагает изучение материала из предметной области (учебные пособия, методические материалы), в то время как практическая подготовка направлена на его непосредственное применение, выработку навыков и умений.

В настоящее время, в связи с широким распространением персональных компьютеров (ПК) и глобальной сети Internet, появилась новая возможность – реализация дистанционного обучения (ДО). В свою очередь, методы ДО могут использоваться и в традиционном обучении.

Применение обучающих систем на базе ПК – это один из перспективных способов повышения эффективности процесса обучения. К достоинствам автоматизированных обучающих систем (АОС) следует отнести: самостоятельность обучения, как следствие, усвоение большего объёма информации, разгрузка преподавателя, быстрое действие и объективность. Одним из основных требований к обучающим системам является адаптивность. Адаптивная обучающая система (АдОС) позволяет не просто тренировать обучаемого и контролировать его знания, но и по результатам деятельности обучаемого может определить, какие знания недостаточны или ошибочны, и вернуть обучаемого на соответствующий раздел теории или практики, либо дать дополнительные разъяснения, т. е. позволяет адаптировать процесс обучения под особенности каждого конкретного обучаемого, работающего с системой.

Современное обучение немислимо без систем автоматизированной проверки знаний. Компьютерные системы контроля знаний приобретают все большую популярность, что объясняется их объективностью, доступностью и экономической эффективностью.

В последнее время тестовый контроль привлекает все большее внимание педагогов в самых разных сферах как наиболее универсальная форма контроля знаний.

Тестовый контроль имеет целый ряд преимуществ: эффективность при самостоятельной работе; объективность в оценке знаний; экономия времени преподавателя; высокая степень дифференциации тестируемых по уровню знаний; возможность индивидуализации процесса обучения; прогнозирование темпа и результата обучения; возможность выявления структуры знаний каждого слушателя для дальнейшего изменения методики обучения.

Разработка тестов и обработка результатов тестирования подробно изложены в [1] и [4], а известные модели тестирования – в [3]. Наиболее прогрессивными в настоящее время являются адаптивные модели тестирования.

Адаптивное тестирование (АТ) предполагает, что выбор следующего задания зависит от ответа обучаемого на предыдущий вопрос, анализ ответа обучаемого проводится электронным инструктором. В качестве электронного инструктора может быть использован аппарат «жёсткой логики», размытых (нечётких) множеств и искусственные нейронные сети (ИНС).

Нейросетевой подход и его использование в системах оценивания знаний были подробно рассмотрены в статье «Построение системы автоматизированной оценки знаний обучаемого штурмана на основе использования технологии искусственных нейронных сетей», опубликованной в сборнике докладов шестьдесят третьей студенческой научно-технической конференции ГУАП в 2010 г. Также в рамках данной статьи были сформулированы основные идеи, понятия и определения теории нейронных сетей.

В данной статье предлагается применение нейронечёткого подхода [9] для оценки знаний ОН. Такой подход позволяет использовать совместно аппарат ИНС и нечёткой логики [10]. Сеть в данном случае используется как эффективное средство автоматизации процесса выставления оценок.

В качестве шкалы оценивания взята 12-балльная шкала, предложенная в [2]. Достоинством ее по сравнению с традиционной 5-балльной шкалой является более высокая различающая способность. Каждой из возможных оценок, которыми оперирует преподаватель, (2, 3, 4, 5; единица не учитывается, т.к. она обычно не используется) ставится в соответствие три оценки из 12-балльной шкалы. Это позволяет описать результат с помощью нечетких понятий «менее чем...» и «более чем...», что соответствует оценкам типа «5 с минусом», «3 с плюсом» и т. д., которые часто используются преподавателями. Автором предлагается соответствие процента правильных ответов обучаемого и оценки по 12 и 5-балльной шкалам (табл. 1).

Таблица 1

Процент правильных ответов	Группа	Оценка	Оценка по 12-балльной шкале	Оценка по 5-балльной шкале
0-5	1	Нет знаний	2	2
5-9	2	Неудовлетворительно	2	
10-19	3	Малоудовлетворительно	2	
20-29	4	Почти удовлетворительно	3 -	3
30-39	5	Посредственно	3	
40-49	6	Более чем удовлетворительно	3 +	
50-59	7	Почти хорошо	4 -	4
60-69	8	Хорошо	4	
70-79	9	Более чем хорошо	4 +	
80-89	10	Почти отлично	5 -	5
90-94	11	Отлично	5	
95-100	12	Превосходно	5 +	

В предлагаемой модели будет использован способ оценки сложности заданий с использованием нечеткой математики. Предлагается следующая нечеткая шкала оценки, определяемая экспертным путём: Легкое; Среднее; Выше среднего; Сложное; Очень сложное (табл. 2).

В качестве сценария обучения используются АТ. Рассмотрим тест, состоящий из 7 вопросов, причём каждый вопрос отличается по уровню сложности, первый вопрос теста оценивается в 25 баллов, второй в 20, третий в 15, и так далее, вплоть до последнего вопроса (см. табл. 2).

Таблица 2

№ вопроса	Тестовое задание						
	1	2	3	4	5	6	7
Сложность	Очень сложное	Сложное	Выше среднего	Выше среднего	Среднее	Среднее	Лёгкое
Баллы	25	20	15	15	10	10	5
Max кол-во баллов	100						
Min кол-во баллов	0						

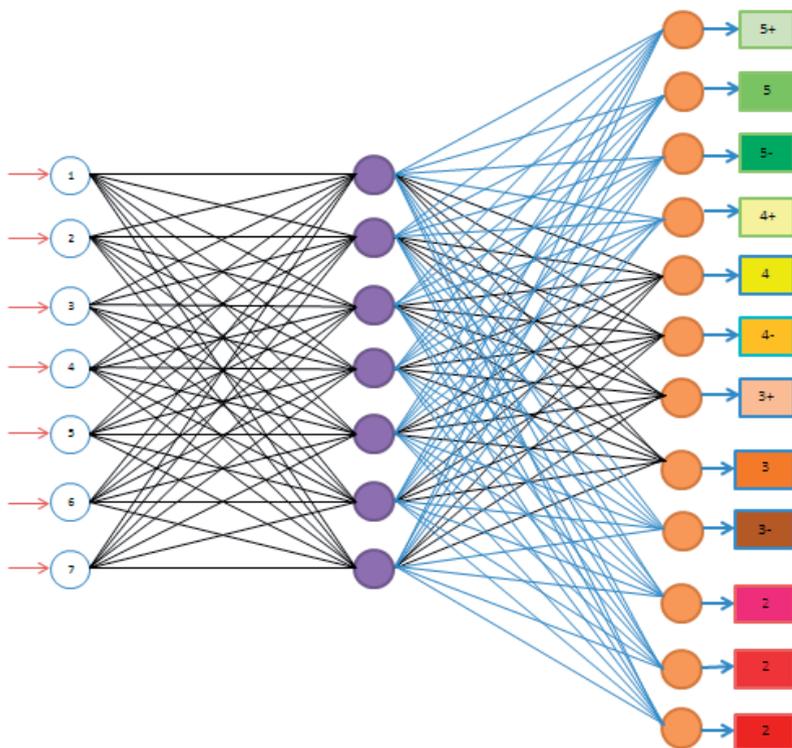


Рис. 1. Структура ИНС прямого распространения

Структура статической ИНС прямого распространения [5] представлена на рис. 1.

Она состоит из входного слоя с 7 нейронами, реализующими каждый из 7 вопросов теста, скрытого (промежуточного) слоя из 7 нейронов и выходного слоя из 12 нейронов – реализующих оценку в 12-балльной шкале. Все слои связаны друг с другом напрямую и последовательно – без обратных связей и линий задержки. Во входном и скрытом слое в качестве нелинейной функции одного аргумента используется сигмоидальная функция активации (гиперболический тангенс). Эта функция описывается соотношением: $a = \text{tansig}(n) = \frac{\exp(n) - \exp(-n)}{\exp(n) + \exp(-n)}$.

В выходном слое используется линейная функция активации, эта функция описывается соотношением: $a = \text{purelin}(n) = n$. Благодаря свойству дифференцируемости эти функции часто используются в сетях с обучением на основе метода обратного распространения ошибки [6].

На базе программы MATLAB (Пакет расширения Neural Network Toolbox) с помощью команды: `net = newff ([0 25; 0 20; 0 15; 0 15; 0 10; 0 10; 0 5], [7, 7, 12], {'tansig', 'tansig', 'purelin'})`; – создаётся статическая трёхслойная ИНС прямого распространения [7], используется вектор входа с 7 элементами, имеющими допустимые границы значений [0...25], [0...20].....[0...5] – то есть диапазон возможных значений ответов обучаемого на каждый из 7 вопросов теста (см. таблицу 2), вектор выхода с 12 элементами для

реализации оценки в 12-бальной системе, функции активации: tansig – во входном и скрытом слое; purelin – в выходном.

После того как сформирована архитектура, производится моделирование [8] и графическое представление сети [7] командой: $\text{gensim}(\text{net})$.

На третьем этапе должны быть заданы начальные значения весов и смещений, или иными словами, сеть должна быть инициализирована; данная процедура осуществляется с помощью оператора: $\text{net} = \text{init}(\text{net})$;

После инициализации ИНС необходимо произвести процесс обучения с помощью команды: $\text{net1} = \text{train}(\text{net}, P, T)$

В качестве вектора входа – P задают обучающие выборки из произвольного числа статистик, реализующие все возможные оценки 12-бальной шкалы с соответствующими значениями целей – T (желаемые результаты на выходе). После завершения обучения проводится контрольное моделирование – на вход ИНС подаются другие обучающие выборки (контрольные), реализующие те же оценки. Если сеть правильно связывает типовое воздействие на входе с эталонными значениями сигнала на выходе – соответствующие определённой оценке, то принимается решение о том, что ИНС обучена и готова решать поставленную задачу. Нередко для дополнительной проверки качества обучения используют ещё одни, дополнительные статистики – тестовые.

Процесс обучения в АОС будет происходить следующим образом. Обучаемому предоставляется возможность ответить на вопросы из предметной области, его ответы предоставляются нейронной сети, как вектор входных данных. Выполняется оценка и производится анализ полученных результатов. После прохождения тестирования обучаемому выставляется оценка его знаний по 12-бальной шкале, которую также можно рассматривать как нечеткую.

Пути дальнейшего развития в построении АОС на базе ИНС связаны в первую очередь с:

- применением генетических алгоритмов (ГА) для обучения ИНС;
- проведением сравнительного анализа сетей с различными архитектурами;
- усложнением сценариев обучения;
- расширением базы сценариев обучения.

Библиографический список

1. Аванесов В. С. Композиция тестовых заданий. М.: АДЕПТ, 1998.
2. Васильев В. И., Тягунова Т. Н., Хлебников В. А. Триадная сущность шкалы оценивания // Дистанционное образование. 2000. № 6. С. 19–25.
3. Глова В. И., Дуплик С. В. Модели педагогического тестирования обучаемых // Вестник Казан, гос. техн. ун-та им. А. Н. Туполева. 2003. № 2. С. 74–79.
4. Нейман Ю. М., Хлебников В. А. Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. М., 2000.
5. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей. Кн. 1 учеб. пособие для вузов / Общая ред. А. И. Галушкина. М.: ИПРЖР 2000. 416 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд.: Пер. с англ. М: Вильямс, 2006. 1103 с. М: Финансы и статистика, 2004. 320 с.
7. Сивохин А. В., Лушников А. А., Шибанов С. В. Лабораторный практикум. Искусственные нейронные сети. Пенза, 2004.
8. Короткин А. А. Математические модели искусственных нейронных сетей: учебн. пособие. Ярославль, 2000.
9. Дли М. И. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2002. 225 с.
10. Ярушкіна Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем.

УДК629.7.018.3

А. П. Григорьев – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Я. Мамаев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИМУЛЯТОР С АВТОМАТИЧЕСКИМ ПОДБОРОМ ТОПОЛОГИИ СЕТИ

Нейросетевой подход к решению прикладных задач в любой области науки и техники предполагает не только глубокую степень формализации при постановке задачи, но и строгую иерархическую последовательность этапов нейросетевого проектирования (рис. 1).

Выбор структуры ИНС осуществляется в соответствии с особенностями и сложностью задачи. При этом разработчик руководствуется несколькими основополагающими принципами [2]:

- возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом выделенных слоев;
- введение обратных связей наряду с увеличением возможностей сети поднимает вопрос о так называемой динамической устойчивости сети.

Так как проблема синтеза ИНС сильно зависит от решаемой задачи, то общих рекомендаций попросту не существует. В большинстве случаев оптимальный вариант получается на основе интуитивного, эмпирического подбора, который отнимает у разработчика много времени.

В данной статье предлагается алгоритм для автоматического подбора топологии сети. Такой алгоритм (рис. 2), реализованный в виде симулятора для компьютерного моделирования ИНС, позволяет существенно сократить время на разработку, отладку и исследование нейронных сетей.

Рассмотрим предложенный алгоритм поэтапно:

1. Осуществляется ввод исходных данных: матрицы входных воздействий (обучающие статистики, контрольные статистики, тестовые статистики), матрицы целей (эталонные и реальные значения сигнала на выходе сети), задаются типы активационных функций *tansig*, *purelin*, *logsig* и т. д., указываются диапазоны поиска по числу нейронов в слоях и по количеству активационных функций.

2. Создание сети с заданными параметрами.

3. В первом цикле осуществляется подбор количества слоёв. Выбор осуществляется между 2-х слойными и 3-х слойными ИНС. Как показывает практика, использование одно-слойных сетей не гарантирует точного решения задачи, в то время как использование более мощных 4-х слойных, 5-слойных сетей и т. д., гарантированно приводит к явлению переобученности.

4. Во втором цикле осуществляется подбор количества нейронов в слоях. Из практических соображений, как уже было сказано выше, область поиска сокращена.

Выбор осуществляется в диапазоне от 2 до 16 нейронов.

5. В третьем цикле осуществляется подбор активационных функций для каждого слоя. Так как в качестве алгоритма обучения используется градиентный метод обратного распро-

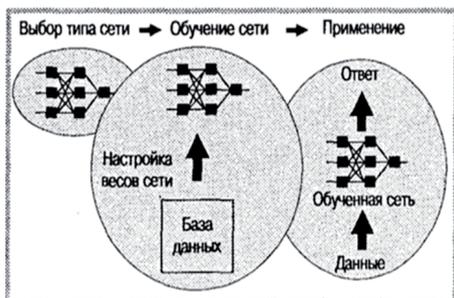


Рис. 1. Этапы нейросетевого проектирования

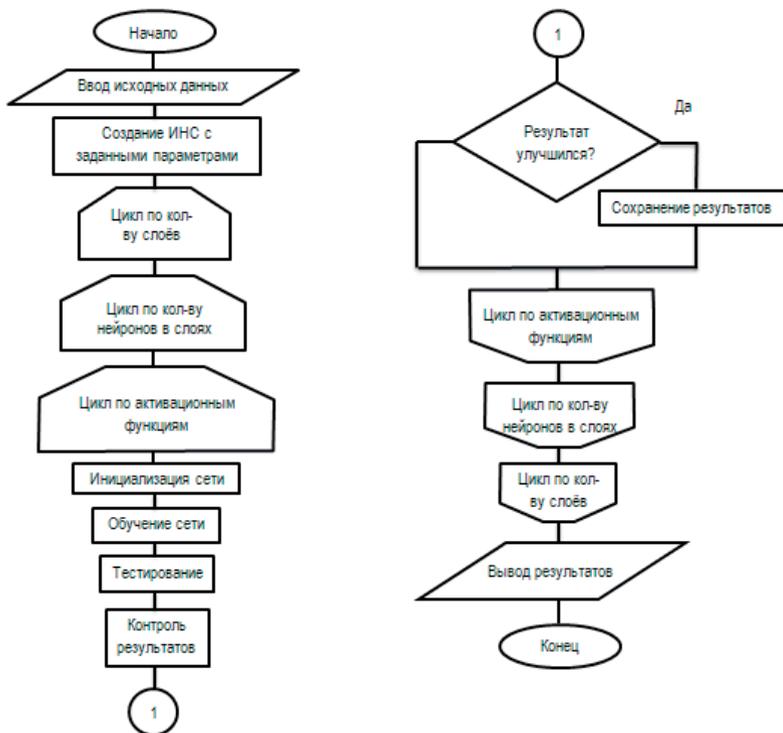


Рис. 2. Блок-схема алгоритма для автоматического подбора топологии сети

странения ошибки, то рассматриваются только гладкие, дифференцируемые активационные функции, типа *tansig*, *purelin*, *logsig* и т. д.

6. Производится инициализация сети, то есть задание начальных весов синаптических связей. Обычно веса задаются случайным образом с помощью специальной команды.

7. Осуществляется обучение сети, то есть веса подбираются таким образом, чтобы взаимно однозначно связать значения на входе (матрица из обучающих статистик) с эталонными значениями матрицы целей на выходе сети.

8. Проверка качества обучения сети осуществляется по контрольной статистике, которая подаётся на вход сети. Ответ ИНС сравнивается с эталонным значением матрицы целей на выходе сети.

9. Осуществляют контроль результатов подбора топологии сети. В качестве количественной характеристики качества подбора можно использовать норму разности двух матриц целей – эталонной E и реальной A . Чем эта разность меньше, тем расстояние между матрицами E и A в конечномерном пространстве матриц меньше и, следовательно, выбранная архитектура сети соответствует требованиям качества. Так как все нормы в конечномерном пространстве эквивалентны, то можно выбрать любую из четырёх известных. В данной работе используется норма разности Гильберта-Шмидта.

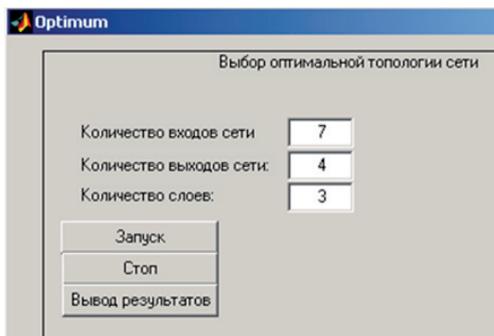


Рис. 3. Графическая оболочка, разработанной программы

10. Далее сравнивается определенный коэффициент качества сети и последний наилучший коэффициент, если новая сеть лучше ранее сохраненной, то она становится оптимальной на текущем шаге и далее будет участвовать в обработке.

11. Все параметры оптимальной топологии сети сохраняются и выводятся по требованию пользователя.

По рассмотренной блок-схеме алгоритма в М-файле программы MATLAB разработана программа, осуществляющая имитационное моделирование ИНС. Графическая оболочка для данной программы (рис. 3) разработана в пакете расширения MATLAB GUIDE.

Пользователь перед началом работы с графическим окном задает матрицы входных воздействий и матрицу целей. Для сужения области поиска, имеется возможность настраивать дополнительные параметры сети в окне (рис. 3). Далее следует произвести обработку, нажав кнопку «Запуск». Подбор топологии сети может занять достаточно долгое время, поэтому при необходимости процедуру можно остановить, нажатием клавиши «Стоп». Кнопка «Вывод результатов» позволяет вывести параметры топологии наилучшей ИНС.

Библиографический список

1. Галушкин А. И. Теория нейронных сетей. Кн. 1 учебн. пособие для вузов / Общая ред. А. И. Галушкина. М.: ИПРЖР 2000. 416 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1103 с. М: Финансы и статистика, 2004. 320 с.
3. Короткин А. А. Математические модели искусственных нейронных сетей: учебн. пособие, Ярославль, 2000.

УДК 621.391.01

А. А. Демьянов – студент кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В. Г. Никитин (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ ИНЕРЦИОНАЛЬНО-СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ НА ЦЕЛОСТНОСТЬ С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ АППАРАТУРЫ

Спутниковые навигационные системы (СНС) представляют собой всепогодные системы космического базирования и позволяют в глобальных масштабах определять текущие местоположения подвижных объектов и их скорость, а так же осуществлять точную координацию времени. Одним из труднейших этапов полета считается посадка, поэтому к бортовым системам посадки предъявляются повышенные требования

к точности, целостности, доступности, и непрерывности. Под целостностью понимается способность системы, согласно вероятностным и точностным требованиям, предъявляемым к каждому этапу полета, обнаруживать отказ в собственных показаниях, а также обеспечивать своевременное формирование и выдачу сигнализации потребителю информации [1].

Требования к точности захода на посадку определены в Российском Навигационном Плане. Требования по целостности для посадки по I, II, III категориям ICAO составляют: 0,999999, 0,9999999 и 0,999999995 при доступном времени предупреждения не более 1 с [2]. Для обеспечения выполнения этих требований применяется дифференциальный метод навигации, который позволяет увеличить точность до нескольких десятков сантиметров. При отказе аппаратуры приема дифференциальных данных (АПДД) точный заход на посадку невозможен [2].

В настоящее время широко используется комплексирование СНС с инерциальными системами (ИНС)[3]. Рассмотрим одну из возможных схем бортового оборудования инерциально-спутниковой системы посадки, представленной на рис. 1, а, где представлены следующие блоки приемник СНС, ИНС, система воздушных сигналов (СВС),

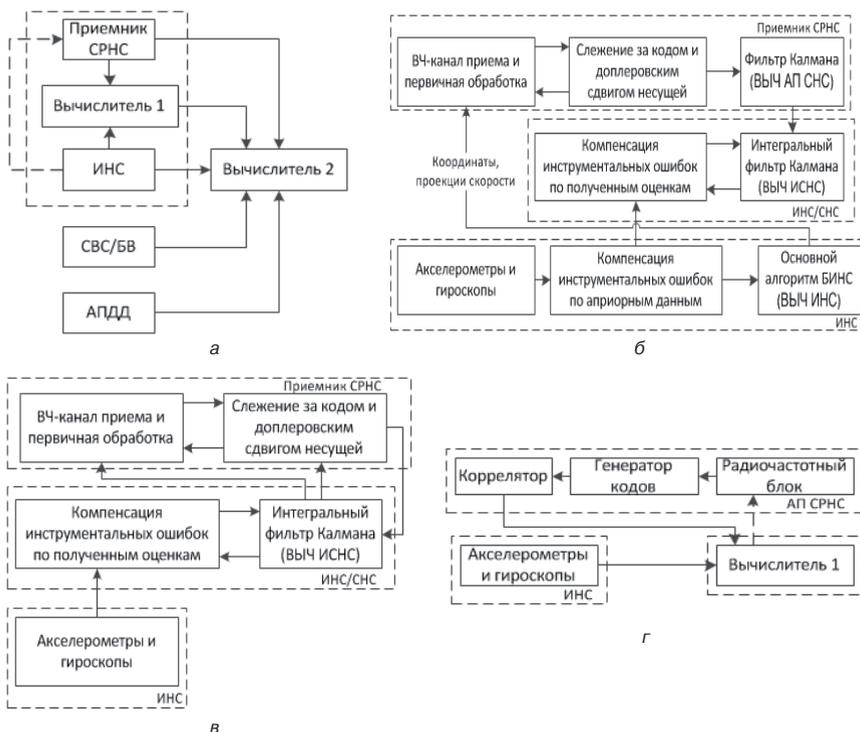


Рис. 1. Структурные схемы систем посадки: а – обобщенная структурная схема системы посадки; б – интегрированная часть при слабосвязанной схеме комплексирования; в – интегрированная часть при сильносвязанной схеме комплексирования; г – интегрированная часть при глубоко интегрированной схеме комплексирования

АПДД, вычислитель 1 (фильтр Калмана) обрабатывает информацию от интегрированной навигационной системы, вычислитель 2 осуществляет построение глассады.

Для повышения надежности все блоки системы резервированы [2]. Существует несколько степеней интеграции СНС и ИНС: разомкнутая, слабосвязанная, сильносвязанная и глубоко интегрированная [2, 3], структурные схемы которых представлены на рис. 1, б–г. В литературе, посвященной проблемам целостности, большое внимание уделяется контролю целостности, а вопросу оценки целостности системы уделяется меньше внимания. В статье рассматриваются вопросы исследованию влияния степени интеграции инерциально-спутниковой системы посадки на целостность на основе графоаналитического метода.

Рассмотрим оценку показателя целостности рассматриваемой системы, на основе использования динамической модели изменения ее состояний, определяемой дискретным марковским процессом. Если процесс, протекающий в системе, является марковским с непрерывным временем и дискретным множеством состояний, то все потоки, переводящие систему из одного состояния в другое, являются пуассоновскими. Пуассоновский поток, переводящий систему из состояния H_i в состояние H_j , характеризуется одной функцией – интенсивностью потока событий $H_j - \lambda_{ij}(t)$, которая может быть любой неотрицательной функцией времени, $i, j = 1, n$, где n – конечное множество возможных состояний системы.

На основе полученного графа записывается система уравнений Колмогорова для вероятностей P_i , $i = 1, n$. Чтобы найти эти вероятности, приравнивают нулю левые части уравнений для вероятностей состояний (полагают все производные равными нулю) и решают полученную систему линейных алгебраических уравнений. К ним добавляют нормировочное условие: $\sum P_i = 1$. Решив данную систему уравнений можно определить величины показателя целостности, вероятности ложного и необнаруженного отказов [6]. В отличие от работы [7], в статье рассматривается структурная особенность реализации трех схем интеграции (рис.1, б–г), исходя из этого строятся графы состояний для рассматриваемых систем. На рис. 2 представлен граф состояний для слабосвязанной схемы интегрирования.

– H_1 – состояние полной работоспособности СНСП, т.е. это такое состояние системы, при которой навигационная информация, выдаваемая потребителю, удовлетворяет техническим требованиям и может обеспечить точный заход на посадку;

– $H_{2+5+8+15}$ – состояние СНСП, соответствующие обнаруживаемым отказам одной её компоненты (2+5, 8+15) или несвоевременностью поступления сигналов, при которых навигационная информация, выдаваемая потребителю, не удовлетворяет техническим требованиям и не может обеспечить точный заход на посадку:

- H_2 – состояние отказа АПДД;
- H_3 – состояние отказа СВС;
- H_4 – состояние отказа вычислителя 2;
- H_5 – состояние отказа коррелятора;
- H_8 – состояние отказа генератора кодов;
- H_9 – состояние отказа радиочастотного блока;
- H_{10} – состояние отказа блока «канал слежения за частотой»;
- H_{11} – состояние отказа Вых АП СНС;
- H_{12} – состояние отказа Вых ИНС;
- H_{13} – состояние отказа блока акселерометров;
- H_{14} – состояние отказа блока гироскопов;
- H_{15} – состояние отказа вычислителя ИСНС (вычислитель 1);

– H_6 – состояние СНСП, при котором навигационная информация, выдаваемая потребителю, удовлетворяет техническим требованиям точного захода на посадку самолёта, но вследствие ложных отказов принято решение, что получаемая навигационная информация недостоверна и экипаж не может пользоваться данной системой;

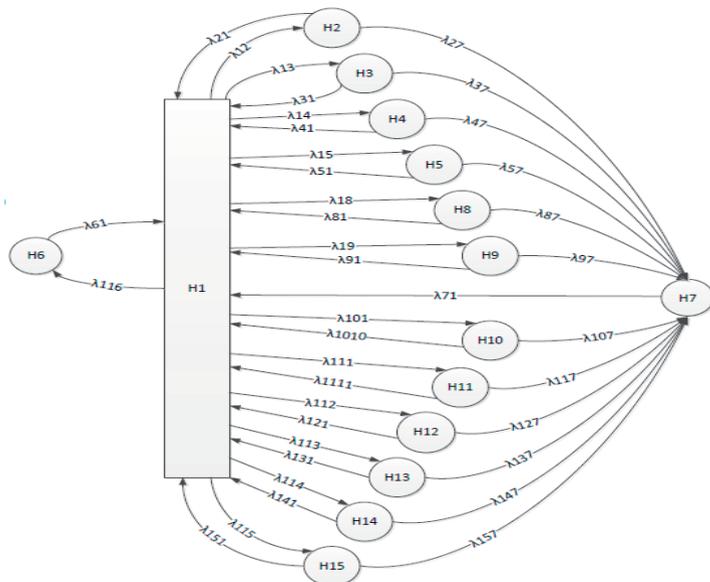


Рис. 2. Граф состояний при слабосвязанной схеме интеграции

– H₇ – состояние СНСП, при котором навигационная информация, выдаваемая потребителю, не удовлетворяет техническим требованиям и не может обеспечить точный заход на посадку, но вследствие необнаруженных отказов принято решение о том, что получаемая навигационная информация соответствует техническим требованиям точного захода на посадку по I категории ИСАО.

Для численного моделирования были использованы следующие характеристики надёжности бортового оборудования системы навигации и посадки [5]:

– интенсивности отказов: $\lambda_{12} - 3.65 \times 10^{-5}$; $\lambda_{13} - 17 \times 10^{-5}$; $\lambda_{14} - 3 \times 10^{-5}$; $\lambda_{15} - 1.3 \times 10^{-5}$; $\lambda_{18} - 3 \times 10^{-5}$; $\lambda_{19} - 4.4 \times 10^{-5}$; $\lambda_{101} - 4.4 \times 10^{-5}$; $\lambda_{111} - 1.3 \times 10^{-5}$; $\lambda_{112} - 1.3 \times 10^{-5}$; $\lambda_{113} - 6.7 \times 10^{-5}$; $\lambda_{114} - 0.6 \times 10^{-5}$; $\lambda_{115} - 1.3 \times 10^{-5}$;

– интенсивность ложных отказов: $\lambda_{16} - 1 \times 10^{-8}$;

– интенсивности необнаруженных отказов: $\lambda_{27}, \lambda_{37}, \lambda_{47}, \lambda_{57}, \lambda_{87}, \lambda_{97}, \lambda_{107}, \lambda_{117}, \lambda_{127}, \lambda_{137}, \lambda_{147}, \lambda_{157} - 5 \times 10^{-1}$;

– интенсивности восстановления: $\lambda_{21}, \lambda_{31}, \lambda_{41}, \lambda_{51}, \lambda_{81}, \lambda_{91}, \lambda_{1010}, \lambda_{1111}, \lambda_{121}, \lambda_{131}, \lambda_{141}, \lambda_{151} - 3600$;

– интенсивность восстановления после ложных отказов: $\lambda_{81} - 0$;

– интенсивность восстановления после необнаруженных отказов: $\lambda_{91} - 0$.

На основе графа (рис.2) составлена система дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} = & -P_1(t) \cdot (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14} + \lambda_{15} + \lambda_{16} + \lambda_{18} + \lambda_{19} + \lambda_{101} + \lambda_{111} + \lambda_{112} + \\ & + \lambda_{113} + \lambda_{114} + \lambda_{115}) + P_2(t) \cdot \lambda_{21} + P_3(t) \cdot \lambda_{31} + P_4(t) \cdot \lambda_{41} + P_5(t) \cdot \lambda_{51} + P_6(t) \lambda_{61} + \\ & + P_7(t) \cdot \lambda_{71} + P_8(t) \cdot \lambda_{81} + P_9(t) \cdot \lambda_{91} + P_{10}(t) \cdot \lambda_{1010} + \end{aligned}$$

$$+P_{11}(t) \cdot \lambda_{1111} + P_{12}(t) \cdot \lambda_{121} + P_{13}(t) \cdot \lambda_{131} + P_{14}(t) \cdot \lambda_{141} + P_{15}(t) \cdot \lambda_{151};$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{12} - P_2(t) \cdot (\lambda_{21} + \lambda_{27});$$

$$\frac{dP_3(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{13} - P_3(t) \cdot (\lambda_{31} + \lambda_{37});$$

$$\frac{dP_4(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{14} - P_4(t) \cdot (\lambda_{41} + \lambda_{47});$$

$$\frac{dP_5(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{15} - P_5(t) \cdot (\lambda_{51} + \lambda_{57});$$

$$\frac{dP_6(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{16} - P_6(t) \cdot \lambda_{61};$$

$$\frac{dP_7(t)}{dt} = P_2(t) \cdot \lambda_{27} + P_3(t) \cdot \lambda_{37} + P_4(t) \cdot \lambda_{47} + P_5(t) \cdot \lambda_{57} - P_7(t) \cdot \lambda_{71} + P_8(t) \cdot \lambda_{87} + P_9(t) \cdot \lambda_{97} +$$

$$+ P_{10}(t) \cdot \lambda_{107} + P_{11}(t) \cdot \lambda_{117} + P_{12}(t) \cdot \lambda_{127} + P_{13}(t) \cdot \lambda_{137} + P_{14}(t) \cdot \lambda_{147} + P_{15}(t) \cdot \lambda_{157};$$

$$\frac{dP_8(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{18} - P_8(t) \cdot (\lambda_{81} + \lambda_{87}); \quad (1)$$

$$\frac{dP_9(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{19} - P_9(t) \cdot (\lambda_{91} + \lambda_{97});$$

$$\frac{dP_{10}(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{101} - P_{10}(t) \cdot (\lambda_{1010} + \lambda_{107});$$

$$\frac{dP_{11}(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{111} - P_{11}(t) \cdot (\lambda_{1111} + \lambda_{117});$$

$$\frac{dP_{12}(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{112} - P_{12}(t) \cdot (\lambda_{121} + \lambda_{127});$$

$$\frac{dP_{13}(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{113} - P_{13}(t) \cdot (\lambda_{131} + \lambda_{137});$$

$$\frac{dP_{14}(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{114} - P_{14}(t) \cdot (\lambda_{141} + \lambda_{147});$$

$$\frac{dP_{15}(t)}{dt} = P_1(t) \cdot \lambda_{115} - P_{15}(t) \cdot (\lambda_{151} + \lambda_{157}).$$

Для вычисления показателя целостности, вероятностей ложного и необнаруженного отказов воспользуемся следующими формулами [6]:

$$\begin{aligned} \zeta(t) &= \frac{P_1(t)}{P_1(t) + P_6(t) + P_7(t)}; \\ \alpha(t) &= \frac{P_6(t)}{P_1(t) + P_6(t) + P_7(t)}; \\ \beta(t) &= \frac{P_7(t)}{P_1(t) + P_6(t) + P_7(t)}. \end{aligned} \quad (2)$$

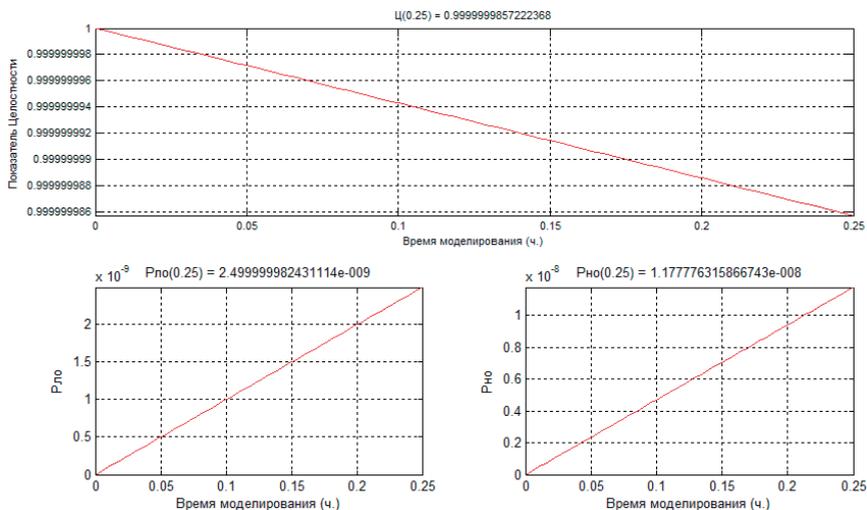


Рис. 3. Графики зависимостей: а – показателя целостности от времени; б – $P_1(t)$; в – $P_0(t)$

Решение системы уравнений (1) и уравнений (2) производилось при помощи разработанного программного обеспечения. В качестве начальных условий использовались данные приведенные в табл. 1, время моделирования $t = 15$ мин., начальные условия вероятностей: $P_1(t) = 1$, $P_i(t) = 0$, $i = 2..15$. Результаты моделирования представлены на рис. 3 в виде графиков и численных значений.

Для *слабосвязанной* схемы показатель целостности $\zeta(t)$ уменьшается со временем от 1 до 0.99999997872223678, что удовлетворяет требованиям I и II категориям ICAO. Вероятность ложного отказа возрастает со временем и на конец моделирования равна $2.499999982431114 \times 10^{-9}$. Вероятность необнаруженных отказов также возрастает со временем и равна $1.17776315866743 \times 10^{-8}$.

Граф сильносвязанной схемы интеграции будет отличаться от приведенного графа отсутствием состояний H_{11}, H_{12} . Результаты моделирования, показатель целостности уменьшается со временем от 1 до 0.99999998662388656. Вероятность ложного отказа возрастает со временем, на момент 15 мин., равен $2.49999998353687 \times 10^{-9}$. Вероятность необнаруженного отказа так же возрастает со временем до значения $1.08761135682712 \times 10^{-8}$.

Граф глубоко интегрированной схемы комплексирования будет отличаться от приведенного графа отсутствием состояния $H_{11}, H_{12}, H_{10}, H_9$. Были получены следующие показатели при моделировании, показатель целостности уменьшается со временем с 1 до 0.9999999509551851. Вероятность ложного отказа возрастает со временем до значения $2.34999996468945 \times 10^{-9}$. Вероятность необнаруженного отказа так же возрастает со временем до $7.25448145228926 \times 10^{-9}$.

По результатам моделирования можно сделать вывод: степень интеграции оказывает качественное влияние на показатель целостности и на вероятности α, β . Так показатель целостности увеличивается на 9.90165×10^{-9} для сильносвязанной схемы интегрирования, и на 1.63733×10^{-8} для глубоко интегрированной схемы по сравнению с показателем целостности для слабосвязанной интеграции. Вероятность ложного отказа увеличивается на 1.10576×10^{-18} для сильносвязанной схемы, для глубоко интегрированной схемы на 1.50000×10^{-10} по сравнению с показателем для слабосвязанной схемы интегрирования.

Вероятность необнаруженного отказа уменьшается для сильносвязанной схемы на $-1.07261e-008$, а для глубоко интегрированной схемы на $7.10448e-009$ по сравнению с показателем для слабосвязанной схемы интеграции.

Проводилась оценка изменения показателя целостности, Рло, Рно при наработке изделия 30 т. ч. и 60 т. ч. (*интенсивности отказов брались исходя из реальных статистических данных*), с целью показать, способна ли данная система удовлетворять всем требованиям которые к ней предъявляются. При наработке 30 т. ч. показатель целостности уменьшился на $7.64049e-009$ для слабосвязанной схемы, для сильносвязанной на $7.05557e-009$ и для глубоко интегрированной на $6.74961e-009$ по сравнению с начальными условиями. Вероятность ложного отказа почти не изменилась для всех схем. Вероятность необнаруженного отказа увеличивается на $7.64049e-009$ для слабосвязанной схемы, для сильносвязанной на $7.05557e-009$ и для глубоко интегрированной на $6.74961e-009$ по сравнению с начальными условиями. При наработке 60 т. ч. показатель целостности уменьшился на $2.02375e-008$ для слабосвязанной схемы, для сильносвязанной на $1.86882e-008$ и для глубоко интегрированной на $1.78778e-008$ по сравнению с начальными условиями. Вероятность ложного отказа почти не изменилась для всех схем. Вероятность необнаруженного отказа увеличивается на $2.02375e-008$ для слабосвязанной схемы, для сильносвязанной на $1.86882e-008$ и для глубоко интегрированной на $2.5132324782113e-008$ по сравнению с начальными условиями.

Библиографический список

1. Целостность навигационного поля / Экспертный журнал о спутниковой навигации «ИСНС». Вып. 4, 2009.
2. Соловьев Ю. А., Системы спутниковой навигации // М.: Эко-Трендз, 2000. 267 с.
3. Степанов О. А., Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации. Сборник статей и докладов // СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2001. 235 с.
4. Анучин О. Н., Емельянцева Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов // СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2003. 390 с.
5. Никитин В. Г., Иванов Ю. П., Чернов В. Ю. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов: учеб. пособие // СПб.: ГУАП, 2004. 96 с.
6. Иванов Ю. П., Никитин В. Г. и др. Метод оценки целостности спутниковой навигационной системы / Известия вузов России Радиоэлектроника, 2006. Вып. 5. СПб. С. 69–77.
7. Шаронова И. А., Анализ влияния степени интеграции инерциально-спутниковой системы на целостность // Шестьдесят третья студенческая научно-техническая конференция ГУАП: СПб., докл. в 2х частях. Ч.1 –технические науки / СПб.: ГУАП, 2010. 63–69 с. // СПб.: ГУАП, 2010. 443 с.

УДК 004.922

С. А. Клёчкин – студент кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

П. С. Виноградов – научный руководитель

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОТОБРАЖЕНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ

Формирования 3D-сцены и её отображение на индикаторе пилота необходимо для лучшего восприятия информации об окружающей обстановке. Для формирования 3D-сцены были даны следующие требования:

- разрешение картинки 700×585 пикселей;
- частота кадров 25 Гц.;
- цветность 24 бит.

Существует несколько методов формирования 3D-сцены. Первый называется Методом Гуро. Им можно получить сглаженное изображение. Для того чтобы изобразить объект методом построчного сканирования, нужно в соответствии с моделью освещения рассчитать интенсивность каждого пиксела вдоль сканирующей строки. Нормали к поверхности аппроксимируются в вершинах многоугольников. Однако сканирующая строка не обязательно проходит через вершины многоугольника (рис. 1). При закраске Гуро сначала определяется интенсивность вершин многоугольника, а затем с помощью билинейной интерполяции вычисляется интенсивность каждого пиксела на сканирующей строке [1].

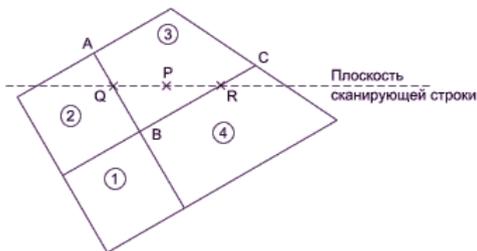


Рис. 1

Рассмотрим, например, участок полигональной поверхности на рис. 1. Значение интенсивности в точке Р определяется линейной интерполяцией интенсивности в точках Q и R. Для получения интенсивности в точке Q — пересечении ребра многоугольника со сканирующей строкой — нужно линейной интерполяцией интенсивностей A и B найти $IQ = uA + (1 - u)B$, $0 \leq u \leq 1$, где $u = AQ/AB$. Аналогично для получения интенсивности R линейно интерполируются интенсивности в вершинах B и C, то есть $IR = wB + (1 - w)C$, $0 \leq w \leq 1$, где $w = BR/BC$. Наконец, линейной интерполяцией по строке между Q и R находится интенсивность P, то есть $IP = tIQ + (1 - t)R$, $0 \leq t \leq 1$, где $t = QP/QR$ [2].

Значения интенсивности вдоль сканирующей строки можно вычислять инкрементально. Для двух пикселей в $t1$ и $t2$ на сканирующей строке

$$IP2 = t2IQ + (1 - t2)R$$

$$IP1 = t1IQ + (1 - t1)R$$

Вычитая, получим, что вдоль строки

$$IP2 = IP1 + (IQ - IR)(t2 - t1) = IP1 + DIDt$$

Проблема метода: такой метод интерполяции обеспечивает лишь непрерывность значений интенсивности вдоль границ многоугольников, но не обеспечивает непрерывности изменения интенсивности.

Другая проблема: если нормали к вершинам вычислить усреднением нормалей к многоугольникам, то они будут одинаково ориентированы, то есть интенсивность в этих точках будет равной. При линейной интерполяции значение интенсивности получится постоянным, и поверхность на данном участке будет выглядеть плоской.

Закраска Гуро лучше всего выглядит в сочетании с простой моделью с диффузным отражением, так как форма бликов при зеркальном отражении сильно зависит от выбора многоугольников, представляющих объект или поверхность. [1]

Следующий метод называется метод Фонга. При закраске Гуро вдоль сканирующей строки интерполируется значение интенсивности, а при закраске Фонга – вектор нормали. Затем он используется в модели освещения для вычисления интенсивности пиксела. При этом достигается лучшая локальная аппроксимация кривизны поверхности и, следовательно, получается более реалистичное изображение. В частности, правдоподобнее выглядят зеркальные блики.

Хотя метод Фонга устраняет большинство недостатков метода Гуро, он тоже основывается на линейной интерполяции. Поэтому в местах разрыва первой производной интенсивности заметен эффект полос Маха, хотя и не такой сильный, как при закраске Гуро. Однако, иногда этот эффект проявляется сильнее у метода Фонга, например для

сфер. Кроме того, оба метода могут привести к ошибкам при изображении невыпуклых многоугольников.

Также возникают трудности, когда любой из этих методов применяется при создании последовательности кинокадров. Например, закраска может значительно изменяться от кадра к кадру. Это происходит из-за того, что правило закраски зависит от поворотов, а обработка ведется в пространстве изображения. Поэтому, когда от кадра к кадру меняется ориентация объекта, его закраска (цвет) тоже изменяется, причем достаточно заметно. Было предложен метод закраски Гуро и Фонга, инвариантный относительно поворота.

Алгоритм, использующий z-буфер. Главное преимущество алгоритма – его простота. Кроме того, этот алгоритм решает задачу об удалении невидимых поверхностей и делает тривиальной визуализацию пересечений сложных поверхностей. Сцены могут быть любой сложности. Поскольку габариты пространства изображения фиксированы, оценка вычислительной трудоемкости алгоритма не более чем линейна. Поскольку элементы сцены или картинки можно заносить в буфер кадра или в z-буфер в произвольном порядке, их не нужно предварительно сортировать по приоритету глубины. Поэтому экономится вычислительное время, затрачиваемое на сортировку по глубине.

Основной недостаток алгоритма – большой объем требуемой памяти. Если сцена подвергается видоному преобразованию и отсекается до фиксированного диапазона координат z значений, то можно использовать z-буфер с фиксированной точностью. Информацию о глубине нужно обрабатывать с большей точностью, чем координатную информацию на плоскости (x, y); обычно бывает достаточно 20 бит. Буфер кадра размером 700×585×24 бит в комбинации с z-буфером размером 700×585×20 бит требует почти 2 гигабайт памяти. Однако снижение цен на память делает экономически оправданным создание специализированных запоминающих устройств для z-буфера и связанной с ним аппаратуры.

Альтернативой созданию специальной памяти для z-буфера является использование для этой цели оперативной памяти. Уменьшение требуемой памяти достигается разбиением пространства изображения на 4, 16 или больше квадратов или полос. В предельном варианте можно использовать z-буфер размером в одну строку развертки. Для последнего случая имеется интересный алгоритм постстрочного сканирования. Поскольку каждый элемент сцены обрабатывается много раз, то сегментирование z-буфера, вообще говоря, приводит к увеличению времени, необходимого для обработки сцены. Однако сортировка на плоскости, позволяющая не обрабатывать все многоугольники в каждом из квадратов или полос, может значительно сократить этот рост.

Другой недостаток алгоритма z-буфера состоит в трудоемкости и высокой стоимости устранения лестничного эффекта, а также реализации эффектов прозрачности и просвечивания. Поскольку алгоритм заносит пиксели в буфер кадра в произвольном порядке, то нелегко получить информацию, необходимую для методов устранения лестничного эффекта, основывающихся на предварительной фильтрации. При реализации эффектов прозрачности и просвечивания пиксели могут заноситься в буфер кадра в некорректном порядке, что ведет к локальным ошибкам.

Хотя реализация методов устранения лестничного эффекта, основывающихся на префильтрации, в принципе возможна, практически это сделать трудно. Однако относительно легко реализуются методы постфильтрации (усреднение подпикселей). Напомним, что в методах устранения лестничного эффекта, основывающихся на постфильтрации, сцена вычисляется в таком пространстве изображения, разрешающая способность которого выше, чем разрешающая способность экрана.

Поэтому возможны два подхода к устранению лестничного эффекта на основе постфильтрации. В первом используется буфер кадра, заданный в пространстве изображения, разрешение которого выше, чем у экрана, и z-буфер, разрешение которого совпадает с разрешением экрана. Глубина изображения вычисляется только в центре той группы подпикселей, которая усредняется. Если для имитации расстояния от на-

блюдателя используется масштабирование интенсивности, то этот метод может оказаться неадекватным.

Во втором методе оба буфера, заданные в пространстве изображения, имеют повышенную разрешающую способность. При визуализации изображения как пиксельная информация, так и глубина усредняются. В этом методе требуются очень большие объемы памяти. Например, изображение размером 700×585×24 бита, использующее z-буфер размером 20 бит на пиксел, разрешение которого повышено в 2 раза по осям x и y и на котором устранена ступенчатость методом равномерного усреднения, требует почти 6,5 мегабайт памяти [2].

На данный момент реализован на практике алгоритм использующий z-буфер, т.к. он очень прост в реализации и достаточно эффективен. Пример отображения 3D-сцены представлено на рис. 2.

Использование данного алгоритма происходило по следующей схеме: Сначала считывалось значение z-буфера из памяти, далее вычислялся цвет пикселя, после вычисленный цвет записывался в память устройства вывода изображения. За счёт такой схемы были достигнуто время выполнения итераций: чтение 17 нс, расчёт 20 нс, запись 10 нс.

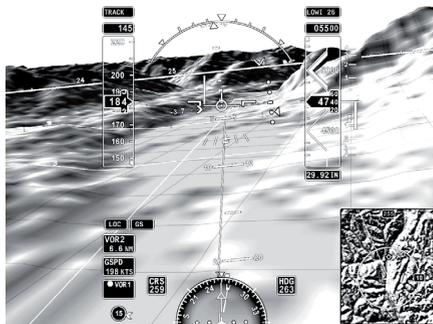


Рис. 2

Библиографический список

1. Шикин Е. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения: учебно-справочное издание. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996. 288 с.
2. Дональд Херн, М. Паулин Бейкер Компьютерная графика и стандарт OpenGL. М.: Вильямс, 2005. 1168 с.

УДК 621.391.14

А. П. Козионов – студент кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СПЕКТРАЛЬНО-МАРКОВСКОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Рассматривается метод адаптивной фильтрации сигнала, основанный на теореме ортогонального проецирования. Метод не требует знания модели полезного сигнала. На интервале наблюдения зашумленный сигнал раскладывается в ряд Фурье до числа значимых коэффициентов ряда. Фильтрация полученных после преобразования Фурье квазидетерминированных колебаний позволяет снизить время адаптации оператора фильтрации.

Модель измерения дискретного сигнала:

$$Y_j = X_j + H_j, \quad (1)$$

где Y – вектор измерений; X – вектор полезного сигнала; H – вектор помехи; j – настоящий момент времени.

Рассмотрим спектрально-марковскую модель измерения.

Представление сигнала в виде ряда на интервале в виде ряда Фурье:

$$Y_j = \sum_{w=1}^N C_W^j \cdot \Psi_w(j), \quad (2)$$

где C – коэффициенты ряда; Ψ – ортонормальный базис; w – номер гармоники; j – момент времени.

Коэффициенты ряда определяются из следующего соотношения:

$$C_W^j = \sum_{i=1}^T Y_i \cdot \Psi_w^*(i), \quad (3)$$

где T – интервал разложения, Ψ^* – комплексно сопряженная к базису функция.

Запишем спектральное представление C_Y вектора измерений Y :

$$C_Y^{j,j-k} = \left\| C_{Y1}^j \dots C_{Ym}^j \cdot \hat{C}_{X1}^{j-1} \dots \hat{C}_{Xm}^{j-1} \cdot \hat{C}_{X1}^{j-k} \dots \hat{C}_{Xm}^{j-k} \right\|^T, \quad (4)$$

где m – номер гармоники разложения, j – момент времени, k – предполагаемый порядок марковости; \hat{C}_{X1}^{j-1} – оценка первого коэффициента по моменту времени $j-1$.

Из соотношения (4) видно, что результаты измерения представлены в виде набора коэффициентов и их оценок в предыдущие моменты времени.

Как известно, оптимальная оценка по критерию минимума среднего квадрата ошибки в классе линейных оценок для рассматриваемой дискретной модели измерения определяется следующим выражением (2):

$$\hat{C}_X^{j,j-k} = A^{j,j-k} \times \hat{C}_Y^{j,j-k}, \quad (5)$$

где $A^{j,j-k}$ – оператор фильтрации, в момент времени j , полученный по моментам времени от j до $j-k$.

$$A^{j,j-k} = \hat{M}[C_X^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] \cdot \hat{M}[C_Y^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T]^{-1}, \quad (6)$$

где матрицы $\hat{M}[C_X^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T]$ и $\hat{M}[C_Y^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T]$ определяются следующим образом:

$$\hat{M}[C_X^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] = \hat{M}[C_X^{j-1,j-k-1} \cdot (C_Y^{j-1,j-k-1})^T] + \frac{1}{j} \{ M[C_Y^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] - KH - \hat{M}[C_X^{j-1,j-k-1} \cdot (C_Y^{j-1,j-k-1})^T] \}, \quad (7)$$

$$KH_{i,j} = \begin{cases} 2\pi c^2, & i = j < m, \\ 0 & \end{cases} \quad (8)$$

где c^2 – интенсивность белого шума.

$$\hat{M}[C_Y^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] = \hat{M}[C_Y^{j-1,j-k-1} \cdot (C_Y^{j-1,j-k-1})^T] + \frac{1}{j} \{ C_Y^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T - \hat{M}[C_Y^{j-1,j-k-1} \cdot (C_Y^{j-1,j-k-1})^T] \}, \quad (9)$$

Для оценки качества спектрально-марковской адаптивной фильтрации запишем соотношения (10) и (11):

$$\hat{M}[C_E^{*j,j-k} \cdot (C_E^{*j,j-k})^T] =$$

$$= A^{j,j-k} \hat{M}[C_Y^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] (A^{j,j-k})^T - A^{j,j-k} \hat{M}[C_X^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] - \hat{M}[C_X^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] (A^{j,j-k})^T + \hat{M}[C_X^{j,j-k} \cdot (C_X^{j,j-k})], \quad (10)$$

где $C_E^* = \hat{C}_X - C_X$ – ошибка адаптивной оценки спектральных компонент.

$$\hat{M}[C_E^{*j,j-k} \cdot (C_E^{*j,j-k})^T] = \hat{M}[C_X^{j,j-k} \cdot (C_X^{j,j-k})^T] - A^{j,j-k} \cdot \hat{M}[C_Y^{j,j-k} \cdot (C_Y^{j,j-k})^T] \cdot (A^{j,j-k})^T, \quad (11)$$

Соотношения (10) и (11) позволяют оценить качество фильтрации спектральных коэффициентов и определить момент окончания адаптации, когда ошибка оценки E сойдется к допустимой ошибке оценки $C_{Est} \pm \delta$, где δ устанавливает ширину допустимых отклонений C_E от C_{Est} . Блок-схема работы алгоритма адаптивной спектрально-марковской фильтрации на рис. 1.

Алгоритм адаптивной спектральной-марковской фильтрации (АСМФ) и алгоритм адаптивной фильтрации во временной области, описанный в работе [3] (АФ) сравниваются между собой, а так же с фильтром Калмана (ФК) и со спектральной фильтрацией (СФ).

Под спектральной фильтрацией подразумевается оценка сигнала, полученная в результате аппроксимации сигнала рядом Фурье до двух значимых коэффициентов.

Сравнение алгоритмов будем производить по эффективности фильтрации. Под эффективностью фильтрации понимается отношение среднеквадратического отклонения (СКО) помехи к СКО ошибки оценки.

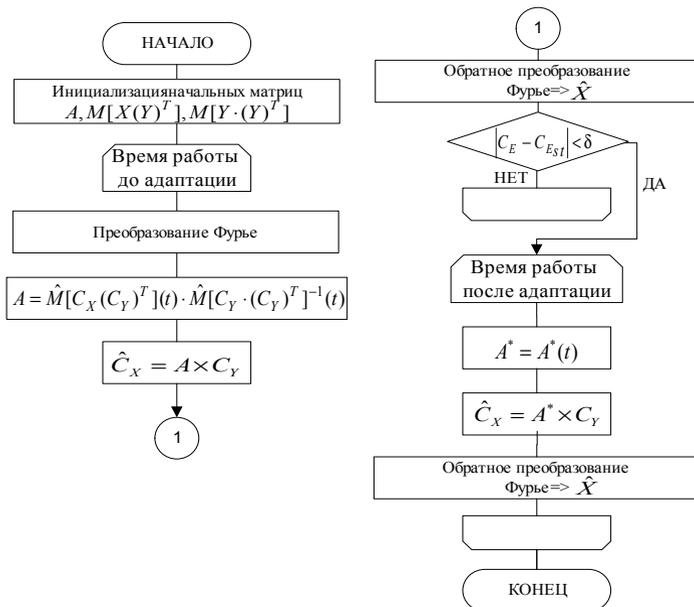


Рис. 1. Блок-схема работы алгоритма адаптивной спектрально-марковской фильтрации

Параметры моделирования:

- полезный сигнал – марковский процесс первого порядка с корреляционной функцией $K_x(\tau) = \sigma_x^2 e^{-|\tau|\alpha}$;
- спектральное разложение сигнала производится до двух значимых коэффициентов;
- помеха – дискретный белый шум и коррелированная помеха (корреляционная функция: $K_H(\tau) = \sigma_H^2 e^{-|\tau|\alpha_H}$, $\alpha_H = 1 \text{ с}^{-1}$);
- величина дискретизации сигнала по времени: 0.2 с;
- диапазон изменения соотношения «сигнал/шум» 2...0.25;
- диапазон изменения параметра α полезного сигнала: 0.05...0.5 с^{-1} ;
- время адаптации – вхождение алгоритма по точности в 25% зону от наивысшей точности.

Результаты моделирования приведены при изменении соотношения «сигнал/шум» ($\alpha = 0.05 \text{ с}^{-1}$) приведены на рис. 2, при изменении параметра α («сигнал/шум» = 1) полезного сигнала на рис. 3.

Из графиков на рисунках 2 и 3 видно, что алгоритм адаптивной спектрально-марковской фильтрации незначительно уступает фильтру Калмана (при соотношении «сигнал/шум» от 2 до 0.4). Примечателен тот факт, что в отличие от фильтра Калмана, алгоритм не требует знания модели полезного сигнала. Адаптивная спектрально-

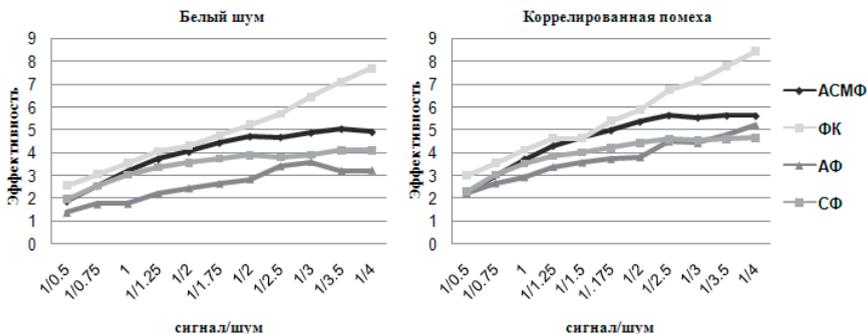


Рис. 2. Зависимости эффективности фильтрации алгоритмов от соотношения «сигнал/шум» для белого шума и коррелированной помехи

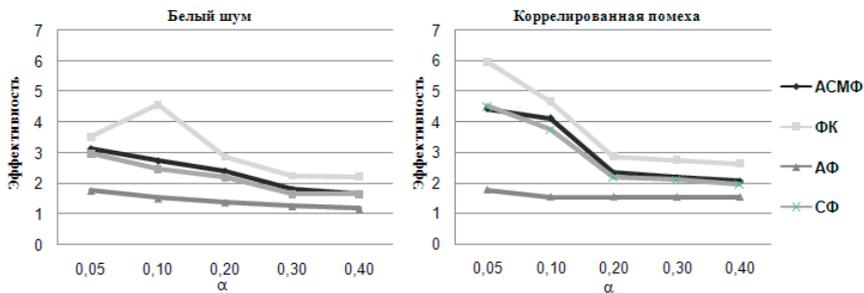


Рис. 3. Зависимости эффективности фильтрации алгоритмов от изменения параметра α полезного сигнала для белого шума и коррелированной помехи

марковская фильтрация превосходит по эффективности алгоритм спектральной фильтрации и алгоритм оптимальной адаптивной фильтрации.

Алгоритм обеспечивает устойчивую фильтрацию в широком диапазоне отношения «сигнал/шум». При заданных параметрах моделирования эффективность фильтрации в случае коррелированной помехи выше, чем в случае белого шума. Для фильтрации белозумной коррелированной помех использовался один алгоритм, что говорит об универсальности метода.

Если для алгоритма адаптивной оптимальной фильтрации время адаптации [3] составляло от 1000 до 10000 дискретов, то при адаптивной спектрально-марковской фильтрации время адаптации не превышает 1000 дискретов. Связанно это с предварительным отбрасыванием высокочастотных коэффициентов спектрального разложения, которые затягивают время адаптации.

По результатам проведенного исследования алгоритма спектрально-марковской адаптивной фильтрации можно сделать следующие выводы:

- алгоритм не требует априорной информации о полезном сигнале;
- алгоритм обеспечивает устойчивую фильтрацию в широком диапазоне отношения «сигнал/шум»;
- алгоритм позволяет адаптивно оценивать точность фильтрации;
- по сравнению с адаптивным оптимальным алгоритмом во временной области:
 - уменьшается время адаптации,
 - увеличивается эффективность фильтрации;
- спектральное разложение сигнала обеспечивает приемлемую, но неоптимальную фильтрацию;
- адаптивная спектрально-марковская фильтрация эффективнее спектральной фильтрации, основанной преобразования Фурье;
- универсальность алгоритма для случая белозумной и коррелированной помехи.

Дальнейшие работы будут направлены на исследование фильтрации нестационарных сигналов и на исследование алгоритма, формализующего процедуру выбора числа спектральных коэффициентов, до которых следует осуществлять разложение Фурье.

Библиографический список

1. Репин В. Г., Тартаковский Г. П. Статистический синтез при априорной неопределённости и адаптации информационных систем. М.: Советское радио, 1977.
2. Огарков М. А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990.
3. Иванов Ю. П. Метод адаптивной комплексной оптимально-инвариантной фильтрации// Приборостроение. 2003. № 3. С. 3–9.

УДК 62.5

Е. В. Панфилов – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Р. Н. Малаханов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОТОЙ ПОЛЕТА САМОЛЕТА

Современный уровень развития промышленности требует комплексного подхода при разработке систем автоматического управления техническими объектами. Это обусловлено, с одной стороны, необходимостью повышения качества управления при минимальных затратах на создание и эксплуатацию систем, с другой стороны – усложнением структуры объекта управления, функций, выполняемых им, и, как следствие,

увеличением факторов неопределённости, которые необходимо учитывать для управления объектом.

Математический аппарат, используемый в традиционных методах автоматического управления, не всегда в полной мере может удовлетворить нуждам современного производства. Поэтому в последнее время находят широкое распространение так называемые «мягкие вычисления», основной принцип которых заключается в обеспечении приемлемого (не обязательно оптимального) качества управления в условиях неопределённости при относительно невысоком уровне затрачиваемых ресурсов. К мягким вычислениям в настоящее время относят такие информационные технологии, как экспертные системы, нейронные сети, нечеткие системы, генетические алгоритмы и ряд других. В их основе лежит попытка некоторой формализации деятельности головного мозга человека и функционирования живых организмов. Метод нечеткой логики позволяет достаточно просто и удобно математически описать экспертные знания человека-оператора.

Перед автором была поставлена задача произвести синтез нечеткого регулятора для управления высотой полета самолета, исследовать систему при заданных задающих воздействиях и определить качественные характеристики переходных процессов.

В задаче управления высотой ЛА на вход регулятора будут поступать действительное и желательное значения высоты ($H_{зад}$), а на выходе регулятора будем получать угол отклонения рулей высоты ЛА.

В качестве режима полета выбран полет на высоте $H_{нач} = 4000$ м с числом $M = 0.65$ ¹. Коэффициенты для данного режима для легкого самолета приведены в табл. 1.

Таблица 1

n_B	n_{22}	n_{32}	n_{33}	n_0	C_1	C_2
24,5	2,66	10,63	1,69	0,59	4,94	15,13

Модель самолета представлена в виде передаточных функций углов тангажа и атаки по углу отклонения руля высоты (Равенства (1), (2) соответственно).

$$\frac{v}{\delta_B} = \frac{-n_B(p + n_{22})}{p(p^2 + C_1p + C_2)}, \quad (1)$$

$$\frac{\alpha}{\delta_B} = \frac{-n_B}{p^2 + C_1p + C_2}. \quad (2)$$

На основании (3) была получена передаточная функция угла наклона траектории по углу отклонения руля высоты, откуда, зная скорость, можно судить о вертикальном перемещении самолета.

$$\dot{h} = v + \alpha \quad (3)$$

На основании эмпирических знаний автора были формализованы термины входных и выходной лингвистических переменных, сформирована таблица правил, а также выбраны виды импликации и агрегации. Диапазоны переменных в регуляторе были выбраны с учетом необходимого быстродействия. Характеристика синтезированного регулятора приведена на рис. 1.

¹ Боднер В. А., Козлов М. С. Стабилизация летательных аппаратов и автопилоты. – М.: «Оборонгиз», 1961. – 508 с.

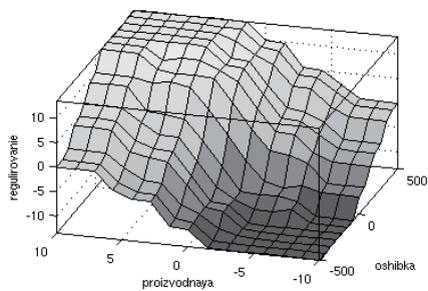


Рис. 1. Зависимость выходного сигнала регулятора от входных переменных

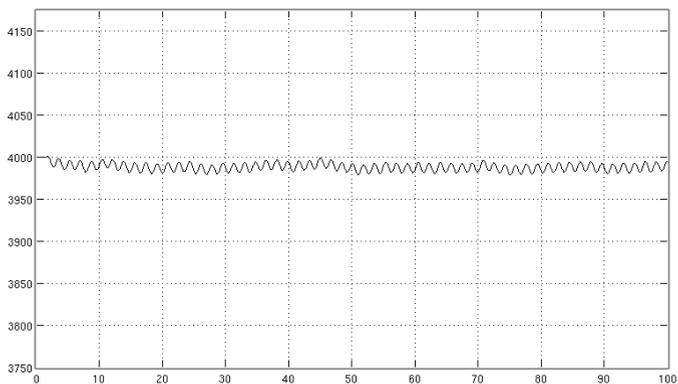


Рис. 2. Переходная характеристика при $N_{зад} = N_{нач}$

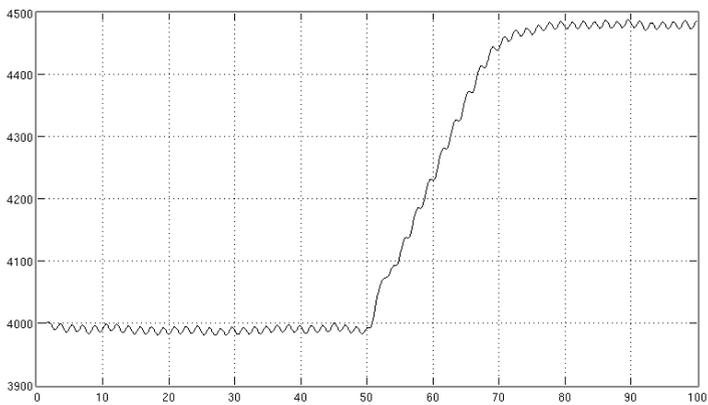


Рис. 3. Переходная характеристика при скачке $N_{зад}$ на 500, м

Полученная система, состоящая из линеаризованной модели самолета и нечеткого регулятора, была исследована при воздействии $N_{зад} = N_{нач}$ (рис. 2) и при скачке $N_{зад}$ на 500, м (рис. 3).

Судя по графикам, можно говорить о наличии устойчивости в системе. При скачкообразном воздействии отсутствует перерегулирование, время переходного процесса порядка 20, с. К недостаткам можно отнести наличие ошибки, достигающей 15 м и осцилляций в системе. Обе эти проблемы автор считает возможным решить более точной настройкой регулятора.

Можно заключить, что метод нечеткой логики позволил на основании экспертных данных весьма просто синтезировать качественный регулятор для управления высотой полета самолета.

УДК629.7.018.3

Г. А. Подшивалов – студент кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

А. П. Ласточкин – научный руководитель

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАДИОВЫСОТОМЕРА ДЛЯ АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

Авиационный тренажер (АТ) – тренажер для освоения летным составом в наземных условиях образцов авиационной техники, повышения квалификации, исследований и подготовки к полетам [1].

Он эффективно способствует приобретению навыков полета и обладает рядом достоинств позволяющих:

1) авиакомпаниям сэкономить денежные средства на летной подготовке экипажей;

2) эффективно отрабатывать действия при внештатных ситуациях;

3) имитировать боевую обстановку в военной авиации.

Различают специализированные, комплексные и процедурные АТ.

Специализированные тренажеры предназначены для тренировки в выполнении одного или нескольких отдельных этапов (элементов) полета, например для отработки действий по заправке топливом в полете, действий в аварийной обстановке, и т. д.

Комплексные тренажеры позволяют летчикам (экипажам) отрабатывать свои действия во всем диапазоне режимов полета конкретного самолета (вертолета). Они выполнены в виде кабины летательного аппарата (ЛА), оборудованы системами визуализации и подвижности и позволяют полностью имитировать полет. Однако такие тренажеры занимают много пространства, имеют высокую стоимость, и ряд учебных заведений не может себе их позволить.

Процедурные тренажеры служат для обучения летного состава работе с отдельными элементами оборудования самолета. Они не имеют систему подвижности, зачастую имеют упрощенную систему визуализации, а кабины оборудованы имитаторами приборов. Возможность их реконфигурации, по сравнению с комплексными тренажерами, гораздо выше, а стоимость ниже. Однако и они являются довольно дорогостоящими и вопрос об их расширении и реконфигурации нетривиален.

Для работы всех АТ требуются сведения об истинной высоте полета. Определение истинной высоты полета самолета осуществляет один из важнейших приборов – радиовысотомер.

Радиовысотомер – это прибор ЛА, предназначенный для определения истинной высоты полета [2].

Принцип работы радиовысотомера на ЛА заключается в следующем: передатчик, закрепленный на ЛА, генерирует короткие импульсы ультравысокой частоты, длительностью 0.5 мкс, которые излучаются передающей антенной по направлению к земле. Отраженные от земли высокочастотные импульсы улавливаются приемной антенной и поступают в приемник. Также, на вход приемника поступает «прямой» высокочастотный импульс непосредственно с передатчика. Схема производит определение времени между «прямым» и отраженным импульсами. Определение высоты происходит по формуле

$$H = \frac{tc}{2},$$

где H – истинная высота полета, t – время, за которое импульс, испущенный с передатчика, доходит до земли и возвращается обратно, c – скорость распространения электромагнитных волн.

Принцип имитации радиовысотомера на тренажере представлен на рис. 1.

Процесс обработки данных при имитации полета идет по обратному пути, нежели шел на реальном ЛА. Теперь в нашем распоряжении имеется база данных высоты рельефа. Эти данные являются входными параметрами для системы работы с рельефом, куда, также поступают данные от имитатора динамики полета о координатах, и система, обрабатывая их, возвращает значение истинной высоты.

Существует множество вариаций форматов файлов, хранящих данные о высоте рельефа, наиболее распространенным форматом является SRTm, включающий расширение файлов *.dem и *.hgt. Также, используются форматы Dted, Ded и другие.

Рассмотрим файл формата *.hgt. Один такой файл охватывает площадь, размером 1x1 градус, такой квадрат представляется матрицей размером 1201x1201 элементов (пикселей). Данные являются простым 16 битным растром, значение каждого пикселя является высотой над уровнем моря в данной точке, а в точки, о высоте которых нет данных, заносится значение 32768. Первые семь символов файла соответствуют координате юго-западного угла блока, с N, S, E, W, ссылаясь на север, Юг, Восток и Запад. Таким образом, файл «N34W119.hgt» охватывает 34-35 Севера и долготы Западной. Используемые данные были получены в ходе радарной топографической съемки с космического шаттла Endeavour и скомпонованы. Также, необходимо отметить, что существуют и другие способы получения данных о высоте рельефа, например обработка топографической карты с использованием файла привязки,

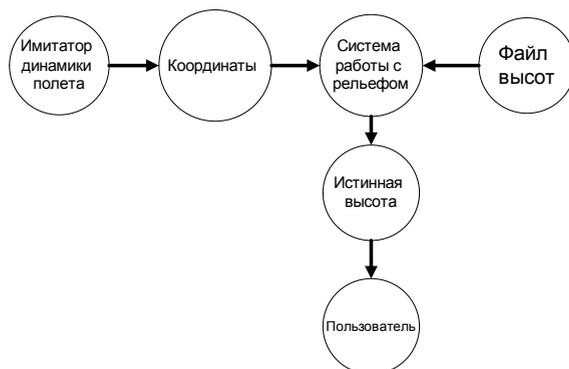


Рис. 1. Принцип имитации радиовысотомера на АТ

который содержит сопоставления пикселей растрового изображения и географических координат, соответствующих им на реальной местности.

В процессе обучения летного состава важным этапом является переход от теории к практике и от практики к тренировкам на тренажерах и ЛА. Для обеспечения плавного перехода от практики к тренингу представляется эффективным применение виртуального тренажера (ВТ).

ВТ по своей структуре наиболее близок к классу процедурных тренажеров, его отличительной особенностью является возможность воспроизведение на обыкновенном персональном компьютере. Учитывая стоимость процедурных тренажеров, а также сложность их реконфигурации, ВТ выгодно отличается от них, и фактор компактности и доступности способствует широкому распространению такого тренажера в соответствующие заведения, в т. ч. учебные.

Такой тренажер включает в себя имитатор динамики полета, имитаторы различных приборов и имитатор визуальной обстановки. Также сохраняется возможность для внедрения различных нововведений.

Имитатор динамики полета в нашем виртуальном тренажере реализуется при использовании системы OpenEaagles [3].

OpenEaagles – это каркас для построения имитационных приложений, в частности, заточенный под построение авиационных симуляторов. Представляет собой набор библиотек, написанных на C++. Для того, чтобы приложение было более модульным и настраиваемым, разработчики используют свой собственный язык описания настроек, он называется EDL (Eaagles Discription Language). Все построение системы отображения информации можно осуществлять на нем, а затем подключить к программе имитации.

Пакет OpenEaagles включает в себя следующие основные библиотеки:

- Basic (Фундамент системы, содержит классы для решения математических задач, навигационных, протоколы передачи данных и др.);
- BasicGL (Обеспечивает работу с графикой – создание дисплея, обработку нажатий от кнопок, рисование графических примитивов, вывод текста);
- Instruments (Набор классов для отображения базовых индикаторов/указателей);
- Simulation (Логика работы всей имитационной программы, включает большой набор различных классов для взаимодействия всей системы в целом);
- другие библиотеки для отображения карт, динамики полета, работу с джойстиком, библиотеку передаточных функций.

Работа приложения OpenEaagles представлена на рис. 2.

В данном примере мы реализуем имитацию радиовысотомера для самолета Ан-148. В качестве исполняемого файла будем использовать NanoFlightSim.exe.

NanoFlightSim (NFS) – это компактный авиасимулятор, который использует основные возможности OpenEaagles, и позволяет имитировать маршрутный полет на выбранном типе самолета.



Рис. 2. Схема работы приложения OpenEaagles

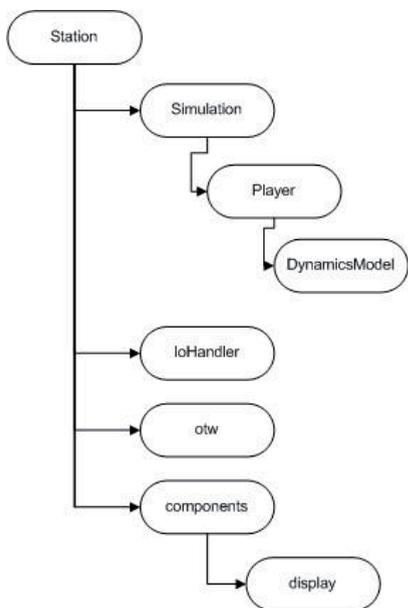


Рис. 3. Обобщенная схема конфигурационного файла



Рис. 4. Работа программы имитации

Обобщенная схема конфигурационного файла представлена на рис. 3.

На рис. 3 приняты следующие обозначения: Station – объект, управляющий процессом имитации; Simulation – компонент содержащий набор участвующих игроков и начальные условия имитации (опорная точка), может содержать базу данных рельефа; players – компонент, содержащий список игроков, может содержать только одного действующего игрока, также ботов и сетевых игроков; DynamicsModel – компонент, в котором указывается путь для файла, содержащего модель динамики полета; ioHandler – компонент, осуществляющий описание устройства ввода-вывода – тип, каналы, зона нечувствительности, усилитель; otw – компонент, содержащий сведения о сетевом протоколе передачи параметров полета; components – другие компоненты станции, в частности, display – в котором располагаются индикаторы и другие графические объекты.

Работа программы представлена на рис. 4.

При запуске, для создания имитационного окружения симулятора, NFS использует конфигурационный файл An-148.edl. При запуске исполняемого файла, считывается структура симуляции из конфигурационного файла и создается набор динамических объектов, которые используют внешние ресурсы, такие как файлы аэродинамических моделей, текстуры, шрифты и т. п. Затем инициализируется основное окно приложения и начинается имитация.

Таким образом, мы познакомились с общими принципами создания виртуальных тренажеров.

Недостатком виртуального тренажера является существенное конструктивное отличие имитаторов приборов от реальных. Поэтому, эффективным представляется его применение на первых этапах обучения летного состава.

При этом виртуальный тренажер, построенный с применением каркаса OpenEagles, обладает рядом достоинств:

- 1) основан на свободно распространяемом программном обеспечении;
- 2) кроссплатформенный;
- 3) высокая модульность и расширяемость;
- 4) использование характеристик реальных самолетов на основе данных файлов аэродинамических моделей.

Библиографический список

1. ГОСТ 21659-76 Тренажеры авиационные. Термины и определения, 2010 г., 11 с.
2. Кузьмичев С. П., Яценков Л. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1971. 111 с.
3. <http://openeaagles.org>

УДК629.7.018.3

Ю. Г. Поздняков – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В. Я. Мамаев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

**СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ
ЗНАНИЙ ОПЕРАТОРА-НАВИГАТОРА**

Процесс обучения можно трактовать как процесс управления усвоением знаний. На рис. 1 представлена схема процесса обучения. Известно, что наиболее эффективной в обучении является последовательность: знания – умения – навыки. Это связано с иерархической структурой концептуальной модели и модели деятельности человека в целом, где на верхнем уровне находятся знания, среднем – умения, нижнем – навыки.

Курс теоретического обучения, формирующий знания, умственные возможности и навыки, должен предшествовать практическому обучению, закрепляющему теоретические знания и формирующему практические умения и навыки.

Четкой границей между теоретической и практической подготовками нет, и первая должна плавно переходить во вторую. Однако, как отмечают исследователи [1, 2], «между тренажерной и летной практическими подготовками летчиков и традиционной теоретической их подготовкой наблюдается разрыв. Внедрение автоматизированных обучающих систем и компьютеризация теоретического обучения предназначены для ликвидации этого разрыва».

Основными действующими лицами в процессе обучения являются обучаемый – объект управления, и преподаватель – субъект управления. Основной объем знаний, обучаемый должен получать в результате самостоятельной работы, при этом, роль преподавателя должен взять на себя компьютер. Ставится задача разработки системы адаптивного тестирования знаний, оператора-навигатора [3, 4]. Адаптивное тестирование предполагает, что выбор следующего задания зависит от ответа обучаемого на предыдущий вопрос, и что при достижении обучаемым одного из некоторого множества заключительных состояний процедура тестирования заканчивается.

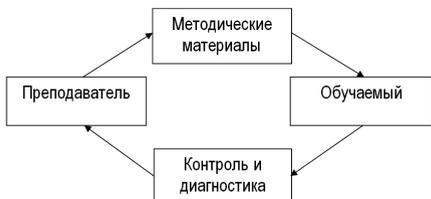


Рис. 1. Процесс обучения

Тестовый контроль имеет целый ряд преимуществ:

- эффективность как в процессе обучения при самостоятельной работе, так и в ходе диагностики знаний на всех этапах обучения;
- объективность в оценке знаний;
- экономия времени преподавателя;
- высокая степень дифференциации тестируемых по уровню знаний;
- возможность индивидуализации процесса обучения;
- прогнозирование темпа и результата обучения;
- возможность выявления структуры знаний каждого студента для дальнейшего изменения методики обучения.

Тестовый контроль имеет еще одно очень важное преимущество. Без особых затрат времени он позволяет опросить всех обучаемых по всем разделам учебного курса [3; 4].

В дальнейшем алгоритм процесса обучения будет строиться на основе 5-ой главы «Учет влияния ветра на полет ЛА по маршруту» [5].

Рассмотрим общую часть алгоритма процесса обучения (рис. 2).

1. Для студента, не имеющего остаточных знаний по предыдущим предметам, не имеет смысла обучение навигации, поэтому ему предлагается пройти входной тест, в рамках которого будут определены его остаточные знания.

2. На первом этапе студенту выдаётся учебный материал для 1-го параграфа, 5-ой главы (т.к. в этой главе излагаются, базовые основополагающие понятия в данной предметной области и поэтому мы пытаемся проверить на её основе процесс обучения).

3. После того, как студент прошёл обучение, ему предлагается пройти промежуточное тестирование по 1-ому параграфу.

4. Для остальных параграфов пункты 2 и 3 повторяются.

5. После прохождения студентом обучения всему материалу 5-й главы ему предлагается итоговый тест.

Приведённые в итоговом тесте задачи, должны охватывать все типы заданий, пройденных на этапе обучения.

6. Итогом прохождения обучающей программы является оценка, по которой можно судить об уровне знаний студента. Оценивание проводится с помощью весов от 0 до 25 баллов, в зависимости от сложности заданий. Но результирующая оценка ставится по 4-х балльной шкале. При неудовлетворительной оценке студенту будет выдана ссылка на соответствующий методический материал, который в процессе обучения был рассмотрен недостаточно, что в результате отразилось на конкретном тестировании. После изучения соответствующего материала студенту будет повторно предложено пройти данное тестирование.

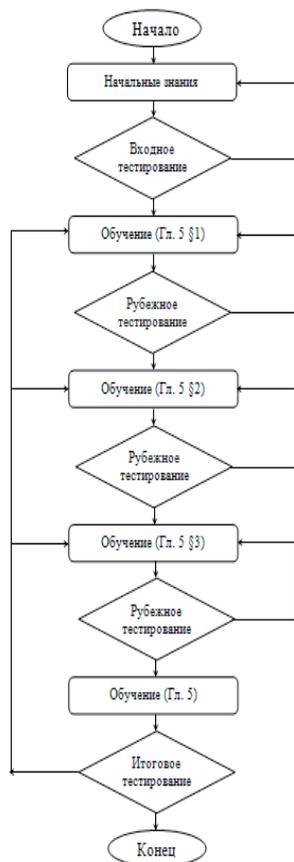


Рис. 2. Обобщенный алгоритм тестирования

7. Процесс обучения предназначен для выработки навыков решения навигационных задач, которые впоследствии будут применяться студентами при обучении на тренажёре.

8. Для перехода к следующему этапу обучения, студент должен уметь решать все типы навигационных задач.

Рассмотрим подробнее алгоритм процесса обучения (рис. 2).

1. Алгоритм тестирования для входного теста. Входной тест представляет собой набор заданий по предыдущим предметам. В тесте используются задания закрытого типа, с выбором одного правильного ответа для облегчения задачи студента. Тестирование начинается с предположения, что обучаемый имеет средний уровень подготовки.

2. Алгоритм тестирования для рубежных тестов. Рубежное тестирование проводится после изучения материала каждого параграфа.

Тест включает в себя три основные формы заданий [3, 4]:

- тестовые задания закрытой формы предполагают выбор правильного ответа из нескольких вариантов, причем один (или несколько) из них правильный, а остальные нет;

- тестовые задания открытой формы оставляют выбор формулировки ответа за самим студентом. К заданиям открытой формы относятся тестовые задания двух видов: свободного изложения и дополнения. В заданиях на дополнения от студента ожидается ответ в форме пропущенного ключевого слова, которое необходимо вписать студенту;

- тестовые задания на соответствия предполагают выявления обучаемым в процессе тестирования соответствия между элементами двух множеств.

Основным критерием адаптации является сложность заданий (т. к. выбор следующего задания зависит от ответа обучаемого на предыдущий вопрос).

Сложность – это характеристика, применимая к любой системе. Общее понятие об уровне сложности системы может касаться, в частности, таких систем, как предмет задачи, задачная система или формулировка задачи. Мы, однако, говоря об уровне сложности задачи, имеем в виду сложность не какой-либо из этих систем, а реального или предполагаемого процесса решения задачи.

Сложность заданий устанавливается средняя [6]. В соответствии с полученной сложностью студенту выдаётся 1-ое задание рубежного теста. При правильном ответе увеличивается сложность заданий, при неправильном ответе соответственно уменьшается.

Ниже рассмотрен пример адаптивного тестирования знаний.

В каждом тесте, кроме итогового, у обучаемого есть возможность получать подсказки. Но при каждом нажатии на кнопку подсказки, вес правильного ответа уменьшается.

Подсказки в тесте использованы для указания правильных ответов, что будет способствовать наиболее быстрому обучению.

3. Алгоритм тестирования для итогового теста. Тест состоит только из задач открытого типа для усложнения задачи студента.

Итоговый тест должен представлять собой последовательность задач, возникающую перед штурманом в реальном полёте. Подсказки в этом тесте не используются, в остальной процедура тестирования сходна с рубежными тестами.

Пример адаптивного тестирования знаний

Для определения сложности построена семантическая сеть (рис. 3), на основе 5-ой главы [5].

Семантическая сеть представляет собой связный ориентированный мультиграф $G(C, E)$, вершинами которого являются концепты множества C , а дугами – отношения множества R [2].

Очевидные соображения подсказывают, что граф, имеющий больше вершин или ребер, является более сложным.

Входными концептами называются понятия, используемые в данном курсе, но не определенные в нем (табл. 1). Входные понятия курса будем также называть первичными понятиями.

Внутренними концептами называются концепты, определенные в данном курсе и используемые для определения других концептов того же курса (табл. 2).

Выходными концептами называются концепты, определенные в данном курсе и не используемые для определения других концептов того же курса (табл. 3) [6].

Таблица 1

Входные концепты

Концепт	Прямая сложность $t(c)$	Супермножество $M_{\text{вых}}(c)$
M1	1	M9
M2	2	M11, M21
M3	3	M9, M11, M15
M4	2	M18, M19
M5	1	M10
M6	1	M10
M7	1	M13
M8	1	M14

Таблица 2

Внутренние концепты

Концепт	Прямая сложность $t(c)$	Субмножество $M_{\text{вх}}(c)$	Супермножество $M_{\text{вых}}(c)$
M9	3	M1, M3	M12
M10	5	M5, M6	M12, M13, M14
M11	3	M2, M3	M20
M12	5	M9, M10	M15, M16, M17
M16	2	M12	M18
M17	2	M12	M19
M18	4	M4, M16	M20, M22
M19	3	M4, M17	M21
M21	3	M2, M19	M22

Таблица 3

Выходные концепты

Концепт	Прямая сложность $t(c)$	Субмножество $M_{\text{вх}}(c)$
M13	2	M7, M10
M14	2	M8, M10
M15	2	M3, M12
M20	2	M11, M18
M22	2	M18, M21

Определим меру прямой сложности концепта как степень (валентность) соответствующей вершины мультиграфа $G(C, E)$. Обозначим прямую сложность концепта как $m(c)$:

$$m(c) = d(c).$$

Таким образом, концепт, связанный с большим количеством других концептов, позиционируется как более сложный.

Важными мерами сложности концепта являются его субмножество и супермножество [6]. Субмножество концепта – это все те понятия, которые надо предварительно изучить, чтобы усвоить данный концепт.

Супермножество концепта – это все понятия, которые нельзя изучить, не усвоив данный концепт. Отметим, что первичные понятия курса не имеют субмножества и у выходных концептов курса отсутствуют супермножества.

Порядок субмножества концепта обозначим как $M_{вх}(c)$, а порядок супермножества – $M_{вых}(c)$. Назовем глобальной сложностью понятия с сумму порядков его субмножества и супермножества:

$$M(c) = M_{вх}(c) + M_{вых}(c).$$

Субмножество и супермножество концепта представляют собой деревья, поэтому дополнительной мерой сложности концепта являются высоты этих деревьев. Обозначим высоту субмножества как $h_{вх}(c)$ и высоту супермножества как $h_{вых}(c)$. Отметим, что высота и порядок субмножества являются мерами сложности понятия, а вот порядок

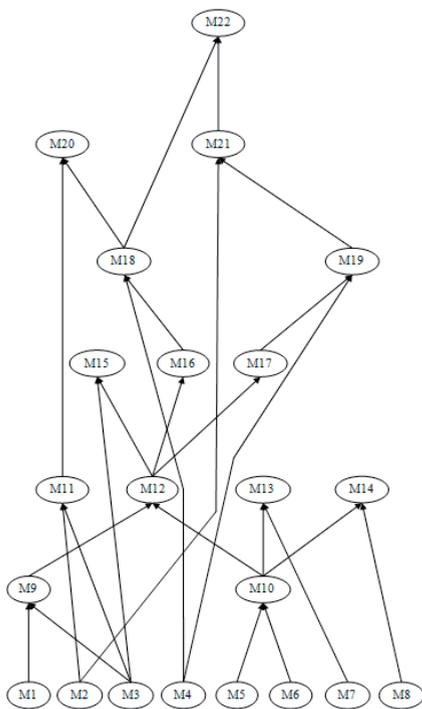


Рис. 3. Семантическая сеть: M1 – Курс (γ); M2 – Воздушная скорость (V); M3 – Угол сноса (λ); M4 – Скорость ветра (U); M5 – Направление ветра (δ); M6 – 180° ; M7 – Магнитное склонение (ΔM); M8 – Азимутальная поправка (ΔA); M9 – Путьевой угол (β); M10 – Истинное направление ветра ($\delta_{ин}$); M11 – $V\cos\gamma C$; M12 – Угол ветра (ϵ); M13 – Магнитное направление ветра ($\delta_{нм}$); M14 – Условное направление ветра ($\delta_{нл}$); M15 – Курсовой угол ветра (ψ); M16 – $\cos\gamma B$; M17 – $\sin\gamma B$; M18 – Продольная составляющая скорости ветра ($U_{пр}$); M19 – Боковая составляющая скорости ветра ($U_{б}$); M20 – $U^2/2V$; M21 – Путьевая скорость (W); M22 – Эквивалентный ветер (U_{ϵ})

и высота супермножества могут служить мерами важности концепта: чем объемнее у концепта супермножество, тем более важным является концепт при изучении курса.

Далее на основе этих концептов определяем параметры графа [6].

Параметры графа:

1. Количество входных понятий = 8 (1).
2. Количество внутренних понятий = 9 (2).
3. Количество выходных понятий = 5 (3).
4. Количество понятий в графе = (1) + (2) + (3) = 22.
5. Количество ребер = 26.
6. Диаметр графа = 6.
7. Количество уровней = 7.

Таким образом, благодаря сложности, обеспечивается наилучшая адаптация для каждого конкретного обучаемого.

Библиографический список

1. Шукшунов В. Е. и др. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1986.
2. Красовский А. А. Основы теории авиационных тренажеров. М.: Машиностроение, 1995.
3. Чельшкова М. Б. Разработка педагогических тестов на основе современных математических моделей: учебн. пособие // М.: Логос, 1995.
4. Змитрович А. И. Интеллектуальные информационные системы. М.: НТООО «ТетраСистемс», 1997. 368 с.
5. Мамаев В. Я., Синяков А. Н., Петров К. К., Горбунов Д. А. Воздушная навигация и элементы самолётовождения: учебн. пособие. СПб., 2002
6. Лаптев В. В. Модель предметной области и оценка ее сложности в обучающей системе по программированию // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. № 2.

УДК 629.7.036.001.2(082)

Е. В. Приходько – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю.П. Иванов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Традиционные методы нахождения достоверности недостижения случайным марковским процессом заданных границ на основе решения уравнений Фоккера–Планка–Колмогорова и Стратоновича–Кушнера обладают рядом недостатков. К наиболее существенным недостаткам можно отнести то, что для получения аналитических решений поставленных задач предъявляются жёсткие требования к граничным условиям и виду случайных процессов, решения получаются в виде плохо сходящегося ряда с коррелированными коэффициентами и отсутствует оценка точности полученных результатов [1].

В работе рассматривается спектральный метод оценки априорной достоверности невыхода навигационных параметров за пределы поля допуска на финитном интервале времени в случае, когда известны законы распределения навигационных параметров. Знание априорной достоверности позволяет прогнозировать возникновения опасной навигационной ситуации и предпринять соответствующие меры по повышению безопасности полёта летательного аппарата [2].

Основная идея метода состоит в замене с оцениваемой точностью приближения случайного процесса, являющегося моделью навигационного сигнала, квазидетерминированным процессом на основе использования частичной суммы разложения по ортогональному базису, в частности, ряда Карунена-Лоэва и замены области допустимых значений для случайного процесса соответствующей областью допустимых значений для коэффициентов ряда представления сигнала. Оценка достоверности невыхода рассматриваемого навигационного процесса определяется вероятностью недостижения коэффициентами спектрального разложения стационарного случайного процесса допустимой области [3].

$$X(t) = \sum_{k=1}^N C_k \Psi_k(t), \quad (1)$$

где C_k – нормированные значения коэффициентов ряда; Ψ_k – ортонормированная базисная функция; N – размерность используемого базиса.

Нормирование величин осуществляется относительно стандартного значения рассматриваемого процесса. На основании выражения (1) можно утверждать, что область G_0 допустимых значений случайных величин, полученная исходя из условия невыхода навигационного параметра за заданные границы на интервале времени прогнозирования, должна удовлетворять следующим неравенствам:

$$G_0 = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^N C_{нк} \sqrt{\lambda_{нк}} \Psi_k(t) \leq h(A\sigma_n(t) - m_{Hx}) \\ \sum_{k=1}^N C_{нк} \sqrt{\lambda_{нк}} \Psi_k(t) \geq h(A\mu_n(t) - m_{Hx}) \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где $C_{нк}$ – нормированные значения коэффициентов ряда; $\lambda_{нк}$ – нормированные дисперсии коэффициентов ряда; h – коэффициент, учитывающий точность приближения на интервале прогнозирования; Ψ_k – ортонормированная базисная функция; m_{Hx} – математическое ожидание; $A\sigma_n$ – нормированная верхняя граница поля допуска; $A\mu_n$ – нормированная нижняя граница поля допуска.

Достоверность априорного прогнозирования невыхода навигационного параметра за пределы поля допуска на заданном интервале времени, будет определена следующим выражением:

$$D_0(T) = \frac{1}{(2\pi)^{N/2}} \int_{G_0} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \sum_{k=1}^N C_{нк}^2 \right\}, \quad (3)$$

Таким образом, для решения поставленной задачи отпадает необходимость решения уравнений Фоккера–Планка–Колмогорова и Стратоновича для заданных начальных и граничных условий, аналитические решения которых во многих случаях найти не удаётся. На основе указанного подхода можно также решать следующие задачи:

1) повышение и оценка безопасности полёта летательного аппарата (Л. А.) на основе высоко достоверного априорного и апостериорного прогнозирования его координат на выбранном интервале времени;

2) автоматизация работы диспетчера при управлении полётами Л. А.;

3) мониторинг и прогнозирование геофизических, метеорологических, радиоактивных и других опасных явлений в выбранных местах;

4) обеспечение и контроль качества технологических процессов;

5) обеспечение непрерывного автоматического контроля за состоянием пациента в больнице;

б) контроль за финансовыми процессами с целью повышения безопасности работы банков.

На основе проведённого моделирования были получены результаты, которые подтвердили эффективность метода спектральной оценки интервальной достоверности прогноза случайного процесса. Зависимости теоретических и практических достоверностей от изменения поля допуска A представлены на (рис. 1).

Зависимости достоверности D_{0A} от изменения сформированного интервала времени aT для различных симметричных полей допусков представлены на (рис. 2).

Анализ результатов моделирования показал, что для выше перечисленных условий область G_0 определяется N – мерным ромбом. Ошибка аппроксимации снижается при уменьшении значений нормированного времени наблюдения, при возрастании значе-

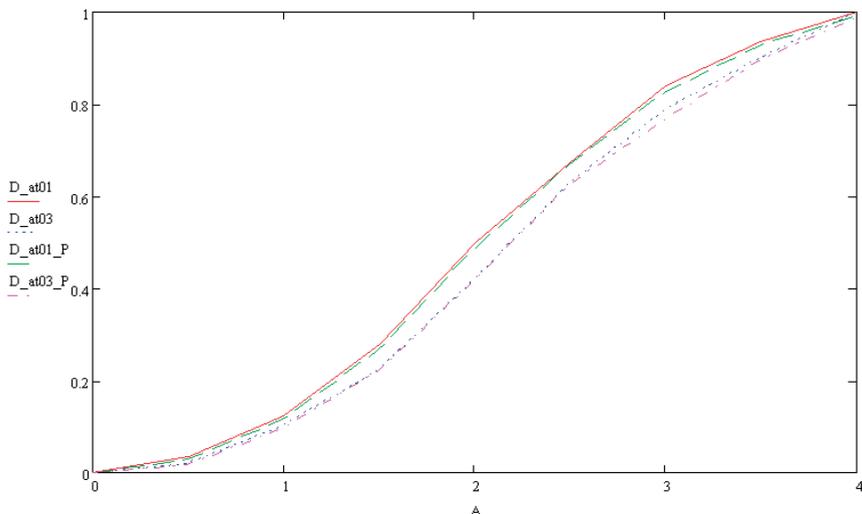


Рис.1 Зависимости теоретических D_{at} ($at=0.1, at=03$) и практических D_{at_P} ($at=0.1, at=03$) достоверностей от изменения поля допуска A

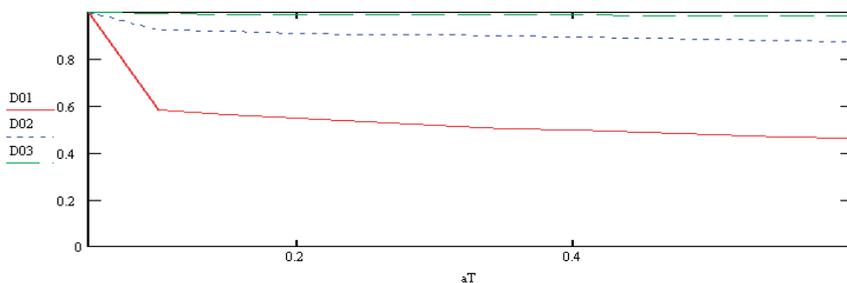


Рис. 2. Зависимости достоверности D_{0A} ($A=1, A=2, A=3$) от изменения сформированного интервала времени aT

ний нормированного поля допуска и размерности спектра аппроксимирующей модели случайного процесса.

Достоинства данного метода:

- простота реализации;
- возможность решать задачу в случае нестационарности и в случае переменных границ поля допуска;
- возможность для широкого ряда корреляционных функций случайных процессов, в качестве стандартного базиса использовать базис Карунена–Лоэва для скалярного марковского стандартного случайного процесса.

Библиографический список:

1. Иванов Ю. П., Бирюков Б. Л. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем: учебн. пособие. СПб.: СПбГУАП, 2008. 160 с.;
2. Френк К. Л. Теория сигналов. М.: Советское Радио, 1974. 343 с.;
3. Чернов В. Ю., Никитин В. Г., Иванов Ю. П. Надежность авиационных приборов и измерительно-вычислительных комплексов: учебн. пособие. СПб.: СПбГУАП, 2004. 96 с..

УДК 501

Т. С. Скуридина – студентка кафедры техносферной безопасности
С. И. Буралев (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

НАНОРОБОТЫ – ТРИУМФ ИЛИ ТРАГЕДИЯ ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА?

В настоящее время все чаще можно услышать приставку нано: нанотехнологии, наноматериалы, нанороботы... Сфера нанотехнологий считается во всем мире ключевой темой для технологий XXI века. Возможности их применения в таких областях как производство полупроводников, медицина, сенсорная техника, экология, автомобилестроение, строительные материалы, биотехнологии, химия, авиация и космонавтика, машиностроение несут в себе огромный потенциал роста. Применение продукции нанотехнологий, в частности нанороботов, позволит сэкономить на сырье и потреблении энергии, сократить выбросы в атмосферу, проводить мониторинг и очистку окружающей среды, диагностику и лечение любых болезней, включая старение, устранение дефектов в организме больного путем управляемых нанохирургических вмешательств, перестройку организма «по заказу»; изготовление сверхпрочных конструкций, изучение и освоение космоса и др. Предполагается, что уже в скором будущем нанотехнологии произведут революцию во многих областях науки и техники и прочно войдут в жизнь каждого человека. Но так ли безоблачно и безопасно внедрение нанотехнологий в жизнь?

Для начала необходимо разобраться что же представляют из себя нанотехнологии. Нанотехнологии можно определить как набор технологий или методик, основанных на манипуляциях с отдельными атомами и молекулами в масштабах 0,001–100 нм [1].

Мир наноструктур чрезвычайно интересен, в действительности все объекты можно и нужно изучать на разных пространственных масштабах. Дело в том, что свойства различных объектов, кристаллов, аморфных веществ в макроскопических размерах от метра до одной миллионной метра (до микрона) практически одинаковы. Оптические свойства, электрические, тепловые – не меняются. Но если мы переходим к размеру, скажем, десятков нанометров, то здесь появляется удивительное свойство – все эти перечисленные качества начинают зависеть от размера. Эти свойства становятся

функцией размера. Причем, радикальным образом меняются оптические свойства, с точки зрения химии, каталитическая активность. И появляется новая степень свободы: изменять качество веществ не за счет химического состава, т.е. композиции, а за счет изменения размера [2].

Нанотехнологии можно условно разделить на технологии, основанные на использовании наноматериалов, и на технологии, направленные на развитие нанороботов. Нанороботы (наноботы, наниты) – роботы, созданные из наноматериалов и размером сопоставимые с молекулой. Они должны обладать функциями движения, обработки и передачи информации, исполнения программ. Нанороботы должны уметь осуществлять двустороннюю коммуникацию, реагировать на акустические сигналы и быть в состоянии подзарядиться или перепрограммироваться извне посредством звуковых или электрических колебаний. Также важными представляются функции репликации – самосборки новых нанитов и программируемого самоуничтожения, когда среда работы, например, человеческое тело, более не нуждается в присутствии в нем нанороботов. В последнем случае нанороботы должны распадаться на безвредные быстровыводимые компоненты. Предполагается, что в будущем переставляя атомы, нанороботы смогут самовоспроизводиться, создавать из произвольного материала любые предметы и так далее: изменениям могут подвергаться практически любые – как органические, так и неорганические вещества. В конечном итоге нанороботы посредством манипуляций с молекулами смогут создать любой предмет.

Нанороботов условно разделяют на два вида: способных конструировать что-либо, например, самовоспроизводиться (ассемблеры), или деконструировать, разбирать (дисассемблеры). Молекулярные ассемблеры – основной инструмент человека для манипуляций в наном мире. Другие определения описывают наноробота как машину, способную точно взаимодействовать с наноразмерными объектами или способной манипулировать объектами в наномасштабе. Вследствие этого, даже крупные аппараты, такие как атомно-силовой микроскоп можно считать нанороботами, так как он производит манипуляции объектами на наном уровне. Кроме того, даже обычных роботов, которые могут перемещаться с наноразмерной точностью, можно считать нанороботами.

Нанороботы – это, в первую очередь, механические устройства. В этой связи можно говорить о наномеханике. Главной характеристикой любого робота является наличие механической части – валов, цепных, ременных и фрикционных передач. Из фуллеренов, нанотрубок, наноконусов, и других аналогичных структур могут быть собраны молекулы в форме разнообразных нанодеталей – зубчатых колес, штоков, деталей подшипников и других узлов, роторов молекулярных турбин, подвижных узлов манипуляторов и т. д. [3]. Движение может передаваться с помощью валов, ременных и фрикционных передач, собранных из атомов углерода. Фрикционные, цепные и другие передачи сложнее реализуются в наном мире. Фрикционные передачи, вероятно, вообще невозможны, т.к. они используют при передаче движения посредника – силу трения. В мире нанотехнологий, где все подогнано до атома, сила трения скольжения будет минимальной, и не сможет передавать движения. Искусственно созданные поверхности с шероховатостями будут действовать, скорее, как зубчатые нанопередатчи. Таким образом, фрикционные передачи в наномасштабах приобретают вид зубчатых. Для обеспечения вращения какого-либо вала, необходимо его зафиксировать. Это делают с помощью подшипников качения (если внутри шарики) или скольжения (если внутри уплотнение, по которому скользит вал). В наном мире лучше обходиться вторым способом. Это связано с отсутствием того же трения скольжения. Подшипник может быть собран из атомов кремния, водорода и кислорода. Для передачи движения в макромире, как правило, используют дифференциальные передачи. В них два вала связаны через шестерни на корпусе таким образом, что сумма вращательных углов валов равны вращательным углам корпусных шестерней. В автомобиле дифференциал позволяет управлять колесами, достигая для них других углов вращения. То же самое можно реализовать и в наном мире. Для редукции (понижения) либо для мультипликации (повышения) количества оборотов вращения вала,

а также для увеличения момента, в макромире используют различные типы редукторов. Редуктор, как правило, соединяет в себе 2–3 передачи. Большинство нанороботов должны манипулировать различными объектами – от атомов до живых клеток. У макроскопических машин для подобных задач есть целый набор рабочих манипуляторов типа «рука робота». Естественно, что основная задача нанороботов будет манипулирование отдельными атомами и молекулами. Поэтому манипулятор будет должен обеспечивать точное позиционирование перемещаемых объектов с атомарной точностью. Детальных разработок подобного устройства пока нет. Вероятно, что это будет макромолекула с набором различных свободных радикалов, в так называемом «держателе инструментов». Точность позиционирования должна быть достаточной для образования между атомами различных химических связей. Этого можно добиться, используя так называемый «гибкий инструмент», присоединяющий к себе необходимый атом одной химической связью, а, затем, присоединив его на место более сильной связью, разорвать присоединяющую к инструменту. Столь гибкое функционирование наноманипулятора подразумевает высокую степень свободы.

Сборка готовых деталей в работоспособную механическую конструкцию может осуществляться с использованием СЗМ (сканирующего зондового микроскопа) или ассемблеров (самосборщиков) с прикрепленными к деталям биологическими макромолекулами, способными избирательно соединяться друг с другом [3].

В настоящее время идет разработка молекулярных двигателей – наноразмерных машин, способных осуществлять вращение при приложении к ним энергии. Главной особенностью молекулярных моторов являются повторяющиеся однонаправленные вращательные движения происходящие при подаче энергии. Для подачи энергии используются химический, световой метод, а также метод туннелирования электронов.

Кроме молекулярных двигателей, создаются также наноэлектродвигатели, сходные по конструкции с макроскопическими аналогами, проектируются двигатели, принцип работы которых основывается на использовании квантовых эффектов.

Сегодня уже предложены или разрабатываются составные части нанороботов:

- навигационные системы (для определения местонахождения и определения маршрута передвижения);
- наносенсоры (для мониторинга окружающей среды, участия в навигации и коммуникации при работе с отдельными молекулами);
- наноманипуляторы (наноактуаторы для выполнения непосредственных действий с объектом);
- устройства приема и передачи информации.

Однако ряд ученых предполагает, что для того чтобы осуществить реальное управление объектами, крайне необходимо химическое понимание происходящих явлений и, вместо манипуляторов, конвейеров и компьютеров, химическое умение использования катализаторов, реагентов и ферментов. Они противопоставляют «механическому ассемблеру» процессы так называемой самоорганизации (самосборки, самоассоциации) молекул. «Искусство» их нанотехнологий состоит в подборе гетерогенных компонент таким образом, чтобы исходные молекулы спонтанно и в нужных местах образовывали необходимые наноагрегаты без какого-либо дополнительного вмешательства извне. Необходимость во внешнем силовом воздействии и программировании перемещения молекул отпадает, так как молекулы перемещаются и взаимодействуют самостоятельно, а законы, описывающие поведение сложных молекулярных систем уже достаточно хорошо известны ученым.

Ярким примером того, что ученые уверенно овладевают искусством нанотехнологий самоорганизации, является осуществленная самосборка «молекулярных колец Борромео» – трех «переплетающихся» колец. Создание молекулярного агрегата, имеющего форму колец Борромео, представляет особую сложность, поскольку даже временное размыкание любого из трех колец мгновенно разрушает всю структуру. Однако процесс

самосборки был осуществлен. Исходными молекулярными «детальями» были шесть молекул тридентантного лиганда, шесть молекул бидентантного лиганда диамин и шесть ионов переходного металла Zn^{2+} . Прямая реакция лигандов привела бы лишь к смеси олигомерных продуктов, но в присутствии ионов цинка исходные компоненты координируются, создавая необходимое сочленение колец [4].

Молекулярная самосборка предполагает, что «инструкции» по сборке изначально заданы наборами индивидуальных параметров молекулярных «деталей», либо содержатся в характеристиках их взаимодействий.

Однако новые открытия могут иметь и негативные последствия. Во-первых, необходимо исследование поведения и перемещений наночастиц в окружающей среде и, самое главное, повлияют ли эти материалы на здоровье человека и состояние природы.

В данной связи ученые проводят исследование поведения наночастиц в атмосфере и последствия их вдыхания человеком [5]. Параллель опасений очевидна: микрочастицы обычных промышленных веществ вызывают заболевания легких: антракоз, силикоз, асбестоз, гранулему. Не станут ли столь же опасны нанозлементы?

Также существует опасность сбоя программы нанороботов. Представим себе, что в устройстве, предназначенном для разборки промышленных отходов до атомов, произойдет сбой, и оно начнет уничтожать полезные вещества биосферы, обеспечивающие жизнь людей. При этом самым неприятным может оказаться то, что это будут нанороботы, способные к самовоспроизводству (саморепликации, размножению).

В перспективе нанотехнологии могут сыграть значительную роль в решении многих проблем, связанных с охраной окружающей среды. Речь идет, в первую очередь, об использовании наноустройств в системах исследования и контроля продуктов и отходов различных химических производств, о создании новых «чистых» технологий с минимальным выходом вредных отходов производств и очистке загрязненных водоемов. В дальнейшем предполагается осуществление непрерывного контроля и обработки обширных участков окружающей среды с целью их очистки от очень мелких частиц загрязняющих веществ, содержащихся в воде (размер <300 нм) и в воздухе (<20 нм). Но необходимо также учитывать, что наноструктурные материалы могут сами вызывать загрязнение окружающей среды, угрожающей здоровью человека. Загрязнение может быть связано как с существующей техникой (например, наночастицы в выхлопных газах дизельных двигателей), так и с новыми веществами или технологическими процессами. Во многих случаях нанотехнологии представляют собой новые производственные процессы, и их потенциальная опасность для окружающей среды должна быть тщательно оценена.

Необходимо разрабатывать эффективные методы обнаружения наночастиц в природных средах (воде, воздухе и почве), разрабатывать методики определения токсичности наноматериалов и нормировать содержание различных наночастиц в окружающей среде, разрабатывать новые методы оценки воздействия на окружающую среду антропогенной деятельности. На сегодняшний день способов борьбы с «традиционным» химическим загрязнением предостаточно, что нельзя сказать о предотвращении загрязнения окружающей среды «наночастицами». Здесь «традиционные» фильтры и системы очистки абсолютно бесполезны.

В рамках различных экспериментов установлено, что нанозлементы могут легко впитывать загрязнения и распространять их в окружающей среде.

Ряд фантастов, в частности, книга «Машины Созидания» повествует о сбое в программе роботов, в силу чего они превращают всю землю в месиво из самих себя. Можно вспомнить «Непобедимый» Станислава Лемма, в котором крошечные роботы, наследие цивилизации Леры, будучи примитивными механизмами, объединяются миллионами, образуя мыслящие конструкции, готовые уничтожить человека человека с бездушным механизмом чтобы затем снова погрузиться в тысячелетний стазис. Данные взгляды не являются прерогативой фантастов, их поддерживает ряд ученых, которых в прессе иногда называют наноапокалиптиками.

Так или иначе, шаг к созданию нанороботов уже сделан и мы в очередной раз сталкиваемся с вопросом постановки формулировки: меняют ли наши нововведения нашу же жизнь, или мы сами её меняем. Сможем ли мы создать на основе наномеханики мир, свободный от голода, нужды и при этом имеющий потенциал к развитию, или придем к хаосу новых войн.

Библиографический список

1. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси: пер. с япон. А. В. Хачояна; под ред. Л. Н. Патрикеева. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний: 2-е изд. 2008. 13 с.
2. Нанороботы на страже человека / Программа «Популярная наука» с Всеволодом Твердиславовым. 2010.
3. Балабанов, В. И. Нанотехнологии. Наука будущего / В. И. Балабанов. М.: Эксмо, 2009. С. 121–122.
4. Евдокимов, И. В. Различные виды нанотехнологий – принудительная сборка атомных и молекулярных структур и самосборка нанообъектов / И. Н. Евдокимов, А. П. Лосев. М., 2008. С. 34–42.
5. Биотехнология: теория и практика / Под ред. Н. В. Загостиной, А. В. Назаренко. М.: ОНИКС, 2009. С. 382–383.

УДК621.391.266

К. С. Стратилатов – студент кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Р. Н. Малаханов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

АДАПТИВНЫЙ ШУМОПОДАВЛЯЮЩИЙ ФИЛЬТР РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ САМОЛЕТНОГО ПЕРЕГОВОРНОГО УСТРОЙСТВА

В наши дни авиакомпании владеют большим парком авиационной техники, которая нуждается в переоборудовании, но из-за большой стоимости полного обновления самолета модернизировать стараются не все системы одновременно, а по частям (блокам). В основном, востребованы блоки на современной микроразлектронной базе, совместимые с оборудованием предыдущих серий.

Идея подавления шумов посредством использования добавочного микрофона, записывающего окружающий шум не нова [1], но только сейчас это можно реализовать в современной аппаратуре на должном уровне, соблюдая массогабаритные характеристики блока.

В данной статье описан адаптивный фильтр, устанавливаемый за место блока микшера (Ми-1) [2] и позволяющий: минимизировать записываемую информацию (что приводит к более эффективному использованию бортовых носителей информации предыдущих поколений); отключить фильтр в случае, когда входной сигнал не поддается фильтрации (например, когда он сильно зашумлен или малоинформативен). Этот фильтр обеспечивает более эффективное применение уже внедренной системы РЗБН-1 (бортовой самописец, «черный ящик») [2], т.е. посредством замены одной платы улучшить характеристики бортовой регистрирующей аппаратуры, в состав которой входит Ми-1, использующей от 1 до 4 микрофонов (фильтр требует при эксплуатации более чем 1 микрофон).

Аналоги рассматриваемого фильтра

В качестве аналогов рассмотрен микшер Ми-1, который используется в системе РЗБН-1.

Аппаратные возможности РЗБН-1 позволяют получить сигнал на входе Ми-1 с диапазоном частот от 150 до 7000 Гц, на выходе Ми-1 этот диапазон сокращается до 150...3500 Гц.

В адаптивном фильтре он тоже будет сжат (т.к. фильтр адаптивный, частотный диапазон может меняться), что должно позволить записать больше двух часов, как в случае комплектации РЗБН-1 микшером Ми-1.

Так же Ми-1 не обеспечивает фильтрацию шумов, в отличие от адаптивного фильтра, который исключает низкочастотную и высокочастотную составляющую шумов.

Аппаратная составляющая

В настоящее время время для сбора и накопления в полете речевой и звуковой информации с целью расследования причин летных происшествий и предпосылок к ним используются система типа РЗБН-1. Ниже представлены основные характеристики системы:

Диапазон частот:

- речевой канал: 150–3500 Гц;
- звуковой канал: 150–6000 Гц.

Основные преимущества РЗБН-1 по сравнению с блоками предыдущих поколений:

- твердотельный накопитель информации;
- соответствие стандартам ARINC 757, ED56A, TSO-C123;
- отсутствие необходимости проведения регламентных работ в процессе эксплуатации.

В систему РЗБН-1 входит, в частности, микрофон МДМ-5, который в дальнейшем будет источником сигнала для фильтра; ниже приведены его электроакустические параметры [4]:

- номинальный диапазон рабочих частот, Гц 150...7000;
- граничный диапазон частот, Гц 40...12000 .

Устройство адаптивного полосового фильтра речевой информации

Человеческое ухо номинально слышит звуки в диапазоне от 16 до 20 000 Гц. Большинство взрослых людей не могут слышать звук частотой выше 16 кГц. Ухо само по себе не реагирует на частоты ниже 20 Гц, но они могут ощущаться через органы осязания [3].

Человеческая речь представляет собой сигнал, несущий информацию в частотном спектре от 500 Гц до 2 кГц, причем низкие частоты соответствуют басам и гласным, а высокие частоты – согласным. С учетом этих характеристик будут строиться фильтр и моделироваться возмущения на его входах.

Сигнал на входе фильтра можно описать следующей формулой:

$$y(t) = \sum_{n=0}^N A_n \cos(\omega_n t + \phi_n) + h ,$$

где A_n – амплитуда полезного сигнала; ω_n – частота полезного сигнала; ϕ_n – фаза полезного сигнала; h – аддитивная помеха.

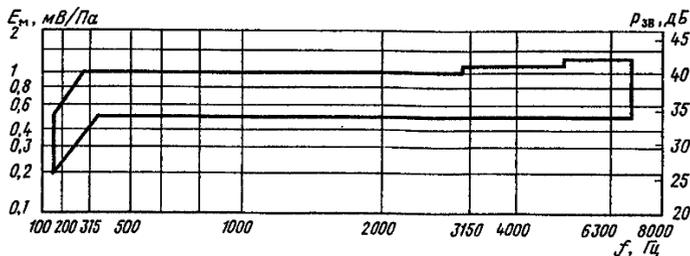


Рис. 1. Допускаемая область частотной характеристики чувствительности микрофона МДМ-5, где E_m – чувствительность микрофона; f – частота; $P_{зв}$ – давление звука

Частоты гармоник ω_n кратны частоте ω_1 , т.е. $\omega_n = n\omega_1$, где ω_1 – частота основной гармоники, период которой равен периоду сигнала T , т.е. $\omega_1 = 2\pi/T$.

Для решения поставленной задачи необходимо учесть ряд допущений: амплитуда шума в одном канале мала по сравнению с амплитудой полезного сигнала, и наоборот для звукового канала; шум – близкий по спектральным характеристикам к белому Гауссовскому шуму.

Схема фильтра (рис. 2) включает: 1–3 гарнитурные микрофоны (на рисунке обозначены как « x_1+h » и т. д.), являющиеся источниками речевой информации с шумом и 4 открытый микрофон (на рисунке обозначен как « $x' + h$ »).

На рис. 3 представлены: микрофон 1 – гарнитурный микрофон и микрофон 4 – открытый микрофон. $x + h'$ – сигнал с гарнитуры, где присутствует речь и малый по амплитуде шум и $x' + h$ – сигнал с открытого микрофона, где присутствует шум и малый по амплитуде полезный сигнал, а x является выходным сигналом фильтра. ДПФ – дискретное преобразование Фурье, $f(A)$ – блок оценки энергетических характеристик спектра (на выходе амплитуда пиков шумового сигнала), ОПФ – обратное преобразование Фурье и f – передаточная функция выходного фильтра.

Поступающий на вход сигнал с открытого микрофона проходит дискретное преобразование Фурье, сравнивается по амплитуде с ограничительной функцией и проходит обратное преобразование Фурье. Энергетические и частотные характеристики шума формирует передаточную функцию выходного фильтра (f).

На случай, если работает только один микрофон или фильтр не справляется с поставленной задачей, предусмотрена возможность выключения фильтра. В этом случае сигнал с 1–3 микрофонов идет на выходы 1–3, а с 4 микрофона сигнал идет на выход «шум» напрямую, без изменений, для возможности обработки звуковой информации

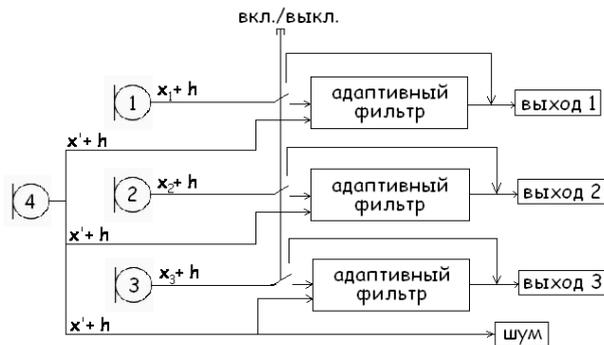


Рис. 2. Структурная схема фильтра

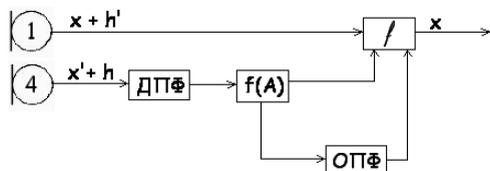


Рис. 3. Укрупненная схема 1 речевого канала АПФ

после полета. Адаптивность фильтра обеспечивается изменяемой передаточной функцией на речевом канале, что позволяет избежать потери полезной информации как в случае с фильтром разностного сигнала, что приводило к появлению эффекта «колокольного звона».

Для сравнения эффективности работы был использован простейший случай фильтра Калмана, приведена схема на рис. 4.

На рисунке 4 представлены: Y – вектор измерений; B – матрица коэффициентов усиления; A – матрица коэффициентов; X – оптимальная по среднеквадратической погрешности оценка полезного сигнала

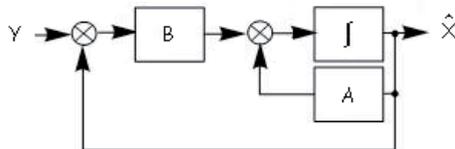


Рис. 4. Схема фильтра Калмана

Результаты моделирования

На рис. 5 представлены: y (сплошная серая) – получаемый сигнал; x (сплошная черная) – сигнал на выходе адаптивного фильтра; ok (штриховая черная) – сигнал на выходе фильтра Калмана; sp (пунктирная черная) – полезный сигнал.

Заключение

В ходе проделанной работы было произведено моделирование адаптивный шумоподавляющий фильтр речевой информации самолетного переговорного устройства в пакете Mathcad. Как видно из рисунка 5, адаптивный фильтр позволяет лучше фильтровать шум чем фильтр разностного сигнала и фильтр Калмана.

Недостаток алгоритма – для адаптации к голосу пилота требуется время, в течение которого фильтр работает со стандартными значениями, что приводит к сокращению времени регистрации речевой информации.

К достоинствам можно отнести то, что адаптивный фильтр по-прежнему сокращает записываемую информацию и качественнее подавляет шумы речевого канала.

В перспективе: разработка системы, способной распознавать речь и переводить ее в текст при помощи экстремального алгоритма и фоном, с использованием данного фильтра для предварительной обработки информации и шумоподавления.

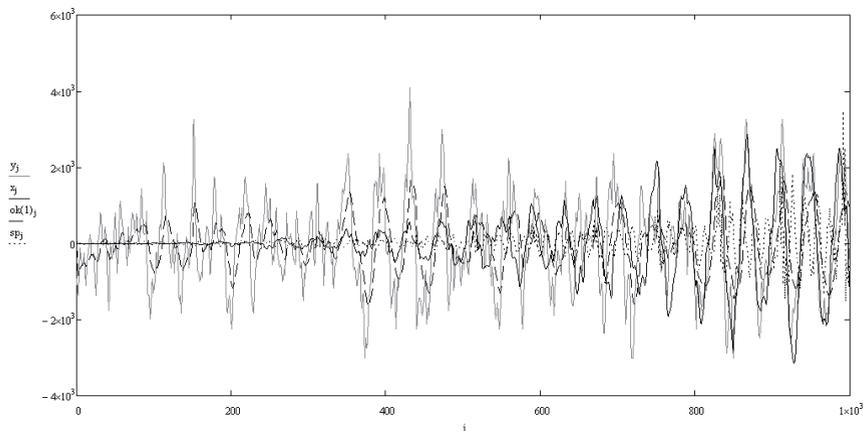


Рис. 5. Результаты моделирования

Библиографический список

1. http://www.school-for-champions.com/science/noise_cancellation.htm
2. <http://www.npo-pribor.ru/products.php?ID=32>
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%81%D0%B8%D1%85%D0%BE%D0%B0%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0>
4. Сидоров И. Н. Отечественные и зарубежные микрофоны и телефоны. Справочное пособие. М.: горячая линия Телеком, 2004. 283 С.: ил. (Массовая радиобиблиотека; Вып.1273).

УДК 629.7.054.07

К. В. Трусова – студентка кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

С. Ф. Скорина (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

**СИСТЕМА ОПОВЕЩЕНИЯ О СДВИГЕ ВЕТРА НА БАЗЕ ШТАТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ
ТИПОВОГО ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА**

Одним из опасных воздействий, которым подвергается воздушное судно (ВС), является сдвиг ветра. Под сдвигом ветра понимают интенсивное изменение скорости и/или направления ветра в пространстве. Согласно статистическим данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО) сдвиг ветра является причиной 78% всех авиационных происшествий, связанных с метеоусловиями во время взлета и захода на посадку. Кроме того, актуальность проблемы обеспечения безопасности полетов в условиях сдвига ветра в последнее время объясняется возросшей интенсивностью воздушных перевозок, снижением допустимых погодных минимумов, расширением географии полетов, что увеличивает вероятность столкновения с сильным сдвигом ветра.

Существуют различные метеорологические условия и явления, вызывающие сдвиг ветра [1]. Среди них следует выделить наиболее значимые: грозы, микропорывы, фронтальные порывы, горные волны, температурные инверсии на малых высотах, конвективная облачность, спутные вихри. Наибольшую опасность для самолёта представляют микропорывы и фронтальные порывы из-за их кратковременного воздействия и сложности обнаружения

Основная задача работы заключается в оценивании возможности использования энергетического подхода для идентификации воздействия сдвига ветра. Для этого следует провести моделирование динамики ВС при воздействии сдвига ветра, оценить компоненты полной полётной энергии ВС и исследовать возможности повышения достоверности принятия решения о воздействии сдвига ветра.

Энергетический подход к определению воздействия сдвига ветра базируется на следующем. Сдвиг ветра приводит к изменению основных параметров движения, характеризующих состояние ВС [2]. В частности, изменяются параметры траекторного движения центра масс летательного аппарата, параметры вращательного движения летательного аппарата вокруг центра масс. Это происходит из-за перераспределения аэродинамических сил и моментов, действующих на ВС.

Разрабатываются, существуют и успешно эксплуатируются самые разнообразные системы обнаружения сдвига ветра. Они могут классифицироваться по используемым физическим принципам, разделяться на бортовые (автономные) и наземные, выдавать информацию о сдвиге ветра в реальном или ускоренном (прогнозирование) масштабе времени. Единой классификации таких систем не существует. Практически каждая из существующих систем характеризуется своими достаточно очевидными преимуществами и недостатками. Так радиотехнические системы на базе доплеровского метеолокатора позволяют заранее обнаружить потенциально опасную область пространства, где воз-

можен сдвиг ветра, но являются исключительно сложными и дорогими устройствами. Наземные системы анемометров вдоль взлетно-посадочной полосы отличаются простой, дешевой, но их информация должна по радиоканалу передаваться на борт ВС, что требует времени и затрудняет ее использование в реальном масштабе времени.

Стандартный энергетический подход к идентификации воздействия сдвига ветра основан на анализе полетной энергии ВС, которая складывается из двух составляющих: кинетической и потенциальной энергии. При полете в спокойной атмосфере по прямолинейной траектории полная полетная энергия остается либо постоянной, либо меняется по линейному закону. Для того чтобы получить полную картину влияния сдвига ветра на лётно-технические характеристики самолёта в виде кинетической и потенциальной энергии, на основе работы Боулса был разработан безразмерный показатель [1]. Сегодня по рекомендациям ИКАО этот показатель принят в качестве основы при сертификации бортовых систем предупреждения о сдвиге ветра и используются для установления пороговых значений опасного сдвига ветра в бортовых системах предупреждения об опасном сдвиге ветра.

Предлагаемый модифицированный энергетический подход предусматривает анализ полной полетной энергии E , в которую наряду с кинетической E_k и потенциальной энергией E_p входит и энергия вращательного движения ВС вокруг центра масс E_{vr} :

$$E = E_k + E_p + E_{vr}$$

или

$$E = \frac{mV^2}{2} + mgh + \frac{1}{2} (J_x \omega_x^2 + J_y \omega_y^2 + J_z \omega_z^2),$$

где m – масса ВС; V – воздушная скорость ВС; g – ускорение свободного падения; h – высота полёта; J_x, J_y, J_z – моменты инерции ВС относительно осей связанной системы координат; $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – проекции вектора абсолютной угловой скорости ВС на оси связанной системы координат.

Расширение числа компонент, по изменению которых принимается окончательное решение о факте воздействия сдвига ветра, обеспечивает повышение достоверности принятого решения, уменьшает количество ложных срабатываний системы предупреждения об опасном сдвиге ветра, открывает возможности использования таких современных алгоритмов обработки информации, как методы нечеткой логики. К несомненным достоинствам такого подхода следует также отнести возможность построения соответствующей системы на базе типовых сенсоров и первичных измерителей штатного пилотажно-навигационного комплекса современного ВС. В частности, для вычисления энергии вращательного движения ВС необходима информация о трех ортогональных проекциях вектора угловой скорости и соответствующих моментах инерции ВС.

Для оценки потенциальной возможности построения системы предупреждения об опасном сдвиге ветра было выполнено моделирование поведения ВС на этапе посадки при воздействии вертикального сдвига ветра. Использовался пакет Simulink программы имитационного моделирования MATLAB. Сдвиг ветра был имитирован в виде эквивалентного отклонения руля высоты самолёта Ту-154М. Рассматривалось движение ВС по глиссаде с углом наклона 2,5 градуса с высоты 300 м. Воздушная скорость – 50 м/с, посадочная масса самолёта считалась постоянной и составляла – 74 т. Анализировались следующие параметры: угол тангажа, угловая скорость тангажа, воздушная скорость самолёта и высота полёта. Были рассмотрены случаи воздействия сдвига ветра различной интенсивности и длительности. Интенсивность сдвига ветра варьировалась в диапазоне от 6-ти м/с до 15-ти м/с, а длительности – от 1-ой с до 10-ти с. В ходе моделирования были рассчитаны величины компонент полной полетной энергии и их изменение.

Анализ результатов моделирования позволил сформулировать следующие выводы.

1. Воздействие вертикального сдвига ветра на этапе посадки вызывает изменение всех трех компонент полной полетной энергии. При этом доля потенциальной, кинетической и энергии вращательного движения ВС изменяется в зависимости от параметров сдвига ветра.

тической энергии и энергии вращательного движения составляет 76%, 23% и 1% соответственно.

2. Вращательная энергия (ее появление в полной полетной энергии), не смотря на незначительный вес в полной полетной энергии, является достоверным носителем информации о факте воздействия на ВС сдвига ветра.

3. Изменение интенсивности сдвига ветра оказывает большее влияние на изменение параметров движения ВС и полной энергии ВС, чем варьирование длительности воздействия сдвига ветра.

4. Реализация системы предупреждения о сдвиге ветра на базе энергетического подхода не требует дооснащения ВС дополнительными сенсорами и оборудованием, а предусматривает лишь вычисление по сигналам типовых измерителей пилотажно-навигационного комплекса полной полетной энергии и анализ ее компонент.

Для повышения достоверности принятия решения о воздействии сдвига ветра следует рассматривать изменение энергии на различных участках полёта.

Полученные выводы позволяют считать рассмотренный расширенный энергетический подход перспективным для создания эффективной, недорогой бортовой системы идентификации воздействия на ВС сдвига ветра.

Оснащение подобными системами ВС гражданской авиации будет способствовать повышению эффективности воздушных перевозок за счёт повышения безопасности, регулярности и экономичности полётов.

Библиографический список

1. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах (Дос 9817 AN/449): учебное пособие. М.: Международная организация гражданской авиации, 2005. 258 с.
2. Синяков А. Н., Шаймарданов Ф. А. Системы автоматического управления ЛА и их силовыми установками: Учебник для студентов высших технических учебных заведений. М.: Машиностроение, 1991. 320 с.
3. Круглов В. В. и др. Нечёткая логика и искусственные нейронные сети. М.: Физматлит, 2001. 221 с.

УДК 519.2+681.3

С. Н. Филиппов – студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СИНГУЛЯРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Методы оптимального оценивания параметров по мере поступления измерительной информации широко применяют в различных областях техники. Оптимальные алгоритмы оценивания являются результатом решения соответствующих модельных задач при наличии полной априорной статистической определённости относительно моделей сигналов, помех и погрешностей. На практике же, как правило, встречаются такие ситуации, в которых априорная статистическая информация либо известна приближенно, либо полностью отсутствует. В этом случае условия модельных задач оказываются нарушенными, полученные алгоритмы оценивания становятся неоптимальными, а формируемые ими оценки могут стать несостоятельными и, более того, оказаться расходящимися [1].

Степень априорной неопределенности может быть различной:

1. Полная априорная статистическая неопределенность: Неизвестны ни виды, ни параметры законов распределения вероятностей компонент оцениваемых и измеряемых случайных процессов. Заданы лишь допустимые конечные области, в которых изменяются соответствующие компоненты случайных процессов.

2. Частичная априорная статистическая неопределенность: закон распределения компонент оцениваемых и измеряемых случайных процессов известен с точностью до некоторой совокупности параметров.

В данной работе исследуется метод фильтрации сигналов «Гусеница» в условиях непараметрической априорной неопределенности на основе сравнения с оптимальным фильтром Калмана. Гусеница-SSA был разработан одновременно и независимо в США и России и использовался для распознавания образов и обработки детерминированных сигналов. Как алгоритм фильтрации для стохастического процесса он используется в этой работе впервые. Предполагается, что модель измерения линейная с аддитивной погрешностью, некоррелированной с полезным сигналом.

Входным сигналом устройства фильтрации является реализация результата измерения, полученная от датчика информации. Первый этап обработки сигнала включают в себя анализ полученной реализации. Для анализа временного ряда выбирается целый параметр L ; назовем его длина окна. Параметр L может выбираться достаточно произвольно. Затем на основе ряда строится траекторная матрица, столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длины L : с первой точки по L -ю, со второй по $(L + 1)$ -ю и т. д. Следующий шаг – это сингулярное разложение траекторной матрицы в сумму элементарных матриц. Каждая элементарная матрица задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов – собственного и факторного.

Предположим, что исходный временной ряд является суммой нескольких рядов. Теоретические результаты позволяют в некоторых условиях определить по виду собственных чисел, собственных и факторных векторов, что это за слагаемые и какой набор элементарных матриц соответствует каждому из них. Суммируя элементарные матрицы внутри каждого набора, и затем, переходя от результирующих матриц к ряду, мы получаем разложение ряда на аддитивные слагаемые, например, на сумму тренда, периодики и шума или на сумму низкочастотной и высокочастотной составляющих. В качестве показателя оптимальности фильтрации был разработан критерий, основанный на перекрестной проверке, не требующий дополнительных знаний о сигнале или помехе.

Таким образом, целью метода является разложение временного ряда на интерпретируемые аддитивные составляющие. При этом метод не требует стационарности ряда, знания модели тренда, а также сведений о наличии в ряде периодических составляющих и их периодах. При таких слабых предположениях метод Гусеница-SSA может решать различные задачи, такие как, например, выделение тренда, обнаружение периодик, сглаживание ряда, построение полного разложения ряда в сумму тренда, периодик и шума.

Такой широкий спектр возможностей при достаточно слабых предположениях заключается в идеологии метода, не требующего полного знания модели измерения. Для проверки гипотезы о наличии помехи измерения и фильтрации сигнала вообще требуется построение модели, которое может быть проведено с помощью метода Гусеница-SSA. Отметим также, что рассматриваемый непараметрический метод позволяет получить результаты часто лишь незначительно уступающие по точности параметрическим методам фильтрации [2].

По результатам моделирования стало известно, что по дисперсии ошибки оценки Гусеница-SSA в диапазоне отношения СКО сигнал/шум от 0,5 до 10 Гусеница-SSA дает лучшие результаты чем метод основанный на фильтре Калмана, но по среднеквадратическому отклонению Калман на 1–2% лучше Гусеницы. Также было выяснено, что на качество результата больше всего влияет шаг группировки. Был разработан критерий

для шага группировки, который коррелирован с дисперсией ошибки оценки, но не требует априорных данных. Таким образом, было сохранено главное достоинство алгоритма – возможность работы в условиях полной априорной неопределенности. Также во время моделирования было обнаружено, что параметр длины окна лучше всего брать равным $1/4-1/3$ от длины обрабатываемой последовательности. Также были проведены исследования с коррелированной помехой.

Библиографический список

1. Огарков М. А. Методы статистического оценивания параметров случайных процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 208 с.
2. Голяндина Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учебн. пособие. СПб., 2004. 76 с.

УДК 504.4.054.

Л. А. Фролова – студентка кафедры техносферной безопасности
А. А. Корablева (канд. хим. наук, доц.) – научный руководитель

**МОНИТОРИНГ ВОД ВОКРУГ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ
 ДУДЕРГОФСКИЕ ВЫСОТЫ**

Качество воды играет решающую роль в развитии биосферы и при использовании ее населением для любых целей. Люди тысячелетиями использовали реки, озера, моря для сброса в них загрязненных сточных вод, и до начала 20 в. это практически повсеместно не вызывало особого беспокойства. Солнце, воздух, микроорганизмы и растворенный в воде кислород обеспечивали самоочищение водных объектов.

Всего несколько десятилетий назад загрязненные воды реки ниже какого-либо расположенного на ее берегах города через 20–30 км становились чистыми, и их без проблем забирали водозаборы другого населенного пункта, расположенного ниже по течению. Однако рост городов, бурное развитие промышленности, особенно химической, энергетики, а также водного транспорта, увеличение добычи полезных ископаемых, площадей орошаемых земель с каждым годом приводили к все большему загрязнению вод, ставшему угрожающим для жизни человека.

В Дудергофском озере, Красном Селе, купаться и загорать не желательно, лучше убраться!!! По водной глади расходятся круги, плавают бутылки, чего только не встретишь в мутной воде. На суше находки вряд ли отличаются от тех, что в озере. Мусор во-

обще может рассказать о тех людях, которые его здесь оставляют. Такой портрет: в основном – это люди курящие, любители выпить, чаще с детьми, вот обертка от мороженого, и вот парадокс – кроме того, что все эти люди нечистоплотны, тяга к прекрасному у них сохраняется, ведь мусорить они предпочитают в декорациях развалин дворянского поместья. А когда-то парк был ухожен, и в озере водилась рыба. Купаться запрещено, но когда хочется, то можно.

Мусорные контейнеры расставлены по всей территории памятника при-





роды. Несмотря на это, купаются утки и вместе с ними полиэтиленовый пакет от хлеба, видимо, отдыхающие решили покормить уток...

Насмотревшись на весь этот ужас, мы выдвинули задачи.

1. Изучить информацию об озерах Безымянном, Долгом, Дудергофском в литературных источниках и Интернете.

2. Отобрать пробы воды озер.

3. Подобрать гидрохимические и органолептические показатели, необходимые для исследования состава воды в исследуемых озерах.

4. Сравнить полученные результаты с допустимыми нормами.

5. Сделать выводы и разработать рекомендации для населения.

Изучив литературу, мы узнали, что три исследуемых озера образовались под действием антропогенного фактора. Источниками их загрязнения являются сток с территорий малоэтажной застройки, автомобильные и железная дороги, интенсивное рекреационное использование, пляж. Для Долгого и Безымянного озер это также промышленные предприятия, а для Безымянного озера еще и сброс сточных вод. Токсификация водоемов приводит к снижению биомассы животных, а следовательно и самоочистительной способности водоема. Озера очень ценны, так как содержат большой запас пресной воды. Озера загрязняются в основном под воздействием антропогенного фактора, но если от него избавиться, то озеро самоочищается.



Для исследования качества озерной воды были выбраны такие органолептические показатели как цветность и гидрохимические показатели, как нитраты, хлориды, ортофосфаты, сульфаты, общее железо.

Мы сделали вывод о наличии антропогенного воздействия на состав воды изучаемых озер, а также о необходимости продолжения исследования в связи с интенсивной застройкой, изучаемой территории, для выявления более полной информации о качестве озерной воды.

В своей работе мы делали только неорганический анализ. Для точного определения необходимо провести органический анализ и анализ на микроорганизмы, тогда мы точно сможем утверждать, что в этой воде нельзя купаться, и что она не пригодна для питья.

Результаты химических анализов озерной воды доказывают, что вода изучаемых озер не сильно загрязнена, но для питья она не пригодна. Озера подвергаются антропогенной нагрузке: вокруг Дудергофского озера располагаются сады и огороды (частный сектор, дачные участки). Если использовать анализируемую воду в качестве питья, можно нанести вред здоровью. Это может привести к различным кожным заболеваниям, расстройству желудка и т. д.

Озера также являются не лучшим вариантом для купания потому, что они сильно заросли.

Озеро, хотя и проточное, но застойные зоны тоже есть – и там вода прогревается, водоросли развиваются и, в итоге, поглощают растворенный в воде кислород, выделяют в воду продукты своей жизнедеятельности. Так развивается вторичное загрязнение водоема. Бороться с этим можно двумя способами – перестать кормить водоросли, то есть, прекратить сбрасывать в водоем неочищенные стоки; ну и еще – провести известкование озера, тем самым изменив кислотность воды. Хорошо бы еще разложить крупные известняковые блоки там, где вода застаивается».

Экологическая ситуация на озерах угрожающая. Что нужно делать – известно. Так давайте же, наконец, делать! Город растет. И почему-то его развитие ассоциируется только со стройками, только с новыми и новыми объектами. Чем громаднее – тем лучше. Мы как будто вернулись на век назад, в начало индустриальной эры. Тогда люди думали, что природу нужно покорять. Наши градостроители как будто не учились в школе. Очень дорогая цена заплачена за понимание того, что планета хрупкая, что с природой нужно находить гармонию.

Библиографический список

1. О состоянии недр на территории РФ в 2005 году. Информационный бюллетень / Ч. 1. Подземные воды – Выпуск 29. М.: «Геоинформмарк», 2006. 212с.
2. Рекомендация о сохранении красоты и характера пейзажей и местностей. Рекомендации ЮНЕСКО от 11.12.1962. 1962.
3. О государственных памятниках природы Дудергофских высотах, Комаровском берегу, Стрельнинском берегу, парке Сергиевка. Решение Малого совета Санкт-Петербургского городского совета народных депутатов от 22.04.92 № 97.
4. Дудергофские высоты – комплексный памятник природы, Е. Н. Андреева, Т. В. Бибикова, 2006.

УДК 621.313.12

Сударшан Харкал – студент кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. В. Перлюк (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ПАВ В СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ ПАКЕТЕ COMSOL MULTIPHYSICS

COMSOL Multiphysics – это мощная интерактивная среда для моделирования и расчетов большинства научных и инженерных задач основанных на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) методом конечных элементов. Графический интерфейс COMSOL предоставляет пользователю полный спектр инструментов для моделирования: построение геометрии модели (средствами меню Draw), описание физического процесса (меню Physics), построение сетки (меню Mesh), настройку параметров решателя (меню Solve) и постобработку результатов расчета (в меню Postprocessing). Подробное описание работы с программой описано в [1].

Для проведения частотного анализа датчика ПАВ в программном пакете Comsol Multiphysics и моделирования поверхностной акустической волны мною был выбран режим Piezo Plain Application Mode. Данный режим предназначен для моделирования пьезоэлектрических и механических эффектов в 2D пространстве, и предполагает, что отсутствуют деформации в плоскости перпендикулярной к рисунку. Это допущение является правомерным, так как ПАВ генерируются именно в плоскости рисунка. Кроме того, размеры модели в перпендикулярном к плоскости рисунка направлении значительно превышают поперечный размер моделируемого элемента.

Также необходимо было выбрать вид конечных элементов (Лагранжевы элементы включают в узловых переменных только значения функций, в то время как, например, Эрмитовы элементы включают в узловых переменных значения функций и их производных [2]).

Если учесть, что для Y-среза кварца скорость распространения волны составляет

$V = 3159$ м/с [3], а длина волны $\lambda = \frac{V}{f}$, где $f = 433$ МГц – частота, на которой работает

моделируемый чувствительный элемент, то длина волны составит 7,29 мкм. То есть, ширина электрода, равная четверти длины волны составит 1,8 мкм, а толщина электрода, как правило, составляет 10% от его ширины. С учетом того, что 90% ПАВ локализуется в поверхностном слое порядка длины волны, высота модели соответствует нескольким длинам волн.

Часто при моделировании сложных систем выделяют элементарный объем и проводят расчет для этого элементарного объема. Так, например, если модель периодична, достаточно использовать фрагмент, соответствующий длине волны (рис. 1), задавая на боковых границах периодические граничные условия.

На границах электрода задается величина электрического потенциала, причем для частотного анализа следует задать модуль подаваемого на электроды напряжения. На границах пластины задается условие нулевого поверхностного заряда, а на нижней границе задавалось нулевое смещение. При выборе материала (для пластины – кварц, для электродов – алюминий) из библиоте-

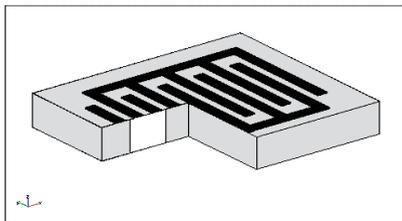


Рис. 1. Использование периодичности в модели

ки основные константы, задающие свойства материала по умолчанию принимают табличные значения. В программе предусмотрено редактирование этих констант, а также задание свойств в виде функций. Для анизотропных материалов указывается используемый срез. В данном случае – xz – срез.

Для рассматриваемой модели найдены основные параметры поверхностной волны – распределение деформаций в области распространения, построена амплитудно-частотная характеристика и найдены резонансная частота. На рис. 2 приведена

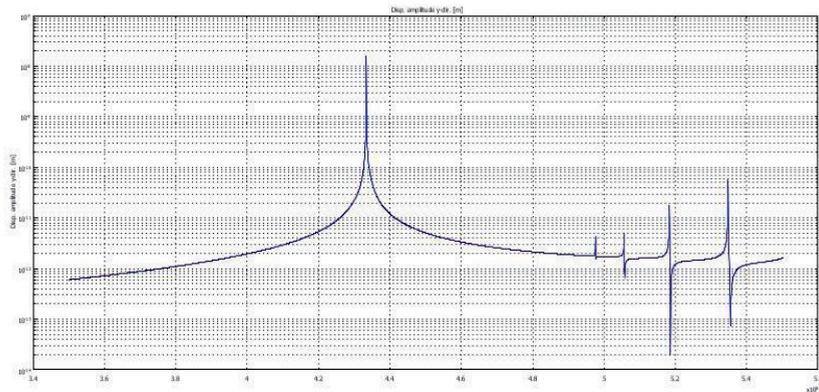


Рис. 2. АЧХ деформации поверхности подложки

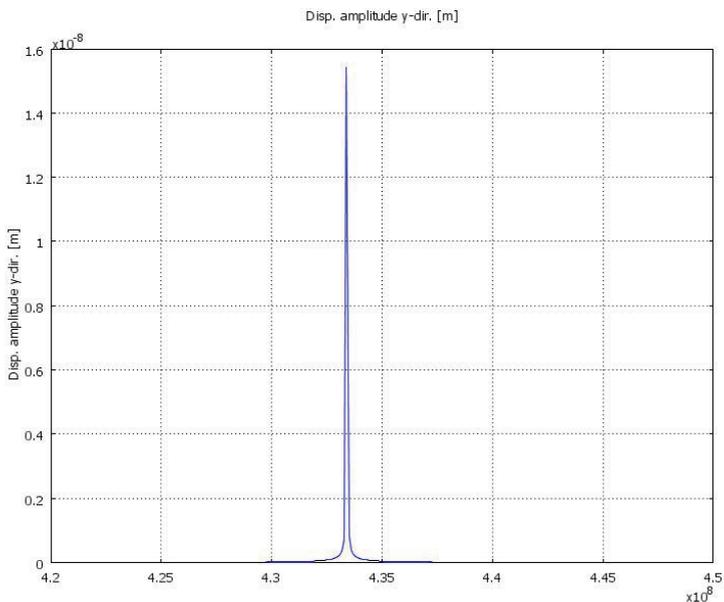


Рис. 3. Резонансный пик в линейном размере

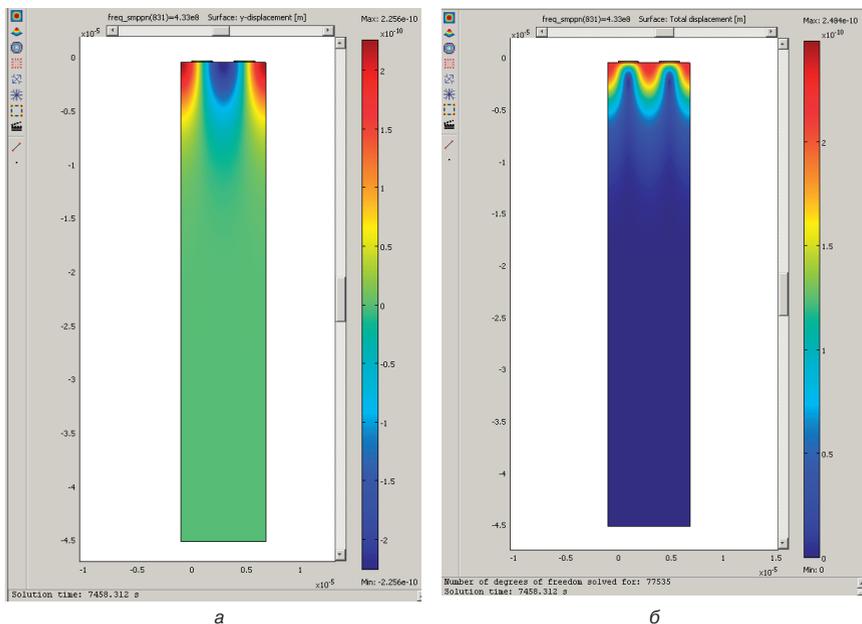


Рис. 4. а – смещение поверхности подложки по оси Y (вертикальная ось) при частоте 433 МГц, б – полное смещение поверхности подложки при частоте 433 МГц

амплитудно-частотная характеристика данной модели, а на рис. 3 приведен резонансный пик в линейном масштабе в более узком диапазоне частот.

Важно отметить, что полученная на рис. 2 резонансная частота соответствует теоретическим расчетам.

На рис. 4 приведены полученные распределения деформаций в области распространения поверхностной волны [3] при частоте 433 МГц. При этом видно, что волна локализована в приповерхностном слое глубиной порядка длины волны.

На примере данной модели была экспериментально исследована зависимость результатов расчета от параметров конечно-элементной сетки. Разбиение границы менее чем на 10 элементов не дает необходимой точности, в то время как сетка в более чем 10 элементов по самой маленькой границе может сдвигать резонансную частоту на несколько процентов.

Библиографический список

1. Бирулин Г. В. Теплофизические расчеты в конечно-элементном пакете COMSOL / FEMLAB: метод. пособ. СПбГУИТМО. СПб., 2006, 78 с.
2. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов: Пер. с англ. М., Мир, 1981. – 304 с.
3. Гуляев Ю.В., Плесский В. П. Распространение поверхностных акустических волн в периодических структурах. Успехи физических наук, Т. 157. Вып. 1. 1989 г.

УДК 681.5

Е. В. Чичерова – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

С. А. Сумачёв (канд. техн. наук) – научный руководитель

ПРИНЦИП МАКСИМУМА, КАК МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ НЕЛИНЕЙНОСТИ ТИПА ЗОНЫ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Совершенствование систем управления играет важную и всё возрастающую роль в развитии авиационного двигателестроения. Современная САУ должна обеспечить высокую точность поддержания или ограничения параметров двигателя, таких, как тяга, мощность, частота вращения ротора турбокомпрессора, температура газа, обеспечение запасов газодинамической устойчивости. Высокие требования предъявляются и к динамическим характеристикам (минимизация времени запуска и приёмности, снижение перерегулирования параметров, обеспечение запасов устойчивости).

Статья посвящена исследованию некоторых вопросов, связанных с обеспечением динамических характеристик САУ на примере контура управления расходом топлива ТВД.

Структурная схема внутреннего контура системы управления расходом топлива ТВД приведена на рис. 1 [1–4].

На рис. 1 обозначено:

БАРК – Блок Автоматического Управления и Контроля; y_0 – требуемый расход топлива; y – фактический расход топлива; ξ – ток управления; ГМР – гидромеханический регулятор; ПС – электрогидромеханический преобразователь сигналов; $f(\xi)$ – нелинейная зависимость управляющего сигнала перемещения сопла-заслонки u , входящей в состав ПС, от входного тока с зоной нечувствительности; K_h – коэффициент усиления ПС; τ – постоянная времени ПС; h – изменение управляющего давления; ГУ – гидроусилитель; $K_{ГУ}$ – коэффициент усиления гидроусилителя.

В соответствии с рис. 1, уравнения, описывающие контур управления расходом топлива, имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{y} = K_{ГУ}h, \\ \dot{h} = -\frac{1}{\tau}h + \frac{1}{\tau}K_h f(\xi), \\ \xi = K_I(y_0 - y). \end{cases} \quad (1)$$

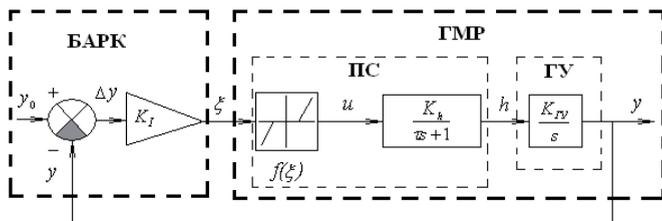


Рис. 1. Структурная схема внутреннего контура управления расходом топлива

Функция $f(\xi)$ такова, что $f(\xi) \equiv 0$, при $\xi_1 \leq \xi \leq \xi_2$, где $\xi_1 \leq 0$, $\xi_2 \geq 0$, $\xi_2 \geq \xi_1$, и в точках не-прерывности выполнены неравенства

$$\begin{cases} 0 < f(\xi) \leq \mu_0(\xi - \xi_2) & \text{при } \xi > \xi_2, \\ \mu_0(\xi - \xi_1) < f(\xi) < 0 & \text{при } \xi < \xi_1, \end{cases} \quad (2)$$

Здесь $0 < \mu_0 \leq +\infty$, причём при $\mu_0 = +\infty$, выгослено условие

$$\int_0^{\pm\infty} [\mu_0 \xi - f(\xi)] d\xi = \infty. \quad (3)$$

Контур представляет собой систему с одной нелинейностью и неединичным положением равновесия: зависимость перемещения сопла-заслонки, входящей в состав ПС, от входного управляющего тока является нелинейной функцией с зоной нечувствительности. Наличие этой зоны может привести к статической ошибке по расходу топлива. По теореме об устойчивости системы с одной нелинейностью и одним интегратором, приведённой в [5], такая система является устойчивой, но положение равновесия может быть достигнуто в любой точке зоны нечувствительности в зависимости от начальных условий.

Для устранения статической ошибки в системе с П-регулятором на вход сопла-заслонки подаются гармонические возмущения малой амплитуды. В ходе исследования установлено, что сигнал с амплитудой, равной величине зоны нечувствительности, существенно уменьшает статическую ошибку. Однако для этого требуется длительное время переходного процесса. Кроме того, искусственно созданные колебания могут отрицательно сказаться на качестве регулирования. Учитывая, что величина зоны нечувствительности может существенно изменяться от агрегата к агрегату, то незначительное превышение амплитудой гармонического сигнала величины зоны нечувствительности вызывает сильные колебания в системе, что заметно увеличивает время переходного процесса и ещё более ухудшает качество регулирования.

В статье проведён анализ одного из альтернативных методов управления с целью повышения точности, быстродействия и улучшения качества переходных процессов. Этот метод предполагает построение нелинейного оптимального по быстродействию регулятора, основанного на принципе максимума Л. С. Понтрягина [6].

Синтез оптимального по быстродействию управления осуществляется для системы (1). Задача оптимального быстродействия формулируется следующим образом: среди всех допустимых управлений $\xi = \xi(t)$, под воздействием которых управляемый объект (1) переходит из заданного начального фазового состояния $y = (y_1, y_2)$ в требуемое конечное состояние $y_0 = (0, 0)$, найти такое, для которого этот переход осуществляется за кратчайшее время.

Введя обозначения: $y_1 = y$, $y_2 = K_{Гу} \cdot h$, $u = f(\xi)$, $\vartheta = K_{Гу} K_{Гу}$, перепишем систему (1) в виде:

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2, \\ \dot{y}_2 = -\frac{1}{\tau} y_2 + \frac{\vartheta}{\tau} u, \\ u = f(\xi), \quad |\xi| \leq \xi_{\max}. \end{cases} \quad (5)$$

В соответствии с принципом максимума поставленная задача имеет единственное решение, если для системы (5) выполняются следующие необходимые и достаточные условия:

1) условие непрерывной дифференцируемости правых частей системы уравнений (5) по фазовым координатам (y_1, y_2) и условие непрерывности по управлению U ,

- 2) рассматриваемая задача должна быть невырожденной (должно выполняться условие общности положения, т.е. условие существования единственности решения [7]),
- 3) множество управлений U должно быть ограниченным, замкнутым и выпуклым,
- 4) начало координат является внутренней точкой множества U .

Для объекта управления, описываемого системой уравнений (5), все условия выполняются. Таким образом, поставленная задача удовлетворяет необходимым и достаточным условиям принципа максимума. Перейдём к решению задачи.

Введём в рассмотрение функцию H и вспомогательные переменные ψ_1, ψ_2 . Уравнения для функции H и переменных ψ_1, ψ_2 имеют вид:

$$H = \psi_1 \dot{y}_1 + \psi_2 \dot{y}_2 = \psi_1 y_2 + \psi_2 \left(-\frac{1}{\tau} y_2 + \frac{\partial}{\partial \tau} u \right), \quad (6)$$

$$\begin{cases} \frac{d\psi_1}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial y_1} = 0, \\ \frac{d\psi_2}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial y_2} = -\psi_1 + \frac{1}{\tau} \psi_2. \end{cases} \quad (7)$$

В соответствии с принципом максимума оптимальное управление должно доставлять максимум функции H на оптимальной траектории. Из уравнений (6) и (7) получается выражение для оптимального управления:

$$u = \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2} + \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2} \text{sign}(y_2^{пл} - y_2), \quad (8)$$

где $y_{пл}$ – линия переключения.

В силу монотонности функции $f(\xi)$: $U_{\max} = \max_{\{u\}} f(\xi) = f(\xi_{\max})$, $U_{\min} = \min_{\{u\}} f(\xi) = f(\xi_{\min})$.

На оптимальной траектории функция $\xi = \xi(t)$ имеет не более одного переключения.

В оптимальном законе управления используется только максимальное и минимальное значения функции $f(\xi)$: $\max_{\{u\}} f(\xi)$ и $\min_{\{u\}} f(\xi)$. Таким образом, задача управления нели-

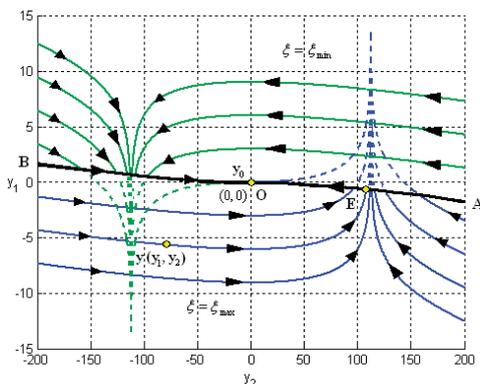


Рис. 2. Семейство оптимальных фазовых траекторий

нейным объектом сводится к линейной задаче оптимального по быстродействию управления.

Линия переключения – выражение для множества точек, в которых будет происходить переключение управляющего сигнала, получается из системы (5) и имеет вид:

$$y_1(t) = \vartheta u \tau \ln \left(\frac{y_2^{пл}(0) - \vartheta u}{y_2^{пл}(t) - \vartheta u} \right) + \tau \left[y_2^{пл}(0) - y_2^{пл}(t) \right] + y_1(0), \quad (9)$$

Уравнения (8) и (9) представляют собой оптимальный нелинейный закон регулирования для нелинейного объекта (5), обеспечивающий максимальное быстродействие по управляемому параметру. Вид фазовых траекторий и линии переключения представлен на рис. 2.

Структурная схема контура управления расходом топлива с учётом нелинейного оптимального регулятора имеет вид представленный на рис. 3.

График переходного процесса в контуре управления расходом топлива при работе нелинейного оптимального регулятора представлен на рис. 4 (кривая 1).

Как видно из рис. 4, нелинейный оптимальный регулятор позволяет практически полностью устранить статическую ошибку по расходу топлива. Мелкие дрожания вокруг нуля незначительны, в среднем по амплитуде составляют около 0.03 кг/ч. Время переходного процесса при работе такой системы значительно ниже, чем у системы с П-регулятором. Как видно из рис. 4, при работе нелинейного оптимального регулятора (кривая 1) к моменту времени $t_{п,п} = 0.52$ с переходный процесс в системе уже закончен.

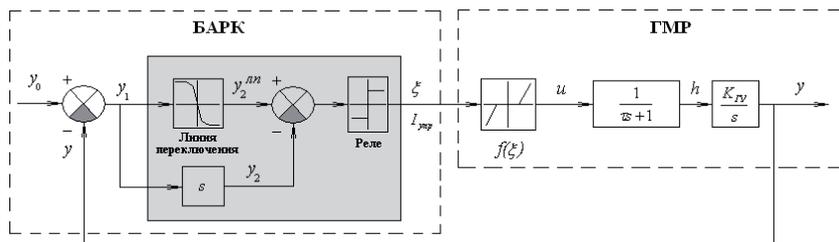


Рис. 3. Структурная схема внутреннего контура, включающая нелинейный оптимальный регулятор

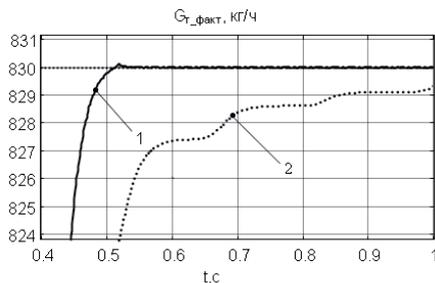


Рис. 4. Переходный процесс в контуре управления расходом топлива при работе нелинейного оптимального регулятора (кривая 1) и П-регулятора с синусоидальной волной на входе сопла-заслонки (кривая 2)

Статическая ошибка по расходу топлива находится в диапазоне $-0.015 \leq G_T \leq 0.03$. При работе системы с П-регулятором (кривая 2) к тому же моменту времени ошибка по расходу топлива составляет 6.27 кг/ч, что значительно выше, чем при работе нелинейного оптимального регулятора. Полное время переходного процесса кривой 2 составляет 3 с (на графике не отражено) до ошибки $\Delta G_T = 0.1$ кг/ч.

Таким образом, созданный нелинейный оптимальный регулятор для работы контура управления расходом топлива, использующий принцип максимума, позволил повысить статическую точность системы, сведя ошибку по расходу топлива к нулю, и минимизировать время переходного процесса.

Достоинствами нелинейного оптимального регулятора являются:

- обеспечение наименьшего времени переходного процесса;
- отсутствие забросов и перерегулирования при любых начальных условиях управляемого параметра;
- структура оптимального управления и вид фазовых траекторий не зависят от вида нелинейности.

Недостаток состоит в том, что для реализации оптимального закона управления необходимо точно знать функцию переключения, как часть фазовой траектории.

Библиографический список

1. Теория и расчёт воздушно-реактивных двигателей / Под ред. д-ра техн. наук С. М. Шляхтенко. М.: Машиностроение, 1987.
2. Клячкин А. Л. Теория воздушно-реактивных двигателей. М.: Машиностроение, 1969.
3. Теория автоматического управления силовыми установками летательных аппаратов / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А. А. Шевякова. М.: Машиностроение, 1976.
4. Кулагин В. В. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. М.: Машиностроение, 2003.
5. Методы исследования нелинейных систем автоматического управления / Под ред. Р. А. Нелепина. М.: Наука, 1975.
6. Понtryгин Л. С., Болтынский В. Г. и др. Математическая теория оптимальных. М.: Наука, 1969.
7. Болтынский В. Г. Математические методы оптимального управления. М.: Наука, 1969.

УДК 519.216

А. И. Чупайло – магистрант кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ РЕЗКОГО ИЗМЕНЕНИЯ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СИГНАЛА

В настоящее время интенсивно исследуемым вопросом является изучение временных рядов и их идентификация. Связано это с постоянно повышающимися требованиями к точности оценки сигналов, обнаружения отказов, к контролю параметров, что вытекает в частности из обеспечения надежности и безопасности полетов. Основным предположением, лежащим в основе данных исследований, является тот аспект, что характеристики или параметры, описывающие информацию, обычно постоянные или медленно меняющиеся во времени. С другой стороны, множество практических проблем, возникающих в областях, ориентированных на обработку сигналов, обнаружение отказов и контроль, могут быть смоделированы с помощью параметрических моделей, в которых параметры подвергаются резким скачкообразным изменениям в неизвестные

моменты времени. Под скачкообразными изменениями подразумеваются изменения в характеристиках процесса, которые происходят очень быстро по отношению к основному периоду измерений, то есть практически мгновенно. В силу того, что большая часть информации, содержащейся в измерениях, заключается в её нестационарности, а большинство адаптивных алгоритмов оценки в основном могут работать только при медленных изменениях, выявление скачкообразных изменений является серьезной проблемой во многих прикладных задачах.

Разработано довольно большое количество алгоритмов распознавания резких изменений. Одни из них простейшие, используют элементарные принципы, понятные интуитивно, например метод, основанный на анализе производной сигнала. Другие основаны на более сложной математической обработке, например, на широко известном логарифмическом отношении правдоподобия. Все существующие алгоритмы являются временными методами обнаружения резких изменений. В этой статье проведено описание нового спектрального метода обнаружения резких изменений параметров сигнала, а также результаты его моделирования. Принципиальным отличием этого алгоритма выявления резких изменений является его методология, которая заключается в выявлении изменений на основе наблюдения спектральной модели сигнала. Как известно, любой процесс может быть исследован не только во временной, но и частотной области. Спектральный метод идентификации резкого изменения параметров сигнала основывается на его частотных характеристиках, в отличие от временных методов.

Метод выявления резких изменений, основанный на спектральном разложении, отличается простотой вычислений, а также требует знания незначительной априорной информации, конкретно корреляционной функции сигнала, в случае же, если и этой информации нет, это не приводит к невозможности использования метода, а изменения в алгоритме при этом незначительные. Основное свойство выявляемости такого метода основано на том, что при резком изменении сигнала его спектр претерпевает резкий скачок. Как известно, спектр функции единичного скачка, функции знака и подобных сигналов имеет вид δ -функции, что не может быть не выявлено. Причем эффективность метода не теряется даже при наличии значительной помехи. Заметим, что этот метод не рассматривается в противовес временным методам в силу большой разницы их исходной природы. Спектральный метод предлагается как альтернативный, не требующий большой вычислительной способности детектора, в том числе и для комплексирования алгоритма с временными методами выявления резких изменений.

Основные положения теории спектрального разложения

Существуют разные разложения в ряды, требующие знания разной априорной информации и обладающие разной сходимостью. Нами было выбрано разложение в ряд Карунена-Лозва в силу его преимуществ, которые будут указаны далее. Это разложение требует знания корреляционной функции полезного сигнала $x(t)$. Теория разложения в ряд Карунена-Лозва заключается в следующем. При использовании этого разложения полученную реализацию случайного процесса $y(t)$ на скользящем интервале времени $[t - T, t]$ или реализацию $y(t - \tau)$ на фиксированном интервале $\tau \in T$ можно представить в следующем виде:

$$y(t - \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} c_k(t) \times \psi_k(t, \tau), \text{ где } \tau \in T \quad (1)$$

где $c_k(t)$ – случайные величины, а $\psi_k(t, \tau)$ – детерминированный базис. Изначально определяются бесконечные пары дисперсий случайных величин $c_k(t) - \lambda_k(t)$ и соответствующих им ортонормальных базисов $\psi_k(t, \tau)$ из следующего интегрального уравнения

$$\lambda_k(t) \times \psi_k(t, \tau) = \int_0^T K_x(t - \tau, t - s) \times \psi_k(\tau, s) ds, \quad (2)$$

где $K_x(t - \tau, t - s)$ – это корреляционная функция полезного сигнала.

Далее определяются соответствующие этим парам случайные величины $c_k(t)$:

$$c_k(t) = \int_0^T y(t - \tau) \times \psi_k(\tau, s) ds. \quad (3)$$

Бесконечное число пар полученных параметров выстраивают в порядке убывания дисперсий $\lambda_k(t)$ от самой большой и так далее. Как показывает практика, зачастую для обеспечения достаточной точности аппроксимации требуется использовать не больше первых трех пар. Точность аппроксимации зависит от инерционности сигнала, характеризующейся параметром корреляции α , и от периода разложения T . Так, например, при разложении марковского сигнала первого порядка с корреляционной функцией $K(t) = \sigma^2 \times e^{-\alpha|t|}$ ($\alpha = 0.01$) и выборе периода разложения $T = 20$ с при использовании только одной составляющей достигается точность аппроксимации 93,7%, а при использовании трех – 98,4%.

Среднеквадратический функционал ошибки представления случайного процесса $y(t - \tau)$ на интервале времени $\tau \in T$ при ортонормальном базисе равен:

$$I_N(t) = \sum_{k=N+1}^{\infty} \lambda_k(t), \quad (4)$$

где собственные числа $\lambda_k(t)$ – дисперсии коэффициентов $c_k(t)$ – вещественны, неотрицательны и расположены, как уже указывалось, в порядке убывания $\lambda_1(t) \geq \lambda_2(t) \geq \dots \geq \lambda_N(t)$. На основе корреляционной функции полезного сигнала определяется такой базис, при котором среднеквадратический функционал минимален.

В случае отсутствия помехи $y(t) = x(t)$, а в случае наличия помехи в формуле (2) используется корреляционная функция полезного сигнала $x(t) \neq y(t)$, но раскладывается в ряд именно наблюдаемый сигнал $y(t)$. Использование при разложении базиса и дисперсий, ориентированных на корреляционную функцию полезного сигнала $x(t)$ (формула 2), приводит к фильтрации сигнала. Эта фильтрация не является оптимальной, но дает довольно хорошие результаты.

Преимущества разложения в ряд Карунена-Лозва перед другими разложениями следующие:

- имеет наилучшую сходимости из всех рядов Фурье (является частным случаем разложения Фурье);

- коэффициенты разложения Карунена-Лозва являются некоррелированными случайными величинами, а при нормальном законе сигнала – независимыми, что значительно упрощает анализ и синтез линейных ИИС;

- оценка точности аппроксимации сигнала частичной суммой разложения Карунена-Лозва проще, чем при использовании других рядов Фурье (формула 4).

Основным недостатком разложения Карунена-Лозва является сложность нахождения дисперсий коэффициентов разложения и базисов из интегрального уравнения (2).

Спектральная модель сигнала в отличие от классических стохастических моделей имеет более плавный вид, что более приближено к реальному поведению сигналов.

При отсутствии знания корреляционной полезного сигнала X возможно определение корреляционной матрицы выходного сигнала Y на основе использования траекторной матрицы. Производится это следующим образом. По значениям наблюдаемого сигнала Y составляем траекторную матрицу, имеющую следующий вид:

$$MY = (y_{i,j})_{i,j=1}^{L,K} = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \dots & f_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \dots & f_{N-1} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где f_i – значение процесса Y в момент времени i . Матрица MU является ганкелевой. Размерность траекторной матрицы в нашем случае 10×89 , то есть используются 100 значений наблюдаемого сигнала Y .

Затем производится перемножение траекторной матрицы MU с ней же транспонированной. В результате чего получаем корреляционную матрицу наблюдаемого сигнала Y размерности 10×10 . Определяем собственные числа и собственные вектора полученной корреляционной матрицы. Собственные числа – это дисперсии коэффициентов спектрального разложения C , а собственные вектора матрицы – базис разложения. Так как имеем матрицу 10×10 , то получаем 10 коэффициентов разложения C и 10 базисов размерностью 10.

Результаты моделирования

Приведены результаты моделирования для резкого изменения математического сигнала. Было использовано разложение Карунена-Лозва. Производилось моделирование полезного сигнала $X(t)$ с нулевым математическим ожиданием, среднеквадратическим отклонением равным 1 и корреляционной функцией $K(\tau) = \sigma^2 \times e^{-\alpha|\tau|}$. В момент времени $t_1 = 1000$ моделировалось увеличение МО полезного сигнала до 5. В момент времени $t_2 = 1500$ моделировалось восстановление МО полезного сигнала до 0. СКО помехи равно 5, МО равно 0. Наблюдаемый сигнал определяется следующим образом: $Y(t) = X(t) + H(t)$. Графики полезного и наблюдаемого сигналов отображены на рис. 1.

На рис. 2 представлены графики первых трех составляющих $c_k(t)$, соответствующих реализациям указанных процессам, соответственно при разложении полезного сигнала $X(t)$ или разложении наблюдаемого сигнала $Y(t)$.

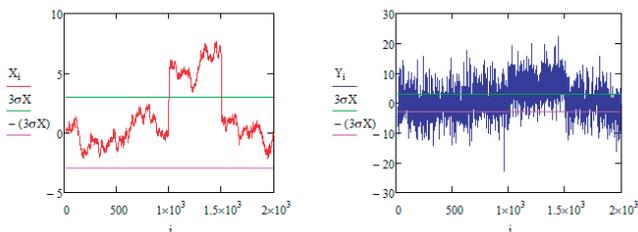


Рис. 1. Графики полезного $X(t)$ и наблюдаемого сигналов $Y(t)$

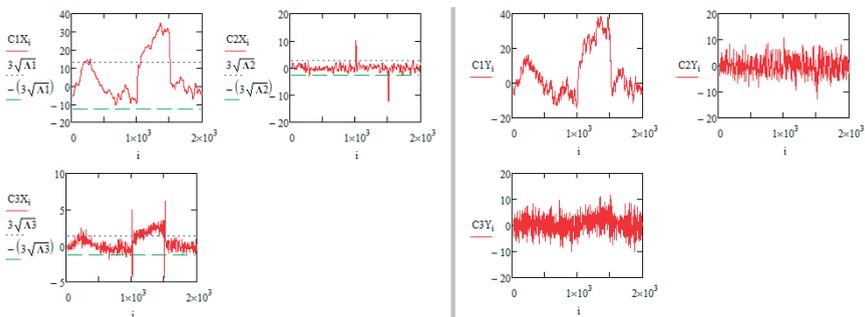


Рис. 2. Графики коэффициентов разложения в ряд полезного сигнала $X(C1X, C2X, C3X)$ и наблюдаемого сигнала $Y(C1Y, C2Y, C3Y)$

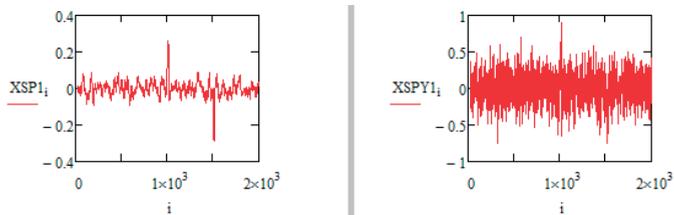


Рис. 3. Графики спектральных моделей производной полезного сигнала (с учетом только первой составляющей) при разложении полезного сигнала X ($XSP1$) и при разложении наблюдаемого сигнала Y ($XSPY$)

Спектральная модель, рассчитанная с использованием только одной спектральной составляющей $S1$, показывает хорошие результаты по фильтрации.

Как указывалось ранее, спектральная модель сигнала имеет более плавный вид, в силу этого возможно нахождение производной этой модели сигнала в отличие от классических стохастических моделей.

Метод выявления резкого изменения сигнала

Полагаем, что задача, стоящая перед нами, состоит из следующих целей: оценить момент времени изменения, а также определить моменты времени, в которые сигнал $x(t)$ превышает установленный порог h . В этом случае правило принятия решения заключается в одновременном сравнении трех составляющих $S1$, $S2$, $S3$ и производной спектральной модели $XSP1$ с соответствующими этим параметрами порогами. Также хорошей функцией принятия решения является сама спектральная модель сигнала, для которого порог сравнения является h . Стоит отметить, что при отсутствии шума или его незначительном значении лучше брать спектральную модель с максимально возможным количеством слагаемых (см. формулу 1), в случае значительной помехи целесообразно брать спектральную модель сигнала, полученную за счет только первой составляющей $S1$, так как на неё шум имеет самое маленькое влияние в силу своей высокочастотности.

Выводы

– Спектральная модель сигнала представляет собой сумму произведений случайных величин на базисы, работа со случайными величинами значительно проще работы со случайными процессами.

– Спектральная модель сигнала позволяет частично отфильтровать помеху.

– Моделирование показало, что спектральная модель сигнала позволяет определять сбой полезного сигнала на основе составляющих не только самого сигнала, но и его производной (даже в том случае, если случайный процесс не дифференцируем).

– Результаты моделирования алгоритма показали, что использование спектральных моделей исходного сигнала и его производной дает хороший результат обнаружения резкого изменения параметров сигнала и довольно маленькую задержку по времени момента обнаружения.

– На основании метода можно определять, какой именно параметр полезного сигнала изменился.

– Метод является простым в реализации и не требует значительной априорной информации. Для спектрального разложения в ряд Карунена-Лоэва требуется знание корреляционной функции полезного сигнала.

– В случае априорной неопределенности в плане корреляционной функции полезного сигнала целесообразно использовать метод SSA, на основе которого определяется корреляционная матрица наблюдаемого сигнала. В дальнейшем использование нового

базиса и коэффициентов разложения, полученных таким методом, дает также хороший результат выявления сбоя и небольшую задержку по времени.

– Спектральный метод определения сбоя полезного сигнала дает хорошие результаты даже при значительной помехе.

– Результаты спектрального метода выявления сбоя полезного сигнала можно использовать в комплексировании с временными методами для повышения качества идентификации сбоя.

Библиографический список

1. Репин В. Г., Тартаковский Г. П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. М.: Советское Радио, 1977.
2. Michele Basseville, Igor V. Nikiforov Detection of Abrupt Changes: Theory and Application.
3. Иванов Ю. П., Синяков А. Н., Филатов И. В. Комплексирование информационно-измерительных устройств летательных аппаратов. Л.: Машиностроение, 1984.
4. Иванов Ю. П., Бирюков Б. Л. Информационно-статистическая теория измерений. Модели сигналов и анализ точности систем: учебн. пособие, ГУАП, 2008.
5. Иванов Ю. П. Адаптивная комплексная оптимально-инвариантная фильтрация сигналов. СПб.: Приборостроение №3, 2003.

УДК 004.922

М. Э. Юдин – студент кафедры компьютерного проектирования аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

П. С. Виноградов – научный руководитель

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ 3D-СЦЕНЫ

Для отображения на индикаторе пилота подстилающей поверхности и модели ЛА в трёхмерном виде встала задача анализа, выбора и реализации алгоритмов по построению трёхмерной сцены. Реализацию выполнить на цифровом сигнальном процессоре, используемом в бортовой цифровой вычислительной системе.

Предъявляемые требования:

- разрешение картинки 1024×768 пикселей;
- частота кадров 25 Гц.

Трёхмерные сцены строятся из полигонов (треугольников). Основная задача – расположить полигоны в сцене так, чтобы получить требуемые поверхности. Для этих целей наиболее удобным и простым способом являются матричные преобразования [1].

Каждый из полигонов задаётся в пространстве координатами его вершин. Вершины (точки) задаются в однородных координатах, т. е. используется четыре координаты для задания точки в трёхмерном пространстве. Это необходимо для выполнения преобразований пространственного переноса. Следующая формула устанавливает связь между однородными и обычными координатами:

$$[x \ y \ z \ h] = [x/h \ y/h \ z/h].$$

В общем виде матричные преобразования выглядят следующим образом:

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \times [T]$$

где $[T] = \begin{bmatrix} a & b & c & p \\ d & e & f & q \\ g & h & i & r \\ l & m & n & s \end{bmatrix}$.

Масштабирование выполняется с помощью задания элементов главной диагонали матрицы преобразований:

$$[T] = \begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

В результате получим $[X] \times [T] = [ax \ ey \ iz \ 1]$. Либо можно выполнить общее масштабирование:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & s \end{bmatrix},$$

что даст в результате $[X] \times [T] = [x \ y \ z \ s] = [x/s \ y/s \ z/s \ 1]$.

Сдвиг выполняется при помощи следующей матрицы:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & b & c & 0 \\ d & 1 & f & 0 \\ g & h & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Получаем $[X] \times [T] = [x + dy + gz \ bx + y + hz \ cx + fy + z \ 1]$. Для пространственного переноса используется матрица:

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ l & m & n & 1 \end{bmatrix}.$$

Результатом её применения получим $[X] \times [T] = [x + l \ y + m \ z + n \ 1]$.

Для выполнения поворотов относительно координатных осей используется следующие матрицы:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi & 0 & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Они выполняют поворот относительно осей x, y, z, соответственно.

Комбинированные преобразования используются для сокращения вычислений, т. к. получается одна результирующая матрица всех преобразований над точкой, например:

$$\begin{aligned}
 [T] = [R_x][R_y] &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi \sin \theta & \cos \theta & \cos \varphi \sin \theta & 0 \\ \sin \varphi \cos \theta & -\sin \theta & \cos \varphi \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Также они используются для выполнения преобразований относительно произвольной точки пространства, путём переноса этой точки в начало координат, выполнения преобразований и возврат точки обратно [2].

На основе этих алгоритмов была написана программа для процессора. Для анализа требуемой производительности была выбрана некоторая абстрактная сцена заполненная мелкими полигонами. В результате получилось 45 000 полигонов на кадр. Над каждым полигоном однократно выполнялись операции масштабирования, поворота и переноса. Таким образом, на один полигон требовалось 170 операций процессора. Далее рассчитываем требуемое количество операций процессора на одну секунду работы: $45000 \times 170 \times 25 \approx 200$ млн от/с. Так как операции выполняются за один такт то, следовательно, требуемая частота процессора 200 МГц. Имеющийся в распоряжении процессор имеет тактовую частоту 200 МГц и 2 DSP ядра, что вполне достаточно для решения поставленной задачи.

Библиографический список

1. Шикин Е. В., Боресков А. В. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения: Учебно-справочное издание. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996. 288 с.
2. Дональд Херн, М. Паулин Бейкер Компьютерная графика и стандарт OpenGL. М.: Вильямс, 2005. 1168 с.