

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

СЕМЬДЕСЯТ ПЕРВАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов
16-20 апреля 2018 г.



УДК 001
ББК 72
С30

С30 Семьдесят первая международная студенческая научная конференция ГУАП: сб. докл. В 5 ч. Ч. 1. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2018. 243 с.
ISBN 978-5-8088-1293-2 (Ч. 1)
ISBN 978-5-8088-1292-5

Представлены доклады Семьдесят первой международной студенческой научной конференции ГУАП, прошедшей в апреле 2018 г.

Научные работы студентов ГУАП посвящены актуальным проблемам авиационного и аэрокосмического приборостроения, проблемам развития новых информационных технологий, радиотехники, электроники и связи.

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

Редакционная коллегия:

А. Р. Бестугин, доктор технических наук, профессор
А. С. Будагов, доктор экономических наук, доцент
К. В. Лосев, доктор экономических наук, доцент
И. А. Павлов, кандидат военных наук, доцент
Е. Г. Семенова, доктор технических наук, профессор
М. Б. Сергеев, доктор технических наук, профессор
А. М. Тюрликов, доктор технических наук, профессор
В. А. Фетисов, доктор технических наук, профессор
В. Ф. Шишлаков, доктор технических наук, профессор
М. О. Самоловов, директор редакционно-издательского центра

Ответственный секретарь редакционной коллегии *Л. И. Корнеева*

ISBN 978-5-8088-1293-2 (Ч. 1)
ISBN 978-5-8088-1292-5

© Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического
приборостроения, 2018

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Аэрокосмические приборы и системы

УДК 629.76.78

А.А. Аристов

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.В. Перлюк — научный руководитель

УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ МИКРОСПУТНИКОВ НА ОРБИТЕ

Современная космонавтика подвергается изменениям. Ранее использовались крупногабаритные спутники массой около сотен килограмм. Для вывода одного такого спутника на орбиту требуется использовать значительное количество ресурсов. На данный момент все более широко применяются спутники массой до 15-20 кг, объединяемые в группы. Рассмотрим преимущества и недостатки таких спутников по сравнению с прежними.

Преимущества:

- 1) возможность вывести на орбиту несколько спутников сразу;
- 2) более высокая надежность системы микроспутников при решении одной и той же со спутниками предыдущих поколений задачи (сохранение работоспособности группы при выходе из строя одного спутника);
- 3) некоторое уменьшение стоимости всего проекта.

Недостатки:

- 1) в связи с малыми размерами и массой невозможность использовать крупногабаритные радиосистемы с направленной антенной. В связи с этим область на поверхности планеты, покрываемая одним спутником, значительно уменьшается, а для связи между членами группы микроспутников наиболее целесообразно использовать радиосистемы без направленных антенн и передавать информацию с помощью таких технологий, как *Wi-Fi* или *Bluetooth*;
- 2) по тем же причинам невозможно установить двигатели и топливные баки для них. Для коррекции орбиты таких спутников можно использовать только маховики.

Рассмотрим упрощенную схему оптико-электронной относительной навигации двух спутников формата *Cubesat*. На первом установлена камера, на втором — 24 инфракрасных светодиода, расположенных на боковых сторонах спутника группами по 4 штуки. На каждой боковой панели расположение такой группы должно быть уникальным, что позволит точно определить, какой стороной и как именно в пространстве расположен спутник. Зная размеры наблюдаемого спутника и точное расположение светодиодов на каждой грани, можно определить координаты вершин куба. Далее будем в расчетах использовать именно эти координаты для упрощения вычислений.

Примем, что оси координат, относительно которых рассматривается положение спутников, расположены следующим образом: ось OY направлена вертикально вверх, ось OX — по направлению движения спутника, ось OZ — вправо для наблюдателя, смотрящего вдоль оси OX . Положение ведомого спутника относительно ведущего определяется тремя углами Эйлера. Определим матрицы направляющих косинусов при переходе от исходной системы координат $OXYZ$ к системе координат $Ox_bY_bZ_b$, связанной с корпусом ведущего спутника. Сначала рассмотрим поворот спутника из исходного положения относительно оси OX на угол ψ против часовой стрелки, если наблюдать с положительной части оси OY :

$$A_{\psi} = \begin{bmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Матрица A_{ψ} – это оператор, преобразующий начальные координаты X, Y, Z в координаты X', Y', Z' .

Аналогично рассмотрим поворот на угол ϑ относительно оси OY' против часовой стрелки при наблюдении со стороны положительной части промежуточной оси OZ' :

$$A_{\vartheta} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta & \sin \vartheta & 0 \\ -\sin \vartheta & \cos \vartheta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Аналогично получим таблицу при повороте на угол γ против часовой стрелки относительно промежуточной оси OZ'' при наблюдении со стороны положительной части промежуточной оси OX'' :

$$A_{\gamma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 0 & -\sin \gamma & \cos \gamma \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Полная цепочка преобразований такова:

$$[X_b Y_b Z_b] = A_{\gamma} [X' Y' Z'] = A_{\gamma} A_{\vartheta} [X'' Y'' Z''] = A_{\gamma} A_{\vartheta} A_{\psi} [XYZ]. \quad (4)$$

Введем обозначение $\mathbf{A} = A_{\gamma} A_{\vartheta} A_{\psi}$, где матрица \mathbf{A} – искомая матрица преобразования из начальной системы координат $OXYZ$ в систему координат $Ox_b Y_b Z_b$, связанную с ведущим спутником. В результате получим следующее:

$$[X_b Y_b Z_b] = \mathbf{A}[XYZ]. \quad (5)$$

В этом случае матрица \mathbf{A} имеет следующую структуру:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cdot \cos \psi & \sin \vartheta & -\cos \vartheta \cdot \sin \psi \\ \sin \gamma \cdot \sin \psi - \cos \gamma \cdot \cos \psi \cdot \sin \vartheta & \cos \gamma \cdot \cos \vartheta & \cos \gamma \cdot \sin \psi \cdot \sin \vartheta + \sin \gamma \cdot \cos \psi \\ \sin \gamma \cdot \cos \psi \cdot \sin \vartheta + \cos \gamma \cdot \sin \psi & -\sin \gamma \cdot \cos \vartheta & \cos \gamma \cdot \cos \psi - \sin \gamma \cdot \sin \psi \cdot \sin \vartheta \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Так как матрица направляющих косинусов \mathbf{A} является ортогональной, то обратная матрица $\mathbf{C} = \mathbf{A}^{-1} = \mathbf{A}^T$ имеет следующий вид:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cdot \cos \psi & \sin \gamma \cdot \sin \psi - \cos \gamma \cdot \cos \psi \cdot \sin \vartheta & \sin \gamma \cdot \cos \psi \cdot \sin \vartheta + \cos \gamma \cdot \sin \psi \\ \sin \vartheta & \cos \gamma \cdot \cos \vartheta & -\sin \gamma \cdot \cos \vartheta \\ -\cos \vartheta \cdot \sin \psi & \cos \gamma \cdot \sin \psi \cdot \sin \vartheta + \sin \gamma \cdot \cos \psi & \cos \gamma \cdot \cos \psi - \sin \gamma \cdot \sin \psi \cdot \sin \vartheta \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Матрица \mathbf{C} позволяет перейти обратно от системы координат, связанной с ведущим спутником, к изначальной системе координат:

$$[XYZ] = \mathbf{C}[X_b Y_b Z_b]. \quad (8)$$

Рассмотрим алгоритм измерения расстояния до объекта с помощью камеры, приняв для упрощения, что ведомый спутник неподвижен относительно одной из осей. Не принципиально, какую при этом ось выбрать, так как спутник кубический. На рис. 1 представлена схема, на основе которой будем делать выводы. Коэффициент масштабирования линзы камеры $Kf = L/f$.

Рассмотрим треугольники DCB и MOD. Они подобны по признаку двух равных углов ($MOD = DCB = 90^\circ$, $ODM = CDB$ как вертикальные). Тогда справедливо следующее равенство:

$$\frac{h}{h_c} = \frac{L_c - f}{f}. \quad (9)$$

Выразим линейный размер изображения спутника через его размер в пикселях b и разрешение камеры k пикселей/см:

$$h = k \cdot \alpha. \quad (10)$$

Из уравнений (9) и (10) выразим коэффициент k :

$$k = \frac{f \cdot h}{(L_c - f) \cdot \alpha}. \quad (11)$$

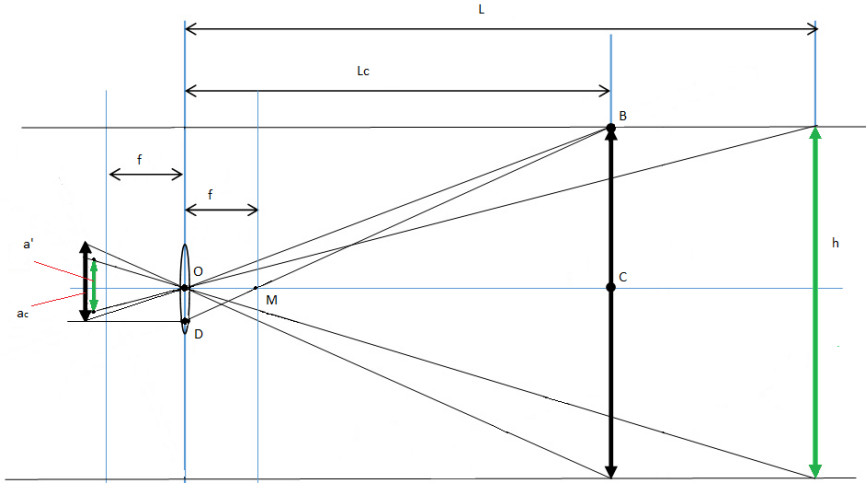


Рис. 1. Схема взаимного размещения исследуемого объекта:

- f – фокусное расстояние линзы объектива;
- h – вертикальный размер отслеживаемого спутника;
- h_c – полученное изображение спутника при калибровке;
- h' – полученное изображение объекта при реальных измерениях;
- L_c – известное расстояние до объекта, на котором проводится калибровка;
- L – расстояние до объекта в реальных условиях;
- M, D, O, C, B – точки

Введем коэффициент камеры k_{os} по следующей формуле:

$$k_{os} = \frac{f}{k} = \frac{(L_c - f) \cdot \alpha}{h} \quad (12)$$

Данный коэффициент определяется при калибровке и в дальнейшем используется для определения расстояния L до ведомого спутника при взаимной ориентации:

$$L = k_{os} \frac{h}{\alpha'} \quad (13)$$

где α' – размер полученного при измерении изображения объекта.

Допустим, что калибровка проводится при следующих параметрах: $L_c=5.5$ м; $h=0.1$ м, $f=0.5$ м, разрешение матрицы камеры равно 3.7 Мп (1920×1920). Тогда по формуле (12) $k_{os}=9.6 \cdot 10^4$ пикселей. Допустим, что во время работы на орбите камера получила изображение спутника размером 50 пикселей. Тогда по формуле (13) расстояние до этого спутника $L=192$ м. Оценим погрешность полученного результата, приняв, что ошибка матрицы камеры составляет $\Delta\alpha = 1$ пиксель.

Тогда:

$$\Delta L = \left| \frac{dL}{d\alpha} \right| \Delta\alpha = \left| k_{os} \frac{h}{\alpha^2} \right| \Delta\alpha \quad (14)$$

$\Delta L = \left| \frac{dL}{d\alpha} \right| \Delta\alpha = \left| k_{os} \frac{h}{\alpha^2} \right| \Delta\alpha$ Для наших значений по формуле (14) ошибка измерения расстояния составляет примерно 4 м. Таким образом, мы получили $L=(192\pm 4)$ м.

Данная ошибка может быть уменьшена с помощью дополнительной обработки полученного изображения. При этом имеется ограничение на время выполнения обработки, так как спутники движутся со

значительной скоростью, и проводить измерения расстояния между ними необходимо со значительной частотой. Таким образом, уменьшить итоговую ошибку можно путем использования процессора с высокой тактовой частотой, способного выполнять более сложные алгоритмы измерения расстояния за приемлемое время.

В результате можно сделать следующий вывод: использование метода технического зрения является оправданным и перспективным в решении задач управления пространственным расположением микроспутников в группировке и, прежде всего, для определения текущего расстояния между соседними спутниками. Эти возможности предполагается использовать в дальнейших исследованиях, например, при автоматизации стыковки. Вместе с тем проведенные расчеты показывают сравнительно высокие ошибки в определении углов пространственной ориентации, что требует дополнительных исследований и разработки новых подходов к решению задач оценки пространственной ориентации на базе оптических методов.

Библиографический список

1. Лурье А. И. Аналитическая механика. М.: Физматлит, 1961.
2. Оптические вычисления. Электронная библиотека. URL: http://lib.alnam.ru/book_copt.php (дата обращения: 12.04.2018).

УДК 531.383

А.Н. Артемьев

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.А. Тупышев – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ,
ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ БИНС И СРЕДСТВ ВНЕШНЕЙ КОРРЕКЦИИ**

На сегодняшний день для выработки навигационных и динамических параметров широкое распространение получили стохастические методы обработки информации, в том числе методы калмановской фильтрации. Эффективность таких фильтров существенно зависит от точности описания небелозумных возмущений и ошибок измерений. Как следствие одной из основных задач является идентификация параметров формирующих фильтров, используемых для описания этих процессов.

В предложенной работе рассматривается возможность идентификации параметров методом вариации Аллана [2]. В последнее время этот метод получил широкое распространение при исследовании свойств случайных ошибок чувствительных элементов инерциальных систем (гироскопов и акселерометров).

Ряд известных приборостроительных фирм включает оценку вариации Аллана в спецификации на инерциальные приборы [3].

В линейной постановке задачи оценивания модель поведения динамической системы в расширенном пространстве состояний имеет вид

$$x_p(k) = \Phi_p(k)x_p(k-1) + G_p(k)\xi_p(k), \xi_p(k) \in N\{0, Q(k)\} \tag{1}$$

модель измерения имеет вид

$$z_p(k) = H_p(k)x_p(k) + v_p(k), v_p(k) \in N\{0, R(k)\} \tag{2}$$

где $x_p(k)$ - вектор состояния динамической системы размерности n ; $z_p(k)$ - вектор измерений размерности m ; $H_p(k)$ - известная в общем случае матрица размерности $m \times n$; $v_p(k)$ - центрированный вектор ошибок измерений с ковариационной матрицей $R_p(k)$; $\xi_p(k)$ - центрированный вектор ошибок возмущений с ковариационной матрицей $Q_p(k)$; $\Phi_p(k)$ - матрица состояния; $G_p(k)$ - матрица возмущения системы. Предполагается, что параметры $\xi_p(k)$ и $v_p(k)$ не зависят между собой и от вектора начальных условий $x(0)$, $x(0) \in N\{\bar{x}(0), P(0)\}$.

Суть метода вариации Аллана состоит в вычислении дисперсии разницы соседних отклонений [1], а не самих отклонений центрированного случайного процесса, как это делается при определении классической выборочной дисперсии.

Предположим, что имеется L наборов из M значений случайной последовательности

$$\underbrace{x_1, x_2, \dots, x_M}_{i=1}, \underbrace{x_{M+1}, \dots, x_{2M}}_{i=2}, \dots, \underbrace{x_{(L-1)M+1}, \dots, x_{LM}}_{i=L}$$

и для каждого из них вычисляется среднее значение

$$\bar{x}_i(M) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{L-1} (\bar{x}_{j+1}(M) - \bar{x}_j(M))^2. \tag{3}$$

Вариация Алана определяется следующим соотношением

$$\sigma_A^2(M) = \frac{1}{2(L-1)} \sum_{j=1}^{L-1} (\bar{x}_{j+1}(M) - \bar{x}_j(M))^2. \tag{4}$$

Отсюда следует, что вариация Алана представляет собой оценку одной второй дисперсии разности средних значений $\bar{x}_i(M)$, рассчитанных для каждой группы [3].

Исходя из предположения об основных известных шумовых составляющих инерциальных измерителей в соответствии с [2, 3], таких как случайный наклон, винеровский процесс, белый шум, фликкер-шум, шум квантования, можно представить вариацию Аллана $\sigma_A^2(\tau)$ в следующем виде:

$$\sigma_A^2(\tau) = R^2 \frac{\tau^2}{2} + K^2 \frac{\tau}{3} + B^2 \frac{2}{\pi} \ln 2 + N^2 \frac{1}{\tau} + Q^2 \frac{3}{\tau^2}, \quad (5)$$

Значения коэффициентов R, K, B, N, Q характеризуют интенсивность отдельных шумовых составляющих выходного сигнала измерителя. В табл. 1 показаны соответствующие типовые углы наклона логарифмического графика с описанием их характеристик [1, 4].

Таблица 1

Характеристики $\sigma_A(\tau)$ -графика

Наклон графика	Вариация Аллана	Коэффициент полинома	Тип погрешности в терминах спектральной плотности шума / вариации Аллана $\sigma_A^2(\tau)$
-1	$\frac{C^2}{\tau^2}$	Q	Белый шум выходного сигнала / шум квантования
-1/2	$\frac{q^2}{\tau}$	N	Белый шум приращения выходного сигнала / случайное блуждание выходного сигнала
0	$B^2 2 \ln\left(\frac{2}{\pi}\right)$	B	Фликкер-шум выходного сигнала / нестабильность смещения нуля
+1/2	$\frac{q^2}{3}$	K	Винеровский процесс / случайное блуждание изменения выходного сигнала
+1	$\frac{\sigma_1^2 \tau^2}{2}$	R	Случайный наклон

Определение значений коэффициентов R, K, B, N, Q обычно осуществляется путем аппроксимации по методу наименьших квадратов [1, 2]. В общем случае при анализе шумовых составляющих выходного сигнала измерителя проводится построение в логарифмическом масштабе $\sigma_A(\tau)$ -графика изменения функции квадратного корня из вариации Аллана $\sigma_A^2(\tau)$, вычисленной по формуле (4), от времени осреднения τ .

Отметим, что для ряда процессов имеется определенная корреляция между средними значениями на соседних интервалах. В этой связи рассмотрим сначала точное решение вариации Аллана для процесса со случайным наклоном.

Предположим, модель описывается последовательностью

$$x(t) = V \cdot \Delta t \quad (6)$$

На первом интервале последовательность имеет вид (6)

$$x_0, x_0 + V\Delta T, x_1 + V\Delta T. \quad (7)$$

Далее суммируются отсчеты и находится среднее арифметическое по формуле

$$\bar{X}_j = \frac{1}{M}(MX_0 + MV\Delta T + (M-1)V\Delta T + \dots + V\Delta T) = \frac{1}{M}(MX_0 + \frac{M(M+1)}{2}V\Delta T). \quad (8)$$

Как следствие можно записать

$$\bar{X}_{j+1} - \bar{X}_j = X_M - X_0, \quad (9)$$

Учитывая, что $X_M = X_0 + M\Delta TV$, вариация Аллана будет иметь вид

$$\sigma_A^2 = \frac{L-1}{2(L-1)}(M^2V^2\Delta T^2) = \frac{M^2V^2\Delta T^2}{2} = \frac{V^2\tau^2}{2} \quad (10)$$

Воспользовавшись изложенной методикой, можно показать, что точное значение вариации Аллана для белого шума будет равно $\sigma_A^2 = \frac{Q^2}{\tau}$, а для винеровского процесса будет определяться выражением

$$\sigma^2 = \frac{\tau Q}{3} + \frac{\Delta T^2 Q}{6\tau}, \quad (11)$$

отличающимся от приводимых в работах по вариациям Алана на величину $\frac{\Delta T^2 Q}{6\tau}$.

Теоретический расчет для винеровского процесса показал, что, кроме коэффициента, существует второе слагаемое – ошибка вариации Аллана (рис. 1).

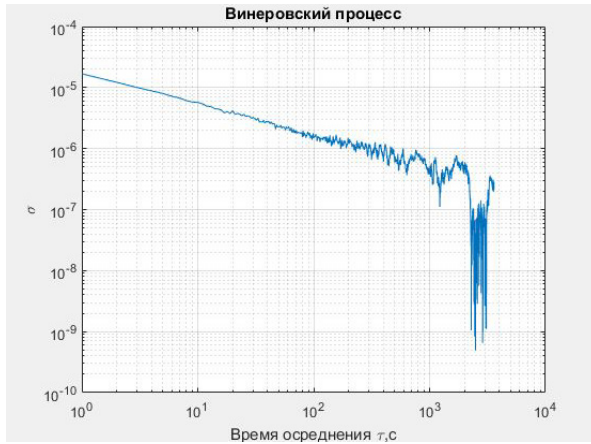


Рис. 1. Вариация Аллана для винеровского процесса

В ряде исследований предполагается наличие еще двух составляющих – марковского шума и синусоидального шума [5]. Характерные наклоны графика в логарифмическом масштабе для этих характеристик приведены на рис. 2.

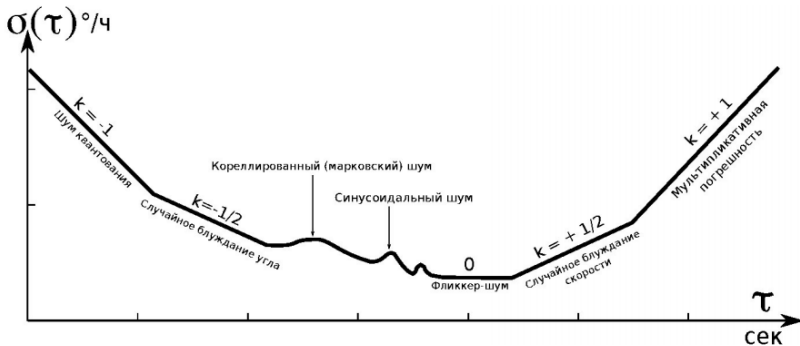


Рис. 2. Характерные наклоны логарифмического графика

В рамках данной работы был рассмотрен метод идентификации параметров с использованием вариации Аллана. Представлен точный аналитический расчет вариации Аллана для различных процессов, при этом рассчитанные параметры совпали с тем, что предложил Аллан, за исключением винеровского процесса. В соответствии с приведенной методикой разработано и протестировано специальное программное обеспечение, позволяющее производить расчет вариации Аллана. Предполагается дальнейшее решение для более сложного описания процессов, представляющих различные комбинации составляющих и проведение дальнейших исследований при наличии марковских процессов, что характерно для описания чувствительных элементов, таких как акселерометры и гироскопы.

Библиографический список

1. Кутовой Д.А., Ситников П.В. Некоторые практические вопросы использования вариации Аллана при исследовании бесплатформенного инерциального блока. Навигация и управление движением / Материалы XV конф. молодых ученых. СПб.: Концерн ЦНИИ «Электроприбор». 2013. С. 246–252.
2. Кучерков С.Г. и др. Использование вариации Аллана при исследовании характеристик микромеханического гироскопа // Гироскопия и навигация. №2(41). 2003. С. 98–104.
3. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Ч. 1. Введение в теорию оценивания. 3-е изд. испр. и доп. СПб.: Концерн ЦНИИ «Электроприбор». 2017. 509 с.
4. Lawrence C. Ng and Darryll J. Pines. Characterization of Ring Laser Gyro Performance Using the Allan Variance Method // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. 1997. Vol. 20. No. 1. Pp. 211-214.
5. Zhang X. Allan Variance Analysis on Error Characters of MEMS Inertial Sensors for an FPGA-Based GPS/INS System / In Proceeding of the International Symposium on GPS/GNSS. Tokyo, Japan. 11–14 November 2008. Pp. 127–133.

УДК629.784

Р. П. Дуркин

магистр кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

А. П. Григорьев – научный руководитель

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПОСРЕДСТВОМ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

На борту космического аппарата (КА) существует множество бортовых систем (БС) и элементов конструкции изделия, которые требуют контроля. Телеметрические системы (ТМС) предназначены для получения достаточной и достоверной информации, которая затем используется для оценки состояния контролируемых бортовых систем и конструкции изделия. Традиционно данная задача решается путем установки в контрольных точках конструкции и бортовых систем датчиков и преобразователей различных типов, которые подключаются к ТМС с помощью электрических проводных каналов связи. ТМС посредством своей системы коммутации обеспечивает сбор измерительных сигналов с подключенных датчиков, которые затем подвергаются обработке, оцифровке и упаковке в телеметрический кадр, передаваемый по радиоканалу на наземный пункт приема. Структурная схема традиционной проводной системы сбора данных (ПССД) приведены на рис. 1.

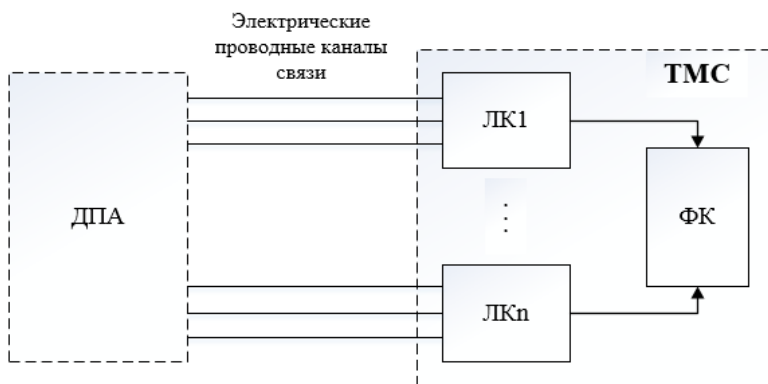


Рис. 1. Структурная схема ПССД:

*ЛК – локальный коммутатор;**ФК – формирователь кадра;**ДПА – датчно-преобразующая аппаратура*

Такие ПССД обладают следующими принципиальными недостатками:

- сложность при монтаже, связанные с прокладкой кабелей для передачи телеметрической информации и электропитания в массиве бортовой аппаратуры;
- усложнение поиска неисправностей, возникающих в проводных системах, так как на любом участке провода может возникнуть обрыв.

Применение беспроводных систем позволит решить эти и ряд других проблем. Однако стоит заметить, что в настоящее время беспроводные системы сбора данных (БССД) в ракетно-космической технике на данный момент не нашли широкого применения.

Беспроводные системы имеют множество преимуществ по сравнению с проводными системами:

- отсутствие необходимости в прокладке кабелей для электропитания и передачи данных;
- низкая стоимость монтажа, пуска наладки и технического обслуживания системы;
- минимальные ограничения по размещению беспроводных устройств;
- возможность внедрения и модификации сети на эксплуатируемом объекте без вмешательства в процесс функционирования;
- надежность и отказоустойчивость всей системы в целом при нарушении отдельных соединений между узлами.

При разработке беспроводных датчиков необходимо учитывать следующие факторы:

- необходимы автономные датчики, поэтому они должны потреблять минимальное количество энергии;
- частотный диапазон беспроводных датчиков не должен «пересекаться» с рабочими частотами различных систем КА [2].

Беспроводные устройства особенно актуальны на протяженных КА (большие длины кабелей) и КА со сложной системой развертывания (громоздкие механизмы, обеспечивающие выдвигание кабелей).

Рассмотрим актуальность применения беспроводных устройств на примере измерения температуры на КА транспортно-энергетический модуль (ТЭМ). Длина КА ТЭМ составляет 60-70 м со сложной системой развертывания [3]. Существует два основных способа измерения температуры – контактные и бесконтактные. На КА ТЭМ целесообразно использовать бесконтактный способ измерения температуры (с помощью тепловизоров) систем обеспечения теплового режима (СОТР) энергетической установки, так как данный вариант даст полную картину теплового поля СОТР ЭУ, которое, в свою очередь, позволит определить места потенциальных теплопотерь. Также стоит отметить, что СОТР функционирует в больших диапазонах температур, что может оказать негативное воздействие на чувствительные элементы датчиков температуры. Для получения оптимальной картины теплового поля, тепловизоры должны быть размещены в местах близких к нормали объекта контроля. По конструктивным особенностям КА ТЭМ таким местом для тепловизора является оконечность солнечной панели. Расположение тепловизоров представлено на рис. 2.

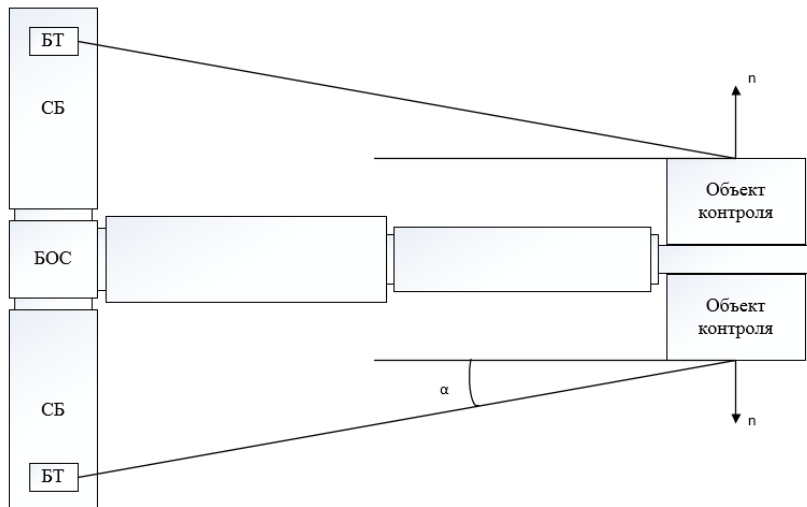


Рис. 2. Места расположения тепловизоров на КА ТЭМ

БOS – это блок обеспечивающих систем;

СБ – солнечная батарея;

БТ – беспроводной тепловизор

Солнечные панели не предполагают размещения на них дополнительных проводных каналов связи (ограниченное количество токосъемных колец; уже выстроена кабельная сеть без возможности изменения ее облика). Возможны два варианта решения данной проблемы:

1. Разработка новой солнечной панели с учетом размещения на них проводных тепловизоров;
2. Применение беспроводных тепловизоров.

Первый вариант является финансово-затратным, поэтому целесообразно акцентировать внимание на втором варианте.

Беспроводную систему сбора данных (БССД) функционально можно разбить на три части:

- 1) средства первичного преобразования измеряемой величины (СПП);
- 2) блок транзита измерений (БТИ);
- 3) систему питания датчиков (СПД).

Обобщенная структура БССД представлена на рис. 3.

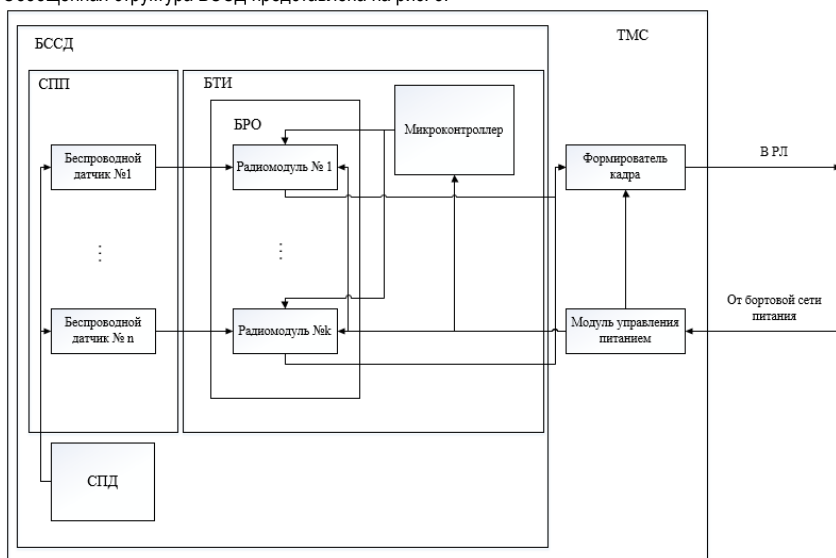


Рис. 3. Структурная схема БССД

СПП представляет собой массив беспроводных датчиков.

В БТИ входят:

- блок радиоопроса (БРО);
- микроконтроллер.

БРО представляет собой комплект радиомоделей, которые принимают радиосигналы от СПП.

Микроконтроллер выполняет функцию узла управления работой радиомоделей БРО путем выдачи команд.

Модуль управления питанием преобразует постоянное бортовое напряжение в напряжение, приемлемое для элементов БТИ.

Формирователь кадра преобразует информацию, полученную от тепловизоров в телеметрический кадр для ее дальнейшей передачи на «Землю».

Основная цель применения датчиков с радиоканалом – полностью избавиться от кабельной сети между массивом датчиков и системой коммутации ТМС. Однако отсутствие проводной связи создает новую проблему, связанную с организацией питания СПП. В традиционной проводной системе сбора данных питание поступает от ТМС. В БССД ТМС лишается возможности обеспечивать питанием подключенные к ее коммутаторам датчики.

Для решения этой проблемы можно задействовать следующие решения.

1. Использование датчиков с автономным источником питания, способным функционировать в течение всего срока летной эксплуатации изделия. На время работы автономных источников питания в составе беспроводного датчика влияет скорость передачи данных от датчика к приемнику, чем она ниже, тем ниже энергопотребление; следовательно, стоит акцентировать внимание на стандартах группы WPAN, так как они рассчитаны на низкоскоростные сети.

При анализе стандартов беспроводных сетей (базовые характеристики стандартов беспроводных сетей представлены в табл. 1) было выявлено, что наиболее предпочтительным является стандарт 802.15.4 и ZigBee.

Таблица 1

Сравнение стандартов группы WPAN

Стандарт	802.15.3	802.15.4 и ZigBee	Bluetooth (802.15.1)
Скорость передачи, Мб/с	55-480	0.025-0.25	1-3
Диапазон, м	До 100	120	10-30
Частота, ГГц		2.4	
Описание	Разрабатывался как высокоскоростной стандарт WPAN-сетей для высокотехнологичных бытовых устройств (предназначенных, как правило, для передачи мультимедийных данных)	802.15.4 и ZigBee часто отождествляются, так в основе стандарта ZigBee лежит стандарт 802.15.4. Предусматривает большую область применения, а не «заточенность» под конкретные цели	На сегодняшний день хорошо развит и применяется для связи мобильных телефонов, КПК, периферии. Не рассчитан на сети с низким энергопотреблением

Период «активности» устройств, выполненных по технологии ZigBee крайне малы, что обеспечивает продолжительный срок службы батареи [1].

2. Включение в состав БССД собственной системы генерации электроэнергии (СПД), предназначенной для питания исключительно беспроводных датчиков и построенной:

- на солнечных батареях;
- изотопах.

Стоит учитывать также воздействие радиации на БССД. Радиация является одним из главных факторов, вызывающих возникновение отказов и сбоев в работе бортовых систем КА. Радиационная опасность на КА связана с различными радиационными эффектами, которые возникают в элементах оборудования, находящихся на борту КА, в результате прохождения через них частиц высокой энергии.

Радиационные эффекты можно разделить на две категории.

1. Дозовые эффекты (Радиационные пояса Земли, солнечные вспышки);

возникают в полупроводниковых структурах в основном на разделах кремния и окисла. Приводят к сдвигу пороговых напряжений и отказам, связанным с уменьшением быстродействия вследствие изменения крутизны ВАХ.

2. Эффекты одиночных сбоев (воздействие тяжелых заряженных частиц).

Включают в себя эффекты локальной ионизации и тиристорный эффект. Проявляются в изменении логического состояния элемента или логического выхода. Неисправности этого типа могут возникать не только в логике, но и в блоках управления и блоках памяти.

Задача оценки радиационной стойкости будет разделена на два этапа:

1. Расчет предельно допустимой накопленной дозы и расчет коэффициентов запаса (КЗ).

2. Расчет вероятности возникновения одиночных сбоев и катастрофических отказов за время работы БРЗА.

Блок-схема алгоритма методики обеспечения радиационной стойкости электронных компонентов (ЭК) БССД приведена на рис. 4:

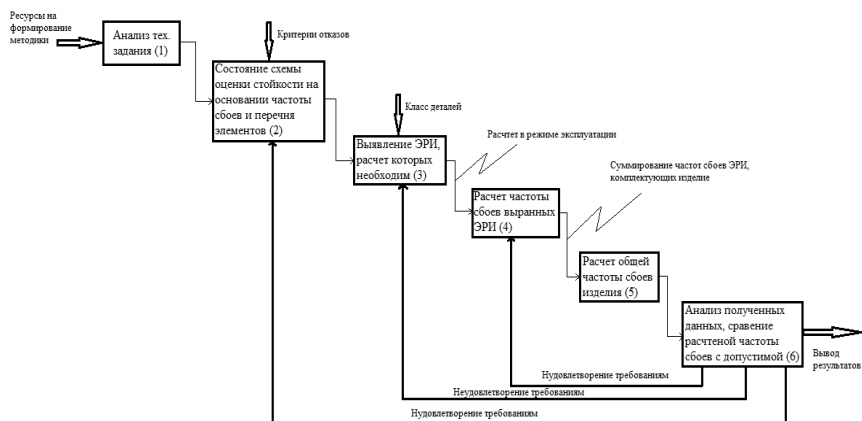


Рис. 4. Блок-схема алгоритма методики обеспечения радиационной стойкости ЭК БССД

Конструктивные способы повышения радиационной стойкости ЭК БССД: использование специальных корпусов, лаковой защиты покрытий, применение принципов резервирования и т.п. Этот способ требует применения специализированных материалов корпусов и покрытий. На этапе резервирования масштабирование схемы ограничено и для сохранения радиационной стойкости системы без ухудшения надежности из-за увеличения ее сложности важно установить баланс между резервированием и сложностью БССД [4].

Библиографический список

1. Шахнович И.А. Современные технологии беспроводной связи. М.: Техносфера, 2006. 288 с.
2. Дуркин Р.П., Григорьев А.П. Разработка учебного стенда для исследования технологий беспроводной передачи данных. Шестьдесят девятая международная студенческая научная конференция ГУАП / Сб. докл. Ч. I. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2016. С. 54–57.
3. Дуркин Р.П., Григорьев А.П. Организация беспроводного обмена данными на борту космического аппарата. Семидесятая международная студенческая научная конференция ГУАП. Сб. докл.: Ч. I. Технические науки. СПб.: ГУАП., 2017. С. 49–50.
4. Коржеманов Д.Н., Гормаков А.Н. Методы обеспечения радиационной стойкости электронных компонентов искусственных спутников земли. Космическое приборостроение / Сб. науч. тр. форума школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, г. Томск, 10-12 апреля 2013 г. ТПУ. Томск: ТПУ, 2013. С. 201-202.

УДК 621.318

М.А. Епринцев

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В.В. Перлюк – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ СТЕНД МАГНИТНОГО ПОДВЕСА ДЛЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Аэродинамический эксперимент (АЭ) — совокупность мероприятий и методов, реализующих на экспериментальных установках и стендах, или в условиях реального полета, моделирование течений воздуха и их взаимодействия с исследуемым объектом с целью их изучения. Происхождение и развитие АЭ связано с потребностями решения множества проблем аэродинамики самолетов и других летательных аппаратов. Теоретический подход не всегда позволяет получить исчерпывающие данные и аэродинамические характеристики ЛА достаточной точности ввиду несовершенства математических моделей явлений в силу их физической сложности. Поэтому АЭ являются наиболее надежным и часто необходимым средством определения аэродинамических характеристик летательного аппарата.

В настоящее время большая часть аэродинамических исследований и экспериментов проводят в аэродинамических трубах, так как это позволяет изучать различные параметры на моделях и отдельных элементах ЛА, что в условиях летных испытаний практически невозможно. При этом традиционный способ фиксации моделей в аэродинамической трубе при статических и динамических испытаниях предполагает наличие механических поддерживающих устройств – державок или шарнирных узлов, которые попадают в воздушный поток и искажают его структуру в непосредственной близости от модели. Величина погрешности, возникающей из-за способа фиксации модели, возрастает с увеличением угла атаки.

В этой связи важнейшими требованиями к аэродинамическим экспериментам является обеспечение максимально возможного подобия условиям натурального движения. Становится очевидным, что проведение АЭ традиционным способом не способен дать необходимой в современной авиации точности. Необходим способ фиксации ЛА в аэродинамической трубе без крепежных устройств, попадающий в воздушный поток. Один из таких способов – использование аэромагнитного подвеса, который осуществляет принцип «электромагнитной левитации».

В ГУАП в конце 80-х гг. проводились исследования в этой сфере, и даже был реализован действующий образец магнитного подвеса для аэродинамического эксперимента в дозвуковом потоке для небольших моделей (весом до 10 кг). Однако в течение 90-х гг. большая часть полученных результатов, включая действующий образец исследовательской установки, были безвозвратно утрачены.

В настоящее время на кафедре № 11 ГУАП ведется разработка учебно- демонстрационного стенда электромагнитного подвеса (рис.1).

Здесь могут быть использованы покупные электромагниты, питаемые от постоянного напряжения 12 В или 24 В с током 1-2 А. Можно использовать электромагнит собственной сборки. В этом случае имеется возможность задать параметры электромагнита путем подбора таких параметров, как толщина медной проволоки и числа витков, а также высоту катушки. Вектор электромагнитной силы может быть рассчитан несколькими способами.

1. Энергетический способ, использующий формулу (1):

$$F = \frac{1}{2} \omega^2 I^2 \frac{\partial G}{\partial x} i, \quad (1)$$

где F – вектор электромагнитной силы; w – число витков обмотки электромагнита; I – ток в обмотке; G – проводимость магнитопровода для потока, созданного током I ; x – координата положения испытуемого тела; i – орт по оси ОХ.

2. Способ электрического поля, использующий формулу (2):

$$F = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_r \int_S E^2 ndS, \quad (2)$$

ϵ_r – относительная проницаемость среды; E – напряженность электрического поля; n – единичная внешняя нормаль элемента dS .

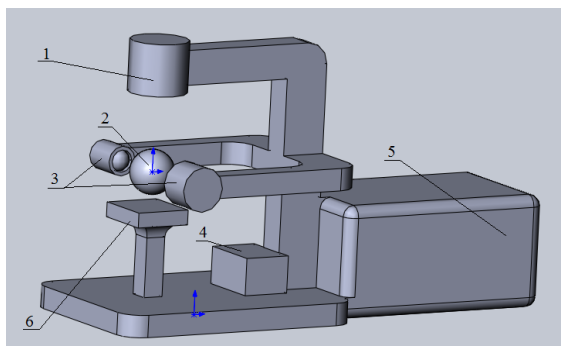


Рис. 1. Принципиальная схема учебно-демонстрационного стенда электромагнитного подвеса:

- 1 - электромагнит, генерирующий магнитное поле;
- 2 - испытываемое тело, заменяющее в демонстрационном стенде модель исследуемого ЛА;
- 3 - датчик (или комплекс датчиков), которые позволяют определять текущее местоположение испытываемого объекта;
- 4 - система управления, которая на основе полученных данных с комплекса датчиков регулирует работу электромагнита и, как следствие, управляет положением испытываемого объекта в пространстве;
- 5 - источник питания, обеспечивающий всю систему необходимой электроэнергией;
- 6 - стартовая площадка, с помощью которой осуществляется введение испытываемой модели ЛА в поле действия электромагнита

Использование самодельного электромагнита позволяет исключить из соленоида железный сердечник в случае использования в испытываемом теле постоянный магнит.

Испытуемое тело, изготавливаемое с использованием магнитных и немагнитных элементов. В случае неиспользования электромагнита без сердечника можно поместить в центре масс тела постоянный магнит, к примеру, неодимовый, цилиндрической формы. Это позволит увеличить силу взаимодействия соленоида и испытываемого тела и небольшого электромагнита (как пример – 600 витков медного провода толщиной 0,35 мм, напряжение источника питания 5В). Однако при использовании относительно высоких токов и напряжений, увеличении числа витков и диаметра проволоки целесообразнее использовать электромагнит с железным сердечником.

Комплекс датчиков может быть реализован в различных вариантах.

1. Оптическая система с использованием светодиода или лампы накаливания видимого/инфракрасного/ультрафиолетового спектра и фоторезистора, реагирующего на это излучение. Нижняя грань испытываемого тела находится на определенной высоте между фотодатчиком и источником излучения, загромождавая его. В это время электромагнит «притягивает» испытываемое тело вверх, и оно перестает загромождавать фотодатчик. Сигнал с фотодатчика попадает в систему управления, которая отключает электромагнит и ИТ, под действием силы тяжести опускается вниз и загромождавает источник излучения. Сигнал с фотодатчика перестает поступать и электромагнит включается вновь. Этот цикл происходит настолько быстро, что при визуальном наблюдении выглядит так, как будто ИТ парит в воздухе. Возможная схема реализации представлена на рис. 2 [1].

2. В случае использования ИТ с постоянным магнитом в качестве датчика можно использовать датчик холла, расположенный на одной оси с соленоидом. Необходимо направить датчик чувствительной зоной непосредственно к ИТ для его корректной работы. Его можно расположить либо под испытываемым телом, на креплении для стартовой площадки, либо под ней, при условии, что она изготовлена из

пластика либо других материалов, не вносящих помех в работу датчика, либо непосредственно внутри соленоида. Необходимо направить датчик чувствительной зоной непосредственно к ИТ для его корректной работы. Поле катушки не будет создавать сильных помех, так как магнитное поле магнита в этой конфигурации намного больше магнитного поля катушки.

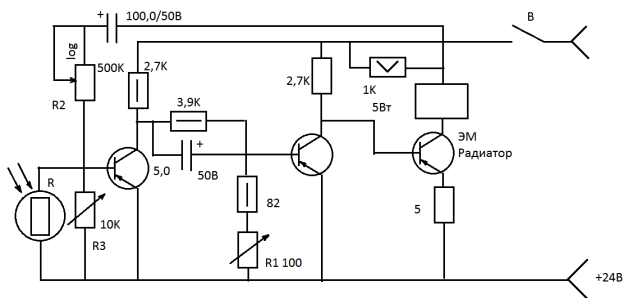


Рис. 2. Схема макета электромагнитного подвеса с использованием фоторезистора

Возможная схема реализации представлена на рис. 3.

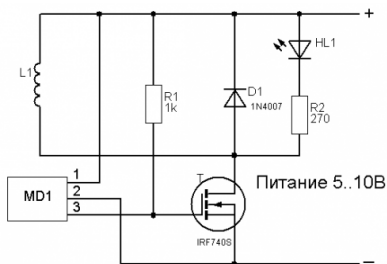


Рис. 3. Схема электромагнитного подвеса работающего на датчике Холла

3. Радиолокационные системы высокой частоты позволяют определить положение тела в пространстве посредством радиолокации. Данная система должна состоять из антенны-передатчика и антенны-приемника. Принцип действия аналогичен принципу действия с использованием.

4. Системы технического зрения – сложная система, определяющая положение тела с помощью светодиода – маркера, расположенного непосредственно на ИТ. Видеокамера, при помощи специальной обработки изображения, передает управляющей системе данные о положении тела в пространстве и на их основе происходит управление электромагнитом.

Система управления реализуется в зависимости от сложности используемой системы датчиков. К примеру, случай (1) может быть реализован с использованием 3-х биполярных р-п-р транзисторов, случай (2) с использованием полевого транзистора с изолированным затвором с каналом л-типа (например, IRFZ44N) а реализация (3) потребует использование отдельного компьютера со специальным программным обеспечением, таким как *LabView*.

Источник питания может быть реализован импульсным или линейным блоком питания, а также и адаптером сетевого напряжения. Он подбирается в зависимости от требуемых параметров электромагнита и всей системы в целом.

Стартовая площадка может быть как статичной, предназначенной для предотвращения падений ИТ с большой высоты при выключении стенда; ее можно реализовать также и с подвижной площадкой, которая обеспечит постепенное введение ИТ в поле действия магнитного поля катушки.

Описанный учебно-демонстрационный стенд конечно не позволит выполнять полноценные аэродинамические исследования. Однако реализованные при его создании принципы построения и законы управления могут быть использованы в образовательных целях для подготовки специалистов в области разработки сложных систем управления. При этом в качестве объекта исследования выступает реальная система аэрокосмической сферы. В дальнейшем возможно использование полученных результатов для создания магнитного подвеса нового поколения. В частности, в отличие от ранее используемых систем определения пространственного положения объекта предполагается использование не светодиодные линейки, а камеры с системой технического зрения. Это обеспечит более высокие динамические характеристики системы управления.

Библиографический список

1. Анцев Г.В., Богословский С.В., Сапожников Г.А. Проектирование устройств с электромагнитным подвесом. М.: Наука, 2010.
2. Сапожников Г.А., Богословский С.В. Теория и практика измерительных электромагнитных подвесов, 2001.

УДК 062.1

А. С. Журавлев

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. В. Перлюк – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ 3D-МОДЕЛИ МИКРОСПУТНИКА**

В настоящее время большой интерес проявляется к созданию и использованию малых космических аппаратов — адекватной замене больших. Ракета-носитель даже легкого класса способна вывести на орбиту несколько микроспутников. Кроме этого, для запуска применяются конверсионные баллистические ракеты, которые в соответствии с договорами уничтожаются путем запуска в космос с полезной нагрузкой.

Микроспутник (МС) характеризуется не только малой массой, но также и сниженным энергопотреблением, относительно невысокой себестоимостью изготовления. Проектирование подобного рода изделий является переходом на следующую ступень развития космической техники.

В основе подхода проектирования МС лежит модульный принцип построения спутника из типовых служебных подсистем и полезной нагрузки, позволяющий формировать масштабируемую архитектуру и технические характеристики спутника по принципу LEGO-конструктора. Подход основан на использовании открытых спецификаций, описывающих механические, электрические, информационные интерфейсы между служебными подсистемами и полезной нагрузкой. Выбранный форм-фактор (куб или правильный гексаэдр) обусловлен исключительно возможностями, удобством запуска платформы в качестве попутной нагрузки.

При создании МС задействуется значительное количество унифицированных миниатюрных электронных компонентов, используются новые подходы: в организации архитектуры космических аппаратов (КА), в процессе проектирования, изготовления, испытаний и запуска КА, обеспечивающие в конечном итоге надежность его функционирования в установленный промежуток времени. На рис. 1 показаны типовые примеры конструкций МС.

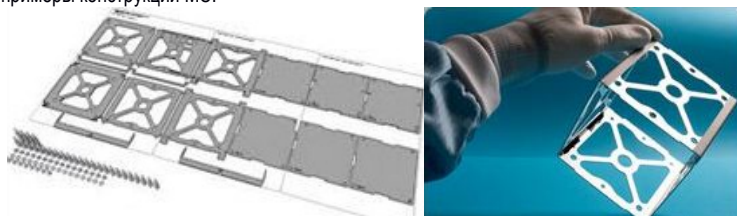


Рис. 1. Пример реальных конструктивных деталей корпуса МС

Основные достоинства применения 3D-модели:

- Определение оптимальной компоновки целевой и бортовой аппаратуры МС.
- Определение центра масс и момента инерции и принципов действий для их приведения к требуемым значениям.
- Проверка пространственных пересечений.
- Устранение большинства конструктивных ошибок на этапе проектирования модели.
- Устранение несбалансированности вращающихся элементов.

В качестве инструментария для создания имитационной 3D-модели был выбран *SolidWorks*, в виду его обширных возможностей.

На основе доступной/открытой информации размеров габарит, сборочных чертежей и прочего, была создана типовая 3D-модель.



Рис. 2. Пример разработанного корпуса в *SolidWorks*

В качестве «наполнения» была разработана типовая плата, показанная на рис. 3.

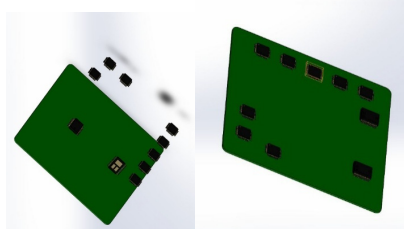


Рис. 3. Пример построения типовой платы в *SolidWorks*

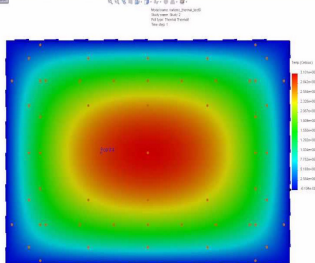


Рис. 4. Пример исследования теплового влияния на плату в *SolidWorks*

В качестве примера микросхем, использованных на плате, были использованы корпуса: TQFP-48, TQFP-52, TSOP-16.

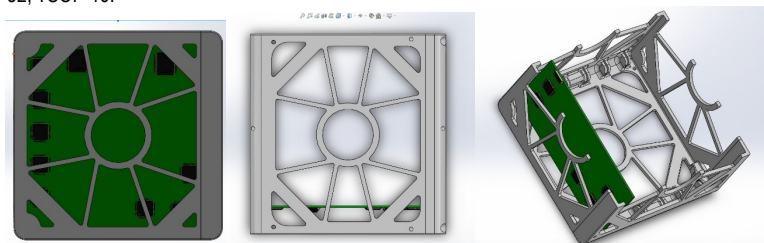


Рис. 4. Пример корпуса с одной типовой платой в разных проекциях и разрезе

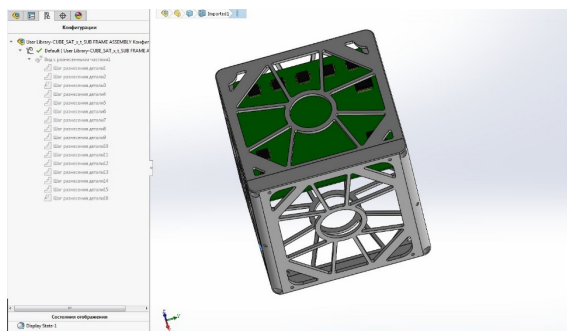


Рис. 5. Пример имитационной 3D – модели в SolidWorks

На данном этапе разработана имитационная модель микроспутника, включающая в себя силовую конструкцию (корпус, сэндвич-панели, крепеж и т.д.), а также типовое наполнение микроспутника (плата).

Благодаря современным инженерным пакетам, а точнее – разработка имитационной модели в САПР SolidWorks (SW), позволит разработать с высокой точностью достоверную модель микроспутника уже на этапе проектирования, а также рассчитать математическую модель движения, связи, компоновки и другое.

- Контроль правильности компоновки с точки зрения работы бортовых систем.
- Точность положения центра масс в 3D-модели.
- Наличие и качество исполнения проекта бортовой кабельной сети.
- Моделирование элементов каркаса спутника.
- Контроль правильности компоновки с точки зрения испытаний на аэроподвесе.
- Симметричность компоновки 3D-модели (тензор инерции).
- Правильность выбора коэффициентов маховичной стабилизации PD-регулятором.
- Построение кинематической/динамической модели сборки позволяет включить в модель силы, моменты, пружины, демпферы и т.д.
- Правильность расположения маховика и датчиков.

Библиографический список

1. Старосотников Н.О., Федорцев Р.В., Выбор оптимальной конструкции каркаса и компоновки микроспутника для дистанционного зондирования Земли // Приборы и методы измерений. 2014. №2.
2. Shanil Kanji Mechanical Aspects of Design, Analysis, and testing for the NORSAT-1 Microsatellite. Toronto: Graduate Department of Aerospace Science and Engineering University of Toronto, 2015. 189 p.

УДК 620.179.16

Д.А. Зеленцова

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Г. Никитин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОНТРОЛЯ ЭХО-СКВОЗНОГО МЕТОДА ЛИСТОВ ПРОДОЛЬНЫМИ ВОЛНАМИ

На сегодняшний день к качеству листового проката предъявляются очень высокие требования. При массовом сдаточном контроле в подавляющем большинстве случаев используется ультразвуковой метод исследования проката. Исследование проводится при помощи узкого направленного пучка поперечных или продольных волн. Данные волны образуются за счет пьезоэлектрических преобразователей. Установив преобразователь на прокат, его просвечиваемую часть можно представить, как цилиндр, где высота будет являться его толщиной, а радиус будет соответствовать сечению ультразвукового пучка. Для того чтобы просканировать весь лист, требуется перемещать преобразователь до тех пор, пока не будет закончен контроль всего изделия. Несплошности принято делить на протяженные и непротяженные. Это зависит от отношения размера дефекта и сечения ультразвукового пучка. Так, к протяженным относятся те дефекты, которые полностью перекрывают звуковой пучок, соответственно к непротяженным относятся те, чьи размеры меньше пучка.

Реальная чувствительность ультразвукового контроля оценивает выявляемость дефектов. Она определяет перечень минимальных размеров несплошностей различных типов (трещины, флокены, волосовины, расслоения, внутренние разрывы, рванины и т.п.) которые можно обнаружить в различных изделиях [1]. Например, в листовом прокате дефекты оцениваются величиной раскрытия и своими габаритными размерами. Исходя из этого, говоря о чувствительности в отношении листового проката, она будет зависеть от двух составных частей: непосредственно от раскрытия и размеров.

Согласно нормативным документам, чувствительность контроля характеризуется наименьшим раскрытием дефектов, которые возможно выявить на предельной чувствительности.

При проведении контроля эхо-методом ультразвуковой дефектоскопии прямым преобразователем продольными волнами, происходит излучение и поперечной волны. Обычно этот эффект никак не влияет на качество контроля. Однако при использовании второго временного интервала при контроле может возникнуть ситуация, когда сигнал от поперечной волны будет являться помехой. В частности, к данным ситуациям относятся случаи, когда происходит контроль изделий с малой толщиной. В таких случаях это будет сказываться на достоверности обнаружения реального дефекта и определении его размеров [2].

При контроле листов эхо-сквозным методом паразитный сигнал поперечной волны, излучаемый пьезоэлектрическим преобразователем, колеблющимся по толщине, попадает в рабочий интервал между первым и вторым прошедшими импульсами, что может ограничивать чувствительность контроля (рис. 1).

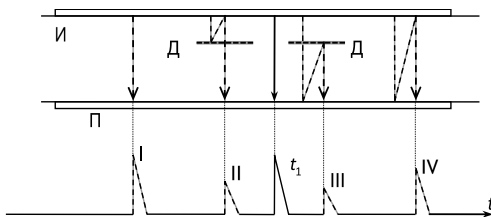


Рис. 1. Помехи эхо-сквозного метода

Выполняя ряд преобразований, получаем интегральное соотношение для определения амплитуды сигнала акустической помехи от распространяющегося в материале изделия поперечной волны:

$$U_{II} = 2(k_t a)^2 \left\{ \int_0^{\alpha} \frac{2J_1(k_t a x)}{k_t a x} \frac{2J_1(k_t \alpha \beta x)}{k_t \alpha \beta x} G_1(x) e^{-j \frac{1}{2\pi} (k_t a)^2 s \sqrt{1-x^2}} x dx + \right. \\ \left. + \int_{\alpha}^1 \frac{2J_1(k_t a x)}{k_t a x} \frac{2J_1(k_t \alpha \beta x)}{k_t \alpha \beta x} G_2(x) e^{-j \frac{1}{2\pi} (k_t a)^2 s \sqrt{1-x^2}} x dx + \right. \\ \left. + \int_1^{\infty} \frac{2J_1(k_t a x)}{k_t a x} \frac{2J_1(k_t \alpha \beta x)}{k_t \alpha \beta x} G_3(x) e^{-j \frac{1}{2\pi} (k_t a)^2 s \sqrt{1-x^2}} x dx \right\}$$

На рис. 2 и 3 представлены графики зависимости амплитуды побочно излученной поперечной волны U_{II} сигнала t_1 , регистрируемого приемником, от обобщенного расстояния S для различных соотношений приемник – излучатель β (рис. 2); волновых размеров преобразователя $k_t a$ (рис. 3), вычисленных по вышеприведенной формуле.

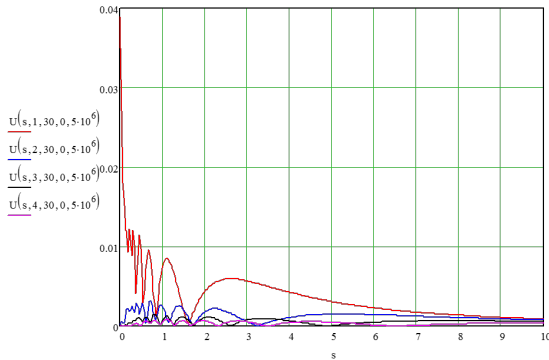


Рис. 2. Зависимость амплитуды побочно излученной поперечной волны от обобщенного расстояния S для различных материалов, для случая $\beta=1$ и $k_t a = 30$

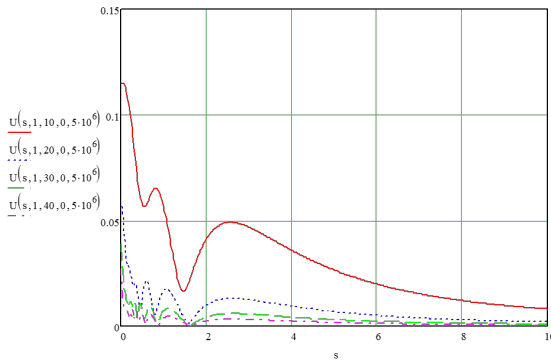


Рис. 3. Зависимость побочно излученной поперечной волны от обобщенного расстояния S для различных волновых размеров преобразователя $k_t a$, для стали с соотношением размеров преобразователей $\beta=1$.

На рис. 4 и 5 представлены графики зависимости отношения амплитуд помехи поперечной волны к продольному полезному сигналу I , выраженное в децибелах, от обобщенного расстояния S для различных соотношений размеров приемник – излучатель β (рис. 4); волновых размеров преобразователя k_{λ} (рис. 5).

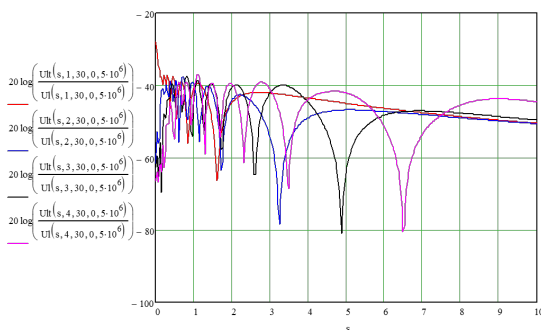


Рис. 4. Зависимость отношения амплитуд помехи поперечной волны к полезному продольному сигналу от обобщенного расстояния S при различных соотношениях преобразователь – излучатель β , для стали с соотношением размеров преобразователей $\beta=1$

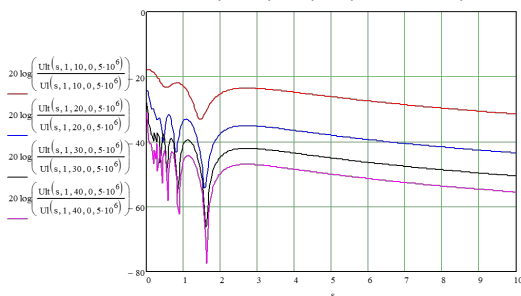


Рис. 5. Зависимость отношения амплитуд помехи поперечной волны к полезному продольному сигналу от обобщенного расстояния S для различных волновых размеров преобразователя k_{λ} , для стали с соотношением размеров преобразователей $\beta=1$

Проанализировав графики, приведенные выше, можно сделать вывод, что при контроле продольными волнами эхо-методом с уменьшением волновых размеров преобразователя уровень помехи существенно возрастает, что может быть причиной перебраковки проката при контроле контактным способом с регистрацией сигналов во втором временном интервале.

Данный метод подходит для обнаружения дефектов в листовом прокате. Но во избежание перебраковки проката, во втором временном интервале следует прозвучивать лист более тщательно.

Библиографический список

1. Капранов Б.И., Коротков М.М., Короткова И.А. Акустический контроль. Томск: ТПУ, 2004.
2. Паврос К.С., Сидоренко И.Г., Теплякова А.В. Анализ акустической помехи при ультразвуковом контроле листов поперечными волнами // Известия СПбГЭТУ. 2016. № 10.
3. ГОСТ 22727-88 Прокат листовой. Методы ультразвукового контроля. М.: Издательство стандартов, 1988.
4. Сударикова Е. В. Неразрушающий контроль в производстве. СПб.: ГУАП, 2007.

УДК 629.783

А.В. Кононенко

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Г. Никитин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ УПРУГОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Задача управления ориентацией упругого космического аппарата (КА) остается актуальной даже спустя 61 года после запуска первого искусственного спутника Земли. Точная ориентация КА важна при передаче данных со спутника, т. е. во время сеансов связи, при съемке земной поверхности, при исследовании дальнего космоса с помощью различных научных инструментов, а также во многих других случаях, связанных с работой аппарата на орбите.

Однако наличие навесных элементов на КА сильно затрудняет работу системы автоматического управления из-за возникающих в результате возмущающих воздействий упругих колебаний конструкции. Данные колебания негативно влияют на определение текущих углов ориентации КА, по сути, они становятся помехой в системе. Чтобы избежать ее появления, требуется либо отфильтровать полезный сигнал, либо решить проблему еще на этапе формирования управляющих воздействий. В данной работе рассматривается второй путь.

Другим фактором, который затрудняет управление ориентацией, является поведение органов управления при работе системы. Заметим, что при использовании только лишь реактивных двигателей невозможно реализовать действительно высокоточное управление, поэтому на борт многих КА устанавливаются силовые гироскопы – гиродины. Другим их преимуществом является то, что наличие таких устройств позволяет проводить профилирование управляющих воздействий, о котором далее также пойдет речь. Однако помимо положительных качеств гиродинов, следует упомянуть, что они обладают существенным недостатком – способностью вызывать дополнительные вибрации, передающиеся на корпус КА. И это, помимо упругих колебаний навесных элементов, становится частью помехи, поступающей в колебательный контур.

Перейдем к построению математической модели рассматриваемой системы. Условно разделим КА на жесткое и упругое тело, рассмотрим их по отдельности. Движение жесткого тела относительно центра масс характеризуется уравнениями Эйлера [1]:

$$I_x \frac{d\omega_x}{dt} + (I_z - I_y)\omega_y\omega_z = M_x; \quad (1)$$

$$I_y \frac{d\omega_y}{dt} + (I_x - I_z)\omega_z\omega_x = M_y; \quad (2)$$

$$I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x)\omega_x\omega_y = M_z, \quad (3)$$

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

$$e_k = \Lambda \cdot i_k \cdot \bar{\Lambda}, \quad (4)$$

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

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

$$\frac{d^2\phi_i}{dt^2} = -2c_i v_i \frac{d\phi_i}{dt} - v_i^2 \phi_i + \left(\bar{\delta}_i \frac{d\bar{\omega}}{dt} \right), \quad (5)$$

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

Как было сказано ранее, рассматривается система с гиродином в роли органа управления. В общем случае его поведение описывается дифференциальными уравнениями второго порядка [4]:

$$J_{\Pi}\ddot{\rho} + n\dot{\rho} = H\omega_{x1} - H\omega_{z1}\rho_0 - J_{\Pi}\dot{\omega}_{y0} + M_{py} + M_{pv}; \quad (6)$$

$$J_{x1}\dot{\omega}_{x1} + m\dot{\omega}_{x1} + d\omega_{x1} = M_{\alpha H} - H\dot{\rho} - H\omega_{y0} - K_{\alpha}W_{\alpha}\rho - m\dot{\omega}_{x0} + d\omega_{x0} + M_{\alpha T}sign\omega_{x0}, \quad (7)$$

где M – действующий момент, J – кинетический момент инерции, ω – угловая скорость. Данные уравнения образуют систему двух связанных дифференциальных уравнений относительно регулируемых координат. Так как в работе рассматривается управление только по одной из осей связанной СК, в модели будем использовать одноосный гиродин.

В работе исследуем некоторые релейные законы управления:

- 1) простейшее импульсное управление;
- 2) нуль-финитное управление [5], которое можно выразить с помощью формулы:

$$u(t) = u_0 [1[t] - 1[t - \tau_u] + 1[t - \tau_c] - 1[t - \tau_u - \tau_c]], \quad (8)$$

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

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

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

В данной работе рассматриваются исключительно законы разомкнутого управления, поэтому данные с измерителей не будут использоваться в контуре управления.

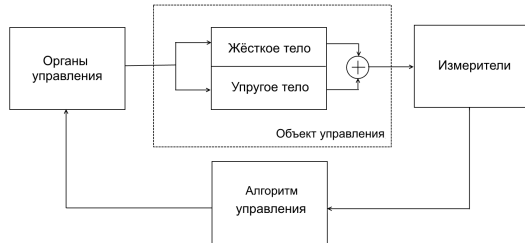


Рис. 1. Структурная схема системы управления ориентацией

Стоит также отметить, что из трех углов положения КА рассматривается угол рысканья и его изменение. Нуль-финитное управление осуществляется по 11 тону упругих колебаний. Профилирование управляющего воздействия на гиродин производится с помощью аperiodического звена первого порядка. Для данной модели программный угол рысканья составил 12 градусов. Получившаяся модель представлена на рис. 2, в модели жесткое тело изображает блок «6DOF Кватернион», преобразующий управляющие силы и моменты в изменение угла положения жесткого тела. Свойства блока показаны на рис. 3, в них можно увидеть массу аппарата и его тензор инерции. Упругое тело представлено набором колебательных звеньев, соответствующих гармоническим осцилляторам.

Однако стоит отметить, что использованное нуль-финитное управление в данной модели, которое, как было сказано, осуществляется по 11 тону упругих колебаний, невозможно при отсутствии алгоритма выработки второго импульса. Если подать импульс той же направленности в неудачное время, то весь смысл управления потеряется, а вместо демпфирования колебаний может произойти их многократное усиление.

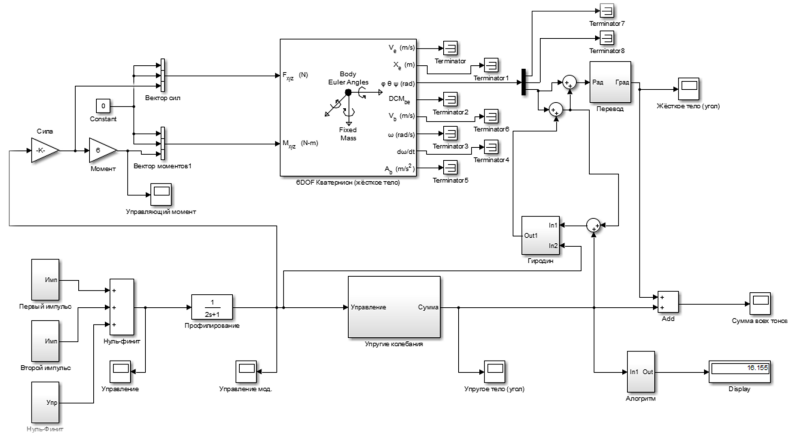


Рис. 2. Модель системы ориентации в среде MATLAB-Simulink

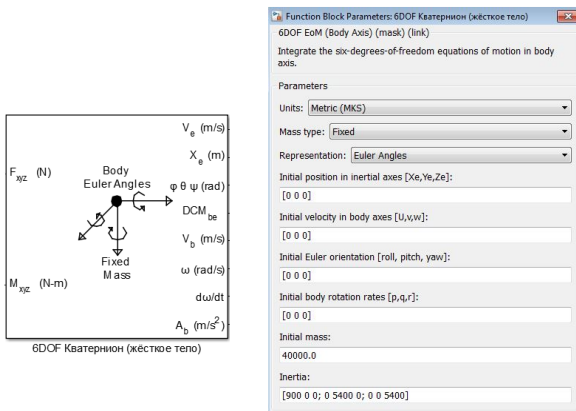


Рис. 3. Окно свойства блока «6DOF Кватернион»

Опытным способом было определено, что при спаде функции угла положения и при близости значения функции к нулю, подача повторного импульса будет способствовать демпфированию колебаний. По данному описанию в той же модели был построен алгоритм, результатом работы которого является значение времени подачи вторичного импульса на виртуальном мониторе (рис. 4).

Органом управления в моделируемой системе, как говорилось ранее, выступает гироскоп, который представляет собой механическую связь из двух функциональных частей: силового гироскопа и привода вращения рамки. В качестве привода чаще всего используется шаговый двигатель, и импульсное управление в таком случае может вызывать дополнительные колебания упругого космического аппарата, однако их величина на несколько порядков меньше колебаний, вызываемых непосредственно управлением [6]. Исходя из этого, построена модель гироскопа, основанная на передаточных функциях элементов, структурно входящих в состав данного органа управления (рис. 5).

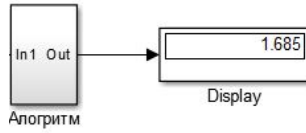


Рис. 4. Результат работы алгоритма

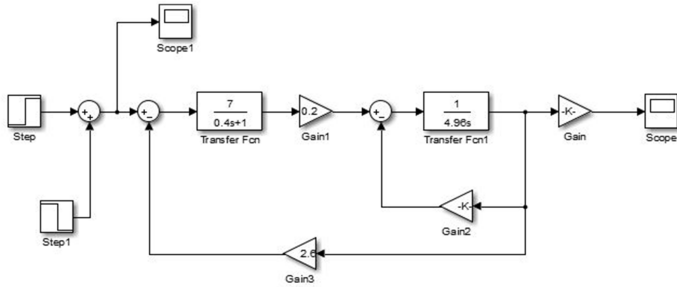


Рис. 5. Модель гидродина

В результате моделирования работы системы при четырех видах управляющих воздействий были получены графики зависимости угла рысканья от времени (рис. 6).

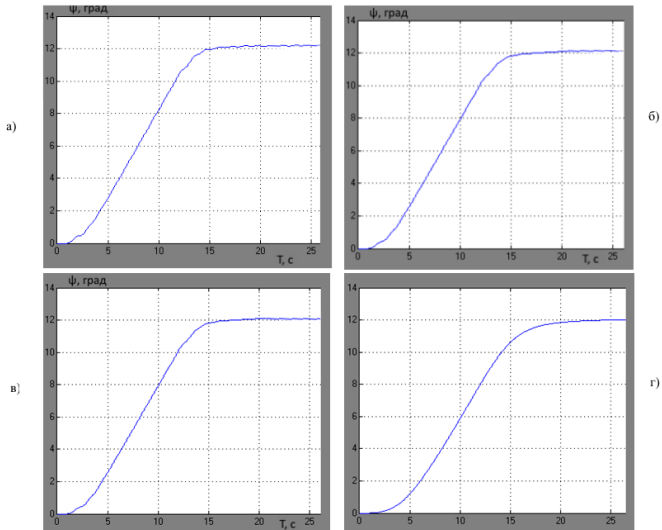


Рис. 6. Графики изменения угла положения: а) при импульсном управлении; б) при нуль-финитном управлении; в) при управлении с профилированием импульса; г) при нуль-финитном управлении с профилированием

Данные графики согласуются с ранее полученными результатами [7]. Можно сделать вывод, что использование нуль-финитного закона управления с профилированием управляющего импульса возможно и желательно. Для полученной модели время переходного процесса при этом стало равным 18 с, что можно считать положительным результатом при заданной точности в 0,5 градусов.

Библиографический список

1. Кузовков Н.Т. Системы стабилизации летательных аппаратов. М., 1976. 304 с.
2. Амелькин Н.И. Динамика твердого тела. М.: МФТИ, 2000. 80 с.
3. Гриневич Д.В. Разработка методики моделирования динамики управляемого космического аппарата с упругой изменяемой конструкцией. М.: МЭИ, 2014. 169 с.
4. Зуев И.Н. Математическое моделирование и исследование привода вращения рамки гироскопа. Красноярск: СИБГУ им. М.Ф. Решетнева, 2011.
5. Синяков А.Н. Системы управления упругими подвижными объектами. Л.: ЛГУ, 1981. 200 с.
6. Якимов Е.Н., Раевский В.А. Анализ динамики системы ориентации и стабилизации упругого космического аппарата с силовым гироскопическим комплексом на базе гироскопа ГД 02-150 // Сибирский журнал науки и технологий. 2013.
7. Кононенко А.В., Никитин В.Г. Исследование законов управления в системе угловой ориентации упругого космического аппарата / Молодежная студенческая научная конференция. Сб. ст. СПб.: ГУАП, 2017.

УДК 629.7.072

А.А. Легкий

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В.Я. Мамаев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ**

Современные интеллектуальные обучающие системы постоянно совершенствуются, предлагая, как обучающимся, так и обучающим все новые и новые способы передачи и получения знаний.

На сегодняшний день обучение является сложным процессом, управление которым является отдельной темой исследований.

На рис. 1 представлена схема обучения как управления.

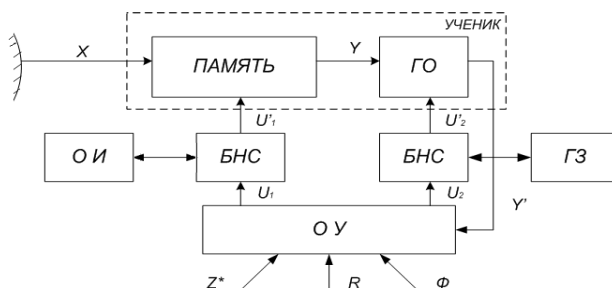


Рис. 1. Схема обучения как управления:

ГО – генератор ответов; ОИ – обучающая информация; БНС – блок насыщения семантикой;

ГЗ – генератор задач; ОУ – объект управления; X – среда управления;

Y – состояние памяти обучаемого; Z* – цель управления; R – ресурсы управления;

Ф – алгоритм управления

Большинство новейших разработок в образовательной сфере так или иначе связаны с современными техническими достижениями.

В работе рассматривается разработка системы поддержки управления процессом обучения на основе мотивационной формы адаптивного тестирования обучаемого.

Основными особенностями данной системы являются:

1. Использование нечеткой логики при оценке ответов тестируемого – если тестируемый ответил правильно на часть вопроса (например, когда надо найти 10 отличий, нашел 5 или 7), то вопрос не просто не засчитывается, а ему присваивается некоторое количество баллов (или процентов), что в конечном счете приводит к более точной оценке знаний обучаемого.

2. Возможность использования различных подсказок при ответе на любой вопрос из текущих вопросов теста закрытого типа – если тестируемый не знает ответ на поставленный перед ним вопрос, то ему предлагается несколько вариантов подсказок, с помощью которых он может вычислить (найти, угадать и т.д.) правильный ответ. В данном случае процесс поиска правильного ответа развивает у тестируемого способность к поиску правильного решения на основе ограниченного набора исходных данных. В отличие от ситуации, когда подсказки отсутствуют и обучающийся, не знающий правильного ответа, должен «ткнуть» в первый попавшийся ответ, что не принесет ему никакой пользы, так как процесс поиска правильного решения даже не запустится, получение подсказки мотивирует тестируемого на дальнейшее решение задачи с применением собственных знаний.

Учитывая описанные особенности, значительно усложняется система контроля знаний тестируемого, так как она должна принимать во внимание не только правильные или неправильные ответы на вопросы, когда необходимо просто посчитать количество (или процент) правильных ответов и выставить оценку, соответствующую полученному числу, но и вопросы, ответы на которые были частично правильными, а также количество и качество, использованных подсказок в совокупности с полученным после их применения результатом.

Для того, чтобы выявить, как именно соответствуют частичные ответы на вопросы реальным знаниям тестируемых, необходимо проводить отдельные исследования на большом количестве обучаемых.

Такая же ситуация складывается и с оценкой влияния подсказок на конечный результат тестирования и его сопоставление с знаниями тестируемого.

Значительно облегчить данный процесс могут нейронные сети [1].

Так как объектом данного исследования являются искусственные нейронные сети, то в дальнейшем термин «нейрон» будет обозначаться именно нейрон искусственных нейронных сетей.

Нейронная сеть состоит из отдельных нейронов [2].

На рис. 2 представлена схема функционирования нейрона [3].

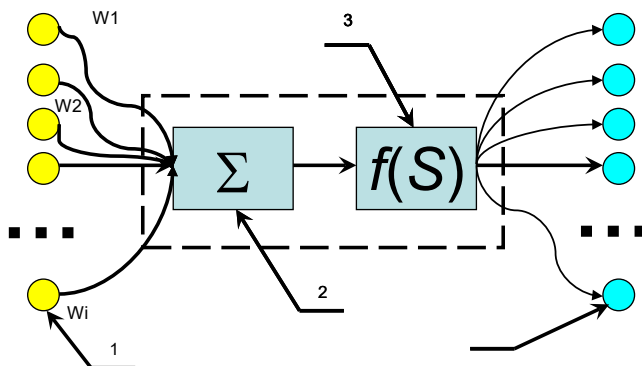


Рис. 2. Схема функционирования нейрона:

- 1 – входной вектор параметров,
- 2 – сумматор,
- 3 – функция активации нейрона,
- 4 – выходная информация

Как видно на рис. 2, схема функционирования нейрона состоит из четырех основных элементов.

1. Входной вектор параметров, который представляет собой информацию, поступающую на вход нейрона. Каждый элемент из вектора параметров на входе в нейрон умножается на соответствующий элемент вектора весов. Элементы вектора весов изменяются в процессе обучения, позволяя нейрону адаптироваться к существующей ситуации и правильно реагировать на поступающую входную информацию [4].

2. Сумматор, представляющий собой функциональный блок нейрона, задачей которого является суммирование всех произведений элементов входного вектора с соответствующими им элементами вектора весов.

3. Функция активации нейрона, представляющая собой зависимость значения выходной информации нейрона от значения, переданного сумматором [5].

4. Выходная информация, т.е. та информация, которая передается другим нейронам.

Нейронная сеть состоит из множества отдельных нейронов, которые собраны в определенную структуру [6].

Схема данной структуры представлена на рис. 3 [7].

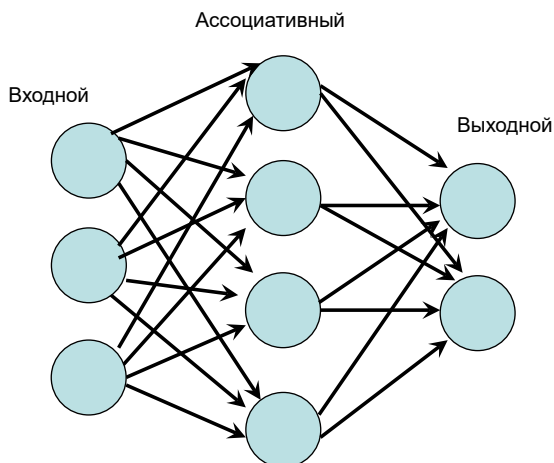


Рис. 3. Схема нейронной сети, собранной из отдельных нейронов

Нейронная сеть условно разбивается на слои, каждый из которых обозначается соответствующим термином:

1. *Входной слой*: данный слой не состоит из нейронов, а представляет собой информацию, поступающую на вход нейронной сети, т.е. вектор входных параметров. Каждому параметру соответствует один элемент, поэтому общее количество элементов слоя соответствует количеству элементов в векторе входных параметров. К ним может добавляться также дополнительный элемент для сдвига.

2. *Ассоциативный слой*: данный слой может состоять как из одного, так и из нескольких слоев, которые расположены между входной и выходной информацией. Каждый слой получает в качестве входной информации выходную информацию от предшествующего слоя (для первого ассоциативного слоя предшественником является входной слой, а для последнего – выходной). Таким образом, получается, что каждый слой готовит входную информацию для последующего. Никаких ограничений на количество слоев или количество элементов в слое не существует [9].

3. *Выходной слой*: данный слой состоит из нейронов, каждый из которых соответствует конкретному классу. Выходная информация, формируемая данным слоем, может трактоваться как функция распределения вероятности принадлежности исследуемого объекта к заданному набору классов. Количество нейронов данного слоя соответствует количеству классов, которые представлены в обучающей выборке. При наличии в обучающей выборке всего двух классов могут использоваться как два нейрона, так и один, состояние которого будет соответствовать логическому "true" или "false". В случае "true" исследуемый объект принадлежит к одному классу, в случае "false" – к другому [10].

Примером простейшей нейронной сети может являться один нейрон, который принимает на вход информацию из внешней среды (например, баллы выпускника высшего учебного заведения по разным предметам) и в качестве выходной информации выдает "true" или "false", как ответ на вопрос: «Трудоустроится ли данный студент в течение года после окончания обучения в высшем учебном заведении?».

Примером многослойной нейронной сети может служить нейронная сеть, распознающая изображения, на вход которой подается изображения (т.е. матрица яркости отдельных пикселей), а на выходе данному изображению ставится в соответствие один из использованных в обучающей выборке классов (например, животное, птица или человек).

Каждый из слоев данной нейронной сети отвечает за свою часть работы:

– первый слой распознает простейшие элементы: линии, изгибы и т.д. и подает на вход следующему слою уже готовый набор простейших элементов;

– следующий слой, получив на вход набор простейших элементов, перерабатывает их отдельные мелкие структуры, которые подаются на вход следующему слою, который в свою очередь перерабатывает их уже в более крупные структуры. Таким образом, за определенное количество шагов из простейших элементов строится вектор входных данных для выходного слоя;

– выходной слой на основе поданного ему вектора входных данных принимает решение о принадлежности изображения к тому или другому классу [10].

При использовании нейронной сети для оценки результатов мотивационной формы адаптивного тестирования входной слой нейронов представляет собой вектор, состоящий из правильных ответов на вопросы или их части (например, если надо найти 10 отличий, то в векторе входной информации данный вопрос может быть представлен двумя способами: либо в виде числа, соответствующего количеству найденных отличий, либо в виде 10 элементов вектора, каждый из которых может принимать только значение “true” или “false”); элементов, отвечающих за использование подсказок (если в задаче 5 подсказок, то им должны соответствовать 5 элементов вектора), и элементов вектора, которые указывают на то, после какого количества использованных подсказок был достигнут правильный ответ.

Первый слой нейронной сети получает на вход информацию от входного слоя сети в виде значения функции активации элемента вектора входной информации.

Каждый нейрон второго слоя нейронной сети получает на вход набор значений, которые получаются на выходе нейронов первого слоя, сгруппированных по определенному признаку: по типу (ответ или подсказка), по номеру вопроса. Соответственно, на выходе нейронов второго слоя может быть два типа выходных значений: одни отвечают за суммарную оценку ответа на конкретный вопрос с учетом использованных подсказок, а другие – за комплексную оценку ответов на вопросы без использования подсказок или за анализ использования подсказок.

Выходной слой нейронов получает на вход информацию второго слоя нейронов, преобразуя ее в несколько оценок знаний тестирования:

1. Оценка знаний тестируемого в начале теста (без учета подсказок).
2. Оценка знаний тестируемого по конкретным вопросам (или группам вопросов).
3. Оценка обучаемости тестируемого (эффективность использования подсказок).
4. Оценка знаний тестируемого в конце теста.

Рассмотрим работу нейронной сети для оценки знаний тестируемого на примере оценки результатов теста с двумя вопросами, в котором при ответе на первый вопрос, тестируемый должен отметить все возможные правильные ответы из пяти предложенных, а на второй – все возможные правильные ответы из 4 предложенных. Для первого вопроса правильными ответами являются первый, второй и третий, а для второго – первый и третий.

В процессе выполнения тестирования обучающийся может использовать пять видов подсказок для каждого из вопросов.

Таким образом, после завершения тестирования на вход нейронной сети поступает вектор входных данных из девятнадцати элементов:

- 1) элементы с номерами от 1 до 5 – 5 ответов на первый вопрос, каждый из которых может принимать значение 1 или 0, если данный вариант был отмечен или нет, соответственно;
- 2) элементы с номерами от 6 до 9 – 4 ответа на второй вопрос, каждый из которых может принимать значение 1 или 0, если данный вариант был отмечен или нет, соответственно;
- 3) элементы с номерами от 10 до 14 – 5 подсказок к первому вопросу, каждая из которых может принимать значение 1 или 0, если данная подсказка была использована или нет, соответственно;
- 4) элементы с номерами от 15 до 19 – 5 подсказок ко второму вопросу, каждая из которых может принимать значение 1 или 0, если данная подсказка была использована или нет, соответственно.

Для представленного вектора входных данных не требуется дополнительное умножение на какие-либо коэффициенты перед передачей на вход нейронной сети, так как все элементы могут принимать только одно из двух значений 0 или 1.

Каждый элемент входного вектора поступает на отдельный нейрон первого слоя нейронной сети со своей функцией активации (номера нейронов соответствуют номерам элементов).

В этом случае для нейронов первого слоя с номерами 4, 5, 7, 9–19 (данные нейроны соответствуют неправильным ответам, которые не должны быть отмечены и подсказкам) функция активации будет выглядеть следующим образом:

$$f(x) = 1 - x, \quad (1)$$

где x – соответствующий элемент вектора входных данных.

Для нейронов первого слоя с номерами 1, 2, 3, 6 и 8 (данные нейроны соответствуют правильным ответам, которые должны быть отмечены) функция активации будет выглядеть следующим образом:

$$f(x) = x, \quad (2)$$

где x – соответствующий элемент вектора входных данных.

Информация с выходов нейронов первого слоя поступает на нейроны второго слоя в виде векторов входных данных, сгруппированных по определенному признаку:

1. первый нейрон второго слоя – вектор входных данных состоит из пяти элементов, соответствующих нейронам 1-5;
2. второй нейрон второго слоя – вектор входных данных состоит из четырех элементов, соответствующих нейронам 6-9;
3. третий нейрон второго слоя – вектор входных данных состоит из пяти элементов, соответствующих нейронам 10-14;
4. четвертый нейрон второго слоя – вектор входных данных состоит из пяти элементов, соответствующих нейронам 15-19.

На входе каждого нейрона вектор входных данных поэлементно умножается на вектор весов (для данного случая ограничим значения весов положительными числами), за счет которого можно регулировать степень важности каждого из ответов или каждой из подсказок. Затем полученные значения суммируются, в результате чего на выходе сумматора каждого из нейронов второго слоя получается число, которое может принимать любые положительные значения (так как веса могут принимать любые положительные значения). В качестве функции активации можно использовать функцию, описанную формулой (2).

Информация с выходов нейронов второго слоя поступает на нейроны третьего слоя в виде векторов входных данных, сгруппированных таким образом, чтобы оценить четыре основных параметра, которые показывают знания и обучаемость тестируемого.

Так как оценивается четыре параметра, но один из параметров требует двух ответов, то количество нейронов выходного слоя равно пяти:

- 1) первый нейрон выходного слоя отвечает за оценку знаний тестируемого в начале теста (без учета подсказок) – его входной вектор состоит из четырех элементов, т.е. информации с выходов всех четырех нейронов второго слоя (векторы весов позволяют при суммировании элементов входного вектора исключить из оценки ответы на вопросы, которые были даны с использованием подсказок);
- 2) второй нейрон выходного слоя отвечает за оценку знаний тестируемого по первому вопросу – на его вход поступает информация от первого и третьего нейронов второго слоя (данная информация позволяет оценить и правильность ответов на вопрос, и количество использованных подсказок);
- 3) третий нейрон выходного слоя отвечает за оценку знаний тестируемого по второму вопросу – на его вход поступает информация от второго и четвертого нейронов второго слоя (данная информация позволяет оценить и правильность ответов на вопрос, и количество использованных подсказок);
- 4) четвертый нейрон выходного слоя отвечает за оценку обучаемости тестируемого (эффективность использования подсказок) – его входной вектор состоит из четырех элементов, т.е. информации с выходов всех четырех нейронов второго слоя (данная информация позволяет оценить разницу между ответами с использованием подсказок и без);
- 5) пятый нейрон выходного слоя отвечает за оценку знаний тестируемого в конце теста – на его вход поступает информация от первого и второго нейронов второго слоя (по данной информации можно оценить знания тестируемого на момент завершения теста).

Как и для второго слоя, на входе каждого нейрона вектор входных данных поэлементно умножается на вектор весов (для данного случая ограничим значения весов положительными числами), за счет которого можно регулировать степень важности информации от каждого из нейронов второго слоя. Затем полученные значения суммируются, в результате чего на выходе сумматора каждого из нейронов

второго слоя получается число, которое может принимать любые положительные значения (так как веса могут принимать любые положительные значения).

В качестве функции активации для нейронов выходного слоя лучше всего выбрать такую функцию, которая позволит при любых положительных числах на выходе сумматора, на выходе нейрона получать числа от 0 до 100, которые наиболее близки к используемой при ручной оценке тестирования шкале:

$$f(z) = \frac{100}{1 + e^{-z}}, \quad (3)$$

где z – число, получающееся на выходе сумматора нейрона.

Векторы весов для всех слоев нейронной сети получаются в процессе ее обучения на обучающей базе данных.

Одним из простейших является метод, который состоит из следующих этапов.

1. Создается предварительный набор векторов весов.
2. Для каждого из них оценивается качество работы нейронной сети.
3. Выбираются наилучшие векторы.
4. Путем небольших изменений из родительского набора создается новый предварительный набор.

5. Происходит возвращение на второй шаг.

Таким образом, на каждом шаге происходит улучшение качества работы нейронной сети.

При наличии достаточной базы для обучения нейронной сети (ответы на тест и использованные подсказки для каждого тестируемого с оценкой, которая была в результате поставлена данному обучающемуся живым преподавателем по каждому из оцениваемых параметров) она организуется в процессе обучения таким образом, что наиболее важные для оценки элементы будут иметь больший вес, чем те, которые не показывают уровень знаний и способностей обучаемого.

Итак, использование нейронных сетей при мотивационной форме адаптивного тестирования может помочь не только оценить знания тестируемого, но и сделать выводы об эффективности дальнейшего его обучения, что позволяет расширить возможности поддержки обучения в следующих направлениях:

- адаптировать маршрут обучения под индивидуальные особенности обучаемого, зная, какие именно задания даются ему более легко (параметр «Оценка знаний тестируемого по конкретным вопросам [или группам вопросов]»), и в каких областях наиболее быстро идет усвоение информации (параметр: «Оценка обучаемости тестируемого [эффективность использования подсказок]»);
- точно оценивать продвижение обучаемого по индивидуальному маршруту обучения (параметры: «Оценка знаний тестируемого в начале теста [без учета подсказок]»);
- мотивировать обучаемого путем наглядной демонстрации пусть медленного, но продвижения его в освоении выбранной тематики («Оценка знаний тестируемого в конце теста»).

Библиографический список

1. Нейронные сети. Statistica Neural Networks. Методология и технологии современного анализа данных. М.: Горячая линия Телеком, 2008. 392 с.
2. Галушкин А. И. Нейронные сети. Основы теории. М.: Горячая линия Телеком, 2012. 496 с.
3. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети; Wings Comics. М.: Физматлит, 2001. 779 с.
4. Редько В. Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект. Модели и концепции эволюционной кибернетики. М.: Либроком, 2013. 224 с.
5. Татузов А. Л. Нейронные сети в задачах радиолокации. М.: Радиотехника, 2009. 432 с.
6. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия Телеком, 2002. 382 с.
7. Тархов Д. А. Нейронные сети. Модели и алгоритмы. М.: Радиотехника, 2005. 256 с.
8. Барский А. Б. Логические нейронные сети. Интернет-университет информационных технологий. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. 352 с.
9. Хайкин, Саймон. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 781 с.
10. Яхъяева Г. Э. Нечеткие множества и нейронные сети; Интернет-университет информационных технологий. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2011. 320 с.

УДК 629.576

В. В. Лутчин

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

А. В. Небылов – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АЭРОЛОДОК

Одной из основных особенностей развития современного судостроения является рост скоростей хода судов, осуществляемый за счет повышения мощностей энергетических установок, а также рационального проектирования форм обводов корпуса и несущих поверхностей.

Способов повышения скорости судов несколько. Наиболее радикальным является подъем корпуса судна из воды в воздух – в среду почти в 800 раз менее плотную, чем вода, а, следовательно, и более податливую. Известен ряд способов подъема судна из воды и снижения его сопротивления – глиссирование, подводные крылья, «воздушная смазка», воздушная подушка и эффект близости экрана.

Большая протяженность нашей страны от Кольского полуострова до Чукотки – обуславливает большое разнообразие климатических, метеорологических и природных условий, а также существенные различия в возможных путях развития опорной дорожной сети отдельных регионов. Суровый климат и слабо развитая дорожная сеть делают необходимым создание для этих районов новых типов транспортных средств, способных надежно передвигаться по водным участкам и по снежному покрову. С экономической точки зрения наиболее целесообразным является использование в указанных регионах страны амфибийных глиссирующих транспортных средств.

Создание оптимальной конструкции аэролодок до сих пор затрудняется отсутствием теории проектирования такого рода судов. Весьма важным для практики проектирования глиссеров представляется установление критерия, позволяющего однозначно определить для конкретных условий эксплуатации наиболее подходящий материал опорной поверхности для различных типов подстилающей поверхности.

Характерные режимы движения аэролодок – глиссирование по воде, сопровождающиеся волнообразованием, и скольжение по снегу, сопровождающееся фонтанированием снега из-под днища.

При движении глиссера как по воде, так и по снегу происходит деформирование поверхности среды, что говорит о приведении в соответствие напряженно-деформированного состояния среды движения и аэроглиссеров при установившихся условиях на границе их раздела. Экономичные режимы движения глиссера всегда будут связаны с уменьшением возмущения среды движения, особенно в приграничном слое. Добиться этого можно прежде всего оптимизацией обводов корпуса глиссера.

Для оптимизации воздушного винта и обводов корпуса аэролодки используется программный пакет *Solidworks*. Целью исследования является сокращение объема потребляемого топлива, повышение средней скорости аэролодки и уменьшение времени выхода на глиссирование.

Известно, что задача выбора параметров воздушного винта сводится к определению его диаметра, угла установки лопастей в расчетных сечениях, частоты вращения, коэффициента редукции при заданной скорости движения и мощности двигателя, обеспечивающих наивысшее значение КПД винта. В последнее время актуальной стала проблема шума, поэтому необходимо дать рекомендации о числе лопастей винта. Известно основное правило: чем меньше диаметр воздушного винта при том же числе оборотов, тем ниже уровень шума, однако при этом уменьшается тяга винта. Компенсировать потерю тяги можно за счет увеличения числа лопастей. Однако все это можно делать в достаточно узких границах.

При расчете воздушных винтов для самолетов обычно используют диаграммы систематических модельных и натурных испытаний. Особенностью воздушных винтов для ГСА является то обстоятельство, что они эксплуатируются при очень малых значениях относительной поступи, эти области на диаграммах для самолетных воздушных винтов не проработаны и руководствоваться ими невозможно.

В связи с этим были произведены расчеты воздушного винта для аэролодки в программной среде *SolidworksFlowSimulation*.

Задача заключается в том, чтобы выбрать мощность двигателя, работающего на винт, и частоту вращения винта, обеспечивающие наивысший пропульсивный коэффициент. Кроме того, нужно выбрать геометрию лопасти (ширина, крутка, профилировка сечений), отвечающую поставленной задаче.

Результаты, полученные для воздушного винта (рис. 1):

1. Среднее значение скорости воздушного потока – 140 м/с.
2. Среднее значение числа Маха – 0.39.
3. Среднее значение силы тяги – 1745 Н.

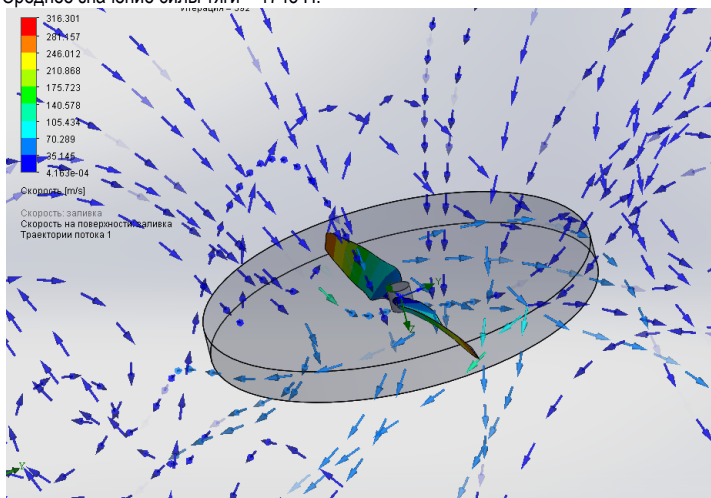


Рис. 1. Результат расчета воздушного винта

Результаты, полученные для соосных воздушных винтов (рис. 2):

1. Среднее значение числа Маха – 0.38.
2. Среднее значение силы тяги – 3080 Н.

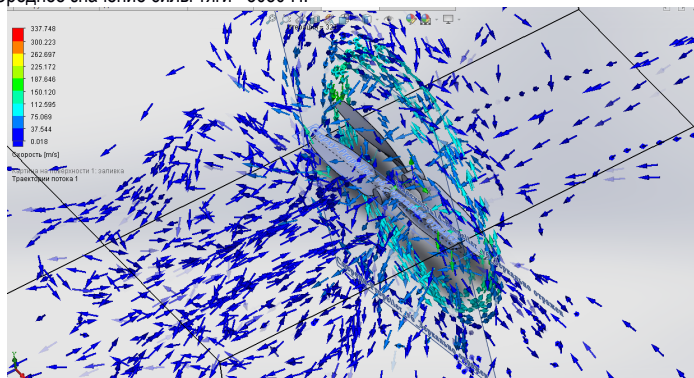


Рис. 2. Результат расчета соосных воздушных винтов

Возможность делать приближенные оценки тяги воздушного винта без летальных расчетов существенно облегчают разработку аэролодки.

С точки зрения получения наибольшей тяги на месте и при движении с небольшими скоростями, характерными для ГСА, применение лопастей винта с зауженными концами невыгодно, так как потери при этом возрастают на 15—20 %. Лучше всего применять винты с максимальной шириной лопасти на 0,50—0,55 R и широким концом лопасти. Весьма эффективны также лопасти, у которых ширина непрерывно увеличивается от комля к концу.

На боковой проекции лопасти винта центры тяжести всех сечений должны лежать в одной плоскости, перпендикулярной к оси вращения винта, либо отступать немного вперед в сторону движения (это разгружает лопасть при изгибе ее от действия центробежных сил).

В настоящее время ведется работа по оптимизации обводов корпуса аэролодки с целью уменьшения воздушного сопротивления и увеличения устойчивости к боковым воздействиям внешних сил.

Библиографический список

1. Ювенальев И.Н. Аэросани. Ленинград, 1927. 132 с.
2. Осташов В.Г., Сандлер Л.Б. Глиссирующие снегоходы-амфибии. Новосибирск: Сибтиппроект, 1991. 164 с.
3. Terentiev A.G. Kirschner I.N., Uhlman J.S. The hydrodynamics of cavitating flows. Backbone Publishing, USA, 2011. 598 p.

УДК 629.7.072

М. С. Мазиков

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В.Я. Мамаев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОЦЕНКА ЗНАНИЙ ОБУЧАЕМОГО ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

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

В процессе обучения участвуют минимум два человека – учитель и обучаемый. Преимущество такого процесса заключается в том, что обучаемому нужно затрачивать меньше времени на поиски и освоение необходимого материала. Учитель, зная слабые и сильные стороны ученика, может направить последнего по оптимальному пути освоения нового материала. В то же время – это затратный путь в обучении, поэтому при использовании электронных средств необходимо закладывать в них наиболее совершенные методики обучения

Поскольку в процесс обучения вовлекается все большее число людей, процесс обучения становится более затратным, в связи с этим возникает вопрос автоматизации процесса обучения. В последние годы активно развиваются искусственные нейронные сети (ИНС) и генетические алгоритмы (ГА). Кроме того, использование ИНС сводит к нулю влияние личностных взаимодействий. История нейронных сетей начинается с понятия ИНС. Нейронные сети – вычислительные структуры, моделирующие простые биологические процессы, обычно ассоциируемые с процессами человеческого мозга. Их можно представить, как распределенные и параллельные системы, способные к адаптивному обучению путем анализа положительных и отрицательных воздействий. Элементарный преобразователь в такой системе – искусственный нейрон. В настоящее время предложено и изучено большое количество моделей нейроподобных элементов и нейронных сетей [1]. ИНС представляет множество связанных между собой нейронов, имеющая несколько входных и выходных сигналов. Способность провести оценку знаний с использованием нечеткой логики позволяет использовать ее в алгоритмах обучения.

В качестве примера возьмем двухслойную искусственную нейронную сеть (ИНС), имеющую 7 входов, 7 и 4 нейронов промежуточного слоя и 4 нейрона на выходе (рис. 1). В виде входов ИНС можно использовать различные задания. Они могут быть как закрытого (с вариантами ответов), так и открытого (с использованием поля для ввода) типа. После получения ответов происходит их обработка. Каждый ответ на задание поступает на свой нейрон. Соответственно, на рис. 1 представлена схема оценки теста, состоящего из семи заданий. При заданиях закрытого типа каждому из ответов соответствует некоторое количество баллов. Если ответ состоит из одного пункта – нет необходимости в дополнительной обработке (результат подается на соответствующий вход ИНС). При выборе из нескольких пунктов – в зависимости от их сочетания производится подсчет баллов. В заданиях открытого типа, при получении ответа в виде числа или некоего набора символов (текста), производится выставление баллов в зависимости от близости к правильному ответу, где максимальное их число можно получить за полное совпадение.

Для повышения вероятности правильного оценивания нейронной сетью (наибольшего приближения к оценке, выставленной учителем/экспертом) выполненного обучаемым задания, перед входными нейронами рекомендуется расположить конечные автоматы (КА), которые будут производить преобразование каждого задания, как предлагается в [2]. В этом заключается главное отличие от примера, приведенного в [3]. Количество автоматов соответствует максимальному баллу за конкретное задание, т.е. их количество соответствует числу выставляемых оценок. В итоге на вход ИНС будет поступать сигнал от автомата, соответствующего конкретному значению. Это позволит сократить количество всевозможных комбинаций, что, в свою очередь, дает возможность уменьшить количество векторов данных, необходимых для обучения сети. Искусственная нейронная сеть будет обучаться быстрее и эффективнее, что позволит увеличить вероятность правильной оценки. В качестве примера можно привести следующую схему (рис. 2).

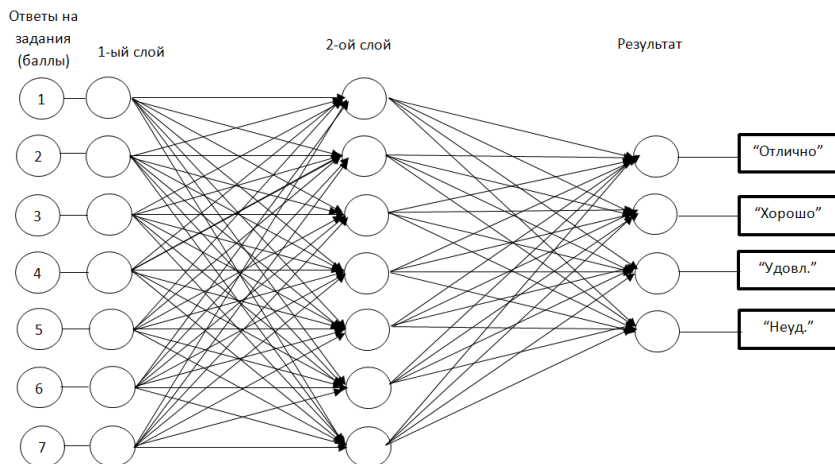


Рис. 1. Схема ИНС

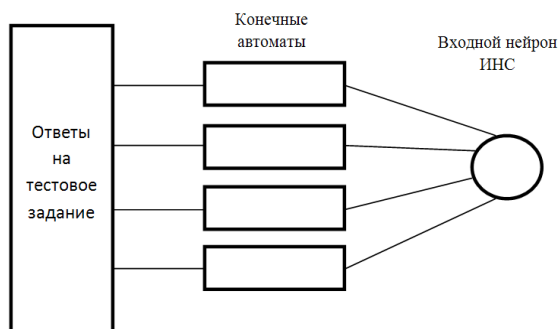


Рис. 2 Схема предобработки с использованием КА

В качестве источника для одного входного нейрона используется одно задание. В зависимости от его сложности и типа ответа (закрытого/открытого типа) определяется максимальное количество баллов. В качестве примера ТЗ может служить одна из навигационных задач [4]. Рассмотрим примеры предобработки результатов для тестовых заданий открытого и закрытого типов.

В качестве примера использования в ТЗ открытого типа рассмотрим следующее ТЗ №1 (правильный ответ указан ниже).

Дать определение эквивалентного ветра. Написать недостающие слова в соответствующие ячейки.

Эквивалентным ветром называется (1) ветер, (2) которого совпадает с (3), а значение его скорости при данном пилотажном режиме полета создает такую же (4) как и фактический ветер.

Ответ: 1.____ 2.____ 3.____ 4.____

Правильный ответ:

1. Условный.
2. Направление.
3. Линией заданного пути.
4. Путевую скорость.

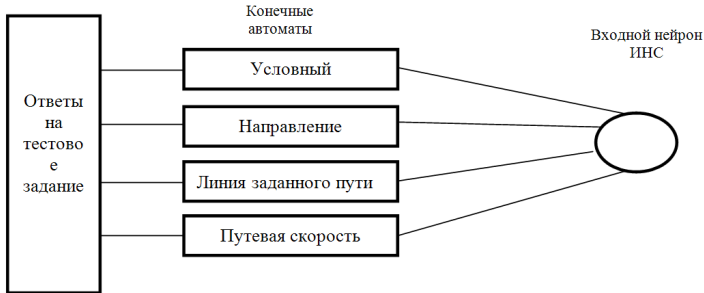


Рис. 3 Схема предобработки для задания №1

На рис. 3 представлена схема предобработки. После внесения ответов в соответствующие поля (блок «Ответы на тестовое задание») происходит процесс распознавания и прохождение через конечные автоматы. На выходе конечных автоматов может быть либо ноль (отсутствие сигнала), либо единица (наличие). Выходы конечных автоматов соединены с входами нейрона. Соответственно, если совпали все ответы – 4 сигнала, при трех совпадениях – 3 и так далее. Таким образом, на входной нейрон поступают только целые числа. В данном случае вид окна для ответов зависит от структуры распознавания. Самый простой способ – создание четырех отдельных окон для ввода ответа в последующей посимвольной сверкой полученных данных с правильными ответами и вывод высокого уровня сигнала при полном совпадении.

В качестве тестового задания закрытого типа рассмотрим следующее ТЗ №2. Зависимость угла сноса и путевой скорости от изменения направления ветра. Указать соответствие элементов в табл. 1 и цифрах на рис. 4.

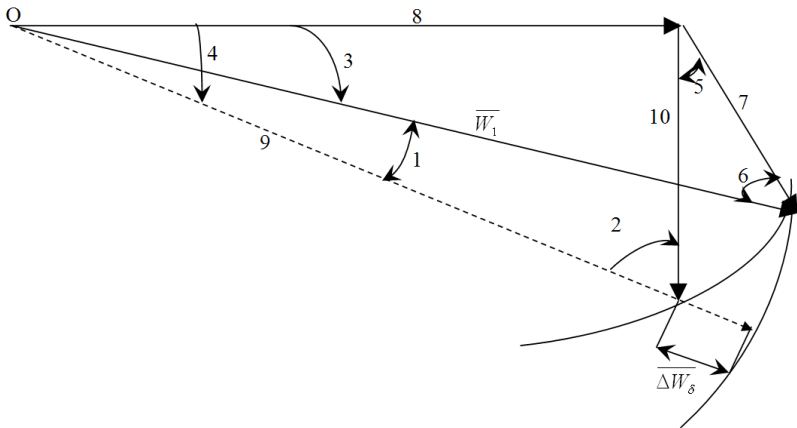


Рис. 4. Зависимость угла сноса (YC) и путевой скорости (W) от изменения направления ветра

В данном случае необходимо правильно расставить варианты ответов (рис. 5). Из количества вариантов ответов видно, что максимальный балл за данное задание будет равен 12. Получить его можно только при полном совпадении полученных ответов с верными.

Ответы на задание №2										
Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Угол сноса, $УС_1$			О							
Угол сноса, $УС_2$				О						
Угол сноса, $\Delta УС_3$	О									
Угол ветра, $УВ_1$						О				
Угол ветра, $УВ_2$		О								
метеорологическое направление ветра, измеряемое от истинного меридиана $\Delta\delta$					О					
Путевая скорость, \overline{W}_2									О	
Воздушная скорость, \overline{V}								О		
Скорость ветра, \overline{U}							О			О

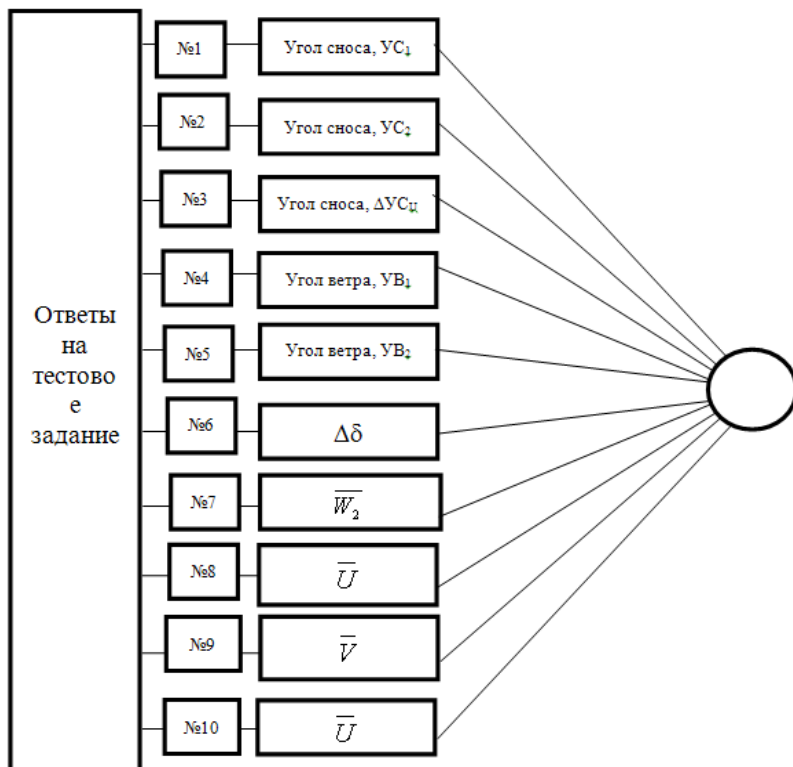


Рис. 5. Схема предобработки для задания №2

Алгоритм представлен на рис. 5. Ответ на задание разбит на 12 элементарных частей, каждая из которых отвечает за отдельный элемент. Присутствуют ответы, похожие друг на друга. При выборе неправильного ответа не все оставшиеся варианты могут иметь одинаковое количество баллов. В связи с

этим возможно появления не целого числа на выходе. Во избежание подобных ситуаций допустимо установление перед выходами конечных автоматов. После прохождения через КА на вход нейрона ИНС уже будет поступать целое число.

Для оценки влияния предварительной обработки конечными автоматами была смоделирована нейронная сеть в среде MATLAB [5], имеющая 7 входных нейронов и 4 на выходе (рис. 1). В качестве обучающей выборки был использован массив, содержащий 57 векторов входных данных, содержащих только целые числа. Максимальный балл в задания и их количество идентичны, как в примере [3]. В зависимости от суммы баллов за все задания производится оценка (57–46 – отлично, 45-28 – хорошо, 27-11 – удовлетворительно, 10-1 – неудовлетворительно). После этого составлены 2 типа векторов данных, соответствующих одному пройденному тесту. Разница заключается в том, что первый массив содержит целые значения (Входной вектор 1), т.е. прошедшие через КА, в отличие от второго, содержащего дробную часть (входной вектор 2). После этого произведена поочередная подача на входы ИНС данных векторов. Исходные данные и результаты представлены в табл. 2. Первый столбец – номер пары векторов, имеющих одинаковую сумму; 2 и 3 столбцы – векторы, подаваемые на вход ИНС; 4, 5 – полученные данные на выходе ИНС; 6 – сравнение оценки, полученной от ИНС с оценкой учителя; 7 – сумма баллов. Оценкой на выходе является нейрон, обладающий сильнейшим сигналом. В данном случае – чем ближе значение к единице, тем выше вероятность соответствия входного вектора данному выходному нейрону. При совпадении с одним из векторов, используемых при обучении, на выходе появится вектор, содержащий только одну единицу и остальные нули.

Таблица 2.

Исходные данные и результаты для ИНС

№ п/п	Входной вектор 1	Входной вектор 2	Выходной вектор 1	Выходной вектор 2	Оценка желаемая/ИНС	Сумма баллов
1	[7;7;9;1;7;8;10]	[7.3;7.3;9.4;0.6;7.1;7.7;9.6]	0.9999 -0.6925 0.6831 0.0000	0.9999 -0.9936 0.9928 0.0000	5/5	49
2	[7;7;9;3;6;5;9]	[6.3;7.3;9.3;2.8;6.4;5.2;8.7]	0.9999 -0.0252 0.0244 0.0000	0.9999 0.0051 -0.0028 0.0000	5/5	46
3	[5;3;4;2;5;6;7]	[4.6;2.7;3.8;2.5;5.1;5.9;7.4]	-0.0000 0.0044 0.9999 0.0000	-0.0000 -0.0090 0.9999 0.0000	4/4	32
4	[7;7;5;4;0;0;9]	[6.6;7.4;7.4;0.3;0.4;9]	-0.0003 0.9998 0.3391 -0.0000	-0.0003 0.9998 0.4087 -0.0000	4/4	32
5	[4;1;2;2;2;0;3]	[3.7;1;2;2;2;0.3;3]	-0.0000 0.3916 1.0000 -0.0261	0.0000 0.9255 0.9999 -0.0302	3/3	14
6	[5;3;0;2;2;0;5]	[4.6;2.9;0.4;1.9;1.8;0.5;4.9]	-0.0000 0.0004 0.9999 -0.0051	-0.0000 -0.0000 0.9999 -0.0031	3/3	17

При сравнении полученных результатов видно, что качество распознавания лучше в большинстве случаев с вектором, содержащим целые значения. В первом примере заметно снижение уровня сигнала

на выходе нейронов, отвечающих за оценки «хорошо» и «удовлетворительно». Кроме того, при подаче вектора, содержащего не целые значения, на нейронах, отвечающих за оценки «отлично» и «удовлетворительно», уровень сигналов отличается незначительно (на 0.0063). Это говорит о том, что при небольшом изменении (≈ 0.1) входного вектора вероятность неверной оценки увеличивается. Подобная ситуация прослеживается в примере №5 с уровнем сигнала на нейронах, отвечающих за оценки «хорошо» и «удовлетворительно». При этом в примерах № 2 и 6 прослеживается повышение шума для вектора с целыми значениями, по сравнению с дробными. Однако в данном случае это не критично, так как не приводит к получению близких уровней сигнала для нескольких оценок.

Таким образом, использование предварительной обработки путем использования конечных автоматов перед входами нейронов ИНС позволяет свести входные данные к целым числам, что позволяет повысить вероятность правильного оценивания (распознавания).

Библиографический список:

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. 2-е изд. Телеком, 2002. 382 с.
2. Первушин Е.В. Применение конечных автоматов для улучшения характеристик нейроподобных сетей. URL.: <http://os-russia.com/SBORNIKI/KON-116-2.pdf> is.ifmo.ru (дата обращения: 15.03.2018).
3. Лазарев В.М., Свиридов А.П. Нейросети и нейрокомпьютеры. М., 2011. 131 с.
4. Мамаев В.Я., Синяков А.Н., Петров К.К. Воздушная навигация и элементы самолетовождения. СПб.: ГУАП, 2002. 256 с.
5. Neural Network Toolbox™ User's Guide /© COPYRIGHT 1992–2017 by The MathWorks, Inc.

УДК 004.032.26:629.7.05

Е. Н. Мухина

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Г. Никитин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Современные космические аппараты (КА) в основном имеют нежесткую конструкцию корпуса, а также множество больших выносных элементов (солнечные панели, антенны), которые являются гибкими конструкциями, что при ориентации КА приводит к возникновению упругих колебаний [1, 2]. На борту КА размещаются приборы и агрегаты технологических систем, которые могут быть источниками механических возмущений. Данные возмущения при движении КА по орбите могут возбуждать вибрации в широком диапазоне частот (0... 150 Гц) и способствовать возникновению вынужденных упругих колебаний составных частей КА.

Гироскопические датчики КА наряду с измерением углового положения как жесткого тела воспринимают упругие колебания корпуса. Упругие деформации корпуса вносят погрешности в показания даже идеально работающих гироскопических устройств. Из широкого спектра частот упругих колебаний наиболее существенное влияние на погрешности гироскопических устройств обычно оказывают первые две гармоники этих колебаний.

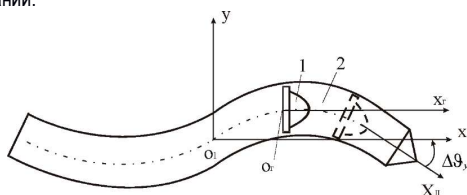


Рис. 1. Механизм погрешности из-за упругих колебаний

Физическая сущность погрешностей гироскопических устройств, вызванных упругими колебаниями корпуса КА, заключается в следующем (рис. 1): корпус КА 2, совершающий упругие колебания. Для определенности представлена только вторая гармоника этих колебаний. Если центр масс гироскопического устройства 1 совпадает с пучностью второй гармоники колебаний, то погрешности от упругих колебаний равны нулю. В этой точке ось O_1X_g , связанная с гироскопическим датчиком угловых скоростей (ДУС) перемещается параллельно оси O_1X абсолютно жесткого КА [2]. Если же гироскопическое устройство смещено относительно указанной точки, то, даже при отсутствии у гироскопа собственных уходов, неподвижная часть ДУС, скрепленная с корпусом КА, при упругих колебаниях основания совершает угловые перемещения относительно ротора, установленного на оси гироскопического устройства, что означает, что в систему управления поступает ложный сигнал, пропорциональный $\Delta\theta_y$. Погрешность $\Delta\theta_y$ принимает максимальные значения, когда гироскопическое устройство расположено в узловых точках второй гармоники упругих колебаний (на рис. 1. показано штриховой линией).

Аналитически для одной из доминирующих по амплитуде гармоник упругих колебаний погрешность гироскопического устройства, измеряющего угловые эволюции летательного аппарата, может быть представлена формулой:

$$\Delta\theta_y = \Delta\dot{\theta}_y + \Delta\theta_y^{\sim} \sin \omega_y t, \quad (1)$$

где $\Delta\dot{\theta}_y$ - постоянная составляющая погрешности; $\Delta\theta_y^{\sim}$ - амплитудное значение гармонической составляющей погрешности; ω_y - круговая частота доминирующей гармоники упругих колебаний.

Частоты первых гармоник упругих колебаний КА обычно не превышают нескольких герц и близки к частотам собственных колебаний жесткого тела. С учетом этого обстоятельства появление гармонических составляющих погрешности, определяемых формулой (1), может привести к тяжелым последствиям. Особенно опасны упругие колебания, вызывающие положительную обратную связь в каналах системы управления.

С гироскопического ДУСа в систему угловой стабилизации поступает суммарный сигнал:

$$\vartheta_{\Gamma} = \vartheta \pm \Delta\vartheta_y, \tag{2}$$

где ϑ - отклонение абсолютно жесткого корпуса КА; $\Delta\vartheta_y$ - погрешность гироскопического устройства, определяемая формулой (1).

Для исключения влияния упругих колебаний необходимо, чтобы в сигналах информационно-измерительного комплекса отсутствовали сигналы упругих деформаций [2].

Целью данной работы является исследование метода нейтрализации упругих колебаний с помощью линейной нейронной сети.

Нейронные сети, искусственная нейронная сеть (ИНС) — это система соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров, искусственных нейронов (ИН), работающих параллельно [9]. Такие процессоры обычно очень просты (особенно в сравнении с процессорами, используемыми в персональных компьютерах). ИНС можно обучить для решения определенной задачи, изменяя величины весов (коэффициентов) связи между нейронами. Обучение ИНС происходит таким образом, чтобы входные функции определенным образом преобразовывали заданный целевой выход. ИНС обучается, опираясь на схожесть сигналов выхода и цели, до той поры пока они не совпадут друг с другом.

Для моделирования в среде Matlab входной сигнал представлен как сумма составляющей сигнала и аддитивной синусоидальной помехи [5].

В пакете Simulink была построена модель нежесткого КА (рис. 2), на рисунке 3 представлены графики входных данных модели КА.

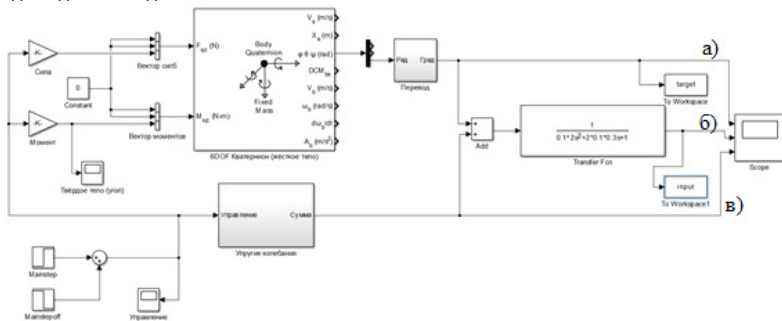


Рис. 2. Модель нежесткого КА

Создадим двухслойную сеть с прямой связью с сигмовидными скрытыми нейронами и линейными выходными нейронами. На вход которой подается сигнал, полученный с датчика, обучающим сигналом – является целевой сигнал. Количество скрытых нейронов в данном случае 8.

Выберем алгоритм обучение – в данном случае это алгоритм Левенберга-Марквардта. Метод оптимизации, направленный на решение задач о наименьших квадратах был разработан для приближения к скорости обучения второго порядка без вычисления матрицы Гессииана. Когда функция производительности имеет форму суммы квадратов (как это типично для обучения сетей с прямой связью), то матрица Гессииана может быть аппроксимирована как

$$H = J^T J, \tag{3}$$

и градиент можно вычислить как

$$g = J^T e, \tag{4}$$

где J – матрица якобиана, которая содержит первые производные сетевых ошибок относительно весов и смещений, а e – вектор сетевых ошибок. Якобианскую матрицу можно вычислить с помощью стандартного метода обратного распространения, который намного менее сложный, чем вычисление матрицы Гессеана [7].

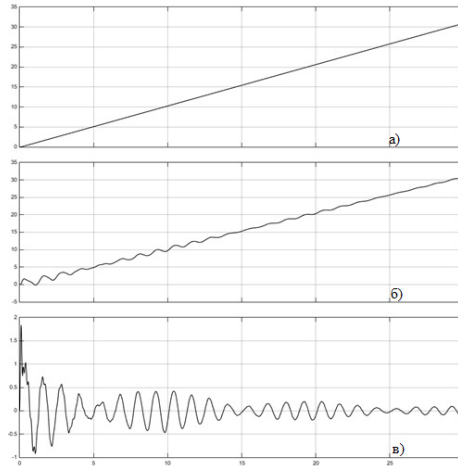


Рис. 3. Входные данные: а) целевой сигнал; б) сигнал на выходе с датчика; в) упругие колебания

Этот алгоритм, по-видимому, является самым быстрым методом для обучения слабонервных нейронных сетей умеренного размера (до нескольких сотен весов).

Обучение продолжалось до тех пор, пока ошибка проверки не уменьшилась для шести итераций.

Mean Squared Error - средняя квадратная разница между выходными сигналами и целями (рис. 4). Чем ниже значение, тем лучше наша ИНС обучилась.

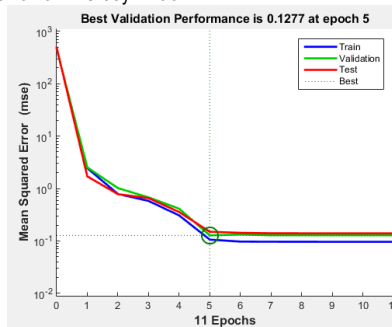


Рис.4. Обучение ИНС

Регрессионные графики (рис. 5) отображают сетевые выходы в отношении целей для обучения, проверки и наборов тестов.

В данной работе было проведено моделирование искусственной линейной нейронной сети в качестве цифрового фильтра. Результаты моделирования представлены на рис. 6. Как видно из рис. 4 средняя квадратная разница между выходными сигналами и целями равна 0,1277, где нуль означает отсутствие ошибки.

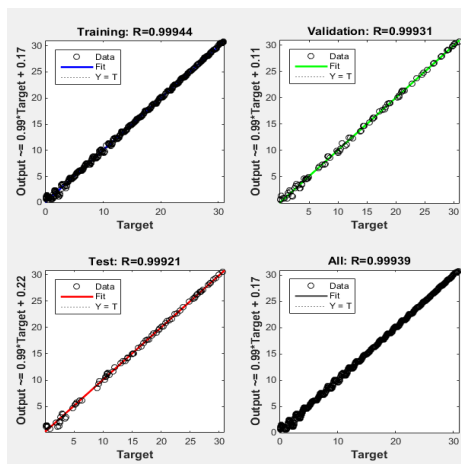


Рис. 5. Линейная регрессия ИНС

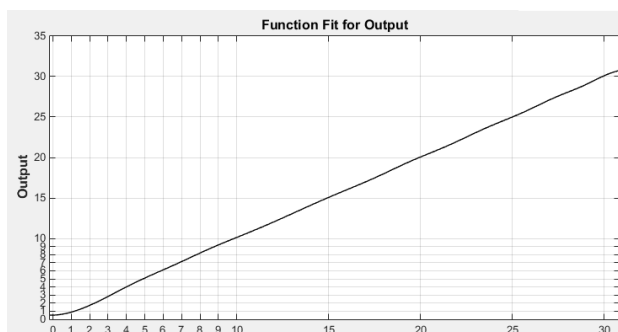


Рис.6. Результаты моделирования

На рис. 5 регрессионные данные R равны 0,99, в идеальной сети они должны падать вдоль линии 45 градусов, где сетевые выходы равны целям. Значение $R=1$ означает близкую связь, $R=0$ – случайную зависимость. В построенной ИНС регрессионные данные равны почти единице, а среднеквадратическая ошибка почти равно нулю, что показывает хорошие результаты.

Библиографический список

1. Сняжков А.Н. Системы управления упругими подвижными объектами. Л.: ЛГУ, 1981. 200 с.
2. Каргу Л.И. Точность гироскопических устройств систем управления летательных аппаратов, 1990. 208 с.
3. Иванов Ю.П., Сняжков А. Н., Филатов И. В. Комплексирование информационно измерительных устройств летательных аппаратов. Л.: Машиностроение, 1984. 207 с.
4. Лазарев В.М., Свиридов А.П. Нейросети и нейрокомпьютеры. Монография. М., 2011. 131 с.
5. Neural Network Toolbox™ User's Guide © COPYRIGHT 1992–2017 by The Math Works, Inc.
6. Галушкина А. И., Цыпкина Я. З. Нейронные сети. История развития теории. Кн. 5. М.: ИПРЖР, 2001.
7. Дьяконов В. П., Абраменкова И. В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. СПб.: Книга, 2002. 608 с.

УДК 629.576

Е.В. Пяткина

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

А.В. Небылов – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**БЛОК ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ЭКРАНОПЛАНА С КОНФЛИКТУЮЩИМИ ОБЪЕКТАМИ**

Обход препятствий на акватории является актуальной и достаточно сложной задачей. При высокой скорости движения экраноплана необходимо решать проблему предотвращения столкновения с другими транспортными средствами или неподвижными препятствиями при дефиците времени для маневрирования из-за малого радиуса действия радиолокационной станции [1]. Исходя из этого, важными задачами являются обнаружение конфликтующего объекта средствами радиолокации и быстрое принятие решения о маневрировании экраноплана.

В данной работе рассматривается экраноплан типа *b*, который может совершать кратковременные «горки» с целью облета препятствий с выходом за пределы действия экранного эффекта. В качестве примера был выбран транспортный экраноплан «Спасатель», параметры которого описаны в [2]. Экраноплан предполагается применять при поисково-спасательных операциях в Арктике и Тихом океане.

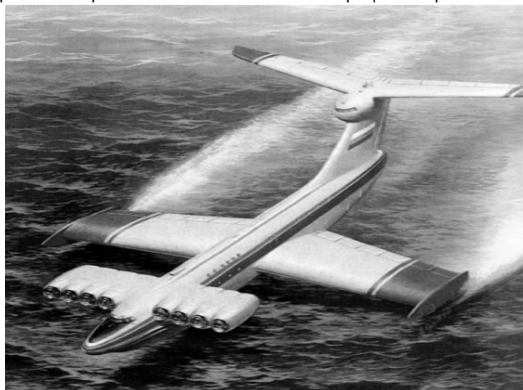


Рис. 1. Аэродинамическая конфигурация экраноплана по самолетной схеме [3]

Для обнаружения конфликтующего объекта применяется радиолокатор, установленный на хвостовом киле или стабилизаторе. Радиолокационная станция должна передавать в блок предупреждения столкновений данные о координатах и скоростях конфликтующих объектов для анализа ситуации на акватории и выбора оптимального варианта обхода, рекомендуемого пилотам к исполнению. После того, как конфликтующий объект обнаружен, необходимо принять решение о маневрировании. По условиям безопасности полета недопустимы резкие маневры как в продольном, так и в поперечном каналах управления, которые могут привести к выходу летательного аппарата из эксплуатационной области (уход от экрана) или к столкновению с поверхностью воды.

Изменение высоты полета без риска выхода за пределы эксплуатационной области возможно только при вертикальной перегрузке $n_y \sim 1$, а развороты по курсу – только при небольших углах крена находящегося в диапазоне изменения ± 20 град. Следствием этих ограничений является относительно низкая маневренность. Для следования по заданному маршруту и обхода препятствий можно рассматривать как маневр в горизонтальной плоскости, так и вертикальный маневр [4]. В большинстве случаев резкое увеличение высоты движения оказывается более эффективным, чем резкий поворот в горизонтальной плоскости, в котором инерционность экраноплана проявляется наиболее сильно. Маневр «ма-

лая горка» предполагается применять в тех случаях, когда при появлении угрозы столкновения с препятствиями на акватории пилоты по тем или иным соображениям отказываются от выполнения курсового маневра и предпочитают совершить облет препятствий в вертикальной плоскости [5].

Рассмотрим маневр расхождения с препятствием в горизонтальной плоскости (рис. 2). При горизонтальном маневрировании, наиболее простым и безопасным является «плоский» разворот с углами крена, близкими к нулю $\gamma \approx 0$. Центробежная сила создается только за счет угла скольжения. При плоском развороте получается максимальный радиус разворота и, соответственно, максимальная необходимая для маневра дистанция L_m . Необходимо отметить, что от момента обнаружения препятствия до начала маневра требуется определенное время t_d для распознавания препятствия, оценки ситуации и принятия решения о выполнении маневра. Иногда это время может измеряться десятками секунд, за это время экраноплан преодолевает расстояние $L_d = V \cdot t_d$ в направлении препятствия [6], где V - скорость экраноплана.

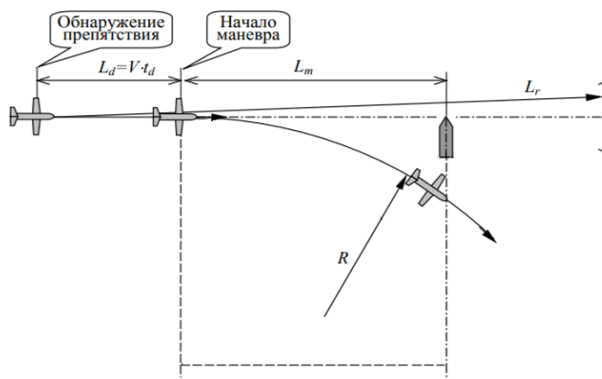


Рис. 2. Маневр расхождения с препятствием в горизонтальной плоскости

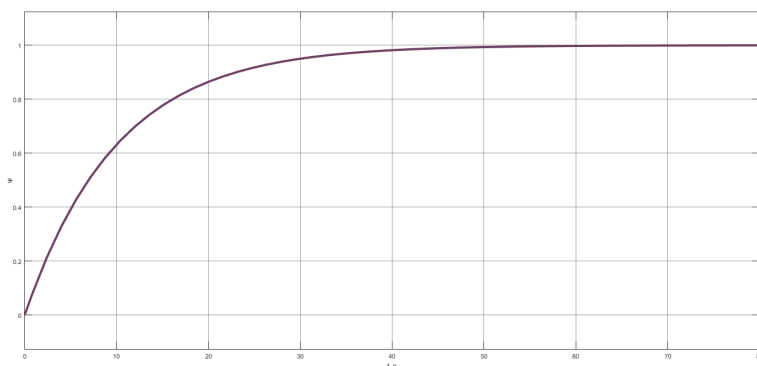


Рис. 3. График переходной характеристики звена, имитирующего динамику маневра экраноплана по горизонтали

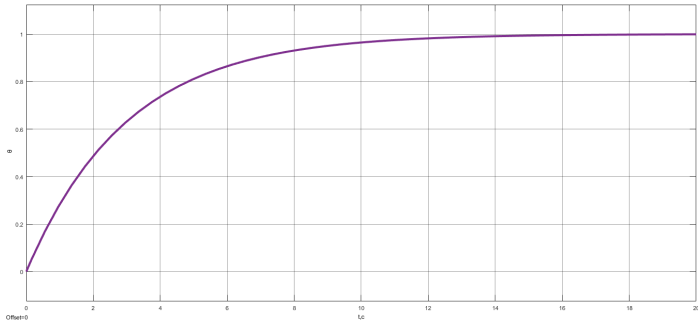


Рис. 4. График переходной характеристики звена, имитирующего динамику маневра экраноплана по вертикали

Передаточная функция аperiodического звена первого порядка описывает динамику маневра экраноплана по горизонтали и вертикали, которая определяется по следующей формуле [7]:

$$W_e(s) = \frac{k_e}{T_e s + 1}$$

где k_e – коэффициент усиления, принимаемый за единицу; T_e – постоянная времени θ .

По данной передаточной функции, с помощью приложения Simulink, были получены графики переходных характеристик звена, имитирующих динамику экраноплана по горизонтали с постоянной времени $t_e=10$ с, по вертикали с постоянной времени $t_e=4$ с.

Обход препятствий заключается в поиске оптимального маневра на основе информации о локационной обстановке на акватории и знания собственных маневренных способностей, а также в реализации выбранного маневра. В дальнейшем для решения этой задачи будет разработана методика выбора оптимального по безопасности, времени и расходу энергии маневра экраноплана для обхода препятствия.

Библиографический список

1. Небылов А.В., Небылов В.А. Проблемы теории и системы автоматического управления движением экранопланов / XII Всероссийское совещание по проблемам управления. Москва, 16-19 июня 2014 г.
2. URL: <https://flotprom.ru/2017/Арктика25/>(дата обращения: 10.04.2018).
3. Брагазин В. Ф., Стрелков В. В. Автоматизация маневра разворота летательного аппарата в горизонтальной плоскости в непосредственной близости от поверхности воды / Тр. IV Междунар. научн.-техн. конф. по гидроавиации. Геленджик, Россия, 4-8 сентября 2002 г.
4. Химич В.Л., Чернигин Ю.П. Конструкция систем управления экранопланов. Нижний Новгород: НГТУ, 2013. 184 с.
5. Диомидов В. Б. Автоматическое управление движением экранопланов. СПб.: Электроприбор, 1996.
6. Грязин В.Е., Стрелков В.В. Устойчивость, управляемость и принципы автоматизации управления экранопланом на крейсерском режиме полета / Ученые записки ЦАГИ. 2004. № 3-4.
7. Nebylov A.V., Nebylov V.A. Controlled WIG Flight Concept / 19th IFAC World Congress Cape Town, South Africa. August 24-29, 2014.

УДК 004.93

Е. В. Савенкова

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Р. Н. Малаханов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**МЕТОДИКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗНАКОВ ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРОВ**

В настоящее время квадрокоптеры нашли широкое применение в различных задачах: поиск, мониторинг окружающей среды, наблюдение. С их помощью доступ к средам, в которые не могут попасть люди или другие транспортные средства, становится легкодоступным. Это особенно актуально для таких экстремальных ситуаций, как, например, разведка. В качестве навигации для квадрокоптеров широко применяются системы глобального позиционирования GPS или ГЛОНАСС, однако, для некоторых конкретных сред сигналы из навигационных сетей могут быть бесполезны [1]. Следует отметить, что развитие высокопроизводительных компьютеров и появление на рынке недорогих видеокамер высокого качества стимулирует широкое использование в квадрокоптерах систем компьютерного зрения.

Среди многих задач навигации и управления квадрокоптеров сохраняет актуальность проблема автоматической посадки летательного аппарата на определенную посадочную площадку. В этой проблеме можно выделить несколько актуальных задач: распознавание посадочной площадки, оценивание степени ее пригодности и безопасности для посадки, наведение и автоматическая посадка квадрокоптеров на заданный маркер посадочной площадки.

В статье предложена методика распознавания посадочной площадки, представляющую собой цифру или знак, очерченные кругом. Примеры изображений площадок приведены на рис. 1. Так как реальные изображения площадок для посадки квадрокоптеров автору не представляется возможным получить, в качестве набора обучающих данных используются изображения дорожных знаков, внешне схожие с образцами площадок для посадки.



Рис. 1. Образцы изображений посадочной площадки

В работе реализован первый этап разработки методики распознавания дорожных знаков, который включает в себя поиск дорожного знака на изображении или в кадре видеодетектирования.

Постановка задачи детектирования объектов

Задача детектирования является сложной для машины по многим причинам. Среди них можно выделить следующие.

1. Разнообразие форм и цветов представителей класса объектов.
2. Перекрывание детектируемых объектов. На практике, с точки зрения камеры, объекты могут быть видны только частично.
3. Разная степень освещенности объектов. В зависимости от времени суток одинаковые объекты могут выглядеть и восприниматься абсолютно по-разному.

Цель детектирования – определить наличие объекта на изображении и найти его положение на исходном изображении. Положение объекта, в зависимости от выбора алгоритма детектирования, может определяться контуром этого объекта или же выделенной областью на изображении, содержащей объект.

Методы решения задачи детектирования объектов

Множество всех методов решения задачи детектирования можно разделить на следующие основные группы.

1. Методы, которые для описания объекта используют признаки, наиболее характерные для объектов. В качестве признаков могут быть выбраны точечные особенности объекта, либо признаки, построенные для изображения, содержащего только объект.

2. Методы поиска объектов, соответствующих шаблону – некоторому описанию объектов.

В качестве примера для методов первой группы можно привести метод гистограмм ориентированных градиентов (HOG) – один из широко используемых алгоритмов выделения признаков. На первом этапе изображение преобразовывается с помощью гамма-коррекции и вычисляются его первые производные. Затем изображение делится на маленькие патчи, называемые ячейками. В каждой ячейке гистограмма вычисляется на основе ориентации вектора градиента и его величины с использованием пикселей внутри этой ячейки (рис. 2). Затем, путем рассмотрения соседних ячеек формируются блоки, и гистограмма ячеек внутри этого блока объединяется [2].

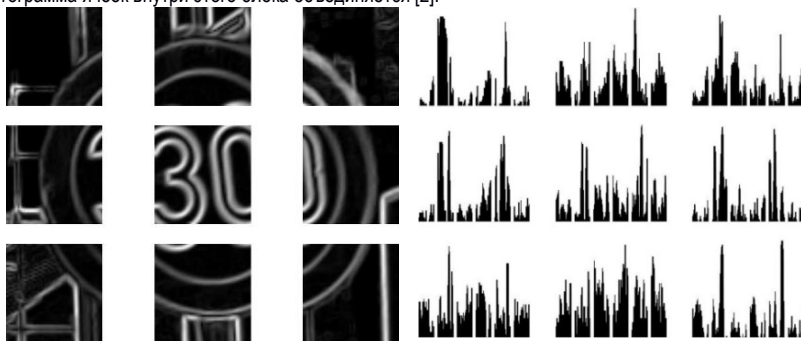


Рис. 2. Пример разбиения поля величины градиента на ячейки и построения гистограмм величин по направлениям

Преимущество данного алгоритма – в поддержке инвариантности искажений объекта, кроме изменения его формы. Однако применение этих детекторов на изображении с высоким разрешением нецелесообразно, поскольку для обработки всего изображения требуется много времени.

Для методов второй группы можно привести широко используемые в настоящее время сверточные нейронные сети. В этом методе на изображение применяется набор ядер свертки, и выход с каждого ядра индивидуально суммируется. Затем конечная функция получается путем объединения суммированных значений. Преимуществом данного метода является высокое быстродействие и точность, однако требуется большой объем первоначальных данных.

В настоящей работе стоит задача распознавания знаков в реальном времени, поэтому было принято решение использовать сверточные нейронные сети из-за быстродействия этого метода.

Предлагаемая методика

Сверточная сеть собирает информацию из набора 60 фильтров свертки, каждый с коэффициентами $9 \times 9 \times 3$. Выход первого слоя свертки представляет собой тензор $12 \times 12 \times 60$, где каждый срез представляет собой карту признаков (т.е. 60 карт функций). Затем выполняется суммирование путем пространственного разделения каждой карты признаков на четыре равные области и нахождения максимального значения в каждой области. Наконец, извлеченный вектор признаков нелинейно трансформируется в 300-мерное пространство, где сверточная сеть пытается линейно отделить два класса (знак дорожного движения от любого другого знака) в этом пространстве.

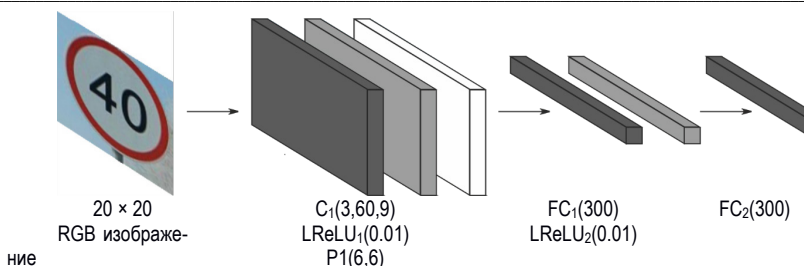


Рис. 3. Архитектура сверточной сети для детектирования дорожных знаков

На рис. 3 приведена архитектура сверточной нейронной сети для детектирования дорожных знаков. Черный, серый и белый цвета обозначают свертку, LReLU – слой объединения.

$C(s, n, k)$ обозначает сверточное ядро n размером $k \times k \times s$, а $P(k, s)$ обозначает объединяющий слой размера $k \times k$ и шагом s . Наконец, число LReLU указывает коэффициент функции активации.

Для обучения сверточной сети используется выборка положительных образцов, а также выбираются некоторые участки изображения (патчи) случайным образом в каждом изображении в качестве отрицательных выборок. После обучения сети было выявлено, что такой набор данных не обеспечивает хорошую точность. Для уточнения модели был использован метод hard-negative mining. В этом методе все патчи, которые классифицируются как положительные, сравниваются с ограничительными полями-эталоном. Те патчи, которые не совпадают с границами эталона, определяются как новые жестко-негативные образцы. Имея все жестко-отрицательные патчи, собранные со всех учебных образов, сверточная сеть настроена на новый набор данных.

Процедура детектирования с использованием сверточной нейронной сети начинается со сдвига маски 20×20 по изображению и классификации патча под маской. После того, как все пиксели просканированы, изображение уменьшается, и процедура повторяется на меньшем изображении несколько раз, чтобы обеспечить обнаружение более близких объектов. Применение такой процедуры на изображении с высоким разрешением может занять несколько минут, поэтому нужно найти эффективный способ выполнения вышеуказанной процедуры в реальном времени.

В настоящее время продвинутые встроенные платформы, такие как NVIDIA DrivePx 1, имеют специальный модуль графического процессора. Это позволяет выполнять высоко вычислительные модели в реальном времени, поэтому рассматривается такая же платформа для решения задачи. В реализации детектора скользящего окна есть две основные проблемы для вычислительной техники. С одной стороны, два или более патча изображения могут обрабатываться одновременно в зависимости от количества ядер графического процессора. Однако вышеупомянутый подход предполагает, что два последовательных патча являются независимыми и ядра свертки применяются на каждом фрагменте отдельно. С другой стороны, передача перекрывающихся патчей изображений между основной памятью и графическим процессором выполняется тысячи раз, что отрицательно влияет на время обработки. Чтобы решить эти две проблемы, предлагается следующий подход для реализации метода скользящего окна на графическом процессоре (рис. 3). Вход сверточной сети представляет собой изображение $20 \times 20 \times 3$, а выход слоя объединения – тензор $2 \times 2 \times 60$. Кроме того, каждый нейрон в первом полностью подключенном слое соединен с $2 \times 2 \times 60$ нейронами в предыдущем слое.

Для каждого пикселя на изображении первым шагом является обрезка участка изображения размером 20×20 пикселей, чтобы затем применить набор сверточных фильтров на этом патче. Следует отметить, что 82% пикселей являются общими для двух последовательно полученных патчей. В результате в память графического процессора передается избыточное количество пикселей. В связи с этим принято решение передавать изображение с высоким разрешением в память графического процессора, а ядра свертки применять одновременно на разных участках. На следующем шаге в субдискретизирующем слое объединяются пиксели с выхода слоя свертки. Когда сверточная сеть получает изображение

20×20, слой свертки генерирует карту признаков 12×12 для каждого ядра. Затем слой объединения вычисляет максимальные значения в областях 6×6. Расстояние между каждой областью составляет 6 пикселей (шаг = 6).

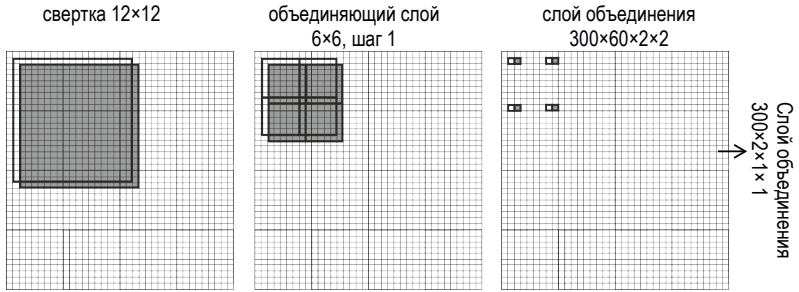


Рис. 4. Осуществление детектора скользящего окна для сверточной нейронной сети

Таким образом, выход слоя объединения на карте с одним признаком представляет собой карту признаков 2×2. Предположим, что имеются два последовательных патча, обозначенных пустым и закрашенным прямоугольниками в слое свертки (рис. 3). Слой объединения будет вычислять максимальное значение 6×6 областей. Выход слоя объединения для пустого прямоугольника должен быть рассчитан с использованием 4 маленьких пустых прямоугольников, показанных на среднем рисунке. На следующем шаге также объединяются значения внутри закрашенной области. Далее, шаг слоя изменяется на 1 и, таким образом, результат объединения пустой и закрашенной областей не будет последовательным.

В методе скользящего окна распространена практика обработки патчей каждые 2 пикселя. Это легко реализовать, изменив шаг слоя объединения полностью сверточного слоя на 2 и соответствующим образом скорректировав коэффициент расширения ядра свертки на первом, полностью подключенном слое. Наконец, для реализации многомасштабного скользящего окна нужно только создать различные масштабы исходного изображения и применить для них скользящее окно. На рис. 5 показана оценка обнаружения, вычисленная при детектировании знаков на изображениях с высоким разрешением сверточной сетью.

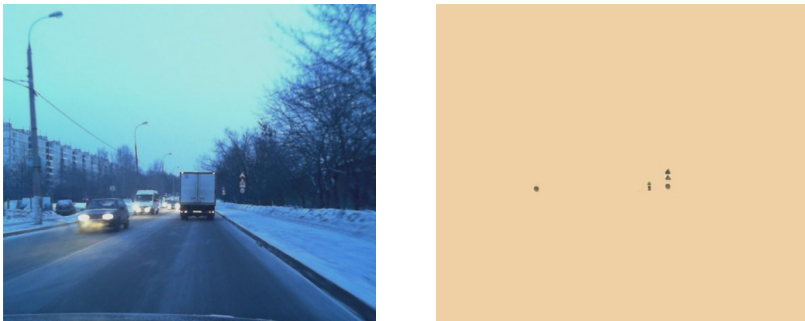


Рис. 5. Оценка обнаружения

Обнаружение дорожных знаков в изображениях с высоким разрешением является наиболее трудоемкой частью конвейера обработки, поэтому было вычислено время обработки каждого слоя отдельно. Сверточная сеть повторяет обработку изображения 100 раз и вычисляется среднее время для каждого слоя. Состояние системы фиксируется во время всех вычислений. В табл. 1 приведены результаты для пяти различных масштабов изображения. Было отмечено, что время обработки скользящим окном изображений с высоким разрешением пяти различных масштабов составляет 62,266 мс, что равно обработке 19,13 кадра в сек. Также вычислено время обработки при изменении шага слоя объединения от 1 до 4.

Таблица 1

Время обработки нейронной сетью пяти различных масштабов изображения (миллисекунды)

Название слоя	Время обработки изображения разных масштабов одним слоем (мс)				
	1020×600	816×480	612×360	480×240	204×120
Входной слой	0.167	0.116	0.093	0.055	0.035
Слой свертки	7.077	4.525	2.772	1.364	0.321
Relu	1.744	1.115	0.621	0.330	0.067
Слой объединения	6.225	3.877	2.157	1.184	0.244
Полносвязанный	8.594	5.788	3.041	1.606	0.365
Relu	2.126	1.379	0.746	0.384	0.081
Выходной слой	1.523	0.893	0.525	0.285	0.101
Результат	27.656	17.803	10.103	5.365	1.336

Результаты показывают, что нецелесообразно устанавливать шаг в 1, так как для обнаружения дорожного знака на изображении требуется 60 мс (6,25 кадров в сек.) Кроме того, он потребляет большое количество памяти графического процессора. Однако можно обрабатывать 19 кадров в сек., установив шаг в 2. Кроме того, уменьшение времени обработки между шагами 3 и 4 незначительно.

И последнее, но не менее важное: можно применить комбинацию шагов 2 и 3, чтобы улучшить общее время обработки. Время выполнения может быть дополнительно улучшено путем анализа статистики базы данных.

Результаты

Для того чтобы производить процедуру детектирования, сверточная нейронная сеть для обучения использует метод градиентного спуска с отжигом скорости обучения. Скорость обучения фиксируется до 0.02; импульс до 0.9; L2-регуляризация до 10^{-5} ; ступенчатость функции до 10^4 ; скорость отжига до 0.8; отрицательный наклон LReLU до 0.01 и максимальное количество итераций до 150 000. Сверточная сеть сначала обучается, используя эталонные ограничительные области, а также отрицательные образцы, полученные случайным образом с изображения. Далее тренировочный набор данных дополняется жестко-негативными образцами и сеть снова обучается. На рис. 6 показан график зависимости точности системы от полноты. Под точностью понимается точность системы в пределах класса, т.е. доля объектов, действительно принадлежащих классу дорожных знаков относительно всех объектов, которые нейронная сеть отнесла к этому классу. Полнота системы – это доля найденных классификатором объектов, принадлежащих классу, относительно всех объектов этого класса в тестовой выборке. Точность и полнота определяются следующим образом:

$$\text{Precision} = TP / (TP+FP) \tag{1}$$

$$\text{Recall} = TP / (TP+FN), \tag{2}$$

где TP – истинно положительное решение; TN – истинно отрицательное решение; FP – ложноположительное решение; FN – ложноотрицательное решение.

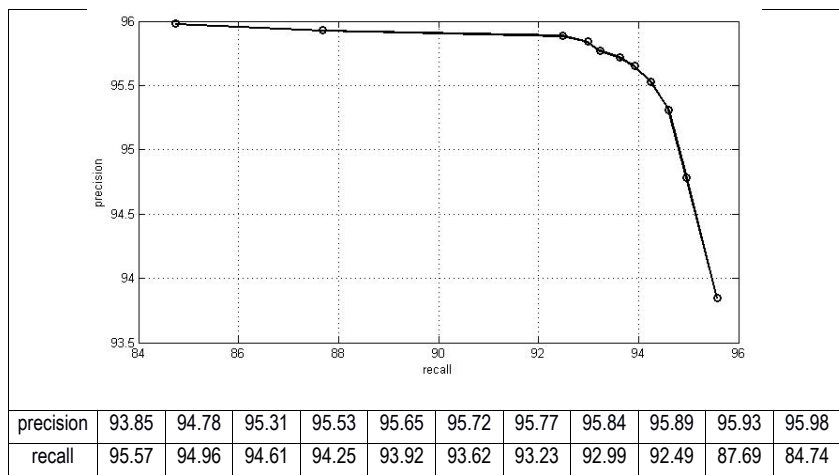


Рис. 6. График зависимости точности от полноты

Средняя точность скользящей сверточной сети составляет 95,89%, что является хорошим результатом.

Далее было принято решение использовать пост-обработку ограничивающих контуров для уменьшения ложноположительных результатов детектирования. Идея состоит в том, что если ограничивающий прямоугольник классифицирован как положительный, все ограничивающие поля на расстоянии $\{-1, 0, -1\} \times \{-1, 0, -1\}$ также должны быть классифицированы положительно. Другими словами, если область изображения содержит дорожный знак, то в этом регионе должно быть не менее 10 ограничивающих контуров, также классифицируемых положительно. Применяя эту методику, ложноположительные результаты могут быть значительно уменьшены. На рис. 7 показаны результаты детектирования на нескольких изображениях до и после последующей обработки ограничивающих контуров.



Рис. 7. Результат детектирования с последующей обработкой ограничивающих контуров

Таким образом, обнаружение объектов – одна из трудных задач в техническом зрении. В статье была представлена методика детектирования на основе сверточной нейронной сети, которая анализирует изображения с высоким разрешением в реальном времени и с точностью 95,89% обнаруживает дорожные знаки. Такая система может быть применена для системы автоматической посадки квадрокоптеров. В дальнейших разработках планируется классифицировать обнаруженные знаки для реализации полноценной системы распознавания знаков.

Библиографический список

1. Weiss S., Scaramuzza D., Siegwar R. Monocular-SLAM-based navigation for autonomous micro helicopters in GPS-denied environments // *Journal of Field Robotics (USA)*. 2011. Vol. 28. No. 6. Pp. 854–874.
2. . LeCun Y, Bottou L., Haffner P. Gradient Based Learning Applied to Document Recognition / IEEE Press, 1998. P. 46.

УДК 044.438

А. С. Сатуленков

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Ю. П. Иванов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ДАТЧИКА УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ (ДУС) ДЛЯ ЗАДАЧИ ФИНИТНО-ВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКИ СИГНАЛОВ

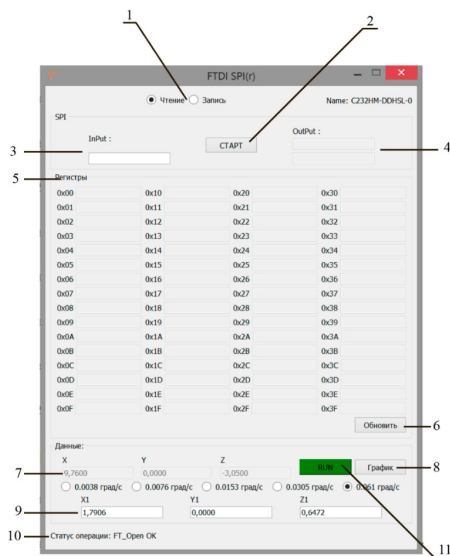


Рис. 1. Окно разработанной программы

• моделирование алгоритмов финитно-временной оценки сигналов, фильтра Калмана и адаптивной обработки;

• разработка программного обеспечения.

Программа (рис. 1) написана на языке C++ для работы с МЭМС, в основные функции программы входит: отображение координат, построение графиков, идентификация модели погрешности.

Окно программы, рис. 1:

1) выбор режима записи или чтения регистров;

2) кнопка выполнения записи или чтения;

3) адрес регистра;

4) запись или чтение данных регистра, зависит от выбора режима (1);

5) таблица значений регистров;

6) обновление таблицы значений регистров (5);

7) угловая скорость в углах в секунду (с дискретном 0,23 с);

8) график значений ДУС, может выводить значения по трем осям как до, так и после интегрирования;

9) вывод значений ДУС после интегрирования, в градусах;

10) строка состояния команд;

За последние годы точность и надежность микроэлектромеханических систем (МЭМС) датчиков возросла, что позволяет их внедрять в авиационные приборы. Особенно это необходимо в частной малой авиации, где зачастую авиаторы не способны позволить себе дорогостоящие измерители. По сравнению с классическими приборами, измерители, оснащенные МЭМС, обладают преимуществом по габаритным и экономическим характеристикам. Однако задача обработки сигналов с МЭМС датчиков остается актуальной.

Повышение точности измерителей существенно влияет на безопасность эксплуатации летательных аппаратов.

Основными целями данной работы являлись:

- идентификация модели погрешности;
- моделирование в MathCAD 15 погрешности ДУС после интегрирования в виде Винеровского процесса;
- моделирование погрешности спутниковой навигационной системы (СНС) в виде белого шума;

11) запуск работы датчика в непрерывном режиме.

Одним из измерителей был выбран датчик угловой скорости фирмы BOSH серии BMG160 со следующими характеристиками, представленными в таблице.

Таблица

Характеристики датчика угловой скорости BMG160

Параметр	Данные
Количество бит данных	16 bit
Диапазон измерений	$\pm 2000^\circ/\text{с}$
Чувствительность	$\pm 16,4^\circ/\text{с}$
Смещение нуля	$\pm 1^\circ/\text{с}$
Интерфейс	SPI
Диапазон рабочих температур	$-40\dots+85^\circ\text{C}$

Полученные показания с датчика угловой скорости при выборке 2500 измерений (рис. 2):

- одно измерение составляет 0.23 с;
- математическое ожидание $0,463243^\circ/\text{с}$;
- дисперсия $92,6798^\circ/\text{с}^2$;
- зона чувствительности $\pm 15,6^\circ/\text{с}$.

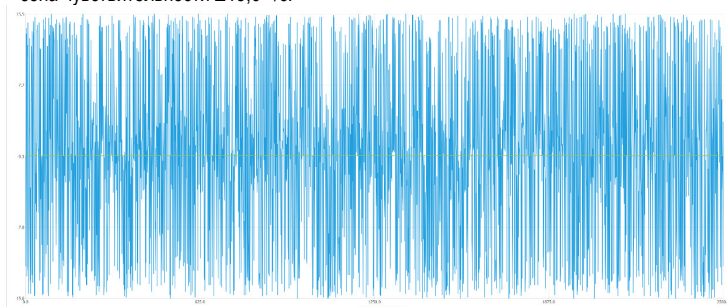


Рис. 2. Зависимость угловой скорости от шага измерения

В процессе идентификации полученной реализации было выявлено что моделью помехи является белый шум.

Основной целью работы была оценка углов положения летательного аппарата в пространстве, которые получаются после интегрирования, полученный график значения координаты по одной из осей представлен на рис. 3. Как известно, это винеровский процесс, у которого дисперсия пропорциональна времени.

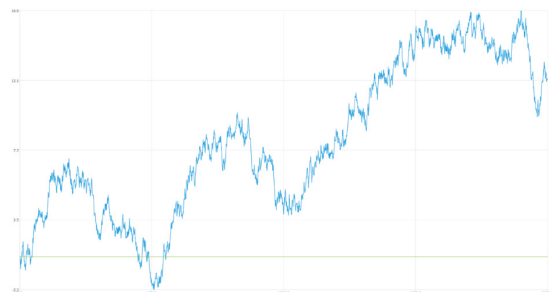


Рис. 3. График зависимости угла положения в пространстве от шага измерения

```

X ←
  w1 ← 0
  w11 ← 0
  v01 ← md(1)
  v02 ← md(1)
  v1 ← 0
  v11 ← 0
  for i ∈ 2.. dim
    v1i ← md(1)
    v2i ← md(1)
    ω1i ← √(-2·ln(v1i))·sin(2·π·v2i)
    vi ← vi-1 + SIG11·ω1i·√d
  p ← v
  
```

Рис. 4. Алгоритм моделирования сигнала с винеровским процессом

```

H0 ←
  w01 ← 0
  for i ∈ 2.. dim
    v1i ← md(1)
    v2i ← md(1)
    ω10i ← √(-2·ln(v1i))·sin(2·π·v2i)
    w0i ← SIG01·ω10i
  w0
  
```

Рис. 5. Алгоритм моделирования сигнала с белым шумом

На основе полученных измерений сигнал был смоделирован в математическом пакете MathCAD. Алгоритм моделирования представлен на рис. 4, где v_1, v_2 – случайная величина от 0 до 1; ω_1 – угловая скорость; v – получение угла в пространстве.

На начальном этапе исследования использовался только ДУС, помехой которого является винеровский процесс. Так как задача получения точных углов в пространстве подразумевает комплексную обработку, в качестве второго измерителя будет подобран такой датчик, у которого помеха будет являться белым шумом.

При обработке сигналов так же моделировался второй измеритель с помехой в виде белого шума (рис. 5).

После моделирования сигналов с двух датчиков исследовалось несколько алгоритмов обработки измерений:

- фильтр Калмана;
- финитно-временная обработка;
- адаптивная обработка.

На основе моделирования были получены дисперсии ошибочадаптивной обработки, финитно-временной и фильтра Калмана которые представлены на рис. 6.

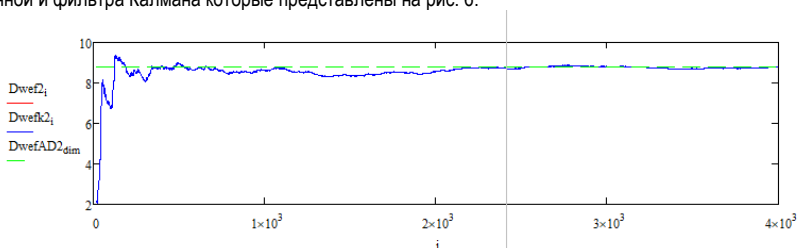


Рис. 6. Изменение дисперсии ошибки от времени

Как видно из рис. 6, для всех трех видов обработки дисперсии ошибок ничем не отличаются друг от друга, это говорит о том, что финитно-временная обработка не уступает фильтру Калмана.

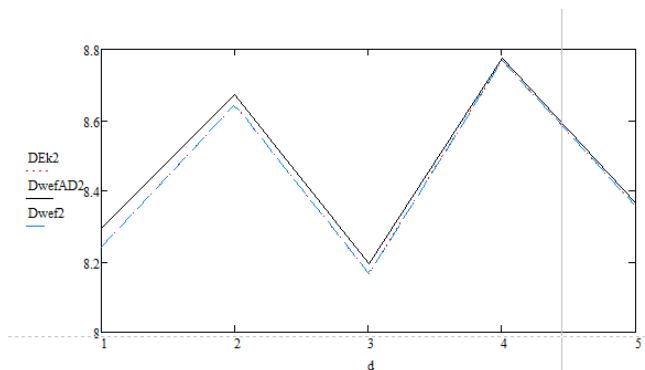


Рис. 7. Дисперсия ошибки от дискрет: сплошная линия – адаптивная обработка; пунктир – финитно-временная; точечная (совпадает с пунктиром) – фильтр Калмана

В работе было проведено исследование алгоритмов фильтра Калмана, финитно-временной обработки и адаптивной.

Анализ показал, что метод финитно-временной обработки по точности не уступает фильтру Калмана, при исследовании робастности и помехозащищенности алгоритмы показали близкие результаты, как например на рис. 7, при изменении параметра d (дискрет) от 1 до 5, фильтр Калмана и финитно-временная обработка показали одинаковый результат; у адаптивного алгоритма дисперсия ошибки оказалась немного больше.

Библиографический список

1. Шлее М. Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2015.
2. Иванов Ю. П., Никитин В. Г. Информационно-статистическая теория измерений. СПб.: ГУАП, 2011.

УДК 620.179.1

Л.А. Сильченкова

студент кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

В. Г. Никитин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ, ОСНОВАННЫХ НА ТЕХНОЛОГИИ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК, ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

На сегодняшний день базовая технология ультразвукового контроля (УЗК) известна и понятна многим, непрерывное развитие аппаратного и программного обеспечения приводит к появлению все более компактных и многофункциональных приборов. Традиционная ультразвуковая дефектоскопия с использованием малогабаритных портативных приборов и одноэлементных ПЭП является основным методом контроля качества во многих отраслях промышленности и сферах обслуживания [1].

Мировой опыт показывает, что использование средств ультразвукового неразрушающего контроля в машиностроении, металлургии, энергетике, строительстве, транспортной промышленности способствует улучшению качества продукции, обеспечению безаварийной эксплуатации энергетических установок и транспортных средств, повышению производительности труда, снижению материалоемкости конструкций и сооружений, улучшению качества выпускаемой продукции, экономии сырья и трудовых ресурсов (это актуальность).

Типовые средства ультразвукового контроля предназначены для измерения информативных параметров дефектов, таких как амплитуд эхосигнала, координаты дефекта, условные размеры. Совершенствование ультразвуковых дефектоскопов и методик на протяжении уже трех десятилетий проводится в рамках указанных информативных параметров. Со временем улучшались характеристики дефектоскопа - уменьшились его габариты и вес, появились сервисные функции, такие как временная регулировка чувствительности, запоминание настроек и данных контроля, связь с ЭВМ и т.д. Решение о годности изделия принимается на основе анализа все тех же параметров – амплитуды, координат, условных размеров.

Дальнейшее улучшение ультразвуковой аппаратуры определялось в первую очередь достижениями микроэлектроники. Создание технологии интегральных схем, появление микропроцессоров стимулировало реализацию новых идей в ультразвуковой аппаратуре. В 1970–1980-х гг. преобладало направление создания приборов с развертками типа В (B-scan) и С (C-scan). В развертке В детектированные эхосигналы отображаются на плоскости, а в развертке С формируется изображение (вид сверху). В этих приборах не применяется пространственная обработка эхосигналов, поэтому изображения получаются сильно размытыми. Главное преимущество здесь в том, что изображение дефектов, даже сильно искаженное, лучше воспринимается оператором, чем эхосигнал. Кроме того, прибор выдает протокол контроля [2].

Методы обработки эхосигналов, повышающие качество изображений, имеют общее название – метод синтезированной апертуры (Synthetic Aperture Focusing Technique). Данный метод впервые был создан для получения изображений в радарх. Позднее использовался в медицинских ультразвуковых сканерах. А в последние годы ведутся исследования по его использованию в приборах ультразвукового контроля металла.

SAFT-эхо – это метод, основанный на создании сфокусированного акустического поля в заданных областях контроля путем сканирования многоэлементной АР и когерентной обработки принятых сигналов. Используется АР, излучающая поочередно каждым элементом. Отраженный сигнал принимается всеми элементами. Из полученных данных формируется матрица из А-сканов.

Ультразвуковые дефектоскопы используются не только для контроля качества стальных и других металлических конструкций, но и для контроля изделий из пластиковых и композитных материалов, стекловолокна и керамики.

Наиболее распространенные области применения:

- контроль сварных швов - основная область применения УЗК;

- первичные металлы - балки, брусья, прутки, поковки, трубные заготовки;
- инфраструктура - мостовые балки, болтовые соединения, железнодорожные рельсы, металлические конструкции;
- нефтехимическая промышленность - трубопроводы, резервуары, несущие конструкции;
- эксплуатационный контроль - железнодорожные колеса и валы, шасси самолетов и подвески двигателя, крановые стрелы, ведущие валы, резервуары и сосуды под давлением;
- производство - точечные сварные швы, паяные швы, литые изделия, контроль прочности композитных материалов;
- композитные материалы - детали самолетов, ветряные турбины, двигатели из композитных материалов, стекловолокно.

В последнее время большой интерес вызывают системы с фазированными решетками, использующие сложную технологию на базе многоэлементных ПЭП для генерации направленных лучей и создания поперечных изображений, аналогично медицинской ультразвуковой визуализации. Данные дефектоскопии широко используются для контроля качества сварных соединений.

Ультразвуковой контроль фазированными решетками имеет преимущества перед обычным УЗК. Можно изменять угол наклона луча и фокусировку. Регулируемая геометрия эхо-сигналов минимизирует ложные индикации. Фазированные решетки позволяют обследовать геометрически сложные детали без необходимости перемещения объекта или датчика [3].

Преимущества:

- различные углы ввода пучков могут быть сгенерированы с помощью одного преобразователя, охватывающего гораздо большую интересующую вас область (область, проверяемая на наличие дефекта);
- больший охват позволяет и уменьшать скорость сканирования объекта, и увеличивать разрешающую способность контроля, или совмещать их;
- получение реальных изображений положения и размеров дефектов, а также их интерпретация, происходит быстрее и проще;
- все данные, учитывающие последовательность контроля, могут быть записаны в реальном времени;
- отчеты представляются в виде изображения, что облегчает упрощение понимания результатов контроля для персонала.

Ввиду этих основных положительных качеств перед предприятиями встает вопрос: использовать ли передовые методы в современной дефектоскопии, обеспечивая наивысшее качество и конкурентоспособность выпускаемой продукции, или не внедрять в процесс контроля новые решения, используя старый проверенный способ. Однако он не позволит улучшить производственный процесс, сократить время работы, уменьшить процент перебраковки (это цель).

Ультразвуковая дефектоскопия чаще всего применяется для оценки качества сварных соединений. Принцип работы простого дефектоскопа состоит в следующем.

Пьезопреобразователь излучает волну внутрь металла сварного шва. Когда волна отражается от дефекта в сварном шве – на экране дефектоскопа формируется импульс определенной амплитуды. Если в сварном шве дефекты отсутствуют, импульс не возникает. Величина импульса сравнивается с эталонной, и согласно нормативной документации принимается решение о допустимости обнаруженных дефектов и годности сварного шва. В заключение по ультразвуковому контролю указываются характер дефекта (протяженный или точечный), амплитуда сигнала, условные размеры дефекта. По результатам заключения принимается решение о работоспособности конструкции в целом. На сегодняшний день наиболее перспективным направлением развития ультразвукового контроля является технология фазированных решеток. Применение данной технологии на практике при техническом диагностировании оборудования позволяет значительно повысить качество контроля.

Технология ультразвуковой фазированной решетки основана на генерировании ультразвуковых волн и их интерференции. Преобразователь (кристалл) решетки представляет собой множество пьезоэлектрических элементов, собранных в один блок [4]. Наиболее распространенное количество 16, 32, 64 и 128 элементов в блоке. Программируемый генератор контролирует все элементы для формирования лучей. В результате интерференции волн, исходящих от всех элементов, формируется результирующая

волна под требуемым углом ввода, и производится сканирование. Затем генератор меняет угол ввода результирующей волны, и процесс сканирования повторяется. При использовании метода контроля фазированными решетками генерируется ультразвуковой луч с настраиваемым углом ввода, фокусным расстоянием и размером фокусного пятна.

При этом также можно настроить генерирование луча в разных секторах фазированной решетки. Эти функции открывают целый ряд новых возможностей. Например, можно быстро изменить параметры угла и изменить направление сканирования, не передвигая датчик. Таким образом, эта технология заменяет собой целую гамму датчиков и даже некоторые механические компоненты.

При контроле лучом с переменным углом коэффициент обнаружения дефектов, как правило, выше вне зависимости от их ориентации. При этом соотношение сигнал-шум остается оптимальным.

Графически схема формирования результирующей волны с необходимым углом ввода в металл показана на рис. 1.

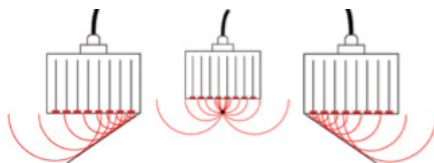


Рис. 1. Схема формирования в фазированной решетке результирующей волны с необходимым углом ввода в процессе интерференции составляющих ее волн

Традиционный ультразвуковой контроль основан на отражении луча от дефекта в материале и представлении результата в виде А-скана (рис. 2).

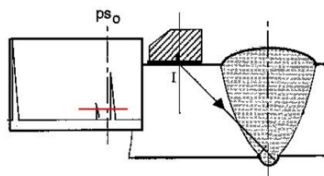


Рис. 2. Результат отражения луча на А-скане

Метод фазированной антенной решетки представляет собой то же самое, если используются изображения А-скана. Однако многие пользователи предпочли бы использование изображений S-скана для выполнения измерений и диагностики.

Визуализация основана на выведении каждого скана отдельно на экран в масштабе 1:1, поэтому, к примеру, при положении курсора на изображении под углом 45° можно получить А-скан на луче под 45° . Вы можете перемещать курсор «представленный в декартовых координатах» по краям дефекта и получать информацию о глубине и площади при соответствующем положении курсора (рис. 3).

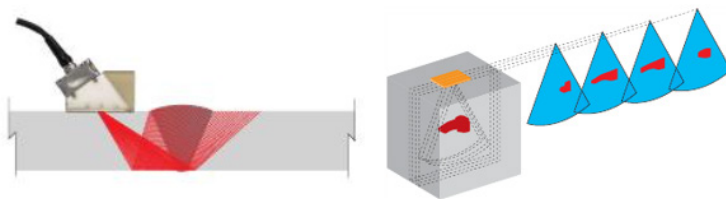


Рис. 3. Примеры изображения отдельных сканов в зависимости от элемента антенны

Примеры на реальных дефектах были выполнены на реальной детали на сварном соединении толщиной 40 мм, углом 45°. На предприятии имеются прибор Krautkramer USM 36, работающий в классическом режиме, и дефектоскоп A1550 IntroVisor, работающий на принципе фазированных решеток (рис. 4, 5).

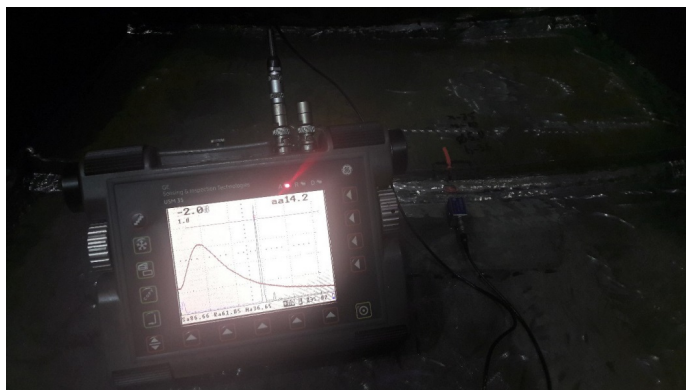


Рис. 4. Режим работы дефектоскопа Krautkramer USM 36



Рис. 5. Режим работы дефектоскопа A1550 IntroVisor

На рис. 4 и 5 четко видны различия между режимами работы двух приборов. Очевидно, что при классическом методе работы с использованием прибора Krautkramer USM 36, специалисту будет сложнее и затратнее оценить параметры дефекта, занести результаты в протокол контроля. Используя дефектоскоп-томограф A1550 IntroVisor, можно быстро оценивать результаты проверки изделия, а данные будут уже внесены в соответствующий протокол в приборе. Если в первом случае придется оценивать данные вручную с методикой и нормами контроля, порой производя недолгие, но затратные расчеты, то во втором случае томограмма четко показывает размеры, глубину и ориентацию дефекта.

Сотрудниками научно-производственной фирмы «АКС» («Акустические контрольные системы») был составлен отчет по контролю качества сварных соединений сегмента полиэтиленового трубопровода [6].

Для его проведения был взят дефектоскоп A1550 IntroVisor, преобразователь - антенная решетка M9171.

Данные, которые были использованы для настройки прибора: рабочая частота – 2,5 МГц, импульс возбуждения периоды – 1,0, скорость ультразвука – 2325 м/с, границы обзора – $\pm 30^\circ$, усиление – 23 дБ, яркость – 37 дБ.

Ультразвуковой контроль производился в режиме Томограф с реконструкцией изображения в виде В-скана. Эскиз сварного соединения (рис. 6) и результаты (рис. 7, 8) представлены ниже.

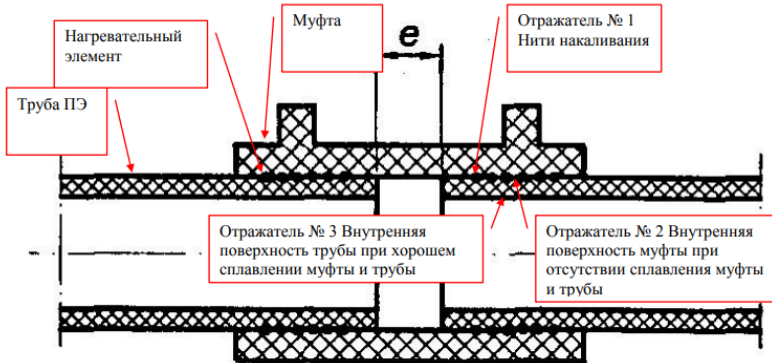


Рис. 6. Эскиз сварного соединения

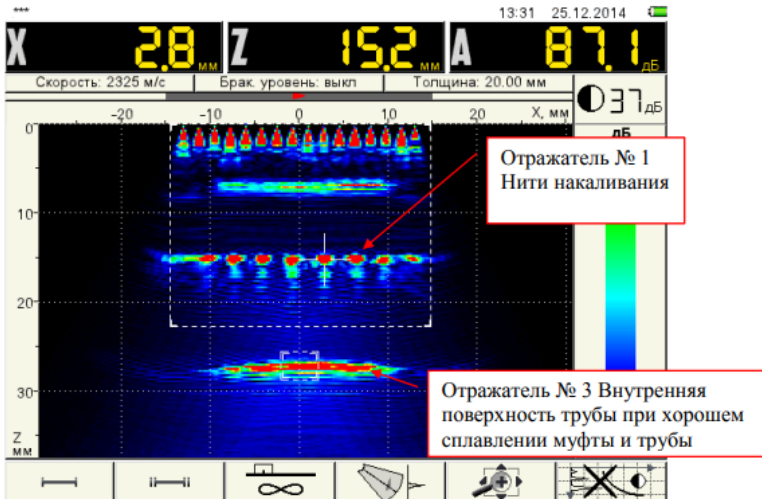


Рис. 7. Визуализация годного изделия на томограмме

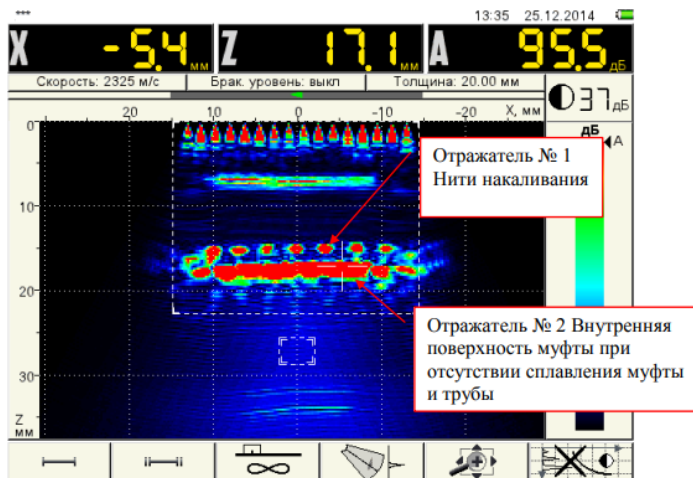


Рис. 8. Визуализация негодного изделия на томограмме

С помощью пакета графического приложения, входящих в состав расширения Phased Array System Toolbox, которые предназначены для анализа сенсорных решеток и радиолокационных сигналов, а также расчета основных параметров радаров, в программируемой среде MatLAB были сделаны визуализации работы таких приборов. В качестве примера взят преобразователь, содержащий в себе 16 антенн, идущих друг за другом, т. е. линейное расположение. Здесь наблюдается последовательная работа диаграмм направленности (рис. 9).

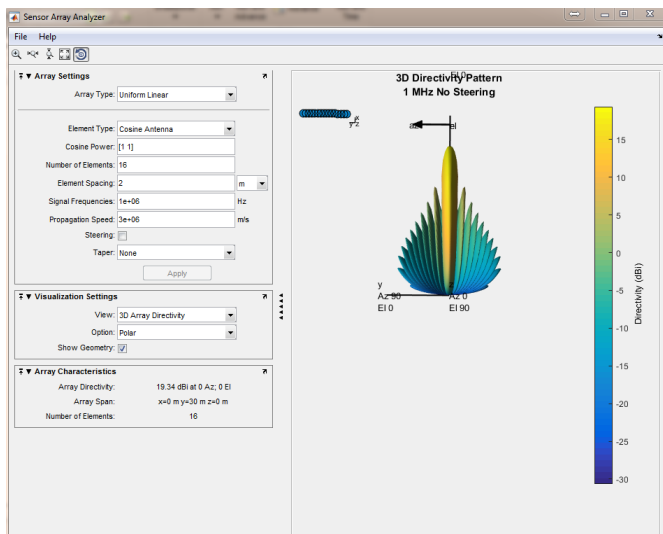


Рис. 9. Математическая модель диаграмм направленности преобразователя с 16 антеннами

Работа прибора осуществляется в режиме работы прямого сканирования. Задана частота 1 МГц; длина и ширина лепестка раскрытия апертура 2 антенн по середине активно работают в данный момент.

Главное достоинство приборов с использованием антенной решетки – возможность оперативной визуализации внутренних сварных соединений в мобильном варианте, позволяющая упростить методологию УЗК и повысить его производительность. Это свойство значительно облегчает контроль и упрощает интерпретацию результатов. Изображение дефектов, даже сильно искаженное, лучше воспринимается оператором, чем эхосигнал. Кроме того, прибор выдает протокол контроля.

Анализ двумерных изображений дефектов, а не отдельных А-сканов позволяет на качественно новом уровне решать задачи по выявлению дефектов, измерению их размеров, определению их типа и реальной конфигурации контролируемого сварного соединения.

Данный метод контроля обладает также более высокой производительностью и возможностями автоматизации.

Однако необходимо видеть ограничения и недостатки, присущие приборам данного типа.

Многоканальный дефектоскоп сложнее, габаритнее и тяжелее обычного дефектоскопа вследствие большего числа каналов. Пропорционально их числу увеличиваются энергопотребление прибора, габариты аккумулятора и самого прибора.

Необходимость применения экранированных многожильных кабелей снижает надежность и удорожает конструкцию. Кабель дефектоскопа, как известно, является одним из самых часто отказывающихся элементов.

Одним из сдерживающих факторов внедрения этого поколения приборов является цена, которая в настоящее время может составлять от нескольких десятков тысяч долларов, и, в различных вариантах комплектации, доходящая до нескольких сотен тысяч.

Введение в производственный процесс дефектоскопов, основанных на методе цифровой фазированной решетки, возможно только после разработки методической и нормативной документации и повышением квалификации персонала.

Этот процесс потребует затрат времени и материальных ресурсов. Но это необходимо, так как использование УЗК уже сейчас даст прирост производительности, выявляемости дефектов сварных соединений, что приведет к снижению окончательной стоимости продукции и повышению ее качества.

Библиографический список

1. Краткий обзор «Ультразвуковой контроль». URL: <https://www.olympus-ims.com/ru/ndt-tutorials/flaw-detection/history/> (дата обращения: 17.04.2008).
2. Бархатов В.А. Развитие методов ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений // Дефектоскопия. 2003. Т.39. № 1. С. 23–19.
3. Воронин Н.В., Кутлубаев П.Г., Михайлов Е.А. Использование ультразвукового дефектоскопи с преобразователем типа «Фазированная решетка» // Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов. 2015. № 6. С. 73–79.
4. Шляхтенко В.В. Ультразвуковая рельсовая дефектоскопия // Вестник Полоцкого государственного университета. 2016. №12. С. 64–70.
5. Краткий обзор «Фазированная решетка / Panatest. 2009. 26 марта. URL: <http://www.harfangveo.ru/static/faq> (дата обращения: 17.05.2009).
6. Отчет по контролю качества сварных соединений сегмента полиэтиленового трубопровода ультразвуковым методом с использованием дефектоскопа A1550 Intro/isor / Olympus CORPORATION. 2004. 26 марта. URL: <http://www.acsys.ru/meanings/meaning2/otchet-po-kontrolyu-kachestva-svarnya-soedineniy-segmenta-poliyetenovogo-truboprovoda-ultrazvukovy/> (дата обращения: 17.04.2008).

УДК 681.2.085

И.А. Шкаликов

магистрант кафедры аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов

Д.Ю. Крысин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ КАЛИБРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО МАГНИТНОГО КОМПАСА**

Компас является навигационным устройством для определения курса летательного аппарата [3]. Существуют различные виды компасов, например, магнитный, индукционный, гирополукомпас и др. В настоящее время непрерывно расширяется сфера применения электронных магнитных компасов, которые являются недорогими и компактными устройствами.

Типовая структура современного электронного магнитного компаса включает цифровой датчик магнитной индукции, микроконтроллер, блок передачи данных и устройство индикации [1]. В качестве чувствительных элементов магнитных компасов широко используются магниторезистивные датчики, позволяющие определять проекции вектора магнитной индукции на соответствующие оси чувствительности датчика.

Для вычисления проекций вектора магнитной индукции должны быть известны коэффициенты чувствительности и смещения нуля по каждой из осей датчика. Для получения грубой оценки могут быть использованы коэффициенты, приведенные в техническом описании датчика. Однако для получения точной оценки следует проводить процедуру калибровки, позволяющую определять параметры датчика более точно.

Необходимо отметить, что ориентация датчика относительно корпуса компаса в общем случае неизвестна. Для пересчета проекций вектора магнитной индукции из системы координат, связанной с датчиком, в систему координат, связанную с корпусом прибора, необходимо применить матрицу направляющих косинусов, коэффициенты которой также определяются с помощью процедуры калибровки.

Электронному магнитному компасу, как и всем существующим компасам, свойственны погрешности. Одной из наиболее существенных является девиационная погрешность. Девиация возникает в результате воздействия магнитного поля ферромагнитных материалов летательного аппарата на чувствительный элемент датчика. Как правило, девиация делится на круговую и полукруговую. Причиной возникновения круговой девиации является наличие магнитотвердых материалов, обладающих свойствами постоянного магнита, вблизи датчика. Круговая девиация характеризуется постоянной величиной индукции внешнего магнитного поля и не зависит от курса летательного аппарата. Причиной возникновения полукруговой девиации является наличие магнитомягких материалов. Полукруговая девиация является изменяющейся величиной индукции внешнего магнитного поля и зависит от курса летательного аппарата [2].

Для определения параметров электронного магнитного компаса, необходимых для устранения вышеприведенных погрешностей, может быть использована процедура калибровки, включающая следующие основные этапы [2]:

- установка компаса на поворотный стол (поворотную платформу)
- измерение проекций вектора магнитной индукции во время вращения поворотного стола (поворотной платформы)
- изменение ориентации осей компаса, с последующим выполнением предыдущего этапа
- вычисление калибровочных коэффициентов

Ниже рассмотрен математический аппарат вычисления калибровочных коэффициентов.

Результаты измерений проекции вектора магнитной индукции образуют облако точек, по своей форме близкое к эллипсоиду, который описывается уравнением следующего вида [4]:

$$\frac{(x-x_0)^2}{a^2} + \frac{(y-y_0)^2}{b^2} + \frac{(z-z_0)^2}{c^2} = 1, \quad (1)$$

где x, y, z – координаты точек поверхности эллипса, x_0, y_0, z_0 – коэффициенты смещения нуля, a, b, c – полуоси эллипсоида.

Уравнение (1) можно представить в виде матричного уравнения с вектор- столбцом калибровочных коэффициентов, следующего вида:

$$x^2 = \begin{bmatrix} x & y & z & -y^2 & -z^2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2x_0 \\ a^2/b^2 2y_0 \\ a^2/c^2 2z_0 \\ a^2/b^2 \\ a^2/c^2 \\ a^2 - x_0^2 - a^2/b^2 y_0^2 - a^2/c^2 z_0^2 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

В результате серий измерений вектора магнитной индукции на основании формулы (2) можно сформировать систему уравнений:

$$W_{nx1} = H_{nx6} X_{6x1}, \quad (3)$$

где W_{nx1}, H_{nx6} – матрицы считанных из датчика значений, X_{6x1} – матрица калибровочных коэффициентов.

Калибровочные коэффициенты системы уравнений (3) могут быть вычислены при помощи метода наименьших квадратов [4]:

$$X_{6x1} = \left[H_{6xn}^T H_{nx6} \right]^{-1} H_{6xn}^T W_{nx1} = \begin{bmatrix} X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ X(4) \\ X(5) \\ X(6) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Из элементов матрицы X могут быть найдены значения коэффициентов смещения нуля и чувствительности по каждой из осей [4]:

$$x_0 = \frac{X(1)}{2}, \quad (5)$$

$$y_0 = \frac{X(2)}{2X(4)}, \quad (6)$$

$$z_0 = \frac{X(3)}{2X(5)}, \quad (7)$$

$$a = X(6) + x_0^2 + X(4)y_0^2 + X(5)z_0^2 \quad (8)$$

$$b = \frac{a}{X(4)}, \quad (9)$$

$$c = \frac{a}{X(5)} \quad (10)$$

Найденные коэффициенты позволяют более точно определить проекции вектора магнитной индукции на оси электронного магнитного компаса. Формула (11) устанавливает связь между скорректированными и считанными с датчика значениями проекции вектора магнитной индукции:

$$\begin{bmatrix} M_{x1} \\ M_{y1} \\ M_{z1} \end{bmatrix} = M_{m_{3 \times 3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{a} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{b} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_x - x_0 \\ M_y - y_0 \\ M_z - z_0 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

где M_{x1} , M_{y1} , M_{z1} – скорректированные проекции вектора магнитной индукции в системе координат компаса, $M_{m_{3 \times 3}}$ – матрица направляющих косинусов, определяющая угловую ориентацию системы координат связанной с датчиком, относительно географической системы координат), M_x , M_y , M_z – результаты измерения, считанные из датчика.

Калибровка электронного магнитного компаса является необходимой процедурой для получения точных оценок вектора магнитной индукции. Процедура калибровки позволяет определить более точные характеристики датчика, а также может быть автоматизирована и реализована в программном обеспечении микроконтроллера.

Библиографический список

1. Шкаликов И. А., Д. Ю. Крысин. Структура электронного магнитного компаса / Шестьдесят девятая международ. студ. науч. конф. ГУАП. Сб. докл. В 2 ч. Ч. 1. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2016. С. 161-163.
2. Шкаликов И. А., Д. Ю. Крысин. Исследование методов компенсации погрешностей электронного магнитного компаса / Семидесятая международ. студ. науч. конф. ГУАП: Сб. докл. В 2 ч. Ч. 1. Технические науки. СПб.: ГУАП, 2017.
3. Браславский Д. А. и др. Авиационные приборы. М.: Машиностроение, 1964. 736 с.
4. NXP. AN4246. Calibrating an eCompass in the presence of hard- and soft iron interference. 11. 2015.

УДК 629.7.067.8

С.А. Ширяев

студент кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

С.С. Переплёкин – кандидат технических наук – научный руководитель

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И ПЛАВУЧЕСТИ КОРПУСА ОТДЕЛЯЕМОГО БОРТОВОГО РЕГИСТРАТОРА ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Бортовые устройства регистрации полетной информации предназначены для сбора, накопления и сохранения информации о параметрах полета (скорости, высоте, курсе, положении летательного аппарата [ЛА], параметрах систем и агрегатов ЛА), звуковой и речевой информации (переговоров экипажа, звуковой обстановки в кабине и салоне ЛА). Накопленная в полете информация позволяет не только расследовать причины летного происшествия, но и решать задачи эксплуатационного контроля авиационной техники и контроля техники пилотирования.

Для бортовых устройств регистрации, устанавливаемых на самолетах и вертолетах, актуально:

- соответствие характеристик устройств современным российским и международным нормативным документам, таким как АП-21, АП-25, КТ-160D, ED-112 и т.д.;
- улучшение технических характеристик по сохранению зарегистрированной информации в случае авиационного происшествия;
- минимизация габаритно-весовых характеристик;
- совмещение задач по регистрации в одной системе параметрической и речевой/звуковой информации;
- увеличение возможностей регистрации параметрической информации;
- повышение надежности.

Регистратор, устанавливаемый на борту летательного аппарата, при авиакатастрофе подвергается воздействию большого количества разрушающих факторов (механических, температурных), что может привести к порче или уничтожению записанной информации и, вследствие, к проблемам при ее дальнейшей расшифровке.

Для повышения сохранности записанной полетной информации проводится разработка бортовой системы регистрации информации, включающая в себя отделяемый блок.

Целью разработки является создание системы накопления, отделения и маркирования местоположения регистратора полетной информации, обеспечивающей сохранность накопленной информации и работоспособность средств маркирования:

- в случае авиационного происшествия над земной поверхностью;
- в случае авиационного происшествия над водной поверхностью;
- в условиях воздействия разрушающих факторов.

В состав системы должны входить:

- отделяемый блок;
- разъединительный блок;
- трехкомпонентный датчик перегрузок.

Система должна решать следующие задачи:

- регистрацию полетной информации, необходимой для расследования летного происшествия (содержание информации должно соответствовать информации, регистрируемой в неотделяемом авиационном регистраторе);

- обработку сигналов датчиков, входящих в состав системы и выработку команды на отделение ОБ;

- отделение блока ОБ от воздушного судна в воздухе с последующим спуском по траектории, близкой к траектории воздушного судна.

- отделение блока ОБ от воздушного судна в водной среде с последующим всплытием;
- защиту содержимого накопителя регистратора от воздействия разрушающих факторов;

- маркирование местоположения ОБ с помощью аварийного радиомаяка на протяжении не менее 150 часов.

В процессе разработки спасаемого бортового регистратора, в целях уменьшения затрат и трудоемкости на проведение экспериментальных испытаний, производится их компьютерное моделирование.

Моделирование проводится в программной среде AnsysWorkbench. Ansys – это универсальная программная система конечно-элементного анализа, позволяющая решать стационарные и нестационарные пространственные задачи механики деформируемого твердого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задачи механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей.

Целью данного расчета является имитация проведения испытаний спасаемого защищенного бортового регистратора полетной информации на удар о жесткую поверхность со скоростью не менее 25 м/с, а также определение положительной или отрицательной плавучести при функционировании в водной среде.

Эскиз разработанного корпуса отделяемого блока показан на рис. 1.

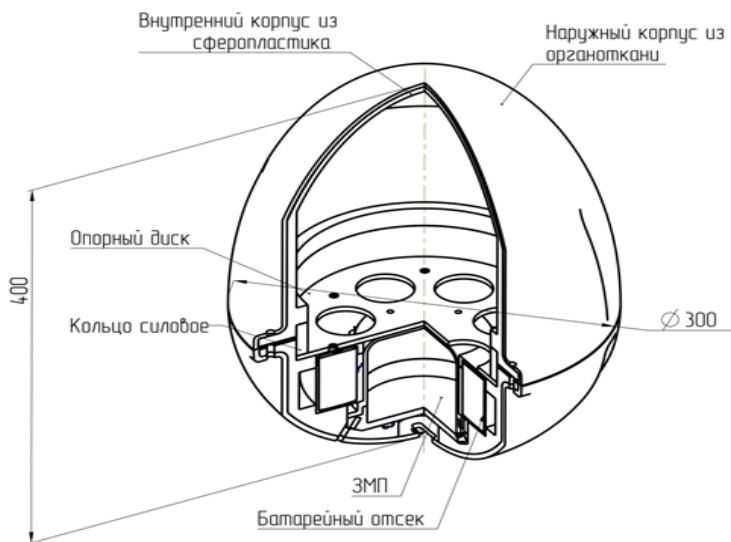


Рис. 1. Эскиз отделяемого блока

Модель отделяемого блока преобразована в упрощенную расчетную модель, ввиду очень высокой ресурсозатратности расчета ударного воздействия на персональном компьютере (рис. 2).

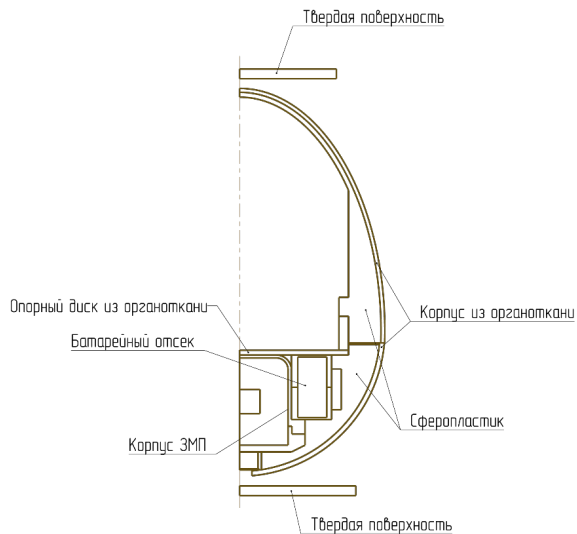


Рис. 2. Расчетная осесимметричная модель

Для оценки прочности силового кольца рассматривался удар только центральной частью 3d (рис. 3) модели с имитацией остального конструктива эквивалентными массами.

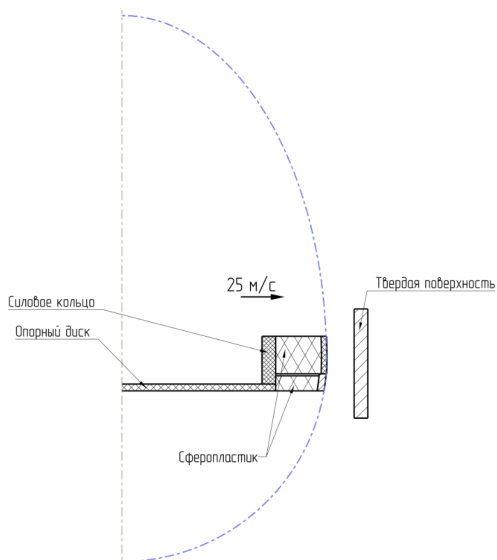


Рис. 3. Расчетная модель бокового удара

Удар о воду моделируется в трехмерной постановке (рис. 4), рассматриваются три варианта падения.

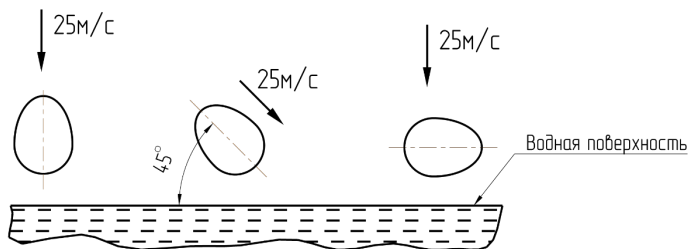


Рис. 4. Расчетная схема удара отделяемого блока о воду

Свойства материалов, применяемые в расчетных моделях, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики материалов основных элементов модели

Параметр	Материалы			
	Сплав ВТ6	Органоткань	Сферопластик	Компаунд
Плотность, кг/м ³	4430	1150	635	1000
Модуль Юнга, Па	$1,226 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^9$	-
Козф. Пуассона	0.3	0.3	0.33	0.495
Предел текучести, Па	$9,1 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^7$	$8,2 \cdot 10^7$	-
Касательный модуль упругости, Па	$1 \cdot 10^9$	$5,14 \cdot 10^8$	0	-
Параметр Купера-Саймондса С	20000	-	-	-
Параметр Купера-Саймондса Р	3	-	-	-
Предельная деформация	0.4	0.475	0.1	-
Предельное напряжение, Па	-	-	-	$8 \cdot 10^6$
Параметр Муни-Ривлина А, Па	-	-	-	$5,129 \cdot 10^5$
Параметр Муни-Ривлина В, Па	-	-	-	$6.163 \cdot 10^4$

Модели блока в расчете удара о воду представлены абсолютно твердыми телами с массой 8,6 кг.

В результате расчета получено, что при ударе верхней частью отделяемого блока корпус деформируется, но разгерметизации не происходит (рис. 5), а при ударе нижней частью часть корпуса разрушается (рис. 6), но только до места прижима корпуса к ЗМП. Перегрузка ЗМП при падении нижней частью

(рис. 3) составляет 5000 г, при падении верхней частью (рис. 5) 1600 г. Деформация корпуса при ударе в его верхнюю часть составляет 40 мм.

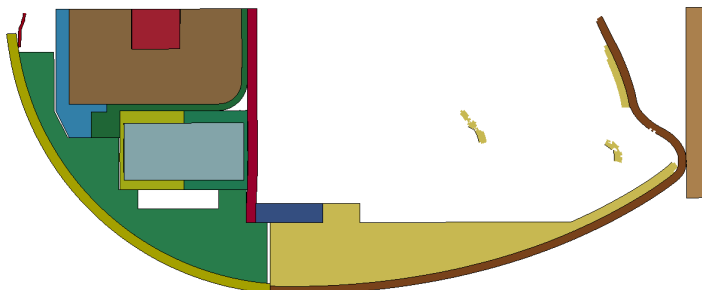


Рис. 5. Визуализация конечной стадии удара (слева – направо) верхней частью корпуса отделяемого блока

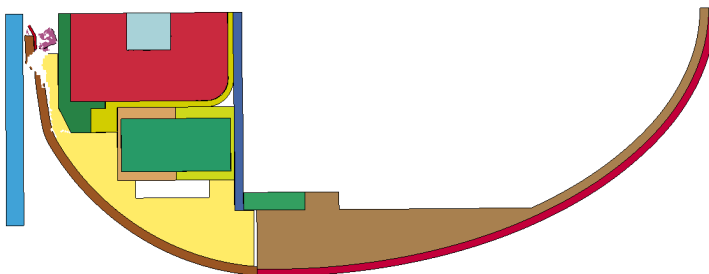


Рис. 6. Визуализация конечной стадии удара (справа – налево) нижней частью корпуса отделяемого блока

При ударе боковой частью разрушения корпуса из органоткани не происходит, перегрузка в ЗМП 1600g.

В результате расчета на плавучесть получено расположение ватерлинии (рис. 7) при плотности водной среды 1025кг/м³.

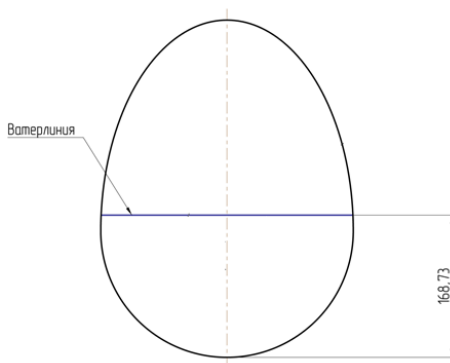


Рис. 7. Эскиз расположения ватерлинии

Результаты расчета на перегрузку при ударе о водную поверхность представлены на рис. 8.

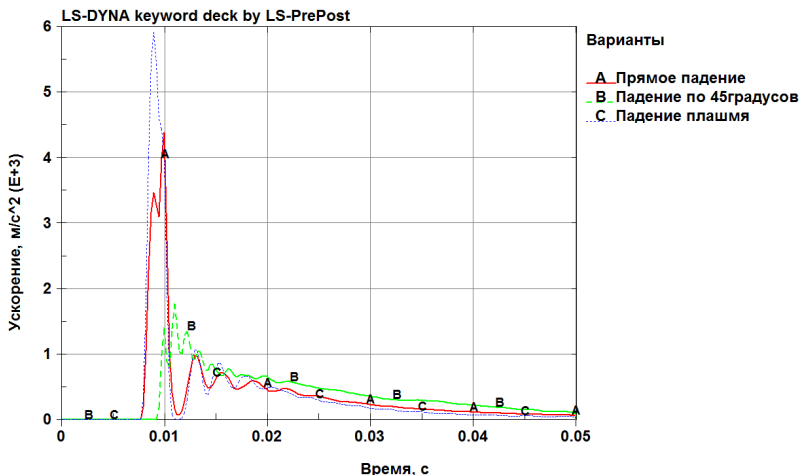


Рис. 8. Результаты расчета падения отделяемого блока в воду

На рис. 8 видно, что максимальная перегрузка при падении в воду, возникает при падении плашмя и составляет примерно 600 g.

Характеристики композиционных материалов, полученные из открытых источников, имеют большой разброс свойств, поэтому свойства материалов, ответственные за динамическую прочность и разрушение, для расчета брались в сторону ухудшения прочности.

По результатам расчета видно, что наружный корпус отделяемого блока позволяет обеспечить герметичность аварийного маяка при падении о твердую поверхность со скоростью 25 м/с.

Следует обратить внимание, что максимальная перегрузка ЗМП, полученная в расчете (5000 g), больше перегрузки, на которую испытывается отдельно блок ЗМП (3600 g).

Результаты данного расчета в части динамических воздействий требуют обязательной экспериментальной проверки.

Библиографический список

1. Квалификационные требования КТ-160D, условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования. URL: http://rfimmunity.com/wp-content/uploads/2017/04/КТ_160D_RTCA_Russian.pdf (дата обращения: 14.05.2018).
2. ED-112. Minimum operational performance specification for crash protected airborne recorder systems. URL: https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name (дата обращения: 14.05.2018).
3. ОСТ 1 01080-95. Общие технические требования. Устройства регистрации бортовые с защищенными накопителями. URL: https://standartgost.ru/g_1_01080-95 (дата обращения: 14.05.2018).
4. Технические документации на бортовые системы сбора и регистрации полетной информации предприятия АО НПО «ПРИБОР».

УДК 338.24: 621.31

Е. А. Андреева

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. А. Слободчиков – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕХОДА МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С КОНСОЛИДИРОВАННОГО СКЛАДА

Организация системы снабжения в работе предприятия является одним из самых сложных элементов в его работе. Материально-техническое снабжение (МТС) - это деятельность, направленная на обеспечение предприятия материальными ресурсами, необходимыми для выполнения производственной программы в плановом периоде с минимальными издержками. Плановыми периодами в МТС предприятия являются год, полугодие, кварталы, месяцы. Производственный процесс имеет три основные стадии: снабжение, производство, сбыт. Материально-техническое снабжение, являясь первой стадией производственного цикла «снабжение-производство-сбыт», обеспечивает материальную основу изготовления продукции. От материально-технического снабжения зависит ритмичность, эффективность, качество, затраты и себестоимость выпускаемой продукции, прибыль и финансовые результаты предприятия.

Главной задачей материально-технического снабжения является своевременное и оптимальное обеспечение предприятия необходимыми материальными ресурсами соответствующей комплектности и качества [1].

Для материально-технического снабжения любому предприятию необходимы мероприятия по реализации системного подхода к управлению материальными потоками в пределах службы снабжения.

При централизованном снабжении должен быть создан четкий механизм контроля и управления складскими остатками предприятий. Это позволит оптимизировать количество закупаемого сырья, и не замораживать финансовые ресурсы в лишних складских остатках. Одной из тенденций в современном бизнесе при организации снабжения является создание консолидационного склада. Склад консолидации - это помещение для хранения товаров, предназначенных для комплектации разнородных грузов перед поставкой. На складе консолидации осуществляется группировка товаров по потребителям, по типу, от сроков поставки. Основным преимуществом склада консолидации является то, что он может находиться в совместном владении сразу нескольких юридических лиц. Это позволяет формировать из товаров крупные смешанные (консолидированные) партии и значительно сокращать расходы не только на хранение, но и на транспортировку.

К складу консолидации предъявляются довольно серьезные требования по оснащению помещений в связи с тем, что он является универсальным, не оборудованным под конкретный вид продукции. Чем больше создано разнообразных условий для хранения, тем выгоднее услуги склада консолидации, так как это позволяет хранить сразу несколько видов товара одного владельца одновременно.

Стандартный склад консолидации имеет в своем составе:

- различную технику для погрузочно-разгрузочных работ (погрузчики, платформы, штабелеры, кран-блоки, лебедки);
- несколько вариантов (в том числе автоматизированные) систем учета складированного товара;
- охранные сигнализации нескольких видов;
- обширную систему видеонаблюдения;
- холодильное/морозильное оборудование для обеспечения сохранности скоропортящихся товаров;

- климатическое оборудование для товаров, требующих особых условий хранения и специального микроклимата;

- материалы и механизмы для упаковки и пломбирования различных товаров [2].

Плюсы централизованного снабжения:

- снижение цен на продукцию, так как идет закупка большими партиями на значительный календарный период;

- простота в подсчете финансовых затрат, так как договор оформляется на значительный календарный период, и зная общую потребность предприятия, возможно сразу подсчитать затраты на покупку и доставку товара;

- при заключении такого типа договора возможность предприятия получить кредит в банке;

- уменьшение риска поставки некачественной продукции.

Как правило, и склад, и потребитель находятся на значительном расстоянии друг от друга, а производство, даже самое модернизированное, периодически дает сбой. Из-за этого возникает потребность в срочной поставке новых материалов, увеличении или уменьшении ранее согласованных поставок. Цепочка согласования и принятия решений о внесении изменений в план поставок может достигать нескольких дней. Таким образом теряется оперативность в управлении поставками, ценообразованием накупаемых ресурсов, за выбором поставщиков и за распределением объемов закупок. В этой связи повышается требования к организации транспортировки. В стандартную систему с использованием консолидированного склада включаются обычно следующие элементы:

1. Транспортировка штучного груза со склада отправителя на консолидационный склад для комплектировки партии.

2. Обработка груза на консолидационном складе, которая может включать в себя дополнительную упаковку, применение тары и пр.

3. Таможенное оформление и подготовка других документов для транспортировки.

4. Отправка сборного груза в страну назначения автомобильным, водным, железнодорожным или авиационным транспортом.

5. Таможенная очистка в стране назначения, а также оформление документов, необходимых для последующей реализации товара или использования оборудования.

6. Доставка штучного груза по указанному адресу.

Процесс перевозки состоит из совокупности операций от подготовки груза к отправке и до получения, связанных с перемещением груза в пространстве. Сам же процесс перемещения состоит из совокупности погрузочно-разгрузочных, перегрузочных операций в пунктах передачи груза с одного вида транспорта на другой, транспортировки, промежуточного хранения и подачи подвижного состава под погрузочные работы. Цикл транспортного процесса состоит из этапов подачи подвижного состава под погрузку, транспортировку и разгрузку.

Доставка может осуществляться по нескольким схемам: от склада до двери, от двери до двери, от склада до двери. Как правило, большинство грузовладельцев выбирает вариант доставки от двери до двери (под ключ): клиент называет адрес, откуда требуется забрать груз, и адрес, куда его необходимо доставить. Заказчиком услуг может выступать отправитель, получатель или третья сторона.

Основные преимущества, характерные для данного типа перевозок – это экономичность и удобство. Существенная экономия достигается за счет эффективного использования грузового пространства. При таких условиях являются доступными даже авиаперевозки, которые в целом отличаются высокой ценой. Обычно перевозка сборных грузов производится в формате «от двери к двери», поэтому удобство данного вида транспортировки также неоспоримо.

Библиографический список

1. Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. М.: ИНФРА-М, 2011.
2. URL: http://www.tamof.ru/category_skladi_konsolidatsii.html (дата обращения: 13.05.2018).
3. URL: http://www.cfin.ru/management/manufact/centr_supply.shtml (дата обращения: 13.05.2018).
4. Ельдештейн Ю.М. Логистика - электронный учебно-методический комплекс. URL: http://kgau.ru/distance/fub_03/eldeshtein/logistika/02_01.html (дата обращения: 13.05.2018).

УДК 629.735.4

Г. А. Бондарев

студент кафедры системного анализа и логистики

Э. А. Пиль – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

МИРОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОНОВ В ОТРАСЛИ ПЕРЕВОЗОК МАЛОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ

В настоящее время во всем мире продолжает развиваться логистика в сфере перевозок. Огромным научным прорывом стало использование беспилотных летательных аппаратов, но, к сожалению, в этой развивающейся отрасли уже возникают проблемы, связанные с безопасностью использования беспилотных летательных аппаратов в гражданской сфере и целесообразности использования роботов, которые заменяют людей и сокращают рабочие места. В статье рассматривается история беспилотных летательных аппаратов и их практическое применение на благо обществу как пример развития транспортных услуг. Это поможет изучить данную отрасль и обозначит существующие проблемы, стоящие перед нами.

Перевозка различных грузов с помощью дронов широко используется в различных областях для доставки:

- медикаментов и биологических материалов;
- грузов разных габаритов без пилота в автономном варианте по запрограммированному маршруту;
- пищевых продуктов;
- почты;
- товаров из интернет-магазина.

Одной из первых коммерческую беспилотную доставку организовала немецкая почтовая служба DHL. Компания испытала пилотный образец дрона в конце 2013 г. и через девять месяцев запустила службу срочных посылок на остров Юст в Северном море у побережья Германии. Позже о намерении использовать беспилотники заявили Amazon, Google, почтовая служба FedEx и несколько пиццерий в разных странах, в том числе и в России. В ноябре 2017 г. стало известно об успешном завершении масштабной программы Mercedes-Benz по тестированию дронов для доставки повседневных товаров в Швейцарии. Программа длилась три недели, с 25 сентября по 13 октября 2017 г., сообщает пресс-служба автоконцерна Daimler AG, родительской компании Mercedes-Benz. В течение этого времени дроны выполнили 100 полетов и доставили небольшие покупки к специализированным фургонам Mercedes в разных частях Цюриха. В рамках экспериментального сервиса был продемонстрирован высокий уровень безопасности, и концерн планирует расширить полеты в 2018 г. [1].

Зачастую дроны используют в медицинских целях, например, доставка анализов из удаленного населенного пункта в лабораторию в райцентре, доставка (особенно экстренная доставка) крови для переливаний, антибиотиков, антидотов в удаленные медпункты или клиники. Все это затратно по времени и сложно в применении, но благодаря дронам данная операция значительно оптимизируется. Еще один вариант такой доставки – с борта судна на берег в зону, где есть пострадавшие после шторма, землетрясения или иных стихийных бедствий. По данным ООН, 8 из 10 крупнейших городов мира расположены вблизи береговой линии, а 44% населения мира (свыше 3 млрд чел.) проживает не далее 95 миль от берега. Впервые в США беспилотник доставил медикаменты на побережье Нью-Джерси с корабля. Эксперимент проводила некоммерческая организация FieldInnovationTeam. Компания Flirtey уже доставляла лекарства при помощи дронов, летавших над сушей в 2015 г. Главным отличием в доставке медикаментов беспилотниками заключается в том, что медикаменты и медицинские пробы хрупки и капризны, поэтому необходимо исключить тряску и учесть иные потенциальные проблемы. С помощью беспилотников освоили также доставку грузов и в обратном направлении – с берега на суда в море. Разнообразные ограничения на использование дронов ввели уже 59 стран [2], однако в США уже началось смягчение – малые дроны могут использовать компании, работающие с недвижимостью, фермеры,

кинокомпании и ряд других коммерческих операторов. Следует позаботиться о защите перевозимых материалов от воздействия температуры, например, термоконтейнером, что немаловажно при перевозке медикаментов, ведь некоторые препараты следует хранить в специальных условиях. Некоторые доставляемые продукты чувствительны к тряске – это также важно принимать в расчет при организации доставки.

Примером положительного использования дронов может послужить также создание в США беспилотников самолетного типа, которые будут доставлять кровь и медикаменты. После успешного запуска услуг в Руанде, Zipline начинает разворачивать сервис в трех штатах США. Получив первый опыт реальной деятельности, калифорнийская компания Zipline планирует начать оказание аналогичных услуг в Мэриленде, Неваде и Вашингтоне. Доставки будут осуществляться, в частности, на территории индейских резерваций. Компания начала поставлять медикаменты и кровь в Руанде в июле 2016 г., заключив соответствующее соглашение с правительством страны. Под конец августа, в зоне оказания услуг оказалась примерно половина территории страны. В США компания планирует организовать ту же услугу, что и в Руанде. Zipline уже провела предварительные переговоры с правительством США и намерена подать соответствующую заявку в FAA. Доставки планируются в частности на остров Smith, в Мэриленд и на острова Сан Хуан, Вашингтон. Zipline эксплуатирует беспилотники Zips с электромоторами, которые способны перевозить порядка 1 кг крови или медикаментов. Эти дроны могут пролетать до 120 км от одной зарядки. Госпиталь может заказать доставку по SMS, беспилотник сбросит посылку на небольшом парашюте. Самолетик весом 10 кг ориентируется по GPS и с помощью сотовой сети, доставка может быть осуществлена за полчаса, что практически исключает необходимость охлаждения препаратов в дороге. В Руанде уже работает до 15 беспилотников, способных выполнить до 150 доставок в день. Такие компании, как Matternet и Flirtey также разрабатывают аналогичные системы доставки грузов беспилотниками. В прошлом году Flirtey провела первую доставку, разрешенную FAA, в медицинский центр в штате Вирджиния [3]. Zipline планирует расширять свою деятельность в Восточной Африке и в других регионах «со средним достатком».

Идею беспилотников с дефибрилляторами предлагала компания Google в США. В Нидерландах в 2014 г. разработали специализированный беспилотник со встроенным дефибриллятором. Однако первое внедрение дронов в практику оказания первой помощи мы, возможно, увидим в Канаде. В этой стране задумались также над доставкой дефибрилляторов по воздуху для оказания помощи людям, испытывающим остановку сердца. Аппараты способны достигать нужного места автономно или в режиме телеуправления. Операторы колл-центра по телефону, с которого пришел вызов, будут объяснять людям, оказавшимся рядом с пострадавшим, порядок применения дефибриллятора, и останутся на связи до прибытия команды скорой помощи.

В сельскую местность дрон доберется до пострадавшего быстрее скорой, а учитывая то, что при остановке сердца человека счет идет на минуты, дроны могут спасти немало жизней. Наибольшие проблемы возникают у жителей сельских и малонаселенных районов, куда скорая помощь может добраться лишь через десятки минут после вызова. В модели [4] предложена «сеть» из 81 базы со ста беспилотниками в восьми муниципалитетах агломерации Большой Торонто. В сельской местности дрон доберется до предельно удаленного места за 9 мин, в городских условиях помощь пришла бы за 4 мин.

Разработчики планируют внедрить систему в рамках службы экстренной помощи 911. Дронами будут управлять квалифицированные операторы. Оператор по управлению беспилотными летательными аппаратами доставит дрона со специализированным оборудованием до порога дома, откуда исходит вызов, а оператор колл-центра объяснит по телефону, как провести дефибрилляцию [4]. Требуемые технологии существуют уже сегодня. Дроны могут лететь со скоростью свыше 100 км/ч даже в суровых канадских погодных условиях, а их грузоподъемности достаточно, чтобы доставить дефибриллятор в заданную точку. Подобные инновации сокращают разрыв между уровнем безопасности горожан и жителей сельской местности. Канадские власти потратили десятки млн долл. на то, чтобы тысячи дефибрилляторов были распределены по хоккейным каткам, аэропортам и другим местам в стране.

Если брать опыт России, то можно выделить небольшое количество реализованных вариантов доставки с различных грузов с помощью дронов. В сентябре 2015 г. сотовый оператор Yota при партнерстве с Колтер-Экспрессо осуществлял доставку своих сим-карт с помощью дронов. Для этого в четырех

московских парках были установлены промо-стенды, к которым прилетал дрон. Девушка-продавец сбила с дрона сим-карту и отдавала ее клиенту.

В июне 2014 г. в г. Сыктывкар компания «ДоДо Пицца» вместе с российским стартапом «Коптер Экспресс» осуществляли доставку пиццы дронами.

Торжественный запуск первого дрона-доставщика «Почты России» закончился неудачно. Аппарат российского производства с дальностью полета до 60 км должен был доставить груз весом 2 кг из Улан-Удэ в село Нижний Саянтуй. Однако уже через несколько секунд после запуска машина потерпела крушение, врезавшись в жилой дом. Несмотря на неудачный запуск, представители компании «Почта России» заявили, что не остановятся на этом, и вскоре продолжат тестирования.

Ближайшей перспективой в развитии дронов является применение беспилотников, способных автоматически избегать столкновений с препятствиями и другими воздушными объектами. В ближайшем будущем они автоматически, по мере надобности, будут направляться на ближайшую «зарядную станцию» для подзарядки, что необходимо для полноценного выполнения задач, поставленных аппарату, будь то доставка в труднодоступные места или же доставка груза до покупателя. Здесь можно вспомнить о проекте «Улей» – небоскреб, который служит аэродромом для тысяч беспилотников. Логистические операторы дронов смогут выстроить наиболее эффективную систему грузоперевозок для легких товаров, благодаря созданию такой вертикальной станции. Концепт вписывается в идею рынка покупателя, на котором такие гиганты, как AMAZON и Uber хотят доставлять потребителям все, что заказано, в любой момент времени [5].

Типовое время работы для большинства небольших квадрокоптеров – это порядка 20 мин., после чего батарею беспилотника нужно заряжать или заменить. Компания AMAZON запатентовала технологию создания «зарядных станций» для беспилотников, – например, монтируя устройства на уличные светильники.

«Зарядники» можно будет устанавливать на фонари, столбы с оборудованием сотовой связи, офисные здания, рекламные щиты, опоры электропередач и другие вертикальные структуры. Оформление патента еще не означает, что Amazon готов приступить к созданию системы для «дозаправки» беспилотников в каком-либо городе. Но этот патент демонстрирует системный подход Amazon к теме доставки беспилотниками, компания, без всяких сомнений, плотно увязывает свои планы на будущее с дронами [6]. Если в итоге станции подзарядки для беспилотников начнут появляться на осветительных столбах, это станет хорошим первым шагом в создании систем городской доставки дронами.

Проанализировав мировой опыт использования дронов, можно сделать вывод, что в большей мере развитие будет направлено в область транспортировки медикаментов, так как многие компании уже тестируют и используют данную технологию, а также вкладывают в ее развитие огромные средства.

На рынке труда уже появилась новая профессия «оператор по управлению беспилотными летательными аппаратами». Вопросы о целесообразности применения и жизнеспособности данной технологии уже не обсуждаются, все эксперты пытаются провести экономические прогнозы ее развития. По результатам составленных прогнозов коммерческое применение беспилотников приведет к 2025 г. к созданию в США 100 тыс. дополнительных рабочих мест, а национальная экономика получит огромные доходы. По результатам исследований, опубликованным в американском еженедельнике Aviation Week & Space Technology, объем мирового рынка разработок и производства беспилотных летательных аппаратов в предстоящее время (2019–2023 гг.) составит 3 млрд долл. Около 6 млрд долл. будет израсходовано на производство беспилотных аппаратов, 7 млрд долл. – на проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области беспилотной техники, и 3 млрд долл. – на сервисное обслуживание беспилотников [7].

В заключение можно сказать, что использование беспилотных летательных аппаратов имеет ряд преимуществ, таких как: снижение стоимости транспортировки груза; перевозка грузов в опасных зонах, в период катастроф; доставка груза в труднодоступные районы; экономичный расход топлива; минимизация дорожных аварий и происшествий; повышение пропускной способности дорог. Однако несмотря на все преимущества, имеется и ряд недостатков, таких как столкновение дронов с людьми, опасное сближение с другой авиатехникой, столкновения со зданиями, сооружениями, памятниками. После внедрения куда-либо такой технологии мы обеспечиваем усовершенствование той или иной операции, что способно в корне поменять дальнейшее развитие дронов и изменить их позицию на рынке. Дронам еще

неподвластны полеты через границы государств, что обеспечивало бы удачный и быстрый способ транспортировки в удаленные местности, но все еще впереди для развивающейся инновации.

Библиографический список

1. Деловой Петербург. Курьеры беспилотники. URL: https://www.dp.ru/a/2015/11/03/Dron-pochtalon_Kogda_v_R (дата обращения: 14.05.2018).
2. RoboTrends. Доставка беспилотниками грузов. URL: <http://robotrends.ru/robotpedia/dostavka-bes-pilotnikami-gruzov> (дата обращения: 14.05.2018).
3. RoboTrends. Медицина и беспилотники. URL: <http://robotrends.ru/pub/1631/bes-pilotniki-samoletnogo-tipa-budut-dostavlyat-krov-i-medikamenty-v-ssha> (дата обращения: 14.05.2018).
4. Привалова Е.А. Беспилотные летательные аппараты-прорыв в современных перевозках // NovalInfo.Ru. 2017. № 62-2.
5. URL: <http://robotrends.ru/pub/1614/neboskreb-obleplenny-dronami---fantastika-ili-vzglyad-v-budushee> (дата обращения: 14.05.2018).
6. RoboTrends. Amazon запатентовал технологию подзарядки беспилотников от зарядных станция на фонарях. URL: <http://robotrends.ru/pub/1629/amazon-zapatentoval-tehnologiyu-podzapravki-bes-pilotnikov-ot-zaryadnyh-stanciy-na-fonaryah> (дата обращения: 14.05.2018).
7. Аллилуева Н. Перспективы развития беспилотных летательных аппаратов // Технологии защиты. 2015. №6.

УДК 656.1

Г. В. Быстров

студент кафедры системного анализа и логистики

Э. А. Пиль – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ МОЩНОСТЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КОМПЛЕКСА «БРОНКА»

Санкт-Петербург, как известно, был основан во время Северной войны между Россией и Швецией за выход к Балтийскому морю. Нельзя не признать, что Санкт-Петербург – это не только один из самых красивых городов мира, но и один из крупнейших портов страны, и его по праву можно называть морскими воротами. Грузооборот всех портов Санкт-Петербурга в 2017 г. перевалил за 62 млн тонн.

Развитие портовых мощностей российской части Финского залива и развитие Санкт-Петербургского транспортно-логистического узла являются одним из приоритетных направлений модернизации транспортной системы России [1].

Проект строительства аванпоста «Бронка» реализуется в рамках Концепции развития перспективных районов Большого порта Санкт-Петербурга. В качестве заказчиков Концепции выступили Министерство транспорта РФ и Правительство Санкт-Петербурга.

В соответствии с Концепцией аванпорт «Бронка» призван стать одним из ключевых грузовых районов Большого порта Санкт-Петербурга, интегрированным в логистическую систему Санкт-Петербургского транспортного узла и предназначенным для обработки контейнерных и накатных грузов. В рамках аванпорта «Бронка» разработан проект Многофункционального морского перегрузочного комплекса (ММПК) «Бронка», состоящий из двух этапов, которые представлены на рис. 1.

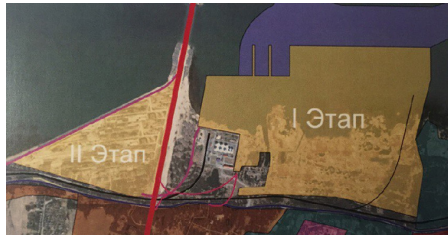


Рис. 1. План реализации первого и второго этапов проекта

Первый этап (ввод в эксплуатацию в 2015–2016 гг.):

- контейнерный терминал мощностью 1,45 млн т в год;
- терминал накатных грузов на 260 тыс. единиц автомобильной и специальной техники в год.

Второй этап (ввод в эксплуатацию в 2015–2017 гг.):

- расширение контейнерного терминала и увеличение его мощности до 1,9 млн т;
- оптимизация комплекса накатных грузов при сохранении его мощности;
- создание логистического центра на территории западнее основания Южной дамбы комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений.

Стратегическое преимущество всего проекта заключается в снижении транзитного времени прохода судов по Санкт-Петербургскому морскому каналу как минимум на три часа в одну сторону за счет близости открытой акватории Финского залива, а также в возможности приема перспективных типов судов, крупнейшими из которых являются контейнеровоз класса Panamax и паром класса Finnstar.

Проект реализуется на южном побережье Финского залива в районе примыкания дамбы комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений к существующей береговой черте в границах Муниципального образования г. Ломоносов [2].

Серьезной предпосылкой к реализации проекта стал возросший в предкризисные годы дефицит портовых мощностей в регионе Балтийского моря. Российские и зарубежные эксперты, несмотря на сегодняшний кризис, сходятся во мнении, что ежегодный поток грузов, доставляемых в Россию через порты Балтийского моря, к 2025 г. достигнет 130 млн т (рис. 2). В этих условиях прогнозируемый дефицит суммарной мощности всех российских портовых комплексов Финского залива, включая проектируемые, составит 50 млн т [3].



Рис. 2. Рынок перевозок контейнеров и накатных грузов в регионе восточной части Балтийского моря на направлении Европа – Россия

Реализация строительства аванпортов Большого порта Санкт-Петербург, и в первую очередь – строительство аванпорта «Бронка», позволит удовлетворить перспективную потребность региона в обработке морских грузов и повысить привлекательность Санкт-Петербурга как крупнейшего участника европейского рынка морских перевозок [4].

Транспортные подходы к аванпорту реализуются благодаря непосредственной близости Кольцевой автомобильной дороги и автодороги А-120, обеспечивающих выход автомобильного транспорта на основные магистрали региона без создания дополнительной нагрузки на улично-дорожную сеть Санкт-Петербурга и за счет вывоза грузов железнодорожным транспортом через станции Котлы и Веймарн, по перспективной железнодорожной ветке Гатчинского направления и через станцию Шушары.

В связи с увеличением мощностей порта (по сравнению с проектными) и увеличением интенсивности нагрузки на подводящий транспорт, происходит активный износ дорожного полотна на близлежащей развязке с портом «Бронка», а также кольцевой автодороги. Поступают заявки от жильцов домов вблизи железнодорожных магистралей о проблеме обеспечения права на благоприятную среду.

Собственные или арендованные локомотивы с составом имеют право выезда на пути общего пользования. Так как многие железнодорожные переезды в данном направлении не имеют виадуков, то увеличилось время, затрачиваемое местными жителями при въезде или выезде из города. С 2015 г. количество составов увеличилось на два в четные и на четыре в нечетные дни (при тридцати грузовых поездах в сутки), что ведет к полному смещению графика движения пассажирского железнодорожного транспорта [5].

Администрация города принимает решение по снижению уровня шума на территориях жилой застройки путем установки шумозащитных экранов и ограждений. Для снижения уровня шума в помещениях жилой и общественной застройки предполагается установка шумозащитного остекления окон.

В случае, если комбинация данных шумозащитных мероприятий не обеспечивает достижение нормативного уровня шума, предусматривается расселение жилых домов. По типу защиты от шума экраны подразделяются на звукоотражающие, звукопоглощающие и комбинированные.

При возведении шумозащитных экранов вдоль железной дороги необходимо, чтобы волна звука не возвращалась к поездам, чего звукоотражающий тип экрана обеспечить не может, так как источник шума и сторона, противоположная от защищаемого объекта, получает повышенную шумовую нагрузку, что недопустимо для данного вида транспорта. На таком участке оптимальным выбором является звукопоглощающий тип экрана из полностью перфорированных листов, не имеющих прозрачных вставок.

В состав проекта включены мероприятия по созданию четырех автомобильных путепроводов в створе Дворцового проспекта в поселке Мартышкино, Петергофской улицы в Старом Петергофе; Ропшинского шоссе, улицы Юннатов в Рыбацком.

Со стороны российских железных дорог предложено предусмотреть прокладку дополнительных приемо-отправочных путей полезной длиной 1050 м. Выполнены предпроектные проработки, в которых содержатся конструктивные и объемно-планировочные решения по реконструкции железнодорожной путей от Ораниенбаума до ММПК «Бронка».

В будущем есть необходимость строительства новой железной дороги в обход Петродворцового и Красносельского районов на участках Владимирская (1) – Мозино (2) – Тайцы (3) – Бронка (4) (рис. 5).

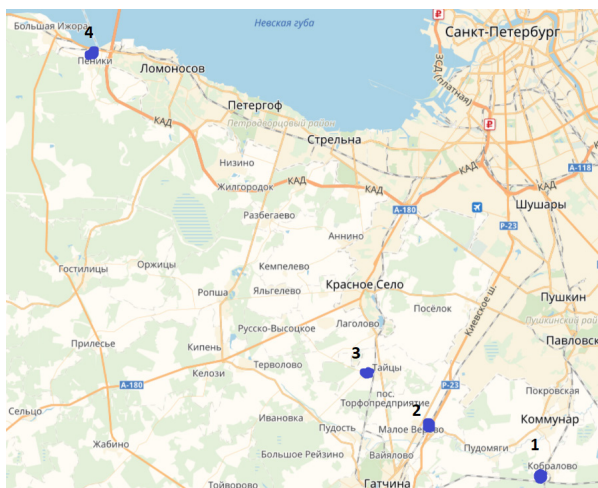


Рис. 5. Перспективное направление развития нового железнодорожного пути в обход жилых районов и районов с культурным наследием

Можно с уверенностью сказать, что данный порт является важной составляющей «Нового шелкового пути». Учитывая внешнеполитическую обстановку, Санкт-Петербургский порт набирает все большую актуальность при обороте грузов через Россию в сторону Китая и в сторону Европейских стран. Порт является отправной точкой для морских судов, автомобильного и железнодорожного транспорта. Для Санкт-Петербурга очень важно быть частью исторически сложившейся транспортной системы, включающей в себя множество транспортных систем. Это усиливает экономическое развитие нашего региона и страны в целом, создаются новые рынки китайских и европейских товаров. Но, несмотря на все вышеперечисленные положительные аспекты влияния на экономику страны, данный порт имеет негативные стороны для жителей юго-запада города, ухудшая условия проживания в районах, близлежащих к железной дороге.

Библиографический список

1. Официальный сайт с документацией порта Бронка. URL: <http://www.port-bronka.ru/descr/dokumenty-cin-27/> (дата обращения: 15.03.2018).
2. Осипов Г.Л. Защита от шума и акустическое благоустройство / Материалы науч.-техн. семинара «Актуальные проблемы защиты от шума зданий и территорий застройки». Севастополь, 2007. 10 с.
3. Выбросы, шум и энергетические проблемы на транспорте. Транспорт и окружающая среда. Роттердам. Европейский банк реконструкции и развития (EBRD), 1995. 158 с.
4. Базаров Б., Базаров В., Нолев Е. Новый Шелковый путь: открытая политика открытого общества Китая. Улан-Удэ: ИМБТ СО РАН, 2015. С. 18-19.
5. Кузнецов А.Л., Галин А.В., Горынцев М.Н. Методика оценки доходности контейнерных терминалов при их недогрузке. // Вестник ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. 2017. С. 37-47.

УДК 656. 016

Е.К. Виленская

студент кафедры системного анализа и логистики

Н.А. Слободчиков – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

В настоящее время все большее распространение получают железнодорожные рефрижераторные контейнерные перевозки ввиду исчерпания эксплуатационного ресурса рефрижераторных вагонов и отсутствия их современного производства.

Преимущества использования рефрижераторных контейнеров, заключаются в следующем: во-первых, универсальность контейнера, который можно погрузить на любой вид транспорта; во-вторых, автоматизация процесса перегрузки груза с одного вида транспорта на другой с минимальными временными издержками, с исключением перегрузки самого груза; в-третьих, уменьшается количество перегрузочных операций, а, следовательно, уменьшается риск порчи груза; в-четвертых, возможно осуществление доставки груза «от двери до двери».

Несмотря на ряд преимуществ, при введении в эксплуатацию рефрижераторных контейнеров возникает ряд сложностей из-за разницы в технологическом процессе перевозки вагонов и контейнеров по железной дороге. Для контейнеров необходимы специальные фитинговые платформы (обычные или удлиненные) и, конечно же, если речь идет о рефрижераторных контейнерах, то и энергетические установки, обеспечивающие функционирование холодильных агрегатов.

Для энергообеспечения рефрижераторных контейнеров, как правило, используются вагоны-электростанции, но они уменьшают полезную длину поезда. В то же время, не используя дополнительный подвижной состав, можно использовать более компактный вариант: автономные дизель-генераторные установки (АДГУ) РКВ-15, «Прогрессор-01», их характеристики приведены в табл. 1, 2.

АДГУ «Прогрессор-01» (рис. 1) состоит:

- из дизель-генераторного блока с дизель-генератором и системой мониторинга и управления;
- топливного блока с топливными баками;
- съемного захвата – 2 шт.

При помощи болтовых соединений блоки АДГУ «Прогрессор-01» соединены между собой и образуют единую конструкцию.

АДГУ РКВ-15 (рис. 2) функционально и по составу оборудования аналогична АДГУ «Прогрессор-01» и отличается вместимостью топливного бака и конфигурацией несущей металлоконструкции.

В углах опорной рамы АДГУ расположены фитинги для установки на упоры платформы. Габаритные размеры в плане и расположение угловых фитингов АДГУ «Прогрессор-01» и РКВ-15 соответствуют размерам и расположению фитингов контейнера длиной 10 футов. Съемные захваты предназначены для крепления АДГУ к рефрижераторному контейнеру.

Подключение АДГУ к холодильной установке рефрижераторного контейнера осуществляется при помощи присоединительного кабеля, входящего в состав холодильного агрегата рефрижераторного контейнера. Управление АДГУ осуществляется дистанционно, либо непосредственно из дизель-генераторного блока.

Таблица 1

Характеристика вагона-дизель-электростанции

Параметры	Вагон-дизель-электростанция
Габаритные размеры	Габарит 1-ВМ
Номинальная мощность, кВт	Два дизель-генератора типа ДГМА-75 мощностью 75 кВт каждый
Род тока	Трехфазный переменный
Номинальное напряжение, В	400 В
Номинальная частота, Гц	50 Гц

Характеристики АДГУ «Прогрессор-01» и РКВ-15

Параметры	Значение	
	«Прогрессор-01»	РКВ-15
Условия эксплуатации	от минус 50 ОС до плюс 50 ОС, влажность воздуха до 98% при температуре плюс 25 ОС	
Габаритные размеры, мм (длина x ширина x высота)	2991x2438x1300	2991x2438 x2896
Максимальная масса с топливом, кг	4730	3700
Номинальная мощность, кВт	15/25	
Род тока	переменный, трехфазный	
Номинальное напряжение, В	380/460	
Номинальная частота, Гц	50/60	
Время непрерывной работы, (сутки)	24-40	24-36

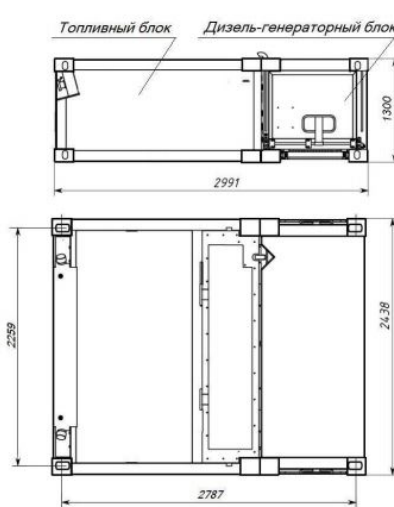


Рис. 1. «Прогрессор-01»

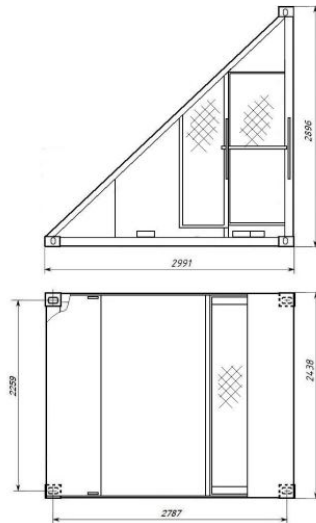


Рис. 2. РКВ-15

Подключение контейнеров и АДГУ к сети электроснабжения платформы производят в соответствии с технической документацией на платформы, АДГУ и контейнеры. Примеры подключения АДГУ показаны на рис. 3.

Размещение контейнеров и АДГУ на фитинговой платформе может быть различное, некоторые варианты расположения приведены на рис. 4.

При размещении в соответствии со схемами, приведенными на рисунке:

- 4а – подбор контейнеров производят в зависимости от их массы брутто;
- 4в – масса брутто контейнера не должна превышать 14 т;
- 4д – разность масс брутто контейнеров не должна превышать 6 т.

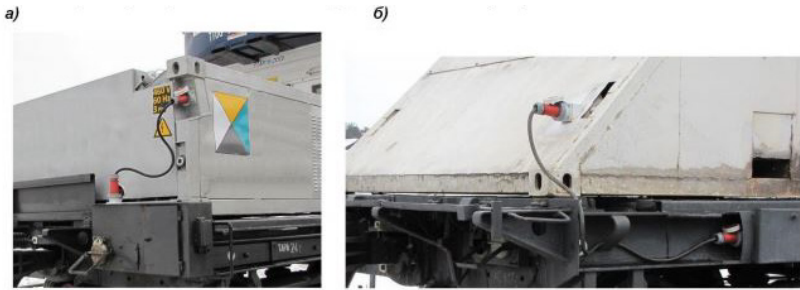


Рис. 3. Примеры подключения АДГУ к сети электроснабжения платформы:
а – подключение АДГУ «Прогрессор-01»; б – подключение АДГУ РКВ-15

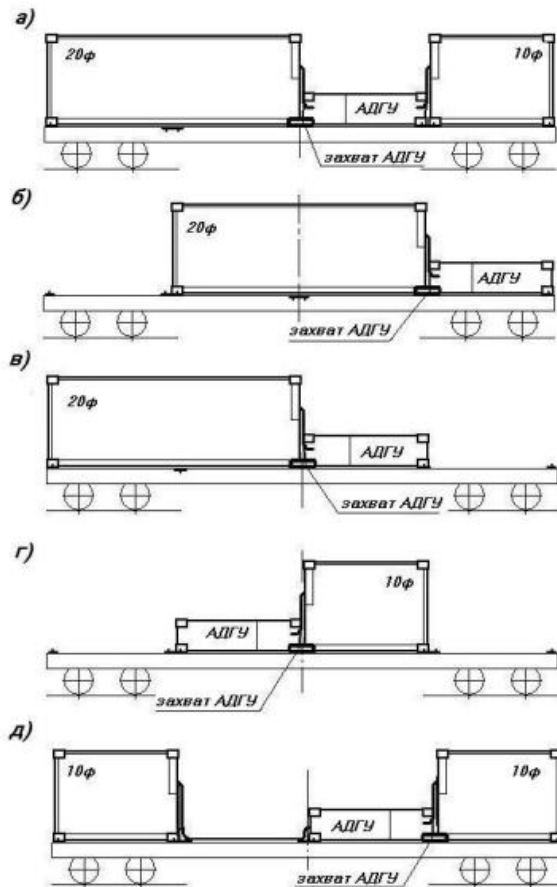


Рис. 4. Варианты расположения контейнеров и АДГУ на фитинговой платформе

Использование автономных дизель-генераторных установок позволяет:

- увеличить полезную длину поезда;
- уменьшить необходимое количество топлива;
- обеспечить полную автоматизацию.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 55056-2012 Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101551> (дата обращения: 23.04.2018).
2. ГОСТ Р 50697-94. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Часть 2. Контейнеры изотермические. URL: http://standartgost.ru/g_50697-94 (дата обращения: 23.04.2018).
3. ГОСТ 22235-2010: Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочных работ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200082560> (дата обращения: 23.04.2018).
4. Костенко Н.И., Костенко А.Ю., Яньшин А.А. Техническое обеспечение железнодорожного хладотранспорта. Хабаровск: Центр дистанционного образования, 2009. 63 с.

М. С. Геворкьян

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. Н. Майоров – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ОСВОЕНИИ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что самое северное месторождение России является кладовой природы и хранит в себе более 250 млн т нефти и конденсата, а также 320 млрд м³ газа. Новый порт – один из самых технологически сложных сырьевых проектов в настоящее время. Главной его проблемой стало отсутствие эффективной логистической схемы. Этот вопрос волнует экспертов с момента открытия залежей. Северный морской путь важен для нашей страны, это кратчайший путь между европейской частью России и Дальним Востоком с последующим выходом в Европу и в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Но круглогодичная минусовая температура, непроходимый лед, удаленность от всех нефтеперерабатывающих станций, железнодорожных и автомобильных дорог – вот главное препятствие такой ценной находки.

Черное золото на полуострове Ямал было обнаружено в 1964 г. В это время повсюду были легко доступные скважины, а имеющиеся технологии не успевали за желанием исследовать такие сложные территории, поэтому работы на месторождении были остановлены и возобновились только спустя полвека. Новопортовская нефть относится к высшему классу, отсюда и проявляется такой интерес к месторождению. Но и вопрос вывоза столь драгоценного продукта не давал покоя экспертам и вносил трудности в разработку проекта. Ведь данное месторождение находится на Ямале, за полярным кругом, где до ближайшего города Салехард 360 км., до побережья Обской губы – 300 км.

Первую партию нефти размером 12 000 т вывезли с месторождения ж.-д. транспортом. Схема была непростой. Сначала продукция грузилась в автоцистерны, затем, преодолевая путь в 200 км по зимнику, доставлялась до ж.-д. станции «Паюта», затем через (примерно) 800 км цистерны выгружались на Усинском нефтеперерабатывающем заводе. И даже такого малого количества хватало, чтобы оценить перспективы и увидеть неэффективность данной схемы. Конечно, этот путь требовал меньше всего вложений, но, во-первых, пропускная способность такого варианта крайне мала, а во-вторых, летом тундра становится непроходимой.

Рассмотрев несколько десятков вариантов, был найден самый эффективный. Он превосходил остальные и экономически и логистически. Доставка груза – по морю. Другие виды транспортировки требовали больших вложений и уступали выбранному. Рассматривалась также отгрузка нефти по трубопроводу. Для этого нужно было построить трубопровод от месторождения до ближайшей нефтеперерабатывающей станции протяженностью 740 км. И отгрузка по железной дороге. Оба варианта не смогли бы обеспечить проекту эффективную отгрузку и перевалку сырья в нужном объеме, что, в свою очередь, решалось постройкой терминала «Ворота Арктики» в Обской губе. Благодаря этому компания «Газпром-нефть» может отгружать около 8,5 млн т нефти в год.

В «фаворитах» было четыре направления доставки сырья по морю.

1. Транспортировка продукта по нефтепроводу длиной в 100 км до мыса «Каменный». Транспортировка морским транспортом в порт г. Мурманск. Реализация нефти в Западную Европу, Северную Америку, Китай, Южную Корею, Японию.

2. Транспортировка продукта по нефтепроводу, длиной в 450 км до вахтового поселка «Сабетта». Транспортировка морским транспортом в порт г. Мурманск. Реализация нефти в Западную Европу, Северную Америку, Китай, Южную Корею, Японию.

3. Транспортировка продукта по нефтепроводу, длиной в 450 км до поселка Харасавэй. Транспортировка морским транспортом в порт г. Мурманск. Реализация нефти в Западную Европу, Северную Америку, Китай, Южную Корею, Японию.

4. Транспортировка продукта по нефтепроводу, длиной в 280 км до Байдарацкой губы. Транспортировка морским транспортом в порт г. Мурманск. Реализация нефти в Западную Европу, Северную Америку, Китай, Южную Корею, Японию.

С точки зрения морской логистики, конечно, самый удобный вариант – это терминал в Харасавэй, не надо делать никаких крюков. Данный вариант позволил бы прямой дорогой, через Карское море доставить нефтепродукт в порт г. Мурманска. Но в таком случае пришлось бы строить нефтепровод длиной 250 км. Оценив все плюсы и минусы четырех вариантов, выбор остановился на построении трубопровода от месторождения до мыса Каменный. Общая протяженность трубопровода составляет – 100 км.

Время, которое тратится на доставку нефти, благодаря выбранному способу, заметно сократилось. Теперь, в Западную Европу черное золото поступает всего за 5-7 дней после захода танкера в морской порт Мурманска, в Северную Америку за 9-14 дней, в Китай за 21 день, а в Южную Корею и Японию за 19 и 13 дней, соответственно.



Рисунок. Схема транспортировки нефти

Транспортировка нефти с самого северного месторождения осуществляется танкерами в сопровождении атомных ледоколов с самого начала до пролива «Карские ворота».

Самый мощный из дизельных ледоколов класса Arc 130A/Icebreaker 8, «Александр Санников» был построен в г. Выборг и введен в эксплуатацию в 2017 г.

Ключевые характеристики судна.

- Собственная система погрузки на борт:
 - вылет стрелы – 26,7 м,
 - грузоподъемность – 26 т.
- Длина – 121,7 м,
- Ширина - 26 м,
- Мощность - 21,5 МВт,
- Осадка – 8 м.
- Работает при экстремально низких температурах (-50 С).
- Время автономной работы – 40 сут.
- Максимальная маневренность – 360 градусов.
- Нулевой сброс.

В транспортировке нефти с месторождения «Новый порт» принимают участие танкеры классов Arc 5 и Arc 7. Танкеры класса Arc 7 позволяют вывозить нефть круглогодично. Танкеры данного класса могут двигаться во льдах самостоятельно по каналу, предварительно подготовленному атомным ледоколом.

Основные характеристики всех танкеров, работающих на северном месторождении, представлены в таблице.

Характеристики танкеров			
Тип	Arctic Shuttle Tanker	Астрахань	Arctic Shuttle Tanker
Класс	ARC 7	ARC 5	ARC 7
Осадка, максимальная, м.	9,5	9,8	9,5
Длина, м.	249	155,6	249
Ширина, м.	34	24,5	34
Высота, м.	15	13,4	15
Скорость, узлы	14	15	20
Мощность гидравлического привода, кВт	2x11000	1x8580	2x11000

Для обслуживания проекта «Новый порт» создается специальный флот, включающий новые ледоколы обеспечения и танкеры в арктическом исполнении, способные преодолевать льды толщиной до 1,8 м, осадкой 9 м, грузоподъемностью около 35 тыс. т и оборудованные носовыми погрузочными устройствами для загрузки сырья с башенного терминала.

Терминал «Ворота Арктики» будет способствовать наращиванию грузоперевозок по Северному морскому пути, а маршрут Ямал – Мурманск должен стать одним из первых постоянно используемых отрезков этого транспортного коридора.

Библиографический список

1. Назаров А.В., Лоскутов А.И. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем. СПб.: Наука и Техника, 2003. 384 с.
2. ПАО «Газпром-нефть». URL.: <http://www.gazprom-neft.ru/> (дата обращения: 04.04.2018).

УДК 656.025

А.А. Завгородняя

студент кафедры системного анализа и логистики

Н.А. Слободчиков – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

В условиях современного рынка индустрия скоропортящихся грузов стремительно развивается и приобретает значительный объем. Перевозки скоропортящихся грузов становятся более востребованными на фоне изменения потребительской составляющей: рост доходов населения в ряде стран, изменение образа жизни и диеты, что, соответственно, увеличивает потребность граждан в свежих товарах.

Организация перевозки скоропортящихся грузов является сложной логистической задачей, так как данные грузы необходимо транспортировать с соблюдением температурного и влажностного режимов, а также требуется учитывать предельные сроки нахождения груза в цепи. При организации перевозки следует принимать во внимание норму естественной убыли (зависящей от вида груза, условий и длительности перевозки, перегрузки и хранения, климатической зоны, тары и упаковки), превышение которой неизбежно, если не соблюдать требования к перевозке.

В зависимости от способа температурной обработки и режима перевозки скоропортящиеся грузы условно делят на группы:

- 1) глубокозамороженные – грузы, перевозимые при температуре ниже -18°C ;
- 2) замороженные – грузы, перевозимые при температуре $-18^{\circ}\text{C} \dots -6^{\circ}\text{C}$;
- 3) охлажденные – грузы, перевозимые при температуре $-5^{\circ}\text{C} \dots -1^{\circ}\text{C}$;
- 4) охлаждаемые – грузы, перевозимые при температуре $0^{\circ}\text{C} \dots 15^{\circ}\text{C}$;
- 5) отепляемые.

Скоропортящиеся грузы перевозят как в изотермическом подвижном составе – от рефрижераторов до термосов, так и в универсальном подвижном составе. Процесс перевозки требует контроля. С повышением температуры усиливается активность биохимических процессов в грузе. Увеличение влажности по сравнению с нормативной вызывает конденсацию влаги на поверхности груза и создает условия для развития микроорганизмов, а уменьшение влажности ниже установленных пределов приводит к интенсивному испарению влаги из груза.

В нынешнее время для контроля соблюдения температурного и влажностного режимов применяют информационные системы с использованием технического оборудования. Информационная система представляет собой совокупность содержащейся в базах данных информации и обеспечивающих ее обработку информационных технологий и технических средств. Спутниковая система навигации является разновидностью информационной системы. На базе таких спутниковых систем как ГЛОНАСС и GPS разрабатываются трекеры и контроллеры, к которым можно подключить, в том числе, датчик температуры в рефрижераторе.

Одним из примеров является трекер, произведенный компанией «ГдеМои». «ГдеМои» – сервис геолокации подвижных объектов. Сервис предоставляется компаниям и физическим лицам – по всей России, а также за ее пределами. Услуга основана на технологиях GPS/ГЛОНАСС/LBS, при этом используются как GPS-трекеры, так и мобильные приложения.

Трекер имеет встроенную GSM-антенну, карту памяти microSD емкостью 128 Mb, а также обеспечивает поддержание двух SIM-карт. Работает от аккумулятора и в температурном диапазоне $-25^{\circ}\text{C} \dots 55^{\circ}\text{C}$ [1].



Рис. 1. «ГдеМои» А8 (v5) трекер GPS/ГЛОНАСС



Рис. 2. Датчик температуры 1-Wire

Датчик измеряет температуру в диапазоне от -55 до $+80^{\circ}\text{C}$ с точностью до полградуса. Эти сведения вместе с навигационной информацией передаются в режиме реального времени через GSM-сеть в дата-центр сервиса «ГдеМои». Программное обеспечение непрерывно контролирует температуру, предоставляя широкие возможности для удаленного мониторинга:

- контроль температуры онлайн;
- отображение исторических значений на графике;
- табличное представление с выделением минимумов и максимумов.

Система компании «ГдеМои» позволяет настроить моментальные оповещения о выходе значений температуры за допустимые пределы – по SMS, e-mail и на экран диспетчера [2].

Одной из разновидностей средств контроля является термоиндикатор. Примером служит электронный многоразовый термоиндикатор Кью-тэг Цлм Док Р (Q-tag CImDoc R), произведенный компанией Берлингер & КО. АГ, который применяется для мониторинга и контроля температуры в термоконтейнерах или авторефрижераторах. Такого рода термоиндикатор в основном используют для контроля холодной цепи. Данный термоиндикатор полностью соответствует требованиям санитарно-эпидемиологических правил СП 3.3.2.332-16 «Условия транспортирования и хранения иммунобиологических лекарственных препаратов».



Рис. 3. Термоиндикатор Кью-тэг Цлм док Р

Рабочий диапазон температур: $-30^{\circ}\text{C} \dots 55^{\circ}\text{C}$. Пределы тревоги – до 5 независимо программируемых пределов тревоги. Интервал измерения температуры – каждую минуту. Позволяет производить анализ данных без применения компьютера и специального программного обеспечения непосредственно

на экране устройства. Однако имеет встроенный порт USB, что позволяет в дальнейшем экспортировать отчет с графиком изменения температур. Ресурс работы термоиндикатора, обусловленный ресурсом батареи, не менее 24 мес. [3]

Также можно рассмотреть термометр инфракрасный MASTECH MS-6530, который позволяет определять температуру объекта на расстоянии. Термометр измеряет широкий диапазон температур: -20°C...537°C, но не позволяет в автоматизированном режиме фиксировать их перемену [4].



Рис. 4. Термометр инфракрасный MASTECH MS-6530

Все вышеперечисленные способы контроля соблюдения режимов перевозки требуют экономических затрат со стороны грузоперевозчика: оборудование и его установка, профилактика корректной работы оборудования, программное обеспечение и т.п.

Таким образом, эффективность использования информационных систем контроля необходимо оценивать в зависимости от широкого спектра издержек, затраченных на обеспечение перевозки скоропортящихся грузов. Каждое предприятие самостоятельно определяет необходимость использования систем, так как важные роли играют состояние подвижного состава, компетентность персонала, а также начальное состояние груза.

Библиографический список

1. Профессиональный ГЛОНАСС/GPS терминал для спутникового мониторинга транспорта. URL: <https://www.gdemoi.ru/gps-treker/a8/> (дата обращения: 18.04.2018).
2. Датчик температуры 1-Wire. URL: <https://www.gdemoi.ru/support/gps/телеметрия/датчик-температуры-1-wire/> (дата обращения: 18.04.2018).
3. Термоиндикаторы (Термоиндикатор Кью-тэг Цлм Док Р). URL: <http://www.termoindikator.ru/products/termoindikator-qtag-clm-doc-r?tab=tabOptions> (дата обращения: 18.04.2018).
4. Контрольно-измерительные приборы (Термометр инфракрасный MASTECH MS-6530)». URL: https://www.protehnology.ru/termometr_infkrasnyy_mastech_ms-6530 (дата обращения: 18.04.2018).

УДК 656.2

А.Н. Мельник

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. Н. Майоров – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ, ГАЗА И ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

Нефтяная и газовая промышленности Российской Федерации являются основным сектором топливно-энергетического комплекса страны. От успешного функционирования этой отрасли зависит эффективное удовлетворение внутреннего и внешнего спроса на нефть и продукты ее переработки, обеспечение налоговых поступлений в бюджет и энергетической безопасности страны. Безопасность при транспортировке нефти и газа является основным фактором бесперебойного обеспечения предприятий. Соблюдение требований техники безопасности, федеральных законов, требований транспортной документации может предотвратить экологические катастрофы, экономические потери, производственный травматизм.

Методы обеспечения безопасности при транспортировке нефти

Нефть и нефтепродукты относятся к опасным грузам. Перевозка опасных грузов осуществляется всеми видами транспорта: автомобильным, железнодорожным, воздушным, морским, речным. На каждый вид транспорта существуют свои транспортные документации, устанавливающие требования по перевозке опасных грузов. В соответствии с рекомендациями ООН для перевозимых опасных грузов была осуществлена классификация, которая предусматривает деление опасных грузов на классы опасности [1].

Таблица 1

Классы опасности грузов

1 класс	Взрывчатые материалы
2 класс	Газы сжатые, сжиженные и растворенные под давлением
3 класс	Легковоспламеняющиеся жидкости, твердые вещества
4 класс	Самовозгорающиеся вещества ; вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой
5 класс	Окисляющие вещества и органические пероксиды
6 класс	Ядовитые вещества и инфекционные вещества
7 класс	Радиоактивные материалы
8 класс	Едкие и коррозионные вещества
9 класс	Прочие опасные вещества

Прежде чем перевозить нефть и нефтепродукты, необходимо определить какую опасность для людей и окружающей среды они представляют. Нефтепродукты обладают целым рядом особенностей, которые существенным образом влияют на организацию транспортировки. Главнейшими из них являются: огнеопасность, взрывоопасность, способность электризоваться при движении, высокая испаряемость и вязкость некоторых нефтепродуктов, а также вредность нефтепродуктов для здоровья.

Критерием, разделяющим нефтепродукты по степени огнеопасности, является температура вспышки паров нефтепродуктов. Нефтепродукты являются легковоспламеняющимися и горючими жидкостями. Нефтепродукты могут воспламениться и без наличия пламени при нагревании их до определенной температуры. Температура, при которой воспламеняются пары горючих жидкостей без поднесения к ним открытого огня, называется температурой самовоспламенения.

Взрыв паров нефтепродуктов, даже при поднесении к газовому пространству открытого огня, возможен лишь при определенном процентном содержании этих паров в воздухе. Согласно ГОСТ

12.1.017.80 наименьшее содержание паров горючего в воздухе при нормальной температуре и атмосферном давлении, при котором возможен взрыв, называется нижшим пределом взрывчатости горючего. Наибольшее же процентное содержание паров горючего в воздухе при нормальной температуре и атмосферном давлении, при котором также еще возможен взрыв, называется верхним пределом взрывчатости. Промежуток между пиковым и нижшим пределами взрывчатости называется зоной взрывчатости [2].

Таблица 2

Пределы взрывчатости наиболее взрывоопасных жидкостей

Наименование нефтепродуктов	Нижший предел	Высший предел
–	Содержание в воздухе, %	Содержание в воздухе, %
Бензины	1,1	6,0
Лигроины	1,5	4,5
Керосины	2,0	3,0
Бензол	1,4	7,4

Единственный вид транспортировки нефти, для которого характерны низкие операционные издержки трубопроводный. Он может использоваться как для перекачки нефти, так и для перекачки различных нефтепродуктов. Нормативный срок эксплуатации трубопровода составляет 30 лет. Трубопровод - это магистраль из стальных труб диаметром до 1500 мм. Укладывают на глубину до 2,5 метров. Нефтепроводы оснащены оборудованием для обезвоживания и дегазации нефти, оборудованием для подогрева вязких сортов нефти.

Для поддержания необходимого давления устанавливают специальные перекачивающие станции. При движении нефтепродуктов по трубам и при прохождении их через слой воздуха в виде капель (например, при наливке в железнодорожные цистерны, танкеры) возникает статическое электричество. Оно образуется вследствие трения нефтепродуктов в первом случае о стенки труб, а во втором – о воздух. Нефтепродукт получает заряды электричества одного знака, трубопроводы и воздух – другого. Являясь хорошими диэлектриками, нефтепродукты сохраняют электрические заряды в течение длительного времени. Разряды статического электричества между изолированными трубопроводами, автоцистернами на шинах и заземленными предметами могут повлечь за собой загорание или взрыв паров нефтепродуктов. Для предупреждения скопления статического электричества необходимо, чтобы трубопроводные сети, соединяющие различные объекты нефтебаз, представляли электрически непрерывную заземленную цепь [3].

Светлые легкие нефтепродукты (газовые, пусковые, авиационные и автомобильные бензины) содержат значительное количество легкоиспаряющихся углеводородов. При испарении легких фракций нефтепродукт теряется количественно и ухудшается также его качество. В результате потери легких фракций нефтепродукт из-за значительного изменения физико-технических констант часто не может быть непосредственно использован и подлежит «исправлению». Насыщение воздуха парами бензина в паровом пространстве резервуаров происходит чрезвычайно быстро, причем вследствие наличия конвективных токов расслоения паров не наблюдается, и концентрация паров во всех точках газового пространства остается примерно одинаковой. Поэтому в целях предотвращения потерь наиболее ценных, легко испаряющихся фракций такие нефтепродукты необходимо хранить и транспортировать в герметизированных резервуарах [4].

Многие темные нефтепродукты и масла при низких температурах обладают значительной вязкостью. Потери на трение при перекачке таких нефтепродуктов по трубопроводам и при истечении из железнодорожных цистерн бывают настолько большими, что процессы перекачки и выгрузки часто становятся невозможными без проведения специальных мероприятий. Часть нефтепродуктов (главным образом парафинистые нефтепродукты) застывает при сравнительно высоких температурах. Перекачка таких нефтепродуктов и выполнение других складских операций также часто оказываются затруднительными и даже неосуществимыми. Поэтому для приведения вязких и застывающих нефтепродуктов в транспортабельное, подвижное состояние необходимо снизить их вязкость и путем подогрева обратить

в жидкое состояние. Подогрев нефтепродуктов резко снижает их вязкость, особенно в области низких температур, и позволяет транспортировать такие нефтепродукты без особых затруднений.

Пары нефтепродуктов и нефти вредны для здоровья человека, а пары сернистых нефтепродуктов обладают сильными отравляющими свойствами. Особенно вредны тяжелые бензины, содержащие бензол, и этилированные бензины. Отравление людей нефтяными парами может произойти при ремонте и очистке резервуаров и цистерн, недостаточно очищенных от бензина и в недостаточно вентилируемых помещениях. Опасный для здоровья предел содержания паров в воздухе считается равным для бензина, лигроина, керосина — 0,3 мг/л и для сероводородного газа — 0,01 мг/л. Учитывая это, складские помещения для нефти необходимо проектировать с усиленной вентиляцией, а работы в опасной для здоровья атмосфере производить в специальных противогазах с соблюдением соответствующих мероприятий по технике безопасности и охране труда [2].

Нефть и нефтепродукты относятся к опасным грузам. Перевозка опасных грузов осуществляется всеми видами транспорта: автомобильным, железнодорожным, воздушным, морским, речным. На каждый вид транспорта существует свои транспортные документации, устанавливающие требования по перевозке опасных грузов. Нефтепродукты обладают целым рядом особенностей: огнеопасность, взрывоопасность, способность электризоваться при движении, высокая испаряемость и вязкость некоторых нефтепродуктов, а также вредность нефтепродуктов для здоровья. Для обеспечения безопасности при транспортировке нефтепродуктов необходимо проектировать складские помещения с усиленной вентиляцией, а работы в опасной для здоровья атмосфере производить в специальных противогазах с соблюдением соответствующих мероприятий по технике безопасности и охране труда. Нефтепродукты нужно хранить и транспортировать в герметизированных резервуарах. Цистерны и контейнеры оборудовать системами контроля давления, температуры и влажности.

Библиографический список

1. Фетисов В.А., Слободчиков Н.А., Кочнев Д.В. Грузоведение СПб.: ГУАП, 2013. 432 с.
2. Шарифуллин А.В., Байбекова Л.Р., Смердова С.Г. Сооружение и оборудование для хранения, транспортировки и отпуска нефтепродуктов: КГТУ, 2011. 134 с.
4. Тетельмин В.В., Язев В.А. Магистральные нефтегазопроводы. Интеллект, 2013. 352 с. URL: <https://www.ozon.ru/context/detail/id/24275918/> (дата обращения: 13.04.2018).
5. Закожурников Ю. А. Транспортировка нефти, нефтепродуктов и газа. ИнФolio, 2010. 432 с.

УДК 656.13:005

В.В. Рубинов

студент кафедры системного анализа и логистики

Н.А. Слободчиков – кандидат военных наук, профессор – научный руководитель

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМЫ ВЫВОЗА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Ежедневно в мире производится огромное количество отходов, подлежащих переработке или размещению на полигонах захоронения. Вопросы, касающиеся утилизации твердых бытовых отходов (ТБО), уделяется особое внимание. Создание полигонов захоронения для обеспечения потребности каждого региона контролируются на государственном уровне. Вместе с тем автомобильные предприятия, задействованные в этой сфере, стремятся сократить внутренние издержки и повысить эффективность работы подвижного состава.

Основными издержками таких предприятий являются расходы на топливо и горюче-смазочные материалы для автомобилей. Уменьшение пробегов транспортных средств, не влияющее на качество выполняемых услуг – основной принцип оптимизации работы предприятий.

В настоящее время широко используются два варианта организации схем обращения ТБО: одноступенчатая и двухступенчатая.

Одноступенчатая схема работы – это система, при которой автомобильная техника, задействованная в процессе вывоза ТБО работает по маршрутам между заказчиком услуг и полигоном захоронения.

Двухступенчатая схема работы – это схема, при которой для мусоровозов, вывозящих ТБО, организован пункт переработки. Эти мусоровозы образуют первую ступень в схеме обращения ТБО. Вторая ступень организуется между пунктом переработки и полигоном. На ней работают контейнеровозы, вывозящие на полигон укрупненные партии ТБО. Так как они перевозят уже переработанные ТБО, уплотненные и приготовленные к захоронению, такие контейнеровозы способны за рейс перевозить большее количество ТБО, чем обычные мусоровозы. Объем ТБО за рейс в 4-5 раз больше, в зависимости от метода прессования ТБО на перегрузе.

Станции перегруза (пункты переработки) располагаются внутри обслуживаемых территорий, для снижения пробегов мусоровозов первой ступени. Станции переработки образуют центры тяготения потоков ТБО.

Основными преимуществами двухступенчатой системы считаются:

- Возможность организации глубокой переработки ТБО.
- Снижение пробегов мусоровозов первой ступени.
- Вывоз ТБО большими объемами за один рейс.

К недостаткам такой системы относят:

- Сложность организации работы.
- Большие затраты на строительство и организацию перегрузочных пунктов.

Суммарный пробег автомобилей в рамках одноступенчатой системы будет определяться по формуле:

$$R_1 = \sum_{i=1}^n (2 * S * k), \quad (1)$$

где n – количество рейсов необходимое для выполнения плана, S – средняя длина плеча обращения мусоровоза (от адреса до полигона/перегруза), k – коэффициент неравномерности.

Суммарный пробег автомобилей при реализации двухступенчатой системы будет определяться по формуле:

$$R_2 = R_1 + \sum_{i=1}^m ((2 * P) * k), \quad (2)$$

где R_1 – транспортная работа на первой ступени, m – количество рейсов контейнеровозов второй ступени, P – расстояние между пунктом перегруза и полигоном, k – коэффициент неравномерности.

Для оценки эффективности применения двухступенчатой системы вывоза ТБО необходимо рассмотреть три варианта организации работы предприятия для каждой из схем, при которых:

- 1) полигон захоронения ТБО расположен внутри основной обслуживаемой территории (рис. 1 [1А и 1Б]);
- 2) полигон захоронения ТБО расположен на периферии обслуживаемой территории или на большом расстоянии от нее (рис. 1 [2А, 2Б]);
- 3) полигон захоронения ТБО расположен на значительном расстоянии от обслуживаемой территории (рис. 1 [3А и 3Б]).

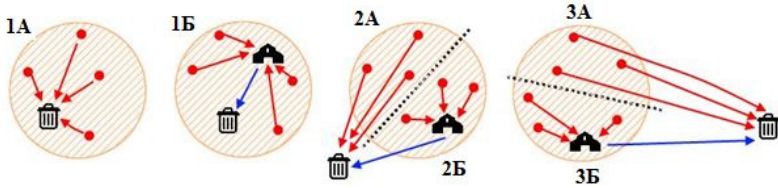


Рис. 1. Варианты схем организации работы предприятия в зависимости от расстояния до полигона:

- обслуживаемая территория;
- полигон ТБО;
- станция перегруза;
- маршруты мусоровозов первой ступени;
- маршруты мусоровозов второй ступени.

Для проведения анализа по трем вариантам организации работы целесообразно принять некоторые общие условия:

- Диаметр обслуживаемой области 60 км.
 - Суточный объем ТБО – 600 м³.
 - Объем ТБО в среднем вывозимый одним мусоровозом первой ступени за один рейс 30 м³.
 - Объем ТБО вывозимый контейнеровозом второй ступени – 200 м³.
 - Предполагаемые пункты переработки организуются внутри обслуживаемой области по принципу центра тяжести.
 - Средняя длина плеча обращения мусоровоза первой ступени внутри обслуживаемой территории $S=30$ км.
 - Коэффициент неравномерности $k=1$.
- Дополнительные условия для первого случая:
- Расстояние между полигоном и станцией перегруза 35 км.
- Дополнительные условия для второго случая:
- Расстояние между полигоном и станцией перегруза 55 км.
 - Полигон отдален от основного района обслуживания на 25 км (пробег мусоровозов первой ступени увеличиваются на 50 км за каждый рейс, $S=30+25=55$).
- Дополнительные условия для третьего случая:
- Расстояние между полигоном и станцией перегруза 85 км.
 - Полигон отдален от основного района обслуживания на 60 км (пробег мусоровозов первой ступени увеличиваются на 120 км за каждый рейс, $S=30+60=90$).

Результаты расчетов для каждого варианта приведены в таблице.

Пробеги автомобилей при использовании разных схем организации работы

Схема организации работы	Пробег автомобилей в первой ступени, км	Пробег автомобилей во второй ступени, км	Суммарный пробег автомобилей, км	Разница
1. Полигон вблизи обслуживаемой территории				
Одноступенчатая	1200	-	1200	- 15%
Двухступенчатая	1200	210	1410	
2. Полигон на небольшом расстоянии от обслуживаемой территории				
Одноступенчатая	2200	-	2200	
Двухступенчатая	1200	330	1530	-31%
3. Полигон сильно удален от обслуживаемой территории				
Одноступенчатая	3600	-	3600	
Двухступенчатая	1200	510	1710	- 53%

На рис. 2 представлены объединенные результаты исследования.

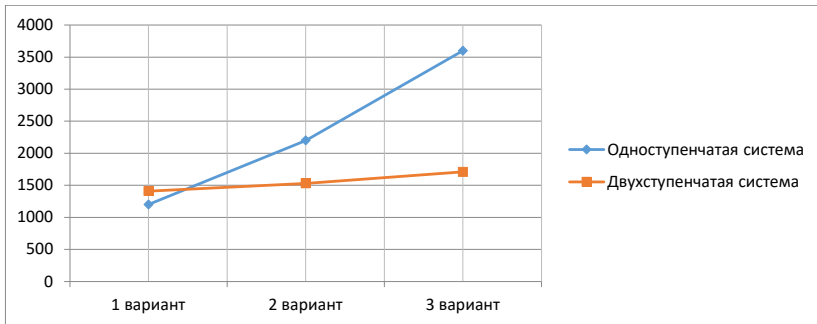


Рис. 2. Сравнение зависимости транспортной работы предприятия от расстояния до полигона захоронения при использовании разных систем вывоза

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы об эффективности использования двухступенчатой системы вывоза ТБО.

Применение двухступенчатой системы вывоза ТБО эффективно в случаях, когда полигон захоронения вынесен за периферию основной обслуживаемой территории. С увеличением расстояния до полигона эффективность применения двухступенчатой системы сильно возрастает, что делает такую систему незаменимой. Важным фактором, влияющим на сокращение пробегов автомобилей, является правильное расположение станции перегруза.

Суммарный пробег автомобилей при реализации одноступенчатой системы сильнее возрастает с увеличением расстояния до полигона, однако в случае, когда полигон расположен вблизи обслуживаемой территории, одноступенчатая система более эффективна, чем двухступенчатая. В небольших населенных пунктах, имеющих собственный полигон для захоронения организовывать двухступенчатую систему неэффективно.

Современные схемы обращения ТБО создаются крупными предприятиями, которые стремятся охватить своим влиянием все большую территорию. Внутренние схемы обращения ТБО в населенных пунктах отмирают и включаются в региональные схемы. Кроме того, усиливается тенденция сокращения

количества полигонов в регионах путем строительства крупных полигонов обслуживающих всю территорию региона. Поэтому одноступенчатые системы обращения используются все реже, несмотря на их эффективность, на небольшой территории.

Библиографический список

1. ГОСТ 30772-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения.
2. Приказ Минприроды России от 14.08.2013 N 298 «Об утверждении комплексной стратегии обращения с твердыми коммунальными (бытовыми) отходами в Российской Федерации».
3. Федеральный закон РФ № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», принят Государственной думой 22.05.1998 г. Постановлением № 2491-II ГД, подписан Президентом РФ 24.06.1998 г. с изменениями по состоянию на 18.12.2006.
4. Федеральный закон РФ № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», принят Государственной думой 12.03.1999 г. Постановлением № 3742-II ГД, подписан президентом РФ 30.03.1999 г. с изменениями по состоянию на 26.06.2007.

УДК 519.8(075.8)

В. Д. Шарипова

студент кафедры системного анализа и логистики

Н. Н. Майоров – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (СМО) ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Модернизация транспортных систем относится к приоритетным задачам государственного регулирования многих стран, так как в большей степени именно их состояние влияет на создание благоприятных условий для развития экономики и социальной сферы стран.

Возьмем, к примеру, аэропорт. В настоящее время любой аэропорт является технически сложным объектом, в обеспечении работы которого задействованы десятки информационных систем. Практически все современное оборудование имеет встроенное программное обеспечение и подключено к локальной сети. Нестационарные потоки (воздушных судов, пассажиров и др.), поступающие в хаб, нуждаются в постоянной регулировке. Даже в лифтах и эскалаторах есть датчики, которые своевременно сообщают о необходимости проверить или заменить выходящую из строя деталь. С этим и помогают разобраться системы массового обслуживания.

Системы массового обслуживания – это системы, в которые в случайные моменты времени поступают заявки (требования) на обслуживание, при этом поступившие заявки обслуживаются с помощью имеющихся в распоряжении системы каналов обслуживания.

Анализ существующих методов моделирования СМО

В теории массового обслуживания изучаются системы, на вход которых поступает случайный поток заявок (требований), приходящихся в общем случае на случайные моменты времени. Поступившая заявка обслуживается в системе путем предоставления ей некоторых ресурсов на какое-то время и, будучи в той или иной мере обслуженной (или не обслуженной), покидает систему. Наиболее характерный момент функционирования систем массового обслуживания – это наличие очередей, в которых заявки ждут момента освобождения ресурсов, занятых обслуживанием других заявок.

В простейшем случае система массового обслуживания определяется потоком заявок, длиной очереди и дисциплиной обслуживания (порядком выбора заявок из очереди), числом каналов (приборов) обслуживания, распределением длительности обслуживания. В более сложных случаях рассматривается надежность приборов обслуживания.

Показатели эффективности СМО:

- 1) пропускная способность СМО:
 - абсолютная (среднее число заявок, которое сможет обслужить СМО в единицу времени);
 - относительная (отношение среднего числа заявок, обслуживаемых СМО в единицу времени, к среднему числу поступивших за это время);
- 2) средняя продолжительность периода занятости СМО;
- 3) коэффициент использования СМО (средняя доля времени, в течении которого СМО занята обслуживанием заявок);
- 4) средний доход, приносимый СМО в единицу времени.

Методы моделирования СМО

Существующие методы моделирования СМО можно разделить по нескольким критериям:

- 1) по структуре:
 - одноканальные – системы, у которых одна очередь, а также канал для обслуживания только один – один пропускной пункт;
 - многоканальные – системы, у которых одна общая очередь, а каналов для обслуживания несколько;
 - однофазные – однородные системы, которые выполняют одну и ту же операцию обслуживания;

— многофазные – системы, в которых каналы обслуживания расположены последовательно и выполняют различные операции обслуживания. Все заявки, обслуженные в одном узле, направляются в следующий узел;

— замкнутые – системы, в которых обслуженные требования могут возвращаться в систему и вновь поступать на обслуживание;

— разомкнутые – СМО, в которых характеристики потока заявок не зависят от того, в каком состоянии сама СМО;

2) по дисциплине обслуживания (по допустимому времени ожидания заявок в очереди):

— система без отказов ($тож \rightarrow \infty$);

— система с ограниченным ожиданием ($0 < тож < \infty$);

— система без ожидания ($тож = 0$);

3) по схеме обслуживания и характеру поступления (по дисциплине выбора очереди) заявки выбираются из очереди:

— в порядке поступления;

— очереди в случайном порядке. Если все заявки равноправны, то вероятность выбора любой из них будет равна $1/k$, где k – общее число заявок. Сам выбор – это моделирование полной группы событий. Удаление параметров заявки из очереди может осуществляться как во втором случае, а может как в основном алгоритме;

— по минимальному времени ожидания. Необходимо при постановке заявки в очередь запомнить момент возможного отказа, а при выборе заявки из очереди найти соответствующий момент с минимальным значением. Удаление заявки и сдвиг параметров осуществляется аналогично предыдущему пункту, но цикл начинается с номера выбранной заявки;

— по приоритету. При постановке заявки в очередь необходимо по заданному в условии правилу сформировать приоритет поступившей заявки и запомнить его. При выборе заявки просматривается массив приоритетов и выбирается заявка с наибольшим приоритетом. Удаление параметров заявки из очереди осуществляется как во втором случае.

4) по способу выбора канала:

— по минимальному времени освобождения;

— в случайном порядке;

— по приоритету.

5) по однородности заявок:

— с однородным потоком заявок (все заявки одинаковы по своим характеристикам);

— с неоднородным потоком заявок (каждая заявка характеризуется по-разному).

Однородный стационарный поток без последствий является потоком Пуассона. Число событий такого потока, выпадающих на интервал длины x , распределено по Закону Пуассона – наиболее часто используемому в СМО.

Актуальность СМО как инструмента для исследования и модернизации транспортных систем возрастает с каждым годом, потому что в терминах систем массового обслуживания описываются многие реальные системы: вычислительные системы, узлы сетей связи, магазины, производственные участки — любые системы, где возможны очереди и отказы в обслуживании. Системы массового обслуживания отличаются высокой наглядностью отображения моделируемых объектов и вследствие этого сравнительной простотой перехода от реальных объектов к соответствующим СМО.

Библиографический список

1. Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков М.: МЦНМО, 2013. 225 с.
2. Дашкевич А.Д., Секирин А.И., Дашкевич А.Д. Моделирование системы массового обслуживания перевозки пассажиров. Донецк: ДНТУ, 2012. С. 30-31.

УДК 629.735.33

Е.А. Белкина

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Н.А. Овчинникова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УГЛОМЕРА ДЛЯ КАНАЛА СТАБИЛИЗАЦИИ КРЕНА

Проектируемый прибор «Угломер» (далее – прибор, угломер) относится к области кораблестроения и касается технических средств и способов контроля устойчивости и мореходных свойств подводных объектов.

Цель разработки – повышение точности определения параметров устойчивости подводных объектов опытным путем при помощи метода кренования с возможностью определения допустимости начала регистрации данных и достаточности времени записи и точности определения осредненного значения угла крена.

Кренование – это наклонение свободного, статически уравновешенного объекта путем воздействия на него заданного кренящего момента. Целью кренования подводных объектов, согласно [1], является определение параметров устойчивости объекта (метацентрических высот для различных положений) для дальнейшего приведения их значений к требуемым.

Устойчивость – способность плавучего средства противостоять внешним силам, вызывающим его крен и дифферент, и возвращаться в состояние равновесия по окончании возмущающего воздействия.

Метацентрическая высота – критерий устойчивости судна. Представляет собой возвышение метацентра над центром тяжести плавучего тела. Чем больше этот параметр, тем выше начальная устойчивость судна. При приобретении отрицательного значения метацентрической высоты судно утрачивает способность плавать без крена. Определение метацентрической высоты показано на рис. 1.



Рис. 1. Определение метацентрической высоты

Кренование является обязательным элементом морских испытаний для строящихся (модернизируемых) головных объектов в серии и используется для подтверждения соответствия параметров устойчивости объектов требуемым значениям.

В настоящее время при проведении опыта кренования, как правило, используются следующие средства измерения углов крена:

— вески – вертикально подвешенные в помещениях объектов, нижний конец которых свободно качается в баках с маслом. Отклонение весков фиксируется наблюдателем визуальным способом по прикрепленным к бачкам горизонтальным линейкам. По значениям отклонений весков производится пересчет значений углов крена объекта;

— угломеры оптические УО-2, выпускавшиеся ранее Киевским заводом «Арсенал», которые сейчас сняты с производства. Принцип работы прибора основан на измерении углов между плоскостью опор неподвижной части и положением свободной поверхности жидкости в герметичной стеклянной ампуле качающейся части. Угол наклона прибора относительно горизонтального уровня жидкости (граница раздела «воздух-жидкость») в ампуле замеряется по шкале отсчетного микроскопа, рассматриваемой через симметричный окуляр. УО-2 представлен на рис. 2;



Рис. 2. Угломер оптический УО-2

— инклинографы, производящие запись пером с тушью на миллиметровую бумагу на барабане, представлен на рис. 3;



Рис. 3. Инклинограф

— системы регистрации параметров движения (СРПД) и систем управления маневрированием (СУМ) объектов.

Используемых приборов должно быть не менее трех, т. е. замеры снимаются в трех различных точках для повышения точности.

Использование существующих в настоящее время средств измерения углов крена связаны со следующими трудностями:

— использование весков не всегда удобно вследствие громоздкости и необходимости поиска подходящих мест закрепления (длина веска должна быть, как правило, не менее 3-5 м);

— использование оптических угломеров может быть затруднено в связи с необходимостью точного визуального контроля через окуляр пузырька воздуха, колеблющегося даже при наличии незначительной качки, а также необходимостью подкручивания винтов для смещения шкалы делений при выходе пузырька за диапазон измерений вследствие создания наклона или наличия качки;

— определение углов крена как при использовании весков, так и оптических угломеров, происходит визуально (через окуляр оптического угломера или по шкале отклонения весков), как правило, тремя наблюдателями, диктующими снятые показания трем членам испытательной партии. Такая работа представляется трудозатратной, а результаты обработки сильно зависят от человеческого фактора;

— использование имеющихся систем регистрации параметров движения невозможно в трех различных точках и не всегда обеспечивает необходимую точность.

Угломер позволит производить замеры, регистрацию и обработку результатов замеров углов крена объектов при проведении кренования, создавать архивы измерений и их передачу для дальнейшей обработки с помощью специально разработанного программного комплекса, производящего обработку результатов в соответствии с требованиями [1].

Проектируемый прибор должен обеспечивать измерение и регистрацию значений угла крена в процессе проведения испытаний по кренованию объектов, а также вычисление среднего арифметического значения от заданного угла наклона, вычисление по зарегистрированным значениям углов наклона (крена) объекта значений амплитуды бортовой качки и максимальной амплитуды отклонений математического ожидания угла крена за выбранный период времени.

Прибор должен выполнять:

— программно-аппаратную обработку информации о текущих углах наклона испытуемого объекта;

— регистрацию угла наклона с частотой не менее 1 Гц;

— хранение полученной информации;

— передачу зарегистрированной и обработанной информации на внешний носитель информации;

— отображение хода регистрации, название режима, отображение угла наклона объекта на дисплее изделия в реальном времени;

— формирование электронного архива в текстовом формате с привязкой ко времени;

— определение среднего арифметического значения угла наклона и вывод его на дисплей во время записи.

Библиографический список

1. РДВ5.0011-81. Комплексная система контроля качества. Общая морская техника. Испытания государственные надводных кораблей и судов ВМФ. Кораблестроительная часть. Типовая программа, 1983.

УДК 629.735.33

С.А. Булавин

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Е.А. Пузий

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Н.А. Овчинникова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**НАНОСПУТНИК. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ**

Наноспутники имеют массу от 1 до 10 кг. Часто проектируются для работы в группе, некоторые группы требуют наличия более крупного спутника для связи с Землей.

Современные наноспутники отличаются относительно большой функциональностью, несмотря на свой малый размер. Их область применения широка — от попыток дистанционного зондирования Земли до космических наблюдений:

- обработка новейших технологий, методов и программно-аппаратных решений;
- образовательные программы;
- экологический мониторинг;
- исследования геофизических полей;
- астрономические наблюдения.

Нанокосмические аппараты (масса не превосходит 10 кг) разрабатывались и основывались, начиная с самых первых запусков искусственных спутников Земли. Однако элементная основа радиоэлектроники сдерживала формирование данного направления. В настоящее время количество запусков небольших космических агрегатов учебного и учебно-научного назначения в год превысило полтора десятка и тенденции к его сокращению никак не предвидятся. Совершенно очевидно, что не последнюю роль играют финансовые характеристики: существенно меньший расход материалов на систему самого космического аппарата (КА), понижение и, в некоторых случаях, даже очень заметное уменьшение трудозатрат на исследование, изготовку и перевозку к месту пуска [1].

Формирование космических навигационных методов и способов решения баллистических задач, а также создание компактных методов навигации позволили определить местоположение, скорость, орбитальные характеристики пространства для небольших подразделений, которые по порядку позволяют урегулировать радио физических задач в соответствии к изучению территории и пространства: распределение радиоволн отслеживать спутник и спутник-Земля, учебной деятельности, которые происходят в ионосфере, изучение атмосферы, плоскость Земли, планет и в глубине их действия в радио. С другой стороны, формирование микроэлектромеханики с микроэлектроникой, конечно, могут значительно уменьшить вес и размер в качестве меры свойств (гироскоп, солнечные и звездные метров, инфракрасный горизонт) и исправных инструментов (двигатели, маховики) и обеспечение их взаимодействия в воздухе; компьютеры для систем четкой ориентации и стабилизации космических аппаратов [2].

Точность ориентации и стабилизации системы малых спутников позволяют, в порядке их очередности, использовать весьма направленные антенны и перейти в диапазон гигагерца для организации высокоскоростных каналов передачи информации, а также для мониторинга атмосферы Земли, космического пространства и солнце в микроволновом спектре.

Инновационная твердотельная микроэлектронная разработка позволяет расположить на подложке площадью распорядка первого квадратного сантиметра некоторое количество миллионов транзисторов, работающих на частотах в единицы гигагерц. Лабораторные эталоны усилителей на биполярных и полевых кремниевых транзисторах удачно действуют на частотах, превышающих сотню гигагерц. Удачно осваивается терагерцовый спектр. Инновационные интегральные технологии разрешают соединять радиосхемы, схемы аналоговой и числовой электроники в корпусе 1-го прибора, будто переводит способности техники на другой, наиболее высокий уровень [3].

Вопрос радиационной стойкости радиоэлектронных и микромеханических компонент по-прежнему актуален. Это обусловлено прежде всего тем, что для бортовой аппаратуры малых КА, особенно научно-учебного назначения, применяются широко распространенные, легко доступные электрорадиоизделия в

обычном промышленном исполнении. Для проведения исследований в этой области малые космические аппараты используются достаточно широко. Здесь важно совмещение измерения радиационной обстановки на борту КА и исследования устойчивости работы бортовых систем, их элементной базы и деградиационных процессов в них, вызванных влиянием космической среды и времени.

Таким образом, нанокосмические аппараты вполне пригодны для решения задач космической радиофизики и, в первую очередь, научно-учебных задач. Сравнительно невысокие затраты на производство и запуск делают малые КА доступными для вузов, а микроэлектронная и микроэлектромеханическая элементная база позволяет решать широкий спектр исследовательских радиофизических задач и непосредственно примыкающих к ним образовательных задач.

Библиографический список

1. Азоев Г. Л. Инновационные кластеры наноиндустрии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. 296 с.
2. Космические программы // Федеральное космическое агентство. URL: <http://www.federalspace.ru/115/> (дата обращения: 20.03.2016).
3. Любительская космонавтика // Популярная механика. URL: <http://www.popmech.ru/technologies/13811-kosmos-na-lyubitelya-orbita/> (дата обращения: 20.03.2016).

УДК 629.735.33

С.А. Булавин

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Е.А. Пузий

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

Н.А. Овчинникова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Микромеханический вибрационный гироскоп, построенный с использованием кардановой схемы, не имеет вращающихся частей, а вместо этого используется вибрация вокруг торсионов. Гироскоп представляет собой кардановую конструкцию с массивным элементом, смонтированным на внутренней кардановой рамке. Внутренняя кардановая рамка может рассматриваться как гироскопический элемент, а внешняя – как мотор.

Внешняя и внутренняя рамки соединены при помощи торсионов. Торсионы имеют малую жесткость на кручение по сравнению с жесткостью на изгиб. Внешняя рамка совершает вынужденные угловые колебания с малой амплитудой и высокой частотой вокруг оси своих торсионов (оси Y на рис. 1).

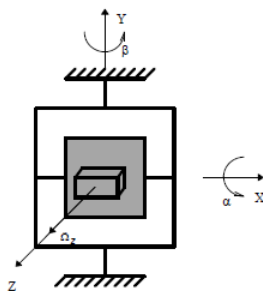


Рисунок. Кардановая схема микромеханического вибрационного гироскопа

При этом внутренняя рамка становится чувствительной к угловой скорости, направленной по оси перпендикулярной плоскости гироскопа. Она совершает угловые колебания вокруг оси своих торсионов с амплитудой и фазой, которые зависят от переносной угловой скорости. Возбуждение вынужденных колебаний может осуществляться электростатически, а измерение выходного сигнала - при помощи емкостного датчика. Электроды напыляются на поверхности внешней и внутренней кардановых рамок [1].

Уравнения движения чувствительного элемента

Составим дифференциальные уравнения движения чувствительного элемента карданового микромеханического гироскопа. Кардановая схема вибрационного гироскопа имеет две степени свободы. Положение чувствительного элемента в пространстве однозначно определяется двумя обобщенными координатами. В качестве обобщенных координат примем угол поворота внешней кардановой рамки относительно корпуса и угол поворота внутренней рамки относительно внешней. Обозначим эти углы β и α соответственно (см. рис. 1). Введем декартовые системы координат, связанные с основанием прибора, внешней и внутренней рамками. Они имеют общее начало в точке пересечения осей подвеса гироскопа. Обозначим их $Ox_i y_i z_i$, где $i=0$ - для системы координат, связанной с основанием прибора, $i=1$ - с внешней рамкой и $i=2$ - связанную с внутренней рамкой. Переносную угловую скорость зададим ее проекциям на систему координат, связанную с основанием прибора: $\vec{\Omega} = \{\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z\}$.

Получим выражения для ее проекций в системах координат, связанных с внешней и внутренней рамками [2]. Проецируя вектор абсолютной угловой скорости на оси систем координат, связанных с внешней и внутренней рамками, можем записать следующие соотношения:

$$\begin{cases} \Omega_{x1} = \Omega_x \cos \beta - \Omega_z \sin \beta \\ \Omega_{y1} = \Omega_y + \dot{\beta} \\ \Omega_{z1} = \Omega_x \sin \beta + \Omega_z \cos \beta \end{cases}, \quad (1.1)$$

$$\Omega_{x2} = \Omega_x \cos \beta - \Omega_z \sin \beta + \dot{\alpha}, \quad (1.2)$$

$$\Omega_{y2} = (\Omega_y + \dot{\beta}) \cos \alpha + (\Omega_x \sin \beta + \Omega_z \cos \beta) \sin \alpha,$$

$$\Omega_{z2} = (\Omega_x \sin \beta + \Omega_z \cos \beta) \cos \alpha - (\Omega_y + \dot{\beta}) \sin \alpha,$$

Дифференциальные уравнения движения чувствительного элемента получим при помощи уравнений Лагранжа 2-го рода:

$$\frac{d}{dt} \frac{dT}{d\dot{\beta}} - \frac{dT}{d\beta} = M_\beta, \quad \frac{d}{dt} \frac{dT}{d\dot{\alpha}} - \frac{dT}{d\alpha} = M_\alpha, \quad (1.3)$$

где T – полная кинетическая энергия системы, которую находим в виде суммы кинетических энергий ее элементов $T = \sum_{i=1}^2 T_i$, а T_i находим из соотношения:

$$2T_i = I_{xi} \Omega_{xi}^2 + I_{yi} \Omega_{yi}^2 + I_{zi} \Omega_{zi}^2 - 2I_{xiyi} \Omega_{xi} \Omega_{yi} - 2I_{yizi} \Omega_{yi} \Omega_{zi} - 2I_{zixi} \Omega_{zi} \Omega_{xi}.$$

Если учесть, что конструкция чувствительного элемента гироскопа симметрична относительно центра масс, то его центробежные моменты инерции равны нулю, и выражение для кинетической энергии примет вид:

$$T = \frac{1}{2} (I_{x1} \Omega_{x1}^2 + I_{y1} \Omega_{y1}^2 + I_{z1} \Omega_{z1}^2 + I_{x2} \Omega_{x2}^2 + I_{y2} \Omega_{y2}^2 + I_{z2} \Omega_{z2}^2) \quad (1.4)$$

Обобщенные силы в правой части уравнений (1.3) имеют вид:

$$M_\beta = -c_1 \dot{\beta} - f_1 \beta + M_2(t), \quad M_\alpha = -c_2 \dot{\alpha} - f_2 \alpha,$$

где c_1, c_2 – угловые жесткости торсионов, f_1, f_2 – коэффициенты демпфирования внешней и внутренней рамок соответственно, $M_2(t)$ – момент внешних сил, вызывающих вынужденные колебания наружной рамки. Кардановая конструкция чувствительного элемента подразумевает малые амплитуды угловых колебаний по углам α и β . Это позволяет линеаризировать тригонометрические функции, приняв $\sin \alpha \approx \alpha, \cos \alpha \approx 1, \sin \beta \approx \beta, \cos \beta \approx 1$

и пренебречь членами, в которые эти углы входят в степенях, выше первой. Подставляя выражение для кинетической энергии (1.4) в уравнения (1.3) и, принимая во внимание малость обобщенных координат, получаем для произвольного вектора угловой скорости вращения основания $\vec{\Omega}$ дифференциальные уравнения движения чувствительного элемента карданового микромеханического гироскопа

$$\begin{cases} I_1 \ddot{\alpha} + (f_1 + I_1) \dot{\alpha} + c_1 \alpha - G \Omega_z \dot{\beta} - D_1 (\Omega_y^2 - \Omega_z^2) \alpha - \left(\Omega_z I_1 + \Omega_z I_1 - D_1 \Omega_x \Omega_y \right) \beta + \\ + D_1 \Omega_x \Omega_y + \Omega_x I_1 + \Omega_x I_1 = 0, \\ I_2 \ddot{\beta} + (f_2 + I_2) \dot{\beta} + c_2 \beta - G \Omega_z \dot{\alpha} - D_2 (\Omega_y^2 - \Omega_z^2) \beta + \left(D_1 \Omega_x \Omega_y + D_1 \Omega_z - \Omega_z D_1 \right) \alpha - \\ - D_2 \Omega_x \Omega_y + \Omega_y I_2 + \Omega_y I_2 = M_2(t). \end{cases} \quad (1.5)$$

где I_1, I_2, G, D_1 и D_2 – коэффициенты, зависящие от геометрических параметров конструкции следующим образом:

$$I_1 = I_{x2}, \quad I_2 = I_{y1} + I_{y2}, \quad G = I_{x2} + I_{y2} - I_{x2},$$

$$D_1 = I_{x2} - I_{y2}, D_2 = I_{z1} + I_{z2} - I_{x1} - I_{x2}. \quad (1.6)$$

Для постоянных геометрических характеристик полученную систему уравнений можно преобразовать к виду

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{\alpha} + 2h_1\dot{\alpha} + k_1^2\alpha - g\Omega_z\dot{\beta} - d_1(\Omega_y^2 - \Omega_z^2)\alpha - \left(\Omega_z - d_1\Omega_x\Omega_y \right)\dot{\beta} - \\ \quad - d_1\Omega_x\Omega_y + \Omega_x = 0, \\ \ddot{\beta} + 2h_2\dot{\beta} + k_2^2\beta - g\Omega_z\dot{\alpha} - d_2(\Omega_x^2 - \Omega_z^2)\beta + d_3(\Omega_x\Omega_y - \Omega_z)\alpha - \\ \quad - d_2\Omega_x\Omega_z + \Omega_y = m_2(t), \end{array} \right. \quad (1.7)$$

где $h_i = \frac{f_i}{2I_i}, k_i^2 = c_i / I_i, d_i = D_i / I_i, m_2(t) = M_2(t) / I_2$.

Полученные системы дифференциальных уравнений описывают поведение чувствительного элемента карданового микромеханического гироскопа при переменном как по величине, так и по направлению произвольно ориентированном векторе переносной угловой скорости $\vec{\Omega}$. Для постоянного, но произвольно ориентированного по отношению к плоскости прибора вектора переносной угловой скорости система упростится и примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{\alpha} + 2h_1\dot{\alpha} + k_1^2\alpha - g\Omega_z\dot{\beta} - d_1(\Omega_y^2 - \Omega_z^2)\alpha + d_1\Omega_y(\Omega_x\beta + \Omega_z) = 0, \\ \ddot{\beta} + 2h_2\dot{\beta} + k_2^2\beta - g\Omega_z\dot{\alpha} - d_2(\Omega_x^2 - \Omega_z^2)\beta + \Omega_x(d_3\Omega_y\alpha - d_2\Omega_z) = m_2(t). \end{array} \right. \quad (1.8)$$

Если вектор измеряемой переносной угловой скорости ориентирован перпендикулярно плоскости прибора (рисунок), т. е. $\vec{\Omega} = \{0, 0, \Omega\}$, то система (1.8) будет иметь вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{\alpha} + 2h_1\dot{\alpha} + (k_1^2 + d_1\Omega^2)\alpha - g_1\Omega\dot{\beta} = 0, \\ \ddot{\beta} + 2h_2\dot{\beta} + (k_2^2 + d_2\Omega^2)\beta + g_2\Omega\dot{\alpha} = m_2(t). \end{array} \right. \quad (1.9)$$

Полученные уравнения (1.9) являются нелинейными относительно измеряемой величины - Ω . Кроме этого, в общем случае коэффициенты уравнений являются функциями времени. Нахождение решений такой системы подразумевает использование упрощающих допущений.

Библиографический список

1. Пельпор Д.С. Гироскопические системы. М.: Высш. школа, 1971. Ч. 1. 568 с.
2. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Приборы и системы ориентации, стабилизации и навигации на МЭМС-датчиках. Тула, 2017. 224 с.

УДК 681.586.2

Д.А. Капитонов

студент кафедры эксплуатации и управления аэрокосмическими системами

С.Ф. Скорина – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Одним из направлений развития инерциальных навигационных систем является применение в них микросистем. Интегрированные в беспилотный летательный аппарат микросхемы должны обеспечивать возможность регистрации всех параметров его движения с заданной точностью и обладать малыми массой и габаритными размерами.

Микромеханические акселерометры. Микромеханические акселерометры являются одними из первых компонентов микроэлектромеханических систем. Они позволяют измерить наклон, изменение положения объекта при ускорениях, линейное и вращательное ускорение, перегрузки, вибрации и удары. Условия эксплуатации технические характеристики могут быть совершенно разными: рабочие диапазоны температур от -60°C до 125°C , диапазон измерений от ± 0.2 г до ± 200 г, тренд нулевого сигнала до 0.005 г/час., стоимость колеблется от нескольких десятков до нескольких тысяч рублей, а габаритные размеры могут составлять единицы и десятки миллиметров. На сегодняшний день существует множество микромеханических акселерометров, отличающихся формой, габаритами, изготовителем. При этом классифицировать эти датчики можно по следующим признакам, приведенным на рис. 1 [1].



Рис. 1. Классификация микромеханических акселерометров

По наличию обратной связи различают микроакселерометры на прямопоказывающие и компенсационного типа. Схема прямого акселерометра представляет собой последовательное соединение элементов измерительной цепи и чувствительного элемента. А в приборах компенсационного типа осуществляется компенсирование силы инерции чувствительного элемента другой силой, которую можно измерить с необходимой точностью. Микроакселерометры подобного типа – это система с отрицательной обратной связью, которая позволяет уменьшить значение относительной погрешности.

По числу степеней свободы инерционной массы эти приборы делят на одноосные, двуосные и трехосные.

Микроакселерометры также делятся по виду перемещения инерционной массы на маятниковые и осевые. В первом случае при действии ускорения по оси чувствительности, инерционная масса изменяет свое положение, которое фиксируется датчиком перемещений. Сигнал отклонения преобразуется так, что создается момент, приводящий инерционную массу в исходное состояние. В установившемся состоянии сигнал с выхода схемы преобразования является выходным сигналом микромеханического акселерометра.

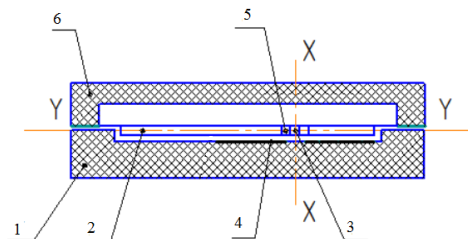


Рис. 2. Конструктивная схема микромеханического акселерометра маятникового типа [1]:
 1 – корпус; 2 – инерционная масса; 3 – торсионы; 4 – неподвижные электроды;
 5 – опорный элемент; 6 – диэлектрическая крышка

Осевой акселерометр может использоваться для измерения линейных ускорений при вибрациях и для контроля положения беспилотного летательного аппарата. При действии ускорения в направлении оси чувствительности инерционная масса, подвешенная на упругих торсионах, перемещается. Сигнал, снимаемый с датчика перемещений, приводит к возникновению внешних сил, стремящихся вернуть инерционную массу в установившееся положение.

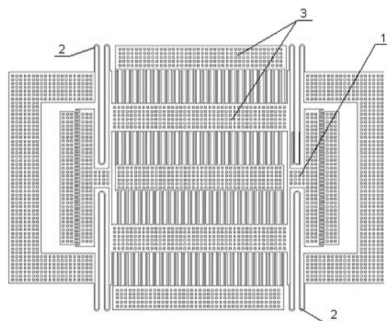


Рис. 3. Конструктивная схема MMA осевого типа [1]:
 1 – инерционная масса; 2 – торсионы; 3 – неподвижные пластины

По типу деформации упругого подвеса чувствительного элемента в микроакселерометрах могут использоваться консольный подвес, подвес на торсионах или подвесы, имеющие сложные деформации с кручением.

По способу съема выходного сигнала бывают емкостные, преобразователи на р-п переходах и преобразователи на поверхностно-акустических волновых резонаторах. Емкостные датчики позволяют решить широкий круг задач: определить текущие координаты (зная начальные координаты), перемещение и ускорение беспилотного летательного аппарата. Принцип действия емкостного акселерометра основан на изменении емкости чувствительного элемента с электродами при перемещении инерционной массы, являющейся его частью, под действием ускорения. Применение емкостной технологии в датчиках, используемых на беспилотниках, связано с их малой потребляемой мощностью, низкой температурной восприимчивостью, высокой чувствительностью, относительно малым смещением нуля, высокой надежностью, низкой цене и хорошим шумовым свойствам.

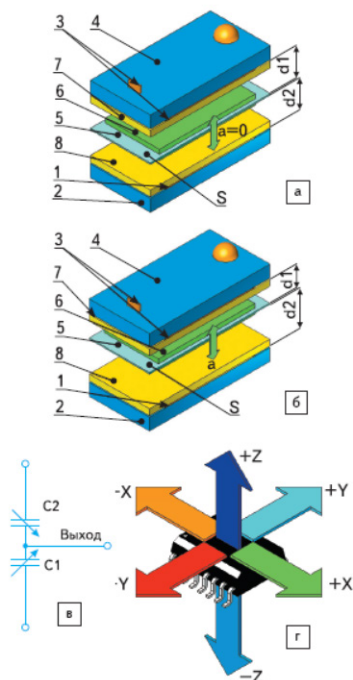


Рис.4. Схема дифференциального емкостного микроакселерометра [1]: а, б – физическая модель измерительной структуры: 1, 3 – неподвижные металлические обкладки; 2, 4 – зафиксированные печатные платы; 5 – подвижная обкладка; 6 – инерционная масса; 7, 8 – слои диэлектрика; S – фиксированная площадь перекрытия обкладок; d_1, d_2 – переменные расстояния между обкладками; a – акселерометр в состоянии покоя; б – под действием ускорения a ; в – эквивалентная электрическая схема; г – размещение измерительных осей и степеней свободы относительно корпуса ИС.

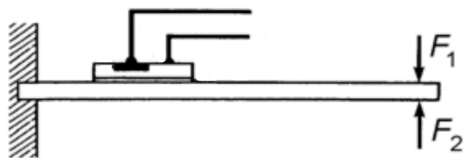


Рис. 5. Тензодатчик на $p-n$ переходе [1]

На рис. 5 представлен тензодатчик, смонтированный на консольной балке. Туннельный $p-n$ -переход получен путем сплавления кончика проволоки из алюминия в пластинку из кремния. Для питания

устройства необходим источник постоянного тока. Когда на консоль действует сила F_1 , p - n переход туннельного диода подвергается одноосному растяжению в плоскости перехода. Аналогично при приложении силы F_2 переход испытывает одноосное напряжение сжатия.

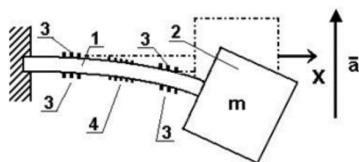


Рис. 6 Схема чувствительного элемента микроакселерометра [1]:

1 – консоль; 2 – инерционная масса; 3 – отражатели поверхностно-акустического волнового резонатора; 4 – встречно-штыревые преобразователи

При воздействии ускорения, консоль, нагруженная инерционной массой m , испытывает деформации. На поверхностях изгиба нанесены резонаторы, образованные отражателями и встречно-штыревыми преобразователями. Эти деформации приводят к пропорциональному изменению собственных частот резонаторов.

Микромеханические гироскопы. Микромеханические гироскопы используются для стабилизации направления движения беспилотного летательного аппарата, измерения его скорости поворота и угла наклона в инерциальном пространстве. Технические характеристики и условия эксплуатации следующие: рабочие диапазоны температур от -40°C до 130°C , диапазон измерений от $\pm 20^{\circ}/\text{с}$ до $\pm 500^{\circ}/\text{с}$, дрейф нуля до десятков $^{\circ}/\text{час}$., стоимость колеблется от нескольких десятков до нескольких тысяч рублей, а габаритные размеры могут составлять единицы и десятки миллиметров.

Основными элементами микромеханических гироскопов являются: инерционная масса, упругий подвес, анкера, элементы прямого и обратного преобразователя. Дополнительно микромеханический гироскоп может содержать такие дополнительные элементы, как компенсаторы изменения длины упругих элементов, кинематические связи, обеспечивающие либо синхронизм движения ИМ, либо увеличение масштабного коэффициента [2]. Все это многообразие можно классифицировать согласно рис. 7.



Рис. 7. Классификация микромеханических гироскопов

Инерционная масса – это один из важнейших элементов микромеханического гироскопа. Ее поступательное движение приводит к появлению количества движения, а вращательное – к моменту количества движения. По этому признаку можно различать одномассовые и многомассовые.

От количества чувствительных осей микромеханического гироскопа мы можем осуществлять измерение относительно одной или двух координатных осей. Следовательно, приборы можно классифицировать как однокомпонентные или двухкомпонентные.

Для микромеханических гироскопов известны два типа подвесов: механические и неконтактные. Механические подвесы существуют в виде упругих элементов различной формы (петля, спираль, стержень и др.). Они могут располагаться по периметру инерционных масс - наружные или внешние. Другие могут располагаться в самой инерционной массе, либо между несколькими инерционными массами - внутренние. Неконтактный подвес может быть принципиально любым, реализованным на физическом принципе, обеспечивающем левитацию инерционной массы. Неконтактный подвес может быть назван по физическому принципу его работы: электростатический, магнитный и др.

Так как для работы микромеханического гироскопа в режиме движения необходимо поддерживать постоянную амплитуду и частоту колебаний чувствительного элемента, в одномассовых схемах для решения этой задачи используются различные датчики и электронные цепи, в то время, как в многомассовых равенство частот и амплитуд обеспечивается применением кинематической связи.

В микромеханических гироскопах существует два вида взаимного перемещения инерционных масс. В одном случае инерционные массы (или масса) перемещаются в одной плоскости. В другом инерционные массы в режиме чувствительности выходят из плоскости их перемещения в режиме движения.

В микромеханических гироскопах используются любые виды обратных преобразователей (актюаторы), обеспечивающих привод инерционных масс в режиме движения с нужными параметрами: магнитоэлектрические, электромагнитные, пьезоэлектрические, электростатические. Ровно так же могут быть использованы любые типы датчика съема сигнала (прямые преобразователи) вырабатывающие информацию об измеряемых величинах: оптические, магнитоэлектрические, электростатические, пьезорезистивные и др. [2]

Таким образом, сегодня человечество имеет широкий выбор микромеханических акселерометров и гироскопов, имеющих разные характеристики с разными ценовыми диапазонами. Несмотря на такие свойства, как сверхмалые габариты, малая масса и малое энергопотребление, все еще идут работы по улучшению точности этих датчиков.

Библиографический список

1. Шкурко Д.В. Исследование микромеханического акселерометра на поверхностных акустических волнах. URL: <http://refleader.ru/yfsrnaqas.html> (дата обращения: 13.04.2018).
2. Мусалимов В.М., Ротц Ю.А., Астафьев С.А., Амвросьева А.В. Расчет надежности упругих элементов микромеханических гироскопов. Спб.: ИТМО. 2012. С. 29-30.
3. Лысенко И.Е. Теория микромеханических сенсоров угловых скоростей и линейных ускорений LR-типа. Таганрог: ЮФУ, 2009. URL: <http://izv-tn.tti.sfedu.ru/wp-content/uploads/2009/1/20.pdf> (дата обращения: 13.04.2018).
4. Сырецкий Г.А. MEMS-сенсоры ориентации и параметров движения. Новосибирск: СГГА, 2012.

УДК 681.586.48

Т. Ле

студент кафедры эксплуатации и управления в аэрокосмических системах
П.Н. Неделин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДАТЧИКИ Т30U

Ультразвук, звук частотой более 16 кГц человеческий слух не воспринимает, тем не менее скорость его распространения в воздушной среде известна, и составляет 344 м/с. Располагая данными о скорости звука и времени его распространения, можно вычислить точное расстояние, которое прошла ультразвуковая волна. Этот принцип положен в основу работы ультразвуковых датчиков.

Ультразвуковые датчики широко применяются в самых разных сферах производства, и в некотором роде являются универсальным средством решения многих задач автоматизации технологических процессов. Такие датчики применяются для определения удаленности и местонахождения определенных объектов.

Определение уровня жидкости, контроль передвижения объекта, измерение расстояния – лишь некоторые из возможных применений ультразвуковых датчиков.

Как правило, на производствах немало источников загрязнения, что может стать проблемой для многих механизмов, но ультразвуковой датчик, в силу особенностей его работы, абсолютно не боится загрязнений, поскольку корпус датчика, при необходимости, может быть надежно защищен от возможных механических воздействий [1].

Ультразвуковые датчики уровня используют для бесконтактного измерения постоянного и предельного уровня жидких и сыпучих продуктов. Датчик состоит из генератора ультразвукового сигнала, приемного устройства и электронного контроллера. Ультразвуковой датчик работает по принципу радара. Излучаемый ультразвуковой импульс от датчика отражается от поверхности и попадает обратно в датчик. По времени распространения прямого и отраженного сигнала судят об уровне или высоте положения объекта.

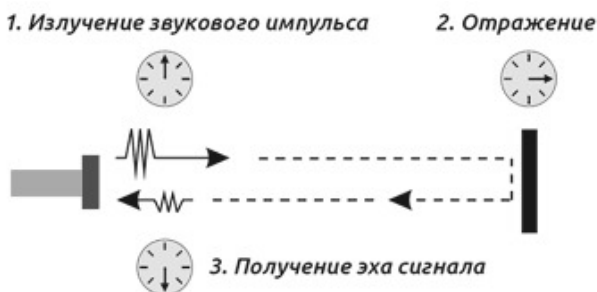


Рис. 1. Принцип работы ультразвукового датчика

В зависимости от области внедрения, выпускаются датчики уровня с пороговым или аналоговым выходами, а также цифровыми интерфейсами, к примеру, Profibus, RS485. Ультразвуковые датчики компактны, имеют надежную конструкцию, не имеют подвижных частей и практически не нуждаются в обслуживании. Инновационная электроника ультразвуковых датчиков уровня и их правильный монтаж позволяют убрать помехи, возникающие от сигнала.

Датчики U-GAGET30U представляют собой комфортные для использования ультразвуковые датчики, которые отлично подходят для самых трудных условий эксплуатации. Простое программирование с помощью кнопок гарантирует гибкость во многих случаях применения. Они исключительно пригодны

для задач измерения, например, для контроля уровня высоты положения объекта. Датчик обладает степенью защиты IP67, что позволяет ему работать в жестких условиях окружающей среды. Прибор гарантирует также работоспособность в широком диапазоне температур окружающей среды: $-25...+70^{\circ}\text{C}$.

В датчике имеется два переключающих выхода, которые могут быть запрограммированы вне зависимости друг от друга на различные граничные значения измерительного диапазона, либо совместно на схожие граничные значения. Каждый выход может быть установлен на заданное значение, симметрично расположенное внутри измерительного окна шириной 10 мм [2].

Таблица 1.

Характеристики ультразвукового датчика уровня Т30U

Измерительный диапазон и частота	Подключение	Напряжение питания	Аналоговый выход	Скорость срабатывания
150 мм...1 м 228 кГц	Кабель 2 м 5-контактный разъем M12x1	12...24В постоянного тока	4...20 мА	48 мс
300 мм...2 м 128 кГц	Кабель 2 м 5-контактный разъем M12x1	12...24В постоянного тока	4...20 мА	96 мс



Рис. 2. Ультразвуковые датчики уровня Т30U

В заключение нужно отметить, что ультразвуковой способ измерения является современным, бесконтактным и достаточно точным, на основе этого способа возможно построение очень гибкой системы, которая может быть применена во многих целевых отраслях.

Современные ультразвуковые измерители малых высот и уровня положения надежно и эффективно применяются в широком диапазоне изменения давления, температуры, плотности, влажности и электропроводности воздуха при наличии переменных по величине и направлению действия сил, изменении положения в пространстве [3].

Библиографический список

1. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1976. 320 с.
2. Осипов Л.В. Ультразвуковые диагностические приборы. Режимы, методы и технологии. М.: Изомед, 2011. 316 с.
3. Жданкин В. Ультразвуковые датчики для систем управления // Современные технологии автоматизации. 2003. №4. С. 68-79.

УДК 629.735.33

М. С. Макаренко

магистрант кафедры аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов

В. Н. Фенога – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ЕМКОСТНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МГНОВЕННОГО РАСХОДА КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА**

Желание создать высоконадежные авиационные и космические двигательные установки связана с необходимостью достоверной оценки их технического состояния в процессе штатной эксплуатации. Главной особенностью таких приборов должно быть отсутствие механических чувствительных элементов. На данный момент одно из наиболее перспективных направлений развития современной авиационной промышленности является развитие спутников и микроспутников. Следовательно, для выполнения поставленных задач должно учитываться: габариты прибора, простота конструкции и возможность использования технологий «невысокого уровня», широко применяемых в приборостроении [1].

Благодаря использованию новых физических принципов измерения скорости потока, такие как использование емкостных преобразователей для контроля расхода жидкости, могут использоваться и в других отраслях приборостроения. Обладая «миниатюрными» размерами и обладающие высокой чувствительностью к малым расходам, они могут значительно упростить и удешевить производство.

Для решения поставленной задачи будет использоваться емкостной метод, который основан на поляризации диэлектрической жидкости при движении ее в электрическом поле с помощью емкостного преобразователя. Его принцип действия основан на движении вместе с диэлектрической жидкостью электрических зарядов. Также разрабатывается модель емкостного преобразователя, конструкция которого будет представлена в виде трубы изготовленной из изоляционного материала и располагающимися снаружи кольцевыми электродами, где нечетные электроды соединяют одним проводом, а четные – другим. В итоге, при движении зарядов на концах проводов возникает измерительный сигнал синусоидальной формы, частота f которого определяется уравнением:

$$f = \frac{V}{2d},$$

где V — скорость движения жидкости; d – расстояние между осями двух соседних электродов.

С помощью данного принципа можно исследовать процессы, протекающие в датчике, прежде всего явления «сноса заряда» при движении рабочей жидкости.

За основу будет браться емкостный преобразователь расхода диэлектрических жидкостей, где диэлектрическая жидкость, расход которой измеряется, подается в проточную камеру 2 (рисунок). При этом на выходе устройства управления б присутствует напряжение положительной или отрицательной полярности. Диэлектрическая жидкость, находящаяся между электродами, образующими первую группу конденсаторов C_1 , поляризуется и конденсаторы C_1 заряжаются.

Если есть какой-либо расход диэлектрической жидкости, то в камере 2 она будет протекать со скоростью V , значение которой пропорционально величине расхода. Часть зарядов поляризованной диэлектрической жидкости будет унесена из пространства под электродами C_1 . В этом случае напряжение на конденсаторах C_2 будет уменьшаться из-за протекания поляризованной диэлектрической жидкости между электродами конденсаторов C_2 . Выход конденсаторов C_2 подключен к входу устройства управления б. Когда появится напряжения на конденсаторе C_2 , устройство управления б будет менять полярность напряжения, подаваемое на конденсатор C_1 на противоположное. В результате диэлектрическая жидкость, протекающая между электродами конденсатора C_1 , поляризуется напряжением обратной полярности, а полярность напряжения на конденсаторах C_2 изменится, после чего процесс повторяется.

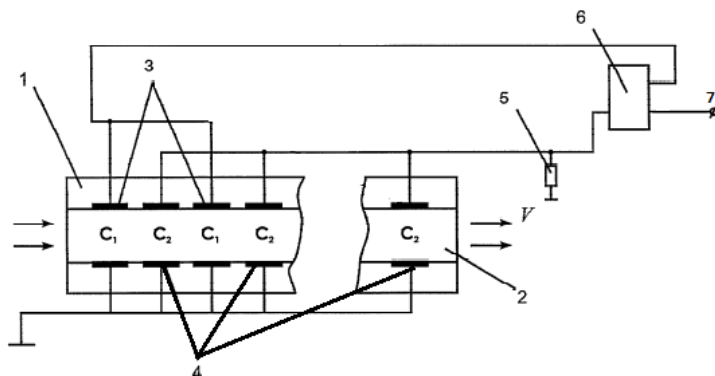


Рисунок. Блок-схема емкостного преобразователя расхода диэлектрических жидкостей

Резистор 5 предназначен для обеспечения среднего значения постоянной составляющей на конденсаторах C_2 , равного нулю. На выходе устройства управления 6, соединенным с контактом 7 для подключения измерительного устройства формируется логическое напряжение с частотой пропорциональной расходу жидкости [1].

Из вышесказанного можно сделать выводы.

1. Преимуществами данного преобразователя является работоспособность в сложных условиях, компактность и простота реализации.
2. При исследовании прибора возникает ряд вопросов относительно расположения, конструкции датчиков и их влияния на прохождение жидкости и чувствительности измерений, влияния параметров жидкости и др.
3. При исследовании и создании емкостного преобразователя необходимо будет учитывать методы измерения жидкости и провести анализ уже известных статей и изобретений по данному вопросу, взяв во внимание все недостатки конструкций и других параметров.

Библиографический список

1. Сулимов Ю.В., Титаренко А.К. Емкостной преобразователь расхода диэлектрических жидкостей // Естественные и технические науки 2009. №4. С. 310-311.

УДК 528.526.6

Т. Н. Петрашевич

студент кафедры эксплуатации и управления в аэрокосмических системах

Н. А. Овчинникова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП**

В настоящее время микромеханические гироскопы (ММГ) находят широкое применение в автомобилестроении, медицине, мобильных телефонах, навигации, энергетике, нефтяной и газовой промышленности, системах управления для определения углового положения объекта. Их применяют также в качестве демпфера оптических приборов (бинокли, телескопы, видеокамеры) для стабилизации изображения.

Наряду с расширением области применения ММГ, постоянно возрастают требования к точностным и эксплуатационным характеристикам гироскопических приборов. ММГ используется для измерения угловой скорости и состоит из интегрированного устройства (электронного чипа) с кварцевой подложкой, габаритные размеры которого составляют десятки-сотни миллиметров, состоящие из механического чувствительного элемента и электронных систем управления.

Конструктивным узлом, определяющим функциональные возможности микрогироскопа, является чувствительный элемент (ЧЭ). ЧЭ микрогироскопа можно назвать инерционной массой в подвесе с приводом, обеспечивающим режим движения, на который при наличии переносной угловой скорости вследствие возникающего ускорения Кориолиса и соответствующих ему сил инерции, генерируются вторичные колебания (режим чувствительности).

ММГ отличаются видами первичных и вторичных колебаний инерционной массы. Первичные колебания называют также режимом движения или движением по координате возбуждения, вторичные – режимом чувствительности или движением по координате выходного сигнала. В типе первая буква означает вид первичных колебаний, а вторая вторичных L – *Linear* (поступательный), R – *Rotate* (вращательный).

От того, как движется ЧЭ, ММГ можно разделить на три группы:

- 1) LL -типа (LL -гироскопы), движения ЧЭ по двум степеням свободы называют поступательными;
- 2) LR - или RL -типа (LR - или RL -гироскопы), сочетающих в себе различные движения ЧЭ: поступательное по одной из осей и вращательное по другой;
- 3) RR -типа (RR -гироскопы) с вращательными движениями ЧЭ к измеряемой угловой скорости по двум степеням свободы.

На данный момент наиболее перспективными являются ММГ LL -типа с поступательными входными и выходными колебаниями ЧЭ, так как имеют более высокую разрешающую способность по сравнению с ММГ LR -типа и RR -типа, которые используют в своих ЧЭ угловые колебания [1].

В двухмассовом ММГ LL – типа есть две подвижные инерционные массы (каждая площадью 4 мм²), подвешены на упругих элементах относительно базового элемента конструкции из стекла (рис. 1). Массы посредством трех (левый, правый, центральный) электростатических двигателей гребенчатой структуры приводятся в вибрационное движение со скоростью V параллельно плоскости базы. Векторы скоростей находятся в противофазе друг к другу. При наличии угловой скорости Ω вокруг входной оси под действием сил инерции Кориолиса F_1 и F_2 , одна масса будет подниматься, а другая — опускаться по отношению к плоскости вибрации. Чувствительные пластины электродов емкостного преобразователя перемещений формируют выходной сигнал гироскопа. Имеются также пластины для формирования контура электростатической обратной связи.

Достоинством этого типа является его высокая защищенность от линейных перегрузок, вибрационная и ударная прочность, которая обеспечивается воздушным демпфированием в подвесе и дифференциальными структурами подвеса и системы съема. Сервисная электроника в интегральном исполнении расположена на одной подложке с механической структурой в одном чипе, что существенно снижает уровень паразитных и шумовых сигналов в системе съема. Еще одним достоинством этого типа является то, что не надо обеспечивать вакуум в корпусе гироскопа [2].

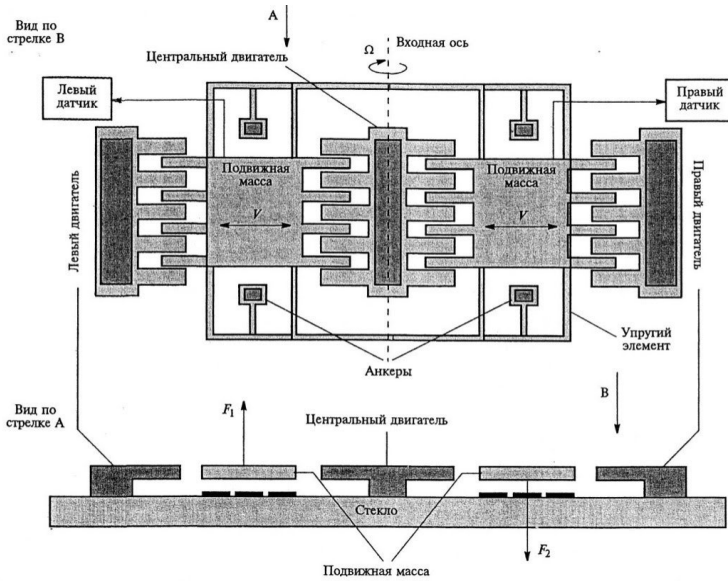


Рис. 1. Схема построения двухмассового ММГ LL – типа

Фирма ANALOG DEVICES в настоящее время серийно выпускает гироскопы ADXRS 623 с диапазоном измерения 150 град/с. ADXRS623, это полный датчик угловой скорости (гироскоп), который использует процесс поверхностной микрообработки Analog Devices, Inc. (рис. 2), чтобы создать функционально полный и недорогой датчик угловой скорости, интегрированный со всей необходимой электроникой на один чип. Выходной сигнал, RATEOUT (1В, 2А), представляет собой напряжение, пропорциональное угловой скорости вокруг оси, которая является нормальной к верхней поверхности упаковки. Полоса пропускания задается внешним конденсатором. Для методов компенсации предусмотрен выход температуры. Два цифровых входа самодиагностики электромеханически возбуждают датчик для проверки правильной работы как датчика, так и схем формирования сигнала. ADXRS623 доступен в комплекте с керамической шаровой решеткой размером 7 мм×7 мм×3 мм (CBGA).

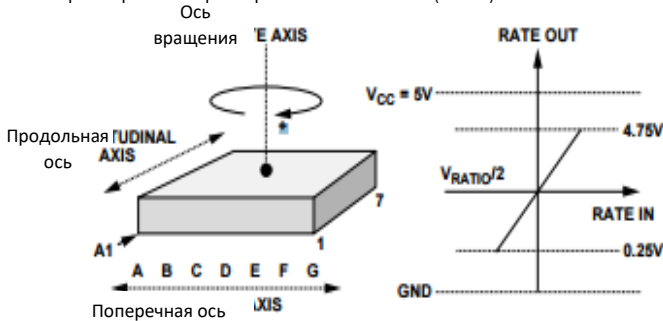


Рис. 2. Гироскоп ADXRS623

ADXRS623 работает по принципу резонаторного гироскопа при ускорениях до 2000g. Две чувствительные к кремнию кремниевые структуры содержат кадр сглаживания, который электростатически приводится в резонанс, создавая необходимый элемент скорости для создания силы Кориолиса при вращении. Результирующий сигнал подается на ряд ступеней усиления и демодуляции, которые генерируют выходной сигнал электрической скорости. Конструкция с двумя датчиками отклоняет внешние силы и вибрацию. Изготовление датчика с помощью системы кондиционирования сигналов обеспечивает целостность сигнала в шумных средах. Для работы электростатического резонатора требуется от 18 до 20 В. Поскольку только 5 В обычно доступны в большинстве приложений, на чипе включен зарядный насос. Если имеется внешний источник питания от 18 до 20 В, два конденсатора на CP1-CP4 могут быть опущены, и это питание можно подключить к контакту CP5 (6D, 7D). Обратите внимание, что CP5 не должен быть заземлен при подаче питания на ADXRS623. Несмотря на отсутствие повреждений, при определенных условиях зарядный насос может не запускаться после того, как земля удалена без предварительного извлечения энергии из ADXRS623.

Гироскопы ADXRS могут использоваться, например, как автомобильные датчики поворота. Кроме того, их можно применять в интегрированных с GPS системах навигации, в системах стабилизации различных подвижных объектов и во многих других случаях [3].

На пути совершенствования ММГ стоит много проблем, требующих решения на новом уровне развития механики. Они связаны с поиском новых технологических приемов формирования микромеханических структур с необходимыми характеристиками размеров, разработкой системы съема показаний, устойчиво работающей при микроперемещениях ЧЭ, и обеспечением требуемых характеристик чувствительности в низкочастотной области рабочих частот. Оттого, насколько удастся продвинуться в решении этих проблем, будет зависеть и будущее ММГ [4].

Библиографический список

1. Распов В.Я. Микромеханические приборы. М.: Машиностроение, 2007. 400 с.
2. Меркурьев И.В., Подалков В.В. Динамика микромеханического и волнового твердотельного гироскопов. М.: Физматлит, 2009. 226 с.
3. Матвеев В.А. Гироскоп – это просто. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. 191 с.
4. Неаполитанский А.С. Микромеханические вибрационные гироскопы. М.: Когито-Центр, 2002. 118 с.

УДК 004.42

Д. Д. Аствацатуров

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. В. Шахмиров – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФОТОГРАФИЙ В 3D-МОДЕЛИ

Каждый человек ежедневно сталкивается с проблемой выбора вещей, в том числе и одежды. Ниже приведено техническое задание мобильного сервиса, позволяющего сократить время поиска элементов гардероба, а также выступающего перспективным рекламным инструментом для бизнеса.

Необходимо разработать приложение, в котором пользователь сможет создавать новые сочетания одежды, не открывая реального шкафа.

Этапы создания внешнего вида.

1. Формирование модели фигуры пользователя.

1.1. С помощью встроенных форм.

1.2. Пользуясь детальной настройкой параметров (ширина плеч, длина туловища, ширина таза и т.д.).

2. Добавление моделей одежды.

2.1. Выбор готовых 3d моделей в онлайн магазине.

2.2. Добавление модели одежды по QR-коду на этикетке в оффлайн магазине.

2.3. Преобразование одежды в 3d объект: пользователь делает несколько снимков одного элемента одежды с нескольких разных ракурсов, отправляет фотографии на сервер. Далее визуализатор на основе имеющихся фотографий делает 3D модель и высылает обратно. После чего пользователь в своем виртуальном гардеробе имеет доступ к данной модели.

Функция добавления моделей одежды в виртуальный гардероб пользователя в оффлайн магазине улучшает поведенческие особенности покупателей, уменьшая неопределенность выбора при отсутствии возможности примерки данного элемента гардероба в сочетании с уже имеющимся у пользователя.

Преимущества для бизнеса

Данное приложение является инструментом рекламы для оффлайн магазинов и торговой площадки, объединяющей все магазины одежды.

Для бизнеса агрегаторы товарных предложений — это дополнительный канал продаж, а зачатую и канал продвижения собственных услуг или продуктов, так как агрегаторы нередко предлагают своим участникам маркетинговую поддержку — как на коммерческой, так и на некоммерческой основе.

Маркетинговая поддержка

Нишевый агрегатор может стать флагманом, который помогает целому сегменту рынка «освоиться» в сети.

Увеличение продаж

Нередко агрегаторы становятся не дополнительным, а основным каналом продаж. Владимир Орлов, управляющий партнер Obed.ru, рассказывает, что доля клиентов, приходящих с Obed.ru, в некоторых ресторанах достигает 80%.

В поисковой выдаче ссылки на сайт небольших компаний — мини-отелей, ресторанов, региональных служб такси — легко теряются среди объявлений крупных игроков рынка. Для подобных сетевых магазинов одежды агрегатор — реальный шанс привлечь покупателя.

Борьба с возвращением онлайн-покупок

Возвращение онлайн покупок – огромная проблема для онлайн-магазинов. Покупатель понимает, что возвращение бесплатно, и мода на возврат растет.

С ростом возвратов растут и потери интернет-магазинов, которые по-новому размещают товар на складе, проверяют качество, переупаковывают. К слову, в 2017 г. у одного из крупнейших ритейлов потери составили порядка 400 млрд долл. из-за возвращенной продукции.

Статистика возврата проданной одежды:

- 1) оффлайн магазины – 8%;
- 2) онлайн магазины – 30%.

Виртуальная примерка одежды призвана сократить долю возврата в интернет магазинах за счет виртуальной примерки.

Основные прогнозируемые проблемы

1. Высокое время ожидания готовых моделей при большом количестве присланных фотографий разных объектов. Решение: создание нейронной сети, которая позволит преобразовывать 2D изображения в 3D с последующей корректировкой визуализатора.

2. Подробная детализация 3D-моделей: тип ткани, плотность материала, прозрачность (и т.д.) ведут к увеличению требуемого места на сервере и в памяти мобильного устройства пользователя. Решение: уменьшение полигональности 3D моделей, формирование больших мощностей на сервере, что обеспечит пользователю пользоваться своими моделями одежды только при подключении к серверу, если нет возможности скачать модель на устройство.

ОФОРМЛЕНИЕ ТЗ ПО ГОСТ 34.003-90

Согласно ГОСТ 34.003-90 «Автоматизированные системы. Термины и определения разработка» техническое задание включает в себя следующие пункты:

Общие сведения

Разработать мобильное приложение, позволяющее пользователю подбирать свой гардероб по имеющимся изображениям одежды, также реализовать возможность поиска виртуальной примерки и покупки онлайн одежды в магазинах.

Назначение и цели создания (развития) системы:

Пользователь больше не тратит время на поиски одежды в шкафу, а с помощью готовых 3D моделей своего тела и гардероба создает новые сочетания.

Магазины также обладают моделями одежды новой и предыдущих коллекций, что позволяет сократить время в очередях, автоматизировать процесс подбора и покупки одежды в оффлайн магазинах.

Характеристика объектов автоматизации

Объектом автоматизации является платяной шкаф в общем понимании. Этим шкафом является весь гардероб пользователя, а также те вещи, которые он захотел внести в свой виртуальный шкаф.

Требования к системе

Мобильная операционная система – не ниже Android 4.4. Разработка на IOS рассматривается в перспективе, так как платежеспособность пользователя роли не играет, важна распространенность ОС. Платформой Android владеют 80.7% пользователей, в то время, как IOS присутствует у 17,7%. Кроме того, для разработчика Android является более бюджетной ОС, что является одним из ключевых факторов выбора платформы.

Необходимо наличие базового сервера для хранения 3D моделей магазинов.

Состав и содержание работ по созданию системы:

1. Разработка – создание алгоритмов, реализация.
2. Тестирование.
3. Внедрение – размещение приложение в магазине PLAY MARKET, создание сайта приложения со всей необходимой для пользователя информацией и со ссылкой на скачивание приложения.

Порядок контроля и приемки системы:

1) тестирование серверов при различной нагрузке системы путем обращения большого количества пользователей к серверу.

2) проверка качества работы на всех версиях ОС, а также на различных популярных разрешениях экрана.

Требования к составу и содержанию работ по подготовке объекта автоматизации к вводу системы в действие:

Закупка сервера, мобильных устройств с различными версиями ОС, а также с различными разрешениями экрана для проведения тестов, аренда помещения для установки сервера, аренда помещения, а также закупка необходимой мебели и технических средств для обеспечения комфортной работы офиса.

Требования к документированию

Согласованный Разработчиком и Заказчиком перечень подлежащих разработке комплектов и видов документов, соответствующих требованиям ГОСТ 34.201-89 и НТД отрасли Заказчика.

Источники разработки: настоящее техническое задание разработано на основе следующих документов и информационных материалов: ГОСТ 34.003-90 Автоматизированные системы. Термины и определения

Библиографический список

1. Сергеев А. А. Бизнес-планирование. М.: Юрайт, 2016. 463с.
2. URL: geektimes.com (дата обращения: 12.05.2018).
3. ГОСТ 34.003-90 Автоматизированные системы. Термины и определения.

УДК 004.71

Д. А. Богданов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Ф. А. Таубин – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ СЕТЕВОГО СИМУЛЯТОРА NS-3 ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

На сегодняшний день сетевые технологии развиваются очень быстрыми темпами. Значительная роль в работе всех беспроводных сетей отведена протоколам маршрутизации. Они помогают осуществлять самоорганизацию узлов и доставку пакетов оптимальными маршрутами в соответствии с алгоритмами, перечисленными в используемом в сети протоколе. С помощью протоколов маршрутизации оптимизируется использование ресурсов сети, таких как расход энергии, использование процессорного времени, памяти и т.д.

Следовательно, протоколы беспроводных сетей необходимо изучать, и для этого существуют различные сетевые симуляторы, в статье будет рассмотрен один из них – сетевой симулятор NS-3.

Одной из самых важных проблем в исследованиях беспроводных сетей является также высокая стоимость специализированного оборудования. Именно поэтому были созданы программные продукты, позволяющие выполнять имитационное моделирование беспроводных сетей. Появление подобного ПО позволило проводить необходимые исследования и эксперименты гораздо экономнее и получать практически те же результаты, что и на реальном оборудовании.

Беспроводные компьютерные сети – это технология, позволяющая создавать вычислительные сети, полностью соответствующие стандартам для обычных проводных сетей, без использования кабельной проводки.

В качестве носителя информации в таких сетях выступают радиоволны СВЧ-диапазона, а также инфракрасное, оптическое или лазерное излучение.

Существует множество беспроводных технологий: WiFi, WiMAX, Bluetooth. Каждая технология обладает определенными характеристиками, которые определяются ее областью применения. Существуют различные подходы к классификации беспроводных технологий:

По дальности действия

1. Беспроводные персональные сети (WPAN — WirelessPersonalAreaNetworks). Примеры технологий — Bluetooth.
2. Беспроводные локальные сети (WLAN — WirelessLocalAreaNetworks). Примеры технологий — Wi-Fi.
3. Беспроводные сети масштаба города (WMAN — Wireless Metropolitan Area Networks). Примеры технологий — WiMAX.
4. Беспроводные глобальные сети (WWAN — Wireless Wide Area Network). Примеры технологий — CSD, GPRS, EDGE, EV-DO, HSPA.

Классификация по области применения

1. Корпоративные (ведомственные) беспроводные сети — создаваемые компаниями для собственных нужд.
2. Операторские беспроводные сети — создаваемые операторами связи для возмездного оказания услуг.

Классификация по типу организации беспроводных сетей

1. **Режим Ad-Hoc** (IndependentBasicServiceSet (IBSS) или Peer-to-Peer) – простейшая структура локальной сети, когда абонентские станции (ноутбуки или компьютеры) взаимодействуют непосредственно друг с другом.
2. В режиме BSS узлы сети взаимодействуют друг с другом не напрямую, а через точку доступа (AccessPoint, AP);
3. **Режим ESS** позволяет объединить несколько точек доступа, т.е. объединяет несколько сетей BSS. В данном случае точки доступа могут взаимодействовать и друг с другом.

При идеальных условиях распространения радиоволн зона покрытия одной точки доступа будет иметь следующие значения: сеть стандарта IEEE 802.11a – 50 м; сети 802.11b, g, n – порядка 100 м.

Маршрутизация – это процесс определения оптимального маршрута следования данных в сетях связи. Маршруты могут задаваться административно (статические маршруты), либо вычисляться с помощью различных алгоритмов маршрутизации (динамические маршруты).

Различают три вида маршрутизации: простая; фиксированная; адаптированная.

Особенность простой маршрутизации заключается в том, что при выборе маршрута не учитывается изменение топологии сети и изменение состояния сети. Простая маршрутизация не обеспечивает направленную передачу пакетов и имеет низкую эффективность.

Фиксированная маршрутизация характеризуется тем, что при выборе маршрута передачи учитывается изменение топологии и не учитывается изменение нагрузки сети. Для каждого узла направление передачи выбирается по таблице маршрутов, которая определяет кратчайшие пути.

Адаптивная маршрутизация отличается тем, что принятие решения по направлению передачи пакетов осуществляется с учетом изменения топологии и нагрузки сети.

В настоящее время беспроводные сети передачи данных активно развиваются, в том числе большое распространение получает такой класс, как Adhoc-сети.

Это одноранговые беспроводные сети передачи данных с переменной топологией и отсутствием специальной структуры, где каждый узел сети может выполнять функции маршрутизатора и также принимать участие в ретрансляции пакетов. Данные сети применяются во время военных действий, в системах транспорта и силовых структурах. Структура Adhoc-сети изображена на рисунке [1].

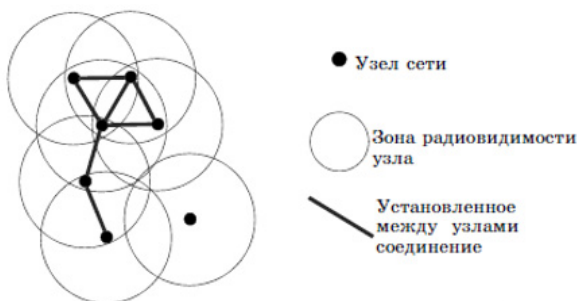


Рисунок. Пример структуры Adhoc сети

Специфика этих сетей состоит в том, что их топология постоянно изменяется в связи перемещением узлов сети или изменением условий распространения радиосигнала. Также для Adhoc сетей, как и для любых других беспроводных сетей, характерны ограниченная полоса пропускания и зона радиовидимости [1].

Существующие на данный момент протоколы маршрутизации можно классифицировать следующим образом.

- По типу используемых для маршрутизации данных [1]:
 1. Топологические.
 2. Географические.
- По принципу работы [1]:
 1. Проактивные или табличные.
 2. Реактивные или работающие по запросу.
 3. Гибридные.
- По критерию определения оптимального маршрута [1]:
 1. Протоколы вектора расстояния [1].
 2. Протоколы со сложной метрикой маршрутов или протоколы состояния каналов.
- По числу задействованных в маршрутизации уровней ЭМВОС (сетевая модель OSI) [1]:

1. Одноуровневые.
2. Межуровневые.
 - По наличию поддержки нескольких маршрутов до одного адресата [1]:
 1. Однопутевые.
 2. Многопутевые.

В настоящий момент известны следующие протоколы маршрутизации в беспроводных Adhoc сетях: AODV (AdhocOn-DemandDistanceVector); DSR (DynamicSourceRouting); OLSR (OptimizedLink-StateRouting); FSR (FisheyeStateRouting); LANMAR (Landmarkroutingprotocol); ZRP (ZoneRoutingprotocol) [1].

Каждый класс протоколов имеет свои преимущества и недостатки при использовании в Adhoc сетях. Сравнение протоколов затруднено тем, что на процесс передачи данных в Adhoc сетях оказывают большое влияние различные факторы, которые носят случайный характер. Поэтому основным инструментом сравнительного анализа протоколов маршрутизации является имитационное моделирование, которое осуществляется посредством компьютерных программ – симуляторов, без применения реального оборудования [1].

На сегодняшний день известно достаточно много сетевых симуляторов. Одними из популярных продуктов являются OPNET, OMNET, OMNET++, NS-2, NS-3. Существуют также узкоспециализированные симуляторы, созданные лишь для моделирования определенного оборудования.

NS-3 является дискретно-событийным сетевым симулятором с открытым кодом и свободным программным обеспечением, распространяемым под лицензией GNU GPLv2, и ориентирован на исследовательское применение, а также применение в образовательных целях. Исходные коды NS3 открыты для исследования, модификации и использования и доступны на сайте проекта <http://www.nsnam.org> [2].

NS-3 создан, чтобы заменить собой существующий популярный NS-2. NS-3 – это новый симулятор и у него нет обратной совместимости с NS-2. Основное отличие между NS-2 и NS-3 состоит в том, что они имеют различные ядра (C++ и Python), протоколы спроектированы, чтобы быть наиболее близкими к практическим реализациям, используются более эффективные виртуальные машины. NS-3 предоставляет возможность трассировки и сбора статистики для изменения выхода моделей без необходимости перекомпиляции ядра моделирования [2].

NS3 является очень гибким и в то же время мощным средством моделирования за счёт использования C++ в качестве встроенного языка описания моделей. Помимо C++, может использоваться также Python. Оба языка в симуляторе равноправны и принимаются для описания моделей телекоммуникационных систем.

В NS3 разработаны модели беспроводных типов сетей, позволяющие проводить моделирование даже с движущимися объектами в трехмерном пространстве. Разработаны модели для построения проводных топологий различной сложности, а также смешанных [3].

Симулятор не имеет собственного графического интерфейса, однако для средств визуализации моделей используются такие проекты, как NetAnimator и PyViz.

NetAnim является автономным аниматором, основанным на QT. В настоящее время он анимирует моделирование с помощью файла трассировки XML, собранного во время моделирования. Первая версия была разработана Джорджем Ф. Райли.

Существует также такой графический интерфейс, как PyViz, это визуализатор, который не использует файлы трассировки. Это может быть наиболее полезно для целей отладки, т.е. выяснить, являются ли модели мобильности тем, что вы ожидаете, где отбрасываются пакеты и т. д. Существует также встроенная интерактивная консоль python, которая может использоваться для отладки состояния запущенных объектов. Хотя он в основном написан на Python, он работает как с Python, так и с симуляциями на C++.

В результате можно сделать вывод, что NS-3 имеет ряд существенных достоинств:

- NS-3 является свободным программным обеспечением, распространяемым под лицензией GNU GPLv2;
- NS-3 является очень мощным средством моделирования за счет использования C++ в качестве встроенного языка описания моделей. Также, помимо C++, может использоваться Python. Оба языка в симуляторе равноправны и принимаются для описания моделей телекоммуникационных систем;

- из приведенного примера видно, что мы можем создавать собственные модели любой сложности или использовать уже готовые;
- работа над симулятором не прекращается, его постоянно улучшают.

Библиографический список

1. Винокуров В. М., Пуговкин А. В., Пшенников А. А. и др. Маршрутизация в беспроводных мобильных Adhoc сетях // Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. С. 1-5.
2. NS-3 (network simulator). URL: <https://www.nsnam.org/overview/what-is-ns-3/> (дата обращения: 12.04.2018).
3. Балашов В. Обзор сетевого симулятора NS-3. URL: https://mirror.yandex.ru/mirrors/ftp.linux.kiev.ua/conference/peers/lvee/2010/LVEE_2010_31.pdf (дата обращения: 12.04.2018).

УДК 003.09

А. В. Богданова

студентка кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. В. Хрусталева

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Д. Д. Аствацатуров

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Е. М. Забаев

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Ю. Е. Шейнин – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

ЦИФРОВАЯ ЗАЩИТА РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ

В настоящее время удостоверение в подлинности документа возможно или по биометрическим характеристикам человека, или по цифровой подписи, в зависимости от того, представлен документ в цифровом или печатном виде [1]. Первый способ осуществляется при помощи специальной экспертизы, определяющей подлинность подчёрка и подписи. Данный метод основан на анализе силы давления на лист бумаги и по характерным движениям руки автора. Недостатками данного метода являются высокая сложность и стоимость, а также малая достоверность при работе с копией подписи, выполненной на копировальной технике. Второй способ осуществляется при помощи специальных ассиметричных криптостойких математических алгоритмов. Создание подписи выполняется при помощи закрытого ключа, а ее идентификация при помощи открытого. Особенность ассиметричной криптографии заключается в том, что крайне сложно по открытому ключу получить закрытый. Выдача сертификатов для цифровой подписи осуществляется «Министерством связи и массовых коммуникаций Российской Федерации». Достоинствами данного метода является возможность простой проверки сертификата, не требующей специальной экспертизы. Минусом данного метода является отсутствие возможности подписи бумажных документов.

В работе предложена идея объединения рукописной и цифровой подписи, а именно добавления в рукописный текст цифрового следа, содержащего открытый ключ владельца подписи и некоторую служебную информацию о подписываемом документе. Нанесение цифрового следа должно осуществляться таким способом, чтобы он мог быть считан при помощи камеры мобильного телефона.

Для реализации описанной выше идеи планируется разработать ручку (далее – *CryptoPen*), осуществляющую кодирование цифрового следа при помощи изменения цвета. Изменение цвета, например, может производиться при помощи определенного дозирования чернил четырех цветов (красного, зеленого, синего и черного). Дозирование капель чернил может производиться по аналогии с картриджами струйного принтера, а именно, при помощи пьезоэлектрического метода. Стоит отметить, что на сегодняшний день существуют зарубежные ручки, позволяющие рисовать одним из 16 млн цветов.

Для задания сертификата, кодируемого в цифровой след, необходимо реализовать средство коммуникации с мобильным устройством пользователя. Для этого предлагается использовать одну из технологий беспроводной передачи данных, к примеру, Bluetooth. Мобильное приложение также должно иметь возможность считать и декодировать цифровой след при помощи камеры.

Таким образом, можно выделить основные составляющие части *CryptoPen*:

- Корпус;
- Картридж;
- управляющая плата (содержащая микроконтроллер и модуль Bluetooth);
- аккумулятор.

В качестве прототипа была разработана ручка, стержень которой был присоединен к шаговому сервоприводу (при письме ручкой получался своеобразный штрих-код). Сервопривод управлялся с микроконтроллера ATtiny, установленном на плате Arduino UNO. Для коммуникации с микроконтроллером использовался последовательный интерфейс UART, который через специальную микросхему был подключен к USB порту компьютера.

Программная составляющая прототипа состоит из двух частей, а именно, программы для микроконтроллера и программы для компьютера. Программа для микроконтроллера осуществляет прием команды и данных по UART и управление сервоприводом таким образом, чтоб последовательно то убирать, то выдвигать стержень ручки определенной последовательностью. Программа для компьютера имеет графический интерфейс, при помощи которого можно внести данные, необходимые для кодирования, и позволяет отправить эти данные в последовательный порт компьютера.

Прототип был успешно представлен на «Всероссийском университетском Мега Хакатоне».

Рассмотрим принцип цветового кодирования цифрового следа. Наиболее часто в компьютерных системах используется RGB модель, в которой цвет представляется совокупностью трех байт, каждый из которых устанавливает количество одного из трех базовых цветов. Так как направление ручки заранее неизвестно, а скорость письма меняется, кодирование необходимо осуществлять определенными пакетами, причем каждый пакет должен представляться одним определенным цветом. Каждый пакет должен состоять из поля номера и поля данных. Из-за неизбежных погрешностей при дозировании краски и считывания цвета камерой необходимо использовать корректирующие коды. Однако особенностью при кодировании цветов системой RGB является то, что декодирование по минимуму расстояния Хемминга не является эффективным, так как разные биты имеют разные вероятности ошибок (красный цвет с синим очень сложно спутать, а два оттенка красного перепутать очень легко, хотя в обоих случаях информация изменилась на один бит). Одним из способов решения этой проблемы является использование кодов с неравной защитой. Для уменьшения вероятности ошибки воспользуемся менее интеллектуальным способом исправления ошибки и просто отбросим по четыре младших бита у каждого из цветов, таким образом, получим 12 информационных бит, 8 из которых может быть использовано для кодирования информации, а 4 для кодирования номера пакета.

При использовании вышеописанного метода кодирования неизбежно повторение номеров пакетов, что требует разработки достаточно сложного метода декодирования, определяющего аналитическими методами: какой пакет к какой подгруппе относится.

В данной статье был предложен метод цифровой защиты рукописной подписи путем добавления цифрового следа поверх рукописного текста. Был рассмотрен реализованный прототип и описан один из возможных принципов кодирования информации. Дальнейшие исследования будут направлены на анализ и разработку более эффективного метода кодирования и декодирования цифрового следа, а также разработку аппаратной платформы CryptoPen.

Библиографический список

1. Степанов Е.А. Информационная безопасность и защита информации. М.: Инфра-М, 2001. 304 с.

УДК 004.934

В. А. Быстров

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. В. Яковлев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Неинвазивная и дистанционная диагностика состояния человека (включая состояние его здоровья) сегодня является актуальным направлением научных исследований и разработок в медицине. Анализ научных публикаций показывает, что наибольший интерес представляют такие данные о человеке, как его изображение и его голос.

Нашей целью является исследование и использование методов обработки речевых сигналов. Ниже представлена схема модели, разработанная научным руководителем Яковлевым А.В. [2]:



Рис 1. Схема модели для определения физиологического состояния человека

Что такое речь?

Слово «речь» долго использовалось в бытовом общении, прежде чем стало научным термином. Современное понимание речи содержит несколько определений. Некоторые из них приведены ниже [3].

• Речь — это общение людей с помощью языковых знаковых единиц: слов, синтаксических конструкций, текста, интонаций, часто при поддержке невербальных средств, жестов, мимики и пр.

• Речь – это акустический сигнал.

Пример речевой фразы в виде речевого сигнала (рис. 2) [5].

Методы преобразования речевых сигналов

Обработка речевых сигналов – область науки, в которой осуществляются фильтрация, усиление и извлечение информации, кодирование, сжатие и восстановление речи [1].

Методы:

- ✓ преобразование Фурье;
- ✓ вейвлет-преобразование;
- ✓ преобразование Гильберта-Хуанга;
- ✓ кепстральный анализ;
- ✓ корреляционный анализ;
- ✓ нейронные сети;
- ✓ скрытые марковские модели.

Структура средств регистрации и обработки речевого сигнала

Для записи и обработки речевых сигналов нужно иметь хорошее оборудование, поскольку от него зависит степень качества получаемых данных.



Рис. 2. Схема спектра речевой фразы



Рис. 3. Схема устройства регистрации речевого сигнала

Микрофоны

Микрофоны различают на два типа: конденсаторные и динамические. Для каждого вида аудиосигнала предпочтительны свои характеристики (рис. 3) [4].

Таблица 1

Характеристика конденсаторного и динамического микрофона

Тип микрофона	Конденсаторные	Динамические
Характеристики		
Предпочтительные объекты для записи	Запись объектов с более высокой частотой: тарелки, акустические гитара, пианино, вокал и т.д.	Запись объектов со средней и низкой частотой: барабаны, бас-гитара и т.д.
Вес диафрагмы	Легкая	Тяжелая
Внутренняя схема	Активная	Пассивная
Хрупкость диафрагмы	Высокая	Низкая
Хрупкость микрофона	Высокая	Низкая
Чувствительность к изменению окружающей среды	Высокая	Низкая
Запас усиления до появления обратной связи	Малый	Большой
Средняя цена	Может доходить до 5000 – 10000 долл. за штуку	400–500 долл. за штуку

Аудиоинтерфейсы (АЦП)

Аудиоинтерфейс используется для более четкой и чистой записи сигнала. Ниже приведен список некоторых популярных устройств (табл. 2) [6]:

Таблица 2

Характеристика аудиоинтерфейсов

Название	Тип подключения	Количество входов/выходов	Битность/частота дискретизации (до)	Фантомное питание +48V	Стоимость, долл.
Yamaha AG03	USB 2.0	3/3	24 бит / 192 кГц	✓	149,99
Roland Tri-Capture UA-33	USB 2.0	2/2	24 бит / 96 кГц	✓	129
M-Audio M-Track 2x2	USB 2.0	2/2	24 бит / 192 кГц	✓	99
Roland Studio Capture UA-1610	USB 2.0	16/10	24 бит / 192 кГц	✓	799
Avid Mbox 3	USB 2.0	4/4	24 бит / 48 кГц	✓	499,99
Universal Audio Apollo Twin MKII DUO	Thunderbolt	10/4	24 бит / 192 кГц	✓	899
Arturia AudioFuse	USB 2.0	14/14	24 бит / 192 кГц	✓	599 / 599 евро
Zoom UAC-2	USB 3.0	2/2	24 бит / 192 кГц	✓	249
ESI Juli@ XTe	PCI-E	2/2	24 бит / 192 кГц	-	169

Программное обеспечение

После прохождения звукового сигнала через микрофон и аудиоинтерфейс пользователь получает звуковой файл. Ниже приводится таблица характеристик (рис. 4) [7]:

Программы	Запись	Мультитрековый режим	Обработка звука из видео-файлов	Нормализация громкости	Мастеринг	Количество встроенных эффектов	Поддержка ASIO-драйверов	Поддержка аплативов	Лицензия
Звуковой Нормализатор	Нет	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Пробная версия
WavePad	Да	Нет	Да	Да	Нет	Средне	Да	Да	Бесплатно для домашних ПК
WaveLab	Да	Да	Да	Да	Да	Много	Да	Да	Пробная версия
Sound Forge Pro	Да	Да	Да	Да	Да	Много	Да	Да	Пробная версия

Рис. 4. Характеристики программных обеспечений

При написании статьи был создан прототип программы, записывающий физиологические показатели, в том числе и голос, с помощью полиграф «Диана-7М». Далее предстоит работа анализа речи с целью дальнейшего определения оценки физиологического состояния человека.

Библиографический список

1. Алимуратов А.К., Чураков П.П. Обзор и классификация методов обработки речевых сигналов в системах распознавания речи. Пенза: ПГУ, 2015. С. 27-35.
2. Быстров В.А., Жеронкин А.В., Матыцин В.О. и др. Обоснование структуры информационной системы для анализа изображения лица человека в медицинских целях / Сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Профилактическая медицина-2017». СПб, 2017. 320 с.
3. Львов М.Р. Основы теории речи. М.: Академия, 2000. 248 с.
4. URL: <https://ehomerecordingstudio.com/ru/types-of-microphones/> (дата обращения: 13.05.2018).
5. URL: <http://juice-health.ru/archive/38-kompyuternyj-sintez-i-klonirovanie-rechi/116-informatsionnaya> (дата обращения: 13.05.2018).
6. URL: <https://samesound.ru/staff/studio-staff/78703-40-best-home-studio-soundcards> (дата обращения: 13.05.2018).
7. URL: <https://www.softhome.ru/article/luchshie-programmy-dlya-raboty-so-zvukom> (дата обращения: 13.05.2018).

УДК 004.021

И.Д. Василенко

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В.Р. Луцив – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЛА И ВОЗРАСТА

В связи с последними геополитическими событиями вопрос повышения безопасности общественных мест становится актуальным. Улучшение безопасности возможно за счет более широкого, чем сейчас, распространения систем досмотра. Система, осуществляющая автоматическое распознавание пола и возраста может найти широкое применение в поиске опасных субъектов, чьи приметы известны, а изображения в базах данных отсутствуют.

На сегодняшний день существует огромное количество средств для решения задач, связанных с распознаванием изображений. Среди них особое место занимают алгоритмы обработки данных на основе сверточных нейронных сетей – создано (и находится в открытом доступе) огромное количество инструментариев для их реализации.

- Сверточные нейронные сети (СНС) – мощный инструмент для решения задач классификации входных данных, который позволяет сделать обобщение внутри класса.

- Алгоритмы на основе СНС чрезвычайно надежны – на сегодняшний день с их помощью уже была достигнута ошибка классификации в 0,03%, что превышает способность человека к распознаванию.

- СНС являются широко распространенной технологией, в открытом доступе находятся различные инструментарии для работы с ними (Caffe, PyTorch, OpenNN).

Сверточные нейронные сети очень похожи на обычные нейронные сети: они также представляют абстракции нейронов, которые имеют обучаемые входные веса (и смещение). Каждый нейрон получает некоторый входной вектор, суммирует его элементы и выдает на свой выход результат некоторой функции от суммы.

Так в чем же отличие? С точки зрения реализации современных СНС делается открытое предположение, что входные данные являются изображением, что позволяет реализовать определенные свойства в архитектуре – значительно уменьшить количество параметров сети.

Обзор архитектуры

Для удобства далее термины «сверточная нейронная сеть» и «алгоритм обработки данных на основе сверточной нейронной сети» отождествляются.

Простейшая СНС представляется как последовательность слоев, каждый слой получает некоторый входной вектор, получает на его основе выходной вектор (вектор активаций нейронов) и передает его следующему слою через дифференцируемую функцию. На данный момент принято разграничивать по функциональности три основных типа слоев:

- 1) сверточный слой (Convolutionallayer, conv);
- 2) слой Пула (Poolinglayer, pool);
- 3) простой нейронный слой (fully-connectedlayer, fc).

Из комбинаций этих слоев и получается СНС [1].

Пример простейшей архитектуры СНС (для классификации CIFAR-10):

[INPUT -> CONV -> RELU -> POOL -> FC -> OUTPUT]

- INPUT – входной слой, содержит значения яркостей пикселей изображения (рис. 1).

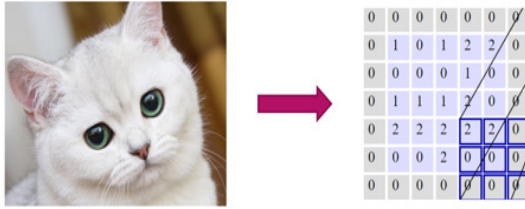


Рис. 1. Входной слой, преобразованный в двумерный вектор яркостей пикселей

• CONV – сверточный слой, вычисляет суммы яркостей пикселей, подающихся на входы соседних нейронов, помноженные на веса этих входов (рис. 2).

Размер «соседского» региона является размером сверточного фильтра, или ядром свертки (kernel).

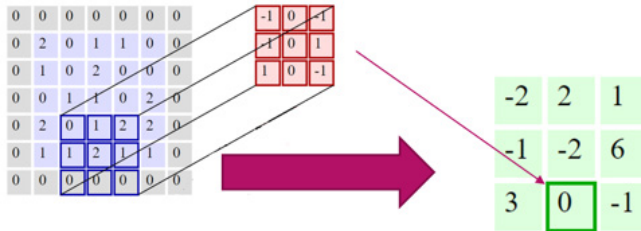


Рис. 2. Применение фильтра для «сворачивания» входного вектора

• RELU – слой, производящий некоторое поэлементное преобразование, (например, $\max [0, x]$). Размеры входного и выходного векторов этого слоя одинаковы.

• POOL – слой, уменьшающий размеры (рис. 3) входного вектора по двум измерениям (downsampling).

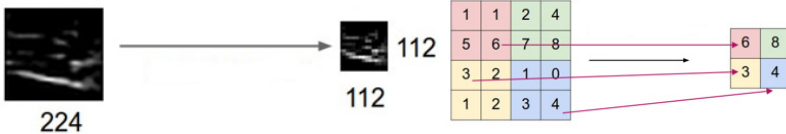


Рис. 3. Уменьшение размеров входного вектора

• FC (fully connected) – слой, в выходном векторе которого находятся вероятности принадлежности изображения какому-либо классу (например, если слой имеет выходной вектор $1 \times 1 \times 10$, то количество классов, на которые СНС способно разделить входные изображения, равно 10).

Существующие реализации на основе архитектуры снс

Сегодня существует множество модификаций СНС для решения различных задач, в том числе для задач, связанных с распознавания лиц. Вот некоторые из них:

• YOLO – «you only look once» [2].

В сравнении с другими СНС на основе регионального предположения (fast RCNN), которые способны находить объекты в различных регионах изображения, где предполагается наличие эталонного образа, выполняя обработку нескольких регионов по несколько раз, архитектура YOLO больше похожа

на архитектуру обычной (несверточной) нейронной сети. Эта архитектура разделяет входное изображение на некоторую сетку и для каждой ячейки вычисляет вероятность нахождения в ней эталона (рис. 5). Стоит отметить, что размеры эталона могут быть больше размеров ячеек.

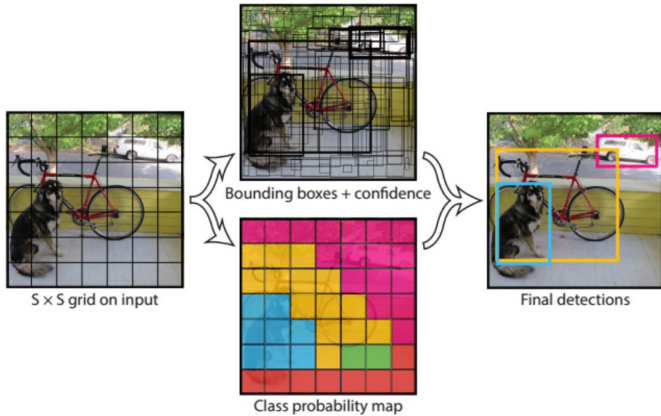


Рис. 5. Принцип работы YOLOnet

• FaceNet [3].

Универсальная система для распознавания (кем является) и кластеризации (общие черты у группы) лиц. Метод основан на евклидовом вложении с использованием СНС (рис. 6).

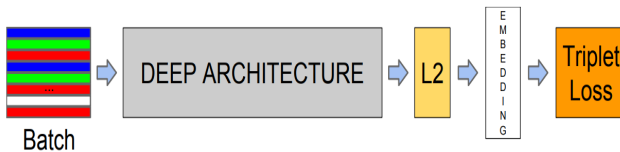


Рис. 6. Архитектура FaceNet, основанная на СНС в дополнительной «обертке»

• AlexNet [4]

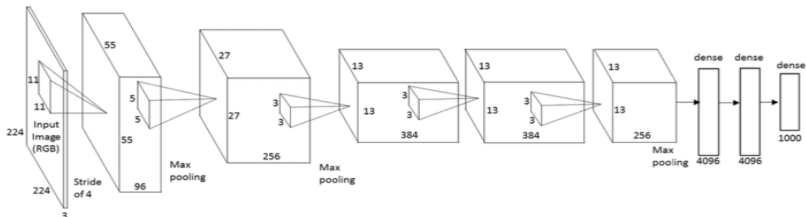


Рис. 7. Архитектура AlexNet

«Классическая» СНС (рис. 7), алгоритм, спроектированный для разделения всех входных изображений на 1000 классов. Обладает относительно малым количеством параметров, проста в реализации.

Так как для условного распознавания пола и возраста необходимо разделение на 32 класса (если брать возраст от 5 до 80 лет включительно, с интервалом в 5 лет), то для решения подзадачи распознавания будет вполне достаточно такой сети, как AlexNet. Возможно также использование какой-либо другой СНС (либо другого алгоритма) для решения задачи нахождения лица на изображении.

Библиографический список

1. Johnson J., Karpathy A. Stanford CS class CS231n: Convolutional Neural Networks for Visual Recognition. URL: <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/> (дата обращения: 13.05.2018).
2. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. URL: <https://pjreddie.com/media/files/papers/yolo.pdf> (дата обращения: 13.05.2018).
3. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering. URL: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2015/app/1A_089.pdf (дата обращения: 13.05.2018).

УДК 004.75

В. А. Волков

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. Ю. Сыщиков – научный руководитель

ГЕНЕРАЦИЯ ИСХОДНОГО ИСПОЛНЯЕМОГО КОДА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Распределенные вычислительные системы представляют собой сложные многофункциональные системы, которые состоят из нескольких вычислительных узлов (процессоров, модулей, машин), взаимодействующих между собой посредством сетевых каналов. Эффективное программирование многопроцессорной распределенной вычислительной системы является сложной задачей для разработчиков. Эти системы ориентированы на выполнение широкого спектра задач: астрономические исследования, моделирование природных процессов, решение ресурсоемких задач, задачи в области телекоммуникаций, мобильных устройств и сетей.

По методам управления распределенные вычислительные системы можно разделить на централизованные (за управление системой отвечает диспетчерский вычислительный узел) и децентрализованные (вычислительные узлы представляют собой автономные модули, взаимодействие между которыми осуществляется посредством обмена данными). Децентрализованные системы в последнее время набирают популярность за счет стремительного развития сетей ЭВМ.

Основной задачей работы являлось предоставление разработчикам возможности выполнения сложных параллельных программ, созданных в визуальной среде VIPE [1], на нескольких аппаратных платформах, объединенных в единую распределенную вычислительную систему.

Для создания такого механизма необходимо было решить ряд задач:

1. реализовать способ распределения задач на множество процессоров;
2. разработать и реализовать механизм обмена данными между процессорами;
3. разработать методы генерации промежуточного кода для каждой аппаратной платформы.

В основе концепции среды разработки VIPE лежит визуальный язык VPL. Интегрированная среда VIPE подходит для разработки высокоэффективных крупноблочных программ, ориентированных на параллельные встраиваемые системы. Среда имеет поддержку фреймворка OpenVX [2], библиотеки OpenCV и других предметно-ориентированных библиотек.

Среда визуального программирования VIPE предназначена для создания программ (рис. 1) и имеет графический интерфейс, дающий возможность визуального подхода к программированию. VIPE предоставляет технологию и инструменты для проектирования параллельных алгоритмов, программирования и отладки для многоядерных встраиваемых платформ, включая неоднородные.

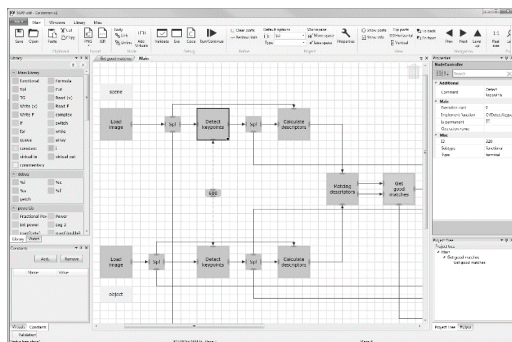


Рис. 1. Среда разработки VIPE

Схема программы, разработанная в среде VIPE, состоит из операторов различных типов, объектов-данных и связей между ними.

Структура базового генерируемого кода для языка VPL подразумевает наличие операторов, которые являются представлением операций над данными, представлением управляющих действий, самих объектов-данных и линков. Линк – структура, которая хранит промежуточные данные в момент выполнения программы.

В качестве алгоритма распределения операторов на процессоры был выбран циклический алгоритм round-robin, который позволяет равномерно распределить нагрузку на все процессоры (рис. 2). Алгоритм round-robin был выбран по причине того, что он является крайне простым, на первых этапах исследования главной целью была необходимость проверки механизмов передачи данных между процессорами и корректной генерации функций обмена данными.

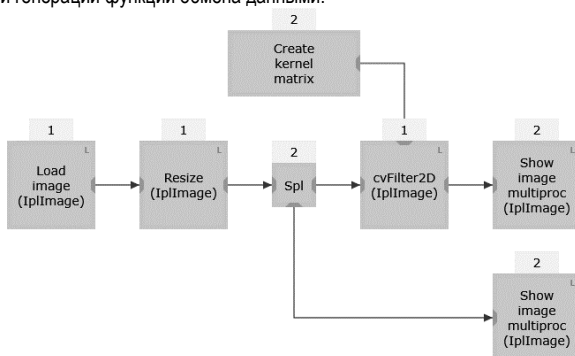


Рис. 2. Пример программы VIPE с рассчитанным размещением на двух модулях платформы

Алгоритм round-robin на практике является неэффективным для данной задачи, в будущих реализациях этот алгоритм будет заменен на более совершенный.

В процессе генерации код записывается в один файл, фрагменты кода помечаются номером процессора, на котором они должны быть выполнены. После этого каждый фрагмент кода распределяется по файлам для каждого процессора в соответствии с помеченным номером, которые впоследствии будут скомпилированы в отдельные бинарные файлы для каждого вычислительного устройства распределенной системы.

Генерация кода ориентирована на децентрализованные многопроцессорные распределенные вычислительные системы (рис. 3), в которых каждый узел системы является независимым, и взаимодействие между узлами осуществляется напрямую, без применения диспетчерской ЭВМ.

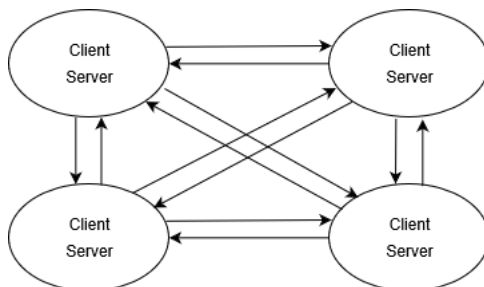


Рис. 3. Архитектура децентрализованной системы

Необходимо корректно передавать данные между операторами, которые находятся на разных процессорах. Если операторы соединены друг с другом линком и находятся на разных процессорах, необходимо генерировать код, осуществляющий передачу данных между этими процессорами.

В отличие от клиент-серверной архитектуры, каждый узел с точки зрения обмена данными должен одновременно выполнять роль как сервера, так и клиента.

Было разработано API для взаимодействия между процессорами. Это набор функций, которые включают в себя инициализацию и отключение сервера приема сообщений, а также функции передачи и приема данных.

API изолирует генератор кода от программной реализации сетевого обмена в конкретной системе и позволяет изменять функции обмена данными под специфику конкретной программно-аппаратной платформы, в том числе и пользователям самой платформы. Обмен данными в текущей реализации API осуществляется асинхронно.

В качестве прототипа для реализации был выбран сокет интерфейс с использованием протокола TCP, который гарантирует корректную передачу данных и поддерживается большинством операционных систем.

Посредством вызова функций API можно осуществлять передачу данных между процессорами. Но для этого необходимо четко определить логику генерации функций приема и передачи данных в целях корректного выполнения программы на всех процессорах.

Если операторы расположены на разных процессорах и соединены линком (рис. 4), то необходимо сгенерировать функции обмена данными.

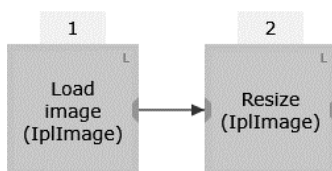


Рис. 4. Фрагмент программы

При передаче данных от оператора необходимо сгенерировать функцию SendLink после его выполнения. Для оператора, принимающего данные, в свою очередь будет сгенерирована функция ReceiveLink перед выполнением (рис. 5).

```

CVLoadImageVal(&link_841, "///image.jpg");      ReceiveLink(&link_841, 1);
SendLink(&link_841, 2);                          CVResizeVal(&link_841, &link_1246);
  
```

Рис. 5. Сгенерированный код для обмена данными между операторами

Функция SendLink принимает в качестве аргумента адрес линка, на котором хранятся данные, полученные в результате выполнения оператора, и номер процессора, на который эти данные должны быть переданы.

В аргументы функции ReceiveLink необходимо передать адрес линка, куда будут записаны входные данные, и номер процессора, откуда необходимо ожидать прием данных.

Процессор, принимающий данные, должен знать номер процессора, от которого следует принимать данные, потому что могут быть ситуации, когда два процессора отсылают данные на один и тот же процессор, и в таких случаях может произойти неправильный порядок прием-передачи данных, если проверки на номер процессора, откуда данные стоит ожидать, отсутствуют.

После того, как процессор 2 принял данные от процессора 1, выполняется оператор, аргументом которого является линк, содержащий данные, принятые с другого процессора.

Разработанный генератор кода для многопроцессорной распределенной вычислительной системы позволяет генерировать код не только для двух процессоров. Логика генерации кода для трех и

более процессоров ничем не отличается от генерации кода для двух процессоров. Генератор кода также проверяет наличие линка между операторами и генерирует пару Send/Receive для передающей и принимающей стороны.

В ходе разработки был успешно сгенерирован и протестирован код для распределенной вычислительной системы, состоящей из 16 вычислительных модулей.

Представленные исследования подхода генерации кода и прототипа программного обеспечения для разработки программного обеспечения для распределенных многопроцессорных вычислительных систем показывают многообещающие результаты.

Это дает возможность применять разработанные программы как для систем с общей памятью, так и для распределенных систем без перепроектирования алгоритмов и программ. Это избавляет разработчика от необходимости вручную программировать процедуры межсетевое взаимодействия, заботиться о распределении рабочей нагрузки (в средстве написания кода), предупреждать о синхронизации и блокировках.

Дальнейшие исследования и разработки будут охватывать аспекты оптимизации обмена данными, применение существующих инструментов анализа VIPE для анализа эффективности распределения рабочей нагрузки, разработки и обеспечения возможности использования дополнительных процедур обмена данными, включая асинхронные функции и процедуры группового взаимодействия.

Библиографический список

1. Syschikov A., Sheynin Y., Sedov B., Ivanova V. Domain-Specific Programming Environment for Heterogeneous Multicore Embedded Systems // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems (IJERTCS). 2014. №. 4. Pp. 1-23.
2. Syschikov A., Sedov B., Nedovodeev K., Pakharev S. Visual development environment for OpenVX / Open Innovations Association (FRUCT20). 20th Conference of. IEEE. 2016.

УДК 004.93.12

А. Ю. Дубанов

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Р. Луцце – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ ЛАДОНИ
НА ОСНОВАНИИ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

Современный уровень развития информационных технологий способствует появлению новых интерфейсов. Для естественного взаимодействия человека и компьютера уже недостаточно клавиатуры и мыши. Все чаще используется распознавание динамических жестов человека. Для их «захвата» могут быть использованы различные устройства: кинематические датчики, ультразвуковые локаторы, системы структурированной подсветки и многое другое. Но наиболее распространенным устройством является видеокамера [1].

Методы обнаружения объекта на изображении можно разделить на три основные группы: скелетные, на основе 2D (2-dimensional) модели объекта и на основе 3D (3-dimensional) модели объекта. В скелетных методах исследуется контур силуэта: совершается поиск углов, выступов, впадин, точек экстремума. Для получения информации о форме контура выделяются границы объектов. Поскольку объектом обнаружения является ладонь, жесты которой имеют большую вариативность контуров, то данная группа методов накладывает ряд ограничений на количество используемых жестов [2].

В методах на основе 3D модели руки представляют в виде сложных трехмерных поверхностей и классифицируются с помощью нейронных сетей. Главный недостаток данной группы методов – ресурсоемкость. Кроме того, для использования методов требуются камеры с возможностью определения глубины изображения.

Методы на основе 2D модели объекта вместо объемных моделей используют двумерное изображение, а в остальном данная группа соответствует группе методов на основе 3D модели. Благодаря использованию двумерных изображений снижается вычислительная сложность и для работы с изображениями достаточно веб-камеры. Но 2D методы являются менее точными по сравнению с вышеперечисленными группами методов [3].

Поскольку работа нацелена на создание программного обеспечения для бытового оборудования, то на используемые ресурсы накладываются ряд ограничений. Низкая вычислительная мощность линейки микропроцессоров ARM, используемых в бытовом оборудовании, существенно уменьшает число жестов при использовании скелетных методов и не позволяет использовать методы на основе трехмерной модели объекта [4]. Для дальнейшей работы была выбрана группа методов на основе двумерной модели.

Среди группы методов с использованием двумерного изображения наибольшей точностью и быстрейшим образом обладает метод Виолы-Джонса [3]. Метод позволяет обнаруживать объекты в режиме реального времени. Его предложили Паул Виола и Майкл Джонс в 2001 г. Метод использует технологию скользящего окна. Двигаясь по изображению с помощью каскада слабых классификаторов определяется, есть ли в рассматриваемом окне лицо. Метод состоит из алгоритма обучения и алгоритма распознавания. В качестве признаков для алгоритма распознавания авторами были предложены признаки Хаара, на основе вейвлетов Хаара. Каждый вейвлет характеризуется размером светлой и темной областей, пропорциями, а также минимальным размером. Изображение можно представить в интегральной форме в виде матрицы, размеры которой совпадают с размерами исходного изображения I , где каждый элемент рассчитывается по формуле:

$$I(x, y) = \sum_{i=0, j=0}^{i \leq x, j \leq y} I(r, c),$$

где $I(r, c)$ — яркость пиксела исходного изображения.

Каждый элемент матрицы $II(x, y)$ представляет собой сумму пикселей в прямоугольнике от $(0,0)$ до (x, y) . Для того, чтобы вычислить сумму прямоугольной области в интегральном представлении изображения требуется всего четыре операции обращения к массиву и три арифметические операции. Это позволяет быстро рассчитывать признаки Хаара для изображения в обучении и распознавании.

Изначально основной задачей алгоритма было обнаружение лиц. Для обнаружения ладони в видеопотоке, детектор Виолы-Джонса может быть модифицирован с использованием нового набора признаков Хаара (рисунок). Признаки a -с являются традиционными признаками Хаара. Например, тип a может варьироваться в зависимости от ширины и высоты, а также от соотношения ширины двух прямоугольных областей, но их высота не должна отличаться. Признаки d -го типа и позволяют практически произвольно сравнивать площади, поскольку расположение и размеры прямоугольников менее ограничены. Допустимы и перекрывающиеся области, что существенно повышает точность обнаружения ладони с использованием модифицированных признаков Хаара.

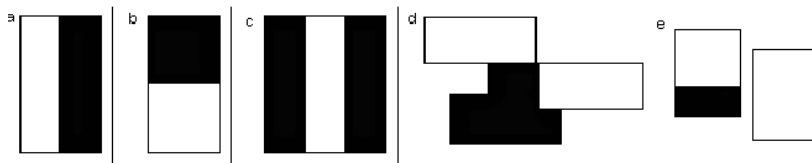


Рисунок. Набор признаков Хаара для обнаружения ладони

Точность обнаружения жестов ладони с помощью метода Виолы-Джонса существенно повышается при предварительной сегментации изображения. Таким образом, совокупность алгоритма Виолы-Джонса и алгоритма сегментации изображения позволяют обнаруживать жесты в реальном времени с высокой точностью и низким показателем ошибок. Низкая вычислительная сложность алгоритмов допускает использование энергосберегающих ARM процессоров, установленных в бытовом оборудовании, а для видеопотока достаточно использование веб-камеры. На основании таких целевых показателей как ресурсоемкость, быстродействие, точность и вариативность жестов, алгоритм Виолы-Джонса с использованием модифицированных признаков Хаара и предварительной сегментацией изображения, является оптимальным для обнаружения жестов ладони.

Библиографический список

1. Turk M. Gesture Recognition in Handbook of Virtual Environment Technology, Lawrence Erlbaum Associates, Inc. 2001. Pp. 1-2.
2. Shapiro L., Stokman D. Komp'yuternoe zrenenie, Laboratorijaznaniy, 2006. P. 752.
3. Murlin A. Algorithms and Methods for Detection and Recognition of Hand Gestures on video in real time, Cand. Tech. Sci associate, Inc., 2014. Pp. 2-5.
4. Nikolskiy V., Stegailov V. Floating-point performance of ARM cores and their efficiency in classical molecular dynamics / International Conference on Computer Simulation in Physics and Beyond. 2015.
5. Laptev I., Lindeberg T. Tracking of Multi-state Hand Models Using Particle Filtering and a Hierarchy of Multi-Scale Image Features. Department of Numerical Analysis and Computer Science. 2001. Pp. 64-68.
6. Метод Виолы-Джонса. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Виолы_—_Джонса (дата обращения: 12.05.2018).
7. Kölsch M., Turk M. Robust Hand Detection / Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. 2004.
8. Болотова Ю.А., Федотова Л.С., Спицын В.Г. Алгоритм детектирования областей лиц и рук на изображении на основе метода Виолы-Джонса и алгоритма цветовой сегментации // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-10. С. 2130-2134.

УДК 004.021

А. С. Евдокимов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

К. Н. Рождественская – научный руководитель**ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА ЗАДЕРЖЕК ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ SPACEWIRE**

Технология SpaceWire предназначена для создания коммуникационных сетей на борту летательных и космических аппаратов и отвечает последним требованиям аэрокосмических систем в области коммуникаций [1]. Чтобы сеть SpaceWire отвечала заданным требованиям работоспособности, надежности и отказоустойчивости необходимо учитывать многие параметры при проектировании данной сети. Одним из таких параметров является задержка передачи данных. Очевидно, что время передачи информации зависит от способа передачи пакета в сети, например, от метода маршрутизации пакетов.

В соответствии со спецификацией стандарта SpaceWire сетевые узлы работают с передаваемыми пакетами в режиме маршрутизирующего коммутатора (маршрутизатора) [2]. Приняв первые байты заголовка пакета, узел принимает решение о маршрутизации принятого пакета на определенный выходной порт (порты) узла, после чего остальные байты поступающего пакета «на лету» коммутируются в выходной порт, без необходимости буферизации пакета целиком в памяти сетевого узла. Маршрутизация осуществляется либо по заданному в проходящем пакете номеру выходного порта (при путевой маршрутизации), либо по настройкам таблицы маршрутизации (при маршрутизации по логическим адресам).

«Червячная» маршрутизация [2, 3] – это метод маршрутизации пакетов, относящийся к категории методов коммутации «на лету». Каждый пакет содержит заголовок с адресом назначения пакета, представленный либо как идентификатор получателя, либо как путь по сети. С одной стороны, «червячная» маршрутизация обеспечивает минимальные задержки доставки пакетов при отсутствии коллизий, минимальные размеры буферов и аппаратные затраты в сетевых узлах, с другой стороны в случае коллизий червячная маршрутизация может вызвать дополнительные задержки пакетов в промежуточных сетевых узлах.

«Червячная» маршрутизация представлена на рис. 1, который показывает передачу пакета от одного узла до другого через маршрутизатор. Заголовок пакета обозначен черным цветом, остальная часть – зеленым цветом. Как только маршрутизатор принимает заголовок, он сразу проверяет требуемый выходной порт. Если требуемый выходной порт свободен, маршрутизатор устанавливает соединение между входным и выходным портами. Затем пакет передается через маршрутизатор. Как только маршрутизатор принимает символ конца пакета (EOP или EEP), он разрывает соединение и освобождает выходной порт для следующего пакета, который может поступить от любого входного порта.

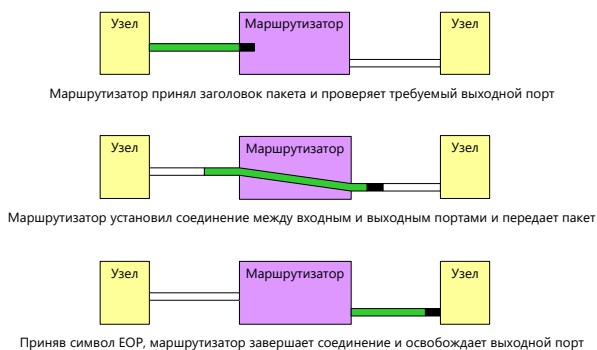


Рис. 1. «Червячная» маршрутизация

При рассмотрении сетевых технологий с точки зрения обеспечения качества сервиса (QoS) обычно идет речь о гарантированном QoS, т.е. гарантированного обеспечения сетевой технологией некоторых характеристик передачи данных в сети. Наиболее распространенными характеристиками, которые используются при рассмотрении качества сервиса, обеспечиваемого сетью для информационных потоков прикладных задач в бортовых сетях, являются:

- задержка доставки пакета через сеть;
- пропускная способность, предоставляемая информационному потоку.

В бортовых сетях не бывает неизвестных информационных потоков, непредсказуемых длин пакетов, как и неизвестных требований от прикладных задач к пропускной способности или ко времени доставки пакета. На практике проектирование бортовых сетей начинается с анализа задач распределенной бортовой сети, информационных потоков устройств, по которым проводится анализ механизмов и характеристик сети, соотношения показателей сети и требований приложений к информационным потокам. Если сеть не содержит никаких явных встроенных механизмов поддержки QoS, но она гарантированно обеспечивает требуемые характеристики передачи информационных потоков (время доставки пакета, пропускную способность), значит, это сеть с необходимым QoS.

В работе рассматривается только одна характеристика передачи данных – задержка доставки пакета через сеть, в том числе задержки информационных пакетов. Информационный пакет отличается от управляющих кодов тем, что имеет только один источник и только один приемник, а также он менее приоритетен по сравнению с тайм-кодами и прерываниями.

Под временем доставки пакета T понимается время от начала передачи первого бита первого байта пакета из оконечного узла-источника до приема последнего бита пакета сетевым контроллером оконечного узла-приемника. Коллизия (рис. 2) – пересечение в одном выходном порту коммутатора конкурирующих потоков данных, идущих из различных входных портов.

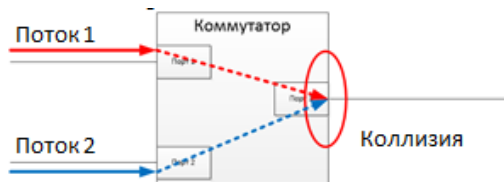


Рис. 2. Коллизия

Минимальное время доставки пакета будет в случае, когда пакет проходит по пути от оконечного узла-источника до оконечного узла-приемника без возникновения коллизий в выходных портах маршрутизатора по всему пути следования пакета. Обработка заголовка пакета в маршрутизаторе происходит на лету, по поступлению первого байта пакета, и после маршрутизации – определения выходного порта маршрутизатора, передача поступающих байтов идет прямо в выходной порт, без промежуточного буферирования, со скоростью поступления пакета по входному порту маршрутизирующего коммутатора.

При длине пакета в n байт ($n * 10 + 4$ бит, включая EOP) минимальное время доставки пакета, T_{min} можно оценить, как

$$T_{min} = \frac{(n * 10 + 4)}{F} + t_h * s, \quad (1)$$

где F – скорость передачи по каналу, бит/с; t_h – время обработки байта заголовка пакета в маршрутизирующем коммутаторе; s – число сетевых узлов (маршрутизирующих коммутаторов), через которые проходит путь от узла-источника до узла-приемника.

При возникновении коллизий, время доставки пакета по логическому пути между оконечными устройствами будет увеличиваться. В случае возникновения коллизии в выходном порту коммутатора, передаваемый пакет должен будет ожидать освобождения выходного порта от передачи другого пакета, который уже начал передаваться в этом выходном порту. Кроме того, в очереди на передачу могут стоять и другие пакеты, поступившие из других входных портов, чей путь проходит через тот же выходной порт. Маршрутизаторы SpaceWire реализуют циклическую дисциплину арбитражного пакетов от разных

входных портов, и в самом худшем случае пакету придется ждать в выходном порту, пока через этот порт не передадутся по одному пакету от других из $k-1$ входных портов коммутатора [3]. Если пакеты, передаваемые по конкурирующим логическим путям, имеют одинаковый приоритет, то оценить наихудшее время ожидания для пакета, T_s , при прохождении через один маршрутизирующий коммутатор можно как

$$T_s = \sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{n_i * 10 + 4}{F} + t_h \right),$$

где m есть число входных портов, от которых идут пути через тот же выходной порт коммутатора, что и путь для рассматриваемого пакета, $m \leq k$. С учетом этих факторов максимальное время доставки пакета T_{max} можно оценить, как минимальное время доставки пакета T_{min} плюс максимальное время ожидания во всех коммутаторах из-за коллизий на пути пакета:

$$T_{max} = T_{min} + \sum_{j=1}^s \left(\sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{n_i * 10 + 4}{F} + t_h \right) \right). \quad (2)$$

Это достоверные, но грубые граничные (сверху) оценки. Более точные верхние и нижние оценки могут быть получены по аналогичным формулам при рассмотрении конкретной спроектированной сети SpaceWire с настроенными путями прохождения пакетов через сетевые узлы.

Для получения более точных значений задержек необходимо учитывать некоторую особенность сетей SpaceWire. Дело в том, что в сети SpaceWire, при наличии коллизии, могут возникать дополнительные задержки прохождения пакета через сетевые устройства, вызванные эффектом червячной маршрутизации [4].

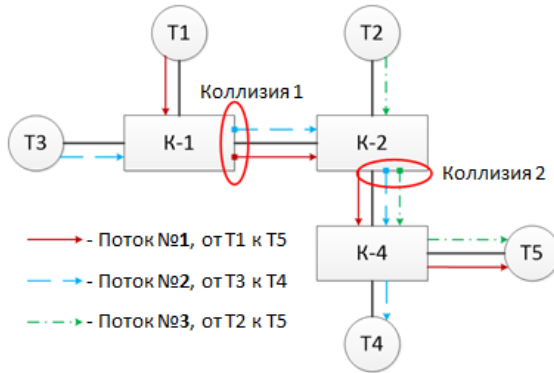


Рис. 3. Эффект червячной маршрутизации

Эффект червячной маршрутизации (рис. 3) будет в том, что пакет (поток номер 2), начав передаваться из выходного порта в точке коллизии (коллизия 1), встречая на своем пути следующую коллизию (коллизия 2), может быть там остановлен. Если при этом он не успел полностью передаться из выходного порта (на коммутаторе K-1), то остановится его передача, и там выходной порт останется занят этим пакетом, пока тот не сможет двинуться дальше по своему пути. В результате пакет (поток номер 1) окажется задержан на время, большее, чем чистое время передачи пакета такой длины по каналу. Таким образом, используя представленные выше формулы и учет данной особенности червячной маршрутизации можно получить верхнюю границу задержек передачи данных в сетях SpaceWire.

Полученные оценки позволяют определить, насколько спроектированная сеть гарантировано удовлетворяет проектным требованиям, и использовать их для дальнейшего структурного и логического проектирования бортовой сети на принципах исследования пространства проектных решений. Как показывает опыт анализа практических примеров бортовых сетей SpaceWire космических аппаратов, для многих из них на основе такого рода оценок возможно построить и настроить сеть, гарантированно удовлетворяющую проектным требованиям.

Библиографический список

1. Волков П.Л., Горбачев С.В. Исследование DS-линков и алгоритмов маршрутизации в сети SpaceWire. СПб.: ГУАП, 2003.
2. SpaceWire Standard. ECSS – Space Engineering. SpaceWire – Links, Nodes, Routers and Networks. ECSS-E-ST-50-12C. July 2008.
3. Thomas F., Fabrice F., Christian F. Worst-case end-to-end delays evaluation for SpaceWire networks. Discrete Event Dynamic Systems. 2011. Vol. 21. No. 3. Pp. 339-357.
4. Thomas F., Fabrice F., Christian F. Using Network Calculus to compute end-to-end delays in Space Wire networks. 2011. SIGBED Review, Vol. 8. No. 3. Pp. 44-47.

УДК 004.622

А. В. Жеронкин

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. В. Яковлев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Задача обработки медицинских данных – актуальная на сегодняшний день задача, предполагающая обработку большого объема разнородных данных, зачастую выполняемая в режиме реального времени. Эти данные могут применяться в любых приложениях, связанных с медицинской диагностикой, исследованиями, в том числе средствами машинного обучения [1, 2]. Но перед обработкой этих данных их необходимо собрать и упорядочить таким образом, чтобы они были пригодны для использования как можно большим спектром средств обработки, т.е. имели универсальную и удобную структуру.

В настоящее время с человека можно снять множество разнообразных показателей. Измерения этих показателей базируются на самых разных физических принципах:

- измерение электрической проводимости кожи (кожно-гальваническая реакция, КГР);
- измерение объема кровеносных сосудов и внутренних органов (плетизмограмма, ПГ);
- измерение растяжения грудной клетки при дыхании (верхний и нижний датчики дыхания, ВДХ, НДХ);
- измерение давления в датчике на манжете (АД);
- измерение состава и характеристик вдыхаемого/выдыхаемого воздуха (спирометрия)
- измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС).



Рис. 1. Испытуемый с закрепленными на нем датчиками для измерения физиологических показателей

Физиологические показатели (ФП) можно измерять полиграфически. Суть этого метода заключается в следующем: на испытуемом закрепляется некоторый набор датчиков (например, как на рис. 1), после чего АЦП, к которому этот набор датчиков подключен, синхронно записывает их в память компьютера. Такой метод позволяет предъявлять испытуемому различные стимулы, после чего регистрировать сами стимулы и реакцию организма человека с указанием временных меток.

У реализации этого метода есть ряд специфических проблем.

1. Не существует универсального комплексного средства регистрации, позволяющего записывать все показатели.

2. Производители многих средств регистрации зачастую помещают записываемые данные в закрытые и, зачастую, специфические форматы файлов, которые могут быть открыты лишь ПО производителей средств регистрации. Более того, часто такое ПО не позволяет получить доступ к прямым измерениям сигналов, а просто предоставляет результат их обработки.

Из-за этих проблем возникает необходимость разработки программного средства, позволяющего получать прямые измерения ФП синхронно с N каналов, а затем размещать их в формате, пригодном для последующей обработки в любом ПО.

В рамках реализации такого программного продукта необходимо проработать:

- структуру базы данных, в которую будут записываться измерения ФП;
- взаимодействие программного продукта с аппаратным средством регистрации ФП;
- функцию записи измерений ФП напрямую в базу данных в режиме реального времени;
- удобный пользовательский интерфейс, через который человеку-оператору программного продукта будет удобно отслеживать процесс измерения, а также подстраивать его параметры.

Программные средства для реализации продукта с вышеописанными функциями должны быть [3]:

- открытыми и достаточно популярными, что минимизирует финансовые затраты и обеспечит разработчика мощной поддержкой сообщества;
- устойчивыми к высоким вычислительным нагрузкам рассматриваемой задачи;
- простыми в использовании.

В наибольшей степени этим требованиям удовлетворяют СУБД PostgreSQL с надстройкой CitusDB [4], обеспечивающей параллелизм при обработке собранных данных, среда разработки Visual Studio 2017 Community с использованием языка C# и скриптового языка Python. С помощью языка C# реализованы функции взаимодействия с СУБД, в том числе и многоканальная запись в режиме реального времени, а также пользовательский интерфейс, т. е. основные функции реализованы на одной платформе, что сильно упрощает разработку.

Рассмотрим результаты проделанной работы.

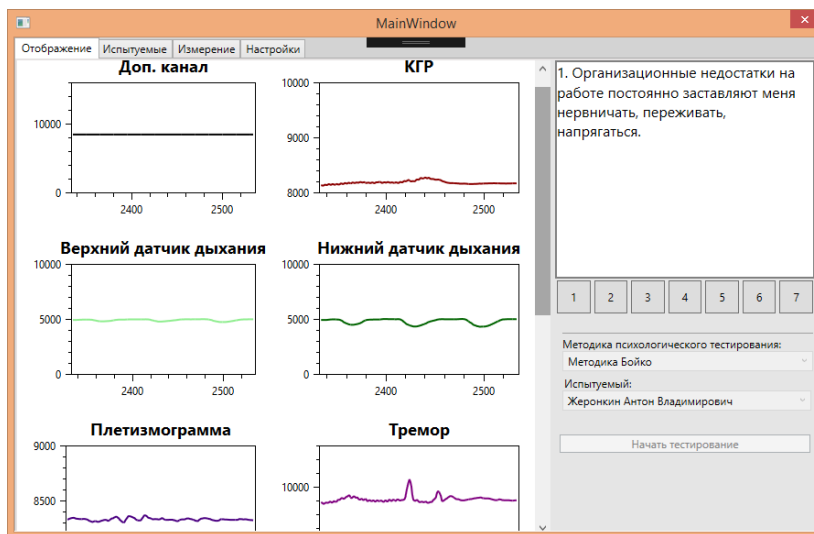


Рис. 2. Скриншот окна программы Full Viewer

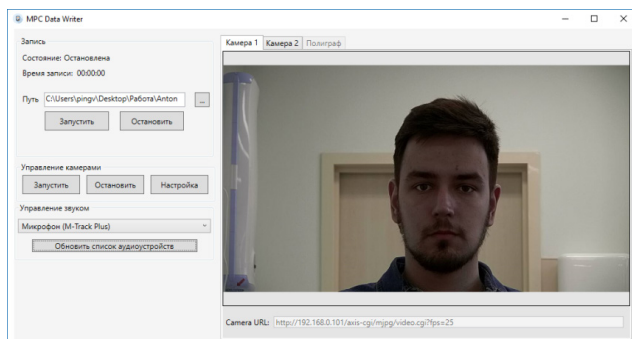


Рис. 3. Скриншот окна программы Data Writer

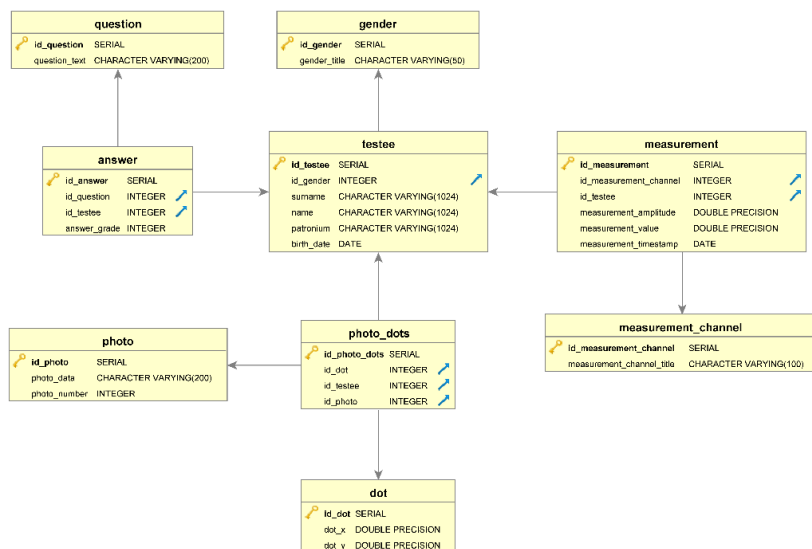


Рис. 4. Структура используемой БД

Программа Full Viewer, представленная на рис. 2, позволяет записывать данные синхронно в режиме реального времени в БД, предоставляя пользователю визуализацию измерений показателей в виде настраиваемых графиков в режиме реального времени.

Структура БД, которую использует программа Full Viewer, представлена на рис. 4. Данная структура позволяет записывать измерения по каждому из 8 каналов конкретной модели полиграфического комплекса, а также учитывает предъявляемые испытуемому стимулы и установочную информацию по нему (ФИО, возраст, пол и т. д.). Была разработана также программа Data Writer, представленная на рис. 3, которая позволяет синхронно записывать видеоряд, аудио ряд и сами измерения для последующей их обработки.

Перспективы разработки такого программного продукта состоят в последующей разработке единого средства для регистрации ФП в базе данных и в формате файлов на жестком диске, что позволит

наладить для тех или иных организаций, отделов единую базу данных измерений ФП, а также в последующем разработать программный продукт для их обработки, в том числе и в режиме реального времени, что позволит использовать эти данные для обеспечения любых исследований и разработки медицинских советующих и экспертных систем, основанных на методах машинного обучения [5].

Отметим, что требования к разработанному программному продукту, по мере увеличения объема и разнородности получаемых и обрабатываемых данных, скорее всего, будут изменяться. Для удовлетворения этих требований, по мнению авторов статьи, для поиска закономерностей на этом гигантском массиве SQL и NoSQL данных потребуется использовать технологии машинного обучения. Продукт может быть улучшен также в области использования технологий Big Data: Hadoop (фреймворк для работы с большими данными), языка R, модели распределенных вычислений MapReduce и т. д. Стоит отметить, что эти технологии являются лишь одними из многочисленных вариантов реализации данного подхода. Помимо этого, будет разработан еще один компонент системы, который будет обрабатывать получаемые данные, по возможности, в режиме реального времени.

Библиографический список

1. Цветкова Л.А., Черненко О.В. Технология больших данных в медицине и здравоохранении России и мира. // Мейнстрим. 2016. №3 С. 60-73 URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/tehnologiya-bolshih-dannyh-v-meditsine-i-zdravoohranenii-rossii-i-mira> (дата обращения: 27.03.2018).
2. Ильясова Н.Ю., Куприянов А.В., Парингер Р.А. Особенности использования технологий BIG DATA в задачах медицинской диагностики. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/b/b7/3.IlyasovaIDP2016.pdf> (дата обращения: 27.03.2018).
3. Быстров В.А., Жеронкин А.В., Матыцин В.О. и др. Обоснование структуры информационной системы для анализа изображения лица человека в медицинских целях / Профилактическая медицина-2017. Сб. науч. тр. всеросс. конф. Ч. III. С. 306–312.
4. Новиков И. CitusDB превращает PostgreSQL в мощный инструмент реального времени. URL: <https://www.itweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=184357> (дата обращения: 27.03.2018).
5. Заикин И. С., Корхов В. Г. Основы разработки баз данных реального времени // Молодой ученый. 2015. № 23. С. 143-146. URL <https://moluch.ru/archive/103/24134/> (дата обращения: 27.03.2018).

УДК 004.451.44

Е. Р. Иванова

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

И. Р. Федоров

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. В. Виноградов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Д. М. Шакуров

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

С. В. Осмоловский – научный руководитель

АНАЛИЗ ВЫПОЛНИМОСТИ ЗАДАЧ В АЛГОРИТМАХ СОВМЕСТНОГО МНОГОЯДЕРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ СО СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НАЗНАЧЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ

Активное развитие современных систем реального времени (CPB, real-timesystems) позволяет применять их в качестве основы для систем автоматизированного управления, систем специального назначения, встраиваемых систем (embeddedsystems) и систем смешанной критичности (mixed-criticalitysystems). Эта тенденция наблюдается в различных отраслях промышленности (например, в авионике, бортовых космических, автомобильных и железнодорожных системах), а также в отрасли информационных технологий (сетевые мультимедийные, телекоммуникационные и мобильные встраиваемые системы). Подобные CPB все чаще базируются на многоядерной (многопроцессорной) аппаратной платформе.

В связи с этим важным вопросом является эффективное использования вычислительных ресурсов данной системы.

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

В научно-исследовательских работах, посвященных CPB, большое внимание уделяется алгоритмам планирования – набору правил, согласно которому производится переключение задач и выделение им требуемых ресурсов. Эти алгоритмы базируются на модели задач реального времени, которая содержит требуемую информацию о временных характеристиках и параметрах задачи, модели критических сроков (дедлайнов, deadline) задач, а также аппаратной модели [2].

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

Данная статья посвящена важной составляющей, используемой при проведении анализа планируемости задач в системах реального времени – тестам планируемости. В работе рассматривается один из классов эффективных алгоритмов планирования – алгоритмы совместного многоядерного планирования со статическим назначением приоритетов на уровне задач [3]. Алгоритмы данного класса активно применяются в современных коммерческих операционных системах реального времени (OSPB) и гипервизорах (например, VxWorks, LynxOS, PikeOS, DeOS); в качестве предписаний указаны во многих стандартах и концепциях (например, в авионике – ARINC-653, в автомобильной отрасли – OSEK и AUTOSAR [4]). Для представителей данного класса алгоритмов в работе приведено описание, исследование и сравнительный анализ тестов планируемости DA и RTA.

Системная модель

В данной работе используется спорадическая модель задач реального времени. Набор (множество) задач состоит из n спорадических задач $\tau = \{\tau_i\}_{i=1}^n$. Каждая задача τ_i определяется кортежем $\tau_i = (C_i, D_i, T_i)$, где C_i – наихудшее время выполнения (worst-case execution time, WCET), D_i – относительный дедлайн и T_i – минимальное время между поступлениями работ (также называемый периодом). Время выполнения задачи τ_i не должно превышать ее относительный дедлайн и период, т.е. $C_i \leq \min\{D_i, T_i\}$. В данной работе рассматриваются системы с неявным дедлайном (implicit deadline), где дедлайн совпадает с периодом задачи, т.е. $D_i = T_i$, и ограниченным дедлайном (constrained deadline), где относительный дедлайн не превышает периоды задач, т.е. $D_i \leq T_i$.

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

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

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

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

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

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

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

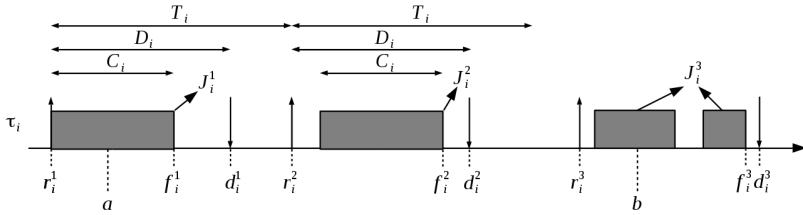


Рис. 1. Последовательность работ задачи τ_i

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

Алгоритмы совместного многоядерного планирования реального времени со статическими приоритетами на уровне задач

Современные алгоритмы планирования реального времени и методы анализа планируемости далеко не всегда в состоянии эффективно использовать вычислительную мощность, предоставляемую многоядерными аппаратными платформами. Следовательно, особую актуальность приобретает вопрос эффективного распределения вычислительных ресурсов между задачами на многоядерной аппаратной платформе. Следует пояснить, что для рассматриваемого круга систем под эффективностью понимается численная характеристика, определяющая совокупное число планируемых алгоритмом планирования наборов задач при соблюдении временных характеристик всех задач при сравнительно высоком уровне коэффициента использования многоядерной аппаратной платформы.

Авторы данной статьи на протяжении последних лет в своих работах рассматривают эффективные алгоритмы планирования. Если в прошлых работах внимание авторов статьи было сконцентрировано на исследовании и сравнении алгоритмов совместного многоядерного планирования со статическими приоритетами на уровне работ и динамическими приоритетами [5], то в данной статье внимание уделяется классу алгоритмов совместного многоядерного планирования со статическими приоритетами на уровне задач (GlobalFixed-Priority, G-FP).

В совместных (global, fullmigrating) многоядерных алгоритмах планирования задачи/работы планируются, находясь в единой очереди готовности к выполнению, и могут свободно перемещаться (мигрировать) между процессорными ядрами [6].

В алгоритмах планирования со статическими приоритетами на уровне задач (staticpriorities, statictaskpriorities, fixedtaskpriorities) каждой задаче до старта системы присваивается уникальный неизменный приоритет, который каждая работа наследует от задачи, породившей ее [7].

Для назначения приоритетов в алгоритмах планирования реального времени со статическими приоритетами на уровне задач существуют различные методы (priorityassignmentorder) [8]. Каждый из методов для распределения приоритетов между задачами учитывает один или несколько параметров задач. Наиболее известные из данных методов, поддерживающих многоядерные системы, рассматриваются и исследуются в рамках данной статьи:

1. Частотно-монотонный метод (RateMonotonicPriorityOrdering, RMPO); наивысший приоритет назначается задаче с наименьшим периодом T_i [9, 10].
2. Монотонный по дедлайну метод (DeadlineMonotonicPriorityOrdering, DMPO); наивысший приоритет назначается задаче с наименьшим дедлайном D_i [11];

3. Метод назначения приоритетов по разности периода и k наихудших времен выполнения ($\text{Periodminus}k\text{timesexecutiontime}$, TkC); наивысший приоритет назначается задаче с наименьшей разностью $T_j - kC_j$ [12]. Коэффициент k является вещественным числом, зависящим от количества ядер:

$$k = \frac{m - 1 + \sqrt{5m^2 - 6m + 1}}{2m}.$$

4. Метод назначения приоритетов по разности дедлайна и наихудшего времени выполнения ($\text{DeadlineminusComputationtimeMonotonicPriorityOrdering}$, D-CMPO); наивысший приоритет назначается задаче с наименьшей разностью $D_j - C_j$ [13].

5. Метод назначения приоритетов по разности дедлайна и k наихудших времен выполнения ($\text{Deadlineminus}k\text{timesexecutiontime}$, DkC); наивысший приоритет назначается задаче с наименьшей разностью $D_j - kC_j$.

Тесты планируемости

С точки зрения теории планирования реального времени набор задач τ называется *выполнимым* (feasible) на заданной процессорной платформе тогда и только тогда, когда существует некоторый алгоритм планирования A , который может планировать все возможные работы, порождаемые набором задач τ , полностью выполняя все их временные требования и ограничения. В свою очередь, набор задач τ называется A -*планируемым* (schedulable) на заданной процессорной платформе тогда и только тогда, когда A соблюдает все временные требования и ограничения при планировании всех возможных наборов работ, которые могут быть порождены всеми задачами $\tau_i \in \tau$ [14].

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

Важно понимать, что достаточный тест планируемости A не определит набор задач как A -планируемый, если на самом деле он таковым не является [14].

Тесты планируемости применяются до начала фактического функционирования СРВ (в режиме офлайн). Поэтому они могут быть вычислительно сложными и обладать длительным временем выполнения, если при этом они смогут улучшить производительность системы на этапе ее исполнения (функционирования, в режиме онлайн), а также смогут повысить вычислительную эффективность использования ресурсов. Стоит отметить, что разработка тестов планируемости – не самая простая задача. Особенно для задач с большой вариативностью поведения во время выполнения, т. к. тесты должны гарантировать, что ни один дедлайн задачи не будет пропущен.

Ключевым понятием многих тестов планируемости является *интерференция* (interference). Интерференция $I_{j,k}$ задачи τ_j на τ_k задачу представляет собой сумму длин всех интервалов, в которых работа задачи τ_k с самым большим временем отклика готова к выполнению, но не выполняется, а работы задачи τ_j выполняются [14]. На рисунке 2 в том числе проиллюстрирована интерференция задачи τ_j на задачу τ_k .

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

$$I_k = \sum_{i \neq k} I_{i,k} \quad (1)$$

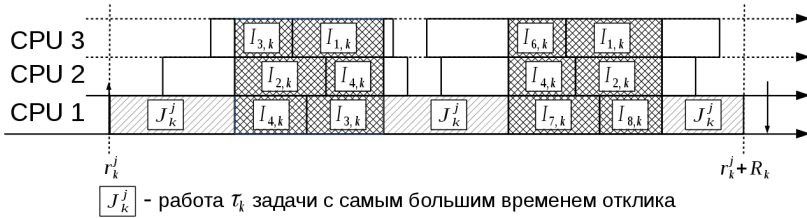


Рис. 2. Интерференция всех задач на τ_k задачу

При формулировании тестов планируемости необходимо определить условия, при котором набор работ будет непланируем. Для этого необходимо предположить, что набор задач τ не является планируемым на m идентичных процессорах. Следовательно, должны существовать наборы работ, порожденных τ , пропускающие дедлайны. Предположим, что дедлайн пропускает работа задачи τ_k . Работу, пропускающую дедлайн, далее будем называть *проблемной*. Интервал между поступлением проблемной работы и завершением (или пропуском данной работой дедлайна) далее будем называть *проблемным окном*.

Тест планируемости DA

На текущий момент в сообществе систем реального времени уже разработан ряд тестов планируемости для совместных многоядерных алгоритмов планирования реального времени. Одним из самых нетребовательных с точки зрения накладных расходов на этапе исполнения является тест планируемости, разработанный учеными Бертоном, Чириней и Липари для алгоритма «Наивысший приоритет задаче с ближайшим дедлайном» (GlobalEarliestDeadlineFirst, G-EDF) и алгоритма G-FP в соответствии с методикой разработки тестов планируемости [5, 15]. Далее данный тест будем называть «Анализом дедлайна» (DeadlineAnalysis, DA). В некоторых источниках он обозначается аббревиатурой BCL (от имен авторов публикации, в которой тест впервые был представлен). Тест DA использует спорадическую модель задач с ограниченными дедлайнами (constrained-deadline).

Тест планируемости DA для G-EDF

Сформулируем тест планируемости DA для алгоритма планирования G-EDF. Для этого необходимо рассчитать верхнюю и нижнюю границы планируемости.

Чтобы проблемная работа пропустила свой дедлайн, все m процессоров должны выполнять другие работы строго больше $D_k - C_k$ единиц времени. Следовательно, нижняя граница планируемости W_L для проблемного окна определяется согласно формуле 2.

$$W_L = C_k + m(D_k - C_k). \quad (2)$$

Отметим, что формула 2 является справедливой для любого алгоритма, относящегося к классу не простаивающих без нагрузки (workconserving) [14]. В таких алгоритмах не бывает простаивающих (не выполняющих полезную работу, idle) ядер, если имеется задача, готовая к исполнению, и еще не назначенная на другие ядра.

Чтобы определить верхнюю границу спроса общей вычислительной нагрузки W_U в проблемном окне, используем понятие интерференции, рассмотренное выше.

Верхняя граница спроса общей вычислительной нагрузки в проблемном окне вычисляется по формуле 3.

$$W_U = C_k + \sum_{i \neq k} I_{i,k} \quad (3)$$

Далее сформулируем верхнюю границу интерференции $\bar{l}_{i,k}$ (верхняя граница планируемости).

Заметим, что никакая «исходящая» работа не может помешать проблемной работе в проблемном окне, т. к. она по определению имеет более поздний дедлайн, чем проблемная. Поэтому мы можем рассмотреть ситуацию, когда дедлайн последней (в данном интервале) работы задачи τ_i находится в конце проблемного окна. Т.е. ее дедлайн совпадает с дедлайном проблемной работы, а все другие работы задачи τ_i выполняются максимально поздно, так, что их дедлайны совпадают с временем их завершения. В таком (наихудшем) случае интерференция $l_{i,k}$ в проблемном окне будет максимальна. Ситуация изображена на рисунке 3[16].

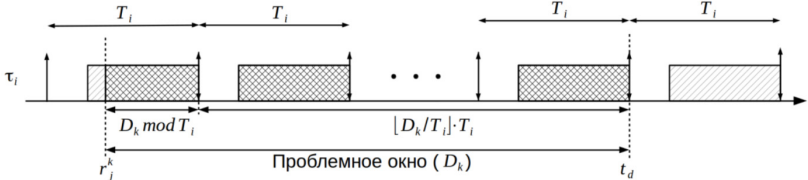


Рис. 3. Наибольшая интерференция задачи τ_i в проблемном окне для алгоритма планирования G-EDF

Первая работа задачи τ_i в проблемном окне может выполняться не более $\min(C_i, D_k \bmod T_i)$ единиц времени. Каждая из последующих работ может выполняться C_i единиц времени. Количество таких работ определяется как $\lfloor D_k / T_i \rfloor$. В результате для $\bar{l}_{i,k}$ получаем выражение.

$$l_{i,k} \leq \bar{l}_{i,k} = \left\lfloor \frac{D_k}{T_i} \right\rfloor \cdot C_i + \min(C_i, D_k \bmod T_i)$$

Тест планируемости: набор задач τ является G-EDF-планируемым на m идентичных процессорах, если для каждого $\tau_k \in \tau$, выполняется одно из двух условий – 4 или 5.

$$\sum_{i \neq k} \min(D_k - C_k, \bar{l}_{i,k}) < m(D_k - C_k) \quad (4)$$

$$\sum_{i \neq k} \min(D_k - C_k, \bar{l}_{i,k}) = m(D_k - C_k) \wedge \exists i \neq k : 0 < \bar{l}_{i,k} \leq (D_k - C_k) \quad (5)$$

Псевдокод данного алгоритма представлен на рис. 4. Временная сложность алгоритма $O(n^2)$

Алгоритм 1: Тест планируемости DA для алгоритма планирования G-EDF

Data: τ - множество всех задач в наборе m - количество процессоров

Result: 0 - набор задач планируем или 1 - набор задач не планируем

Procedure *schedCheckDAgedf* (τ, m) **is**

```

foreach  $\tau_k \in \tau$  do
    if  $\sum_{i \neq k} \min(D_k - C_k, \bar{l}_{i,k}) > m(D_k - C_k)$  then
        | return 0
    end
    if  $\sum_{i \neq k} \min(D_k - C_k, \bar{l}_{i,k}) = m(D_k - C_k)$  and  $\forall i \neq k : \bar{l}_{i,k} > D_k - C_k$  then
        | return 0
    end
end
return 1
end
    
```

Рис. 4. Алгоритм теста планируемости DA для алгоритма планирования G-EDF

Тест планируемости DA для G-FP

В алгоритме планирования G-FP приоритет задачам назначается до старта системы. Следовательно, помешать проблемной работе в проблемном окне может только задача с большим приоритетом.

Будем считать, что задачи предварительно отсортированы в порядке уменьшения приоритета, тогда верхняя граница спроса общей вычислительной нагрузки в проблемном окне вычисляется по формуле (6).

$$W_{ij} = C_k + \sum_{i < k} \bar{l}_{i,k} \quad (6)$$

Далее сформулируем верхнюю границу интерференции $\bar{l}_{i,k}$.

Интерференция будет максимальной, когда первая работа задачи τ_i выполнится как можно ближе к ее дедлайну, при этом начиная выполняться в момент a , а каждая последующая работа задачи τ_i выполняется как можно раньше. Ситуация изображена на рисунке 5.

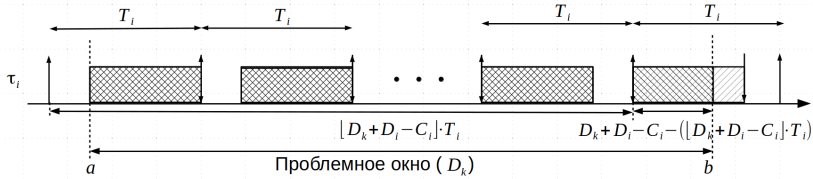


Рис. 5. Наибольшая интерференция задачи τ_i в проблемном окне для алгоритма планирования G-FP

Последняя работа задачи τ_i в проблемном окне может выполняться не более $\min(C_i, D_k + D_i - C_i - N_i \cdot T_i)$ единиц времени. Каждая из предыдущих работ может выполняться C_i единиц времени. Количество таких работ определяется по формуле

$$N_i = \left\lfloor \frac{D_k + D_i - C_i}{T_i} \right\rfloor$$

В результате для $\bar{l}_{i,k}$ получаем выражение.

$$l_{i,k} \leq \bar{l}_{i,k} = W_i(D_k) = N_i \cdot C_i + \min(C_i, D_k + D_i - C_i - N_i \cdot T_i)$$

Тест планируемости: Набор задач τ является G-FP-планируемым на m идентичных процессорах, если для каждого $\tau_k \in \tau$, выполняется одно из двух условий – 7 или 8.

$$\sum_{i < k} \min(D_k - C_k, \bar{l}_{i,k}) < m(D_k - C_k) \quad (7)$$

$$\sum_{i < k} \min(D_k - C_k, \bar{l}_{i,k}) = m(D_k - C_k) \text{ и } \exists i < k : 0 < \bar{l}_{i,k} \leq (D_k - C_k) \quad (8)$$

Псевдокод данного алгоритма представлен на рисунке 6. Его временная сложность составляет $O(n^2)$.

Алгоритм 2: Тест планируемости DA для алгоритма планирования G-FP

```

Data:  $\tau$  - множество всех задач в наборе  $m$  - количество процессоров
Result: 0 - набор задач планируем или 1 - набор задач не планируем
Procedure schedCheckDA( $\tau, m$ ) is
  foreach  $\tau_k \in \tau$  do
    if  $\sum_{i < k} \min(D_k - C_k, \bar{I}_{i,k}) > m(D_k - C_k)$  then
      | return 0
    end
    if  $\sum_{i < k} \min(D_k - C_k, \bar{I}_{i,k}) = m(D_k - C_k)$  and  $\forall i < k : \bar{I}_{i,k} > D_k - C_k$  then
      | return 0
    end
  end
  return 1
end
  
```

Рис. 6. Алгоритм теста планируемости DA для алгоритма планирования G-FP

Тест планируемости RTA для алгоритма G-FP

Тест планируемости Анализа времени отклика (Response Time Analysis, RTA) изначально был разработан для одноядерных алгоритмов планирования со статическими приоритетами на уровне задач (FP) [17]. Для алгоритмов данного класса RTA является точным тестом планируемости, который сравнивает наихудшее время отклика каждой задачи с ее дедлайном. Наихудшее время отклика может быть вычислено при анализе конкретной ситуации, называемой критическим моментом, в которой у всех задач время поступления совпадает.

В 2007 г. Бертонья предложил расширение теста планируемости RTA для G-FP [18], являющегося достаточным тестом планируемости для многоядерных систем. Эта модификация и будет рассматриваться в данной работе.

Тест планируемости RTA позволяет дополнительно сократить интерференцию для отдельных задач, вычисляя верхнюю границу времени отклика для каждой задачи. Данный тест аналогичен DATесту, но использует меньшее проблемное окно.

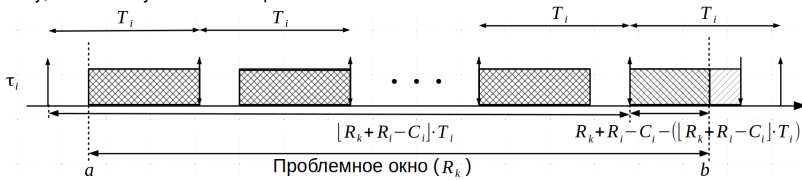


Рис. 7. Наибольшая интерференция задачи τ_j в проблемном окне для алгоритма планирования G-FP

Тест планируемости RTA основан на итеративном расчете времени отклика \bar{R}_k каждой задачи. Процедура расчета интерференции и сопутствующих величин аналогична тесту планируемости DA. Считаем, что начальное значение $\bar{R}_k = C_k$. Последующие вычисления будут производиться по формулам, представленным ниже:

$$N_i(\bar{R}_k) = \left\lfloor \frac{\bar{R}_k + \bar{R}_i - C_i}{T_i} \right\rfloor$$

$$l_{i,k} \leq \bar{l}_{i,k}(\bar{R}_k) = W_i(\bar{R}_k) = N_i(\bar{R}_k) \cdot C_i + \min(C_i, \bar{R}_k + \bar{R}_i - C_i - N_i(\bar{R}_k) \cdot T_i)$$

$$\bar{R}_k \leftarrow C_k + \left\lfloor \frac{1}{m} \sum_{i < k} \min(\bar{R}_k - C_k + 1, \bar{l}_{i,k}(\bar{R}_k)) \right\rfloor$$

Далее, необходимо проанализировать полученное значение \bar{R}_k . Если $\bar{R}_k > D_k$, то задача τ_k не планируема. Следовательно, и набор задач τ не планируем. На этой проверке алгоритм завершает свою работу.

Псевдокод данного алгоритма представлен на рисунке 8. Его временная сложность равна $O(n^3 \cdot D_{max}^2)$.

Алгоритм 3: Тест планируемости RTA для алгоритма планирования G-FP

Data: τ - множество всех задач в наборе m - количество процессоров

Result: 0 - набор задач планируем или 1 - набор задач не планируем

Procedure *schedCheckRTA*gp(τ, m) **is**

```

foreach  $\tau_k \in \tau$  do
  |  $\bar{R}_k = D_k$ 
end
 $updated = true$ 
while  $updated == true$  do
  | foreach  $\tau_k \in \tau$  do
  | |  $newBound = C_k + \lfloor \frac{1}{m} \sum_{i < k} \min(\bar{R}_k - C_k + 1, \bar{l}_{i,k}(\bar{R}_k)) \rfloor$ 
  | | if  $newBound > D_k$  then
  | | |  $return 0$ 
  | | | end
  | | if  $newBound > R_k$  then
  | | |  $R_k = newBound$ 
  | | |  $updated = true$ 
  | | | end
  | | end
  | end
end
 $return 1$ 
end

```

Рис. 8. Алгоритм теста планируемости RTA для алгоритма планирования G-FP

Исследование тестов планируемости

В рамках данной работы представляются результаты первоначального (базового) исследования эффективности теста планируемости DA для совместных многоядерных алгоритмов планирования семейства EDF и алгоритма G-FP, а также теста планируемости RTA для алгоритма планирования G-FP с применением различных методов назначения приоритетов. К совместным многоядерным алгоритмам семейства EDF относятся G-EDF, «Наивысший приоритет задаче с ближайшим дедлайном пока резерв

времени ненулевой» (Earliest Deadline until Zero Laxity, EDZL) и «Наивысший приоритет задаче с ближайшим дедлайном пока резерв времени допустимый» (Earliest Deadline First while Permissible Laxity, EDF-PL). Также в работе проводится сравнительный анализ результатов исследования.

Для исследования тестов планируемости алгоритмов семейства G-EDF и G-FP псевдослучайным образом было сгенерировано 100 000 наборов спорадических задач, каждый из которых обладает заданным (одинаковым для всех наборов задач) общим коэффициентом использования системы, последовательно изменяющимся в диапазоне $U_{tot} \in [0.1, m]$. Эффективность (уровень планируемости) каждого теста планируемости для заданного значения коэффициента использования оценивается при анализе параметров всех 100 000 наборов задач для определения коэффициента успеха (successratio):

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

Каждый набор задач τ с общим коэффициентом использования U_{tot} генерируется следующим образом. Коэффициент использования задачи τ_i определяется с использованием непрерывного равномерного распределения в пределах диапазона $u_i \in [0.1, 1]$. Непрерывное распределение коэффициентов использования задач обеспечивается с помощью метода генерации UUniFast-Discard [13, 19], который перебирает все возможные значения коэффициентов использования задач, впоследствии исключая наборы задач, в которых коэффициент использования задачи больше 1. Период задачи τ_i равномерно распределен в диапазоне $T_i \in [25\text{мс}, 200\text{мс}]$. Границы данного диапазона были выбраны на основе реальных периодов приложений для авионики [20]. Наихудшее время выполнения задачи рассчитывается как $C_i = U_i T_i$. В данном исследовании использовались задачи с ограниченным и неявным дедлайнами. При ограниченном дедлайне относительный дедлайн задачи определяется случайным образом в интервале от времени выполнения задачи до ее периода, т.е. $D_i \in [C_i, T_i]$. В каждом наборе задач количество задач составляло 5m. Используя сгенерированные таким образом наборы задач, производится оценка эффективности тестов планируемости (используя коэффициент успеха).

При исследовании рассматривались следующие случаи количества ядер в многоядерных аппаратных платформах: $m \in [2, 4, 8, 16]$.

В рамках исследования было проведено четыре серии (группы) вычислительных экспериментов, отличающиеся типом дедлайна (неявный или ограниченный) и набором сравниваемых тестов планируемости, алгоритмов планирования и методов назначения приоритетов для алгоритмов планирования со статическими приоритетами на уровне задач.

В первой серии экспериментов рассматривался случай спорадических задач с ограниченным дедлайном для тестов планируемости DA алгоритмов планирования семейства EDF (G-EDF, EDZL, EDF-PL [5]) и теста планируемости RTA для алгоритма G-FP с различными методами назначения приоритетов задачам. Результаты данной серии экспериментов приведены на рисунках 9 а – 9 г. На каждом графике представлена зависимость коэффициента успеха от значения общего коэффициента использования системы.

По итогам первой серии экспериментов тест планируемости RTA с применением метода назначения приоритета DkC продемонстрировал наилучшие результаты по уровню планируемости, а тесты планируемости DA для алгоритмов планирования семейства G-EDF демонстрируют наихудшие результаты. При увеличении количества процессорных ядер возрастает разность между тестами планируемости RTA с применением методов назначения приоритета DkC и D-CMPO, а эффективность тестов планируемости RTA с методами DMPO, RMPO и TkC ухудшается.

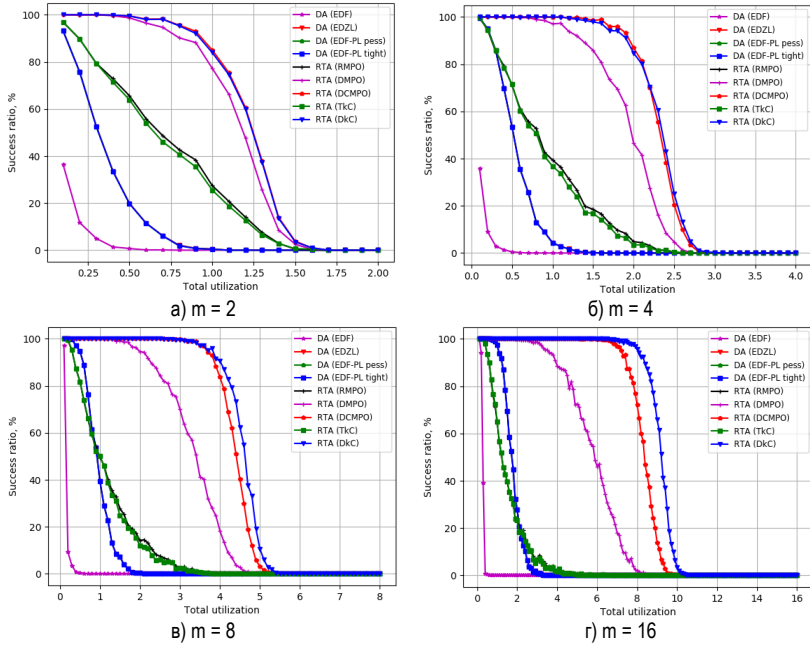
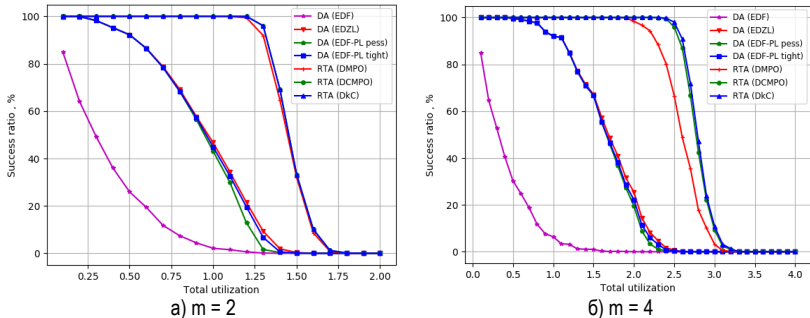


Рис. 9. Эффективность тестов планируемости спорадических задач с ограниченным дедлайном

Во второй серии экспериментов рассматривались спорадические задачи для тех же тестов планируемости, но уже для случая неявного дедлайна. Результаты данной серии экспериментов приведены на рисунках 10.а – 10.г.

По итогам второй серии экспериментов тесты планируемости RTA стабильно превосходят тесты планируемости DA. Тесты планируемости для алгоритмов G-EDF демонстрируют наихудшие результаты. С увеличением числа процессорных ядер эффективность теста планируемости RTA с методом назначения приоритетов DMPO ухудшается, а тест планируемости RTA с методом назначения приоритетов DKC начинает превосходить тот же тест, но с применением метода назначения приоритета DCMPO.



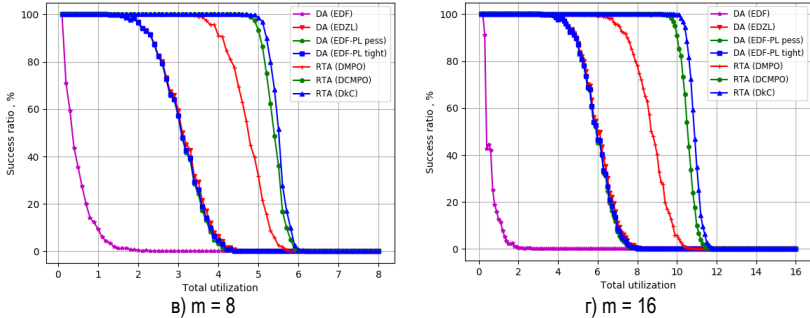


Рис. 10. Эффективность тестов планируемости спорадических задач с неявным дедлайном

В третьей серии экспериментов рассматривался случай спорадических задач с ограниченным дедлайном для тестов планируемости DA и RTA для алгоритма G-FP с различными методами назначения приоритетов. Результаты данной серии экспериментов приведены на рисунках 11.a – 11.g.

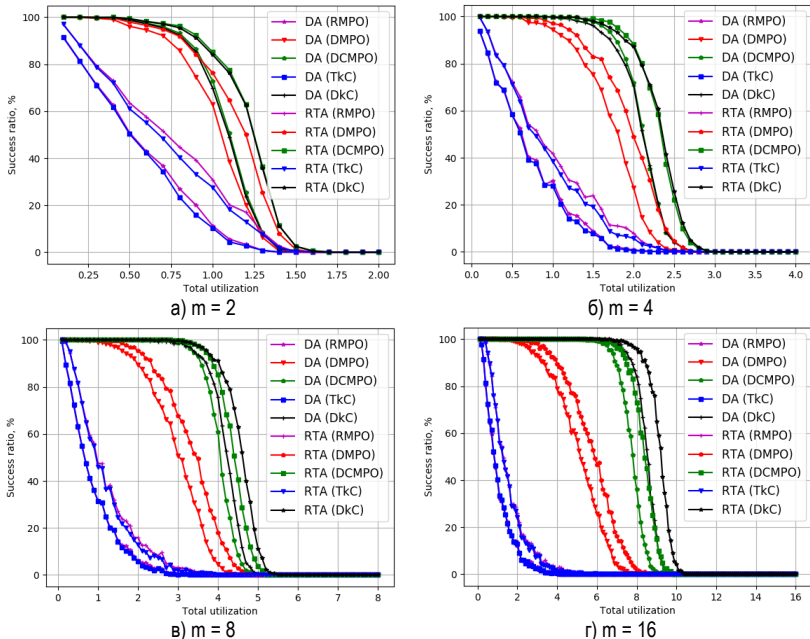


Рис. 11. Эффективность тестов планируемости спорадических задач с ограниченным дедлайном

По итогам третьей серии экспериментов видно, что тесты планируемости RTA стабильно превосходят тесты DA. Самыми неэффективными методами назначения приоритетов по итогам экспериментов

оказались ТкС и RMPO. С увеличением количества процессорных ядер эффективность тестов планируемости с методом DMPO ухудшается, в то же время метод ДкС начинает превосходить остальные методы назначения приоритетов.

В заключительной серии экспериментов рассматривался случай спорадических задач с неявным дедлайном для тестов планируемости DA и RTA для алгоритма G-FP с различными методами назначения приоритетов. Результаты данной серии экспериментов приведены на рисунках 12 а – 12.г.

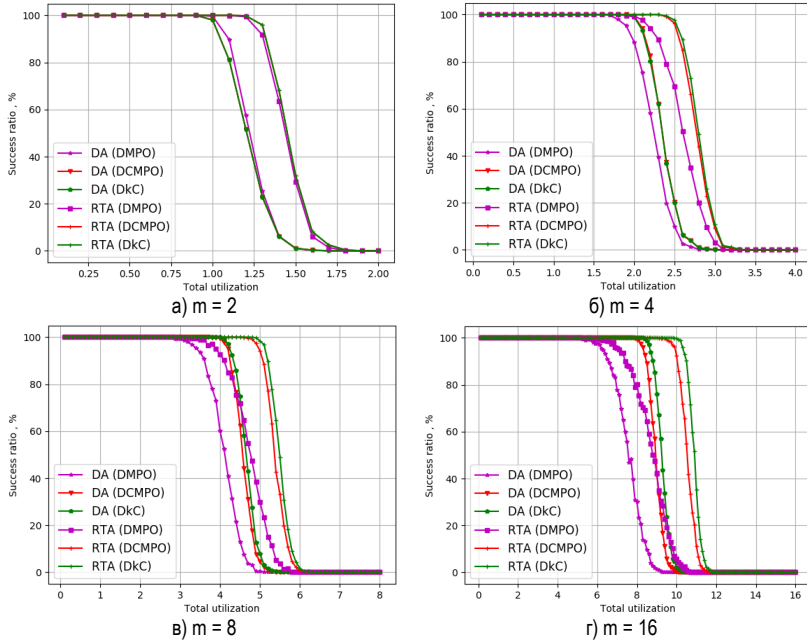


Рис. 12. Эффективность тестов планируемости спорадических задач с неявным дедлайном

По итогам четвертой серии экспериментов можно сделать выводы, что тесты планируемости RTA стабильно превосходят тесты DA, самый эффективный тест планируемости - RTA с применением метода назначения приоритета ДкС. Самый неэффективный метод назначения приоритетов по итогам моделирования - DMPO. При увеличении количества ядер тесты планируемости, которые используют метод ДкС, начинают превосходить тесты с методом D-CMPO.

В данной статье было проведено исследование тестов планируемости DA и RTA для алгоритмов совместного многоядерного планирования со статическим назначением приоритетов на уровне задач с применением различных методов назначения приоритетов и для алгоритмов планирования класса G-EDF.

По результатам исследования тестов планируемости можно сделать вывод, что тест планируемости RTA для алгоритма G-FP продемонстрировал наилучшие результаты относительно теста планируемости DA для алгоритма G-FP по уровню планируемости. Хотя тест планируемости RTA имеет большую вычислительную сложность, его применение оправдано, так как RTA позволяет повысить эффективность использования вычислительных ресурсов системы на этапе исполнения.

Также результаты исследования продемонстрировали, что наиболее эффективным методом назначения приоритетов является ДкС. Стоит отметить, что выбор метода назначения приоритета никак не влияет на накладные расходы планировщика на этапе исполнения, но при этом может значительно

улучшить результаты теста планируемости.

При использовании задач с ограниченным дедлайном эффективность всех тестов планируемости и методов назначения приоритетов ухудшается.

Результаты тестов планируемости для алгоритмов со статическими приоритетами на уровне работ и динамическими приоритетами (семейство G-EDF) оказались более пессимистичны, чем тесты планируемости со статическими приоритетами на уровне задач. Это связано с тем, что в алгоритмах со статическими приоритетами на уровне задач вытеснить задачу может только задача с большим приоритетом (такие задачи определяются до старта системы).

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

В продолжение данных работ планируется произвести исследование других тестов планируемости, которые могут оказаться более строгими и иметь более высокий уровень планируемости. К таким тестам, например, относятся «Анализ дедлайна с ограничением входящих работ» (Deadline Analysis with Limited Carry-in, DA-LC) [16], «Анализ времени отклика с ограничением входящих работ» (Response Time Analysis with Limited Carry-in, RTA-LC) [21] и «Псевдопланируемое условие в анализе времени отклика» (Pseudo-Schedulability Condition in Response Time Analysis, C-RTA) [8]. Также предполагается произвести исследование дополнительных методов назначения приоритетов задачам, применяемых в алгоритмах планирования со статическим приоритетом на уровне задачи. К данным методам относятся «Частотно-монотонный метод назначения приоритетов с разделением по коэффициенту использования» (Rate Monotonic with Utilization Separation, RM-US) [6], «Монотонный по дедлайну метод назначения приоритетов с разделением по плотности» (Deadline Monotonic with Density Separation, DM-DS) [22], «Монотонный по запаздыванию метод назначения приоритетов с разделением по плотности» (Slack Monotonic with Utilization Separation, SM-US) [23], «Оптимальный метод назначения приоритетов» (Optimal priority assignment, OPA) [24] и «Надежный метод назначения приоритетов» (Robust Priority Assignment, RPA) [25].

Библиографический список

1. Виноградов В.В. Методы планирования задач в системах реального времени на многоядерных процессорах. / Шестьдесят девятая международная студенческая научная конференция ГУАП: Ч.1 Технические науки. Сб. докладов 18-22 апреля 2016 г. СПб.: ГУАП, 2016. С. 19-24.
2. Осмоловский С.В. Методы планирования задач в операционных системах реального времени // Научная сессия ГУАП: Ч.1 Технические науки. Сб. докладов 9-11 апреля 2012 г. СПб.: ГУАП, 2012. С. 100-104.
3. Müller D. Schedulability Tests for Real-Time Uniand Multiprocessor Systems/ D. Müller // Der Fakultätfür Informatik der TU Chemnitz zur Erlangung der Lehrbefähigung im Fach Informatik und des akademischen Grades eines, 2014.
4. Davis R. A review of priority assignment in real-time systems / R. Davis, L. Cucu-Grosjean, M. Bertogna, A. Burns // Journal of systems architecture, 65:64–82, 2016.04.002
5. Осмоловский С.В. Алгоритмы совместного многоядерного планирования задач для систем реального времени / С.В. Осмоловский, Д.М. Шакуров, Е.Р. Иванова, В.В. Виноградов, И.П. Федоров // Научная сессия ГУАП. Сб. докладов. Апрель 2017. Т. Часть 1. Технические науки. С. 174-183.
6. Andersson B. Static-priority scheduling on multiprocessors / B. Andersson, S. Baruah, J. Jonsson // Proceedings of 22nd IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS 2001). 2001. Pp. 193-202.
7. Brandenburg B. Scheduling and Locking in Multiprocessor Real-Time Operating Systems / B. Brandenburg / University of North Carolina at Chapel Hill, Ph.D. dissertation 2011. 614 pp.
8. Davis R. Improved priority assignment for global fixed priority pre-emptive scheduling in multiprocessor real-time systems / R. Davis, A. Burns // Real-Time Syst., 47:1-40, January 2011.
9. Serlin O. Scheduling of time critical processes. In proceedings AFIPS Spring Computing Conference. Pp. 925-932.

10. Liu C.L. Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment / C.L. Liu, J. Layland // *Journal of the ACM*, Vol. 20, No. 1. January 1973. Pp. 46-61.
11. Leung J. Y.-T. On the complexity of fixed-priority scheduling of periodic real-time tasks / J. Y.-T. Leung, J. Whitehead // *Performance Evaluation*, 2(4): 237-250, December 1982.
12. Andersson B. Fixed-priority preemptive multiprocessor scheduling: to partition or not to partition / B. Andersson, J. Jonsson / *Proceedings of the International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications*, Cheju Island, Korea (December 2000).
13. Davis R. Priority assignment for global fixed priority pre-emptive scheduling in multiprocessor real-time systems / R. Davis, A. Burns // *IEEE Real-Time Systems Symposium*, pages 398–409, Washington, DC, USA, December 2009. IEEE Computer Society.
14. Baruah S. *Multiprocessor Scheduling for Real-Time Systems*/ S. Baruah, M. Bertogna, G. Buttazzo // Springer US, 2015.
15. Bertogna, M. Improved schedulability analysis of edf on multiprocessor platforms / M. Bertogna, M. Cirinei, G. Lipari. // *In IEEE ECRTS*, pages 209– 218, 2005.
16. Bertogna, M. Schedulability analysis of global scheduling algorithms on multiprocessor platforms /M. Bertogna, M. Cirinei, G. Lipari // *IEEE Transactions on parallel and distributed systems*. Vol. 20. No. 4, April 2009. Pp. 553-566.
17. Audsley, N. Applying new scheduling theory to static priority pre-emptive scheduling, / N. Audsley, A. Burns, M. Richardson, K. Tindell, A. Wellings // *Report RTRG/92/120* Department of Computer Science Report, University of York, February 1992.
18. Bertogna, M. Response Time Analysis for global scheduled symmetric multiprocessor platforms. / M. Bertogna, M. Cirinei // *In proceedings of the Real-Time Systems Symposium*. Pp. 149-158.
19. Bini E. Measuring the Performance of Schedulability tests / E. Bini, G.C. Buttazzo // *Real-Time Systems*, 30(1–2):129–154, May 2005.
20. Vestal, S. Preemptive Scheduling of Multi-Criticality Systems with Varying Degrees of Execution Time Assurance. *In Proc. of RTSS*. Pp. 239 –243. 2007.
21. Guan N. New Response Time Bounds for Fixed Priority Multiprocessor Scheduling / N. Guan, M. Stigge, W. Yi, G. Yu// *In proceedings of the Real-Time Systems Symposium*. Pp. 388-397. 2009.
22. Bertogna, M. New schedulability tests for real-time task sets scheduled by deadline monotonic on multiprocessors / M. Bertogna, M. Cirinei, G. Lipari // *In James H. Anderson, Giuseppe Prencipe, and Roger Wattenhofer, editors, OPODIS*, volume 3974 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 306–321. Springer, 2005.
23. Andersson, B. Global static-priority preemptive multiprocessor scheduling with utilization bound 38%. *In OPODIS '08: Proceedings of the 12th International Conference on Principles of Distributed Systems*, Pp. 73–88, Berlin, Heidelberg, 2008. Springer-Verlag.
24. Audsley N.C. Optimal priority assignment and feasibility of static priority tasks with arbitrary start times. *Technical Report YCS 164*, University of York, York, England, UK, 1991.
25. Davis, R. Robust Priority Assignment for Fixed Priority Real-Time Systems / R. Davis, A. Burns // *In proceedings Real-Time Systems Symposium (RTSS)*.2007. Pp. 3-14.

УДК 004.93.12

К. А. Корзунов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Р. Луцке – профессор, доктор технических наук – научный руководитель

ОБЗОР МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Существующий прорыв в компьютерном зрении за последние годы открыл ранее недоступные горизонты и стимулировал поиск новых областей, где можно применять данную технологию.

Одна из новых задач, которую ставят перед собою охранные системы – это задача автоматического распознавания объекта (человека) в зоне наблюдения.

Распознавание человека в зоне наблюдения является главной целью охранного комплекса. Практика показала, что живой человек, наблюдающий по камерам за объектами, не так совершенен. Следовательно, имеет место человеческий фактор и может произойти кража, хулиганство, разбой. Всего этого можно избежать, если воспользоваться «компьютерным зрением», тем самым убрав из системы наблюдения человеческий фактор, и в нужный момент система укажет на подозрительный объект.

Рассмотрим три метода распознавания объекта на изображении, которые зарекомендовали себя в исторической ретроспективе:

1. Контурный анализ.
2. HOG/SVM.
3. Сверточные нейронные сети.

Главные проблемы локализации объекта с которыми мы сталкиваемся:

1. Загораживание объектов друг на друга.
2. Засветы объектов.
3. Плохое разрешение изображения (смазанные силуэты).

Обзор методов

Контурный анализ

Сперва использовался контурный анализ на основе дистантного преобразования с использованием выделенных контуров.

На изображении выделяются замкнутые контуры, расширяются и сравниваются с несколькими эталонными контурами объектов.

Выяснилось, что для данной задачи такой подход недостаточно пригоден: как уже отмечалось, на изображениях объекты зачастую стоят вплотную, частично перекрываются друг другом, а плохое освещение еще сильнее портит ситуацию (рис. 1). Все это делает хоть на сколько-нибудь качественное выделение контуров невозможным.

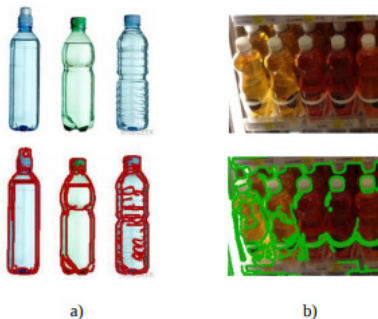


Рис. 1. Анализ контуров, отлично работающий в лабораторных условиях (а), но непригодный для данной задачи (б)

HOG/SVM

На смену контурным методам в начале этого столетия пришло использование HOG-дескрипторов. Алгоритм разбивает изображение внутри скользящего окна на небольшие не пересекающиеся квадратные сегменты, для каждого из них считаем интенсивности изменения цветов в различных направлениях, которые затем нормализуем по блоку (рис. 2). На данных признаках HOG-дескриптор (Histogram of Oriented Gradients), обучается бинарный классификатор (присутствует объект / отсутствует объект). Обычно в качестве объекта выступает SVM (Support Vector Machine); чтобы уменьшить переобучение, используют SVM, так как размер дескриптора велик, а тренировочных данных очень мало.

Для обучения проводится несколько раундов. После каждого раунда участок, на котором неверно обнаружен объект, пополняется тренировочную группу в качестве сложного отрицательного примера. После четырех-пяти раундов классификатор достигает своего пика точности и улучшение прекращается.

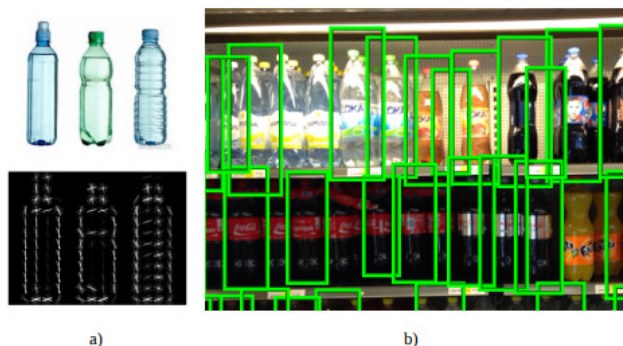


Рис. 6. HoG-дескрипторы бутылок (а);
пример работы алгоритма на фотографии витрины (b)

Такой подход оперативен как в обучении, так и в работе (время обучения 3 м /раунд*5 раундов, поиск объектов занимает приблизительно 1 с на изображении b). Находит объекты разных объемов. Основной же недостаток относящийся к данной задаче – довольно невысокое качество обнаружения.

Данный метод использует большее количество информации и дает более точный анализ изображения по сравнению с контурным методом.

Сверточные нейронные сети

Более совершенным способом считаются сверточные нейронные сети, так как они обучаются в процессе своей работы и повышают свою точность. В задачах компьютерного зрения сверточная нейронная сеть превосходит классическую архитектуру из-за учета корреляции между соседними пикселями, находящимися на фактических изображениях.

Сверточный слой имеет следующие отличительные особенности.

1. Локальная связность. Нейроны внутри слоя соединены лишь с небольшой областью предыдущего. Множественное последовательное соединение таких слоев ведет к формированию нелинейных фильтров, которые постепенно становятся все более глобальными, то есть обзорающими более обширные области изображения. Это позволяет нейронной сети сперва сформировать хорошие признаки для небольших кусочков изображения, а затем на их основе создать признаки для участков размером поболее.

2. Общие параметры. В сверточном слое один и тот же фильтр используется для всех областей входящего изображения. Такой подход сильно понижает количество настраиваемых параметров слоя, т.е. время обучения и количество требуемой памяти. Кроме этого, сильно ограничивается запоминающая способность нейронной сети, подталкивая ее при обучении к обобщению показанной информации, а не попиксельному запоминанию каждого показанного изображения.

Из недостатков нейронных сетей нужно отметить большое количество требуемых для обучения данных и относительно низкую скорость работы.

Библиографический список

1. Луцив В.Р. Сверточные искусственные нейронные сети глубокого обучения // Оптический журнал. 2015.
2. Луценко А.Н. Обнаружение и распознавание потребительских товаров на изображениях на основе сверточных нейронных сетей. 2016.
3. Gavrilă D. M. Real-Time Object Detection .1998.

УДК 004.713

В. В. Коромыслов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Е. Н. Яблоков – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОММУТАТОРОВ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ

В современном мире важнейшим ресурсом является информация. Необходимость быстрого доступа к источнику информации или ее обмену наблюдается во всех сферах деятельности человека. Сейчас основным и наиболее распространенным способом обмена информацией являются сети передачи данных.

В связи с бурным развитием технологий и появлением большого числа электронных устройств, в алгоритм работы которых заложены процедуры обмена информацией через сети, нагрузка на сети передачи данных возрастает, что в свою очередь приводит к увеличению времени, затрачиваемому на передачу информации между двумя оконечными узлами сети. Еще одним фактором, влияющим на время доставки данных, является назначение различным типам передаваемой информации разных приоритетов, в результате чего одни данные передаются максимально быстро, а другие очень долго.

В основном задержка передачи данных в сети складывается из двух величин:

- 1) задержки передачи по каналам связи,
- 2) задержки прохождения транзитных узлов.

В локальных сетях, в связи со сравнительно небольшими расстояниями между оконечными устройствами, большую роль играют задержки в транзитных узлах (коммутаторах).

Сетевым коммутатором (switch) называется устройство, предназначенное для соединения нескольких узлов компьютерной сети в пределах одного или нескольких сегментов сети. Основной причиной задержек коммутатора, помимо непосредственного времени на коммутацию портов, является возникновение ситуации, когда, один кадр ожидает в очереди пока передается другой.

Для аналитического исследования данной ситуации наиболее часто применяют инструменты теории массового обслуживания. В простейшем виде сетевой коммутатор можно представить в виде системы массового обслуживания (СМО) типа М/М/1, показанной на рисунке 1, на вход которой поступает пуассоновский поток заявок

$$\Pr(k, t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t} (\lambda > 0),$$

где $\Pr(k, t)$ – вероятность того, что за время t в систему поступит k заявок; λ – интенсивность потока заявок, система имеет одно обрабатывающее устройство и время обслуживания заявок имеет экспоненциальное распределение.



Рис. 1. Система М/М/1

Если входной поток СМО генерируют несколько источников, и каждый из потоков источников является пуассоновским, то интенсивность входного потока СМО можно получить, сложив интенсивности всех потоков [1].

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

где λ – интенсивность входного потока СМО, n – число источников, λ_i – интенсивность потока i -го источника.

Одной из важнейших характеристик качества обслуживания системы является нагрузка:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu},$$

где λ – интенсивность поступления заявок в систему, а μ – интенсивность обслуживания. Заменяв μ на $\frac{1}{\vartheta}$ получим $\rho = \lambda\vartheta$, где ϑ – средняя длительность обслуживания. Если входной поток системы состоит из нескольких потоков заявок (заявок разных типов), то суммарная нагрузка системы равна:

$$R = \sum_{i=1}^M \rho_i = \sum_{i=1}^M \lambda_i \vartheta_i,$$

где ϑ_i – средняя длительность обслуживания заявок типа i . Данное исследование рассматривает только системы, работающие в стационарном режиме, это такие системы, в которых нагрузка $R < 1$.

В системах массового обслуживания время ожидания заявки в очереди в том числе зависит и от дисциплины обслуживания.

Для данного исследования были использованы следующие дисциплины обслуживания:

1. Без приоритетная дисциплина обслуживания (FIFO/LIFO)

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i \vartheta_i^2}{2(1-R)},$$

где ω – среднее время ожидания заявок всех типов, ϑ_i^2 – второй начальный момент длительности обслуживания заявок типа $i = 1, \dots, M$.

2. Дисциплина обслуживания с относительными приоритетами

$$\omega_k = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i \vartheta_i^2}{2(1-R_{k-1})(1-R_k)},$$

где ω_k – среднее время ожидания заявок имеющих приоритет $k = 1, \dots, M$, $R_{k-1} = \rho_1 + \dots + \rho_{k-1}$ и $R_k = \rho_1 + \dots + \rho_k$ – загрузки, создаваемые потоками заявок z_1, \dots, z_{k-1} и z_1, \dots, z_k соответственно.

3. Дисциплина обслуживания с абсолютными приоритетами

$$\omega_k = \frac{R_{k-1} \vartheta_k}{1-R_{k-1}} + \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i \vartheta_i^2}{2(1-R_{k-1})(1-R_k)},$$

где ω_k – среднее время ожидания заявок имеющих абсолютный приоритет $k = 1, \dots, M$.

4. Дисциплина с дообслуживанием заявок

$$\omega_1 = \frac{\vartheta_1(1-\rho_1) + \frac{\lambda_1 \vartheta_1^2}{2}}{1-\rho_1},$$

при $k = 1$ и

$$\omega_k = \frac{\vartheta_k(1-R_k) + \frac{\sum_{i=1}^k \lambda_i \vartheta_i^2}{2}}{(1-R_{k-1})(1-R_k)},$$

при $k > 1$, где ω_k – среднее время ожидания заявок, имеющих приоритет $k = 1, \dots, M$.

5. Дисциплина обслуживания со смешанными приоритетами (заданная матрицей приоритетов)

$$\omega_k = \frac{\vartheta_k \sum_{i \in M_{ok}^{(1)}} \rho_i}{1 - \sum_{i \in M_{ok}^{(1)}} \rho_i} + \frac{\sum_{i \in M_{ok}^{(2)}} \lambda_i \vartheta_i^2}{2 \left(1 - \sum_{i \in M_{ok}^{(3)}} \rho_i \right) \left(1 - \sum_{i \in M_{ok}^{(4)}} \rho_i \right)}, k \in M_0,$$

где M_0 – множество всех заявок в системе, $M_{ok}^{(1)}$ – подмножество потоков заявок, имеющих более высокий абсолютный приоритет, чем заявки потока k ; $M_{ok}^{(2)}$ – подмножество потоков заявок, по отношению к которым заявки потока k не обладают более высоким абсолютным приоритетом; $M_{ok}^{(3)}$ – подмножество потоков заявок, имеющих более высокий относительный или абсолютный приоритет по отношению к заявкам потока k ; $M_{ok}^{(4)}$ – подмножество заявок, по отношению к которым заявки потока k не обладают более высоким относительным или абсолютным приоритетом.

Для расчетов задержек в соответствии с дисциплинами (1-5) были взяты произвольные значения интенсивностей входных потоков, времени обслуживания, и приоритетов, удовлетворяющие условию стационарности системы, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Потоки	λ	ϑ	Приоритеты
Поток 1	0,1	0,4	1
Поток 2	0,2	0,5	2
Поток 3	0,3	0,5	3

Матрица приоритетов для дисциплины обслуживания со смешанными приоритетами (5) имеет вид:

$$\begin{pmatrix} & I & II & III \\ I & 0 & 2 & 2 \\ II & 0 & 0 & 1 \\ III & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

где I, II и III – номера входных потоков, 2 – абсолютный приоритете, 1 – относительный приоритет, 0 – отсутствие приоритета потока, стоящего в i -ой строке, перед потоком в j -ом столбце.

Результаты расчетов задержек в соответствии с дисциплинами обслуживания (1-5) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Потоки	Дисциплина 1	Дисциплина 2	Дисциплина 3	Дисциплина 4	Дисциплина 5
Поток 1	0,527941	0,490625	0,408333333	0,408333333	0,408333
Поток 2	0,627941	0,605378	0,560804264	0,560804264	0,626211
Поток 3	0,727941	0,748769	0,846443228	0,846443228	0,813149

В большинстве случаев задержка передачи кадра по сети от источника к приемнику не ограничивается задержкой прохождения одного коммутатора, так как зачастую коммутаторов в сети стоит больше. Поэтому имеет смысл проводить расчеты задержек с учетом всех транзитных коммутаторов, принимая во внимание тот факт, что суммарные интенсивности входных потоков различных коммутаторов могут отличаться, но сами коммутаторы должны по-прежнему работать в стационарном режиме.

Также стоит отметить то, что в независимости от топологии сети передачи данных и числа коммутаторов в ней, в расчетах задержек принимают участие только транзитные коммутаторы, так как в общем случае путь от источника к приемнику сводится к прохождению линейной последовательности коммутаторов (рис. 2 а). Пример линейной последовательности коммутаторов в нелинейной архитектуре сети представлен на рис. 2 б, в.

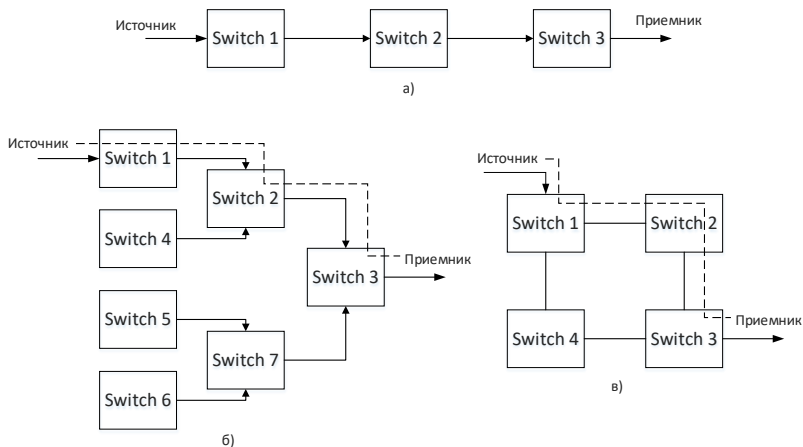


Рис. 2. Последовательности коммутаторов

Таким образом, при последовательном соединении коммутаторов выходной поток одного коммутатора является входным потоком, или частью входного потока, для последующего коммутатора.

Согласно теореме Берке, если система работает в стационарном режиме и входной пуассоновский поток заявок имеет интенсивность λ , то выходной поток обслуженных заявок будет иметь тоже пуассоновское распределение с интенсивностью λ , что и входной [2].

Согласно теореме Джексона, для случая, когда несколько обслуживающих систем объединены в сеть с петлями (рис. 2 в), каждую систему можно рассматривать как независимую [2].

На основе чего можно сделать вывод о том что, зная топологию сети, число коммутаторов, интенсивности выходных потоков источников и их адресатов, применяя в расчетах различные дисциплины обслуживания можно:

- рассчитать приблизительную загрузку сети;
- определить узкие места сети;
- перераспределить приоритеты потоков, для достижения определенных целей, например, к достижению более сбалансированной работы сети.

Библиографический список

1. Основы теории вычислительных систем. М., Высшая Школа, 1978. 408 с.
2. Сети очередей / Национальный открытый университет ИНТУИТ. URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/666/522/lecture/11792> (дата обращения: 15.04.2018).
3. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.: Мир, 1989. 544 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Академия, 2003. 576 с.

УДК 621.391.8

А.С. Кузьмин

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Ф.А. Таубин – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ ТУРБОКОДОВ

Краткое описание турбокодов

Турбокодеры могут состоять из сверточных кодов или блочных кодов. Наиболее популярным являются турбокодеры основанные на сверточных кодах. Это подтверждается тем, что при работе на высоких скоростях для безошибочной передачи требуются достаточно длинные коды [1]. На рис. 1 приведен турбокод, используемый в стандарте LTE с многочленами:

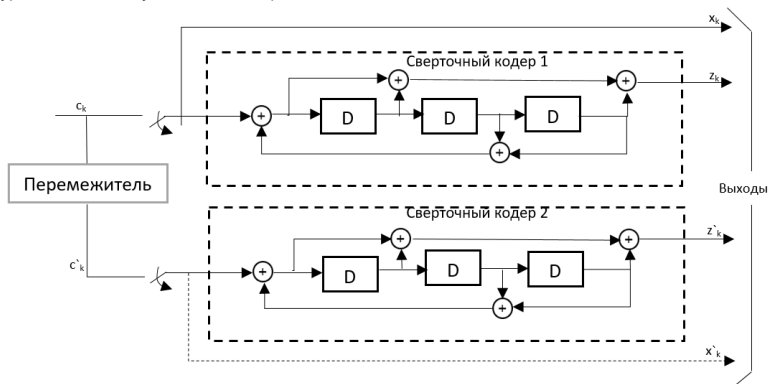


Рис. 1. Турбокодер на основе параллельного включения двух сверточных кодеров

С учетом приведенной схемы турбокодера следует, что декодер должен быть выполнен в виде каскадного соединения двух отдельных сверточных декодеров. На рис. 2 изображена структурная схема декодера турбокода [1].

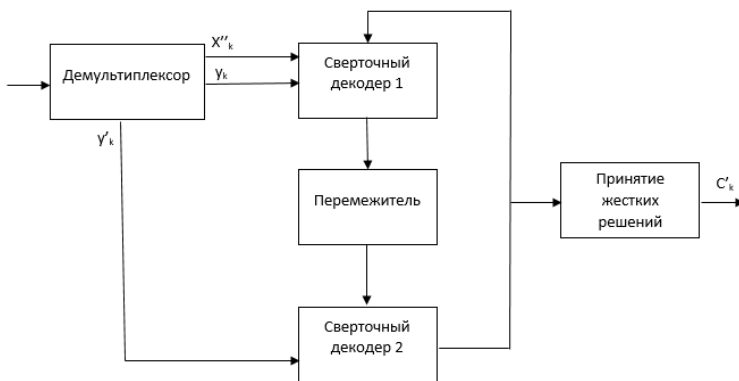


Рис. 2. Структурная схема декодера турбокода

Принятый кодированный пакет данных разделяется в демультимплексоре на три потока кодовых символов: x' – информационные символы, y – проверочные символы, сформированные первым сверточным кодером и y' – проверочные символы, сформированные вторым сверточным кодером, то есть, полученные из перемеженной информационной последовательности.

Декодирование.

Декодирование турбокодов осуществляется следующим образом. Первоначально осуществляется декодирование первым составным декодером непеременных информационных символов на основе информации X и Y . На выходе формируется оценка информационного пакета («мягкие» решения), которая поступает через устройство чередования на второй составной декодер, в качестве априорной информации о принятом пакете. На следующей полу-итерации второй составной декодер, получив перемеженную информационную последовательность и проверочные символы со второго кодера, производит декодирование с учетом априорной информации. На выходе получается новая уточненная оценка информационного потока, которую можно направить вновь на первый составной декодер, тем самым произвести вторую итерацию декодирования или направить на блок «Принятия жестких решений», на выходе которого сформируются окончательные решения [2].

Авторы турбокодов предложили способ минимизации вероятностной ошибки в каждом отдельном бите информационной последовательности [1].

В отличие от алгоритмов, в которых находится наиболее вероятное кодовое слово, которое может быть передано, в алгоритме MAP рассчитывается апостериорная вероятность для каждого бита информационной последовательности. Расчет апостериорной вероятности основан на обновлении данных полученных при детектировании исходного сигнала [1].

Первым этапом необходимо рассчитать отношение функций правдоподобия $\Lambda(d_k)$ или их логарифмов $L(d_k)$, называемых LLR (loglikelihood-ratio – величина логарифма отношения функций правдоподобия):

$$L(d_k) = \ln\left(\frac{P(d=1|x)}{P(d=0|x)}\right) = \ln\left(\frac{\sum_m p_k^{1,m}}{\sum_m p_k^{0,m}}\right), \quad (1)$$

где $P(d|x)$ – апостериорная вероятность принятого сигнала, $p_k^{i,m}$ – вероятность того, что $d_k=i$ в состоянии кодера $S_k=m$ при принятой кодовой последовательности C .

Используя формулу Байеса, запишем выражение для расчета $p_k^{i,m}$:

$$p_k^{i,m} = \frac{P(C_1^{k-1} | d_k = i, S_k = m, C_k^N) P(C_{k+1}^N | d_k = i, S_k = m, C_k) P(d_k = i, S_k = m, C_k)}{P(C_1^N)}. \quad (2)$$

Последний член произведения (4) представляет собой метрику ветви $\delta_k^{i,m}$, которая выходит из состояния m в момент времени k :

$$\delta_k^{i,m} = P(d_k = i, S_k = m, C_k). \quad (3)$$

Для канала с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ) и дисперсией шума σ^2 величина может быть представлена в виде:

$$\delta_k^{i,m} = \frac{\pi_k^i}{2^m \sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_k - u_k^i}{\sigma}\right)^2} dx_k \frac{\pi_k^i}{2^m \sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y_k - v_k^i}{\sigma}\right)^2} dy_k. \quad (4)$$

Метрика состояния m в момент k при прямом проходе по кодовой решетке:

$$\alpha_k^m = P(C_1^{k-1} | d_k = i, S_k = m, C_k^N). \quad (5)$$

Точно так же второй множитель выражения (2) представляет собой метрику состояния m в момент k при обратном проходе по кодовой решетке. Аналогичным образом ее можно представить в виде суммы вероятностей всех переходов в момент $k+1$:

$$\beta_k^m = \sum_m \left(P(d_k = 0, S_{k+1} = m, C_{k+1}^N | S_k = m) + P(d_k = 1, S_{k+1} = m, C_{k+1}^N | S_k = m) \right). \quad (6)$$

Следует отметить отличие между алгоритмом максимально правдоподобного декодирования и алгоритмом MAP. В первом идет постоянное сравнение и отбор для поиска наилучшего пути. Во втором же выполняется поиск максимально правдоподобного бита.

Алгоритм MAP нецелесообразно использовать в аппаратной реализации турбодекодера, потому что он содержит большое количество операций сложения и умножения, что приводит к нехватке логических элементов на ПЛИС или неразумном их использовании. Данная проблема решается переходом в логарифмическую область (для замены операции умножения сложением) и введением аппроксимации для упрощения расчета:

$$\ln(e^x + e^y + e^z) \approx \max(x, y, z). \quad (7)$$

Алгоритм, использующий данную аппроксимацию для расчета метрик, называется Max-Log-MAP. Max-Log-MAP прост и не требует вычисления экспонент и знания дисперсии канала.

Определим $\ln(\alpha_k^m)$, $\ln(\beta_k^m)$ и $\ln(\gamma_k^m)$, как $D_k^{i,m}$, A_k^m , B_k^m . Тогда формулы для расчета метрик состояний и метрик ветвей будут выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} A_k^m &= \ln \sum_{j=0}^1 e^{A_{k-1}^{b(j,m)} + D_{k-1}^{j,b(j,m)}} \\ B_k^m &= \ln \sum_{j=0}^1 e^{B_{k+1}^{f(j,m)} + D_k^{j,m}} \\ D_k^{i,m} &= \ln \left(A_k \pi_k^i e^{\frac{1}{\sigma^2} (x_k u_k^i + y_k v_k^{i,m})} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Используя аппроксимацию (7), получим упрощенные формулы расчета метрик ($\sigma^2=1$):

$$\begin{aligned} A_k^m &\approx \max_j \left(A_{k-1}^{b(j,m)} + D_{k-1}^{j,b(j,m)} \right) \\ B_k^m &\approx \max_j \left(B_{k+1}^{f(j,m)} + D_k^{j,m} \right) \\ D_k^{i,m} &\approx \text{app}(d_k) + x_k u_k^i + y_k v_k^{i,m}. \end{aligned} \quad (9)$$

В результате получим выражение для расчета «мягкой» оценки на выходе составного декодера, которое будет иметь вид:

$$L(d_k) \approx \max_m \left(A_k^m + D_k^{1,m} + B_{k+1}^{f(1,m)} \right) - \max_m \left(A_k^m + D_k^{0,m} + B_{k+1}^{f(0,m)} \right) \quad (10)$$

Данный алгоритм является наиболее популярным алгоритмом декодирования турбокодов на практике благодаря существенному снижению сложности вычислений. Благодаря этому, он имеет высокую скорость работы и небольшой объем используемой логики на ПЛИС. Стоит отметить, что Max-Log-MAP проигрывает MAP до 0.5 дБ [3]. Другими словами, платой за упрощение является снижение помехоустойчивости передачи данных.

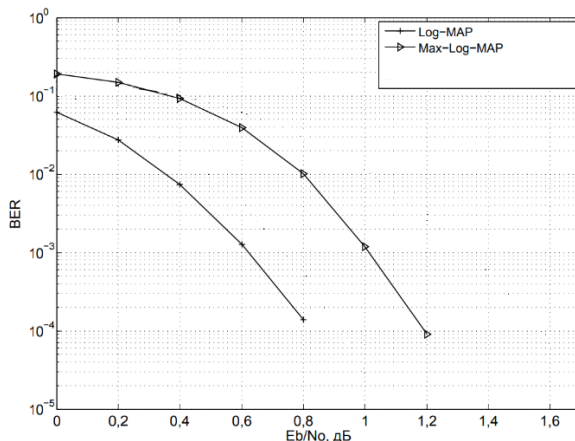


Рис. 4. Сравнение турбо-декодеров с различными компонентными декодерами ($k = 1024$)

Результаты сравнения описанных выше алгоритмов декодирования турбокода в канале с АБГШ показаны на рисунке 4. Моделирование было проведено для 8 итераций декодера в работе [4]. В качестве турбокода был рассмотрен турбокод стандарта 3GPP LTE [5], который состоит из двухсверточных кодов с восемью состояниями и одним внутренним перемежителем. Как видно на представленном графике, алгоритм Max-Log-MAP сильно проигрывает декодеру Log-MAP.

Библиографический список

- 1) Berrou C., Glavieux A. and Thitimajshima P. Near Shannon Limit ErrorCorrecting Coding and Decoding: Turbo Codes. IEEE Proceedings of the Int. Conf. on Communications, 1993. 1064 с.
- 2) Forney G. D. Jr. Concatenated Codes. Cambridge, Massachusetts: M. I. T. Press, 1966. 116 с.
- 3) Королев А.И., Конопелько В.К. Турбокоды и итеративное декодирование. Минск: БГУИР, 2015. 74 с.
- 4) Акмалходжаев А.И. Разработка и исследование эффективных алгоритмов декодирования турбокодов в системах мобильной связи: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2015. 126 с.
- 5) 3GPP TS 36.212. 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (EUTRA); Multiplexing and channel coding (Release 9) / 3GPP. Valbonne. France. 2011-09-27. P. 60.

УДК 004.93.12

И. С. Липтеев

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

И. О. Мещеряков

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В. Р. Луцив – доктор технических наук – научный руководитель

МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ СО СЛОЖНОЙ МЕНЯЮЩЕЙСЯ ФОРМОЙ

Область компьютерного зрения может быть охарактеризована как молодая, разнообразная и динамично развивающаяся. В настоящее время нет стандартной формулировки того, как должна решаться проблема компьютерного зрения. Вместо этого существует большое количество методов, которые зависят от конкретных задач компьютерного зрения. В большинстве практических применений компьютерного зрения компьютеры предварительно запрограммированы для решения отдельных задач, но методы, основанные на знаниях, становятся все более общими.

Корреляционные методы, которые рассматривают изображения в целом, имеют ограниченные возможности при работе с объектами со сложной меняющейся формой. Существуют способы с выделением локальных точек и построением описания их окрестностей, а также способы, анализирующие отдельные области изображений.

Для описания локальных окрестностей характерных точек конструируются специальные дескрипторы, которые бы мало менялись при различных геометрических и фотометрических преобразованиях изображения. Существует ряд требований к дескрипторам локальных особенностей изображения. Первым из них является инвариантность – описания одной и той же точки, т.е. области, лежащей на двух вариантах одного и того же изображения, не должны сильно отличаться. Во-вторых, дескрипторы должны обладать уникальностью – дескрипторы двух разных особенностей должны заметно отличаться друг от друга. Кроме того, дескриптор должен быть устойчивым, т.е. дескриптор одной и той же точки не должен сильно меняться при геометрических преобразованиях изображения. Наиболее популярным дескриптором на данный момент является дескриптор SIFT, который был предложен в 1999 г. Этот дескриптор представляет собой локальную гистограмму направлений градиентов изображения. Окрестность характерной точки делится на четыре квадратных сектора. В каждом пикселе внутри каждого сектора вычисляется градиент изображения: направление и модуль. Затем модули градиентов умножаются на вес, экспоненциально убывающий с удалением от точки интереса. Построение SIFT изображено на рис. 1 [1].

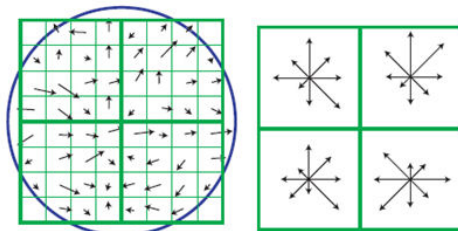


Рис. 1. Построение дескриптора SIFT

В 2008 г. был представлен ближайший конкурент SIFT-дескриптора, SURF-дескриптор [2]. В идеальном смысле он похож на своего предшественника, но процедура описания окрестности интересной точки несколько иная, поскольку в ней используются не гистограммы взвешенных градиентов, а отклики исходного изображения на вейвлеты Хаара. На первом шаге получения дескриптора вокруг точки интереса

строится квадратная область, также, как и в SIFT-дескрипторе, которую ориентируют по некоторому предпочтительному направлению. Затем область разделяется на квадратные сектора. В каждом из секторов в точках, принадлежащих регулярной сетке, вычисляются отклики на два вида вейвлетов – горизонтально и вертикально направленные [3]. Признаки Хаара делятся на несколько типов в зависимости от множества D_f – множество допустимых значений признака:

- бинарный признак: $D_f = \{0, 1\}$;
- номинальный признак: D_f – конечное множество;
- порядковый признак: D_f – конечное упорядоченное множество;
- количественный признак: D_f – множество действительных чисел.

Простейший прямоугольный признак Хаара можно определить, как разность сумм пикселей двух смежных областей внутри прямоугольника, который может занимать различные положения на изображении и изменять масштаб. Такой вид признаков называется двух прямоугольным. Виола и Джонс также определили трех и четырех прямоугольные признаки. Каждый признак может показать наличие или отсутствие какой-либо конкретной характеристики изображения, такой как границы или изменение текстур. Например, двух прямоугольный признак может показать, где находится граница между темным и светлым регионами. Позже Линхарт и Майд представили идею наклоненных на 45 градусов признаков Хаара. Способ оказался удачным и некоторые наклонные признаки были способны лучше описывать объект [4]. Пример признаков Хаара изображен на рис. 2. В SURF-дескрипторе для вычисления градиента изображений используются вертикальные и горизонтальные признаки Хаара, выделенные на рис. 2.

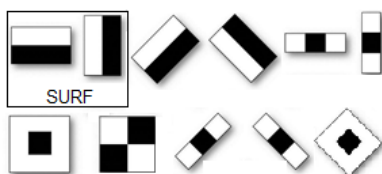


Рис. 2. Признаки Хаара

Еще одним методом распознавания изображений является метод Виолы-Джонса, именно эти первые представили признаки Хаара. Этот метод является одним из лучших по соотношению эффективности распознавания к скорости работы. Этот детектор обладает также низкой вероятностью ложного обнаружения. Метод Виолы-Джонса основан на принципах:

- используются изображения в интегральном представлении, что позволяет быстро вычислять необходимые объекты;
- используются признаки Хаара, с помощью которых происходит поиск нужного объекта;
- используется бустинг (от англ. *boost* – улучшение, усиление) для выбора наиболее подходящих признаков для искомого объекта на данной части изображения;
- все признаки поступают на вход классификатора, который дает результат «верно» либо «ложь»;
- при сканировании окон переменной размера используются каскады признаков для быстрого отбрасывания окон [5].

Для того чтобы производить какие-либо действия с данными, в методе Виолы-Джонса используется интегральное представление изображений. Такое представление используется часто и в других методах, к примеру, в вейвлет-преобразованиях, SURF и многих других разобранных алгоритмах. Интегральное представление позволяет быстро рассчитывать суммарную яркость вертикально или горизонтально ориентированного прямоугольника на данном изображении, причем какой бы прямоугольник не был, время расчета неизменно. Интегральное представление изображения – это матрица, совпадающая по размерам с исходным изображением. В каждом ее элементе хранится сумма интенсивностей всех пикселей, находящихся левее и выше данного элемента, пример представлен на рис. 3.

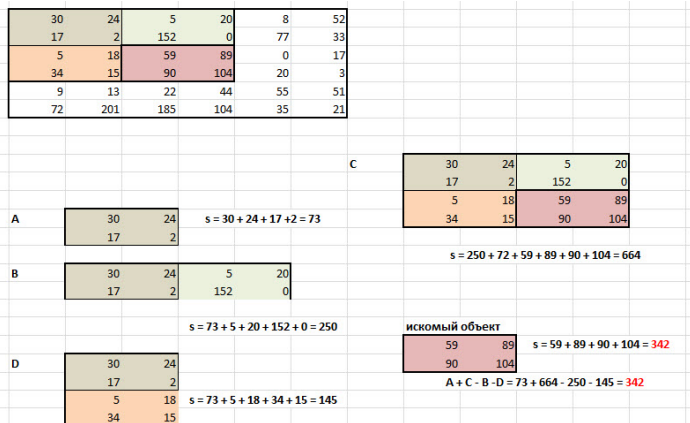


Рис. 3. Пример интегрального представления

Бустинг – комплекс методов, способствующих повышению точности аналитических моделей. Эффективная модель, допускающая мало ошибок классификации, называется «сильной». «Слабая» же, напротив, не позволяет надежно разделять классы или давать точные предсказания, делает в работе большое количество ошибок. Поэтому бустинг (от англ. *boosting* – повышение, усиление, улучшение) означает дословно «усиление» «слабых» моделей – это процедура последовательного построения композиции алгоритмов машинного обучения, когда каждый следующий алгоритм стремится компенсировать недостатки композиции всех предыдущих алгоритмов [6].

В контексте алгоритма имеется множество объектов (изображений), разделенных некоторым образом на классы. Задано конечное множество изображений, для которых известно, к какому классу они относятся (к примеру, это может быть класс «фронтальное положение носа»). Это множество называется обучающей выборкой. Классовая принадлежность остальных объектов неизвестна. Требуется построить алгоритм, способный классифицировать произвольный объект из исходного множества [7], при этом используются такие понятия, как:

- классифицировать объект – значит, указать номер (или наименование класса), к которому относится данный объект;
- классификация объекта – номер или наименование класса, выдаваемые алгоритмом классификации в результате его применения к данному конкретному объекту;
- классификатор – это аппроксимирующая функция, выносящая решение, к какому именно классу данный объект принадлежит;
- обучающая выборка – конечное число данных.

Самым современным и наиболее совершенным является метод распознавания изображений при помощи сверточных нейронных сетей, которые обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. Сверточные нейронные сети объединяют три архитектурные идеи – для обеспечения инвариантности к изменению масштаба, повороту сдвигу и пространственным искажениям:

- локальные рецепторные поля (обеспечивают локальную двумерную связность нейронов);
- общие синаптические коэффициенты (обеспечивают детектирование некоторых черт в любом месте изображения и уменьшают общее число весовых коэффициентов);
- иерархическая организация с пространственными подвыборками.

Основной причиной успеха СНС стало концепция общих весов. Несмотря на большой размер, эти сети имеют небольшое количество настраиваемых параметров по сравнению с их предком – неоконитроном. Имеются варианты СНС (Tiled Convolutional Neural Network), похожие на неоконитрон, в таких

сетях происходит частичный отказ от связанных весов, но алгоритм обучения остается тем же и основывается на обратном распространении ошибки. СНС могут быстро работать на последовательной машине и быстро обучаться за счет распараллеливания процесса свертки по каждой карте, а также обратной свертки при распространении ошибки по сети [8].

В заключение необходимо отметить, что на данный момент сверточная нейронная сеть и ее модификации считаются лучшими по точности и скорости алгоритмами нахождения объектов на сцене. Начиная с 2012 г., нейросети занимают первые места на известном международном конкурсе по распознаванию образов ImageNet.

Библиографический список

1. Фотограмметрия. Обзор методов описания характерных точек. URL: http://www.gacurs.ru/wiki/index.php/обзор_методов_описания_характерных_точек (дата обращения: 07.04.2018).
2. Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. SURF: Speeded up robust features // *Computer Vision and Image Understanding*. 2008. V. 110. P. 346–359.
- 3 Электронная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Признаки_Хаара (дата обращения: 10.04.2018).
4. Viola P., Jones M.J. Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple Features. *Proceedings IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001)*, 2001.
5. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
6. Machine Learning. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Бустинг> (дата обращения: 14.04.2018).
7. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов. М.: МГУ; ВМиК, 2002–2004. С. 42–44.
8. Сверточная нейронная сеть. URL: <https://habr.com/post/348000/> (дата обращения: 11.04.2018).

УДК004.056.53

И.К. Носков

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А. В. Рабин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СЕПАРАБЕЛЬНЫЕ КОДЫ

Кодирование, обеспечивающее определенные формы прослеживаемости для защиты цифровых объектов от пиратства, широко изучалось в последние годы, например, в [1]. Для предотвращения атаки усреднения, которая является одной из наиболее часто используемых атак сговоров, в [2] была предложена концепция t-AND-кода устойчивого к коллизии (t-and-ACC) для обнаружения злонамеренных пользователей, принимающих участие в атаке усреднения. К сожалению, количество кодовых слов в t-and-ACC, которое соответствует количеству отпечатков пальцев, присвоенных авторизованным пользователям, слишком мало для использования в цифровой системе отпечатков пальцев с большим количеством пользователей. Чтобы увеличить количество кодовых слов, в [3] было введено такое понятие, как сепарабельный код.

В статье описан один из методов защиты цифровых объектов от нелегального копирования, рассмотрены сепарабельные коды на базе проективных плоскостей и декодирование сепарабельного кода.

Определение. Пусть $C = (n, M, q)$ – код, где n – длина кодового слова, M – количество кодовых слов, q – мощность алфавита. Тогда этот код будет называться сепарабельным, или t-SC (n, M, q) -кодом, если для $C_1, C_2 \subseteq C$, таких что $1 \leq |C_1| \leq t, 1 \leq |C_2| \leq t$ и $C_1 \neq C_2$ выполняется следующее условие:

$$\text{desc}(C_1) \neq \text{desc}(C_2),$$

где $\text{desc}(C_i) = C_{i0}(1) \times \dots \times C_{i0}(n)$, т.е. $C_1(i) \neq C_2(i)$ хотя бы для одной координаты $i, 1 \leq i \leq n$.

Сепарабельные коды могут быть построены на основе проективных плоскостей.

Для построения сепарабельного кода на базе проективной плоскости необходимо получить так называемую упаковку. Упаковка получается следующим образом:

- строится проективная плоскость степени n ;
- удаляется прямая из этой плоскости;
- удаляется точка, принадлежащая этой прямой;

Тогда получается $(n^2 + n, n^2 + n, \{n, n+1\}, 1)$ -упаковка с n блоками размера n и n^2 блоками размера $n+1$.

Для примера рассмотрим проективную плоскость степени 2. Удалим из нее точку и прямую, как показано на рисунке.

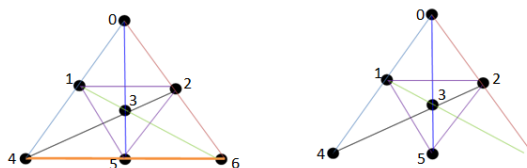


Рисунок. Удаление точки и прямой из проективной плоскости степени 2

Таким образом, получается упаковка $\{0, 1, 4\}, \{0, 3, 5\}, \{0, 2\}, \{1, 2, 3\}, \{1, 3\}, \{2, 3, 4\}$, с помощью которой и получается код.

Чтобы построить код из получившейся упаковки, составляется таблица размера $(n^2 + n)$ на $(n^2 + n)$, которая заполняется по следующему правилу:

- берется один блок;
- строка m заполняется так, что если в блоке есть значение k , то в k -ом столбце ставится единица;
- заполняется вся таблица;
- если в ячейке $m \times k$ стоит единица, то $\begin{matrix} m \\ k \end{matrix}$ является кодовым словом;

В таблице приведено получение сепарабельного кода из проективной плоскости степени 2.

Таким образом, получается 2-SC(2, 16,6)-сепарабельный код, который выглядит следующим образом:

0 0 0 1 1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5
0 1 4 0 3 5 0 3 1 2 3 1 3 2 3 4.

Таблица

Построение таблицы для построения сепарабельного кода

	0	1	2	3	4	5
0	1	1			1	
1	1			1		1
2	1		1			
3		1	1	1		
4		1		1		
5			1	1	1	

Коалиция нарушителей, сделавших фальшивый отпечаток, может быть обнаружена по следующему алгоритму:

- выбирается ненулевая координата u ;
- в кодовом слове проверяется отсутствие 0 на данной позиции;
- если для всех ненулевых u в выбранном кодовом слове отсутствует, то пользователь, которому оно принадлежит, определяется как подозреваемый.

Но данный алгоритм не является эффективным для обнаружения участников сговора.

Рассмотрим $(7, 7, 2)$ -код $C = \{c_1, \dots, c_7\}$, где $c_1 = (0, 0, 1, 0, 1, 1, 1)^T$, $c_2 = (1, 0, 0, 1, 0, 1, 1)^T$, $c_3 = (1, 1, 0, 0, 1, 0, 1)^T$, $c_4 = (1, 1, 1, 0, 0, 1, 0)^T$, $c_5 = (0, 1, 1, 1, 0, 0, 1)^T$, $c_6 = (1, 0, 1, 1, 1, 0, 0)^T$ и $c_7 = (0, 1, 0, 1, 1, 0, 0)^T$. Предположим, что пользователь U_1 , которому назначен c_1 , и пользователь U_7 , которому назначен c_7 , собираются вместе для выполнения атаки сговора. Затем обнаруживается вектор исхода $u = (0, 0, 0, 0, 1, 0, 0)^T$. Используя алгоритм выше, U_1 и U_7 идентифицируются как подозреваемые. Однако алгоритм не может однозначно определить U_1 и U_7 . Он может только показать, что U_1, U_3, U_6 и U_7 являются подозреваемыми. Теперь предположим, что пользователи U_1, U_5 и U_7 , назначенные c_1, c_5 и c_7 , соответственно, объединяются для проведения атаки сговора. Тогда обнаруженный вектор исхода $u = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$, а алгоритм идентифицирует всех пользователей как подозреваемых.

Данный алгоритм может быть улучшен следующим образом (все шаги предыдущего алгоритма сохраняются):

- если подозреваемых пользователей больше 2, то выбираются 2 таких пользователя и проверяется, какой вектор исхода они могли получить;
- операция выполняется для всех пар;
- если получилось одна такая пара, то она и считается подозреваемой;
- если не получилась ни одна такая пара, то это значит, что в коалиции было больше, чем 2 жулика;

В работе данного алгоритма не может получиться несколько таких пар, так как код является сепарабельным.

В статье даны комбинаторные описания сепарабельных кодов, описаны проективные плоскости, приведен пример построения сепарабельного кода, а также приведен пример алгоритма декодирования фальшивого отпечатка пальца.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что при неудачном обнаружении жулика на раннем этапе алгоритма время, затраченное на декодирование, существенно возрастает.

Библиографический список

1. Boneh D., Shaw J. Collusion-secure fingerprinting for digital data. *IEEE Trans. Inf. Theory*. Sep. 1998. Vol. 44. No. 5. Pp. 1897–1905.
2. Trappe W., Wu M., Liu K. J. R. Collusion-resistant fingerprinting for multimedia. In *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Signal Process.* Orlando, FL 2002. Pp. 3309–3312.
3. Cheng M. Miao Y. On anti-collusion codes and detection algorithms for multimedia fingerprinting. *IEEE Trans. Inf. Theory*. Jul. 2011. Vol. 57. No. 7. Pp. 4843–4851.

УДК 004.932

А.А. Овсянников

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

А.В. Яковлев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЮ**

Неинвазивная и дистанционная диагностика состояния человека (включая состояние его здоровья) сегодня является актуальным направлением научных исследований и разработок в медицине. Анализ научных публикаций показывает, что наибольший интерес представляют такие данные о человеке, как его изображение и его голос.

С медицинской точки зрения, изображение человека можно рассматривать как объект анализа, содержащий диагностически ценную информацию: текущее состояние человека (физиологическое, эмоциональное, психологическое, и т.д.), или состояние здоровья. Проблема состоит в поиске и изучение подходов к извлечению этой информации из изображения.

Проведенный анализ научных статей показал, что в отечественной практике подобные направления изучения человека по его изображению еще недостаточно исследованы и не представлены в научной литературе. На данный момент наиболее перспективно и активно развивается несколько направлений анализа изображений лица человека:

- распознавание лиц, пола и возраста, распознавание жестов, распознавание индивидуальных действий лицевых мышц;
- реконструкция лица на основании двумерных изображений;
- отслеживание состояния кожного покрова.

Первое направление нацелено на распознавание некоторых характеристик, которые получаются из изображений лица, либо тела человека. Алгоритм *Hyper Face* разработан с использованием глубоких сверточных нейронных сетей. Данный метод может одновременно обнаруживать лицо, находить точки на лице, оценивать позы и определять пол. Синие прямоугольники обозначают обнаруженные мужские лица, а розовые – женские, над ними располагаются показатели для оценки позы для каждого лица. Пример работы алгоритма приведен на рис. 1 [1].

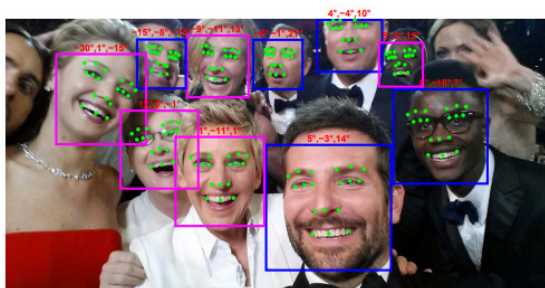


Рис. 1. Обнаружения лиц, локализации локаций, оценки позы и определение пола с помощью алгоритмов *Hyper Face*

Под это направление можно отнести также распознавание индивидуальных действий лицевых мышц. Оно широко используется в диагностике нейропсихиатрических расстройств, биполярных расстройств, депрессии и шизофрении. Для каждого кадра автоматически отслеживаются геометрические изменения в лицевых компонентах (красные линии), а текстурные изменения обнаруживаются в синих прямоугольниках (рис. 2). Эти извлеченные функции подаются через специальные математические классификаторы для определения активности каждого блока действий [2,3].

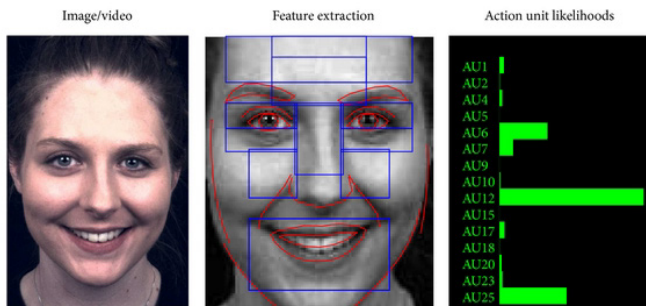


Рис. 2. Распознавания индивидуальных действий лицевых мышц (AUs)

Второе направление – реконструкция лица по двумерным изображениям. Трехмерная реконструкция лица формируется на основе математических моделей, построенных на основе множественных изображений лица одного и того же субъекта. При этом решаются сложнейшие методические задачи, связанные с установлением соответствий среди большого числа поз, выражений лица при неравномерном освещении. Наиболее известной является группа математических моделей 3DMorphableModels, представляющие собой мощные трехмерные статистические модели формы и текстуры лица человека, показанная на рис. 3.

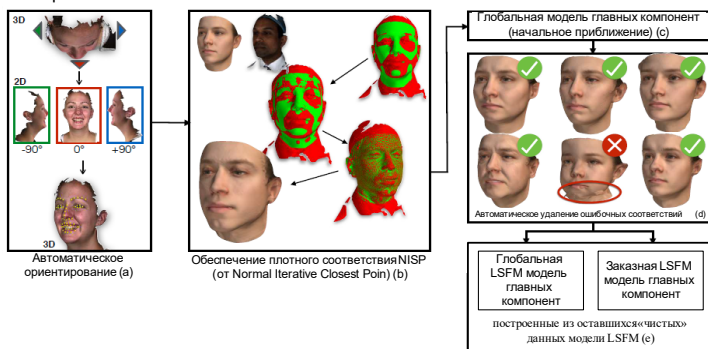


Рис. 3. Трехмерные статистические модели формы и текстуры лица человека (англ. 3DMMs, 3D MorphableModels)

Она широко применяется во многих областях, в частности таких как компьютерное зрение, человеческий поведенческий анализ, компьютерная графика и черепно-лицевая хирургия и при этом постоянно совершенствуются [2,4]. Существуют также подходы по взаимной реконструкции изображений лиц в соответствующих друг другу парах. В современной практике изображения лица могут быть представлены различными способами — в форме 2D изображений в видимом, тепловом и инфракрасном свете и др., поэтому актуальной становится задача исследования подходов для построения методов поиска и распознавания изображения лица, предназначенных для одновременной обработки нескольких наборов исходных данных «мультисенсорной» природы [5].

Третье направление занимается изучением строения кожи и заболеваний, которые сопровождаются патологическими изменениями кожных покровов, волос и ногтей. Разработаны приборы и алгоритмы, позволяющие проводить контроль за состоянием кожи. Они проводят анализ ее состояния по таким параметрам, как рельеф поверхности, размер пор, равномерность пигментации и др. Под это направление можно отнести классификацию уровня рака кожи с помощью глубоких нейронных сетей.

Нейронная сеть, разработанная учеными Stanford University, обучена с использованием набора данных из 129 450 изображений, состоящие из 2 032 разных заболеваний, ее схема изображена на рис. 4. Достигает точности в среднем 72% при разделении заболеваний на 3 класса, и 55% при разделении заболеваний на 9 классов, когда врачи-дерматологи достигли результатов 66% и 54% соответственно [6].

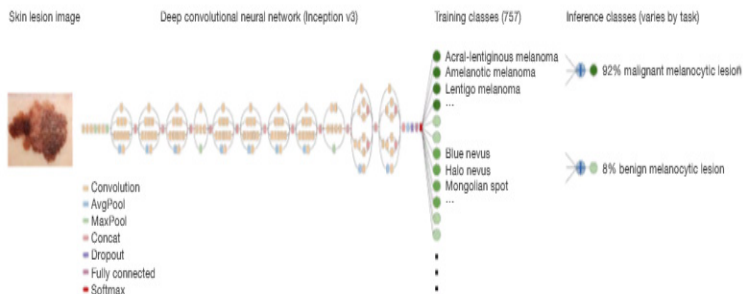


Рис. 4. Схема глубокой нейронной сети для классификации раковых заболеваний кожи

Согласно проведенному обзору методик можно оценить использование изображений в задачах медицинской диагностики.

Достоинства:

- неинвазивные методы;
- доступность для потребителя;
- низкая себестоимость отдельного исследования.

Недостатки:

- высокая трудоемкость разработки продукта;
- «закрытость» отдельных разработок, невозможность получения полного вектора данных «изображение-состояние человека».

Реализация данных подходов изучения человека по его изображению в задачах медицинской диагностики является сложной проблемой, для решения которой требуется приложить немалые усилия медицинского и технического профессиональных сообществ. При написании статьи уже был создан прототип программы, показанный на рис. 5, записывающий физиологические показатели, изображение человека и голос с помощью полиграфа «Диана-7М».

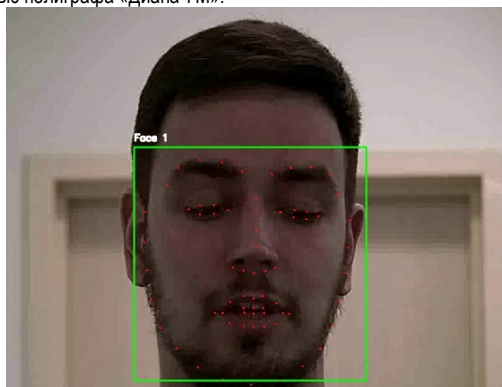


Рис. 5. Прототип разработанной программы

Разработанный прототип позволяет покадрово обработать видеозапись, распознавая лицо пациента и выделяя 68 анатомических точек на нем с помощью библиотеки OpenCV и dlib, благодаря которому возможно дальнейшее изучение движения лицевых мышц.

Библиографический список

1. Ranjan R., Patel V.M., Chellappa R. HyperFace: A Deep Multi-task Learning Framework for Face Detection, Landmark Localization, Pose Estimation, and Gender Recognition // ArXiv160301249 Cs. 2016.
2. Яковлев А.В. и др. Обоснование структуры информационной системы для анализа изображения лица человека в медицинских целях // Профилактическая медицина-2017. 2017. Vol. 3. Pp. 306–312.
3. Hamm J. et al. Dimensional Information-Theoretic Measurement of Facial Emotion Expressions in Schizophrenia [Electronic resource]: Research article // Schizophrenia Research and Treatment. 2014. URL: <https://www.hindawi.com/journals/schizort/2014/243907/> (дата обращения: 09.05.2018).
4. Booth J. et al. A 3D Morphable Model Learnt from 10 000 Faces. / IEEE. 2016. Pp. 5543–5552.
5. Олейник А.Л., Кухарев Г.А. Алгоритмы взаимной реконструкции изображений лиц на основе методов проекции в собственные подпространства / Труды СПИИРАН. 2018. Т. 2. № 57. С. 45–74.
6. Esteva A. и др. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // Nature. 2017. Vol. 542, № 7639. P. 115.

УДК 621.396

М. И. Радионов

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

Ф. А. Таубин – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**МИМО-OFDM СИСТЕМЫ**

Растущий спрос на мультимедийные услуги и рост связанного с Интернетом контента приводят к увеличению интереса к высокоскоростной связи. Требование к ширине полосы пропускания и гибкости предполагает использование эффективных методов передачи, которые бы соответствовали характеристикам широкополосных каналов, особенно в беспроводной среде, где канал является очень сложным.

В беспроводной среде сигнал распространяется от передатчика к приемнику через большое число различных путей, которые в совокупности называются многолучевостью. При распространении мощность сигнала падает из-за трех эффектов: потеря пути, макроскопических затуханий и микроскопических затуханий. Затухание сигнала может быть скомпенсировано с помощью различных методов разнесения. Разнесение предполагает передачу сигнала через несколько независимых путей, например, во времени, частоте или пространстве и объединение их в приемнике. Технологией, которая использует пространственное разнесение с помощью нескольких передающих и приемных антенн, является технология МИМО.

МИМО (англ. – *Multi ple Input Multiple Output*) – система связи с несколькими передающими и несколькими приемными антеннами. Это позволяет различным трактам сигналов переносить данные, выбирая отдельные пути для каждой антенны, чтобы использовать несколько путей прохождения сигнала [2]. Принцип разнесения заключается в предоставлении приемнику несколько версий одного и того же сигнала. За счет того, что копии сигнала проходят разные пути, то вероятность того, что они все будут подвержены замираниям, значительно снижается. Соответственно, разнесение позволяет стабилизировать связь и повысить производительность, уменьшая частоту ошибок [2]. Для повышения пропускной способности беспроводного канала МИМО, одной из эффективных процедур является использование пространственно-временного кодирования. Пространственно-временное кодирование предполагает разбиение потока данных на блоки и передачу их в разные интервалы времени. Таким образом передача происходит в пространстве и во времени. Наиболее простой и распространенной схемой пространственно-временного кодирования является схема Аламоути, согласно которой данные в кодере передаются в соответствии с матрицей [4]

$$H = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \\ -x_2^* & x_1^* \end{pmatrix}$$

Таким образом, первая антенна передает подряд символы (x_1) и $(-x_2^*)$, вторая – (x_2) и (x_1^*) . После прохождения через канал сигналы в приемнике могут быть описаны следующим образом

$$\begin{aligned} r_1 &= h_{11}x_1 + h_{12}x_2 + n_1 \\ r_2 &= -h_{22}x_2^* + h_{21}x_1^* + n_2 \end{aligned}$$

где r – принимаемый вектор сигнала, h – канальная матрица, n – вектор шума.

На рис. 1 изображена система МИМО с двумя передающими и двумя приемными антеннами.

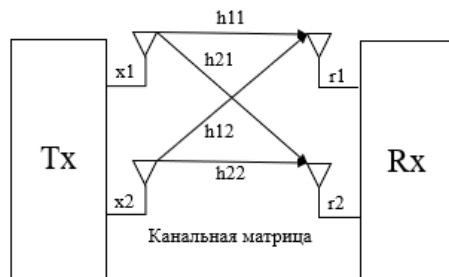


Рис. 1. Система MIMO 2x2

Таким образом технология MIMO использует несколько антенн с обеих сторон, что обеспечивает разнесение при передаче и разнесение при приеме. Она применима во всех типах сетей, таких как PAN, LAN, WLAN, WAN, MAN [2]. Система MIMO может применяться различными способами для увеличения скорости передачи, увеличения диапазона передачи или для повышения надежности. Однако данные свойства не могут быть реализованы одновременно. Обычно скорость передачи может быть увеличена за счет уменьшения диапазона передачи и надежности. Напротив, диапазон передачи может быть увеличен за счет более низкой скорости передачи и надежности, в то время как надежность передачи может быть улучшена за счет снижения скорости передачи и диапазона. Чтобы улучшить все три параметра системы MIMO используются совместно с технологией OFDM, которые в совокупности образуют систему MIMO-OFDM.

OFDM (англ. *Orthogonal frequency-division multiplexing*) представляет собой технологию передачи, в которой поток входных данных разбивается на множество параллельных потоков, каждый из которых передается на своей поднесущей (ортогональной) частоте. В OFDM центры поднесущих частот размещаются так, что пик каждого последующего сигнала совпадает с нулевым значением предыдущего (рис. 2). Таким образом доступная полоса частот расходуется более рационально [1]. Параметры поднесущих сигналов (например, синусоид) подбираются таким образом, чтобы они были по отношению друг к другу ортогональны. Для быстрой реализации данного действия с помощью вычислительных устройств используют алгоритм обратного быстрого преобразования Фурье (ОБПФ). Ортогональность поднесущих позволяет на приеме выделить каждую поднесущую из суммарного сигнала даже в случае частичного перекрытия полос их спектров [1].

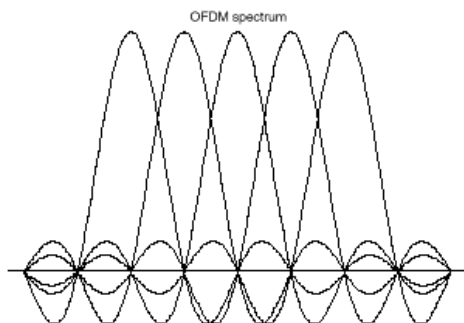


Рис. 2. Спектр сигнала OFDM

Одним из главных преимуществ технологии OFDM заключается в ее способности противостоять сложным условиям в радиоканале, в первую очередь устранять межсимвольную интерференцию и бороться с узкополосными помехами. Другими ее преимуществами являются простая реализация методами цифровой обработки, а также возможность использования различных схем модуляции для разных поднесущих, что позволяет адаптироваться к условиям распространения сигнала и к различным требованиям к качеству принимаемого сигнала [1]. Блок-схема системы OFDM изображена на рис. 3.

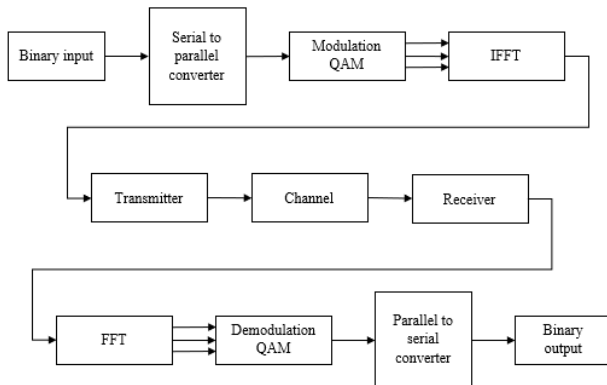


Рис. 3. Система OFDM

Технология OFDM нашла свое применение в цифровом радиовещании (DAB), в наземном телевидении, при передаче видео высокой четкости HDTV, а также в известных технологиях последней мили ADSL, HDSL [1].

Технологии MIMO и OFDM – это две уверенные технологии, которые обеспечивают высокую скорость передачи данных, которая необходима для широкополосных беспроводных систем связи, таких как 4G [3]. MIMO в сочетании с OFDM обеспечивает высокую пропускную способность и лучшую производительность системы. Это достигается за счет того, что система MIMO-OFDM передает независимые модулированные потоки данных через несколько антенн одновременно. В приемнике, после OFDM демодуляции, MIMO декодер на каждом из подканалов извлекает данные из всех передающих антенн по всем подканалам [2]. Таким образом, за счет совместного использования технологий MIMO и OFDM получается достичь всех их преимуществ. Блок-схема системы MIMO-OFDM изображена на рис. 4.

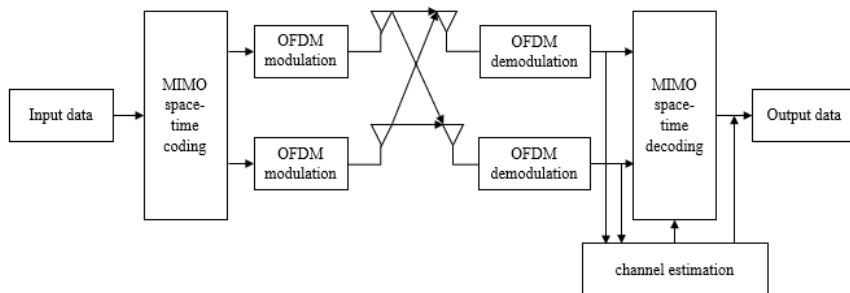


Рис. 4. Система MIMO-OFDM

Итак, можно сделать вывод, что системы MIMO-OFDM являются наиболее эффективным методом передачи для беспроводных систем связи. Использование технологии MIMO позволяет достичь высокой скорости передачи, высокой надежности, а также увеличить диапазон передачи данных. Однако, как говорилось выше, данные свойства не могут быть реализованы одновременно. Технология OFDM решает эту проблему, позволяя повысить надежность передачи и адаптироваться к условиям распространения сигнала, а использование ее совместно с технологией MIMO позволяет также достичь и высокой скорости передачи данных. Именно поэтому MIMO-OFDM нашло широкое применение в беспроводных сетях связи.

Библиографический список

1. Просто о сложном: OFDM-модуляция. URL <https://nag.ru/articles/article/32365/prosto-o-slojnom-ofdm-modulyatsiya.html> (дата обращения: 12.05.2018).
2. Nithiya C., Kowsalya R., Prabakaran M. Error Control and performance Analysis of MIMO-OFDM over Fading Channels // IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering. Vol. 6. No. 4. Pp. 12-18.
3. Rahman S., Reddy K. Performance Analysis of Parametric and Non-Parametric MIMO-OFDM Channel Estimation Schemes // International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. Pp 4595-4598. Vol. 3. Issue 7.
4. MIMO. URL <https://ru.wikipedia.org/wiki/MIMO> (дата обращения: 12.05.2018).

УДК 004.931.2

Н.В. Сверделя

магистрант кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

В.Р. Луцив – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**МЕТОДЫ SIFT И HOG ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ**

Задача детектирования объектов на изображении очень важна, но при поиске мы сталкиваемся с некоторыми трудностями: исключение как можно большего количества неинформативных признаков при сохранении данных обо всех существенных для задачи распознавания характеристиках исследуемого фрагмента изображения; оптимизация скорости расчетов.

В статье рассмотрены методы решения этих проблем. Для определения объектов на изображении необходимо найти объект заданного класса, и если он присутствует, то определить координаты его границ. При поиске объекта заданного класса описываются необходимые признаки, для этого используются различные методы, формируются дескрипторы и совершается ряд других действий, что должно позволять безошибочно определить заданный объект.

В ходе решения поставленной задачи предлагается к использованию такой набор алгоритмов:

1. предварительная обработка (коррекция изображения);
2. разбиение областей (поиск областей, содержащих объекты);
3. классификация (поиск требуемых объектов в найденных областях);
4. верификация (проверка точности заданного классификатора).

Если коротко, то на вход подается изображение, а на выходе получаются координаты объекта заданного класса. Его вычислительная сложность, относящаяся к времени выполнения алгоритма, не должна превышать $O(n^2)$, где n – размерность входных данных [1].

Давайте рассмотрим два альтернативных, наиболее часто используемых, подхода к решению данной задачи.

1. Алгоритм SIFT (рассматривает локальные описания).
2. Алгоритм HOG (рассматривает глобальные описания).

Теперь более подробно о каждом методе.

Метод SIFT (*Scale Invariant Feature Transform*) обнаруживает и описывает локальные особенности изображения [2]. Алгоритм работает в два этапа:

- определение ключевых точек;
- построение дескрипторов для окрестностей этих точек.

На первом этапе необходимо воспользоваться пирамидой Гаусса: пирамида изображений, полученных из исходного, путем уменьшения разрешения. После приведения изображений к одному размеру происходит вычисление разности гауссианов. Для этого к каждому изображению применяется фильтр Гаусса(1):

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (1)$$

где x — абсцисса в пикселях; y — ордината в пикселях; σ — радиус размытия в пикселях.

На первом этапе изображение становится устойчиво к масштабированию [3]. Потом выбираются особые точки, в которых достигается локальный экстремум разностей гауссианов, как показано на рис. 1.

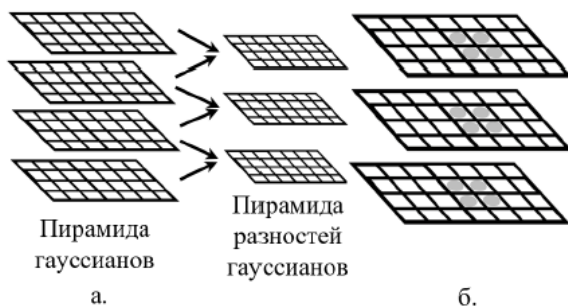


Рис. 1. Пирамида Гауссианов (а); нахождение точек экстремумов (б)

Последний этап — это построение локального дескриптора для каждой особой точки, характеризующего направление градиентов в пикселях внутри некой окружности. Дескриптор является вектором характерных признаков, дающим устойчивость к повороту.

Как результат нормализации дескриптора, появляется и устойчивость к изменениям освещения [3].

Коротко, алгоритм SIFT работает по следующей схеме:

- 1) построение пирамиды изображений;
- 2) приведение изображений к одному размеру;
- 3) вычисление разности гауссианов;
- 4) нахождение локальных экстремумов;
- 5) определение окрестности особой точки;
- 6) вычисление градиентов;
- 7) построение вектора характерных признаков.

У данного алгоритма есть плюсы и минусы.

Преимущества:

- устойчивость к масштабированию;
- устойчивость к повороту;
- устойчивость к изменениям освещения;
- устойчивость к наличию шума.

Недостатки:

- высокая вычислительная сложность [2];
- неработоспособность метода при:
 - - различных условиях освещения (день/ночь);
 - наличии отражающих поверхностей;
 - сильных отличиях угла обзора [2].

Перейдем к дескриптору HOG.

Дескриптор HOG (от англ. Histogram of Oriented Gradients — гистограмма направленных градиентов), как и SIFT, является одним из дескрипторов, которые используют для определения объектов на изображении. Изначально данный дескриптор был разработан и использован для того, чтобы распознавать пешеходов [4].

Дескриптор HOG имеет сходный принцип работы с дескриптором SIFT. Их различие заключается в рассматриваемой области: SIFT рассматривает окрестности ключевой точки, HOG рассматривает все изображение.

Заданное изображение состоит из блоков, которые состоят из ячеек, состоящих из пикселей. Гистограмма направленных градиентов вычисляется для каждой ячейки. В ходе объединения значений,

которые получили для каждой ячейки, образуется вектор характеристик блока. Построение векторов происходит для каждого блока. В большинстве своем, блоки перекрывают граничащие пиксели друг друга. Совокупность векторов характеристик со всех блоков, как результат, дает HOG-дескриптор всего изображения. Рисунок 2 иллюстрирует работу HOG-дескриптора[4].

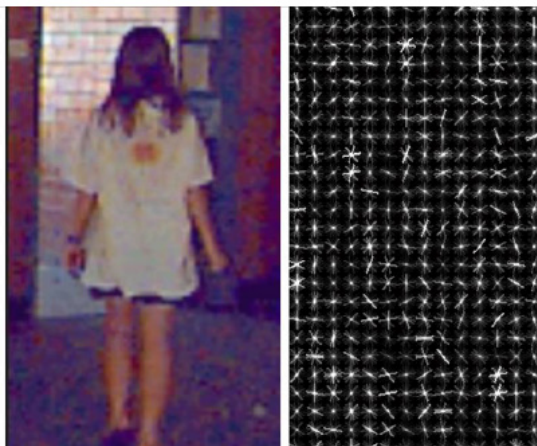


Рис. 2. Построение HOG-дескрипторов

HOG-дескрипторы используют различные классификаторы, например:

1. Random Forest
2. SVM

Выводы:

Поскольку алгоритм SIFT не использует информацию о взаимном расположении дескрипторов ключевых элементов, он малопригоден, в отличие от алгоритма HOG, для анализа изображений, содержащих повторяющиеся детали. Например, изображения продукции на полках супермаркета.

Библиографический список

1. Абдуллин Ю. Э. Обнаружение и трассировка движущихся объектов в потоке видеоданных. Томск. 2000. 58 с.
2. Савонин А. Метод выделения похожих изображений на основе применения SIFT Дескрипторов // Молодежный научно-технический вестник. 2014. № 12. С. 11.
3. Тассов К. Формирование панорамных изображений от камер видеорегистрации автомобильного потока // Наука и образование. 2012. 7 июля. С. 223-230.
4. Navneet D. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection // Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05). San Diego, CA, USA / IEEE. 2005. P. 8.

УДК 004.051

П.В. Супронович

студент кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

К.А. Курицын – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**УЛУЧШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОФАЙЛЕРА ПРИ ПОМОЩИ JAVAAGENT'A**

Профилерование — сбор характеристик работы программы: время выполнения отдельных фрагментов программы, число верно предсказанных условных переходов, число вызовов того или иного фрагмента и т. д. [1]

Профилерование бывает следующих видов:

- CPUUsage – использование программой процессорных мощностей, где программа больше всего использует процессор.

- Memouusage – использование программой памяти, что позволяет найти утечки памяти, заброшенную память, зомби и т.д.

- Networktraffic – использование программой сетевого трафика.

- IOutilization – использование средств ввода/вывода. Помогает найти такие проблемы, как узкие места.

- Sockets – активность сокетов. Мониторинг за количеством открытых соединений, как долго эти соединения остаются открытыми, чтение из сокета, запись в сокет [2].

Теперь рассмотрим профайлеры, которые используют вышеперечисленные инструменты:

— Honestprofiler – профайлер, использующий async Get Call Trace. Этот метод делает дампы только активных потоков и не привязан к точкам безопасного входа, async Get Call Traces эмулирует только java код.

— Perfmaragent – профайлер, основанный на perf. Данный интерфейс следит за счетчиками процессора и записывает в память значения файловых дескрипторов, которые и являются сэмплами. После этого данные дескрипторы преобразуются в вызовы методов и выводятся пользователю. Проблема данного варианта в том, что в память записываются большие объемы данных, из-за чего имеется риск утери некоторых записей таблицы. Не преобразует также интерпретируемые методы.

— Asyncprofiler – профайлер, совмещающий в себе async Get Call Trace и perf. Это объединяет плюсы обоих инструментов и дает наиболее полную картину. Данный профайлер может подключаться к java-процессу в любой момент времени при помощи attach-механизма [3].

Asyncprofiler запускается через bash-скрипт следующим образом:

```
./profiler.sh [действие] [опция] <pid>
```

Данный скрипт имеет команды (табл. 1)

Таблица 1

Список команд bash-скрипта

Команда	Параметр	Описание
Действия		
-h/-?	-	Вывести список команд
start	-	Начать профилерование
stop	-	Остановить профилерование
status	-	Вывести состояние профилерования (неактивно/работает N сек)
list	-	Вывести список доступных событий профайлера
collect	-	Профилеровать определенный период времени
Опции		
-e	cpu/alloc/lock/cache-misses	Какое событие профилеровать
-d	seconds	Профилеровать N сек

Команда	Параметр	Описание
-f	filename	Название выходного файла
-i	ns	Изменить интервал сэмплирования
-b	bufsize	Изменить размер буфера вызовов методов
-t	-	Профилировать разные потоки отдельно
-s	-	Выводить имена классов без пакетов, в которых они находятся
-o	format	Выводить: summary traces flat collapsed svg
--title	title	Название графика
--width	pixel size	Ширина графика
--height	pixel size	Высота графика
--minwidth	pixel size	Минимальная ширина графика
--reverse	-	График, начинающийся с конца
<pid>		ID процесса jvm
jps		Поиск работающей jvm автоматически

Пример использования asyncprofiler приведен на рис. 1.

```
kreb@kreb:~/mine/async-profiler-master$ sudo ./profiler.sh start -i 999000 -s jps
Started [cpu] profiling
kreb@kreb:~/mine/async-profiler-master$ sudo ./profiler.sh stop -o traces jps
Total: 572383855 (16.59%) samples: 571
 [ 0] Target.method1
 [ 1] Target.main
Total: 566413043 (16.41%) samples: 560
 [ 0] Target.method2
 [ 1] Target.main
```

Рис.1. Пример использования asyncprofiler

Asyncprofiler – мощный инструмент профилирования, но в некоторых ситуациях даже его нагрузка может стать критической. Эту проблему может решить javaagent, который увеличит производительность за счет функционирования «внутри» jvm.

Javaagent – это класс, содержащий premainjava метод, т.е. метод, который запускается перед программой для совершения каких-либо проверок или манипуляций. Однако, так как, javaagent является java методом, то он работает по правилам jvm.

В итоге поставлена следующая задача: реализовать javaagent, который будет отвечать за подключение asyncprofiler к нужному процессу и взаимодействие с пользователем.

Проект состоит из 2 классов – Profiler Agent, который собственно и является Javaagent класс-поток Controller, отвечающий за взаимодействие между пользователем и профайлером. Profiler Agent инициализирует и запускает Controller, после чего завершается. Класс-поток является демоном, т. е. работает на протяжении работы программы, если не была введена команда остановки.

Javaagent имеет немного отличающийся формат и список команд:

[действие], [опция](=[параметр]), [опция](=[параметр]) (табл. 2)

Таблица 2

Список команд javaagent

Команда	Параметр	Описание
Действия		
help	-	Вывести список команд
start	-	Начать профилирование
stop	-	Остановить профилирование
status	-	Вывести состояние профилирования (неактивно/работает N сек)

Команда	Параметр	Описание
list	-	Вывести список доступных событий профайлера
Опции		
event	cpu/alloc/lock/cache-misses	Какое событие профилировать
file	filename	Название выходного файла
interval	ns	Изменить интервал сэмплирования
framebuf	bufsize	Изменить размер буфера вызовов методов
threads	-	Профилировать разные потоки отдельно
simple	-	Выводить имена классов без пакетов, в которых они находятся
collapsed	samples/total	Вывести свернутые стеки вызовов
svg	samples/total	Вывести график в формате SVG
summary	-	Вывести сводку профилирования
traces	number of traces	Вывести N сэмплов
flat	number of methods	Вывести N методов, больше всего использующих процессор
--title	title	Название графика
--width	pixel size	Ширина графика
--height	pixel size	Высота графика
--minwidth	pixel size	Минимальная ширина графика
--reverse	-	График, начинающийся с конца

Пример использования приведен на рис. 2.

```
kreb@kreb:~/mine/profilerAgent/test$ sudo java -javaagent:../ProfilerAgent.jar -jar Target.jar
start, interval=999000, simple
Started [cpu] profiling

file=tmp
OK
traces=10
Total: 12055998137 (19.24%) samples: 12026
 [ 0] Target.method1
 [ 1] Target.main

Total: 12030605426 (19.20%) samples: 12023
 [ 0] Target.method2
 [ 1] Target.main
```

Рис.2. Пример использования Javaagent

Сравним скорость работы профайлера, запущенного через javaagent, и профайлера, запущенного обычным путем (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение запуска через bash-скрипт и Javaagent

Команда\Метод запуска	Bash-скрипт, ms	Команда\Метод запуска	Javaagent, ms
Start -o collapsed jps	853	start,collapsed	249
Start -i 999000 jps	883	start,interval=999000	229
stop -o summary,flat jps	728	summary,flat	47

Видно, что в среднем через Javaagent профайлер работает быстрее более чем в три раза. Это связано с тем, что Javaagent'у не нужно каждый раз искать pidjvm-процесса и активировать attach механизм, который и замедляет запуск стандартными методами.

В результате проведенного мной исследования были проанализированы средства профилирования программ, разработанных на языке java, и изучена возможность улучшения выбранного средства.

Исследование показало, что наиболее эффективным является `asynsprofiler`, совмещающий в себе преимущества остальных средств профилирования. Данный профайлер имеет возможность подключения к работающей программе, но необходимость использования `attach` механизма и поиска необходимого `pid` процесса замедляет его работу.

Для увеличения быстродействия был разработан `Javaagent`, который дает возможность подключить `asynsprofiler` к `jvm` через `native` библиотеки без использования внешних `attach` механизмов и поиска `pid` процесса. Это увеличило производительность профайлера более чем в 3,5 раза. Однако единственным вариантом запуска стал запуск вместе с программой.

Библиографический список

1. Веб-сайт Хабр. Do it yourself java profiling. URL: <https://habr.com/post/143468/> (дата обращения: 14.05.2018).
2. JUG. Искусство java-профилирования. URL: <https://jug.ru/talks/meetups/the-art-of-the-java-profiling/> (дата обращения: 14.05.2018).
3. Веб-сайт Хабр. В поисках перформанса. Ч. 2: Профилирование Java под Linux, URL: <https://habr.com/company/jugru/blog/338928/> (дата обращения: 14.05.2018).

УДК 004.3

Е. Ю. Таранова

студентка кафедры аэрокосмических систем и технологий

Л. В. Шатунов

студент кафедры аэрокосмических систем и технологий

В. Н. Иванов — кандидат технических наук – научный руководитель**ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО**

Существуют различные подходы в реализации архитектур реконфигурируемого радио. Целью настоящей работы является проведение сравнительного анализа существующих реконфигурируемых архитектур радиосистем. Далее приведен краткий обзор этих архитектур.

Software Defined Radio (SDR) – программно-определяемая радиосистема, разрабатываемая с 1970 гг., реализуемая на аппаратном уровне в виде радиоприемника /передатчика, позволяющая с помощью ПО устанавливать или изменять радио параметры, такие как, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность [1]. Хотя концепция программно-определяемой радиосистемы не нова, быстро развивающиеся возможности цифровой электроники сделали выполнимыми на практике многие процессы, которые раньше были только теоретически возможными. SDR является основой для реализации таких архитектур, как Software Communication Architecture, которая разрабатывалась в рамках программы Joint Tactical Radio System.

Joint Tactical Radio System (JTRS) – это программа развития радиосистем в военном тактическом звене управления.

Software Communication Architecture (SCA) – это открытая архитектура, предложенная в рамках JTRS и представляющая собой воплощение концепции SDR, которая предлагает разработчикам коммуникационного оборудования стандартный способ создания, настройки и управления сигналами приложений, которые выполняются на платформе [2].

На рис. 1 представлена архитектура SCA, которая включает в себя следующие объекты:

- устройства генерирующие сигналы, например, модем, ethernet и т.п.;
- программа, генерирующая форму волны (waveform);
- операционная среда (operating environment), включающая промежуточное ПО;
- ядро SCA (SCA Core Framework).

Средства, которые взаимодействуют с компонентами SCA посредством waveform: наборы API, расположенные в верхней части рисунка – для передачи приема сигналов, в нижней части – для работы аппаратной платформы.

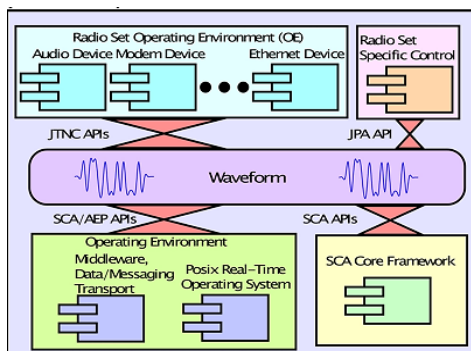


Рис. 1. Архитектура SCA на аппаратной платформе

Так SCA, первоначально созданный для военной коммуникации, предлагает язык описания интерфейсов, где описание компонент реализуется на уровне API и Middleware (OC), что для гражданских целей обходится довольно дорого.

Коммуникация программных компонент происходит с помощью логической программной шины, используя модель «клиент-сервер». Основной идеей создания SCA была попытка организовать переносимость приложений между различными аппаратными архитектурами, которая не была реализована в полном объеме в силу принятых архитектурных решений.

С быстрым развитием программных и аппаратных возможностей появляется проблема обновления устаревших технологий систем радиосвязи, так как для их замены необходимо модифицировать аппаратную платформу. Для решения этой задачи началась разработка Reconfigurable Radio System (RRS), и, в частности, Reconfigurable Mobile Device.

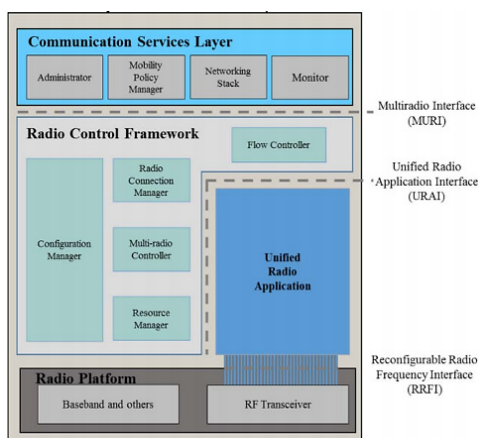


Рис. 2. Архитектура RMD

На рис. 2 представлена архитектура RRS на основе RMD, состоящая из четырех компонент, которые определяются как:

- уровень коммуникационных услуг (Communication Services Layer – CSL) включающий в себя 4 объекта – администратора, управление политикой мобильности, сетевой стек и монитор;
- среда для управления радио (Radio Control Framework – RCF), включающая в себя 5 объектов – управление конфигурациями, управление радио-соединением, мультирадио контроллер, управление ресурсами, контроллер потока;
- радиоприложения (Unified Radio Applications – URA);
- радио-платформа, состоящая из радиопередатчика и радиоприемника, а также антенны.

Реализация и описание компонент RRS происходит на программном уровне, что позволяет оптимизировать разработку системы. Управление протоколами, представленных в виде приложений, упрощает работу платформы, что открывает возможность обработки любых протоколов беспроводной связи [3].

Программные компоненты взаимодействуют друг с другом посредством трех интерфейсов:

- мультирадиоинтерфейс (Multiradio Interface – MURI);
- интерфейс радиоприложений (Unified Radio Applications Interface – URAI);
- реконфигурируемый радиочастотный интерфейс (Reconfigurable Radio Frequency Interface – RRFI).

Преимущества и недостатки RRS и SCA архитектур представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Преимущества и недостатки SCA	
Слабые и сильные стороны архитектуры	Преимущества и недостатки SCA
Слабые стороны	<ul style="list-style-type: none"> – не обеспечена переносимость приложений между различными реализациями SCA; – не обеспечена взаимная оптимизация аппаратной и программной части; – сложный, требует большой объем кода, тем самым недостаточно эффективен для коммерческих приложений; – неформализованная модель «клиент-сервер» для взаимодействия между программными компонентами
Сильные стороны	<ul style="list-style-type: none"> – повторное использование модулей проектирования при определенной конфигурации ОС и аппаратной части

Таблица 2

Преимущества и недостатки RRS	
Слабые и сильные стороны архитектуры	Преимущества и недостатки RRS
Слабые стороны	<ul style="list-style-type: none"> – частично реализован на практике
Сильные стороны	<ul style="list-style-type: none"> – переносимость конфигурационного кода; – организация взаимодействия между различными протоколами, которые представлены в виде приложений для реализации мультирадио системы; – управление радио-ресурсами

На основе результатов, представленных в табл. 1 и 2, можно отметить, что каждая архитектура имеет определенные различия, исходя из которых можно сделать следующий вывод: RRS обладает наибольшей «гибкостью», но реализован на практике всего лишь частично, в то время как SCA возможно использовать на практике, но он слишком сложен для изучения и работы с ним.

Библиографический список

1. Dillinger M., Madani K., Alonistioti N. Software Defined Radio: Architectures, Systems and Functions, 2003. 33 с.
2. Software Communication Architecture Specification. User's Guide / Joint Tactical Networking Center, San Diego. 2015. 9-11 с.
3. Reconfigurable Radio Systems (RRS). Radio Reconfiguration related Architecture for Mobile Devices / ETSI EN 303 095 Vol.1.3.1. 2017. С. 10-12.

УДК 004.896

М.В. Чередников

магистр кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем

М.О. Алексеев – кандидат технических наук – научный руководитель

О ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К ЗАДАЧАМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ

Теория машинного обучения зародилась практически одновременно с появлением первых компьютеров и на протяжении последних 70 лет является активно развивающейся дисциплиной. Ее постоянное развитие вызвано ростом возможностей современных вычислительных систем, еще более стремительным ростом объемов данных, доступных для анализа, а также постоянным расширением области применения методов машинного обучения на все более широкий класс задач обработки данных [1]. Главной задачей машинного обучения является автоматическое определение взаимозависимостей между наблюдаемыми и скрытыми переменными объекта, с тем, чтобы для произвольного объекта по его наблюдаемым компонентам можно было оценить возможные значения скрытых компонент.

Нейронные сети – математические модели, а также их программные или аппаратные реализации, построенные по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей (сетей нервных клеток живого организма). Нейросети имеют возможность обучаться, в чем и заключается одно из главных их преимуществ перед традиционным алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейросеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что, в случае успешного обучения, сеть сможет вернуть результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке [2]. На рис. 1 представлена простая нейронная сеть.

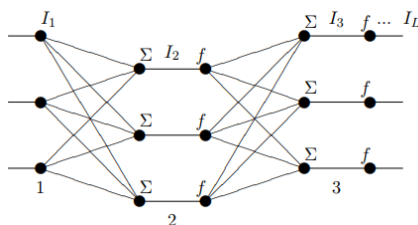


Рис. 1. Простая нейронная сеть

Нейроны в ней распределены по L уровням, на каждом из которых находится l_k нейронов. Для наглядности каждый нейрон, кроме входных и выходных, представлен в виде двух узлов: один суммирует входные сигналы, второй преобразует их.

В зависимости от функций, выполняемых нейронами в сети, выделяют три их типа [3]:

- 1) *входные нейроны* (на них подается вектор, кодирующий входное воздействие);
- 2) *выходные нейроны*, (выходные значения, которые представляют выходы нейронной сети);
- 3) *промежуточные нейроны* (составляют основу нейронных сетей).

Машинное обучение - класс методов искусственного интеллекта, характерной чертой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач [5]. Целью машинного обучения является частичная или полная автоматизация решения сложных профессиональных задач в самых разных областях человеческой деятельности.

Применение систем машинного обучения для задач помехоустойчивого кодирования сводится к следующим областям.

- **Декодирование:**

- возможность декодировать за границей минимального расстояния вплоть до производительности декодирования по максимуму апостериорной вероятности (MAP);

○ могут быть использованы для некоторых классов нелинейных кодов, не обладающих эффективными алгоритмами декодирования.

● Классификация кодов:

○ в криптографических задачах, например, для анализа и классификации кодов, используемых в пост квантовой криптографии (шифры Мак-Элиса, Нидеррайтера).

На рис. 2 представлен график зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум (signal-noiseratio) для трех основных типов декодеров [6] (SDD, softdecisiondecoder – декодер с «мягкими» решениями; HDD, harddecisiondecoder–декодер с «жесткими» решениями; RNND, random neural network decoder – нейросетевой декодер).

По результатам анализа рис. 2 необходимо сделать вывод об эффективности использования нейросетевого декодера по отношению к декодеру, основанному на жестких решениях. Так, при фиксированном значении SNR нейросетевой декодер показывает значительно меньшую вероятность ошибки, близкую к результатам мягкого декодирования. На рис. 3 представлен график зависимости вероятности ошибки от отношения сигнал/шум на 1 бит для полярного (а) и случайного (б) кодов [2]. На графике проведены также кривые для различного количества обучающих эпох M_{ep} .

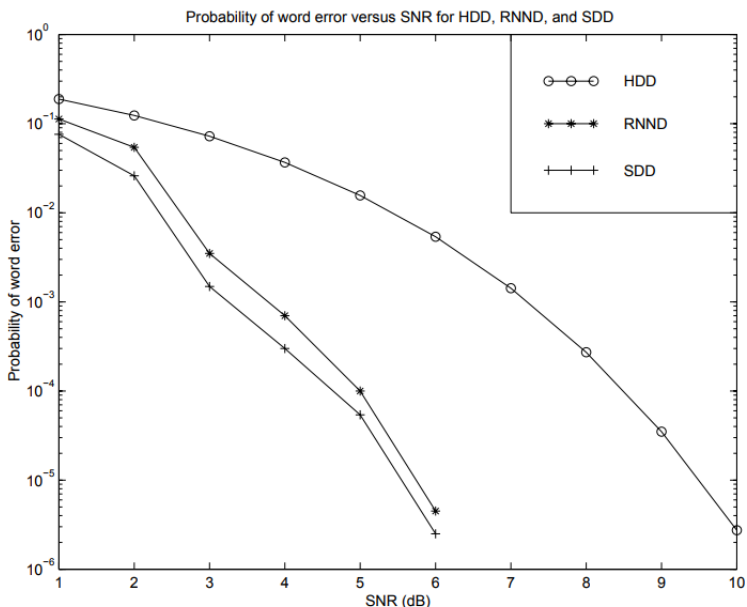


Рис. 2. Вероятность ошибки для кода Хэмминга (7,4) в AWGN канале [6]

Необходимо сделать вывод, что вероятность появления ошибок зависит от количества обучающих эпох следующим образом: чем больше произведено обучающих эпох, тем меньшее количество ошибок возникает при декодировании. При увеличении числа обучающих эпох исследуемая кривая начинает приближаться к MAP, maximum posterior – максимуму апостериорной вероятности (наиболее точный, но крайне трудоемкий способ декодирования).

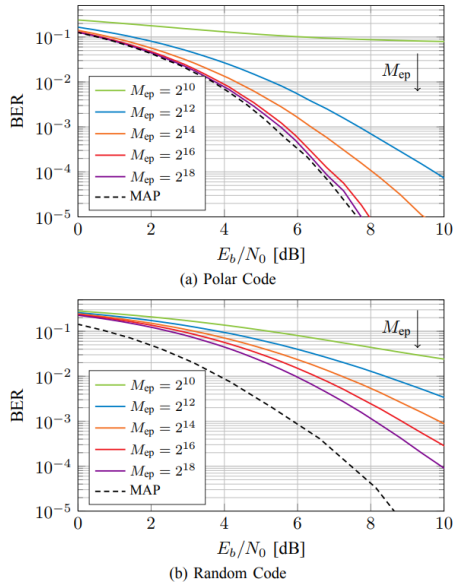


Рис. 3. Влияние числа обучающих эпох (M_{cp}) на вероятность ошибки (BER) в 128-64-32 НС для 16-битового кода со скоростью $r = 0.5$ [2]

Выходной слой нейросети может быть представлен [3]:

- Битами кодового слова: в таком случае для кода Хэмминга (7,4) понадобится 7 нейронов в выходном слое.
- Одним нейроном для каждого кодового слова: в таком случае для кода Хэмминга (7,4) понадобится 16 нейронов в выходном слое; каждый нейрон выходного слоя будет иметь определенный вес, означающий «уверенность» нейросети в данном варианте ответа [4].

Минусом данного варианта является большее число выходов нейросети (16 вместо 7), с другой стороны такая организация НС удобна для использования в списочном декодировании.

Обучение нейросети может быть произведено по средствам использования метода градиентного спуска с минимизацией количества ошибочных классификаций. Градиент – вектор, указывающий направление наибольшего возрастания некоторой функции $F(x)$. Отсюда можно сделать вывод, что вектор противоположный градиенту – указывает на направление, в котором функция $F(x)$ убывает быстрее всего. Тогда, имея некоторую функцию потерь и двигаясь по направлению, противоположному градиенту будет достигнута минимизация количества ошибок.

L. G. Tallini и P. Cull в своей работе “Neuralnetsfordecodingerror-correctingcodes” предложили метод обучения нейросети не по кодовым словам и ошибкам, а по синдромам [3]. В таком случае сеть определяет наиболее вероятный паттерн ошибки. Для высокоскоростных кодов это может оказаться очень эффективно.

Важной проблемой для декодирования кодов с помощью НС являются большие коды (с большим количеством кодовых слов), так как обучение становится сложно осуществимым. Например, для кода Хэмминга с десятью проверочными символами (1023/1013) необходимо обучить сеть на 2^{1013} кодовых словах, что является вычислительно сложной задачей. Это важное ограничение, которое можно преодолеть для регулярных (например, алгебраических или сверточных) кодов. В этом случае доказано, что для регулярных кодов нейросеть может выработать правило декодирования, которое успешно будет работать и с теми словами, которые отсутствовали в обучающей выборке.

Проведенный обзор показал, что нейронные сети могут быть эффективно использованы для декодирования помехоустойчивых кодов. Для случайных и полярных кодов малой длины достигается эффективность декодирования по максимуму апостериорной вероятности (MAP), но обучение ограничено экспоненциальным ростом сложности при увеличении количества бит в кодовых словах. Наиболее интересным оказывается то, что нейросеть способна обобщать структурированные коды, что дает надежду на применение нейросетевых алгоритмов декодирования для кодов большой длины. Уровень развития декодирования полярных кодов в настоящее время сильно ограничен высокой сложностью декодирования и отсутствием возможности распараллеливания, что приводит к критическим задержкам при декодировании [2].

Нейросетевой декодер описывает хорошо распараллеливаемую структуру, что позволяет использовать параллелизм при декодировании. Это делает декодер на основе глубокого машинного обучения перспективной альтернативой декодированию каналов с использованием последовательных алгоритмов.

Библиографический список

1. Ветров Д. Машинное обучение – состояние и перспективы. URL: <http://docplayer.ru/45512252-Mashinnoe-obuchenie-sostoyanie-i-perspektivy.html> (дата обращения: 12.05.2018).
2. Gruber T., Cammerer S., Hoydis J., Brink S. On deep learning-based channel decoding. France: Institute of Telecommunications, 2017. 6 с.
3. Tallini L., Cull P. Neural nets for decoding error-correcting codes / Proc. IEEE Tech. Applicat Conf. and Workshops Northcon 95. 1995. 89 с.
4. Haddadi O., Abbasi Z., TooToonchy H. The Hamming Code Performance Analysis using RBF Neural Network. San Francisco, USA, World Congress on Engineering and Computer Science Vol. 2. 2014. 5 с.
5. Драко А., Романенко Д. Особенности нейросетевого декодирования линейных блочных кодов. Минск: БГТУ, 2015. 5 с.
6. Abdelbaki H., Gelenbe E. Random Neural Network Decoder for Error Correcting Codes. Orlando, USA, University of Central Florida. 2013. 5 с.

Информационные системы и защита информации

УДК 004.942

Е. Д. Балакина

студент кафедры безопасности информационных систем

Т. М. Татарникова – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ DATA MINING ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА

Предложено последовательное решение задачи анализа текста с применением технологии Text Mining.

Функциональные возможности современной технологии Text Mining распространяются на широкий класс задач, в основном связанных с поиском информации, автоматической генерации текста, анализом рынков. В последние пять лет открылся целый спектр отраслей, в которых возможности Text Mining только начинают использоваться. К их числу относятся корпоративная бизнес-аналитика, мониторинг социальных медиа и деловая разведка [1].

Text Mining – это технология анализа текстов, позволяющая обрабатывать большие объемы неструктурированной информации, извлекать знания и высококачественную информацию из текстовых массивов. Инструменты TextMining позволяют автоматически анализировать содержание баз данных, веб-сайтов, блогов, электронной почты, мессенджеров, чатов и других видов информационного взаимодействия. Такая технология глубинного анализа текстов способна «просеивать» большие объемы неструктурированной информации и выявлять из них только самое значимое, чтобы человеку не приходилось самому тратить время на добычу ценных знаний «вручную» [2].

Основными стадиями решения задач средствами Text Mining приведены на рис. 1.

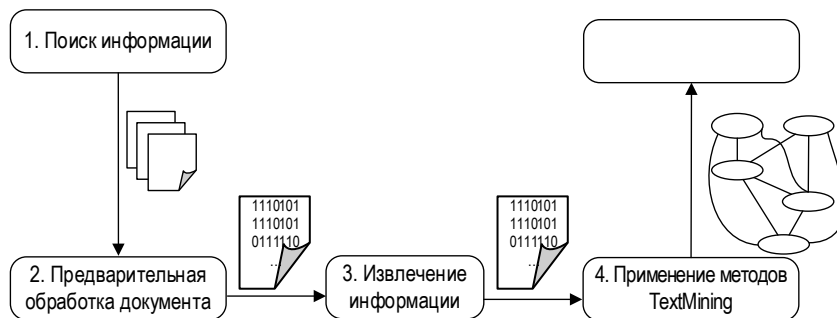


Рис. 1. Этапы Text Mining

На этапе поиска информации и определения исходных данных необходимо определить, какие документы должны быть подвергнуты анализу, и обеспечить их доступность.

Предварительная обработка документов подразумевает необходимые преобразования документов для представления их в виде, с которым работают методы Text Mining. Целью таких преобразований является удаление лишних слов и придание тексту более строгой формы.

Извлечение информации предполагает выделение в анализируемом документе ключевых понятий. Ключевые понятия – это наиболее часто встречающиеся слова и словосочетания в тексте, которые, собственно и определяют его тематику [3].

На этапе применения методов Text Mining извлекаются шаблоны и отношения, скрытые в тексте. Шаблон может быть построен в виде семантической сети, корреляционной матрицы между ключевыми словами, фреймовой модели или другом визуализированном виде. Визуализация предполагает графическое представление извлеченных ключевых понятий, что помогает быстро идентифицировать главные темы и понятия, а также определить их важность.

Последний шаг в процессе анализа текста предполагает интерпретацию полученных результатов. На этом этапе к работе подключается лицо принимающее решение – аналитик по работе с текстом.

Как видно из содержания этапов Text Mining применение комплекса техник к анализируемому тексту в результате может быть получен шаблон, способствующий извлечению семантических связей между отдельными словами, при причем этот процесс должен выполняться автоматически без участия человека, а понимание смысла текста происходит с участием человека.

Семантические сети определяются как граф общего вида, в котором можно выделить множество вершин и ребер. Каждая вершина графа представляет некоторый объект, а дуга – отношение между парой объектов. В качестве таких объектов могут выступать понятия, события, процессы и т.д.; свойства объектов также представляются вершинами сети и служат для описания классов объектов. Имена вершин и дуг совпадают с именами соответствующих объектов и их отношений, используемых в профессиональном языке проблемной области. Метка и направление дуги конкретизируют семантику. Метки вершин семантической нагрузки не несут, а используются как справочная информация.

Дуга и связываемые ею вершины образуют подграф, являющийся минимальной информационной единицей в системе анализа текста. Более сложные подграфы сети отражают и более сложные факты (утверждения).

Объекты могут быть трех основных типов: обобщенные, конкретные и агрегатные. Обобщенный объект на самом деле представляет собой целый класс объектов (более низкого уровня) предметной области. Тогда как конкретный объект представляет собой некоторым образом выделенную сущность из класса. Подагрегатным понимается объект предметной области, составленный из других объектов. В качестве агрегатного может выступать как обобщенный, так и конкретный объект.

Между двумя объектами могут существовать различного типа отношения. В качестве наиболее распространенных (базовых) можно отметить следующие отношения между объектами:

- принадлежит (объект принадлежит данному классу);
- обладает (объект обладает некоторым свойством);
- значение (определяет значения свойств объекта);
- следствие (отражает причинно-следственные связи: свойство является следствием некоторой причины).

В работе рассматривается возможность применения технологии Text Mining в вопросах предотвращения потенциальных угроз, которые могут быть скрыты в сообщениях.

В настоящее время проблема безопасности в мессенджерах, социальных сетях, форумах и электронных письмах является актуальной, анализ этих данных позволит пресечь нежелательную утечку информации или планирование враждебных действий по отношению к кому- или чему-либо [4].

Предлагается следующий программный комплекс, реализующий технологию TextMining для вскрытия потенциальных угроз в анализируемом тексте, представляющий собой прототип экспертной системы.

Программный комплекс состоит из следующих модулей (рис. 2):

- решателя (интерпретатора);
- рабочей памяти, называемой также базой данных (БД);
- базы знаний (БЗ);
- компонентов приобретения знаний;

- объяснительного компонента;
- компонента визуализации результата [35].

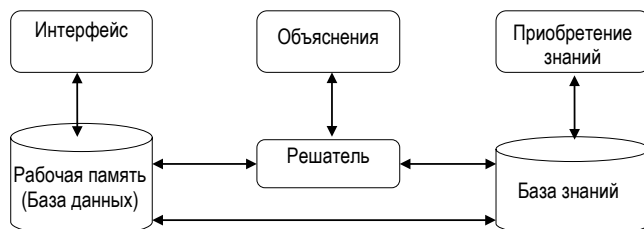


Рис. 2. Структура программного комплекса

База данных (рабочая память) предназначена для хранения исходных и промежуточных данных задачи, которая решается в текущий момент времени. В решаемой задаче рабочая память хранит анализируемый текст, массивы ключевых слов и словосочетаний, различные метрики текста, например, расстояния между словами, словарь синонимов и выявленные шаблоны.

База знаний предназначена для хранения долгосрочных данных, описывающих свойства проблемной области и правил, описывающих преобразования данных. В рамках решаемой задачи база знаний содержит все процедуры предварительной обработки текста и оценки смыслового веса ключевых понятий.

Решатель, используя исходные данные из рабочей памяти и знания формирует правила формирования семантической сети. Происходит этот процесс следующим образом. Каждый элемент сети – ключевое слово – характеризуется числовой оценкой, так называемым смысловым весом. Смысловой вес определяется исходя из частотного анализа текста. Пороговое значение повторяемости слова в общем объеме текста, позволяющее слово отнести к ключевому понятию или не отнести выбирается экспертом исходя из тематики и объема анализируемого текста. От количества ключевых понятий будет зависеть ширина построенной семантической сети.

Связи между парами понятий, в свою очередь, также характеризуются весами. Эти оценки позволят сравнить относительный вклад различных понятий и их связей в семантику текста, выявить более или менее подробно проработанную в тексте тематику, задать способ сортировки информации, и наконец, позволять взглянуть на весь текстовый материал по пластам – смысловым срезам различной глубины [5].

Ближайшее к понятию число представляет его смысловой вес. Его значение (от 1 до 100) показывает, сколь важную роль играет понятие для смысла всего текста – как много информации в тексте касается данного понятия. Максимальное значение, равное 100, говорит о том, что понятие является ключевым и представляет важнейшую тему текста. Маленькое, близкое к единице значение показывает, что соответствующая тема лишь вскользь упомянута в тексте и в нем очень мало информации, относящейся к данному понятию. Второе число, стоящее перед смысловым весом, ближе к раскрытому узлу, представляет вес связи от понятия в вершине раскрытого списка к данному. Вес связей также всегда принимает значение от 1 до 100. Большое значение веса связи от одного понятия к другому, близкое к 100, указывает на то, что подавляющая часть информации в тексте, касающаяся первого, касается в то же время и второго понятия – первая тема почти всегда излагается в контексте второй. Малое единичное значение отражает тот факт, что первое понятие слабо связано со вторым и очень мало информации по первой теме касается в то же время и второй. Так же надо иметь в виду, что связь между парой понятий сети всегда двусторонняя, однако связь от первого понятия ко второму далеко не всегда имеет тот же самый вес, что и обратная, от второго к первому.

Компонент приобретения знаний необходим для наполнения экспертной системы новыми знаниями. Это могут быть новые словарные слова, новые алгоритмы обработки текста и другое.

Объяснительный компонент позволяет увидеть промежуточные результаты, что объясняет, как система получила решение задачи и какие знания она при этом использовала. Наличие этого компонента повышает доверие к полученному результату со стороны лица принимающего решение.

Интерфейс позволяет реализовать удобный режим работы с экспертной системой за счет удобного ввода исходных данных, визуализации результатов и т.п.

Достоверность выявления скрытых шаблонов в тексте планируется проверить на открытых источниках в сети Интернет-сайтах и страницах пользователей социальных сетей.

Разрабатываемый программный комплекс позволит перейти от данных к их смыслу, выделить ключевые моменты текста, сущности, связи, составить эмоциональный портрет, а также сделать выводы об информационной безопасности текста.

Библиографический список

1. Кутукова Е.С. Технология Textmining // Научные труды SWorld. 2013. С. 33-36.
2. Барсегян А.А., Куприянов М.С., Холод И.И. и др. Анализ данных и процессов. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 512 с.
3. Такахаси С. Занимательная статистика. Факторный анализ. М.: ДМК-Пресс, 2015. 146 с.
4. Almeida T.A., Yamakami A. Advances in spam filtering techniques // Computational Intelligence for Privacy and Security Studies in Computational Intelligence. 2012. Vol. 394. Pp. 199–214.
5. Berry M.W., Browne M. E-mail surveillance using nonnegative matrix factorization // Computational & Mathematical Organization Theory. 2005. Vol. 11. No. 3. Pp. 249–264.

УДК 004.855.5

М. Д. Борисова

студент кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи

М. С. Саевнов

студент кафедры инфокоммуникационных технологий и систем связи

А. И. Веселов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРКИ «ТИТАНИК»

Гибель Титаника – одно из наиболее трагичных кораблекрушений в истории. Одной из причин того, что кораблекрушение повлекло такие жертвы, стала нехватка спасательных шлюпок для пассажиров и команды. Некоторые группы людей имели больше шансов выжить, чем другие, например, женщины, дети и пассажиры первого класса. В задаче предлагается применить средства машинного обучения для определения того, какие пассажиры имеют шансы выжить в этой трагедии [1]. Так звучит описание соревнования, которое предлагает Kaggle. Целью работы, описанной в этой статье, является оценка эффективности применения логистической регрессии в решении данной задачи.

Машинное обучение (Machine Learning) – обширный подраздел искусственного интеллекта, изучающий методы построения алгоритмов, способных обучаться [2]. Другими словами, это метод восстановления неизвестной зависимости по набору имеющихся измерений, называемых обучающей выборкой. Одним из алгоритмов машинного обучения является построение модели логистической регрессии [3].

Основная идея логистической регрессии заключается в том, что пространство исходных значений может быть разделено границей на две области. В рассматриваемом случае по совокупности признаков в одну из них попадают те пассажиры, которые скорее всего выживают, а в другую – те, чей шанс на выживание мал. Если предположить, что \mathbf{x} – вектор признаков пассажира, θ – вектор коэффициентов, то функция задается формулой:

$$f(\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-\theta^T \mathbf{x}}}.$$

Задача логистической регрессии заключается в поиске таких θ , чтобы график функции проходил между двумя заданными областями, в данном случае, если $f(\mathbf{x}) < 0.5$ – пассажир попадает в область с малой выживаемостью, а если $f(\mathbf{x}) \geq 0.5$ – в область выживших. Для этого поиска производится конечное количество итераций, на каждой из которых вычисляется значение функции потерь J :

$$J(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (-y_i * \ln(\hat{y}_i) - (1 - y_i) * \ln(1 - \hat{y}_i)),$$

где $\hat{y}_i = f(\mathbf{x}_i)$ – предсказанная вероятность принадлежности объекта к первому классу, y_i – истинная метка объекта. Функция потерь показывает, насколько сильно ошибается модель при определении шансов выживания пассажира. Пока функция потерь не равна какому-то малому значению, по ней можно проводить градиентный спуск. Градиентный спуск – это метод нахождения локального минимума (максимума) функции с помощью движения вдоль антиградиента, то есть вдоль вектора, направленного в сторону скорейшего убывания функции [4]. Итак, нужно двигаться в направлении антиградиента по функции ошибки, на каждом шаге обновляя значения вектора коэффициентов:

$$\theta_i = \theta_i - \alpha \frac{\partial J}{\partial \theta_i}.$$

При этом α – шаг градиентного спуска, малая константа от 0 до 1. А частная производная вычисляется по формуле:

$$\frac{\partial J}{\partial \theta_i} = -\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\hat{y}_i - y_i) * x_{ji}.$$

В работе используются две выборки: тренировочная, в которой заранее известно, выжил ли пассажир; и тестовая, в которой нужно предсказать выживаемость пассажира. Данные в текстовом виде разделены запятыми. Одна строка — данные об одном пассажире. Некоторые данные могут быть неизвестны и пропущены. Для решения задачи нужно: 1) произвести обработку исходных данных; 2) обучить на этих данных модель логистической регрессии; 3) оценить качество обученной модели путем сравнения результата с ответами.

Из файла данные для обработки загружаются в табличный вид. На рис. 1 видно, что они делятся на числовые и текстовые. Чтобы продолжить решение задачи и воспользоваться методом логистической регрессии, нужно выбрать, какие данные понадобятся для обучения модели, а затем перевести их в пригодный для машинного обучения вид.

	Survived	Pclass	Name	Sex	Age	SibSp	Parch	Ticket	Fare	Cabin	Embarked
0	0.0	3	Braund, Mr. Owen Harris	male	22.0	1	0	A/5 21171	7.2500	NaN	S
1	1.0	1	Cumings, Mrs. John Bradley	female	38.0	1	0	PC 17599	71.2833	C85	C
2	1.0	3	Heikinen, Miss. Laina	female	26.0	0	0	3101282	7.9250	NaN	S
3	1.0	1	Futrelle, Mrs. Jacques Heath	female	35.0	1	0	113803	53.1000	C123	S
4	0.0	3	Allen, Mr. William Henry	male	35.0	0	0	373450	8.0500	NaN	S
5	0.0	3	Moran, Mr. James	male	NaN	0	0	330877	8.4583	NaN	Q
6	0.0	1	McCarthy, Mr. Timothy J	male	54.0	0	0	17463	51.8625	E46	S
7	0.0	3	Palsson, Master. Gosta Leonard	male	2.0	3	1	349909	21.0750	NaN	S

Рис. 1. Часть тестовой выборки после перевода в табличный вид

Данные включают в себя имя (Name), класс пассажира (Pclass), пол (Sex), возраст (Age), количество родственников на борту (SibSp – количество братьев, сестер и супругов, Parch – количество родителей и детей), стоимость билета (Fare), номер билета (Ticket), номер каюты (Cabin) и порт посадки (Embarked). Не все эти данные являются благоприятными для обучения модели. К примеру, не используется номер билета, ведь он никак не влияет на шансы выжить. Также откидывается столбец «каюта», так как в нем слишком много пропущенных данных (табл. 1). Стоимость билета напрямую зависит от класса пассажира, поэтому этот столбец тоже можно отбросить.

Таблица 1

Анализ данных тренировочной выборки

Survived	Pclass	Name	Sex	Age	SibSp	Parch	Ticket	Fare	Cabin	Embarked
891	891	891	891	714	891	891	891	891	204	889

Из поля «Имя пассажира» можно извлечь обращение (например, "Mrs", "Dr"), так как статус может влиять на вероятность выживания. К тому же, опираясь на титулы, можно более точно подобрать средний возраст для пассажиров, у которых отсутствует информация в этой графе. Создаем столбец «Статус», в который заносим числа от 0 до 4, где: 0 – "Miss", 1 – "Mrs", 2 – "Master", 3 – "Mr", 4 – все остальные. Для удобства делим пассажиров на возрастные группы, где 1 – от 0 до 15 лет, 2 – от 16 до 31, и так далее, предварительно заполнив недостающие данные возраста средним значением для пассажиров текущего статуса. Записываем эти данные в столбец «Возрастная группа» (AgeGroup).

Столбцы «Братья/Сестры/Супруги» и «Родители/Дети» объединяем в один с названием «Семья» (Family) по такой логике: складываем количество всех родственников на борту и полагаем, что семья маленькая, если пассажир путешествует с одним-двумя-тремя родственниками; семья большая, если количество родственников на борту превышает трех. Если пассажир путешествует один, в графе «Семья» отмечаем «нет».

Остается таблица со следующими данными: класс пассажира, пол, возрастная группа, статус, порт посадки и семья. Вид выборки с обработанными данными представлен на рис. 2.

	Pclass	Sex	AgeGroup	Status	Embarked	Family
0	3	male	2	3.0	S	small
1	1	female	3	1.0	C	small
2	3	female	2	0.0	S	no
3	1	female	3	1.0	S	small
4	3	male	3	3.0	S	no
5	3	male	3	3.0	Q	no
6	1	male	4	3.0	S	no
7	3	male	1	2.0	S	big

Рис. 2. Отобранные для обучения данные

Для последующего обучения модели нужно привести все признаки в числовой вид. Поэтому в столбце «пол» слова "male" и "female" заменяются на цифры 0 и 1 (1 – является мужчиной, 0 – не является мужчиной). Столбец «порт посадки» разделяется на три столбца. Единица стоит в одном из них, а в остальных – нули. По этой же логике разделяется столбцы «Семья» и «Возрастная группа». После этого переводим данные из табличного вида в скалярный: теперь каждому пассажиру соответствует вектор признаков в виде чисел. Можно приступить к обучению.

Взяв шаг $\alpha = 0,01$ и количество итераций $n = 10000$, получаем, что модель обучается до тех пор, пока значение функции потерь не равно 0,45. При этом точность предсказаний на тренировочной выборке составляет 81.7%. После этого можно проверить точность предсказаний на тестовой выборке. Сравнив полученные результаты с ответами, получаем, что правильно предсказанных значений оказывается 78.2%

Итак, в данной работе была исследована эффективность логистической регрессии на примере выборки «Титаник». Данные выборки были проанализированы, обработаны и использованы в обучении модели. Точность предсказаний в конце обучения составила 78.2%. Целью дальнейшей работы является улучшение полученного результата. Скорее всего, на точность предсказаний может повлиять учет большего числа признаков, а также построение более сложных моделей.

Библиографический список

1. Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/c/titanic>. (дата обращения: 30.05.2018).
2. Studwood. URL: https://studwood.ru/1602963/informatika/ponyatie_mashinnoe_obuchenie (дата обращения: 30.05.2018).
3. Fb.ru. URL: <http://fb.ru/article/281827/regressiya-logicheskaya-model-i-metody> (дата обращения: 30.05.2018).
4. Virtual Laboratory Wiki. URL: http://ru.vlab.wikia.com/wiki/Градиентный_спуск (дата обращения: 30.05.2018).

УДК 004.75

Н.А. Боровков

студент кафедры безопасности информационных систем

Е.М. Линский – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**РЕАЛИЗАЦИЯ ГОЛОСОВАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ ETHEREUM**

Голосование в наши дни часто является электронным, будь то голосование за лучшую работу на конкурсе, или голосование на собрании акционеров. Электронное голосование делает этот процесс более простым и быстрым от передачи голоса избирателем до подсчета всех голосов. Но несмотря на возможности, которые предоставляет электронное голосование, требований к нему не меньше, чем требований, предъявляемых к обычному голосованию. Одним из требований является то, что возможность голосовать должна быть только у допущенных к голосованию. У одного голосующего не должно быть возможности проголосовать дважды. А в некоторых случаях необходимо обеспечить анонимность голосующих. Часто возникает проблема доверия администратору, т. е. лицу, организующему процесс голосования, и программному обеспечению (ПО). Под проблемой доверия администратору и ПО в этой работе подразумевается случай, когда из-за действий администратора или из-за ПО подсчет голосов происходит неверно. Эта проблема требует решения. Децентрализованный подход позволяет решить проблему доверия администратору путем переноса части его функций на независимые от него узлы сети. Такой принцип используется в технологии "Blockchain" [1].

Предполагается существование нескольких узлов, которые выполняют одни и те же вычисления. Эти вычисления должны совпасть. Состояние системы определяется состоянием большинства узлов, т. е. их консенсусом. Технология "Blockchain" реализована в системе "Ethereum" [2]. Кроме того, система "Ethereum" дает возможность решить проблему доверия ПО с помощью технологии смарт контрактов, гарантирующей правильное выполнение программ в системе за счет проверки результатов их выполнения всеми узлами сети. Целью работы является разработка программного комплекса для голосования, удовлетворяющего требованиям, описанным выше. Для решения проблемы доверия администратору и ПО предполагается использовать платформу "Ethereum".

Архитектура реализуемой системы (рис. 1) состоит из трех элементов: смарт контракт, выполняющий основные операции: подсчет голосов, приложение пользователя, нужное для работы системы через web-интерфейс, и локальный узел сети "Ethereum", являющийся связующим звеном между смарт контрактом и приложением.

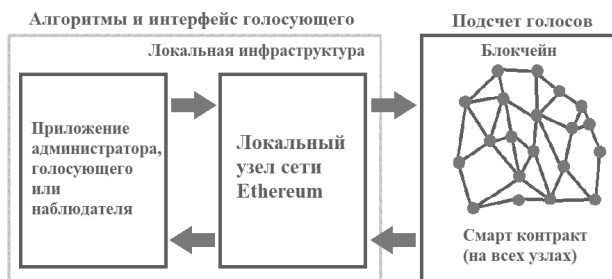


Рис. 1. Архитектура системы голосования

Приложение может отличаться в зависимости от роли пользователя в процессе голосования. Администратор управляет процессом голосования, но не имеет доступа к секретным данным голосующих, голосующий голосует, а наблюдатель может следить за процессом голосования.

Перечислим некоторые особенности платформы "Ethereum", важные для реализации системы. Во-первых, язык программирования платформы "Ethereum", "Solidity", обладает полнотой по Тьюрингу, что делает возможным реализацию голосования на этой системе [3]. Во-вторых, выполнение смарт контракта в ней стоит некоторого количества валюты системы. Стоимость выполнения каждого смарт контракта зависит от его вычислительной сложности. Таким образом, код смарт контракта должен быть простым и оптимизированным, чтобы уменьшить стоимость его выполнения.

В качестве основы для построения программного комплекса выбран протокол открытой сети голосования [4], потому что он обеспечивает анонимность в децентрализованной системе голосования, но для его применения на платформе "Ethereum", используется его адаптация [5]. Адаптированный протокол состоит из пяти этапов.

1. Настройка (SETUP).
2. Регистрация (SIGNUP).
3. Фиксация (COMMIT) – опциональный этап.
4. Голосование (VOTE).
5. Подсчет (TALLY).

Сначала все n голосующих согласуют пару (G, g) , где G – конечная циклическая мультипликативная группа вычетов простого порядка q , а g – ее генератор. На этапе настройки администратор добавляет адрес учетной записи в системе "Ethereum" каждого из голосующих в список допущенных до голосования. Администратор также включает или отключает опциональный этап фиксации, устанавливает вопрос голосования. Рассмотрим остальные этапы на примере взаимодействия голосующего и смарт контракта (рис. 2).

На этапе регистрации каждый из голосующих выбирает целое $x_i \in [1, q - 2]$ в качестве секретного ключа, вычисляет публичный ключ g^{x_i} и не интерактивное доказательство с нулевым разглашением $ZKP(x_i)$, используя эвристику Фиата-Шамира [6]. Публичный ключ и доказательство с нулевым разглашением публикуются. В конце этапа вычисляются множители, которые будут использованы для скрытия голосов, по следующей формуле:

$$Y_i = \frac{\prod_{j=1}^{i-1} g^{x_j}}{\prod_{j=i+1}^n g^{x_j}} \text{ mod } q,$$

где i – номер голосующего, n – количество голосующих.

Если учесть, что любой член группы G является генератором g , возведенным в какую-то степень, можно представить $Y_i = g^{y_i} \text{ mod } q$, тогда $\sum_i x_i y_i \equiv 0 \text{ mod } (q-1)$. На опциональном этапе фиксации все

голосующие публикуют хэш от зашифрованного голоса $H(E(v_i))$, что не позволяет им изменить свой голос в дальнейшем процессе голосования. Зашифрованный голос $E(v_i)$ вычисляется по формуле:

$$E(v_i) = g^{x_i y_i} g^{v_i},$$

где v_i – голос, который может принимать значения 1 или 0, так как рассматривается голосование только с двумя опциями, например, «да» или «нет».

Во время этапа голосования все голосующие публикуют свои зашифрованные голоса $E(v_i)$ и доказательство «один-из-двух», выполненное с использованием техники CDS (Cramer, Damgard and Schoenmakers), чтобы показать, что голос v_i принимает одно из допустимых значений – 1 или 0 [7]. На

этапе подсчета вычисляется произведение всех зашифрованных голосов $\prod_i g^{x_i y_i} g^{v_i} = g^{\sum_i y_i}$ и

перебором вычисляется дискретный логарифм (максимальная сложность равна количеству голосующих), чтобы найти количество голосов «да».

Из-за того, что система "Ethereum" взимает плату за выполнение смарт контрактов в своей сети, зависящую от их сложности, необходимо знать размер этой платы перед тем, как запускать процесс голосования в ней. Для того чтобы узнать стоимость проведения голосования, нужно провести серию экспериментов в частной сети.

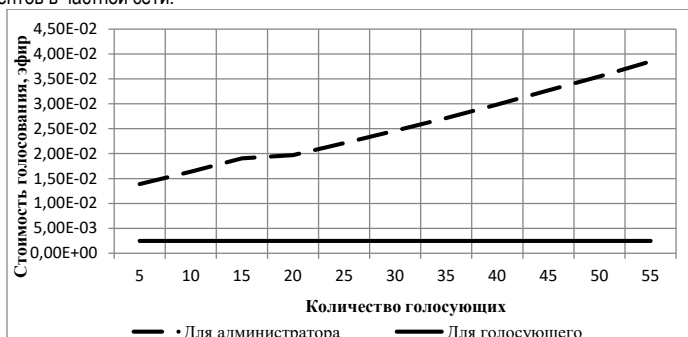


Рис. 2. Графики зависимости стоимости от количества голосующих

По графику (рис. 3) заметно, что стоимость проведения голосования для администратора линейно возрастает с увеличением количества голосующих, в то время как стоимость для голосующего остается неизменной. Это связано с тем, что вычислительная сложность функций, вызываемых администратором, зависит от количества голосующих, а при вызове функций, голосующих их количество не имеет значения. График заканчивается на значении «55 голосующих» не случайно. При дальнейшем увеличении количества голосующих система «Ethereum» не позволяет провести голосование. Это связано с ее ограничением на затраты вычислительной мощности.

В заключение важно отметить, что реализованная система голосования подходит для проведения маломасштабного голосования, такого как аудиторное. Платформа "Ethereum" накладывает на смарт контракты ограничения, которые не позволяют организовать голосование с большим количеством участников (в описанной реализации максимальное количество голосующих 55), поэтому можно сделать вывод, что для таких целей эта платформа не подходит. Для масштабного голосования требуется специализированный блокчейн.

Библиографический список

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> (дата обращения 03.05.2018).
2. Rosic A. What is Ethereum? A Step-by-Step Beginners Guide. URL: <https://blockgeeks.com/guides/ethereum/> (дата обращения 05.05.2018).
3. Solidity – Solidity documentation. URL: <http://solidity.readthedocs.io> (дата обращения 05.05.2018).
4. Hao F., Ryan P.Y., Zielinski P. Anonymous voting by two-round public discussion. // IET Information Security. 2010. 4(2). С. 62-67.
5. McCorry P., Shahandashti S.F., Hao F. A Smart Contract for Boardroom Voting with Maximum Voter Privacy // Financial Cryptography and Data Security. 2017. С. 357-375.
6. Fiat A., Shamir A. How to prove yourself: Practical solutions to identification and signature problems / Advances in Cryptography – Crypto'86, LNCS 263. Springer. 1987. С. 186-194.
7. Cramer R., Damgard I., Schoenmakers B. Proofs of partial knowledge and simplified design of witness hiding protocols / Annual International Cryptology Conference. Springer. 1994. С. 174-187.

УДК 004.85

А. Д. Драношук

студент кафедры инфокоммуникационных систем

А.И. Веселов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

За последнее десятилетие алгоритмы машинного обучения начали активно использоваться в повседневной жизни. Однако, несмотря на прогресс в данной области, существует ряд фундаментальных проблем, решение которых не найдено по сей день. Одной из существенных проблем является так называемый «эффект переобучения», заключающийся в подстройке параметров модели под закономерности, присущие только обучающей выборке, но не всей генеральной совокупности. В данной работе на примере модели линейной регрессии исследуется проблема переобучения, а также рассматривается регуляризация как один из способов борьбы с ней.

Линейная регрессия— это метод восстановления неизвестной зависимости между целевой переменной $y \in R$ и признаками $\mathbf{x} \in R^{m \times 1}$ по множеству измерений (обучающей выборке) $\{(x_i, y_i)\}$, $i = 1, 2, \dots, n$ [1]. Предполагается, что зависимость можно приблизительно описать линейной функцией $y \approx \mathbf{w}^T f(\mathbf{x}) + b$, где $f(\cdot)$ — функция генерации новых признаков. Для упрощения изложения положим $m = 1$, т.е. будем считать, что признаки являются скалярами, а зависимость описывается полиномом $\sum_{j=1}^p w_j x_j^{j-1}$, т.е. используются полиномиальные признаки. Задача восстановления линейной регрессии заключается в поиске вектора коэффициентов \mathbf{w} так, чтобы он наилучшим образом аппроксимировал данные из обучающей выборки. Процедуру подбора параметров называют обучением.

Для формализации понятия «аппроксимации наилучшим образом» используется мера качества [2]. Самой простой мерой качества L для задачи регрессии является $L(y, y') = (y - y')^2$, где y' — это оценка реального значения целевой переменной.

Для обучения модели пользуются принципом минимизации эмпирического риска. Риском гипотезы h называют ожидаемое значение функции стоимости: $Q(h) = \int L(h(\mathbf{x}), y) dP(\mathbf{x}, y)$, где $P(\mathbf{x}, y)$ распределение объектов в пространстве признаков. Но такой интеграл не посчитать, так как распределение $P(\mathbf{x}, y)$ неизвестно. Однако можно посчитать эмпирическую оценку риска, как среднее значение функции стоимости:

$$Q(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L(h(\mathbf{x}_i), y_i).$$

Пусть выборка состоит из 13 точек синусоиды на интервале $[0; 4\pi]$

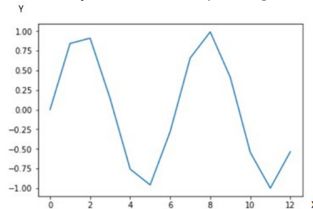


Рис. 1. Выборка

Пример матрицы, состоящей из 12 признаков, приведен ниже.

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & \dots & x_{10}^{10} & x_{11}^{11} \\ 1 & x_1 & \dots & x_{10}^{10} & x_{11}^{11} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_1 & \dots & x_{10}^{10} & x_{11}^{11} \\ 1 & x_1 & \dots & x_{10}^{10} & x_{11}^{11} \end{pmatrix}.$$

Эмпирическое среднеквадратичное отклонение определяется как

$$L = \|\mathbf{X} \mathbf{w} - \mathbf{y}\|^2,$$

где $\mathbf{X} \in R^{12 \times 12}$ – признаки; $\mathbf{w} \in R^{12 \times 1}$ веса (коэффициенты при признаках); $\mathbf{y} \in R^{12 \times 1}$ – ответ.

Возьмем случайное \mathbf{w} и попробуем его улучшить. Очевидно, что чем лучше \mathbf{w} , тем меньше будет эмпирический риск Q .

$$Q(\mathbf{w}) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mathbf{x}_i^T \mathbf{w}_i)^2 = \frac{1}{2n} \|\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{w}\|^2 = \frac{1}{2n} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{w})^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{w}).$$

Чтобы найти вектор параметров, доставляющий минимум эмпирическому риску, возьмем производную:

$$\frac{\partial Q(\mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{w}} \frac{1}{2n} (\mathbf{y}^T \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{X}\mathbf{w} + \mathbf{w}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\mathbf{w}) = \frac{1}{2n} (-2\mathbf{X}^T \mathbf{y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\mathbf{w}).$$

Приравняем ее к нулю:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2n} (-2\mathbf{X}^T \mathbf{y} + 2\mathbf{X}^T \mathbf{X}\mathbf{w}) &= 0, \\ \mathbf{w} &= (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}. \end{aligned}$$

Выведенная формула позволяет высчитывать веса для линейной регрессии.

У данного подхода есть существенный недостаток: решения, найденные таким образом, будут склонны к переобучению. Мы говорим, что модель обладает обобщающей способностью, тогда, когда ошибка на новом (тестовом) наборе данных (взятом из того же распределения $P(\mathbf{x}, y)$) мала, или же предсказуема. Переобученная модель не обладает обобщающей способностью, т.е. на обучающем наборе данных ошибка мала, а на тестовом наборе данных ошибка существенно больше. В данном случае так и получилось, полином четко проходит по данным точкам, но плохо предсказывает её дальнейшее поведение.

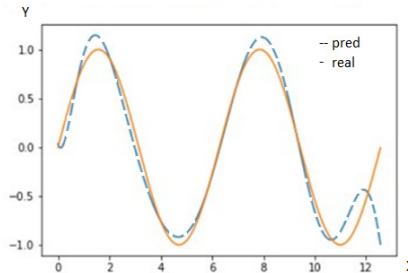


Рис. 2. Построенная модель

Заметим, что при увеличении количества признаков данной модели увеличивается норма весов вектора. Этот факт объясняется тем, что в данном случае операция взятия обратной матрицы может быть вычислительно нестабильной, так как эта матрица может иметь определитель равный или близкий

к нулю, что приводит к уменьшению собственных чисел матрицы, которые участвуют в формировании данных коэффициентов по формуле $\|\theta\|^2 = \sum_{j=1}^n \frac{1}{\beta_j} (\mathbf{v}_j^T \mathbf{y})^2$, где β_j – собственное число, а \mathbf{v}_j – собственный вектор матрицы $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T$.

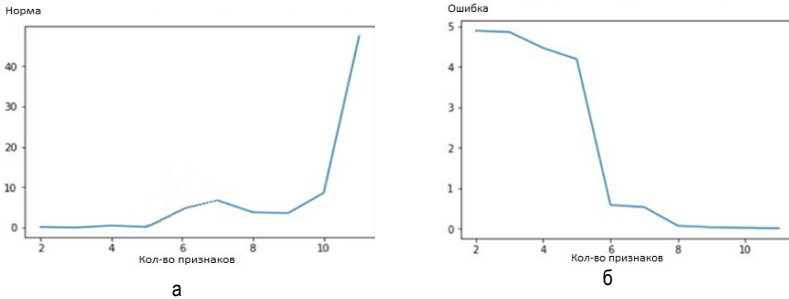


Рис. 3. Обучение модели линейной регрессии: а) рост нормы вектора; б) рост ошибки предсказания

Рассмотрим способ борьбы с переобучением за счет применения регуляризации. Регуляризация — это способ уменьшить сложность модели, чтобы предотвратить переобучение или исправить некорректно поставленную задачу [3]. Обычно это достигается добавлением некоторой априорной информации к условию задачи. Например, $L(\mathbf{X}, \mathbf{y}, \mathbf{w}) = L(\mathbf{X}, \mathbf{y}, \mathbf{w}) + \alpha R(\mathbf{w})$, где α – это коэффициент регуляризации, показывающий вес условия R в целевой функции.

Как уже было замечено, одним из признаков переобучения являются большие веса у вектора параметров, поэтому попробуем уменьшить их квадратную норму. Этот метод называется L2 регуляризацией [3].

$$R(\mathbf{w}) = \frac{1}{2} \mathbf{w}_2^2 = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \mathbf{w}_j^2 = \frac{1}{2} \mathbf{w}^T \mathbf{w}.$$

Новая функция стоимости примет вид:

$$L(\mathbf{w}) = \frac{1}{2n} (\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{w})^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}\mathbf{w}) + \frac{\alpha}{2} \mathbf{w}^T \mathbf{w}.$$

Вычислим производную по параметрам:

$$\frac{\partial L(\mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{w}} \frac{1}{2n} (\mathbf{y}^T \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{X}\mathbf{w} + \mathbf{w}^T \mathbf{X}^T \mathbf{X}\mathbf{w}) + \frac{\alpha}{2} \mathbf{w}^T \mathbf{w} = -\mathbf{X}^T \mathbf{y} + \mathbf{X}^T \mathbf{X}\mathbf{w} + \alpha \mathbf{w}.$$

Приравняем производную к нулю и выразим новый вектор \mathbf{w} :

$$\begin{aligned} \mathbf{X}^T \mathbf{y} + \mathbf{X}^T \mathbf{X}\mathbf{w} + \alpha \mathbf{w} &= 0, \\ \mathbf{w} &= (\mathbf{X}^T \mathbf{X} + \alpha \mathbf{E})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}. \end{aligned}$$

Кривые, показывающие изменение ошибки аппроксимации и рост нормы вектора параметров для регуляризованной модели, приведены на рис. 4. Предсказанная кривая приведена на рис. 5. Можно заметить, что использование регуляризации позволило уменьшить эффект переобучения, при этом сохранив обобщающую способность модели.

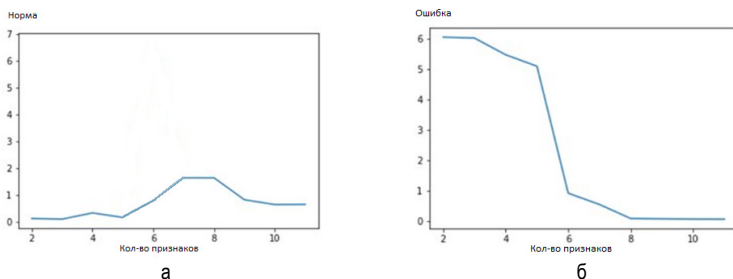


Рис. 4. Обучение модели линейной регрессии с регуляризацией: а) рост нормы вектора; б) рост ошибки предсказания

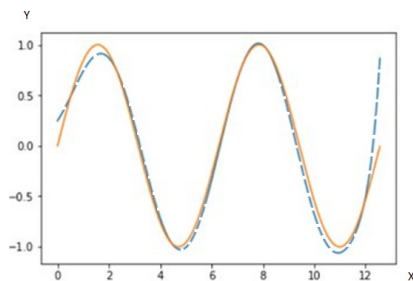


Рис. 5. Новый график модели

Таким образом, в работе была рассмотрена проблема переобучения в задаче восстановления линейной регрессии. На модельных данных продемонстрирован рост нормы вектора параметров, возникающий при переобучении модели. Проанализирован метод борьбы с переобучением, основанный на применении регуляризации параметров в функции эмпирического риска. Данный метод позволил построить полиномиальную модель, обладающую высокой обобщающей способностью.

Библиографический список

1. Rasmussen C.E., Williams K.I. Gaussian Processes for Machine Learning. 2006.
2. Мюллер А., Гвидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python. URL: <https://www.ozon.ru/context/detail/id/140891479/2016-2017> (дата обращения: 30.05.2018).
3. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction. London. 2018.

УДК 004.932

Н. Н. Степанишина

студент кафедры инфокоммуникационных систем

М. Р. Гильмутдинов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОНА**

Сейчас широко используются системы видеонаблюдения, например, в офисах, на дорогах, в общественных заведениях. В большинстве случаев такие системы имеют много камер, что усложняет работу оператора. Для автоматизации таких систем в них активно внедряют алгоритмы видео аналитики, позволяющие детектировать движущиеся объекты, осуществлять их идентификацию и сопровождение. В данной работе проводится обзор нескольких методов моделирования фона и их сравнение.

Модель исследуемой системы имеет следующие допущения: камера жестко закреплена, параметры камеры не изменяются, отсутствуют резкие перепады яркости. Первым шагом детектирования движения является разделение переднего плана и фона – для этого производится вычитание модели фона из текущего кадра с применением порогового значения. На рис. 1 показан пример детектирования объектов переднего плана с помощью модели фона. Идеальным случаем было бы использование фактического фона, т.е. кадра без объектов переднего плана, но чаще всего система не имеет такого кадра. Модель фона является оценкой текущего фона в кадре. Модель обновляется кадр за кадром, чтобы максимально отражать изменения, происходящие в кадре: изменение яркости, тени, облака, появление новых объектов в фоне и т.д. От качества модели фона зависит точность определения объектов переднего плана, и, соответственно, дальнейшая работа с ними, например, распознавание и классификация. Также, в большинстве систем необходимым условием является работа в реальном времени, а значит, алгоритмы должны быть вычислительно простыми. Для того чтобы предусмотреть эти сложности и сделать систему адаптивной к изменениям было предложено множество алгоритмов по моделированию фоновое изображение [1]. Каждый метод моделирования справляется с определенной задачей.

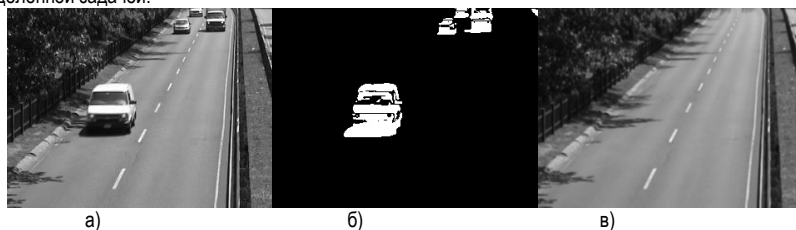


Рис. 1. Пример детектирования объектов переднего плана с помощью модели фона:
а) исходный кадр; б) маска переднего плана; в) модель фона

Моделирование фоновое кадра в момент времени t производится по некоторой предыстории предыдущих кадров $B_t = f(I_t, I_{t-1}, \dots, I_0)$. Процесс моделирования фоновое кадра состоит из шагов инициализации и обновления. С помощью инициализации модели получается первый фоновый кадр. Далее с каждым новым шагом происходит обновление модели на основе предыдущей модели фона и текущего кадра.

Для рассмотрения были выбраны методы моделирования фона из двух классов алгоритмов: статистический, основанный на накоплении статистики, и вероятностный, основанный на нормальных распределениях.

Метод экспоненциального сглаживания относится к статистическому классу алгоритмов – для построения модели фона используются данные из предыдущих кадров [2]. Обновление модели фона происходит по следующей формуле:

$$B_{t+1} = \alpha I_t + (1 - \alpha) B_t,$$

где B_t – текущая модель фона, I_t – текущий кадр, α – коэффициент забывания $0 \leq \alpha \leq 1$.

При использовании метода экспоненциального сглаживания на модели фона появляются «призраки» объектов переднего плана из-за влияния предыдущих кадров. Чем меньше коэффициент α , тем меньше это влияние.

Еще одним статистическим методом является взятие медианы. Для построения модели используется N предыдущих кадров. Значением каждого пикселя модели фона является элемент с индексом $N/2$ из отсортированного массива значений этого пикселя в предыдущих кадрах $\{I_t(x, y), I_{t-1}(x, y), \dots, I_{t-N}(x, y)\}$. Метод медианы устойчив к изменениям яркости, но требует больших затрат памяти и вычислительно сложнее экспоненциального сглаживания.

При наличии динамически меняющегося фона, например, качающиеся деревья, движение воды, можно использовать вероятностные методы. Одним из них является смесь нормальных распределений [3]. В методе смеси нормальных распределений каждый пиксель изображения описывается взвешенной суммой K нормальных распределений с некоторым математическим ожиданием m_i и дисперсией σ_i^2 и весом w_i ; в методе на базе смеси нормальных распределений история значений каждого пикселя кадра может быть описана смесью нормальных распределений:

$$P(I_t(x, y)) = \sum_{i=1}^K w_{i,t} \eta(I_t(x, y), m_{i,t}, \sigma_{i,t}^2),$$

где $w_{i,t}$ – вес i -го процесса в момент времени t , $m_{i,t}$ – математическое ожидание i -го процесса, $\sigma_{i,t}^2$ – дисперсия i -го процесса, K – количество процессов, η – функция плотности вероятности. Параметр K задается исходя из объема памяти и вычислительной мощности. В статье [3] предлагается использовать значения от 3 до 5.

Вес отражает частоту использования процесса в смеси, поэтому для каждого пикселя сумма весов процессов равна единице $\sum_{i=1}^K w_i = 1$. При появлении нового значения пикселя ему ищется подходящее распределение. После этого пиксель классифицируется в фон или в передний план, а параметры процессов обновляются. Значение каждого пикселя модели фона формируется как математическое ожидание процесса, имеющего наибольший вес.

Эффективность методов моделирования фона определяется качеством самой модели фона и точностью маски переднего плана, получаемой с ее помощью. Эти характеристики можно оценить по следующим критериям.

1. PSNR (*англ.* Peak signal-to-noise ratio) для оценки качества построенной модели. Рассчитывается между полученной моделью фона и эталоном, выбранным вручную:

$$PSNR = 10 \lg \frac{WH \max val^2}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H (I(i, j) - \hat{I}(i, j))^2},$$

где W, H – ширина и высота кадра, $\max val$ – максимальное значение пикселя, $I(i, j)$ – значение пикселя в кадре по координатам (i, j) ;

2. Критерий F1-SCORE, оценивающий качество сегментации переднего плана. Критерий считается между полученной маской переднего плана и эталоном (ground truth):

$$F1 = \frac{2TP}{2TP + FP + FN},$$

где TP (True Positive) – количество пикселей, правильно классифицированных в передний план, FP (False Positive) – количество пикселей фона, классифицированных в передний план, FN (False Negative) – количество пикселей, ошибочно классифицированных в фон. Для расчета среднего значения F1-SCORE для всей последовательности использовалась формула:

$$F1_{avg} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F1_i,$$

где N – количество кадров последовательности, $F1_i$ – значение F1-SCORE для каждого кадра.

Для оценки эффективности работы методов моделирования фона использовались видеопоследовательности с имеющимся эталоном маски переднего плана (ground truth) из тестового

множества CDnet 2014 [4]. Данное множество представляет собой типовой набора данных, содержащих реальные видеопоследовательности систем видеонаблюдения.

Далее показаны полученные результаты сравнения работы методов и полученные модели фона. В сравнении использовались следующие параметры методов:

- для экспоненциального сглаживания $\alpha = 0,09$;
- для медианы количество используемых кадров $N = 50$;
- для смеси нормальных распределений количество процессов $K = 4$.

Данные параметры были выбраны опытным путем и дают лучшие результаты для каждого метода (таблица).

Таблица

Сравнение методов моделирования фона

Видео	Параметр	Экспоненциальное сглаживание	Медиана	Смесь нормальных распределений
highway	F1	0,6	0,75	0,8
	PSNR	23,3	26,2	30,6
peopleInShade	F1	0,4	0,55	0,6
	PSNR	27,4	29,1	31,5
canoe	F1	0,2	0,25	0,3
	PSNR	18,3	18,2	22,3

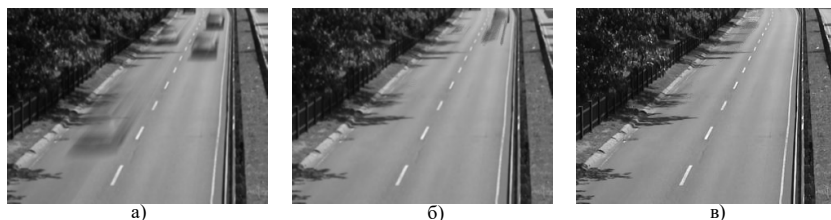


Рис. 2. Сравнение моделей фона, последовательность highway:

а) экспоненциальное сглаживание; б) медиана; в) смесь нормальных распределений

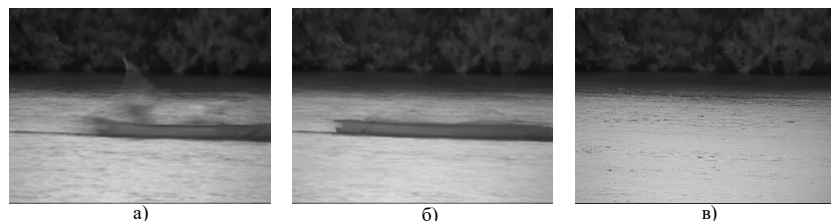


Рис. 3. Сравнение моделей фона, последовательность canoe:

а) экспоненциальное сглаживание; б) медиана; в) смесь нормальных распределений

Полученные результаты показывают, что лучшая модель фона и более качественная сегментация переднего плана получаются при использовании метода смеси нормальных распределений. Метод медианы также дает хорошие результаты, почти не уступая в качестве сегментации методу смеси нормальных распределений.

В заключение нужно отметить, что методы моделирования фона активно используются в алгоритмах видеоаналитики и повышение качества этих методов в настоящее время является востребованной задачей.

Библиографический список

1. Bouwmans T., El Baf F., Vachon B. Background Modeling using Mixture of Gaussians for foreground Detection - A Survey Recent Patents on Computer Science. 2008. Vol. 1. No. 3. С. 219-237.
2. Everette S. Gardner Jr. Exponential smoothing: The state of the art Part II. June 3. 2005.
3. Stauffer C., Grimson W. Adaptive background mixture models for real-time tracking / IEEE Conf on Comp Vision and PattRecog (CVPR 1999) 1999. С. 246-252.
4. Dataset CDnet 2014. URL: www.changedetection.net (дата обращения: 25.05.2018).

УДК 004.67

Ф.И. Фураев

студент кафедры безопасности информационных систем

А.В. Афанасьева – научный руководитель

ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОТОКОВ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Система хранения данных (СХД) – это система, которая обеспечивает хранение больших объемов данных, а также обеспечивает надежность и безотказность доступа. Сегодня, когда мир все больше переходит на электронный документооборот, возрастают потребности в хранении различных данных. К тому же быстрое увеличение объемов данных требует постоянной модификации систем хранения данных и расширения их физических возможностей. Актуальной задачей на сегодняшний день является предсказание поведения системы при изменении ее параметров, так как это позволяет своевременно скорректировать потребности системы в ресурсах.

В данной статье будут проанализированы существующие модели предсказания поведения системы во времени, а также будет рассмотрено, как найти оптимальные параметры для работы этих моделей, исходя из имеющихся данных. На основе проведенного анализа, будут выделены также достоинства и недостатки каждой из рассмотренных моделей и из них будут выбраны те, которые дают наименьшую ошибку предсказания.

По результатам анализа большого количества систем хранения данных можно сделать следующие выводы. Данные о работе систем хранения данных обладают следующей спецификой:

- оценка работы СХД складывается из множества параметров;
- мониторинг всех параметров происходит через малые временные промежутки;
- данные мониторинга обладают периодичностью.

Эти особенности приводят к тому, что объемы данных мониторинга быстро растут, и из-за ограниченности пространства лог-файлы содержат информацию за короткие интервалы времени, как правило, не превышающие двух недель. Кроме того, частые замеры приводят к большим статистическим выбросам отдельных данных.

Необходимо найти такой метод предсказания, который по малому интервалу времени позволит предсказать работу таких систем, а также найти оптимальный алгоритм для фильтрации данных.

В ходе исследования для фильтрации данных был выбран линейный фильтр со скользящим средним. Это фильтр, на выходе которого образуется среднее значение точек, участвующих в фильтрации:

$$Y(t) = \sum_{j=-K}^K \frac{1}{2K+1} X(t-j),$$

где k – параметр фильтра, отвечающий за количество точек, участвующих в фильтрации, а t – заданный момент времени.

В примере (рисунок) приведен график, полученный по результатам мониторинга реально существующей системы хранения данных до и после линейной фильтрации со скользящим средним при параметре $k = 3$.

Как видно из графиков, после применения линейного фильтра стало возможным различить зависимости в потоке событий систем хранения данных, а также их периодичность.

В статье будут рассмотрены четыре модели предсказания: простая линейная регрессия, экспоненциальное сглаживание, ARIMA (4,0,1) и модель Holt-Winters.

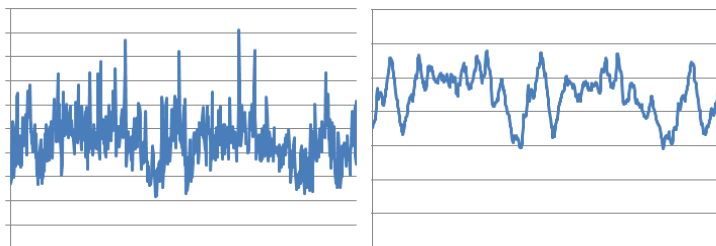


Рисунок. Первый параметр СХД до и после применения линейного фильтра со скользящим средним

Простая линейная регрессия предсказывает направленность потока. Общая формула при условии одной независимой переменной [1]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon,$$

$$-1 \leq \beta_0 \leq 1, \quad -1 \leq \beta_1 \leq 1,$$

где β_0, β_1 – подбираемые коэффициенты. В общем случае, для того, чтобы найти коэффициенты, используют метод наименьших квадратов ошибок

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2.$$

Экспоненциальное сглаживание предсказывает будущие значения, основываясь на предыдущих, при этом влияние предыдущего значения на предсказание зависит от его близости по времени к искомому. Общая формула [2]:

$$\hat{y}_{T+1} = ay_T + a(1-a)y_{T-1} + a(1-a)^2 y_{T-2} + \dots,$$

$$0 \leq a \leq 1,$$

где a – параметр, подбирающийся исходя из задачи минимизации суммы квадратов ошибок, T – настраиваемый период предсказания.

ARIMA (Интегрированная модель авторегрессии – скользящего среднего) содержит в себе 3 параметра (p,d,q), где p – количество предыдущих значений, участвующих в предсказании, d – степень дифференцирования, q – количество параметров скользящего среднего.

Рассмотрим модель ARIMA (4,0,1). Общая формула [2]:

$$\hat{y}_{T+1} = (1 + \varphi_1)y_T - (\varphi_1 - \varphi_2)y_{T-1} - (\varphi_2 - \varphi_3)y_{T-2} - \varphi_3 y_{T-3} + \theta_1 \hat{\varepsilon}_T,$$

$$\hat{y}_{T+2} = (1 + \varphi_1)\hat{y}_{T+1} - (\varphi_1 - \varphi_2)y_T - (\varphi_2 - \varphi_3)y_{T-1} - \varphi_3 y_{T-2},$$

$$0 \leq \theta_1 \leq 1, \quad 0 \leq \varphi_1 \leq 1, \quad 0 \leq \varphi_2 \leq 1, \quad 0 \leq \varphi_3 \leq 1.$$

Рассматриваемые ранее модели не учитывали периодичность данных. В рассматриваемых системах многие наблюдаемые потоки имеют свойство повторяться после прохождения определенного периода. Как пример, периодом может быть один рабочий день, неделя, месяц, год. Модель предсказания Holt–Winters [2] способна учитывать эти особенности.

$$\hat{y}_{t+1} = l_t + hb_t + s_{t-m+1},$$

где:

$$l_t = a(y_t - s_{t-m}) + (1-a)(l_{t-1} + b_{t-1}),$$

$$s_t = \gamma(y_t - l_{t-1} - b_{t-1}) + (1-\gamma)s_{t-m},$$

$$b_t = \beta^* (l_t - l_{t-1}) + (1-\beta^*)b_{t-1},$$

где l_t – параметр, отвечающий за вес, уровень данных, s_t – параметр, отвечающий за периодичность данных, b_t – параметр, отвечающий за направленность графика, m – параметр, обозначающий период, β^* , γ, a – подбираемые параметры, такие что:

$$0 \leq \beta^* \leq 1, \quad 0 \leq \gamma \leq 1, \quad 0 \leq a \leq 1.$$

Для определения оптимальных параметров алгоритмы решались оптимизационная задача минимизации суммы квадратов ошибок.

Рассмотрим результаты предсказания на двух различных потоках измеряемых параметров реально существующей системы хранения данных. Все модели обучались по двум дням работы системы и предсказывали поведение наблюдаемого параметра на третий день. В таблицах, приведенных ниже, столбец N_e – это количество точек от начала предсказания, участвующих в подсчете суммы квадратов ошибок. Остальные столбцы показывают значение суммы квадратов ошибок, которая получилась для данных моделей.

Таблица 1

Результаты предсказания по первому параметру

N_e	Линейная регрессия	Экспоненциальное сглаживание	ARIMA(4, 0, 1)	Holt-Winters
5	163.70	9126.34	1724.76	112.94
10	1808.08	50141.23	13020.23	286.99
15	27925.71	61099.77	63895.03	1180.20
20	71124.43	63261.45	138993.45	1518.22

В табл. 1 были использованы предварительно оптимизированные параметры алгоритмов ($\beta_0 = 0$, $\beta_1 = 1$ для линейной регрессии, $a = 0.615$, для экспоненциального сглаживания, $\varphi_1 = 0.1, \varphi_2 = 0.1, \varphi_3 = 0.1, e = 0.99$, для модели ARIMA (4, 0, 1), $\beta^* = 0$, $\gamma = 0.95$, $a = 0$ для модели Holt-Winters)

Таблица 2

Результаты предсказания по второму параметру

N_e	Линейная регрессия	Экспоненциальное сглаживание	ARIMA(4, 0, 1)	Holt-Winters
5	5244.75	2313.57	48.52	611.53
10	28657.80	12210.00	1117.55	616.40
15	50865.39	21583.22	2571.55	680.35
20	94565.89	46522.42	3354.87	749.13

В табл. 2 были получены параметры алгоритмов ($\beta_0 = -0.1$, $\beta_1 = 1$ для линейной регрессии, $a = 0.327$, для экспоненциального сглаживания, $\varphi_1 = 0.2, \varphi_2 = 0.1, \varphi_3 = 0.1, e = 0.99$, для модели ARIMA (4, 0, 1), $\beta^* = 0$, $\gamma = 0.95$, $a = 0$ для модели Holt-Winters).

В ходе исследования было выявлено, что модель Holt-Winters лучше всего предсказывает состояние параметров в СХД, однако иногда она может проигрывать модели ARIMA (4, 0, 1) в точках, лежащих непосредственно следом за обучающим периодом.

Преимущества и недостатки рассмотренных моделей		
Модель	+	–
Линейная регрессия	Хорошо предсказывает параметры, обладающие свойством линейности	Плохо предсказывает параметры с периодической составляющей
Экспоненциальное сглаживание	Способно предсказать значение, вокруг которого колеблются значения параметра	Плохо предсказывает параметры с периодической составляющей
ARIMA (4, 0, 1)	Хорошо предсказывает точки, близкие к началу предсказания	Быстро теряет точность предсказания
Holt-Winters	Хорошо предсказывает как параметры, обладающие свойством линейности, так и периодические графики	Непредсказуемость при появлении аperiodичности в поведении параметра

Библиографический список

1. Rencher A. C. Linear models in statistics. John Wiley & Sons, 2008.
2. Hyndman R.J. Forecasting: principles and practice. Athanasopoulos G – Otexts, 2014.

УДК 004.932.72

Шарапова Д.А.

студент кафедры инфокоммуникационных систем

М. Р. Гильмутдинов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ НА РАБОТУ АЛГОРИТМОВ ТРЕКИНГА**

В настоящее время существует понятие компьютерное зрение (computervision), под которым подразумевают область создания компьютеров, способных анализировать цифровые изображения и видеоданные, и извлекать из них информацию, а также алгоритмы, выполняющие те же функции, что и зрительная система человека. Компьютерное зрение включает в себя алгоритмы детектирования, классификации и трекинга объектов интереса.

Алгоритмы трекинга, как и другие алгоритмы компьютерного зрения, составляют основу многих приложений и применяется почти везде. Например, в медиаиндустрии, медицинских приложениях и биологических исследованиях, в робототехнике и беспилотных аппаратах и т.д. Также благодаря алгоритмам компьютерного зрения можно улучшить анализ больших наборов видеоданных, повысить производительность за счет сокращения количества ручного труда, необходимого для выполнения задачи и обеспечения естественного взаимодействия с машинами. Однако алгоритмы трекинга не всегда работают точно, поэтому в настоящее время разрабатываются алгоритмы способные справиться с основными проблемами трекинга, такими как изменение освещения в кадре, изменение позы и масштаба объекта и пр.

Постановка задачи трекинга

Главная особенность необходимая машинам, для того чтобы они могли «видеть», понимать и реагировать на окружение, - это их способность обнаруживать и отслеживать объекты интереса [1]. Отсюда определение *видео трекинг* – это процесс оценки положения одного или более объектов с течением времени по данному видеоряду [1]. Задача *видео трекинга* формулируется следующим образом: изначально имеется некая последовательность видеок кадров. На первом кадре фиксируется регионы одного или нескольких объектов. И на последующих видеок кадрах отслеживается положение этих объектов.

В рамках исследования была введена новая постановка задачи: имеется некая последовательность видеок кадров, на первом кадре фиксируется регионы одного или нескольких объектов. Затем к каждому кадру видеопоследовательности применяется алгоритм шумоподавления и отслеживается положение этих объектов.



Рис. 1. Схема алгоритма видеотрекинга, исходя из поставленной задачи видео трекинга

Оценка эффективности

Качество трекера зависит от поставленной задачи и от содержания видео ряда. Чтобы избежать субъективности визуальной оценки, требуется автоматическая процедура - объективная оценка. Для исследования была взята классификационная оценка:

$$F - score = \frac{2PR}{P + R} \quad (1)$$

где

$$P = \frac{|TP|}{|TP| + |FP|} \quad (2)$$

$$P = \frac{|TP|}{|TP| + |FN|} \quad (3)$$

Также в качестве независимой оценки была взята оценка качества отслеживания одной цели (Single-targetscores)[1]. Это простая мера ошибки между оценкой состояниях и настоящим (GroundTruth) положением \tilde{x} – евклидово расстояние:

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4) \text{ где } x_i, y_i - \text{координаты центра}$$

ограничительной рамки результата трекинга и истинного положения объекта. Чем меньше этот параметр, тем ближе центры двух ограничительных рамок находятся друг к другу, а значит отклонение в отслеживании объекта минимально.

Эксперимент

Для проведения исследования были отобраны 10 видеопоследовательностей с разными сценариями, к каждой последовательности были применены алгоритмы трекинга для сопровождения объекта, при этом к каждому кадру сначала применялся алгоритм шумоподавления. После чего оценивалась эффективность применения шумоподавления путем сравнения оценок до и после применения алгоритмов шумоподавления.

Для исследования были отобраны современные алгоритмы трекинга:

- Трекер TLD (Tracking-Learning-Detection) – алгоритм, работающий в реальном времени, состоит из трех компонент работающих параллельно – детектирование, трекинг и обучение. По результатам работы первых двух действий, компонента обучения генерирует множество примеров положительных и отрицательных классов для надежности обнаружения [2].

- Трекер многократного обучения (*англ.* MultipleInstance Learning – MIL) – алгоритм основан на каскаде вейлкетов HAAR, для надежности рассматривает текущее местоположение объекта как положительный пример и небольшое окружение вокруг текущего местоположения, чтобы генерировать несколько потенциальных положительных примеров [3].

- Трекер среднего потока (*англ.* MedianFlowTracker, сокр. MF) – алгоритм, основанный на оценке смещения среднего потока. С каждой итерацией алгоритм ищет смещенные пиксели и отбрасывает те пиксели, которые не относятся к объекту [4].

- Трекер, основанный на фильтре корреляции ядер (*англ.* Kernelized Correlation Filter – KCF), этот трекер основывается на идеях, представленных в предыдущих двух трекерах, использует тот факт, что множественные положительные примеры, используемые в трекер MIL, имеют большие перекрывающиеся области. Эти перекрывающиеся данные приводят к некоторым приятным математическим свойствам, которые используют этот трекер, чтобы сделать отслеживание быстрее и точнее в одно и то же время [5].

- Tracker Boosting– это версия Ada-Boostалгоритма, но работающая в реальном времени. Ada-Boostв свою очередь - алгоритм, который использует каскадвейлкетов HAAR. Этот классификатор необходимо обучать во время выполнения с положительными и отрицательными примерами объекта [6].

Также для анализа были отобраны следующие алгоритмы фильтрации и шумоподавления:

- Гауссовскийфильтр (*англ.* GaussFilter, сокр. GF) - фильтр, использующий гауссовское размытие (гауссовское ядро). Не учитывает разную интенсивность пикселей, в результате получается изображение со смазанными краями.

- Билатеральный фильтр (*англ.* BilateralFilter – сокр. BIL), фильтр использует несколько гауссовских фильтров, один из которых является функцией разности пикселей. Первая гарантирует, что для размытия учитываются только близлежащие пиксели, в то время как вторая функция разности интенсивностей гарантирует, что для размытия считаются только пиксели с одинаковой интенсивностью для центрального пикселя. Таким образом, он сохраняет края, поскольку пиксели на краях будут иметь большую вариацию интенсивности.

- Шумоподавление нелокальных средних (*англ.* Non-LocalMeansDenoising – NLM), фильтр, основанный на вычислении среднего цвета наиболее похожих пикселей. Сходство оценивается путем сравнения всего окна вокруг каждого пикселя, а не только цвета, откуда и название - нелокальное среднее [7].
- Шумоподавление с помощью обучения словарей (*англ.* DenoisingviaDictionaryLearning, сокр. DL) [8].

Для оценки эффективности работы трекеров были отобраны видеопоследовательности с разными сценариями, содержащими проблемы трекинга: изменение освещенности, изменение масштаба, частичные и полные преграждения, деформация, движение камеры и быстрое движение, изменение позы и другие. Оценив работу алгоритма на подобных последовательностях, можно будет сказать, насколько хорошо алгоритм справляется с основными проблемами видео трекинга. Важно отметить, что в рассмотрение были взяты последовательности, содержащие минимальное количество проблем в сценарии, таким образом можно было оценить, насколько трекер справляется с той или другой проблемой.

Результаты

В результате применения методов фильтрации к кадрам видеопоследовательностей и применения алгоритмов трекинга были получены следующие результаты (таблица).

Таблица

Наилучшие результаты работы алгоритмов трекинга для каждой последовательности до применения алгоритмов шумоподавления и после

№ п/п	Dataset	Before	After	Best
1	Jumping	MIL	MIL+DL	MIL+DL
2	Walking2	Boosting		Boosting
3	MountainBike	Boosting		MIL+BIL
4	Subway	TLD	TLD+DL	Boosting+DL
5	Walking	Boosting		Boosting
6	FaceOcc2	MedianFlow		MedianFlow
7	FaceOcc1	MedianFlow		KCF+GF
8	CarDark	Boosting	Boosting+BIL	MIL+GF
9	BlurFace	MedianFlow	MedianFlow+DL	MedianFlow+DL
10	Crowds	Boosting	Boosting+BIL	MIL+DL

- Для трекеров в основном применение алгоритмов шумоподавления положительно повлияло на качество работы.

- Трекер KCF в сравнении с другими алгоритмами работает неэффективно и даже с применением алгоритмов шумоподавления не справляется с деформацией объекта и наличием похожих объектов в кадре. При этом применение гауссовского фильтра для алгоритма KCF повышает эффективность работы.

- Трекер MedianFlow лучше всех справляется с частичными и полными преграждениями.

- Трекер MIL лучше всего справляется с быстрым движением и движением камеры.

- Трекер Boosting лучше всех справляется с преграждениями и деформацией объекта. И в сравнении с другими алгоритмами лучше всего справлялся с задачей сопровождения объекта, даже без использования алгоритмов шумоподавления.

- Трекер TLD уступает в эффективности другим трекерам, даже с использованием алгоритмов шумоподавления.

- Алгоритм DictionaryLearning, примененный для шумоподавления, положительно влиял на качество работы трекеров, НО при применении затрачивается много времени на обработку кадра, поэтому не рекомендуется использовать этот алгоритм. Также он значительно повлиял на эффективность работы трекера TLD и MedianFlow.

- При применении алгоритмов шумоподавления Non-LocalMeans и BilateralFilter замечено, что эти алгоритмы улучшают эффективность работы трекеров, но уступают другим алгоритмам шумоподавления.

Библиографический список

1. Cavallaro E. M. Video Tracking: theory and practice, John Wiley & Sons, 2011.
2. Kalal Z., Mikolajczyk K., Matas J., Tracking-Learning-Detection, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol. 6, no. 1, January 2010. Pp. 1409-1422.
3. Babenko B., Yang M., Belongie S., Visual Tracking with Online Multiple Instance Learning, 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 2009.
4. Kalal Z., Mikolajczyk K., Matas J. Forward-Backward Error: Automatic Detection of Tracking Failures / International Conference on Pattern Recognition, 23-26 August, 2010.
5. Henriques J., Caseiro R., Martins P., Batista J. High-Speed Tracking with Kernelized Correlation Filters, IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, November 2004.
6. Grabner H., Grabner M., Bischof H., Real-Time Tracking via On-line Boosting, In Proceedings British Machine Vision Conference (BMVC). Vol. 1. pages 47-56. 2006.
7. Buades A., Coll B., Morel J-M., Non-Local Means Denoising, Image Processing On Line, 1 (2011). Pp. 208–212.
8. Dong W., Li X., Zhang L., Shi G., Sparsity-based image denoising via dictionary learning and structural clustering.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Аэрокосмические приборы и системы.....	3
<i>Аристов А. А.</i> УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ МИКРОСПУТНИКОВ НА ОРБИТЕ	3
<i>Артёмьев А. Н.</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ КОМПЛЕКСИРОВАНИИ БИНС И СРЕДСТВ ВНЕШНЕЙ КОРРЕКЦИИ.....	7
<i>Дуркин Р. П.</i> ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПОСРЕДСТВОМ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ	11
<i>Епринцев М. А.</i> УЧЕБНО-ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ СТЕНД МАГНИТНОГО ПОДВЕСА ДЛЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	16
<i>Журавлев А. С.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ 3D-МОДЕЛИ МИКРОСПУТНИКА.....	20
<i>Зеленцова Д. А.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОНТРОЛЯ ЭХО-СКВОЗНОГО МЕТОДА ЛИСТОВ ПРОДОЛЬНЫМИ ВОЛНАМИ	23
<i>Кононенко А. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ УПРУГОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА	26
<i>Лежкий А. А.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ.....	31
<i>Лутчин В. В.</i> МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АЭРОЛОДОК.....	37
<i>Мазиков М. С.</i> ОЦЕНКА ЗНАНИЙ ОБУЧАЕМОГО ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	40
<i>Мухина Е. Н.</i> НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	46
<i>Пяткина Е. В.</i> БЛОК ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ ЭКРАНОПЛАНА С КОНФЛИКТУЮЩИМИ ОБЪЕКТАМИ.....	50
<i>Савенкова Е. В.</i> МЕТОДИКА ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗНАКОВ ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРОВ	53
<i>Сатуленков А. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МОДЕЛИ ДАТЧИКА УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ (ДУС) ДЛЯ ЗАДАЧИ ФИНИТНО-ВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКИ СИГНАЛОВ	60
<i>Сильченкова Л. А.</i> РАССМОТРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ, ОСНОВАННЫХ НА ТЕХНОЛОГИИ ФАЗИРОВАННЫХ РЕШЕТОК, ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	64
<i>Шкаликов И. А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ КАЛИБРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО МАГНИТНОГО КОМПАСА	71
<i>Ширяев С. А.</i> РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И ПЛАВУЧЕСТИ КОРПУСА ОТДЕЛЯЕМОГО БОРТОВОГО РЕГИСТРАТОРА ПОЛЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	74
Системный анализ и логистика.....	80
<i>Андреева Е. А.</i> ОБОСНОВАНИЕ ПЕРЕХОДА МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С КОНСОЛИДИРОВАННОГО СКЛАДА.....	80
<i>Бондарев Г. А.</i> МИРОВОЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОНОВ В ОТРАСЛИ ПЕРЕВОЗОК МАЛОГАБАРИТНЫХ ГРУЗОВ	82
<i>Быстров Г. В.</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ШУМА ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ МОЩНОСТЕЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОРСКОГО ПЕРЕГРУЗОЧНОГО КОМПЛЕКСА «БРОНКА».....	86
	241

<i>Виленская Е. К.</i> АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ДЛЯ РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ КОНТЕЙНЕРОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	90
<i>Геворкьян М. С.</i> ТРАНСПОРТНЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ОСВОЕНИИ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	94
<i>Завгородняя А. А.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ	97
<i>Мельник А. Н.</i> БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ, ГАЗА И ПРОДУКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ.....	100
<i>Рубинов В. В.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМЫ ВЫВОЗА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ.....	103
<i>Шарипова В. Д.</i> ВОПРОСЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (СМО) ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ	107
Эксплуатация и управление аэрокосмическими системами.....	109
<i>Белкина Е. А.</i> РАЗРАБОТКА И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УГЛОМЕРА ДЛЯ КАНАЛА СТАБИЛИЗАЦИИ КРЕНА.....	109
<i>Булавин С. А., Пузий Е. А.</i> НАНОСПУТНИК. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ.....	112
<i>Булавин С. А., Пузий Е. А.</i> КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА	114
<i>Капитанов Д. А.</i> МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....	117
<i>Ле Т.</i> УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ДАТЧИКИ Т30U.....	122
<i>Макаренко М. С.</i> ЕМКОСТНОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МГНОВЕННОГО РАСХОДА КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА.....	124
<i>Петрашевич Т. Н.</i> МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП	126
Аэрокосмические компьютерные и программные системы.....	129
<i>Аствацатуров Д. Д.</i> ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФОТОГРАФИЙ В 3D-МОДЕЛИ	129
<i>Богданов Д. А.</i> ОСОБЕННОСТИ СЕТЕВОГО СИМУЛЯТОРА NS-3 ДЛЯ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ	132
<i>Богданова А. В., Хрусталева В. В., Аствацатуров Д. Д., Забаев Е. М.</i> ЦИФРОВАЯ ЗАЩИТА РУКОПИСНОЙ ПОДПИСИ.....	136
<i>Быстров В. А.</i> АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ...	138
<i>Василенко И. Д.</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ПОЛА И ВОЗРАСТА	142
<i>Волков В. А.</i> ГЕНЕРАЦИЯ ИСХОДНОГО ИСПОЛНЯЕМОГО КОДА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	146
<i>Дубанов А. Ю.</i> ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ЖЕСТОВ ЛАДОНИ НА ОСНОВАНИИ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	150
<i>Евдокимов А. С.</i> ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА ЗАДЕРЖЕК ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ SPACEWIRE.	152
<i>Жеронкин А. В.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ	156
<i>Иванова Е. Р., Федоров И. Р., Виноградов В. В., Шакуров Д. М.</i> АНАЛИЗ ВЫПОЛНИМОСТИ ЗАДАЧ В АЛГОРИТМАХ СОВМЕСТНОГО МНОГОЯДЕРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ СО СТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НАЗНАЧЕНИЯ ПРИОРИТЕТОВ.....	160
<i>Корзунов К. А.</i> ОБЗОР МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ	175

<i>Коромыслов В. В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОММУТАТОРОВ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ.....	178
<i>Кузьмин А. С.</i> СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ ТУРБОКОДОВ.....	182
<i>Лаптев И. С., Мещеряков И. О.</i> МЕТОДЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ СО СЛОЖНОЙ МЕНЯЮЩЕЙСЯ ФОРМОЙ	186
<i>Носков И. К.</i> СЕПАРАБЕЛЬНЫЕ КОДЫ	190
<i>Овсянников А. А.</i> КОМПЬЮТЕРНЫЕ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЮ.....	193
<i>Радионов М. И.</i> МИМО-OFDM СИСТЕМЫ	197
<i>Сверделя Н. В.</i> МЕТОДЫ SIFT И НОГ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ	201
<i>Супронович П. В.</i> УЛУЧШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОФАЙЛЕРА ПРИ ПОМОЩИ JAVAAGENT А	204
<i>Таранова Е. Ю., Шатунов Л. В.</i> ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО РАДИО	208
<i>Чередников М. В.</i> О ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К ЗАДАЧАМ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОГО КОДИРОВАНИЯ.....	211
Информационные системы и защита информации.....	215
<i>Балакина Е. Д.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ DATA MINING ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА	215
<i>Борисова М. Д., Савинов М. С.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВЫБОРКИ «ТИТАНИК»	219
<i>Боровков Н. А.</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ГОЛОСОВАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ ETHEREUM	222
<i>Драношук А. Д.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ.....	225
<i>Степанишина Н. Н.</i> АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОНА	229
<i>Фураев Ф. И.</i> ПРЕДСКАЗАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОТОКОВ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ....	233
<i>Шарапова Д.А.</i> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ АЛГОРИТМОВ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ НА РАБОТУ АЛГОРИТМОВ ТРЕКИНГА.....	237

Научное издание

СЕМЬДЕСЯТ ПЕРВАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ГУАП

Часть 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Сборник докладов
9–13 апреля 2018 г.

Ответственный за выпуск:
А. В. Бобович

Редактор *Л. И. Корнеева*
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 14.09.18. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 13,6. Уч.-изд. л. 15,2. Тираж 150 экз. Заказ № 350.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 67