МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Пензенский государственный технологический университет»



ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего проблемы

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки. Информационные технологии

10(14)/2013

Пенза ПензГТУ 2013

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс : Периодическое научное издание. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, $2013. - N \ge 10(14). - 236$ с.

Решением Президиума ВАК при Минобрнауки России № 8 /13 от 2 марта 2012 г. журнал включен в Перечень рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций.



Ministry of Education and Science of the Russian Federation Penza State Technological University

ISSN 2221-951X

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present plus

Scientific Periodical

Series: Engineering Sciences. Information Technologies.

10(14)/2013

Penza PenzSTU 2013

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

XXI century: resumes of the past and challenges of the present $_{plus}$: Scientific periodical. – Penza: PenzSTU Publishing House, $2013. - N_{2} 10(14). - 236$ c.

The journal is included in the List of reviewed scientific journals and editions for publishing principal scientific theses results approved by the Resolution of the Presidium of the Supreme Certification Commission of the Ministry of Education and Science of Russia (№ 8/13, March 2nd, 2012).



Содержание

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ.
ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА
ИНФОРМАЦИИ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВУЗОВСКОЙ
HAYKE HA COBPEMEHHOM ЭТАПЕ10
© И.И.Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ КОСВЕННОГО
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МГНОВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ
ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН12
$^{\circ}$ А.Б. Андреев, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТЕГАНОСИСТЕМЫ16
© С.Н. Борисова, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ
СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ,
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ
ОБРАЗОВ
ОБЗОР МЕТОДОВ СКЕЛЕТИЗАЦИИ РАСТРОВОГО
ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ
РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА23
$\ {\mathbb C}\ {\mathcal J}$.В. Бирюков, $\ \Pi$ ензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ
ЦИФРОВЫХ АЭРОФОТОСНИМКОВ СЕЛЬСКОЙ
МЕСТНОСТИ27
© А.В. Бурмистров, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ
ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЕГО ЛИЦА
© и.г. двоинои, Пензенский госуоарственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ
ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ38
© В.А. Кочкин, ЗАО "Космические информационные аналитические
системы" (г. Москва, Россия)
АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОЕКТИВНЫХ ИСКАЖЕНИЯХ

© Н.А. Кочкин, ОАО "Центральный научно-исследовательский институт "Циклон" (г. Москва, Россия)	
методы построчного и следящего	
ПОЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ	
••	3
© И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический	_
университет (г. Пенза, Россия)	
ТРИПЛЕТНЫЕ ПРИЗНАКИ РАСПОЗНАВАНИЯ	
ИЗОБРАЖЕНИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА	
ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	1
© Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет	_
(г. Пенза, Россия)	
3D ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЕГО СВОЙСТВА6	9
© Н.Г. Федотов, Пензенский государственный университет	
(г. Пенза, Россия)	
© А.А. Сёмов, Пензенский государственный университет	
(г. Пенза, Россия)	
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ	r
	L
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	
ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА	
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	
И ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ СТУДЕНТОВ7	6
© Т.В. Андреева, Пензенский государственный технологический	
университет (г. Пенза, Россия)	
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ	
ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОМ ВЫБОРЕ	
1721212 021 021 022 022 023 023 023 023 023 023 023 023	2
${\mathbb C}$ $HO.A.$ Башвеев, Пензенский государственный технологический	
университет (г. Пенза, Россия)	
© О.С. Литвинская, Пензенский государственный технологический	
университет (г. Пенза, Россия)	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА	
ДЛЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ8	8
© В.В. Пикулин, Пензенский государственный технологический	
университет (г. Пенза, Россия)	
© Ю.Е. Усачёв, Пензенский государственный технологический	
университет (г. Пенза, Россия)	
© Д.В. Смирнов, Пензенский государственный технологический	
университет (г. Пенза, Россия) © В.С. Юранов, Пензенский государственный технологический	
© Б.С. Юринов, Пензенский госуойрственный технологический университет (г. Пенза, Россия)	
МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ9	~
УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ9 © Ю.Е. Усачёв, Пензенский государственный технологический	U
© Ю.Е. усичев, пензенский госуоарственный технологический унивепситет (г. Пенза. Россия)	

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА-ОРИЕНТИРА МОБИЛЬНОЙ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ104
© А.М. Бабич, ОАО "НПП "Рубин" (г. Пенза, Россия)
© М.Ю. Бабич, ОАО "НПП "Рубин" (г. Пенза, Россия)
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
ЛЧМ-СИГНАЛА В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ110
© Е.А. Данилов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© И.Й. Сальников, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ
СТРУКТУРЫ117
© А.Е. Дудров, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
О ПРИМЕНЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ В
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГРАФИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ124
© Ю.Н. Косников, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
© Н.В. Александрова, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
ЭФФЕКТИВНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМИ КУРСАМИ MOODLE
ДЛЯ ЕЁ ИНТЕГРАЦИИ С СИСТЕМОЙ РЕЙТИНГОВОЙ
ОЦЕНКИ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПЕНЗГТУ131
© С.В. Печерский, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСИИ
ОСТАТОЧНОГО КОМПОНЕНТА ВРЕМЕННОГО РЯДА135
© О.В. Прокофьев, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© А. Е. Савочкин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КРИТИЧЕСКИХ
СОСТОЯНИЙ ПАЦИЕНТОВ144
© М.А. Сидорова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© П.К. Строков, Пензенский государственный технологический
унивенситет (2 Пенза Россия)

АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА
АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКИ ДИСПЕТЧЕРА ЗАДАЧ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА CPN TOOLS
© Н.П. Вашкевич, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
© Р.А. Бикташев, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© Е.А. Кизилов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)
численное моделирование диспетчеров задач
СО СТРАТЕГИЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА
ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
НА ОСНОВЕ РАЗОМКНУТЫХ СЕТЕЙ МАССОВОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ159
© А.И. Мартышкин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА
В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ160
© А. А. Юрлов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© Л.И. Федосеева, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
АППАРАТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФОВЫХ ЗАДАЧ172
© Л.И. Федосеева, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© А.А. Юрлов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОДНОКРАТНЫХ
ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ НА ППВМ176
© В.А. Чулков, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© С.А. Нестеренко, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ
РЕЛЯЦИОННОЕ ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ ДЛЯ
ВНУТРИВУЗОВСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ184
© Е.А. Артюшина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
\mathbb{C} E . Γ . Бершадская, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФУНКЦИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ
СИСТЕМ190
© Р.А. Бикташев, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
${\mathbb C}$ $A.И.$ Мартышкин, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ
САМООРГАНИЗАЦИИ197
© Н.В. Ковалерова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ И ИХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ203
© С.В. Абрамов, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
© В.П. Маланин, Пензенский государственный университет
(г. Пенза, Россия)
© Г.Н. Косоротов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО
имитатора электрофизиологических
СИГНАЛОВ210
© С.Ю. Костенков, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© М.А. Сидорова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЯ
динамики пластинчатых конструкций
ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В ШИРОКОМ
ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ НА ОСНОВЕ
ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ215
© В.Е. Курносов, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© Т.В. Андреева, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
СТОХАСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ222
© Т.А. Шорникова, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)
© А.В. Алёнина, Пензенский государственный технологический
университет (г. Пенза, Россия)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.89 ББК 30

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВУЗОВСКОЙ НАУКЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

© **И.И. Сальников**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN HIGH SCHOOL SCIENCE

© I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрены различные аспекты применения современных информационных технологий при обучении студентов в вузе, а также при подготовке научно-педагогических кадров высшей квалификации. Отмечаются проблемы аспирантов при проведении научных исследований и пути их преодоления.

Ключевые слова: информационные технологии, моделирование, натурный эксперимент, аспирантура.

In a paper the various aspects of application of modern information process engineerings are considered at tutoring of the students in high school, and also at preparation is scientific-pedagogical of frames of higher qualification. The problems of the post-graduate students are marked at realization of scientific researches and path of their overcoming.

Key words: information process engineerings, simulation, full-scale experiment. **E-mail:** iis@pgta.ru

В настоящее время мы являемся свидетелями широкого внедрения в научные исследования современных информационных технологий, к которым следует отнести следующие:

- Интернет как коммуникативное средство, позволяющее оперативно и без ограничений найти и использовать научные достижения в заданной предметной области, а также как средство научного общения в виде заочных конференций и электронного обмена информацией;
- моделирующие программные средства, примером которых являются *MathCAD*, *Mathlab*, *Workbanch* и многие другие, позволяющие заменить дорогостоящий натурный эксперимент программным моделированием;
- публикации научных результатов в электронных журналах, которые характеризуются оперативностью и доступностью;

- электронные презентации, широко используемые на конференциях и позволяющие значительно более информативно представлять научной общественности результаты исследований.

Всё вышесказанное стало возможным благодаря достижениям в микросхемотехнике, когда на одном кристалле интегральной схемы современного процессора удается разместить сотни миллионов полупроводниковых ключей, которые являются основой любых вычислительных машин — от микропроцессоров мобильных телефонов, до мощных суперЭВМ, имеющих в своем составе до тысячи процессоров, работающих параллельно.

Таким образом, ученые в мире, вообще, и в вузе, в частности, в настоящее время имеют возможность проводить исследования, оформлять результаты и публиковаться значительно более оперативно, нежели чем раньше, до появления современных информационных технологий.

Однако провести исследования на моделях, получить теоретический результат — этого еще недостаточно. Необходима физическая реализация полученных результатов в виде приборов, систем, комплексов. И здесь вузовская наука явно пасует, так как физическая реализация требует финансовых вложений на уровне правительства.

В советское время именно так и было. Предприятиям, НИИ определялся план, в котором отдельной строкой закладывались средства для финансирования работ, выполняемых вузами в интересах тематики данного предприятия или НИИ. Эти средства нельзя было предприятию никуда потратить, кроме как на договор с вузом. В рамках такого финансирования вузовская наука успешно развивалась, так как тематика исследований, с одной стороны, была востребована, а с другой стороны, привлекала новые, молодые кадры вузов.

Необходимо отметить другой аспект, заключающийся в том, что молодые ученые, учась в аспирантуре в советское время, вполне могли жить на стипендию, которая составляла 100-120 рублей в месяц. Ещё 54 рубля составляли 0,5 ставки м.н.с. по договору с предприятием. Если проезд в трамвае стоил 3 коп., а хлеб -14-20 коп., то при таких условиях аспиранту не было необходимости искать дополнительный заработок и тем самым терять время и силы, недодавая их основной работе по теме научного исследования.

В настоящее время фактом является то, что аспиранты вынуждены работать, как правило, не по специальности, чтобы иметь средства для достойной жизни. Современные работодатели, может, и обеспечивают нормальную зарплату, но им нет никакого дела до научных исследований сотрудника, и заниматься этими исследованиями на работе невозможно, так как чревато потерей места. В результате научное исследование продвигается урывками, что существенно удлиняет сроки и ухудшает качество. Вышесказанное подтверждается тем, что аспиранты по техническим наукам в срок, то есть по истечении 3-х лет, не защищаются. И даже добавленный ещё один год не решает проблемы.

Выходом из данной ситуации является использование магистратуры, которая внедряется в вузах с 2009 года. В магистратуру должны приниматься одаренные студенты, способные к научным исследованиям

и закончившие бакалавриат, который внедряется с 2011 года. При этом уже в магистратуре необходимо начать научное исследование — исследование предметной области, формирование задач и целей научного исследования. Два года обучения в магистратуре, затем три года в аспирантуре и если учесть добавление 1 года на защиту диссертации, то получается 6 лет для проведения и успешного завершения научной работы, что вполне приемлемо. При этом защита диссертации будет считаться «в срок», что положительно влияет на аккредитационные показатели вуза.

УДК 528.08 ББК 30

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МГНОВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

© **А.Б. Андреев**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

MATHEMATICAL MODELS FOR THE INDIRECT DETERMINATION OF THE INSTANT VALUES OF PHYSICAL QUANTITIES

© A. B. Andreyev, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена анализу математических моделей для косвенного определения мгновенного значения на основе числовых отсчетов средних значений физических величин.

Ключевые слова: математические модели, физическая величина, мгновенное значение, среднее значение.

The article is devoted to the analysis of mathematical models for the indirect determination of the instant values based on numeric readings mean values of physical quantities.

Key words: mathematical models, physical quantities, the instant value, average value. **E-mail:** andreev@pgta.ru

В предыдущей статье автора [1] сделан вывод о принципиальной невозможности *измерения* мгновенных значений физических величин. Речь можно вести лишь о косвенном их определении в рамках выбранной математической модели на основе какого-либо приближения среднего значения за конечный интервал времени ($\Delta t = \tau \neq 0$) с заведомой методической погрешностью.

Ниже остановимся лишь на двух таких математических моделях:

- первая теорема о среднем значении [2],
- свойство обратимости математических операций интегрирования и дифференцирования [3].

Модель 1. Первая теорема о среднем значении. Эта теорема утверждает, что если физическая величина x(t) интегрируема и непрерывна на интервале $[t_1, t_2]$, то существует такое значение аргумента t_k $(t_1 < t_k < t_2)$, при котором

$$\int_{t_1}^{t_2} x(t) dt = x(t_k)(t_2 - t_1) = x(t_k) \cdot \tau,$$

откуда мгновенное значение $x(t_k)$ примет выражение

$$x(t_k) = \frac{1}{\tau} \int_{t}^{t+\tau} x(t) dt,$$
(1)

где $\tau = t_2 - t_1$ – интервал осреднения физической величины x(t).

Для выявления ограничений применения этой математической модели с целью косвенного определения мгновенных значений на ее основе определимся с продуктом преобразования X функционала (1). Для этого в качестве тестового сигнала возьмем гармоническую функцию вида

$$x(t) = X_m \sin \omega t \tag{2}$$

и подставим ее в выражение, тождественное выражению (1):

$$X = \frac{1}{\tau} \int_{t}^{t+\tau} x(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_{t}^{t+\tau} X_{m} \sin \omega t dt = \frac{X_{m}}{\omega \tau} \left[\cos \omega t - \cos \omega (t+\tau) \right] =$$

$$2X_{m} \omega t + \omega t + \omega \tau = \omega t + \omega \tau = \omega t - \sin 0.5\omega \tau$$

$$=\frac{2X_m}{\omega\tau}\sin\frac{\omega t+\omega t+\omega\tau}{2}\cdot\sin\frac{\omega t+\omega\tau-\omega t}{2}=\frac{\sin 0.5\omega\tau}{0.5\omega\tau}\cdot X_m\sin(\omega t+0.5\omega\tau),$$

то есть

$$X = \frac{\sin 0.5\omega \tau}{0.5\omega \tau} \cdot X_m \sin(\omega t + 0.5\omega \tau). \tag{3}$$

Сопоставляя выражения (1)–(3), заметим, что данная математическая модель дает оценку мгновенного значения гармонической функции (2) в виде

$$x(t_k) = \frac{\sin 0.5\omega \tau}{0.5\omega \tau} \cdot X_m \sin(\omega t_k + 0.5\omega \tau).$$

Отсюда видно, что в частотной области эта математическая модель характеризуется амплитудночастотной $A_1(\omega)$ и фазочастотной $\Phi_1(\omega)$ характеристиками вида:

$$A_{1}(\omega) = \frac{\left|\sin 0, 5\omega \tau\right|}{0, 5\omega \tau};\tag{4}$$

$$\Phi_1(\omega) = 0.5\omega\tau. \tag{5}$$

Следовательно, размер определенного мгновенного значения $x(t_k)$ будет зависеть от соотношения угловой частоты ω функции (2) и интервала ее осреднения (интегрирования) τ . Привязка мгновенного значения $x(t_k)$ к конкретному моменту времени t_k на временном интервале τ также зависит от соотношения ω и τ .

Таким образом, математическая модель для косвенного определения мгновенного значения физической величины, основанная на применении 1-й теоремы о среднем значении, не дает привязки к конкретному моменту времени, более того, этот момент времени в общем случае зависит от соотношения частоты физической величины и времени ее осреднения. Это является существенным недостатком, ограничивающим применение такой модели лишь малыми соотношениями $\omega \tau << 0.5\pi$, т.е. 1-ая теорема о среднем значении работает только для таких физических величин, которые за время их осреднения мало изменяются (практически остаются постоянными).

Модель 2. Свойство обратимости математических операций интегрирования и дифференцирования. Идея этой математической модели заключается в следующем. Если физическая величина x(t) имеет первообразную на интервале τ , то для внутренних точек этого интервала

$$\frac{d}{dt}\int x(t)\ dt = x(t).$$

То есть, имея два отсчета средних значений X_1 и X_2 физической величины в виде

$$X = \frac{1}{\tau} \int_{t}^{t+\tau} x(t) dt,$$

можно образовать из них конечную разность 1-го порядка $\Delta X = X_2 - X_1$, являющуюся аналогом 1-й производной $\frac{d}{dt}$ и получить таким образом отсчет мгновенного значения $x(t_{\iota})$.

Для выявления свойств этой модели поступим аналогично предыдущему случаю. Определим два отсчета средних значений X_1 и X_2 физической величины x(t) в виде (2) за два равных между собой и примыкающих друг к другу интервала времени, в сумме равными интервалу осреднения τ , характерному для первой модели:

$$\begin{split} X_{1} &= \frac{1}{0.5\tau} \int_{t-0.5\tau}^{t} x(t) \, dt = \frac{1}{\tau} \int_{t-0.5\tau}^{t} X_{m} \sin \omega t \, dt = \frac{X_{m}}{0.5\omega\tau} \Big[\cos \omega (t-0.5\tau) - \cos \omega t \Big] = \\ &= \frac{2X_{m}}{0.5\omega\tau} \sin \frac{\omega t - 0.5\omega\tau + \omega t}{2} \cdot \sin \frac{\omega t - \omega t + 0.5\omega\tau}{2} = \frac{\sin 0.25\omega\tau}{0.25\omega\tau} \cdot X_{m} \sin(\omega t - 0.25\omega\tau); \\ X_{2} &= \frac{1}{0.5\tau} \int_{t}^{t+0.5\tau} x(t) \, dt = \frac{1}{\tau} \int_{t}^{t+0.5\tau} X_{m} \sin \omega t \, dt = \frac{X_{m}}{0.5\omega\tau} \Big[\cos \omega t - \cos \omega (t+0.5\tau) \Big] = \\ &= \frac{2X_{m}}{0.5\omega\tau} \sin \frac{\omega t + \omega t + 0.5\omega\tau}{2} \cdot \sin \frac{\omega t + 0.5\omega\tau - \omega t}{2} = \frac{\sin 0.25\omega\tau}{0.25\omega\tau} \cdot X_{m} \sin(\omega t + 0.25\omega\tau). \end{split}$$

Образуем из полученных выражений X_1 и X_2 1-ую конечную разность:

$$\begin{split} &\Delta X = X_2 - X_1 = \frac{\sin 0.25\omega\tau}{0.25\omega\tau} \cdot X_m \big[\sin(\omega t + 0.25\omega\tau) - \sin(\omega t - 0.25\omega\tau) \big] = \\ &= \frac{\sin 0.25\omega\tau}{0.25\omega\tau} \cdot X_m \cdot 2\cos\frac{\omega t + 0.25\omega\tau + \omega t - 0.25\omega\tau}{2} \cdot \sin\frac{\omega t + 0.25\omega\tau - \omega t + 0.25\omega\tau}{2} = \\ &= \frac{\sin^2 0.25\omega\tau}{0.25\omega\tau} \cdot 2X_m \cos\omega t = \frac{\sin^2 0.25\omega\tau}{0.25\omega\tau} \cdot 2X_m \sin(\omega t + 0.5\pi), \end{split}$$

то есть продукт преобразования данной математической моделью

$$\Delta X = \frac{\sin^2 0.25\omega\tau}{0.25\omega\tau} \cdot 2X_m \sin(\omega t + 0.5\pi). \tag{6}$$

Сопоставляя выражения (2) и (6), заметим, что данная математическая модель дает оценку мгновенного значения гармонической функции (2) в виде

$$x(t_k) = \frac{\sin^2 0.5\omega \tau}{0.5\omega \tau} \cdot 2X_m \sin(\omega t_k + 0.5\pi).$$

Отсюда видно, что в частотной области эта математическая модель характеризуется амплитудночастотной $A_2(\omega)$ и фазочастотной $\Phi_2(\omega)$ характеристиками вида:

$$A_2(\omega) = 2 \frac{\sin^2 0,25\omega\tau}{0,25\omega\tau};$$
 (7)

$$\Phi_2(\omega) = 0.5\pi. \tag{8}$$

Размер определенного мгновенного значения $x(t_k)$ также будет зависеть от соотношения угловой частоты ω функции (2) и интервала ее осреднения (интегрирования) τ , однако характер зависимостей разный. Для второй модели аргумент амплитудночастотной характеристики в выражении (8) в два раза меньше, чем у первой модели в выражении (4), а следовательно, влияние соотношения ω и τ будет меньше. То есть динамическая погрешность второй модели будет меньше.

Привязка мгновенного значения $x(t_k)$ к конкретному моменту времени t_k на временном интервале τ для второй модели в соответствии

с выражением (8) не зависит от соотношения ω и τ и является постоянной величиной, равной $0,5\pi$.

Подводя итог изложенным рассуждениям, можно сказать, что косвенное определение мгновенного значения через измерение средних значений и применение конечной их разности имеет предпочтение по сравнению с применением первой теоремы о среднем значении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Андреев А.Б. Об измерении мгновенного и среднего значений физических величин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего : Научно-периодическое издание. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. С. 16—20.
- 2. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. М.: Наука, 1981. 720 с.
- 3. Цыпкин А.Г. Математические формулы. Алгебра. Геометрия. Математический анализ: Справочник / А.Г. Цыпкин, Г.Г. Цыпкин. М.: Наука, 1985. 128 с.

УДК 681.3.067 ББК 34

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТЕГАНОСИСТЕМЫ

© **С.Н. Борисова**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

ESTIMATION OF QUALITY OF STEGOSYSTEM

© S.N. Borisova, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена исследованию методов оценки качества изображенийстегоконтейнеров и поиску метрики, позволяющей выбрать оптимальное изображениеконтейнер для встраивания информации с целью повышения уровня скрытности при встраивании.

Ключевые слова: стеганография, скрытая информация, визуальные показатели искажения, экспертные оценки, вейвлет-преобразование.

Article is devoted to research of methods of estimation of quality of imagesstegokonteyners and search of the metrics, allowing to choose the optimum image-container for information embedding for the purpose of increase of level of reserve when embedding.

Key words: steganography, hiding information, visual indicators of distortion, expert estimates, wavelet transform.

Стеганосистема — это система скрытой передачи информации, которая подразумевает наличие контейнера и скрываемого сообщения, встраиваемого в контейнер. Наиболее часто в качестве стегоконтейнера используют изображения. В [1] указаны различные методы встраивания информации в стегоконтейнеры-изображения. Условно их можно разделить на методы встраивания информации в пространственную область изображения, методы встраивания в частотную область изображения, методы расширения спектра и др. (рис. 1).

Для сравнительной оценки качества стеганографической системы с точки зрения устойчивости к стеганоанализу используются различные показатели [1].

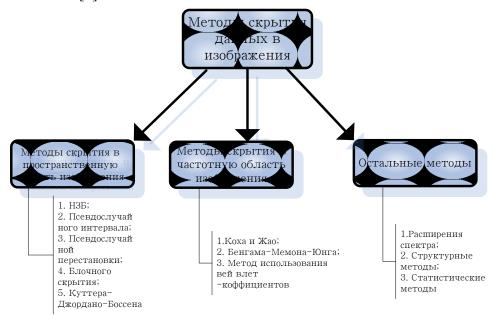


Рис. 1. Методы скрытия информации

Основной из этих показателей – уровень скрытности, то есть насколько возможно определить наличие факта скрытия сообщения, используя различные методы стеганоанализа. На уровень скрытности оказывают влияние качество изображения, выбранного в качестве стегоконтейнера, и используемый метод встраивания. Поэтому в данной статье будут рассмотрены методы оценки качества используемых изображенийстегоконтейнеров.

Возможны два подхода в оценке качества изображений: объективный, т.е. количественная оценка с помощью математических методов (метрики) и субъективный (экспертный подход). Считается, что самым надежным способом получения оценки качества изображений является использование экспертного подхода. Один из способов экспертной оценки — оценка экспертом качества изображения в баллах по определенной шкале относительно некоторого идеального изображения, имеющего максимальный балл [2]. С помощью данного метода можно оценить такие характеристики изображения, как координатные искажения, чистоту переходов, правильность цветопередачи и др. В зависимости от используемого метода экспертной оценки, изображения до и после обработки могут показываться парами, последовательно, по одному. В [6] описаны подобные методы, такие как DSIS, DSCQS, SCASJ. Основные шкалы оценок при использовании метода сравнения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка	Искажение	Качество
5	Незаметное	Отличное
4	Заметное, не раздражающее	Хорошее
3	Несущественное, раздражающее	Удовлетворительное
2	Раздражающее	Неудовлетворительное
1	Чрезвычайно раздражающее	Крайне неудовлетвори- тельное

Однако применение экспертного метода требует большого количества людей и времени, особенно в случае большого количества оцениваемых изображений. К тому же при компьютерной обработке изображений в системах с автоматическим принятием решений должны использоваться объективные критерии качества изображений.

В настоящее время известно большое количество объективных оценок, которые можно разделить на три класса [3]:

- 1) эталонные (предполагают наличие исходного изображения),
- 2) неэталонные (предполагают отсутствие исходного изображения),
- 3) псевдоэталонные (подразумевают, что некоторая информация об исходном изображении присутствует в обработанном).

Эталонные количественные оценки интересны тем, что они наиболее приближены к экспертным методам. На сегодняшний день большое распространение получили следующие метрики: *NMSE*, *PSNR*, *MSAD*, *VQM*, *SSIM*, *MSSIM*, *VSNR* и др. [3, 4]. В данной работе оцениваются некоторые из них: *NMSE*, *PSNR*, *SSIM*.

Для проведения исследования были взяты три изображения:



Рис. 2. Исходные изображения

На первом изображении (рис. 2,a) много мелких деталей, на втором (рис. 2,б) при наличии мелких деталей также присутствуют области одного оттенка, на третьем (рис. 2,в) – крупные фигуры на однородном фоне с резкими границами перехода цвета.

При субъективной (визуальной) оценке сильное цветовое искажение после встраивания информации отмечено на третьем рисунке (рис. 2,в), менее сильное, но заметное, на втором. На первом изображении искажения визуально не оцениваются.

В [7] были представлены зависимости нормированной среднеквадратической ошибки, пикового отношения сигнал/шум и индекса структурного сходства для трех изображений (рис. 2) при встраивании в них сообщений различной длины. Мерой различия двух изображений для нормированной среднеквадратической ошибки является среднеквадратическое значение разностного сигнала двух изображений:

$$NMSE = \frac{\sum_{x,y} (C_{x,y} - S_{x,y})^2}{\sum_{x,y} (C_{x,y})^2}.$$
 (1)

В представленных соотношениях через $C_{X,Y}$ обозначается пиксель пустого контейнера с координатами (x,y), а через $S_{X,Y}$ — соответствующий пиксель заполненного контейнера.

При увеличении длины встраиваемого сообщения нормированная среднеквадратическая ошибка увеличивается. Причем для первого изображения, содержащего мелкие детали, данный критерий хуже, чем для остальных.

Наиболее популярным показателем при анализе уровня искажений, которые вносятся в контейнер во время скрытия в нем информации, является взятое из радиотехники отношение "сигнал/шум", вычисленное в децибелах. Он относится к разностным показателям искажения.

$$PR_{SN} = \frac{X \cdot Y \cdot \max_{x,y}}{\sum_{x,y} \left(C_{x,y} - S_{x,y}\right)^{2}}.$$
 (2)

При встраивании сообщений большей длины в один и тот же контейнер, отношение сигнал/шум ухудшается. При оценке данной ошибки первое изображение дает наилучший результат, последнее — наихудший, что совпадает с субъективной оценкой.

Первые две метрики широко используются для оценки качества изображений на практике. Однако, как показал опыт, они оказались несовместимы с физиологией человеческого восприятия. За последнее время сделано большое количество попыток разработки новых метрик. Одна из таких метрик — индекс структурного сходства, SSIM (от англ. SSIM — structure similarity) [4]. Суть метода сводится к определению степени сходства двух изображений. Отличительной особенностью данного критерия является то, что он дает хорошее приближение к человеческому зрению.

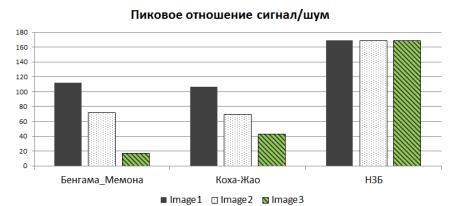
Метрика SSIM оценивается в соответствии с выражением

$$SSIM = \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}\right) \left(\frac{2\overline{XY}}{(\overline{X})^2 + (\overline{Y})^2}\right) \left(\frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}\right), \tag{3}$$

где X — изображение до преобразования, Y — изображение после преобразования.

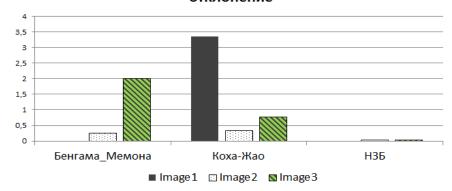
Значение метрики, близкое к единице, говорит о полной аутентичности сравниваемых образцов. Наилучший результат при данной оценке

показывает изображение 1, наихудший — изображение 3. Таким образом, мера структурного подобия более сходна с субъективной оценкой и лучше остальных описанных метрик подходит для оценки качества изображения, подвергшегося стеганографической обработке.



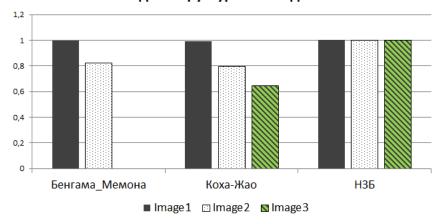
a) пиковое отношение сигнал/шум (PR_{SN})

Нормированное среднеквадратическое отклонение



б) нормированная среднеквадратическая ошибка (NMSE)

Индекс структурного сходства



в) индекс структурного сходства (SSIM)

Рис. 3. Оценки визуального искажения изображений

Проведенные исследования позволили сделать вывод, что для высокого уровня скрытности стегосистемы следует использовать в качестве стегоконтейнера изображения, содержащие много мелких деталей и не содержащие больших областей, залитых одним цветом. Однако на качество стегосистемы влияет и выбранный метод скрытия. Поэтому для трех исследуемых изображений (рис. 2) были измерены оценки (1), (2), (3) для трех методов встраивания – НЗБ, Коха и Жао, Бенгама – Мемона – Юнга [1]. Распределение значений соответствующих оценок представлено на рис. 3. Согласно полученным гистограммам, можно сделать вывод, что метод НЗБ показывает наилучший результат по всем трем оценкам, метод Коха – Жао проигрывает остальным методам встраивания.

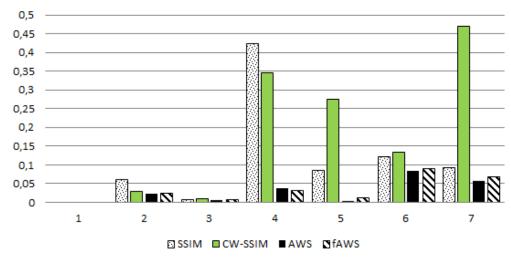
Однако в работе [5] описаны метрики, основанные на использовании вейвлет-преобразования. Это метрика CW-SSIM и ее модификации – AWS (CW-SSIM с определенными параметрами, дающими наилучшую оценку), fAWS (быстрый алгоритм вычисления AWS). Метрика CW-SSIM основана на метрике SSIM и носит название вейвлет-индекс структурного подобия [5]. Определяется согласно выражению

$$CW - SSIM(C_{x}, C_{y}) = \frac{2\left|\sum_{i=1}^{N} C_{x,i} C_{y,i}^{*}\right| + K}{\sum_{i=1}^{N} \left|C_{x,i}\right|^{2} + \sum_{i=1}^{N} \left|C_{y,i}\right|^{2} + K},$$
(4)

где $C_{x,i}$, $C_{y,i}$ – вейвлет-коэффициенты, N – число коэффициентов, K – константа, предотвращающая деление на ноль.

Результаты тестирования вышеуказанных метрик, проведенные в работе [5] для семи различных изображений, и сравнение их с нормированной экспертной оценкой, проведенной по методике DSIS [6], представлены на рис. 4.

Метрики класса SSIM



Puc. 4. Абсолютное отклонение метрик SSIM, CW-SSIM, AWS, fAWS от нормированной экспертной оценки по методу DSIS

Согласно гистограммам, представленным на рис. 4, можно сделать вывод, что метрики, основанные на использовании вейвлет-преобразовании — CW-SSIM, а особенно AWS, fAWS — дают лучшие оценки, чем метрика структурного подобия SSIM, более близки к экспертной оценке и должны использоваться при оценке изображений при выборе стегоконтейнера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. М. : МК-Пресс, 2006. 288 c.
- 2. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
- 3. Wang Z., Bovik A., Evans B. Blind measurement of blocking artifacts in images // Proc. IEEE Int. Conf. Image Proc., Sept. 2000. V. 3, P. 981–984.
- 4. Монич Ю.И., Старовойтов В.В. Оценки качества для анализа цифровых изображений // Искусственный интеллект-2008 : Материалы IX международной научно-технической конференции. 2008. N 4. C. 376—386.
- 5. Сидоров Д.В., Осокин А.Н., Марков Н.Г. Оценка качества изображений с помощью вейвлетов // Известия Томского политехнического университета. 2009.-T.315, № 5.-C.104-107.
- 6. Сидоров Д.В. К вопросу оценки качества множества восстановленных изображений // Прикладная информатика. -2008. -№ 4. -C. 92-95.
- 7. Борисова С.Н. Методы оценки качества изображений при выборе стегоконтейнера // Современные методы и средства обработки пространственновременных сигналов: Сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции. С. 30—34.

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ СИГНАЛОВ, ОБНАРУЖЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ

УДК 28.23.15 ББК 34

ОБЗОР МЕТОДОВ СКЕЛЕТИЗАЦИИ РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА

© **Д.В. Бирюков**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

REVIEW OF METHODS A SKELETIZATION OF BITMAP IMAGE IN RELATION TO A PROBLEM OF HAND-WRITTEN TEXT RECOGNITION

© **D.V. Biriukov**, Penza State Technological Universit (Penza, Russia)

В статье рассматриваются основные методы скелетизации рукописного текста для растрового изображения. Описываются особенности методов применительно к проблеме распознавания рукописного текста.

Ключевые слова: распознавание образов, рукописный текст, скелетизация, растровое изображение.

The article discusses a basic methods of skeletization hand-written text for bitmap image.

The article describes the features of methods in relation to a problem of hand-written text recognition.

Key words: pattern recognition, handwriting, skeletization, bitmap.

Введение

При решении задачи распознавания непрерывного и раздельно написанного текста часто используются различные методы скелетизации растровых изображений для получения скелета символов. Это позволяет получить недостающую информацию о линиях символа и ключевых точках, необходимую для дальнейшей обработки и распознавания. Также скелетизация позволяет упростить решение вопроса об угле наклона символа.

Рассмотренные далее методы широко применяются при распознавании рукописного текста в системах автоматического доступа "Captcha", а также в системах биометрического доступа для классификации отпечатков пальцев.

Рассматриваемые методы предполагают перевод растрового изображения в векторный вид и нахождение скелета символов на растровом изображении произвольной сложности. Результаты работы алгоритмов

представляются в виде графов, содержащих информацию о конечных точках и местах пересечения линий символов.

В настоящей работе не рассматриваются вопросы о пересечении соседних символов и ориентации символа на изображении, а также вопросы сегментации непрерывного рукописного текста.

Под бинарным изображением распознаваемого символа понимается матрица, в которой объект представлен черными точками, а фон белыми.

Под отрезками понимается такое множество связных точек, через которые можно провести прямую.

Под соединением отрезков понимается пересечение отрезков.

Применительно к задаче распознавания рукописного текста необходимо выбрать метод, позволяющий точно выделить скелет символа для дальнейшей обработки. Так как различные почерки существенно различаются от одного человека к другому, то необходимо выбрать такой метод, который позволит выделять ключевые точки символов, по которым можно производить классификацию символа.

Возьмем исходное изображение символа «а» (рис. 1).



Рис. 1. Рукописный символ

Построение скелета методом утончения линий. Метод Зонг – Суня.

Данный метод позволяет произвести скелетизацию путем уменьшения ширины линий до одного пикселя. Алгоритм заключается в пошаговом прохождении изображения матрицей 3*3 пикселей, при этом, совмещая матрицу с интересующим пикселем, выполняется обработка по алгоритму:

- на изображение будет накладываться матрица

- далее на первом этапе происходит удаление пикселя, если выполняются следующие условия:

а)
$$2 \le B(Pi) \le 6$$
, где $B(Pi) = \sum_{i=2}^{9} Pi$

- б) A(Pi) = 1;
- B) P2*P4*P6 = 0;
- г) P4*P6*P8 = 0, где A(P1) число конфигураций 01 в последовательности P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9, замыкая эту цепочку на P2, т.е. вокруг этого пиксела существует только один переход от 0 к 1;

- на втором этапе пиксели удаляются, если выполняются следующие условия: а) P2*P4*P8 = 0;

6) P2*P6*P8 = 0.

Выполнение алгоритма происходит до тех пор, пока не останется пикселей для удаления. После того как алгоритм закончит работу, возможно получить ключевые точки, описывающие символ. При этом возможны два варианта: точка не содержит соседей (рис. 2-A, Γ), количество соседей больше или равно трем (рис. 2-B, B).

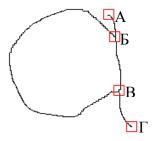


Рис. 2. Конечные точки (A, Γ) и точки пересечения (B, B)

Результат работы алгоритма можно представить в виде нагруженного графа, где вершинами будут ключевые точки, а ребра графа – расстояние между ключевыми точками. Минусом данного метода является появление ложных линий при обработке изображений в высоком разрешении.

Волновой метод отслеживания центральной линии и соединений отрезков

В данном методе [4] используется принцип распространения волны, распространяющейся по определенным законам. Волна запоминает номер шага, процесс заканчивается, когда достигнуто конечное условие. Волна определяет положение черных точек, выделяя ключевые точки. Наличие дефектов на изображении мало влияет на получение конечного результата.

Волна генерируется комбинацией 4- и 8-связного распространения через заданное количество пикселей. В результате волна распространяется в виде восьмиугольника (рис. 3,а).

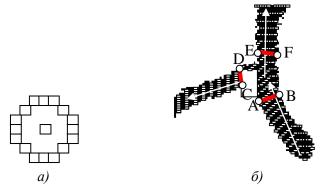


Рис. 3. Генерация волны: общий вид маски (а) на фигуре (б)

При распространении волны по прямой через 2*N шагов, она приобретает устойчивый характер. Распространение волны на пересечении отрезков определяется разделением волны. Момент разделения отслеживается изменением ширины линии (рис. 3,6). Места с окружностями определяются при встрече двух волн. Для выявления мест пересечений необходимо отслеживать ширину волны (расстояние между крайними точками распространения волны).

При разделении волны на две полуволны получаем многоугольник ABCDEF, где AB — ширина волны на предыдущем шаге, CD и EF — ширина получившихся полуволн. Точка пересечения отрезков будет лежать в центре многоугольника ABCDEF, для нахождения точного положения пересечения необходимо выполнить анализ сторон многоугольника.

Как мы видим, данный метод хорошо подходит для задачи распознавания непрерывного рукописного текста, позволяя получить исчерпывающую информацию о расположении ключевых точек, а также их соединяющих линий.

Заключение. Из представленных методов наиболее подходящим для задачи распознавания непрерывного рукописного текста является волновой метод отслеживания центральной линии. В результате его применения получается граф, содержащий как вершины символа, так и места пересечения. При этом исключаются мелкие ошибки, связанные с наличием небольших шумов на изображении. Метод также является более простым в реализации и более быстрым. Точность получения скелетов символов непрерывного рукописного текста можно улучшить, комбинируя различные методы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. M. : Физматлит, 2009. 248 с.
- 2. Mohamed Cheriet, Nawwaf Kharma, Cheng-Lin Liu, Ching Y. Suen. Character Recognition Systems: A Guide for Students and Practitioners. Wiley-Interscience: Ноябрь, 2007. 360 с.
- 3. William K. Pratt. Digital Image Processing // Wiley-Interscience; 3 edition (July 24, 2001), 656 p.
- 4. Клубков И.М. Применение волнового алгоритма для нахождения скелета растрового изображения // Вестник ДГТУ. -2001. Т. 1. № 1(7). ISBN 5-7890-0160-2
- 5. Местецкий Л.М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: Физматлит, 2009. 288 с.
- 6. Абраменко 2000 Абраменко, А. Компьютер читает. Электрон. текстовые дан. 2000. URL: http://www.ocrai.narod.ru/,.

УДК 28.23.15 ББК 30

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ АЭРОФОТОСНИМКОВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

© **А.В. Бурмистров**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

THE ANALYTICAL METHOD OF THE VALIDITY OF THE RESULTS OF AUTOMATED DIGITAL AERIAL PHOTO SHOTS DECODING THE COUNTRYSIDE

© A.V. Burmistrov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена анализу надежности результатов автоматизированного дешифрирования аэрофотоснимков сельской местности, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов, который позволяет оценить степень правильности распознавания объектов для составления электронной карты местности.

Ключевые слова: дешифрирование, распознавание образов, обработка изображений, электронная карта, критерий достоверности, критерий полноты, критерий точности.

The article is devoted to the analytical method of the validity of the results of automated digital aerial photo shots decoding the countryside which were obtained with the help of the unmanned aerial vehicles. This method allows to evaluate the degree of the accuracy for the objects which will be used to create the electronical map of the area.

Key words: interpretation, pattern recognition, image processing, accuracy criterion, criterion validity, completeness criterion.

Основным процессом в создании электронной карты является дешифрирование цифровых изображений. Несмотря на то что в настоящее время этот процесс автоматизирован, он все равно требует больших временных затрат и может занимать больше половины общего затраченного на создание электронной карты времени. На сегодняшний день существует несколько методов автоматизированного дешифрирования, поэтому чтобы выбрать подходящий и определить его эффективность, необходимо оценить надежность его результата. Помимо критерия для выбора того или иного метода, оценка надежности результата дешифрирования важна еще по следующим причинам:

- 1) позволяет определить, какие объекты и на сколько правильно можно распознать в процессе автоматизированного дешифрирования по изображениям;
- 2) позволяет определить, какие необходимы дополнительные данные об объектах для более точного дешифрирования;
- 3) позволяет сравнить различные методы автоматизированного дешифрирования и выбрать (скорректировать) тот, который дает лучший результат [1, 4].

Формирование электронной карты сельской местности по данным аэрофотосъемки имеет свою специфику. Аэрофотоснимок сельской мест-

ности состоит из изображений объектов, которые можно разделить на следующие классы: строения, дороги, земельные участки, реки, водоемы.

Любой из таких объектов обладает пространственной формой, и после дешифрирования каждое изображение реального объекта (РО) на снимке преобразуется в топографический объект (ТО) электронной карты, который состоит из одного или нескольких примитивов. Определим примитивы трех видов: точка, линия или полигон. Форму ТО можно представить как окружающий его контур, состоящий из последовательности точек или линий. Если контур описан последовательностью точек, то, соединив две последующие точки в линию, можно получить описание формы последовательностью линий. Полигон (или площадной примитив) по сути уже ТО, который описан контуром из точек или линий, поэтому его форму также можно представить в виде последовательности линий. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что любой ТО можно описать последовательностью линейных примитивов [3, 5].

Описывать ТО, состоящие из линейных примитивов, удобно, используя теорию множеств. Для этого представим линейный примитив как элемент множества в виде $L = \{x_a, y_a, x_b, y_b\}$ — линии L с координатами концов (x_a, y_a) и (x_b, y_b) . При этом ТО представим как множество, состоящее из линейных примитивов $L: O = \{L_i \mid 0 \le i \le N\}$ — ТО, состоящий из N линейных примитивов, где N — количество линейных примитивов в объекте.

Зная способ описания ТО, можно оценить надежность результата, сравнив его с неким эталоном по нескольким критериям и показателям.

Чтобы учесть качество дешифрирования отдельного изображения РО и результата целиком, надежность будем оценивать по двум критериям:

- 1) надежность дешифрирования изображения отдельного объекта,
- 2) надежность дешифрирования всего изображения.

Для каждого критерия определяется три показателя:

- 1) **показатель точности** G показывает ошибки положения,
- 2) **показатель полноты** F характеризует отсутствие пропусков объектов или примитивов,
- 3) *показатель достоверности* R характеризует отсутствие ложных примитивов или объектов.

Обозначив ТО результата через $O^{(R)}$, а эталона через $O^{(S)}$, получим два множества: множество из K топографических объектов результата $M_R = \{O_i^{(R)} \mid 0 \leq i \leq K\}$ и множество из T топографических объектов эталона $M_S = \{O_i^S \mid 0 \leq i \leq T\}$. Эти два множества будут являться исходными данными, по которым в дальнейшем рассчитываются все критерии и показатели.



Рис. 1. Классификация критериев и показателей надежности дешифрирования

1. Надежность дешифрирования изображения отдельного объекта

Этот критерий позволяет оценить качество дешифрирования отдельного РО, т.к. аэрофотоснимок сельской местности состоит из изображений нескольких классов объектов. Как уже говорилось выше, надежность дешифрирования изображения отдельного объекта определяется по трем показателям: точность, полнота, надежность.

Из множества результата M_R выбирается элемент $O_i^{(R)}$, а из множества эталона M_S соответствующий элемент $O_i^{(S)}$ (если такой имеется). Затем рассчитываются три показателя.

Полнота отдельного ТО. Показывает количество пропущенных примитивов в выбранном ТО:

 $Q_{\scriptscriptstyle{ extsf{S}}} = O_{\scriptscriptstyle{i}}^{(S)}$ | – количество примитивов в ТО эталона,

 $\mathit{Q}_{\mathit{R}} = \mid O_{i}^{(\mathit{R})} \mid$ – количество примитивов в ТО результата,

 $C = Q_i^{(S)} \cap Q_i^{(R)} \mid$ – количество совпавших примитивов.

Полноту можно определить, посчитав количество пропущенных примитивов $F_O = Q_{\rm S} - C$, или в процентах:

$$F_O = \frac{(Q_S - C) \cdot 100}{Q_S}, \% . \tag{1}$$

Достоверность отдельного ТО. Показывает количество ложных примитивов в ТО. Определить полноту можно, посчитав количество ложных примитивов $R_Q = Q_R - C$, или в процентах:

$$R_O = \frac{(Q_R - C) \cdot 100}{Q_R}, \%. \tag{2}$$

Точность отдельного ТО. Для расчета показателя точности сначала получим множество без пропущенных и ложных линейных примитивов $O_i^{(M)} = O_i^{(S)} \cap O_i^{(R)}$. Поскольку у каждой линии множества $O_i^{(M)}$ есть соответствующая линия множества $O_i^{(S)}$, рассчитав расстояние между ними и удалив те, которые расположены дальше допустимого отклонения Δ , получим множество $O_i^{(G)}$.

Показатель точности можно рассчитать как количество примитивов, расположенных не дальше допустимого расстояния Δ , т.е. $G_O = O^{(G)}$, или в процентах:

$$G_O = \frac{|O^G| \cdot 100}{|O^M|}, \% . \tag{3}$$

2. Надежность дешифрирования всего изображения

После автоматизированного дешифрирования все полученные ТО можно разделить на два множества: множество потенциальных ТО (M_R) и множество реальных ТО (M_E). Множество потенциальных TO — это множество из ТО, полученное после работы дешифратора. Поэтому допускаются пропуски ТО и наличие ложных ТО. Множество реальных TO допускает пропуски ТО, т.к. учитывается результат дешифрирования, но из него исключаются ложные ТО, т.е. $M_E = M_R \cap M_S$.

Полнота дешифрирования всего изображения. Показывает количество пропущенных ТО в множестве потенциальных ТО $M_{\scriptscriptstyle R}$:

 $Q_{\scriptscriptstyle S} = \mid M_{\scriptscriptstyle S} \mid$ – количество ТО в эталоне,

 $Q_R = \mid M_R \mid$ – количество потенциальных ТО,

 $Q_E = |M_E|$ – количество реальных ТО.

Полноту дешифрирования всего изображения без учета показателей входящих в него ТО можно определить как количество пропущенных ТО $F_R = Q_S - Q_E$, или в процентах:

$$F_R = \frac{(Q_S - Q_E) \cdot 100}{Q_S}, \%. \tag{4}$$

Определить полноту для множества реальных ТО $M_{\scriptscriptstyle E}$ с учетом показателей входящих в это множество ТО можно, рассчитав среднюю полноту

$$F_R^{\text{(mid)}} = \frac{\sum F_{O,i}}{Q_E},\tag{5}$$

где $0 \le i \le Q_E$.

Достоверность дешифрирования всего изображения. Показывает количество ложных ТО в множестве потенциальных ТО M_R . Достоверность дешифрирования всего изображения без учета показателей входящих в него ТО можно определить как количество ложных ТО $R_R = Q_R - Q_E$, или в процентах:

$$R_R = \frac{(Q_R - Q_E) \cdot 100}{Q_R}, \% .$$
(6)

Определить достоверность для множества реальных ТО M_{E} с учетом показателей входящих в это множество ТО можно, рассчитав среднюю достоверность

$$R_R^{(\text{mid})} = \frac{\sum R_{O,i}}{Q_E},\tag{7}$$

где $0 \le i \le Q_E$ (7).

Точность дешифрирования всего изображения. Показывает, на сколько форма ТО, входящих в состав множества реальных ТО M_R , точна, т.е. на сколько границы объектов искажены относительно эталона. Определить точность можно только с учетом показателей всех ТО из множества M_R , для этого рассчитаем среднюю точность

$$G_R^{(\text{mid})} = \frac{\sum G_{O,i}}{Q_F},\tag{8}$$

где $0 \le i \le Q_E$.

Рассчитав показатели для изображения отдельного РО, можно составить таблицу показателей надежности (табл. 1) для интересующих объектов и оценить, насколько надежен результат для определенного класса РО.

Таблица 1 – Показатели надежности отдельных РО

	Реальный объект 1	Реальный объект 2	•••	Реальный объект <i>N</i>
Полнота	$F_{O,1}$	$F_{O,2}$		$F_{O,N}$
Достоверность	$R_{O,1}$	$R_{O,2}$		$R_{O,N}$
Точность	$G_{O,1}$	$G_{O,2}$		$G_{O,N}$

Рассчитав показатели для всего изображения без учета и с учетом входящих в его состав ТО, можно составить таблицу (табл. 2) показателей надежности для всего изображения.

Таблица 2 – Показатели надежности для всего изображения

	Без учета средних показателей ТО	С учетом средних показателей ТО
Полнота	F_R	$F_R^{(\mathrm{mid})}$
Достоверность	R_R	$R_R^{ m (mid)}$
Точность	-	$G_R^{ m (mid)}$

Посчитав среди потенциальных ТО общее количество ложных и пропущенных ТО, получим обобщенные показатели полноты F_R и достоверности R_R для всего изображения, по которым можно количественно оценить процент распознавания реальных объектов. Такие показатели не дают полного представления о надежности дешифрирования всех ТО, т.к. не учитывают качество дешифрирования отдельных ТО (второй столбец табл. 2). Более точное представлении о полноте и достоверности можно получить, усреднив показатели всех потенциальных ТО (третий столбец табл. 2). Оценить точность можно только для существующих объектов, форма которых известна, поэтому показатель точности определяется как усредненный для всех реальных ТО.

Обобщенные показатели F_R , R_R и $G_R^{(\mathrm{mid})}$ дают представление о надежности результата в целом, т.е. о возможности его использования. Показатели для отдельного ТО $F_{O,N}$, $R_{O,N}$ помогают определить, нужно вмешательство оператора для корректирования результата или нет. Таким образом, можно оценить, насколько эффективно использовать тот или иной метод, его параметры для дешифрирования аэрофотоснимков сельской местности и какой процент объектов требует вмешательство оператора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. М.: Мир, 1982.
- 2. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. М.: Физматлит, 2009.
- 3. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ / Я.А. Фурман (ред.) [и др.]. СПб. : Физматлит, 2003.
- 4. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков : Учеб. пособие для студентов вузов. M. : Аспект Пресс, 2004.
- 5. Бурмистров А.В., Сальников И.И. Метод формирования топографических объектов из аэрофотоснимков сельской местности // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего_{плюс}: Научное периодическое издание. Пенза: Изд-во Пенз гос. технол. акад., 2012. С. 40–50.

УДК 28.23.15 ББК 34

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЕГО ЛИЦА

© **И.Р. Двойной**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

USING HIDDEN MARKOV MODEL TO IDENTIFY PERSON BY IMAGE OF HIS FACE

© I.R. Dvoynoy, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрен метод идентификации лиц на изображении, основанный на использовании скрытых марковских моделей. Разработка подобных методов и программного обеспечения для их реализации будет способствовать повышению общественной безопасности, давая возможность обнаруживать преступников в общественных местах.

Ключевые слова: распознавание образов, обработка изображений, установление личности.

The paper presents a method of identify face on image, by using Hidden Markov Model. The development of similar methods and software for their realization will enhance public safety by enabling detection of criminals in public places.

Key words: a pattern recognition, image processing, identification.

Распознавание и идентификация лиц на изображениях, получаемых с фото или видеокамеры, — активно развивающееся направление. По сравнению с другими системи биометрической идентификации, данная технология имеет ряд преимуществ: не требуется дорогостоящего специализированного оборудования, не требуется физический контакт идентифицируемого человека с техническими устройствами (нет необходимости к чему-либо прикасаться или специально останавливаться и ждать срабатывания системы). Уже сегодня системы распознавания могут использоваться для аутентификации пользователей персанальных компьютеров и смартфонов, контроля проникновения людей на охраняемые территории. Особо актуальным направлением является обнаружение подозрительных лиц в местах массового скопления людей, в том числе с использованием анализа мелкой лицевой моторики.

В таких странах, как США, Израиль, Германия идут испытания систем, позволяющих автоматически обнаруживать преступников в местах массового скопления людей. Подобные системы могут устанавливаться на стадионах, в метро, аэропортах и т.п.

Специфика применения систем идентификации накладывает особые требования на качество их работы. Результат распознавания лиц не должен зависить от таких факторов, как освещение, фон, угол наклона камеры, количество, половая и расовая принадлежность, а также возраст людей, находящихся в кадре.

Повышенный интерес к проблеме идентификации личности, с одной стороны, и целый ряд трудностей, возникающих при реализации по-

добных систем, с другой – привели к возникновению большого количества работ, посвященных данной тематике.

На сегодняшний день в системах идентификации наиболее широкое применение нашли следующие методы: «Метод главных компонент», «Метод линейного дискриминантного анализа», «Метод гибких контурных моделей», «Метод сравнения эластичных графов», «Анализ геометрических характеристик лица», «Метод сравнения эталонов» и т.д. [1].

В данной статье будет рассмотрена возможность применения скрытых марковских моделей (СММ) для идентификации личности человека по изображению его лица.

СММ — статистическая модель, имитирующая работу процесса, похожего на марковский процесс с неизвестными параметрами, позволяющая выявить неизвестные параметры на основе наблюдаемых. Основное применение СММ получили в области распознавания речи, рукописного текста и биоинформатике.

Для определения СММ необходимо задать следующие элементы:

N — общее количество состояний в модели. Несмотря на то что состояния в СММ являются скрытыми, во многих случаях есть соответствие между состоянием модели и реальным состоянием процесса. Для обозначения множества состояний модели используется запись $S = \{S_1, S_2, ..., S_n\}$, а состояние модели в момент времени t обозначается q_t ;

M — количество различных символов наблюдения, которые могут порождаться моделью, т.е. размер дискретного алфавита. Символы наблюдения соответствуют физическому выходу моделируемой системы. Алфавит наблюдаемой последовательности обозначается как

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}. \tag{1}$$

Распределение вероятностей переходов между состояниями (матрица переходных вероятностей)

$$A = \{a_{ii}\},\tag{2}$$

где $a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j | q_t = S_i]$, $1 \le i, j \le N$, то есть это вероятность того, что система, находящаяся в состоянии S_i , перейдет в состояние S_j .

Распределение вероятностей появления символов наблюдения в состоянии j

$$B = \{b_i(k)\},\tag{3}$$

где $b_j(k) = P\{i_k/q_t = S_j\}$, $1 \ge j \ge N$, $1 \ge k \ge M$. $b_j(k)$ — вероятность того, что в момент времени t система, находящаяся в j-м состоянии, выдаст k-й символ в наблюдаемую последовательность.

Начальное распределение вероятностей состояний

$$p = \{ p_i \}, \tag{4}$$

где $p_i = P[q_i = S_i], 1 \le i \le N$, то есть вероятность того, что S_i — это начальное состояние модели.

Опишем изображение лица в терминах СММ. Характерными областями, составляющими лицо, являются волосы, лоб, глаза, нос, рот. Каждая область соответствует одному состоянию в конечной СММ (рис. 1) [2].

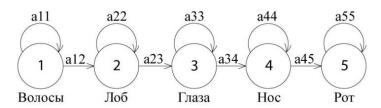


Рис. 1. Состояния СММ

Для выявления характерных особенностей изображение лица, шириной W и высотой H, делится на перекрывающиеся блоки высотой L. P – значение перекрытия соседних блоков (рис. 2).

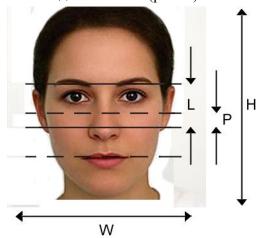


Рис. 2. Разбиение изображения лица на блоки

В [3] последовательность наблюдений состоит из значений всех пикселей, всех блоков. Таким образом, размер последовательности наблюдений равен $L \cdot W$. Использование значений пикселей в качестве последовательности наблюдений имеет два недостатка: во-первых, значения пикселей не являются надежной характеристикой, будучи очень чувствительными как к шуму на изображении, так и к повороту, смещению и изменению освещения. Во-вторых, большая размерность последовательности наблюдений приводит к большой вычислительной сложности системы обучения и распознавания. Это может быть критично для систем распознавания, работающих с большими базами данных, или для систем, работающих в режиме реального времени. Для сжатия последовательности наблюдений используем преобразование Хаара.

Вейвлет Хаара — один из первых и наиболее простых вейвлетов. Родительская вейвлет-функция $\psi(x)$ с нулевым значением интеграла $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0$, определяющая детали сигнала, задается следующим образом:

$$\psi(x) = \begin{cases}
1, & 0 \le x \le 1/2 \\
-1, & 1/2 \le x < 1 \\
0, & x \notin [0,1]
\end{cases}$$
(5)

Преобразование Хаара используется для сжатия входных сигналов, компрессии изображений (в основном цветных). Для преобразования одномерного сигнала S каждой паре соседних элементов ставятся в соответствие два числа:

$$a_{i} \frac{S_{2i} + S_{2i+1}}{2},$$

$$b_{i} = \frac{S_{2i} - S_{2i+1}}{2}.$$
(6)

Повторяя данную операцию для каждого элемента исходного сигнала, на выходе получаем два сигнала, один из которых является «огрубленной» версией исходного сигнала, а второй содержит детализирующую информацию. Двумерное преобразование Хаара представляет собой композицию одномерных преобразований Хаара.

Для идентификации изображения лица каждого человека сохраняются в базе в виде СММ. Набор изображений лица одного и того же человека, снятого с разных ракурсов, используется для обучения СММ.

После разбиения на части каждого изображения в обучающей выборке получается последовательность наблюдений, используемая для обучения СММ. Сначала СММ $\lambda = (A,B,\Pi)$ устанавливается в начальное состояние. Обучающее изображение равномерно разбивается сверху вниз на шесть частей, и наблюдаемая последовательность, соответствующая каждому состоянию, используется для получения матрицы верояностей переходов B в начальном приближении. Начальное значение для A и Π задается с учетом того, что модель лица строится слева направо. На следующем шаге раномерное разбиение заменяется разбиением на основе алгоритма Витерби

$$V_{1,k} = P(y_1|k) \cdot \pi_k$$

$$V_{t,k} = P(y_t|k) \cdot \max_{x \in S} (a_{x,k} \cdot V_{t-1,x}), \tag{7}$$

где $V_{t,k}$ — наиболее вероятная последовательность состояний, ответственная за появление первых t наблюдаемых символов, завершающаяся в состоянии k.

Обучение прекращается, когда после очередной итерации степень соответствия текущего и предшествующего разбиения превышает заданный порог [4].

В качестве тестового набора была использована база данных лиц, предоставляемая технологическим институтом Джорджии, содержащая изображения 50 людей [5]. Для проверки полученных СММ использовались изображения, не участвующие в процессе обучении. После получе-

ния векторов наблюдений определяется степень соответствия наблюдаемой последовательности каждой из имеющихся в базе данных СММ. В результате выбирается наиболее соответствующая СММ (рис. 3).

Процент распознавания лиц для используемого набора изображений составил 86 % при средней скорости поиска в базе данных, равной 280 мкс. С увеличением объема базы данных скорость распознавания будет падать, однако представленный алгоритм позволяет минимизировать потерю производительности за счет параллельной обработки. Полученные результаты говорят о том, что использование СММ для идентификации личности человека по изображению его лица дает результат, сравнимый по скорости работы и проценту ложных срабатываний с получившими наибольшее распространение современными алгоритмами распознавания. При этом можно отметить простоту реализации и наличие математических библиотек, содержащих реализацию описанных алгоритмов для таких языков программирования, как С/С++, Python.

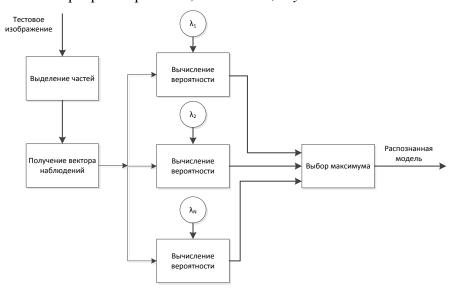


Рис. 3. Алгоритм поиска СММ, наиболее соответствующей входному изображению

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Шапиро Л. Компьютерное зрение. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, $2006.-752\ c.$
- 2. Рабинер Л.Р. Скрытые марковские модели и их применение в избранных приложениях распознавании речи: обзор // ТИИЭР. 1989. Т. 77, № 22. С. 86—120.
- 3. F. Samaria, S. Young. HMM based architecture for face identification. Image and Computer Vision, vol.5 2004.
- 4. M.S. Ryan, G.R. Nudd. The Viterbi Algorithm. Department of Computer Science, University of Warwick, 1993.
 - 5. http://www.anefian.com/research/face_reco.htm

УДК 621.383.8 ББК 34

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

© **В.А. Кочкин**, 3AO "Космические информационные аналитические системы" (г. Москва, Россия)

GENERALIZED AUTOMATIC DETECTION ALGORITHM OF DYNAMIC OBJECTS

© V.A. Kochkin, JSC "Space Information Analytic Systems" (Moscow, Russia)

Рассмотрен обобщенный алгоритм автоматического обнаружения динамических объектов на сложном неоднородном фоне. Предложенный алгоритм базируется на введении понятия обобщенного параллактического смещения, смещении зарегистрированных изображений и вычислении их межкадровой разности с последующей пороговой обработкой, цифровой фильтрацией. Обнаружение объекта производится путем нелинейной цифровой обработки разностного изображения.

Ключевые слова: бинаризация, динамический объект, обнаружение, параллактическое смещение, оптико-электронные системы, пороговая обработка, цифровой фильтр.

The generalized automatic algorithm of dynamic objects detection on complex non uniformity background is given. Suggested algorithm is based on including of generalized parallax slicing calculating, slicing of images and calculating of frame-to-frame difference of images, threshold processing, digital filtering. Detection of objects is based on nonlinear digital processing of binary image.

Key words: binarization, dynamic object, detection, digital filter, optic-electronic systems, parallax slicing, threshold processing.

В настоящее время широкое развитие получили автоматические оптико-электронные системы обнаружения и определения координат динамических объектов, функционирующие в реальном масштабе времени. Априорная неопределенность вида обнаруживаемого объекта, неоднородность фона приводят к перспективности использования для решения задач обнаружения различий в пространственно-временных характеристиках объектов и фонов. Прогресс в области матричных фотоприёмных устройств, резкое увеличение их размерности привели к увеличению информационной емкости регистрируемых изображений и, как следствие, к необходимости обработки в реальном масштабе времени сверхбольших информационных потоков.

В условиях знакопеременного контраста объекта и пространственно неоднородного фона амплитудные и пространственно-частотные методы обнаружения объектов практически неработоспособны, поэтому решение задачи обнаружения объекта производится по совокупности регистрируемых изображений.

На основе анализа различных методов обнаружения объектов в оптико-электронных системах (ОЭС) может быть предложен подход к синтезу методов обнаружения, основанный на представлении регистрируемых

изображений как пространственно-временной последовательности реализаций яркостных полей, подвергнутых координатным преобразованиям.

Представим отдельное изображение как реализацию пространственно-временного распределения яркостного поля $L(\vec{r},t_k)$, модельным представлением которого может служить известная [1] аддитивно-мультипликативная модель, обобщенная на случай временной зависимости яркостных полей:

$$L(\vec{r}, t_k) = L_s(\vec{r}, t_k) + L_f(\vec{r}, t_k) \cdot \overline{S}(\vec{r}, t_k) + L_n(\vec{r}, t_k),$$
(1)

где $L_s(\vec{r},t_k)$, $L_f(\vec{r},t_k)$, $L_n(\vec{r},t_k)$ – пространственно-временные распределения яркости объекта, фона и шума, соответственно, $S(\vec{r},t_k)$ – аппаратная функция поля интенсивности объекта.

Оптическая система осуществляет проективное преобразование реализации пространственно-временного яркостного поля (1) в формируемое изображение в картинной плоскости, при этом осуществляется редукция пространственных переменных:

$$L(\vec{r},t_k) \xrightarrow{F} B(\vec{\rho},t_k),$$

где $B(\vec{\rho},t_k)$ — распределение интенсивности в сформированном изображении; $F\equiv F(\vec{r},\vec{\rho},\vec{r}_{O\!\!J\!C},\vec{\alpha}_{O\!\!J\!C})$ — функционал, описывающий параметры координатного преобразования; $\vec{r}_{O\!\!J\!C}=\vec{r}_{O\!\!J\!C}(t),\; \vec{\alpha}_{O\!\!J\!C}=\vec{\alpha}_{O\!\!J\!C}(t)$ — радиус-вектор центра входного зрачка ОЭС и вектор направляющих косинусов ее оптической оси, соответственно; $\vec{\rho}$ — координаты в картинной плоскости.

Параметры координатных преобразований определяются видом функционала $F(\ldots)$.

Введем понятие «обобщенное параллактическое смещение» (ОПС), которое определим (по аналогии с классическим определением параллакса) как виртуальное смещение точки (тела), вызванное относительным перемещением наблюдаемой сцены и регистратора. В отличие от классического определения параллакса как «видимого изменения положения тела относительно удалённого фона в зависимости от положения глаза наблюдателя», предлагаемое понятие оперирует относительным перемещением регистратора и наблюдаемой сцены, а под точкой (телом) понимается любой материальный объект наблюдаемой сцены, излучающий (отражающий) электромагнитное излучение оптического диапазона.

В общем случае ОПС — вектор $\vec{\xi}_{I,J}$, определяющий взаимное смещение точки (тела, размеры которого меньше разрешающей способности ОЭС) на совместно анализируемых *I*-м и *J*-м изображениях.

Введение данного понятия позволяет объединить в единый класс как алгоритмы обнаружения объектов, основанные на совместном анализе временной последовательности регистрируемых изображений $\{B(\vec{\rho},t_k)\}, k=1...N$ (методы межкадрового вычитания), так и методы,

основанные на использовании совокупности временных последовательностей, синхронно регистрируемых различными регистраторами (классические параллактические методы обнаружения).

Сравним два зарегистрированных *I*-го и *J*-го изображения анализируемой сцены. Каждой точке $\vec{\rho}_{_{MI}}$ с интенсивностью $B(\vec{\rho}_{_{MI}},t_{_{I}})$ *I*-го изображения как элементу $T_{_{M}}$ детерминированного изображения однозначно соответствует точка $\vec{\rho}_{_{MJ}}$ *J*-го изображения с интенсивностью $B(\vec{\rho}_{_{MJ}},t_{_{J}})$, описывающая тот же элемент $T_{_{M}}$. Тогда для элемента $T_{_{M}}$ определим ОПС как $\vec{\xi}_{_{M}}=\vec{\xi}(\vec{\rho}_{_{MI}},t_{_{I}},t_{_{J}})=\vec{\rho}_{_{MI}}-\vec{\rho}_{_{MJ}}$. Данная операция определяет для каждой пары совместно анализируемых I и I-го изображений поле ОПС как векторную функцию $\Psi(\vec{\rho},t_{_{I}},t_{_{J}})=\vec{\xi}(\vec{\rho},t_{_{I}},t_{_{J}})$.

Рассмотрим структуру поля ОПС в случае постоянства проективных преобразований анализируемой сцены при регистрации изображений. Тогда при наличии относительного движения регистратора и объекта относительно фона со скоростью $\vec{V}_{P\Phi}$ и $\vec{V}_{O\Phi}$, соответственно, и $t_J-t_I=1$ имеем поле ОПС в виде

$$\Psi(\vec{\rho},t_{I},t_{J}) = \begin{cases} \vec{V}_{P\Phi} + \vec{V}_{O\Phi} & \vec{\rho} \in S(\vec{\rho},t_{I}) \\ \vec{V}_{P\Phi} & \textit{uhave} \end{cases},$$

т.е. для точек, принадлежащих объекту и фону, значения ОПС будут отличаться.

Априорно значения скоростей движения не определены, поэтому необходима их апостериорная оценка по результатам обработки зарегистрированных изображений. Так как объект занимает малую часть поля зрения ОЭС, то для получения оценки вектора ОПС фона могут быть использованы методы, применяемые для решения задачи привязки изображений, например разностные или корреляционно-экстремальные:

$$\hat{\vec{\xi}}_{\phi I,J} = \arg \max_{\vec{\rho}} K_{I,J}(\vec{\rho}),$$

где $K_{I,J}(\vec{\rho})$ – взаимно-корреляционная функция *I*-го и *J*-го изображений.

Для выделения изображения объекта необходимо последовательное формирование смещенного J-го изображения $B_{CM}(\vec{\rho},t_{_J})=B(\vec{\rho}-\hat{\vec{\xi}}_{\phi_{I,J}},t_{_J})$ и разностного изображения (РИ):

$$\Delta B_{IJ}(\vec{\rho}, t_I, t_J) = \left| B(\vec{\rho}, t_I) - B(\vec{\rho} - \hat{\xi}_{\phi I, J}, t_J) \right|, \tag{2}$$

ненулевая область которого соответствует обнаруженному объекту.

Аналогичные операции могут быть проведены над изображениями, зарегистрированными одновременно в различных точках. В этом случае значения t_I , t_I соответствуют двум точкам регистрации.

При наличии координатных преобразований изображений при их регистрации (аффинные преобразования) поле ОПС будет иметь более сложную структуру, для анализа которой необходимо приводить все регистрируемые изображения к одним и тем же параметрам координатных преобразований.

Предложенный подход позволяет синтезировать и анализировать методы обнаружения объектов на основе единого алгоритма обработки пространственно-временных полей.

При реализации предложенного метода для обработки реальных изображений фоно-целевой обстановки его применимость ограничивается в основном изменениями фоновой компоненты вследствие влияния ракурсных искажений (например, влияние затенения на границах фрагментов изображений с различной дальностью до регистратора), приводящими к ее нестационарности. В этом случае РИ содержит остаточную фоновую компоненту, не позволяющую выделить изображение динамического объекта при помощи пороговой обработки.

На рис. 1 приведены: исходное изображение городской застройки, характеризующееся резкими перепадами освещенности на границах, полученное при съемке с высоты 2 км и РИ, сформированное по алгоритму (2). Видно наличие существенной остаточной фоновой компоненты (пороговая обработка разностного изображения не применялась).

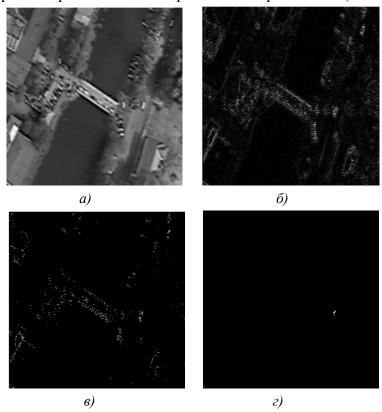


Рис. 1. Текущее изображение (а) и разностное изображение (б). Результаты пороговой обработки РИ (в) и выделения объекта (г)

Для автоматического решения задачи выделения изображения объекта необходимо решить задачу выбора порога обработки РИ, обеспечивающего возможность сегментации РИ на односвязные области $S_M(\vec{\rho})$ и выделения пространственных стробов для дальнейшего анализа. Последующая обработка данных областей посредством фильтрации по связности [1] позволяет выделить изображение объекта, т.к. фоновая компонента РИ характеризуется существенной анизотропией и пятенной структурой.

Вследствие этого величина используемого порога во многом определяет эффективность обнаружения ДО. Для определения алгоритма выбора порога необходимо оценить статистические характеристики РИ.

На рис. 2 приведена гистограмма РИ (рис. 1,а). Наличие локального максимума на гистограмме связано с шумовой компонентой регистрируемых изображений.

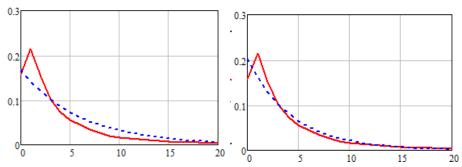


Рис. 2. Гистограммы распределения интенсивности РИ (сплошные линии) и их аппроксимации (штриховые линии) в классе распределения Лапласа (а) и обобщенного экспоненциального распределения (б)

Анализ разностных изображений (2), полученных в различных условиях (наблюдение наземных сцен и звездного неба) и в различных спектральных диапазонах (видимый, ближний, средний и дальний ИКдиапазоны), показал, что закон плотности вероятности их интенсивности аппроксимируется в классе обобщенных экспоненциальных законов распределения вида $p(|\Delta B|) = c \cdot \exp(-q|\Delta B|^{\gamma})$.

Для анализируемого РИ (рис. 1,б) $\gamma \simeq 1$, что соответствует аппроксимации в классе распределения Лапласа $p\left(\left|\Delta B\right|\right) = \frac{1}{\sigma} \cdot \exp\left(-\frac{\left|\Delta B\right|}{\sigma}\right)$. Использование в качестве оценок парамет-

ров распределения выборочных значений среднего и дисперсии распределения $p(|\Delta B|)$ приводит к неоднозначности, т.к. они не совпадают $m_{\Delta B}=4,89$, $\sigma_{\Delta B}=5,98$ (их несовпадение статистически существенно для большинства проанализированных совокупностей РИ). Использование в качестве параметра оценки дисперсии $\sigma_{\Delta B}^2$ распределения приво-

дит к выборочной дисперсии $s_L^2 = 1,03 \cdot 10^{-4}$. Аппроксимация в классе

распределений
$$p(|\Delta B|) = c \cdot \exp\left(-\frac{|\Delta B|}{A}\right)$$
 дает $s_L^2 = 6,78 \cdot 10^{-5}$ при

значениях параметров c = 0,201, A = 4,422, что ближе к использованию в качестве параметра распределения выборочного среднего.

Формирование строба РИ посредством пороговой обработки РИ с порогом $H=round(m_{\Delta B})=5$ приводит к формированию «пятенной» структуры РИ и устранению основной части фоновой компоненты в РИ. Дальнейшая обработка стробированного РИ сводится к фильтрации по связности [2] и выделению изображения объекта. Следует отметить, что в силу выполнения операций формирования РИ и фильтрации по связности выделенное изображение оказывается искаженным, в общем случае состоящим из двух фрагментов, каждый из которых соответствует изображению объекта на одном из анализируемых изображений. Для однозначного восстановления может быть использовано циклическое формирование РИ (алгоритмы суммарно-разностной обработки изображений).

Предложенный обобщенный алгоритм позволяет синтезировать и анализировать методы обнаружения объектов на основе единого алгоритма обработки пространственно-временных полей.

Алгоритмы обнаружения объектов на базе использования разностных изображений в условиях нестационарных фонов характеризуются наличием остаточной фоновой компоненты, для устранения влияния которой предложено осуществлять пороговую обработку РИ с порогом, равным выборочному среднему интенсивности РИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Левшин В.Л. Пространственная фильтрация в оптических системах пеленгации. М.: Сов. радио, 1987. 200 с.
- 2. Кочкин В.А. Автоматическое обнаружение динамических объектов в обзорно-поисковых оптико-электронных системах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2011. Специальный выпуск «Современные проблемы оптотехники». С. 101–113. (Приборостроение).

УДК 621.391 ББК 34

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОЕКТИВНЫХ ИСКАЖЕНИЯХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **Н.А. Кочкин**, ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «Циклон» (г. Москва, Россия)

AUTOMATIC DINAMIC OBJECTS DETECTION IN CASE OF PROJECTIVE IMAGE DISTORTIONS

© N.A. Kochkin, OJSC "Central Research Institute of the "Cyclone" (Moscow, Russia)

В статье анализируются алгоритмы обнаружения динамических объектов на сложном неоднородном фоне в условиях проективных искажений изображений. Рассмотрены особенности применения разностных методов компенсации фона, определения параметров проективных искажений.

Ключевые слова: бинаризация, взаимно-корреляционная функция, динамический объект, проективные искажения, обнаружение, разностное изображение.

The paper analyzes the detection of dynamic objects algorithm in a case of projective image distortions and complex non-uniform background. The features of the application of differences methods to compensate the background, determination of the parameters of the projective image distortions are descried.

Key words: binarization, cross-correlation function, the dynamic object, projective distortion detection, subtraction image.

Задача автоматического обнаружения динамических объектов на неоднородном протяженном фоне во временной последовательности регистрируемых изображений в реальном масштабе времени в настоящее время является одной из важнейших задач обработки изображений. Как в видимом, так и в инфракрасном диапазонах длин волн для формирования изображений преимущественно используются матричные фотоприемные устройства, обеспечивающие одновременную регистрацию изображения анализируемой области пространства предметов – анализируемой сцены. Методы решения задачи автоматического обнаружения преимущественно используют пространственно-временные изменения интенсивности последовательно регистрируемых изображений, вызванные относительным движением объектов, фона и регистратора. Существенным недостатком данных методов является их чувствительность к пространственно-временным изменениям фоновой компоненты регистрируемых изображений. Могут быть выделены следующие основные источники данных изменений [1, 2]: детерминированные геометрические трансформации изображений во времени, вызванные относительным движением регистратора и фоновой компоненты; изменения интенсивности отдельных фрагментов изображений, вызванные ракурсными изменениями изображений, флуктуации интенсивности изображения, вызванные шумами различной природы.

В общем случае процесс автоматического обнаружения динамического объекта может быть представлен в виде последовательного решения задач выделения изображения динамического объекта на сложном неоднородном фоне и определения его характеристик (например, координат, размеров и т. д.).

Наибольшие трудности вызывает выделение изображения динамического объекта на сложном неоднородном фоне. При априорной неопределенности пространственно-временных характеристик фоновой компоненты перспективными методами решения данной задачи являются разностные методы, использующие совокупность последовательно регистрируемых в моменты времени t_j изображений анализируемой сцены $g(\vec{\rho},t_j)$, определенных в области D_g . В условиях относительного движения объектов, фона и регистратора при анализе двух последовательно регистрируемых изображений (j=J,J+1) необходима компенсация смещения фона $\vec{r}_{J,J+1}$, что является необходимым условием формирования разностного изображения:

$$\Delta g_{II+1}(\vec{\rho}) = g(\vec{\rho}, t_I) - g(\vec{\rho} + \vec{r}_{II+1}, t_{I+1}). \tag{1}$$

Величина смещения фона должна определяться автоматически в реальном масштабе времени. Данная задача близка по методам решения задаче привязки изображений [1]. Регистрация изображений в условиях движения фона и регистратора сопровождается геометрическими преобразованиями изображений, искажающими фоновую компоненту изображений, что приводит к необходимости оценки параметров координатных преобразований изображений, для чего перспективно использование метода опорных точек [1], эффективное использование которого требует оптимизации их выбора по апертуре изображения. Фоновая компонента на последовательности зарегистрированных изображений обычно рассматривается как детерминированное поле интенсивности, подвергаемое координатному преобразованию, параметры которого постоянны для всей анализируемой сцены и описываются вектором параметров \vec{X}_{I} . Для определения $\vec{X}_{\scriptscriptstyle I}$ используются получаемые в реальном масштабе времени оценки смещений совокупности N опорных точек $\left.\left\{\vec{r}_{I\max}(t_J)\right\}\right|_{I=1\dots N}$, локализуемых по последовательности анализируемых изображений, регистрируемых в моменты времени t_I .

В [2, 3] предложены адаптивные корреляционные методы выбора опорных точек. В данных методах опорные точки материализуются как центры областей $s_I(x,y,t_1) \subset S_I$, I=1...N, являющихся подмножествами I-х фрагментов S_I эталонного изображения $g(\vec{\rho},t_J)$, приблизительно равномерно распределенных по изображению.

При выполнении условия квазиравноудаленного фона

$$\frac{L_{\text{max}} - L_{\text{min}}}{\left(L_{\text{max}} + L_{\text{min}}\right)^2} \ll \frac{\delta \psi}{4|\vec{V}|T_K},\tag{2}$$

где L_{\max} ; L_{\min} — максимальная и минимальная дальность до фоновой компоненты наблюдаемой сцены; $\vec{V} = (V_x; V_y)^T$ — скорость относительного движения регистратора и фона в картинной плоскости; T_K — время кадра; $\delta \psi$ — разрешающая способность (угловой размер элемента разложения растра матричного ФПУ), что характерно для дистанционного зондирования поверхности Земли, может быть использован алгоритм [2]. В данном алгоритме для минимизации ошибок определения вектора параметров \vec{X}_{J+1} текущего изображения $g(\vec{\rho},t_{J+1})$ фрагменты S_I автоматически выбираются по минимаксному критерию, примененному к максимумам взаимно-корреляционной функции (ВКФ) выделенной области и соответствующего фрагмента изображения.

При наблюдении протяженных неоднородных фонов с малой высоты или в наземных условиях условие (2) не выполняется, что приводит к необходимости модернизации предложенного метода. Для данных условий регистрации характерны большой динамический диапазон дальностей до фрагментов фоновой компоненты и резко выраженная неоднородность пространственных характеристик фона.

Учитывая, что оптической системой регистратора осуществляется проективное преобразование наблюдаемой сцены в картинную плоскость, в общем случае из-за конечной дальности до фона не совпадающую с фокальной плоскостью, при относительном смещении регистратора и фоновой компоненты предложено осуществлять предварительную сегментацию изображений сцены. При этом формируемая совокупность фрагментов анализируемых изображений S_I характеризуется постоянством параметров координатных преобразований по каждому из фрагментов:

$$S_I: \vec{X}_{J+1|S_I} = \text{const}, \ S_I \cap S_K = \emptyset|_{I \neq K}, \quad S_I \cup S_K = D_g|_{I,K=1...M}$$

В этом случае эталонное (и анализируемое) изображения разделяются на непересекающиеся фрагменты, перекрывающие все анализируемое изображение (область определения D_g). Определение параметров координатных преобразований в последовательности анализируемых изображений производится по каждому из фрагментов независимо. Границы фрагментов S_I и их количество априорно не определены, поэтому их формирование осуществляется по следующему алгоритму.

Рассмотрим два последовательно регистрируемых изображения. Определим среднее взаимное смещение последовательно регистрируемых изображений $g(\vec{r},t_j), \quad j=J,J+1$ посредством разностного или корреляционного функционала – ВКФ изображений вида

$$K_{JJ+1}(\vec{r}) = \frac{1}{D} \iint_D g(\vec{\rho}, t_J) - g(\vec{\rho} + \vec{r}, t_{J+1}) d^2 \rho,$$

где $D = D(\vec{\rho}, \vec{r}) = D_{gJ}(\vec{\rho}) \cap D_{gJ+1}(\vec{\rho} + \vec{r})$.

Оценка координат экстремума функционала $\vec{r}_{J,J+1} = \arg\min_{\vec{r}} K_{J,J+1}(\vec{r})$ определяет величину относительного смещения J-го и J+1-го изображений, минимизирующего их различия.

Сформируем разностное изображение по (1) с учетом краевых эффектов:

$$\Delta g_{JJ+1}(\vec{\rho}) = (g(\vec{\rho}, t_J) - g(\vec{\rho} + \vec{r}_{J,J+1}, t_{J+1}))D(\vec{\rho}, \vec{r}_{J,J+1 \max}), \quad (3)$$

построим его гистограмму, по которой выбираем нижний порог H_1 , отсекающий области шумовых выбросов.

Полученное разностное изображение (3) подвергнем пороговой обработке, формируя стробированное разностное изображение:

$$\Delta S_{JJ+1}(\vec{\rho}) = \begin{cases} \Delta g_{JJ+1}(\vec{\rho}), & \Delta g_{JJ+1}(\vec{\rho}) \ge H_1 \\ 0, & \text{uhave} \end{cases}$$
(4)

На рис. 1 [3] приведены исходное изображение, зарегистрированное в наземных условиях в дальнем ИК-диапазоне (a), разностное изображение $\Delta S_{II+1}(\vec{\rho})$, подвергнутое обработке по (4) (б).

Из сравнения видно исчезновение тонкой структуры исходного изображения (границы облаков, растительность на переднем плане, тонкая структура лесного массива), выделение границ пространственно распределенных структур. При этом различия параметров координатных преобразований существенны (по сдвигу по каждой из координат до 2 элементов разложения). Однозначное выделение (и обнаружение) динамического объекта (движущийся легковой автомобиль слева в центральной части изображения) невозможно из-за наличия остаточного сигнала на границе раздела леса и неба с просветами (отношение сигнал-помеха 0,78).

Подвергнем разностное изображение $\Delta S_{JJ+1}(\vec{\rho})$ бинаризации с порогом H_2 , превышающим половину динамического диапазона данного изображения по интенсивности, что позволяет осуществить операцию выделения границ требуемых фрагментов за счет фильтрации по связности и морфологической обработки, отсекая малоразмерные сегменты разностного изображения.

На следующем этапе реализуется алгоритм [2], применяемый независимо к каждому из выделенных фрагментов S_I (для приведенного примера три фрагмента M=3), при этом определяется совокупность векторов параметров координатных преобразований $\left\{\vec{X}_{J+1|S_I}\right\}$, $I\in 0...M$.

В результате формируется преобразованное J+1-ое изображение:

$$\tilde{g}_{J+1}(\vec{\rho}) = \sum_{I=1}^{M} g(G(\vec{\rho} - \vec{r}_{J,J+1\max}, \vec{X}_I), t_{J+1}) S_I(G(\vec{\rho} - \vec{r}_{J,J+1\max}, \vec{X}_I), t_{J+1}),$$

где $G(\vec{\rho},\vec{X}_I)$ – функционал, описывающий закон преобразования координат с вектором параметров \vec{X}_I .

Данное изображение вычитается из эталонного J-го изображения (результат в графическом виде представлен на рис. 1,в). Для разностного изображения отношение сигнал-помеха превышает 1,5, что позволяет выделить изображение объекта пороговой обработкой.

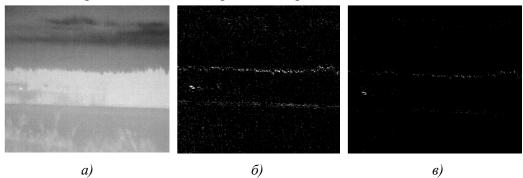


Рис. 1. Исходное изображение (а), разностное изображение (б), разностное изображение после координатных преобразований текущего изображения (в)

Рассмотренные алгоритмы необходимо использовать только на первом этапе решения задачи обнаружения динамического объекта, т.к. для последующих кадров обнаружение объекта проводится только в области текущего изображения, примыкающей к объекту.

Вторым фактором, ограничивающим применимость разностных алгоритмов, являются флуктуации интенсивности отдельных фрагментов изображений, вызванные ракурсными изменениями изображений и особенностями регистрации изображений в условиях движения регистратора. Одним их существенных факторов, вносящих существенные искажения в регистрируемые изображения, особенно в ИК-диапазоне, является использование чересстрочной развертки для формирования кадров. В условиях относительного движения объектов, фона и регистратора изображения фона и особенно объектов искажаются вследствие смещений элементов изображения, соответствующих четным и нечетным полукадрам, на величину $\sim 0,5VT_K$. При этом при наличии смещения в направлении строчной развертки это приводит к искажениям границ объекта в виде «бахромы», а в направлении кадровой развертки — к модуляции изображения объекта по интенсивности, вплоть до нарушения его связности.

Данные факторы оказывают существенное влияние преимущественно в условиях наблюдения протяженных объектов, т.е. при наблюдении с высоким разрешением (видеонаблюдение с малых высот, наблюдение наземных сцен с высоким разрешением). В этих случаях, кроме координатной привязки анализируемых изображений, необходима дополнительная обработка разностного изображения, компенсирующая флуктуации ин-

тенсивности изображений отдельных фрагментов изображений. На рис. 2,а приведены фрагмент изображения, полученного при аэросъемке в надир изображения Земли (высота полета 1 км) в среднем ИК-диапазоне, и разностное изображение, полученное в результате применения алгоритма [2] (б).

На данных изображениях наглядно видно наличие искажающих факторов («бахрома» в изображениях объекта (движущийся легковой автомобиль) и фона (обочина шоссе, стоящие автомобили, постройки; размытие динамического объекта), флуктуации изображений в области теней от объектов фона (тени от лесного массива и стоящих автомобилей на разностном изображении). Влияние ракурсных изменений изображений обусловлено высокой скоростью движения регистратора (до 15 элементов разложения за кадр в картинной плоскости). Белые точки на разностном изображении обусловлены наличием «битых» пикселей в матричном ФПУ, по расстоянию между которыми может быть оценена скорость регистратора.

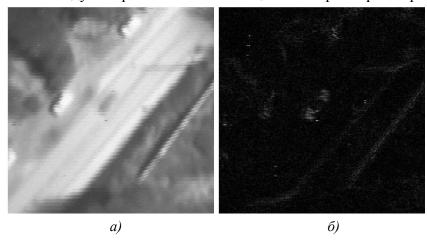


Рис. 2. Фрагмент исходного изображения (a) и разностного изображения (б)

Сформированное разностное изображение несет, кроме полезной информации о динамических объектах в виде разностного изображения вида совокупности фрагментов $R_{JJ+1}^M(\vec{\rho}) \subset \Delta g_{JJ+1}(\vec{\rho})$, $M \in 1...M_N$, локализованных в областях $D_R^M(\vec{\rho}) = F_J^M(\vec{\rho}) \cup F_{J+1I}^M(G(\vec{\rho} - \vec{r}_{J,J+1MAX}, \vec{X}_I)$, большое количество фоновых компонент, определяемых изменениями интенсивности фоновой компоненты при регистрации. Так как данные компоненты имеют интенсивность, сравнимую или превышающую интенсивность полезного сигнала, то пороговая обработка малоэффективна.

Нами предложен адаптивный алгоритм выделения изображения объекта, основанный на размерной селекции. На разностном изображении минимальный размер области, соответствующей наличию объекта, определяется минимальным размером объекта W [эл. разл.], приведенным к картинной плоскости.

Предложенный алгоритм может быть рассмотрен как алгоритм морфологической обработки изображений.

Базу морфологической обработки изображений [4] представляют операции расширения (дилатации) двоичного изображения B на структурный элемент A, определяемого как $B \oplus A = \bigcup_{\vec{b} \in B} A_{\vec{b}}$, где $A_{\vec{b}} = \{\vec{a} + \vec{b} : \vec{a} \in A\}$ — структурный элемент A, смещенный на вектор

 $A_{\vec{b}} = \{\vec{a} + \vec{b}: \vec{a} \in A\}$ — структурный элемент A, смещенный на вектор переноса \vec{b} .

Сужение (эрозии) двоичного изображения B на структурный элемент A определяется как $B \odot A = \{ \vec{b} \in B : \ \forall \vec{a} \in A \ (\vec{b} + \vec{a}) \in B \}$.

Известные операции предполагают фиксированную априорно заданную геометрию структурного элемента, не учитывающую растровую структуру изображений. Определим структурный элемент A_Q как односвязную область размером 3×3 эл. разл., имеющую заданное значение связности Q центрального элемента \vec{a}_0 . При этом зададим операцию определения связности заданного элемента \vec{d}_0 на множестве В по множест-

ву А как
$$SV(A,B,a_{\vec{0}}) = \sum_{i \in (A-d_{\vec{0}})} \vec{b}_i$$
. Тогда $Q = SV(A,A,\vec{a}_0) = \sum_{i \in (A-\vec{a}_0)} \vec{a}_i$.

Отметим, что заданный структурный элемент не имеет фиксированной геометрии.

Введем операцию расширения множества по связности, определив ее как

$$B \bigoplus_{Q} A_{Q} = B \cup \bigcup_{\vec{d} \notin B} A_{Q,\vec{d}} : SV(A_{Q}, B, \vec{d}) = \sum_{i \in (A_{Q} - \vec{d})} \vec{b}_{i} \ge Q.$$

Данная операция расширяет множество B на элементы, имеющие значение связности с множеством B, не менее заданной. Введем операцию сужения множества по связности, определив ее как

$$B \underset{\mathcal{Q}}{\odot} A_{\mathcal{Q}} = \{ \vec{b} \in B: \ \forall \vec{d} \in B \ SV(A_{\mathcal{Q}}, B, \vec{d}) = \sum_{i \in (A_{\mathcal{Q}} - \vec{d})} \vec{b}_i \geq \mathcal{Q} \}.$$

Данная операция сужает множество B на элементы, имеющие значение связности с множеством B, менее заданной.

Рассмотрим предложенный алгоритм.

1. Первой операцией данного алгоритма является пороговая обработка разностного изображения с порогом H_{S} , в результате которой разностное изображение преобразуется в бинарное (см. рис. 3,а).

$$\Delta S_{JJ+1}^{E}(\vec{\rho}) = \begin{cases} 1, & \Delta g_{JJ+1}(\vec{\rho}) \ge H_{S} \\ 0, & uhave \end{cases}$$
 (5)

На данном изображении видна «бахрома», остаточный сигнал от фона. Величина порога определяется по гистограмме разностного изображения, например по уровню $H_S=m+\sigma$, где m и σ — среднее значение и СКО интенсивности разностного изображения. Для гистограмм разностных изображений, хорошо аппроксимируемых экспоненциальны-

ми законами, это позволяет отсечь до 86 % площади изображения и обеспечить многосвязную структуру изображений.

2. Для компенсации влияния чересстрочной развертки применим к разностному изображению $\Delta S_{JJ+1}^{E}(\vec{\rho})$ операцию расширения множества по связности:

$$S_{JJ+1}^{P}(\vec{\rho}) = \Delta S_{JJ+1}^{E}(\vec{\rho}) \bigoplus_{Q} A_{Q}.$$

Результат выполнения данной операции приведен на рисунке 3,6 при Q=6.

Из сравнения рисунков 3,а и 3,б видно, что внутренняя структура области, соответствующей объекту, восстановлена. Побочным эффектом данной операции является восстановление фоновых областей.

3. Для выделения изображения объекта циклически применим к изображению $S_{JJ+1}^P(\vec{
ho})$ операцию сужения множества по связности:

$$S_{JJ+1}^{PK+1}(\vec{\rho}) = S_{JJ+1}^{PK}(\vec{\rho}) \underset{Q}{\odot} A_{Q}.$$

На рис. 3,в - 3,е приведены результаты применения данной операции на 1, 3, 5, 7 шагах при значении Q=5 .

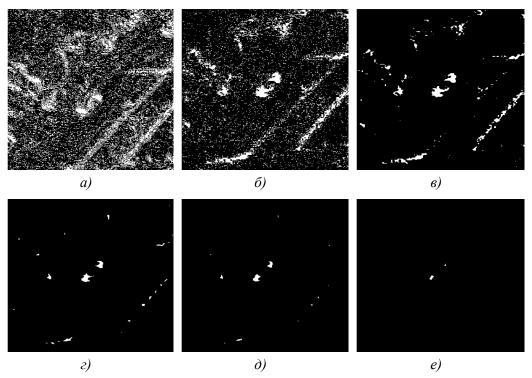


Рис. 3. Бинаризированное разностное изображение (а), результаты операций расширения множества по связности (б), операции сужения множества по связности (в- е) над изображением рисунок 2,б

Данная операция останавливается либо на K_M -м шаге, для которого количество локальных ненулевых областей на фильтруемом изображении достигает 2 (на разностном изображении каждому изображению динамического объекта соответствуют в общем случае две области), либо при достижении границы размерной селекции $K_M = W/2$.

Из сравнения рис. 2,а и 3,е видно, что ненулевые области разностного изображения (3,е), подвергнутого обработке по предложенному алгоритму, соответствуют динамическому объекту. Формирование неискаженного изображения объекта может быть осуществлено расширением полученных областей циклическим применением операции расширения множества по связности (количество шагов равно K_M).

Предложенные алгоритмы обеспечивают повышение точности обнаружения динамических объектов в условиях переменных по изображению параметров координатных преобразований при проективных искажениях изображений и выделение изображений объектов при пространственно-временных искажениях регистрируемых изображений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук [и др.]. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002. 352 с.
- 2. Кочкин Н.А. Адаптивный алгоритм обнаружения динамических объектов в условиях масштабно-ракурсных искажений изображений // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад. 2012. Вып. № 5 (09). С. 27—31. (Технические науки. Информационные технологии).
- 3. Кочкин Н.А. Адаптивный алгоритм обнаружения динамических объектов в условиях проективных искажений изображений // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : Сб. статей XI Всеросс. научно-техн. конф. Пенза : Приволжский дом знаний, 2013. С. 6—11.
- 4. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2005. 1070 с.

УДК 004.93 ББК 30

МЕТОДЫ ПОСТРОЧНОГО И СЛЕДЯЩЕГО ПОЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **И.И. Сальников**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

METHODS FOR TRACKING PROGRESSIVE AND ELEMENTWISE THE ANALYSIS OF COMPLEX BINARY IMAGE

© I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье приведены результаты разработки построчного и следящего методов анализа бинарных изображений. Рассмотрено приложение разработанного метода — анализ изображений при распознавании рукописных символов, стоящих отдельно.

Ключевые слова: распознавание образов, сегментация, построчный анализ, следящий анализ.

In a paper the outcomes of development of the analysis, line and tracking methods, of binary images are reduced. The application of the developed method – image analysis is considered at a discernment of hand-written numerals, standing separately.

Key words: pattern recognition, segmentation, line analysis tracking analysis.

ВВЕДЕНИЕ. Современные методы анализа изображений непрерывно совершенствуются. При этом решаются все более сложные задачи идентификации, классификации и распознавания образов.

Важным направлением анализа изображений является распознавание рукописных текстов. Если машинописные тексты в настоящее время распознаются достаточно уверенно, то распознавание рукописных текстов представляет существенную проблему. Это связано, в первую очередь, с огромным разнообразием почерков человека.

Отметим основные этапы распознавания рукописных символов:

- ввод изображения;
- бинаризация, то есть превращение входного изображения в силуэт;
- сегментация, то есть разделение на отдельные объекты;
- определение геометрических границ и пространственных параметров;
 - удаление изображений, имеющих размеры меньше заданных;
- последовательный анализ с определением характерных точек, например точек пересечения, точек возврата анализа, точек изменения направления анализа;
 - кодирование, формирование идентификационного кода;
- сравнение идентификационного кода с кодами, хранящимися в базе данных;
- принятие решения о принадлежности входного изображения тому или иному символу, то есть распознавание символа.

Бинаризация. В результате бинарной обработки исходного изображения получается картина силуэтов, где каждый объект представляет

собой бинарную пятенную картину. Наряду с силуэтами полезных объектов после бинаризации проявляются ложные силуэты, не связанные с объектами, а связанные с изменением яркости. В работе [1] подробно рассмотрен процесс бинаризации исходных изображений и различные методы определения порогового уровня яркости.

Сегментация. Позволяет разделить бинарные изображения по признаку пространственной связанности и определить локальные области (ЛО). В [2] используется 4-связанный формат анализа принадлежности текущей точки размечаемой области. Для разработки алгоритма сегментации определен 5-связанный формат, который является достаточным и полным [1], при этом 5-связанный формат представляет собой примыкающие к текущему элементу $S_{i,j}$ элементы: $S_{i-1,j}$ для текущей j-й строки и элементы $S_{i-1,j-1}$, $S_{i,j-1}$, $S_{i+1,j-1}$ для предыдущей (j-1)-й строки. Позиционное положение элементов растра включается в формат кода варианта связанности $K_{\rm BC}$ в виде

$$K_{\mathrm{BC}} = S_{i-1,j-1} \cdot 2^3 + S_{i,j-1} \cdot 2^2 + S_{i+1,j-1} \cdot 2^1 + S_{i-1,j} \cdot 2^0, \tag{1}$$
 где $S \in \{0; 1\}.$

На основании анализа всех вариантов связанности в [1] получено общее выражение для функции назначения номера текущего элемента:

$$\begin{split} N_e &= e[F(n,0)N_n + F(n,3\vee11)\min\{N_c,N_d\} + F(n,10)\min\{N_c,N_a\} + \\ &+ F(n,1\vee5\vee7\vee9\vee13\vee15)N_d + F(n,2)N_c + F(n,4\vee6\vee12\vee14)N_b + F(n,8)N_a], \end{split}$$

где
$$n$$
 — текущее значение $K_{\rm BC}$; $F(n,K_{\rm BC}) = \begin{cases} 1, & \text{при} & n = K_{\rm BC} \\ 0, & \text{при} & n \neq K_{\rm BC} \end{cases}$ —

фильтрующая функция, выделяющая различные варианты $K_{\rm BC}$; N_a , N_b , N_c , N_d — присваиваемые номера.

Из (2) вытекает алгоритм разметки ЛО, заключающийся в назначении номера для текущего элемента $S_{i,j}$. Это выполняется в растровом режиме, то есть проверяются строки бинарного изображения и все элементы каждой строки на предмет связности. При этом совокупность пространственно-связанных элементов определяет ЛО, имеющую координаты геометрических размеров.

Определение геометрических границ и пространственных параметров. Одновременно с разметкой ЛО выполняется измерение различных пространственных характеристик ЛО: координат геометрических границ ЛО, площади под ЛО и длина контура.

Под геометрическими границами ЛО с номером $N^{(q)}$ подразумевается некоторый прямоугольник, в который вписана пространственносвязанная ЛО, где индекс (q) означает принадлежность к q-локальной области. При этом координаты сторон прямоугольника следующие: для левой стороны $-X_{\pi}^{(q)}$, правой $-X_{\pi}^{(q)}$, верхней $-Y_{\rm B}^{(q)}$ и нижней $-Y_{\rm H}^{(q)}$.

Из определения координат геометрических границ вытекает алгоритм назначения кодов координат для текущего элемента:

$$\begin{split} i_{\Pi} = & \begin{cases} i_{e}, & \text{если} \quad i_{e} \leq i_{\Pi}^{(q)} \\ i_{\Pi}^{(q)}, & \text{если} \quad i_{e} > i_{\Pi}^{(q)} \end{cases}; \quad i_{\Pi} = \begin{cases} i_{e}, & \text{если} \quad i_{e} \geq i_{\Pi}^{(q)} \\ i_{\Pi}^{(q)}, & \text{если} \quad i_{e} < i_{\Pi}^{(q)} \end{cases} \end{split}$$

$$j_{B} = \begin{cases} j_{e}, & \text{если} \quad j_{e} \leq j_{B}^{(q)} \\ j_{B}^{(q)}, & \text{если} \quad j_{e} > j_{B}^{(q)} \end{cases}; j_{H} = \begin{cases} j_{e}, & \text{если} \quad j_{e} \geq j_{H}^{(q)} \\ j_{H}^{(q)}, & \text{если} \quad j_{e} < j_{H}^{(q)}, \end{cases} \end{split}$$

$$(3)$$

где i_e , j_e — коды координат текущего анализируемого элемента e в формате анализа связанности. Равенство $i^{(q)} = i_e$ означает, что коду координат присваивается значение индекса анализируемого элемента, а равенство $i^{(q)} = i^{(q)}$ означает, что при выполнении соответствующего условия код координаты сохраняется прежним.

Удаление помех. Дальнейшим этапом преобразования полученных бинарных изображений является удаление изображений малоразмерных объектов, являющихся помехами. То есть выполняется размерная селекция.

Размерная селекция позволяет удалить мелкие изображения помех по признаку непревышения максимальных значений размеров ΔX_{\max} , ΔY_{\max} и непреуменьшения минимальных значений размеров X_{\min} , ΔX_{\min} по соответствующим координатам. На этапе размерной селекции для каждой закончившейся q-локальной области вычисляются размеры $\Delta X_{(q)}$ и $\Delta Y_{(q)}$, которые затем сравниваются с максимальными и минимальными размерами, которые задают некоторый интервал значений. Если $\Delta X_{(q)}$ и $\Delta Y_{(q)}$ удовлетворяют размерной селекции, то формируется сигнал разрешения для данной локальной области (РЛО):

$$\text{РЛО}^{(q)} = \begin{cases} 1, & \text{если} & (\Delta X_{\min} \leq \Delta X^{(q)} \leq \Delta X_{\max}) \wedge (\Delta Y_{\min} \leq \Delta Y^{(q)} \leq \Delta Y_{\max}) \\ 0, & \text{если} & (\Delta X_{\min} > \Delta X^{(q)}) \vee (\Delta X^{(q)} > \Delta X_{\max}) \vee (\Delta Y_{\min} > \Delta Y^{(q)}) \vee (\Delta Y^{(q)} > \Delta Y_{\max}) \end{cases}, \tag{4}$$

причем для получения $PЛO^{(q)} = 1$ все условия объединяются по "И", а при невыполнении хотя бы одного условия разрешение не формируется, то есть $PЛO^{(q)} = 0$. Только при $PЛO^{(q)} = 1$ возможна выдача измеренных пространственных параметров потребителю. Более подробно вопросы измерения пространственных параметров исходных бинарных изображений изложены в [1, 3].

Для достижения цели исследования теоретических возможностей и разработки программно-аппаратного комплекса автором было разработано программное средство «ФЭКМ» для анализа изображений, которое использует пакет C++Builder. При этом реализованы различные режимы. На рис. 1 представлено изображение рабочего поля и основное меню, которое наряду со служебными операциями, такими как $\langle Bx \rangle$ изображение, $\langle Tekyщee$ изображение, $\langle Macштаб \rangle$, $\langle \Phi$ рагменты, $\langle Ahaлиз \rangle$, включает в себя пункт меню $\langle Theofpasobahus \rangle$. Этот пункт имеет подпункты, которые выполняют различные преобразования входного изображения, необходимые для анализа рукописных символов.

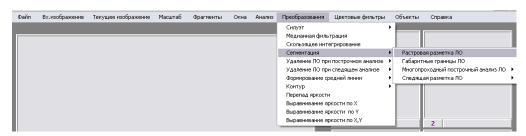


Рис. 1. Программное средство «ФЭКМ» для анализа изображений

Важной особенностью разработанного программного средства является возможность использовать предварительное скользящее интегрирование или медианную фильтрацию для сглаживания исходного изображения.

Однопроходный построчный анализ. На рис. 2 приведен пример сегментации бинарных изображений при построчном анализе, алгоритм которой описан выражением (2). Используется подпункт меню <Габаритные размеры>, в котором на сегментированных изображениях проставляются точки, показывающие координаты геометрических границ каждой ЛО. На рис. 2,6 и 2,в представлены случаи перекрытия геометрических границ ЛО.

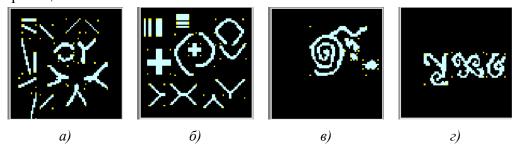


Рис. 2. Сегментация бинарных изображений и формирование геометрических размеров ЛО

Следующим этапом после сегментации всего исходного изображения на ЛО необходимо выполнить размерную селекцию, которая выполняется в подпункте меню <Удаление ЛО при построчном анализе>. На рис. 3 показаны примеры удаления ЛО двух типов — с неперекрывающимися геометрическими границами (верхний ряд) и с перекрывающимися геометрическими границами (нижний ряд). Удаление ЛО выполнялось с размерами, меньшими заданных, при построчном анализе: (рис. $3,6-\le 10$ пикс.; рис. $3,8-\le 15$ пикс.; рис. $3,r\le 40$ пикс.).

Из рис. 3 следует, что при построчном анализе изображения ЛО с неперекрывающимися геометрическими границами удаляются полностью, а в ЛО с перекрывающимися геометрическими границами удаляются лишь фрагменты (более светлые). То есть задача удаления ЛО с меньшими, чем заданные размеры, при построчном анализе не решается. Выходом из данной ситуации является использование следящего анализа, который будет описан ниже.

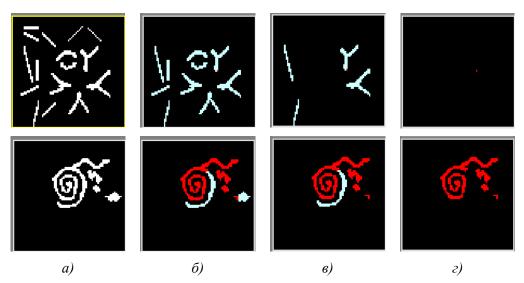


Рис. 3. Удаление ЛО с размерами, меньшими заданных, при построчном анализе: $6 \le 10$; $6 \le 15$; $2 \le 40$

Многопроходный построчный анализ сегментированных изо- бражений. После этапа сегментации и размерной селекции сегментированные реальные бинарные изображения необходимо проанализировать на предмет наличия всех изгибов и пересечений. Рассмотренный выше построчный анализ прост в реализации. Поэтому в работе был проанализирован подход, заключающийся в многопроходном построчном анализе. То есть если построчный анализ прост в реализации, то можно его использовать несколько раз в разном направлении.

Было рассмотрено бинарное изображение в виде многооборотной спирали (рис. 4). Для полного анализа такого изображения необходимо несколько проходов в разных направлениях. При этом число проходов равно 2n, где n — число оборотов спирали. На рис. 6 показано, что, выполнив 4 прохода по разным направлениям, до конца не удалось проанализировать изображения (непроанализированные участки показаны темным цветом).

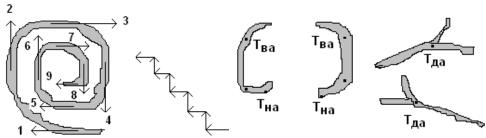


Рис. 4. Многопроходный построчный анализ

Рис. 5. Примеры возможных фрагментов символов

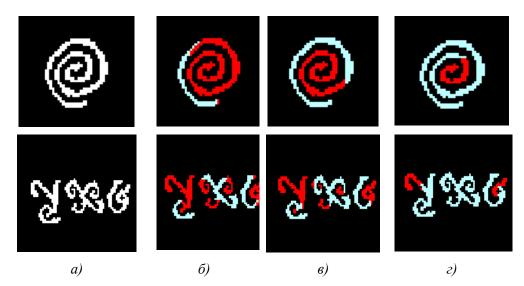


Рис. 6. Результат многопроходного построчного анализа: исходное изображение (а); однократный проход «вверх-влево» (б); многократный проход: «вверх-влево» и «вправо-вниз» (в); «вверх-влево», «вправо-вниз», «влево-вниз» и «вправо-вверх» (г). Темные области — неразмеченные участки

Другим недостатком алгоритма построчного анализа, описанного выше, является невозможность определения характерных точек: $T_{\rm Ha}$ — точки начала анализа; $T_{\rm Ba}$ — точки возврата анализа; $T_{\rm дa}$ — точки двоения анализа (рис. 5). Определение этих характерных точек необходимо для распознавания рукописных символов. Растровый построчный метод анализа прост в реализации, но для этого метода невозможно учесть все многообразие изображений объектов. Поэтому был разработан следящий алгоритм анализа изображений объектов, свободных от указанных недостатков.

Следящий анализ сегментированных изображений. Алгоритм следящего анализа сегментированных изображений с формированием характерных точек не должен зависеть от размеров объектов, толщины линий, наклона контура, числа ветвей. Это позволит эффективно использовать данный алгоритм при распознавании рукописных символов.

Для анализа сложных изображений любой формы был разработан следящий алгоритм, который позволяет не только определить все точки изображения, но и определить характерные точки — $T_{\rm Ha}$, $T_{\rm Ba}$, $T_{\rm Za}$. Следящий алгоритм может быть использован:

- для стирания сложных фигур, если в зоне локальной области (ЛО) находится другая ЛО, которую надо оставить. Или наоборот;
- формирования «скелета» изображения при распознавании рукописного текста, при этом $T_{\rm Ba}$ могут служить элементами кода символа;
- формирования «скелета» изображения для распознавании дорог, ручьев и рек при формировании электронных карт местности.

Следящий алгоритм заключается в следующем:

1) используется формат анализа (рис. 7), где 1, 3, 5, 7 – основные направления, а 2, 4, 6, 8 – диагональные;

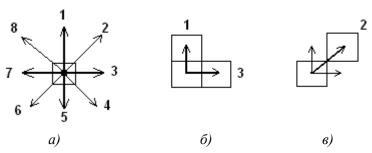


Рис. 7. Формат следящего анализа

2) каждый пиксель является источником анализа. Если есть пиксели, примыкающие ребром (рис. 7,б), то в память стекового типа заносятся координаты примыкающего пикселя и его направление:

$$SP++;$$
 $X_S[SP]=X_S;$ $Y_S[SP]=Y_S+1;$ $R_S[SP]=1;$
 $SP++;$ $X_S[SP]=X_S+1;$ $Y_S[SP]=Y_S;$ $R_S[SP]=3;$ (5)

3) если нет пикселей примыкающих ребрами, то проверяются диагональные направления (рис. 7,в):

$$SP++;$$
 $X_S[SP]=X_S+1;$ $Y_S[SP]=Y_S+1;$ $R_S[SP]=2;$ (6)

- 4) после проверки 4-х основных направлений и 4-х диагональных из стека извлекаются координаты точки, записанные последней;
- 5) из стека читается режим $R_S[SP]$, который указывает направление, в котором не нужен анализ, так как это направление предыдущего шага анализа. Если $R_S[SP]$ =1, то это 5 (рис. 7,а). Это позволяет избежать повторов;
- 6) при назначении режима сначала читается из стека режим для данной точки анализа. Если $R_S[SP]$ =0, то записывается номер направления, с которого пришел вектор анализа. Если $R_S[SP]$ \neq 0, то этот пиксель не анализируется. Таким образом, $R_S[SP]$ будет иметь только одно 1-е значение, когда анализ «напал» на этот пиксель впервые.

Число вариантов анализа будет определяться выражением

$$n_R = C_{n_P + n_G}^{n_{SP}} + C_{n_P + n_G}^{n_{SG}} + 1, (7)$$

где n_P — число прямых направлений; n_G — число диагональных направлений; n_{SP} — число прямых направлений в формате связанности; n_{SG} — число диагональных направлений в формате связанности; 1 — для R_S [SP] = 0.

На рис. 8 представлен результат работы программы, реализующей алгоритм следящего анализа, который выбирается подпунктами меню <Сегментация>, <Следящая разметка ЛО> (рис. 1). Из рис. 8 следует, что разработанный алгоритм следящего анализа не пропускает ЛО целиком, а также частично, в отличие от многопроходного построчного анализа.

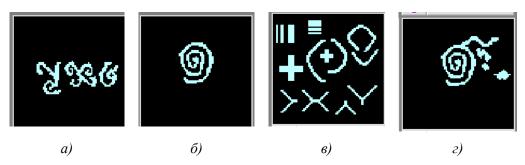


Рис. 8. Следящий анализ изображений: а) сложных ветвящихся; б) многооборотных спиралевидных; в) простых и накладывающихся друг на друга; г) малоразмерных изображений, попадающих в область большеразмерного изображения

На рис. 9 приведен результат использовании следящего анализа при удалении ЛО как с меньшими заданными размерами (б), (в), так и с большими размерами (г). Видно, что наложение геометрических границ изображений ЛО не влияет на процесс удаления ЛО.

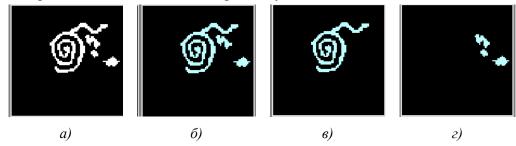


Рис. 9. Удаление ЛО при следящем анализе: а) исходное изображение; удаление ЛО с размерами: $\delta (10; 8) \leq 15; z) \geq 40$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. М.: Физматлит, 2009. 248 с.
 - 2. Хорн Б.К.П. Зрение роботов. М.: Мир, 1989. 487 с.
- 3. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. М. : Физматлит, $2011.-252\ c.$

УДК 004.93:681.3 ББК 34

ТРИПЛЕТНЫЕ ПРИЗНАКИ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ. ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

© **Н.Г. Федотов**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

TRIPLE FEATURES OF IMAGES RECOGNITION. APPLICATION FOR ANALYSIS THREE DIMENSIONAL SURFACE

© N.G. Fedotov, Penza State University (Penza, Russia)

Описаны подходы к формированию триплетных признаков распознавания. Рассматривается возможность применения триплетных признаков для анализа и распознавания трехмерных изображений. Детально рассмотрен частичный случай трехмерного изображения – трехмерная поверхность. Данный тип изображений встречается в целом ряде задач, например изображения, полученные с применением атомно-силового, или зондового микроскопа.

Ключевые слова: триплетный признак распознавания, анализ изображений, распознавание образов, трехмерная поверхность, атомно-силовая, или зондовая микроскопия.

Approaches to triple features formation are described. The possibilities of using the triple features of recognition for three dimensional surface analysis and recognition are considered. The present typo of images is encountered in the large series of task, for example images obtain by probe microscopy.

Key words: Triplet features recognition, three dimensional surface, probe microscopy. **E-mail**: nikolayfedotov@mail.ru

Введение

В задачах распознавания образов традиционно выделяют несколько этапов: подготовка к распознаванию (предварительная обработка), формирование признаков, решающая процедура. Исторически сложилось, что каждый этап с теоретической точки зрения в литературе освещается отдельно. В единое целое этапы распознавания сводились при рассмотрении конкретных задач распознавания. Походы к реализации первых двух этапов чаще всего различны и существенно зависят по общепринятому мнению от интуиции проектировщика распознающей системы.

Подход с позиций стохастической геометрии, предложенный в [1], позволил не только теоретически исследовать ранее малоизученный этап формирования признаков, но и дал большое количество новых конструктивных признаков распознавания и новые методы предварительной обработки изображений. Ключевым элементом разрабатываемой теории является введенное автором в работе [1] новое геометрическое трейспреобразование, связанное со сканированием изображений по сложным траекториям. Благодаря таким траекториям результат сканирования полнее отображает геометрические свойства окрестностей точек изображения, что ведет к повышению точности и универсальности распознавания. Трейс-преобразование является удобным инструментом анализа и распознавания движущихся объектов. Однако главная ценность этого преобра-

зования в том, что оно является источником нового класса конструктивных признаков распознавания – триплетных признаков, характерной особенностью которых является их структура в виде композиции трех функционалов [2, 3].

Благодаря данной структуре осуществляется генерация большого числа триплетных признаков, что расширяет круг решаемых задач распознавания, включает в него задачи с большим числом классов-образов, таких как распознавание иероглифов, распознавание объектов из области нанотехнологий в биологии, медицинской и технической диагностике [4].

В настоящее время выявлено свыше 200 функционалов из различных областей математики: теории вероятностей, математической статистики, теории рядов и фракталов, пригодных для формирования триплетных признаков. Полученные признаки несут следы генезиса соответствующих областей математики, благодаря чему достигается значительная гибкость и универсальность распознавания.

Варьируя свойства функционалов, включаемых в композицию, можно получать признаки с заданными свойствами. Важными свойствами являются инвариантность и сенситивность признаков по отношению к движению и линейным деформациям объектов. Инвариантность важна для независимости результата распознавания от движения и линейных деформаций, а следовательно, для достижения высокой надежности распознавания. Вместе с тем, для целого ряда практически важных задач в аэрокосмических исследованиях, в робототехнике (позиционирование инструмента) важно не только правильно распознать движущийся объект, но и определить параметры движений и линейных деформаций. Сенситивные признаки позволяют определить параметры движения и масштабных преобразований [2, 4].

Триплетные признаки широко применялись в задачах биологии [6, 9], биометрии [4], технической дефектоскопии [11]. Эффективность признаков связана с их геометричностью, большинство формул стохастической геометрии, а также такие геометрические преобразования, как Радона, Хо, Радона – Хо, Фурье представимы в виде композиции трех функционалов.

Дальнейшее развитие теории признаков на основе стохастической геометрии было направлено на использование сканирования по траекториям со случайными параметрами. Этот вид сканирования (и полученные на его основе трейс-преобразования и триплетные признаки) оказался эффективным при решении задач, в которых распознавание совмещено с поиском объектов, а также при распознавании случайных текстур [4, 8].

Разработано новое применение методов стохастической геометрии для предварительной обработки изображений [5]. Для ее реализации применялись трейс-преобразование и двойственное трейс-преобразование [4, 5]. С их помощью осуществлялась нелинейная фильтрация изображений: полигональная аппроксимация, выделение выпуклой оболочки, уменьшение зашумленности, а также сегментация изображений и подсчет количества объектов, обычно реализуемые с помощью структурных методов.

Дальнейшее расширение теории трейс-преобразований и триплетных признаков осуществлялось на распознавании полутоновых и цветных изображений, включая полутоновые и цветные текстуры [10–12].

В настоящей статье предлагается дальнейшее развитие теории трейс-преобразований и триплетных признаков на анализ и распознавание пространственных изображений. Для развития этой концепции рассмотрим математические модели 2D трейс-преобразований и 2D триплетных признаков.

1. Трейс-преобразование

Пусть F(x,y) – функция изображения на плоскости (x,y). Определим на плоскости сканирующую прямую $l(\theta,\rho,t)$, которая задается нормальными координатами θ и ρ :

$$x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta = \rho, \tag{1}$$

параметр t задает точку на прямой. Определим функцию двух аргументов $g(\theta, \rho) = \mathbf{T}(F \cap l(\theta, \rho, t))$ как результат действия функционала \mathbf{T} при фиксированных значениях переменных θ и ρ .

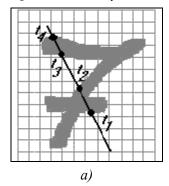
При проектировании распознающих систем используют дискретный вариант трейс-преобразования. Параметры сканирующей прямой образуют два дискретных множества $\Omega = \{\theta_1, \theta_2, ..., \theta_n\}, \ \Gamma = \{\rho_1, \rho_2, ..., \rho_m\}.$

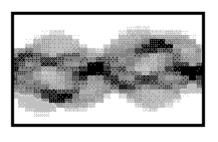
В результате действия функционала ${f T}$ получаем матрицу, элементами которой являются значения $t_{ij}={f T}(F\cap l(\theta_j,\rho_i,t))$. Детерминированное сканирование позволяет однозначно определить каждый элемент матрицы. Назовем эту матрицу трейс-матрицей. Она является результатом трейс-преобразования, или трейс-трансформантой.

Пусть изображение претерпело сдвиг и поворот, при этом возникло новое изображение F'. При этом же сдвиге и повороте прямая l перейдет в прямую l', оставаясь, таким образом, «вмороженной» в изображение. Требуется, чтобы $\mathbf{T}(F\cap l)=\mathbf{T}(F'\cap l')$. Это равенство должно быть верным для всех прямых и всех допустимых изображений. Такое свойство назовем полной инвариантностью функционала \mathbf{T} . Следует отметить, что понятие полной инвариантности весьма сильно расширяет возможности распознавания образов, ибо \mathbf{T} -функционал не обязательно определяется лишь сечением прямой изображения (числом пересечений, длиной секущей и т.д.). Для его вычисления может быть привлечена также и другая информация, например, свойства окрестности этого сечения. Круг функционалов и обрабатываемых изображений весьма широк.

Случайная величина $g = \mathbf{T}(F \cap l)$ при произвольном положении сканирующих линий l имеет распределение, не зависящее от сдвигов и поворотов изображения. Поэтому числовые характеристики этой случайной величины опять могут служить признаками изображений, которые определяются специальными техническими устройствами и системами.

Рис. 1,а объясняет вычисление трейс-преобразования. Здесь показано получение функции $f(\theta, \rho, t)$ действительной переменной при сканировании прямой l . Функция $f(\theta, \rho, \cdot)$ равна 1 в интервалах (t_1, t_2) и (t_{3},t_{4}) для бинарных изображений или интенсивности изображения для полутоновых изображений и принимает значение 0 для других значений t. Рассмотрим функционал \mathbf{T} от данной функции, и в качестве независимой переменной определим t. Таким образом, мы получаем $g(\theta, \rho) = \mathbf{T}(f(\theta, \rho, t))$. Мы называем функцию g результатом трейспреобразования – трейс-трансформантой. Например, функционал $T(f(\theta, \rho, t))$ может быть максимальным значением в области определения функции $f(\theta, \rho, \cdot)$. На рис. 1,а это величина $t_2 - t_1$. Если мы определим аналогичный функционал $\mathbf{T}(f(\theta, \rho, t))$ для всех прямых, сканирующих изображение цифры «7» (рис. 1,a) при различных углах θ и различных расстояниях ρ , мы получим трейс-матрицу (рис. 1, δ).





б)

Рис. 1. Выполнение трейс-преобразования

Заметим, что преобразования Радона, Хо, Радона – Хо могут рассматриваться как пример трейс-преобразования, но не совпадают с ним.

Трейс-преобразование является удобным инструментом для изучения движения и масштабных преобразований распознаваемых объектов. Соответствующие теоремы рассмотрены в [3, 4].

Завершая краткое рассмотрение трейс-преобразования, заметим, что множество всех направленных прямых (траекторий сканирования), пересекающих круг радиусом R с центром в начале координат («сетчат-ку»), однозначно параметризуется множеством

$$\mathbf{M} = \{ (\theta, \rho) : 0 \le \theta \le \pi, -R \le \rho \le R \}$$

при условии, что параметры $(0, \rho)$ и $(\pi, -\rho)$ задают одну прямую. Видно, что множество прямых на сетчатке есть в топологическом смысле не что иное, как лист Мёбиуса (или цилиндр, если траектории сканирования интерпретировать как ненаправленные прямые) [4].

Трейс-трансформанта, в частности трейс-матрица, может рассматриваться как промежуточный образ на листе Мёбиуса, или цилиндре. К

этому промежуточному образу можно вновь применить трейспреобразование.

2. Формирование триплетных признаков распознавания

Функционал Θ , соответствующий трейс-преобразованию, подробно рассмотрен выше. В дискретном варианте вычислений результат этого преобразования, или трейс-трансформанта, представляет собой матрицу, элементами которой t_{ij} являются, например, значения яркости изображения F при пересечении со сканирующей линией $l(\theta, \rho)$. Параметры сканирующей линии θ_j , ρ_i определяют позицию этого элемента в матрице. Последующее вычисление признака заключается в последовательной обработке столбцов матрицы с помощью функционала ${\bf C}$, который мы называем диаметральным функционалом. Результат применения функционала ${\bf C}$ к трейс-матрице (таблица) — 2π -периодическая кривая, показанная на рис. 1,в.

Дальнейшее сжатие информации осуществляется с помощью циркового функционала Θ , который отображает зависимости вида, приведенного на рис. 1,в, в число-признак. Таким образом, мы вычисляем новый триплетный признак как последовательную композицию трех функционалов:

$$\Pi(F) = \Theta \circ \dot{\mathbf{P}} \circ \mathsf{T}(F \cap L(\theta, \rho, t)), \tag{3}$$

где каждый функционал (Θ , P и T) действует на функции одной переменной (θ , ρ и t), соответственно.

При решении большинства практических задач триплетные признаки формировались при сканировании изображений решеткой параллельных прямых постоянным шагом. Далее осуществлялся поворот сканирующей решетки на угол $\Delta\theta$ и процесс сканирования продолжался. Суммарный диапазон изменения θ составлял π или 2π (см. выше).

3. Применение триплетных признаков для анализа и распознавания пространственных изображений

Идея распространения теории на анализ и распознавание пространственных изображений следует из самой структуры триплетных признаков (3). Если в этой трехзвенной структуре в качестве трейсфункционала $\mathbf{T}(F \cap L(\theta, \rho, t))$ выбрать расстояние до пространственной поверхности, то полученный триплетный признак можно применить для анализа и распознавания поверхностей. Однако на этом пути возникают существенные трудности – при сканировании периферийных участков сканируемого поля появляются проективные искажения. Следовательно, такой подход можно реализовать только с применением проективной геометрии для коррекции подобных искажений. Однако существует важный класс задач анализа и распознавания пространственных изображений, где проективные искажения не играют существенной роли. Речь идет об анализе изображений в области атомно-силовой микроскопии, где сканируемое поле может иметь диаметр, не превышающий несколько ангстрем. На рис. 2,а показан пространственный рельеф полистирольной пленки на стекле. Обычно в атомно-силовой микроскопии высота рельефа кодируется на скане цветом. На рис. 2,6 показано полутоновое изображение цветного скана, которое, в принципе, сохраняет информацию о высоте рельефа. Для анализа и распознавания подобных изображений, с помощью триплетных признаков, как сказано выше, необходимо изменить трейс-функционал. Результатом пересечения изображения и сканирующей прямой для данного типа изображений будет вектор, содержащий действительные положительные числа. Результат вычисления трейс-функции должен быть представлен одним числом и характеризовать некоторые особенности данного вектора.

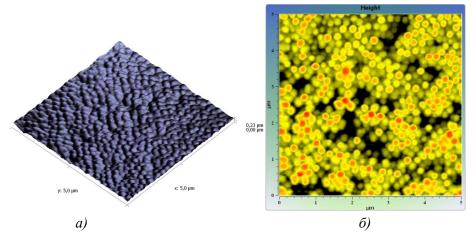


Рис. 2. Пространственный рельеф полистирольной пленки, полученный в атомно-силовом микроскопе

Для решения задач распознавания образа или текстуры необходимо получить их некоторые характеристики, которые позволят затем классифицировать представленный объект. Для данного типа изображения можно выделить две группы признаков: геометрические и рельефные.

В отличие от бинарных изображений, где контур объекта однозначно представлен его границей, на трехмерной поверхности его необходимо вычислить или сформировать. Для оценки большинства геометрических признаков объекта достаточно двух трейс-функционалов: длина пересечения и количество пересечений. В данном случае необходимо будет добавить некоторое условие, которое позволит выделить объект на сканирующей прямой.

Самый простой вариант: если высота имеет значение больше заданного порога, то данный участок принадлежит объекту. Данное трейспреобразование будет аналогом пороговой бинаризации объекта, с последующим применением триплетных признаков. Можно задать более сложное условие: отрезок с заданной высотой имеет длину больше некоторой величины. Данное преобразование совмещает в себе пороговую бинаризацию и фильтрацию. Возможно применение адаптивных методов, например, объекту принадлежат точки, высота которых больше средней на сканирующей прямой или на изображении в целом.

Применение триплетных признаков позволяет сделать более гибкой предварительную обработку изображений, так как появляется воз-

можность применить адаптивные алгоритмы в масштабе одной отдельно взятой линии изображения.

Отдельно стоит отметить распознавание текстур. Одним из подходов к распознаванию текстур является анализ повторяющихся элементов. Триплетные признаки распознавания позволяют дать численную оценку повторяющихся элементов на всех направлениях сканирующих прямых. Это могут быть как длина отрезка, высота каждой точки которого удовлетворяет некоторому условию, так и частота возникновения подобных отрезков или частота следования спадов и подъемов. Триплетные признаки позволяют дать численную характеристику практически любым изменениям рельефа.

В предшествующих работах [3, 4] были предложены два подхода к формированию триплетных признаков распознавания: экстракция и автоматическая генерация. На сегодняшний день эффективные методы автоматической компьютерной генерации разработаны только для бинарных изображений. Обработка трехмерных поверхностей близка к работе с полутоновыми изображениями, поэтому для формирования информативных признаков распознавания необходимо использовать метод экстракции или совместить оба метода. Совмещение подразумевает конструирование разработчиком трейс-функционала, который характеризует заданные параметры объекта на сканирующей прямой. Для данного трейсфункционала возможна автоматическая генерация множества триплетных признаков с последующим отбором наиболее информативных.

Можно предложить иной подход к анализу и распознаванию пространственных изображений также на основе стохастической геометрии. Этот подход исключает необходимость преодоления проективных искажений. Он основан на сферическом сканировании пространственных объектов и определении, в конечном итоге, признаков изображений в виде композиции трех функционалов, которые мы ранее назвали триплетными. Этот подход рассмотрен в настоящем журнале, статья Н.Г. Федотов, А.А. Сёмов «3D трейс-преобразование и его свойства».

В заключение следует отметить, что триплетные признаки распознавания являются очень гибким инструментом анализа изображений. Обширные возможности их расширения и модификации позволяют применить их для эффективного решения широкого круга задач [4]. Ведется постоянная работа по расширению теории и увеличению эффективности применения триплетных признаков. На сегодняшний день нет таких типов изображений, для анализа которых триплетные признаки были бы определенно неприменимы. Доказана теорема о сводимости любых интегральных признаков к триплетным признакам изображений.

Работа выполнена при поддержке гранта Р Φ ФИ, проект 12-07-00501.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Федотов Н.Г. Методы стохастической геометрии в распознавании образов. M.: Радио и связь, 1990. 144 с.
- 2. Fedotov N.G. The Theory of Image-Recognition Features Based on Stochastic Geometry. Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. Vol. 8, N2, 1998, pp. 264 266.
- 3. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов, основанная на стохастической геометрии // Искусственный интеллект. 2000. № 2. C.~207-211.
- 4. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основании стохастической геометрии и фундаментального анализа. M.: Физматлит, 2009. 304 c.
- 5. Федотов Н.Г., Шульга Л.А., Моисеев А.В. Теория признаков распознавания и предварительной обработки изображений на основе стохастической геометрии // Измерительная техника. -2005. -N 8. -C. 8–13.
- 6. Федотов Н. Г. Формирование признаков распознавания сложноструктурированных изображений на основе стохастической геометрии / Федотов Н. Г., Кольчугин А. С., Смолькин О. А. [и др.] // Измерительная техника. -2008. -N 2. -C. 56–58.
- 7. Fedotov N.G., Shulga L.A., Moiseev A.V. Analysis of Properties of Recognition Features Based on the Stochastic Geometry for Different Modes of Image Scanning // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 15, 2005, No. 1. pp. 163–166.
- 8. Fedotov N.G., Shulga L.A., Moiseev A.V. Random Scanning for Speedier Systems of Pattern Recognition Based on Stochastic Geometry Methods // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 15,2005, No. 2. pp. 387–388.
- 9. Fedotov N.G., Shulga L.A., Roy A.V. Visual Mining for Biometrical Systems Based on Stochastic Geometry // Pattern Recognition and Image Analysis, Vol. 15, 2005, No. 2. pp. 389–392.
- 10. Nikolay Fedotov, Sergey Romanov, Daria Goldueva Application of triple features theory to the analysis of half-tone images and colored textures. Feature construction along stochastic geometry and functional analysis / Computer and Information Science, 2013 z. Vol. 6, No. 4.
- 11. Fedotov N.G., Mokshanina D.A. Recognition of Halftone Textures from the Standpoint of Stochastic Geometry and Functional Analysis // Pattern Recognition and Image Analysis. (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2010. T. 20. № 4. C. 551–556.
- 12. Fedotov N.G., Shul'ga L.A., Moiseev A.V. Random Scanning for Speedier Systems of Pattern Recognition Based on Stochastic Geometry Methods // Pattern Recognition and Image Analysis. (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2005. T. 15. № 2. C. 387–388.

УДК 004.93:681 ББК 30

3D ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЕГО СВОЙСТВА

© **Н.Г. Федотов**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия) © **А.А. Сёмов**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

3D TRACE TRANSFORM AND ITS PROPERTES

© N.G. Fedotov, Penza State University (Penza, Russia)

© A.A. Syemov, Penza State University (Penza, Russia)

В статье предлагается новый подход к распознаванию 3D-изображений, основанный на методах стохастической геометрии и функционального анализа. Данный метод полностью инвариантен к группе движений 3D-объектов и чувствителен к масштабированию, что позволяет получать признаки, более устойчивые к координатному шуму. Сканирование 3D-объекта производится сеткой параллельных плоскостей, после чего полученные двумерные изображения сканируются сеткой параллельных прямых. Признаки двумерных фигур извлекаются на основе 2D трейс-преобразования, введённого и разработанного Н.Г. Федотовым.

Ключевые слова: трейс-преобразование, 3D-распознавание образов, гипертрплетные признаки, свойство инвариантности к повороту и переносу.

In this article authors proposes a new approach to the recognition of 3D images based methods of stochastic geometry and functional analysis. This method is totally invariant to a group of motions of 3D objects and sensitive to scaling, which would allow to obtain features more resistant to coordinate noise. 3D object is scanned with a grid of parallel planes, and then received two-dimensional images is scanned with a lattice of parallel lines. Features of 2D figures are extracted by Trace transform, introduced and developed by N.G. Fedotov.

Key words: Trace transform, 3D pattern recognition, hypertriple features, invariance property to rotation and translation.

E-mail: nikolayfedotov@mail.ru, t_pmd3c@mail.ru

Математическая модель трейс-преобразования

Пусть F — исходная трёхмерная модель. Определим плоскость как касательную к сфере с центром в начале координат, проходящую через отмеченную точку X и на расстоянии r от начала координат с заданными углами ω и φ , где $\eta = [\cos\varphi\,\sin\omega\,,\,\sin\varphi\,\sin\omega\,,\,\cos\omega\,]$ — единичный вектор в R3, ω — угол между плоскостями $\Pi(\eta,r)$ и OXY, φ — угол между $\Pi(\eta,r)$ и OXZ.

Сканирование модели F производится сеткой параллельных плоскостей с расстоянием Δ h между плоскостями и углами ω и φ . Взаимное положение 3D-объекта F и каждой сканирующей параллельной плоскости $\Pi(\eta(\omega,\varphi),r)$ характеризуют числом: $G=HyperT(F\cap\Pi(\eta(\omega,\varphi),r))$. В качестве указанной характеристики могут выступать число пересечений плоскости с исходным объектом, площадь сечения или свойства окрестности такого сечения и т.п.

Затем сканирование производится для нового угла $\omega + \Delta \omega$ с тем же шагом Δ h между сканирующими плоскостями и по тому же правилу *HyperT*. Так как $\Pi(\eta (\omega + \pi, \varphi), r) = \Pi(\eta (\omega, \varphi), r)$, то необходимо произ-

вести сканирование всего $\pi/\Delta\omega$ раз для совершения одного обхода модели F при фиксированном угле ϕ .

Далее сканирование производится для нового значения угла $\phi + \Delta \phi$. Аналогично производится «обход» объекта от $\Pi(\eta)$ (ω , $\phi + \Delta \phi$),r) до $\Pi(\eta)$ ($\omega + \pi - \Delta \omega$, $\phi + \Delta \phi$),r) для каждого угла ϕ . Важно отметить, что изменять углы важно не произвольным образом, а согласно построению опорной сетки, чтобы плотность плоскостей в пространстве была равномерной. Так, перебор всех углов сетки плоскостей ω и ϕ в топологическом смысле для непрерывного случая даёт модель концентрических сфер с центром в начале координат.

Рассмотрим отдельно единичную сферу. Каждой плоскости сопоставим точку её касания с данной сферой. Для дискретного случая на карте глобуса вблизи полюсов наблюдается более плотное скопление точек, чем у экватора. Поэтому необходимо другим способом построить опорную сетку, обладающую равномерным распределением (плотностью) точек на сфере.

Такую сетку можно получить разными способами. Например, использовать правильные многогранники, вписанные в сферы. Но такой тип многогранников ограничен сверху числом n=20. Другой путь состоит в построении сетки как множества точек, являющихся пересечением прямых, проходящих через центр сферы, с самой сферой (рис. 1). На данной сфере отсутствуют полюсы, или, иначе, каждую построенную точку можно считать полюсом. В результате данных построений на сфере образуются треугольники.

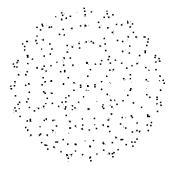


Рис. 1. Распределение точек на промежуточном шаге – появление четырёх полюсов

Главная цель этого способа состоит не в построении строго равномерного распределения точек на сфере (как в случае правильных многогранников). Необходимо, чтобы при повороте данная опорная сетка почти совпала сама с собой, и максимальная ошибка отклонений точек друг от друга была контролируемой величиной, зависящей от исходного количества точек сетки (рис. 2). Строгое доказательство факта о равномерности такого распределения точек и оценка их максимального отклонения выходит за рамки данной статьи.

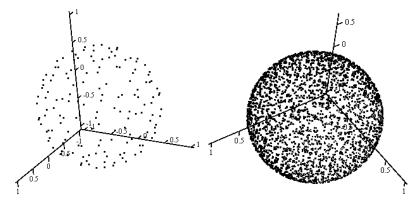


Рис. 2. Распределений точек на сфере для разного количества точек

Результат вычислений HyperT-функционала зависит от трёх параметров плоскости (r, ω, φ) . Поэтому если каждой фигуре, полученной при сечении исходной трёхмерной модели плоскостью, сопоставить некоторый информативный признак $\Pi(F)$ по правилу HyperT, то при численном анализе результат 3D трейс-преобразования удобно представить в виде трёхмерной гипертрейс-матрицы 3-GM, у которой ось 0ω направлена горизонтально, ось 0φ — вертикально, ось 0r — вглубь. Например, каждый вертикальный столбец матрицы содержит элементы-признаки, которые есть результат пересечения сканирующих плоскостей и исходного объекта при обходе всех углов φ (от φ до $\varphi + \pi - \Delta \varphi$) для одинаковых значений угла ω и расстояния r. Таким образом, паре $(\omega_i, \varphi_j, r_k)$ соответствует элемент матрицы с номером (i, j, k) и значением $\Pi(F)$.

После заполнения трёхмерной гипертрейс-матрицы с помощью гипердиаметрального функционала *HyperP* обрабатывается глубинная строка матрицы 3*GM*. Его ОНЖОМ задать, например, $HyperT(\omega, \varphi, r)dr$. После обработки данная трёхмерная гипертрейс-матрица 3-GM становится двумерной матрицей 2GM, каждый столбец и строка которой представляет собой 2π -периодическую кривую. Применяя постолбцовую обработку посредством гиперкругового функционала для матриц $Hyper\Omega$, получаем набор чисел — вектор значений, непрерывным аналогом которого будет 2π -периодическая кривая. После этого к полученному набору чисел применяют гиперкруговой функционал для вектора $Hyper\Theta$, что приводит к появлению некоторого признака изображения Res(F). Этот функционал можно задать, например, амплитудой второй гармоники в быстром разложении Фурье.

Таким образом, признак исследуемого изображения обладает структурой в виде композиции четырёх гиперфункционалов:

$$Res(F) = Hyper\Theta \circ Hyper\Omega \circ HyperP \circ HyperT(\Pi(F_{sect})).$$

Опишем теперь, как получить информативный признак $\Pi(F)$ фигуры в плоскости сечения. Каждую фигуру, получившуюся в сечении исходной 3D модели плоскостями, необходимо просканировать, чтобы извлечь некоторые значимые признаки (например, периметр контура, осо-

бые точки и т.п.). Для нахождения какого-либо признака плоского изображения фигуры используется 2D трейс-преобразование, введённое и описанное Н.Г. Федотовым [1].

Изображение фигуры сечения $F_{\rm sect}$ сканируется решеткой параллельных прямых $l(p,\,\theta)$ с расстоянием Δp между линиями. Параметры p и θ являются полярными координатами линии l в плоскости сечения. Заметим, что ориентация системы координат в плоскости сечения совершенно неважна, т.к. признак, полученный с помощью 2D трейспреобразования, полностью инвариантен к переносу и повороту в плоскости 2D-изображения [3].

Взаимное положение изображения F_{sect} и каждой сканирующей линии l характеризуется числом, вычисляемым по некоторому правилу T: $g = T(F \cap l)$. В качестве указанной характеристики могут выступать длина части прямой, лежащая внутри изображения, или свойства окрестности такого сечения и т. п.

Затем сканирование производится решеткой линий с тем же шагом Δp для нового значения угла $\theta + \Delta \theta$. Результат вычислений *трейс*функционала T зависит от двух параметров прямой p и θ . При численном анализе результат *трейс* преобразования принято представлять в виде *трейс* матрицы 2GM, у которой ось 0θ направлена горизонтально, а ось 0θ — вертикально. Например, каждый столбец матрицы содержит значения, вычисляемые по всем прямым при одинаковом значении угла θ . Если прямая θ не пересекает изображение, то θ 0 полагают равным нулю.

После заполнения *трейс*-матрицы с помощью диаметрального функционала P обрабатываются столбцы *трейс*-матрицы. Его можно задать, например, как число пересечений изображения $g(\rho, \theta)$ прямой $\theta = \theta_0$. Результатом этой обработки является появление набора чисел — вектор значений, непрерывным аналогом которого будет 2π -периодическая кривая. После этого к полученному набору чисел применяют круговой функционал Θ , что приводит к появлению некоторого числа — признака 2D изображения $\Pi(F)$. Его можно задать, например, как максимум функционала P по переменной θ .

Таким образом, признак исследуемой 3D-модели обладает структурой в виде гипертриплетной композиции гиперфункционалов, один из которых применяется к триплетной совокупности воздействия трёх 2D-функционалов:

$$Res(F) = Hyper\Theta \circ Hyper\Omega \circ HyperP \circ HyperT(\Theta \circ P \circ T(F \cap l(\rho, \theta))).$$

Так как сканирование объекта и его обработка выполняются в одной технике, то уже на этапе сканирования можно формировать признаки 3D-модели.

Инвариантность признаков к переносу

Свойство инвариантности к переносу для любого функционала ζ будет иметь вид: $\zeta(f(x+a)) = \zeta(f(x))$ для всех допустимых f(x) и $\forall a$.

Так как объект сканируется сеткой параллельных плоскостей, то перемещение исходного 3D-объекта увеличивает только размер соответствующих трейс-матриц на количество нулевых элементов путём их перемещений вдоль осей 0r, при этом все строки матрицы останутся на своих местах и значение признака $\Pi(F)$ не изменяется. Таким образом, для того чтобы признак Res(F) (и признак $\Pi(F)$ плоского сечения) был инвариантен к переносу, необходимо и достаточно, чтобы гиперфункционал НурегР (и функционал P) обладали свойством: $\zeta_{x+a\neq 0} (f(x+a)) = \zeta_{x\neq 0} (f(x))$ для всех допустимых f(x) и $\forall a$.

Инвариантность признаков к повороту

В функциональном виде инвариантность признаков выглядит следующим образом: $\zeta(f(Z \cdot x)) = \zeta(f(x))$ для всех допустимых f(x) и $\forall a$, где Z – трёхмерная матрица поворота. В терминах трейс-матриц строки и столбцы матрицы 2GM сдвинутся на ω -ое и ϕ -ое число вперёд или назад, соответственно, в зависимости от знака углов. При этом порядок их следования друг за другом не изменится. Соответственно, её гипертрейс-образ (графическое представление гипертрейс-матрицы) будет сдвинут вдоль горизонтальной 0 см и вертикальной оси 0 см на соответствующее расстояние, равное углам поворота.

трейс-Более подробно свойства инвариантности 2Dпреобразования, которые будут аналогичны для 3Dтрейспреобразования, можно найти в [4].

Чувствительность признаков к масштабированию

Свойство чувствительности к масштабированию с порядком чувствительности k для любого функционала ζ будет иметь $\zeta(\mu \cdot f(x)) = \mu^k \cdot \zeta(f(x))$ для всех допустимых f(x) и $\forall a$.

При гомотетии диапазон глубинной строки матрицы 3GM (ось 0r) расширяется ($\mu > 1$) или сужается ($\mu < 1$), т.к. масштабированный объект F' пересечет в μ раз больше или меньше плоскостей, чем исходный объект F. Поэтому количества ненулевых значений в i-й строке матриц 3GM' и 3GM для объектов F' и F, соответственно, будут отличаться в μ раз.

Свойства и примеры функционалов

Варьируя свойства каждого из семи указанных функционалов, можно получить большое количество признаков с заданными свойствами по исходной трёхмерной модели. Выбор конкретного типа функционалов исходит из особенностей анализируемого объекта и преследуемой цели [2].

Ниже кратко приведён обзор некоторых видов функционалов:

- 1. Гипертрейс-функционал:
- HyperT1 (полный тип функционала): полностью реализуются гипертриплетные и триплетные признаки при сечении плоскостями. Используется для анализа геометрических особенностей исходного трёхмерного объекта, поиска по 3D-моделям, сегментации объектов в 3Dсцене и т.п.;

- *НурегТ*2 (сокращённый тип функционала): полностью реализуются только гипертриплетные признаки 3D при сечении плоскостями, а триплетные признаки 2D только частично;
- *НурегТ*3 (сокращённый тип функционала): полностью реализуются только триплетные признаки 2D при проекции на опорные плоскости, а гипертриплетные признаки 3D только частично. *НурегТ*1 и *НурегТ*2 используются для поиска в базе данных по 3D моделям. Обладают значительно меньшими вычислительными затратами по сравнению с *НурегТ*1;
- *HyperT4 Hyper*T6: аналогичны функционалам *HyperT1 HyperT3* с той лишь разницей, что используется не сечение фигуры параллельными плоскостями, а проекции на опорные плоскости около единичной сферы.

Стоит отметить, что вместо сечений, которые связаны с формой объекта, можно ещё использовать набор касательных плоскостей к объекту. Они находятся в той же технике сканирования, как две крайние плоскости сечения при разрезе объекта параллельными плоскостями.

- 2. Трейс-функционалы:
- -T1: подсчёт числа пересечений 2D-фигуры со сканирующей прямой;
- T2: Вычисление суммы длин отрезков, высекаемых сканирующей прямой на 2D-изображении. Площадь фигуры $T\big(F\cap l\big) = \int\limits_{F\cap l\neq 0} f\big(\rho, \;\; \theta, \;\; t\big) dt \; ;$
- T4: Вычисление максимальной длины отрезка, высекаемого сканирующей прямой на 2D-изображении. $T(F \cap l) = \max_{t,F \cap l \neq 0} (f(\rho, \theta, t))$.
 - 3. Гипердиаметральный и диаметральный функционалы для матрицы:
- HyperP2: площадь многоугольника S, описанного около 2D-изображения проекции, где Δp расстояние между прямыми: $P2 = \sum_{i=1}^n T2_{ij} \cdot \Delta \rho$;
- *НурегР*3: Если число ненулевых элементов в столбце трейсматрицы равно k, то берётся 1-й ненулевой элемент, иначе значение *Нурег* Ω 3 равно 0;

- HyperP8:
$$P(T(F \cap l)) = \int_{-R}^{R} T1(\rho, \theta) d\rho$$
.

- 4. Гиперкруговой и круговой функционалы для вектора:
- $-Hyper\Theta$ 2: $\Theta 2 = \max_{\Omega} (Hyper\Omega);$
- $-Hyper\Theta 4: \Theta 4 = \sum_{i=1}^{n} (Hyper\Omega)/n;$

- Hyper
$$\Theta$$
 7: Θ 7 = $\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (\text{Hyper}\Omega - \Theta 4)^{2}/(n-1)}$.

Как видно, функционалы, используемые при построении триплетных и гипертриплетных признаков, не обязательно имеют аналитическое представление — это может быть и некоторое эмпирическое правило, алгоритмически вычисляемое в данной технике сканирования.

Результаты

Сейчас авторами проводятся эксперименты по практической проверке предложенного метода. Начальные результаты, полученные на простейших объёмных фигурах, свидетельствуют об эффективности предложенного метода.

Ввиду того, что данный вопрос представляет собой отдельную большую тему, а цель данной статьи состоит в описании 3D трейспреобразования и его свойств, то текущие практические результаты здесь не приводятся.

И в заключение стоит отметить, что на практике в силу дискретности процесса сканирования мы можем говорить лишь о приблизительной инвариантности признака. Тем не менее, уменьшение шага сканирования ведёт к увеличению точности сканирования. Поэтому становится весьма актуальной задача исследования свойств устойчивости гипертриплетных признаков при распознавании объектов в зависимости от шага сканирования и координатного шума.

Работа выполнена по гранту РФФИ проект № 12-07-00501.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Fedotov N.G. The Theory of Image-Recognition Features Based on Stochastic Geometry // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. 1998. V. 8. № 2. P. 264-266.
- 2. Fedotov N.G., Kol'chugin A.S., Smol'kin O.A., Moiseev A.V., Romanov S.V. Medical and Biological Measurements: the Formation of Features for Recognizing Complex Images Based on Stochastic Geometry// Measurement Techniques. 2008. T. 51. № 2. C. 199-207.
- 3. Федотов Н.Г. Методы стохастической геометрии в распознавании образов. М.: Радио и связь, 1990. 144 с.
- 4. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. $M.: \Phi$ изматлит, 2009. 304 c.
- 5. Fedotov N.G., Mokshanina D.A. Recognition of Halftone Textures from the Standpoint of Stochastic Geometry and Functional Analysis Pattern Recognition and Image Analysis. (Advances in Mathematical Theory and Applications). 2010. T. 20. № 4. C. 551-556.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УДК 004.94 ББК 30

ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ И ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ СТУДЕНТОВ

© **Т.В.** Андреева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

EXPERT'S QUALITY EVALUATION OF STUDENTS' SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATIVE PROJECTS

© T.V. Andreyeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье предложена иерархическая система оценивания качества научноисследовательских работ и инновационных проектов студентов на основе экспертных методов. Интегральная оценка качества построена на основе множества критериев, характеризующих такие системные показатели, как актуальность и обоснованность задач исследования, научная новизна, теоретический и прикладной уровень выполненной работы, инновационная составляющая, научная компетентность автора, качество представления результатов исследования. Предложена структура и разработан алгоритм функционирования информационной системы для автоматизации процедур экспертного оценивания.

Ключевые слова: научно-исследовательская работа, инновационный проект, качество, экспертные оценки, автоматизация, информационная система.

The article deals with the hierarchical system of quality evaluation of students' scientific research and innovative projects based on expert methods. The integral quality evaluation is based on a set of the criteria characterizing such system indicators, as relevance and validity of research problems, scientific novelty, theoretical and applied level of the work performed, an innovative component, author's scientific competence, quality of representation of research results. The author has given the structure and the algorithm of the information system for the automation of expert evaluation.

Key words: scientific research, innovative project, quality, expert evaluations, automation, information system.

E-mail: atv@pgta.ru

Проблемы воспроизводства научных и научно-педагогических кадров и подготовки высококвалифицированных специалистов для наукоемких отраслей современного производства являются в настоящее время одними из ключевых для социально-экономического развития России. Концепция Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2014—2020 годы в качестве одной из основных целей обозначает «стимулирование притока талантливой молодежи и закрепление в сфере науки, образования и высоких технологий...». Для достижения указанной цели в рамках группы ме-

роприятий «Популяризация среди молодежи научной и творческой деятельности, выявление талантливой молодежи» предусматриваются «организация и проведение всероссийских и международных молодежных научных конференций, олимпиад и конкурсов», «обеспечение развития системы научно-технического творчества молодежи» [1].

Решение этих задач усиления требует роли научноисследовательской и инновационной деятельности студентов (НИДС) в вузе как фундамента развития вузовской науки, как действенного элемента подготовки квалифицированных специалистов. Потребность развития НИДС актуализируется и в связи с обострением кадровых проблем сферы науки, таких как нарастание возрастных и квалификационных диспропорций кадрового состава, нарушение преемственности в научных школах. Создание благоприятных условий для привлечения молодежи к научному творчеству, формирование системы поиска и отбора молодежи, имеющей способности к научной и инновационной деятельности и стремление работать в сфере образования, науки и инноваций, требуют поддержки и развития НИДС в высших учебных заведениях.

Одним из эффективных способов стимулирования развития студенческой науки в вузе является создание системы научных мероприятий конкурсного характера. Организация вузовских студенческих научных конференций, конкурсов, выставок и олимпиад позволяет повысить эффективность НИДС вуза, обеспечить отбор лучших студенческих научных и инновационных проектов для представления на конкурсных мероприятиях более высокого уровня – региональных, всероссийских и международных.

Одной из задач, решаемых в ходе проведения конкурсных научных мероприятий, является оценка представленных студенческих научно-исследовательских работ и инновационных проектов (НИР и ИП). В связи широким разнообразием конкурсных научных мероприятий, предъявлением различных требований конкурсной документации к оценке НИР и ИП студентов в ряд актуальных задач выдвигается оценивание качества студенческих НИР и ИП, что предполагает как формирование универсальной оценочной системы, так и автоматизацию экспертной оценки качества НИР и ИП студентов.

Задача оценивания качества научно-исследовательских работ и инновационных проектов студентов в настоящее время не нашла удовлетворительного решения ввиду сложности формализации этой процедуры. Решение задачи предполагает формирование общего списка показателей и критериев оценки НИР и ИП, представляемых студентами на различные конкурсные мероприятия, ранжирование по важности критериев в пределах каждой группы, а также собственно оценку научной работы с использованием определенной числовой шкалы.

Список критериев оценки студенческих НИР и ИП базируется на анализе конкурсной документации различных научных мероприятий для молодежи (в частности, требований положения об открытом конкурсе на лучшую научную работу студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам, положения о ежегодной всероссийской выставке

научно-технического творчества молодежи «HTTM», положения о программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса – У.М.Н.И.К.» и др.).

Для назначения весовых коэффициентов критериев уровня НИР и ИП студентов с последующей оценкой качества конкретной студенческой работы целесообразно применять методы экспертной оценки. Экспертные процедуры наиболее эффективны для обширного круга трудноформализуемых задач, а зачастую могут оказаться единственным средством получения количественных оценок качественных характеристик и свойств. Метод экспертных оценок предполагает привлечение высококвалифицированных специалистов-экспертов. Общепризнан факт, что совместное мнение группы экспертов является более точным, чем индивидуальное мнение каждого из специалистов. В том случае когда уровень компетентности экспертов, их опыт, знания и информированность не подвергаются сомнению, появляется возможность составить реалистическое и объективное представление о качестве рассматриваемого объекта, снизить долю субъективизма, всегда присутствующего в оценке качества. В роли экспертов по оценке качества студенческих работ выступают кадры высшей научной квалификации (доктора и кандидаты наук), специалисты в данной предметной области, имеющие многолетний опыт руководства НИДС, а также опыт работы в составе экспертных советов.

Что касается формирования оценочной системы качества НИР и ИП студентов, то для решения этой задачи может быть использован подход, предложенный М.Б. Гузаировым и Л.Р. Уразбахтиной для оценки качества докторских и кандидатских [2], а также магистерских диссертаций [3].

В соответствии с указанным подходом можно построить иерархическую систему оценки качества НИР и ИП студентов (рис. 1), на верхнем уровне которой размещается интегральный показатель качества J. Уровнем ниже расположены основные показатели J_i , характеризующие конкурсную НИР и ИП студентов как систему в целом:

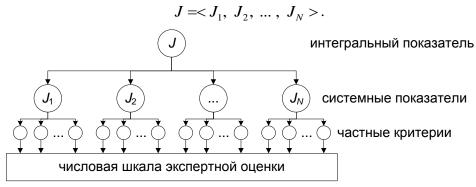


Рис. 1. Иерархическая система оценки качества НИР и ИП студентов

Каждый системный показатель J_i , в свою очередь, представляет собой множество критериев, количество и состав которых определяются на основании опыта специалистов в области экспертизы НИР и ИП, на

специфике данной предметной области знаний, а в большинстве случаев регламентированы положением о конкурсном мероприятии.

Практически реализованный вариант оценочной системы учитывает пять основных показателей, содержание каждого из которых приведено ниже.

Актуальность и обоснованность задачи исследования (J_1) характеризуется: уровнем обоснования важности исследования для решения реальных проблем; качеством формулировки цели и задач исследования, выводов по работе; качеством выделения объекта, предмета и гипотезы исследования; уровнем обоснования выбора методов и программы исследования; полнотой литературного обзора.

Научная новизна, теоретический и прикладной уровень выполненной работы (J_2) оцениваются по следующим критериям: достоверность и обоснованность установленных фактов, проведенных расчетов и полученных данных; теоретическая и практическая значимость; степень научной новизны решаемой задачи и полученных результатов исследования; глубина проработанности темы исследования; реализация результатов исследования; область применения и перспективы исследования.

Инновационная составляющая (J_3) характеризуется: сравнением с существующими аналогами; выявлением конкурентных преимуществ; технической значимостью продукции; возможностью коммерциализации проекта; наличием плана реализации проекта; состоянием разработки; исследованием рынка; экономической эффективностью проекта.

Научная компетентность автора (J_4) характеризуется: уровнем публикаций по теме исследования; патентной чистотой исследования; полученными наградами по теме исследования; полнотой обоснования авторской позиции; степенью самостоятельности выполнения работы; личностными качествами автора.

Качество представления результатов работы (J_5) оценивается по следующим критериям: грамотность изложения; культура выступления; качество разработки презентации; качество иллюстративного материала; качество ответов на вопросы.

Значение интегральной оценки J вычисляется с учетом важности, по мнению экспертов, этих показателей для НИР и ИП студентов $J = \sum_i \alpha_i J_i$, где α_i — весовой коэффициент показателя J_i , при этом $\sum_i \alpha_i = 1$.

Оценка показателя J_i осуществляется с учетом важности, по мнению экспертов, частных критериев для данного показателя: $J_i = \sum_k \beta_{ik} C_{ik}$, где β_{ik} — весовой коэффициент критерия C_{ik} , при этом $\sum_k \beta_{ik} = 1$. Числовые значения коэффициентов β_{ik} эксперты формируют на основе анализа знаний, содержащихся в параметре C_{ik} , и их значимости для оценки показателя J_i .

Далее каждому частному критерию C_{ik} ставится в соответствие вербально-числовая шкала, с помощью которой эксперт осуществляет субъективную оценку значения данного параметра. Наиболее известна и универсальна шкала Харрингтона [4], характеризующая степень выраженности критериального свойства (таблица).

Таблица – Вербально-числовая шкала Харрингтона	Таблица – В	ербально-числовая шк	ала Харрингтона
--	-------------	----------------------	-----------------

Описание градаций шкалы	Числовые значения
Очень высокая	0,8–1,0
Высокая	0,64–0,8
Средняя	0,37–0,64
Низкая	0,2–0,37
Очень низкая	0,0-0,2

При проведении конкурсных научных мероприятий для студентов деятельность высококвалифицированных специалистов-экспертов также должна быть систематизирована, организована, информационно обеспечена. Для этого разработана информационная подсистема «Экспертиза», позволяющая автоматизировать процедуру экспертного оценивания с применением созданной системы оценки качества НИР и ИП студентов.

В процессе создания подсистемы «Экспертиза» целями ставились сокращение временных затрат на оценивание студенческих НИР и ИП, исключение ошибок при подготовке отчетных документов, создание единой базы данных студенческих НИР и ИП, удобство доступа к накопленной в базе данных исходной информации и к аналитическим отчетам.

Подсистема «Экспертиза» предусматривает три категории пользователей: организатор конкурсного мероприятия, председатель экспертного совета конкурсного мероприятия, эксперт. На рис. 2 представлена схема алгоритма работы подсистемы «Экспертиза», на рис. 3 структура базы данных.



Рис. 2. Схема алгоритма работы подсистемы «Экспертиза»

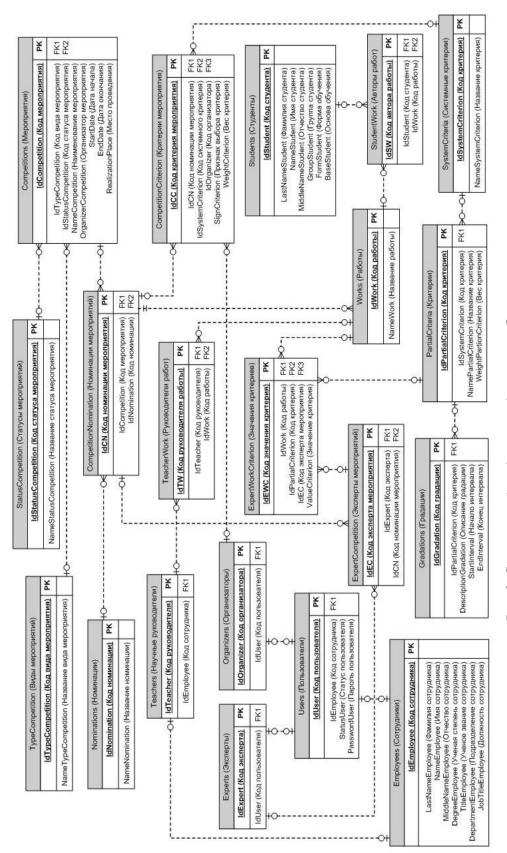


Рис. 3. Структура базы данных подсистемы «Экспертиза»

Разработанная система, используемая при проведении вузовских конкурсных научных мероприятий в Пензенском государственном технологическом университете, способна также обеспечить информационную поддержку мероприятий регионального, всероссийского и международного уровней.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда в рамках проекта регионального конкурса № 12–16-58004 «Проектирование региональной модели управления научно-исследовательской и инновационной деятельностью студентов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Концепция Федеральной целевой программы «Научные и научнопедагогические кадры инновационной России» на 2014—2020 годы, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 мая 2013 г. № 760-р. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_146334.
- 2. Гузаиров М.Б., Герасимова И.Б., Уразбахтина Л.Р. Оценка качества диссертационных работ на основе экспертных оценок // Вестник УГАТУ: Научный журнал Уфимского государственного авиационного технического университета. Уфа: УГАТУ, 2009. Т. 13. № 2 (35). С. 96—101.
- 3. Уразбахтина Л.Р. Анализ и управление качеством обучения и компетенциями в образовательных системах на основе иерархических и когнитивных динамических моделей: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.13.10. Уфа, 2012. 19 с.
- 4. Лукичева Л.И., Егорычев Д.Н. Управленческие решения : Учебник / Под ред. Ю.П. Анискина. М. : Омега-Л, 2009. 383 с.

УДК 004.89 ББК 22

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОМ ВЫБОРЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

- © **Ю.А. Башвеев**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **О.С. Литвинская**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

APPLICATION OF THE THEORY OF INDISTINCT SETS AT A MULTICRITERIA CHOICE OF MICROCONTROLLERS

- © Y.A. Bashveev, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © **O.S. Litvinskaya**, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена методу выбора микроконтроллера как средства реализации специализированной системы. Описывается общий подход к выбору микроконтроллера, а также рассматриваются вопросы применения аппарата нечетких множеств при решении задачи принятия решения.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ...

Ключевые слова: теория принятия решений, выбор микроконтроллера, нечеткие множества, анализ алгоритма.

The article is devoted of method choice of microcontroller as implementer of specialized systems. The general view is described in detail; also this article focuses on implications of fuzzy sets.

Key words: decision theory, choice of microcontroller, fuzzy sets, procedure analysis.

Сегодня в век сложных технических систем теория принятия решений (ТПР) становится всё более актуальной. Полагаться на собственную интуицию и субъективные предпочтения, а не на математический аппарат ТПР становится не только экономически невыгодным, но часто и опасным.

Микроконтроллер (МК) являет собой сложный технический прибор. При попытке оптимального выбора МК как средства реализации специализируемого устройства разработчик сталкивается с необходимостью учета разных и порой противоречивых параметров.

В [1] была представлена классификация параметров МК, учитывающихся при выборе модели. Из этой классификации явственно видно, что приходится иметь дело и с качественной и с количественной информацией, а кроме того, подходы к учету разных групп параметров также будут различными. Из-за сложности МК систем, неопределённости на стадии технического задания (ТЗ), неизбежности учёта разнящихся групп параметров не представляется возможным применить для оптимального выбора какой-либо единственный метод ТПР. В настоящей работе была предпринята попытка с учетом последних достижений ТПР и, в частности, теории нечеткой логики разработать алгоритм выбора МК.

Для нахождения множества оптимальных вариантов требуется последовательный учёт различных групп МК. На первом этапе необходимо определить множество вариантов, удовлетворяющих эксплуатационным требованиям. Каким бы быстродействующим ни был МК, как бы ни был он удобен для разработчика, но если эксплуатационные параметры не удовлетворяют требованиям ТЗ, то применение модели становится совершенно невозможным.

Далее учитываются *технические* параметры, которые характеризуются, как правило, количественной информацией, полученной по каждому варианту без непосредственного участия эксперта.

Последними учитываются *потребительские* критерии, характеризующиеся качественной информацией.

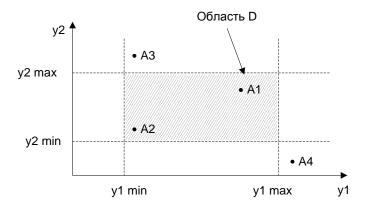
При всём многообразии возможных подходов к оптимальному выбору МК все критерии можно разделить на два типа: сильные и слабые [4].

Сильные критерии позволяют выделить среди множества альтернатив наилучшие.

Слабые критерии позволяют выделить множество равноценных вариантов (альтернатив), каждый из которых можно отнести к наилучшим, не имеющим преимущества друг перед другом. К слабым критериям относятся:

- критерий принадлежности множеству Парето,
- критерий удовлетворения техническим требованиям.

Учет эксплуатационных параметров. Оптимальный вариант МК должен обладать наилучшим сочетанием параметров, а следовательно, в процессе выбора не ставится целью отыскание паретооптимального множества. А вот критерий удовлетворения техническим требованиям в нашем случае вызывает интерес. Покажем возможность применения данного критерия в разрабатываемом методе оптимального выбора МК. Рис. 1 отражает принцип данного критерия.



Puc. 1. Критерий удовлетворения техническим требованиям

Если $\forall y_i \in D$, то A_i – нормальный (годный) объект, где y_i – i-й частный критерий варианта, D – множество вариантов, удовлетворяющих Т3.

В области D ни один объект не имеет преимущества перед другим. Все они удовлетворяют техническому заданию, а следовательно, все они равнозначны. На данном этапе частные эксплуатационные критерии сводятся к общему критерию удовлетворения T3.

На рис. 2 показано, как будут задаваться функции ограничения для выбора МК с промышленным диапазоном рабочих температур (от -40 до +85 $^{\circ}$ C).

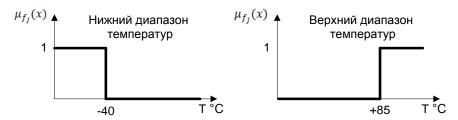


Рис. 2. Пример ФП для эксплуатационных критериев

После получения с помощью функции принадлежности ($\Phi\Pi$) оценок всех частных критериев каждого варианта применяется мультипликативная свертка.

$$f(x) = \prod_{j=1}^{h} \mu_{f_j}(x),$$
 (1)

где h – количество частных критериев, $\mu_{f_j}(x)$ – нечеткая оценка варианта x по j-му критерию.

Таким образом, удается отсеять модели, не удовлетворяющие ТЗ, и сузить область допустимых вариантов.

Учет технических параметров МК. Данный этап с математической точки зрения является наиболее сложным. Здесь необходимо учесть некоторые положения:

- 1) технические критерии являются сильными, т.е. они действительно позволяют выделить множество альтернатив;
 - 2) нельзя выделить один главный критерий;
 - 3) технические критерии не являются взаимозаменимыми;
- 4) при выборе возможно использование некоторых четких ограничений.

Из этих положений вытекает следующее:

- 1) необходимо применить какой-либо метод *многокритериальной* оптимизации для сведения частных критериев к одному общему;
- 2) необходима именно *скаляризация* векторного критерия, а не *субоптимизация*;
- 3) часто мультипликативная свертка является более предпочтительной, чем аддитивная;
 - 4) некоторые критерии могут выступать как ограничения.

С учетом этого предлагается применять либо мультипликативную свертку частных критериев, либо аддитивную свертку с применением системы ограничений. Мультипликативная свертка часто позволяет не использовать систему ограничений в явном виде, так как при нулевой оценке одного из частных критериев варианта общий критерий также равен нулю, следовательно, вариант точно не будет оптимальным.

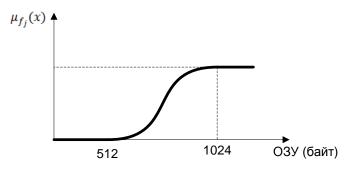


Рис. 3. Пример ФП для технических критериев

Учет пользовательских критериев. По окончанию второго этапа лицо, принимающее решение (ЛПР), уже будет обладать информацией – какие МК являются наиболее оптимальными с точки зрения технических характеристик, но для окончательного выбора необходимо учесть ещё и

пользовательские критерии. Данный этап является последним, потому что крайне затруднительно занести в базу данных качественную объективную информацию по пользовательским критериям каждого варианта, тем более что она часто может меняться. Эксперты должны делать оценки частных пользовательских критериев непосредственно в процессе выбора МК и после того, как область оптимальных вариантов будет существенно сужена.

Для экспертных оценок частных качественных критериев может быть применен метод парного сравнения, либо, при небольшом количестве вариантов, метод непосредственных экспертных оценок.

ФП пользовательских критериев могут быть весьма просты (рис. 4).

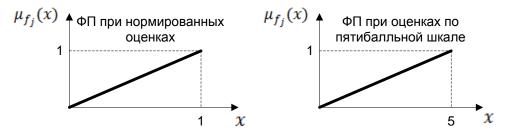


Рис. 4. Пример ФП для пользовательских критериев

Эти ФП автоматически генерируются программным обеспечением [3] с учетом оценок частных критериев, и их на данном этапе, как правило, бывает вполне достаточно.

Определение весовых коэффициентов частных критериев и оценок качественных критериев. Важность частного критерия y_i оценивается весовым коэффициентом ω_i . Необходимо, чтобы экспертные оценки этих весов имели максимально объективные оценки.

Основные способы определения весовых коэффициентов в сильных обобщенных критериях:

- метод непосредственного определения усредненных экспертных оценок весовых коэффициентов при наличии нескольких экспертов;
 - метод ранжирования для определения весовых коэффициентов;
- метод усреднения предпочтений при наличии нескольких экспертов;
 - метод парного сравнения (метод Саати).

В работе предлагается использовать метод парного сравнения, т.к. он обладает известной степенью объективизма, а также не требует наличия группы экспертов. Например, в качестве потребительских критериев можно выделить:

 K_1 – поддержка языков программирования;

 K_2 – надежность;

 K_3 – жизненный цикл семейства;

 K_4 – доступность продукции;

 K_5 – наличие технической и эксплуатационной документации.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ...

						1	1
K_i	K_{1}	K_2	K_3	K_4	K_5	Вектор при-	Нормализованная
						оритетов <i>k</i>	оценка веса частного
							критерия W_j
K_1	1	2	3	4	5	0,83	1
K_2	1/2	1	5/3	2	5/2	0,42	0,51
K_3	1/3	3/5	1	4/3	5/3	0,27	0,33
K_4	1/4	1/2	3/4	1	5/4	0,20	0,24
<i>K</i> ₅	1/5	2/5	3/5	4/5	1	0,17	0,2

Таблица 1 – Парные оценки пользовательских критериев

Вектор приоритетов вычисляется как собственный вектор матрицы. Нормализованный весовой коэффициент частного критерия находится по формуле $w_j = k_j/k^{max}$.

Существенный недостаток метода парного сравнения заключается в возможности появления противоречий из-за несогласованности предпочтений эксперта, следовательно, для построения таблицы парных сравнений может потребоваться несколько итераций.

Выводы. В статье был описан общий подход к оценке и учету различных групп критериев МК. Было показано, как различные методы многокритериального выбора согласуются с теорией нечетких множеств. Из работы следует, что, не смотря на разнообразие методов многокритериального выбора, при определении оптимальных вариантов МК можно обойтись применением ФП в связке с мультипликативной или аддитивной сверткой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Башвеев Ю.А., Литвинская О.С. К вопросу о выборе модели микроконтроллера / Башвеев Ю.А. // Современная наука: тенденции развития. Материалы II международной научно-практической конференции. 2012. Том III. С. 22—25.
- 2. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. 360 с.: ил.
- 3. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева [и др.]. М.: Радио и связь, 1989. 304 с.
- 4. Петровский А.Б. Теория принятия решений / А.Б. Петровский. М. : Академия, $2009.-400\ c.$

УДК 004.822 ББК 30

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

- © **В.В. Пикулин**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **Ю.Е. Усачёв**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © Д.В. Смирнов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **В.С. Юранов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

USE OF THE SEMANTIC ANALYSIS FOR UPDATING OF EDUCATIONAL PROGRAMS

- © V.V. Pikuln, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © U.E. Usachev, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © D.V. Smirnov, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © V.S. Yuranov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрены вопросы создания автоматизированной системы информационной поддержки процессов актуализации образовательных программ.

Ключевые слова: профессиональное образование, семантика, модель, семантическая близость.

In article questions of creation of the automated system of informational support of educational programs updating processes are considered.

Key words: professional education, semantics, model, semantic proximity. **E-mail**: pvv@pgta.ru

Процесс формирования и модернизации программ профессионального образования является достаточно сложным, многоплановым и длительным; в нём должны участвовать высококвалифицированные специалисты образовательных учреждений и предприятий различных сфер деятельности. Этот процесс включает в себя анализ и сопоставление смыслового содержания (семантики) текстов профессиональных (ПрофСт) и образовательных стандартов (ФГОС), образовательных стандартов и программ дисциплин, например, при оценивании соответствия образовательных стандартов профессиональным; при распределении по дисциплинам компетенций, сформулированных в образовательных стандартах, и решении аналогичных задач [1, 2].

Непосредственный анализ огромного количества данных (с сайтов в Интернете, из объявлений в СМИ, из публикаций специалистов и др.) с целью выделения и классификации требований к компетенциям специалистов множества профессий — очень трудоёмкий и продолжительный процесс, что ведёт к необоснованной задержке решения вопросов ак-

туализации образовательных программ, формирования программ переподготовки и повышения квалификации кадров, к реализации неактуальных для региона образовательных программ (как следствие, к неэффективному использованию средств государственного финансирования) и т.п.

Указанные задачи сводятся к задаче сопоставления семантики текстовых данных и оценивания семантической близости [2]. Для их решения могут использоваться методы и модели извлечения знаний из текстовых документов [3, 4], которые позволяют решать такие задачи, как: смысловой анализ, автоматическое реферирование и аннотирование, классификации документов. Решение задач анализа текста одного документа и сопоставления семантики текстов разных документов базируется на результатах исследований, которые показывают, что «все семантические представления, так или иначе, сводятся к сетевому представлению» [4], поэтому следует формировать модели тестов в форме семантических сетей с помощью программ семантического анализа типа *TextAnalyst* [5], которая выделяет множества значимых и связанных с ним ассоциативными связями понятий.

Семантическая сеть в виде ориентированного графа G = (E,U) содержит E — множество вершин, взаимно однозначно соответствующих множеству понятий: $\forall e \in E \ \exists m \in M \mid m \leftrightarrow e$; при этом каждая вершина $e \in E$ имеет метку μ_x , значение которой совпадает с текстом понятия $(a \leftrightarrow e)$, и вес v_a , равный весу понятия (степени важности) в заданной предметной области, U — множество ориентированных рёбер (множество дуг), каждое из которых имеет вес v_{ab} , равный весу связи соответствующих понятий a и b; дуга выходит из вершины, соответствующей основному понятию a, и входит в вершину, соответствующую понятию, которое в тексте часто используются в сочетании с понятием a:

$$\forall (a,b) \mid (a \in A \& b \in B_a) \exists \vec{u} = (x,y) \mid (x \in E \& y \in E) \& (x \leftrightarrow a \& y \leftrightarrow b).$$

Если элементы множества $B_a \subset M$, в свою очередь, определяются с помощью других понятий, то понятие $a_{op} \in A$ определяется с помощью

 N_a подмножеств иерархически связанных понятий A_i : $A_{\mathrm{op}} = \bigcup_{i=1}^{N_a} A_i$, при

этом
$$\bigcap_{i=1}^{N_a} A_i = \emptyset$$
; $\forall a_{ij} \in A_i \mid (\exists a_{i+1,k} \in A_{i+1} \lor \emptyset; \lor A_{i+1} = \emptyset); i = \overline{1,N_a-1}; j = \overline{1,|A_i|}; k = \overline{1,|A_{i+1}|}.$

Для оценки семантической близости документов разработаны различные меры: основанные на иерархических структурах, использующие неиерархические отношения, гибридные, близости понятий, близости онтологий и др. Однако общепринятая методология оценки мер семантической близости и рекомендации по использованию той или иной меры для конкретных задач к настоящему времени отсутствуют [6], поэтому необходимо исследование качества критериев семантической близости документов для рассматриваемой предметной области.

Гибридные меры представляются наиболее перспективными, т.к. включают несколько частных критериев в форме аддитивной свертки:

$$S(c_1,c_2) = \sum_{i=1}^n w_i S_i(c_1,c_2)$$
 или её модификации с использованием сигмои-

дальной функции, которая позволяет повысить веса мер, имеющих большие значения, и практически пренебречь мерами с малыми значениями:

$$S(c_1, c_2) = \sum_{i=1}^{n} w_i sig(S_i(c_1, c_2)), sig(x) = 1/(1 + \exp(-ax)); a > 0,$$

где S_i – частный показатель меры близости, w_i – вес частного показателя, сумма весов равна 1, n – число частных показателей.

Веса определяются на основе суждения экспертов и (или) обучающих алгоритмов [6].

Предлагается создать систему информационной поддержки процесса формирования и актуализации образовательных программ, обеспечивающую:

- возможность использования ПрофСт в качестве «базы» для формирования требований работодателей,
- сопоставительный семантический анализ новостного потока и базовых документов (Проф Ст, ФГОС, ООП).

Дополнительные функции системы:

- сопровождение БД ПрофСт, ФГОС, основных образовательных программ (ООП);
- вычисление значений ряда показателей, характеризующих семантическую близость текстов, для анализа и выбора наиболее подходящих критериев (по минимуму вычислительной сложности и максимуму семантического соответствия).

Указанные функции должны быть реализованы подсистемой семантического анализа данных на основе программы типа *TextAnalyst* и подсистемой сбора и анализа профессиональных требований, включающей интернет-портал вакансий и модуль сопровождения БД профессиональных стандартов и анализа квалификационных требований (БД и АКТ) к профессиям (рис. 1, 2) [7].

В отличие от существующих систем, при вводе данных о вакансиях работодатели могут использовать БД ПрофСт для выбора названий профессий, требований к работникам и компетенций. При отсутствии необходимых работодателю требований или компетенций в БД ПрофСт можно ввести собственные формулировки, которые и будут составлять множество новых актуальных требований и компетенций.

Модуль БД и АКТ должен обеспечивать: сопровождение базы данных «Квалификационные требования к профессиям»; иерархическое представление структуры и содержания разделов профессиональных стандартов; редактирование словарей синонимов квалификационных уровней; импорт актуальных требований к профессиям из БД интернетпортала; сопоставление содержания профессиональных стандартов и актуальных требований работодателей; частотный анализ компетенций с учетом и без учета определений-синонимов; сопоставление содержания

профессиональных стандартов, близких по назначению, различных уровней квалификации.

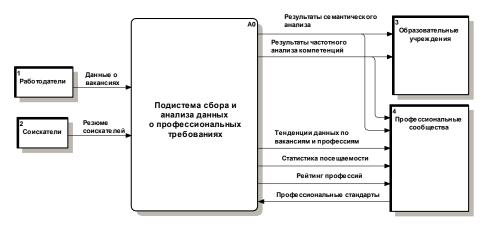


Рис. 1. Контекстная диаграмма потоков данных

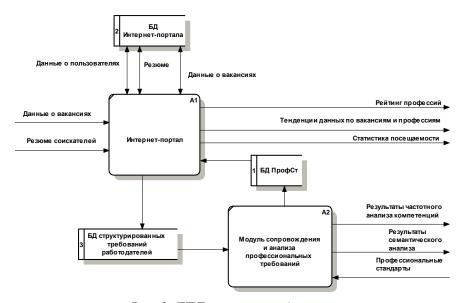


Рис. 2. ДПД на уровне подсистем

Интернет-портал импортирует описания профессий из БД ПрофСт и использует при заполнении работодателями описаний вакансий (название профессий, уровней профессиональной подготовки, требований к профессиям), что позволяет впоследствии классифицировать вакансии и выполнять частотный и другие виды анализа.

При заполнении вакансий работодатели могут использовать как справочные, так и оригинальные формулировки, что является основанием для выделения новых, актуальных требований к профессиям.

Для хранения ПрофСт в БД разработана «универсальная» реляционная модель с использованием отношения обобщения с целью обеспечения

возможности представления описаний ПрофСт с произвольным количеством уровней иерархии и произвольными разделами определений (рис. 3).

Для представления иерархии профессий и квалификационных уровней соответствующим профессиям используется рефлексивное отношение, для реализации которого каждый объект в таблице должен, помимо собственного идентификатора, иметь атрибут, который указывает на идентификатор его родителя. Каждый «дочерний» элемент (потомок) иерархии должен иметь одного «родителя». Любой «дочерний» элемент может являться «родителем» для другого элемента, что и обеспечивает возможность представления произвольного количества уровней иерархии. На нулевом уровне единственный элемент иерархии — абстрактная сущность — «родитель» (или «корень»); в качестве указанной сущности принят термин «Профессии». На первом уровне иерархии находятся начменования профессий, у которых лишь один «родитель», на втором — квалификационные уровни профессии, относящиеся только к своему «родителю» (рис. 3). Эта модель ПрофСт использована для создания опытного образцы базы данных в формате СУБД Oracle 9 [8].

Для определения места использования предлагаемой системы информационной поддержки в процессе актуализации ПрофСт, ФГОС и ООП выполнена структурная формализация процесса иерархической функциональной модели, входными потоками которой являются: общие и частные квалификационные требования к профессиям, аналитические материалы, которые публикуются в профессиональных изданиях (журналах, сборниках научных трудов, материалах конференций), в средствах массовой информации на бумажных носителях и/или размещены в Интернете. В целом входные данные могут рассматриваться как «новостной поток», который должен подвергаться семантическому анализу.

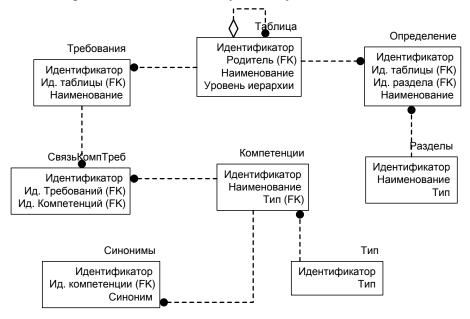


Рис. 3. Логическая модель универсального варианта базы данных ПрофСт

Декомпозиция основного процесса A0 (контекстная диаграмма не приведена в силу её очевидности) выполнена с учетом тенденции по использованию профессиональными сообществами ПрофСт при формировании ФГОС (рис. 4). Профессиональные стандарты могут использоваться и при разработке основных образовательных программ (ООП) для формирования вариативной части (информационный поток между блоками A1 и A3).

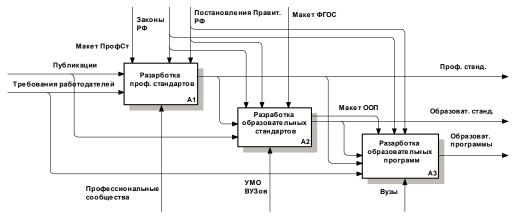


Рис. 4. Декомпозиция основного процесса

Диаграмма декомпозиции блока A1 – «Разработка профессиональных стандартов» (рис. 5) включает блок модернизации ПрофСт (A1.3), поскольку такие процессы уже выполняются, например АПКиТ в 2011 г. разработал новую версию ПрофСт для специалиста по информационным технологиям.

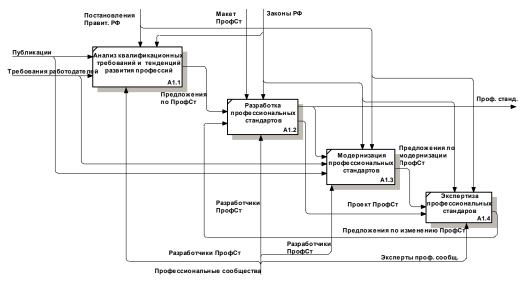


Рис. 5. Декомпозиция блока A1 — «Разработка профессиональных стандартов»

Все подпроцессы диаграммы декомпозиции блока A1 достаточно сложны и трудно формализуемы. В блоках A1.1, A1.3 могут использоваться модели, методы и программные средства интеллектуального анализа данных.

Декомпозиция блока A2 — «Разработка образовательных стандартов» (рис. 6) включает подпроцессы: A2.1 — «Анализ данных» (результатом должны быть рекомендации по содержанию ФГОС определённого направления профессиональной подготовки); A2.2 — «Разработка ФГОС» (результатом должны быть: проект ФГОС, направляемый на экспертизу; текст ФГОС и макет соответствующей ООП или примерная ООП; при этом текст ФГОС должен составляться на основе прошедшего экспертизу проекта ФГОС); A2.3 — «Экспертиза ФГОС» (может формировать предложения по коррекции проекта ФГОС или заключение о рекомендации к утверждению). В подпроцессе A2.1 могут использоваться программные средства для автоматизированного сопоставительного анализа «новостного потока» и содержания ПрофСт.

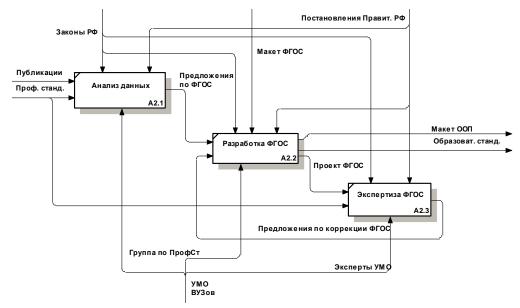


Рис. 6. Декомпозиция блока A2 — «Разработка образовательных стандартов»

Предлагается подход к созданию системы информационной поддержки процессов актуализации ряда документов, используемых при формировании и модернизации образовательных программ. Применение указанной системы, включающей базу данных профессиональных стандартов, модули семантического анализа и оценивания семантической близости данных, должно обеспечить сокращение сроков подготовки актуальных документов для формирования и модернизации образовательных программ, снижение трудоемкости процесса и повышение качества документов в плане соответствия образовательных программ актуальным требованиям работодателей и профессиональных сообществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Тельнов, Ю.Ф. Разработка Федерального государственного образовательного стандарта 3-го поколения по направлению «Прикладная информатика» на основе профессионального стандарта «Специалист по информационным системам» // Профессиональные стандарты в области информационных технологий. – М.: АПКИТ, 2008. – С. 33–34.
- 2. Пикулин В.В., Усачёв Ю.Е., Яшина Е.Н. Разработка методики формализованного анализа требований к специалистам и содержания образовательных программ // Вестник Воронежского ГТУ. 2011. Т. 7, № 8. С. 137–141.
- 3. Беленький А. Текстомайнинг. Извлечение информации из неструктурированных текстов // КомпьютерПресс. 2008. № 10.
- 4. Харламов А.А. Нейросетевой подход к интегрированному представлению и обработке информации в интеллектуальных системах: Автореф. дисс. ...д-ра техн. наук по спец. 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации». М.: Московский гос. институт электроники и математики, 2008. 32 с.
- 5. Харламов А.А., Ермаков А.Е., Кузнецов Д.М. TextAnalyst комплексный нейросетевой анализатор текстовой информации // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. М., 1998. N 1. С. 32—36.
- 6. Крюков К.В. Меры семантической близости в онтологии / Крюков К.В., Панкова Л.А., Пронина В.А.[и др.] // Проблемы управления. 2010. —№ 5. С. 2—14.
- 7. Пикулин В.В., Смирнов Д.В., Аралов И.А. Разработка системы сбора и анализа данных о квалификационных требованиях к специалистам на рынке труда // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании : Сб. ст. II межд. науч.-практич. конф. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2012. С. 50–52.
- 8. Пикулин В.В., Смирнов Д.В. Модель данных для представления профессиональных стандартов // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании : Сб. ст. III межд. науч.-практич. конф. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2013. С. 28—30.

УДК 800.03 ББК 81.7

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ

© **Ю.Е. Усачёв**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

METHOD OF CREATION OF SEMANTIC STRUCTURE OF THE MANUAL

© Yu.E. Usachyov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье предлагается метод построения семантической структуры учебного пособия, представленной в виде онтологии. Предлагается модель учебного пособия в виде множества понятий, на котором задано отношение "определение". Утверждается, что задача построения семантической структуры документа сводится к задаче построения верхней полурешетки. Приведен алгоритм построения полурешетки. Рассмотрены сферы применения.

Ключевые слова: семантическая структура, онтология, множества, полурешетка. In article the method of creation of semantic structure of the manual presented in the form of ontology is offered. The manual model in the form of a set of concepts on which the relation "definition" is set is offered. It is claimed that the problem of creation of semantic structure of the document is reduced to a problem of creation of the top semilattice. The algorithm of creation of a semilattice is given. Scopes of application are considered.

Key words: semantic structure, ontology, sets, semilattice.

E-mail: uje1@pgta.ru

Введение

В общем случае текст документа, кроме синтаксической структуры, имеет еще и семантическую структуру, включающую множество понятий, содержащихся в нем, и семантических отношений между ними. Семантическая структура описывает совокупность знаний, представленных в документе. Эта семантическая структура может быть представлена с помощью моделей представления знаний, таких как онтология или семантические сети.

Спецификой учебного пособия является системность изложения. Как правило, известно, что студент знает и что он должен изучить. В общем случае учебный материал, изложенный в пособии, содержит совокупность знаний по дисциплине, для которой известны: множества известных изученных понятий, множества изучаемых понятий, последовательность изучения понятий. В силу своей специфики учебное пособие имеет четкую семантическую структуру.

Семантическая структура. Структурной единицей совокупности знаний является понятие [1]. Понятием называется представление человека о некотором объекте или отображение этого объекта в сознании человека. Понятие — это одна из форм мышления [2]. Оно обладает содержанием (совокупностью признаков предмета в данном понятии) и объемом

(совокупностью объектов, входящих в данное понятие). Одним из основных операций над понятием является его определение. Эта операция обуславливает установление отношения "определение".

В пособии содержится множество понятий A, смысл которых раскрывается в тексте через определение. Каждому понятию $a \in A$ соответствует предложение, содержащее определение, включающее некоторое подмножество понятий, с помощью которых и раскрывается его смысл [3]. Вот с этим подмножеством раскрываемое понятие и находится в отношении "определение".

Каждому понятию множества $a \in A$ во взаимооднозначное соответствие поставлено множеств P_a , удовлетворяющее следующим условиям:

$$\forall a \in A \exists Pa(\forall b \in Pa, aRb), \tag{1}$$

где R — отношение "определение".

Модель учебного пособия представляет собой частично упорядоченное множество понятий M, определяемое порождающим семейством множеств $G = \{P_1 \ P_2 \ ... \ P_n \}$

$$M = \bigcup_{1}^{n} Pi, i = 1, n \quad n = |A|.$$
 (2)

Семантическую структуру учебного пособия можно представить в виде онтологии,

$$O = (A, R), \tag{3}$$

где A — множество раскрываемых понятий;

R — отношение "определение".

Понятия множества A имеют определение, фиксирующее их значения. Таксономия определяет иерархическое упорядочение классов "раскрываемых" понятий. Отношение "определение" задает разбиение частично упорядоченного множества понятий M на k подмножеств L_1 , L_2 , ..., L_k , каждое из которых содержит понятие заданного уровня, т.е.

$$M = L_1 \cup L_2 \cup ... \cup L_k, \tag{4}$$

$$\forall_i \forall_j (L_i \cap L_j) = \emptyset . \tag{5}$$

Заметим, что k-й уровень составляют понятия априорно известные и, следовательно, не требующие определения.

На самом верхнем уровне — самые сложные понятия. Понятие самого верхнего уровня, как правило, и является темой совокупности знаний. Самый простой (базовый), низший, уровень содержит априорно известные понятия. Чем выше уровень, тем более емкие и сложные понятия он содержит. Очевидно, что "раскрываемые" понятия более сложные, чем "определяющие". В этом случае отношение "определение" задает иерархию в структуре совокупности знаний, "разнося" понятия по уровням сложности.

Постановка задачи. Имеется учебное пособие по дисциплине, содержащее совокупность знаний, для которой известны: множества известных изученных понятий, множества изучаемых понятий, последовательность изучения понятий. Необходимо определить метод создания его семантической структуры в виде онтологической модели, включающей таксономию – иерархическое упорядочение классов "раскрываемых" понятий.

Разработка семантической структуры

Определение 1. Бинарное отношение на множестве S называется частичным упорядочением этого множества (или частичным порядком на нем), если оно антирефлексивно, антисимметрично и транзитивно [3].

Утверждение 1. Описанное множество M является частично упорядоченным множеством.

Множество M обладает свойством антирефлексивности, поскольку "раскрываемое" понятие не может быть использовано в своем определении, т.е. оно не может определять себя.

Антисимметричность означает, что если для раскрытия содержания понятия b необходимо использовать понятие a, то для раскрытия содержания понятия a не может быть использовано понятие b.

Свойство транзитивности означает, что если понятие a необходимо для раскрытия содержания понятия b, а понятие b необходимо для раскрытия содержания понятия c, то понятие a также необходимо для раскрытия содержания понятия c. Описанные свойства задают строгий частичный порядок на рассматриваемом упорядоченном множестве элементов.

Будем рассматривать такой тип [4] онтологии, в котором задана «формальная таксономия». Эти онтологии включают точное определение отношения isA (быть элементом класса), т.е. задают отношение включения понятий, принадлежащих множеству элементов класса. В таких системах строго соблюдается транзитивность отношения isA, которым в нашем случае является отношение "определить".

Утверждение 2. Если рассматривать онтологию как алгебраическую систему, то она соответствует верхней полурешетке G=(M,+,*), где M- множество понятий онтологии с двумя определенными на нем бинарными операциями :

- + выделение "раскрываемое понятие" (верхняя грань);
- * выделение "определяющее понятие" (нижняя грань).

Описанное упорядоченное множество $M \ \forall x,y,z \in M$ обладает следующими свойствами:

идемпотентность – [x + x = x, x*x = x], поскольку выполнение вышеопределенных операций над понятием не изменяет его типа (либо раскрываемое, либо определяющее);

коммутативность – [x + y = y + x, x * y = y * x], поскольку от перемены мест понятий при выполнении операции результат не изменяется;

ассоциативность – [x + (y + z) = (x + y) + z, x * (y *z) = (x * y) *z], поскольку от последовательности выполнения операции над понятиями результат не изменяется;

поглощение – [x (x * y) + x = x, (x + y) * x = x], поскольку если понятие y является верхней гранью, то следующая операция нахождения нижней грани даст x. Если понятие y является нижней гранью, то следующая операция нахождения верхней грани даст x.

В силу того что естественный человеческий язык не формализован, то реальные множества M не являются полурешеткой. Синонимы, неточности изложения и другие неоднозначности, встречающиеся в тексте, приводят к нарушению отношения частичного порядка множества M.

Для определения существенных элементов множества D предлагается использовать алгоритм построения решетки с помощью оператора замыкания [5].

Символическое обозначение $P_{\scriptscriptstyle A}$ определяет, что множество P содержит подмножество A , т.е. $A\subseteq P_{\scriptscriptstyle A}$.

Определение 2. Оператором замыкания называется оператор \bar{A} , заданный на множестве M как $\bar{A}=\bigcap P_A$, $A\subseteq M$ и семействе множеств

 $G = \{P_1 \ P_2 \ ... \ P_n\}$, т.е. \bar{A} – это пересечение всех таких множеств семейства P, которые содержат подмножество [5].

Утверждение 3. Для частично упорядоченного множества M при выполнении оператора замыкания мощность полученного подмножества |A|=1.

Каждое множество P_a семейства множеств $G = \{P_1 \ P_2 \ ... \ P_n\}$ содержит одно "раскрываемое понятие" и несколько "определяющих понятий". Пересечение множества P_a по "раскрываемому понятию" может быть с множеством P_b , в котором это понятие является "определяющим". В силу того что раскрываемое понятие может быть одно, то |A|=1.

Пересечение множества P_a по "определяющему понятию" может быть с множеством P_b , в котором это понятие является "раскрываемым". В силу того что у понятия одно определение, то может быть только одно "раскрываемое понятие". Следовательно, |A| = 1.

Если будут 2 и более пересечений по "определяющим" понятиям, то появятся понятия, имеющие более одной верхней грани. Это свойство упорядоченного множества М позволяет для нахождения полурешетки использовать нижеприведенный алгоритм.

Алгоритм 1

На 0 шаге алгоритма определяется структурная единица (1) — верхняя грань полурешетки, которой соответствует основное понятие (тема рассматриваемой предметной области); вводится структурный 0, определив тем самым ограниченную решетку. С ним будут связаны все понятия, которые не имеют определения и являются "определяющими".

Заполняется первый столбец и первая строчка таблицы 1 путем занесения множеств P_a семейства множеств $G = \{P_1 P_2 \dots P_n\}$.

Таблица 1

	P ₂	P ₃	 Pn
P ₁	P ₁₂	P ₁₃	 P _{1n}
P ₂		P ₂₃	 P _{n, n}
	'		
P _{n-1}		·	P _{n-1, n}

На 1 шаге алгоритма i=1, а во множество S заносится понятие, соответствующее верхней грани решетки, $S=\{\{1\}\}\}$ и $L1=\{1\}$.

На 2 шаге находится пересечение элементов множеств S (строки) с элементами других подмножеств, соответствующих некоторым столбцам. Полученные в результате пересечения понятия a, b...k будут составлять очередное множество L_{i+1} . Каждому столбцу соответствует множество P_i . В общем случае будет определено семейство множеств T, включающее все выделенные множества P_i .

На 3 шаге вначале множество $S=\emptyset$, а затем в S=T, $L_{i+1}=\{a,b...k\}$.

Если $S \neq \{0\}$, то i = i + 1 и k = 2.

Применение. Используя семантические структуры учебных пособий, можно выполнять следующие операции:

- 1) анализ семантической корректности учебных пособий,
- 2) анализ смыслового содержания учебного пособия,
- 3) сопоставление смыслового содержания учебных пособий.

1. Анализ семантической корректности учебных пособий

Одним из значимых факторов, влияющих на уровень подготовки специалистов, является качество учебных пособий. Стройность и логичность изложения учебного материала способствует его более глубокому и быстрому усвоению. Совокупность знаний, содержащаяся в учебном пособии, может быть некорректной, в частности, в силу следующих причин:

- противоречивость. Одному понятию соответствуют два взаимоисключающих определения;
- взаимное определение. Сущность понятия раскрывается с помощью определения, у которого определяющее понятие имеет определение, содержащее раскрываемое понятие;
- нераскрытое понятие, для которого в определении встречаются понятия, не принадлежащие данной совокупности знаний и не относящиеся к базовому множеству понятий.

Условием корректности этой системы знаний является её корректная семантическая структура. В работе [7] приводится способ анализа качества учебного пособия, основанный на анализе корректности его семантической структуры.

2. Анализ смыслового содержания учебного пособия

В статье [8] описывается автоматизированная система рецензирования учебных пособий дисциплин, позволяющая качественно и эффективно проводить анализ смыслового содержания учебных пособий на предмет соответствия его требованиям ФГОС ВПО. Система позволит сократить трудоёмкость выполнения и повысить качество экспертной оценки учебных пособий.

3. Сопоставление смыслового содержания учебных пособий

Семантическая структура отражает смысловое содержание документа. Если семантические структуры документов тождественны, то их смысловые содержания совпадают. В работе [9] описан метод смыслового сопоставления текстов документов, позволяющий определить степень их семантической близости.

Заключение

Описанный в статье метод построения таксономии может быть использован при разработке модели знаний некоторой дисциплины с целью использования ее при разработке:

- 1) интеллектуальных электронных учебников [10],
- 2) экспертных систем по оценке качества знаний студентов [11,12],
- 3) систем рецензирования качества учебного пособия и его смыслового содержания [7, 8].

Пример. Фрагмент текста. Машина логического вывода.

(Программа) (2), управляющая (перебором правил) (3), называется [машиной вывода] (1). Машина вывода при [переборе правил] (3) выполняет две функции:

- 1) (просмотр существующих фактов) (7) из рабочей памяти и правил из $\mathbf{5}_{3\text{H}}$ и добавление по мере необходимости в рабочую память новых фактов;
 - 2) (определение порядка просмотра) (8) и применение правил.

В подавляющем большинстве систем, основанных на знаниях, машина вывода представляет собой небольшую по объему [программу] (2) и включает два компонента: первый из них (реализует собственно вывод) (4), а второй (управляет этим процессом) (5). Машина вывода, как правило, реализуется в виде (интерпретатора) (6).

В этом фрагменте текста в квадратных скобках содержатся раскрываемые понятия, а в круглых скобках – раскрывающие понятия.

Понятие (1) находится в отношении "определить" с понятиями (2) и (3), а они в свою очередь находятся в отношении "определить" с понятиями 4, 5, 6 и 7, 8, соответственно.

На 0 шаге по следующим формулам определяем структурную 1 и 0:

$$1 = \bigcup_{i=1}^{m} P_i \qquad 0 = \bigcap_{i=1}^{m} P_i,$$

где m — количество множеств в семействе.

В множества $\{2,4,5,6\},\{3,7,8\}$ добавляем структурный 0. Получилось следующее семейство $R = \{1\}, \{1,2,3\}, \{2,4,5,6,0\}, \{3,7,8,0\}, \{0\}.$

Результаты построения таблицы пересечений множеств приведены в табл. 2

Таблица 2

	{1,2,3}	{2,4,5,6,0}	{3,7,8,0}	{0}
{1}	1	Ø	Ø	Ø
{1,2,3}		2	3	Ø
{2,4,5,6,0}			Ø	0
{3,7,8,0}				0

На первом шаге i = 1, а $S = \{1\}$ $L_1 = \{1\}$.

На втором шаге по первому элементу первого столбца {1} находится множество, с которым он пересекается. Это {1,2,3}. Поэтому $T = \{\{1,2,3\}\}.$

На третьем шаге $S = T = \{\{1,2,3\}\}$, a $L_2 = \{2,3\}$.

Поскольку $S \neq \{ 0 \}$, то i = 2 и k = 2.

На втором шаге по элементу первого столбца {1,2,3} находятся множества, с которыми он пересекается. Это {2,4,5,6,0} и {3,7,8,0}. Поэтому $T = \{\{2,4,5,6,0\}, \{3,7,8,0\}\}.$

На третьем шаге $S = T = \{\{2,4,5,6,0\}, \{3,7,8,0\}\}, a L_3 = \{4,5,6,7,8\}.$ Поскольку $S \neq \{0\}$, i = 3 и k = 2.

На втором шаге по элементу первого столбца {2,4,5,6,0} и {3,7,8,0}

находятся множества, с которыми он пересекается. Это {0}. Поэтому $T = \{\{0\}\}$. На третьем шаге $S = T = \{\{0\}\}$, а $L_4 = \{\emptyset\}$. Поскольку $S = \{0\}$.

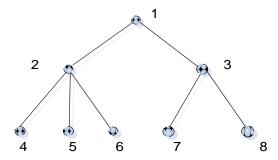


Рис. 1. Полученная верхняя полурешетка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Фридман Л.М. Психолого-педагогические основы обучения математике в школе. – М. : Просвещение, 1983. – 160 с.
- 2. Основы современной компьютерной технологии : Учеб. пособие / Под ред. Хомоненко А.Д. – СПб. : КОРОНА принт, 1998. – 448 с.
 - 3. Пойа Д. Как решать задачу. Львов : Журнал Квантор, 1991. 216 с.
- 4. Битюцкий В.П. Основы дискретной математики: Учебное пособие по дисциплине «Дискретная математика» Часть 1. / В.П. Битюцкий, С.С. Соколов. – Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. - 96 c.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ...

- 5. Добров Б.В. Онтологии и тезаурусы: Модели, инструменты, приложения: Учебное пособие / Добров Б.В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. 173 с.
- 6. Лебедев В.Б. Структурный анализ систем управления : Учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. 100 с.
- 7. Усачёв Ю.Е. Анализ качества текста учебного пособия / Усачёв Ю.Е., Чернышова О.А. // Актуальные вопросы науки и образования: Сб. мат. науч. конф. студентов, аспирантов, молодых ученых. Ч. 3. Институт образовательных технологий. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2008. С. 55–59.
- 9. Пикулин В.В. Разработка методики формализованного анализа требований к специалистам и содержания образовательных программ / Пикулин В.В., Усачёв Ю.Е., Яшина Е.Н. // Вестник Воронежского технического университета. Воронеж, 2011. N = 8. C. 137-141.
- 10. Усачёв Ю.Е. Проектирование интеллектуального учебника // Дистанционное образование. 2000. N 4. С. 24—27.
- 11. Андреев А.Б. Использование экспертных систем для анализа знаний учащихся в среде открытого образования А.Б Андреев, В.Б. Моисеев, Ю.Е. Усачёв // Телекоммуникации и информатизация образования. М., 2002. Вып. № 2. С. 47–52.
- 12. Андреев А.Б. Использование экспертных систем для анализа знаний учащихся в среде открытого образования (продолжение) / А.Б Андреев, В.Б. Моисеев, Ю.Е. Усачёв // Телекоммуникации и информатизация образования. M., 2002. Bып. N2 3. C. 35—53.

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 28.23.33 ББК 30

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА-ОРИЕНТИРА МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

© А.М. Бабич, ОАО "НПП "Рубин" (г. Пенза, Россия)

© **М.Ю. Бабич**, ОАО "НПП "Рубин" (г. Пенза, Россия)

NEURAL NETWORK MODEL FOR SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINING SPATIAL CHARACTERISTICS OF THE STATIONARY REFERENCE OBJECT MOBILE ROBOT SYSTEM

© A.M. Babich, JSC "NPP "Rubin" (Penza, Russia) © M.Yu. Babich, JSC "NPP "Rubin" (Penza, Russia)

В статье описывается решение задачи определения пространственных характеристик неподвижного объекта-ориентира монокулярной системой технического зрения, установленной на мобильной робототехнической системе. Данная задача разбивается на две подзадачи. Приводятся алгоритмы, реализующие их решение.

Ключевые слова: нейронная сеть, робототехническая система, монокулярная система технического зрения, пространственные характеристики.

The paper describes the solution of problem of estimation of spatial characteristics of the stationary reference object monocular vision system installed on a mobile robot system. This task is divided into two sub-tasks. Algorithms for implementing their decision are devoted.

Key words: neural network, robotic system, monocular vision system, spatial characteristics.

Одной из распространённых задач, решаемых при проектировании мобильных робототехнических систем, является задача движения по ориентирам, в частности, движение по направлению к неподвижному объекту. При этом, как правило, требуется определить дистанцию до объекта-ориентира и его размер. Одним из способов решения этой задачи является способ использования монокулярных систем технического зрения. В данной статье описывается решение задачи определения размеров и дистанции до неподвижного объекта при движении мобильного робота по направлению к нему. Решение основано на использовании нейросетевой модели.

Рассматриваемую задачу можно разделить на две подзадачи: определение пространственных характеристик объекта (дистанции и геометрических размеров) и удержание мобильной платформы на курсе по направлению к выделенному объекту. Для их решения воспользуемся алго-

ритмом, использующим две нейронные сети соответственно для решения каждой из задач.

Математическая модель решения задачи Z представима в следующем виде.

$$Z = (N_1, N_2), \tag{1}$$

где N_1 , N_2 — нейронные сети, описанные ниже.

Общая схема предложенного алгоритма показана на рис. 1. Изображение, получаемое с видеокамеры, поступает на вход двух подсистем, работающих параллельно. Первая предназначена для удержания мобильной платформы на курсе по направлению к объекту-ориентиру. При получении каждого нового изображения с видеокамеры подсистема совершает управляющее воздействие для корректировки направления движения мобильной платформы таким образом, чтобы она двигалась навстречу ориентиру. В задачу второй входит определение дистанции и геометрических размеров объекта. При сближении платформы и объекта на определённое расстояние система принимает решение об изменении действий всей системы в целом (остановка, смена курса, выполнение какихлибо действий), что подразумевает завершение данной части алгоритма и переход к следующей.

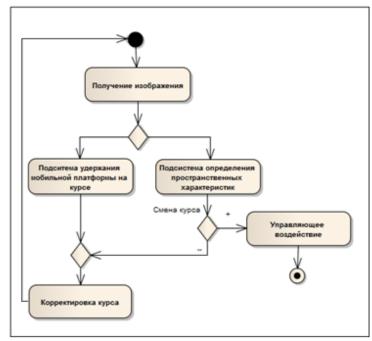


Рис. 1. Общая схема алгоритма

Подсистема удержания мобильной платформы на курсе по направлению к объекту-ориентиру основана на работе нейронной сети N_I с одним скрытым слоем, на вход которой поступают значения яркости пикселей изображения с видеокамеры, установленной на мобильной платформе и направленной вперёд по направлению её движения. Предполагается, что изначально видеокамера захватывает изображение, на котором присутствует объект-ориентир. Изображение так же предварительно от-

фильтровывается по цвету объекта-ориентира (рис. 2). Выходом нейронной сети является вектор Y из 30 значений, одно из которых равняется единице, а остальные нулю. То есть выполняется условие

$$Y = \{y_i\}, 1 < i < 30. \exists i_0, \text{ что } y_{i0} = 1. y_i = 0, \text{ если } i \neq i_0.$$
 (2)

В зависимости от единичного сигнала совершается поворот мобильной платформы на определённый угол φ . Чем больше значение $|i_0-15|$, тем больше значение φ . Если $i_0-15<0$, то $\varphi<0$. Если $i_0-15>0$, то $\varphi>0$. При i=15, $\varphi=0$.



Рис. 2. Исходное (слева) и отфильтрованное по цвету изображение, полученное с видеокамеры

Обучение нейронной сети происходит при помощи метода обратного распространения ошибки на выборке, представляющей собой набор из входных и соответствующих им выходных значений. В качестве входных значений используются изображения с объектом-ориентиром, находящимся в различных возможных позициях на нём. В качестве выходных значений используется соответствующий вектор Y, представляющий собой требуемый угол поворота φ мобильной платформы для корректировки курса.

Таким образом, нейронная сеть стремится к тому, чтобы удержать изображение объекта в центре видимости видеокамеры, и при отклонении движения мобильной платформы от заданного направления происходит автоматическая коррекция.

Алгоритм подсистемы определения пространственных характеристик объекта-ориентира показан на рис. 3. Согласно нему изображение, поступившее с видеокамеры, проходит обработку — сглаживание, фильтрацию по цвету и определение ключевого параметра (ширины или высоты изображения выделенного объекта). Значение ключевого параметра добавляется в буфер. Затем поступает новое изображение и операция повторяется. Так происходит до тех пор, пока ключевой параметр не достигнет или превысит некоторое заранее заданное значение *S*. После этого происходит интерполяция последовательности значений буфера, которая нужна для получения значения в полученной последовательности, максимально приближенного к *S*. Поскольку зависимость значений ключевого параметра от времени имеет простое строение (монотонно убывает, нет

резких перегибов), для её интерполяции используются кубические сплайны, основными свойствами которых является прохождение полученного графика точно через узловые точки, отсутствие резких перегибов и небольшая трудоёмкость вычислений [1].

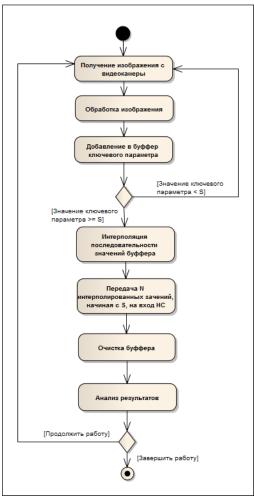


Рис. 3. Схема работы алгоритма подсистемы удержания мобильной платформы на заданном курсе

В работах [2], [3] было показано, что на основе зависимости значений ключевого параметра от времени можно определить, к объекту какого размера приближается видеокамера, а значит, и определить дистанцию до него.

Размер изображения объекта x зависит от фокусного расстояния f, реального размера объекта X и дистанции между объектом и камерой Z.

$$x = f \cdot \left(\frac{X}{Z}\right) \tag{3}$$

Если первоначальная дистанция Z между некоторым объектом и видеокамерой сократилась на величину a, то размер проекции объекта на изображении изменяется на величину Δx :

$$\Delta x = f \cdot \left(\frac{X}{Z - a}\right) - f \cdot \left(\frac{X}{Z}\right) = f \cdot X \cdot \frac{a}{Z^2 - a \cdot Z}.$$
 (4)

Выразим из этой формулы величину а:

$$a = \frac{Z^2 \cdot \Delta x}{f \cdot X + Z \cdot \Delta x} \,. \tag{5}$$

Предположим, что два объекта различного размера X_1 и X_2 , наблюдаемые видеокамерой, переместились на одно и то же расстояние a по направлению к видеокамере. Используя формулу (5), получаем следующее равенство:

$$\frac{Z_1^2 \cdot \Delta x_1}{f \cdot X_1 + Z_1 \cdot \Delta x_1} = \frac{Z_2^2 \cdot \Delta x_2}{f \cdot X_2 + Z_2 \cdot \Delta x_2}.$$
 (6)

При равенстве начальной дистанции $Z_1 = Z_2 = Z_s$ получаем:

$$\frac{\Delta x_1}{f \cdot X_1 + Z_S \cdot \Delta x_1} = \frac{\Delta x_2}{f \cdot X_2 + Z_S \cdot \Delta x_2},$$

$$\frac{f \cdot X_1 + Z_S \cdot \Delta x_1}{\Delta x_1} = \frac{f \cdot X_2 + Z_S \cdot \Delta x_2}{\Delta x_2},$$

$$\frac{X_1}{\Delta x_1} = \frac{X_2}{\Delta x_2}.$$
(7)

Таким образом, если $X_1 > X_2$, то $\Delta x_1 > \Delta x_1$. То есть чем больше размер объекта, тем сильнее изменится при перемещении размер его изображения, полученного с видеокамеры. То есть при условии изменения дистанции между объектом и видеокамерой по изменению размера объекта на изображении можно судить о его пространственных характеристиках.

Первоначальную дистанцию Z до объекта можно вычислить при помощи системы из m уравнений (8) при условии, что при получении каждого n-го кадра дистанция между объектом и видеокамерой сокращается на n a.

$$\Delta x_n = f \cdot X \cdot \frac{n \cdot a}{Z^2 - n \cdot a \cdot Z},\tag{8}$$

где n = 1, ..., m.

Соответственно, определив Z, можно вычислить текущую дистанцию до объекта Z_c и, используя формулу (3), его размер X:

$$Z_c = Z - m \cdot a; \qquad X = Z \cdot \left(\frac{x}{f}\right).$$
 (9)

Решение системы из m уравнений (8) обладает двумя основными недостатками: увеличение требований к вычислительным ресурсам при увеличении количества анализируемых изображений с видеокамеры и сложности в решении системы при внесении помех или порче части изображений. Использование нейронной сети, описанной ниже, позволяет избежать данные трудности.

В данном алгоритме на следующем шаге после интерполяции используется нейронная сеть N_2 с одним скрытым слоем, при обучении которой на вход подавались зависимости ключевого параметра от времени, начиная с величины S, а в качестве выхода выступал вектор из M значений, одно из которых равнялось единице, а остальные нулю. Величина M соответствует количеству объектов-ориентиров, на которых обучается нейронная сеть. Обучение проводится методом обратного распространения ошибки. Каждому выходному вектору задаётся табличное соответствие дистанции до объекта. Размер объекта либо вычисляется по формуле (9), либо также прописывается в таблице соответствия.

На следующем шаге происходит очистка буфера и анализ полученных результатов, на основе которых затем может быть принято то или иное управляющее воздействие.

Таким образом, данная нейросетевая модель позволяет определять пространственные характеристики объекта и удерживать мобильную платформу на заданном курсе при помощи монокулярной системы технического зрения. Такая модель может применяться как самостоятельно, так и в составе более сложных систем навигации для движения по ориентирам или выполнения операций с объектами.

В алгоритмах определения пространственных характеристик неподвижного объекта-ориентира, наряду с использованием нейронных сетей $N_1,\ N_2$ при неблагоприятных условиях съемки и получения видеоинформации (тряска, низкий уровень освещения и т.д.), целесообразно изучить возможность применения нечеткой математики, в частности применения понятия нечеткого расстояния [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Интерполяция сплайнами. URL: http://alglib.sources.ru/interpolation/spline3.php
- 2. Бабич А.М. Разработка систем визуальной ориентации для мобильных роботов // Студенческий научный вестник: Сб. ст. международного молодёжного научного форума-олимпиады по приоритетным направлениям развития Российской Федерации. М., 2010. С. 117–120.
- 3. Бабич А.М. Методы определения характеристик окружающего пространства при помощи монокулярных систем технического зрения // Вопросы радиоэлектроники, серия "Системы отображения информации и управления спецтехникой" ОАО "ЦНИИ "Электроника". М., 2012. Вып. 1. С. 156–162.
- 4. Бабич М.Ю. Применение нечеткого расстояния в процессе запросов к базе данных картографической информации // Вопросы радиоэлектроники. M., 2010. Bыn. 5. C. 169—180. $(\ni BT)$.

УДК 621.396 ББК 32

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛЧМ-СИГНАЛА В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ

© **Е.А.** Данилов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **И.И. Сальников**, Пензенский государственный технологический университет, (г. Пенза, Россия)

EVALUATION PARAMETERS WAVELET TRANSFORM CHIRP SIGNAL IN THE FREQUENCY RADIOLUCHEVYH TECHNICAL SYSTEMS PROTECTION

© E.A. Danilov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© I.I. Salnikov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрен метод улучшения технических параметров радиолучевой системы охраны при использовании вейвлет-преобразования. Выполнена оценка параметров вейвлет-преобразования применительно к реальным параметрам движения нарушителя и реальным характеристикам системы охраны. Показано, что для реализации вейвлет-преобразования следует использовать ПЛИС.

Ключевые слова: техническое средство охраны, частотный метод измерения дальности, вейвлет-преобразование, программируемые логические интегральные схемы, сигнальные процессоры.

The paper presents a method of improving the technical parameters of radioluchevoy protection system using wavelet transform. The estimation of the parameters of the wavelet transform with respect to the actual parameters of a violator and the actual characteristics of the system . It is shown that the implementation of the wavelet transform , use the FPGA.

Key words: technical means of protection , the frequency range measurement method, the wavelet transform, programmable logic integrated circuits, signal processors.

Технические системы охраны (TCO) в настоящее время успешно развиваются в связи с угрозой терактов и бурным развитием информационных технологий. Первичным источником информации о факте проникновения нарушителя на охраняемые объекты являются периметровые средства обнаружения, которые служат важнейшим элементом интегрированной системы безопасности. Радиолучевые ТСО (РЛТСО) — одни из наиболее распространенных периметровых ТСО. Это определяется: высокой вероятностью обнаружения; устойчивостью к изменению метеоусловий; простотой эксплуатации и монтажа по сравнению с другими ТСО. Принцип работы РЛТСО заключается в создании электромагнитного поля в пространстве между приемником и передатчиком — зоны охраны (3O) и регистрации изменений параметров этого поля при пересечении его нарушителем [1].

Среди широкого спектра РЛТСО важное значение имеют частотные однопозиционные системы, в которых для обнаружения нарушителя применяется частотный метод радиолокации. В пространство излучается

линейно частотно-модулированный (ЛЧМ) сигнал. Непериодический ЛЧМ-сигнал представляет собой сложный радиоимпульс с длительностью T_M и внутренней частотной модуляцией. В работе [2] представлена структурная схема РЛТСО с ЧМ, показан принцип работы, который заключается в излучении в пространство ЗО ЛЧМ-сигнала и приеме задержанного ЛЧМ-сигнала, отраженного от нарушителя. Основным элементом структурной схемы является синхронный детектор, который формирует биения с частотой, прямо пропорциональной дальности до нарушителя. Измерение частоты биений и определение дальности до нарушителя выполняется с помощью узкополосных фильтров низкой частоты.

В работе [3] показано, что, применяя вейвлет-преобразование при приеме ЛЧМ-сигнала в РЛТСО с ЧМ, можно существенно улучшить их технические характеристики: отношение сигнал/шум, что может привести либо к уменьшению излучаемой мощности, либо к увеличению дальности действия. Кроме того, появляется возможность определить количество нарушителей, так как при вейвлет-преобразовании наблюдается существенное сжатие отраженного сигнала.

Далее оценим параметры вейвлет-преобразования с целью определения средства реализации на аппаратном уровне. Основными условиями при реализации мобильных РЛТСО являются: малые массо-габаритные характеристики, малое энергопотребление, а также высокая надежность системы. Всем этим требованиям в разной степени удовлетворяет современная элементная база цифровых устройств обработки информации в виде программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), а также в виде сигнальных процессоров (СП). Для эффективного выбора данных элементов необходимо знать параметры исходного сигнала, а также параметры дискретного вейвлет-преобразования.

Оценка времени пребывания нарушителя в зоне обнаружения

3О для однопозиционных РЛТСО аппроксимируется эллипсом (рис. 1). При этом главными характеристиками являются максимальная высота h ширина r, а также длина l.



Рис. 1. Зона обнаружения однопозиционной РЛТСО

Средняя скорость бегущего человека в быстром темпе примерно равна $V_{\rm H}=32$ км/ч (9 м/с), примем это значение за максимальную скорость нарушителя. Отсюда, зная ширину r, можно вычислить примерное время пребывания нарушителя в 3О: $t_{\rm H}=r/V_{\rm H}$.

В реально выпускаемых РЛТСО ширина 3О равна 2 м. Тогда минимальное время пребывания нарушителя в 3О будет

$$t_{\rm H} = \frac{2}{9} = 0,222 \approx 0,2$$
 c. (1)

Определение числа отсчетов для выполнения вейвлетпреобразования

Известно, что процедура превращения непрерывных сигналов в цифровые состоит из двух этапов: дискретизации и квантования. Всегда важно правильно выбрать интервал дискретизации. Задача о выборе интервала дискретизации наиболее просто решается для сигналов с ограниченным спектром на основе теоремы Котельникова [4]. ЛЧМ-сигнал относится именно к таким сигналам. В соответствии с теоремой Котельникова непрерывный сигнал S(t), в спектре которого не содержится частот выше $f_{\rm B}$, полностью описывается выборочными значениями $S(k\Delta t_i)$, отсчитанными через интервалы времени $\Delta t_i \leq \frac{1}{2f_{\rm B}} = \frac{\pi}{\omega_{\rm B}}$.

ЛЧМ-сигнал (рис. 2) описывается центральной частотой $f_{\rm ц}$, частотой девиации $f_{\rm д}$ и частотой следования $f_{\rm M}$. При смещении спектра ЛЧМ-сигнала в область низких частот максимальная частота $f_{\rm max}$ будет примерно равна $f_{\rm d}$

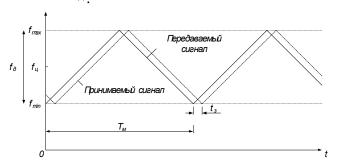


Рис. 2. ЛЧМ-сигнал, используемый в РЛТСО с ЧМ

Тогда интервал дискретизации будет равен $\Delta t_i = \frac{1}{2f_{\pi}}$ и частота

дискретизации $f_i = 2f_{_{\rm T}}$. Частоту дискретизации необходимо брать с запасом из-за неточности гетеродинирования и невысоких порядков входных фильтров

$$f_i = 3f_{\pi}. \tag{2}$$

Для выполнения вейвлет-преобразования (ВП) необходимо к временному отрезку $T_{\rm M}$, равному одному периоду передаваемого ЛЧМ-сигнала, прибавить время задержки, т.е. $T_{\rm M}+t_{\rm 3}$, которое определяется дальностью до объекта и максимальное значение которого для получения

однозначного результата не может быть больше $t_{3 \text{ max}} = T_{\text{M}}/2$ (рис. 2). С учетом этого возьмем время ВП с запасом, т.е.

$$t_{\rm BII} = \frac{3T_{\rm M}}{2}.\tag{3}$$

Определим число отсчетов ВП с учетом (2) и (3):

$$N_{\rm BII} = 3f_{\rm m} \cdot \frac{3T_{\rm m}}{2} = 4.5 \cdot T_{\rm m} f_{\rm m} = \frac{4.5 \cdot f_{\rm m}}{f_{\rm m}}.$$
 (4)

В табл. 1 показана зависимость числа отсчетов ВП N_{BH} от частоты девиации $f_{_{\mathrm{I\! I}}}$ и частоты повторения ЛЧМ $f_{_{\mathrm{M}}}.$ Для реализации ВП можно применить быстрое преобразование Фурье (БПФ). БПФ вычисляется из числа отсчетов, кратных степени 2, поэтому в табл. 1 приведено $N_{\rm BH}$, округление числа отсчетов до ближайшей степени 2, что приводит к увеличению числа отсчетов и времени ВП: $t_{{\rm BH},2} = N_{{\rm BH},2} / f_i$. В последнем столбце табл. 1 приведены значения числа отсчетов ВП, получаемых за интервал нахождения нарушителя в 30 (1):

$$N_{\rm B\Pi,H} = \frac{t_{\rm H}}{t_{\rm B\Pi,2}} = \frac{0.2}{t_{\rm B\Pi,2}}.$$
 (5)

таолица т — тисло отечетов для разных параметров зт пут-ейгнала							
$f_{_{ m M}}{}_{,}$ кГц	$f_{_{ m I\!\! I}},$ М Γ ц	$N_{_{ m B\Pi}}$	$N_{{ m B\Pi}},_2$	$f_{i}_{,}$ МГц	$t_{ m B\Pi,2}^{}$,	$N_{{ m B\Pi,H}}$	
4	25	28125	32768	75	437	457	
4	50	56250	65536	150	437	457	
4	100	112500	131072	300	437	457	
8	25	14062,5	16384	75	219	915	
8	50	28125	32768	150	219	915	
8	100	56250	65536	300	219	915	
8	115	64687,5	65536	345	190	1052	
8	200	112500	131072	600	219	915	
12	25	9375	16384	75	219	915	
12	50	18750	32768	150	219	915	
12	100	37500	65536	300	219	915	
12	170	63750	65536	510	129	1556	
12	200	75000	131072	600	219	915	
16	25	7031,25	8192	75	110	1831	
16	50	14062,5	16384	150	110	1831	
16	100	28125	32768	300	110	1831	
16	200	56250	65536	600	110	1831	
16	230	64687,5	65536	690	95	2105	

Таблица 1 – Число отсчетов для разных параметров ЛЧМ-сигнала

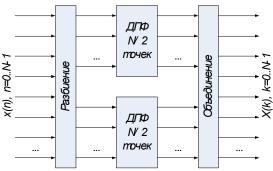
Для вычисления БПФ нам необходимо накопить необходимое число отсчетов, время сбора которых равно $T_{\rm B\Pi, H} = \frac{N_{\rm B\Pi, H}}{f}$. Величина $T_{\rm B\Pi, H}$

косвенно определяет вероятность и достоверность обнаружения нарушителя. Из таблицы видно, что наиболее оптимальным ЛЧМ-сигнал будет с параметрами $f_{\rm M}=12~{\rm к}\Gamma$ ц, $f_{\rm J}=170~{\rm M}\Gamma$ ц. При этом мы получаем лучший в группе показатель по числу выборок с частотой дискретизации не слишком высокой.

Оценка вычислительной сложности реализации БПФ

При прямом вычислении N-точечного дискретного преобразования Фурье (ДПФ) нужно выполнить $(N-1)^2$ комплексных умножений и $N\cdot(N-1)$ комплексных сложений. Таким образом, для достаточно большого N (порядка 1000) прямое вычисление ДПФ требует чрезмерного количества вычислительных операций.

В настоящее время при цифровой обработке сигналов широко используется быстрое преобразование Фурье (БПФ). Основная идея БПФ состоит в том, что исходная N-точечная последовательность разбивается на две более короткие последовательности (рисунок 3).



Puc.~3.~3амена N-точечного ДП Φ двумя N/2 -точечными ДП Φ

 $Д\Pi\Phi$ этих последовательностей могут быть скомбинированы таким образом, чтобы получилось $Д\Pi\Phi$ исходной N-точечной последовательности.

Эту операцию можно повторить, вычисляя в место N/2-точечного ДПФ два N/4-точечных ДПФ, реализуя каскадное преобразование. Процедура последовательного сокращения вдвое размеров преобразований показывает, что на каждом этапе БПФ необходимо выполнить N/2 комплексных умножений. Поскольку общее количество этапов равно $\log_2 N$, то число комплексных умножений, необходимое для нахождения N-точечного ДПФ, приблизительно равно $N/2 \cdot \log_2 N$ [5].

Базовая операция алгоритма с прореживанием по времени (так называемая «бабочка») состоит в том, что два входных числа A и B объединяются для получения двух выходных чисел X и Y следующим образом:

$$X = A + W_N^k B,$$

$$Y = A - W_N^k B.$$
(6)

На рис. 4 изображен направленный граф базовой операции. Каждый этап БП Φ содержит N/2 базовых операций (рис. 5).

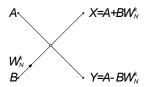


Рис. 4. Базовая операция алгоритма БПФ

<u>x(0)</u>	X(0)
<u>x(4)</u> W	X(1)_
x(2) W	X(2)
x(6) W W	X(3)_
<u>x(1)</u>	X(4)
x(5) W W	X(5)
<u>x(3)</u> W W	X(6)_
$x(7)$ W^{ℓ} W^{ℓ} W^{ℓ}	X(7)

Рис. 5. Восьмиточечное ДПФ, полученное последовательным прореживанием в 2 раза

В «бабочке» содержится одна операция комплексного умножения и две операции комплексного сложения. Комплексное умножение соответствует 4 умножениям и 2 сложениям действительных чисел, а комплексное сложение 2 действительным сложениям. В табл. 2 представлено количество операций в зависимости от размера ДПФ. Алгоритм БПФ хорошо поддается распараллеливанию, все операции на этапе могут выполняться параллельно. Поэтому полное время выполнения преобразования равно времени выполнения одного этапа на глубину БПФ. При распараллеливании вычисления время выполнения одного этапа равно последовательному выполнению действительного умножения, сложения и еще одного сложения.

Таблица 2 – Количество вычислительных операций для БПФ

Число точек	Глубина (число этапов)	Комплексных умножений на этап	Комплексных сложений на этап	Действительных умножений на этап	Действительных сложений на этап	Общее число действительных умножений	Общее число действительных сложений
8192	13	4096	8192	16384	16384	212992	212992
16384	14	8192	16384	32768	32768	458752	458752
32768	15	16384	32768	65536	65536	983040	983040
65536	16	32768	65536	131072	131072	2097152	2097152
131072	17	65536	131072	262144	262144	4456448	4456448

Время выполнения БПФ на различной элементной базе В цифровой обработке сигналов (ЦОС) преимущественно используются СП и ПЛИС. Изначально СП были более универсальной платфор-

мой для разработки приложений ЦОС. Они имели архитектуру, схожую с микроконтроллерами, и ряд библиотек, что упрощало проектирование.

В настоящее время на рынке присутствует множество фирм, выпускающих СП, одной из них является фирма *Analog Devices*. Для вычисления БПФ в библиотеках, распространяемых *Analog Devices*, есть специальный модуль. В табл. 3 приведено время выполнения преобразования на различных сигнальных процессорах фирмы *Analog Devices*.

	•			
Сигнальный процессор	ADSP-2189M	ADSP-21160	ADSP-TS001	ADSP-TS001
Число точек	1024	1024	256	1024
Разрядность	16	32	16	32
Формат точки	Фикс.	Плавающая	Фикс.	Плавающая
Такт. частота, МГц	90	100	150	150
Время выполн. БПФ, мкс	453	180	7,3	69

Таблица 3 – Время выполнения БПФ на СП

Применение СП хоть и сокращает время разработки, но для больших объемов обрабатываемых данных не подходит из-за длительных вычислений преобразования. Кроме того, для вычисления БП Φ с числом точек более 1024 требуется дополнительная внешняя память, работа с которой еще больше увеличит время преобразования.

Реализация БПФ на ПЛИС требует более глубоких знаний цифровой схемотехники, машинной арифметики, на разработку проекта затрачивается больше времени и ресурсов. Несмотря на это, скорость выполнения БПФ на ПЛИС на порядки превышает скорость программной реализации на СП. В настоящее время для ПЛИС так же существует ряд библиотек, как свободных, так и распространяемых самими производителями ПЛИС. Главными производителями ПЛИС являются фирмы Xilinx и Altera. Altera для своих продуктов предлагает ядро FFT MegaCore, а Xilinx LogiCORE IP Fast Fourier Transform (табл. 4). Как видно из таблицы 3, функциональные возможности у обеих ядер примерно одинаковы. Время преобразования приводится для ПЛИС среднего класса Xilinx - Spartan 6 и Altera - Cyclone III. Время преобразования для 65 536 точек не приводится, но можно аппроксимировать время, умножив время преобразования 32 768 точек на 4, что не должно превышать 4 мс.

таолица + ларакте	таолица ч Ларактеристики ядер вттФ						
Характеристики	FFT MegaCore	Fast Fourier Transform					
Длина преобразования	64-65536	8-65536					
Фиксированная точка	да	да					
Плавающая точка	да	да					
Разрядность, бит	8-32	8-34					
Время преобразования для 4096 точек, мкс	90,89	115,30					
Время преобразования для 32768 точек, мкс	не приводится	956,35					

Таблица 4 – Характеристики ядер БПФ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. M.: Физматлит, $2011.-252\ c$.
- 2. Сальников И.И. Оценка информативных параметров в частотных радиолучевых технических средствах охраны // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Научно-методический журнал. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технолог. акад. 2012. N 05(09). C. 63—68.
- 3. Данилов Е.А., Сальников И.И. Моделирование вейвлет-преобразования в частотных радиолучевых технических системах охраны // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего $_{nnoc}$: Научно-методический журнал. Пенза: Изд-во Пенз. гос. технолог. акад. 2012. № 05(09). С. 107—111.
- 4. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. М. : Госэнергоиздат, 1956.
- 5. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. M. : Mup, 1989. 448 c.

УДК 004.89 ББК 34

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ

© **А.Е. Дудров**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

MODEL OF DISTRIBUTED INFORMATION STRUCTURE

© A.E. Dudrov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье предложена распределенная информационная структура (РИС), организованная на базе реальной автоматизированной системы управления объектами в нефтегазовой отрасли. Проведен анализ времени задержки пакета данных в канале связи на основе имитационного моделирования. Выбрана адекватная модель РИС.

Ключевые слова: распределенная информационная структура, имитационное моделирование, экспериментальные данные, сравнение.

The paper proposes a distributed information structure (DIS), organized on the basis of the actual automated facility management in the oil and gas industry. The analysis of the data packet delay in the communication channel through simulation. Choose an adequate model of DIS.

Key words: distributed information structure, simulation, experimental data, comparison. **E-mail**: los@pgta.ru

Распределенная информационная структура (РИС) основывается на информационно-технической системе передачи данных. Пример РИС, используемой в нефтегазовой отрасли, представлен на рис. 1. Организация данной РИС представляет собой автоматизированную систему управления объектами и основана на терминальной архитектуре. При этом

широко используются мобильные системы передачи информации между терминалами, основу которых составляют контроллеры, выполняющие сбор и обработку данных от датчиков, а также передачу данных между пунктами сбора и контроля информации.

РИС состоит из центра обработки данных (ЦОД), выполняющего ведение электронной документации, формирование отчетов, передачу документации и текущего состояния работы РИС в центральный офис.

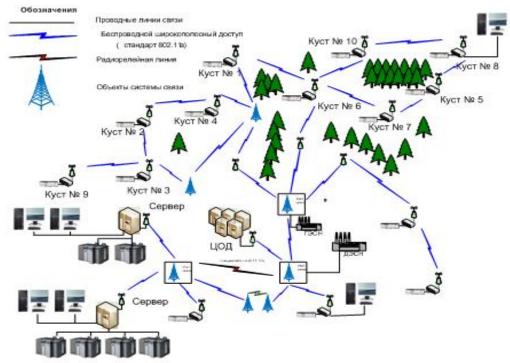


Рис. 1. Фрагмент распределенной информационной структуры, используемый в нефтегазовой отрасли

ЦОД объединяет распределенные серверы, узлы связи, контроллеры и системы связи на кустовых площадках. На объектах имеются дизельные и газовые электростанции собственных нужд (ДЭСН, ГЭСН), с которых снимается информация об их состоянии. Серверы служат локальными ЦОД для сети АРМ операторов и сети контроллеров управления технологическими объектами. Кустовые площадки включают в себя насосные станции закачки пластовой воды и транспорта нефти. Насосными станциями управляет контроллер. Удаленный мониторинг состояния объектов осуществляет ЦОД через узлы беспроводной связи. АРМ мониторинга служит для частичного дублирования функций наблюдения и управления на случай обрыва связи.

На рис. 2 представлена информационная модель РИС.

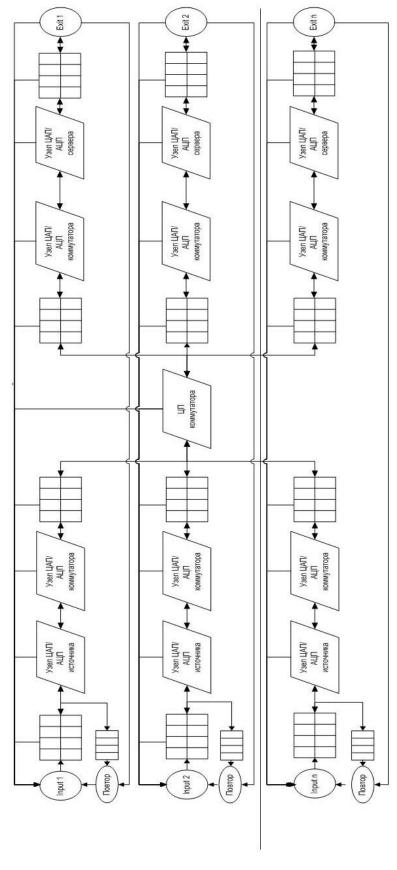


Рис. 2. Информационная модель РИС

РИС передачи данных при условии исключения ряда факторов: климатического, отсутствия искажений в канале передачи данных, человеческого и стабильности работы оборудования, может быть представлена в виде системы массового обслуживания (СМО), состоящей из совокупности узлов — обработчиков пакета данных, соединенных каналом связи.

Любой принятый пакет данных, пришедший в узел, попадает во входную или выходную очередь узла, где ожидает своей обработки. Пакеты данных, принятые с ошибками или обрабатывающиеся в сети больше времени своей жизни, автоматически удаляются, а к источнику направляется запрос о повторении данного пакета. В случае утраты пакета происходит повторение ранее отправляемого пакета. Время передачи или полное время задержки сообщения D можно определить как [1]:

$$D = T_P + S + W, \tag{1}$$

где T_P — время распространения пакета, мс, S — время обслуживания, мс, W — время ожидания, мс.

Для исследования полного времени задержки D работу подобной РИС можно описать посредством модели оценки качества связи — QoS символикой Дж. Кенделла [2,3]: A/B/C/K/m/z, где A — распределение времени прибытия пакета данных; B — распределение времени обслуживания; C — число обслуживающих узлов (C = 1,2,..., ∞); K — емкость накопителя системы, т.е. максимальный размер очереди; m — число узлов; z — схема работы буфера.

Распределения времени прибытия и обслуживания пакета данных могут характеризоваться следующими законами:

- D закон распределений непрерывных случайных величин, определенных в области положительных значений распределение Эрланга;
 - M марковское экспоненциальное распределение;
- G обобщенный закон распределения закон распределения Релея Райса;
 - E_k распределение Эрланга порядка k;
 - H_k гиперэкспоненциальное распределение порядка k.

Типовой схемой работы буфера является модель FIFO (первый пришел — первый ушел), реже FIRO (первый пришел — случайный вышел).

В работе представлены исследования по трем типам моделей:

- CMO типа M/G/1 система с одним обслуживающим прибором (узлом), пуассоновским входящим потоком и произвольным распределением времени обслуживания;
- СМО типа *M/D*/1 − одноканальная система с пуассоновским входящим потоком и детерминированным распределением времени обслуживания;
- аналитическая модель Лэма для сетей *Ethernet* характерна тем, что сеть состоит из бесконечного числа узлов, соединенных каналами с доменным доступом, т.е. станция может начать передачу только в начале какого-то временного домена. Распределение сообщений подчиняется закону Пуассона с постоянной скоростью следования 1.

Время распространения и время обслуживания для первых двух моделей одинаковы и составляют 500 мкс, а время ожидания различно.

Так, среднее время ожидания \overline{W} для модели типа M/G/1 можно определить формулой Полячека — Хинчина:

$$\overline{W} = \frac{\overline{Q}}{\lambda} = \frac{\rho \cdot \tau}{2 \cdot (1 - \rho)} \cdot (1 + \frac{\sigma^2}{\tau^2}),$$

где \overline{Q} — среднее значение длины очереди; λ — средняя входная частота сообщений; ρ — коэффициент загрузки; τ — среднее время обслуживания; σ — среднеквадратичное отклонение для распределения времени обслуживания.

Для очереди типа M/D/1 среднее время ожидания составляет

$$\overline{W} = \frac{\rho \cdot \tau}{2 \cdot (1 - \rho)}.$$

Для аналитической модели Лэма среднее значение времени ожидания составляет

$$\overline{D} = \frac{\lambda \cdot (\overline{S^2} + (4 \cdot e + 2) \cdot \tau \cdot \overline{S} + 5 \cdot \tau^2 + 4 \cdot e \cdot (2 \cdot e - 1) \cdot \tau^2)}{2 \cdot (1 - \lambda \cdot (\overline{S} + \tau + 2 \cdot e \cdot \tau))} - \frac{(1 - e^{-2 \cdot \lambda \cdot \tau})(e + \lambda \cdot \tau - 2 \cdot e \cdot \lambda \cdot \tau)}{e \cdot \lambda \cdot (F(\lambda) \cdot e^{-(1 + \lambda \cdot \tau)} + e^{-2 \cdot \lambda \cdot \tau} - 1)} + 2 \cdot e \cdot \tau + \overline{S} + \frac{\tau}{3},$$

где \overline{S} и \overline{S}^2 — соответственно, первый и второй моменты распределения передачи или обслуживания сообщения; e — основание натурального логарифма; τ — задержка распространения сигнала в сети; $F(\lambda)$ — преобразование Лапласа для распределения времени передачи сообщения по закону распределения непрерывных случайных величин (распределение Эрланга) при рассмотрении одного и пяти узлов, соответственно, k=1 и k=5. Плотность вероятности распределения Эрланга представляется формулой

$$F(\lambda) = \lambda \cdot k \cdot \frac{(\lambda \cdot k \cdot t)^{k-1}}{(k-1)!} \cdot e^{-\lambda \cdot k \cdot t}.$$

Моделирование работы РИС по трем приведенным моделям проводилось с применением языка имитационного моделирования GPSS. Результаты моделирования по времени задержки D представлены в табл. 1.

С целью выявления наиболее адекватной модели представления РИС сравним полученный результат моделирования с экспериментальным.

Эксперимент осуществлялся в условиях западной Сибири на территории площадью 80 га. Были собраны данные о времени прохождения и обработки пакета данных между четырьмя объектами управления и контроля. Установки 5-го и 3-го куста используют один промежуточный узел связи, а 14-й и 26-й куст при своей работе используют минимально 5 узлов связи (рис. 3).



Рис. 3. Физические модели исследуемых кустов: а) модель 5-го и 3-го куста; б) модель 14-го и 26-го куста

В процессе проведения эксперимента было проанализировано 1000 выборок, взятых как среднее значение времени ожидания пакета данных D в течение 5 минут, фрагмент полученных данных представлен на рис. 4. Среднее время распространения пакета примем равным 50 мс - это среднее время обработки для модема Wi-Fi Broadcom [4]. Результаты экспериментально полученных данных также приведены в табл. 1. Адекватность модели характеризуется среднеквадратическим отклонением.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Тип модели	Время обработки пакета данных, мс					
тип модели	Куст 5	Куст 3	Куст 14	Куст 26		
Резу	Результаты моделирования					
Модель <i>M/G</i> /1(5)	153,04	155,052	703,56	708,36		
Модель <i>M/D</i> /1(5)	30,237	32,986	414,75	416,98		
Аналитическая модель Лэма	70,568	71,203	580,73	578,95		
для сетей Ethernet						
Экспери	ментальны	е данные				
Среднее время	77,426	80,2304	602,152	609,024		
Среднеквадрати	ческое отк.	лонение мо	делей			
Модель <i>M/G</i> /1(5)	26,73217	26,45343	35,8542	17,44326		
Модель <i>M/D</i> /1(5)	16,68383	16,70342	66,2552	67,89745		
Аналитическая модель Лэма	2,424669	3,191668	7,573821	6,743324		
для сетей Ethernet						

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ...

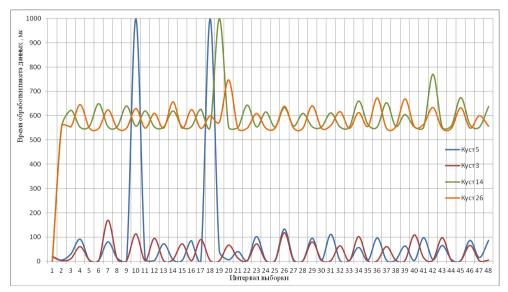


Рис. 4. Время обработки пакета данных в РИС

Из табл. 1 видно, что аналитическая модель Лэма для сетей Ethernet имеет минимальное среднеквадратичное отклонение, следовательно, она предпочтительнее для анализа подобных информационных структур. Она и будет использована для прогнозирования времени передачи пакета данных в общем информационном потоке. Подобный прогноз дает возможность определить минимальное время опроса канала ввода-вывода, что напрямую связано с быстродействием работы РИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.~ Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. M.: Горячая Линия Телеком, 2011.-536 с.
- 2. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М. : Мир, 1979. $595\ c.$
- 3. Алиев Т.В. Основы моделирования дискретных систем. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009.-363~c.
- 4. Сайт компании Broadcom. URL : http://www.broadcom.com (дата обращения 15.05.2013).

УДК 681.3 ББК 34

О ПРИМЕНЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГРАФИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© **Ю.Н. Косников**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **Н.В.** Александрова, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

APPLICATION OF GEOMETRICAL FORMS IN COMPUTER SYSTEMS OF GRAPHIC PURPOSE

© Y.N. Kosnikov, Penza State University (Penza, Russia)

© N.V. Aleksandrova, Penza State University (Penza, Russia)

Предлагается процесс геометрического моделирования и отображения пространственных объектов на основе последовательного применения различных геометрических форм: поверхностей на основе применения радиальных базисных функций, сплайновых отсеков, полигональной сетки.

Ключевые слова: геометрическое моделирование, компьютерная графика, радиальная базисная функция, регуляризация, сплайн, полигональная сетка.

The paper examines a process of geometric modeling and displaying of spatial objects based on the successive application of various geometric shapes: surfaces based on the application of radial basic functions, spline sections, polygonal mesh.

Key words: geometric modeling, computer graphics, radial basic function, regularization, spline, polygonal mesh.

E-mail: kosnikov@gmail.com, 125nats@mail.ru

Назначением графических систем (ГС) в общем случае является реалистическое отображение динамических пространственных объектов. К таким системам относятся системы мониторинга технологических процессов, системы диспетчирования подвижных объектов, автоматизированные обучающие системы, системы игрового назначения и др. Реалистичность отображения в них означает соответствие представляемой наблюдателю сцены его опыту и ожиданиям. Главным компонентом реалистичности является реалистичность формы объектов.

Визуализация поверхности организуется на основе выбранного геометрического примитива. Наиболее распространенным геометрическим примитивом является плоский полигон треугольной формы. Тогда полигональная модель поверхности (полигональная сетка) получается путем триангуляции — соединения опорных точек прямолинейными отрезками в треугольники. Направления нормалей к полигонам находятся с помощью векторного произведения двух векторов, совпадающих по направлению с ребрами полигонов. Для более реалистичного освещения объекта каждой вершине полигональной сетки ставится в соответствие вектор нормали, полученный усреднением нормальных векторов, которые найдены для сходящихся в этой вершине полигонов [8].

Основное достоинство полигональной сетки — это простота выполняемых над ней графических операций — отсечения, отбраковки нелицевых полигонов, текстурирования. Однако полигональная сетка имеет и ряд недостатков, и прежде всего — повышенное потребление ресурсов вычислительной системы. Для реалистического представления объектов сложной формы требуется большое количество полигонов — сотни тысяч, а то и миллионы. Сетка с высокой детальностью создается заранее и хранится в полном объеме, с нормалями, в памяти графической системы. При отображении динамических объектов пространственное положение всех вершин должно пересчитываться с частотой, обеспечивающей режим реального времени (РВ). Для повышения производительности графической системы обработку полигонов сетки возлагают на специализированное устройство — программно-аппаратный графический процессор. Таким образом, завершающий этап отображения трехмерных объектов в любом случае выполняется над полигональными сетками.

Можно поставить задачу: для описания объекта использовать ограниченный набор исходных опорных точек (скалярное поле), этот же набор использовать для выполнения геометрических преобразований объекта, а полигональную сетку формировать в режиме РВ перед передачей информации в графический процессор.

Основная сложность решения поставленной задачи заключается в формировании полигональной сетки. Дело в том, что исходные опорные точки расставлены нерегулярно, и их непосредственная триангуляция не дает гладкой криволинейной поверхности. Там, где опорные точки расставлены редко, в сетку войдут плоские участки большой площади, ухудшающие геометрию формы. Выходом является предварительная регуляризация расстановки опорных точек, то есть переход от исходного набора точек к новому набору, который содержит опорные точки, регулярно расставленные на будущей поверхности с заданным шагом. Дальнейший переход от регулярно расставленных опорных точек к полигональной сетке возможен на основе простых быстрых алгоритмов, например конечноразностных, что позволяет выполнять его с высокой скоростью. Для выполнения регуляризации должны быть применены интерполяционные методы.

В настоящее время в геометрическом моделировании известны геометрические примитивы, получаемые на основе интерполяции. В них используются так называемые смешивающие функции. К таким примитивам относятся кинематическая поверхность, сплайновый отсек, рельефпримитив, поверхность Цао Ена, поверхность на основе скалярной функции возмущения [5]. Они могут быть использованы в качестве отсеков составной поверхности, визуализирующей скалярное поле. Примитивы имеют аналитическое описание и позволяют находить промежуточные точки, принадлежащие заданной поверхности или близкие к ней. Все названные примитивы описываются своими характерными точками, и основная задача при их применении — выделить среди исходных опорных точек скалярного поля характерные точки этих примитивов (отсеков). К тому же некоторые примитивы требуют определения дополнительных точек.

Существующие трудности можно обойти, используя для регуляризации опорных точек модель поверхности на основе радиальных базисных функций (РБФ). Известными достоинствами РБФ в области геометрического моделирования являются точное прохождение интерполированной поверхности через опорные точки и гладкость поверхности, что удовлетворяет заданным критериям качества визуализации скалярного поля. Аналитическое описание поверхности позволяет пройти ее с заданным шагом и «расставить» новые опорные точки по желаемому закону.

Однако модель поверхности на основе РБФ имеет свои недостатки. Она описывается суммой многих слагаемых, в каждом из которых нужно вычислять значение РБФ. Разновидности РБФ, пригодные для описания криволинейных поверхностей, содержат степени и радикалы [2], что, в итоге, делает переход к полигональной сетке в режиме РВ проблематичным. Положение усугубляется необходимостью одновременного вычисления нормалей к поверхности, а их координаты определяются частными производными РБФ по трем аргументам – координатам декартова пространства. Тогда можно обратить внимание на то, что после получения новых - регулярно расставленных - опорных точек на них легко построить сплайновую модель поверхности. В том числе, легко определить дополнительные опорные точки. Например, для отсека сплайна Безье они лежат на касательных, проходящих через угловые точки отсека. За эти касательные для выбранной опорной точки принимаются прямые, параллельные линиям, которые проведены через опорные точки, соседние с выбранной точкой по обоим направлениям координат-аргументов [7]. Просто находятся и координаты проведенных через опорные точки нормалей к сплайновой поверхности. Они описываются частными производными бикубической сплайн-функции.

Таким образом, в соответствии с предлагаемым подходом новые опорные точки, полученные с помощью РБФ, еще не являются вершинами полигональной сетки, они определяют углы характеристических многогранников сплайновой модели. Количество новых опорных точек, которые теперь представляют исходное скалярное поле, нужно поставить в зависимость от характера рельефа: для сглаженного рельефа это количество можно уменьшить, для пересеченного его нужно увеличить. Регуляризация расстановки опорных точек и отыскание параметров сплайновой модели поверхности относятся к предварительной обработке исходного скалярного поля и не требуют реализации в режиме РВ.

Описание поверхности с помощью РБФ основано на том, что координата текущей точки поверхности находится как сумма взвешенных координат опорных точек. Опорным точкам сопоставляются центры РБФ. «Вес» опорной точки, то есть степень ее влияния на текущую точку, зависит от расстояния между опорной и текущей точками, а также от вида РБФ. Математическая модель поверхности представляет собой аналитическую функцию f(x,y,z), представляемую, как правило, в общей форме записи [13].

$$f(x, y, z) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \phi(r_i) + P(x, y, z) , \qquad (1)$$

где x, y, z – координаты текущей точки поверхности; r_i – расстояние между i-й опорной точкой и текущей точкой; ϕ – РБФ; λ_i – весовой коэффициент i-й опорной точки, который характеризует влияние этой точки на положение искомой точки; N – количество опорных точек; P – полином первой или более высокой степени, назначение которого поясняется ниже.

Для получения описания поверхности в аналитической форме необходимо найти весовые коэффициенты λ_i для каждой известной опорной точки. Для этого из условия прохождения поверхности через все опорные точки составляется система из N уравнений. Без полинома Pправые части этих уравнений равны нулю, что позволяет получить лишь тривиальное решение системы. Добавление полинома Р гарантирует возможность решения системы уравнений, так как делает правые части уравнений системы ненулевыми [11, 12].

Когда коэффициенты λ_i найдены, необходимо произвести развертывание поверхности, то есть вычисление ее текущих точек по выражению (1) с некоторым шагом. Функция ф обычно представлена дробями и радикалами, поэтому выразить одну координату из уравнения (1) через другие, то есть привести (1) к явной форме весьма затруднительно. Поэтому развертывание поверхности представляется возможным только методом перебора всех точек из области определения функции и подстановки их координат в (1). Если для очередной точки выполняется равенство входящей в (1) суммы нулю, значит, точка принадлежит поверхности. Переборный метод требует больших вычислительных и временных затрат, что негативно сказывается на скорости построения поверхности.

Большинства проблем при использовании математического аппарата РБФ можно избежать, если заранее знать характер поверхности. Например, если известно, что облако точек представляет в декартовом пространстве однозначную поверхность, то ее можно описать в явной форме:

$$z(x, y) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \phi(r_i) ,$$

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} ,$$
(2)

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}$$
, (3)

x, y – координаты текущей точки поверхности на плоскости XOY; где r_i – расстояние между опорной и текущей точками на плоскости XOY; x_i, y_i — координаты i -й опорной точки на плоскости XOY .

В этом случае область влияния каждой известной точки определяется на плоскости аргументов x, y и представляет собой круг. Весовые коэффициенты находятся из системы линейных уравнений, полученных из (2) при совпадении текущей точки с известными (опорными) точками поверхности. Для решения данной системы уравнений удобно представить ее в матричной форме:

$$\begin{vmatrix} \phi(r_{11}) & \phi(r_{21}) & \cdots & \phi(r_{N1}) \\ \phi(r_{12}) & \phi(r_{22}) & \cdots & \phi(r_{N2}) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \phi(r_{1N}) & \phi(r_{2N}) & \cdots & \phi(r_{NN}) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} z_1 \\ z_2 \\ \vdots \\ z_N \end{vmatrix}, \tag{4}$$

тогда решение после ввода очевидных обозначений принимает вид

$$\Lambda = Z \cdot \Phi^{-1} \quad . \tag{5}$$

После нахождения коэффициентов λ_i необходимо произвести развертывание поверхности, то есть обойти ее с заданным шагом по обеим координатам-аргументам.

Перебор значений аргументов x,y организуется по некоторому регулярному закону с выбранным шагом. Для каждой очередной пары значений по формуле (3) находится и подставляется в выражение (2) расстояние r_i (i=1..N). Полученные значения x,y,z дают очередную новую опорную точку поверхности. Данные точки используются впоследствии в качестве вершин характеристических многогранников сплайновых отсеков. Построить характеристические многогранники на регулярно расставленных вершинах достаточно просто, в чем и заключается основное достоинство регуляризации расстановки новых опорных точек.

На практике применяется целый ряд разновидностей РБФ, однако обоснованные рекомендации по их выбору для целей компьютерной графики отсутствуют. Целесообразно использовать локализованные в пространстве РБФ, влияние которых спадает при удалении от опорной точки. Применение таких РБФ позволит при вычислении точек очередного отсека минимизировать влияние соседних отсеков на его геометрию. Для оценки выбраны следующие функции: гауссиан, мультиквадрик, инверсный мультиквадрик, квадратическая и кубическая функции Матерна [9], сплайны Вендланда. Они локализованы в пространстве и хорошо подходят для локального управления формой. За критерий оценки РБФ принято оптимальное соотношение СКО, возникающего в процессе расчета точек поверхности, с шагом ее обхода [1].

Для проведения исследования разработан численный алгоритм визуализации и оценки погрешности моделирования построенной поверхности. Для оценки выбрана функция Франке [9], координаты случайно выбранных точек которой образовали входные массивы. В процессе работы алгоритма происходит приведение входных массивов координат к виду поверхности в явной форме описания (2), нахождение матрицы коэффициентов РБФ (5), расчет точек поверхности по выражению (2) с учетом матрицы коэффициентов, найденной на предыдущем шаге. Реализация алгоритма проведена с помощью математического пакета *Matlab* 7.10. На выходе получено изображение поверхности, которое представлено на рис. 1,а. Анализ показывает хорошие изобразительные возможности алгоритма.

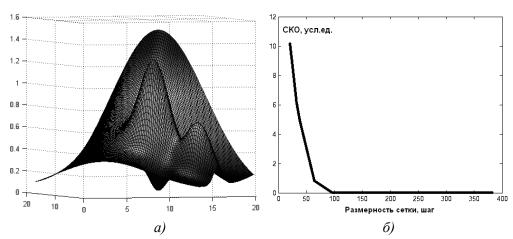


Рис. 1. Результат визуализации поверхности (а) и зависимость СКО от размерности сетки (б)

Рис. 1,б иллюстрирует численные результаты эксперимента. Наименьшее значение СКО получено для квадратической функции Матерна. При шаге обхода 0,2, которому соответствует размерность сетки новых опорных точек в 46 шагов, величина СКО составляет 0,0019, что позволяет сделать выбор в пользу названной функции для применения в построении поверхности [1].

После перехода к сплайновой модели наступает этап отображения поверхности. Сплайновая модель характеризуется инвариантностью к аффинным, а при некоторых условиях и к проективным преобразованиям пространства, следовательно, геометрические преобразования поверхности в процессе визуализации сцены могут выполняться над ограниченным набором точек. Далее выполняется тесселяция сплайновых отсеков. Существуют быстрые алгоритмы вычисления промежуточных точек на сплайновой поверхности, например на основе конечных разностей или рекурсивного разбиения [8].

Резюмируя, можно обозначить этапы моделирования и отображения пространственных объектов на основе последовательного применения различных геометрических форм.

- 1. Объект представляется «облаком» опорных точек скалярным полем. Далее идет предварительное преобразование его описания.
- 2. Объект представляется составной поверхностью, отсеки которой описываются аналитическими выражениями на основе РБФ [6].
- 3. После того как определены параметры модели на основе РБФ, находятся регулярно расставленные новые опорные точки. Они становятся вершинами характеристических многогранников сплайновой модели. Далее обработка модели идет в режиме РВ.
- 4. Выполняются геометрические преобразования объектов в составе сцены, для чего используются наборы новых опорных точек.
- 5. Выполняется тесселяция сплайновых отсеков с заданным шагом. Параллельно вычисляются координаты нормальных векторов, проходя-

щих через узлы тесселяции [3]. Узлы тесселяции принимаются за вершины полигональной сетки.

6. Полигональная модель передается на дальнейшую обработку в графический процессор.

Рациональное распределение графических операций между указанными этапами позволяет сочетать хорошие изобразительные возможности криволинейных поверхностей с работой графической системы в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Александрова Н.В., Косников Ю.Н. Визуализация скалярного поля физической величины на основе радиальных базисных функций // Проблемы автоматизации и управления в технических системах: XXX Международная НТК. Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2013. С. 70–71.
- 2. Башков Е.А., Бабков В. С. Исследование возможностей применения метода радиальных симметричных функций и его модификаций для построения поверхностных компьютерных моделей в медицинской практике // Электронное моделирование. 2009. N = 2. C. 107-116.
- 3. Косников Ю.Н. Применение бикубических сплайнов в графических системах реального времени // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2005. \mathbb{N}^{0} 4(9). С. 30—36.
- 4. Косников Ю.Н. Развитие аппарата смешивающих функций в компьютерной графике // Педагогическая информатика, 2005. № 3. С. 26 —35.
- 5. Косников Ю.Н. Геометрическое моделирование в графических системах реального времени: Монография. Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2006. 210 с.
- 6. Косников Ю.Н., Власов В.С. Геометрическое моделирование пространственных форм в проектировании интерфейса АСУ специального назначения // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Вып. 1. С. 33—42. (Системы отображения информации и управления спецтехникой).
- 7. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве : Пер. с англ. М. : Мир, 1982. 304 с. : ил.
- 8. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL. М.: Вильямс, 2001. 592 с.
- 9. Fasshauer G. Tutorial on Meshfree Approximation Methods with Matlab, Slides for 6 Lectures, Dolomites Research Notes on Approximation, Illinois Institute of Technology, 2008. Vol. 1
- 10. Franke R. A Critical Comparison of Some Methods for Interpolation of Scattered Data. PhD thesis. Naval Postgraduate School Monterey. California. 1979. 379 p.
- 11. Sarra Scott A., Sturgill D. A Random Variable Shape Parameter. Strategy for Radial Basis Function Approximation Methods, Marshall University, Department of Mathematics, 2009. $-18 \, \mathrm{p}$.
- 12. Sturgill D. Variable Shape Parameter Strategies in Radial Basis Function Methods, Marshall University, Department of Mathematics, 2009. 116 p.
- 13. Функции радиального базиса (пример) // Сайт «MachineLearning.ru» Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов, интеллектуальному анализу данных. URL: http://www.machinelearning.ru.

УДК 378.16 ББК 34

ЭФФЕКТИВНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМИ КУРСАМИ MOODLE ДЛЯ ЕЁ ИНТЕГРАЦИИ С СИСТЕМОЙ РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПензГТУ

© **С.В. Печерский**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

EFFECTIVE CONFIGURATION OF LEARNING MANAGEMENT SYSTEM MOODLE FOR ITS INTEGRATION WITH SYSTEM OF RATING EVALUATION STUDENT'S WORK OF PenzSTU

© S.V. Pecherskiy, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Рассмотрены вопросы конфигурирования образовательного портала ПензГТУ, построенного на базе системы управления учебными курсами Moodle, позволяющего повысить эффективность рейтинговой оценки работы студентов.

Ключевые слова: дистанционное обучение, web-портал, Интернет, Moodle.

Questions of a configuration of an educational portal of PenzSTU, constructed on LMS Moodle, allowing to increase efficiency of rating evaluation of the work of students, are considered.

Key words: e-learning, Web-portal, Internet, Moodle.

E-mail: psvbox@pgta.ru

В Пензенском государственном технологическом университете (ПензГТУ) действует система рейтинговой оценки учебной работы студентов. Она является частью информационной системы управления вузом и обеспечивает работу деканатов и администрации. Преподаватели разбивают свои курсы на модули, а модули на факторы, присваивают им веса и устанавливают границы оценивания факторов. В ходе обучения преподаватели регулярно выставляют полученные студентами баллы в рейтинговые таблицы информационной системы, что в итоге формирует аттестационную оценку работы студента. Учитывая большой объем критериев оценивания и многочисленность студентов, процедура выставления баллов оказывается для преподавателя весьма трудоёмкой.

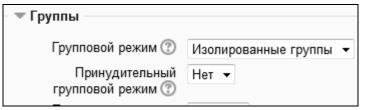
Вместе с тем, в ПензГТУ уже много лет работает образовательный интернет-портал, построенный на базе системы управления курсами Moodle (http://moodle.org). Преподаватели имеют возможность через Интернет самостоятельно публиковать учебные материалы, проводить тестирование, контролировать работу студентов, общаться с ними.

Наличие в Moodle встроенной системы оценивания позволяет при соблюдении ряда требований существенно повысить эффективность работы преподавателя, сведя к минимуму трудоёмкие операции формирования и переноса оценок в рейтинговую систему. Рассмотрим особенности требуемой для этого настройки Moodle.

Практика показывает, что самостоятельная регистрация пользователей, часто используемая в порталах на базе Moodle, оказывается неэффективной. При ней возникнет беспорядок с именами и фамилиями, поскольку студенты начинают регистрироваться повторно каждый раз, когда забудут старый пароль или логин. Кроме того, вскоре появится масса "Василиев Пупкиных" и т.п. Причём опечатка даже в одной букве фамилии студента приведёт к ошибке переноса оценок в рейтинговую систему. Более эффективно создание пользователей администратором посредством импорта списка, полученного из информационной системы вуза, или использование единого каталога, например LDAP. Moodle предоставляет такую возможность. Желательно также заполнить поле "ID пользователя" на основе соответствующего поля рейтинговой системы. Это позволит легко связать таблицы баз данных обеих систем и избежать ошибок при наличии однофамильцев.

Не всегда эффективна и самостоятельная запись студента на курс Moodle. Если в системе имеется много учебных курсов, студентам бывает сложно найти нужную дисциплину, например названную преподавателем на лекции. Дело в том, что часто встречаются курсы с одинаковыми названиями, но читаемые разными преподавателями или на разных кафедрах. Правильнее, когда сам преподаватель подпишет студентов на свои курсы, или это сделает сотрудник деканата, руководствуясь учебным планом.

Для удобства работы с группами в настройках курса Moodle желательно включить групповой режим, например, как показано на рис. 1.



Puc. 1

При планировании категорий курсов возникает проблема их иерархического расположения. Например, можно на первом уровне разделить курсы по учебным специальностям, а можно по кафедрам. В первом случае удобно студентам, так как они, фактически, видят дисциплины по учебному плану. Сложности при этом возникают у тех преподавателей кафедр, которые имеют в Moodle один курс для нескольких специальностей. Им придется создать и поддерживать несколько копий курса. Особенно это актуально для общеобразовательных дисциплин. Если сгруппировать в Moodle курсы по кафедрам, читающим дисциплины, такой проблемы нет. Студенты при этом особой разницы не почувствуют, поскольку нужные в семестре курсы у них видны в блоке "Мои курсы". У руководства вуза появляется дополнительное удобство контроля работы преподавателей и кафедр, поскольку курсы кафедры сгруппированы в одной категории. В ПензГТУ используется именно такой принцип группировки.

Система рейтинговой оценки учебной работы студентов, используемая в ПензГТУ, успешно поддерживается имеющимися в Moodle средствами оценивания. При соответствующей настройке курса в Moodle

сведения об успеваемости студентов могут через XLS-файл импортироваться в рейтинговую систему. Преподавателю в результате не нужно будет вручную заносить в таблицы сотни результатов автоматизированного тестирования, выставленных в Moodle оценок заданий и т.п. Соответственно, системы должны использовать в расчётах единые алгоритмы вычисления оценки. В соответствии со стандартом вуза СТА 2.5.5.01-2011, для каждого модуля курса преподавателем должен назначаться весовой коэффициент b_i с условием

$$\sum_{i=1}^n b_i = 1,$$

где n — число модулей дисциплины в семестре.

С выполнением аналогичного условия преподаватель в каждом модуле устанавливает и оцениваемые факторы (показатели качества), а также их весовые коэффициенты.

В Moodle при выборе алгоритма расчета итоговой оценки следует выбрать метод "Взвешенное среднее оценок", поскольку именно он соответствует методу расчёта, используемому в рейтинговой системе ПензГТУ. Пример конфигурации системы оценивания для одного модуля курса в Moodle приведён на рис. 2.

Название	Итог 🍞	Bec ②	Максимальная оценка	
Сети ЭВМ и телекоммуникации (очное - B)	Взвешенное среднее оценок •		-	
Семестр 8	Взвешенное среднее оценок 🔻	1,0000	-	
<u></u> Основы Интернет	Взвешенное среднее оценок 🔻	0,2500	-	
& Lab_Moodle_introduction	-	0,0500	100,00	
& Lab_IP_DNS_WHOIS	-	0,1500	100,00	
Lab_Inet_introduction_Firefox	-	0,1500	100,00	
& Lab_Inet_MailWeb	-	0,1500	100,00	
& Lab_Thunderbird	-	0,2000	100,00	
Test_8_00	-	0,1000	100,00	
☐ Test_8_dns_email	-	0,2000	100,00	
$ar{x}$ Итог категории	-		100,00	

Puc. 2

Итак, каждый оцениваемый фактор курса и каждый модуль имеют вес. Оценка за модуль вычисляется как взвешенное среднее значение. Рассмотрим пример с данными, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Фактор	Значение	Максимальное значение	Bec
A	75	100	10
В	25	80	5
C	4	10	2

Оценка Z за модуль будет рассчитываться по следующей формуле: $Z = \frac{(75/100) \cdot 10 + (25/80) \cdot 5 + (4/10) \cdot 2}{(10+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,3125 \cdot 5 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+2)} = \frac{(0,75 \cdot 10 + 0,4 \cdot 2)}{(17+5+$

то есть 58 баллов из 100.

Таким образом, при настройке системы тестирования в *Moodle* преподавателю потребуется использовать одинаковые с заданными в рейтинговой системе имена факторов, а также единообразно настроить весовые коэффициенты.

Если один преподаватель ведет дисциплину с одним названием на разных специальностях, можно рекомендовать просто выделять внутри курса в *Moodle* тематические разделы для разных групп студентов. Однако при этом несколько усложняется подсчет оценок за курс (показываемых студентам через интерфейс *Moodle*), поскольку придется добавлять вычисляемые итоги и элементы оценивания для таких разделов (выборочно использующие разные факторы для разных групп). Появившаяся в последних версиях *Moodle* настройка "Отслеживать выполнение" позволит легко контролировать завершённость выполнения элементов курса, а также контрольные сроки завершения модулей.

Использование вышеописанных рекомендаций позволит преподавателю эффективно организовать процесс автоматического формирования требуемой стандартом вуза рейтинговой ведомости на основе оценок образовательного портала *Moodle*, а студентам позволит контролировать свои баллы в режиме *On-line* через Интернет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Печерский С.В., Печерская Т.Н. Актуальные вопросы информационной безопасности в курсах компьютерной грамотности // Современные информационные технологии-2009 (Computer-based conference "Contemporary information technologies-2009"): Труды международной научно-технической конференции. Пенза: ПГТА, 2009. Edition 10. С. 188—189.
- 2. Печерский С.В. Особенности использования системы управления учебными курсами Moodle при построении образовательного портала вуза // Современные информационные технологии-2012 (Computer-based conference "Contemporary information technologies-2012"): Труды международной научнотехнической конференции. Пенза: ПГТА, 2012. Edition. 15. С. 102—103.
- 3. Короткова Н.Н., Печерский С.В., Печерская Т.Н. Использование свободного программного обеспечения в профессиональном образовании // Современные информационные технологии-2012 (Computer-based conference "Contemporary information technologies-2012"): Труды международной научнотехнической конференции. Пенза: ПГТА, 2012. Выпуск. 15. С. 104—107.
- 4. Егоров В.А., Мошечков В.В., Печерский С.В. Особенности построения web-портала вуза на базе CMS TYPO3 // Современные информационные технологии-2013 (Computer-based conference "Contemporary information technologies-2013") : Труды международной научно-технической конференции. Пенза : ПензГТУ, 2013. Выпуск. 17. С. 233—234.

УДК 004.89 ББК 30

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСИИ ОСТАТОЧНОГО КОМПОНЕНТА ВРЕМЕННОГО РЯДА

© **О.В. Прокофьев**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.Е. Савочкин**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

RESEARCH OF CHANGES IN DISPERSION OF RESIDUAL COMPONENT OF TIMING SERIES

© O.V. Prokofev, Penza State Technological University (Penza, Russia) © A.E. Savochkin, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В данной статье были построены и апробированы модели для идентификации закономерностей в дисперсии уровней выходного сигнала датчика физических величин. Проверяемое наличие либо отсутствие определённых зависимостей дисперсии остатков регрессии от фактора может быть интерпретировано как проверка на возможное развитие ненормативных процессов в техническом состоянии технически сложного объекта.

Ключевые слова: гетероскедастичность, гомоскедастичность, дисперсия выходного сигнала, датчик физических величин, мониторинг, технически сложные объекты.

This article has been built and tested a model for identifying patterns in the dispersion of the sensor output signal levels of physical quantities. Check for the presence or absence of certain dependencies dispersion residuals from the factor may be interpreting as a check on the possible development of non-normative processes in a technical state of technically complex objects.

Key words: heteroscedasticity, homoscedasticity, dispersion of output quantity, sensor of physical quantity, monitoring, technically difficult object.

E-mail: aebrat@mail.ru

Мониторинг и идентификация состояния технически сложных объектов (TCO) на данный момент являются наиболее эффективными способами предупреждения аварийных ситуаций. Система мониторинга и контроля (СМиК) ТСО должна представлять собой интеллектуальную систему поддержки принятия решений (СППР) на различных уровнях управления эксплуатацией ТСО. Основными функциями такой СМиК является: сбор, обработка, анализ и обмен информацией о техническом состоянии ТСО в целях мониторинга и контроля технического состояния ТСО; измерение параметров, позволяющих проводить диагностику сложных ситуаций, ведущих к потере работоспособности (например, при отказах в элементах ТСО); при неблагоприятном изменении технического состояния — выработка вариантов решений, направленных на предотвращение негативных последствий его дальнейшего изменения.

Целью исследования является формирование математического инструментария и программного обеспечения для комплексного решения задачи обработки и анализа информации о техническом состоянии технически сложных объектов по результатам их мониторинга методами прогно-

зирования изменения технического состояния ТСО для создания интеллектуальных систем мониторинга и контроля технически сложных объектов.

В качестве методов исследования выбраны методы корреляционно-регрессионного анализа, методы проверки условий Гаусса — Маркова, методы статистического моделирования и моделирования систем в среде Matlab, Simulink.

Под видом (классом) технического состояния TCO понимается подмножество множества возможных значений компонент вектора параметров технического состояния TCO, которое соотносится с некоторой содержательной интерпретацией условий, при которых TCO может использоваться по своему целевому назначению. При создании системы диагностирования технического состояния TCO целесообразно рассматривать следующие классы состояний:

- исправное и безопасное;
- неисправное, но работоспособное и безопасное;
- неработоспособное (работоспособность может быть восстановлена без дополнительного финансирования);
- неработоспособное (работоспособность может быть восстановлена при дополнительном финансировании);
- неработоспособное (работоспособность может быть восстановлена только с большими финансовыми затратами);
- работоспособное и безопасное, но дальнейшая эксплуатация нецелесообразна из-за больших эксплуатационных затрат;
 - работоспособное, но опасное (аварийное);
 - предотказное состояние.

Прогнозирование технического состояния дает лицу, принимающему решения, необходимую информацию для принятия мер по обеспечению возможности выполнения комплекса работ, связанных с применением TCO.

Существует проблема выявления факта изменения технического состояния (ТС) ТСО, выражающегося в виде изменения дисперсии остаточного компонента временного ряда, который образуют значения выходного сигнала датчика, взятые с равномерным шагом, ві (остатков, возмущений, шумов).

Эта проблема не всегда может быть решена путём визуальных наблюдений за значениями выходного сигнала датчика по техническим причинам (высокая скорость протекания процессов) и психологическим причинам (зрительные эффекты, разная интерпретация экспертами одинаковых графиков). Для решения проблемы созданы методы проверки гипотезы о наличии функциональной связи между остатком и фактором (в данном случае — временем), а также методы проверки гипотез о конкретных формах связи между этими величинами. Важным преимуществом этих разработок является возможность алгоритмизации, программирования и применения существенной части тестов в автоматическом режиме. Используемое в рамках данной работы семейство методов (тестов) служит для проверки предполагаемых свойств оценок метода наименьших квадратов (МНК).

Условия, необходимые для получения несмещенных, состоятельных и эффективных оценок параметров регрессионного уравнения, представляют собой предпосылки МНК (условия Гаусса — Маркова), соблюдение которых обязательно для получения достоверных результатов регрессии [5]. Одной из предпосылок является гомоскедастичность — дисперсия каждого отклонения ε_i — должна быть одинакова для всех значений независимой переменной (здесь — времени t). Если это условие не соблюдается, то имеет место гетероскедастичность.

Внешние воздействия на TCO, зачастую, бывают достаточно быстротечными (например, удар), в связи с этим размер обрабатываемого выходного сигнала датчика (30-50 отсчетов временного ряда) не позволяет провести устранение неинформативной составляющей сигнала, но вполне отвечает требованиям тестов на гетероскедастичность.

На рис. 1 представлена графическая визуализация процесса излома тренда, описываемого регрессионной моделью временного ряда, формируемого выходными сигналами датчика, когда ТСО переходит из одного технического состояния в другое (в точке излома тренда), причем эти состояния представляют собой быстроизменяющиеся процессы.

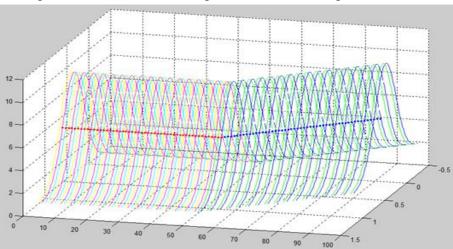


Рис. 1. Графическая визуализация процесса излома тренда

1. Выборка данных

В целях исследования вышеназванных методов была использована последовательность из 50 наблюдений временного ряда, содержащего значения сигнала датчика, расположенные с равноотстоящим шагом. На рис. 2,а дисперсия выходного сигнала датчика постоянна, а на рис. 2,6 отражен рост дисперсии выходного сигнала датчика по мере возрастания величины t вследствие внешнего воздействия на t

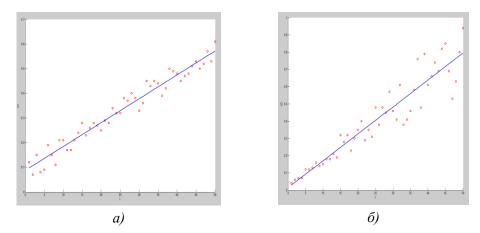


Рис. 2. Тестируемые выборки

В данной работе была проведена проверка эффективности методов обнаружения гетероскедастичности на примере представленных выборок. На рис. З представлена диаграмма деятельности для проводимых экспериментов. Некая выборка поступает на исследование. Проверяется ее размер и назначается значимость. Далее выборка подвергается четырем тестам на гетероскедастичность, в результате которых формируется итоговый отчет.

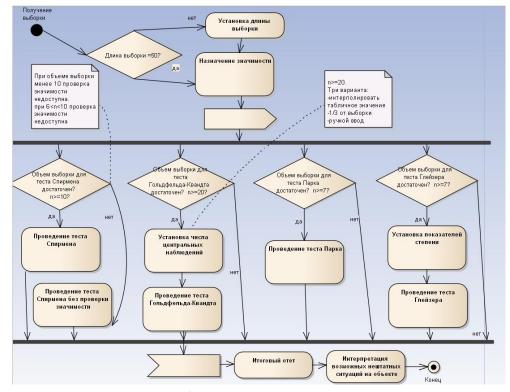
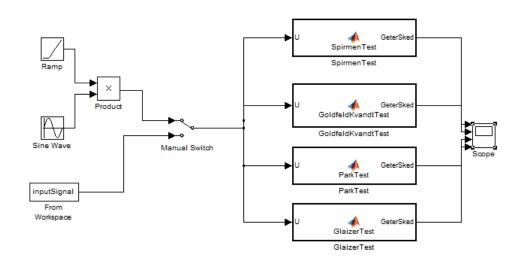


Рис. 3. Диаграмма деятельности

Для проведения исследования использовались среды *Matlab* и *Simulink*. В среде *Simulink* была разработана представленная на рис. 4 мо-

дель проводимого эксперимента и разработаны функции реализации методов проверки гетероскедастичности.

Выборка (сгенерированная автоматически либо реальный выходной сигнал с датчика) передается в блоки тестирования. Тесты проводятся параллельно, и в результате обработки выдается результат о том, что гетероскедастичность наблюдается, либо о том, что гипотеза о гетероскедастичности не принимается.



Puc. 4. Simulink-модель проводимого эксперимента

Расшифровка наименований блоков на рис. 4 приведена в табл. 1. Таблица 1

	таолица т		
Номер блока	На	именование блока	Возможности
1	Ramp	Источник линейно изменяющегося воздействия	Формирует линейный сигнал
2	Sine Wave	Источник синусоидального сигнала	Формирует синусоидальный сигнал с заданной частотой, амплитудой, фазой и смещением
3	Product	Блок умножения	Выполняет вычисление произведения текущих значений сигналов
4	From Workspace	Блок считывания данных из рабочего пространства	Позволяет получить данные из рабочего пространства <i>Matlab</i> (реальный сигнал)
5	Manual switch	Блок ручного переключа- теля	Выполняет переключение входных сигналов по команде пользователя
6-9	Test block	Блоки тестирования на гетероскедастичность	Проводит тестирование выборки на гетероскедастичность методами Парка, Спирмена, Глейзера, Гольдфельда – Квандта
10	Scope	Осциллограф	Строит графики исследуемых сигналов в функции времени. Позволяет наблюдать за изменениями сигналов в процессе моделирования

На рис. 5 представлена диаграмма потоков данных.

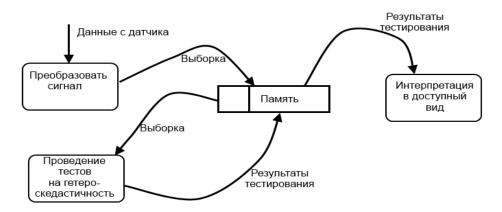


Рис. 5. Диаграмма потоков данных

2. Метод (тест) Спирмена

Тест ранговой корреляции Спирмена использует наиболее общие предположения о зависимости дисперсий ошибок регрессии от значений факторов [5], в частности, времени:

$$\sigma^2 = f_i(t_i), i = 1, \dots, n \tag{1}$$

При этом никаких дополнительных предположений относительно вида функций f_i не делается. Не накладываются также ограничения на закон распределения возмущений (ошибок) регрессии \mathcal{E}_i .

Идея теста заключается в том, что абсолютные величины остатков регрессии ε_i , являются оценками σ_i , поэтому в случае гетероскедастичности абсолютные величины остатков e и значения t_i будут коррелированы.

Для нахождения коэффициента ранговой корреляции Спирмена $\rho_{x,/\epsilon/}$ следует ранжировать наблюдения по значениям переменной t_i и остатков ϵ_i (в примере это уже реализовано) и вычислить $\rho_{x,/\epsilon/}$ по формуле

$$\rho_{t,|\varepsilon|} = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n^3 - n} \tag{2}$$

где d_i – разность между рангами значений t_i и ϵ_i .

Коэффициент ранговой корреляции значим на уровне значимости α при объёме выборки n>10, если статистика Стьюдента

$$|t| = \frac{|\rho_{t,|\varepsilon|}|\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho_{t,|\varepsilon|}^2}} > t_{\alpha,n-2},$$
 (3)

где $t_{\alpha,n-2}$ — табличное значение критерия Стьюдента, определенное на уровне значимости α при числе степеней свободы (n-2).

Данные из примеров были введены в рабочую среду *Matlab*, там же были рассчитаны значения величин для подстановки в формулу (2).

Помимо самих коэффициентов ранговой корреляции, приведён расчётный уровень значимости α , при котором результат может быть признан существенным. При $\alpha=0{,}05$ и числе степеней свободы (50 – 2 = 48) $t_{\alpha,n-2}=2{,}0106$. Итоги подведены в табл. 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСИИ ОСТАТОЧНОГО...

Таблица 2 – Итоги теста Спирмена

Сигнал датчика Коэффициент		Вывод о тесноте связи
	Спирмена	
U_I	-0,106	низкая или связь отсутствует
U_2	0,537	средняя (связь заметная)

Согласно первоначальному предположению, гипотеза о существовании гетероскедастичности не отклоняется для выборки сигнала датчика U_2 . Изменение дисперсии шумов (остатков) действительно с высокой вероятностью представляет собой функцию времени. В свою очередь, это может означать дестабилизацию состояния контролируемого объекта.

3. Метод (тест) Гольдфельда – Квандта

При объеме выборки 20-60 наблюдений рекомендуется использовать метод Гольдфельда — Квандта [5]. Рассматривается однофакторная линейная модель, для которой дисперсия остатков возрастает пропорционально квадрату фактора. Предполагается, что остатки являются случайными нормально распределёнными величинами. Чтобы оценить нарушение гомоскедастичности, предлагается параметрический тест, который включает в себя следующие шаги.

- 1. Упорядочение n наблюдений по мере возрастания переменной t.
- 2. Исключение из рассмотрения C центральных наблюдений; при этом k = (n C): 2 > p, где p число оцениваемых параметров.
- 3. Разделение совокупности из (n-C) наблюдений на две группы (соответственно, с малыми и большими значениями фактора t) и определение по каждой из групп уравнений регрессии.
- 4. Определение остаточной суммы квадратов для первой (S_1) и второй (S_2) групп и нахождение их отношения: $R = S_1 : S_2$ для проверки обратной зависимости дисперсии остатков и $R = S_2 : S_1$ для проверки прямой зависимости дисперсии остатков от квадрата фактора.

При выполнении нулевой гипотезы о гомоскедастичности отношение R будет удовлетворять F-критерию с (n-C-2p):2 степенями свободы для каждой остаточной суммы квадратов. Чем больше величина отношения R превышает табличное значение F-критерия, тем более нарушена предпосылка о равенстве дисперсий остаточных величин. Ранее представленные выборки сигнала датчика исследованы с помощью критерия Гольдфельда — Квандта. По рекомендациям авторов метода [5], при n=50 было принято C=12. Параметры уравнений регрессии и суммы квадратов остатков для групп наблюдений рассчитаны в среде Matlab. Расчёт оценочного значения отношения R для первой выборки наблюдений, в предположении об обратной и прямой пропорции, представлен формулами:

ной и прямой пропорции, представлен формулами:
$$R = \frac{S_1}{S_2} = \frac{0,018}{0,015} = 1,21 \quad ; \qquad R = \frac{S_2}{S_1} = \frac{0,015}{0,018} = 0,82 \quad . \tag{4}$$

Расчёт оценочного значения отношения R для второй выборки наблюдений, в предположении об обратной и прямой пропорции, представлен формулами:

$$R = \frac{S_1}{S_2} = \frac{0.016}{0.026} = 0.06$$
; $R = \frac{S_2}{S_1} = \frac{0.026}{0.016} = 16.44$. (5)

При числе степеней свободы (n-C-2p):2 = $(50-12-2\cdot 2)$:2 = 17 табличное значение F-критерия Фишера F(0,05;17;17) равно 2,27.

Таким образом, для второй выборки наблюдений и при предположении о прямой пропорции между дисперсией остатков и квадратом фактора гипотеза о существовании гетероскедастичности не отклоняется. Вывод полностью согласуется с выводом по критерию Спирмена.

4. Метод (тест) Парка

Рассмотренные выше критерии не дают количественной оценки зависимости дисперсии ошибок регрессии от соответствующих значений факторов, включенных в регрессию. Они позволяют определить наличие или отсутствие гетероскедастичности остатков (шумов, случайной составляющей). Поэтому если гетероскедастичность остатков выявлена, можно количественно оценить зависимость дисперсии остатков от значений факторов. С этой целью могут быть использованы тесты Парка, Глейзера и др. [5]. Форма зависимости, в контексте данной предметной области, может соответствовать траектории перехода контролируемого объекта в ненормативное состояние.

Методом Парка проверяется гипотеза о том, что дисперсия остатков связана со значениями фактора-времени функцией

$$\ln \varepsilon^2 = a + b \ln t + \gamma. \tag{6}$$

Получаем следующие уравнения моделей для выборок:

$$\ln \varepsilon^2 = -7,1432 - 0,2940 \ln t + \gamma; \quad \ln \varepsilon^2 = -10,692 + 1,303 \ln t + \gamma. \tag{7}$$

Значение F-критерия Фишера составляет 0,572 и 14,254, а табличное значение при уровне значимости 0,05, степенях свободы 1 и 48 составляет 4,043. Так как фактическое значение F-критерия во втором случае выше табличного, то в целом существует значимая корреляционная связь дисперсии ошибок и фактора. Таким образом, тест Парка показывает наличие гетероскедастичности остатков во втором случае.

Значения статистики Стьюдента параметров уравнения, соответственно, равны (-10,005; 3,775) и (-5.9370; -0.7568). Это больше (по модулю) табличного значения, которое при уровне значимости 0,05, числе степеней свободы 48 равно 2,011. Параметры значимы и гипотеза о том, что дисперсия остатков может представлять собой степенную функцию ϕ актора t, не отклоняется.

5. Метод (тест) Глейзера

Тест Глейзера основан на оценке регрессионной модели

$$|\varepsilon_i| = a + b \times t_i^k + u_i \,, \tag{8}$$

 $|arepsilon_i| = a + b imes t_i^k + u_i$, (8) где k – показатель степени, представляющий собой вещественное число. Уравнение зависимости $|\mathcal{E}_i|$ от t_i строится при различных значениях k. Выбирается тот вариант модели, для которого коэффициент b наиболее значим. Для этого варианта t-статистика коэффициента b, F-критерий Фишера, коэффициент детерминации R^2 имеют наибольшее значение. Современные средства автоматизации вычислений позволяют усовершенствовать постановку задачи, перейдя от выбора k на сетке значений к оптимизации модели с использованием управляющей переменной k. В табл. 3 представлены результаты моделирования. Табличное значение статистики Стьюдента при уровне значимости 0.05, числе степеней свободы 48 равно 2.011.

k	Уравнение	Расчётная статистика	F	R^2
		Стьюдента для пара-		
		метра b , вывод		
-2	$ \varepsilon_i = 0.061 - 0.072 \times t_i^{-2} + u_i$	-1,349,	1,820	0,037
		параметр незначим		
-1	$ \varepsilon_i = 0.068 - 0.112 \times t_i^{-1} + u_i$	-2,359,	5,564	0,104
		параметр значим		
-	$ \varepsilon_i = 0.097 - 0.151 \times t_i^{-0.5} + u_i$	-3,365,	11,324	0,191
0,5		параметр значим		
0,5	$ \varepsilon_i = -0.035 + 0.020 \times t_i^{0.5} + u_i$	5,017,	25,165	0,344
	1-11	параметр значим		
1	$ \varepsilon_i = 8.6 \times 10^{-4} + 0.002 \times t_i^1 + u_i$	5,172,	26,749	0,358
		параметр значим		
2	$ \varepsilon_i = 0.023 + 4.1 \times 10^{-5} \times t_i^2 + u_i$	4,877,	23,784	0,331
		параметр значим		

Таблица 3 – Параметры регрессионных моделей

Как следует из табл. 2, наибольшая значимость параметра b, наибольшая адекватность уравнения в целом по F-критерию Фишера, наибольшая доля объяснённой вариации по коэффициенту детерминации R^2 достигаются при k=1, то есть для модели $|\varepsilon_i|=8.6\times 10^{-4}+0.002\times t_i^1+u_i$. Соответствующая гипотеза о наличии линейной зависимости между модулем остатков и фактором времени не отклоняется. Данный вывод хорошо согласуется с визуальным выводом по рис. 2.

Выводы. Проведено моделирование прогнозных оценок вероятности отказа ТСО на заданном интервале прогнозирования. Построены и апробированы модели для идентификации закономерностей в дисперсии уровней выходного сигнала датчика. В данной предметной области важен сам факт подтверждения гипотезы о гетероскедастичности, который даёт возможность сделать качественный вывод о ненормативном состоянии контролируемого объекта. Для контроля состояния технически сложного объекта рассмотренный приём является не единственным методом идентификации технического состояния ТСО. Методы выявления наличия тренда, методы выявления и устранения аномалий, методы определения излома тенденции определяют возможность создания программно-аппаратного комплекса для контроля, идентификации и прогноза состояния ТСО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Брандт 3. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров : Пер. с англ. М. : Мир, ООО «Издательство ACT», 2003. 686 с. : ил.
- 2. Мещеряков В.В. Задачи по статистике и регрессионному анализу с MATLAB.— М.: Диалог МИФИ, 2009.
- 3. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.

- 4. Прокофьев О.В. Концепция и способы построения систем поддержки принятия решений на основе интеллектуального анализа данных. Глава 1.2. монографии: Системы интеллектуального анализа данных: методология, реализация, приложения / Под науч. ред. А.Г. Дмитриенко. Пенза: Приволжский Дом знаний. 164 с.
- 5. Эконометрика : Учеб. пособие / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. 311 с.
- 6. Методы анализа данных и их реализация в системах поддержки принятия решений: Учеб. пособие / М.Ю. Михеев, О.В. Прокофьев, И.Ю. Семочкина. Пенза: Изд-во ПГУ, 2013. 150 с.

УДК 612.014.421.8 ББК 34

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ПАЦИЕНТОВ

- © **M.A. Сидорова**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © П.К. Строков, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR EXPRESS DIAGNOSTICS OF CRITICAL CONDITIONS OF PATIENTS

- © M.A. Sidorova, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © P.K. Strokov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена применению в медицине информационных технологий для экспресс-диагностики пациентов, системам и приборам, с помощью которых можно производить быструю диагностику пациента для своевременного выявления на начальной стадии патологий или их предотвращения.

Ключевые слова: экспресс-диагностика, УЗИ, ЭКГ, экспресс-анализ, информативность, опасное состояние.

Article is devoted to application in medicine of information technologies for express diagnostics of patients, to systems and devices by means of which it is possible to make fast diagnostics of the patient, for timely identification at an initial stage of pathologies or their prevention.

Key words: the express-diagnostics, ultrasonography, an electrocardiogram, the express-the analysis, the informational content, a dangerous condition.

E-mail: sidorova_mailbox@mail.ru , strokoff.pawel@yandex.ru.

Информационные компьютерные технологии (ИКТ) всё более прочно входят в медицину и в медицинскую технику, и уже не в качестве высокоточных диагностических приборов, а в виде практически равноправных помощников и союзников, позволяя передавать на расстояние огромные объёмы медицинской информации.

Применение информационных технологий в медико-биологической практике связано с процессом автоматизации диагностики. Тяжесть общего состояния больного определяют в зависимости от наличия и степени выраженности декомпенсации жизненно важных функций организма. В соответствии с этим врач решает вопрос о срочности проведения и необходимом объеме диагностических и лечебных мероприятий, определяет показания к госпитализации, транспортабельность и вероятный исход (прогноз) заболевания.

Общее состояние больного определяют как критическое («опасное») в случае, если развившаяся в результате заболевания декомпенсация функций жизненно важных органов представляет непосредственную опасность для жизни больного либо может привести к глубокой инвалидности. Все больные, общее состояние которых характеризуется как критическое, нуждаются в срочной госпитализации. Лечение проводят, как правило, в условиях палаты интенсивной терапии [1].

Для успешного лечения необходимы правильное распознавание болезни и её причины, определение особенностей организма больного и течения заболевания, знание действия различных лечебных средств. Учение о методах распознавания болезней носит название диагностики. Термином «диагностика» обозначают весь процесс исследования больного, наблюдения и рассуждения врача для определения болезни и состояния больного.

Понятие «автоматизация» для лабораторной медицины не является новым. Ещё до создания компьютеров в клинико-диагностических лабораториях (КДЛ) начали появляться автоматические анализаторы, обеспечивающие выполнение по определённому алгоритму ряда последовательных операций. Использование таких анализаторов позволило повысить производительность лабораторий и достоверность результатов исследований за счёт уменьшения доли ручного труда и обработки образцов биологического материала в одних и тех же условиях [2].

Несмотря на широкое распространение компьютерных технологий, которое происходит в настоящее время, в русскоязычной литературе мало освещены вопросы применения ИКТ в медицине. Объяснить это достаточно легко – в повседневную клиническую практику наших соотечественников-врачей компьютер проник относительно недавно. Тем не менее он уже прочно занял своё место в кабинетах УЗИ, КТ, палатах интенсивной терапии. Но до массового и систематизированного применения компьютерных технологий в медицине, которые смогут объединить в единую сеть всех врачей и все медицинские базы данных, пока далеко [3].

Недостатками данных приборов, в первую очередь, являются: их высокая стоимость и весомые затраты на производство, доставку, сборку, закупку специализированных комплектующих, которые можно заказать только за границей; необходимость разработки инструкций на русском языке (если таковых не имеется); а также узкая специализация (в основном, заболевания ССС).

Перспективы развития медицинской диагностики в том, что сегодня отечественная медицина порой во многом уступает зарубежной. Идёт нехватка специалистов, нет хорошего медицинского оборудования, недо-

финансирование медицинской сферы, оборудование модернизируется и заменяется, но медленно. Особенное внимание необходимо уделить диагностике, так как именно она позволяет определять заболевания на ранних стадиях. Эксперты подсчитали, что вложение в диагностическое оборудование позволит в будущем снизить расходы государства на лечение своих граждан. Но, к сожалению, сейчас большая часть медицинских приборов реализуется не в госучреждения, а в коммерческие клиники [4].

Экспресс-диагностика функционального состояния пациента — это компьютерное секторальное исследование, позволяющее оценить состояние пациента в момент обращения. Цель такой диагностики — обеспечение современным медико-биологическим исследованием, доступными и качественными методами диагностики, сокращение времени и анализа.

Указанное направление медицины особенно актуально именно сейчас, когда темп жизни настолько высок, что выкроить время на полное обследование организма очень проблематично. И действительно, раньше аналитические процедуры и прохождение обследований требовали пребывания в стационаре, стоили довольно дорого и мало кто мог себе это позволить. Именно поэтому экспресс-диагностика стала так популярна.

Авторы статьи предлагают методику экспресс-диагностики состояния пациентов, позволяющую диагностировать заболевания на самой ранней и перспективной для лечения стадии, которая экономит время и, что немаловажно, финансы. Является наиболее подходящей в случае, когда человек хочет комплексно провериться, так как она конкретизирует направление диагностического поиска, лечебных и профилактических мероприятий. Все анализируемые показатели, нормы их содержания и отклонения представляются в виде единого графика с подробной расшифровкой. При наличии отклонений от нормы необходимо проведение углубленного обследования, результатом которого станет индивидуально подобранная программа лечения, динамического наблюдения и профилактики выявленных заболеваний и состояний.

Существует множество методов экспресс-диагностики пациентов с применением компьютерных технологий, таких как скриннинговая диагностика, УЗИ, ЭКГ и др. Система экспресс-диагностики, предлагаемая авторами, сможет быстро и точно производить результаты анализов АД, температуры, ЧСС, анализы крови, определяющие риск развития инфаркта и инсульта, которые помогают определить риск развития ишемической болезни сердца, инсульта и периферических сосудов [5].

Предлагаемая авторами система диагностики будет состоять из нескольких частей: механическая (корпус, детали и т.д.), их функции и сборка; электронно-вычислительная (микросхемы, платы, электронные устройства, запоминающие устройства и т.д.); программная (создание алгоритмов, формул, моделирование процессов работы прибора, разработка программной части).

Авторами статьи разработана обобщенная структурная схема системы экспресс-диагностики и создан алгоритм ее работы, которые представлены на рис. 1 и 3, соответственно. Схема системы содержит два измерительных канала: канал измерения артериального давления и частоты

сердечных сокращений и канал измерения температуры тела пациента. Структурная схема включает в себя следующие блоки: ДТ — датчик температуры; ДД — датчик давления; АКТ.Ф — активный фильтр; МК — микроконтроллер; БФ — буферное устройство; БЦИ — буквенно—цифровой индикатор; ПБК — параметры биохимии крови; ПЭВМ — персональная электронно-вычислительная машина.

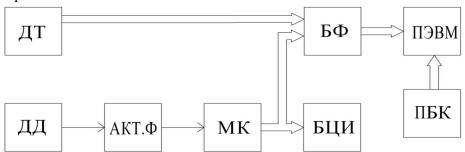


Рис. 1. Структурная схема системы экспресс-диагностики

«Опасные» (критические) состояния пациентов в большинстве случаев характеризуются резким повышением температуры тела. Поэтому одним из основных элементов схемы системы экспресс-диагностики является датчик температуры, от чувствительности которого зависит качество постановки диагноза. Среди характеристик, определяющих качество датчика температуры, необходимо выделить линейность зависимости сопротивления R от температуры $(t, ^{\circ}C)$ и термоЭДС от температуры. Выполняется условие

$$\Delta t/\Delta R = \text{const},$$
 (1)

где Δt — изменение температуры, °C; ΔR — изменение сопротивления датчика.

Высокой линейностью отличаются проволочные и термоэлектрические датчики.

В настоящее время широкое распространение получили холтеровские (суточные) измерители артериального давления (АД). К важнейшей группе показателей работы подобных приборов относятся: средние значения, медианы и моды измерений АД, полученных в течение суток, дня, ночи и других выделенных временных интервалов. Большинство исследователей и программ, сопровождающих суточные мониторы АД, используют в качестве средних величин среднеарифметические значения АД, определяемые по формуле

АД(24) =
$$\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} P_i$$
, (2)

где АД(24) — среднее значение давления за 24 часа, P_i — значение давления при i-м измерении, N — общее число измерений. Аналогичные формулы используются и для других временных интервалов.

Теоретическая оценка точности и анализ погрешности измерительных каналов поверочных установок представлены с позиции рас-

смотрения статических характеристик гидравлически связанных звеньев, входящих в ее состав (рис. 2).

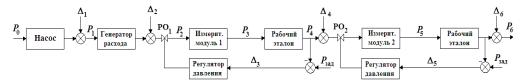


Рис. 2. Структурная схема измерительного канала давления поверочной установки измерителей артериального давления с манжетами на плечо и запястье

На рис. 2 введены следующие обозначения: PO_1 , PO_2 – регулирующие органы для изменения расхода жидкости; P_0 – начальное давление, задаваемое с блока управления; P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 , P_6 – выходные параметры давления рассматриваемых звеньев; $P_{3ад}$ – заданное значение регулируемой переменной, которое должно поддерживаться регулятором; Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 , Δ_4 , Δ_5 , Δ_6 – погрешности звеньев, приведенных к их выходу, при этом Δ_3 и Δ_5 – сигналы рассогласования (ошибки) первого и второго измерительного модуля, определяемые как

$$\begin{cases} \Delta_3 = P_{3a\pi} - P_4 \\ \Delta_5 = P_{3a\pi} - P_6 \end{cases}$$
(3)

Выходная величина каждого отдельно взятого звена может быть представлена в виде

$$P = P_{\text{HOM}} + \Delta_p , \qquad (4)$$

где $P_{\text{ном}}$ – часть выходного сигнала, определяемого входной величиной и номинальной функцией преобразования; Δ_p – абсолютная погрешность на выходе отдельного преобразователя. Давление, создаваемое насосом, можно представить в виде

$$P_{1} = P_{1\text{HOM}} + \Delta_{1} = K_{H} \cdot P_{0} + \Delta_{1}, \tag{5}$$

где $K_{\rm H}=\partial P_1/\partial P_0$ — коэффициент преобразования звена; Δ_1 — погрешность, определяемая характеристиками насоса. Учитывая, что погрешность предыдущего звена учитывается на погрешности последующих звеньев, можно получить выражения для расчета выходного давления каждого последующего звена, входящего в состав поверочной установки. Так, результат измерения давления на выходе генератора расхода можно определить как

$$P_2 = P_{\text{\tiny 2HOM}} + K_{_{\Gamma}} \cdot \Delta_1 + \Delta_2 = K_{_{\rm H}} \cdot K_{_{\Gamma}} \cdot P_0 + \frac{\partial P_2}{\partial P_1} \cdot \Delta_1 + \Delta_2, \tag{6}$$

где $K_{_{\Gamma}}=\partial P_2/\partial P_1$ — коэффициент преобразования генератора расхода; Δ_2 — погрешность на выходе генератора расхода.

По аналогии запишем результат измерения давления на выходе первого измерительного модуля для поверки ИАД с манжетами на плечо,

при этом учитываем, что к последовательному соединению измерительного модуля и рабочего эталона давления параллельно включен регулятор давления. Получим

$$P_{4} = \frac{K_{\text{H}} \cdot K_{\text{r}} \cdot K_{\text{M1}} \cdot K_{\text{31}}}{1 + K_{\text{M1}} \cdot K_{\text{p1}} \cdot K_{\text{31}}} \cdot P_{0} + \frac{\partial P_{4}}{\partial P_{1}} \Delta_{1} + \frac{\partial P_{4}}{\partial P_{2}} \Delta_{2} + \frac{\left(\partial P_{4}/\partial P_{2}\right) \left(P_{3\text{ag}} - P_{4}\right)}{1 + \left(\partial P_{4}/\partial P_{2}\right) \left[\left(P_{3\text{ag}} - P_{4}\right)/P_{4}\right]} + \Delta_{4}, \quad (7)$$

где $K_{\rm ml}=\partial P_3/\partial P_2$ — коэффициент преобразования первого измерительного модуля; $K_{\rm sl}=\partial P_4/\partial P_3$ — коэффициент преобразования первого рабоче-

го эталона давления; $K_{\rm pl}=\frac{\Delta_3}{P_4}=\frac{P_{\rm зад}-P_4}{P_4}$ — коэффициент преобразования

регулятора расхода, который обеспечивает стабильное поддержание давления в измерительном модуле 1; $\Delta_4 = \frac{\gamma_1 \cdot P_{_N}}{100\%}$ — погрешность первого ра-

бочего эталона давления, где γ_1 – класс точности рабочего эталона давления; P_N – нормирующее значение рабочего эталона давления.

Давление на выходе второго рабочего эталона давления P_6 измерительного модуля для поверки ИАД с манжетой на запястье запишется в виде

$$P_{6} = \frac{K_{H} \cdot K_{r} \cdot K_{M1} \cdot K_{91} \cdot K_{M2} \cdot K_{92}}{(1 + K_{M1} \cdot K_{91} \cdot K_{p1})(1 + K_{M2} \cdot K_{92} \cdot K_{p2})} \cdot P_{0} + \frac{\partial P_{6}}{\partial P_{1}} \Delta_{1} + \frac{\partial P_{6}}{\partial P_{2}} \Delta_{2} +$$
(8)

где $K_{\rm M2}=\partial P_5/\partial P_4$ — коэффициент преобразования второго измерительного модуля; $K_{\rm 92}=\partial P_6/\partial P_5$ — коэффициент преобразования второго рабочего эталона давления; $K_{\rm p2}=\frac{\Delta_5}{P_6}$ — коэффициент преобразования регулятора

расхода второго измерительного модуля; $\Delta_6 = \frac{\gamma_2 \cdot P_N}{100}$ — погрешность второго рабочего эталона давления; γ_2 — класс точности второго рабочего эталона давления.

Таким образом, из (8) выразим номинальное давление на выходе измерительного канала давления гидравлического имитатора для поверки ИАД с манжетами на плечо и запястье:

$$P_{\text{HOM}} = \frac{K_{\text{H}} \cdot K_{\text{r}} \cdot K_{\text{M1}} \cdot K_{\text{91}} \cdot K_{\text{M2}} \cdot K_{\text{92}}}{\left(1 + K_{\text{M1}} \cdot K_{\text{91}} \cdot K_{\text{p1}}\right) \left(1 + K_{\text{M2}} \cdot K_{\text{92}} \cdot K_{\text{p2}}\right)} \cdot P_{0}. \tag{9}$$

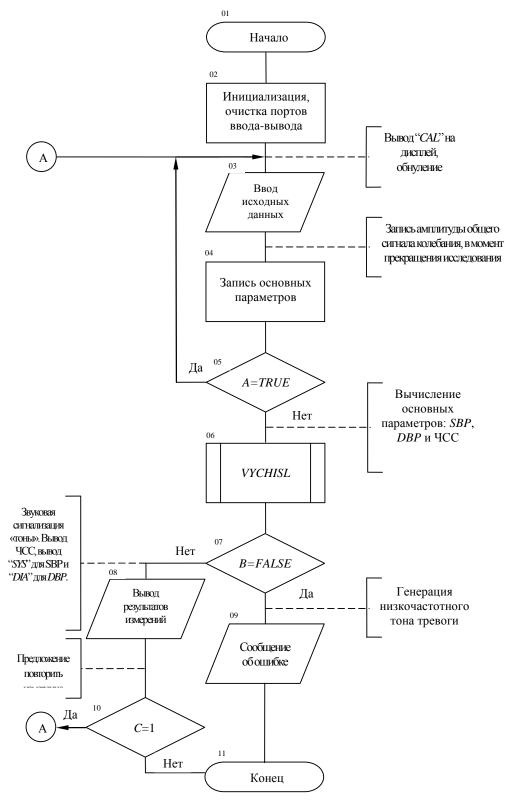


Рис. 3. Алгоритм работы системы экспресс-диагностики

Области применения разрабатываемой системы — медицина и медицинская техника, т.е. быстрое и эффективное проведение диагностики пациентов, находящихся в критических состояниях. Разрабатываемая система не будет уступать зарубежным аналогам, являясь отечественным продуктом, отличаясь своими функциональными возможностями, компактностью и низкой стоимостью, благодаря чему им можно будет оборудовать больничные палаты и машины скорой помощи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Соломин И.Л. Экспресс-диагностика персонала. М.: Речь, 2008.
- 2. Стрельников А.А. Ранняя и дифференциальная диагностика основных инфекционных заболеваний: Учебно-методическое пособие. СПб.: СпецЛит, 2010.
- 4. Крысюк О.Б. Приборы для экспресс-диагностики : Сб. трудов. СПб. : СпецЛит, 2010.
- 5. Сидорова М.А., Ерушова Н.А. Система скринингового исследования параметров гемостаза // Известия $IO\Phi V$. Технические науки. Медицинские информационные системы. -2008. -N 5. -C. 72–75.

АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 681.3.012 ББК 332

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКИ ДИСПЕТЧЕРА ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА CPN TOOLS

© **Н.П. Вашкевич**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **Р.А. Бикташев**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Е.А. Кизилов**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

SIMULATION DEVICE HARDWARE SUPPORT TASK MANAGER USING THE PACKAGE CPN TOOLS

© N.P. Vashkevich, Penza State Universiti (Penza, Russia)
© R.A. Biktashev, Penza State Technological Universiti (Penza, Russia)
© E.A. Kyzilov, Penza State Universiti (Penza, Russia)

В статье предложена методика преобразования алгоритма задачи, представленного моделью недетерминированного автомата, в модель на основе сети Петри с реализацией и имитационным моделированием в программном пакете CPN TOOLS. На примере алгоритма диспетчеризации задач показано применение методики для получения динамических характеристик и оценки производительности разрабатываемого устройства аппаратной поддержки диспетчера с разделением времени для многопроцессорной системы. В процессе моделирования динамических характеристик получены данные о работоспособности устройства аппаратной поддержки диспетчера задач в составе управляющего и операционного блоков.

Ключевые слова: диспетчер задач, многопроцессорная система, имитационное моделирование, сеть Петри.

Technique transform algorithm of task that is represented by the model nondeterministic automata, Petri nets-based model and simulation with the CPN TOOLS software package. The example shows how to use the task scheduling algorithm method for dynamic characteristics and performance of the hardware device manager support for multiprocessor time-sharing system. In the process of modeling of dynamic characteristics of obtained data on the health of hardware support device Task Manager in managing and operating units.

Key words: Multiprocessor system, Task Manager, network simulation, Petri net.

Введение

В настоящее время практически в любой операционной системе на программном уровне реализован диспетчер, управляющий назначением задач процессору. В многопроцессорных системах диспетчер с разделением времени имеет единственную очередь готовых задач [1], которая является общим ресурсом, поэтому в алгоритм работы вводят средства

синхронизации, разрешающие конфликты. В качестве таких средств обычно используют монитор, который представляется в виде процедуры, вызываемой программой диспетчеризации в точках синхронизации. Кроме того, при реализации алгоритма диспетчеризации между задачами и процессорами возникают отношения типа «клиент – сервер», которые также требуют синхронизации и которые зачастую выполняются с использованием метода «рандеву» [2].

Программная реализация диспетчера хорошо отработана в связи с широким распространением, но требует значительных временных затрат на выполнение процедур, связанных с вхождением процесса в монитор и реализацию очереди блокированных процессов, которая возникает из-за конкуренции множества процессоров при доступе к диспетчеру. Эти обстоятельства многократно увеличивают время ожидания процессов и, следовательно, снижают общую производительность многопроцессорной системы. Одним из путей решения проблемы является аппаратная поддержка функций диспетчеризации, которая в значительной степени снимет проблему временных потерь. Кроме этого, применение аппаратной поддержки приводит к увеличению надежности операционной системы, что особенно важно для проблемно-ориентированных и специализированных систем. Предлагаемый подход в данной работе заключается в том, что аппаратная поддержка диспетчера задач выполняется в виде независимого устройства в составе многопроцессорной системы [3].

Сложная система синхронизации взаимодействующих процессов вызывает необходимость проверки правильности функционирования алгоритмов устройства диспетчеризации в динамическом режиме совместно с другими устройствами многопроцессорной системы. Для этого предлагается использовать метод имитационного моделирования, так как поведение системы в целом зависит как от корректной работы конечного автомата, реализующего устройство управления, так и от управляемого им операционного устройства. Поведенческая имитационная модель позволяет оценить динамические характеристики системы, выявить достаточность или избыточность сигналов управления, получить оценки показателей производительности, загрузки отдельных блоков и др.

Инструментарием имитационного моделирования сетей Петри является программная система CPN Tools. В ней применен аппарат функциональных, цветных, иерархических, временных сетей Петри [4], использование которых позволяет строить системы любой сложности, выявлять свойства алгоритмов, а при задании задержек на переходах будет моделироваться динамика функционирования системы.

В качестве примера рассмотрим моделирование устройства аппаратной поддержки диспетчера задач с разделением времени, используемого во многих операционных системах из-за наличия возможности автоматического поддержания балансировки нагрузки процессоров [1].

В общем случае алгоритм работы устройства следующий. При поступлении задачи определяется свободное место в очереди задач. Если места нет, то задача на обслуживание не принимается, иначе задача ставится в конец очереди. При наличии свободного процессора задача,

стоящая в голове очереди, отправляется на обслуживание. Если свободны одновременно несколько процессоров, то производится выбор одного из них для обслуживания очередной задачи.

1. Формализация алгоритма синхронизации процессов при диспетчеризации задач в многопроцессорных системах

Формальное описание алгоритма взаимодействия процессов в данной задаче базируется на использовании моделей недетерминированных автоматов [НДА] [5]. Модели представляются в виде систем канонических уравнений, описывающих все реализуемые события управляющего алгоритма. Алгоритм работы диспетчера содержит две части: клиентскую и серверную. Клиентская часть связана с постановкой задачи в очередь и запросом процессора. Серверная часть связана с выбором процессора из пула свободных и собственно с самой процедурой обслуживания (обработки задачи).

При реализации алгоритма используются два метода синхронизации. Первый метод, основанный на взаимном исключении, обеспечивает корректный выбор процессора для обслуживания очередной задачи, второй – «рандеву» – определяет моменты одновременного наличия задачи в очереди и готовности одного из процессоров к обслуживанию этой задачи.

Для описания алгоритма введены основные частные события, представленые в табл. 1 [3]. В последней графе таблицы представлены сигналы, действующие в CPNTools-модели, имитирующие соответствующие им события модели НДА.

Таблица 1 – Таблица событий НДА и соответствующих им сигналов

События в НДА-модели	Описание событий	Сигналы в имита- ционной модели
$S_{\mathcal{Q}}^{t}$	Задача в очереди	t_S_Q
S_{ZP}^{t}	Запрос процессора диспетчером	t_S_ZP
S_{GPj}^t	Задача готова к обслуживанию в <i>j</i> -м процессоре	t_S_GPj
S_{PZ}^{pj}	Подтверждение запроса <i>j</i> -м процессором	pj_S_PZ
$S_{ m S}^{pj}$	Свободен ј-й процессор	<i>pj_S_S</i>
S_S^{p}	В пуле имеются свободные процессоры	<i>p_S_s</i>
$S_{PT}^{\ pj}$	Задачу ј-й процессор принял	pj_S_PT
S_{SL}^{pj}	Выбран для обслуживания задачи j -й процессор	en_sj
S_A^{pj}	Выполняет обслуживание задачи <i>j</i> -й процессор	pj_S_A
S_{OF}^{t}	Удалить задачу из очереди	t_S_OF
S_{TO}^{pj}	Снять задачу с исполнения	pj_S_TO
S_E^{pj}	Выполнение задачи закончено	pj_S_E
S_{RT}^t	Выдача результата выполнения текущей задачи	t_S_RT
$S_{ m O}^{pj}$	<i>j</i> -й процессор занят	not_enj
S_{RE}^{pj}	Результат выполнения задачи выдан	pj_S_RE

На основании словесно представленного алгоритма управления процессами и введенных событий, реализуемых в этом алгоритме, система канонических уравнений, описывающих эти события, будет иметь следующий вид:

- для процесса «клиент», реализуемого диспетчером:

$$S_{Q}^{t}(t+1) = S_{I}^{t} S_{FQ}^{t} \vee S_{Q}^{t} \overline{S_{SL}^{pj}}; \qquad S_{ZPj}^{t}(t+1) = S_{Q}^{t} S_{SL}^{pj} \vee S_{ZPj}^{t} \overline{S_{PZ}^{pj}};$$

$$S_{GPj}^{t}(t+1) = S_{ZPj}^{t} S_{PZ}^{pj} \vee S_{GPj}^{t} \overline{S_{PZ}^{pj}}.$$

$$(1)$$

- для процесса «сервер», реализуемого процессором:

$$S_{S=j=1,N}^{p} S_{S}^{pj}; \qquad S_{VP}^{pj}(t+1) = (S_{S}^{p} S_{ZP}^{t} \vee S_{O}^{pj}) \overline{S_{SL}^{pj}};$$

$$S_{SL}^{pj} (t+1) = (\stackrel{\checkmark}{}_{j=1,N} S_{O}^{pj} S_{VZ}^{pj} S_{PR}^{pj}) \vee \stackrel{S_{SL}^{pj}}{S_{L}^{t}} \overline{S_{ZP}^{t}};$$

$$S_{PZ}^{pj} (t+1) = \stackrel{S_{SL}^{pj}}{S_{L}^{t}} S_{ZP}^{t} \vee S_{PZ}^{pj} \overline{S_{GPj}^{t}};$$

$$S_{PT}^{pj}$$
 (t+1) = $S_{PZ}^{pj} S_{GPj}^{t}$, (2)

где S_{VZ}^{pj} – комбинационное событие, обеспечивающее взаимоисключение при осуществлении процедуры выбора свободных процессоров для обслу-

живания очередной задачи на основе несовместимости события S_{SL}^{pj} с другими событиями из их общего числа, равного N, определяется выражением

$$S_{VZ}^{pj} = \overline{S_{SL}^{p_1}} \, \overline{S_{SL}^{p_2}} \, \dots \, \overline{S_{SL}^{p_{j-1}}} \, S_{SL}^{p_{j+1}} \, \dots \, S_{SL}^{p_N} \, \dots$$
 (3)

 S_{PR}^{pj} — событие, обеспечивающее приоритет выбора j-го процессора на обслуживание очередной задачи. Алгоритм вычисления приоритетного события для циклической дисциплины обслуживания дан в [7].

Система канонических уравнений, описывающая события после рандеву:

$$S_{A}^{pj}(t+1) = S_{PT}^{pj} S_{GPj}^{t} \vee S_{A}^{pj} \overline{S_{E}^{pj}}; S_{TO}^{t}(t+1) = S_{A}^{pj} S_{E}^{pj} \vee S_{TO}^{t} \overline{S_{RT}^{pj}}$$

$$S_{RT}^{pj}(t+1) = S_{A}^{pj} S_{E}^{pj} \vee S_{RT}^{pj} \overline{S_{RE}^{pj}}; S_{OF}^{t}(t+1) = S_{TO}^{t} S_{RT}^{pj};$$

$$S_{S}^{pj}(t+1) = S_{RE}^{pj} S_{RT}^{pj} \vee S_{S}^{pj} \overline{S_{SL}^{pj}}.$$

$$(4)$$

Уравнениям соответствует граф НДА. На рис. 1 представлены графы клиентской и серверной частей алгоритма управления взаимодействующими процессами при диспетчеризации задач в многопроцессорной системе до момента «рандеву» (до оператора объединения J(&)) и часть графа после «рандеву» (после оператора объединения J(&)).

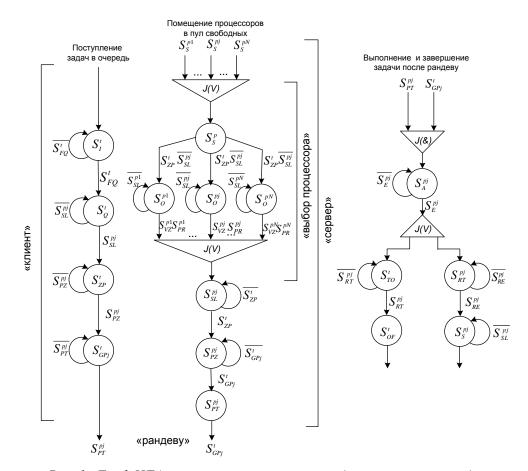


Рис. 1. Граф НДА управления процессами при диспетчеризации задач

На основании модели НДА алгоритма управления диспетчеризацией задач строится модель цветной сети Петри. При построении используются следующие цвета: BOOL, DATA, lDATA, PAK. Для описания позиций и моделирующих сигналов (частные состояния цифрового автомата) использовался цвет ВООС. Фишки данного цвета могут принимать значения true и false. Как будет показано в дальнейшем, при использовании данного цвета описания функция передачи фишки в позицию сети Петри полностью аналогична уравнению перехода в новое состояние для цифрового автомата. С помощью цвета DATA моделируются задачи, поступающие в диспетчер. Данный цвет позволяет изменять назначение и количество полей, описывающих задачу [6]. Использование данного цвета позволяет при необходимости выполнять в процессе моделирования сбор статистики. Цвет IDATA используется при описании очереди задач в буфере типа FIFO (first in first out). Так как используемая сеть Петри не поддерживает ингибиторные дуги, мы используем цвет РАК. Позиции данного цвета могут содержать фишки двух цветов DATA или AVAIL. Если в позиции находится фишка цвета AVAIL, то это означает, что данная позиция свободна.

Модель устройства диспетчеризации задач, включающая операционную часть и управляющий автомат, представлена на рис. 2.

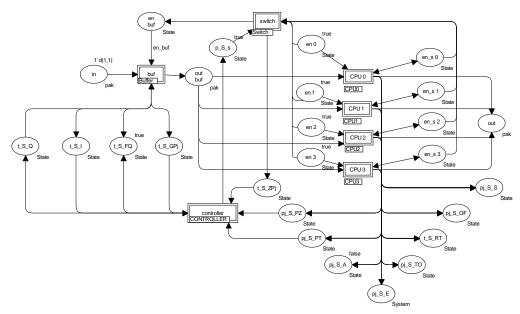


Рис. 2. Модель устройства диспетчеризации

Она содержит: входной порт (*in*), через который поступают задачи; выходной порт (*out*), через который процессоры выдают результаты выполнения задачи; очередь задач (*buf*), которая строится по принципу буфера *FIFO*; узел выбора (*switch*), определяющий процессор для обработки очередной задачи в соответствии с приоритетной дисциплиной обслуживания и циклическим сдвигом приоритетов; четыре процессора (*CPU0*, *CPU1*, *CPU2*, *CPU3*), которые моделируют алгоритм выполнения задачи; сигнальные позиции, через которые узлы обмениваются информацией; узел управления (*controller*), представляющий собой управляющий автомат.

На рис. З представлена модель буфера задач. При поступлении новой задачи переходом *in* формируется сигнал, по которому при наличии свободного места задача помещается в буфер. Если в очереди отсутствуют свободные места, то задача помещается в позицию *Garbage collector* и далее не обслуживается. Данная позиция необходима для сбора статистики о необслуженных задачах. При постановке задачи в очередь проверяется, остаются ли при этом свободные места. Если свободных мест нет, то формируется сигнал о заполнении очереди. Если при заполненной очереди была выполнена операция изъятия задачи, то формируется сигнал о наличии свободного места. При изъятии задачи из очереди формируется сигнал о готовности её к исполнению.

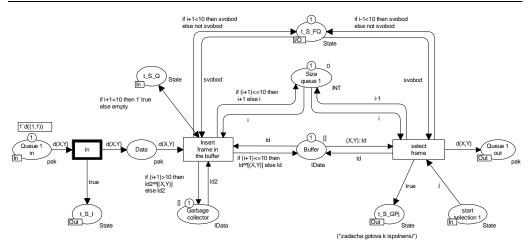


Рис. 3. Модель буфера задач

В представленной работе разработаны также модели узла выбора процессора, процессорных узлов и узла управления *controller* (на рисунках не представлены).

Поскольку подсети, моделирующие работу процессорных узлов, идентичны, поэтому представлена модель только одного процессора. Модели других процессорных узлов включаются аналогично. Разработка модели велась по следующему алгоритму. При получении сигнала запроса процессор формирует сигнал подтверждения запроса на выполнение задачи. Изъятая из буфера задача поступает в процессор, где формируется сигнал о её принятии на выполнение. Одновременно с этим процессор изменяет флаг своего состояния, который указывает на занятость процессора, и начинает выполнять задачу. По окончании обслуживания процессор формирует сигнал завершения, после чего он последовательно формирует сигналы снятия задачи с выполнения, выдачи результата, включения свободного процессора в пул, и удаления задачи, после чего флаг состояния процессора изменяется, указывая на освобождение процессора.

Узел управления *controller* описывает последовательность формирования сигналов конечным автоматом, используя метод синхронизации «рандеву» для параллельных процессов, реализуемый клиентом и сервером.

Заключение

В данной работе предложен метод сетей Петри с использованием программного пакета CPN TOOLS для визуализированной отладки алгоритма, реализуемого в устройстве аппаратной поддержки диспетчеризации задач в составе четырехпроцессорной системы, без построения самой аппаратуры. Кроме того, предложенный метод может служить основой для оценки показателей производительности, например времени ответа устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Таненбаум Э. Современные операционные системы. 3-е изд. СПб. : Питер, 2010.-1120 с.
- 2. Эндрюс Г.Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования : Пер. с англ. M. : Вильямс, 2003. 512 с.
- 3. Вашкевич Н.П. Аппаратная поддержка планировщика задач с глобальной очередью в многопроцессорных системах / Н.П. Вашкевич, Р.А. Бикташев, А.И. Меркурьев // Известия вузов. Поволжский регион. 2011. № 1. (Технические науки).
- 4. Jensen K., Kristensen L. Coloured Petri Nets: modelling and validation of concurrent systems. Springer-Verlag, 2009.
- 5. Вашкевич Н.П. Недетерминированные автоматы в проектировании систем параллельной обработки: Учеб. пособие / Н.П. Вашкевич. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. 280 с.
- 6. Механов, Коннов Н.Н., Кизилов Е.А. Построение сети Петри, моделирующей поведение недетерминированного конечного автомата // Труды XIX Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2012». СПб.: ИТМО, 2012.
- 7. Вашкевич Н.П. Аппаратная реализация функций синхронизации параллельных процессов при обращении к разделяемому ресурсу на основе ПЛИС / Н.П. Вашкевич, Р.А. Бикташев, Е.И. Гурин // Известия вузов. Поволжский регион. 2007. N = 2. C. 3 12. (Технические науки).

УДК 519.872.3, 519.872.8 ББК 22.171

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ СО СТРАТЕГИЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАЗОМКНУТЫХ СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

© **А.И. Мартышкин**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

NUMERICAL SIMULATION OF TASK MANAGER WITH A STRATEGY OF DIVIDING THE SPACE FOR PARALLEL COMPUTING SYSTEMS ON THE BASIS OF OPEN QUEUEING NETWORKS

© A.I. Martyshkin, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Целью работы является проведение математического моделирования для анализа производительности диспетчера задач со стратегией разделения пространства в составе параллельной вычислительной системы. В статье приводится численное моделирование диспетчеров задач со стратегией разделения пространства для систем параллельной обработки на основе разомкнутых сетей массового обслуживания. Результатами работы являются выражения для расчета характеристик представленной системы, произве-

денного двумя способами: для каждого класса задач в отдельности, для суммарного потока задач. В ходе работы сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: математическая модель, численное моделирование, диспетчер задач, разделение пространства, случайный процесс, стохастическая сеть, система массового обслуживания, приоритет, вероятность.

Purpose is to conduct mathematical modeling to analyze the performance of the task manager with the strategy of the separation space of the parallel computing system. The article provides a numerical simulation of the task managers with the strategy of the separation space for parallel processing systems based on open-loop queuing networks. The results of the work are the expressions for calculating the characteristics of the present system, produced in two ways: for each class of tasks separately, and for the total flow problems. During the appropriate conclusions.

Key words: mathematical model, numerical modeling, the task manager, space division, the stochastic process, the stochastic network, queuing system, priority, probability.

E-mail: Alexey314@yandex.ru

Введение

При изучении сложных систем со стохастическим характером функционирования полезной математической моделью является случайный процесс, который развивается в зависимости от ряда случайных факторов. Примером случайных процессов могут служить процессы, связанные с диспетчеризацией задач в системах параллельной обработки. Большинство моделей систем со стохастическим характером функционирования строится на основе моделей массового обслуживания, процессы в которых являются случайным и, зачастую, марковскими, либо каким-то образом связанные с марковскими процессами, применение которых оказывается особенно эффективным и результативным при исследовании систем и сетей массового обслуживания с накопителями ограниченной емкости.

Постановка задачи

Математическая модель диспетчера задач со стратегией разделения пространства [2, 5, 6] состоит из n-одноканальных СМО (S_1 , ..., S_m) (см. рис. 1). Каждая такая СМО моделирует обслуживание в диспетчере и центральном процессоре (ЦП) (S_1 , S_2 , ..., S_m). Источник S_0 моделирует поток заявок λ_0 , генерируемый предварительным планировщиком, и поглощает обслуженные заявки. Перед диспетчерами формируются очереди с ограничением числа мест. В систему поступает неоднородный поток задач. Ожидающие обслуживания задачи разнесены по очередям ограниченной емкости. Между задачами разных классов установлены относительные приоритеты (ОП), означающие, что всякий раз из очередей на обслуживание выбирается задача с самым высоким приоритетом. При этом при поступлении в систему высокоприоритетной задачи обслуживание низкоприоритетной не прерывается. При заполненных очередях поступившая задача игнорируется диспетчером, т.е. не принимается на обработку и остается в очереди предварительного планировщика.

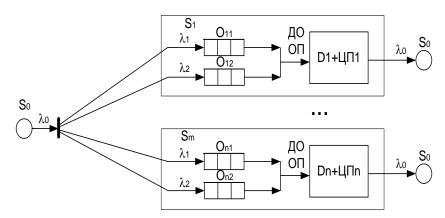


Рис. 1. Схема математической модели n-процессорной системы с индивидуальными диспетчерами

Описание системы

Рассматриваемая система является совокупностью одноканальных СМО, представленных в виде стохастической сети. На вход поступает поток запросов с интенсивностью $\lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_2$, на входы S_1 - S_m , соответственно, λ_1/n и λ_2/n при равной вероятности распределения запросов. В рассматриваемой сети массового обслуживания (CeMO) коэффициенты передачи каждой СМО равны единице, поэтому сетевые характеристики сводятся к характеристикам одноканальных СМО, составляющих стохастическую сеть.

Входящий поток задач – неоднородный: в систему поступает два потока пользовательских задач разного приоритета. Очереди для задач каждого класса являются ограниченными по длине. Для примера, в данной работе длина очередей принята одинаковой и равной $r_1 = r_2 = 1$.

Дисциплина обслуживания — с относительными приоритетами (ДО ОП): задачи первого класса имеют высший приоритет по отношению к задачам второго класса.

- 1. Поступающие в систему задачи двух классов образуют простейшие потоки с интенсивностями λ_1/n и λ_2/n , соответственно.
- 2. Длительности обслуживания задач каждого класса распределены по экспоненциальному закону с интенсивностями $\mu_1 = \frac{1}{b_1}$ и $\mu_2 = \frac{1}{b_2}$, где b_1 и b_2 , соответственно, средние длительности обслуживания задач класса 1 и 2.

Для описания состояний марковского процесса будем использовать распределение задач между диспетчером задач и очередями [1, 4]. Закодируем состояния следующим образом: S_i : (Д/O₁, O₂), где Д = {0, 1, 2} — состояние диспетчера задач, задаваемое классом задачи, находящейся на обслуживании («0» — диспетчер свободен; «1» или «2» — на обслуживании находится задача класса 1 или 2); O₁, O₂ = {0, 1} — состояние очередей 1 и 2 («0» — отсутствие задачи в очереди, «1» — нали-

чие одной задачи в очереди соответствующего класса). При таком предложенном способе кодирования система может находиться в следующих состояниях (рис. 2):

 S_0 : (0/0, 0) – в системе нет ни одной задачи;

 S_1 : (1/0, 0) — на обслуживании находится задача класса 1;

 S_2 : (2/0, 0) – на обслуживании находится задача класса 2;

 S_3 : (1/1, 0) — на обслуживании находится задача класса 1 и одна задача класса 1 ожидает обслуживания в очереди O_{11} ;

 S_4 : (1/0, 1) — на обслуживании находится задача класса 1 и одна задача класса 2 ожидает обслуживания в очереди O_{12} ;

 S_5 : (2/1, 0) — на обслуживании находится задача класса 2 и одна задача класса 1 ожидает обслуживания в очереди O_{11} ;

 S_6 : (2/0, 1) — на обслуживании находится задача класса 2 и одна задача класса 2 ожидает обслуживания в очереди O_{12} ;

 S_7 : (1/1, 1) — на обслуживании находится задача класса 1 и по одной задаче класса 1 и 2 ожидают обслуживания в очередях O_{11} и O_{12} ;

 S_8 : (2/1, 1) — на обслуживании находится задача класса 2 и по одной задаче класса 1 и 2 ожидают обслуживания в очередях O_{11} и O_{12} ;

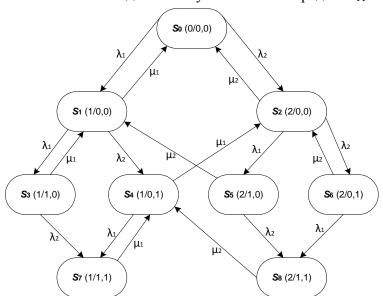


Рис. 2. Размеченный граф переходов

В каждый момент времени происходит только одно событие: либо поступление задачи какого-либо класса, либо завершение обслуживания задачи в диспетчере, поскольку вероятность появления двух и более событий в один и тот же момент времени равна нулю [1, 3, 4].

При наличии в очередях задач первого и второго приоритетов (состояния S_7 и S_8) после завершения обслуживания некоторой задачи в диспетчере случайный процесс переходит в состояние S_4 , означающее, что на обслуживание всегда выбирается высокоприоритетная задача класса 1.

По графу переходов составим систему уравнений для определения стационарных вероятностей:

$$\begin{cases} (\lambda_{1} + \lambda_{2}) \cdot p_{0} = \mu_{1} \cdot p_{1} + \mu_{2} \cdot p_{2} \\ (\lambda_{1} + \lambda_{2} + \mu_{1}) \cdot p_{1} = \lambda_{1} \cdot p_{0} + \mu_{1} \cdot p_{3} + \mu_{2} \cdot p_{5} \\ (\lambda_{1} + \lambda_{2} + \mu_{2}) \cdot p_{2} = \lambda_{2} \cdot p_{0} + \mu_{1} \cdot p_{4} + \mu_{2} \cdot p_{6} \\ (\lambda_{2} + \mu_{1}) \cdot p_{3} = \lambda_{1} \cdot p_{1} \\ (\lambda_{1} + \mu_{1}) \cdot p_{4} = \lambda_{2} \cdot p_{1} + \mu_{1} \cdot p_{7} + \mu_{2} \cdot p_{8} \\ (\lambda_{2} + \mu_{2}) \cdot p_{5} = \lambda_{1} \cdot p_{2} \\ (\lambda_{1} + \mu_{2}) \cdot p_{6} = \lambda_{2} \cdot p_{2} \\ \mu_{1} \cdot p_{7} = \lambda_{2} \cdot p_{8} + \lambda_{1} \cdot p_{4} \\ \mu_{2} \cdot p_{8} = \lambda_{2} \cdot p_{5} + \lambda_{1} \cdot p_{6} \\ p_{0} + p_{1} + p_{2} + p_{3} + p_{4} + p_{5} + p_{6} + p_{7} + p_{8} = 1 \end{cases}$$

$$(1)$$

Расчет характеристик представленной системы произведем двумя способами: 1) для каждого класса задач, 2) для суммарного потока задач.

Расчет характеристик обслуживания задач каждого класса (приоритета) выполняется по следующим выражениям:

а) нагрузка на диспетчер задач
$$y_1 = \frac{\lambda_1 / n}{\mu_1} = (\lambda_1 / n) \cdot b_1;$$

$$y_2 = \frac{\lambda_2/n}{\mu_2} = (\lambda_2/n) \cdot b_2;$$

б) загрузка, создаваемая потоком задач, которая может характеризоваться вероятностью того, что на обслуживании в диспетчере находится задача класса 1

$$\rho_1 = p_1 + p_3 + p_4 + p_7;$$
 или 2 $\rho_2 = p_2 + p_5 + p_6 + p_8;$ соответственно;

в) среднее число задач в очередях перед диспетчером:

$$l_1 = p_3 + p_5 + p_7 + p_8; \quad l_2 = p_4 + p_6 + p_7 + p_8;$$

г) среднее число задач в системе (в очередях и на обслуживании):

$$m_1 = l_1 + \rho_1; \quad m_2 = l_2 + \rho_2;$$

д) вероятность потери задач из-за переполнения очередей:

$$\zeta_1 = p_3 + p_5 + p_7 + p_8; \ \zeta_2 = p_4 + p_6 + p_7 + p_8;$$

е) производительность по каждому классу (приоритету) задач:

$$\lambda_{1}^{'} = (\lambda_{1}/n) \cdot (1-\zeta_{1}) \ \lambda_{2}^{'} = (\lambda_{2}/n) \cdot (1-\zeta_{2});$$

ж) среднее время ожидания задач в очередях:

$$\omega_1 = \frac{l_1}{\lambda_1/n}; \ \omega_2 = \frac{l_2}{\lambda_2/n};$$

з) среднее время пребывания задач в системе:

$$u_{1} = \frac{m_{1}}{\lambda_{1}} + v_{Д\Pi} + v_{Ц\Pi} = \omega_{1} + b_{1} + v_{Д\Pi} + v_{Ц\Pi};$$

$$u_{2} = \frac{m_{2}}{\lambda_{2}} + v_{Д\Pi} + v_{Ц\Pi} = \omega_{2} + b_{2} + v_{Д\Pi} + v_{Ц\Pi}.$$

Расчет характеристик обслуживания задач суммарного потока выполняется по следующим выражениям и формулам:

- 1) суммарная нагрузка на диспетчер задач: $Y = y_1 + y_2$;
- 2) суммарная загрузка системы: $P = \rho_1 + \rho_2$;
- 3) коэффициент простоя системы: $\psi = 1 P$;
- 4) суммарное число задач в очередях: $L = l_1 + l_2$;
- 5) суммарное число задач в системе: $M = m_1 + m_2 = L + P$;
- 6) вероятность потери задач: $Z = \zeta_1 + \zeta_2$;
- 7) интенсивность суммарного потока обслуженных задач (производительность системы): $\Lambda^{'} = \lambda_{1}^{'} + \lambda_{2}^{'}$;
 - 8) среднее время ожидания в очередях задач суммарного потока:

$$W = \frac{(\lambda_1 \omega_1 + \lambda_2 \omega_2)}{\lambda} = \frac{L}{\lambda};$$

9) среднее время пребывания задач суммарного потока:

$$U = \frac{(\lambda_1 u_1 + \lambda_2 u_2)}{\lambda_1} = \frac{m}{\lambda_1} = W + (b_1 + b_2) + v_{\mu \Pi} + v_{\mu \Pi}.$$

Ниже приведены полученные графики численного моделирования диспетчера задач со стратегией разделения пространства (рис. 3, 4). Значение интенсивности λ_1 менялось от 1 до 10 задач/с.; интенсивности λ_2 — от 2 до 11 задач/с. Интенсивности обслуживания задач μ_1 и μ_2 не изменялись и составляли 10 задач/с и 15 задач/с, соответственно.



Рис. 3. Зависимость времени ожидания в очереди перед диспетчером от интенсивности неоднородного входного потока задач

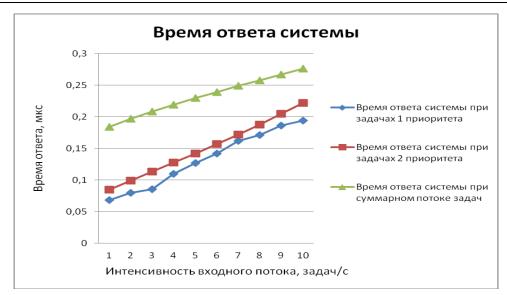


Рис. 4. Зависимость времени ответа системы от интенсивности неоднородного входного потока задач

Выводы

Были получены выражения для численного расчета основных вероятностно-временных характеристик диспетчера задач со стратегией разделения пространства. Расчет характеристик представленной системы производился двумя способами: а) для каждого класса задач по отдельности, б) для суммарного потока задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-07-31150)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. СПб. : $C\Pi \delta \Gamma V \ UTMO, \ 2009. 363 \ c.$
- 2. Мартышкин А.И. Моделирование диспетчеров задач многопроцессорных систем / Р.А. Бикташев, А.И. Мартышкин // Успехи современного естествознания : Научно-теоретический журнал. 2012. N_2 6. С. 83—85.
- 3. Вентцель Е.С. Введение в исследование операций. М. : "ЁЁ Медиа", $2012.-390\ c.$
- 4. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М. : Мир, 1979. $600\ c$.
- 5. Мартышкин А.И. Исследование диспетчеров задач многопроцессорных систем на моделях массового обслуживания / А.И. Мартышкин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: Научно-методический журнал. Пенза: Пенз. гос. технол. академия. 2012. N_2 5. C. 139—146.
- 6. Мартышкин А.И. Математическая модель диспетчера задач с общей очередью для систем параллельной обработки / А.И. Мартышкин // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции. Пенза: ПДЗ, 2013. С. 87—91.
- 7. Таненбаум Э. Современные операционные системы. 3-е изд. СПб. : Питер, 2010.-1120 с.

УДК 681.32 ББК 30

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

© **А.А. Юрлов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **Л.И. Федосеева**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

OPTIMAL ROUTE SEARCH IN THE TRANSPORT NETWORK

© A.A. Yurlov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© L.I. Fedoseeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Рассмотрена задача построения транспортной сети минимальной длины. Модель транспортной сети представлена в виде графа. Выбран оптимальный алгоритм решения задачи и выполнена аппаратная реализация графовой модели на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС).

Ключевые слова: транспортная сеть, модель графа, аппаратная реализация, алгоритм Дейкстры.

Consider the problem of constructing a minimum length of the transport network. The transport network model is represented as a graph. The optimal algorithm for hardware implementation and made graphs model of programmable logic integrated circuits (PLIC).

 $\textbf{Key words}: \ transport \ network, \ graph \ model, \ hardware \ implementation, \ Dijkstra's \ algorithm.$

E-mail: yrlov-alex@mail.ru; fli58@yandex.ru

Сегодня транспортная сеть — самая массовая отрасль. Масштабы грузоперевозок автомобильным транспортом огромны и связаны со всеми без исключения отраслями экономики. Затраты на грузоперевозки могут быть уменьшены за счет эффективного планирования передвижения автотранспорта. В настоящее время существует множество решений этой задачи. На их базе разработаны различные цифровые устройства, однако они не всегда удовлетворяют потребностям конечного пользователя. Поэтому проблема автоматизации поиска рациональных маршрутов для конкретного предприятия является актуальной на сегодняшний день.

Для нахождения удовлетворительного решения задачи маршрутизации с использованием математических методов в качестве исходных данных необходима модель транспортной сети. Модель транспортной сети может быть представлена в виде взвешенного графа, в котором вершины — это точки на сети, наиболее важные для определения расстояний или маршрутов движения, а дуги — отрезки транспортной сети, характеризующие наличие дорожной связи между соседними вершинами. Дуги графа характеризуются числами, которые могут иметь различный физический смысл. Чаще всего это расстояние, но может использоваться, например, время движения, количество потраченного топлива, суммарный показатель стоимости проезда и др.

Алгоритмы нахождения кратчайших путей между вершинами графа принадлежат классу NP полных задач, которые экспонен-

циально зависят от размера входа. Решать такие задачи методом перебора всех элементов не представляется возможным. Поэтому решение задачи на графе состоит в том, чтобы построить достаточно эффективный алгоритм, который гарантированно находит оптимум в случае, если множество допустимых решений не пусто.

Анализ алгоритмов, применяемых в настоящее время для поиска кратчайших путей между вершинами графа, позволил выявить следующие алгоритмы:

- 1. **«Жадный» алгоритм** алгоритм нахождения наикратчайшего расстояния путём выбора самого короткого, ещё не выбранного ребра, при условии, что оно не образует цикла с уже выбранными рёбрами [1].
- 2. «Деревянный» алгоритм алгоритм построении для графа кратчайшего остовного (покрывающего) дерева с помощью алгоритма Прима, после чего выполняется обход дерева в порядке root-left-right, для удаления повторяющихся вершин [1].
- 3. «Муравьиный» алгоритм один из эффективных полиномиальных алгоритмов для нахождения приближенных решений задачи коммивояжера, а также аналогичных задач поиска маршрутов на графах. Суть подхода заключается в анализе и использовании модели поведения муравьев, ищущих пути от колонии к источнику питания и представляет собой метаэвристическую оптимизацию. Первая версия алгоритма, предложенная доктором наук Марко Дориго в 1992 году, была направлена на поиск оптимального пути в графе [4].
- 4. **Алгоритм** Дейкстры алгоритм на графах, предложенный нидерландским ученым Э. Дейкстрой в 1959 году для нахождения кратчайшего расстояния от одной из вершин до всех остальных [3]. Алгоритм прост в реализации, т.к. состоит из операций двух типов: операции сложения и операции сравнения по минимуму. Этот алгоритм широко используется для решения задач выбора рационального движения транспорта.

При выборе алгоритма решения поставленной задачи следует провести сравнения объемов вычислений по каждому из алгоритмов. Осуществляемая при этом процедура оценки числа операций, выполняемых в том или ином алгоритме, получила название анализа вычислительной сложности. Сравнительный анализ приведенных выше алгоритмов показал, что наименьшую трудоемкость имеет алгоритм Дейкстры. Рассмотрим данный алгоритм на основе примера неориентированного нагруженного графа (рис. 1,a). Матрица весов дуг приведена на рис. $1.2,\delta$. Требуется найти кратчайший путь от вершины x_1 до вершины x_4 .

Алгоритм Дейкстры является итерационным. Каждая итерация состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Находим прямое отображение вершины $y - \Gamma(y)$. Для всех вершин $x_i \in \Gamma(y)$, пометки которых временные, пересчитать $d(x_i)$ в соответствии с выражением:

$$d(x_i) \leftarrow \min [d(x_i), d(y) + t(y, x_i)],$$
 где $t(y, x_i)$ – вес дуги (y, x_i) . (1)

Отметить ту из вершин x_i , для которой величина $d(x_i)$ является минимальной: $d(x_i^*) = \min d(x_i)$. Кроме этого, отметить дугу (y, x_i) , для которой величина $d(x_i)$ является минимальной.

Считать пометку вершины x_i^* постоянной и положить $y = x_i^*$.

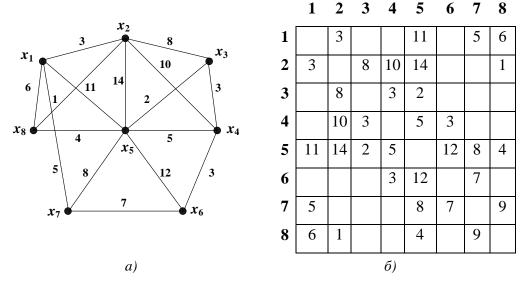


Рис. 1. Пример поиска кратчайшего пути: а) граф; б) матрица весов дуг

Шаг 2. Если $y = x_j$, закончить процедуру, кратчайший путь от x_i до x_j найден. Если $y \neq x_j$, то следует перейти к шагу 1.

Следует отметить, что каждый раз, когда отмечается некоторая вершина (не считая начальной), отмечается и дуга, заходящая в эту вершину. Если существует несколько кратчайших путей от x_i к каким-либо другим вершинам, то выбор в этом случае может быть произвольным.

Окончательно построенное дерево кратчайших путей состоит из дуг $(x_1, x_2)^*$, $(x_1, x_3)^*$, $(x_1, x_7)^*$, $(x_7, x_5)^*$, $(x_5, x_3)^*$, $(x_7, x_6)^*$ и $(x_2, x_4)^*$ (рис. 2,ж).

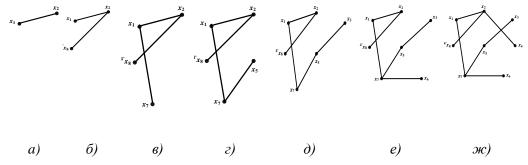


Рис. 2. Текущие деревья кратчайшего пути — а), б), в), г), д), е) и окончательно построенное дерево кратчайших путей — ж)

Кратчайший путь, соединяющий вершину x_1 с вершиной x_4 , состоит из дуг (x_1, x_2) и (x_2, x_4) имеет длину 3+10=13.

В соответствии с приведенным выше алгоритмом разработана структурная схема, на основе которой спроектировано цифровое устройство (ЦУ) для поиска оптимальных путей в графе (рис. 3). Схема состоит из следующих узлов:

 $T\Gamma$ – тактовый генератор, обеспечивает синхронную работу устройства;

БС – блок сопряжения, предназначен для связи цифрового устройства с базовой ЭВМ;

БУ – центральный блок управления, формирует управляющие сигналы;

БВИ – блок вывода информации, обеспечивает вывод информации;

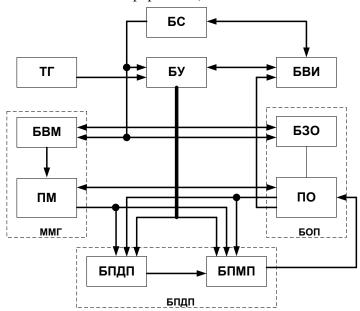


Рис. 3. Электрическая структурная схема ЦУ

 $MM\Gamma$ – матричная модель графа, содержит электронную модель графа, данный блок содержит:

БВМ – блок ввода матрицы, управляет вводом матрицы смежности;

ПМ – память матрицы, хранит непосредственно данные модели графа;

 $\mathrm{FO\Pi}$ — блок операндов, предназначен для установки начальных данных, а также для хранения промежуточных значений и результата, блок содержит:

ПО – память операндов, хранит данные;

63O-6лок записи операндов, предназначен для обеспечения правильной записи данных в ΠO ;

БПКП — блок поиска кратчайших путей, здесь реализуется условие поиска, блок содержит:

БПДП – блок поиска длины пути, выполняет поиск кратчайшего пути до каждой неотмеченной вершины графа, если такой существует;

БПМП – блок поиска минимального пути, анализирует значения кратчайших путей для всех неотмеченных вершин и выбирает минимальное.

Для реализации ЦУ, отвечающего современным стандартам, использованы программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). Применение ПЛИС позволяет усовершенствовать работу устройства путем применения новой программной прошивки микросхемы — загрузчика ПЛИС без дополнительных аппаратных затрат и переразводки печатной платы.

Следующим этапом разработки является проектирование функциональной схемы. Электрическая функциональная схема была спроектирована в *CAПР ISE WebPACK* с помощью схемотехнического редактора и проверена с помощью пакета моделирования *ISim*. Каждый функциональный блок устройства объединяется в макрос. На рис. 4 представлены функциональная схема блоков ЦУ и их временные диаграммы.

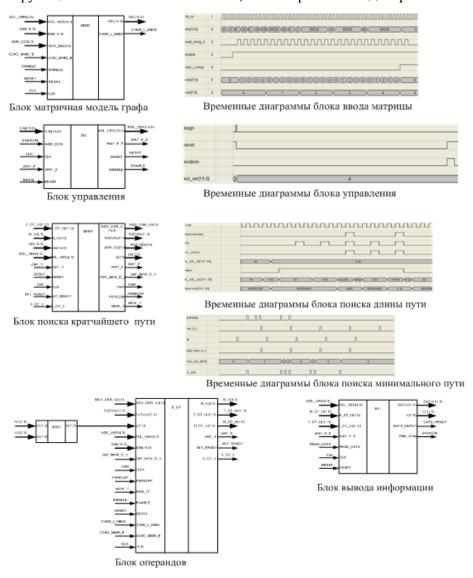


Рис. 4. Функциональная схема блоков ЦУ и их временные диаграммы

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Проведем анализ временных диаграмм, представленных ниже. Временные диаграммы выполнены для графа, представленного в примере (см. рис. 1). Этот граф имеет 8 вершин. При использовании частоты $400 \mathrm{M}\Gamma \mathrm{u}$ ($t_\mathrm{f} = 2.5 \mathrm{\ hc}$)

```
время анализа: T_a = (8.3+6).8.2,5 = 600 нс;
```

время загрузки: $T_3 = 8^2 \cdot 2 \cdot 2.5 = 320$ нс;

время на чтение: $T_{\rm q} = 2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 2,5 = 80$ нс;

общее время работы: T = 600+320+80 = 1 мс.

Данный расчет говорит о высоком быстродействии ЦУ.

Результаты проектирования ЦУ показали, что его использование позволит повысить эффективность работы транспорта за счет сокращения времени на планирование маршрута движения автотранспорта. Устройство имеет высокое быстродействие и малые аппаратные затраты. Получаемые в результате использования цифрового устройства рациональные маршруты могут привести к снижению затрат на перевозку грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ. 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. 1296 с.
- 2. Федосеева Л.И. Устройство оптимизации кратчайшего пути между вершинами графа на примере задачи коммивояжера / Л.И.Федосеева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Пенза, 2011. С. 132–138.
- 3. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М. : Мир, 1981.-324~c.
- 4. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы, Exponenta Pro // Математика в приложениях. -2004. -№ 4.

УДК 681.32 ББК 30

АППАРАТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФОВЫХ ЗАДАЧ

© **Л.И. Федосеева**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.А. Юрлов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

HARDWARE OPTIMIZATION GRAPH PROBLEMS

© L.I. Fedoseeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© A.A. Yurlov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Рассмотрена задача аппаратной реализации задач, являющихся классическим примером NP-задач: задачи коммивояжера и задачи китайского почтальона. Показано, что такие задачи могут быть решены с помощью методов теории графов, что позволяет оптимизировать вычислительные затраты.

Ключевые слова: теория графов, аппаратная реализация, алгоритм Прима, задача почтальона, модель графа.

The problems of hardware implementation of task is a classic example NP-problems: traveling salesman problem and the Chinese postman problem.

Key words: graph theory, hardware implementation, algorithm Prima, postman problem, graph model.

E-mail: fli58@yandex.ru; yrlov-alex@mail.ru

В процессе проектирования обычно ставится задача определения оптимальных значений параметров объектов или структуры. Такая задача называется оптимизационной. Для решения оптимизационных задач удобно использовать графические структуры. Для построения и исследования графических структур разработана система методов, изучаемая в теории графов.

Рассмотрим некоторые формулируемые на языке теории графов задачи, общая особенность которых состоит в том, что они формулируются на взвешенных графах. В зависимости от содержательной интерпретации заданные веса ребер этих графов отражают значения таких показателей, как время, расстояние, стоимость и т.д. Каждый из этих алгоритмов является лишь вычислительной схемой, для которой остается решить проблему реализации на ПЭВМ вычислительного процесса.

В самом общем виде математическую постановку задачи на графах можно описать следующим образом. Задается n-вершинный граф G=(X,A) со взвешенными элементами, где $A=\{a_i\},\ i=1,\ 2,\ ...,\ m$ — множество ребер, $X=\{x_i\},\ i=1,\ 2,\ ...,\ n$ — множество вершин и $C=\{c_i\},\ i=1,\ 2,\ 3,...,\ m$ — множество характеристик дуг. Во взвешенном графе G через c_i (a_i) обозначается вес ребра (дуги), $a_i\in A$. Заданием графа неконструктивно определяется множество или система $S_n=\{s\}$ некоторых объектов. Часто s — это некоторая часть графа G. Например, s — это гамильтонов путь, или покрытие и т.д. Задается также целевая функция F=f(s), определенная на элементах множества S_n . Задача состоит в том, чтобы в

множестве S_n выделить элемент s_0 , который является экстремальным согласно целевой функции F (на элементе s_0 функция F принимает значение min или max). Как правило, мощность множества S_n очень велика по сравнению с числом вершин графа G. Например, если S_n — множество гамильтоновых путей в полном ориентированном графе G, то мощность $|S_n| = n!$.

Алгоритмы решения таких задач принадлежат классу NP полных задач, экспоненциально зависят от размера входа. Решать такие задачи методом перебора всех элементов из S_n не представляется возможным. Поэтому в более точной формулировке смысл решения задачи на графе состоит в том, чтобы построить достаточно эффективный алгоритм, который гарантированно находит оптимум в случае, если множество допустимых решений S_n не пусто.

В графе G с числом вершин, равным n, алгоритм можно считать достаточно эффективным, если он находит точное решение задачи и при этом затрачивает порядка n^k операций, где k – константа. Операция – это сравнение двух чисел или арифметическая операция. Теоретический интерес представляют алгоритмы трудоемкости t=t(n), для которых справедливо соотношение $\lim_{n\to\infty}(t(n)/|S_n|)=0$. Если задача сформулирована на взвешенном графе, то множество допустимых её решений обозначаем через $Y=Y(G)=\{y\}$, где $y=(X_y,A_y)$ – это удовлетворяющий соответствующим условиям подграф графа G, $X_y\subseteq X$ и $A_y\subseteq$

Для реализации на ПЭВМ были выбраны задачи, которые являются классическим примером NP-задач. Это задача коммивояжёра и задача китайского почтальона.

A. Качество допустимых решений y определяется целевой функцией F(y), которая представляет собой суммарный вес ребер подмножества A_y .

Задача коммивояжёра заключается в отыскании самого выгодного маршрута, проходящего через указанные города как минимум один раз с последующим возвратом в исходный город. Таким образом, коммивояжёр сталкивается с задачей поиска гамильтонова контура минимальной длины с посещением каждой вершины ровно один раз.

Гамильтонов контур возможен только в связном графе с четными степенями каждой вершины. Поэтому выполняется решение общей задачей коммивояжёра, т.е. поиск минимального маршрута (минимальной протяженности, длительности или стоимости) с возвратом в точку старта для всех возможных путей. При этом при необходимости вершины посещаются не один раз [2].

Сформулируем задачу в терминах теории графов. Во взвешенном графе G = (X, A), каждому ребру (x_i, x_j) которого сопоставлен вес $c(x_i, x_j)$, требуется найти гамильтонов контур наименьшей стоимости, причем контур не обязательно должен содержать все ребра графа. В условиях задачи указываются критерий выгодности маршрута и соответствующие матрицы расстояний, стоимости и т.п. Целью решения является нахождение маршрута, удовлетворяющего всем условиям и при этом имеющего минимальную сумму затрат.

Решить поставленную задачу можно разными способами, которые отличаются точностью и скоростью решения. Наибольшую вычислительную трудоемкость имеют алгебраические методы, основанные на последовательном перемножении матриц [3]. Они не могут быть применимы к задачам с более, чем несколькими десятками вершин, т.к. требуют слишком большого времени работы и большой памяти компьютера. Более приемлемыми являются методы перебора.

При полном переборе решение задачи коммивояжёра с *п* городами требует рассмотрения (*n*-1)! различных маршрутов, т.е. размеры поискового пространства огромны. Поэтому такой подход не рационален из-за большого числа вычислений и сохранения огромного числа данных. Методы решения задачи, сокращающие полный перебор — методы эвристические. В большинстве эвристических методов находится не самый эффективный маршрут, а приближённое решение.

В данной работе в основе реализации задачи коммивояжёра лежит алгоритм Прима — для нахождения на графе минимального остовного дерева и алгоритм Дейкстры [1, 3] — для построения матрицы кратчайших путей между всеми вершинами графа.

Задача почтальона заключается в том, чтобы пройти все улицы маршрута и вернуться в его начальную точку, минимизируя при этом длину пройденного пути. Задачу поиска оптимального маршрута обхода ребер графа первоначально изучал китайский математик Мэй-Ку Куан в 1962 году. Поэтому иногда ее называют задачей китайского почтальона.

Сформулируем задачу в терминах теории графов. Во взвешенном n-вершинном связном неографе G = (X, A), каждому ребру (x_i, x_j) которого сопоставлен вес $c(x_i, x_j)$, требуется найти такой кратчайший замкнутый маршрут, который посещает каждое ребро $a_i \not\in A$ (через некоторые ребра проходит многократно). В условиях задачи указываются критерий выгодности маршрута и соответствующие матрицы расстояний, стоимости и т.п.

Эта задача имеет оптимальное решение только в эйлеровом графе. В этом случае замкнутый маршрут проходит по каждому ребру единожды. Граф является эйлеровым тогда и только тогда, когда он связен и степени всех его вершин четны. Если в графе имеются вершины с нечетной степенью, то почтальон должен повторно обойти нечетное число ребер, при этом повторно обходимые ребра образуют цепи, началом и концом которых являются вершины с нечетной степенью, т.е. почтальон должен решить, какие ребра, соединяющие вершины с нечетной степенью, будет обходить повторно.

Эта задача сводится к полиномиальной задаче нахождения оптимального совершенного паросочетания в полном взвешенном графе размерности m < n. Для ее решения использован алгоритм Дейкстры — для построения матрицы кратчайших путей между всеми вершинами графа и алгоритм построения паросочетаний с максимальным весом [2, 3].

Для реализации рассмотренных алгоритмов был разработан специализированный процессор (СП), структурная схема которого приведена на рис. 1.

Схема состоит из следующих узлов:

 $T\Gamma$ – тактовый генератор, генерирует тактовые импульсы для синхронной работы устройства.

ПЗУ конфигурации – запоминающее устройство, предназначенное для конфигурирования ПЛИС.

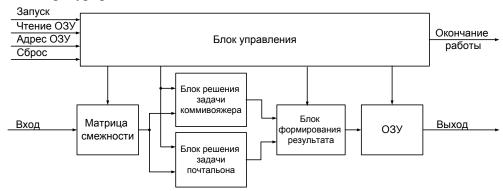


Рис. 1. Электрическая структурная схема СП

Матрица смежности содержит электронную модель графа. Каждый элемент матрицы отображает связи между вершинами неографа. Матрица представляет собой блок регистров на 4096 ячеек (64 регистра по 64 бита). Загрузка данных будет происходить по строкам матрицы, поэтому удобнее будет использовать регистры сдвига.

Блок решения задачи коммивояжёра реализует алгоритм Прима — для нахождения на графе минимального остовного дерева, а блок решения задачи почтальона — алгоритм построения паросочетаний с максимальным весом. Для формирования окончательного результата реализован алгоритм Дейкстры.

ОЗУ предназначено для хранения результатов работы устройства, и по завершении работы может быть считано с помощью сигналов «Чтение ОЗУ» и «Адрес ОЗУ».

Для реализации СП использованы программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) семейства *VirtexII Pro*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ. 2-е изд. М. : Вильямс, 2006. 1296 с.
- 2. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах. М. : Мир, $1981.-324~\mathrm{c}.$
- 3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. М. : Мир, 1978.-432 с.
- 4. Зябиров Э.В., Токарев С.П., Федосеева Л.И. Методы определения крат-чайшего пути между вершинами графа / Э.В. Зябиров, С.П. Токарев, Л.И. Федосеева // Успехи современного естествознания. Пенза, 2011. № 7. С. 113—114.

УДК 621.317.18 ББК 32

ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОДНОКРАТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ НА ППВМ

© **В.А. Чулков**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **С.А. Нестеренко**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

THE BASED ON FPGA DIGITAL CONVERTER OF ONE-HOP TIME INTERVALS

© V.A. Chulkov, Penza State Technological Univercity (Penza, Russia)

© S.A. Nesterenko, Penza State Technological Univercity (Penza, Russia)

Рассмотрены схемные принципы построения интерполирующего преобразователя время-код с субнаносекундным разрешением и простой в реализации проект преобразователя на основе программируемой пользователем вентильной матрицы (ППВМ) фирмы Xilinx. Благодаря непосредственному отсчету интервалов по шкале мультифазного кольцевого генератора ядро преобразователя обладает сокращенным «мертвым» временем и высоким разрешением, которое определяется временем задержки логического вентиля. Вариант устройства с применением матрицы Virtex 7 обладает разрешением 50 пс.

Ключевые слова: мультифазный кольцевой генератор, цифровая линия задержки, фазовая интерполяция, преобразование время-код.

The circuit building principles of the interpolating time-to-digital converter having sub-nanosecond resolution and simple realized project of converter based on Xilinx FPGA. Due to the direct interval counting using the scale of multiphase ring oscillator the converter kernel possesses reduced "dead" time and high resolution that is determined by delay time of logical gate. The 50 ps resolution is reached in device version using Virtex 7 matrix.

Key words: multiphase ring oscillator, digital delay line, phase interpolation, time-to-digital conversion.

В реализованных на программируемых пользователем вентильных матрицах (ППВМ) преобразователях время-код (ПВК) к настоящему времени достигнуто весьма высокое разрешение в несколько десятков пикосекунд [1–3]. Такое разрешение стало возможным благодаря использованию принципа фазовой интерполяции (ФИ), в соответствии с которым опорный период местного тактового генератора в ПВК разбивается на множество субквантов, продолжительность которого и определяет шаг дискретизации времени. Такое разбиение, составляющее суть ФИ, осуществляется разными техническими средствами, однако чаще всего для этой цели применяется цифровая линия задержки (ЦЛЗ), представляющая собой последовательную цепь буферных вентилей. Размер субкванта в ЦЛЗ равен времени задержки ее каскада, по существу – одного вентиля [4]. Наиболее высокого разрешения можно достичь, если строить ЦЛЗ на основе цепей переноса сумматоров (*Carry Chain*) – примитивов ППВМ [1].

Если замкнуть ЦЛЗ посредством инвертирующей обратной связи, то образуется мультифазный кольцевой генератор (МКГ), в котором естественным образом сопрягаются основная шкала (тактовый период) и субшкала отсчета времени [5]. Поскольку реализация на ППВМ не допус-

кает регулирования частоты МКГ с целью стабилизации его периода, то вместо стабилизации период МКГ можно непрерывно измерять и учитывать данные измерения в последующем расчете преобразуемого временного интервала [6]. Подобный подход существенно упрощает структурную реализацию ПВК, в то же время выполнение вычислительных операций по расчету значений интервалов на самом кристалле ППВМ существенно увеличивает «мертвое» время — время необходимой паузы между двумя циклами преобразования.

К числу основных проблем, требующих разрешения на этапе проектирования ПВК, относятся неравномерность субквантов, возникающая на границах конфигурируемых логических блоков, составляющих ЦЛЗ, а также возможные «пузыри» в термометрическом коде, отображающем на первом этапе момент фиксируемого события на субшкале МКГ. Так как времена предустановки и удержания разрядных триггеров в ЦЛЗ соизмеримы с задержками сигналов в ее каскадах и задержками межсоединений, то это приводит к дополнительным погрешностям преобразования. Для сокращения влияния данных факторов и искажающих факторов внешней среды, а также для исключения статистических промахов оправданы меры дополнительной обработки результатов преобразования и введение в процессы преобразования процедур калибровки.

В настоящей работе рассматриваются технические принципы построения ПВК с сокращенным «мертвым» временем, основное внимание сосредоточено на создании проекта ядра ПВК в САПР Xilinx Vivado 2013.2, пригодного к исполнению на кристаллах 7 серии ППВМ фирмы Xilinx. В отличие от известных устройств подобного типа [6], из размещаемого на кристалле ПВК с целью уменьшения «мертвого» времени исключён арифметический блок, вычисления значения интервала проводятся в управляющем компьютере после передачи из ПВК «сырых» данных, это обусловливает и иной порядок расчетных процедур.

Ядро ПВК (рис. 1) составляет МКГ на ЦЛЗ в виде кольца из 16 последовательно соединенных примитивов ППВМ типа LUT (Look-Up-Table), воспроизводящих таблицы истинности шести аргументов. Указанные примитивы сконфигурированы на функцию запрета, что позволяет приводить МКГ в исходное нуль-стартовое состояние сигналом «Сброс», при этом последний из примитивов замыкает кольцо МКГ посредством своего инверсного выхода для создания обеспечивающей режим генерирования инверсной обратной связи. Период T_o генерируемых МКГ импульсов типа «меандр» определяется очевидным выражением

$$T_O = 2N \cdot t_D, \tag{1}$$

где t_D — время задержки элемента LUT, N — количество таких элементов в кольце МКГ.

Подобно аналогу [6] в схеме имеется основной регистр (1) фиксации цифрового термометрического отсчета событий «Старт» и «Стоп» по субшкале МКГ, он составлен из внутренних разрядных триггеров примитивов в каждом каскаде ЦЛЗ. Кроме того, предусмотрены пара регистров (RG3 и RG4), в которые по спадам соответствующих импульсов «Старт»

и «Стоп» переписываются состояния основного регистра. Выходы этих регистров снабжены шифраторами (CD1 и CD2), преобразующими термометрические коды отсчетов в двоичные числа. Программирование шифраторов выполнено таким образом, что первый из них формирует отрицательное число в дополнительном коде, а второй — положительное. Счетчик импульсов CT2 с соответствующим регистром RG2 служит для подсчета и запоминания количества полных опорных периодов МКГ, укладывающихся на преобразуемом интервале, а счетчики CT1, CT3 с регистром RG5 осуществляют непрерывный контроль опорного периода МКГ. Полученные в результате работы устройства числа — данные о значении опорного периода и данные, полученные в результате преобразования интервала и фиксируемые дополнительным регистром RG6, передаются далее в управляющий компьютер для математической обработки.

Работа ПВК осуществляется в следующем порядке.

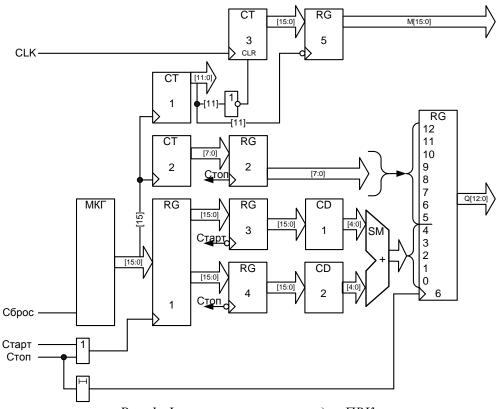


Рис. 1. Функциональная схема ядра ПВК

Сигналом «Сброс» МКГ приводится при необходимости в исходное состояние «нулевой» фазы. В рассматриваемом варианте схемы такая инициализация не является необходимой, она может оказаться полезной в вариантах структуры с запуском МКГ стартовым сигналом. По фронту сигнала «Старт» текущее состояние множества МКГ в виде термометрического кода записывается в регистр 1, а по его спаду переписывается из регистра 1 в регистр 3. Шифратор 1 преобразует термометрический код в двоичное число, отражающее позицию фронта сигнала «Старт» внутри

опорного периода, а именно число субквантов $t_{\scriptscriptstyle D}$, укладывающихся на интервале от фронта сигнала «Старт» до фронта следующего опорного импульса МКГ.

С этого же момента счетчик импульсов 2 начинает заполняться опорными импульсами МКГ. Процесс продолжается до поступления сигнала «Стоп», фронт которого фиксирует в регистре 1 термометрический код позиции этого сигнала внутри опорного периода, а спад обеспечивает перепись этого кода в регистр 4, после чего код преобразуется в двоичное число шифратором 2. В момент поступления сигнала «Стоп» достигнутое счетчиком 2 состояние записывается в регистр 2, сам счетчик при этом обнуляется. Сумматор *SM* образует сумму чисел, выдаваемых шифраторами.

Полученные числа регистра 2 и шифраторов 1 и 2 задержанным сигналом «Стоп» переписываются в запоминающее устройство – регистр 6, который может быть частью буферного накопителя данных на самом кристалле. При этом старшие разряды регистра 6 [12:5] отображают число полных опорных периодов на преобразуемом интервале, а младшие [4:0] – количество субквантов, добавляемых к полным периодам. Так как опорный период МКГ состоит из 2N субквантов – времен задержки его каскадов, то регистр 6 фиксирует цифровое значение преобразованного интервала T_x между сигналами «Старт» и «Стоп» в единицах субквантов t_D :

$$n_X = 2N \cdot RG_2 + \left(CD_2 + CD_1\right),\tag{2}$$

где N — число каскадов МКГ; RG_2 , CD_1 и CD_2 — числа соответствующих блоков.

Вычисление интервала по формуле (2) в управляющем компьютере предполагает известным значение субкванта t_D . В большинстве известных структур ПВК тем или иным образом стараются стабилизировать значение t_D . Однако в условиях ППВМ стабилизация невозможна, так как нет средств для аналоговой перестройки задержки логического вентиля. По этой причине в рассматриваемом устройстве вместо стабилизации периода МКГ производится непрерывное его измерение, для чего счетчики импульсов CT1, CT3 и регистр RG5 (рис. 1).

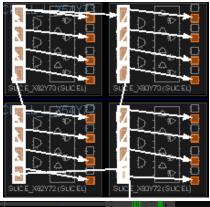
Измерение осуществляется в следующем порядке. Опорная частота МКГ с помощью счётчика 1 делится на 2^{11} = 2048, и полученный период заполняется тактовыми импульсами CLK самой ППВМ, следующими с частотой 250 МГц (период $T_{CLK}=4$ μc). После заполнения счетчика 1 регистр 5 фиксирует число M тактовых импульсов, равное $M=2^{11}\cdot T_O/T_{CLK}$, что позволяет далее вычислить значение субкванта МКГ по формуле

$$t_D = \frac{M}{2^{11} \cdot 2N} \cdot T_{CLK}. \tag{3}$$

Таким образом, значение преобразуемого интервала может быть рассчитано в управляющем компьютере следующим образом:

$$T_{X} = n_{X} t_{D} = \frac{2N \cdot RG_{2} + (CD_{2} + CD_{1})}{2^{11} \cdot 2N} \cdot T_{CLK}. \tag{4}$$

Проект ПВК реализован с использованием САПР Xilinx Vivado 2013.2 на кристалле xc7a200tfbg676-2 семейства Artix 7 с временем задержки типового вентиля 100 пс. С целью уменьшения неравномерностей задержек секций ЦЛЗ размещение элементов и функциональных блоков выполнено вручную, после чего в автоматическом режиме проведена трассировка межсоединений (рис. 2).



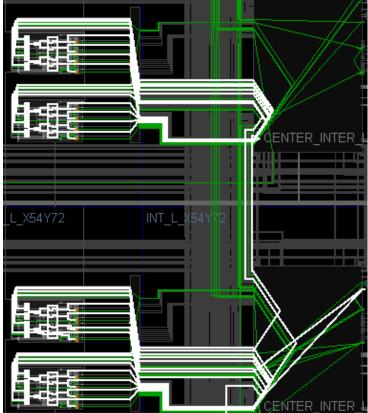


Рис. 2. Размещение МКГ на кристалле ППВМ: а) примитивы ППВМ (LUT и триггеры), б) занятые трассировочные ресурсы

Проект выполнен в виде RTL-описания ($Register\ Transfer\ Level\ -$ уровень регистровых передач) на языке Verilog. Архитектурно-зависимым элементом является модуль МКГ. Так как во всех семействах используются одни и те же блоки LUT на шесть входов, то проект без доработки можно перенести на кристалл другого семейства ППВМ фирмы Xilinx.

Проверка характеристик проекта ПВК осуществлялась путем моделирования с использованием программного средства *Xilinx Vivado* 2013.2, структура эксперимента представлена на рис. 3. Проводилось множество измерений одного и того же временного интервала 100 нс, сформированного на самом кристалле блоком *PLL*. Результаты преобразования интервала накапливались в виде текстового файла для последующей обработки.

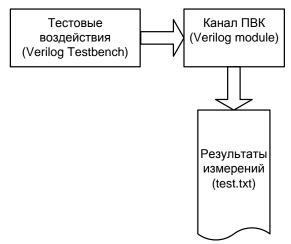


Рис. 3. Схема эксперимента

Результаты эксперимента в виде гистограммы распределения измеренных значений по 100 преобразованиям приведены на рис. 4. Математическая обработка результатов включала, в числе прочего, исключение статистических промахов по критерию трехсигмового интервала. Математическое ожидание скорректированной выборки составило 100,0319 нс, а среднеквадратическое отклонение 163 пс.

Описанная схема ПВК позволяет измерять временные интервалы с разрешением, определяемым временем задержки одного элемента LUT, ориентировочные значения разрешения t_D для различных семейств ППВМ фирмы Xilinx приведены в табл. 1. Очевидно, что вариант устройства на кристалле $Virtex\ 7$ обеспечит двукратное повышение точности.

Проект ПВК занимает на кристалле ППВМ кристалла единицы процентов от общих ресурсов (табл. 2), что предоставляет дополнительные возможности повышения точности преобразования ПВК. Известно, что многократные измерения одной и той же величины с последующим усреднением полученных значений позволяют улучшить разрешение в число раз, равное квадратному корню из количества измерений. Многократность измерений предполагает их временное или пространственное разнесение.

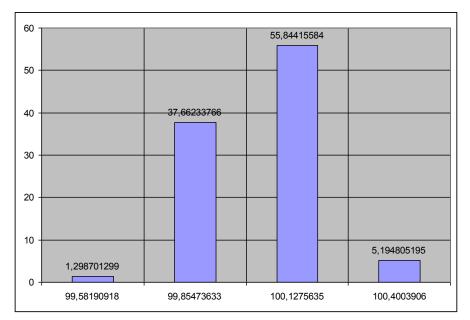


Рис. 4. Результат коррекции выборки

Таблица 1

ППВМ	$t_{\scriptscriptstyle D}$, пс
Spartan 6	210
Artix 7	100
Kintex 7	50
Virtex 7	50

Таблица 2

–			
Pecypc	Занято	Доступно	Использовано,
			%
FF	126	269200	1
LUT	149	134600	1
Memory	1	46200	1
LUT			
I/O	51	400	13
BUFG	3	32	9

В нашем случае, когда задачей ставится преобразование однократного интервала времени, речь идет о многоканальном преобразовании. Структура ПВК в этом случае включает L одинаковых ядер ПВК, подключенных к общему тактовому генератору ППВМ для измерения индивидуальных опорных периодов в каждом ядре (рис. 5). Результаты параллельных процессов преобразования передаются в память для последующих расчетов множества значений интервала и их усреднения. Разрешение по времени после усреднения составит

$$\Delta t = \frac{\sum_{i=1}^{L} M_i}{2^{11} \cdot 2N \cdot L\sqrt{L}} \cdot T_{CLK}.$$
 (5)

ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОДНОКРАТНЫХ...

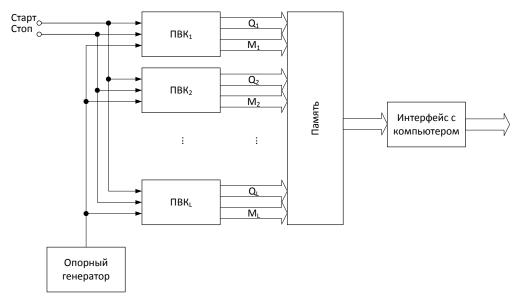


Рис. 5. Структурная схема многоканального ПВК

Таким образом, способ усреднения без какого-либо повышения требований к элементам ППВМ дает возможность улучшить разрешение ПВК: при числе каналов 4- в два раза, при 9- в три раза, увеличение числа каналов до 16 дает четырехкратное повышение точности. Так, на кристалле *Virtex* 7 при числе каналов 16 получится разрешение в 12,5 пс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. J. Wu and Z. Shi. The 10-ps Wave Union TDC: Improving FPGA TDC Resolution beyond Its Cell Delay. Nuclear Science Symposium Conference Record, 2008. NSS '08. IEEE, October 2008.
- 2. C. Favi and E. Charbon. A 17ps Time-to-Digital Converter Implemented in 65nm FPGA Technology. Proceedings of the ACM/SIGDA international symposium on Field programmable gate arrays, 2009.
- 3. Sébastien Bourdeauducq Independent researcher. A 26 ps RMS time-to-digital converter core for Spartan-6 FPGAs. FPGAworld 2012.
- 4. Чулков В.А. Интерполирующие устройства синхронизации и преобразователи информации. М.: Физматлит, 2010. 324 c.
- 5. Чулков В.А. Кольцевые генераторы импульсов на ПЛИС / В.А. Чулков, А.В. Медведев // Известия вузов. Приборостроение -2009. N 212. C. 50-53.
- 6. Чулков В.А. Интерполирующий преобразователь время-код на П.Л.И.С. / В А. Чулков, А.В. Медведев // Приборы и техника эксперимента. 2009. № 6. С. 31–35.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 004.652.4 ББК 32.97

РЕЛЯЦИОННОЕ ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ ДЛЯ ВНУТРИВУЗОВСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

- © **E.A. Артюшина**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **Е.Г. Бершадская**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

RELATIONAL DATA WAREHOUSE FOR THE SYSTEM OF PROVIDING HIGH QUALITY OF SPECIALISTS' TRAINING

- © Artyushina E.A., Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © Bershadskaya E.G., Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассматривается процесс построения реляционного хранилища данных на базе аналитической платформы Deductor с использованием технологии OLAP, входящего в состав системы поддержки принятия решения по результатам выборочного тестирования в ВУЗе.

Ключевые слова: хранилище данных, иерархия OLAP-измерений, аналитическая платформа Deductor.

The article describes the process of creation of relational data warehouse on the basis of the analytical platform Deductor with use of the OLAP-technology, a part of Decision Support System by results of selective testing in higher education institution is considered.

Key words: data warehouse, hierarchy of OLAP-dimensions, analytical platform Deductor.

E-mail: artel@pgta.ru, bereg@pgta.ru

В основе управленческих решений, принимаемых внутривузовской системой обеспечения качества подготовки специалистов, лежит статистическая информация о результатах выборочных интернет-аттестаций. Эффективность управления процессом тестирования во многом будет зависеть от эффективности применяемого метода хранения и обработки накопленных данных статистического наблюдения.

Для качественного и всестороннего анализа результатов выборочного тестирования в вузе предлагается создать систему поддержки принятия решения (СППР), основанную на использовании технологии *OLAP* (*Online Analytical Processing*) и включающую многомерную БД или хранилище данных.

Хранилище данных (*Data Warehouse*) – оптимально организованная БД, содержащая данные, агрегированные по многим измерениям, и обеспечивающая максимально быстрый доступ к информации, необходи-

мой для анализа и последующего принятия управленческих решений. Агрегаты (или суммарные показатели) хранятся в явном виде, чтобы ускорить выполнение аналитических запросов. Пополнение хранилища происходит периодически из внешних источников данных, например из статистических отчетов. В целом, содержимое хранилища предметно ориентировано и инвариантно во времени, данные должны быть интегрированы, а также обладать стабильностью и минимальной избыточностью [1].

Осями многомерной системы координат должны являться основные атрибуты анализируемого управленческого процесса. В качестве одного из измерений обязательна временная ось. В нашем случае измерения многомерного куба назначим на основании данных, опубликованных в [2]:

- тестируемые специальности вуза (ось оC),
- тестируемые блоки дисциплин (ось оD),
- периодичность интернет-аттестаций (временная ось оT).

На пересечениях осей-измерений должны находиться данные, количественно характеризующие процесс, — факты. В соответствии с расчетами, приведенными в [3], генеральная статистическая совокупность представлена следующим образом: на факультете вуза имеется 6 специальностей, общее количество студенческих групп очной формы обучения 56, по каждой специальности изучается в среднем 42 дисциплины федерального компонента (в том числе в цикле Γ CЭ — 8, EH — 7, $O\Pi$ Д — 14, CД и QC — 13 дисциплин). Для тестирования из генеральной совокупности ежегодно должны выбираться 3 специальности, 2 блока и 5 дисциплин. Межсерийная дисперсия выборки равна 1.2.

Тогда многомерная модель ХД будет выглядеть, как на рис. 1.

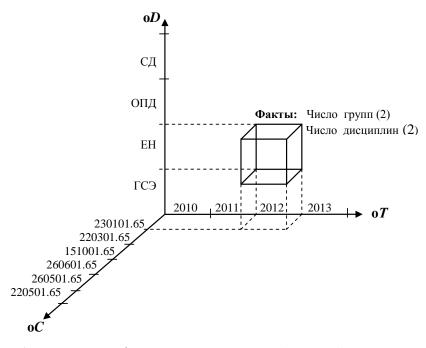


Рис. 1. Измерения и факты в многомерной модели ХД "Тестирование"

Центральную роль в *OLAP*-решении играют иерархии, что, собственно, и отличает его от обычной реляционной базы данных. Каждое OLAP-измерение строго структурировано на основе соответствующих иерархий, и метаданные определения куба также содержат иерархические уровни.

На основе положений, подробно рассмотренных в [2] и [3], для осуществления статистического контроля качества продукции выделены следующие однородные партии (или единицы статистического наблюдения): специальности, потоки, группы, циклы, дисциплины циклов. В связи с этим при проектировании структуры многомерного куба используются следующие уровни детализации:

- специальность группа,
- поток цикл дисциплина цикла,
- год учебный семестр.

Пример иерархии измерений изображен на рис. 2.

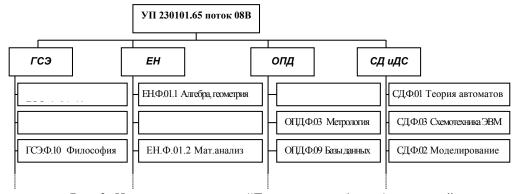


Рис. 2. Иерархия измерения "Тестируемые блоки дисциплин"

Исходные данные берутся из нижних уровней иерархий, а затем суммируются для получения значений более высокого уровня. Для того чтобы ускорить процесс перехода на нужный уровень, все просуммированные значения (агрегаты) хранятся непосредственно в кубе.

Вместе с базовой концепцией *OLAP* существуют три типа инструментария:

- OLAP со многими измерениями (Multidimensional OLAP MOLAP),
 - реляционный OLAP (Relational OLAP ROLAP),
 - гибридный *OLAP* (*Hybrid OLAP HOLAP*).

Каждый тип хранения имеет определённые преимущества, хотя есть разногласия в их оценке у разных производителей [4]. В настоящее время большое распространение получили реляционные ХД, которые не требуют от клиентских станций столь значительных вычислительных мощностей, как инструменты *MOLAP*.

Для реализации *ROLAP*-решения могут использоваться встроенные в СУБД аналитические средства (например, компонент *Analysis Services*, входящий в комплект поставки *MS SQL Server*) либо аналитические платформы, изначально ориентированные на обработку многомерных данных

и предназначенные для создания готовых прикладных решений. К числу последних относится платформа *Deductor* от российского разработчика *BaseGroup Labs* [5].

К основным этапам создания ХД *Deductor Warehouse* относят: проектирование его многомерной структуры, формирование *ROLAP*-схемы «снежинка» и разработку сценария загрузки внешних данных.

На логическом уровне полученная ранее многомерная модель ХД (рис. 1) воплощается в схему «снежинки», обеспечивающую максимально эффективную работу с иерархическими измерениями и представленную на рис. 3.

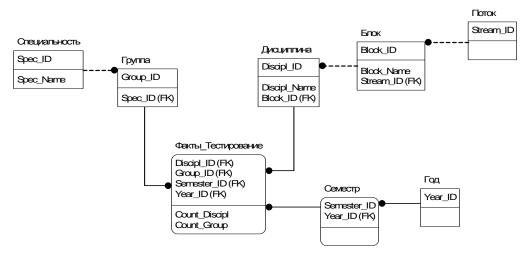


Рис. 3. Схема реляционного хранилища данных (нотация IDEF1X)

Для физической реализации разработанной *ROLAP*-схемы используется редактор метаданных программы *Deductor Studio Academic*. При этом для каждого узла метаданных – измерения или его атрибута – задаются идентификатор, метка и тип данных. Например, для измерения «Специальность» это будут *Spec_ID*, Шифр_специальности и строковый тип, соответственно. Затем нужно определить ссылки (или иерархию) измерений, а также установить их связь с центральной таблицей фактов. Результат разработки семантического слоя хранилища представлен ниже на рис. 4:

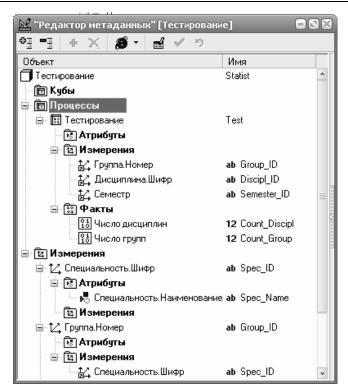


Рис. 4. Семантический слой ХД "Тестирование"

Следующим важным этапом является загрузка внешних данных в XД. Источниками данных в образовательной версии аналитической платформы *Deductor Academic* могут служить текстовые файлы (*.txt) и файлы СУБД *Firebird* (*.gdb). В нашем случае внешние данные хранятся в структурированном виде в нескольких текстовых файлах.

Сценарий загрузки (или же пополнения) данных имеет древовидную форму, его узлами является следующая последовательность операций [4]:

- 1) импорт данных из внешних источников;
- 2) экспорт данных в измерения с атрибутами, обязательно начиная с самого верхнего уровня иерархии, например с измерения «Специальность»;
 - 3) экспорт данных в процесс «Тестирование».

Фрагмент полученного сценария загрузки, хранящегося в файле проекта *Load.ded*, изображен на рис. 5.

РЕЛЯЦИОННОЕ ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ...

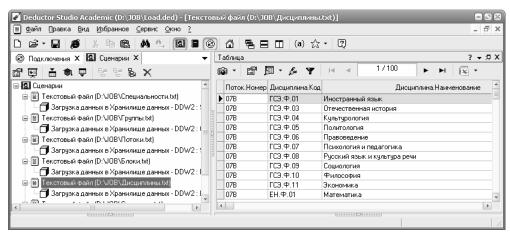


Рис. 5. Панель сценариев для XД «Тестирование»

На заключительном этапе с помощью мастера визуализаций создается сценарий получения данных из ХД *Deductor Warehouse* и формируются *OLAP*-отчеты. Результаты визуализации представляются в виде трехмерных таблиц, в заголовках строк и столбцов которых содержатся аналитические признаки (срезы данных) с вложенной группировкой, а в ячейках таблиц — суммарные показатели отчета.

Выводы

Спроектирована многомерная модель представления данных для СППР, обеспечивающей выработку планов внутривузовского тестирования в целях повышения качества подготовки специалистов.

Полученная метаструктура реализована на базе аналитической платформы *Deductor Academic*. Разработаны сценарии загрузки накопленных статистических данных в реляционное ХД "Тестирование".

Достигнутые результаты являются основой для последующего анализа и визуализации данных из хранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. OLAP и бизнес-аналитика. 2001–2013. URL: http://www.olap.ru.
- 2. Артюшина Е.А., Бершадская Е.Г., Бершадский А.М. Использование статистических методов при планировании внутривузовского тестирования // Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе: Сборник трудов XXXIV международной конференции. Приложение к журналу «Открытое образование», 2008. С. 26—28.
- 3. Артюшина Е.А., Бершадская Е.Г. Методологические аспекты применения математической статистики для прогнозирования результатов интернетаттестаций студентов // Открытое образование : Научно-практический журнал. М. : МЭСИ, 2010. № 6 (83). С. 4–8.
- 4. Паклин Н.Б., Орешков В.И. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям: Учебное пособие. 2-е изд., испр. СПб.: Питер, 2013. 704 с.
- 5. BaseGroup Labs. Технологии анализа данных. 1995—2013. URL: http://www.basegroup.ru.

УДК 004.94 ББК 34

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФУНКЦИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

© **Р.А. Бикташев**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.И. Мартышкин**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

THE PROGRAM COMPLEX FOR MEASURING THE OPERATING SYSTEM FUNCTION PERFORMANCE

© R.A. Biktashev, Penza State University (Penza, Russia)

© A.I. Martyshkin, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В данной статье приводится описание разработанного программного комплекса с графическим интерфейсом для измерения производительности функций операционных систем. Целью работы является разработка программного комплекса, предназначенного для анализа времени выполнения программных функций однопроцессорных и многопроцессорных ОС. Комплекс выполняет анализ ряда функций операционных систем: мьютексов, семафоров, блокировок чтения-записи, каналов FIFO и PIPE, сокетов TCP и UDP, переключения контекста, системных вызовов (чтение, запись, открытие, закрытие). В отличие от аналогов, данный комплекс представлен удобным графическим интерфейсом пользователя, за реализацию которого отвечают библиотеки Qt и Qwt, которые имеют богатый набор виджетов — программ, облегчающих доступ к информации, с помощью которых можно создавать сложный графический интерфейс.

Ключевые слова: Linux, измерение производительности, функции операционных систем, библиотеки QT и QWT, язык C++.

This article provides a description of the developed software with a graphical interface for measuring the operating system function performance. Its aim is to develop a software package for the analysis of the software feature run-time of uniprocessor and multiprocessor operating systems. The complex analyzes several features of the operating systems: mutexes, semaphores, read-write locks, canals and *FIFO PIPE*, a *TCP* socket or *UDP*, context switching, system calls (read, write, open, close). Unlike the analogies, this complex is presented by a friendly graphical user interface, which is implemented by *Qt* and *Qwt* having a rich set of widgets – the programs which facilitate the access to the information, with the help of which you can create a sophisticated graphical user interface.

Key words: Linux, performance measuring, features, operating systems, QT and QWT libraries, C++ language.

E-mail: Rabiktashev@mail.ru; Alexey314@yandex.ru

Ввеление

Была поставлена цель – разработать программный комплекс (ПК), предназначенный для анализа времени выполнения программных функций однопроцессорных и многопроцессорных ОС.

Измерение производительности различных функций ОС необходимо не только разработчикам ОС для оценки эффективности реализации той или иной функции и сравнения производительности реализации в других ОС, но и прикладным программистам, которым измерение производительности функций ОС необходимо для выбора наиболее подходящих средств

реализации своих проектов (особенно это касается проектов больших программных систем). Реализации одних и тех же функций ОС могут значительно отличаться в разных ОС как по производительности, так и по способам работы с ними. По этой причине разработчик может подбирать наиболее предпочтительные средства для разработки на конкретной ОС или же наоборот — выбрать ОС, в которой реализация данных функций наиболее оптимально соответствует требованиям проектируемого ПО.

Постановка задачи

ПК должен выполнять тестирование функций ОС, таких как:

- средства синхронизации процессов (потоков): взаимные исключения (мьютексы), семафоры, блокировки чтения-записи;
- средства межпроцессного обмена: именованные каналы *FIFO*, неименованные каналы *PIPE*, сокеты *TCP* и *UDP*;
 - переключение контекста;
 - системные вызовы (чтение, запись, открытие, закрытие).

В настоящее время получил широкое распространение ПК *Lmbench*, позволяющий проводить тестирование nix-совместимых систем, имея в своём составе широкий спектр тестов для разных подсистем ОС [2, 3]. В состав Lmbench входят тесты для определения следующих характеристик:

- а) средств межпроцессного обмена,
- б) средств синхронизации процессов (потоков),
- в) системных вызовов,
- г) переключения контекста.

Данный пакет позволяет получить довольно целостное представление о проверяемой ОС, выявить сильные и слабые стороны реализации конкретных функций. Но, с другой стороны, пакет *Lmbench* не имеет графического интерфейса и каждый вид тестирования представлен отдельной программой, которая должна быть запущена из командной строки с передачей некоторых аргументов.

Из вышесказанного ясно, что пакет *LMbench* имеет ряд недостатков, которые делают работу с ним неудобной, требующей многократного повторения однотипных действий и выполнения дополнительных вычислений для получения результатов. Многократный вызов программы тестирования также делает процедуру тестирования при помощи *Lmbench* громоздкой, требующей больших затрат времени.

Таким образом, разработанный ПК для тестирования функций операционных систем делает работу тестирования более удобной, более продуктивной и доступной, чем ПК *LMbench*.

Для разработки ПК обозначены задачи, которые предполагается решать с его помощью: 1) выбор тестируемых функций; 2) сбор результатов тестирования; 3) обработка полученных результатов; 4) отображение полученной статистики в виде графиков; 5) отображение результатов в отдельном окне; 6) настройку цветов для отображения данных; 7) сглаживание графиков. Анализируя поставленные задачи, делаем вывод о входных и выходных данных разрабатываемого ПК. Входные данные: а) название тестируемой функции; б) цветовая палитра для отображения ре-

зультатов. Выходные данные: а) графики полученных результатов; б) отображение результатов, не требующих представления в виде графиков.

На рис. 1 представлен алгоритм работы ПК.

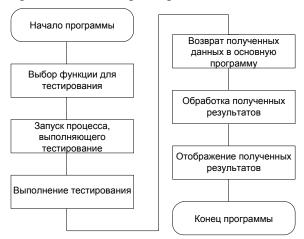


Рис. 1. Алгоритм работы разрабатываемого ПК

Задачами исследования являются:

- определение состава U-функций (программной функции ядра операционной системы, связанной с каким-либо системным вызовом), реализующих сетевой и транспортный уровни;
- измерение времени выполнения каждой U-функции в процессе передачи блоков данных;
- определение вероятностных характеристик вызова и обработки U-функций;
- определение зависимостей вероятностно-временных характеристик, определяющих производительность BC от параметров трафика и характеристик сетевых устройств.

Сетевые протоколы реализованы программно в ядре OC в виде набора U-функций.

Поскольку данные протоколы реализованы программно, то производительность сетевых и транспортных уровней сетевой модели *OSI* можно замерить с помощью программных средств. Для этого можно воспользоваться программными мониторами.

Мониторы трассирующего типа (трассировщики (tracer)) представляют собой программы, регистрирующие заданные параметры вычислительного процесса в определённых точках. Каждая такая точка соответствует определённому событию в работе ВС, и при её прохождении организуется переход на программы измерительного монитора, осуществляющие сбор, накопление и вывод измерительной информации.

Математическая модель работы с семафорами

Для координации использования одиночных или фиксированных множеств ресурсов несколькими вычислительными процессами используются семафоры. Проблема производительности семафоров заключается в том, что при взаимодействии процессов возникают требования дос-

тупа к общим ресурсам, которые приводят к столкновению транзакций, поскольку они вступают в конфликт друг с другом. Конфликты приводят к потерям производительности операционной системы. Наиболее характерно это проявляется в параллельных и мультипрограммных системах, когда взаимодействующие процессы реализуются в независимых процессорах, которые могут потребовать одновременно общий ресурс. Если ресурс требуется слишком большому числу процессов, то они ставятся в очередь. При этом запросы удовлетворяются по принципу: «первым пришел – первым обслужен» (FIFO) [1].

Пусть вычислительная система содержит один общий ресурс, доступный множеству процессов, выполняемых в n-процессорных узлах и защищаемый семафором S.

Аналитическая модель n-процессорной системы с одиночным общим ресурсом для оценки потерь производительности из-за конфликтов за доступ к семафору, при использовании концепции планирования типа FIFO, изображена на рис. 2,а. Модель представлена в виде разомкнутой стохастической сети массового обслуживания (CeMO), состоящей из n (S_1 , ..., S_n) систем массового обслуживания (CMO), моделирующих процессорные узлы, и одноканальной СМО (S_n +1), которая моделирует семафор. На вход n-процессорной системы поступает поток запросов на выполнение процессов с интенсивностью $\lambda_0 = 1/T$, где T – средняя длительность интервала между поступающими на вход запросами.

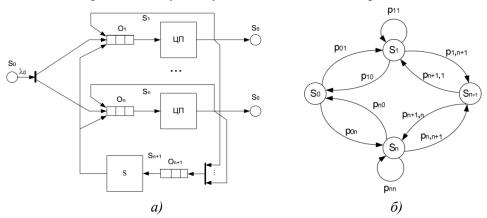


Рис. 2. Схема аналитической модели п-процессорной системы (a) и её граф передач (б)

Поток запросов распределяется предварительным планировщиком по процессорным узлам с вероятностями p_{01} , ..., p_{on} , представленным в виде графа вероятностей передач стохастической сети, изображенной на рис. 2,б. Предположим, что потоки запросов на выполнение процессов на входе многопроцессорной системы распределяются равновероятно по процессорным узлам, т.е. p_{01} =...= p_{on} = 1/n. Заявки, получившие обслуживание в семафоре, с равной вероятностью возвращаются на продолжение обслуживания в процессорные узлы, следовательно, $p_{n+1,1}$ =...= $p_{n+1,n}$ = 1/n.

Время ожидания заявки в сети оценивается выражением [2]:

$$T_{w} = \alpha_{1}t_{w1} + \alpha_{2}t_{w2} + ... + \alpha_{n}t_{wn} + \alpha_{n+1}t_{wn+1}, \tag{1}$$
 где $\alpha_{i} = \frac{\lambda_{i}}{\lambda_{0}}$ — коэффициент передачи сети $(i=1,\ ...,\ n+1);\ t_{wi}$ — время ожидания в i -й СМО. Интенсивность потоков заявок определяется системой уравнений

$$\lambda_i = \sum_{i=0}^n p_{ij} \lambda_j$$

где p_{ij} – вероятность передачи из СМО S_i в СМО S_j ; i,j=0,1,...,n+1.

Планирование на основе приоритетов дает выигрыш по времени ожидания в очереди к семафору почти в два раза, чем при использовании стратегии на основе *FIFO*. Полученные модели позволяют произвести количественные оценки времени ожидания процессов, обращающихся к общему ресурсу через посредство семафора. Модели могут быть использованы при проектировании параллельных операционных систем, где критичным является время выполнения процессов.

Архитектура программно-аппаратного комплекса

Работа с ПК осуществляется на ЭВМ под управлением ОС семейства Linux. Для обеспечения работоспособности программы требуется nix-совместимая ОС с установленными библиотеками Qt и Qwt. Проанализировав данные по достоинствам и недостаткам современных языков программирования, можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразно для решения поставленных задач использовать язык C++ по ряду следующих причин: поддержка парадигмы объектно-ориентированного программирования, высокое быстродействие конечных программ и др.

Структура данных разработанного ПК представлена на рис. 3. Схема алгоритма работы основной программы представлена на рис. 4.



Рис. 3. Структура данных разрабатываемого ПК



Рис. 4. Схема алгоритма работы основной программы

Разработка программы

В соответствии с технологией RAD выделим три этапа в разработке ПК:

- 1) разработка графического интерфейса для взаимодействия пользователя с программой;
- 2) разработка функциональных модулей, решающих задачи, оговоренные в задании на разработку;
- 3) привязка реализации функциональной части к графическому интерфейсу.

За основу будущего пользовательского интерфейса возьмем многооконный интерфейс. Для различных решаемых задач создаются отдельные окна, предоставляющие не перегруженный интерфейс, необходимый для их решения [4].

В разработанном программном комплексе применяется процедура сглаживания (фильтрации) графиков. Сглаживание — технология, используемая для устранения эффекта «зубчатости», возникающего на краях одновременно выводимого на экран множества отдельных друг от друга плоских или объёмных изображений. Почти все обычные графики предлагаются в двух видах — необработанном и сглаженном. График может быть построен прямолинейно от сообщения к сообщению, отчего он будет иметь угловатые очертания. Но если выбрано сглаживание, тогда график будет иметь более плавные очертания. Уровень и алгоритм сглаживания для всех графиков одинаковый. Сглаживание производится по нескольким расположенным подряд данным, причем их число обычно подбирается экспериментально [1, 2].

На рис. 5, 6 приведены графики результатов тестов (семафора и переключения контекста).

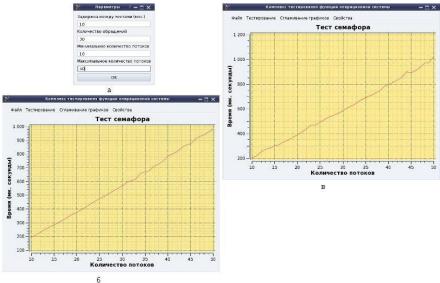


Рис. 5. Тест семафора: установка параметров (а), без сглаживания (б), с применением наиболее вероятного сглаживания (в)

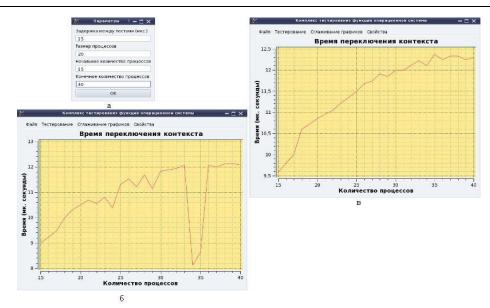


Рис. 6. Тест времени переключения контекста: установка параметров (a), без сглаживания (б), с применением наиболее вероятного сглаживания (в)

Разработанный ПК зарегистрирован в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013611118. Заявка № 2012660618. Дата поступления 5 декабря 2012 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 г.

Выводы

Был разработан ПК для тестирования функций ОС: мьютексов, семафоров, блокировок чтения-записи, каналов FIFO и PIPE, сокетов ТСР и UDP, переключения контекста, системных вызовов (чтение, запись, открытие, закрытие). ПК после выбора вида тестирования позволяет автоматически собирать необходимую статистику, производить её обработку и отображать результаты обработки в удобной для пользователя форме.

В отличие от аналогов, данный комплекс представлен удобным графическим интерфейсом пользователя, за реализацию которого отвечают библиотеки Qt и Qwt. Данные библиотеки имеют богатый набор виджетов – программ, облегчающих доступ к информации, с помощью которых можно создавать сложный графический интерфейс. Используемые библиотеки являются кроссплатформенными, что позволяет сделать более простой процедуру переноса приложений на разные ОС.

Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (соглашение № 14.В37.21.0597).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Таненбаум Э. Современные операционные системы. СПб. : Питер, $2004.-1040\ c.$
- 2. Стивенс У.Р. UNIX: взаимодействие процессов. СПб. : Питер, 2003. 576 с.
- 3. Стивенс У.Р. UNIX: разработка сетевых приложений. СПб. : Питер, $2007.-1039\ c$.
- 4. Родригес К.З., Фишер Г., Смолски С. Linux. Азбука ядра. М. : Кудиц-пресс. 2007. 584 с.

УДК 681.3.067 ББК 30

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ

© **H.В. Ковалерова**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

THE FORECASTING AND CONSTRUCTING PROGRAMMING MODELS ALGORITHM BASED ON THE THEORY OF SELF-ORGANIZATION

© N.V. Kovalerova, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Статья посвящена разработке алгоритма построения математических моделей прогнозирования на основе теории самоорганизации. Представленный в статье комплексный алгоритм реализует основные принципы и достоинства метода группового учета аргументов (МГУА), позволяет решать разнообразные задачи моделирования и прогнозирования в статистических исследованиях.

Ключевые слова: алгоритм, математическая модель, метод МГУА, критерий отбора, прогнозирование.

The article deals with the development of an algorithm for constructing mathematical programming models of forecasting based on the theory of self-organization. The complex algorithm presented in the article, implements the basic principles and advantages of Group Method of Data Handling (GMDH) to help solve various problems of modeling and forecasting in statistical studies.

Key words: algorithm, mathematical models, GMDH method, chose criteria, forecasting. **E-mail**: natalyakovalerova@mail.ru

В основу теории самоорганизации заложен принцип массовой селекции, а ее методы направлены на уменьшение исходной информации. В ряде случаев это играет решающую роль, поскольку иными методами бывает невозможно построить статистическую модель, если число фак-

торов превышает количество точек наблюдения. Так, метод группового учета аргументов (МГУА) решает задачу помехоустойчивого объективного выбора модели оптимальной сложности при помощи перебора вариантов по заданной иерархии внешних критериев, указанных исследователем [1]. Целью статьи является разработка алгоритма построения математических моделей прогнозирования на основе теории самоорганизации.

Под алгоритмом понимается совокупность действий, необходимых для решения задачи [2]. Алгоритм отличается от программы тем, что в нем содержится только описание действий, производимых над данными. Алгоритмы содержат определение пошагового процесса обработки данных с описанием преобразований данных и функций управления.

К основным свойствам алгоритма относят:

- детерминированность однозначность получаемых результатов при одних и тех же исходных данных;
- результативность обязательное получение искомого результата либо сигнала ошибки;
- массовость возможность получения искомого результата при различных исходных данных;
 - дискретность возможность разбиения на элементарные действия.
 Разработка алгоритмов определяется следующими правилами:
 - последовательность действий,
 - альтернативность действий,
 - использование повторений действий,
 - использование вспомогательных алгоритмов.

МГУА использует идеи самоорганизации и механизмы живой природы – скрещивание (гибридизацию) и селекцию (отбор). Он может быть представлен схематично (рис. 1).

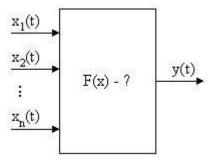


Рис. 1. Схема МГУА

Здесь по результатам наблюдений надо определить F(x), при этом структура модели F(x) неизвестна.

Для детальной реализации алгоритма МГУА целесообразно разбить его на ряд блоков: блок хранения данных, блок формирования задачи и блок решения задачи моделирования.

С помощью блока хранения данных, имея начальную выборку (сгенерированную или полученную из существующего файла), есть возможность разбивать данные на отдельные проекты, сохранять промежуточные расчеты для дальнейшего продолжения процесса моделирования,

сохранять результаты всех расчетов, а также использовать полученные модели на новых данных (рис. 2).

После того как начальная выборка получена, переходим к блоку формирования задачи (рис. 3). На этом этапе разделим выборку на две части – учебную и проверочную. Учебная выборка используется для оценивания параметров модели, а проверочная необходима для определения прогнозирующей способности модели.

В процессе генерации выборки исследователь может задавать такие параметры, как тип разбиения выборки, уровень шума, выбор класса модели.

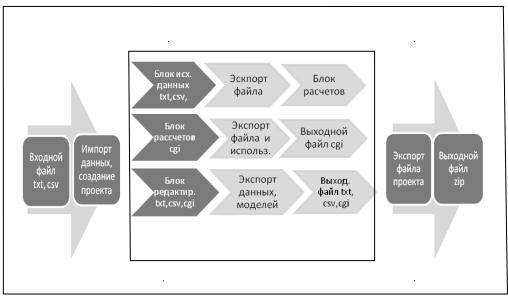


Рис. 2. Блок хранения данных



Рис. 3. Блок формирования задачи (Na – длина учебной части выборки данных; Nb – длина проверочной части выборки данных)

Далее, в блоке решения задачи, в зависимости от использования различных оптимизаций многорядного алгоритма МГУА, генерируются модели различной сложности, для каждой из которой вычисляется значение критерия, по которому они отбираются для следующего ряда селекции (рис. 4).

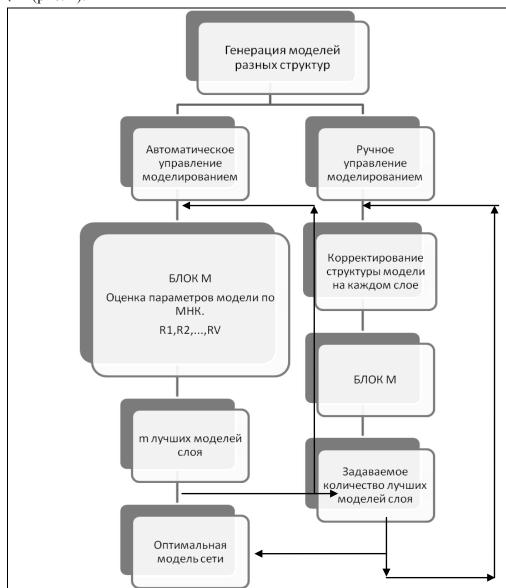


Рис. 4. Блок решения задачи моделирования; R1, R2, ..., RV — значения критерия регулярности для V лучших моделей

В рассматриваемом комплексном алгоритме предусмотрено автоматическое и ручное управление. Преимущество ручного управления в том, что в каждом ряду селекции можно изменять задаваемые параметры модели. После того как оптимальная модель будет найдена, можно проверить, как ведет себя модель на новых данных, выполнить имитационное моделирование и использовать построенные модели для принятия решений.

На рис. 5 представлена обобщенная структурная схема основной части программного комплекса, с помощью которого будут реализованы ранее указанные этапы многорядного алгоритма МГУА — от исследования выбранных факторов, влияющих на результат до использования готовых моделей на практике. Классический многорядный алгоритм МГУА требует значительно меньшего количества времени для нахождения оптимальной модели, нежели комбинаторный, реализующий полный перебор всех возможных структур моделей. Однако если в исследовании присутствует большое количество входных переменных (больше чем 20), для решения поставленной задачи выбирают комбинаторный алгоритм и его модификации.



Рис. 5. Построение прогнозной модели с использованием оптимизаций многорядного алгоритма МГУА

Разработанный комплексный алгоритм реализует основные принципы и достоинства МГУА [1, с. 10–11]:

- в процессе реализации МГУА находится оптимальная сложность структуры модели, адекватная уровню шумов в выборке данных;
- количество рядов селекции (и частных моделей), структура модели и другие оптимальные параметры находятся автоматически;
- метод гарантирует нахождение наиболее точной или несмещенной модели, так как не пропускает наилучшего решения во время перебора всех вариантов (в заданном классе функций);

- любые нелинейные функции или воздействия, которые могут иметь влияние на выходную переменную, используются как входные параметры;
- выявляются взаимосвязи в данных и выбираются наиболее эффективные входные переменные;
- метод использует информацию непосредственно из выборки данных и минимизирует влияние исследователя на результат моделирования;
- дает возможность отыскания несмещенной физической модели объекта (закона или кластеризации) одной и той же для всех будущих выборок.

Рассмотренный комплексный алгоритм МГУА позволяет:

- самостоятельно конструировать методы моделирования и прогнозирования по статистическим данным;
 - сравнивать полученные модели по заданным критериям;
 - разрабатывать методики и планировать статистические испытания;
 - решать задачи моделирования и прогнозирования;
- проводить имитационные эксперименты с моделями, построенными по разным методам моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. Киев: Техніка, 1985; Берлин: ФЕБ Ферлаг Техник, 1984. 223 с.
 - 2. http://ru.wikipedia.org/wiki

УДК 47.14.17 ББК 34

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ И ИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ

© **С.В. Абрамов**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© **В.П. Маланин**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© Г.Н. Косоротов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

SYNTHESIS OF MODELS OF ROTATIONAL AND CURRENT TRANSMITTERS AND THEIR MEASURING CIRCUITS

© S.V. Abramov, Penza State University (Penza, Russia) © V.P. Malanin, Penza State University (Penza, Russia)

© G.N. Kosorotov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Рассмотрены вопросы синтеза моделей вихретоковых датчиков по экспериментальным амплитудно-частотным характеристикам иммитанса датчика и вопросы синтеза измерительных цепей.

Ключевые слова: модель, информативные параметры, измерительная цепь, вихретоковый датчик, схема замещения.

The problems of the synthesis models of eddy current sensors on the experimental amplitude-frequency characteristics immitance probe and the synthesis of measuring circuits are considered.

Key words: model, informative parametr, measuring circuits, eddy current sensor, equivalent circuit.

Современными элементами систем автоматики, работающими в сложных условиях эксплуатации, являются вихретоковые датчики для бесконтактного измерения линейных перемещений. Основными недостатками вихретоковых датчиков являются низкая чувствительность, нелинейность функции преобразования и температурная погрешность, что сдерживает их применение, особенно в широком диапазоне рабочих температур.

Электрическая модель вихретоковых датчиков в большинстве случаев представляется в виде функциональных зависимостей активной и реактивной составляющих полного комплексного сопротивления катушки индуктивности датчика от входной измеряемой величины или в виде двухполюсной эквивалентной схемы замещения, представляющей собой параллельное или последовательное соединение активного сопротивления и индуктивности. Такое представление вихретокового датчика предопределяет последующую структуру синтезируемой электрической измерительной цепи датчика, позволяющую выделить сигналы зависимости обобщенных параметров электрической модели датчика как от воздействия измеряемой величины, так и от воздействия многих дестабилизирующих факторов, что снижает чувствительность и точность измерения.

С целью повышения чувствительности и точности измерения перемещений эквивалентную схему замещения датчика усложняют, выделяя в ней информативные параметры, зависящие только от входной измеряемой величины, например перемещения, и неинформативные параметры, зависящие только от дестабилизирующих факторов, и прежде всего от температуры [1].

В работе [2] рассматриваются вопросы представления электрической модели вихретоковых датчиков перемещений в виде годографа полного комплексного сопротивления датчика Z_{Π} на комплексной плоскости отношений $\frac{R_{\rm BH}}{\omega L_o}$ и $j\frac{\omega L_{\rm BH}}{\omega L_o}$. В плоскости построения годографа из полного сопротивления датчика Z_{Π} выделяются величина постоянной начальной индуктивности вихретокового датчика $L_0=$ const и зависящее от перемещения h, вносимое комплексное сопротивление $Z_{\rm BH}$ в виде вносимой отрицательной индуктивности $L_{\rm BH}$ и вносимого активного сопротивления $R_{\rm BH}$. Последние обусловлены влиянием на полное сопротивление датчика наводимых в электропроводящем объекте контроля вихревых токов. При этом действительная и мнимая составляющие отношений определяются через зависящий от перемещения h обобщенный параметр $\alpha = \frac{2h}{R}$, где h— величина перемещения, а R— радиус витков катушки датчика.

Эквивалентная двухполюсная схема замещения датчика, которая может быть синтезирована в соответствии с годографом, в этом случае может быть представлена в виде последовательного соединения собственной начальной индуктивности $L_0 = \mathrm{const}$ с последовательным (в соответствии с годографом) соединением вносимого комплексного сопротивления, состоящего из последовательного соединения вносимой отрицательной индуктивности L_{BH} и вносимого активного сопротивления R_{BH} , зависящих от измеряемого перемещения h. Присутствие в эквивалентной схеме замещения отрицательной индуктивности создаёт трудности при последующем построении измерительной цепи в режиме заданного тока с моделированием комплексных активных величин, характеризующих информативные параметры схемы замещения датчика.

Авторами предлагается методика построения модели двухполюсных вихретоковых датчиков в виде эквивалентной схемы замещения, синтезированной по экспериментально снятым амплитудно- и фазочастотным логарифмическим зависимостям комплексного иммитанса двухполюсника, представляемого как отношение выходной и входной активных комплексных величин в виде соответственно измеряемого тока и синусоидального напряжения, приложенного к двухполюснику в заданном диапазоне частот.

На рис. 1 приведены экспериментально снятые амплитудно- и фазо-частотные характеристики проводимости $Y(\omega)$ двухполюсной цепи

вихретокового датчика в логарифмическом масштабе для двух предельных значений перемещения h=0 и $h=\infty$.

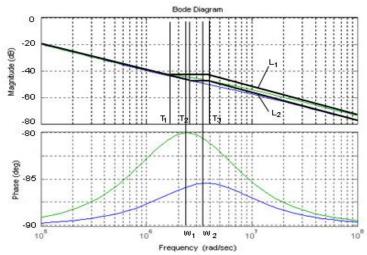


Рис. 1. Логарифмические амплитудно- и фазо-частотные характеристики вихретоковых датчиков для двух предельных значений перемещения L_1 для h=0 и L_2 для $h=\infty$

По снятым амплитудно-частотным и фазо-частотным характеристикам импеданса вихретокового датчика в зависимости от перемещения h методом аппроксимации реальных амплитудно- и фазо-частотных характеристик были построены по аналогии с используемыми для анализа и синтеза элементов систем в теории автоматического управления кусочно-линейные логарифмические амплитудно-частотные характеристики (ЛАЧХ) L_1 для h=0 и L_2 для $h=\infty$ в виде прямых с наклоном 0 $\partial E/$ дек , ± 20 $\partial E/$ дек и фазо-частотные характеристики. При этом наибольший интерес при построении ЛАЧХ представляет участок частотного диапазона, характеризующийся изменением фазового угла (аргумента комплексного сопротивления или комплексной проводимости) вследствие наибольшего именно на этом участке влияния на иммитанс двухполюсника датчика измеряемого перемещения h, что определяет и значение частоты напряжения питания датчика для получения максимальной чувствительности датчика.

Реальная АЧХ иммитанса двухполюсника с минимально-фазовыми характеристиками может быть аппроксимирована логарифмической кусочно-линейной функцией с наклонами 0 дБ/дек и 20 дБ/дек, на которой первая точка излома T_1 определяется двумя координатами и, следовательно, двумя параметрами эквивалентной схемы замещения датчика, а остальные точки излома характеризуются одной координатой, то есть одним параметром двухполюсника. По виду аппроксимированной логарифмической амплитудно-частотной характеристики иммитанса, например для L_1 , комплексную проводимость Y двухполюсной цепи вихретокового датчика можно представить в операторном виде:

$$Y(p) = \frac{T_1 p + 1}{K_0 p(T_3 p + 1)}.$$

Анализ этого выражения с позиции теории автоматического управления позволяет синтезировать эквивалентную схему замещения датчика и этому выражению соответствуют дуальные двухполюсные эквивалентные схемы замещения датчика, показанные на рис. 2.

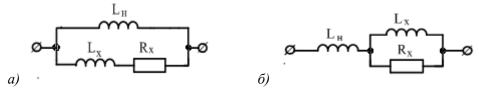


Рис. 2. Синтезированные по ЛАЧХ эквивалентные схемы замещения вихретоковых датчиков

Постоянные времени T_1 и T_3 для ЛАЧХ L_1 определяются параметрами соответствующей эквивалентной схемы замещения вихретокового датчика путем записи полной комплексной проводимости для соответствующей эквивалентной схемы замещения и последующего перехода к записи в операторном виде в соответствии с приведенным выше выражением, и для них соответственно имеет место:

для рис. 2а
$$K_o=L_H$$
, $T_1=\frac{L_H+L_x}{R_x}$, $T_3=\frac{L_x}{R_x}$; для рис. 26 $K_0=L_H+L_X$, $T_1=\frac{L_x}{R_x}$, $T_3=\frac{L_HL_x}{\left(L_H+L_x\right)R_x}$.

Необходимым условием реализации таких двухполюсников является выполнение неравенства $T_1 > T_3$, которое сохраняется, как видно из выражений для T_1 и T_3 , при любых соотношениях элементов $L_{\rm H}$, $L_{\rm X}$ и $R_{\rm X}$. Это позволяет однозначно определить T_1 и T_3 , а следовательно, решая уравнение для различных частот и параметры элементов $L_{\rm H}$, $L_{\rm X}$ и $R_{\rm X}$ для ЛАЧХ L_1 (h=0) и L_2 ($h=\infty$).

Полученные эквивалентные схемы вихретоковых датчиков используются при синтезе их измерительных цепей и вторичных преобразователей пассивных параметров схемы замещения в активные выходные величины.

Для повышения точности измерения, расширения диапазона измерения и уменьшения температурных погрешностей в измерительной технике, в том числе и для электромагнитных преобразователей, широко применяется дифференциальный метод построения измерительных цепей с использованием двух идентичных катушек датчика. Дифференциальная схема включения катушек индуктивности представлена на рис. 3.

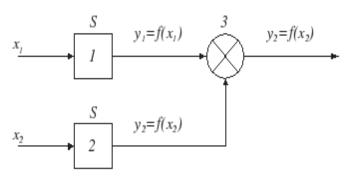


Рис. 3. Дифференциальная схема включения катушек индуктивности вихретокового датчика

На рис. 1, 2 — катушки индуктивности (делаются одинаково и находятся в одинаковых рабочих условиях эксплуатации); 3 — дифференциальный, вычитающий преобразователь, выходная величина которого представляет нечетную функцию двух входных: $y = F(y_1 - y_2)$.

В частном случае (обычно) $y = y_1 - y_2$.

Пусть обе катушки индуктивности имеют функцию преобразования в виде $y_1 = Sx_1 + y_0$; $y_2 = Sx_2 + y_0$, тогда выходные величины $y = y_1 - y_2 \Rightarrow y = S(x_1 - x_2)$ — функция преобразования схемы. При этом компенсируется начальный неинформативный ток, протекающий через вторую катушку индуктивности и не зависящий от перемещения.

Графически компенсация начального тока представлена на рис. 4.

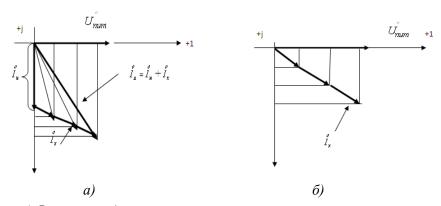


Рис. 4. Векторные диаграммы напряжений и токов вихретокового преобразователя: a) без компенсации; б) с компенсацией $\overset{o}{I}_{_{H}}$

При использовании квазидифференциального метода входная измеряемая величина, в данном случае измеряемое перемещение объекта контроля, воздействует только на одну, так называемую измерительную, катушку. На вторую дополнительную катушку воздействуют (как и на первую) только дестабилизирующие факторы, в данном случае температура, и вторая катушка в этом случае называется компенсационной, так как компенсирует влияние температуры на результат измерения переме-

щения объекта контроля. Точность компенсации влияния температуры на результат измерения перемещения определяется строгой идентичностью параметров катушек и строго идентичной зависимостью этих параметров от температуры во всем рабочем диапазоне.

Рассмотрим приведенную на рис. 5 измерительную цепь квазидифференциального вихретокового датчика, представленного моделью в виде синтезированной схемы замещения. Разделение схемы замещения измерительной катушки на параллельные цепи позволяет компенсировать неинформативную составляющую тока созданием противофазного идентичного тока, протекающего через компенсационную катушку, для чего датчик подключается выводами 1 и 2 к противофазным обмоткам трансформатора генератора синусоидального напряжения, а выводом 3 — к инвертирующему входу дифференциального операционного усилителя.

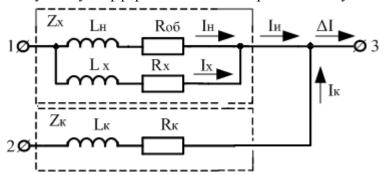


Рис. 5. Измерительная цепь включения квазидифференциального вихретокового преобразователя перемещений

Модель измерительной катушки вихретокового преобразователя перемещений с полным комплексным сопротивлением измерительной катушки $Z_{\rm x}$ в виде эквивалентной схемы замещения состоит из параллельного соединения последовательного соединения индуктивности $L_{\rm H}$, создающей магнитный поток при номинальном измеряемом перемещении $h_{\rm H}$, и не рассматриваемого вследствие малого значения при синтезе схемы замещения сопротивления обмотки измерительной катушки $R_{\rm of}$ — не зависящих от измеряемого перемещения h, и последовательного соединения вносимой индуктивности $L_{\rm x}$ и вносимого сопротивления $R_{\rm x}$ — зависящих от перемещения h.

Особенность такого представления схемы замещения заключается в том, что в ней выделены две параллельных цепи, токи которых выделяются для последующих преобразований в измерительной цепи. Одна цепь содержит информативные элементы L_x и R_x , зависящие от входной измеряемой величины и определяющие ток I_x этой цепи, который является функцией перемещения и, следовательно, информативным параметром. Вторая цепь содержит неинформативные элементы $L_{\rm H}$ и $R_{\rm of}$, по которым протекает ток намагничивания $I_{\rm H}$, зависящий только от дестабилизирующих факторов и, следовательно, может быть использован в измерительной цепи для формирования сигналов коррекции воздействия на параметры элементов схемы замещения дестабилизирующих факторов. За-

дачей последующего вторичного электронного преобразователя является преобразование только информативных параметров L_x и R_x представленной схемы замещения вихретокового датчика и устранение влияния на результат измерения перемещения не информативных параметров $L_{\rm H}$ и $R_{\rm of}$ путем выделения из общего тока измерительной катушки $I_{\rm u}$ двух токов: одного информативного I_x , протекающего по цепи с элементами L_x и R_{x} и затем измеряемого с помощью вторичного преобразователя, а второго не информативного $I_{\rm H}$, протекающего по цепи с элементами $L_{\rm H}$ и $R_{\rm of}$ и затем компенсируемого идентичным током I_{κ} , протекающим по компенсационной катушке Z_{κ} . При питании измерительной катушки от источника напряжения ток намагничивания $I_{\rm H}$, протекающий по ветви с элементами $L_{\rm H}$ и $R_{\rm of}$, при изменении перемещения h не изменяется, что обеспечивает постоянство магнитного потока, создающего вихревые токи в объекте контроля, во всем рабочем диапазоне перемещений. При дифференциальном включении катушек в измерительную цепь и питании катушек противофазным синусоидальным напряжением токи, протекающие по катушкам в измерительной цепи на инвертирующем входе операционного усилителя, вычитаются, и полученная разность токов преобразуется операционным усилителем в выходное напряжение, пропорциональное измеряемому перемещению h.

Таким образом, в синтезированной эквивалентной схеме замещения вихретокового датчика перемещений выделены информативные параметры схемы замещения в виде параллельной ветви. Это позволяет синтезировать измерительную цепь получения тока протекающего активных величин их характеризующих путем вычитания из общего тока измерительной катушки неинформативной составляющей, получаемой для получения выходного сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Кнеллер В.Ю., Боровских Л.П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников. M. : Энергоатомиздат, 1986. 144 c.
- 2. Соболев В.С., Шкарлет Ю.М. Накладные и экранные датчики. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1967. 144 с.

УДК 612.014.421.8 ББК 30

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ИМИТАТОРА ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

© **С.Ю. Костенков**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **M.A. Сидорова**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

FEATURES OF DEVELOPMENT SOFTWARE SIMULATOR OF ELECTROPHYSIOLOGICAL SIGNALS

© S.Y. Kostenkov, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© M.A. Sidorova, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассмотрена актуальность разработки инструмента определения работоспособности электрофизиологических приборов, аппаратов и комплексов. Авторами предложен программный имитатор электрофизиологических сигналов для определения работоспособности медицинских электрофизиологических приборов.

Ключевые слова: электрофизиологический сигнал, работоспособность, тестовая последовательность, имитатор электрофизиологических сигналов.

In this article the importance of developing a tool for identifying operability of electrophysiological devices, devices and systems. The authors offers a software simulator of electrophysiological signals to see if the medical electrophysiological devices.

Key words: The electrophysiological signal, the test sequence, the simulator electrophysiological signals.

E-mail: panthfinder@mail.ru

Измерения и различная контрольно-измерительная техника широко используются в современной медицине и биологии для решения самых разнообразных задач по исследованию организма. Важную информацию о функционировании как всего организма человека, так и его отдельных органов несут электрофизиологические сигналы (ЭФС), представляющие собой электрические сигналы, возникающие в результате мозговой, сердечной, мышечной деятельности или при измерении сопротивления биологических тканей электрическому току.

Наиболее сложными для анализа, но в то же время и наиболее информативными считаются сигналы сердца (электрокардиограмма — ЭКГ), центральной нервной системы и головного мозга (электроэнцефалограмма — ЭЭГ) [4]. С помощью электрокардиографического обследования можно обнаружить изменения, характерные для различных нарушений ритма, заболеваний сердца и их осложнений, оценить состояние пациентов после аортокоронарного шунтирования, коронароангиопластики, а также перенесших ранее инфаркт миокарда. Кривые ЭЭГ объективно отражают состояние нервных структур головного мозга. При заболеваниях появляются нетипичные, патологические ритмы или волны. Они могут регистрироваться во многих областях, но носят также ограниченный, очаговый характер.

Для целей регистрации электрофизиологических сигналов используются электрокардиографы, электроэнцефалографы, электронейромиографы и другие средства визуализации. Оценить работоспособность таких приборов несложно. Намного сложнее оценивать работу современных средств медицинской диагностики. Большинство из них предназначены для работы в комплексе с электронной вычислительной машиной, что позволяет проводить предварительную обработку и анализ регистрируемых ЭФС.

Согласно ГОСТ 27.002-89, под работоспособным состоянием прибора или системы понимается такое состояние объекта, при котором значения параметров и (или) показателей качества соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической документации. Диагностические приборы, такие как электрокардиоанализаторы и реоанализаторы оценивают ЭФС с помощью измерения их параметров (амплитуды, формы, длительности) и сравнения измеренных параметров с допустимыми значениями. Для проверки правильности работы таких приборов им на вход необходимо подать сигнал с заранее известными параметрами. Сигналы, заменяющие реальные математические модели, построенные по стандартным аналитическим выражениям. Такие модели используются при поверке и тестировании электрокардиомониторов.

Для проведения процессов поверки, испытаний и оценки работоспособности измерительных приборов, аппаратов и систем применяются специализированные источники сигналов. С целью поверки и оценки работоспособности приборов, аппаратов и систем медицинского назначения наиболее применимы: функциональные генераторы (например, ГФ-05, ГФ-07) [1]; генераторы сигналов специальной формы (например, Г6-39, Г6-40); специализированные имитаторы, использующие разнообразные модели тестовых последовательностей (МТП) ЭФС. Генераторы сигналов позволяют сформировать модель ритма ЭФС либо его формы. Для формирования сигнала, моделирующего и форму и ритм биосигнала, используются реальные ЭФС, записанные в ПЗУ. Однако этого недостаточно для моделирования всей вариабельности ЭФС. Форма сложных биологических сигналов может меняться в соответствии с характером того или иного заболевания, а также в зависимости от индивидуальных физиологических особенностей пациента. Чтобы охватить как можно больше возможных вариантов изменчивости ЭФС, авторы предлагают использовать модели тестовых последовательностей (МТП), основанные на стандартизованных математических функциях [2]. Воспроизведение МТП ЭФС, созданных по разработанной авторами методике формирования тестовых последовательностей БЭС, имеет несколько преимуществ:

- реализация не вызывает затруднений;
- МТП адекватно отражают описываемый реальный сигнал;
- возможность формирования МТП временных интервалов и формы импульсов отдельно;
- простота наложения и суммирования МТП для полного анализа периодичности временных интервалов и формы импульсов.

Такие тестовые последовательности помогают выявлять «узкие места» в работе приборов. Воспроизведение эффективных моделей позволяет выявлять наибольшее количество отказов и ошибок (ложных пропусков и ложных срабатываний) в работе медицинских приборов и аппаратов на всех этапах тестирования.

Однако в настоящее время не существует универсальных аппаратных, аппаратно-программных и программных имитаторов, позволяющих воспроизводить любые формы стандартизованных сигналов и реальные отрезки ЭФС, тогда как в этом есть существенная необходимость. Подобные приборы позволяют полностью автоматизировать процесс поверки, тестирования или оценки работоспособности медицинских приборов, аппаратов и систем.

С целью формирования и воспроизведения МТП ЭФС авторы предлагают программную реализацию имитатора. Широкая функциональность, низкая стоимость и простота использования подобных средств [3] позволяют применять такой имитатор для целей быстрой и детальной проверки на работоспособность.

Имитатор реализован в среде QtCreator в виде проекта qmake на языке программирования C++ с применением кроссплатформенной библиотеки Qt. Это позволяет экспортировать его под любую операционную систему.

Одним из преимуществ имитатора является его возможность воспроизводить записи реальных сигналов из базы данных по аритмиям Массачусетского технологического института (*MIT-BIH*) или базы данных Американской ассоциации сердца для оценки аритмии желудочков (*AHA*) для комплексного поэтапного тестирования медицинских приборов и систем. Фрагмент электрокардиосигнала из базы данных по аритмиям Массачусетского технологического института представлен на рис. 1.

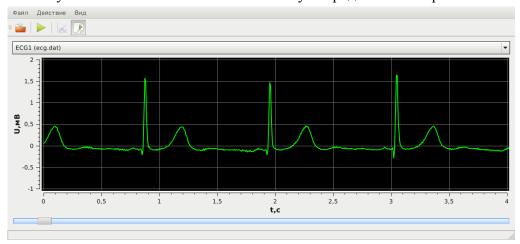


Рис. 1. Воспроизведение электрокардиосигнала из базы данных МІТ ВІН

Для генерации идеализированного электрокардиосигнала, представленного на рис. 2, применяется последовательное моделирование каждого зубца сложного PQRST-сигнала. Сначала генерируется P-зубец по математической модели синусного сигнала. Далее формируется сигнал QRS-

комплекса, состоящий из трех зубцов, каждый из которых моделируется треугольными импульсами. Последний *Т*-зубец моделируется синусным сигналом. Объединенные последовательно сгенерированные сигналы формируют единичный импульс электрокардиосигнала. Изменением параметров моделей каждого зубца можно добиться вариабельности формы.

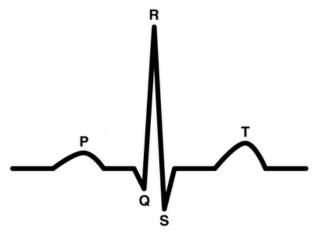


Рис. 2. Идеализированный электрокардиосигнал

Математическая модель идеализированного электрокардиосигнала представлена формулой

оормулой
$$\begin{cases} A_{p} \sin\left(\frac{\pi}{\tau_{p}}t\right); & -\frac{\tau_{p}}{2} \leq t \leq \frac{\tau_{p}}{2} \\ 0; & |t| > \frac{\tau_{p}}{2}; t < \tau_{pQ} \\ -A_{Q} \frac{t}{\tau_{Q}}; \tau_{pQ} \leq t \leq \tau_{\varphi Q} \\ A_{Q} \left(\frac{t-\tau_{\varphi Q}}{\tau_{cQ}}-1\right); & \tau_{\varphi Q} \leq t \leq \tau_{Q} \\ A_{R} \frac{t}{\tau_{R}}; \tau_{Q} \leq t \leq \tau_{\varphi R} \\ A_{R} \left(1-\frac{t-\tau_{\varphi R}}{\tau_{cR}}\right); & \tau_{\varphi R} \leq t \leq \tau_{R} \\ -A_{S} \frac{t}{\tau_{S}}; \tau_{R} \leq t \leq \tau_{\varphi S} \\ A_{S} \left(\frac{t-\tau_{\varphi S}}{\tau_{cS}}-1\right); & \tau_{\varphi S} \leq t \leq \tau_{S} \\ 0; & t < \tau_{ST} \\ A_{T} \sin\left(\frac{\pi}{\tau_{T}}t\right); & -\frac{\tau_{T}}{2} \leq t \leq \frac{\tau_{T}}{2} \\ 0; & |t| > \frac{\tau_{T}}{2} \end{cases} \end{cases}$$

где A_P – амплитуда P-зубца; τ_P – длительность P-зубца; τ_{QQ} – длительность Q-зубца; τ_{QQ} – длительность Q-зубца; τ_{QQ} – длительность фронта Q-зубца; τ_{QQ} – длительность среза Q-

зубца; \mathbf{A}_R — амплитуда R-зубца; $\mathbf{\tau}_R$ — длительность R-зубца; $\mathbf{\tau}_{\Phi R}$ — длительность фронта R-зубца; $\mathbf{\tau}_{cR}$ — длительность среза R-зубца; \mathbf{A}_S — амплитуда S-зубца; $\mathbf{\tau}_S$ — длительность S-зубца; $\mathbf{\tau}_{\Phi S}$ — длительность фронта S-зубца; $\mathbf{\tau}_{cS}$ — длительность среза S-зубца; $\mathbf{\tau}_{ST}$ — длительность ST-интервала; \mathbf{A}_T — амплитуда T-зубца; $\mathbf{\tau}_T$ — длительность T-зубца.

Для генерации прямоугольного сигнала используется математическая модель, представленная формулой

Х(t) =
$$\begin{cases} 0; t < 0 \\ A_{\pi}; 0 \le t \le \tau_{\pi} \\ 0; t > \tau_{\pi} \end{cases}$$
 (2)

где A_{π} – амплитуда импульса; T_{π} – длительность импульса.

Сигнал, воспроизведенный имитатором по формуле (2) с минимальной длительностью, представляет собой импульсный сигнал. Используя модели идеализированного электрокардиосигнала и импульсного сигнала, можно имитировать форму и ритм во множестве их проявлений.

Предлагаемый авторами статьи программный имитатор ЭФС использует стандартизованные математические модели для генерации тестовых последовательностей биосигналов, что позволяет применять его для тестирования и оценки работоспособности приборов регистрации и анализа электрофизиологических сигналов, а также для нужд учебного процесса медико-технических специальностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. ГОСТ Р 50.2.009-2001. Электрокардиографы, электрокардиоскопы и электрокардиоанализаторы. Методика поверки. М. : Изд-во стандартов, 2001.
- 2. Костенков С.Ю., Сидорова М.А. Особенности математических моделей электрофизиологических сигналов // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. -2013.-N 2.-C.19-25.
- 3. Сидорова М.А. Исторические аспекты развития компьютерных систем в электрофизиологии / М.А. Сидорова, С.Ю. Костенков // Известия $IO\Phi V$. Технические науки. -2012. -N 211. -C. 2106 -110.
- 4. Съем и обработка биоэлектрических сигналов : Учеб. пособие / К.В. Зайченко, О.О. Жаринов, А.Н. Кулин [и др.]. СПб., 2001. 140 с.

УДК 681.5.01:658.512.2.011.56 ББК 34

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В ШИРОКОМ ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ

- © В.Е. Курносов, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
- © **Т.В.** Андреева, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

THE PROGRAMMING COMPLEX FOR RESEARCHING PLATE CONSTRUCTIONS OF THE ELECTRONIC EQUIPMENT DYNAMICS IN THE WIDE FREQUENCY RANGE BASED ON DISCRETE AND CONTINUOUS MODEL

- © V.E. Kurnosov, Penza State Technological University (Penza, Russia)
- © T.V. Andreeva, Penza State Technological University (Penza, Russia)

Предложена модель и программный комплекс решения задач исследования динамических характеристик пластинчатых конструкций электронной аппаратуры. Приведены результаты решения задач вычисления собственных форм и частот, характеристик колебаний узлов на печатных платах.

Ключевые слова: формы колебаний, собственные частоты, обеспечение виброустойчивости, дискретно-непрерывное моделирование, пластинчатые конструкции, узлы на печатных платах.

The authors have presented the model and programming complex for solving problems on researching the dynamical characteristics of plate constructions of the electronic equipment. They have given the results of solving problems on calculating the own forms and frequencies, defining the characteristics of junctions' fluctuations in printed-circuit boards.

Key words: forms of fluctuations, own frequencies, ensuring vibrostability, discrete and continuous modeling, plate constructions, junctions in printed-circuit boards.

E-mail: kurve@pgta.ru, atv@pgta.ru

Информационное обеспечение проектирования изделий различного назначения в настоящее время составляет основу их конкурентоспособности. Для обеспечения надежности при механических воздействиях, характерных для подвижных объектов, необходимо исследовать динамические характеристики узлов электронной аппаратуры и приборов. Оценка динамических характеристик на этапе проектирования позволяет обеспечить устойчивость изделий при эксплуатационных воздействиях, принимать обоснованные проектные решения.

Программный комплекс исследования динамики пластинчатых конструкций (далее – комплекс) предназначен для анализа динамических характеристик конструкций с неоднородным распределением массы, преимущественно узлов на печатных платах электронной аппаратуры и приборов.

Целью разработки комплекса является получение научных и практических результатов, позволяющих расширить круг решаемых задач в области проектирования изделий, устойчивых к механическим воздействиям, создание учебно-научного комплекса исследования колебаний пластин.

Предложена математическая модель для определения реакции конструкции на заданные механические воздействия в широком частотном диапазоне с учетом установленного количества собственных форм колебаний. Имеется возможность исследования состояния конструкции в режиме свободных колебаний или вынужденных при заданном воздействии.

В программном комплексе реализовано непрерывное графическое отображение результатов решения, что позволяет существенно снизить вероятность получения ошибочных результатов, например вследствие неверных исходных данных.

Вычисляются функции прогиба, ускорения и механических напряжений при свободных и вынужденных колебаниях, обеспечивается возможность нахождения максимальных значений. Для проведения численных экспериментов имеется встроенный генератор гармонических воздействий с диапазоном частот 20...5000 Гц.

Для получения решения предварительно определяются собственные значения и функции, далее реализуется временной процесс по исследованию свободных колебаний или реакции конструкции на заданные внешние механические воздействия.

Способ построения математических моделей плоских конструкций основан на теории изгиба пластин [1]. Исходное уравнение имеет вид

$$D\left(\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4}\right) = q \tag{1}$$

или

$$D \cdot L(W) = q,$$

где q – распределенная силовая нагрузка (внешняя, по поверхности);

$$D = \frac{E\delta^3}{12 (1 - v^2)}$$
 – цилиндрическая жесткость пластины; δ – толщина

пластины; E, ν – модуль Юнга и коэффициент Пуассона, характеристи-

ки материала;
$$L(W) = \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4}$$
 — дифференциальный оператор.

Перемещение $W_0(t)$ закрепленных участков пластины обусловлено заданными воздействиями [2]. Силы инерции равны:

$$q = -\rho \delta \frac{\partial^2 W}{\partial t^2}.$$
 (2)

Для дискретно-непрерывной модели выражение для прогиба имеет вид

$$\widetilde{W}(x,y,t) = \sum_{i=1}^{\infty} W^{(i)}(x,y) \cdot a^{(i)}(t), \qquad (3)$$

где $W^{(i)}(x,y)$ – собственные формы; $a^{(i)}(t)$ – функции времени.

Функция $\tilde{W}(x,y,t) = W(x,y,t) - W_0(t)$ является характеристикой прогиба, функция W(x,y,t) задает смещение и необходима для определения сил инерции. С учетом (2), (3) и потерь на трение уравнение (1) приводится к виду

$$\sum_{i=1}^{\infty} a^{(i)}(t) \cdot L(W^{i}) + \beta \sum_{i=1}^{\infty} \dot{a}^{(i)}(t) \cdot L(W^{(i)}) = -\rho_{n} \frac{\delta}{D} \left[\sum_{i=1}^{\infty} \ddot{a}^{(i)}(t) \cdot L(W^{(i)}) + \ddot{W}_{0} \right]. \tag{4}$$

Здесь β — коэффициент вязкости материала пластины; ρ_n — приведенная плотность материала с учетом массы навесных элементов, функция координат; $\ddot{W_0}$ — задаваемое воздействие через области крепления.

Так как собственные формы ортогональны, получим систему несвязанных уравнений:

$$a^{(i)}(t) \int_{0}^{L_{x}} \int_{0}^{L_{y}} L_{h}(W^{(i)}) W^{(i)} dx dy + \dot{a}^{(i)}(t) \beta \int_{0}^{L_{x}} \int_{0}^{L_{y}} L_{h}(W^{(i)}) W^{(i)} dx dy + \frac{\delta}{D} \int_{0}^{L_{x}} \int_{0}^{L_{y}} P_{n} \ddot{W}_{0} W^{(i)} dx dy + \ddot{a}^{(i)}(t) \frac{\delta}{D} \int_{0}^{L_{x}} \int_{0}^{L_{y}} P_{n}(W^{(i)})^{2} dx dy = 0.$$
(5)

В уравнениях (5) дифференциальный оператор L(W) заменен разностным $L_h(W)$, L_X , L_Y – размеры пластины. Для нахождения функций времени $a^{(i)}(t)$, i=1,2,...,K, имеем K неоднородных дифференциальных уравнений (4) второго порядка, которые приводятся к виду

$$\ddot{a}^{(i)} + \beta \left(\omega_0^{(i)}\right)^2 \dot{a}^{(i)} + \left(\omega_0^{(i)}\right)^2 a^{(i)} = A^{(i)} \ddot{W}_0. \tag{6}$$

Здесь $\omega_0^{(i)}$ — собственные частоты, $A^{(i)}$ — масштабные коэффициенты. При отсутствии воздействий $(\ddot{W_0}(t)=0)$ колебания будут свободными. Для известных значений функции $a_0^{(i)}$ и ее производной $\dot{a}_0^{(i)}$ в момент времени t_0 могут быть определены постоянные C_1 , C_2 . Решения однородных уравнений, соответствующих уравнениям (6), имеют вид:

$$a^{(i)} = C_1 e^{\eta t} + C_2 e^{r_2 t} \text{ при } \beta \omega_0^{(i)} / 2 > 1;$$

$$r_{1,2} = -\frac{\beta \left(\omega_0^{(i)}\right)^2 \pm \omega_0^{(i)} \sqrt{\beta^2 \left(\omega_0^{(i)}\right)^2 - 4}}{2}$$
(7)

$$C_{1} = \left(a_{0}^{(i)} - \frac{\dot{a}_{0}^{(i)}e^{\eta t_{0}} - a_{0}^{(i)}}{r_{2}e^{\eta t_{0}} - 1}\right)e^{-\eta t_{0}};$$

$$C_{2} = e^{-r_{2}t_{0}} \frac{\dot{a}_{0}^{(i)}e^{\eta t_{0}} - a_{0}^{(i)}}{r_{2}e^{\eta t_{0}} - 1};$$

$$a^{(i)} = \left(C_{1} + C_{2}t\right)e^{\eta t} \operatorname{при} \beta \omega_{0}^{(i)} / 2 = 1;$$

$$r_{1} = -\frac{\beta\left(\omega_{0}^{(i)}\right)^{2}}{2};$$

$$C_{1} = \frac{a_{0}^{(i)}\left(1 + r_{1}t_{0}\right) - \dot{a}_{0}^{(i)}t_{0}}{e^{\eta t_{0}}};$$

$$C_{2} = \frac{\dot{a}_{0}^{(i)} - a_{0}^{(i)}r_{1}}{e^{\eta t_{0}}};$$

$$a^{(i)} = e^{\alpha x}\left(C_{1}\cos\gamma + C_{2}\sin\gamma t\right) \operatorname{при} \beta \omega_{0}^{(i)} / 2 > 1;$$

$$r_{1,2} = \alpha + \beta i, \quad \alpha = -\beta\left(\omega_{0}^{(i)}\right)^{2} / 2;$$

$$\gamma = \frac{2\omega_{0}^{(i)}\sqrt{\beta^{2}\left(\omega_{0}^{(i)}\right)^{2} - 4}}{2};$$

$$C_{1} = e^{-\alpha t_{0}} \frac{a_{0}^{(i)}\cos\gamma t_{0}}{\cos\gamma t_{0}} - C_{2} \frac{\sin\gamma t_{0}}{\cos\gamma t_{0}};$$

$$C_{2} = e^{-\alpha t_{0}} \frac{\dot{a}_{0}^{(i)}\cos\gamma t_{0} - a_{0}^{(i)}\left(\alpha\cos\gamma t_{0} - \gamma\sin\gamma t_{0}\right)}{\gamma\left(\sin^{2}\gamma t_{0} + \cos^{2}\gamma t_{0}\right)}.$$

$$(9)$$

Уравнения (7), (8), (9) позволяют исследовать свободные колебания конструкции. Воздействие произвольного вида $\ddot{W}_0(t)$ можно аппроксимировать ступенчатой функцией, задаваемой отсчетами $A_1 \dots A_N$, полученными через равные интервалы времени Δt . Для j-го интервала при $\ddot{W}_0(t) = \ddot{W}_{0j} =$ const решения неоднородного уравнения можно записать в виде:

$$\begin{cases} a^{(i)} = C_1 e^{\eta t} + C_2 e^{\eta t} + C_0, & \beta \omega_0^{(i)} / 2 > 1 \\ a^{(i)} = (C_1 + C_2 t) e^{\eta t} + C_0, & \beta \omega_0^{(i)} / 2 = 1 \\ a^{(i)} = e^{\alpha x} (C_1 \cos \gamma \ t + C_2 \sin \gamma t), & \beta \omega_0^{(i)} / 2 > 1 \end{cases}$$

$$C_0 = \frac{A^{(i)} \ddot{W}_{0j}}{(\omega_0^{(i)})^2}$$
(10)

Постоянные C_1 , C_2 также могут быть найдены, если в момент времени t_0 известны значения функции $a^{(i)}\left(t_0\right) = a_0^{(i)}$ и ее производной $\dot{a}^{(i)}\left(t_0\right) = \dot{a}_0^{(i)}$. Для получения решения (10) на каждом j-м интервале необходимо в качестве начальных условий задавать значения $a^{(i)}\left(t_{j-1}\right)$, $\dot{a}^{(i)}\left(t_{j-1}\right)$, полученные в конце предыдущего интервала.

На основе рассмотренной дискретно-непрерывной модели создан программный комплекс моделирования динамики узлов на печатных платах с широкими функциональными возможностями [3, 4]. Для формирования и решения системы уравнений используется метод конечных разностей.

Результаты определения собственных форм и частоты для пластины прямоугольной формы, закрепленной в центре, с однородным распределением массы показаны на рис. 1. Форма колебаний соответствует прогибу на 1-й, 6-й, 10-й и 13-й собственных частотах.

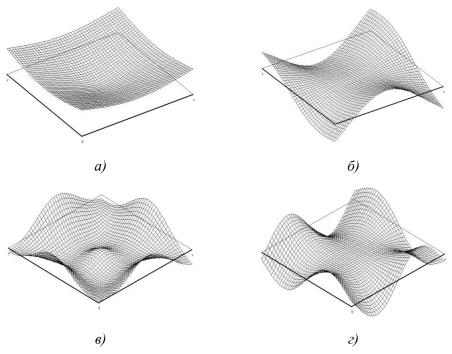


Рис. 1. Собственные формы колебаний закрепленной в центре прямоугольной пластины: а) первая, б) шестая, в) десятая, г) тринадцатая

На рис. 2 показана модель узла на печатной плате. Узел имеет одиннадцать точек крепления.

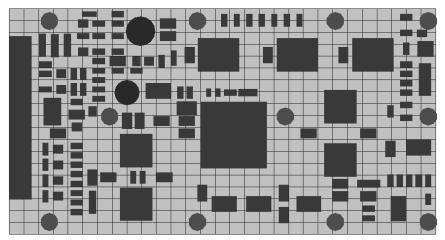


Рис. 2. Графическое представление модели узла на печатной плате в программном комплексе моделирования динамики пластинчатых конструкций

На рис. 3 показан прогиб платы с учетом первых семи форм колебаний в диапазоне частот от 100 до 2000 Γ ц.

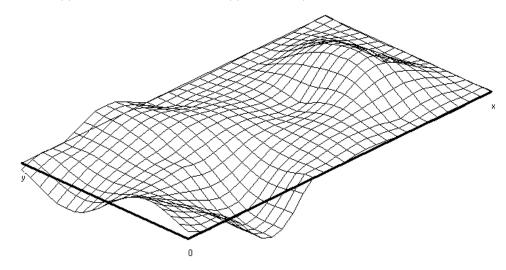


Рис. 3. Прогиб узла на печатной плате при ударном воздействии

Известны способы определения динамических характеристик при учете только первой собственной формы колебаний. Для электронной аппаратуры, устанавливаемой на подвижных объектах, характерны механические воздействия в широком частотном диапазоне. Возможны и часто реализуются варианты конструктивного исполнения изделий, когда резонансные частоты отличаются несущественно. Также, особенно при ударных воздействиях, возможно возбуждение колебаний в области высоких частот.

Следовательно, при моделировании динамики узлов на печатных платах электронной аппаратуры необходимо рассматривать колебания в широком частотном диапазоне. Это позволит выявить в конструкции локальные области механических напряжений и наиболее интенсивных виброперегрузок при эксплуатационных воздействиях.

Обоснованные конструктивные решения по повышению устойчивости изделий к механическим воздействиям могут быть приняты по результатам оценки динамических характеристик на этапе проектирования узлов электронной аппаратуры и приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бидерман В.Л. Механика тонкостенных конструкций. Статика. М. : Машиностроение, 1977. 488 с.
- 2. Курносов В.Е., Андреева Т.В. Информационное обеспечение проектирования узлов на печатных платах на основе дискретно-непрерывного моделирования // Обработка информации: методы и системы : Сборник научных статей. М. : Горячая линия Телеком, 2003. С. 130–137.
- 3. Говоренко Г.С., Курносов В.Е., Ушаков В.А., Парфенов К.Ю. Теоретические аспекты построения информационной технологии моделирования вибраций конструкций РЭА для оценки ее надежности // Надежность и качество 2002: Сб. докладов международного симпозиума. Пенза: Изд-во Пенз. гос. унта, 2002.
- 4. Говоренко Г.С., Курносов В.Е., Ушаков В.А., Парфенов К.Ю. Система моделирования динамики конструкций электронной аппаратуры // Надежность и качество 2002: Сб. докладов международного симпозиума. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002.

УДК 519.87 ББК 30

СТОХАСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

© **Т.А. Шорникова**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

© **А.В. Алёнина**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

STOCHASTIC APPROACH TO THE STUDY OF ECONOMIC EVENTS

© T.A. Shornikova, Penza State Technological University (Penza, Russia)

© A.V. Alenina, Penza State Technological University (Penza, Russia)

В статье рассматривается применение стохастического моделирования при исследовании экономических процессов. Решение задачи находится в асимптотическом виде в случае нескольких переходов из различных состояний. Переходные вероятности определяются по рекуррентной формуле и после соответствующих дифференциальных преобразований преобразуются в экономические характеристики. Основная особенность процесса — использование производящей функции.

Ключевые слова: стохастическое моделирование, вероятность перехода, производящая функция, матрица вероятностей перехода.

The paper considers the application of stochastic modeling in the study of economic processes. The solution is found in the asymptotic form in the case of several transitions from different states. The transition probabilities are determined by the recurrence formula and after the differential change is converted into economic performance. The main feature of the process – the use of the generating function.

Key words: stochastic modeling, the probability of transition, generating function, matrix of transition probabilities.

E-mail: shornikovat@mail.ru, RUS872007@yandex.ru.

Для описания и анализа некоторых явлений и процессов в различных областях науки всё большее применение находит моделирование. Явления и процессы при этом изображаются и анализируются таким образом, что их основные свойства описываются в виде различных уравнений или функций (математические модели), либо с помощью некоторых физических систем. По поведению модели можно судить о природе моделируемых процессов или явлений.

Характер явлений, с которыми встречаются при исследовании социальных и экономических процессов и управлении ими, требует применения стохастических моделей. Для этих явлений типичны случайные отклонения и взаимосвязь во времени. Применение стохастических моделей при исследовании экономических процессов заключается как в заимствовании моделей, оправдавших себя в других областях, так и в разработке специальных моделей, когда ставится цель оценить рассматриваемые явления и изучить особенности оценивающих функций в различных ситуациях. Покажем реальные возможности применения стохастических моделей при изучении экономических явлений, в которых сам характер

этих явлений требует стохастического подхода. Если удаётся моделировать ход некоторого процесса, то можно попытаться оценить каждый ход. Далее можно искать такие пути, где комбинация отдельных возможных переходов будет оптимальной с точки зрения оценивания.

Вероятности перехода p_{ii} из состояния i в состояние j можно приписать некоторую оценку r_{ii} . В экономических приложениях такая оценка (цена, единичные затраты) вполне естественна и помогает оценить различные ситуации в сопоставимых единицах (как правило, денежных).

Осуществим расчёт дохода не только для случая одного перехода между состояниями, но и для случая нескольких шагов.

Предположим, что $v_i(n)$ – ожидаемый общий доход после n шагов, если процесс начался с состояния i. Его можно определить по рекуррентной формуле

$$v_i(n) = \sum_{j=1}^{N} p_{ij}(r_{ij} + v_j(n-1)), i = 1, ..., N.$$
 (1)

Отсюда следует, что общий ожидаемый доход зависит не только от матрицы оценок (r_{ij}) , но и от общего ожидаемого дохода $v_{ij}(n-1)$ для числа шагов, меньшего на единицу.

Если
$$q_i = \sum_{j=1}^N p_{ij} r_{ij}$$
, то (1) можно записать как

$$v_{i}(n) = q_{i} + \sum_{j=1}^{N} p_{ij} v_{j}(n-1),$$
(2)

или в матричной форме

$$v(n) = q + Pv(n-1),$$
 (2)

где v(n) – вектор общего ожидаемого дохода после n шагов, q – вектор $\sum_{i} p_{ij} r_{ij}$, P – матрица вероятностей перехода.

При увеличении n имеет место постоянный прирост v(n). Эта особенность тесно связана с предельными свойствами процесса, описывать который выгоднее с помощью производящей функции (zпреобразования).

Для общего ожидаемого дохода можно написать производящую функцию (z -преобразование) в виде

$$f(z,v) = \sum_{n=0} v(n)z^{n}.$$
 (3)
$$v(n+1) = q + Pv(n), \quad \text{то можно написать}$$

Поскольку

$$\sum_{n=0}^{\infty} v(n+1)z^n = \sum_{n=0}^{\infty} qz^n + \sum_{n=0}^{\infty} Pv(n)z^n,$$
 (3')

получаем

$$\frac{1}{z}(f(z,v)-v(0)) = \frac{1}{1-z}q + Pf(z,v).$$

После преобразования имеем

$$(I - zP) f(z, v) = \frac{z}{1 - z} q + v(0).$$

Окончательно получаем

$$f(z,v) = \frac{z}{z-1} (I - zP)^{-1} q + (I - zP)^{-1} v(0).$$
 (4)

Если исходному процессу соответствует производящая функция $(I-zP)^{-1}$, то производящая функция дохода также определяется просто, а именно умножением на дополнительные характеристики q или v(0). При этом практически в большинстве случаев v(0)=0, исходный доход часто бывает по логике нулевым (прежде чем процесс начнётся, ни один переход не даёт никакого дохода).

От производящей функции f(z,v) перейдём опять к вектору общего ожидаемого дохода с помощью обратного преобразования. Определим асимптотические формулы для v(n).

Асимптотическое поведение вектора v(n) можно исследовать также на основе известного разложения вероятностей перехода более высокой ступени, например с помощью производящих функций для стационарной и транзитивной частей

$$(I - zP)^{-1} = \frac{1}{1 - z}S + F_z(T), \tag{5}$$

где $F_z(T)$ — производящая функция транзитивной части (перед умножением на соответствующий вектор).

Если подставить (5) в (4), получим

$$f(z,v) = \frac{z}{(1-z)^2} Sq + \frac{z}{1-z} F_z(T) q + \frac{z}{1-z} Sv(0) + F_z(T)v(0).$$
 (6)

В дальнейшем временно предполагается, что v(0) = 0.

Функция
$$\frac{z}{\left(1-z\right)^2}$$
 является производящей функцией $f(n)=n$,

$$\frac{z}{1-z}$$
 является функцией $f(n)=1$ и $Sv(0)$ – постоянная.

Окончательно можно установить, что $\frac{z}{1-z}F_z(T)$ включает постоянную часть $F_1(T)$ и члены, содержащие более высокие степени дробей, которыми можно пренебречь при большом n . Также и выражение

 $F_z(T)v(0)$ включает более высокие степени дробей, которыми можно пренебречь при большом n .

Теперь можно записать

$$v(n) = nSq + F_1(T)q + Sv(0),$$
 (7)

где в Sq входят величины, которые, будучи обозначенными через g , составят

$$g_i = \sum_{i=1}^{N} s_{ij} q_j \,. \tag{8}$$

Это средний доход на один шаг ($q_j = \sum_{i=0} p_{ij} v_{ij}$), взвешенный по

предельным вероятностям S_{ij} , показывающим вероятности отдельных состояний после достаточно длительного хода процесса. Если матрица вероятностей перехода регулярна (строки S идентичны и равны вектору π), то процесс имеет единственную предельную оценку (доход)

$$g = \sum_{i=1}^{n} \pi_i q_i .$$

Вектор-столбец $F_1(\tau)q + S\nu(0)$ не зависит от n и включает постоянные члены, зависящие только от i . В общем виде асимптотическое поведение элементов вектора ожидаемых доходов может быть представлено в виде

$$v(n) = ng + v \tag{9}$$

или

$$v_i(n) = ng_i + u_i, (9)$$

где в случае регулярной матрицы переходных вероятностей $g_i = g$. Следовательно, получаем систему N уравнений n+1 неизвестных.

Откажемся теперь от предположения неизменных оценок переходов. Изменение оценок будет учтено не в полной мере, а на основе умножения матрицы коэффициентов r_{ij} на некоторый коэффициент, который может выражать дисконтный фактор (коэффициент дисконтирования). Коэффициент $\beta < 1$ соответствует начальной величине дохода, который выплачивается в конце некоторого периода (интервала, для которого определятся, произошел или не произошел переход). Указанному коэффи-

циенту соответствует норма процента i , так что $\beta = \frac{1}{1+i}$. Этот коэффициент применяется при процентировании.

Коэффициент может отражать и другие соображения: если речь идет об эффективности живого труда, то она может быть увеличена в результате повышения эффективности общественного труда. Приведенный коэффициент может иметь и вероятностный смысл: $\beta < 1$ означает вероятность дальнейшего повторения процесса. Применение коэффициента

целесообразно там, где можно ожидать, что процесс окончится, но не известно точно, когда это произойдет.

Введем отмеченное обстоятельство в уравнение общего ожидаемого дохода изучаемого процесса. Уравнение для $v_i(n)$ будет иметь вид

$$v_{i}(n) = \sum_{j}^{N} p_{ij} [r_{ij} + \beta v_{j}(n-1)], \qquad (10)$$

или (для $q_i = \sum p_{ij} r_{ij}$)

$$v(n+1) = q + \beta P v(n). \tag{10}$$

Производящую функцию f(z,u) получим из соотношения

$$\frac{1}{z}[f(z,v) - v(0)] = \frac{1}{1-z}q + \beta Pf(z,v)$$

в виде

$$f(z,v) = \frac{1}{1-z} [I - \beta z P]^{-1} q + [I - \beta z P]^{-1} v(0).$$
 (11)

Здесь в большинстве случаев опять v(0)=0 (начальный доход равен нулю). Величины $v_i(n)$ при достаточно большом n будут постоянными, не зависящими от n . Выведем v(n) в общем виде. При этом будем исходить из того, что выражение $(I-zP)^{-1}$ можно разложить на стационарную (умноженную на $\frac{1}{1-z}$) и транзитивную $F_z(T)$ части, т.е. часть, соответствующую переходному процессу. Поэтому можно записать

$$(I - \beta z P)^{-1} = \frac{1}{1 - \beta z} S + F_{\beta z}(T). \tag{12}$$

Для f(z,v) будем иметь

$$f(z,v) = \frac{z}{1-z} \left[\frac{1}{1-\beta z} S + F_{\beta z}(T) \right] q + \left[\frac{1}{1-\beta z} S + F_{\beta z}(T) \right] v(0).$$
 (13)

Коэффициент при v(0) стремится к нулю, коэффициент при q можно представить в виде постоянной и стремящейся к нулю части. Разложением по методу неопределенных коэффициентов можно показать, что постоянная часть определяется величиной

$$\frac{1}{1-\beta}S+F_{\beta}.$$

Для больших n f(z,v) стремится к величине $\frac{1}{1-z} \left[\frac{1}{1-\beta} S + F_{\beta} \right] q$,

а v(n) – к величине $\left[\frac{1}{1-\beta}S+F_{\beta}\right]q$. Это выражение есть не что иное, как

$$v = (I - \beta P)^{-1} q. \tag{14}$$

Эту формулу можно получить, расписав выражение $v(n+1)=q+\beta Pv(0)$, в котором для n=0,1,2,..., получим

$$v(1) = q + \beta P v(0);$$

$$v(2) = q + \beta Pq + \beta^2 P^2 v(0);$$

• • •

$$v(n) = \left[\sum_{j=1}^{n-1} \beta^{j} P^{j}\right] q + \beta^{n} P^{n} v(0).$$

Так как $\beta < 1$, а выражение в квадратных скобках представляет собой эквивалентное разложение для обратной матрицы, то $\lim_{n\to\infty}v(n)=(I-\beta P)^{-1}q$.

Если v_i не зависят от n, то можно записать

$$v = q + \beta P v. \tag{15}$$

Отметим, что отдельные значения v_i в этом случае получаются решением (15), так как речь идет об N уравнениях с N неизвестными; в явном виде это записывается соотношением (14).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Жакод Ж., Ширяев А.И. Предельные теоремы для случайных процессов. $T.\ 1.-M.$: Физматлит, 1994.
- 2. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория. М. : Прогресс, 1975.
 - 3. Колемаев В.А. Математическая экономика. М.: ЮНИТИ, 1998.
- 4. Липцер Р.Ш., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов. M.: Наука, 1974.
- 5. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, математическая статистика и случайные процессы. М. : Наука, 1989.
- 6. Ширяев А.Н. Основы стохастической финансовой математики. Т. 1. Факты. Модели. М.: ФАЗИС, 1998.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВУЗОВСКОЙ НАУКЕ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

© **И.И.** Сальников, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет", почетный радист РФ, почетный работник высшего образования, академик РАЕ

E-mail: iis@pgta.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ КОСВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МГНОВЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

© **А.Б.** Андреев, к.т.н., доцент, профессор, проректор по учебной работе ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: andreev@pgta.ru

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СТЕГАНОСИСТЕМЫ

© С.Н. Борисова, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы "ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: snl_simona@mail.ru

ОБЗОР МЕТОДОВ СКЕЛЕТИЗАЦИИ РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНОГО ТЕКСТА

© Д.В. Бирюков, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ АЭРОФОТОСНИМКОВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

© **А.В. Бурмистров**, ассистент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: bidika@pgta.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СКРЫТЫХ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ЛИЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ЕГО ЛИЦА

© **И.Р.** Двойной, соискатель по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет" E-mail: IlyaDvoinoi@gmail.com,

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

© **В.А. Кочкин**, ЗАО "Космические информационные аналитические системы", г. Москва

E-mail: bak-1960@mail.ru

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРОЕКТИВНЫХ ИСКАЖЕНИЯХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **Н.А. Кочкин**, помощник генерального директора ОАО «Центральный научно-исследовательский институт "Циклон"», г. Москва E-mail: bak-1960@mail.ru

МЕТОДЫ ПОСТРОЧНОГО И СЛЕДЯЩЕГО ПОЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **И.И. Сальников,** д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет", почетный радист РФ, почетный работник высшего образования, академик РАЕ

E-mail: iis@pgta.ru

ТРИПЛЕТНЫЕ ПРИЗНАКИ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЕХМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

© **Н.Г. Федотов,** д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Экономическая кибернетика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет", академик РАЕН

E-mail: fedotov@pnzgu.ru

3D ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЕГО СВОЙСТВА

© **Н.Г. Федотов,** д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Экономическая кибернетика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет", академик РАЕН

E-mail: nikolayfedotov@mail.ru

© **А.А.** Сёмов, аспирант кафедры "Экономическая кибернетика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет", программист

E-mail: t_pmd3c@mail.ru

ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КАЧЕСТВА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ И ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ СТУДЕНТОВ

© **Т.В. Андреева**, старший преподаватель кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: atv@pgta.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОМ ВЫБОРЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

© Ю.А. Башвеев, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: ve4eq@yandex.ru

© **О.С. Литвинская**, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: los@pgta.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ АКТУАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

© **В.В. Пикулин**, к.т.н., доцент, профессор кафедры "Прикладная информатика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: pvv@pgta.ru

© Ю.Е. Усачёв, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Прикладная информатика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: uje1@pgta.ru

- © Д.В. Смирнов, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.10 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"
- © В.С. Юранов, инженер-программист кафедры "Прикладная информатика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ

© Ю.Е. Усачёв, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Прикладная информатика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: uje1@pgta.ru

НЕЙРОСЕТЕВАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА-ОРИЕНТИРА МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

© **А.М. Бабич**, инженер ОАО "НПП "Рубин", г. Пенза E-mail: fieryeye@yandex.ru

© **М.Ю. Бабич**, д.т.н., начальник отдела ОАО "НПП "Рубин", г. Пенза

E-mail: babichmj@mail.ru

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛЧМ-СИГНАЛА В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ

© **Е.А.** Данилов, соискатель по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: h3ker@narod.ru

© **И.И.** Сальников, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет", почетный радист РФ, почетный работник высшего образования, академик РАЕ

E-mail: iis@pgta.ru

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ

© **А.Е. Дудров**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: anti_sd@mail.ru

О ПРИМЕНЕНИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФОРМ В ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ГРАФИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

© Ю.Н. Косников, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Информационные вычислительные системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"

E-mail: kosnikov@gmail.com

© **Н.В. Александрова**, аспирант кафедры "Информационные вычислительные системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"

ЭФФЕКТИВНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМИ КУРСАМИ MOODLE ДЛЯ ЕЁ ИНТЕГРАЦИИ С СИСТЕМОЙ РЕЙТИНГОВОЙ ОЦЕНКИ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ПензГТУ

© С.В. Печерский, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: psv@pgta.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ДИСПЕРСИИ ОСТАТОЧНОГО КОМПОНЕНТА ВРЕМЕННОГО РЯДА

- © **О.В. Прокофьев,** к.т.н., доцент кафедры "Информационные технологии и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"
- © **А.Е.** Савочкин, специалист по защите информации ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: aebrat@mail.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ПАЦИЕНТОВ

© М.А. Сидорова, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: itmmbspgta@yandex.ru

© **П.К.** Строков, аспирант кафедры "Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: strokoff.pawel@yandex.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА АППАРАТНОЙ ПОДДЕРЖКИ ДИСПЕТЧЕРА ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА CPN TOOLS

- © **Н.П. Вашкевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры "Вычислительная техника" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
- © **Р.А. Бикташев**, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"
- © **Е.А. Кизилов** аспирант кафедры "Вычислительная техника" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ СО СТРАТЕГИЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАЗОМКНУТЫХ СЕТЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

© **А.И. Мартышкин**, соискатель по специальности 05.13.18 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: Alexey314@yandex.ru

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

© **А.А. Юрлов**, магистрант специальности 230100 «Информатика и вычислительная техника» ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: yrlov-alex@mail.ru

© **Л.И. Федосеева**, доцент, доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: fli58@yandex.ru

АППАРАТНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ГРАФОВЫХ ЗАДАЧ

© **Л.И.** Федосеева, доцент, доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: fli58@yandex.ru

© **А.А. Юрлов**, магистрант специальности 230100 "Информатика и вычислительная техника" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: yrlov-alex@mail.ru

ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ОДНОКРАТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ВРЕМЕНИ НА ППВМ

© **В.А. Чулков**, д.т.н., профессор кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: chu@pgta.ru

© С.А. Нестеренко, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: zdvv@bk.ru

РЕЛЯЦИОННОЕ ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ ДЛЯ ВНУТРИВУЗОВСКОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ

- © **Е.А. Артюшина**, ст. преподаватель кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"
- © **Е.Г. Бершадская,** к.т.н., доцент, профессор кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: bereg@pgta.ru

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФУНКЦИЙ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ

- © **Р.А. Бикташев**, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"
- © **А.И. Мартышкин**, соискатель по специальности 05.13.18 ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: Alexey314@yandex.ru

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ САМООРГАНИЗАЦИИ

© **Н.В. Ковалерова,** ассистент кафедры "Прикладная математика и исследование операций в экономике" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: natalyakovalerova@mail.ru

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ВИХРЕТОКОВЫХ ДАТЧИКОВ И ИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ

- © **С.В. Абрамов,** аспирант кафедры "Автоматизация и управление" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"
- © **В.П. Маланин**, к.т.н., доцент кафедры "Автоматика и телемеханика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
- © **Г.Н. Косоротов**, к.т.н., доцент кафедры "Автоматизация и управление" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: zvv@pgta.ru

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ИМИТАТОРА ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

© С.Ю. Костенков, аспирант кафедры "Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: panthfinder@mail.ru

© **М.А. Сидорова,** к.т.н., доцент, доцент кафедры "Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: itmmbspgta@yandex.ru

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ПЛАСТИНЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ В ШИРОКОМ ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНЕ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНО-НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ

© В.Е. Курносов, д.т.н., профессор кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: kurve@pgta.ru

© **Т.В. Андреева**, старший преподаватель кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: atv@pgta.ru

СТОХАСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

© Т.А. Шорникова, к.т.н., доцент, доцент кафедры "Прикладная математика и исследование операций в экономике" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный технологический университет"

E-mail: shornikovat@mail.ru

© **А.В. Алёнина**, студентка 5 курса специальности 080116 "Математические методы в экономике"

E-mail: RUS872007@yandex.ru

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего проблемы

Периодическое научное издание

Серия: Технические науки. Информационные технологии



Редактор Л.Ю. Горюнова Компьютерная верстка Н.Н. Зосимовой

Сдано в производство 16.10.13. Формат 70х108 ¹/₁₆ Бумага типогр. № 1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr. Усл. печ. л. 20,65. Уч.-изд. л. 16,85. Заказ № 2362. Тираж 118.

Пензенский государственный технологический университет 440039, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1ª/11