МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«ПЕНЗЕНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Научное периодическое издание

Серия: Технические науки.
Информационные технологии

05(09)/2012

Пенза
ПГТА
2012

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс» : Научное периодическое издание. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – 220 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.

ISSN 2221-951X

ISSN 2221-951X © Пензенская государственная технологическая академия, 2012

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

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.**

05(09)/2012

Penza
PSTA
2012

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus». Scientific periodical. – Penza: PSTA Publishing House, 2012. – 220 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).

ISSN 2221-951X

ISSN 2221-951X

© Penza State Technological Academy, 2012

Содержание

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

КРИТЕРИИ ОТНЕСЕНИЯ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ 11

© *И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ОБ ИЗМЕРЕНИИ МГНОВЕННОГО И СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН 16

© *А.Б. Андреев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

НЕЧЕТКАЯ МОДИФИКАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ 20

© *Е.А. Шамин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© *Т.В. Истомина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

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

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ МАСШТАБНО-РАКУРСНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ 27

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

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ 32

© *В.А. Кочкин, ФГУП “НПО Астрофизика” (г. Москва, Россия)*

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИЗ АЭРОФОТОСНИМКОВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ 40

© *А.В. Бурмистров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© *И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ВЫБОР СИСТЕМЫ ЦВЕТОВОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ЕГО ЦВЕТА 50

© И.Р. Двойной, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 54

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

© Д.А. Голдуева, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© Т.А. Богоносцева, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

© А.Г. Фахретдинов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 59

© В.С. Редькин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

© И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ 63

© И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

СТРУКТУРА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ОБЪЕКТИВНОМУ ВЫБОРУ СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ 69

© И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНАЛА 74

© О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

СТРУКТУРА ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ 80

© *Ю.А. Башвеев, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ 86
© *О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *И.Г. Турыгин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ 92
© *В.А. Егоров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *В.О. Дунин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *Т.В. Истомина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ВОПРОСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 97
© *М.Ю. Бабич, ОАО “НПП “Рубин” (г. Пенза, Россия)*

ВОЗМОЖНОСТИ ПАССИВНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА 102
© *В.А. Борисов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ 107
© *Е.А. Данилов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *И.И. Сальников, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ WI-FI В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕСТНОСТИ И ВИДА МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА 111

© *А.Е. Дудров, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *О.С. Литвинская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ДИФРАКЦИОННЫЕ И ДИФРАКЦИОННО-РЕФРАКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ФОКУСИРОВКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 114
© *Г.И. Грейсух, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*
© *Е.Г. Ежов, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*
© *С.В. Казин, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*
© *С.А. Степанов, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ БЕСПРОВОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 121
© *М.Н. Шмокин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *Е.В. Грачёва, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© *В.А. Сулов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ 129
© *В.С. Чайковский, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПЛИС 134
© *И.В. Ушенина, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ НА МОДЕЛЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ 139
© *А.И. Мартышкин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ПРИНЦИПЫ ФАЗОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В УСТРОЙСТВАХ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ 146

© В.А. Чулков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)
© С.А. Нестеренко, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)
© И.В. Димов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ВЕЛИЧИН 156
© В.П. Маланин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)
© Г.Н. Косоротов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЦЕН В ПЕРЦЕПТИВНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ 162
© А.В. Кадомцев, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)
© Ю.Н. Косников, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ B-СПЛАЙНОВ 169
© В.С. Власов, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ИТ-КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 176
© С.Г. Митрошин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)
© В.В. Пикулин, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ ВУЗА 181
© Т.В. Андреева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)
© В.А. Чулков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ В СИСТЕМЕ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ 188

© Е.Г. Бершадская, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

© Н.С. Соколов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА КОНСТРУКЦИЙ ПО ЗАДАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ 192

© Т.В. Андреева, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

© В.Е. Курносов, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ 198

© В.Г. Покровский, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ 205

© В.В. Бурков, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

© Е.А. Немкова, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

УДК 004.89
ББК 30

КРИТЕРИИ ОТНЕСЕНИЯ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ

© ***И.И. Сальников***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

CRITERIONS OF A REFERENCE OF DEVICES AND DATA REDUCTION SYSTEMS TO INTELLECTUAL

© ***I.I.Salnikov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Данная статья посвящена критериям отнесения устройств и информационных технических систем к интеллектуальным. Отмечается, что в настоящее время термин “интеллектуальный” используется зачастую неверно, описывая свойства и технические характеристики разрабатываемых устройств, которые связаны всего лишь с их улучшением.

Ключевые слова: интеллектуальные устройства, этапы интеллектуальной деятельности человека, системы искусственного интеллекта.

The paper considers the criteria which let define devices and IT systems as intellectual ones. It is stressed that the term "intellectual" is often misused now being applied for describing any properties and characteristics that have been improved.

Key words: intellectual devices, phases of intellectual activity of the man, system of an artificial intelligence.

E-mail: iis@pgta.ru

В последнее время получает все большее распространение термин “интеллектуальные системы, устройства”. При этом часто авторы тех или иных разработок неоправданно приписывают своим творениям некие интеллектуальные свойства. Необходимо определить критерии отнесения устройств и систем к интеллектуальным.

Из литературы известно, что **искусственный интеллект** (ИИ) – это наука о концепциях, позволяющих на основе современных вычислительных машин моделировать разумную деятельность человека [1]. При этом **интеллект человека** определяется как способность его к рациональному познанию окружающего мира, к мышлению, к усвоению, использованию знаний и принятию оптимальных решений. Интеллект человека – это сплав многих навыков в области обработки и представления информации человеком.

Системы искусственного интеллекта (СИИ) – это информационные технические системы, использующие современные достижения в области вычислительной техники и имитирующие отдельные виды мыслительной деятельности человека, к которым относят следующие:

– распознавание речи;

– анализ высказываний на основе использования логики предикатов;

– распознавание образов, отнесение изображений к тому или иному классу;

– игра в шахматы;

– сочинение машинной музыки;

– анализ и прогноз погоды;

– обучение и запоминание ситуаций, которые затем используются для рационального принятия решений;

– диагностика сложных систем, например ракетно-космических комплексов;

– имитация действия нейронов человека, использование нейросетей для распознавания образов.

Для чего человек разрабатывает СИИ?

Во-первых, исходя из своей естественной потребности к новым знаниям, к осмыслению окружающего мира.

Во-вторых, имитировать интеллектуальные способности человека для моделирования их в технических системах управления и анализа информации представляется весьма заманчивым для получения информационных технических систем с высокими характеристиками.

Начало исследований в области ИИ (конец 50-х годов 20-го века) связывают с работами А. Ньюэлла и Н.А. Саймона, исследовавших процессы решения различных задач человеком. Результатами их работ явились программы для доказательства теорем в исчислении высказываний на основе применения разнообразных **эвристических методов**. Эвристический метод решения задач как метод догадок, метод выдвижения гипотез с последующей проверкой их рассматривался как единственный свойственный человеческому мышлению метод. Он рассматривался в противовес используемому в ЭВМ **алгоритмическому методу**, который интерпретировался как осуществление заданной последовательности шагов, детерминировано приводящей к правильному ответу. Трактовка эвристических методов решения задач как сугубо человеческой деятельности и обусловила появление и дальнейшее распространение термина ИИ. Так, при описании своих программ А. Ньюэлл и Н.А. Саймон приводили в качестве доводов, подтверждающих, что их программы моделируют человеческое мышление, результаты сравнения записей доказательств теорем в виде программ с записями рассуждения думающего вслух человека.

В начале 70-х годов 20-го века (второй этап развития СИИ) сформировалось направление, в котором исследования относились к **формальным математическим представлениям**. Способы решения задач в этих исследованиях развивались на основе расширения математической и символической логики, логики предикатов. Функциональный подход к направленности исследований по ИИ в основном сохранился до настоящего времени.

Третий этап в развитии СИИ (80-е годы 20-го века) характеризуется выходом исследований на путь учета среды функционирования, постановкой таких проблем, как зрительное восприятие, построение сложных планов поведения в динамических средах, общение с машиной на естественном языке. То есть наблюдается смещение центра внимания исследователей с создания автономно функционирующих СИИ к созданию **человеко-машинных систем**, интегрирующих в единое целое интеллект человека и способности машины для достижения общей цели.

В связи с существенным расширением методов и средств анализа при обработке пространственно-временных сигналов появились возможности решения задач СИИ не только на универсальных ЭВМ, но и в специализированных сигнальных процессорах (СП). СП по информационной производительности не уступают универсальным ЭВМ, но имеют ограничения в сервисных приложениях, таких, например, как цветной дисплей, полнофункциональная клавиатура, ручные манипуляторы, накопители на жестком, гибком и оптическом дисках, и другие.

Малые массогабаритные размеры и небольшое энергопотребление, которыми обладают современные СП, позволяют размещать их непосредственно в устройствах, а широкий спектр функциональных возможностей открывает путь реализации сложных алгоритмов непосредственно в устройстве, например в телекамере.

В каком же случае устройство со сложным видом обработки входных данных можно считать интеллектуальным? Для ответа на этот вопрос предварительно отметим основные этапы мыслительной деятельности человека и выявим те условия, по которым эта деятельность считается интеллектуальной. Эти этапы следующие:

1) восприятие воздействия, с чего начинается любая деятельность человека. Для этого у человека имеется система органов чувств – своеобразных датчиков внешнего и внутреннего воздействия. Роль памяти на этом этапе незначительная, так как идет преобразование воздействия в информационный сигнал с того или иного органа чувств. Этот этап нельзя считать признаком интеллекта, так как восприятием воздействия обладают все животные, а также технические системы, которые работают в окружающем мире;

2) анализ воздействия. При наличии нескольких органов на данном этапе человеком анализируется, какой же орган чувств “сработал”, то есть селектируется воздействие. Включается в работу память, которая выдает для сравнения характерные признаки реакции того или иного органа чувств. Этот этап также нельзя считать признаком интеллекта, так как анализом воздействия обладают все животные, и технические системы тоже, которые на данном этапе выделяют адрес сработавшего датчика;

3) построение модели восприятия, когда отбрасываются все несущественные воздействия и анализируются существенные. Несущественные воздействия представляют собой шум, помехи, на фоне которых наблюдается информационный сигнал от “сработавшего” органа чувств. Роль памяти на данном этапе возрастает. Из памяти извлекаются модели с характе-

ристиками существовавших ранее восприятий и выбирается наиболее подходящая модель. Этот этап также не является признаком интеллекта, так как модели воздействий сохраняют в памяти все животные. В технических системах предпринимаются меры для предварительной обработки сигнала с датчиков с целью выделения наилучшим образом информативных параметров на фоне шумов и помех, то есть строится модель исходного сигнала;

4) принятие решения на воздействие. Этот этап как раз и определяет интеллект человека. Насколько верна и адекватна реакция человека на воздействие, насколько правильным является принятое решение, настолько велик уровень его интеллекта. Роль памяти на этом этапе очень велика. Память выдает предыдущие принятые ранее решения на похожие воздействия, что помогает человеку на данном этапе принимать решение. В памяти сохраняются обстоятельства текущего воздействия для последующего их использования;

5) реакция на воздействие в соответствии с принятым решением. На данном этапе включаются исполнительные органы, с помощью которых человек должен отреагировать на воздействие в соответствии с принятым решением. Если ситуация до конца не понятна, то возможно повторение всех этапов с условием анализа воздействия других органов чувств. На этом этапе также работает память – запоминается уже реакция на воздействие в соответствии с принятым решением. Этот этап не может служить признаком интеллекта, так как является исполнительным.

Исходя из представленной классификации этапов интеллектуальной деятельности человека, можно сформулировать **основные критерии** интеллектуальных свойств разрабатываемых устройств и систем:

– наличие принятия решения по входному воздействию;

– наличие априорной неопределенности параметров входного воздействия;

– наличие случайных шумов и помех, на фоне которых наблюдается входное воздействие;

– формирование нового алгоритма обработки, если результат получился неудовлетворительным;

– использование памяти предыдущих ситуаций и исходных условий, а также памяти принятых решений и их результатов.

Названные условия имеют значения **в совокупности**, а если выполняются раздельно, то нельзя говорить об интеллектуальных свойствах устройства или системы. Например:

– принятие решения. Это достаточно распространенная процедура, для которой используются детерминированные алгоритмы. Цифровой управляющий автомат работает по детерминированному алгоритму и принимает решение на основе анализа входного воздействия. Но для него все возможные воздействия должны быть предусмотрены, если появляется непредусмотренное воздействие, то возникает неопределенность и решение не принимается;

– наличие шумов и помех. Анализ сигналов на фоне шумов и помех – это существующее направление в обработке информации, которое представляет собой теорию принятия решений на основе проверки статистических

гипотез. При этом для разработки алгоритмов используется аппарат математической статистики. Устройства, использующие этот аппарат, нельзя назвать интеллектуальными, так как в них используется весьма абстрактный математический аппарат и в них стараются устранить влияние априорной неопределенности путем использования условия инвариантности;

– использование памяти предыдущих ситуаций, исходных условий и принятых решений. В широко распространенных устройствах и системах используется память, но это, как правило, память данных, которая получила название базы данных. Наличие базы данных никоим образом нельзя отождествлять с наличием интеллектуальных свойств у устройств и систем.

В настоящее время появилось такое понятие, как **база знаний**, которая представляет собой память преобразованных данных, функций преобразования и информацию о некоторой **протоструктуре** информационных единиц. База знаний предназначена для хранения долгосрочных данных, описывающих рассматриваемую область (а не текущих данных), и правил, описывающих целесообразные преобразования данных этой области, то есть алгоритмы преобразования информации.

Здесь уместно привести примеры. Например, разрабатывается датчик давления, в который встраивается микроконтроллер, позволяющий учесть ряд неприятных факторов – нелинейность физического преобразователя, влияние температуры, нестабильность параметров элементов устройства. Превратится ли этот датчик в интеллектуальный после введения микроконтроллера? Нет. Так как в датчике не принимается решение о наличии давления, а измеряется этот физический параметр, а также не выполняется условие наличия памяти с базой знаний. Такой датчик просто будет обладать более высокой точностью.

И другой пример. В телекамеру встраивается устройство анализа изображения, в котором принимается решение о наличии нарушителя в охраняемой зоне на основе алгоритмов распознавания образов. В этом случае имеется этап принятия решения при воздействии мешающих факторов, используется база знаний в виде совокупности признаков различных образов и алгоритмов принятия решения. В связи с этим подобный датчик можно считать интеллектуальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 352 с.

2. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М. : Физматлит, 2011. – 252 с.

УДК 528.08
ББК 30

ОБ ИЗМЕРЕНИИ МГНОВЕННОГО И СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

© ***А.Б. Андреев***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ON MEASUREMENT OF THE INSTANTANEOUS AND AVERAGE VALUES OF PHYSICAL QUANTITIES

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

Статья посвящена анализу взаимного соотношения мгновенного и среднего значений физических величин независимо от их природы. Обоснован вывод о принципиальной невозможности в общем случае измерения мгновенного значения.

Ключевые слова: измерение, физическая величина, мгновенное значение, среднее значение.

The article is devoted to the analysis of mutual correlation of the instantaneous and average values of physical quantities, regardless of their nature. Substantiated conclusion about impossibility to in the General case of measuring the instantaneous values.

Key words: measurement, physical value, the instantaneous value, average value.

E-mail: andreev@pgta.ru

В соответствии с Рекомендациями по межгосударственной стандартизации (РМГ 29-99), измерение – это “совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины” [4].

Как заметили авторы работы [2], трудность понятия “измерение” заключается в кажущейся его простоте. Разберемся подробнее с понятиями “физическая величина” и “значение физической величины”.

РМГ 29-99 трактует физическую величину как “одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них” [4].

Физический процесс представляет собой движущуюся во времени и пространстве материю. При этом физические процессы можно разделить на непрерывные во времени и/или в пространстве и прерывистые (дискретизованные). В макромире обычно физические процессы непрерывны, а дискретизованные получаются в результате измерения.

При познании окружающего материального мира человек использует отражения, в том числе с помощью формально-логических понятий, в частности с помощью понятия “число”. Выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц называют значением физической величины [4]. Каждый результат отражения в виде числа

должен переносить и сохранять в более удобной форме сведения об отражаемом свойстве физического процесса (объекта).

Так, при измерении любая непрерывная физическая величина неизбежно подвергается дискретизации в отношении времени и квантованию в отношении ее размера, т.е. приписыванию какому-либо ее значению вполне определенного числового эквивалента, соответствующего определенному моменту времени или интервалу времени. При этом результат измерения с математической точки зрения представляют (интерпретируют), как правило, в виде следующих основных параметров (значений):

- *мгновенное значение* $x(t_k)$ как характерный размер величины $x(t)$ в конкретный момент времени t_k;
- *среднее значение* X величины $x(t)$ за некоторый интервал времени τ:

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

- *среднеквадратическое значение* X_{CK} величины $x(t)$ за интервал времени τ:

$$X_{CK} = \sqrt{\overline{x^2(t)}} = \sqrt{\frac{1}{\tau}\int_{t}^{t+\tau} x^2(t)\,dt}\,. \qquad (2)$$

Выражение (1) в литературе также называют текущим средним значением [3] или “скользящим” интегралом [6]. Выражение (2) в электротехнике чаще называют эффективным или действующим значением, подчеркивая тем самым эквивалентность теплового действия переменного и постоянного тока. Для периодических величин (период T) еще отдельно выделяют средневыпрямленное значение

$$X_{CB} = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} |x(t)|\,dt\,,$$

а также среднее за период T значение (постоянную составляющую)

$$X(T) = \frac{1}{T}\int_{0}^{T} x(t)\,dt\,.$$

Кроме того, иногда речь ведут о пиковом, т.е. максимальном значении, которое для периодических величин отождествляют с амплитудным значением. В этом смысле и амплитудное, и пиковое значение являются частным случаем мгновенного значения, приписываемого определенному моменту времени t_k.

Таким образом, математически все значения физической величины представимы либо ее мгновенными значениями, либо средними (интегральными) значениями.

С одной стороны, в физике скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ *м/с*) является естественной константой, которая представляет собой верхний предел для скорости распространения любой материи в физическом пространстве. Наличие верхнего предела скорости запрещает мгновенное распространение любых взаимодействий.

С другой стороны, для канонически сопряженных динамических величин в квантовой физике имеет место принцип неопределенностей, количественное выражение которого, например, для величин энергии E и времени t задается соотношением неопределенностей Гейзенберга [5]:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}, \tag{3}$$

где $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}054 \cdot 10^{-34}$ *Дж·с* – постоянная Планка ($h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ *Дж·с*) или, как еще называют эту константу, “квант действия”.

То есть если физический объект (система или процесс) находится в стационарном состоянии, то из соотношения (3) следует, что энергию E этой системы даже в стационарном состоянии можно измерить лишь с точностью ΔE, не превышающей

$$\Delta E \geq \frac{\hbar}{2\Delta t}. \tag{4}$$

Причина этого заключается во взаимодействии системы с тем техническим средством, с помощью которого осуществляется нахождение значения физической величины опытным путем, т.е. с измерительным прибором. Следовательно, соотношение неопределенностей применительно к данному случаю означает, что энергию взаимодействия между измерительным прибором и исследуемой системой можно учесть лишь с точностью, определяемой выражением (4).

В предельном случае измерения *мгновенного значения* какой-либо физической величины возникающий энергетический обмен становится полностью неопределенным, т.к. энергия E взаимодействия устремляется в бесконечность:

$$E \geq \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\hbar}{\Delta t} = \infty.$$

Отсюда следует вывод, что измерить мгновенное значение физической величины невозможно в принципе. Речь может идти лишь о каком-либо приближении среднего за конечный интервал времени ($\Delta t = \tau \neq 0$) значения математической модели измерения мгновенного значения с заведомо имеющей место методической погрешностью.

В качестве таковой часто используют модель, основанную на 1-й теореме о среднем значении [1]. Эта теорема (рис. 1) 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

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

или

$$\frac{1}{\tau}\int_{t}^{t+\tau} x(t)\,dt = x(t_k), \qquad (5)$$

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

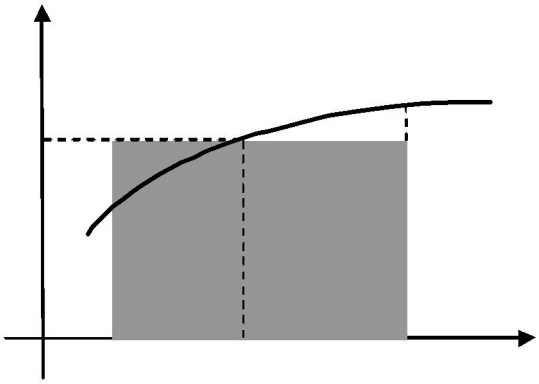


Рис. 1. Первая теорема о среднем значении

Таким образом, 1-ая теорема о среднем значении позволяет утверждать, что, если величина $x(t) = \text{const}$ на интервале времени τ или хотя бы изменяется незначительно (в допустимых пределах соответствующей методической погрешности), то в соответствии с выражением (5) появляется возможность измерить мгновенное значение физической величины $x(t)$ с заданной методической погрешностью. Во всех остальных вариантах такая возможность отсутствует, т.к. в общем случае при $x(t) = \text{var}$, момент времени t_k на интервале осреднения τ располагается случайным образом.

Следует заметить, что 1-ая теорема о среднем значении идеально работает для случая, когда изменяющаяся во времени физическая величина имеет постоянную первую производную на интервале времени τ. Поэтому на практике, стремясь уменьшить вдвое максимальное значение соответствующей методической погрешности, мгновенное значение $x(t_k)$ часто относят к середине интервала осреднения $t_k = \tau/2$. При этом предполагается линейная интерполяция изменения физической величины на интервале времени τ. Однако это очень частный случай поведения физической величины во времени.

Подводя итог изложенным рассуждениям, можно сказать, что, видимо, целесообразнее вообще вести речь об измерении лишь средних значений, поскольку мгновенное значение в общем случае является эфемерной “вещью в себе”, недоступной для измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1981. – 720 с.

2. Васильев А.И. Метрология и современное производство / А.И. Васильев, А.А. Цибина. – Новосибирск : Зап.-Сиб. книжн. изд-во, 1975. – 174 с.

3. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – Киев : Вища школа, 1976. – 432 с.

4. РМГ 29-99. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. Издание официальное. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 50 с.

5. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров; Ред. кол. Д.М. Алексеев, А.М. Бонч-Бруевич, А.С. Боровик-Романов [и др.]. – М. : Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.

6. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М. : Физматгиз, 1962. – 276 с.

УДК 57.089.001.66
ББК 30

НЕЧЕТКАЯ МОДИФИКАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

© ***Е.А. Шамин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***Т.В. Истомина***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

FUZZY MODIFICATION OF COLLECTIVE METHODS PROCESSINGS OF BIOMEDICAL INFORMATION

© ***E.A. Shamin***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***T.V. Istomina***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье описаны методы коллективного анализа, а также их модификации на основе теории нечеткой логики, на примере анализа биосигналов.

Ключевые слова: биосигнал, методы коллективного анализа, теория нечеткой логики

In this article methods of the collective analysis, and also their modification on the basis of the theory of fuzzy logic, with reference to the biosignals analysis are described.

Key words: biosignals, methods of the collective analysis, fuzzy logic.

E-mail: pochtayashik@mail.ru

Большинство существующих алгоритмов обработки биомедицинской информации (БМИ) (речь идет в основном об алгоритмах обнаружения и распознавания элементов биосигналов) чаще всего основаны на анализе

одного из параметров. Это может быть какой-либо амплитудно-временной, частотный, фазовый или другой параметр. На самом деле БМИ характеризуется множеством характерных особенностей, которые проявляются в различных пространствах, следовательно, вычисления одного признака для обработки БМИ явно недостаточно. Поэтому для повышения достоверности распознавания элементов биосигналов целесообразно использовать одновременно несколько качественно разнородных групп признаков. Кроме того, для получения информации о значениях различных признаков биосигналов необходимо использовать методы и алгоритмы разного типа.

Рассмотрим применение коллективных методов обработки БМИ на примере разработки алгоритмов автоматического анализа электрокардиосигнала (ЭКС). В работах [3, 4] речь идет об одном и том же подходе, который в отечественной литературе по распознаванию образов называется “коллективным распознаванием”. Под коллективным распознаванием понимается решение задачи использования множества классификаторов, каждый из которых принимает индивидуальное решение о классе одной и той же сущности, ситуации, образа и т.п., с последующим объединением и согласованием решений отдельных классификаторов с помощью того или иного алгоритма [8].

Задача коллективного распознавания относится к более общей проблеме коллективного принятия решений, которая имеет большое разнообразие форм и приложений. В частности, к задачам коллективного принятия решений относятся задачи группового выбора, задачи теории голосования, методы обработки экспертных оценок. Сущность задачи коллективного принятия решений состоит в “выработке согласованного коллективного решения о порядке предпочтения рассматриваемых объектов на основе индивидуальных мнений членов коллектива”. В современной литературе задачи, методы и алгоритмы коллективного распознавания встречаются под разными названиями [1]:

- объединение множества классификаторов (combination of multiple classifiers);
- объединение классификаторов (classifier fusion);
- объединение экспертов (mixture of experts);
- комитеты (committees);
- согласованная агрегация (consensus aggregation);
- голосующее объединение классификаторов (voting pool of classifiers);
- динамический выбор классификатора (dynamic classifier selection);
- комбинированные системы классификаторов (composite classifier system);
- комбинирование решений (decision combining);
- классификаторы типа “разделяй и властвуй” (divide-and-conquer classifiers).

Такое разнообразие используемой терминологии отражает разнообразие постановок задач и предположений, типы выходов классификаторов, стратегии объединения и т.п.

Необходимость использования множества классификаторов с последующим объединением их решений мотивируется по-разному в зависимос-

ти от конкретной постановки задачи и конкретного приложения. Главной мотивацией использования согласованного объединения решений множества классификаторов, специализированных в том или ином смысле, являются две идеи [1]:

- уменьшение сложности решаемой задачи (повышение вычислительной эффективности процедуры);
- увеличение компетентности принятия решений (повышение точности классификации).

Даже в том случае, когда один из классификаторов обладает существенно лучшими свойствами по сравнению с другими, множества неправильно классифицированных объектов у различных классификаторов не обязательно будут пересекаться. По этой причине разные классификаторы потенциально могут обеспечивать различной информацией о классифицируемом объекте, что может оказаться существенным для улучшения свойств системы в целом [7].

Так как различные алгоритмы распознавания проявляют себя по-разному на одной и той же выборке объектов, то закономерно встает вопрос о синтетическом решающем правиле, адаптивно использующем сильные стороны этих алгоритмов. В таком решающем правиле применяется двухуровневая схема распознавания. На первом уровне работают частные алгоритмы распознавания, результаты которых объединяются на втором уровне в блоке синтеза. Наиболее распространенные способы такого объединения основаны на выделении областей компетентности того или иного частного алгоритма. Простейший способ нахождения областей компетентности заключается в априорном разбиении пространства признаков. Тогда для каждой из выделенных областей строится собственный распознающий алгоритм.

Другой способ базируется на применении формального анализа для определения локальных областей пространства признаков как окрестностей распознаваемых объектов, для которых доказана успешность работы какого-либо частного алгоритма распознавания.

Самый общий подход к построению блока синтеза рассматривает результирующие показатели частных алгоритмов как исходные признаки для построения нового обобщенного решающего правила. В этом случае могут использоваться все перечисленные выше методы интенсионального и экстенсионального направлений в распознавании образов.

Рассмотрим структурную схему коллективного принятия решений (рис. 1). Коллективом решающих правил называют некоторое конечное подмножество $\{R\}$ множества всех возможных решающих правил C, $\{R\}$, где C, $\{R\}= = \{R_l\}$; $l = 1, 2, \ldots, L$, образованное для выработки коллективного решения, где R_l – l-е решающее правило, $И$ – решение на выходе l-го правила, C – коллективное решение. Вид коллективного решения конкретизируется типом задачи, решаемой данным коллективом. Поскольку речь идет о задаче распознавания образов, и коллективное решение, и индивидуальные решения, принимаемые членами этого коллектива, состоят в отнесении некоторой ситуации или объекта X к одному из классов или множеств K_k, $k = 1, 2, \ldots, K$.

Ситуация X характеризуется вектором параметров или признаков:

$$P = \{p_1, p_2, \ldots, p_m, \ldots, p_M\}.$$

Формально задача принятия коллективного решения ставится следующим образом: если Yl, $l = 1, 2, \ldots, L$ – индивидуальные решения, принимаемые членами коллектива – решающими правилами $R_n = 1, 2, \ldots, n$, то коллективное решение определяется как некоторая функция индивидуальных решений:

$$C = F(Y_1, Y_2, \ldots, Y_L, X),$$

где F – алгоритм принятия коллективного решения.

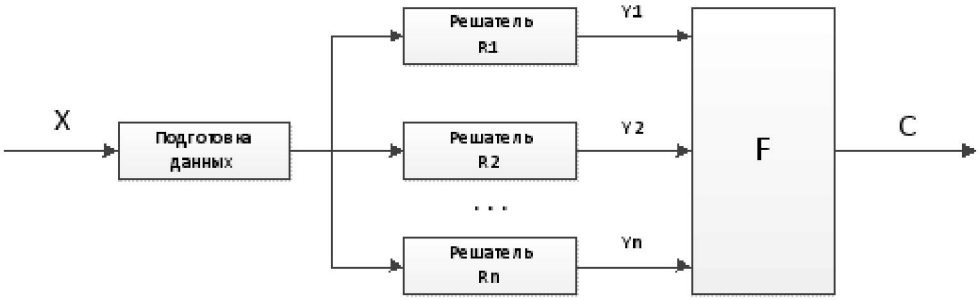


Рис. 1. Структурная схема коллективного принятия решений

Решение C в задаче распознавания состоит в выборе номера одного из классов K_k, $k = 1, 2, \ldots, K$, для каждой конкретной ситуации X, для которой правила R_l принимают различные решения:

$$R_l\text{: } X \in K_k, \text{ то } Y_l(X);\ l = 1, 2, \ldots, L;\ k = 1, 2, \ldots, K.$$

Наиболее очевидным подходом в такой ситуации мог бы служить алгоритм голосования, когда итоговое решение определяется большинством алгоритмов анализа ЭКС, входящих в коллектив. Однако на практике подобные методы объединения решений не всегда демонстрируют высокие результаты, т.к. может возникнуть ошибка большинства членов коллектива. Веса отдельно взятых алгоритмов фиксированы и не изменяются, т.е. особенности конкретной ситуации не учитываются при определении конечного решения.

Существуют алгоритмы объединения решений на основе вероятностных подходов, когда среди решений различных алгоритмов выбирается то, которое имеет максимальное значение вероятности. Кроме того, существуют алгоритмы согласования на основе метаклассификации, когда объединение решений выполняет специальный метаклассификатор. Входными данными для него служат решения базовых классификаторов, которые интерпретируются как множество признаков нового признакового пространства.

Использование процедур коллективного распознавания особенно эффективно в следующих ситуациях:

- решение принимается различными алгоритмами;
- алгоритмы используют различные пространства признаков или различные источники данных;

- алгоритмы обучены с использованием различных обучающих данных (выбранных случайно из имеющейся большой выборки или построенных на основе предварительной кластеризации);
- размерность пространства признаков слишком велика и/или оно содержит признаки, измеренные в различных шкалах;
- пространство признаков содержит признаки различного уровня абстракции (агрегирования);
- выдвигаются специальные требования к ошибкам первого и второго рода (ложной тревоге и пропуску сигнала).

Можно выделить три стратегии коллективного распознавания сигналов:

1) выбор классификатора, чей результат определяет решение задачи распознавания (предполагается, что каждый классификатор является экспертом в определенной области пространства признаков);

2) слияние решений классификаторов (предполагается, что все классификаторы одинаково компетентны во всем пространстве признаков);

3) комбинация вышеназванных стратегий.

Разнообразие классификаторов является свойством, которое отражает потенциальную возможность получения положительного эффекта от их совместного использования – повышение точности классификации [8]. Это свойство позволяет обнаруживать те классификаторы, которые бесполезны в рассматриваемом коллективе решателей, поскольку их использование не ведет к повышению точности работы системы в целом.

Анализ разнообразия классификаторов и используемых ими признаков является одним из путей решения проблемы отбора информативных признаков из всего поля доступных для измерения, в том числе и производных признаков.

Методы обнаружения/распознавания импульсов ЭКС поодиночке исчерпали свои возможности. Качество обнаружения достаточно высоко (0,97-0,99), но выше не поднимается, и это в основном на “хороших” ЭКС. Таким образом, одиночные обнаружители целесообразно объединить в коллективы. Однако наличие пересечений между классами образов ЭКС связано с зашумлением граничных областей классов. В ситуациях, когда рассматриваемый образец попадает в области пересечений классов образов, и не удается дать однозначный ответ о принадлежности к определенному классу образов, важно получить ответ о степени похожести образца на каждый из предполагаемых классов образов, а иногда определить, что это точно не образец определенного класса образов.

В связи с этим предлагается ответ получать в виде нечеткого множества, элементами которого являются классы образов ЭКС. Таким образом, задачу классификации импульсов ЭКС можно рассматривать как нечеткую модификацию задачи коллективного распознавания образов.

Представим схему, приведенную на рис. 1, в виде системы нечеткого вывода (СНВ) (рис. 2), тогда решатели R примут вид фаззификаторов F_1, F_2, …, F_n (функция принадлежности ФП – пороговая функция), а решатель 2 уровня F, или метарешатель, реализующий алгоритм принятия коллектив-

ного решения, представим в виде оставшейся части СНВ, содержащей базу нечетких правил и дефаззификатор.

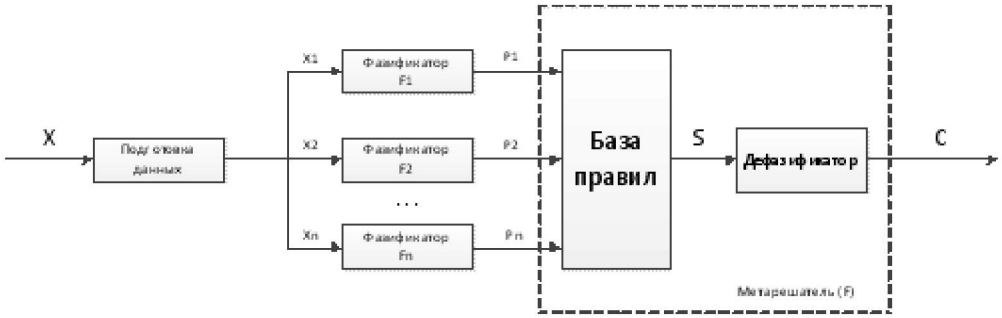


Рис. 2. Структурная схема нечеткого коллективного принятия решения

Тогда решение задачи распознавания будет состоять из двух этапов – отнесение текущего импульса к одному из выходных термов согласно базе нечетких правил и процесса дефазиффикации, согласно выбранному методу [6]:

$$\Phi_1\text{: ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_{11} \ldots \text{ И} \ldots x_n \text{ это } A_{1n}\text{, ТО } S \text{ это } B_1$$

$$\ldots$$

$$\Phi_i\text{: ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_{i1} \ldots \text{ И} \ldots x_n \text{ это } A_{in}\text{, ТО } S \text{ это } B_i$$

$$\ldots$$

$$\Phi_m\text{: ЕСЛИ } x_1 \text{ это } A_{i1} \ldots \text{ И} \ldots x_n \text{ это } A_{mn}\text{, ТО } S \text{ это } B_m, \qquad (1)$$

где P_k, $k = 1..n$ – входные переменные; S – выходная переменная; A_{ik} – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности.

Результатом нечеткого вывода является четкое значение переменной C на основе заданных четких значений x_k, $k = 1..n$.

$$C = \text{ДФ}(S_1, S_2, \ldots, S_L), \qquad (2)$$

где ДФ – алгоритм дефаззификации.

Таким образом, применение известных обнаружителей импульсов ЭКС, основанных на монометодах, не всегда оправдано, т.к. каждый из таких обнаружителей не универсален, т.е. не создан для работы во всех сигнально-помеховых ситуациях, в том числе в сложных. Нечеткая модификация коллективных методов обработки биомедицинской информации позволяет не только объединить лучшие решающие правила в коллективе, но и учесть временную неопределенность и индивидуальную изменчивость параметров биосигналов в условиях интенсивных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Растригин Л.А., Эренштейн Р.Х. Метод коллективного распознавания. – М. : Энергоиздат, 1981.

2. Чирейкин Л.В., Шурыгин Д.Я., Лабутин В.К. Автоматический анализ электрокардиограмм. – Л. : Медицина, 1977.

3. Башкина Е.М., Егоров А.И., Трапезин В.Е. Построение диагностических алгоритмов анализа кардиосигналов коллективом решающих правил // Информационные процессы. – 2001. – Том 3, № 1. – С. 70 – 72.

4. Истомин Б.А. Система и алгоритм обнаружения информативных импульсов электрокардиосигнала в условиях интенсивных помех : Дисс. ...канд. техн. наук. – Пенза : Пенз. гос. ун-т, 2011.

5. Цифровой анализ электрокардиограмм / Н.М. Богатов, В.Ф. Гук // Математические методы распознавания образов (ММРО-12) : Сборник докладов 12-й Всероссийской конференции. – М. : МАКС Пресс, 2005. – 499 с.

6. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М. : Физматлит, 2007.

7. Kittler J., Hatef M., Duin R. P. W., Matas J. On combining classifiers // IEEE Transactions on pattern Analysis and Machine Intelligence. 1998. No. 20(3). P. 226–239.

8. Городецкий В.И., Серебряков С.В. Методы и алгоритмы коллективного распознавания: обзор // Труды СПИИРАН. – Вып. 3, т. 1. – СПб. : Наука, 2006.

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

УДК 621.397
ББК 34

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ МАСШТАБНО-РАКУРСНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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

DINAMIC OBJECTS DETECTION ADAPTIVE ALGORITHM IN SCALE FORESHORTENING IMAGE DISTORTIONS

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

В статье анализируется алгоритм обнаружения динамических объектов в условиях масштабно-ракурсных искажений изображений и сложного неоднородного фона. Рассмотрены особенности применения разностных методов компенсации фона, определения параметров масштабно-ракурсных искажений.

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

The paper analyzes the detection of dynamic objects algorithm in a case of scale-foreshortening 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 scale- foreshortening image distortions are dascryed.

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

Устройства автоматического обнаружения динамических объектов получили широкое распространение в информационно-измерительных системах (ИИС) прикладного назначения в комплексах безопасности.

К настоящему времени разработаны эффективные алгоритмы обнаружения динамических объектов, позволяющие решать задачи обработки последовательности регистрируемых изображений помехо-сигнальной обстановки. В основе данных алгоритмов лежит класс разностных методов обработки изображений, в значительной степени инвариантных к энергетическим соотношениям сигнала и помех – отношению сигнал/помеха. При решении задачи обнаружения динамических объектов в условиях неопределенности помехо-сигнальной обстановки необходимым условием приме-

нения разностных методов для выделения объектов является компенсация фоновой компоненты анализируемой сцены.

Фактором, ограничивающим применимость известных алгоритмов обнаружения, являются масштабно-ракурсные искажения регистрируемых изображений, вызванные относительным движением обнаружителя ИИС и подстилающей поверхности. Применительно к анализу наземных сцен, характеризующихся значительной неоднородностью энергетических характеристик и пространственно-частотного спектра подстилающего фона и существенным диапазоном изменения дальности до отдельных фоновых образований, в условиях наблюдения с подвижного носителя, для обнаружения динамических объектов необходимо введение в структуру алгоритма обнаружения операции компенсации масштабно-ракурсных искажений фона и фильтрации фона.

Рассмотрим первое изображение сцены $g(\vec{\rho}, t_1)$, полученное проективным преобразованием яркостного поля $b(\vec{r}, t_1)$ первой анализируемой сцены в фокальную плоскость оптической системы обнаружителя как эталонное. Хотя, в общем случае, возможны различные геометрические преобразования яркостного поля, вплоть до топологических, будем рассматривать только такие преобразования, которые могут быть охарактеризованы некоторыми численными параметрами, зависящими от условий формирования изображений. Сущность этих преобразований заключается в том, что все точки $\vec{r} \in D_R$ в области определения $\vec{r} \in D_R(t_J)$ пространственного яркостного поля $b(\vec{r}, t_J)$ отображаются в точки плоскости регистрации $g(\vec{\rho}, t_J)$, причем закон отображения определяется параметрами преобразований. Закон преобразования координат $\vec{r} = (x_g, y_g, z_g)^T \to \vec{\rho} = (x, y)^T$ может быть записан в виде уравнений Ли *m*-параметрической группы преобразований [1].

Проективные преобразования, реализуемые в оптической системе, наряду с изменениями ракурса анализируемой сцены приводят к тому, что изображение получает перспективные искажения, которые относятся к 8-параметрической проективной группе H_8 [1]. Такие преобразования можно описать уравнениями:

$$x = \frac{px_g + qy_g + \xi}{nx_g + my_g + 1}; \quad y = \frac{rx_g + sy_g + \eta}{nx_g + my_g + 1}. \tag{1}$$

где ξ, η – параметры трансляции (параллельного переноса), описывающие смещение начала координат (центра) искаженного анализируемого изображения сцены относительно эталонного изображения, параметры *p, q, r, s, n, m* в (1) характеризуют изменения ракурса, масштаба, сжатия и поворота изображений.

Для определения параметров преобразований для каждого из анализируемых изображений сцены $g(x, y, t_J)$, $J > 1$ предложен следующий алгоритм.

1. Разбиение эталонного изображения на $N \geq 6$ непересекающихся сегментов S_I : $S_I \cap S_K = \varnothing\big|_{I \neq K}$, $S_I \cup S_K = D_g\big|_{I,K=1\ldots N}$, равномерно перекрывающих всю анализируемую сцену (область определения D_g).

2. Выделение в каждом из N сегментов на эталонном изображении локального максимума $G_I = \max\limits_{S_I} g(x,y,t_1)$ и определение его координат $\left(x_{I\max},\quad y_{I\max}\right) = \arg\max\limits_{S_I} g(x,y,t_1)$. При этом при наличии в I-м сегменте нескольких (k) точек, имеющих амплитуду G_I, в качестве локального максимума выбирается точка, минимально удаленная от центра сегмента.

Результатом данной операции является выделение на эталонном изображении совокупности N локальных максимумов, каждый из которых локализован в отдельном сегменте.

2. Выделение локальных областей $s_I(x,y,t_1) \subset S_I$, $I = 1\ldots N$ вокруг соответствующих локальных максимумов. При этом форма и положение данной области должны удовлетворять следующим условиям:

– односвязность;

– минимальное расстояние между границами области и границами сегмента должно превышать максимальный масштаб масштабно-ракурсных искажений в анализируемых изображениях.

Выделение односвязной области вокруг локального максимума $\left(x_{I\max},\quad y_{I\max}\right)$ осуществляется посредством пороговой обработки I-го сегмента эталонного изображения с адаптивным порогом h_I, близким к $0{,}5\,G_I$, его бинаризации и сегментации.

2,а. Формирование взаимно-корреляционной функции (ВКФ) локальной области $s_I(x,y,t_1)$ и I-го сегмента изображений сцены $R_{s_I S_I}(x,y) = s(x,y) \otimes \left[g(-x,-y,t_1)S_I(-x,-y,t_J)\right]^*$, определение амплитуд и координат глобального максимума ВКФ G_{iI0}, $\left(x^0_{\max}\ ,\quad y^0_{\max}\right)$ и локальных максимумов G_{iIk}, $\left(x^k_{\max}\ ,\quad y^k_{\max}\right)$. Если выполняются условия:

$$\begin{gathered}\forall k \neq 0 \quad G_{iIk} \leq 0{,}75 G_{iI}\,,\\ \left(x^0_{\max}\ ,\quad y^0_{\max}\right) \equiv (0,\quad 0),\end{gathered} \tag{2}$$

то в качестве локальной области выбирается определенная выше локальная область $s_I(x,y,t_1)$. В противном случае порог h_I изменяется в сторону уменьшения и операции по п. 2,а повторяются.

В результате имеем для эталонного изображения совокупность локальных областей, сгруппированных вокруг локальных максимумов изображе-

ния, выполняющих функции “реперных” точек изображения фоновой составляющей анализируемой сцены, отслеживание которых позволяет привязать изображения фоновой компоненты друг к другу, компенсировав их масштабно-ракурсные искажения [3].

Дальнейшие операции проводятся над эталонным изображением и текущим *J*-м изображением сцены.

3. Для оценки параметров трансляции (ξ, η) (смещения изображений сцены) производится формирование ВКФ 1-го и *J*-го изображений сцены.

При этом для минимизации амплитуды побочных максимумов ВКФ вследствие проективных искажений регистрируемой сцены вводится операция предварительной обработки для оптимизации параметров формируемого функционала. В [4] предложено использовать для предварительной обработки операцию полосовой фильтрации изображения посредством последовательного воздействия сглаживающего (гауссиана) и высокочастотного (дифференцирующий фильтр Лапласа) фильтров.

$$g_{\text{вых}}(\vec{\rho},t) = g(\vec{\rho},t) \otimes h(\vec{\rho}), \tag{3}$$

где $h(\vec{\rho}) = h_{\text{сгл}}(\vec{\rho}) \otimes h_{Д}(\vec{\rho})$.

Комбинация данных фильтров обеспечивает полосовую фильтрацию с управляемой полосой частот пропускания, определяемой размерностью данных фильтров и позволяет компенсировать влияние масштабно-ракурсных искажений в ВКФ.

Дополнительно, для устранения влияния энергетических характеристик, ВКФ формируется применительно к центрированным изображениям сцен:

$$R_{1J}(x,y) = \left(g\ \ (x,y,t_1) - g_0\right) \otimes \left(g^*_{\text{вых}}(-x,-y,t_J) - g^{J0}_{\text{вых}}\right),$$

где g_0, $g^{J0}_{\text{вых}}$ – средняя интенсивность эталонного и отфильтрованного текущего изображений.

Координаты глобального максимума ВКФ $\left(x_{\max},\ \ y_{\max}\right)$ являются оценками величины смещения изображений сцены.

4. Смещение *J*-го изображения на вектор трансляции $-\left(x_{\max},\ \ y_{\max}\right)^T$:

$$g_{\text{см}}(x,y,t_J) = g(x - x_{\max}, y - y_{\max}, t_J).$$

5. Разбиение смещенного *J*-го изображения на N непересекающихся сегментов $\{V_I\}\big|_{I=1\ldots N}$, совпадающих по форме и положению с $\{S_I\}\big|_{I=1\ldots N}$.

6. Формирование *N* ВКФ локальных областей эталонного изображения $s_I(x,y,t_1)$, $I = 1\ldots N$ и смещенного *J*-го изображения $g_{\text{см}}(x,y,t_J)$ в пределах сегментов $\{V_I\}\big|_{I=1\ldots N}$:

$$R_{IJ}(x,y) = \left[g_{\text{см}}(x,y,t_J) \cdot V_I(x,y)\right] \otimes s^*_I(-x,-y,t_1),$$

определении координат глобальных максимумов ВКФ локальных областей $\left\{\left(\bar{x}_{I\max},\ \ \bar{y}_{I\max}\right)\right\}\big|_{I=1\ldots N}$. Совокупность координат $\left\{\left(\bar{x}_{I\max},\ \ \bar{y}_{I\max}\right)\right\}\big|_{I=1\ldots N}$

определяет собой смещение реперных точек $\left\{\left(x_{I\max},\quad y_{I\max}\right)\right\}\Big|_{I=1\ldots N}$ эталонного изображения, заданных локальными максимумами G_I, вызванное масштабно-ракурсными искажениями (1).

7. Подставляя в уравнения (1) координаты реперных точек эталонного изображения и координаты соответствующих им точек текущего изображения $\left\{\left(x_{I\max}+\bar{x}_{I\max},\quad y_{I\max}+\bar{y}_{I\max}\right)\right\}\Big|_{I=1\ldots N}$, получаем переопределенную систему N уравнений, из которой методом невязок может быть получена оценка параметров перспективных преобразований текущего изображения $\hat{p}_J$, $\hat{q}_J$, $\hat{r}_J$, $\hat{s}_J$, $\hat{n}_J$, $\hat{m}_J$.

8. Осуществляется координатное преобразование текущего смещенного J-го изображения по зависимостям, обратным (1) с определенными в п. 7 параметрами преобразований координат.

$$g_{\text{см}}^{TR}(x',y',t_J)\to g_{\text{см}}(x,y,t_J)\Big|_{\hat{p}_J,\,\hat{q}_J,\,\hat{r}_J,\,\hat{s}_J,\,\hat{n}_J,\,\hat{m}_J}. \qquad (4)$$

9. Формирование разностного изображения РИ, сформированного над эталонным изображением и преобразованным текущим изображением (4):

$$g_P^{1J}(x,y)=g_{\text{см}}^{TR}(x,y,t_J)-g(x,y,t_1). \qquad (5)$$

Для компенсации остаточного изображения фона на РИ (5) данное изображение подвергается последовательно операциям бинаризации с порогом, равным минимальному тепловому контрасту объекта и фона, и фильтрации по связности [2]. В результате на бинаризированном и отфильтрованном РИ выделяются пространственные области, соответствующие объектам, центры которых определяют координаты обнаруженных объектов.

Циклическое повторение данных операций обеспечивает компенсацию масштабно-ракурсных искажений регистрируемых изображений, позволяет обнаружить динамические объекты в условиях масштабно-ракурсных искажений, вызванных движением измерительной платформы ИИС и определить траекторию их движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Василенко Г.И., Цибулькин Л.М. Голографические распознающие устройства. – М. : Радио и связь, 1985.

2. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009.

3. Кочкин Н.А. Алгоритм определения параметров масштабно-ракурсных искажений изображений // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : Сб. ст. Всеросс. науч.-техн. конф. – Пенза, 2012. – С. 42 – 44.

4. Кочкин Н.А. Алгоритм обнаружения динамических объектов в условиях масштабно-ракурсных искажений // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : Сб. ст. Всеросс. науч.-техн. конф. – Пенза, 2012 – С. 11 – 14.

УДК 621.383.8
ББК 34

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

© ***В.А. Кочкин***, *ФГУП "НПО Астрофизика" (г. Москва, Россия)*

AUTOMATIC DETECTION OF SMALLDIMENTION DYNAMIC OBJECTS IN OPTIC-ELECTRONIC SYSTEMS

© ***V.A. Kochkin***, *Federal State Unitary Enterprise "NPO Astrophysics" (г. Москва, Россия)*

Рассмотрен алгоритм автоматического обнаружения динамических объектов на сложном неоднородном фоне. Предложенный алгоритм базируется на вычислении межкадровой разности зарегистрированных изображений с последующей пороговой обработкой, цифровой фильтрацией и формированием суммарно-разностного изображения. Обнаружение объекта производится путем нелинейной цифровой обработки суммарно-разностного изображения.

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

The automatic algorithm of dynamic objects detection on complex non uniformity background is given. Suggested algorithm is based on calculating of frame-to-frame difference of images, threshold processing, digital filtering and summarizing of filtered frame-to-frame difference. Detection of objects is based on nonlinear digital processing of summarized differential image

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

Перспективы развития современных оптико-электронных координаторов (ОЭК) информационно-измерительных систем связаны с созданием автоматических систем обнаружения и определения координат малоразмерных динамических объектов, обеспечивающих решение в реальном масштабе времени информационных задач, которые не могут быть решены радиолокационными средствами. Обнаружение и определение координат динамических объектов (ДО), таких как воздушные и космические, в настоящее время является актуальной задачей. Разработаны лазерные и пассивные ОЭК, обеспечивающие обнаружение ДО в широком диапазоне дальностей на различных фонах. Для обнаружения ДО во многих реализованных ОЭК используется признак относительного движения объекта и фона в поле обзора, в котором производится локация объекта. При этом для регистрации изображений ДО используются матричные фотоприемные устройства, обеспечивающие одновременную регистрацию принимаемого сигнала от объекта и фона в широком поле. Необходимость получения координатной информации о ДО в реальном масштабе времени с высокой тактовой частотой обусловила переход к автоматическим методам решения задач обнаружения и определения координат.

Одним из перспективных методов решения данной задачи является суммарно-разностная обработка изображений, применяемая при решении задач обнаружения ДО, наблюдаемых на однородном фоне. Наиболее существенным ограничением на использование данного класса алгоритмов являются неоднородность фона, на котором происходит обнаружение ДО, и наличие случайного излучающего фона. Данные факторы ограничивают применимость методов суммарно-разностной обработки для ОЭК, работающих в условиях неоднородного фона.

Целью данной статьи является разработка помехоустойчивого алгоритма автоматического обнаружения и определения координат ДО в условиях наличия пространственно неоднородного флуктуирующего во времени излучающего фона. В реальных условиях функционирования ОЭК, решающих задачу обнаружения ДО, распределение яркости фона, на котором наблюдается объект, кроме детерминированной пространственно неоднородной компоненты, постоянной во времени, содержит интенсивную флуктуирующую во времени и пространственно неоднородную переменную компоненту.

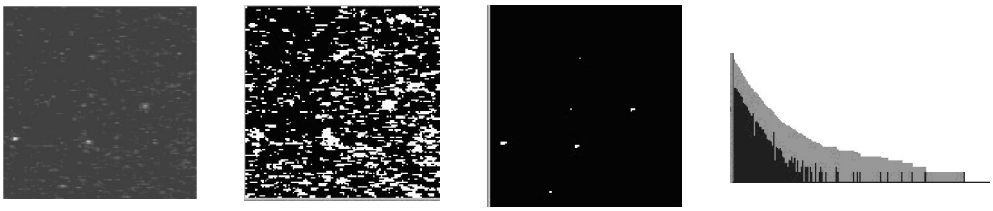
Пример изображений, содержащих изменяющуюся по яркости пространственно распределенную фоновую компоненту, приведен на рис. 1.

Алгоритм суммарно-разностной обработки может быть формализован следующим образом.

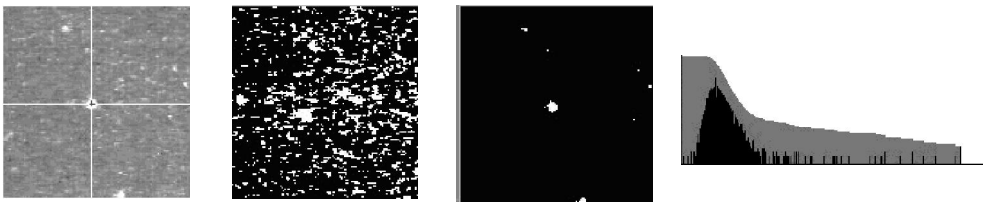
Последовательное формирование по *K* зарегистрированным изображениям – анализируемым изображениям (АИ) *K-1* разностных изображений

$$B_P^k(\vec{r},t_k) = B(\vec{r},t_k) - B(\vec{r},t_{k-1}) \qquad (1)$$

последовательных *k*-го и (*k-1*)-го АИ $B(\vec{r},t_k)$ и $B(\vec{r},t_{k-1})$, каждое из которых содержит изображение фона и ДО, где $\vec{r}$ – радиус-вектор пространственных координат, t_k – время регистрации текущего *k*-го изображения.



а)



б)

Рис. 1. Изображения и гистограммы интенсивности двух АИ ДО на неоднородном фоне при слабой (а) и сильной (б) фоновой компоненте. Слева направо – исходное изображение АИ, бинаризированное изображение с порогом бинаризации, равным средней интенсивности АИ и определенным по алгоритму (2)

Пространственное суммирование разностных изображений посредством формирования суммарного изображения $B_D(\vec{r}) = \sum_{k=1}^{K} B_P^k(\vec{r}, t_k)$.

Пороговая обработка суммарного изображения и выделение соответствующей ДО области как области суммарного изображения, превышающей порог. Для обнаружения ДО в условиях флуктуирующего фона данный алгоритм оказывается малоэффективным вследствие как наличия флуктуирующей компоненты в фоновом изображении, так и наличия флуктуаций в уровне зарегистрированного сигнала от ДО.

Статистический анализ пространственно-временных характеристик реальных изображений фоновой обстановки (звездное небо в сумерки) с учетом шумов регистратора при априорном отсутствии ДО показывает, что распределение интенсивности фоновой компоненты $B_{\Phi}^{Var}(\vec{r}, t_k)$ фона (включает и реализации шума элементов ОЭС: фотоприемника и тракта обработки) существенно отличается от обычно применяемого для случайных полей приближения нормальности (рис. 1).

Для решения задачи обнаружения и определения координат ДО на неоднородном излучающем фоне в [1, 2] был предложен адаптивный алгоритм суммарно-разностной обработки, в котором влияние неоднородного фона компенсировалось на этапе формирования разностного изображения (РИ), что приводит к существенному зашумлению РИ и необходимости увеличения порогового контраста ДО и фона.

В данной статье предложен алгоритм обнаружения динамических малоразмерных объектов с адаптивной пороговой обработкой изображений. Основные операции предложенного алгоритма изложены ниже.

1. Последовательная регистрация АИ $B(\vec{r}, t_k)$ в моменты времени $t_k = t_0 + kT$, $k = 1 \ldots K$, где T – время кадра телевизионного изображения.

2. Определение адаптивного порога бинаризации АИ.

На типичной гистограмме интенсивности АИ (рис. 1) может быть выделено несколько участков, которые соответствуют отдельным компонентам яркостного поля $B(\vec{r}, t_k)$. В области малых интенсивностей гистограммы всех анализируемых АИ имеют глобальный максимум, соответствующий пространственно-распределенной фоновой компоненте. Его величина, учитывая логарифмический масштаб по оси ординат приведенных гистограмм, на несколько порядков превышает максимумы остальных участков гистограммы.

В области средних и больших интенсивностей гистограммы имеют пичковую структуру, характеризующуюся отсутствием ярко выраженных максимумов. Пичковая структура гистограммы обусловлена сравнительно малым количеством изображений ДО и детерминированных фоновых объектов (звезд) и высокой крутизной ФРТ, описывающей пространственное распределение интенсивности в изображении неразрешаемых объектов. Данная структура носит случайный характер, поэтому положение отдельных пичков и их амплитуды также случайно. Тем не менее, на гистог-

рамме в области, примыкающей к точке S_W, может быть выделен статистически устойчивый участок, определяющий область спада распределения интенсивности фоновой компоненты.

Так как положение точки S_W флуктуирует от АИ к АИ, то целесообразно сформулировать приближенный алгоритм выбора значения S_W, рассматривая в качестве ее оценки абсциссу $\tilde{S}_W$ точки пересечения усредненного по обучающей последовательности ТИ реализаций $h_i(S)$ распределения интенсивностей фоновой компоненты АИ $\tilde{h}(S)$ и усредненного по интервалу $[S_I\ S_{\max}]$ значения максимумов пичковой структуры $< h_i(S) >_i$.

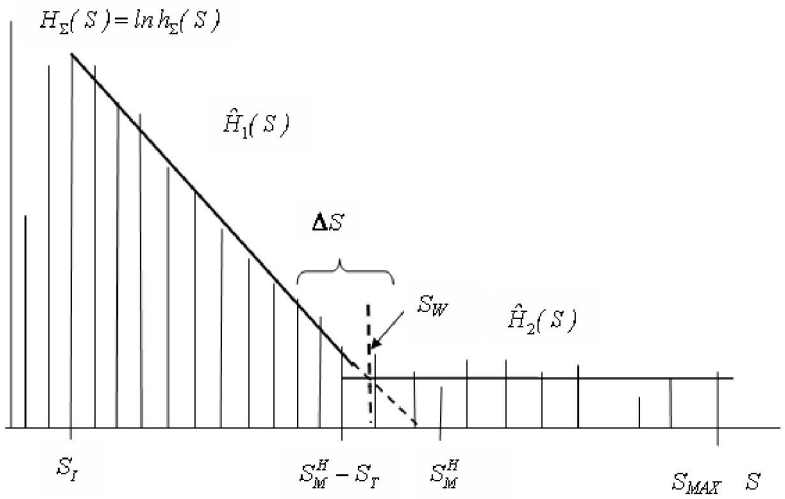


Рис. 2. Типовая усредненная гистограмма. К алгоритму выбора порогового уровня отсечки фоновой компоненты

Усреднение проводится по обучающей последовательности АИ, т.е. формируется накопленная гистограмма на интервале N кадров АИ $h_\Sigma(S) = \frac{1}{N}\sum_1^N h_i(S)$ и ее представление в полулогарифмическом масштабе $H_\Sigma(S) = \ln(h_\Sigma(S) + 1)$. Графически данный алгоритм представлен на рис. 2.

Сформированная оценка величины $\tilde{S}_W$ соответствует переходной области значений интенсивности ТИ, в которых присутствуют как отсчеты изображений ДО, так и фоновая компонента.

В качестве порога бинаризации принимается значение, превышающее определенное значение $\tilde{S}_W$, например величина порогового уровня S_W.

Для усредненной гистограммы определяются: динамический диапазон интенсивности $D^H = [S_{\min}^H, S_{\max}^H]$, его середина $S_M^H = 0.5(S_{\min}^H + S_{\max}^H)$, уровень интенсивности АИ, соответствующий глобальному максимуму гистограммы $S_I = \arg\max H_\Sigma(S)$, вводится параметр S_T, определяющий границы переменного и квазипостоянного участков усредненной гистограммы (рис. 2).

При скользящем значении S_T строятся аппроксимации усредненной гистограммы в классе линейных функций $\hat{H}_1(S) = H_{01} - A \cdot (S - \overline{S}_1)$ на интервале интенсивности $I_1 = \left[S_I, S_M^H - S_T \right]$ и $\hat{H}_2(S) = H_{02}$ на интервале интенсивности $I_2 = \left[S_M^H - S_T, S_{\max} \right]$. Для каждого из интервалов определяются ошибки аппроксимации.

С ростом величины S_T ошибка аппроксимации функцией $\hat{H}_2(S)$ растет, так как начинает сказываться переходная область ΔS гистограммы $H_\Sigma(S)$, в которой происходит нелинейное уменьшение ее значений, а ошибка аппроксимации функцией $\hat{H}_1(S)$ уменьшается, т.к. определяется по квазилинейному участку гистограммы ошибка аппроксимации функцией $H_\Sigma(S)$.

В качестве граничного значения интенсивности $S_T^{\text{ГР}}$, принимается значение, при котором нарушается адекватность представления $\hat{H}_2(S) = H_{02}$, т.е. статистически значимым становятся линейная и нелинейные составляющие гистограммы $H_\Sigma(S)$ на интервале $I_2 = \left[S_M^H - S_T, S_{\max} \right]$. Для проверки адекватности представления $\hat{H}_2(S) = H_{02}$ используется критерий Фишера.

В качестве порогового уровня принимается величина $\tilde{S}_W$, определяемая как точка пересечения аппроксимирующей прямой $\hat{H}_1(S) = H_{01} - A \cdot (S - \overline{S}_1)$, полученной на интервале $I_1 = \left[S_I, S_M^H - S_T^{\text{ГР}} \right]$ с осью абсцисс: $S_\Pi = \tilde{S}_W = \dfrac{H_{01}}{A} + \overline{S}_1$.

3. Зарегистрированные АИ подвергаются нелинейной обработке с определенным выше порогом

$$B_L(\vec{r}, t_k) = \begin{cases} B(\vec{r}, t_k), & \left| B(\vec{r}, t_k) \right| \geq S_\Pi \\ 0, & \left| B(\vec{r}, t_k) \right| < S_\Pi \end{cases}. \qquad (2)$$

4. Формирование совокупности РИ $B_P^k(\vec{r}, t_k)$ путем покадрового вычитания АИ, подвергнутых нелинейной обработке (2) $B_L(\vec{r}, t_k)$ и $B_L(\vec{r}, t_{k-1})$ по алгоритму (1). Данная операция подавляет постоянную во времени фоновую компоненту $B_\Phi^{St}(\vec{r}, t_k)$, снижает влияние низкоэнергетического флуктуирующего нестационарного фона. Анализ РИ показал, что закон плотности вероятности их интенсивности аппроксимируется в классе обобщенных экспоненциальных законов распределения вида $p\left(|B|\right) = c \cdot \exp\left(-q|B|^\gamma\right)$. Для исследуемых реализаций $\gamma \simeq 1{,}5$; $q \simeq 0{,}026$.

5. Пороговая обработка разностного изображения. Каждое РИ подвергается пороговой обработке с порогом h_1, при этом формируется пространственная маска РИ

$$F_P^k(\vec{r},t_k)=\begin{cases}1, & \left|B_P^k(\vec{r},t_k)\right|\geq h_1\\ 0, & \left|B_P^k(\vec{r},t_k)\right|<h_1\end{cases}. \qquad (3)$$

Данная маска несет информацию о пространственной локализации ДО, (формируя две в общем случае частично пересекающиеся области, соответствующие положению ДО на (*k-1*)-м и *k*-м изображениях) и выбросах поля нестационарной фоновой компоненты. Величина порога h_1 имеет оптимум. Увеличение величины порога h_1 приводит к снижению влияния фоновой нестационарной компоненты за счет уменьшения площади маски РИ, занимаемой остаточным фоном, однако увеличивает минимальное пороговое значение контраста ДО и излучающего фона при операции обнаружения. Определяющим фактором при выборе порога является необходимость создания пятенной структуры РИ, что позволит применить операции сегментирования изображения.

Для дальнейшего рассмотрения перейдем к дискретной форме представления кадров АИ. Тогда кадр АИ можно представить как матрицу $\left\{B_{i,j}^k\right\}$, количество строк и столбцов которой соответствует количеству строк и столбцов кадра зарегистрированного изображения.

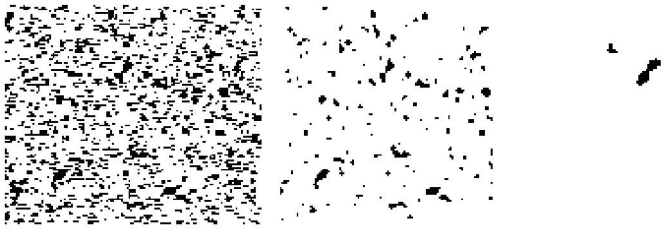
Тогда пространственная маска РИ (3) может быть записана как $F_P^k(\vec{r},t_k)\leftrightarrow\left\{F_{Pij}^k\right\}$, где $i=1\ldots N_1,\ j=1\ldots N_2$ – номера элементов разложения изображения по двум ортогональным направления растра размером $N_1\times N_2$.

6. Фильтрация и сегментация маски РИ. Маска РИ, подвергнутого пороговой обработке, представляет собой совокупность случайно локализованных по полю АИ выбросов случайного поля нестационарной фоновой компоненты. На рис. 3,а приведен фрагмент маски РИ. Видно, что подавляющее количество выбросов занимает малое количество элементов разложения (характерные размеры 1-2 элемента), что позволяет рассматривать их как импульсные помехи. Для устранения влияния малоразмерных пятен введена операция фильтрации маски РИ по связности. Данная операция заключается в определении для каждого ненулевого элемента маски $\left\{F_{Pij}^k\right\}$ количественной характеристики пространственной связности – количества ненулевых элементов маски РИ N_{ij} в стробе размером 3x3 элемента, центрированном относительно анализируемого элемента $\left\{F_{Pij}^k\right\}$ и дальнейшей нелинейной обработке маски РИ по следующему алгоритму:

$$M_{ij}^k=\begin{cases}1, & \text{если } (F_{ij}^k=1)\wedge(N_{ij}>N_{\text{пор}})\\ 0, & \text{иначе}\end{cases}, \qquad (4)$$

где $N_{\text{пор}}$ – пороговое значение связности.

Для элементов разложения изображения ДО, находящегося на его границе, $N = 5$, поэтому для предложенного алгоритма может быть априорно выбрано $N_{пор} = 5$. На рис. 3,б приведен результат фильтрации по связности РИ, показанного на рис. 3,а. Наблюдается существенное снижение количества ЛО, соответствующих выбросам нестационарного фона.



а б в

Рис. 3. Вид фрагмента РИ (а), РИ, подвергнутого фильтрации по связности (б) и суммарно-разностного изображения, содержащего ДО (в)

Отфильтрованные по связности маски РИ подвергаются операции сегментации [2]. В результате выполнения операции сегментации над маской РИ формируется маркированная пятенная картина изолированных локальных областей (ЛО) $\left\{S^k_{J1ij}\right\}$ маски *k*-го РИ $\left\{M^k_{ij}\right\}$, пространственно совпадающая с маской, где всем пространственно связанным элементам, составляющим изолированное пятно, присваивается один и тот же номер:

$$\left\{M^k_{ij}\right\} = \left\{S^k_{1\,ij}\right\} \cup \ldots \cup \left\{S^k_{Jij}\right\} \cup \ldots \cup \left\{S^k_{Pij}\right\},\ \left\{S^k_{J1ij}\right\} \cap \left\{S^k_{J2ij}\right\} = \varnothing,\ J1 \neq J2.$$

На этом заканчивается алгоритм обработки одиночного РИ. Его результатом для каждого *k*-го изображения является отфильтрованная маска РИ $\left\{M^k_{ij}\right\}$ и совокупность векторов параметров $\vec{X}_J$, $J = 1 \ldots P_k$.

Далее цикл операций 3-7 повторяется, формируя маску второго и последующих РИ.

8. Формирование маски суммарно-разностного изображения. Операция формирования маски суммарно-разностного изображения $\left\{Q^k_{ij}\right\}$ предназначена для формирования строба, соответствующего ДО и максимальной фильтрации областей маски РИ, соответствующих выбросам нестационарного фона.

При выполнении данной операции для каждой из ЛО (*k-1*)-й $\left\{M^{k-1}_{ij}\right\}$ и *k*-й $\left\{M^k_{ij}\right\}$ масок РИ проводится анализ межкадровой связности ЛО. Из формируемого суммарно-разностного изображения исключаются пространственно разрывные ЛО, соответствующие выбросам шума регистратора и случайного поля нестационарного фона, для которых выполняется условие непересечения $S^k_{J1\,ij} \cap S^{k-1}_{L1\,ij} = \varnothing$.

В результате маска суммарно-разностного изображения $\left\{Q_{ij}^{k}\right\}$ содержит только те ЛО (*k-1*)-й и *k*-й масок РИ, для которых выполняется условие $S_{J1\ ij}^{k} \cap S_{L1\ ij}^{k-1} \neq \varnothing$. Очевидно, что при суммировании масок РИ $\left\{M_{ij}^{k}\right\}$ с $k = 1 \ldots K$ будут выделены только те ЛО, которые образуют пространственно связанную область на всех анализируемых РИ.

9. Обнаружение ДО. Формирование маски суммарно-разностного изображения производится по совокупности РИ. При этом на каждом этапе формирования суммарно-разностного изображения (при увеличении количества суммируемых РИ) для отселектированных ЛО определяются их геометрические размеры ($D_{\min}^{k}$ и $D_{\max}^{k}$) в двух ортогональных направлениях (в общем случае не совпадающих с направлениями дискретизации растра), соответствующие минимальному и максимальному размерам ЛО.

Для суммарно-разностного изображения ДО с увеличением количества суммируемых РИ отношение $W_{ДО}^{k} = D_{\max}^{k} \big/ D_{\min}^{k}$ возрастает, причем скорость роста $\dot{W}_{ДО}^{k} = (W_{ДО}^{k} - W_{ДО}^{k-1})T^{-1}$ практически постоянна, т.к. определяется скоростью движения ДО, которая на малых интервалах поиска и обнаружения постоянна. Применительно к остаточным выбросам поля нестационарного фона отношение $W_{Ф}^{k}$ близко к 1 (для изотропных областей фона), а изменения величины $W_{Ф}^{k}$ при увеличении интервала суммирования РИ носят случайный характер. На рис. 3,в приведены маски ЛО ДО и остаточного фона.

Таким образом, для каждой ЛО в процессе формирования суммарно-разностного изображения на каждом этапе суммирования текущей маски суммарно-разностного изображения с текущей маской РИ проводится определение параметра $W_{ДО}^{k}$ и его сравнение с порогом.

Решение об обнаружении ДО может быть принято при достижении параметром $W_{ДО}^{k}$ априорно заданной величины (3-5). Определение координат ДО производится посредством анализа ЛО, соответствующей ДО, после принятия решения об обнаружении и проводится как координаты энергетического центра ЛО, соответствующей изображению ДО.

Рассмотренный в данной работе алгоритм обнаружения и определения координат ДО был апробирован при обработке реальных изображений ИСЗ, наблюдаемых на фоне звездного неба в ночных и сумеречных условиях и показал свою высокую эффективность. При обработке результатов наблюдений ИСЗ длительностью от 1 до 2 минут каждое обнаружение ДО обеспечивалось во всех реализациях при интервале накопления суммарно-разностного изображения от 7 до 11 изображений в зависимости от скорости видимого движения ИСЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочкин В.А., Кутаев Ю.Ф., Сальников И.И. Алгоритм нелинейной суммарно-разностной обработки динамических изображений // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : Сб. ст. Всеросс. науч.-техн. конф. – Пенза, 2006. – С. 23 – 25.

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).

3. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.

УДК 004.93
ББК 30

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИЗ АЭРОФОТОСНИМКОВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

© ***А.В. Бурмистров***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***И.И. Сальников***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

METHOD OF SHAPING OF TOPOGRAPHICAL PLANTS ON AERIAL PHOTOGRAPHS OF VILLAGE DISTRICT

© ***A.V. Burmistrov***, *the Penza state technological academy (Penza, Russia)*

© ***I.I. Salnikov***, *the Penza state technological academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена методам автоматического формирования электронной карты сельской местности по данным аэрофотосъемки с помощью беспилотных летательных аппаратов. Разработка подобных методов и программного обеспечения для их реализации будет способствовать развитию оперативного мониторинга земной поверхности в интересах различных наземных служб.

Ключевые слова: распознавание образов, обработка изображений, электронные карты.

The paper is devoted to methods of automatic shaping of an electronic map of village district on datas of air photography with the help of of pilotless flight vehicles. The development of similar methods and softwares for their realization will promote development of operating monitoring of a terrestrial surface in interests of various ground services.

Key word: a pattern recognition, image processing, electronic maps.

E-mail: bidika@pgta.ru

Беспилотные летательные аппараты и современная фотоаппаратура позволяют быстро и дешево получать аэрофотоснимки высокого качества (рис. 1), которые состоят из: изображения полезных объектов (ИПО) – это

строения, дороги и водоемы; изображения растительного фона (ИРФ) – это поля, леса и огороды. Чтобы получить топографическую карту местности, необходимо каждое ИПО представить в виде набора примитивов, составляющих объекты топографической карты. Определение границ с последующим формированием графических примитивов позволит автоматически находить и определять топографические объекты.

В статье представлено описание метода, который позволяет автоматически формировать топографические объекты из аэрофотоснимков сельской местности.

Метод состоит из пяти этапов:

1) получение изображения границ;
2) объединение соседних точек, образующих границу, в одну группу;
3) удаление разрывов границы;
4) формирование линейного графического примитива для каждой группы;
5) объединение линейных примитивов в один топографический объект.

Рис. 1. Фрагмент аэрофотоснимка сельской местности

Этап 1. Получение изображения границ

На первом этапе аэрофотоснимок обрабатывается с целью получения изображения границ ИПО. Для этого к каждой точке изображения $S_K^{(V)}(x,y)$ применяется оператор вычисления градиента $G^{(V)}(x,y)$, который показывает скорость и вектор изменения яркости между точками. Хороший результат получается, если использовать оператор градиента Лапласа $G_L^{(V)}(x,y)$ и Собела $G_S^{(V)}(x,y)$ [1]. Если использовать локальную обработку изображения и представить окрестность вокруг точки с координатами $S_K^{(V)}(x,y)$ в виде матрицы 3×3:

$$M_S^{(V)} = \begin{bmatrix} S_K^{(V)}(x-1,y-1) & S_K^{(V)}(x,y-1) & S_K^{(V)}(x+1,y-1) \\ S_K^{(V)}(x-1,y) & S_K^{(V)}(x,y) & S_K^{(V)}(x+1,y) \\ S_K^{(V)}(x-1,y+1) & S_K^{(V)}(x,y+1) & S_K^{(V)}(x+1,y+1) \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

тогда вычисление оператора градиента можно представить как пространственную фильтрацию с маской в виде матрицы 3×3 :

$$M_K^{(V)} = \begin{bmatrix} K_1 & K_2 & K_3 \\ K_4 & K_5 & K_6 \\ K_7 & K_8 & K_9 \end{bmatrix}, \tag{2}$$

где K_i – коэффициент маски.

Отклик фильтра задается суммой произведений коэффициентов фильтра $M_K^{(V)}(x, y)$ на соответствующее значение точек в области $M_S^{(V)}(x, y)$:

$$G^{(V)} = \sum_{x=0}^{2} \sum_{y=0}^{2} M_S^{(V)}(x, y) \cdot M_K^{(V)}(x, y). \tag{3}$$

В расчетах используется только яркость точки $S_K^{(V)}(x, y)$ (слой яркости). Задавая коэффициенты маски $M_K^{(V)}(x, y)$, можно получить отклик фильтра, соответствующий вычислению оператора градиента. На рис. 2 представлены результаты обработки фрагмента изображения, представленного на рис. 1 разными градиентными операторами.

Следует отметить, что градиентный оператор Собела хорошо определяет границы, ориентированные в одном направлении и с перепадом яркости в одну сторону (перпендикулярную направлению). Поэтому, например, для получения изображения с горизонтальными границами нужно использовать две маски (одна для границ сверху вниз, другая для границ снизу вверх).

В работе было определено, что не все границы можно найти, учитывая только яркость в точке. Поэтому для поиска дополнительных границ в работе учитывались интенсивность и цвет в точке. Для поиска дополнительных границ, используя интенсивность, маску с коэффициентами M_K оставляем неизменной $M_K^{(S)} = M_K^{(V)}$, а матрицу, описывающую окрестности вокруг точки M_S по аналогии с (1), заполним не значением яркости, а значением интенсивности. При этом получаем матрицу $M_S^{(S)}$.

Интенсивность не сильно изменяется в пределах одного ИПО (или ИРФ), поэтому получаем изображение (рис. 2,д), на котором проявляются ”дополнительные” границы, заметные при переходе от области с ИРФ к области с ОПО (или от одной области с ИПО к другой области с ИПО).

Яркость и цвет измеряются количественно, а цветовой тон нет, т.к. определяет (показывает) качество, но, не смотря на это, цветовой тон при переходе от ИРФ к ИПО изменяет свое значение, следовательно, его можно использовать для поиска границ ИПО.

а) оператор градиента Лапласа для слоя яркости V

$$M_K^{(V)} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

в) оператор градиента Собела для слоя яркости V

$$M_K^{(V)} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

д) оператор градиента Собела для слоя интенсивности S

$$M_K^{(S)} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

б) оператор градиента Лапласа для слоя яркости V

$$M_K^{(V)} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

г) оператор градиента Собела для слоя яркости V

$$M_K^{(V)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

е) оператор градиента Собела для слоя цветового тона H

$$M_K^{(H)} = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Результат преобразования изображения с использованием операторов градиента Лапласа и Собела для слоя яркости, интенсивности и цветового тона

Чтобы получить изображение границ, используя цветовой тон, точки (рис. 2,е), маску с коэффициентами M_K оставляем неизменной $M_K^{(H)} = M_K^{(V)}$, а матрицу, в окрестности вокруг точки M_S, по аналогии с (1), заполняем не значением яркости, а значениями цветового тона, получаем при этом матрицу $M_S^{(H)}$. Учитывая то, что яркость и интенсивность изменяются от 0 до

1 (от 0 до 255), а цветовой тон изменяется от 0 до 360, нужно отклик фильтра приводить к диапазону, который, как и яркость с интенсивностью, изменяется от 0 до 1.

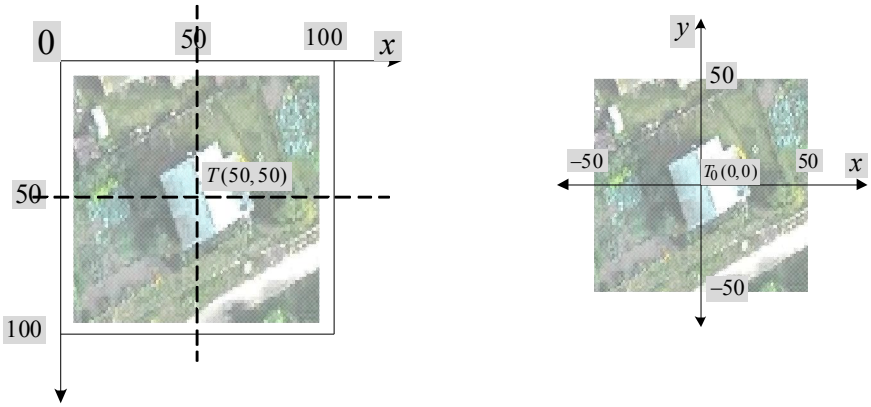
Этап 2. Объединение соседних точек, соответствующих границе ИПО в виде линии, в одну группу

После того, как мы получили изображение с границами, необходимо найти на нем ярко выраженные линии, которые составляют контуры (границы) ИПО. Затем необходимо объединить точки, составляющие такую линию в одну группу. Использовать алгоритм анализа связанности [3] невозможно по следующим причинам:

- все, даже малозаметные, стоящие рядом точки будут сгруппированы в “ненужную” линию;
- не все точки будут сгруппированы в одну ”нужную” линию;
- через одну точку может проходить несколько линий (включая ”нужную”), в результате чего все они окажутся одним объектом.

Чтобы разбить точки на отдельные группы, соответствующие одному контуру в форме прямой, разработан алгоритм, описание которого представлено ниже.

Поскольку изображение является массивом из точек с началом координат в верхнем левом углу (рис. 3,а), а в методе нужно строить прямые, то для удобства расчетов будем считать, что метод работает в другом пространстве, в котором начало координат проходит через точку $T_0(0,0)$ (рис. 3,б), которая соответствует выбранной на изображении точке $T(i,j)$. В дальнейшем при описании метода, указывая координаты (x,y), будем считать, что они указывают на точку изображения по ”пересчитанным” координатам относительно T.



а) б)

Рис. 3. Координаты на изображении (а) и в описании метода (б)

Алгоритм имеет следующий вид.

1. Выбирается первая точка на изображении границ T_0.

2. Проверяется, находится она на границе ИПО или нет. Для этого сравнивается яркость в точке T_0 с порогом $\min V$. Если $S_\Gamma(T_0) \geq \min V$, значит точка находится на границе и выполняется пункт 3. В противном случае выбирается следующая точка на изображении.

3. Сначала через точку T_0 строится вертикальная прямая p_0 с углом $a = 0^\circ$ от одного края изображения до другого (рис. 4.) Для этого используется уравнением прямой

$$p = x \cdot \cos(a) + y \cdot \sin(a). \tag{4}$$

Затем, прибавив к углу a единицу, строют следующую прямую p_1, повернутую относительно p_0 на один градус. Чтобы охватить все направления следования границы, строится 180 прямых p_n ($n = 0,1..180$);

4. Анализируются все прямые p_n для точки T_0. Поскольку точка находится на границе ИПО (определяется в пункте 2), следовательно, одна из построенных линий p_n обязательно должна пройти по направлению следования контура (имеется в виду контура в виде линии).

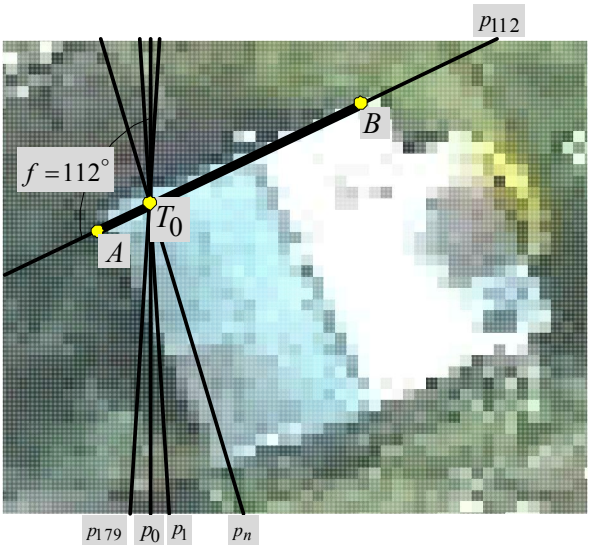


Рис. 4. Подбор прямых для одной точки

Остается выбрать нужную линию p_n и ограничить ее с двух сторон, чтобы она соответствовала длине контура. Для этого анализируются точки на изображении границ “под” каждой прямой p_n.

Анализ одной прямой p_n заключается в следующем. Двигаемся по прямой от точки T_0 сначала в одном направлении до края изображения, затем в другом направлении до другого края изображения. По мере следования по прямой к краю сравнивается яркость точек на изображении границ “под” прямой с яркостью в T_0. Если яркость точки “под” прямой сильно

отличается от яркости в точке T_0, это означает, что найдена точка A, которая ограничивает прямую с одной стороны. Таким образом, находим две точки A и B, которые ограничивают прямую с двух сторон. После этого вычисляется расстояние между точками A и B по формуле

$$d(A,B) = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}\ . \qquad (5)$$

Проанализировав все прямые p_n, выбирают ту, расстояние d у которой самое большое. Если у выбранной прямой $d < \min D$, значит, через точку T_0 проходит контур меньше заданной минимальной протяженности $\min D$, и точка игнорируется, т.е. выбирается следующая точка T_0. В противном случае запоминаем параметры выбранной максимальной прямой p_n для точки T_0: $S_L(x,y) = d$ (длина прямой), $S_A(x,y) = A$, $S_B(x,y) = B$, $S_a = a$ (угол у выбранной прямой).

5. После того как выполнен перебор всех точек на изображении границ и выполнен подсчет для них S_L, S_a, нужно объединить схожие по подсчитанным параметрам точки в одну группу G_m (m – максимальное количество контуров в форме линии на изображении границ).

6. Выбирается на изображении точк C_0 и сравнивается со всеми окружающими соседними точками $C_1, C_2..C_i$, где $i = 0,1..8$ (рис. 5). Если у двух соседних точек C_0 и C_i схожие параметры, т.е. $|S_L(C_0) - S_L(C_i)| \le \min L$ и $|S_a(C_0) - S_a(C_i)| \le \min A$ (где $\min L$ – минимальная разница между длинами линий, а $\min A$ – минимальная разница в углах между линиями), тогда координаты точек C_0 и C_i добавляются в одну группу G_j.

C_1	C_2	C_3
C_8	C_0	C_4
C_7	C_6	C_5

Рис. 5. Обозначение соседних точек

В качестве примера на рис. 6 можно увидеть изображение всех групп, которые получились из изображений границ на рис. 2,в и 2,г.

Этап 3. Удаление разрывов контуров

На рис. 6 можно заметить нежелательные и неизбежные моменты:

- некоторые контуры имеют разрывы;
- несколько последовательно расположенных по одной линии, но слегка изогнутых прямых являются продолжением одной более длинной прямой;
- несколько прямых могут идти параллельно друг другу на очень маленьком расстоянии, их нужно воспринимать как одну прямую.

Рис. 6. Формирование линейных примитивов вдоль контуров

Чтобы устранить описанные выше нежелательный моменты, разработан специальный алгоритм, который описан ниже.

1. Выбирается первая линия L_0.

2. Выбирается точка, являющаяся одним концом линии $A = L_k^{(A)}$. Определяется угол поворота прямой a.

3. Сначала строится от точки A прямая p_0 с углом a и длиной H, которая является продолжением линии L_0 (рис. 7). Далее, прибавляя к углу поворота a один градус, затем отнимая от угла поворота a один градус, строим несколько прямых p_j с длиной H, покрывая тем самым конус по направлению следования прямой. Количество прямых p_j определяется допустимым отклонением $DeltaA$ от угла поворота a прямой L_0, т.е. $j = 0,1..DeltaA$.

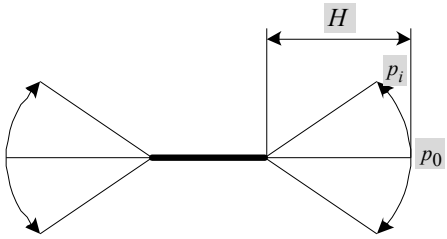


Рис. 7. Соединение прямых в одном направлении

4. Проверяется, не пересеклась ли одна из прямых p_j с другими прямыми. Если прямая p_j пересеклась с другой прямой p_i (i – номер прямой на изображении, измеряется от 0 до максимального количества линий) и их углы поворота схожи, т.е. $a_0 | a_{p_j} - a_{p_i} | \le DeltaU$, тогда объединяем их в одну линию.

Этап 4. Формирование примитивов линий по группам

Теперь нужно каждой группе точек G_j, образующей отдельный линейный контур, поставить в соответствие примитив линии. Для этого каж-

дая группа G_j анализируется следующим образом. Выполняется перебор всех возможных пар точек в группе и рассчитывается расстояние между ними L_{en} по формуле (5). Затем выбирается пара точек, расстояние L_{en} между которыми максимально и по этим двум точкам формируется линия L_k (где k – номер линии). Это позволит перейти от изображения к линейным примитивам.

Этап 5. Объединение линейных примитивов в один топографический объект

Чтобы сгруппировать линии в один топографический объект, можно использовать несколько алгоритмов. Ниже приведено описание разработанного алгоритма, который объединяет линии вокруг одного ИРФ в один топографический объект (иллюстрация работы алгоритма представлена на рис. 8).

1. Выбирается первая линия L_0.

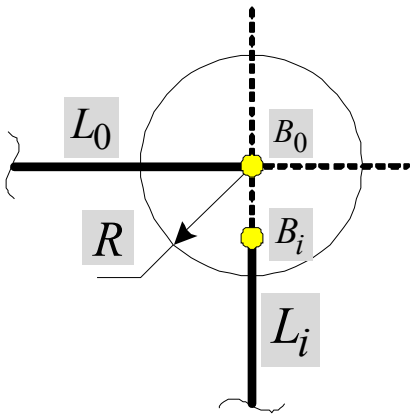


Рис. 8. Работа алгоритма формирования топографических объектов

2. Сравнивается выбранная линия L_0 со всеми остальными линиями L_i (i изменяется от 0 до значения максимального количества линий). Чтобы сравнить линии L_0 и L_i, необходимо делать следующее:

- определяется, пересекаются линии L_0 и L_i (или их продолжение) или нет, для этого воспользуемся (4). Если линии пересекаются, тогда проверяем, можно их объединить в одну группу Q_j (j – номер группы), содержащую линии, принадлежащие одному топологическому объекту, или нет;
- рассчитывается угол поворота a_0 для линии L_0 и, соответственно, a_i для линии L_i;
- рассчитывается расстояние между точками, которые ограничивают линии L_0 и L_i с двух сторон по формуле (5): $d_0(A_0, A_i)$, $d_1(A_0, B_i)$, $d_2(B_0, A_i)$, $d_3(B_0, B_i)$;

● предположив, что две линии L_0 и L_i окружают одно ИПО в виде прямоугольника (квадрата), можно сделать вывод, что они будут перпендикулярны друг другу (или почти перпендикулярны с отклонением Δ). Следовательно, если линии L_0 и L_i расположены на небольшом расстоянии R, т.е. $d \le R$ и угол между ними $\alpha = | a_0 - a_i |$ находится в пределах $90 - \Delta \le \alpha \le 90 + \Delta$, значит эти линии можно объединить в одну группу Q_j.

3. Выбирается следующая линия.

4. Удаляются группы, которые содержат менее трех линий.

Таким образом, линии около одного ИПО объединяются в одну группу Q_j. На рис. 9,а отображены линии, которые принадлежат топографическим объектам в виде строений.

а) б)

Рис. 9. Группы линий, образующие топографические объекты

Недостатком алгоритма является то, что он может объединить несколько топографических объектов в один, если они расположены близко друг к другу (ближе R). Устранить этот недостаток можно, используя анализ прилегающих к линии областей с ИПО и ИРФ. Еще один недостаток алгоритма – это появление ложных топографических объектов, состоящих из малого количества линий, устранить который можно, установив минимальное количество линий, образующих группу с топографическим объектом (рис. 9,б).

Аэрофотоснимки сельской местности состоят из больших областей ИРФ и расположенных на них ИПО, к которым относятся: строения, дороги и водоемы. Главная задача распознавания аэрофотоснимков – поиск объектов в виде строений и дорог, которые состоят из линий. Изложенный выше метод ориентирован на поиск контуров в виде линий и формирование из них прямоугольных объектов, что позволяет за пять этапов автоматически распознать на аэрофотоснимках строения и представить их в виде сгруппированных топографических линейных примитивов, образующих топографический объект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М. : Мир, 1982. – 790 с.

2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений – М. : Техносфера, 2006. – 1072 с.

3. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ / Я.А. Фурман (ред.) [и др.]. – СПб. : Физматлит, 2003. – 592 с.

4. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.

5. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических сферах. – М. : Физматлит, 2011. – 252 с.

6. Журавлёв Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и распознавание изображений. – М. : Наука, 1989.

7. http://ru.wikipedia.org

УДК 004.93
ББК 22

ВЫБОР СИСТЕМЫ ЦВЕТОВОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ЕГО ЦВЕТА

© ***И.Р. Двойной***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

CHOICE OF COLOR CODES FOR DETECTION FACIAL IMAGE THROUGH ITS COLORS

© ***I.R. Dvoynoy***, *the Penza state technological academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрен метод распознавания изображения лица человека по цвету кожи. При массовом использовании систем видеонаблюдения встает вопрос автоматического поиска тех или иных лиц, при этом важным этапом является выделение на изображении массового скопления людей изображения их лиц.

Ключевые слова: цвет лица, цветовая система, размерная селекция.

The paper presents a method of recognizing human face image based on color. With the mass use of CCTV question automatic search of any persons at the most important stage is the identification of the image crowded images of their faces.

Key word: color of a face, color system, dimensional selection.

Цвет является одной из характеристик человеческого лица. Использование цвета кожи в качестве признака для выделения лица на изображении имеет ряд преимуществ. Обработка цвета осуществляется значительно быстрее, чем обработка геометрических характеристик лица. Кроме того, цвет не зависит от ориентации лица. Тем не менее, даже при фиксированном

освещении цвет лица отличается от человека к человеку. Чтобы эффективно использовать цвет для выделения области лица на изображении, необходимо определить функцию, описывающую группу цветов, наиболее близкую к цвету кожи человека. Основной проблемой в данном случае является выбор *цветовой системы кодирования*.

На рис. 1 представлен набор фрагментов, взятых с различных фотографий лиц, на основе которых производилось исследование.

Наиболее распространенной цветовой моделью, применяемой в компьютерах и в телевидении, является *RGB-система* [1]. *RGB* (*Red*, *Green*, *Blue* – англ., красный, зелёный, синий) – аддитивная цветовая модель, как правило, описывающая способ синтеза цвета для *цветовоспроизведения* в цветных мониторах, в цветных телевизорах.

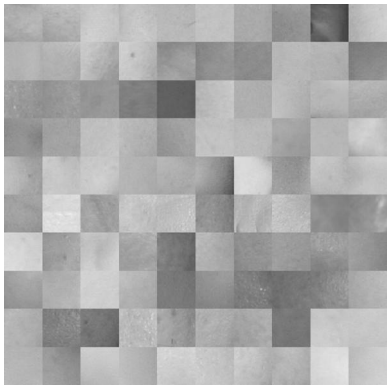


Рис. 1. Набор тестовых изображений оттенков цвета лица человека

Выбор основных цветов обусловлен особенностями физиологии восприятия цвета сетчаткой человеческого глаза. Изображение в *RGB* цветовой модели состоит из трёх каналов. Для большинства приложений значения координат *r, g* и *b* можно считать принадлежащими отрезку [0,1], что представляет пространство *RGB* в виде куба 1Ч1Ч1. В компьютерах для представления каждой из координат традиционно используется один *октет*, значения которого обозначаются для удобства целыми числами от 0 до 255 включительно.

На рис. 2,а показаны гистограммы, наиболее характерные для изображения, содержащего фрагмент кожи лица, представленного в цветовой модели *RGB*. В зависимости от характеристик источника света вид гистограммы может изменяться в широких приделах. На рис. 3,а видно, что цвет, характерный для кожи лица, занимает значительную часть цветового пространства *RGB*, что делает цветовую модель *RGB* малопригодной для выделения лица на изображении на основе цвета.

HSL – цветовая модель, в которой цветовыми координатами являются *тон, насыщенность* и *светлота*. Данная цветовая модель обеспечивает непосредственный контроль яркости и тона и позволяет обрабатывать непосредственно параметры цветности, связанные со свойствами поверхности, а не источника света.

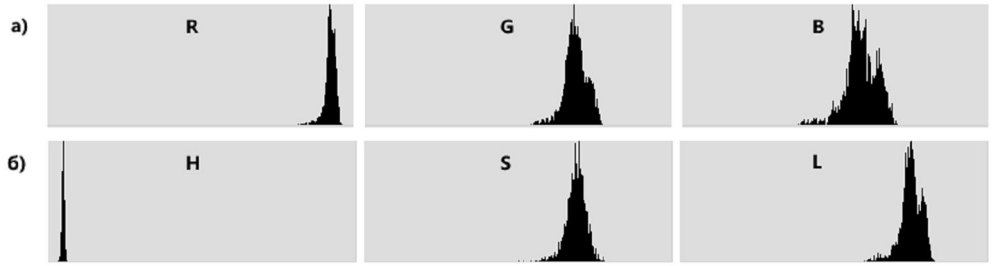
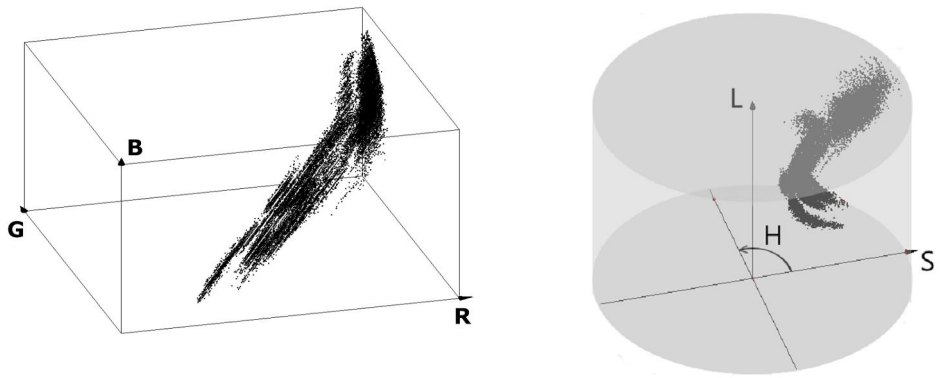


Рис. 2. Гистограммы образца цвета кожи:
а) в системе RGB, б) в ситеме HSL

На рис. 2,б приведена гистограмма изображения, содержащего фрагмент кожи лица, представленного в цветовой модели *HSL*. Исследования показали, что источник света оказывает минимальное влияние на канал, содержащий информацию о цветовом тоне изображения. При этом цвет, характерный для человеческой кожи, расположен в узкой области цветового пространства (рис. 3,б).

Так как канал светлоты не несет полезной информации для выделения области лица на изображении, его значение можно игнорировать. Таким образом, алгоритм выделения лица на изображении на основе цветовых характеристик можно описать следующим уравнением:

$$S(H,S) = \begin{cases} 1, \text{если } \in \Delta S(\Delta H, \Delta S) \\ 0, \text{если } \notin \Delta S(\Delta H, \Delta S) \end{cases}$$



а) б)

Рис. 3. Область цвета, характерная для кожи лица: а) в системе RGB,
б) в ситеме HSL

Алгоритм предполагает анализ каждого пикселя на предмет его принадлежности к характерной для цвета лица области в цветовом пространстве *HSL*. Если цвет пикселя принадлежит определенному интервалу, то он оставляется на изображении, в противном случае удаляется.

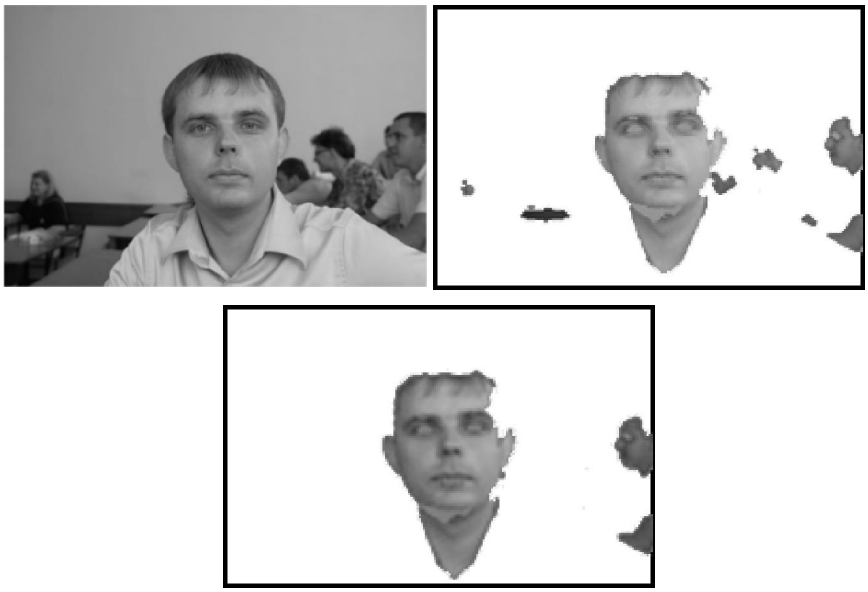


Рис. 4. Пример выделения области лица на основе цвета

На рис. 4 слева направо представлены: исходное изображение; изображение, полученное после цветовой фильтрации; изображение, полученное после выполнения размерной селекции.

В результате тестирования данный алгоритм показал сравнительно высокое быстродействие и качество распознавания.

Выделить лицо на изображении человека – этого еще не достаточно в современных информационных системах наблюдения. Конечная цель подобных систем наблюдения – это распознать человека, то есть соотнести с наибольшей вероятностью с эталонным изображением, хранящимся в базе данных. Поэтому дальнейшими этапами развития метода должны быть следующие [2, 3]:

- выделение контура на изображении лица человека;
- выделение на лице характерных признаков, которыми могут быть различные геометрические параметры;
- обучение системы для формирования эталонного кода и записи его в базу данных;
- формирование меры близости кода, полученного по анализу исходного изображения, и эталонного кода, хранящегося в базе данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цуккерман И.И. Цифровое кодирование телевизионных изображений / И.И. Цуккерман [и др.]. – М. : Радио и связь, 1981.

2. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. – М. : Бином, 2007. – 656 с.

3. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.

УДК 004.93
ББК 22

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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

© ***Д.А. Голдуева***, *Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

© ***Т.А. Богоносцева***, *Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

© ***А.Г. Фахретдинов***, *Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

APPLICATION OF STOCHASTIC GEOMETRY AND FUNCTIONAL ANALYSIS WITH RECOGNITION OF GRAY-SCALE IMAGE

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

© ***D.A. Goldueva***, *Penza State University (Penza, Russia)*

© ***T.A. Bogonosceva***, *Penza State University (Penza, Russia)*

© ***A.G.Fakhretdinov***, *Penza State University, (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены методы распознавания образов, основанные на принципах стохастической геометрии и функционального анализа, позволяющие использовать как геометрические, так и яркостные особенности исследуемых объектов.

Ключевые слова: распознавание образов, геометрические признаки, стохастическая геометрия.

The article describes the methods of pattern recognition based on the principles of stochastic geometry and functional analysis, allowing the use of both geometric and brightness characteristics of the objects.

Key words: pattern recognition, geometric criteria, stochastic geometry.

Полутоновые изображения, в отличие от бинарных, имеют две группы значимых характеристик: геометрическую и яркостную. Поэтому для классификации полутоновых изображений целесообразно создать распознающую систему, учитывающую как геометрические, так и яркостные особенности исследуемых объектов.

Существующие методы распознавания полутоновых изображений, как правило, прибегают к предварительному упрощению исследуемого изображения, приводя его к бинарному виду, теряя при этом зачастую существенную долю информативных характеристик полутоновых объектов. Кроме того, известные методы анализа полутоновых изображений оперируют небольшим количеством признаков, имеющих, как правило, конкретную интерпретацию в терминах рассматриваемой задачи.

В настоящей статье предлагается новый подход к проблеме распознавания полутоновых изображений с позиции стохастической геометрии и функционального анализа, позволяющий учесть как геометрические, так и яркостные особенности исследуемых объектов.

С позиции данного метода признаки изображений имеют структуру в виде композиции трех функционалов [1]

$$P(F) = \Theta \cdot \mathrm{P} \cdot \mathrm{T} f\left(\theta, \rho, t\right), \tag{1}$$

где ρ, θ – нормальные координаты сканирующей прямой $l(\rho, \theta)$, с которыми связаны функционалы P и Θ соответственно; функционал T связан с параметром t, задающим точку на сканирующей прямой $l(\rho, \theta)$; $f(\theta, \rho, t)$ – функция, характеризующая пересечение функции изображения со сканирующей прямой $l(\rho, \theta)$. В связи с характерной структурой такие признаки были названы триплетными.

Для распознавания полутоновых изображений были выделены две группы **триплетных признаков**:

1) признаки, характеризующие геометрические особенности изображения;

2) признаки, характеризующие яркостные особенности изображения.

Признаки первой и второй группы имеют одинаковую трехфункциональную структуру вида (1). Отличие между ними заключается лишь в подходе к заданию характеристик однородных по яркости отрезков сканирующих прямых. Для построения признаков, характеризующих геометрические особенности изображения, однородным по яркости отрезкам сканирующих прямых ставится в соответствие некоторая геометрическая величина (например, длина отрезка). Для построения признаков, характеризующих яркостные особенности изображения, однородным по яркости отрезкам сканирующих прямых ставится в соответствие некоторая яркостная величина (например, средняя яркость отрезка).

Приведем примеры функционалов, участвующих в формировании геометрических и яркостных триплетных признаков.

Трейс-функционалы, участвующие в формировании геометрических признаков:

$\mathrm{T}_1 = \max\limits_i x_i$, где $x_i = \sum\limits_{j=k}^{m} f(\theta, \rho, t_j)$, $t_k = t_{k+1} = \ldots = t_m = 1$, $t_{k-1} = t_{m+1} = 0$ или t_{k-1}, t_{m+1} не принадлежат сетчатке; $\mathrm{T}_2 = \dfrac{1}{k}\sum\limits_{i=1}^{k} x_i$, если $k \neq 0$. В противном случае, $\mathrm{T}_2 = 0$; $\mathrm{T}_3 = \sum\limits_i \left(x_{i+1} - x_i\right)^2$, если $\mathrm{k} \geq 2$.

Трейс-функционалы, участвующие в формировании яркостных при-

знаков имеют аналогичный вид, но $x_i = \dfrac{\sum_{j=k}^{m} f(\theta,\rho,t_j)}{m}$, $t_k = t_{k+1} = \ldots = t_m = 1$,

$t_{k-1} = t_{m+1} = 0$ или t_{k-1}, t_{m+1} не принадлежат сетчатке, где $f(\theta, \rho, t) = \begin{cases} i; & t \in F \cap l, \\ 0; & t \notin F \cap l \end{cases}$

(i – значение яркости в точке t).

Диаметральные функционалы: $\mathrm{P}_1 = \sum_{i=1}^{m} g(\theta_j,\rho_i)\cdot\Delta\rho$ s, где $\Delta\rho$ – шаг сканирования по с; $\mathrm{P}_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} g^2(\theta_j,\rho_i)}$, где $g(\theta_j, \rho_i) = \mathrm{T}(F \cap l(\theta_j,\rho_i))$;

$$\mathrm{P}_3 = \left(\sum_{i=1}^{m}(g(\theta_j,\rho_i)\,\rho_i)\right) / \sum_{i=1}^{m} g(\theta_j,\rho_i).$$

Круговые функционалы: $\Theta_1 = \sum_{j=1}^{n}(h(\theta_{j+1}) - h(\theta_j))^2$, где h(и) = $= \mathrm{P}(g(\theta, \rho))$;

$$\Theta_2 = \sum_{j=1}^{n}\left|h(\theta_{j+1}) - h(\theta_j)\right|; \quad \Theta_3 = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(h(\theta_j))^2}.$$

Благодаря структуре триплетного признака возможно получение большого числа (десятков тысяч) новых конструктивных признаков распознавания. Причем их формирование осуществляется в режиме автоматической компьютерной генерации. Опора на большое количество признаков, описывающих как геометрические, так и оптические особенности полутоновых изображений, позволяет повысить надежность их распознавания.

Рассмотрим решающее правило при распознавании полутоновых изображений.

Аппарат стохастической геометрии предлагает универсальный метод, позволяющий автоматически, без непосредственного участия эксперта генерировать большое число признаков, являющихся математической абстрактной характеристикой изображения. Опора на большое количество признаков повышает надежность распознавания.

Исходная система признаков, независимо от числа её элементов, как правило, избыточна и включает признаки, не влияющие на классификацию или дублирующие друг друга. Вычислительная сложность получения значе-

ний большого числа признаков для каждого распознаваемого изображения, сложность построения решающей процедуры при таком числе признаков, а также неустойчивость результата при учете неинформативных признаков обуславливают целесообразность минимизации признакового пространства.

Минимизация признакового пространства заключается в определении минимального набора эффективных поисковых признаков. В настоящей статье мы рассмотрим подход к проблеме минимизации признакового пространства, основанный на гипотезе компактности, которая формулируется следующим образом: изображения, принадлежащие одному классу, обычно отражаются в признаковом пространстве в геометрически близкие точки, образуя “компактные” сгустки.

Рассмотрим множество $C = A \cup B$, состоящее из n изображений класса A и m изображений класса B. Выберем подмножества $A' \subset A$, мощность которого $\frac{n}{2}$, и $B' \subset B$, мощность которого $\frac{m}{2}$, для обучения системы, т. е. для определения степени значимости каждого признака, оставшиеся подмножества – для испытания обученной системы.

Обозначим Π_{klm} признак, вычисленный путем комбинации k-го trace-функционала с l-м диаметральным функционалом и m-м круговым функционалом. Его значение для изображения класса A и экземпляра s этого класса обозначим Π_{klm}^{As}, соответственно, для класса B и экземпляра s этого класса обозначим Π_{klm}^{Bs}. Вычисляем среднее значение этого признака для всех образцов изображений для обучения $m_{klm} = \frac{2}{n+m}\left(\sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \Pi_{klm}^{Ai} + \sum_{j=1}^{\frac{m}{2}} \Pi_{klm}^{Bj}\right)$.

Стандартное отклонение этого признака по всем классам имеет вид

$$\sigma_{klm} = \sqrt{\frac{2}{n+m}\left(\sum_{i=1}^{\frac{n}{2}}\left(\Pi_{klm}^{Ai} - m_{klm}\right)^2 + \sum_{j=1}^{\frac{m}{2}}\left(\Pi_{klm}^{Bj} - m_{klm}\right)^2\right)}.$$

Признак является эффективным для распознавания изображений, если его значение устойчиво при замене одного экземпляра текстуры на другой того же класса. Таким образом, мы определяем среднюю меру стабильности для каждого признака и измеряем её с использованием дисперсии значений признаков по всему множеству C:

$$q_{klm} = \frac{1}{\sigma_{klm}} \sqrt{\frac{2}{n+m} \left(\sum_{i=1}^{\frac{n}{2}-1} \sum_{h=i+1}^{\frac{n}{2}} \left(\Pi_{klm}^{Ah} - \Pi_{klm}^{Ai} \right)^2 + \sum_{j=1}^{\frac{m}{2}-1} \sum_{t=j+1}^{\frac{m}{2}} \left(\Pi_{klm}^{Bt} - \Pi_{klm}^{Bj} \right)^2 \right)}.$$

Чем меньше q_{klm}, тем более подходящим является признак Π_{klm}. Мы можем установить порог Q, который позволит нам назначить вес признакам:

$$\omega_{klm} = \begin{cases} Q - q_{klm} & \text{, если} \quad q_{klm} \le Q, \\ 0 & \text{, если} \quad q_{klm} > Q. \end{cases}$$

Таким образом, информативными будут те признаки, вес которых не равен 0. Решающая процедура была построена с учетом весовых коэффициентов каждого информативного признака. Её суть заключается в следующем. Обозначим A множество изображений фиброзной ткани, B – множество гистологических изображений, не содержащих фиброзную ткань, t – тестовое гистологическое изображение. Расстояние между тестовым образцом и множеством A есть $d(t, A) = \sum_{klm} \frac{\omega_{klm}}{\sigma_{klm}} \left| \Pi_{klm}^{t} - m_{klm}^{A} \right|$, где $m_{klm}^{A} = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{\frac{n}{2}} \Pi_{klm}^{Ai}$.

Тогда тестовое изображение относят к множеству A, если $d(t, A) < d(t, B)$. Проведенные эксперименты показали высокую эффективность предлагаемого метода применительно к проблеме анализа полутоновых изображений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 12-07-00501.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. – М. : Физматлит, 2009. – 304 с.

УДК 621.397
ББК 30

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© ***В.С. Редькин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***И.И. Сальников***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

DEFINITION SAMPLING INTERVAL AT PROCESSING OF TELEVISION IMAGES

© ***V.S. Red'kin***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***I.I. Salnikov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены методы определения интервала дискретизации телевизионного изображения исходя из теоремы Котельникова и на основе интервала корреляции случайных процессов. Определен максимальный интервал дискретизации, при котором сохраняется информация о форме объекта в виде человека.

Ключевые слова: интервал дискретизации, интервал корреляции, теорема Котельникова, информационный поток.

The article describes the methods of determining the sampling interval based on the television image and the Kotel'nikov theorem, based on the correlation interval of random processes. Determine the maximum sample interval at which the information is stored on the form of the object in the form of a man.

Key words: sampling interval, the correlation interval, Kotel'nikov theorem, the information flow.

Один из способов передачи изображения в телевизионных технических средствах охраны (ТВТСО) – это разовая передача фона и дальнейшая передача разностного кадра, на котором содержится информация об объектах, появившихся в зоне обзора объектива видеокамеры. Как правило, объект, появляющийся в зоне обзора видеокамеры – это человек-нарушитель [1].

Для сокращения потока поступающей информации с видеокамер следует передавать только изображение нарушителя, который может находиться как близко к видеокамере, так и отдалённо от неё. При этом в первом случае поступающая информация о нарушителе избыточна, так как нарушитель находится близко от телекамеры и изображение может занимать весь экран. При удалении от телекамеры изображение нарушителя уменьшается и в пределе может занимать размер в один пиксель. В этом случае становится невозможной идентификация изображения человека. В ТВТСО не требуется высокая разрешающая способность, характерная для телевидения, а важен факт появления нарушителя. В этой связи задача выбора интервала дискретизации изображения с видеокамер в ТВТСО является актуальной.

Алгоритм обработки видеокадра в ТВТСО должен быть следующим:

1) сравнение текущего кадра с “фоновым изображением”;

2) выделение “разностных” областей;

3) поиск среди найденных областей, соответствующих изображению человека;

4) избавление от избыточной информации в разностном кадре путем уменьшения интервала дискретизации.

Важной проблемой на данный момент является неизвестность необходимого числа пикселей или интервала дискретизации, приходящихся на изображение человека. Визуально оценивая изображение человека, сложно определить необходимое количество пикселей для оптимального отличия человека, например, от дерева. На рис. 1 представлен набор изображений одного и того же человека, но при различном интервале дискретизации изображения.

Для оценки необходимого интервала дискретизации можно использовать интервал корреляции, определяемый по автокорреляционной функции (АКФ) от сечений яркости изображения человека [2]:

$$B(\Delta x_i) = \frac{1}{N}\sum_{j=0}^{N-1} S(x_j)S(x_j + \Delta x_i). \qquad (1)$$

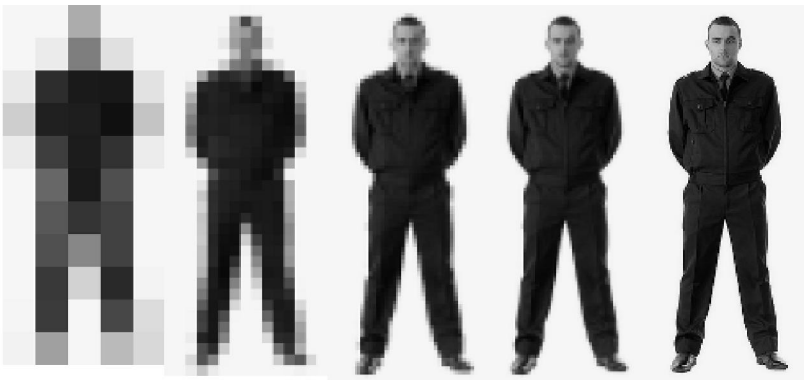


Рис. 1. Изображение человека при различном интервале дискретизации

Изображение человека можно охарактеризовать тремя областями по горизонтали: область головы, область туловища и область ног. Для получения интервала корреляции определялось сечение яркости по этим трём областям с изменением интервала дискретизации изображения человека. На рис. 2 приведен пример для области головы.

Интервал корреляции вычислялся по уровню 0,5 – Д$R_{0,5}$ и в виде эффективного значения – Д$R_{\text{эфф}}$ как ширина прямоугольника с высотой, равной максимальному значению АКФ, и площадью, равной интегралу в бесконечных пределах от АКФ [2].

Из зависимостей интервалов корреляции (рис. 2,в) представляется возможным связать зависимость изменения интервала дискретизации с величиной физической оценки (10 %). Таким образом, необходимым количе-

ством пикселей для передачи информации о частях тела (голова, туловище, ноги) являются следующие значения – по интервалу корреляции по уровню 0,5 – 25, 25 и 12 пикселей, соответственно, и по эффективному интервалу корреляции – 12, 32 и 10, соответственно.

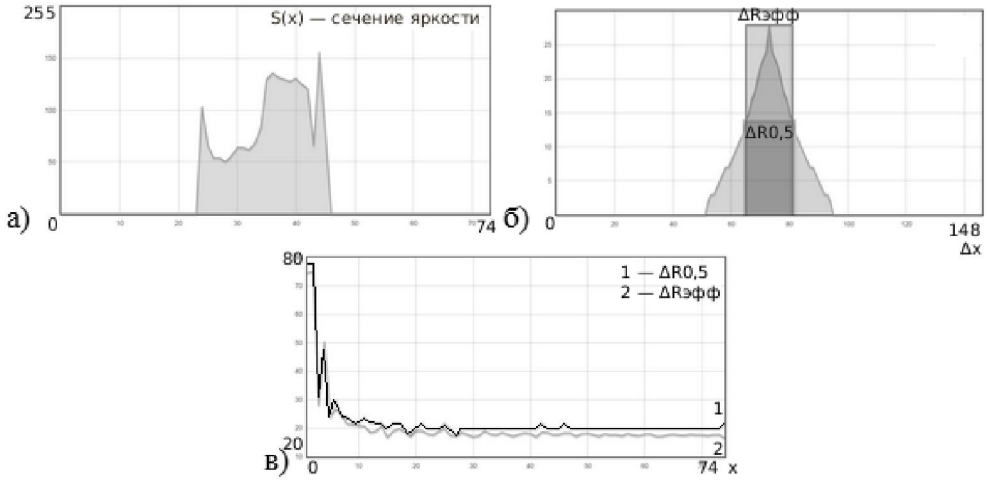


Рис. 2: а) сечение яркости в области головы S(x); б) АКФ сечения яркости B(Дx); в) зависимости интервалов корреляции от размера дискретизации ДR

Среднее значение случайной величины определяется в виде

$$M[X] = \sum_{i=1}^{\infty} x_i p_i \ . \qquad (2)$$

Из полученных данных по сечениям в трёх разных областях изображения человека можно получить количество пикселей, необходимых для распознавания образа человека. Для нахождения среднего значения интервала дискретизации следует учесть вероятности участков, резко отличающихся между собой – голова, туловище, ноги. Отношение их высот равно 1:3:4.

Максимально допустимый интервал корреляции по уровню 0,5:

$x_{\max 0,5} = 1/8 \cdot 25 + 3/8 \cdot 25 + 4/8 \cdot 12 = 18,5 \approx 19$ пикселей.

Максимально допустимый эффективный интервал корреляции:

$x_{\max \text{эфф}} = 1/8 \cdot 12 + 3/8 \cdot 32 + 4/8 \cdot 10 = 18,5 \approx 19$ пикселей.

Так как соотношение высоты и ширины человека равно 1:2, то размеры передаваемого изображения человека с максимально допустимым интервалом дискретизации будут равны 19 Ч 38 пикселей.

Еще одним из критериев определения интервала дискретизации может служить теорема Котельникова [3]:

$$\Delta x = 1/2F_m ,$$

где максимальную частоту в пространственном спектре сигнала представим через интервал корреляции $F_m = 1/\Delta R$. Тогда получим выражение

$$\Delta x = \Delta R / 2 . \qquad (3)$$

$$\Delta x\left(\Delta R_{0,5}\right)^{\text{голова}} = 18/2 = 9; \qquad \Delta x\left(\Delta R_{0,5}\right)^{\text{туловище}} = 66/2 = 33;$$

$$\Delta x\left(\Delta R_{0,5}\right)^{\text{ноги}} = 22/2 = 11$$

$$\Delta x_{\max 0,5} = 1/8 \cdot 9 + 3/8 \cdot 33 + 4/8 \cdot 11 = 19 \text{ пикселей}$$

$$\Delta x\left(\Delta R_{\text{эфф}}\right)^{\text{голова}} = 18/2 = 9; \qquad \Delta x\left(\Delta R_{\text{эфф}}\right)^{\text{туловище}} = 64/2 = 32;$$

$$\Delta x\left(\Delta R_{\text{эфф}}\right)^{\text{ноги}} = 38/2 = 19$$

$$\Delta x_{\max \text{эфф}} = 1/8 \cdot 9 + 3/8 \cdot 32 + 4/8 \cdot 19 = 22{,}625 \approx 23 \text{ пикселя.}$$

Из-за соотношения сторон человека 1:2 размеры передаваемого изображения с человеком с максимально допустимым интервалом дискретизации по критерию теоремы Котельникова будут равны 19 $\times$ 38 и 23 $\times$ 46 пикселей соответственно для интервала корреляции по уровню 0,5 и эффективному.

Полученные значения интервала дискретизации с использованием теоремы В.А. Котельникова совпадают со результатами использования 10 % отклонения. Максимально допустимый интервал дискретизации по двум методам равен 19$\times$38 пикселей (рис. 1, второй слева). “Ступеньки” на контуре изображения не влияют на форму человека, но при этом существенно уменьшается информационный поток. Полученный результат может быть использован в ТВТСО для сокращения потока информации в канале передачи данных и для определения дальности расположения объекта (нарушителя).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М. : Физматлит, 2011. – 252 с.

2. Левин Б.Р. Статистическая радиотехника. – М. : Сов. радио, 1974. – Т. 1.

3. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. – М. : Госэнергоиздат, 1956.

УДК 621.317
ББК 32

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ

© ***И.И. Сальников***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

ESTIMATION OF INFORMATIVE PARAMETERS IN THE FREQUENCY RADIOLUCHEVYH SECURITY EQUIPMENT

© ***I.I. Salnikov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрено влияние амплитуды принимаемого сигнала на ошибку измерения дальности в частотных радиолучевых технических системах охраны при использовании синхронного детектора.

Ключевые слова: синхронный детектор, частотный метод измерения дальности, ошибка, вейвлет-преобразование.

The paper considers the effect of the amplitude of the received signal to a measurement error in the frequency range radioluchevyh technical protection systems using the synchronous detector.

Key words: synchronous detector, frequency method of range measurement, error, wavelet transform.

E-mail: iis@pgta.ru

Радиолучевые технические средства охраны (РЛТСО) являются одними из самых эффективных средств обнаружения нарушителей в охраняемой зоне (ОЗ). К настоящему времени разработано много методов и средств, основанных на использовании ЭМ-волн для обнаружения и извлечения *информативных параметров* из принимаемых ЭМ-волн, связанных с параметрами нарушителя (Н) [1, 2]. Одним из таких методов является частотный метод, основанный на излучении в ОЗ ЭМ-волны с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Отраженная от Н ЭМ-волна принимается приемной антенной, формируя сигнал с ЛЧМ, задержанный относительно излученного.

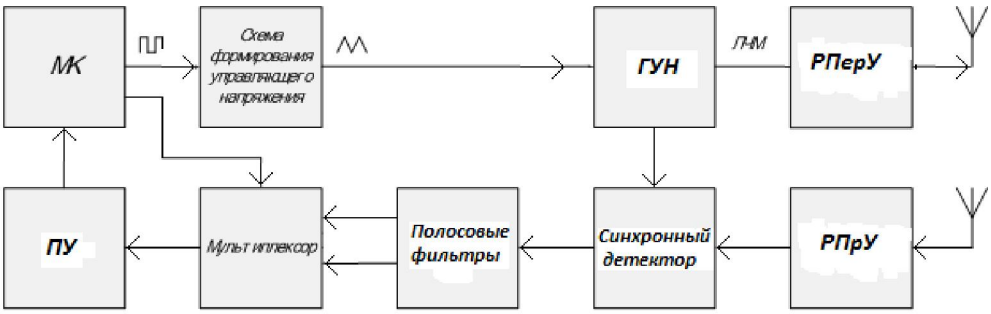


Рис. 1. Структурная схема РЛТСО с ЧМ

На рис. 1 представлена структурная схема РЛТСО [3], реализующая частотный метод обнаружения Н и измерения дальности. Микроконтрол-

лер (МК) формирует периодическую импульсную последовательность с заданным периодом $T_{\text{ЛЧМ}}$, которая преобразуется в линейно-изменяющееся напряжение (ЛИН). Генератор высокочастотных колебаний (ГУН) управляется ЛИН, формируя на выходе ЛЧМ-колебания. Радиопередающее устройство (РПерУ) представляет собой широкополосный усилитель мощности, обеспечивающий заданную мощность ЭМ-колебаний, подводимых к передающей антенне.

Отраженная от цели ЭМ-волна принимается антенной радиоприемного устройства (РПрУ). При этом РПрУ представляет собой высокочастотный широкополосный усилитель, основное требование к которому – обеспечить максимально возможное отношение сигнал – шум. Принимаемое РПрУ колебание с ЛЧМ обладает задержкой во времени, зависящей от дальности $D_{\text{Н}}$ до Н: $t_z = 2D_{\text{Н}} / c$, где c – скорость ЭМ-волн в свободном пространстве.

Для обнаружения Н используется пороговое устройство ПУ, которое выдает сигнал обнаружения, то есть факт наличия Н. Для извлечения информации о дальности используют сложение ЛЧМ-колебаний и формирование *биений.* Для этого применяется *синхронный детектор* (рис. 1), на первый вход которого подается опорное ЛЧМ-колебание с ГУН. В идеальном случае на выходе синхронного детектора формируется колебание с частотой, равной разности опорного и принятого ЛЧМ-колебаний. Если частота передаваемого ЛЧМ-колебания равна $f_{\text{пер}} = f_0 + k_d t$, а принятого колебания равна $f_{\text{пр}} = f_0 + k_d (t - t_z)$, то частота биений на выходе синхронного детектора будет равна

$$f_b = k_d t_z = \frac{2D_{\text{Н}} \cdot (f_{\max} - f_{\min})}{c \cdot T_d} = \frac{2D_{\text{Н}} \cdot f_d}{c \cdot T_d}, \qquad (1)$$

где k_d – коэффициент скорости нарастания частоты на интервале T_d;

f_d – девиация частоты ЛЧМ-колебания,

T_d – период девиации частота.

Из (1) следует, что информативный параметр – дальность до Н, равен

$$D_{\text{Н}} = \frac{f_b \cdot c \cdot T_d}{2 f_d}. \qquad (2).$$

Для определения влияния параметров, входящих в (2), на точность измерения дальности, определим полный дифференциал от (2):

$$\frac{\delta D_{\text{Н}}}{D_{\text{Н}}} = \frac{\delta f_b}{f_b} + \frac{\delta c}{c} + \frac{\delta T_d}{T_d} - \frac{\delta f_d}{f_d}. \qquad (3)$$

Так как $f_b << f_d$, то $\frac{\delta f_b}{f_b} >> \frac{\delta f_d}{f_d}$. Кроме того, T_d, f_d – параметры излучаемого сигнала, точность которых может быть сделана высокой. То есть можно считать, что относительная ошибка измерения дальности в основном будет определяться ошибкой измерения частоты биений, то есть

$$\varepsilon_D = \frac{\delta D_{\text{Н}}}{D_{\text{Н}}} \approx \frac{\delta f_b}{f_b}. \qquad (4)$$

Оценим влияние амплитуды принимаемого ЛЧМ-колебания на ошибку измерения дальности. Запишем суммарный сигнал для переданного и принятого ЛЧМ-колебания, причем учтем для мгновенного значения частоты $\omega_i = 2\pi f_i$:

$$S_i(t) = A_{m,\text{пер}} \cos(\omega_i t) + k_A \cdot A_{m,\text{пр}} \cos(\omega_i t - \varphi_0), \qquad (5)$$

где $k_A = A_{m,np}$ $k_A = A_{m,\text{пр}} / A_{m,\text{пер}} \le 1$ – коэффициент амплитуды, φ_0 – относительный сдвиг фазы принимаемого колебания. На рис. 2 показано влияние амплитуды и фазы $S_{\text{пр}}(t)$ на суммарное колебание $S(t)$, которое заключается в сдвиге по фазе $S(t)$. На рис. 2 представлен случай $\varphi_0 = \pi/2$; $k_A = 0,5$. Сдвиг фазы суммарной волны равен для данного случая $\varphi_S = \pi/8$.

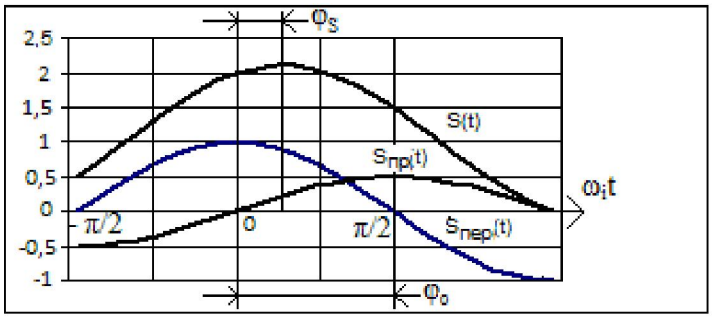


Рис. 2. Суммирование колебаний

Для определения сдвига φ_S возьмем производную от (5) и приравняем её 0: $\dfrac{dS_i(t)}{dt} = -A_{m,\text{пер}} \sin(\omega_i t) - k_A \cdot A_{m,\text{пр}} \sin(\omega_i t - \varphi_0) = 0$,

откуда следует

$$\cos\varphi_0 - \frac{\sin\varphi_0}{\text{tg}\omega_i t_S} = -\frac{1}{k_A}.$$

Для фазового сдвига получаем выражение

$$\omega_i t_S = \varphi_S = \text{arcctg}[\text{ctg}\varphi_0 + \frac{1}{k_A}], \qquad (6)$$

из которого следует, что смещение суммарного колебания по фазе зависит от исходного относительного сдвига φ_0 и коэффициента уменьшения амплитуды принятого колебания $k_A = A_{m,\text{пр}} / A_{m,\text{пер}}$. Кроме того, следует учесть, что ω_i – мгновенная частота ЛЧМ-колебаний и в общем случае $\omega_i = \omega_i(t)$

Смещение фазы суммарного колебания φ_S приводит к смещению частоты биений, так как $\Delta\omega_S = \dfrac{d\varphi_S(k_A, \varphi_0, t)}{dt}$, из-за чего возникает ошибка в

измерении частоты биений f_b, которая, в свою очередь, приводит к ошибке измерения дальности до Н (4). Из (6) вытекает выражение для момента времени t_S, характеризующего сдвиг суммарного колебания, из которого следует, что задержка зависит от частоты. Тогда абсолютная ошибка измерения дальности до Н будет равна

$$\delta D(t) = \frac{c}{2} t_S = \frac{c}{4\pi f(t)} \operatorname{arcctg}\left(\operatorname{ctg}\varphi_0 + \frac{1}{k_A} \right). \qquad (7)$$

Таким образом, показано, что амплитуда принимаемых РПрУ колебаний влияет на ошибку измерения дальности. В радиоприемных устройствах используется автоматическая регулировка усиления (АРУ). Однако устройства АРУ *инерционные*, так как в их состав входит детектор амплитуды и обратная связь, влияющая на коэффициент усиления линейной части РПрУ.

Частотный метод обнаружения и измерения дальности в РЛТСО широко используется в настоящее время, так как реализация его основана на аналоговой технике, что достаточно просто осуществлялось до настоящего времени. Данный метод следует отнести к *дифференциальным* методам измерения, т.к. биения формируются в каждый момент времени как сумма колебаний. Этот метод подвержен влиянию различного рода шумов и помех. На начальной стадии развития радиолокации использовались дифференциальные методы извлечения информативных параметров из принимаемых ЭМ-волн, при этом наибольшее значение приобрело пороговое обнаружение.

Настоящее время характеризуется бурным развитием методов цифровой обработки информации (ЦОИ) на основе использования микроконтроллеров и сигнальных процессоров, которые относятся к программным средствам, а также использования ПЛИС, которые относятся к аппаратным средствам ЦОИ.

Развивающиеся средства реализации методов ЦОИ позволяют использовать более сложные алгоритмы обработки информации. Для задач РЛТСО в качестве алгоритмов ЦОИ интерес представляют следующие интегральные преобразования.

1. *Быстрое преобразование Фурье* (БПФ), формирующее амплитудно-частотный спектр анализируемого сигнала и позволяющее выявить характерные частотные составляющие и их изменение во времени.

2. *Вейвлет-преобразование*, представляющее собой интеграл свертки исходного сигнала и базового сигнала, называемого вейвлет-функцией.

По мнению автора этой статьи, наиболее перспективным для решения задач РЛТСО является использование вейвлет-преобразования (ВП), получившего распространение в последнее время. В ВП вводится параметр – масштаб *a*, позволяющий сжимать-растягивать вейвлет-функцию $\psi(t)$, тем самым подстраивать её под исходный сигнал. ВП является *интегральным* преобразованием, что приводит к малой чувствительности метода к случайным изменениям информативных параметров исходного сигнала.

В общем виде ВП имеет вид [4]

$$\Psi(\tau, a) = \frac{1}{a}\int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{пр}}(t)\cdot\psi(\frac{\tau - t}{a})dt\,. \qquad (8)$$

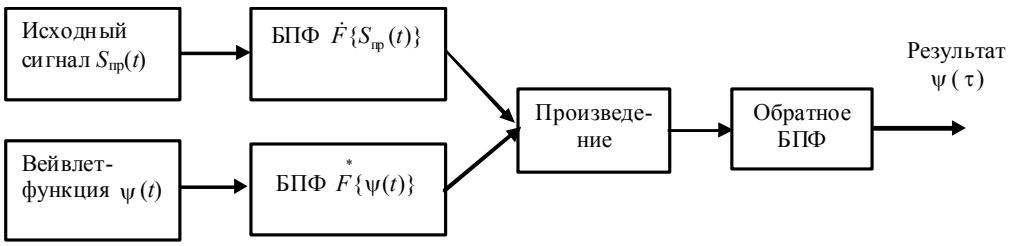
ВП (8) может служить основой мощного алгоритма обнаружения известного принимаемого сигнала в шумах. Если сигнал известен, что соответствует методу ЧМ РЛТСО, то в качестве вейвлет-функции используется сам сигнал, для которого неизвестны момент приема и амплитуда. Изменение параметра сдвига τ позволяет обнаружить момент совпадения исходного сигнала $S_{\text{пр}}(t)$ и сдвигаемой вейвлет-функции $\psi(t-\tau) = S_{\text{пр}}(t-\tau)$. В момент их совпадения выполняется суммирование двух функций с точностью до фаз гармонических составляющих. При этом результат ВП равен *энергии сигнала* при $a = 1$:

$$\Psi(0,1,t_z) = E_S(t_z) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{пр}}(t-t_z)\cdot S_{\text{пр}}(\tau - t - t_z)dt = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{пр}}^2(t-t_z)dt\,. \qquad (9)$$

Реализовать ВП можно только с использованием методов ЦОИ. При прямой реализации ВП по (8), когда неизвестен момент t_z, возникнут значительные вычислительные трудности, связанные с реализацией перебора по параметру t_z. Эти трудности можно обойти, если использовать свойство интеграла свертки – заменить его произведением комплексных амплитудно-частотных спектров исходного сигнала и вейвлет-функции:

$$\Psi(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_{\text{пр}}(t)\cdot\psi(\tau - t)dt = \dot{F}\{S_{\text{пр}}(t)\}\cdot\overset{*}{F}\{\psi(t)\}\,. \qquad (10)$$

Вычисление дискретного комплексного амплитудно-частотного спектра тоже сопряжено с большими вычислительными затратами, но на этом пути следует использовать важнейшее достижение методов ЦОИ – быстрое преобразование Фурье. Тогда для вычисления интеграла свертки по (8) следует выполнить следующие операции:



В настоящее время аппаратно реализовать БПФ вполне реально, так как существуют специально разработанные сигнальные процессоры, реализующие алгоритм БПФ.

Далее следует отметить, что ВП даст значительный эффект в виде существенного улучшения отношения сигнал-шум и сжатия длительности сигнала, если обрабатываемый сигнал является *сложным*. Условием сложного

сигнала является $m = \Delta f_S \cdot T_S >> 1$, где m – база сигнала. Для рассматриваемого в данной статье частотного метода измерения дальности в РЛТСО база ЛЧМ-колебания составляет $m \approx 5000 \div 7000$, что позволяет улучшить отношение сигнал – шум в $\sqrt{m} \approx 71 \div 84$ раза. Кроме того, сжатие по длительности в m раз позволит в РЛТСО определить число нарушителей.

Результаты моделирования применения ВП в частотных РЛТСО представлены в данном сборнике в статье [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.

2. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М. : Физматлит, 2011. – 252 с.

3. Гришин Ю.П. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов [и др.]; Под ред. Ю.М. Казаринова. – М. : Высшая школа, 1990. – 496 с.

4. Воробьёв В.И., Грибунин В.Г. Теория и практика вейвлет-преобразования. – СПб. : ВУС, 1990. – 208 с.

5. Данилов Е.А., Сальников И.И. Моделирование вейвлет-преобразования в частотных радиолучевых технических системах охраны // Данный сборник.

УДК 004.89
ББК 30

СТРУКТУРА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ОБЪЕКТИВНОМУ ВЫБОРУ СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

© ***И.И. Сальников***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

STRUCTURE OF A HIERARCHICAL SYSTEM DECISION SUPPORT FAIR ELECTIONS MEANS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE DESIGNED SYSTEM OF DIGITAL PROCESSING

© ***I.I. Salnikov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

При проектировании систем цифровой обработки информации используется широкий спектр средств реализации в виде различных электронных компонентов. Выбор этих средств в настоящее время выполняется субъективно, определяется знаниями и приверженностями разработчика. В работе предлагается использовать количественный подход в виде системы принятия решения на основе целевого функционала, имеющего экстремальный вид.

Ключевые слова: принятие решения, выбор, средство реализации, целевой функционал.

In the design of digital information processing systems using a wide range of implementation tools in a variety of electronic components. The selection of these resources are being satisfied subjectively determined by the knowledge and commitment of the developer. We propose to use a quantitative approach in the form of a decision based on the objective function, which has an extreme.

Key words: decision-making, choice, means of implementation, target functional.

E-mail: iis@pgta.ru

Введение

Задачи принятия решения (ЗПР) встречаются во всех без исключения областях знаний и отличаются большим разнообразием. ЗПР имеет место тогда, когда необходимо совершить выбор лучшего в определенном смысле варианта среди существующего множества альтернатив [1].

Наиболее близким научным направлением к теме данной статьи является раздел систем искусственного интеллекта, связанный с принятием решений и получивший широкое распространение в виде систем поддержки принятия решения (СППР), по которым имеется большое количество научных публикаций. Однако автору не известны публикации, в которых описывались бы предлагаемые подходы к организации СППР по выбору средств

реализации систем цифровой обработки информации на основе формирования целевого функционала, содержащего частные параметрические функции, вытекающие из заданных требований.

В настоящее время СППР успешно развиваются в рамках систем искусственного интеллекта и направлены на решение задач принятия решения в самых разнообразных направлениях науки.

Одним из таких научных направлений, представляющих определенный интерес, является разработка СППР по объективному выбору средств реализации системы цифровой обработки информации (ЦОИ), являющиеся, как правило, частью проектируемой информационной технической системы.

При разработке систем ЦОИ в настоящее время используется широкий спектр средств реализации в виде электронных компонентов: универсальных ЭВМ, микроконтроллеров, сигнальных процессоров, программируемых логических интегральных схем, имеющих самые разнообразные технические характеристики. Выбор этих средств при проектировании систем ЦОИ в настоящее время выполняется субъективно, определяется знаниями и приверженностями разработчика.

С другой стороны, исходные условия для проектирования систем ЦОИ, как правило, характеризуются многопараметричностью и разнородностью. В качестве подобных исходных условий могут служить требования по быстродействию, по информационной производительности, по виду заданного алгоритма ЦОИ, по вероятностным характеристикам и др. Наличие многопараметрических и разнородных условий приводит к необходимости использовать иерархическую структуру в организации СППР.

Научная проблема, по мнению автора, заключается в субъективности выбора средств реализации проектируемых систем цифровой обработки информации при существующей в настоящее время широкой номенклатуре электронных компонентов.

В этой связи, поставленная ц е л ь – разработка иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации при многопараметрических разнородных условиях, являющаяся развитием теории принятия решения – представляется актуальной.

В рамках сформулированной цели можно поставить следующие задачи:

– разработать обобщенную структурную схему СППР применительно к задаче выбора средств реализации проектируемых систем ЦОИ;

– сформировать частные параметрические функции на основе исходных многопараметрических и разнородных требований к проектируемой системе ЦОИ;

– обосновать уровни иерархии принимаемого решения;

– сформировать вид целевого функционала с входящей в него обобщенной параметрической функцией, которая представляет собой объединение частных параметрических функций;

– разработать метод объективного выбора средства реализации проектируемой системы ЦОИ, основанный на сопоставлении рассчитанного

значения целевого функционала с заданными диапазонными значениями, характеризующими вариант принимаемого решения.

Используемые методы и подходы. В работе использован количественный подход при разработке системы поддержки принятия решения, в основе которой лежит метод принятия решения на основе целевого функционала, имеющего экстремальный вид. Целевой функционал является количественным инструментом метода принятия решения и включает в себя обобщенную параметрическую функцию, которая должна быть сформирована на основе частных параметрических функций, описывающих исходные данные на проектирование системы ЦОИ [2, 3].

Частная параметрическая функция должна представлять собой нормированную зависимость, характеризующую основные свойства используемого параметра. Например, это может быть коэффициент заданного быстродействия или коэффициент заданной информационной производительности и множество других характеристик. Основное требование к этим характеристикам – они должны иметь **количественную форму**.

Далее предполагается, что нормированные частные параметрические функции объединяются в некоторую обобщенную функцию с использованием весовых коэффициентов, определяющих значимость каждой параметрической функции. При этом для определения весовых коэффициентов необходимо использовать экспертные оценки.

Метод принятия решения основан на соотнесении оценки экстремального значения функционала при заданных исходных параметрах и интервальных значениях, характеризующих конкретные решения.

Предполагаемый метод принятия решения должен быть иерархическим. Причем в качестве ступеней можно использовать следующие уровни иерархии относительно средств реализации систем ЦОИ:

– *верхний уровень* – группы средств ЦОИ: универсальные ЭВМ, микропроцессоры (МП) и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС);

– *средний уровень* – соответствующий кластер в группе средств ЦОИ: для универсальных ЭВМ – это ПЭВМ (CPU) или графические станции (GPU); для МП – это микроконтроллеры (MCS), предназначенные для систем управления, или сигнальные процессоры (DSP), предназначенные для реализации интегральных преобразований; для ПЛИС – это архитектура FPGA или архитектура CPLD;

– *низкий уровень* – конкретный тип электронного компонента, входящий в выбранный кластер и характеризуемый детальными техническими характеристиками. На этом уровне должна использоваться база данных. Таким образом, используется иерархический выбор по принципу “от общего к частному”.

Конечно, окончательный вариант решения выбирает лицо, принимающее решение (ЛПР), но разрабатываемая СППР существенно облегчает процесс выбора средства реализации системы ЦОИ в существующем “море” электронных компонент.

Структура системы принятия решения, представленная на рис. 1, содержит следующие основные элементы.

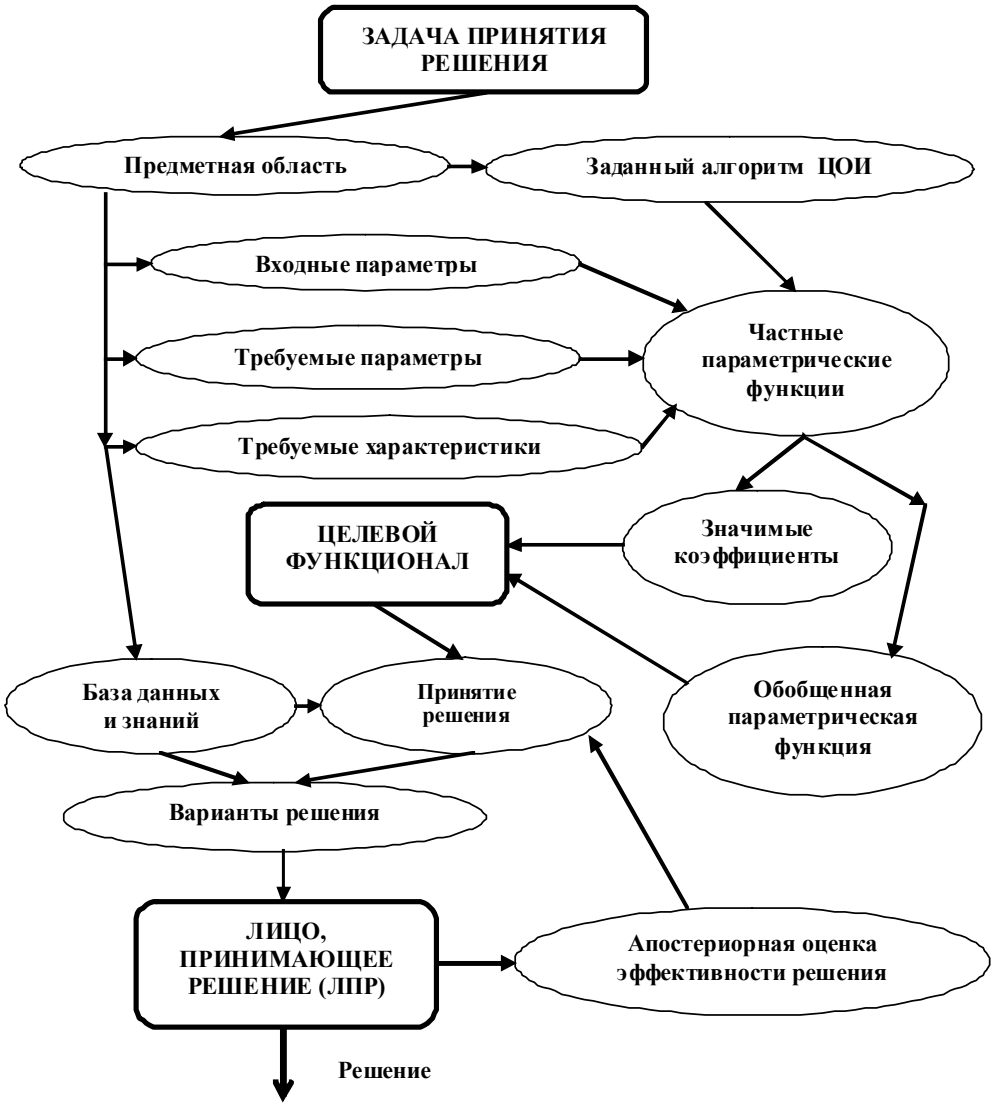


Рис. 1. Структура системы поддержки принятия решения

Предметная область – совокупность знаний, параметров, условий существования и видов взаимодействия, характеризующая объекты, для которых разрабатывается СППР. В предметную область входит техническое задание на разработку системы ЦОИ, в котором указываются:

– *входные параметры* обрабатываемого сигнала;

– *требуемые параметры*, которые должна обеспечивать проектируемая система ЦОИ;

– *требуемые характеристики* системы ЦОИ;

– *база данных и знаний* для характеристик и свойств средств реализации системы ЦОИ, которые необходимо выбрать.

В техническом задании на проект системы ЦОИ должен быть представлен алгоритм, для которого следует определить его *вид*. Им может быть, например, один из трех: управляющий, вычислительный или преобразова-

тельный. Каждый из этих алгоритмов характеризуется вычислительной сложностью, которая должна влиять на выбор средства реализации системы ЦОИ.

Частная параметрическая функция формируется для каждого из входных исходных параметров, требуемых параметров, требуемых характеристик и вида алгоритма. Она должна представлять некоторую зависимость от различных параметров. Частная параметрическая функция должна принимать безразмерные значения, для чего её необходимо пронормировать по своему максимальному возможному значению.

Обобщенная параметрическая функция представляет собой объединение частных параметрических функций с учетом весовых коэффициентов. Простейшей формой объединения может служить сумма частных параметрических функций, но могут быть использованы и другие зависимости. Весовые коэффициенты назначаются на основе экспертных оценок влияния каждой частной параметрической функции на принимаемое решение.

Наряду с обобщенной параметрической функцией могут быть использованы коэффициенты, наиболее значимые для данной СППР. *Значимые коэффициенты* должны напрямую влиять на целевой функционал. Например, это может быть коэффициент быстродействия, учитывающий требования по быстродействию, или коэффициент автономной работы, учитывающий требования по долгосрочной работе системы ЦОИ от аккумуляторных батарей.

Целевой функционал формируется на основе обобщенной параметрической функции и значимых коэффициентов и представляет собой математическое выражение, имеющее экстремум.

Принятие решения реализуется в виде вариантов на основе соотнесения оценки экстремального значения функционала при заданных исходных параметрах и интервальных значениях, характеризующих конкретные решения. То есть предварительно область допустимых значений целевого функционала разбивается на зоны, каждая из которых соответствует варианту принятого решения. Для реальных значений данных, вытекающих из технического задания на проект системы ЦОИ, рассчитывается значение целевого функционала и определяется интервал значений, который соответствует варианту решения.

База данных и знаний хранит таблицы параметров и характеристик средств реализации, относительно которых принимается решение. Если база данных представляет собой простой набор таблиц с характеристиками тех или иных вариантов решений, то база знаний представляет собой значительно более сложную структуру. Она включает в себя алгоритмы принятия решений, параметрические функции и отдельные структуры принятия решений.

Получив *вариант решения*, лицо, принимающее решение (ЛПР), может выполнить апостериорную оценку эффективности, то есть оценить его оптимальность. При принятии варианта решения возможна коррекция условий принятия решения.

В результате использования целевого функционала формируются *варианты решения*, каждый из которых предлагается ЛПР с априорной оценкой эффективности. Это может быть вероятность, выраженная в процентах,

это может быть некоторый безразмерный коэффициент в переделах $0 \div 1$ или качественная оценка эффективности, например “низкая”, “средняя”, “высокая” и “наивысшая”, когда невозможно в количественном виде оценить эффективность предложенных вариантов решений.

ЛПР принимает варианты решений с априорными оценками их эффективности и выносит одно ***решение,*** которое и является целью ЗПР. Если предлагаемые варианты решения по каким-то внутренним, известным лишь ЛПР причинам, не удовлетворяют его, или оценки эффективности не соответствуют знаниям и опыту ЛПР, то в СППР корректируются варианты решения и априорная эффективность на основе апостериорных замечаний, сделанных ЛПР.

Выбор средства реализации системы ЦОИ – один из важных вопросов, решение которых определяет основные взаимосвязанные показатели качества проектируемой информационной системы, такие как быстродействие, надежность, помехоустойчивость, габариты, масса и потребляемая мощность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.

2. Литвинская О.С., Сальников И.И. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы. – Пенза : ЦНТИ, 2011. – 125 с.

3. Литвинская О.С., Сальников И.И. Структура принятия решения по выбору цифрового средства реализации алгоритма в информационной технической системе // Фундаментальные исследования. – М. : Российская академия естествознания, 2010. – № 12. – С. 111 – 119.

УДК 004.89
ББК 22

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНАЛА

© ***О.С. Литвинская****, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

FORMALIZATION MAKE DECISIONS BASED ON OBJECTIVE FUNCTIONAL

© ***O.S. Litvinskaya****, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье с обобщенных позиций рассмотрен вопрос формализации процесса принятия решений в условиях многоальтернативной оптимизации, которая возникает в задачах проектирования технических систем при выборе средств реализации.

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

In this paper, the generalized position considered the formalization of decision-making under Multialternative optimization problems that arise in the design of technical systems the choice of means of implementation.

Key words: decision theory, the choice of the means of implementation, fuzzy sets, the analysis algorithm.

Формализация принятия решений в условиях многоальтернативной оптимизации в задачах проектирования технических систем связана с поиском эффективного решения в области выбора средств реализации.

Анализируя методы принятия решений [1 – 6], попробуем совместить достоинства методов теории полезности (возможность оценки любого количества альтернативных вариантов), теории нечетких множеств (учет взаимных отношений критериев) и количественных методов в виде формализации принятия решения на основе целевого функционала.

Рассмотрим задачу выбора средств реализации информационной технической системы на этапе проектирования как сложную информационную техническую систему (ИТС) S (рис. 1).

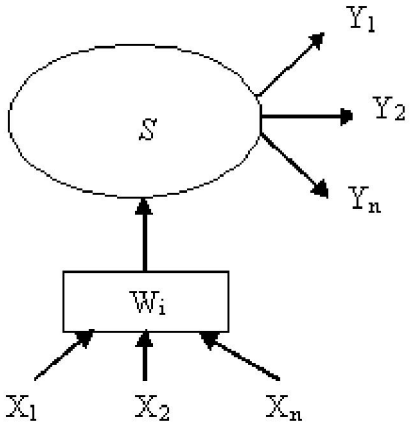


Рис. 1. Структура сложной информационной технической системы

Любая задача выбора состоит из определения одного варианта из множества альтернативных вариантов – X_n.

Каждый из множества вариантов выбора обладает варьируемыми параметрами W_i, которые объединяются для исследований в модель принятия решений. Взаимосвязи между ними задаются рядом функций. Результатом работы ИТС является выдача рекомендаций по оптимальному решению в виде средства реализации Y_i. Выработка решений происходит в зависимости от критериев выбора.

В простейшем детерминированном случае под критерием понимается функционал $J(\bar{x}, \bar{y})$, определенный на множестве возможных решений, и при оптимизации необходимо найти решение $(\bar{x}, \bar{y})$, обеспечивающее максимум этого функционала.

Общая постановка задачи принятия решений с помощью критериального языка описания выбора формулируется следующим образом.

Пусть X – множество альтернатив, Y – множество возможных исходов, результатов. Предполагается связь между выбором некоторой альтернативы $x_i \in X$ и наступлением соответствующего исхода $y_i \in У$. Требуется выбрать наилучшую альтернативу x_i, для которой исход имел бы наилучшую оценку качества. Под качеством на стадии проектирования ИТС здесь понимается удовлетворение основным техническим требованиям системы.

Задачу выбора применительно к области проектирования можно считать задачей в условиях определенности, т.е. нам заранее известны исходы при указанных альтернативах. В этом случае существует однозначное отображение $X \xrightarrow{\varphi} Y$, т.е. реализуется функция $y = \varphi(x)$. Поскольку связь детерминированная, то $f : Y \to R$, т.е. каждый исход можно оценить конкретным вещественным числом R.

Функцию f назовем параметрической функцией. В этом случае сравнение исходов сводится к сравнению соответствующих им чисел, например в случае максимизации более предпочтительным исходу y_j может быть исход y_i, если $f(y_i) > f(y_j)$.

В случае рассмотрения ряда задач из области проектирования ИТС получается множество частных параметрических функций: $f_k : Y \to R_к$ при $k = 1, 2, \ldots, n$. Поскольку речь идет о детерминированной связи между множеством X и множеством Y, то параметрические функции f трансформируются в некоторую функцию J, заданную на множестве X и являющуюся суперпозицией φ и f:

$$J : X \to R,\ J = f \cdot \varphi.$$

Поскольку функция J выполняет однозначное отображение множества исходов на множество вещественных чисел, то ее можно называть целевым функционалом. Если применить метод линейной свертки, основанный на объединении частных критериальных функций в один целевой функционал, то задача выбора может быть описана выражением

$$J(x) = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot f_i(x) \to extr,$$

где α_i – весовые коэффициенты или показатели значимости отдельных критериальных функций f_i, причем $\forall \alpha_i : \alpha_i > 0; \sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1.$ Более реалистичной часто оказывается ситуация, когда целевой функционал оценивается не одним числом, а интервалом, т.е. работа ведется с векторным отображением:

$$J : X \to R^n,\ J = \{J_1, J_2, \ldots, J_n,\},\ J_i = f_i(\varphi(x)).$$

В результате мы приходим к распространенной в приложениях многокритериальной модели принятия решений или задаче многокритериальной оптимизации вида

$$J_{optim}(x) \to \underset{x \in X}{extr},\ i = 1,...,n,\ m.e.\ X \subset R^n.$$

Последнее уточнение указывает на то, что все альтернативы параметризованы и каждому из решений соответствует точка

$$x \in R^n, x = (x_1,...,x_n).$$

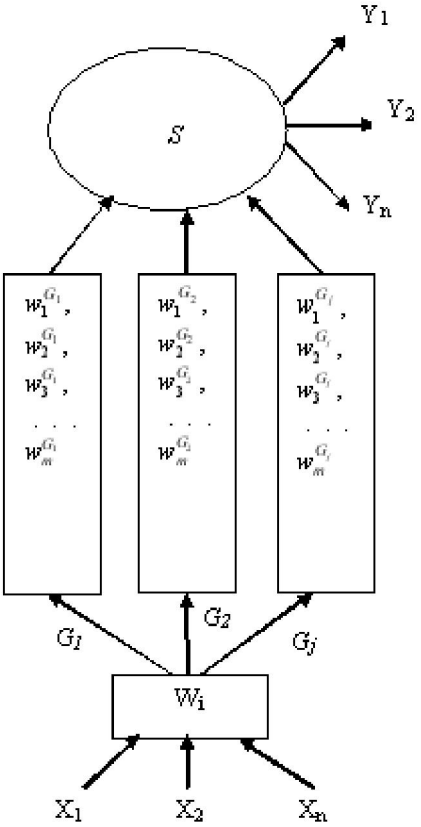


Рис. 2. Уточнение параметров W_i для S

Детализируя общую постановку задачи выбора средств реализации, получим следующую структуру сложной ИТС *S*, где все параметры предлагается разделить на группы, например параметры сигналов, параметры алгоритмов, которые предполагается реализовать, и параметры средств реализации, и обозначить $\forall G \in \{G_1, G_2, ..., G_j\}$ (рис. 2.)

Рассмотрим непосредственно структуру сложной ИТС при помощи диаграмм Венна (рис. 3).

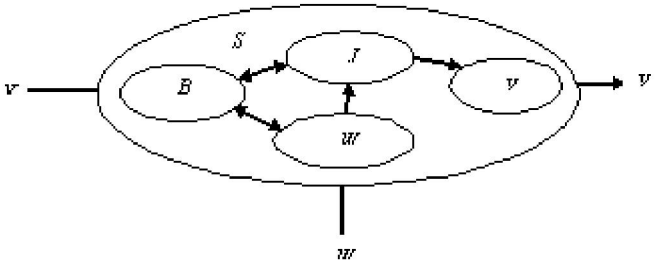


Рис. 3. Внутренняя структура S

Структура $S \in \{B \bigcup W \bigcup J \bigcup Y\}$ состоит из множества параметров $W \in \{W_1, W_2, ..., W_i\}$, базы данных, содержащей конкретные значения параметров W, т.е. $B \in W_{real} = \{W_1^{G_1}, ..., W_m^{G_1}, W_1^{G_2}, ..., W_m^{G_2}, ..., W_1^{G_j}, ..., W_m^{G_j}\}$, множества возможных реализаций целевого функционала $J \in \{J_1, J_2, ..., J_k\}$ и множества возможных вариантов решений $Y \in \{Y_1, Y_2, ..., Y_n\}$.

Множество параметров средств реализации представляется различными единицами измерений, поэтому для дальнейших преобразований подвергается нормированию:

$$K_m = \frac{w_m^{Gj}}{\max\{w_m^{Gj}\}},$$

где w_m^{Gj} – значение параметра w_m из группы G_j;

K_m – нормированные коэффициенты.

Параметры средств реализации взаимосвязаны частными параметрическими функциями $f(K_m)$. Из всех нормированных коэффициентов K_m предлагается выделить существенные коэффициенты параметров K_m^S, оказывающие весомое, значительное влияние на выбор средства реализации алгоритмов, параметрические функции которых обозначим $f(K_m^S)$.

Формирование целевого функционала определится зависимостью от параметрических функций $f(K_m)$ и $f(K_m^S)$:

$$J(x) = J\left(\left(\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot f_i(K_m)\right), f_i(K_m^S)\right),$$

где n – количество частных параметрических функций,

α_i – весовые коэффициенты.

Весовые коэффициенты α_i рассматриваются как показатели относительной значимости исходных параметров. При наличии существенно разнохарактерных коэффициентов определяется их приоритет согласно методике [7].

Целевой функционал ограничивается двумя условиями:

– областью определения является множество положительных значений,

– вид может быть унимодальным.

Примерами унимодальных функций могут быть гауссова функция, параболическая, комбинированная экспоненциальная функция и ряд других, имеющих экстремум.

Выработка решения, т.е. формирование множества Y, начинается с разделения области допустимых значений функционала на диапазоны R^n, соответствующие вариантам реализации X_i. Множество вариантов реализации определяет совокупность интервалов значений целевого функционала R^n:

$$J : X \to R^n, \; J = \left\{J_1, J_2, ..., J_k\right\},$$

при этом интервалу значений целевого функционала R^i приписывается соответствующий вариант реализации X_i. Если неизвестно преобладание какого-либо варианта реализации, то выбирается равномерное разделение области допустимых значений ЦФ на *n* интервалов [7].

Принятие решения для многокритериальной модели в условиях определенности формулируется следующим образом: попадание экстремума функционала в интервал значений и будет определять вариант реализации алгоритма. Процесс принятия решения можно записать в виде выражения

$$J_{optim}\ (x) = J\left(\left(\sum_{i=1}^{m} \alpha_i \cdot f_i\ (K_i)\right), f_i\ (K_i^S)\right) \to \underset{x \in X}{extr},\ X_i \subset R^i,\ i = 1,...,n. \quad (1)$$

Положение экстремума дает оптимальное значение множества *Y* при заданных исходных параметрах системы *S*.

Часть выражения (1) назовем обобщенной параметрической функцией

$$F = \left(\sum_{i=1}^{m} \alpha_i \cdot f_i(K_i)\right),$$

тогда целевой функционал будет выглядеть как

$$J_{optim}\ (x) = J\left(F, f_i\ (K_i^S)\right) \to extr.$$

Альтернативные варианты реализации алгоритмов могут принципиально отличаться между собой (быть независимыми) и аналогичными (быть зависимыми). Для независимых вариантов реализации указание интервалов допустимых значений определяет однозначный выбор варианта реализации и не допускает компромисса. Для зависимых вариантов реализации полученное решение не является однозначным. В этом случае может быть выбрано другое средство реализации, оно будет допустимым, но не оптимальным с точки зрения выбранного критерия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах : Учебник для вузов. – М. : Логос, 2000. – 296 с.

2. Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив : Учебное пособие. – СПб. : Лань, 2009. – 272 с.

3. Петровский А.Б. Теория принятия решения : Учебник для студентов высших учебных заведений. – М. : Академия, 2009. – 400 с.

4. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. – М. : Радио и связь, 2009. – 285 с.

5. Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления : Учебное пособие. – СПб. : Питер, 2004. – 256 с.

6. Юдин Д.Б. Вычислительные методы теории принятия решения. – М. : Наука, 1989. – 320 с.

7. Сальников И.И. Применение функции выбора при оптимизации параметров проектируемой сложной информационной системы // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4. – С. 291 – 301.

УДК 004.89
ББК 22

СТРУКТУРА ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

© ***Ю.А. Башвеев***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***О.С. Литвинская***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

THE OBJECTIVE METHOD OF CHOICE OF MICROCONTROLLER FOR SPECIALIZED SYSTEMS

© ***Y.A. Bashveev,*** *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***O.S. Litvinskaya,*** *Penza State Technological Academy (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.

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.

Выбор микроконтроллера (МК) как средства реализации специализированной системы является важной задачей на этапе проектирования. Сегодня в условиях быстроменяющегося рынка задача выглядит особенно актуально. Специализированные вычислительные устройства используются для решения узкого круга задач и реализации строго определенной группы функций. В процессе эксплуатации эти функции не изменяются. Применение таких систем обусловлено экономическими и эксплуатационными факторами. К специализированным устройствам относятся, например, устройства обработки видеосигнала, бортовые компьютеры автомобилей, устройства с автономным питанием, различные встраиваемые системы управления.

В настоящее время теория принятия решений (ТПР) нашла широкое применение в различных отраслях человеческой деятельности, что позволило уйти от субъективизма при выборе лучшего варианта из существующего множества альтернатив. Вместе с тем применение ТПР в области проектирования технических систем вызывает затруднение, что связано с невозможностью полной формализации формулируемой заказчиком проблемы, а также учета всех реальных факторов, т.к. это привело бы к чрезмерному усложнению математической модели.

Микроконтроллер для разрабатываемой информационной системы должен, как правило, иметь низкую стоимость и в то же время удовлетворять предъявленным техническим заданием требованиям. В разрабатываемом методе делается попытка автоматизации процесса выбора МК.

На рис. 1 представлена структурная схема метода выбора микроконтроллера.

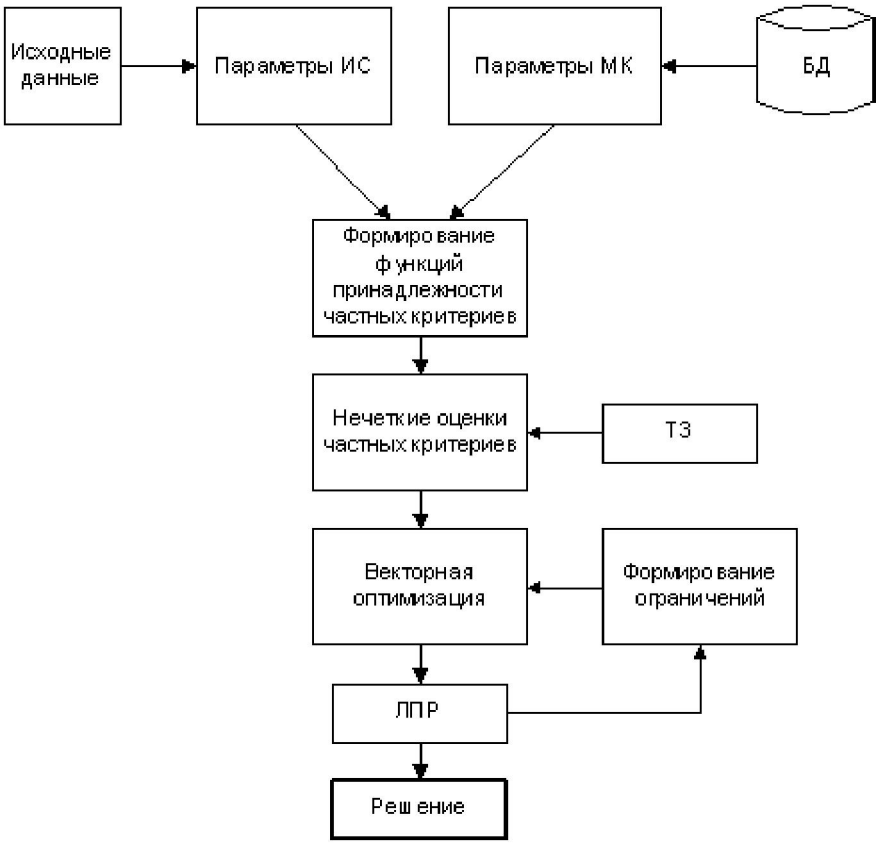


Рис. 1. Схема метода выбора микроконтроллера

На начальном этапе определяется множество параметров МК $V = \{V_1, V_2, ..., V_n\}$ и параметры проектируемой микроконтроллерной системы $W = \{W_1, W_2, ..., W_n\}$.

Множество параметров микроконтроллеров включает в себя технические параметры: тактовую частоту, напряжение питания, потребляемую мощность, объем внутреннего ОЗУ, объем внутреннего ПЗУ. Эксплуатационные параметры: диапазон рабочих температур, энергопотребление, устойчивость к ЭМИ, размеры и тип корпуса. Потребительские свойства: поддержка языков программирования, надежность, отзывы от других разработчиков, жизненный цикл выбранного семейства, доступность продукции, наличие технической и информационной поддержки, стоимость. Множество параметров проектируемой системы содержит: трудоемкость алгоритма, тип алгоритма, несущую частоту сигнала, динамический диапазон сигнала.

Варианты решений обладают критериями $K = \{K_1, K_2, ..., K_n\}$. Применительно к выбору МК это могут быть критерий времени выполнения алгоритма, стоимостной критерий, и т.д. При этом их числовые значения зависят от параметров рассматриваемых микроконтроллеров и параметров системы, т.е. $k = f(v, w)$.

На следующем этапе происходит формирование вектора нечетких оценок критериев $\tilde{x}_i = \{\tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, ..., \tilde{x}_{in}\}$ для каждого варианта A_i.

Введение понятия нечетких множеств позволяет осуществить построение моделей принятия решения для задач, имеющих нечеткое описание. Задание строгих границ искусственным введением однозначности означает не что иное, как огрубление исходных данных и способствует получению четкого, но неверного результата. Иными словами, применение нечеткой логики в моделях принятия решений приводит, в конечном счете, к более точным результатам [1].

Рассмотрим применение аппарата теории нечетких множеств на примере оценки времени выполнения алгоритма.

Для нахождения трудоемкости и временных характеристик алгоритма необходимо, прежде всего, выбрать модель вычислений. Модель вычислений представляет собой совокупность [2]

$$M = \langle I, C, P \rangle, \tag{1}$$

где I – память для размещения объектов, C – конечный набор базовых операций, P – механизм реализации.

Под трудоемкостью алгоритма для данной конкретной задачи, заданной множеством D, будем понимать количество элементарных операций, задаваемых алгоритмом в принятой модели вычислений. Соответствующая функция обозначается как $f_A(D)$.

На практике трудоёмкость часто зависит и от длины входного набора, и от значения некоторых входных элементов (класс алгоритмов *NPR*). В этом случае [2]

$$f_n(n) \neq \text{const}, g^*(n) \neq \text{const}\ , \tag{2}$$

где D_n – подмножество множества D_A, включающее все конкретные проблемы D, имеющие разрядность n. Алгоритм A, имея на входе различные конкретные подмножества $D \in D_n$, может задавать в каком-то случае наибольшее, а в каком-то наименьшее количество операций.

Анализ наихудшего случая $f_A^{(n)} = \max\{f_A(D)\}\big|_{D \in D_n}$ может однозначно определить количество требуемых операций для решения конкретной задачи заданной длины n. Однако для нахождения временной оценки алгоритма мы не можем использовать трудоемкость для наихудшего случая, т.к. он может иметь очень низкие вероятностные оценки. Оценка трудоемкости для среднего случая также некорректна для оценки единичных входов, т.к. возможно наблюдение любого значения трудоемкости в теоретическом диапазоне с неравными нулю вероятностями.

Трудоемкость алгоритма, а следовательно, и временные оценки класса *NPR* на входах фиксированной длины, можно рассматривать как случайную величину.

Для перехода к временным оценкам выполнения алгоритма на конкретном контроллере предлагается использовать способ среднего времени по типам задачи. Для различных типов задач определяется частотная встречаемость операций, определяется среднее выполнение с учетом обобщенной операции [2]. При этом для каждого типа микроконтроллера (по разрядности) определяется отдельно.

На рис. 2 представлена гистограмма относительных частот времени выполнения некоторого алгоритма класса *NPR* для D_n. $P = f(t)$.

Рис. 2. Гистограмма относительных частот времени выполнения алгоритма

Точка *a* соответствует наилучшему случаю, точка *b* – наихудшему. Тогда вероятность того, что временная оценка алгоритма будет не больше определенного значения, вычисляется по формуле

$$\mu_{\tilde{T}}(t)\int_0^t Pdt. \qquad (3)$$

Если учесть, что теория нечетких множеств, по сути, является расширением теории вероятности, то данную функцию можно рассматривать как функцию принадлежности для нечеткого понятия “микроконтроллер выполняет алгоритм за время меньшее, чем *t*”, где *t* – время по техническому заданию. График такой функции принадлежности представлен на рис. 3.

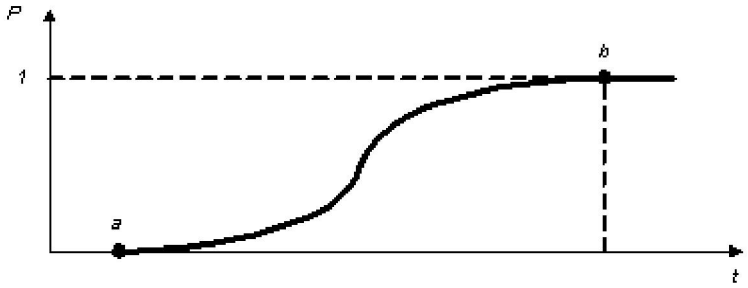


Рис. 3. Функция принадлежности нечеткого понятия “микроконтроллер выполняет алгоритм за время меньшее, чем t”

Таким образом, может быть получена оценка времени выполнения алгоритма на заданном микроконтроллере.

Теория нечетких множеств может быть применима и для оценки эксплуатационных и пользовательских критериев путем введения лингвистических переменных. Например, для формализации понятия “стоимость устройства” вводится нечисловая лингвистическая переменная ЦЕНА со значениями НИЗКАЯ, СРЕДНЯЯ, ВЫСОКАЯ. Функции принадлежности лингвистических значений представлены на рис. 4.

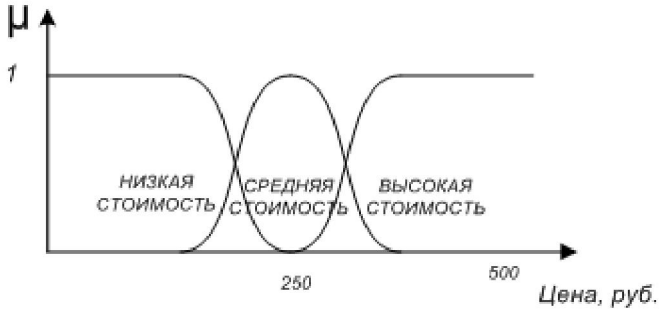


Рис. 4. Функции принадлежности лингвистических переменных

Тогда функция принадлежности, например, нечеткого понятия “цена не больше средней” имеет вид:

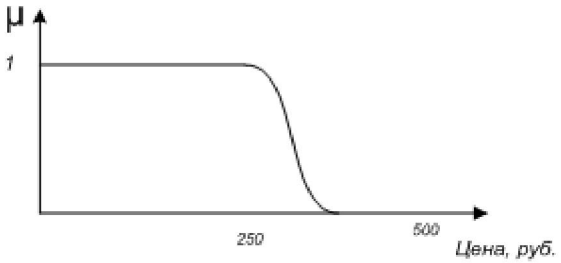


Рис. 5. Функция принадлежности нечеткого понятия “цена не больше средней”

После получения всех необходимых оценок частных критериев выполняется условная векторная оптимизация. ЛПР выбирает главный критерий, а на остальные накладываются некоторые ограничения.

В нашем случае при построении функции полезности учитываются частные выходные критерии. Задача векторной оптимизации сводится к нахождению условного экстремума функции

$$x^* \in \arg\max f_1(k)\big|_{x \in X} \tag{4}$$

при дополнительных ограничениях на область допустимых вариантов решения [4]: $X = \{k \,|\, y_i^{\min} \le f_j(k) \le y_i^{\max}, \text{при } j = 2,...,h\}$.

ЛПР устанавливает для каждой нечеткой ограничивающей функции $\tilde{g}_q$ минимально допустимые пороговые уровни функции принадлежности $\mu^0_{g,q}$ и указывает главный критерий. Ищется решение задачи многокритериальной оптимизации на множестве, которое задается дополнительными ограничениями $\mu_{g,q}(x) \geq \mu^0_{g,q}$, при $q = 1, ..., p$. Полученный результат является рекомендацией к выбору. Если полученное решение ЛПР считает приемлемым, то задача считается решенной. Иначе ЛПР изменяет требования, вводя другие ограничения.

Таким образом, в работе рассмотрена структура задачи принятия решения и основные этапы. Обосновано применение нечетких множеств при выборе средства реализации информационной системы. Метод позволяет аргументированно выбрать модель микроконтроллера для разрабатываемой информационной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.

2. Дж. Макконел. Основы современных алгоритмов. – М. : Техносфера, 2004. – 368 с.

3. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с. : илл.

4. Петровский А.Б. Теория принятия решений. – М. : Академия, 2009. – 400 с.

УДК 004.891.2
ББК 22.18

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

© ***О.С. Литвинская***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***И.Г. Турыгин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

THE MULTICRITERION CHOICE OF THE PROGRAMMABLE LOGIC DEVICES IN THE SPECIAL-PURPOSE HARDWARE DESIGN

© ***O.S. Litvinskaya***, *Penza state technological academy (Penza, Russia)*

© ***I.G. Turygin***, *Penza state technological academy (Penza, Russia)*

В работе предложена схема и этапы процесса принятия решения. Представлена математическая модель метода принятия решения на основе целевого функционала: сформировано множество альтернативных вариантов решения, сформировано множество критериев оценки альтернатив, получены оценки альтернатив по критериям, получены рекомендации по выбору лучшей альтернативы.

Ключевые слова: программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), параметры, целевой функционал, принятие решения, оптимальный выбор.

The scheme and the decision-making process stages are proposed in the article. The decision-making method mathematical model on basis of the objective functional is presented: formed the alternative candidates solution variety, formed the criterias variety of alternatives evaluating, received the estimations of alternatives on criterias, received the advices on the best alternative choosing.

Key words: programmable logical device (PLD), parameters, objective functional, decision making, optimal choice.

Любой выбор связан с процессом обработки информации об альтернативах, о критериях, о возможных исходах, о системах предпочтений и способах отображения множества допустимых альтернатив во множество критериальных оценок возможных исходов. Задача выбора при проектировании специализированных цифровых устройств обработки информации в условиях неопределенности сводится к адекватному математическому описанию. В этом случае детерминированное отображение множества альтернатив во множество критериальных оценок осуществляется посредством сравнительной оценки. Сравнительная оценка предполагает наличие оптимизации векторного целевого функционала, которая позволяет выразить параметры сигналов и ПЛИС в виде числовых зависимостей. В работе предполагается привести ряд решений, которые позволили бы количественно оценить характеристики обрабатываемого сигнала и реализуемого алгоритма, а на основе этих оценок разработать целевую функцию.

Анализ существующих методов принятия решений показал, что если объединить ряд подходов прикладной теории принятия решений, различающиеся способом представления и обработки знаний и количественных методов прогнозирования, базирующихся на оценках экспертов, то получим новый подход к принятию решения, основанный на объединении параметров разнородных условий [3, 4]. Новый подход основывается на отношениях порядка среди альтернатив (классическая модель принятия решений, в которой каждой альтернативе ставится в соответствие некоторое число) и на отношениях включения (поведенческая модель, основанная на принадлежности альтернатив к некоторому множеству).

Схема выбора, объединяющая параметры ПЛИС и параметры обрабатываемого сигнала в единый целевой функционал, представлена на рис. 1.

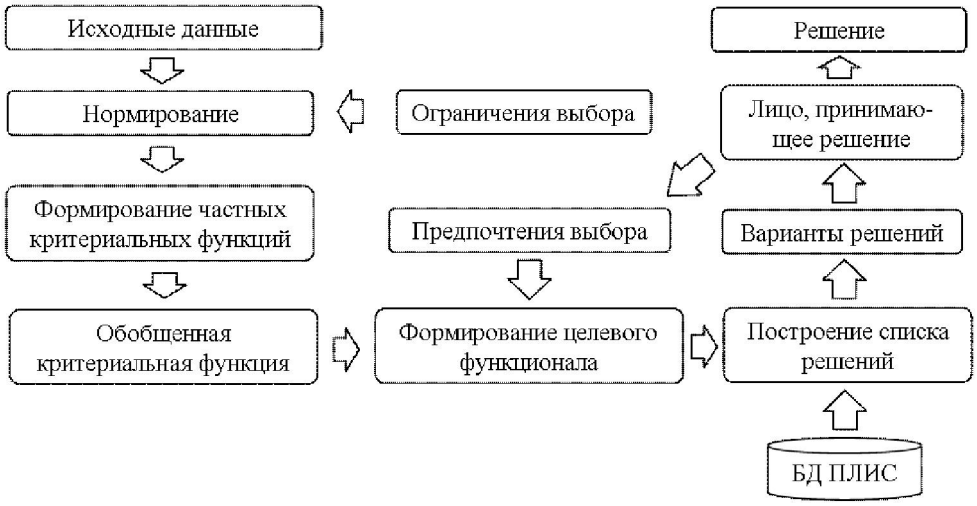


Рис. 1. Обобщенная схема выбора

Последовательность действий, которая реализуется в предлагаемом методе объективного выбора ПЛИС, состоит в следующем:

1) определение исходных данных: определение параметров ПЛИС и сигналов $\{w_1, w_2, ..., w_n\}$; определение максимальных значений множества параметров $\{\gamma_1, \gamma_1, ..., \gamma_n\}$. Множество исходных параметров предлагается разделить на две группы: аппаратные и параметры сигналов.

К аппаратной группе относятся следующие параметры ПЛИС: $C_{\max}$ – максимальная цена микросхемы; N_{LE} – количество эквивалентных логических элементов, показатель логической емкости микросхемы; N_{MC} – количество эквивалентных макроячеек; N_M – количество встроенных умножителей; N_{SP} – количество встроенных сигнальных процессоров; N_{ADC} – количество каналов АЦП; $N_{R,ADC}$ – разрядность АЦП (бит); $U_{REF,\min}$ – минимальное опорное напряжение АЦП (В); T_{PD} – максимальное время задержки сигнала (нс); $F_{\max}$ – максимальная тактовая частота (МГц); N_{PC} – максимальное количество встроенных микропроцессорных ядер; $N_{IO,\min}$ – минимальное количество программируемых пользователем вводов/выводов.

К параметрам сигнала относятся следующие параметры: тип сигнала (S_A – аналоговый/ S_D – цифровой); $A_{\max}$ – максимальная амплитуда сигнала (В); $F_{S,\max}$ – максимальная частота сигнала (МГц); N_{PS} – количество измеряемых параметров сигналов;

2) формирование ограничения выбора на основе параметров сигнала. В процессе выбора ПЛИС при проектировании специализированных устройств необходимо учитывать параметры обрабатываемых сигналов. Формальное описание влияния параметров сигнала на ограничение выбора ПЛИС представлено в табл. 1;

3) нормирование параметров w_i по максимальным значениям, при этом получается множество безразмерных коэффициентов параметров $K_i = w_i / г_i$:

$$K_i = \left\{ K_{\max}^{(C)}, K_{LE}^{(N)}, K_{MC}^{(N)}, K_{M}^{(N)}, K_{SP}^{(N)}, K_{ADC}^{(N)}, K_{R,ADC}^{(N)}, K_{REF,\min}^{(U)}, K_{PD}^{(T)}, K_{\max}^{(F)}, K_{PC}^{(N)}, K_{IO,\min}^{(N)} \right\};$$

Таблица 1 – Формальное описание влияния параметров сигнала на ограничения выбора ПЛИС

Тип сигнала	Амплитуда сигнала	Частота сигнала	Количество измеряемых параметров
S_A	$A_{\max} \le U_{REF,\min}$	$F_{S,\max} \le \dfrac{F_{\max} \cdot N_{R,ADC}}{N_{PS}}$	$N_{PS} \le N_{ADC}$
S_D	–	$F_{S,\max} \le \dfrac{F_{\max}}{4}$	$N_{PS} \le N_{IO,\min}$

4) формирование частных критериальных функций математической модели $y_i^{(M)}(K_i)$. При наличии существенно разнородных коэффициентов бывает сложно указать их приоритет, поэтому в работе выделяются существенные коэффициенты параметров – $K_i^{(S)}$. Применительно к группе аппаратных параметров, существенным $K_{Z,i}$ коэффициентом является $K_{\max}^{(C)}$ – коэффициент цены микросхемы.

Некоторые коэффициенты можно объединить в выражения, позволяющие количественно оценить вычислительную мощность микросхемы. В таких выражениях предлагается использовать последовательность Фибоначчи – более значимые коэффициенты умножаются на числа с большим индексом в последовательности [2]. Последовательность Фибоначчи строится следующим образом: $U_1 = 1;\ U_2 = 1;\ U_n = U_{n-1} + U_{n-2}$, где U_n – элементы последовательности.

Одним из свойств последовательности Фибоначчи [1] является

$$\sum_{i=1}^{n} f_{Fib}(i) = f_{Fib}(n+2) - 1. \qquad (1)$$

Общий вид выражения для количественной оценки вычислительной мощности микросхемы, основанного на свойстве последовательности Фибоначчи (1), может иметь вид

$$y_i^{(M)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_{Fib}(i) \cdot K_i}{f_{Fib}(n+2) - 1}.$$

Частными критериальными функциями $y_i^{(M)}(K_i)$ могут быть:

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС архитектуры CPLD, объединяются в виде выражения

$$y_1^{(M)} = \frac{2K_{MC}^{(N)} + K_{\max}^{(F)} + K_{IO,\min}^{(N)}}{4}; \quad (2)$$

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС архитектуры СнК (система на кристалле), объединяются в виде выражения

$$y_2^{(M)} = \frac{5K_{LE}^{(N)} + 3K_{PC}^{(N)} + 2K_{\max}^{(F)} + (1 - K_{PD}^{(T)}) + K_{IO,\min}^{(N)}}{12}; \quad (3)$$

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС архитектуры FPGA, объединяются в виде выражения

$$y_3^{(M)} = \frac{2K_{LE}^{N} + K_{\max}^{F} + K_{IO,\min}^{N}}{4}; \quad (4)$$

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС комбинированной архитектуры PLD, объединяются в виде выражения

$$y_4^{(M)} = \frac{3K_{LE}^{N} + 2K_{MC}^{N} + K_{\max}^{F} + K_{IO,\min}^{N}}{7}. \quad (5)$$

Все рассмотренные ранее коэффициенты (2 – 5), можно объединить одним – коэффициентом вычислительной мощности. Для его определения предлагается применить обобщенную критериальную функцию

$$Y^{(M)} = \begin{cases} \exp(y_1^{(M)} + 1), \textit{если } K_{PC}^{(N)} = 0 \text{ и } K_{LE}^{(N)} = 0; \\ \exp(y_2^{(M)}), \textit{если } K_{PC}^{(N)} > 0; \\ \exp(y_3^{(M)} + 3), \textit{если } K_{PC}^{(N)} = 0 \text{ и } K_{MC}^{(N)} = 0; \\ \exp(y_4^{(M)} + 2), \textit{если } K_{PC}^{(N)} = 0 \text{ и } K_{MC}^{(N)} > 0 \text{ и } K_{LE}^{(N)} > 0. \end{cases} \quad (6)$$

Однако применительно к группе аппаратных параметров обобщенная критериальная функция (6) не позволяет выполнить комплексный анализ всех выделенных параметров, используемых при выборе ПЛИС. Она не учитывает соотношения цены и вычислительной мощности микросхемы. Это учитывает ***целевой функционал*;**

5) формирование целевого функционала модели выбора $J^{(M)}(X^{(M)})$ варианта ПЛИС, который определяет поведение модели в зависимости от обобщенной критериальной функции $Y^{(M)}(y_i^{(M)}, K_i)$ и существенных коэффициентов $K_i^{(S)}$:

$$J^{(M)} = (Y^{(M)}, K_i^{(S)}); \quad (7)$$

6) задание множества альтернативных вариантов:

$$X^{(M)} = \{X_1, X_2, \ldots, X_L\}. \quad (8)$$

Альтернативы ПЛИС можно разделить на группы по типу архитектур. Наиболее часто применяемые: а) CPLD – сложные программируемые логические устройства, содержат относительно крупные программируемые логические блоки – макроячейки, соединяемые в требуемую электрическую схему с помощью общего коммутатора, реализующего принцип “все – со всеми”. Функциональная структура CPLD формируется с помощью конфигурационного файла, хранящегося в энергонезависимой памяти, поэтому нет необходимости их перепрограммировать при включении; б) FPGA – программируемые вентильные матрицы, соединяемые в требуемую электрическую схему с помощью цепей межсоединений, размещенных между логическими блоками. Содержат блоки умножения-суммирования, которые широко применяются при обработке сигналов, а также логические элементы и блоки коммутации. Имеют более гибкую архитектуру, чем CPLD; в) PLD – комбинированная архитектура, представляет собой совмещение архитектур CPLD и FPGA; г) SoC – система на кристалле, электронная схема, выполняющая функции целого устройства, размещенная на одной интегральной схеме и представляющая собой совмещение архитектуры FPGA и микропроцессорного ядра. Таким образом, множество альтернативных вариантов выбора микросхемы ПЛИС (8) можно свести к четырем, где X_1 – группа ПЛИС с архитектурой SoC (система на кристалле), X_2 – группа ПЛИС с архитектурой CPLD (сложные программируемые логические устройства), X_3 – группа ПЛИС с архитектурой PLD (комбинированная архитектура), X_4 – группа ПЛИС с архитектурой FPGA (программируемые вентильные матрицы);

7) зональное разделение области значений целевого функционала $\Delta J_{X_i}^{(M)}$, соответствующее альтернативным вариантам:

$$\Delta J_{X_i}^{(M)} \in \left\{\Delta J_{X_1}^{(M)}, \Delta J_{X_2}^{(M)}, \ldots, \Delta J_{X_L}^{(M)}\right\}.$$

На данном этапе аналитическое выражение целевого функционала (7) может иметь следующий вид:

$$J^{(M)} = a_1 \cdot Y^{(M)} + a_2 \cdot (1 - K_{\max}^{(C)}), \quad (9)$$

где a_i – весовые коэффициенты, они должны удовлетворять условию $\sum_{i=1}^{2} a_i = 1$.

Коэффициент a_1 определяет вес требований вычислительной мощности микросхемы, а коэффициент a_2 определяет вес требования выгодной стоимости микросхемы;

8) процесс принятия решения. Принятие решения для многокритериальной модели в условиях определенности формулируется следующим образом: попадание значения реального целевого функционала $J^{(R)}$ в интервал значений $\Delta J_{X_i}^{(M)}$ будет определять альтернативный вариант $X_i^{(R)}$ решения. Процесс принятия решения можно записать в виде выражения

$$X_i^{(R)} = X_i^{(M)} \in \{X_1, X_2, \ldots, X_L\}, \text{ при } J^{(R)}(Y^{(R)}, K_i^{(S_R)}) \in \Delta J_{X_i}^{(M)},$$

то есть принимается решение о выборе архитектуры ПЛИС $X^{(R)}$ при проектировании специализированных устройств по реальным исходным данным $w_i^{(R)}$, принадлежащего множеству альтернатив $X^{(M)}$ при условии попадания значения целевого функционала $J^{(R)}$, рассчитанного с использованием реальных параметров, в интервал значений, соответствующих одному из интервалов значений целевого функционала модели $\Delta J_{X_i}^{(M)}$.

Применительно к выбору кристалла ПЛИС принятие решения иерархическое [6], т.е. выполняется в несколько этапов: определяются предварительные варианты подходящих микросхем из диапазона допустимых архитектур с учетом параметров сигналов на основе формального описания (табл. 1). Для каждой ПЛИС вычисляется свой целевой функционал и производится выбор кристалла по максимальному значению целевого функционала в диапазоне одной архитектуры.

На основе полученной математической модели была разработана подсистема классификации и выдачи информации о ПЛИС [5].

Таким образом, в работе представлен новый подход к выбору и предлагается вариант принятия решения. На подсистему классификации и выдачи информации о ПЛИС было получено свидетельство о регистрации программ [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьёв Н.Н. Числа Фибоначчи. – М. : Наука, 1978. – С. 11.

2. Кияница А.С. Уровни Фибоначчи: там, где лежат деньги. – М. : МАБТ “Форекс клуб”, 2004. – 268 с;

3. Литвинская О.С., Сальников И.И. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы : Монография. – Пенза : Пенз. центр научно-технической информации, 2011. – С. 125.

4. Турыгин И.Г., Литвинская О.С. Влияние характеристик новейших разработок производителей плис на выбор кристалла // Успехи современного естествознания. – М. : Академия естествознания, 2012. – № 6. – С. 100 – 102.

5. Турыгин И.Г., Литвинская О.С. Специальное программное обеспечение классификации и выдачи структурированной информации о ПЛИС // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2012. – С. 82 – 84.

6. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – С. 31 – 59.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012617101/8.08.2012. Сериков А.В., Чигирев М.А., Турыгин И.Г. Подсистема классификации и выдачи структурированной информации о программируемых логических интегральных схемах (РДПИ.01438-01)

УДК: 004.5
ББК: 30

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

© ***В.А. Егоров***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© ***В.О. Дунин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*
© ***Т.В. Истомина***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF EXPERT INFORMATION SYSTEMS TO IMPROVE THE LEVEL OF QUALITY OF HEALTH CARE

© ***V.A. Egorov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*
© ***V.O. Dunin***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*
© ***T.V. Istomina***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена обзору перспектив создания интерактивной экспертной системы, направленной на повышение качества предоставления услуг здравоохранения за счёт частичной автоматизации обработки данных историй болезней пациентов и вывода их в графическом виде на портативные цифровые устройства лечащих врачей.

Ключевые слова: экспертная система, автоматизация, здравоохранение.

The article is devoted to a review of prospects of creation of the interactive expert system, aimed at improving the quality of health care service provision due to partial automation of data-processing histories of patients and their output in graphical form in portable digital devices of physicians.

Key words: expert system, automation, health care.

E-mail: egorov-Vl@inbox.ru; duninV@gmail.com; istom@mail.ru

Повышение уровня развития информационных и телекоммуникационных технологий открывает множество возможностей как исследователям, так и сотрудникам, использующим эти исследования на практике. Одной из таких возможностей является создание экспертных систем анализа данных.

Согласно определению, экспертная система (ЭС) – это интеллектуальная вычислительная система, в которую включены знания опытных специалистов (экспертов) о некоторой предметной области, которая в пределах этой области способна принимать экспертные решения [1]. Целесообразность использования ЭС характерна для организаций социального обеспечения, поскольку в данной проблемной области при решении большинства задач (планирование финансово-экономических показателей, консультации по тематическим вопросам) приходится опираться на опыт и знания специалистов-экспертов. В свою очередь, экспертная система позволяет на-

капливать, систематизировать и сохранять знания, профессиональный опыт тех экспертов, которые решают конкретные задачи наилучшим образом. Накопленные в ЭС знания могут быть использованы на практике неограниченное число раз [2].

Принято выделять несколько различных видов ЭС, но применительно к системе здравоохранения предлагается использовать комбинацию из нескольких, так называемую гибридную ЭС, или, иначе говоря, ЭС интегрированную с базами данных и другими программными продуктами (приложениями) [3, 5].

Обобщенная схема экспертной системы представлена на рис. 1.

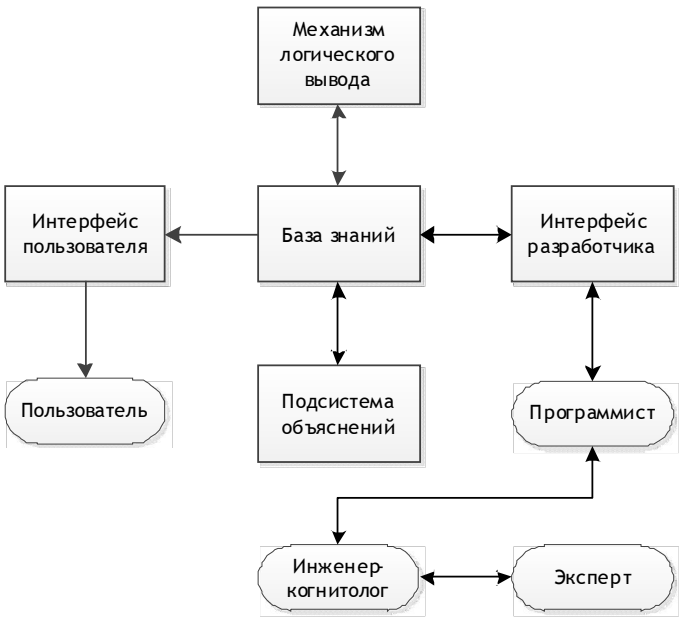


Рис. 1. Обобщённая схема экспертной системы

Механизм логического вывода предназначен для получения новых фактов на основе сопоставления исходных данных из рабочей памяти и знаний из базы знаний. Данный механизм позволяет сформировать заключения, воспринимая вводимые факты как элементы правил, отыскивая правила, в состав которых входят введенные факты и, актуализируя те части, которым соответствуют введенные факты. В обычном случае механизм вывода может выполнять одну или обе из следующих операций:

– проверка истинности некоторого факта: истинным считается факт, выведенный по законам формальной логики из имеющейся базы фактов и правил;

– нахождение множества значений параметра некоторого правила, при котором данное правило превращается в истинный факт.

Основным правилом вывода в традиционной логике является правило, согласно которому мы судим об истинности высказывания B по истинности высказываний A и $A \rightarrow B$. Нечетким множеством A в некотором не-

пустом пространстве X называется множество пар $A = \{\langle x,\ \mu_A(x) | x \in U \rangle\}$,

где $\mu_A : U \to [0,1]$ – функция принадлежности нечеткого множества A. Эта функция приписывает каждому элементу x степень его принадлежности нечеткому множеству A.

Подсистема объяснений – программная часть, позволяющая получить в качестве ответа на вопросы: "Каким образом было получено то или иное решение?" и "Каким образом было принято данное решение?" трассировку всего процесса вывода решения с указанием использованных фрагментов базы знаний.

База знаний – совокупность знаний, относящихся к некоторой предметной области и формально представленных таким образом, чтобы на их основе можно было осуществлять рассуждения. Модели представления знаний можно разделить на три вида:

1. Продукционные модели, которые позволяют представить знание в виде предложений типа: "ЕСЛИ условие, ТО действие". Такие модели обладают существенным недостатком: при накоплении достаточно большого числа правил они начинают противоречить друг другу.

2. Сетевые модели или семантические сети – как правило, представленные графами, отображающими смысл целостного образа. Узлы графа соответствуют понятиям и объектам, а дуги – отношениям между объектами.

3. Фреймовые модели, в основе которых используют так называемые фреймы – структуры данных для представления некоторого концептуального объекта. Информация, относящаяся к фрейму, содержится в составляющих его слотах, которые могут быть терминальными либо являться сами фреймами, образуя целую иерархическую сеть.

Интерфейс пользователя – подсистема, позволяющая организовать взаимодействие пользователя с системой.

Интерфейсом разработчика является программная среда, позволяющая вносить исправления в работающий код.

Отладку и проверку адекватности работы системы выполняют программист, инженер-когнитолог и эксперт.

Инженер-когнитолог – специалист по искусственному интеллекту, проектирующий и создающий экспертную систему. Обычно инженер по знаниям выступает в роли посредника между экспертом и базой знаний.

Эксперт – лицо, заведомо считающееся компетентным в конкретной предметной области.

Стандартная схема ЭС в общем виде представляет систему как некий справочник, дающий специалисту доступ к общей базе знаний, сформированной экспертами тематической области, что однозначно помогает в принятии сложных решений, но и этого порой недостаточно, поскольку порой может иметь значение и человеческий фактор [4].

В сфере здравоохранения правильность принятия решений зависит от множества факторов и данных, получаемых в ходе различных медицинских

процедур и анализов, при чтении которых могут возникать неверные интерпретации и ошибки, исключить которые возможно добавлением обратной связи пользователя с системой и введением СУБД для хранения историй болезни пациентов. Фрагмент изменений схемы представлен на рис. 2.

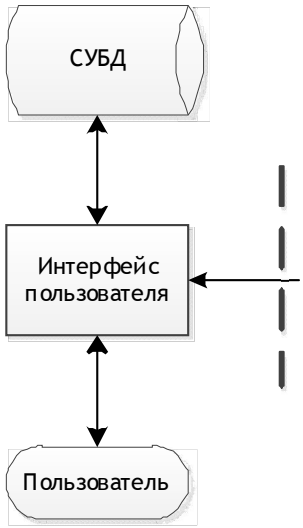


Рис. 2. Фрагмент интерактивной экспертной системы с обратной связью с пользователем

С одной стороны, введение возможности хранения историй болезни является лишь средством документооборота и дополнительным средством хранения данных. С другой – сохраняя и анализируя предыдущие результаты анализов, можно наблюдать динамику показателей, отобразив показатели на графике (рис. 3).

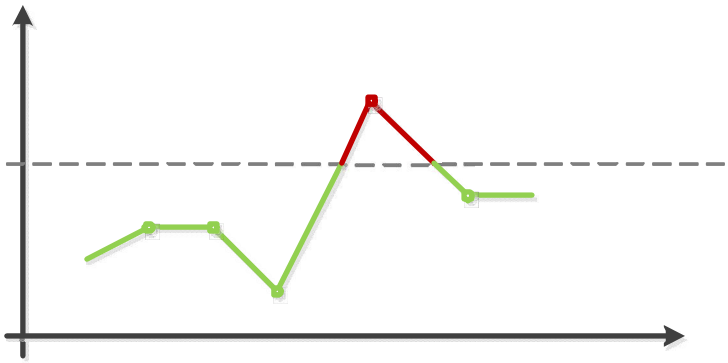


Рис. 3. График динамики показателей анализов пациента

Учитывая специфику применения, следует отменить необходимость использовать систему с максимальной портативностью, что решается применением планшетных и портативных компьютеров и клиент-серверной технологии. Схема системы изображена на рис. 4.

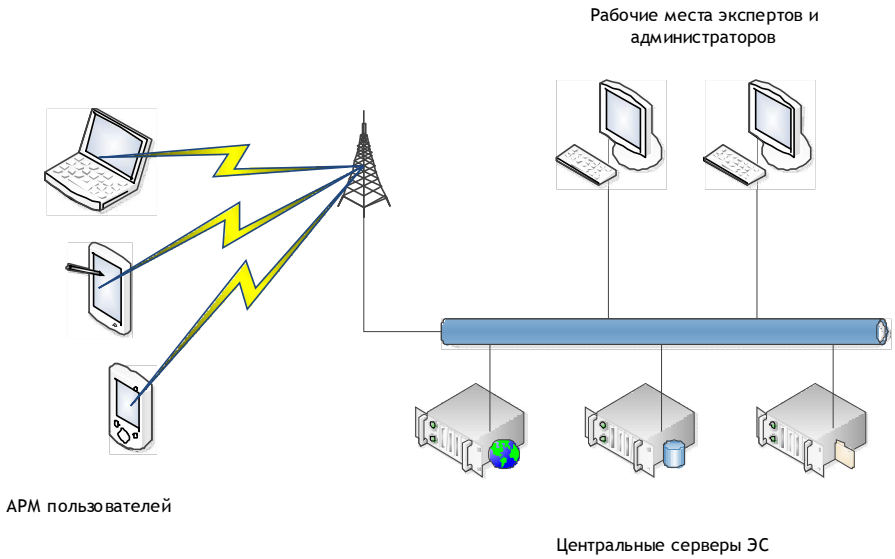


Рис. 4. Схема интерактивной ЭС

Центральные серверы интерактивной экспертной системы хранят справочно-информационные данные, пополняемые и редактируемые экспертами, а также данные историй болезней и анализов пациентов клиник и больниц. Пользователи системы с помощью рабочих портативных компьютеров с установленным клиентским программным обеспечениям по защищённым каналам связи и беспроводные сети имеют доступ к серверам, получая возможность работы с требуемой информацией.

Таким образом, ввод в эксплуатацию подобной интерактивной экспертной системы позволит повысить уровень системы здравоохранения, дав возможность как врачам клиник, так и фельдшерам карет скорой помощи обеспечивать своевременную и корректную помощь больным и пострадавшим.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Понятие, особенности и примеры экспертных систем – YourLib.net. URL: http://yourlib.net/content/view/12924/153/ (28.10.2012)

2. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М. : Вильямс, 2001. – 624 с.

3. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы : принципы разработки и программирование. – М. : Вильямс, 2006. – 1152 с.

4. Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. – М. : Финансы и статистика, 1990. – 320 с.

5. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. – М. : Мир, 1989. – 388 с.

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 681.32
ББК 32

ВОПРОСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

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

THE ISSUE OF INTERACTION MODEL OF THE AUTOMATED MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM

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

В статье рассматриваются вопросы взаимодействия моделей, управляемых тестерами и имитирующих функционирование систем управления информационными системами, должностных лиц систем управления и тестеров. Доказывается ряд утверждений, определяющих конформность машин тестирования функционирования систем управления.

Ключевые слова: системы управления, модели, тестирование.

The article examines the interaction model, drive testers and simulating the operation of systems for information systems, management systems officers and testers. We prove a number of statements that define the conformity function testing machine control systems.

Key words: control, model, test.

Рассмотрим современные информационные системы управления операциями (СУ), близкими к силовым, например органов МЧС, МВД и т.д. Их управляющее воздействие характеризуется следующим образом.

Объектами управления СУ являются люди и техника, участвующие в проведении операций. Аппаратно-программный комплекс (АПК) СУ, автоматизируя обработку поступающих данных, информирует должностных лиц (ДЛ) о состоянии объектов управления, выдает рекомендации по управлению операцией, но не оказывает непосредственного управляющего воздействия на объекты управления. АПК СУ лишь отслеживает их состояние. На основе принятой и занесенной в базу данных (БД) информации и алгоритмов ее обработки АПК СУ может решать некоторые прикладные задачи и выдавать результаты решения ДЛ, которые на их основе могут оказывать управляющее воздействие на объект управления. Любое решение принимают конкретные ДЛ, однако список возможных решений, рекомендации по управлению операцией, другую информацию, которую должны учитывать ДЛ, принимающие решение, выдает СУ. Таким образом, управляющее воздействие АПК СУ имеет место, но является косвенным и осуществляется через команды ДЛ.

Подобные СУ являются рефлексивными системами и должны разрабатываться как рефлексивные системы минимум второго ранга рефлексии. Это предполагает наличие механизма моделирования своего поведения и поведения объектов противоположной стороны. Например, действия объектов спасения или действия нарушителя правил дорожного движения.

Принципиальным является необходимость моделирования не только действия своих объектов управления, объектов противоположной стороны, но и функционирования самой СУ. Моделирование функционирования СУ – это моделирование работы подсистем СУ, моделирование работы программного обеспечения (ПО) СУ и действия ДЛ, оказывающих управляющее воздействие на ход проведения операции в период принятия решений. Моделировать работу готового ПО нет необходимости, если программно реализовать взаимодействие ПО с моделями. Таким образом, если обозначить через “тестер” ДЛ, которое взаимодействует непосредственно с какой-либо моделью, а точнее с ПО реализующим работу модели, то при моделировании функционирования СУ должна осуществляться следующая схема взаимодействия:

«тестер» $\Leftrightarrow$ «ПО модели» $\Leftrightarrow$ «ПО СУ» $\Leftrightarrow$ «ДЛ» $\Leftrightarrow$ «ДЛ». (1)

Возможны три варианта взаимодействия тестера с ПО модели:

– ручное взаимодействие, когда тестер взаимодействует с ПО модели и варианты развития событий выбирает тестер;

– автоматизированное, когда ПО модели функционирует по заранее введенным параметрам, но тестер может вмешаться в развитие событий и осуществить выбор вариантов развития событий;

– автоматическое, когда все функции модели реализует ПО модели.

Последний вариант является самым сложным. В этом случае приходится учитывать различные параметры, влияющие на выбор вариантов действий, так как развитие ситуации должно быть если не оптимальным, то адекватным предполагаемым действиям рассматриваемых объектов. В случае ручного и автоматизированного варианта предполагается, что адекватный выбор развития ситуации осуществляет тестер на основе своего опыта, то есть тестер выступает в качестве эксперта, знающего, каким образом возможно развитие событий. Это облегчает работу по созданию подобных моделей. В дальнейшем остановимся на первых двух вариантах взаимодействия.

При реализации моделей, соответствующих первым двум вариантам взаимодействия, возникают следующие проблемы.

Первая. Проблема адекватности совместной работы тестеров, ПО моделей, ПО СУ. Рассматриваемая работа СУ сводится к работе ПО СУ и взаимодействию с ним ДЛ, а также ДЛ с ДЛ. Совместная работа ПО моделей и ПО СУ означает, что в этом случае работает не ПО СУ, а нечто отличное от него, так как ПО СУ должно быть погружено в реальность, а рассматриваемое ПО погружено в среду моделирования. Аналогично для ДЛ СУ.

Вторая. В реальности временные параметры взаимодействия ДЛ, ПО СУ, предметной области синхронизированы так, как они синхронизированы возможностями ПО СУ, ДЛ, инструкциями, техническим заданием. Если вместо реальности рассматривается совместная работа тестеров, ДЛ, ПО моделей, ПО

СУ, то необходимо каким-то образом моделировать синхронизацию их взаимодействия, так как, например, действие тестеров может быть медленнее, чем действие ПО СУ, которое должно работать согласно техническому заданию.

Рассмотрим технологию, которая формализует процесс взаимодействия ДЛ и ПО с помощью машины тестирования (МТ) [1].

Назовём конформностью соответствие рассматриваемой системы (программной, организационной или аппаратной) заданным требованиям, например техническому заданию или, в случае деятельности ДЛ, инструкциям и уставам. Модель исследуемой системы назовем реализацией, модель требований – спецификацией. Конформность системы означает не только, что система работает строго по заданным требованиям. Система должна корректно реагировать на возникающие аппаратные, программные или организационные сбои и отказы, что также должно входить в технические задания на систему при правильном их составлении. Отсюда следует, что возникающие по каким-либо причинам ошибки, то есть нелогичные или неправильные действия с “точки зрения” системы, должны фиксироваться для дальнейшего их исправления. В наличии ошибок в конформной системе нет противоречия, так как система может эксплуатироваться, например, совместно с другой неконформной системой. Это может приводить к возникновению ошибочных для конформной системы ситуаций.

Введем следующие определения. Пусть L – алфавит символов, называемых внешними действиями. Сообщение, передаваемое из окружения в систему (в МТ), называется стимулом и обозначается $?m$, а сообщение, передаваемое из системы в окружение, называется реакцией и обозначается $!m$, где m – символ сообщения. Обозначим через ω символ внутреннего действия, результатом которого не является стимул или реакция. Определим биекцию $\boldsymbol{b}$, ставящую в соответствие каждому внешнему действию противоположное ему действие (стимулу – реакцию, реакции – стимул), то есть для любого m выполняется: $(\boldsymbol{b}(?m)=!m) \wedge (\boldsymbol{b}(!m)=?m)$. Пусть w определено следующим образом: $(w=?m) \vee (w=!m)$. Заметим, что $\boldsymbol{b}(\boldsymbol{b}(w))=w$.

В качестве МТ будем рассматривать модифицированную сеть Петри (МП-сеть) [2] с алфавитом $L \cup \{\mathrm{w}\}$. МП-сетью называется ориентированный, двудольный, взвешенный граф

$$MP = (P, Z, F, E, M_0, T), \qquad (2)$$

где $P = \{p_i\}_{i=1...n}$ – конечное множество мест; $Z = \{z_j\}_{j=1...m}$ – конечное множество переходов; $F:(P,Z) \rightarrow \{0,1\}$ – функция инцидентности, устанавливающая связь между местами и переходами; $E:(Z,P) \rightarrow \{0,1\}$ – функция инцидентности, устанавливающая связь между переходами и местами; $M_0:P \rightarrow \{0,1,2,\ldots\}$ – функция начальной разметки мест, определяющая количество фишек для каждого места в начале работы сети Петри; $T:Z \rightarrow [0,t]$ – функция, сопоставляющая каждый переход z_j с длительностью реализации перехода $\mathrm{t}_j \mathrm{O}[0,t]$.

МТ будем обозначать через $N = (P, Z, F, E, M_0, T, L)$.

Введем следующие ограничения.

Первое. Все переходы, имеющие одно общее входное место, должны

иметь равную длительность срабатывания и равное число входящих дуг. Такую конструкцию будем обозначать через C_i, где i – номер общего входного места для нескольких переходов с равным временем срабатывания.

Второе. В МП-сети возможна проверка на ноль. Это должно выполняться следующей конструкцией.

Место p_i соединено одиночными выходными дугами с переходами z_{i1}, z_{i2}, длительность срабатывания перехода z_{i1} больше длительности реализации перехода z_{i2}. Место p_j соединено одиночной выходной дугой с переходом z_{i2}. Должны выполняться следующие соотношения:

$$K(p_i, z_{i1}) = K(p_i, z_{i2}) = K(p_j, z_{i2}) = 1;\ Q^+(z_{i1}) = \{p_i\},\ Q^+(z_{i2}) = \{p_i, p_j\};$$

$$Q^-(p_i) = \{z_{i1}, z_{i2}\};\ Q^-(p_j) = \{z_{i2}\};\ \tau_{i1} > \tau_{i2} \qquad (3)$$

где K – число дуг, соединяющих входное место с переходом, Q^+ – множество входных мест, Q^- – множество выходных переходов. Свойства подобных МП-сетей были рассмотрены в [3]. Такую конструкцию будем обозначать через Θ_{ij}. Места p_i, p_j назовем входными местами конструкции Θ_{ij}.

Будем рассматривать только такие МП-сети, для которых выполняется условие: все переходы, имеющие общее входное место, принадлежат множеству C_i либо множеству Θ_{ij}.

Рассмотрим объединение двух МТ: N_1 и N_2. Пусть L_1 – алфавит символов для N_1, а L_2 – алфавит символов для N_2. Предположим, что $w \in (L_1/b(L_2)) \cup (L_2/b(L_1))$, тогда асинхронным переходом называется переход в одной из МТ, который помечен w или ω. Предположим, что $(w \in (L_1 \cap \boldsymbol{b}(L_2))) \vee (w \in (L_2 \cap \boldsymbol{b}(L_1)))$, тогда синхронными переходами в МТ будем называть переходы, помеченные противоположными действиям $?m$ и $!m$, срабатывающими одновременно. Будем называть объединение двух МТ, обозначенное как $N = N_1 * N_2$, корректным, если все переходы в N асинхронны или синхронны. Будем называть объединение N замкнутым, если

$$((L_1 \cap \boldsymbol{b}(L_2) = L_1) \wedge (L_2 \cap \boldsymbol{b}(L_1) = L_2)). \qquad (4)$$

Если мы говорим о композиции человеко-машинной системы $N = N_1 * N_2$, где N_1 – машинная система, а N_2 – система деятельности человека, спецификации которой выражаются в виде инструкции и правил этой деятельности, то ее замкнутость означает, что взаимодействие человека с машиной происходит при $((L_1/\boldsymbol{b}(L_2 = \varnothing) \wedge (L_2/\boldsymbol{b}(L_1) = \varnothing))$.

Предположим, что S – система, конформная своим спецификациям. Системы, получаемые в процессе проектирования, создания и тестирования, обозначим через S_i, где i изменяется от 1 до ∞. Назовем стратегию тестирования приемлемой, если для любой S_1 существует последовательность $\{S_i\}$ такая, что при $i \to \infty$ $\{S_i\} \to S$. Систему S^* назовем потенциально конформной, если существует приемлемая стратегия тестирования с последовательностью $\{S_i\}$ и существует i^* такое, что $S^* = S_{i^*}$.

В качестве аксиомы рассмотрим следующее предположение: при заданных спецификациях, если системы N_1 и N_2 конформны, а система $N = N_1 * N_2$ корректна и замкнута, то система N является потенциально конформной.

Первая рассматриваемая проблема является проблемой немонотонности конформности и может быть сформулирована следующим образом. При каких ограничениях композиция реализаций, конформных своим спецификациям, будет являться конформной композиции этих спецификаций?

Основываясь на введенной аксиоме, без доказательства приведем следующие утверждения.

Утверждение 1. Если системы N_1 и N_2 конформны, а система N замкнута, то существует такая стратегия тестирования и такое i_0, что система N_{i0} корректна.

Утверждение 2. Если системы N_1 и N_2 конформны, а система N замкнута, то система N потенциально конформна.

При моделировании внешней среды и для функционирования СУ требуется объединение более двух МТ. Поэтому обобщая полученные результаты при некоторых ограничениях можно доказать утверждение 3.

Утверждение 3. Для корректной работы СУ, представленной в виде объединений нескольких МТ, необходима замкнутость и конформность ее составных частей (МТ, входящих в объединение).

Рассмотрим вторую проблему.

Циклом МП-сети N будем называть некоторые подсети $N_ц$ МП-сети, $N_ц \subset N$, с начальной разметкой $M_{ц0} \subset M_0 \in N$, такой, что любую последовательность срабатывания переходов $(z_1, z_2, ..., z_n)$ из $N_ц$ можно продолжить до того момента времени, как ее текущая разметка $M_ц$ станет равна $M_{ц0}$.

Утверждение 4. Рассмотрим два цикла: $N_ц$, $N_ц^/$, отличающиеся между собой только функциями T и $T^/$. Тогда, если в $N_ц^/$ отсутствуют конструкции Θ_{ij}, то для всякой последовательности срабатывания переходов $(z_1, z_2, ..., z_n)$ из $N_ц$ существует последовательность срабатывания переходов, равная последовательности $(z_1, z_2, ..., z_n)$ из $N_ц^/$.

В процессе моделирования работы ПО СУ или ее тестирования возникает возможность определения технических характеристик системы. Для этого часто бывает необходимо уменьшить время выполнения некоторых процессов и зациклить другие процессы.

Наличие циклов ускоряет время моделирования процессов соответствующих циклов. Если рассматривать МТ СУ как объединение нескольких МТ, то есть $N_{СУ} = N_1 * N_2 * ... * N_r$, то возможно возникновение неконформности МТ $N_1, N_2, ..., N_r$. Причиной этого может быть их некорректность. Происходит рассогласование по времени синхронных переходов. Поэтому не конформна не одна, а, как минимум, две подсистемы. Однако в этом случае моделируется или тестируется не все ПО СУ, то есть не вся МТ N (поэтому она не обязана быть конформной), а некоторые из ее частей, к которым относится необходимость в получении тех или иных требуемых характеристик или статистических данных.

Для конформности частей системы N требуется опять согласовывать по времени ее синхронные переходы. Если изменено время срабатывания переходов в одной части системы N, то необходимо это сделать и в другой части системы. Однако присутствие в МП-сети конструкции Θ_{ij} может привести к тому, что отсутствие синхронности переходов может быть обусловлено тем, что при

изменении времени срабатывания переходов переходы в конструкции Θ_{ij} будут мертвыми, то есть их срабатывание будет невозможно. В этом случае, согласно утверждению 4, необходимо отказаться от конструкции Θ_{ij}, после чего согласовать переходы путем изменения времени их срабатывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдонов И.Б. , Косачев А.С. , Кулямин В.В. Теория соответствия для систем с блокировками и разрушением. – М. : Физматлит, 2008. – 412 с.

2. Криницкий Н.А., Федотова Д.Э., Квасова Т.К. О едином алгоритмическом подходе к аппаратным и программным средствам вычислительных систем и их моделирование // Программирование. – 1985. – № 5. – С. 12 – 19.

3. Бабич М.Ю. Моделирование работы программного обеспечения сетями Петри // Вопросы радиоэлектроники. – М., 1996. – С. 7 – 12. – (ЭВТ).

УДК 621.327
ББК 34

ВОЗМОЖНОСТИ ПАССИВНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА

© ***В.А. Борисов**, Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

FEATURES PASSIVE METHOD OF RANGE MEASUREMENTS IN THE TELEVISION PERIMETER SECURITY SYSTEM

©***V.A. Borisov**, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены возможности метода измерения расстояния до нарушителя в системах охраны периметра. Определены погрешность измерения и параметры, влияющие на значение погрешности.

Ключевые слова: видеокамера, система охраны, расстояние.

The possibilities of the method of measuring the distance to the offender in the security perimeter. Determined by measurement error and parameters affecting the value of the error.

Key words: camera, security system and a distance.

E-mail: grommit@mail.ru

Одним из основных преимуществ телевизионных технических средств охраны (ТВТСО) является получение визуальной информации с места регистрации нарушения. Получаемая информация представляет собой двумерную проекцию (видеоизображение) объектов, находящихся в объемной зоне, воспринимаемой видеокамерой. Длина зоны, которую может обслуживать

одна видеокамера, составляет десятки метров. В связи с этим становится актуальным определение расстояния от видеокамеры до объекта (нарушителя) и, как следствие, нахождение более точных координат нарушителя.

В системах охраны периметра нет необходимости в высокоточных измерениях, повышающих сложность системы. Определить расстояние до объекта можно без применения специализированного оборудования, установив видеокамеру под углом к поверхности, за которой ведется наблюдение. На рис. 1 показан пример организации подобной системы. Видеокамера установлена на высоте h над плоскостью охраняемой поверхности и под углом α к восстановленному к поверхности перпендикуляру. На охраняемой плоскости, образуется область, на которой возможно определение расстояния. В данном способе необходимо, чтобы объект касался поверхности и точка соприкосновения была определена. Этим условиям удовлетворяют алгоритмы обнаружения движения. Например, если при вычитании соседних кадров обнаружен контур движущегося объекта, то расстояние от нижнего края изображения до нижней точки контура $R_{A'X'}$ (в области $R_{A'C'}$, рис. 1) будет пропорционально расстоянию от точки О до точки соприкосновения объекта с поверхностью.

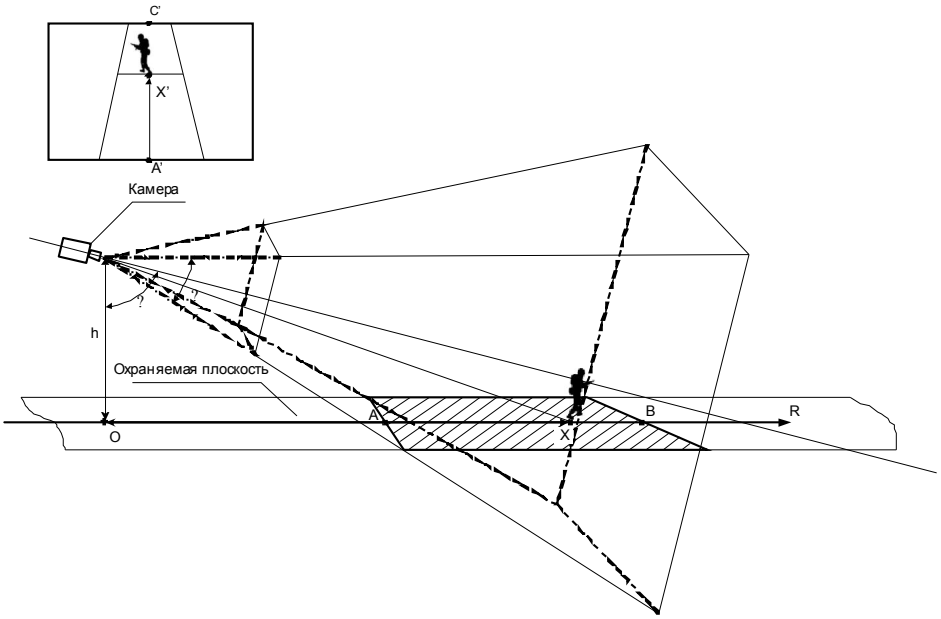


Рис. 1. Расположение видеокамеры под углом к поверхности

На рис. 1: R_{AC} – участок охраняемой зоны, попадающий в обзор видеокамеры; $R_{A'C'}$ – соответствует матрице видеокамеры; R_{OX} – расстояние от места установки видеокамеры до нарушителя; h – высота установки видеокамеры; α – угол установки видеокамеры; β – угол обзора видеокамеры, по вертикали. Расстояние до нарушителя R_{OX} можно выразить, зная расстояние от края проекции охраняемой зоны до проекции нарушителя $R_{A'X'}$:

$$R_{OX} = h \cdot tg\left(\alpha - \frac{\beta}{2} + \arcsin\left(\frac{R_{A'X'} \cdot \sin\left(\frac{180-\beta}{2}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\sin\left(\frac{180-\beta}{2}\right)}{\sin\beta}\right)^2 + R^2_{A'X'} - 2\left(\frac{\sin\left(\frac{180-\beta}{2}\right) \cdot R_{A'C'}}{\sin\beta}\right) \cdot R_{A'X'} \cdot \cos\left(\frac{180-\beta}{2}\right)}}\right)\right)$$

Полученная формула описывает систему, для правильной работы которой следует ввести некоторые ограничения: $\alpha - \frac{\beta}{2} > 0°$, $\alpha + \frac{\beta}{2} > 90°$, иначе работа системы будет неэффективна.

В системах технического зрения при охране периметра информативность изображения более важна, чем эстетическое восприятие, поэтому для эффективной работы системы важно, чтобы проекция охраняемой зоны занимала большую часть растра. Нижний край изображения должен быть близок к началу участка охраняемой зоны, а верхний край изображения не должен подниматься намного выше линии горизонта.

Математическая модель системы с учетом дискретности изображения

Сенсор цифровой видеокамеры состоит из светочувствительных ячеек, образующих прямоугольную матрицу. Каждому пикселю матрицы соответствует некоторый участок попадающего в сектор обзора видеокамеры пространства, проецируемого на матрицу. При нахождении нарушителя в ближней к видеокамере зоне он будет зафиксирован с большей разрешающей способностью, чем в дальней зоне.

Учитывая факторы, перечисленные выше, модель участка охраняемой зоны, попадающая в угол обзора видеокамеры, может выглядеть следующим образом (рис. 2).

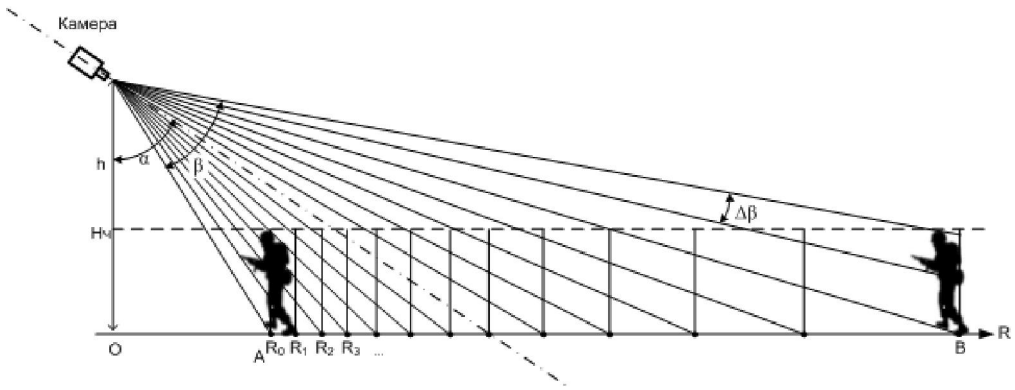


Рис. 2. Расположение видеокамеры под углом к поверхности

На рис. 2: $H_ч$ – высота человека; R_{AB} – участок охраняемой зоны, попадающий в обзор видеокамеры, где R_{OB} соответствует расстоянию, на кото-

ром верхняя граница обзора видеокамеры пересекает $H_ч$. Точки R_i, принадлежащие R_{AB}, соответствуют участкам, проецируемым на один пиксель матрицы видеокамеры. Участок пространства, проецируемого на один пиксель, наблюдается под углом $\Delta\beta$.

Если принять высоту человека $H_ч = 2$ м, то можно рассчитать протяженность участка R_{AB}:

$$R_{AB} = R_B - R_A;\ R_A = h \cdot \mathrm{tg}\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right);\ R_B = (h - H_ч) \cdot tg\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right).$$

На рис. 3 показана зависимость R_{AB} от угла установки камеры α при $\beta = 40^o$, $H_ч = 2$ м, $h = 4$ м.

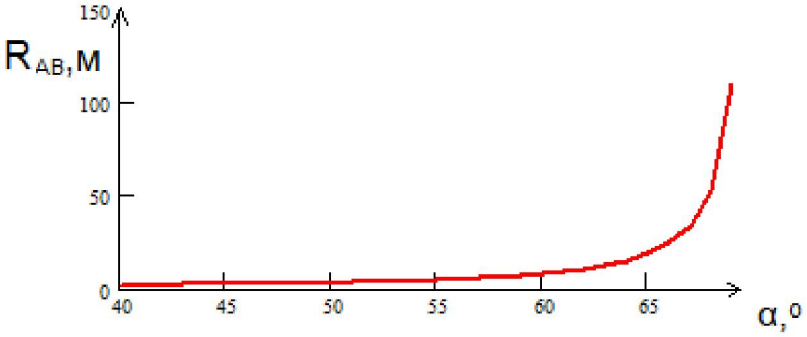


Рис. 3. Зависимость R_{AB} от угла установки α

Из рис. 3 видно, что протяженность зоны, в которой возможно измерение расстояния, изменяется нелинейно. Вслед за увеличением R_{AB} увеличивается погрешность измерения расстояния до нарушителя. В качестве погрешности измерения можно принять расстояние между точками R_i и R_{i+1} (рис. 2). На различных расстояниях это будет соответствовать погрешности в один пиксель изображения. Таким образом, с увеличением расстояния до нарушителя погрешность измерения ДR_i возрастает и может быть выражена как

$$\Delta_{Ri}(i) = h \cdot \mathrm{tg}\left(\alpha - \frac{\beta}{2} + i \cdot \Delta\beta\right) - h \cdot \mathrm{tg}\left(\alpha - \frac{\beta}{2}\right),$$

где i – линия матрицы видеокамеры, соответствующая точке R_i (рис. 2); $\Delta\beta$ – угол, соответствующий одной линии матрицы видеокамеры; $\Delta\beta = \frac{\beta}{N}$, где N – число линий растра.

На рис. 4 показана зависимость Δ_{Ri} от расстояния до нарушителя при $\alpha = 68^o$, $\beta = 40^o$, $H_ч = 2$ м, $h = 4$ м.

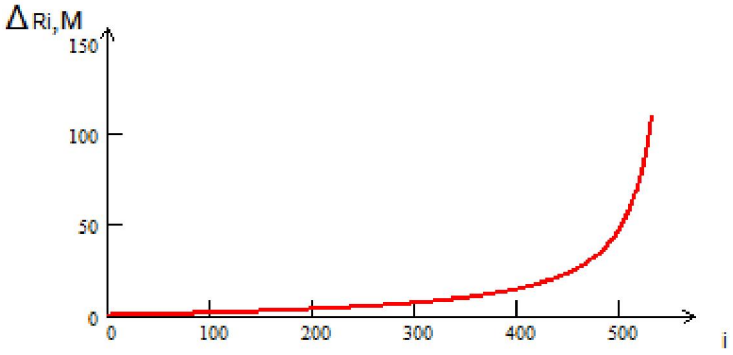


Рис. 4. Зависимость R_{AB} от угла установки α

Из рис. 4 видно, что погрешность измерения в дальней части охраняемой зоны более 50 м. Погрешность в дальней зоне довольно значительна, если учесть, что протяженность R_{AB} = 80 м. В ближних зонах погрешность измерения приемлема и по расчетам составляет 5 м на расстоянии 50 м от видеокамеры. Высота изображения человека, находящегося на данном расстоянии, составит 26 линий растра.

Таким образом, в ТВТСО можно реализовать измерение расстояния до объекта без применения дополнительного оборудования с заданной точностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов В.А. Модель для расчета оптимальности параметров установки видеокамер в системах охраны периметра // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Информационные технологии. – 2011. – Выпуск № 03(03). – С. 100 – 106. – (Технические науки).

2. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М. : Физматлит, 2009. – 248 с.

3. http://www.videoscan.msk.ru/

УДК 621.396
ББК 32

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ

© ***Е.А. Данилов***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***И.И. Сальников***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

MODELING WAVELET TRANSFORM IN THE FREQUENCY RADIORADIAL TECHNICAL SYSTEMS PROTECTION

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

© ***I.I. Salnikov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрен метод улучшения технических параметров радиолучевой системы охраны при использовании вейвлет-преобразования. Показано, что улучшается отношение сигнал-шум и увеличивается разрешающая способность по дальности.

Ключевые слова: техническое средство охраны, частотный метод измерения дальности, вейвлет-преобразование.

The paper presents a method of improving the technical parameters radioradial protection system using wavelet transform. Shown to improve the signal-to-noise ratio and increased range resolution.

Key words: technical means of protection, ranging frequency method, wavelet transform.

В условиях обострившейся террористической угрозы все больше внимания уделяется техническим средствам охраны (ТСО). Важнейший элемент комплекса безопасности – это периметровое средство обнаружения как источник первичной информации о факте вторжения нарушителя. Одним из наиболее распространённых периметровых ТСО являются радиолучевые средства (РЛТСО). Это обусловлено: высокой вероятностью обнаружения, устойчивостью к изменению метеоусловий, простотой эксплуатации и монтажа по сравнению с другими ТСО.

В настоящее время в однопозиционных РЛТСО для обнаружения нарушителя применяется частотный метод. В пространство излучается периодический линейно частотно модулированный сигнал (ЛЧМ) [1]. Отраженный сигнал будет запаздывать на время $t_з = 2D/c$ (рис. 1). В результате смешения этих сигналов в синхронном детекторе образуется *биение*, частота которого будет определяться временем запаздывания, то есть пропорционально дальности до цели: $f_б = t_з \frac{df_n}{dt} = \frac{2df/dt}{c} D_Н$. С учетом линейного закона изменения частоты ЛЧМ-колебаний частота биений будет

$$f_б = \frac{2D_Н \cdot (f_{max} - f_{min})}{c \cdot T_d} = \frac{2D_Н \cdot f_d}{c \cdot T_d}, \qquad (1)$$

где f_d, T_d – девиация частоты и период девиации.

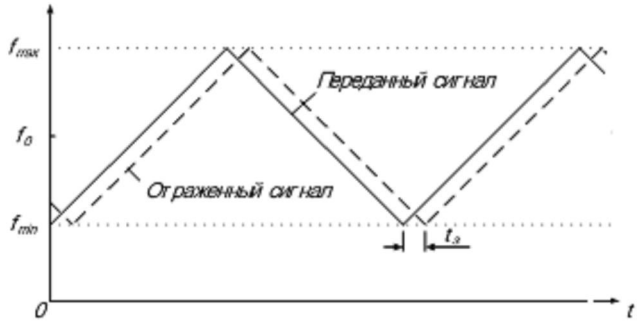


Рис. 1. Зависимость частоты от времени для ЛЧМ-колебаний

Для обнаружения нарушителя и определения дальности применяется параллельный метод спектрального анализа, для которого используется набор фильтров, перекрывающий диапазон анализируемых частот $f_{б,\max} - f_{б,\min}$. Если полоса каждого узкополосного фильтра $\Delta f_{УФ}$, то их число $n_{УФ} = (f_{б,\max} - f_{б,\min}) / \Delta f_{УФ}$. Номер фильтра, на выходе которого появился сигнал, позволяет обнаружить нарушителя и судить о дальности до него. Две цели можно различить, если соответствующие им частоты различаются на значение большее, чем полоса фильтров пропускания, т.е. на значение величины разрешающей способности [2]:

$$\delta D = c\Delta f_{УФ} T_d / 4 f_d, \tag{2}$$

при этом потенциальная разрешающая способность

$$\delta D_{пот} = c / 2 f_d. \tag{3}$$

Разрешающая способность в конечном итоге определяется шириной спектра f_d и шириной полосы пропускания фильтров $\Delta f_{УФ}$, которая ограничена конечным значением из-за инерционности фильтров.

Потенциальная разрешающая способность при девиации частоты f_d = = 250 МГц и частоте повторения $1/T_d$ = 4 кГц равна $\delta D_{пот} \approx$ 0,6 м. Реальная разрешающая способность при максимальной дальности 100 м с использованием 4-х перекрывающих фильтров с полосой $\Delta f_{УФ}$ = 415 кГц $\delta D \approx$ 31 м. База ЛЧМ-сигнала равна: $m = f_d \cdot T_d = 6250$, то есть $m >> 1$, что говорит о том, что сигнал *сложный*.

На рис. 2 представлена схема РЛТСО с дополнительной обработкой ЛЧМ-сигнала $S(t)$ в виде вычисления вейвлет-преобразования (ВП) в дискретной форме:

$$\Psi(a,\tau)=\frac{1}{a}\sum_{i=0}^{M-1}S(t)\cdot\psi(\frac{\tau-t_i}{a}). \qquad (4)$$

Существует несколько методов реализации ВП [3]: прямое вычисление ВП по (4), вычисление с использованием дискретного преобразования Фурье (ДПФ), реализация цифрового фильтра с заданной импульсной характеристикой.

Также существуют различные средства, с помощью которых можно реализовать ВП. Прямое вычисление ВП требует значительное количество вычислительных ресурсов и выполняется длительное время. По этим причинам для ускорения вычисления ВП предлагается быстрое преобразование Фурье (БПФ) и обратное быстрое преобразование Фурье (ОБПФ). Если убрать в (4) масштабирующий коэффициент a, то мы получим выражение, которое представляет собой свертку:

$$y(b)=\sum_{t_i=0}^{M-1}S(t_i)h(b-t_i). \qquad (5)$$

Свертка во временной области эквивалентна перемножению комплексных частотных спектров [4]:

$$y(b)=S(t)\cdot h(b)\xrightarrow{\text{ДПФ}}\xleftarrow{\text{ОДПФ}}Y(j\omega)=H(j\omega)\cdot S(j\omega). \qquad (6)$$

Используя данное свойство свертки и ускоряя вычисление ДПФ с помощью БПФ, мы сокращаем время вычисления вейвлет-преобразования.

На рис. 2 представлена структурная схема РЛТСО с дополнительным ВП на основе БПФ и ОБПФ. На синхронный детектор подаются колебания с фиксированной частотой для реализации смещения частоты в область низких частот, то есть для устранения несущей частоты, чтобы $f_{\min}=0$, а $f_{\max}=f_d$.

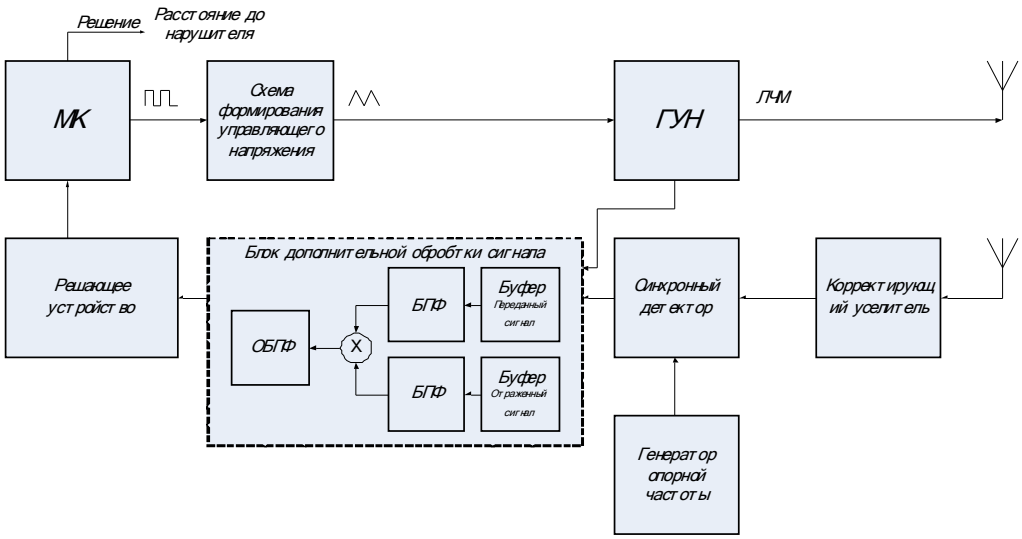
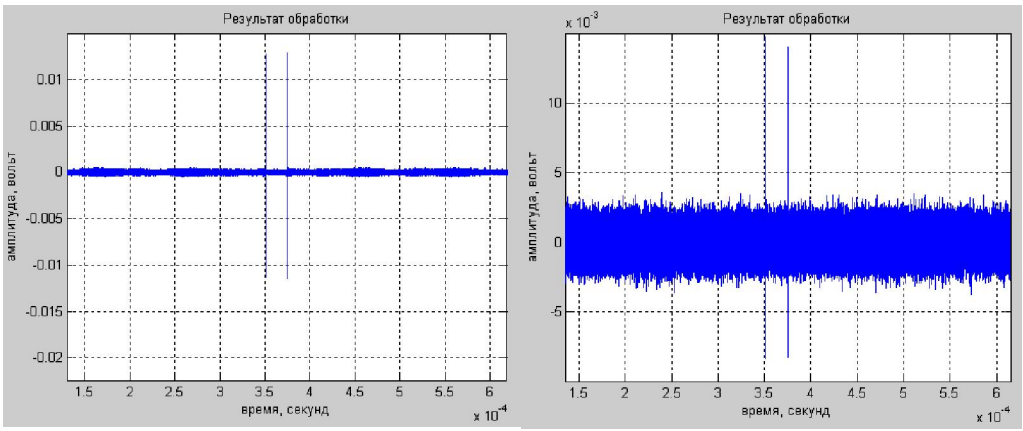


Рис. 2. Схема однопозиционного РЛТСО с дополнительной обработкой

На рис. 3 представлены результаты моделирования ВП в программной среде MathCAD. При отношении сигнал-шум на входе $R_{SN,\text{вх}}$ = 0,1 наблюдается существенное улучшения отношения сигнал-шум $R_{SN,\text{вых}} = 19$.

При $R_{SN,\text{вх}}$ = 0,1 сигнал в шумах не различим, после ВП сигнал становится отчетливо видимым (рис. 3,б). Местоположение пика на временной оси определяет расстояние до нарушителя.



а) б)

Рис. 3. Результат ВП для $R_{SN,\text{вх}}$ = 1 (а), $R_{SN,\text{вх}}$ = 0,1 (б)

Вычисление входного отношения сигнал-шум производилось по формуле $R_{SN,\text{вх}} = U_{S,\text{эфф}} / U_{N,\text{эфф}}$, вычисление выходного – $R_{SN,\text{вых}} = U_{S,\text{пик}} / U_{N,\text{эфф}}$, где $U_{S,\text{пик}}$ - напряжение максимума (пика) ВП.

Для значений $R_{SN,\text{вх}}$ = 1; 0,1 в результате моделирования ВП получилось $R_{SN,\text{вых}}$ = 165,8; 19,04, соответственно.

Из полученных результатов видно, что в среднем от использования дополнительного ВП мы получаем увеличение отношения сигнал-шум в 166 раз. Увеличение отношения сигнал-шум в реальных РЛТСО позволит:

- снизить излучаемую мощность передатчика при той же длине ОЗ,
- увеличить длину ОЗ при той же мощности передатчика,
- увеличить среднюю наработку на отказ,
- повысить вероятность и достоверность обнаружения,
- определить число нарушителей.

Кроме того, решается важная задача определения места пересечения ОЗ. Использование дополнительной обработки в виде ВП также позволит добиться разрешающей способности, близкой к потенциальной, т.к. в нем не используются фильтры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М. : Радио и связь, 1986. – 512 с.

2. Финкельштейн М.И. Основы радиолокации. – М. : Радио и связь, 1983. – 236 с.

3. Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М. : Физматлит, 2011. – 252 с.

4. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. – М. : ООО "Бином-Пресс"", 2006. – 656 с.

УДК 681.518
ББК 34

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ WI-FI В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕСТНОСТИ И ВИДА МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА

© ***А.Е. Дудров***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***О.С. Литвинская***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

RESEARCH OF PERFORMANCES OF DISRTIBUTED WEBS WI-FI IN AN ASSOTIATION FROM DISTRICT AND ASPECT OF MODULATION OF A SIGNAL

© ***A.E. Dudrov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***O.S. Litvinskaya***, *Penza state technological academy (Penza, Russia)*

Для беспроводных сетей передачи данных с использованием стандарта *Wi-Fi* выполнен анализ характеристик: безопасность связи, распределение трафика между несколькими клиентами, скорость передачи данных, дальность устойчивой связи.

Ключевые слова: стандарт *Wi-Fi*, модуляция сигнала, радиомодули, скорость передачи данных.

Wireless data networks using standard *Wi-Fi* analyzed characteristics: communication security, traffic between multiple clients, data rate, range of reliable communications.

Key words: standard *Wi-Fi*, signal modulation, radios, data rate.

При реализации беспроводных сетей с использованием стандарта *Wi-Fi* существует несколько проблемных моментов: обеспечение безопасности связи, распределение трафика между несколькими клиентами, увеличение скорости передачи данных, поддержка дальности устойчивой связи. Безопасность связана с физической основой радиосвязи, заключающейся в том,

что радиосигнал всегда можно перехватить. Распределение трафика, основанное на функции *IP-MAC*-тарификации, требует использования более сложных систем учета с дополнительным обращением к серверу. Проблему скорости передачи данных можно считать условно решенной с появлением стандарта *IEEE* 802.11n.

Проблема дальности устойчивой связи существует в связи с тем, что большинство портативных радиомодулей *Wi-Fi* имеют малую выходную мощность – до 40 мВт, что ограничивает радиус эффективной зоны радиосвязи. К сдерживающим факторам относятся также значения несущей частоты каналов связи – 2,4 ГГц или 5 ГГц. Радиоволны данных частот крайне легко “погасить” арматурной сеткой, заложенной в бетонных плитах, снизив эффективную дальность радиосвязи на 15-30 % [1]. С целью компенсации данного недостатка организуют работу распределенной беспроводной радиосети. Помещение, например жилой дом, дробится на участки, где необходима устойчивая связь по радиоканалу. Организация связи возможна несколькими способами:

– каждая радиоточка использует проводную линию связи для доступа к коммутатору абонентов. Скорость доступа к абоненту в этом случае будет максимальной;

– несколько радиоточек доступа объединяются в одну локальную сеть, используя беспроводное соединение с помощью технологии *WDS* (*Wireless Distribution System*). У данной технологии имеются существенные недостатки – снижение скорости передачи данных сети и увеличение времени обработки запросов, которое пропорционально длине сегмента. Обычно данная технология используется для связывания двух или трех радиоточек.

Аппаратная реализация ранних версий стандартов *Wi-Fi* базировалась на одноканальном принципе: использовался один радиоприемник и один радиопередатчик, работающие по технологии *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением), в которой передача данных осуществлялась на основе одного потока данных с пятью поднесущими частотами.

Более современная технология *MIMO* (*Multi Input Multi Outpu*) – множество входов и множество выходов) позволяет выполнять кодирование данных, разбивая их на несколько блоков, каждый из которых подается на передатчик, работающий по технологии *OFDM*, тем самым создаются несколько независимых потоков, которые могут быть рассмотрены как отдельные каналы связи *Wi-Fi*. Данная технология позволяет значительно сократить время обработки пакета данных, проходящего через несколько радиоточек доступа за счет передачи по двум и более радиоканалам, позволяющим передавать служебные данные, данные для главной точки и полезную информацию за один цикл передачи, а не за 2, как в случае с одноканальными системами. Но данная технология имеет основной недостаток – низкую эффективность работы на открытом пространстве при отсутствии эффекта отражения и межсимвольной интерференции [2].

В работе было проведено натурное исследование зависимости скорости передачи информации от клиента к серверу через *WDS* в зависимости

от местности и вида модуляции сигнала, результаты которого представлены в табл. 1. В исследованиях в качестве оборудования использовались 4 точки радиодоступа: 2 точки с использованием радиоприемопередатчиков *D-Link RangeBooster N*™ 650 *DWA*-547 802.11n для технологии *OFDM* и 2 точки – радиоприемопередатчиков *TP-LINC TL-WR841ND* для технологии *MIMO*. В качестве клиента использовалась плата приема-передачи *PCI* адаптера *D-Link RangeBooster N*™ 650 *DWA*-547 802.11n и в качестве ПО тестирования – бесплатная версия программы анализа беспроводных сетей *CommView*.

Проведенный анализ показал, что применение технологии *OFDM* для открытой местности более предпочтительно. Несмотря на скорость передачи данных, которая составляет до 8 Мбит/с (технология *MIMO* – до 13 Мбит/с), технология *OFDM* позволяет покрыть большее расстояние. Для городской местности целесообразнее использовать технологию *MIMO*, более устойчивую к эффекту отражения радиосигналов.

Таблица 1

Технология	Вид местности	Условия передачи данных	Средняя скорость передачи данных, Мбит/с для потока в 10 Гбит
OFDM	Открытое пространство	Последовательный поток	5,2-8
		Группа потоков	3,3-6
	Городская местность	Последовательный поток	4,2-7
		Группа потоков	2,3-6
MIMO	Открытое пространство	Последовательный поток	7,1-13
		Группа потоков	4,3-7,4
	Городская местность	Последовательный поток	9,4-16,1
		Группа потоков	6-8

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рошан П., Лири Д. Основы построения беспроводных локальных сетей стандарта 802.11 : Пер. с англ. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2004.

2. URL: www.stanford.edu/class/ee360/Ahmad/En.pdf (дата обращения 17.02.2012 г.)

УДК 535.3
ББК 22

ДИФРАКЦИОННЫЕ И ДИФРАКЦИОННО-РЕФРАКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ФОКУСИРОВКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© ***Г.И. Грейсух***, *Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*

© ***Е.Г. Ежов***, *Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*

© ***С.В. Казин***, *Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*

© ***С.А. Степанов***, *Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (г. Пенза, Россия)*

DIFFRACTIVE AND DIFFRACTIVE-REFRACTIVE X-RAY FOCUSING SYSTEMS

© ***G.I. Greysukh***, *Penza State University of Architecture and Construction (Penza, Russia)*

© ***E.G. Ezhov***, *Penza State University of Architecture and Construction (Penza, Russia)*

© ***S.V. Kazin***, *Penza State University of Architecture and Construction (Penza, Russia)*

© ***S.A. Stepanov***, *Penza State University of Architecture and Construction (Penza, Russia)*

Проанализированы и сопоставлены потенциальные возможности одиночной дифракционной линзы, дифракционного дублета-ахромата и дифракционно-рефракционной системы при фокусировке рентгеновского ондуляторного и лазерного излучения. Качество фокусировки оценивалось по радиусам дисков Эйри дифракционно-ограниченных изображений точечного источника.

Ключевые слова: синхротронное излучение, лазер на свободных электронах, ондулятор, ахроматизация, дифракционная линза, рефракционная линза, дифракционный оптический элемент.

The potentialities of a single diffractive lens, a diffractive doublet-achromate, and a diffractive-refractive system for focusing of X-ray undulator and laser radiations are compared. The focusing quality was estimated from the radii of Airy disks in the diffraction-limited images of a point source.

Key words: synchrotron radiation, free-electron laser, undulator, achromatization, diffractive lens, refractive lens, diffractive optical element.

E-mail: grey@pguas.ru

Введение. Создание и совершенствование синхротронных источников новых поколений, а также лазеров на свободных электронах обуславливает практически непрерывный рост требований, предъявляемых к опти-

ческим системам фокусировки рентгеновского излучения. Наиболее распространенной элементной базой фокусировки полихроматического рентгеновского излучения в настоящее время являются зеркальные оптические системы. В мягком рентгеновском диапазоне это зеркала скользящего падения и многослойные зеркала. В жестком рентгеновском диапазоне это оптические системы на основе изогнутых кристаллов. Ограничения, присущие всем зеркальным системам, и, прежде всего, центральное экранирование, а также проблемы достижения высокого качества фокусировки при использовании систем со скрещенными зеркалами цилиндрической или квазицилиндрической формы вынуждают искать альтернативные пути построения фокусирующих оптических систем [1].

Одним из наиболее перспективных путей является использование вращательно-симметричных элементов пропускающего типа – дифракционных линз (ДЛ) и рефракционных линз (РЛ). ДЛ, осуществляющие преобразование волнового фронта в результате дифракции электромагнитной волны на квазипериодической микроструктуре, подобной кольцевой микроструктуре зонной пластинки Френеля, могут использоваться в любой части рентгеновского диапазона. Действительно, существующие технологии изготовления дифракционных микроструктур с большим аспектным отношением позволяют получать элементы с дифракционной эффективностью, достигающей 30 %, как в мягком, так и в жестком рентгеновском диапазонах [1, 2]. Что касается РЛ, то они могут эффективно работать лишь в жестком рентгеновском излучении. При этом возможности в плане высококачественной фокусировки, представляемые технологиями изготовления дифракционных структур и преломляющих поверхностей, не могут быть использованы в полной мере из-за значительного хроматизма в рентгеновском диапазоне как ДЛ, так и РЛ.

Разработанные авторами настоящей статьи ахроматизированные рентгеновские гибридные дифракционно-рефракционные оптические системы и системы на основе дифракционных аксиконов с дополнительными фокусирующими свойствами, благодаря скорректированному хроматизму, позволяют сфокусировать узконаправленные пучки квазимонохроматического рентгеновского излучения в пятна, размеры которых ограничены лишь технологически минимально достижимыми сегодня радиусом кривизны при вершине преломляющей поверхности вращения и пространственным периодом дифракционной микроструктуры. Собственно размеры этих пятен при дифракционно-ограниченном качестве фокусировки в зависимости от характеристик излучения рентгеновского источника (диаметра формируемого источником пучка и относительной спектральной ширины квазимонохроматической линии излучения) могут достигать сотен и даже десятков нанометров, что практически недоступно для зеркальных систем.

1. Фокусирующие дифракционно-рефракционные системы и дифракционный дублет-ахромат

У рентгеновских оптических систем в силу малых числовых апертур и полевых углов превалирующим является продольный хроматизм, приводящий к тому, что отдельные спектральные составляющие квазимонохрома-

тического ондуляторного или лазерного излучения фокусируются на разных расстояниях от оптической системы, то есть к зависимости заднего отрезка оптической системы от длины волны падающего излучения.

В первом приближении подавление продольного хроматизма осуществляют путем ахроматизации оптической системы, то есть достижения равенства ее задних отрезков на двух длинах волн, выбранных вблизи краев заданного спектрального диапазона [3, 4]. Авторами настоящей статьи разработаны принципы компоновки и методика расчета ахроматизированных дифракционно-рефракционных систем фокусировки узких пучков квазимонохроматического жесткого рентгеновского излучения [5]. Эта методика позволяет по заданным характеристикам излучения рентгеновского источника (диаметру фокусируемого пучка, центральной длине волны квазимонохроматической линии и ее относительной спектральной ширине), выбрав предварительно материал РЛ и определив коэффициенты дисперсии этого материала и ДЛ, получить набор исходных параметров фокусирующей ахроматизированной системы для последующей оптимизации. При этом для получения заданного светового диаметра фокусирующей системы преломляющие поверхности РЛ выполняются в виде параболоидов вращения, а для обеспечения возможности изготовления требуемых преломляющих поверхностей одиночная РЛ заменяется набором одинаковых линз (рис. 1 и 2).

Учитывая значительное поглощение рентгеновского излучения веществом, толщина РЛ дифракционно-рефракционного дублета как и суммарная толщина всех РЛ многоэлементной дифракционно-рефракционной системы ограничивается глубиной проникновения рентгеновского излучения в материал РЛ. Сразу напомним, что за глубину проникновения τ принимают расстояние, при прохождении которого интенсивность излучения в материале уменьшается в e раз.

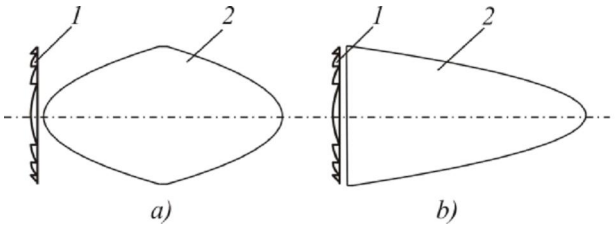


Рис. 1. Дифракционно-рефракционные рентгеновские дублеты с двояковыпуклой (a) и плосковыпуклой (b) параболическими РЛ: 1 – ДЛ; 2 – РЛ

Оптическая схема дифракционного дублета-ахромата представлена на рис. 3. Это одна из четырех предложенных в работе [6] схем, отличающаяся тем, что в ней элементом с некольцевой апертурой является первый ДОЭ, а максимальные пространственные частоты дифракционных структур элементов имеют наименьшие значения. У обоих ДОЭ дублета в отличие, например, от зонных пластинок Френеля пространственная частота в центре их структур не равна нулю, в результате чего эти ДОЭ представляют собой аксиконы с дополнительными фокусирующими свойствами.

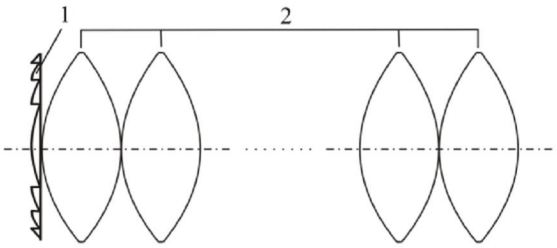


Рис. 2. Многоэлементная ахроматизированная дифракционно-рефракционная система фокусировки рентгеновского излучения: 1 – ДЛ; 2 – рефракционная часть, состоящая из нескольких РЛ

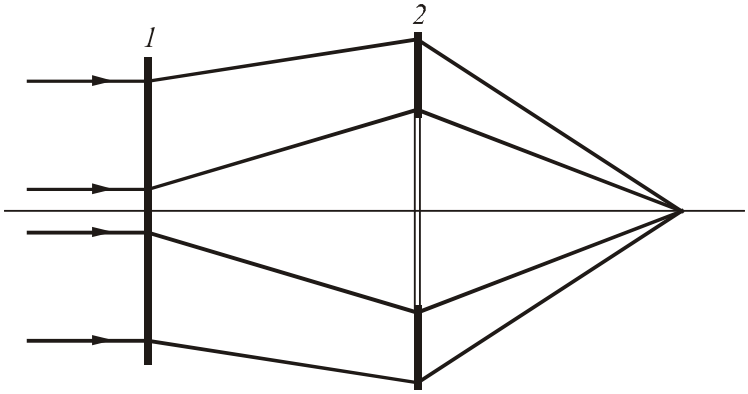


Рис. 3. Дифракционный дублет, скоррегированный на две длины волны: 1, 2 – ДОЭ

Авторами настоящей статьи разработана методика получения функций распределения пространственной частоты структур ДОЭ дифракционного дублета-ахромата [7]. В отличие от известных, эта методика позволяет задавать величину минимального периода в структурах элементов и исследовать влияние этой величины на основные параметры дублета, что из-за технологических ограничений на минимальный период особенно важно в случае рентгеновского излучения. С помощью данной методики авторами исследованы взаимозависимости основных параметров дифракционного дублета-ахромата в области мягкого и жесткого рентгеновского излучения [5, 7], что и позволило оценить потенциальные (предельные) возможности дублета при его использовании для фокусировки излучения различных рентгеновских источников.

Анализ оптических свойств существующих материалов в рентгеновской области спектра показал, что РЛ могут эффективно работать лишь в коротковолновой части спектра жесткого рентгеновского излучения, начиная примерно с λ<0,3 нм [8]. Поэтому при фокусировке квазимонохроматического рентгеновского излучения с большими длинами волн разработанный дифракционный дублет-ахромат является фактически безальтернативной фокусирующей ахроматизированной системой пропускающего типа.

2. Результаты сопоставительного анализа потенциальных возможностей фокусирующей рентгеновской оптики различных типов

Сопоставительный анализ потенциальных возможностей одиночной ДЛ, дифракционного дублета-ахромата и дифракционно-рефракционной ахроматизированной системы проводился, опираясь на характеристики излучения существующих и строящихся рентгеновских источников [9]. В их число, в частности, вошли действующий (FLASH) и строящийся (XFEL) германские рентгеновские лазеры на свободных электронах [10], а также источники синхротронного излучения третьего поколения, оборудованные ондуляторами MAX II (Швеция) [11], ESRF (Франция) и SP-8 (Япония) [12].

Показано, что при фокусировке излучения источников синхротронного излучения третьего поколения (MAX II, ESRF и SP-8), а также рентгеновского лазера FLASH возможности одиночной ДЛ весьма ограничены: среднеквадратический радиус диаграммы рассеяния лучей не опускается ниже 0,45 мкм, а дифракционно-ограниченное качество фокусировки достигается при радиусе диска Эйри не меньшем 0,7 мкм. Указанный радиус почти на порядок превышает достижимый даже сегодня минимальный период микроструктуры ДЛ ($\Lambda_{\min}$ =80 нм [2]), то есть технологические возможности изготовления высокочастотных дифракционных структур, достигнутые в последние годы, фактически не используются.

Действительно, как показали исследования, дифракционный дублет-ахромат при фокусировке, в частности, восьмой гармоники излучения ондулятора синхротронного источника третьего поколения MAX II с центральной длиной волны квазимонохроматической линии $\bar{\lambda} = 2{,}59$ нм и ее относительной спектральной шириной $\Delta\lambda/\bar{\lambda} = 0{,}01$ при диаметре пучка $D = 1$ мм формирует дифракционно-ограниченное пятно с радиусом диска Эйри $\delta_A = 49$ нм при интенсивности Штреля $I_{St} \approx 0{,}9$ [13]. Выигрыш, даваемый дублетом при фокусировке этой гармоники по сравнению с одиночной ДЛ, оцененный по отношению радиусов дисков Эйри дифракционно-ограниченных изображений точечного источника, $V \approx 20$.

В качестве материала для РЛ дифракционно-рефракционных систем фокусировки тонких пучков квазимонохроматического жесткого рентгеновского излучения, формируемого ондуляторами действующих синхротронных источников третьего поколения, был выбран бериллий. Глубина проникновения в бериллий излучения с центральной длиной волны квазимонохроматической линии $\bar{\lambda} = 0{,}225$ нм, формируемого, в частности, ондулятором синхротронного источника ESRF, равна $\tau_{\bar{\lambda}} = 1{,}708$ мм, а показатель преломления $n_{\bar{\lambda}} = 0{,}99998914$.

Здесь отметим, что данные об оптических свойствах материалов в рентгеновском диапазоне, в том числе и бериллия, представлены, в частности, в [14]. Они получены на основе работы [15], опирающейся на исследо-

вания, проведенные в Центре рентгеновской оптики Берклеевской лаборатории им. Лоуренса (Lawrence Berkeley Lab, Ctr Xray Opt). Авторами настоящей статьи эти данные использовались для получения дисперсионной формулы бериллия, необходимой для оценки хроматизма дифракционно-рефракционных оптических систем [5].

Исследование ахроматизированных дифракционно-рефракционных систем с бериллиевой рефракционной частью показало, что при фокусировке излучения ондулятора синхротронного источника ESRF с относительной шириной квазимонохроматической линии излучения $\Delta\lambda/\bar{\lambda} = 0{,}028$ ($\bar{\lambda} = 0{,}225$ нм) и диаметром пучка $D = 0{,}5$ мм дифракционно-рефракционная система формирует дифракционно-ограниченное пятно с радиусом диска Эйри $\delta_A = 1$ мкм при интенсивности Штреля $I_{St} > 0{,}9$. Выигрыш, даваемый такой системой по сравнению с одиночной ДЛ, оцененный по отношению радиусов дисков Эйри дифракционно-ограниченных изображений точечного источника, $V \approx 3{,}5$. При этом дифракционный дублет-ахромат обеспечивает дифракционно-ограниченное качество фокусировки этого же излучения в пятно с радиусом диска Эйри $\delta_A = 160$ нм при интенсивности Штреля $I_{St} > 0{,}9$. Выигрыш, даваемый дифракционным дублетом-ахроматом по сравнению с ахроматизированной дифракционно-рефракционной фокусирующей системой, оцененный по отношению радиусов дисков Эйри дифракционно-ограниченных изображений точечного источника, $V \approx 6$.

Заключение

Представленные в статье результаты исследований и сопоставительного анализа показывают, что как дифракционные дублеты-ахроматы, так и ахроматизированные дифракционно-рефракционные фокусирующие системы могут эффективно использоваться для фокусировки излучения современных рентгеновских источников. Целесообразность же выбора системы того или иного типа зависит от характеристик фокусируемого излучения и, в первую очередь, от значения центральной длины волны квазимонохроматической линии излучения и ее спектральной ширины.

Работа выполнена при поддержке Президента РФ (Грант МД-22932012.9) и Министерства образования и науки РФ в рамках федеральной целевой программы “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” на 2009 – 2013 годы (Госконтракт 16.740.11.0145).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Erko A. Modern Developments in X-Ray and Neutron Optics / Eds. A. Erko M. Idir T. Krist A.G. Michette – Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2008. – 533 p.

2. X-ray optics. – URL: http://www.x-ray-optics.com

3. Чуриловский В. Н. Теория хроматизма и аберраций третьего порядка. – Л. : Машиностроение, 1968. – 312 с.

4. Слюсарев Г. Г. Методы расчета оптических систем. – Л. : Машиностроение, 1969. – 672 с.

5. Грейсух Г.И. Ахроматизированные дифракционные и дифракционно-рефракционные системы рентгеновского диапазона / Е.Г. Ежов, С.В. Казин, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 35, № 2. – С. 188 – 195.

6. Farn M.W. Diffractive doublets corrected at two wavelengths / M.W. Farn, J.W. Goodman // J. Opt. Soc. Am. A. – 1991. – Vol. 8, No. 6. – P. 860 – 867.

7. Грейсух Г.И. Анализ возможностей ахроматизации оптических систем, состоящих из дифракционных элементов / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.В. Казин, С.А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2010. – Т. 34, № 2. – С. 187 – 193.

8. Аристов В.В. Современные достижения рентгеновской оптики преломления / В.В. Аристов, Л.Г. Шабельников // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178, № 1. – С. 61 – 83.

9. Грейсух Г.И. Потенциальные возможности ахроматизированных дифракционных и дифракционно-рефракционных систем фокусировки рентгеновского излучения / Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.В. Казин, С.А. Степанов // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82, № 3.– С. 99 – 103.

10. X-ray free-electron lasers. – URL: http://www. xfel.desy.de.

11. Characterization of undulator radiation at MAX II. – URL: http:// www.cern.ch/accelconf/e98/PAPERS/ MOP25G.PDF

12. Synchrotron Radiation for Materials Science Applications. – URL: http:// www.coe.berkeley. edu/AST/srms

13. Борн М. Основы оптики / М. Борн, Э. Вольф. – М. : Наука, 1973. – 720 с.

14. X-Ray Properties of the Elements. – URL: http://henke.lbl.gov/cgi-bin/ pert_cgi.pl

15. Henke B.L. X-ray interactions: photoabsorption, scattering, transmission, and reflection at E=50-30000 eV, Z=1-92 / B.L. Henke, E.M. Gullikson, J.C. Davis // Atomic Data and Nuclear Data Tables. – 1993 – Vol. 54, No. 2. – P. 181 – 342.

УДК 519.8
ББК 34

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ БЕСПРОВОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

© ***М.Н. Шмокин,*** *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***Е.В. Грачёва,*** *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***В.А. Сулов,*** *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

THE ANALYSIS OF THE MODERN FAST WIRELESS STANDARDS OF DATA TRANSFER

© ***M.N. Shmokin,*** *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***E.V. Gracheva,*** *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***V.A. Sulov,*** *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье выполнен анализ существующих стандартов на беспроводную передачу данных. Рассмотрены следующие характеристики: несущая частота радиоканала, битовая скорость передачи данных, ширина полосы пропускания радиоканала, выходная мощность передатчика, чувствительность приёмника.

Ключевые слова: беспроводные сети передачи данных, стандарт, технические характеристики.

In a paper the analysis of the existing standards on wireless data transfer is carried out. The following performances are considered: a carrier frequency of a radio channel, bit data rate, breadth of a passband of a radio channel, output power of the transmitter, sensitivity of the receiver.

Key word: wireless data networks, standard, characteristics.

Введение

Вопросы проектирования беспроводных сетей передачи видеоинформации по каналам связи в настоящее время являются актуальными.

Ввиду многообразия существующих технологий беспроводной передачи данных перед разработчиком встаёт вопрос выбора того или иного вида интерфейса. Все они различаются физическими характеристиками (опорная частота, метод модуляции, скорость передачи и др.) и реализацией программной модели – протокола передачи данных (формат пакета, правила передачи пакетов, возможность создания сложных сетей и прочее).

Выбор этих средств при проектировании или модернизации сетей происходит достаточно субъективно, основываясь на знаниях разработчиками технических характеристик интерфейсов или практическом опыте.

В [1, 2] предлагаются достаточно обоснованные методы выбора типов радиоинтерфейсов на стадиях проектирования на основе решения задачи многокритериального выбора, однако при этом требуются знания технических параметров.

Для беспроводной передачи видеоинформации в основном используются каналы сотовой связи, радиоканалы нелицензируемых диапазонов (ISM – Industrial, Scientific, Medical) и каналы спутниковой связи. Каналы сотовой связи имеют малую пропускную способность (на практике не более 100 кбит/с). Поэтому чаще всего для связи видеокамер с ССОИ (система сбора и обработка информации) используют радиосвязь ISM-диапазона.

В Российской Федерации в настоящее время выделено несколько таких диапазонов, в том числе наиболее широкие: от 433,075 до 434,750 МГц, от 868 до 868,2 МГц, от 2400 до 2483,5 МГц [3].

1. Основные характеристики радиоинтерфейсов

Основными критериями оценки являлись три параметра: скорость передачи данных, энергопотребление, полоса частот радиоканала.

Скорость, необходимая для передачи сжатого цветного потокового видеосигнала с частотой 24-25 кадров в секунду, определяется значением порядка около 1-2 Мбит/с [3] и зависит от параметров исходного изображения и степени его сжатия. Возможна также передача видео и на меньших скоростях за счёт снижения частоты кадров, качества изображения и других структурных изменений видеопотока.

Рассмотрим основные общие характеристики радиоинтерфейсов (РИФ), структура которых представлена на рис. 1.

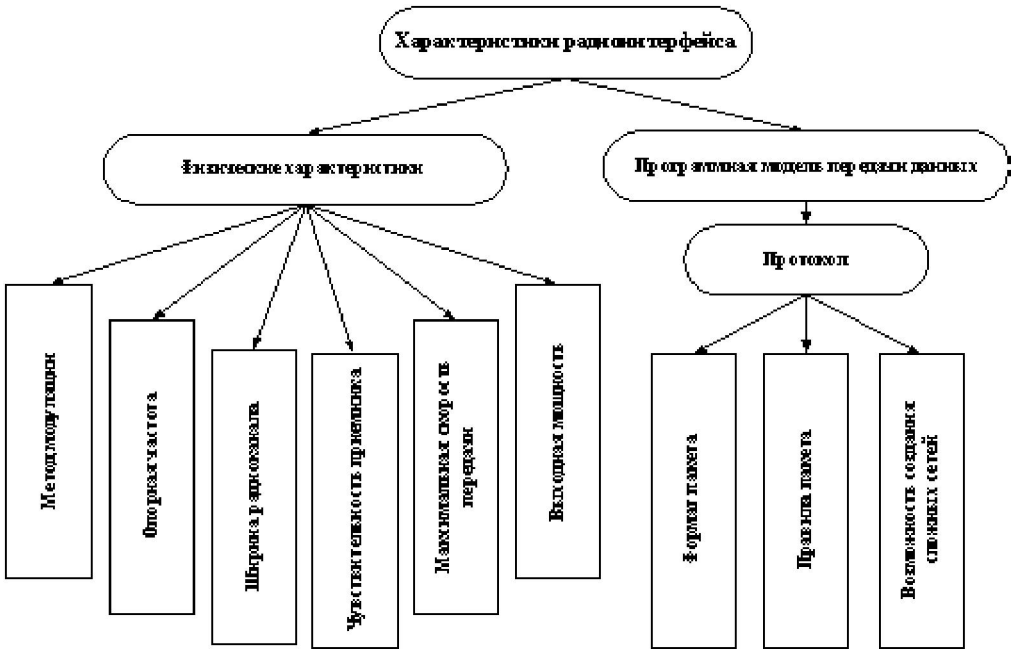


Рис. 1. Основные характеристики радиоинтерфейсов

Несущая частота радиоканала является основным фактором, влияющим на распространение радиоволны. Известно, что радиоволны лучше про-

ходят сквозь препятствия на низких частотах, чем на высоких, а также то, что с увеличением частоты распространение радиоволн приобретает узкую направленность. В связи с этим интерфейсы, работающие на частоте 433/868 МГц, имеют большую дальность передачи, чем на 2,4 ГГц в городских условиях за счёт меньшего поглощения средой. Следует отметить, что частота 2,4 ГГц является резонансной для воды, вследствие чего в этом диапазоне на качество связи значительное влияние оказывают метеоусловия.

Битовая скорость передачи позволяет судить о скорости обмена интерфейса. Но реальная скорость передачи данных существенно отличается от максимальной битовой скорости в меньшую сторону.

Ширина полосы пропускания радиоканала в значительной мере влияет на его пропускную способность и устойчивость к помехам.

Выходная мощность передатчика выражается по абсолютной величине в милливаттах, или по относительной величине в (дБм) децибелмилливаттах.

Для диапазона 2,4 ГГц разрешена выходная мощность до 100 мВт (20 дБм) [3].

Чувствительность приёмника – это минимальная мощность сигнала, необходимая для приёма. Выражается в децибелмилливаттах.

Ниже приведен краткий обзор наиболее производительных интерфейсов ISM-диапазона. Все интерфейсы рассмотрены на примере конкретных микросхем, и их характеристики сведены в таблице 1.

2. Радиоинтерфейсы приёмопередатчиков ISM-диапазона

Texas Instruments 433/868 МГц. Это низкоскоростные интерфейсы передачи информации. Скорость самых быстрых из них не превышает 500 кбит/с. Связано это предположительно с тем, что для этих диапазонов выделена небольшая полоса частот. Для 433 МГц – 1,675 МГц, для 868 МГц – 0,2 МГц. Требования к компонентам интерфейсов менее жёсткие, чем для диапазона 2,4 ГГц. Для данного диапазона выпускается много различных приёмопередатчиков. Один из наиболее быстродействующих представителей – микросхема от Texas Instruments CC1100. Её максимальная битовая скорость передачи составляет 500 кбит/с [4]. Остальные параметры микросхемы приведены в табл. 1.

Texas Instruments CC2400, CC2500. Подразделение Chipcon фирмы Texas Instruments занимается разработкой радиоинтерфейсов. Серия CC2400, CC2500 работает на частоте 2,4 ГГц. Максимальная полоса частот радиоканала этих модулей составляет 1 МГц [16, 17], что позволяет косвенно судить о том, что интерфейс не предназначен для передачи данных на высоких скоростях при сложной помеховой обстановке. Тем не менее максимальная битовая скорость, заявленная для CC25000, составляет 1 Мбит/с.

Интерфейс ZigBee. ZegBee является программной надстройкой над стандартом IEEE 802.15.4. Технология была разработана в конце 2004 года и противопоставлялась таким интерфейсам, как Bluetooth и Wi-Fi. Основная особенность интерфейса – малое потребление энергии при невысокой скорости

передачи данных (до 250 кбит/с). ZigBee поддерживает сложные сети с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Всего в частотном диапазоне 2,4 ГГц ZigBee использует 16 радиоканалов, каждый с полосой частот по 5 МГц. Приёмопередатчики интерфейса ZigBee выпускают многие компании. Один из наиболее крупных производителей Ember выпускает микросхему EM2420. Её характеристики, согласно документации [5], отображены в табл. 1.

Таблица 1 – Высокоскоростные интерфейсы ISM-диапазона

№ п/п	Интерфейс	Тип микросхемы	Полоса частот радиоканала, МГц	Макс. скорость передачи, Мбит/с	Вых. мощность перед. (макс.), дБм	Чувствительность приемн., дБм
1	**433/868 МГц**	Texas Instruments CC1100	0,812	0,5	10	-110
2	**Texas Instruments**	Texas Instruments CC2400	1	1	0	-101
3	**Texas Instruments**	Texas Instruments CC2500	1	0,5	1	-104
4	**ZigBee**	Ember EM2420	5	0,25	0	-94
5	**Wi-Fi**	RF ARRAYS RWF111	20	54	19	н.д.
6	**NanoNET**	Nanotron TRx NA1TR8	64	2	8	-92
7	**Bluetooth® 2.1 + EDR**	CSR BC41B143A	1	3	6	-84
8	**Enhanced ShockBurst**	Nordic Semiconductor nRF24L01	2	2	0	-85
9	**ATMEL***	ATMEL ATR2406	0,8	1,152	4	-93
10	**Wireless USB (Cypress)**	Cypress CYRF69213	0,876	1	4	-97

Интерфейс Wi-Fi. Wi-Fi, или RadioEthernet IEEE 802.11 – это промышленный стандарт беспроводных сетей. В настоящее время существует множество версий стандарта: 802.11a, 802.11b, 802.11g и другие. В табл. 2 приведены основные характеристики стандарта Wi-Fi.

Таблица 2 – Характеристики стандарта Wi-Fi

Стандарт	**802.11b**	**802.11g**	**802.11a**
Количество используемых радиоканалов, шт.	3	3	8
Частотный диапазон, ГГц	2,4	2,4	5
Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	11	54	54

Для интерфейса Wi-Fi заявлена значительная скорость передачи данных – до 54 Мбит/с. Практически в сложной обстановке (с реальными помехами) такой скорости добиться невозможно. Однако следует отметить, что Wi-Fi обладает довольно широким частотным каналом – 20 МГц. Приёмопередатчик фирмы RF ARRAYS RWF111 был представлен в 2008 году, и его характеристики, согласно документации [6], отображены в таблице 1.

Интерфейс NanoNET. Немецкая компания Nanotron разработала интерфейс передачи данных NanoNET для диапазона 2,4 ГГц. Линейно-час-

тотная модуляция (Chirp Spread Spectrum), используемая приемопередатчиками Nanotron, представляет собой один из методов расширения спектра и позволяет повысить помехоустойчивость за счет того, что мощность сигнала изменяется по спектру, и при воздействии помех фиксированной частоты теряется только часть передаваемого сигнала, так что двоичная информация может быть в дальнейшем восстановлена в приемнике.

Основное отличие приёмопередатчиков Nanotron от конкурентов Bluetooth и ZegBee – значительно более широкий частотный диапазон канала (64 МГц). Это даёт преимущества в скорости при сложной помеховой обстановке, но в то же время не позволяет организовать несколько сетей, работающих рядом.

По сравнению с технологией Wi-Fi, которая также имеет широкую полосу частот, приемопередатчики Nanotron обладают лучшим соотношением по затратам энергии для передачи информации на той же скорости благодаря тому, что первичная обработка линейно-частотного импульса выполняется аналоговым способом. В статье [7] показано, что при перекрёстном включении сети Wi-Fi и nanoNET большую скорость даёт последняя, даже при меньшей мощности передатчика.

Данному интерфейсу посвящён цикл статей [5 – 10]. Максимальная скорость передачи микросхемы Nanotron TRx NA1TR8 составляет 2 Мбит/с. В [8] показано, что в сетях Nanonet полезная скорость передачи данных при размере пакета 128 байт не превышает 1126 кбит/с.

Интерфейс Bluetooth. В настоящее время существует несколько версий стандарта Bluetooth. Для беспроводного интерфейса Bluetooth отведен частотный диапазон от 2,4 до 2,48 ГГц. В версии Bluetooth 1.0 связь может осуществляться по одному из 78 частотных каналов. Чтобы избежать помех естественного и искусственного происхождения от других устройств, работающих в том же частотном диапазоне, каналы меняются 1600 раз в секунду (принцип скачкообразной перестройки частоты в пределах отведенного диапазона по псевдослучайному алгоритму) [9]. В версии Bluetooth 2.0 для защиты от помех используется новый механизм, что позволяет полнее использовать возможности стандарта.

Последняя спецификация стандарта Bluetooth 2.1 + EDR [9] оговаривает наличие 78 частотных каналов с полосой частот 1 МГц, как и у версии 1.0. Максимальная скорость передачи повышена до 3 Мбит/с. Дальность надежного соединения для устройств с интерфейсом Bluetooth составляет 10 м (существуют варианты с дальностью до 100 м). Максимальная скорость передачи данных в асимметричном режиме до 721 Кбит/с, а в симметричном – 432,6 Кбит/с в обоих направлениях. Для целей безопасности в спецификации интерфейса используется аутентификация и шифрование данных с ключом длиной от 8 до 128 битов.

Микросхема высокой степени интеграции BC41B143A от CSR соответствует стандарту Bluetooth 2.1 + EDR и содержит в себе не только приёмопередатчик, но и микроконтроллер, память программ и данных [10]. Её характеристики представлены в табл. 1.

Интерфейс Enhanced ShockBurst. Интерфейс ShockBurst был специально разработан компанией Nordic Semiconductor под свои приёмопередатчики. Компания выпускает устройства на 433/868 МГц и на 2,4 ГГц. Наибольший интерес с точки зрения скоростных характеристик представляют трансиверы диапазона 2,4 ГГц.

Для приёмопередатчиков nRF24L01, работающих на частоте 2,4 ГГц, полоса частот радиоканала составляет 2МГц [11]. Устройство позиционируется как сверхмалопотребляющее. Ток в режиме передачи составляет всего 11,3 мА, что даже меньше, чем у микросхем ZigBee.

Одна из последних разработок компании для беспроводных решений – микросхема nRF24LU1. Микросхема представляет собой трансивер 2,4 ГГц со встроенным 8051-совместимым микроконтроллером, интегрированной флэш-памятью 16 кБ, интерфейсами SPI, UART, USB2.0.

Радиоинтерфейс ATMEL. В приёмопередатчике ATR2406 фирмы Atmel интерфейс включает в себя лишь аппаратную часть. А реализация протокола обмена данными ложится на плечи разработчика. Микросхема представляет собой однокристальный радиочастотный трансивер для приложений частотного диапазона 2,4 ГГц. Приёмопередатчик работает на 95 каналах, и ширина одного канала составляет всего 800 кГц [12]. Из рассматриваемых интерфейсов приёмопередатчики фирмы Atmel имеют самую узкую полосу частот.

Радиоинтерфейс Cypress. Фирма Cypress специализируется на выпуске микроконтроллеров для работы с интерфейсом USB. Микросхема Cypress CYRF69213 PSoC (Programmable Radio System-on-Chip) представляет собой приёмопередатчик и 8-разрядный микроконтроллер в одном корпусе [13]. Технология Wireless USB, запатентованная компанией Cypress, является одной из технологий беспроводной передачи данных малого радиуса действия. Следует отметить, что она не соответствует международному стандарту Wireless USB. Одной из особенностей данной микросхемы является наличие встроенного приёмопередатчика low-speed USB 2.0. Полоса частот канала связи радиомодуля составляет 876 кГц.

Интерфейс Wireless USB. В настоящее время существует множество беспроводных технологий. Каждая из них занимает свою нишу. ZegBee – беспроводные сети датчиков, Bluetooth – мобильные беспроводные сети малого радиуса действия, Wi-Fi – скоростные сети среднего радиуса действия, Wi-MAX – “дальнобойные” магистральные сети. Ниша скоростных технологий передачи данных без проводов на малые расстояния пустует. Вернее будет сказать, пустует почти во всём мире. Технология Wireless USB призвана занять свободное место.

Название Wireless USB (WUSB) говорит само за себя, интерфейс позиционируется как замена “проводного” USB. Для него предусмотрено использование диапазона частот от 3,1 до 10,6 ГГц.

Ввиду столь широкого диапазона частот разработчикам стандарта удалось достичь огромных скоростей передачи данных. Частотный диапазон WUSB поделён на 14 каналов, каждый из которых обеспечивает скорость 480 Мбит/с.

Для беспроводного устройства, телевизионного датчика (ТВД), который является устройством с автономным питанием, важную роль играет энергопотребление, которое характеризуется временем автономной работы. Поэтому на основании табл. 1 был выполнен расчет потребляемой мощности сравниваемых радиоинтерфейсов, значения которых сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики интерфейсов ISM-диапазона по потребляемой мощности

№ п/п	Интерфейс	Тип микросхемы	$I_{потр}$ (средний), мА	$U_{пит}$ (среднее), В	$P_{потр}$, мВт
1	**433/868 МГц**	Texas Instruments CC1100	22,2	2,7	59,9
2	**Texas Instruments***	Texas Instruments CC2400	21,5	1,8	38,7
3	**Texas Instruments***	Texas Instruments CC2500	17,2	2,8	48,1
4	**ZigBee**	Ember EM2420	18,55	2,85	52,8
5	**Wi-Fi**	RF ARRAYS RWF111	67	2,85	191
6	**nanoNET**	Nanotron TRx NA1TR8	59	3	177
7	**Bluetooth® 2.1 + EDR**	CSR BC41B143A	40	0,86	34,4
8	**Enhanced ShockBurst**	Nordic Semiconductor nRF24L01	11,8	2,75	32,4
9	**ATMEL***	ATMEL ATR2406	49,5	3,25	160,9
10	**Wireless USB (Cypress)**	Cypress CYRF69213	30	2,7	81

Из табл. 2 следует, что минимальной потребляемой мощностью обладают интерфейсы Enhanced ShockBurst на микросхеме Nordic Semiconductor nRF24L01 и Texas Instruments CC2400, а значит и наибольшим временем автономной работы.

Краткий анализ существующих радиоинтерфейсов показал, что наиболее производительные из них работают на нелицензируемой частоте 2,4 ГГц. Для достижения максимальной скорости связь на этой частоте должна осуществляться в пределах прямой видимости. Интерфейсы, работающие на частоте менее 1 ГГц, предоставляют небольшую скорость обмена данными, и их использование для передачи видеопотока в режиме реального времени крайне затруднительно.

Из существующих интерфейсов частотного диапазона 2,4 ГГц наибольшую битовую скорость обмена данными могут предоставить Wi-Fi (54 Мбит/с), nanoNET (2 Мбит/с), Bluetooth 2.1 EDR (3 Мбит/с), Enhanced ShockBurst (2 Мбит/с), рисунок 2.

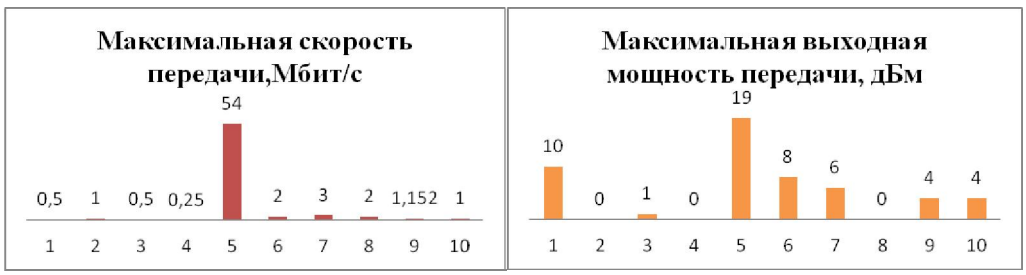


Рис. 2. Сравнение радиоинтерфейсов по максимальной скорости передачи и максимальной выходной мощности

Интерфейс Wi-Fi в сравнении с nanoNET теоретически имеет большую битовую скорость. В то же время метод модуляции, используемый в nanoNET, является более помехоустойчивым, а алгоритмы обработки сигнала менее энергоёмкие, что сказывается на конечном потреблении электроэнергии. А в статье [8] показано, что при перекрёстном включении сети Wi-Fi и nanoNET большую скорость даёт последняя, даже при меньшей мощности передатчика.

Интерфейсы Bluetooth и Enhanced ShockBurst имеют малую полосу частот радиоканала. По этому показателю косвенно можно судить об их меньшей помехоустойчивости. Технология Wireless USB сейчас не может быть применена в России, ввиду того, что использование этого оборудования требует сложного процесса лицензирования.

По параметру выходной мощности (рис. 2) лидирует интерфейс Wi-Fi. Наибольший интерес для ТВТСО имеют радиоинтерфейсы, имеющие максимальную выходную мощность передачи, максимальную скорость передачи, максимальную полосу частот радиоканала и минимальную потребляемую мощность для обеспечения максимального времени автономной работы. Таким образом, для ТВТСО могут быть применены: Wi-Fi (RF ARRAYS RWF111); nanoNET (Nanotron TRx NA1TR8); Bluetooth 2.1 + EDR (CSR BC41B143A).

Наиболее подходящим интерфейсом для поставленной задачи передачи видеоданных является nanoNET. Для него производитель выпускает как микросхемы приёмопередатчиков (NA1TR8), так и готовые модули (nanoPEN) на их основе.

Таким образом, в данной статье проанализированы существующие высокоскоростные цифровые радиоинтерфейсы беспроводной связи нелицензируемых радиодиапазонов, которые могут быть применены для управления видеокамерой и передачи от неё видеоданных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский А.Б. Теория принятия решения : Учеб. для студ. высш. учеб. завед. – М. : Академия, 2009. – 400 с.

2. Литвинская О.С., Дудоров А.Е. Принятие решения по выбору стандарта радиоинтерфейса при проектировании информационной технической системы // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего$_{плюс}$. – Пенза : ПГТА, 2011. – № 3. – С. 73 – 76.

3. Бородулин В.В. Быстродействующие радиоинтерфейсы передачи видеоданных // Вестник ТОГУ. – 2008. – № 4 (11).

4. Datasheet. Texas Instruments CC1100 Low-Cost Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver. – URL: http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/cc1100.pdf

5. Datasheet. EM2420 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / ZigBee RF Transceiver. – URL: http://www.ember.com/pdf/EM2420datasheet.pdf

6. Datasheet. RWF111 802.11b/g RF FRONT END MODULE. – URL: www.rfarrays.com/docs/Turn_on_inst_RWF111ver3.1.1.pdf

7. nanoNET – WLAN Coexistence Measurements in an Indoor Office Environment. D. Karadoulamas. 7th April 2004. Version 1.0

8. Мощевикин А.П. Исследование скорости передачи данных Nanonet // Беспроводные технологии. – 2006. – № 3 (04).

9. Bluetooth Core Specification v2.1 + EDR. – URL: http://www.bluetooth.com/NR/rdonlyres/F8E8276A-3898-4EC6-B7DA-E5535258B056/6545 Core_V21__EDR.zip

10. BlueCore4-ROM WLCSP. Single Chip Bluetooth v2.1 + EDR System. Production Information Data Sheet for BC41B143A.- December 2007. – URL: http://www.csrsupport.com/download/1932/CS-101565-DSP12%20BC4-ROMWLCSPDataSheet.pdf

11. nRF24L01.Single Chip 2.4GHz Transceiver. Product Specification. – URL: http://www.freqchina.com/cn/down.asp?ID=10

12. Datasheet. Low-IF 2.4-GHz ISM Transceiver ATR2406. – URL: http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc4779.pdf

*13. CYRF69213 Datasheet. Document#: 001-07552 Rev. *B. Revised February 20, 2007. Cypress Semiconductor Corporation*

УДК 681.302
ББК 34

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

© ***В.С. Чайковский***, *Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF A SPECTRAL ESTIMATION AT THE DEFINITION OF NOISE PARAMETERS OF SEMICONDUCTING GEARS

© ***V.S. Chaikovsky***, *Penza State University (Penza, Russia)*

Выполнен анализ различных спектральных методов и методов аппроксимации с целью определения методов, обеспечивающих наиболее оптимальный результат. Выполнен анализ зависимости среднеквадратического отклонения спектральной плотности мощности от длительности сигнала.

Ключевые слова: шумовые параметры полупроводниковых устройств, спектральная плотность мощности, длительность сигнала, методы спектрального анализа, белый шум, фликкер-шум, плотность вероятности.

Various spectral methods and approximation methods for the purpose of definition of the methods providing the most optimum result are analyzed. The dependence of the standard deviation of the power spectral density on signal duration is analyzed.

Key words: noise parameters of semiconductor devices, power spectral density, duration of the signal, methods of the spectral analysis, white noise, flickering noise, probability density.

E-mail: rtech@pnzgu.ru

1. Введение. Измерение шумовых параметров полупроводниковых приборов является одной из задач, решаемых при входном контроле элементной базы. Одним из наиболее важных параметров шума является его спектральная плотность мощности (СПМ). Большинство полупроводниковых приборов обладают схожей СПМ шума, которая обычно имеет вид суммы СПМ белого шума и СПМ фликкер-шума:

$$\mathrm{S}_{\Sigma}(f) = a + \frac{b}{f^{\gamma}}, \tag{1}$$

где a – СПМ белого шума, b – коэффициент фликкер-шума, γ – показатель степени фликкер-шума.

Определить параметры СПМ шума a, b, γ можно по реализации шумового сигнала полупроводникового прибора. Для этого необходимо выбрать метод спектрального оценивания, обеспечивающий наименьшую среднеквадратическую погрешность (СКП), а также метод аппроксимации. Кроме того, необходимо определить длительность шумового сигнала, при оценке СПМ которого среднеквадратическая погрешность параметров находилась бы в пределах заданных значений.

В данной статье рассматриваются классические методы спектрального оценивания [1]. Для аппроксимации СПМ используются методы наименьших квадратов (МНК) и наименьших модулей (МНМ) [2].

2. Моделирование шумовых сигналов. Определить метод, обеспечивающий наименьшую СКП, можно с помощью многократного моделирования шумовых сигналов с различными параметрами СПМ и проверки соответствия результатов, получаемых при помощи используемого метода, исходным данным.

Моделирование шумового сигнала с заданными параметрами можно осуществить с помощью умножения в частотной области белого шума на функцию, соответствующую требуемой СПМ:

$$s(t) = F^{-1}(F(s_{\text{БШ}}(t))K(f)), \tag{2}$$

$$K(f) = \sqrt{a + \frac{b}{f^{\gamma}}} \tag{3}$$

где F, F^{-1} – операторы прямого и обратного преобразования Фурье, соответственно, $s(t)$ – сигнал, который требуется моделировать, $s_{\text{БШ}}(t)$ – белый шум, используемый для моделирования, $K(f)$ – функция, соответствующая требуемой СПМ.

Необходимо учесть, что моделируемый сигнал является ограниченным во времени. Это означает, что в частотной области он является свёрнутым с частотной характеристикой прямоугольного окна:

$$S(f) = (S_{\text{БШ}}(f)K(f)) \cdot O(f), \tag{4}$$

где $O(f)$ – частотная характеристика прямоугольного окна.

В [3] показано, что преобразование Фурье моделируемого сигнала с учётом ограниченности во времени описывается следующей формулой:

$$S(f_0) = S_{\text{БШ}}(f_0)(K(f) \cdot O(f)). \tag{5}$$

Чтобы уменьшить число переменных, от которых зависит форма спектра, определяемого по формуле (5), удобно поделить её на $\sqrt{b}$:

$$S(f_0) = \frac{S_{\text{БШ}}(f_0)\left(\sqrt{a + \frac{b}{f^{\gamma}}} \cdot O(f)\right)}{\sqrt{b}} = S_{\text{БШ}}(f_0)\left(\sqrt{\frac{a}{b} + \frac{1}{f^{\gamma}}} \cdot O(f)\right). \tag{6}$$

Таким образом, моделирование нужно выполнять, используя формулу (6), изменяя только две переменные: $\frac{a}{b}$, γ.

3. Методы аппроксимации СПМ. Наиболее простым методом расчёта СПМ является периодограммный метод, основанный на возведении в квадрат модуля преобразования Фурье шумового сигнала. Плотность вероятности отдельной точки преобразования Фурье шумового сигнала описывается нормальным распределением. Соответственно, после возведения в квадрат модуля преобразования Фурье плотность вероятности его отдельных точек будет описываться распределением Лапласа:

$$p(x_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{|x_i|}{2\sigma_i^2}}, \tag{7}$$

где σ_i – среднеквадратичное отклонение *i*-й точки.

Плотность вероятности ошибки измерения будет также описываться распределением Лапласа:

$$g_i(\Delta_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{|\Delta_i|}{2\sigma_i^2}}, \tag{8}$$

где σ_i – среднеквадратичное отклонение *i*-й точки, Δ_i – *i*-ая ошибка измерения, $g_i(\Delta_i)$ – плотность вероятности *i*-й ошибки измерения.

Спектральные методы, основанные на усреднении по ансамблю либо усреднении по соседним отсчётам СПМ, дают более сглаженную СПМ, нежели периодограмма. Данное сглаживание приводит к изменению плотности вероятности ошибки измерения. Согласно центральной предельной теореме Ляпунова, случайный процесс, полученный в результате усреднения большого количества случайных независимых процессов, будет обладать нормальным распределением. Таким образом, в зависимости от степени сглаживания спектрального метода, плотность вероятности ошибки измерения будет в большей или меньшей степени соответствовать либо распределению Лапласа, либо нормальному распределению. Соответственно, для

минимизации ошибки при выполнении аппроксимации необходимо минимизировать либо модуль ошибки измерения, что реализуется МНМ, либо квадрат ошибки измерения, что реализуется МНК.

4. Выбор метода определения спектральной плотности мощности. Было проведено многократное моделирование шумовых сигналов, и рассчитывалась СПМ различными спектральными методами. Был выполнен расчёт моды и дисперсии шумовых параметров для каждого метода.

В табл. 1 приведены значения моды и дисперсии параметров для следующих спектральных методов: периодограмма, периодограмма Даньелла, периодограмма Бартлетта, периодограмма Уэлча, комбинированный периодограммно-коррелограммный метод. Моделирование выполнялось для значений параметров: $\frac{a}{b} = 0,3$, $\gamma = 0,7$, длительность сигнала равна 10 секундам, частота дискретизации равна 200 Гц.

Таблица 1. Результаты расчётов для различных методов

	МНК				МНМ			
Спектральный метод	$\frac{a}{b}$, $\frac{В^2}{Гц}$, Мода	$\frac{a}{b}, \left(\frac{В^2}{Гц}\right)^2$, Дисперсия	γ, Мода	γ, Дисперсия	$\frac{a}{b}, \frac{В^2}{Гц}$, Мода	$\frac{a}{b}, \left(\frac{В^2}{Гц}\right)^2$, Дисперсия	γ, Мода	γ, Дисперсия
Периодограмма	0,49	0,00007	0,4	0,17	0,49	0,008	0,703	0,095
Периодограмма Бартлетта	0,32	0,013	0,3	0,074	0,31	0,009	0,7	0,073
Периодограмма Даньелла (3 точки)	0,002	0,018	0,3	0,074	0,05	0,017	0,3	0,11
Периодограмма Даньелла (5 точек)	0,49	0,025	0,2	0,174	0,002	0,02	0,3	0,17
Периодограмма Даньелла (7 точек)	0,49	0,023	0,6	0,025	0,002	0,028	0,3	0,201
Периодограмма Уэлча (1 %)	0,16	0,006	0,4	0,015	0,231	0,007	0,5	0,026
Периодограмма Уэлча (5 %)	0,28	0,002	0,6	0,021	0,299	0,003	0,7	0,03
Периодограмма Уэлча (10 %)	0,33	0,005	0,7	0,046	0,31	0,004	0,7	0,046
Периодограмма Уэлча (20 %)	0,36	0,01	0,7	0,16	0,32	0,007	0,7	0,12
Комбинированный метод (1 %)	0,16	0,005	0,4	0,009	0,259	0,007	0,5	0,034
Комбинированный метод (5 %)	0,281	0,0017	0,6	0,016	0,308	0,003	0,7	0,032
Комбинированный метод (10 %)	0,35	0,004	0,8	0,057	0,322	0,004	0,7	0,055
Комбинированный метод (20 %)	0,37	0,01	0,7	0,19	0,33	0,007	0,7	0,159

Как видно из табл. 1, наилучший результат достигается при использовании комбинированного метода с размером сегментов 5 % от общей дли-

тельности сигнала и МНМ. При выполнении моделирования с другими параметрами результаты существенно не изменяются.

5. Определение длительности сигнала. Длительность сигнала оказывает существенное влияние на точность оценки СПМ. Был проведён анализ зависимости моды и дисперсии параметров СПМ от длительности сигнала для значений параметров, указанных выше (применялся комбинированный метод). Результаты представлены на рис. 1.

Из полученных графиков видно, что при длительности сигнала девять и более секунд все значения шумовых параметров практически не изменяются. При проведении исследований для других значений параметров были получены аналогичные результаты. Таким образом, в данном случае минимальная длительность шумового сигнала равна девяти секундам.

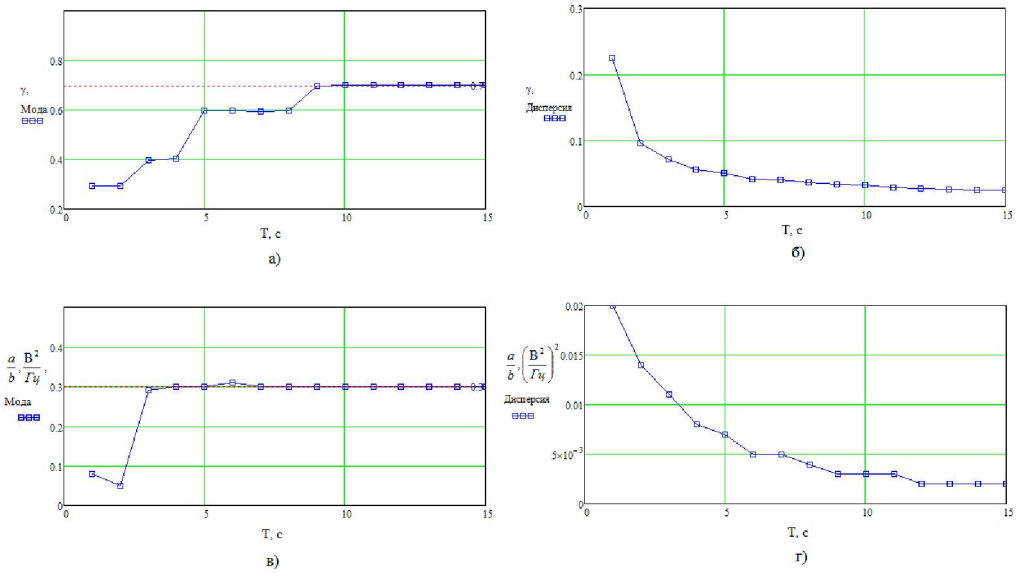


Рис. 1. Зависимости моды параметра γ (а), дисперсии параметра γ (б), моды отношения параметров $\frac{a}{b}$ (в) и дисперсии отношения $\frac{a}{b}$ (г) от длительности сигнала

Заключение. В результате проведенного анализа спектральных методов и методов аппроксимации установлено, что из представленных методов наилучшие результаты достигаются при использовании комбинированного периодограммно-коррелограммного метода при аппроксимации методом наименьших модулей. Исследование зависимости моды и дисперсии параметров шума от длительности сигнала позволило определить минимальную длительность записи шумового сигнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. – М. : Мир, 1990. – С. 584.

2. Мудров В.И., Кушко В.Л. Метод наименьших модулей. – М. : Знание, 1971. – С. 64.

3. Светлов А.В., Чайковский В.С. Методика определения плотности вероятности размаха шума операционных усилителей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 3.

УДК 621.37
ББК 32

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПЛИС

© ***И.В. Ушенина,*** *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

FPGA-BASED IMPLEMENTATION OF DIGITAL ADAPTIVE FILTERING ALGORITHMS

© ***I.V. Ushenina****, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассматриваются один из базовых адаптивных алгоритмов цифровой фильтрации – LMS и его модификации. Проводится обзор возможностей его реализации на различных аппаратных платформах. Описываются основные этапы проектирования адаптивного фильтра на ПЛИС FPGA.

Ключевые слова: адаптивный цифровой фильтр, алгоритм LMS, FPGA.

One of the fundamental digital adaptive filtering algorithms, LMS, and its modifications is discussed in the article. A survey of its implementation possibilities in the different hardware platforms is carried out. Main steps of adaptive filter development on FPGA are described.

Key words: adaptive digital filter, LMS algorithm, FPGA.

E-mail: ivl23@yandex.ru

Цифровая адаптивная фильтрация занимает видное место среди задач цифровой обработки сигналов (ЦОС). Отдельную категорию адаптивных цифровых фильтров (АФ) составляют АФ с применением опорного сигнала. Они применяются для работы с нестационарными сигналами при шумоподавлении, эхокомпенсации, предсказании сигналов и др. [1].

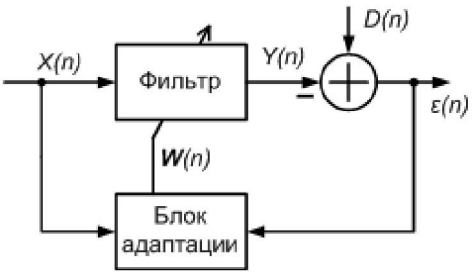


Рис. 1. Блок-схема АФ

АФ содержит собственно цифровой фильтр и блок адаптации (рис. 1). Блок адаптации подстраивает коэффициенты фильтра (вектор $\boldsymbol{W}(n)$) с тем, чтобы минимизировать сигнал ошибки $\varepsilon(n)$. На рисунке приняты обозначения: $X(n)$ – отсчет входного сигнала АФ, $D(n)$ – отсчет опорного (требуемого) сигнала АФ, $Y(n)$ – отсчет выходного сигнала АФ (оценка требуемого сигнала), $\varepsilon(n)$ – разность между $D(n)$ и $Y(n)$ (сигнал ошибки); n – номер отсчета (итерации алгоритма).

Данная статья посвящена рассмотрению возможностей аппаратной реализации блоков адаптации АФ. Аппаратная реализация и цифровых фильтров, и блоков адаптации предполагает выполнение множества операций умножения с накоплением, которые являются весьма трудоемкими (в первую очередь, операция умножения). Неудивительно, что при выборе структуры блока адаптации количество операций умножения – один из значимых факторов. С другой стороны, оценивается эффективность алгоритма применительно к решаемой задаче, после чего делается окончательный выбор.

Базовые адаптивные алгоритмы. Для расчета коэффициентов АФ существуют два основных алгоритма – рекурсивный алгоритм наименьших квадратов (*RLS*) и алгоритм наименьших средних квадратов (*LMS*).

Алгоритм *LMS* предполагает вычисление вектора коэффициентов $\boldsymbol{W}(n+1)$ по формуле

$$\boldsymbol{W}(n+1) = \boldsymbol{W}(n) + 2\mu\varepsilon(n) \cdot \boldsymbol{X}(n), \qquad (1)$$

где μ – параметр сходимости, выбираемый из диапазона значений $0<\mu<1/\lambda_{max}$ [2];

λ_{max} – наибольшее собственное значение корреляционной матрицы входного сигнала.

$$\boldsymbol{W}(n+1) = \boldsymbol{W}(n) + \boldsymbol{K}(n+1) \cdot \varepsilon(n+1) \qquad (2)$$

Вычисление коэффициентов $\boldsymbol{W}(n+1)$ в алгоритме *RLS* осуществляется по формуле (2), где $\boldsymbol{K}(n+1)$ – вектор “коэффициентов усиления”. Вычисление этого вектора, а также обновление оценки обратной корреляционной матрицы сигнала на каждой итерации значительно усложняет алгоритм.

Подсчитано, что при вычислении $\boldsymbol{W}(n+1)$ алгоритм LMS требует выполнения $2N+1$ операций умножения с накоплением, где N – порядок фильтра [1]; алгоритм *RLS* – как минимум $2{,}5N^2+4N$ пар этих же операций [3]. Этим объясняется приоритет *LMS* при выборе алгоритма адаптации для целого ряда приложений.

Модификации алгоритма LMS. Алгоритм LMS имеет и недостатки, основными из которых являются малая скорость сходимости и наличие избыточной ошибки [3].

Существует несколько десятков модификаций LMS-алгоритма [4], повышающих скорость сходимости (за счет усложнения аппаратной реализации), а также упрощающих аппаратную реализацию алгоритма (за счет снижения скорости сходимости). Среди наиболее распространенных и часто упоминаемых в литературе модификаций *LMS*-алгоритма можно отметить: нормированный *LMS*-алгоритм, позволяющий улучшить сходимость благодаря расчету μ на каждом шаге с учетом энергии входного сигнала; *LMS*-алгоритм Ньютона, предназначенный для ускорения сходимости при силь-

ной корреляции отсчетов входного сигнала; алгоритм с дополнительной фильтрацией выходного сигнала перед формированием сигнала ошибки, применяющийся в системах активного подавления акустических шумов; алгоритм, работающий со знаком сигнала ошибки (*sign-error*) вместо значения этого сигнала, вдвое сокращающий количество операций умножения по сравнению с базовым алгоритмом, и др.

Возможности аппаратной реализации АФ. В современных условиях аппаратная реализация АФ возможна во многих вариантах, основными из которых являются цифровые сигнальные процессоры и ПЛИС архитектуры FPGA.

Возможности сигнальных процессоров в плане реализации АФ освещены в специальной литературе, например [1, 5], достаточно широко. Особенностью сигнальных процессоров является наличие в центральном процессорном блоке аккумулятора, реализующего основную операцию ЦОС – умножение с накоплением.

Публикаций, касающихся использования *FPGA* для построения АФ, значительно меньше. Между тем, потенциал *FPGA* в плане реализации АФ гораздо выше. Основное преимущество *FPGA* заключается в возможности параллельного выполнения нескольких сотен операций умножения с накоплением, тогда как сигнальные процессоры могут выполнить в лучшем случае 2-4 таких операции одновременно.

Еще одним достоинством, связанным с возможностью программирования связей между аппаратными ресурсами и разнообразием этих ресурсов, является многообразие способов реализации фильтра. Реализовать АФ на *FPGA* можно, используя ее программируемые ресурсы. Выигрышным вариантом построения АФ в таких случаях может оказаться использование метода распределенных вычислений [6], что позволит не только ограничиться более дешевым кристаллом, но и снизить латентность фильтра.

Другой вариант – использование специализированных аппаратных модулей ЦОС, встраиваемых в современные *FPGA*. Главное преимущество аппаратных модулей – известные заранее, гарантированные временные характеристики, причем значительно лучшие, чем у устройств, собираемых на программируемых ресурсах. Примером ЦОС-модулей *FPGA* являются *DSP*48 [7]. Каждый блок *DSP*48 содержит умножитель двух 18-разрядных переменных, программируемый сумматор, выполняющий сложение, вычитание или аккумулирование 48-разрядных переменных, а также набор регистров и мультиплексоров для управления входными, выходными и внутренними сигналами.

Последовательность проектирования АФ на базе ПЛИС. Реализации АФ предшествуют формулировка требований к АФ, выбор его архитектуры и адаптивного алгоритма. Собственно реализация АФ на ПЛИС типа *FPGA* может быть разделена на несколько этапов: выбор разрядности целой и дробной частей при представлении переменных, разбиение АФ на модули и построение иерархии *FPGA*-проекта, описание функционирования модулей АФ, оценка полученных результатов.

Рассмотрим для примера создание на базе ЦОС-модуля *DSP*48 *FPGA Virtex* 4 АФ с 40-звенным КИХ-фильтром систолической структуры и базовым *LMS*-алгоритмом (рис. 2).

Вычисление произведений текущих коэффициентов фильтра на отсчеты входного сигнала выполняется параллельно; вычисление новых значений коэффициентов – сразу после вычисления $Y(n)$ и $\varepsilon(n)$. Предыдущие отсчеты входного сигнала и значения коэффициентов хранятся в регистрах Рг.

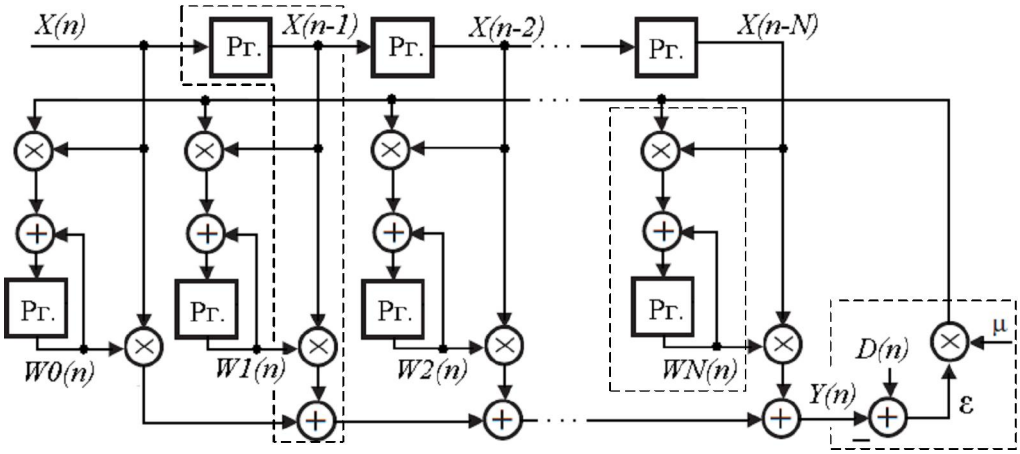


Рис. 2. Структура АФ, реализуемого на ЦОС-модуле DSP48

Выбор разрядности целой и дробной частей при представлении переменных. Числа, обрабатываемые блоками *DSP*48, представляются в формате с фиксированной точкой. Сколько разрядов нужно зарезервировать под целые части каждого из сигналов АФ, зависит от диапазона их значений. Значения диапазонов X и D, параметра сходимости μ, а также начальные значения $\boldsymbol{W}$ известны, а для получения Y, ε и диапазона значений $\boldsymbol{W}$ можно провести моделирование работы АФ, например, в пакете *MATLAB*/Simulink. *MATLAB* и Simulink располагают набором встроенных функций и блоков, моделирующих работу АФ с алгоритмом *LMS*.

Выбор разрядности дробных частей диктуется, с одной стороны, желаемой точностью результатов и корректностью работы фильтра; с другой стороны, разрядность ограничивается возможностями блоков *DSP*48. Согласно [1], для представления сигналов в X и Y обычно требуется 8-16 бит; для представления коэффициентов $\boldsymbol{W}$ – 16-24 бит, так что ресурсов *DSP*48 более чем достаточно.

Разбиение АФ на модули и построение иерархии FPGA-проекта. Для проектирования АФ использовался пакет *WebPACK ISE* фирмы *Xilinx*. Для проектов на ПЛИС характерна иерархическая организация, при которой проект разбивается на модули, пригодные для многократного использования. На рис. 2 содержимое модулей АФ обведено пунктиром и обозначено цифрами 1 (звено фильтра), 2 (модуль вычисления коэффициента) и 3 (блок вычисления $\varepsilon(n)$ и $\mu \cdot \varepsilon(n)$). Модули 1 и 2 используются по 40 раз; модуль 3 – один раз. Все вместе является модулем верхнего уровня иерархии.

Описание функционирования модулей АФ. Для описания АФ был выбран язык *VHDL*. Язык *VHDL* поддерживает иерархическую организацию проекта и предусматривает возможность параметризации описываемых уст-

ройств. В данном случае настраиваемыми параметрами являются порядок АФ (количество звеньев) и разрядность сигналов. Настраиваемые параметры указываются в модуле верхнего уровня; там же обеспечивается формирование нужного количества тех или иных блоков и их соединение между собой.

Оценка полученных результатов. При оценке результатов проектирования на ПЛИС в первую очередь предпринимаются такие шаги, как функциональное моделирование и оценка временных характеристик. К сожалению, возможности бесплатного пакета *WebPACK ISE* в плане функционального моделирования ограничены, и удалось произвести моделирование работы только отдельных модулей АФ. Что касается оценки временных характеристик, их можно оценить в полном объеме. Первые результаты оценки временных характеристик могут быть получены уже после синтеза проекта. Согласно отчету о синтезе (фрагмент отчета см. ниже), 40-звенный АФ на *FPGA Virtex* 4 может работать с тактовой частотой до 528 МГц:

Minimum period: 1,891ns (Maximum Frequency: 528,821MHz)

Minimum input arrival time before clock: 1,712ns

Maximum output required time after clock: 4,152ns

Заключение. Задача реализации адаптивных *LMS*-алгоритмов на ПЛИС *FPGA* представляет как исследовательский, так и практический интерес. Использование *FPGA* для реализации АФ предоставляет разработчику больше степеней свободы по сравнению с сигнальными процессорами. *FPGA* обеспечивают большую скорость обработки данных за счет распараллеливания вычислений; позволяют выбрать и реализовать архитектуру фильтра, алгоритм адаптации и разрядность переменных; использовать распределенные вычисления. Удачные варианты реализации АФ на *FPGA* могут получить широкое практическое применение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход : Пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2008. – 992 с. : илл.

2. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов : Пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1989. – 440 с.

3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов : Учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.

4. Glentis G.-O., Berberidis K., Theodoridis S. Efficient Least Squares Adaptive Algorithms for FIR Transversal filtering // IEEE Signal Processing Magazine, 1999, Vol.16, No.4, pp 13-41.

5. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов / Кестер У., Брайэнт Д., Кинг Д. [и др.] ; под ред. У. Кестера. – М. : Техносфера, 2010. – 328 с.

6. Ушенина И.В. Снижение латентности цифрового КИХ-фильтра с использованием метода распределенных вычислений / В.А. Варнавский, В.Н. Елизаров, И.В. Ушенина // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : Сб. ст. X Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза : Приволжский Дом знаний, 2012. – 128 с.

7. UG073. XtremeDSP for Virtex-4 FPGAs: Xilinx Inc. San Jose. – California, USA, 2008. – 121 p.

АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 681.324
ББК 332

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ НА МОДЕЛЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

© ***А.И. Мартышкин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

INVESTIGATING MULTIPROCESSOR SYSTEM TASK MANAGERS ON QUEUING MODEL

© ***A.I. Martyshkin***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассматриваются модели диспетчеров задач с алгоритмами планирования процессов по стратегии разделения времени (глобальная очередь) и разделения пространства (распределенные очереди). Предлагаются модели на основе стохастических сетей массового обслуживания для получения вероятностно-временных характеристик. Представлены модели для микроанализа предлагаемых планировщиков. Рассмотрен конкретный пример построения моделей для получения сравнительных характеристик двух многопроцессорных систем с разными типами диспетчеров задач. В результате анализа проведенных экспериментов видно, что диспетчер задач, работающий по стратегии разделения пространства, показывает наилучшие вероятностно-временные характеристики, чем диспетчер с общей очередью задач.

Ключевые слова: многопроцессорная система, высокопроизводительная система, операционная система, диспетчер задач, планировщик, планирование процессов, стохастическая сеть, система массового обслуживания.

The article deals with the model of task managers with process scheduling algorithms on the time-sharing strategy (global priority) and the space division strategy (distributed queues). The author proposes the model based on stochastic queuing networks for obtaining probabilistic-time characteristics. He also presents the models for the proposed schedulers microanalysis. There is a specific example of building models for obtaining comparative characteristics of two multiprocessor systems with different task manager types. The analysis of the experiments made showed that the task manager using the space division strategy gave better probabilistic-time characteristics than the general queue one.

Key words: multiprocessor system, high-performance system, operating system, task manager, planner, process planning, stochastic network, queuing system.

E-mail: Alexey314@yandex.ru

Введение

В многопроцессорных системах используется модель мультипроцессора, для которого планирование двумерно. Планировщик, входящий в многопроцессорную систему, должен решить, какой процесс на каком процес-

соре запустить. Это дополнительное измерение существенно усложняет планирование на мультипроцессорах [6].

Существует два основных способа построения диспетчеров задач в многопроцессорных системах: с разделением времени и разделением пространства [2 – 4]. Первый предполагает использование глобальной очереди готовых к обработке задач, второй – локальной очереди для каждого процессорного узла.

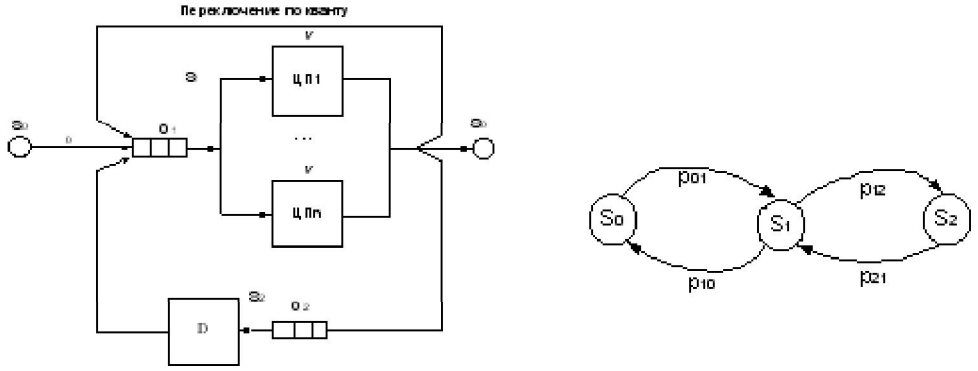
В диспетчерах с разделением времени существует явление перезагрузки кэш-памяти, связанное с переключением задач, когда прерванная задача с высокой вероятностью может быть направлена для продолжения обслуживания в другой процессорный узел. Названное явление увеличивает частоту кэш-промахов и неизбежно приводит к снижению производительности многопроцессорной системы [6]. Однако модель с разделением времени балансирует загрузку процессоров, обеспечивая тем самым высокую степень параллелизма.

В диспетчерах с разделением пространства у каждого процессора имеется своя очередь задач, причем диспетчер взаимодействует только с одним процессором и его функция ограничивается выборкой очередной задачи и назначения её освободившемуся процессору. При прерываниях по истечении кванта (переключениях контекста) задача остается в той же очереди, в которой она находилась ранее. Таким образом, в вычислительной системе действует одновременно n планировщиков, в результате чего задачи выбираются из очередей бесконфликтно, поступают в процессоры параллельно, что создает условия для повышения производительности. Балансировка загрузки процессоров слабая, что приводит к “перекосу” в системе, когда часть процессоров может простаивать.

1. Модель диспетчера задач с алгоритмом планирования процессов по стратегии разделения времени

При проектировании новых многопроцессорных систем необходимо определить эффективность возможностей реализации. Одним из основных таких критериев является производительность. Для оценки потерь производительности в процессе диспетчеризации рассмотрены аналитические модели n-процессорных систем с алгоритмами планирования процессов по стратегии разделения времени (рис. 1,а) и разделения пространства (рис. 2,а). Модели представлены в виде разомкнутых стохастических сетей массового обслуживания (СМО) [1, 5]. В модели с разделением времени СМО S0 выступает в качестве внешнего источника заявок на выполнение процессов, которые могут формироваться, например, терминалами пользователей. СМО S0 выступает также в качестве поглотителя обслуженных стохастической сетью заявок. Будем считать, что время выполнения запроса v_i в каждом процессорном узле распределено по экспоненциальному закону [1]. После переключения контекста возможно назначение любого процессора (ЦП). Поэтому можно говорить о многоканальной СМО (S_1). Так как в этом случае создается одна (глобальная) очередь задач, которая является общим ресурсом для всех запрашивающих оче-

редную задачу процессоров, то модель механизма доступа к этому ресурсу представлена одноканальной СМО (S_2).



а) б)

Рис. 1. Схема аналитической модели n-процессорной системы с алгоритмами планирования процессов по стратегии разделения времени (а), граф передач аналитической модели (б): S_0 – источник заявок (терминалы, генерирующие запросы), S_1 – n процессорных узлов, S_2 – диспетчер задач

Описание модели. При использовании стратегии разделения времени вновь поступившая задача помещается в глобальную очередь (рис. 1,а). Если имеется свободное место в очереди, то задача занимает его. Принятая на обслуживание задача находится в очереди до тех пор, пока не поступит на выполнение в один из процессоров. Если используется режим квантования, то незавершенная задача по окончании текущего кванта помещается в конец глобальной очереди, иначе результат выдается пользователю, а в очереди освобождается одно место. При завершении выполнения задачи диспетчер просматривает очередь, и если в ней имеются заявки на обслуживание, то назначается на выполнение задача, стоящая в голове списка. Если очередь пуста, свободные процессоры переходят в режим ожидания [5].

Считается, что приложения формируют простейшие потоки запросов, а времена обслуживания подчиняются экспоненциальному закону. Это распределение позволяет получить результаты заведомо хуже реальных значений, что в свою очередь позволит сделать оценку полученных результатов сверху. В диспетчерах с разделением времени время выполнения задачи определяется выражением

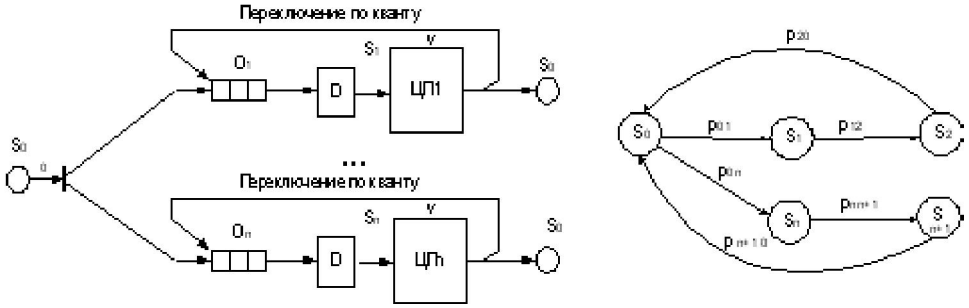
$$t = k(\nu+\rho\omega), \qquad (1)$$

где ν – время обслуживания задачи процессором, с – вероятность перезагрузки кэш из-за возможного переназначения задачи, получающей дообслуживание после переключения контекста, ω – время перезагрузки кэш данными обслуживаемой задачи, k – среднее число квантов, требуемое для реализации задачи [3].

2. Модель диспетчера задач с алгоритмом планирования процессов по стратегии разделения пространства

Другой подход к планированию мультипроцессоров может быть использован, если процессы связаны друг с другом каким-либо способом. Часто случается, что один процесс создает множество потоков, работающих совместно. Планирование нескольких потоков на нескольких центральных процессорах называется совместным использованием пространства или разделением пространства.

Модель с разделением пространства (рис. 2,а) состоит из *n*-одноканальных СМО (S_1, ..., S_n). Каждая такая СМО моделирует обслуживание в процессорном узле, в состав которого входит ЦП и диспетчер. Источник S_0 моделирует потоки заявок λ_0 (задач, поступающих от пользователей) и поглощает обслуженные заявки (выдача результата пользователю).



а) б)

Рис. 2. Схема аналитической модели n-процессорной системы с алгоритмами планирования процессов по стратегии разделения пространства (а), граф передач аналитической модели (б): S_0 – источник заявок (терминалы, генерирующие запросы); S_1-S_2, S_n-S_{n+1} – диспетчер задач + процессорный узел

Описание модели. При использовании стратегии разделения пространства вновь поступившая задача помещается в очередь к одному из процессорных узлов (рис. 2,а). Если имеется свободное место в одной из очередей, то задача занимает его. Принятая на обслуживание задача находится в локальной очереди до тех пор, пока не поступит на выполнение в процессор. Если используется режим квантования, то незавершенная задача по окончании текущего кванта помещается в конец той же очереди, где она находилась ранее, иначе результат выдается пользователю, а в локальной очереди освобождается одно место. При завершении выполнения задачи диспетчер просматривает локальную очередь. Если в ней имеются заявки на обслуживание, то назначается на выполнение задача, стоящая в голове списка. Если очередь пуста, процессор переходит в режим ожидания [2 – 4].

В диспетчерах с разделением пространства время выполнения задачи определяется выражением

$$t = k(\nu+\tau), \qquad (2)$$

где τ – время переключения контекста диспетчером; *н* – время обслуживания задачи процессором; *k* – среднее число квантов, требуемое для реализации задачи [3].

Зная параметры моделей $(\nu, \rho, \omega, \tau)$, можно легко получить временные характеристики решаемых задач, например загрузку процессоров, время ответа и др.

3. Моделирование работы диспетчеров задач по стратегии разделения времени и пространства

Пожалуй, одним из наиболее сложных моментов в моделировании является определение исходных данных. Исходные данные формируются на основе архитектурных особенностей, в которых временные характеристики различны. Для примера возьмем параметры, по которым получим значения времени переключения контекста: Задержка между тестами: 10 мкс; начальное количество процессов: 10; конечное количество процессов: 20. На рис. 3 показан график зависимости времени переключения контекста от количества процессов, полученный программным средством для измерения параметров процессов в операционной системе [7].

Рис. 3. Зависимость времени переключения контекста от количества процессов

Исходя из данных, полученных в результате использования программы для измерения времени переключения контекста, для моделирования принимаем, что время переключения контекста занимает от 4,55 до 4,9 мкс, при этом время обслуживания в ПУ взято из расчета: от значения, соизмеримого с минимальным временем доступа к диспетчеру, до числа, много большего максимального времени доступа к ресурсу.

Исследование моделей диспетчеров задач. Ранее были получены следующие графы передач (рис. 1,б, рис. 2,б). Для анализа систем варьировались следующие параметры: 1) число процессорных узлов в СМО $K = 2\ldots7$; 2)

время обслуживания заявок одним процессорным узлом ν = 5…15 мкс; 3) время обслуживания заявок диспетчером ν = 4,55…4,9 мкс. Интенсивность потока запросов при моделировании изменялась пропорционально числу процессорных узлов.

На рис. 4 приведена зависимость загрузки диспетчера от числа процессоров в системе. Рассмотрена работа диспетчера с общей очередью (на рисунке верхние графики) и распределенных диспетчеров (нижние графики). Из графиков на рис. 4 видно, что многопроцессорная система с *n* диспетчерами работает быстрее, чем аналогичная система с одним диспетчером и общей очередью задач. Этим подтверждаются утверждения, данные выше.

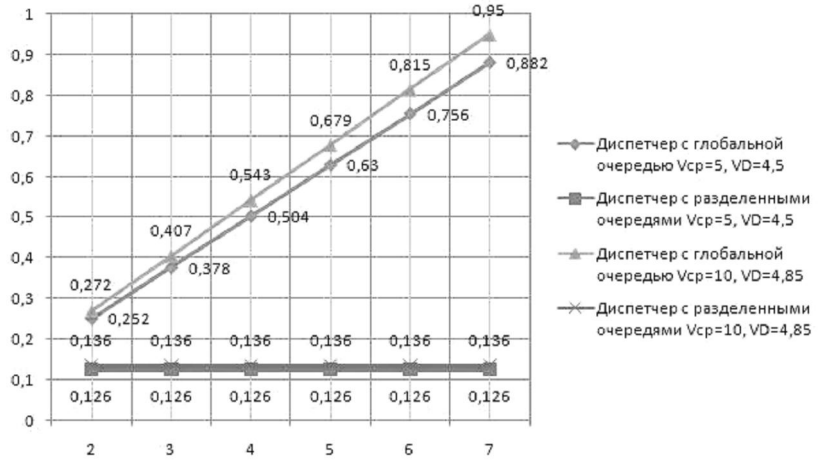


Рис. 4. Зависимость загрузки диспетчеров от числа процессорных узлов

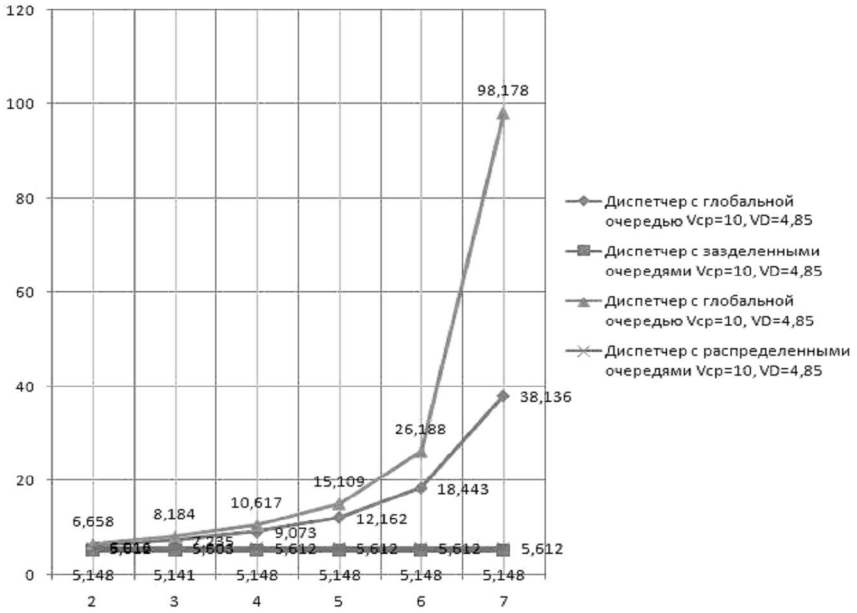


Рис. 5. Зависимость времени обслуживания в диспетчере от числа процессорных узлов

На рис. 5 приведена зависимость времени нахождения заявки в диспетчере от числа процессоров в *n*-процессорной системе. Из рисунка видно, что система с *n* диспетчерами работает быстрее, чем с одним. Заявки распределяются по *n* диспетчерам к *n* процессорам, что позволяет системе работать быстрее, чем в системе с общей очередью и одним диспетчером.

Таким образом, в данной статье проведено исследование диспетчеров задач с разделением времени и разделением пространства. Разработаны аналитические сетевые модели, основанные на стохастических сетях массового обслуживания, разработан критерий оценки производительности многопроцессорной вычислительной системы.

Разработанные сетевые модели выполняют следующие задачи:

– выбор наиболее эффективного по критерию максимальной производительности диспетчера задач многопроцессорной системы;

– возможность производить оценку характеристик многопроцессорных систем и их подсистем без построения реального макета;

– выбор наиболее оптимальных вариантов проектируемых систем без построения реальной системы.

Промоделировав работу многопроцессорных систем с разными типами диспетчеров задач, на практике получили подтверждение, что система с распределенными диспетчерами работает быстрее, чем её аналог с одним диспетчером и общей очередью готовых к выполнению процессов.

Расчеты показали, что задержка, формируемая диспетчером, не зависит от типа назначения задач в системе, поскольку для двух моделей при одинаковых параметрах системы время ожидания диспетчера не изменяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка метода анализа архитектур вычислительных систем с использованием моделирования / Бикташев Р.А. и др. // Модернизация системы управления качеством образовательного процесса в высшей школе : Сб. науч. трудов. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2007. – С. 102 – 110.

2. Бикташев Р.А. Диспетчер задач многопроцессорной системы с аппаратной поддержкой // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего$_{плюс}$: Научно-методический журнал. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2011. – № 3(03). – С. 111 – 115.

3. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Моделирование диспетчеров задач многопроцессорных систем // Успехи современного естествознания : Научно-теоретический журнал. – 2012. – № 6. – С. 83 – 85.

4. Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А., Меркурьев А.И. Аппаратная поддержка диспетчера задач с глобальной очередью в многопроцессорных системах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 3. – С. 3 – 12.

5. Мартышкин А.И. Исследование подсистем памяти с буферизацией транзакций на моделях массового обслуживания // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего$_{плюс}$: Научно-методический журнал. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2011. – № 3(03). – С. 124 – 132.

6. Таненбаум Э. Современные операционные системы.– 2-е изд. – СПб. : Питер, 2002. – 1040 с.

7. Стивенс У.Р. UNIX: разработка сетевых приложений. – СПб., 2007. – 1039 с.

УДК 621.373
ББК 32

ПРИНЦИПЫ ФАЗОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В УСТРОЙСТВАХ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

© ***В.А. Чулков***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***С.А. Нестеренко***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***И.В. Димов***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

THE PHASE INTERPOLATION PRINCIPLES IN DIGITAL SIGNAL PROCESSING DEVICES

© ***V.A. Chulkov***, *Penza state technological academy (Penza, Russia)*

© ***S.A. Nesterenko,*** *Penza state technological academy (Penza, Russia)*

© ***I.V. Dimov***, *Penza state technological academy (Penza, Russia)*

Рассмотрены технические принципы непрерывной и локальной фазовой интерполяции в системах цифрового преобразования и обработки информационных сигналов. Представлены основные структуры устройств и элементов для осуществления интерполяции: управляемых элементов задержки, устройств автоподстройки фазы и задержки, а также элементов фазовой интерполяции, позволяющих достичь субвентильного разрешения в процессе дискретизации времени.

Ключевые слова: фазовая интерполяция, кольцевой генератор, цифровая линия задержки, автоподстройка фазы, автоподстройка задержки.

The technical principles of permanent and local phase interpolation in the systems for digital converting and processing of information signals are described. The basic structures of devices and elements for interpolation realizing are presented. There are the controlled delay elements, phase lock loops, delay lock loops as so as phase interpolation elements that allow to reach subgate resolution during time discretization process.

Key words: phase interpolation, ring oscillator, digital delay line, phase lock loop, delay lock loop.

Для сокращения шага дискретизации времени до размеров, меньших тактового периода, с созданием ряда промежуточных точек отсчета на интервалах между двумя событиями применяется фазовая интерполяция (ФИ). В отличие от интерполяции в строгом математическом смысле, ФИ в технических системах представляет собой именно “фазовую” процедуру: если изменяется интерполируемый интервал, то изменяется и протяженность субквантов интерполяции, а их число на интервале остается неизменным [1].

В соответствии с решаемой задачей можно говорить о непрерывной (круговой) интерполяции тактового периода и о локальной интерполяции с целью создания оси интерполяции между двумя опорными колебаниями.

Непрерывная ФИ осуществляется с помощью цифровых линий задержки (ЦЛЗ) и мультифазных кольцевых генераторов (МКГ), перекрываю-

щих тактовый период совокупностью импульсов своих каскадов – буферов задержки. Стабилизация генерируемого субкванта времени достигается введением обратных связей, преобразующих ЦЛЗ в систему автоподстройки задержки *DLL* (*Delay Lock Loop*), а МКГ – в систему фазовой синхронизации *PLL* (*Phase Lock Loop*).

В процессе оцифровывания интервала времени $t_1 \ldots t_2$ между двумя событиями выполняется по существу процедура дискретизации прямоугольного импульса с единичной амплитудой, результатом которой оказывается пачка δ-импульсов

$$s_\partial(t) = \left[\sigma(t_1) - \sigma(t_2)\right] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_O). \tag{1}$$

Поскольку сигнал за пределами отрезка $t_1 \ldots t_2$ равен нулю, то (1) можно переписать также в виде ряда с ограниченным числом членов

$$s_\partial(t) = \sum_{k=ent\{t_1/T_O\}+1}^{ent\{t_2/T_O\}} \delta(t - kT_O), \tag{2}$$

где $ent\{x\}$ – операция взятия целой части аргумента.

В отличие от традиционной импульсной системы с единственным отсчетом за период дискретизации (рис. 1,а), при ФИ в каждом опорном периоде генерируется N δ-импульсов (рис. 1,б). Позиции импульсов ввиду аккумулирования джиттера могут быть искажены с нарастающей в пределах периода степенью искажения (рис. 1,в). Множество N отсчетов образуют N частных решетчатых “образов” сигнала:

$$\left.\begin{aligned}
&s_{\partial 0}(t) = \left[\sigma(t_1) - \sigma(t_2)\right] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_O);\\
&s_{\partial 1}(t) = \left[\sigma(t_1) - \sigma(t_2)\right] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_O - T_O/N);\\
&s_{\partial 2}(t) = \left[\sigma(t_1) - \sigma(t_2)\right] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_O - 2T_O/N);\\
&\ldots\\
&s_{\partial(N-1)}(t) = \left[\sigma(t_1) - \sigma(t_2)\right] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_O - (N-1)T_O/N).
\end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Полный “образ” сигнала получается сложением частных решетчатых функций:

$$s_\partial(t) = \left[\sigma(t_1) - \sigma(t_2)\right] \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta\left(t - \left(k + \frac{i}{N}\right) T_O\right). \tag{4}$$

Формула (4) в общем виде описывает процедуру непрерывной ФИ в процессе преобразования интервала времени в цифровой код. Поскольку по сравнению с (2) здесь предусматривается в N раз большее количество отсчетов сигнала, то ФИ эквивалентна повышению частоты отсчетов в N раз.

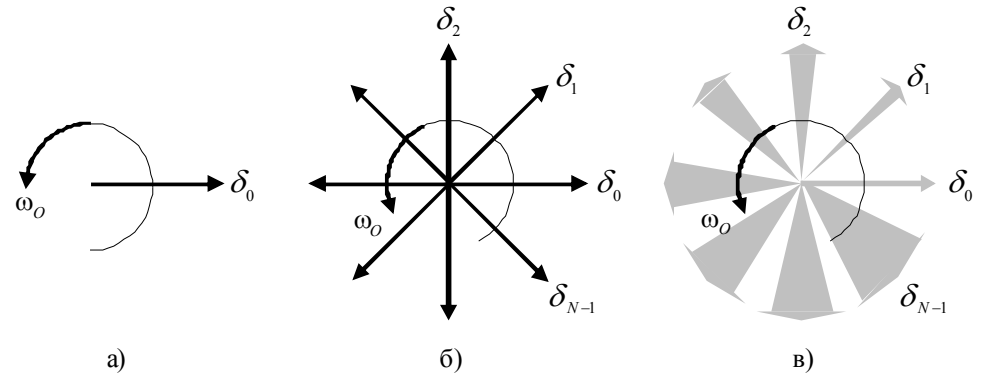


Рис. 1. Фазовые диаграммы дискретизации времени:
а – традиционная, б – с интерполяцией, в – с “шумящей” интерполяцией

Устройства *DLL* и *PLL* строятся на базе микроэлектронных ЦЛЗ, звеньями которых служат управляемые элементы задержки (ЭЗ).

Управляемые элементы задержки. Применение для задержки цифровых сигналов собственных задержек логических вентилей стало возможным в последние годы благодаря развитию микроэлектроники, давшему свет низковольтным МОП приборам и снявшему ограничения на сложность схем ЭЗ, обеспечивающих электронную перестройку задержки.

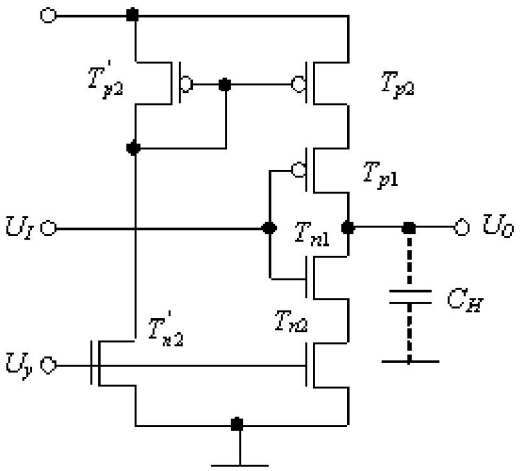


Рис. 2. Управляемый элемент симметричной задержки

На рис. 2 в качестве примера управляемого ЭЗ представлена схема КМОП инвертора с ограничением тока. Задержка определяется процессом перезаряда емкости нагрузки C_H выходным током инвертора на транзисторах T_{p1}, $T_{n1,}$ который задается дополнительными комплементарными транзисторами T_{p2}, T_{n2}, образующими вместе с транзисторами T'_{p2}, T'_{n2} схему токового зеркала. Ток в T_{p2} при любом значении U_y равен току, протекающе-

му в T_{n2}, что обеспечивает равенство втекающего и вытекающего токов инвертора и, следовательно, симметрию задержки сигнала U_I.

Величина рабочего тока, а вместе с ним и время задержки регулируется управляющим напряжением U_y. Исходя из комплементарности транзисторов с противоположными типами каналов $|K_n| = |K_p|, |U_{tn}| = |U_{tp}|$, можно найти связь времени задержки ЭЗ с управляющим напряжением [2]:

$$t_{PLH} = t_{PHL} = \frac{C_H}{K_n \left(U_{tn} - U_y\right)^2}. \quad (5)$$

Устройства DLL и PLL. Основное различие между устройствами *DLL* и *PLL* состоит в том, что в первом нет местного генератора, его выходные импульсы являются задержанными копиями опорного сигнала, в то время как устройство *PLL* является автогенератором с обратной связью по фазе. В структуре устройства *PLL* обратная связь генератора выполняется с единственного его выхода, совокупность импульсов на промежуточных выходах МКГ интерполирует их период. В интегральных схемах *PLL* фазовая ошибка представляется преимущественно шириной импульсов, управляющих накачкой заряда интегрирующего конденсатора (в зарубежной литературе *Charge Pump PLL* [3]).

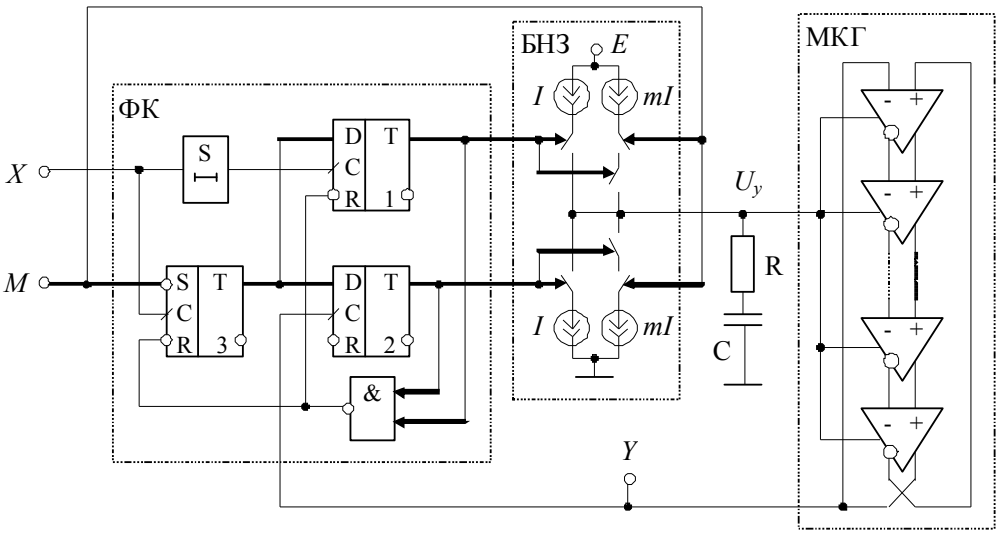


Рис. 3. Функциональная схема системы PLL с накачкой заряда

На рис. 3 показана функциональная схема устройства *PLL* для восстановления синхронизации с блоком накачки заряда (БНЗ) и двухрежимным фазовым компаратором (ФК) [4]. Схема ФК включает пару динамических триггеров 1 и 2 с общей цепью сброса через вентиль И-НЕ, а также дополнительный триггер 3 и одновибратор (*S*), настроенный на половину тактового периода. Схема БНЗ состоит из двух пар сопряженных генераторов тока: первой пары генераторов вытекающего и втекающего токов *I*, и второй пары – на

порядок больших токов mI. Генераторы вытекающего тока включаются сигналом первого выхода ФК, а генераторы втекающего тока – сигналом второго выхода ФК. Ток БНЗ поступает в интегрирующий конденсатор C, где преобразуется в напряжение U_y, управляющее частотой МКГ. Выходные сигналы МКГ Y по цепи обратной связи передаются на второй вход ФК.

В устройстве возможны два режима работы, которые задаются логическим уровнем управляющего сигнала M: режим фазо-частотного сравнения для захвата синхронизма при $M = 0$ и режим только фазового сравнения, в который устройство переходит при $M = 1$ для выделения тактов из последовательности информационных сигналов. Дискриминационные характеристики устройства для обоих режимов представлены на рис. 4.

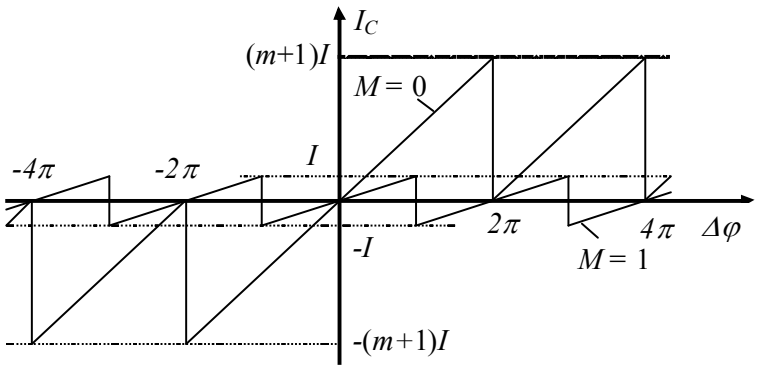


Рис. 4. Дискриминационная характеристика двухрежимного ФК

В первом режиме работают все генераторы тока в БНЗ и постоянно разрешена работа триггеров 1 и 2, которые вместе с вентилем И-НЕ образуют схему частотно-фазового компаратора [5]. В каждом цикле работы ФК выдает на БНЗ отображающий знак и значение фазовой ошибки импульс: случаю отставания сигнала Y от задержанного одновибратором сигнала X соответствует импульс на выходе триггера 1, случаю опережения – на выходе триггера 2. Если частоты сравниваемых сигналов не равны, то импульсы рассогласования периодически нарастающей длительности появляются только на одном из выходов ФК, что соответствует эффекту частотной дискриминации. Этот эффект вкупе с большим током накачки заряда $(1+m)I$ обеспечивает ускоренное достижение синхронизма с полосой захвата, равной полосе удержания.

Во втором режиме в БНЗ остаются активными лишь генераторы малого тока I, а апертура дискриминационной характеристики сокращается до $\pm\pi$, что устраняет эффект частотного сравнения и обеспечивает работу с нерегулярными информационными сигналами на входе X. Уменьшение коэффициента передачи ФК и БНЗ обеспечивает повышение точности синхронизации.

Обозначив общий коэффициент передачи невключающих реактивностей ФК и БНЗ через $K_{ФК}$ с размерностью А/рад и коэффициент передачи МКГ

как K_I/s с размерностью рад/(ВЧс) (оператор s отражает интегральную связь выхода с входом), можно найти передаточную функцию замкнутой системы *PLL* в виде

$$W(s)=\frac{K(s)}{1+\beta K(s)}=\frac{K_{ФК}K_{Г}(1+sRC)}{C\left(s^2+s\cdot\beta K_{ФК}K_{Г}R+\beta K_{ФК}K_{Г}/C\right)}.$$

Основные свойства *PLL* определяются характеристическим уравнением

$$\Delta(s)=s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2,$$

где $\omega_n=\sqrt{\beta K_{ФК}K_{Г}/C}$ – собственная частота системы, $\zeta=\beta K_{ФК}K_{Г}R/2\omega_n$ – отношение демпфирования. Полюса передаточной функции

$$P_1=-\zeta\omega_n+j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}=-\alpha+j\omega,\ P_2=-\zeta\omega_n-j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}=-\alpha-j\omega,$$

($\alpha=\zeta\omega_n$ – коэффициент демпфирования, $\omega=\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$ – демпфированная частота) определяют динамику переходного процесса при скачке фазы входного сигнала: если $\alpha<1$ – колебательный, если $\alpha>1$ – апериодический. Отметим, что устройство *PLL* даже с простейшим фильтром является системой как минимум второго порядка.

Устройства автоподстройки задержки *DLL* получили распространение в высокоскоростных системах обработки данных как альтернатива устройствам *PLL* благодаря меньшей чувствительности к технологическим отклонениям, питающему напряжению и температуре. Достоинством *DLL* является также ослабление эффекта накопления джиттера, поскольку такое накопление возможно только в пределах опорного периода.

Структура *DLL* (рис. 5) включает управляемую ЦЛЗ, каждое из *N* звеньев которой задерживает сигнал опорного генератора (ОГ) на время t_D, а также петлю автоподстройки задержки в составе ФК и БНЗ. Фазовая разность между опорным сигналом и выходным сигналом цепи ЭЗ с помощью петли обратной связи сводится к нулю. Подстройка задержки осуществляется путем регулирования времени задержки t_D всех ЭЗ по результату Δt фазового сравнения в ФК:

$$\Delta t=\sum_{i=1}^{N}t_{Di}-T_O,$$

где t_{Di} – время задержки *i*-го ЭЗ, а T_O – опорный период. В режиме синхронизации общее время задержки ЦЛЗ точно равно периоду ОГ, и если ЭЗ идентичны, то $\sum_{i=1}^{N}t_{Di}=Nt_D=T_O$. Идентичность ЭЗ означает не только равенство их задержек, но и одинаковые, обязательно монотонные регулировочные характеристики $t_D(U_C)$.

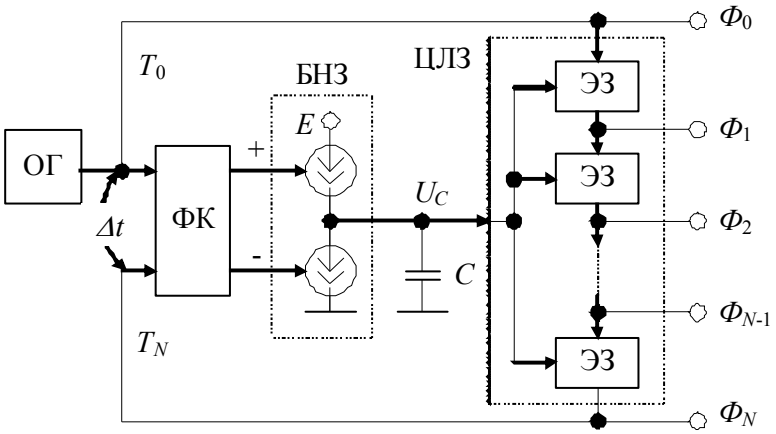


Рис. 5. Структура системы DLL с блоком накачки заряда

Передаточная функция ЦЛЗ в отличие от передаточной функции генератора в устройстве *PLL* не содержит интегрирующего оператора и для относительно малых фазовых ошибок представляет собой постоянный коэффициент $K_D = Nk_D$ (с/В), где k_D – крутизна регулировочной характеристики ЭЗ. БНЗ преобразует импульс напряжения ФК в заряд $\Delta q = I_q \cdot \Delta t$, где I_q – амплитуда тока БНЗ, а Δt – временная разность между сигналами ФК. Коэффициент передачи БНЗ равен, следовательно, I_q (А). Последовательность импульсов БНЗ преобразуется далее в управляющее напряжение U_C с помощью интегрирующего фильтра с передаточной функцией

$$K_F(s) = \frac{K_F}{s},$$

где K_F – коэффициент усиления фильтра по постоянному току.

Таким образом, передаточная функция малосигнальной модели замкнутой системы *DLL*

$$W(s) = \frac{T_N(s)}{T_O(s)} = \frac{K(s)}{1 + K(s)} = \frac{I_q K_F K_D}{I_q K_F K_D + s}$$

соответствует системе первого порядка, обладающей абсолютной устойчивостью и полосой захвата, равной полосе удержания.

Точность *DLL* определяется степенью согласования времен задержки звеньев ЦЛЗ. Интегральные ЭЗ одинаково подвержены флуктуациям температуры и напряжения питания, каждый *i*-й ЭЗ при номинале задержки t_D^* имеет технологическое отклонение Δt_{Ti} и шумовое отклонение $\Delta t_{Шi}$:

$$t_{Di} = t_D^* + \Delta t_{Ti} + \Delta t_{Шi}.$$

Шумовое отклонение является случайной величиной, его значение непредсказуемо и подчиняется нормальному закону. Технологическое отклонение задержки, образующееся в процессе изготовления устройства, также случайно, однако его значение повторяется от периода к периоду и, следовательно, носит систематический характер.

Можно показать [1], что шумовое смещение импульса относительно идеальной позиции возрастает с порядковым номером отвода ЦЛЗ, достигая максимума на ее последнем отводе:

$$\left(\Delta T_N\right)_{\max} \cong 3\sigma_t \sqrt{N}\,.$$

Что касается технологических отклонений Δt_{Ti}, то, будучи компенсированными на последнем отводе ЦЛЗ, на промежуточных отводах они способны накапливаться. Дисперсия технологического отклонения задержки изменяется с номером m отвода ЦЛЗ по закону

$$\sigma_{tm}^2 = \frac{m\left(N-m)\right)}{N}\sigma_T^2,$$

достигая максимума в середине ЦЛЗ ($m = N/2$).

Локальная интерполяция призвана сократить шаг дискретизации времени, достигаемый непрерывной ФИ, путем получения колебания с фазой, средней между двумя опорными колебаниями. Процесс локальной ФИ можно представить взвешенным сложением двух опорных колебаний x и y с единичной амплитудой:

$$z(t) = ax(t) + (1-a)y(t),$$

где $a \in 0...1$ – управляющее воздействие. Положим для примера, что $x(t)$ и $y(t)$ – квадратурные гармонические колебания $\varphi_X = 0, \varphi_Y = \pi/2$. Тогда

$$Z_m = \sqrt{1-2a\left(1-a\right)},$$

$$\varphi_Z = \operatorname{arctg}\frac{Y_m}{X_m} = \operatorname{arctg}\left(\frac{1-a}{a}\right). \qquad (6)$$

Элемент локальной ФИ подобен фазовому модулятору, который при изменении воздействия “a” от 0 до 1 меняет фазу выходного колебания в пределах от 0 до $\pi/2$. При $a = 1/2$ фаза результирующего колебания z будет $\varphi_Z = \pi/4$. Получить интерполирующий сигнал можно и путем сложения негармонических колебаний. Диаграммы, показанные на рис. 6, иллюстрируют процесс сложения кусочно-линейных колебаний $x(t)$ и $y(t)$, в результате которого получается кусочно-линейное колебание $z(t)$. Фаза $z(t)$ определяется управляющим воздействием a:

$$\varphi_Z = \left(1-a\right)\pi/2\,.$$

Если опорные колебания имеют трапецеидальную форму с фронтами t_r, то путем сложения можно получить “среднюю” фазу только в случае, когда их

фронты хотя бы частично перекрываются во времени. В противном случае ($|\varphi_X - \varphi_Y| > \omega t_r$) момент пересечения нуля выходным сигналом оказывается неопределенным. Диапазон регулирования позиции результирующего колебания здесь ограничен длительностями фронтов опорных сигналов.

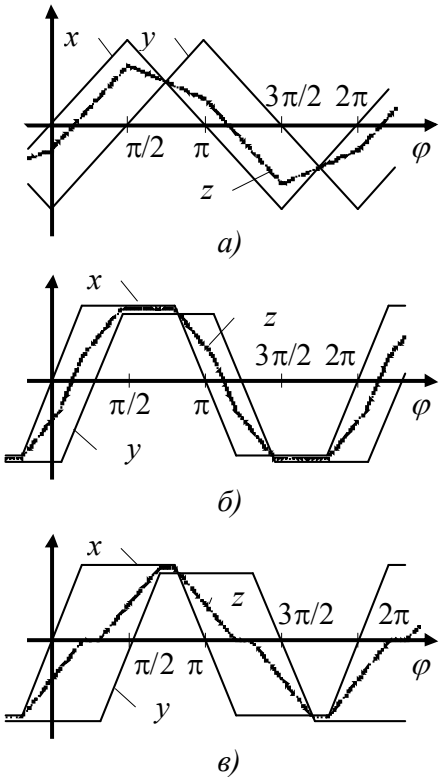


Рис. 6. Сложение опорных колебаний формы: а – треугольной, б – трапецеидальной с перекрывающимися фронтами, в – трапецеидальной с неперекрывающимися фронтами

Технически сложение колебаний можно выполнить разными способами, суммируя либо напряжения, либо токи опорных источников. В КМОП базисе это достигается простым объединением выходов, поскольку такое объединение, в отличие от биполярных аналогов, не вызывает опасных сквозных токов. Схема элемента ФИ с управляемой осью интерполяции, показанная на рис. 7, включает пару ЭЗ (рис. 2) с общим сопряженным управлением напряжением U_y и его инверсией $-U_y$, отсчитываемыми от уровня опорного напряжения U_{ref}. Для того чтобы интерполирующий сигнал *Z* располагался между опорными колебаниями *X* и *Y*, последние также задерживаются своими ЭЗ, настроенными на среднюю задержку (в схеме не показаны). Результаты моделирования схемы в среде *LTSpice* свидетельствуют о значительном диапазоне регулирования оси интерполяции.

В ряде применений предпочтительными оказываются неинвертирующие дифференциальные элементы ФИ, которые хотя и не обладают пол-

ным размахом напряжения, характеризуются лучшей помехоустойчивостью. Каскадирование элементов ФИ позволяет сократить шаг дискретизации времени до значений, ограничиваемых лишь шумовыми факторами.

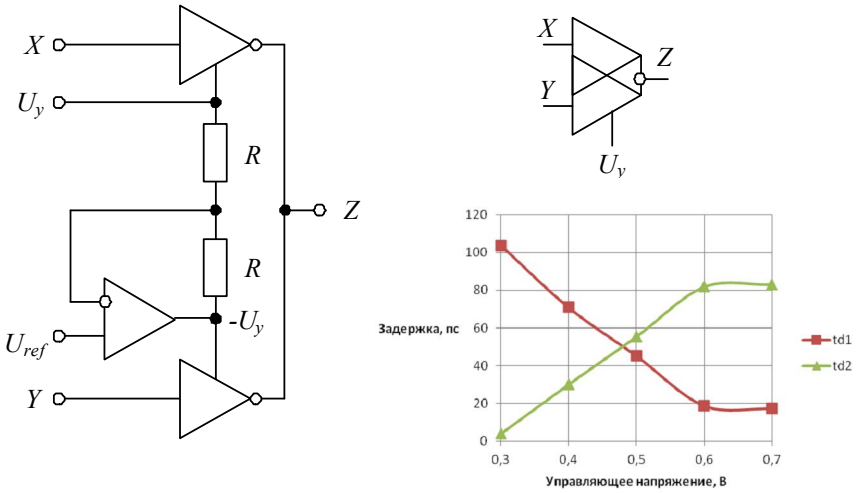


Рис. 7. Схема КМОП элемента ФИ, его условное обозначение и регулировочная характеристика

Применение локальной ФИ обеспечивает сокращение кванта времени до субвентильных значений, что позволяет существенно повысить точность преобразователей информации и устройств синхронизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чулков В.А. Интерполирующие устройства синхронизации и преобразователи информации. – М. : Физматлит, 2010. – 324 с.

2. Бутаев М.М., Чулков В.А. Управляемые КМОП элементы задержки для интерполирующих преобразователей информации // Вопросы радиоэлектроники. – 2010, вып. 5. – С. 130 – 140. – (ЭВТ).

3. Gardner F.M. Charge-Pump Phase-Locked Loops. – IEEE Transactions on Communications. November 1980, Vol. COM-28, No. 11, p.1849 - 1858.

4. Чулков В.А. Частотно-фазовый компаратор. Авт. свид. СССР 983978, МКИ H03D 13/00.

5. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника : Справочное руководство. – М. : Мир, 1982.

УДК 681.302
ББК 34

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ВЕЛИЧИН

© ***В.П. Маланин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***Г.Н. Косоротов***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

MATHEMATICAL AND PHYSICAL SIMULATION AT A CONSTRUCTION OF MEASURING CIRCUITS OF PARAMETRICAL TRANSMITTERS WITH USE OF ACTIVE COMPLEX MAGNITUDES

© ***V.P. Malanin,*** *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***G.N. Kosorotov,*** *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Рассмотрены вопросы математического и физического моделирования измерительных цепей параметрических датчиков с использованием активных комплексных величин, характеризующих параметры эквивалентной схемы замещения датчика.

Ключевые слова: моделирование, измерительная цепь, датчик, активные комплексные величины, эквивалентная схема замещения.

Questions of mathematical and physical modeling of sensors metering circuits with active complex quantities, which characterizes sensors equivalent circuit parameters, are considered.

Key words: modeling, metering circuits, sensor, active complex quantities, equivalent circuit.

E-mail: zvv@pgta.ru

При построении измерительных цепей параметрические датчики физических величин могут быть представлены математическими моделями в виде функциональной зависимости их иммитанса W от входной измеряемой величины X и различных воздействующих на датчик дестабилизирующих факторов, таких как температура, изменение напряжения питания, вибрации, влажность, изменение магнитного поля Земли и т.д.

Электрическая эквивалентная схема замещения (СЗ) параметрического датчика в большинстве случаев представляется в виде пассивных линейных параллельно-последовательных двухполюсных электрических цепей с сосредоточенными параметрами, где каждый параметр элемента отражает его взаимосвязь с входной измеряемой величиной X или дестабилизирующими факторами. Сюда относятся находящие самое широкое практическое применение лестничные двухполюсники или многоэлементные двухполюсники (МД) лестничного типа, представляющие собой конечное число соединенных определенным образом различных пассивных линейных двухполюсных элементов, а именно: резисторов, конденсаторов, катушек ин-

дуктивности или эквивалентных активных сопротивлений (проводимостей), емкостей и индуктивностей в схемах замещения [1]. В пределах этого класса МД рассматриваются только такие двухполюсники, которые при известной структуре соединения элементов удовлетворяют условиям однозначного определения их параметров [2]. Выбор принципов построения измерительных цепей и различных преобразователей параметров элементов эквивалентной схемы замещения датчика имеет решающее значение для обеспечения эффективности преобразования входной, измеряемой с помощью датчика величины [2].

Принципы построения преобразователей с использованием настраиваемых моделей (НМ) базируются на решении задачи идентификации объекта измерения, в данном случае МД, в узком смысле, когда априорная информация об объекте достаточно велика: известны вид МД, характер элементов и возможные значения параметров МД. Задача идентификации состоит в том, чтобы определить значение параметров исследуемого двухполюсника, поставив в соответствие оператору измерительной цепи с исследуемым двухполюсником $\Phi_0(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \ldots, \Pi_n)$ некоторый оператор настраиваемой модели $\Phi_M\left(K_1, K_2, ..., K_n\right)$: $\Phi_0(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \ldots, \Pi_n) = \Phi_м(К_1, К_2, К_3, \ldots, К_n)$, где $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \ldots, \Pi_n$ – параметры МД, а $К_1, К_2, К_3, \ldots, К_n$ – регулируемые коэффициенты настраиваемой модели.

В зависимости от способа организации оператора Φ_M различают математическое моделирование, или аналитические методы построения НМ, и методы физического моделирования. Аналитические методы обеспечивают возможность определения параметров довольно сложных двухполюсников, но требуют относительно большой сложности вычислительных процедур, больших аппаратных затрат и высокой точности преобразования параметров иммитанса в активные величины с использованием аналоговой измерительной цепи и последующего аналого-цифрового преобразования.

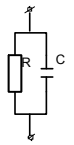
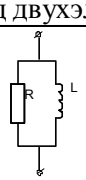
К недостаткам аналитических методов следует отнести их малую универсальность: уже некоторые изменения вида МД вызывают сложные перестройки вычислительной процедуры. Важным преимуществом метода физического моделирования является сравнительная простота его аппаратной реализации и универсальность. В общем случае электрическую модель двухполюсного объекта измерения можно представить иммитансом W, который является функцией параметров всех его элементов и при питании двухполюсника синусоидальным переменным током с угловой частотой ω определяется как отношение комплексных активных величин (тока и напряжения), являющихся его обобщенными характеристиками: $\dot{W} = \dot{A}_i / \dot{A}_j$, где $\dot{A}_i = \dot{U}_0$ – напряжение, приложенное к двухполюснику;

$\dot{A}_i = \dot{I}_0$ – ток, протекающий через двухполюсник – для комплексного сопротивления Z и $\dot{A}_i = \dot{I}_0$, $\dot{A}_i = \dot{U}_0$ – для комплексной проводимости Y.

Составляющие иммитанса, структурно представленного в виде МД: сопротивление резистора, емкость конденсатора, индуктивность катушки или эквивалентное сопротивление (проводимость), емкость и индуктивность в СЗ – называются основными параметрами или параметрами элементов (*R*, *L*, *C* – параметры). Кроме основных параметров, существуют также производные параметры, характеризующие не отдельные элементы, а параллельное или последовательное соединения двух элементов в двухполюснике. Это тангенс угла потерь $\mathrm{tg}\delta$, добротность Q и постоянная времени τ. При питании МД синусоидальным переменным током каждый его параметр можно рассматривать как функцию активных величин (АВ), характеризующих отдельный элемент.

В табл. 1 для параметров двухэлементных RC- и RL-соединений приведены соответствующие выражения.

Таблица 1

Параметры	Вид двухэлементного соединения			
				
R	$R = U_0 / I_R$		$R = U_R / I_0$	
G	$G = I_R / U_0$		$G = I_0 / U_R$	
C	$C = I_C / \omega U_0$	–	$C = I_0 / \omega U_C$	–
L	–	$L = U_0 / \omega I_L$	–	$L = U_L / \omega I_0$
τ	$RC = I_C / \omega I_R$	$L/R = I_R / \omega I_L$	$RC = U_R / \omega U_C$	$L/R = U_L / \omega U_R$
$\mathrm{tg}\delta$	$1/\omega RC = I_R / I_C$	$\omega L/R = I_R / I_L$	$\omega RC = U_R / U_C$	$R/\omega L = U_R / U_L$
Q	$\omega RC = I_C / I_R$	$R/\omega L = I_L / I_R$	$1/\omega RC = U_C / U_R$	$\omega L/R = U_L / U_R$

На основании законов Кирхгофа для двухэлементных RC- или RL-соединений можно записать:

$$\dot{A}_{10} = \dot{A}_{1R} + \dot{A}_{1C(L)},$$

$$\dot{A}_{20} = \dot{A}_{2R} + \dot{A}_{2C(L)},$$

где для последовательного соединения $\dot{A}_{10} = \dot{I}_0$, $\dot{A}_{1R} = \dot{I}_R$, $\dot{A}_{1C(L)} = \dot{I}_{C(L)}$ – токи, протекающие соответственно через соединение, активный и реактивный элементы, а $\dot{A}_{20} = \dot{U}_0$, $\dot{A}_{2R} = \dot{U}_R$, $\dot{A}_{2C(L)} = \dot{U}_{c(L)}$ – напряжения, приложенные соответственно к соединению, активному и реактивному элементам и для параллельного соединения – $\dot{A}_{10} = \dot{U}_0$, $\dot{A}_{1R} = \dot{U}_R$, $\dot{A}_{1C(L)} = \dot{U}_{C(L)}$, $\dot{A}_{20} = \dot{I}_0$, $\dot{A}_{2R} = \dot{I}_R$, $\dot{A}_{2C(L)} = \dot{I}_{C(L)}$.

При параллельном соединении элементов общей для них АВ является напряжение $\dot{U}_0$, а при последовательном – ток $\dot{I}_0$. Для раздельного измерения параметров двухэлементного параллельного соединения элементов необходимо выделить из тока $\dot{I}_0$ активную $\dot{I}_R$ и реактивную $\dot{I}_{C(L)}$ составляющие и при известных $\dot{U}_0$ и ω по этим составляющим определить значения измеряемых параметров. Для последовательного соединения справедлив аналогичный подход к определению параметров путем выделения напряжений $\dot{U}_R$ и $\dot{U}_{C(L)}$.

Математически выделение соответствующих АВ при методе прямого преобразования заключается в отыскании проекций вектора $\dot{A}_{20}$ на векторы селекции $\dot{A}_R^C$ и $\dot{A}_{C(L)}^C$ соответственно параметров R и $C(L)$. При методе НМ или методе уравновешивания выделение соответствующих АВ заключается в отыскании векторов $\dot{A}_R^K$ и $\dot{A}_{C(L)}^K$, компенсирующих вектор $\dot{A}_{20}$ и равных при выполнении необходимых критериев уравновешивания соответственно векторам $\dot{A}_{2R}$ и $\dot{A}_{2C(L)}$. Для двухэлементных двухполюсников известен вектор $\dot{A}_{10}$ и известны определяющиеся характером элементов аргументы векторов $\dot{A}_R^C$ и $\dot{A}_{C(L)}^C$ или $\dot{A}_R^K$ и $\dot{A}_{C(L)}^K$ относительно вектора $\dot{A}_{10}$, принятого за базисный. При преобразовании параметров двухэлементных двухполюсников можно сравнительно просто получить АВ числителя отношений таблицы, прямопропорциональную соответствующему параметру, стабилизируя амплитуду АВ знаменателя $\dot{A}_{10}$ при использовании источников напряжения или тока.

Своеобразие и специфика проблемы преобразования и измерения параметров МД при синусоидальном сигнале энергетического воздействия определяется тем, что АВ, характеризующие каждый элемент, в общем виде являются функциями параметров всех элементов и при их изменении не остаются постоянными. Это приводит к необходимости определять параметры МД с помощью логометрических преобразований АВ элементов, получаемых различными способами. При определении таким образом параметров L, C – элементов и постоянной времени, получить частотонезависимый выходной сигнал можно интегрированием или дифференцированием соответствующей АВ соотношений таблицы. На рисунке показаны структуры преобразования сигналов для определения параметров двухэлементных RL- и RC-соединений, соответственно. Результатом комплексного функционального преобразования $\dot{\Phi}_П$ иммитанса W в общем виде МД с участием АВ источника энергетического воздействия $\dot{A}_0^0$ являются активные величины $\dot{A}_1$, $\dot{A}_2$ и $\dot{A}_3$, пропорциональные соответственно АВ эле-

ментов двухэлементного соединения $\dot{A}_{C(L)}$, $\dot{A}_R$ и $\dot{A}_0$. Полученные АВ подвергают логометрическому преобразованию вида:

$$L_Л(\dot{A}_i, \dot{A}_j) = K_Л \left|\dot{A}_i\right| / \left|\dot{A}_j\right|,$$

где $L_Л$ – оператор логометрического преобразования и $K_Л$ – коэффициент логометрического преобразования.

В результате логометрического преобразования $L_Л$ АВ получают выходные сигналы, пропорциональные в соответствии с таблицей параметрам двухполюсника. Операции дифференцирования или интегрирования АВ для получения частотонезависимых выходных сигналов осуществляются введением в структурную схему ребер с коэффициентами передачи $K_Ч = K_Д\omega = K_{CTL}\omega$ и $K_Ч = K_H / \omega = K_{CTL} / \omega$, соответственно.

Получив в результате преобразования $\dot{\Phi}_П$ АВ, характеризующие каждый элемент, и используя затем логометрические преобразования полученных АВ, можно определить в соответствии с таблицей любой параметр СЗ, что существенно упростит последующий синтез структур измерительных цепей и преобразователей информативных параметров эквивалентных схем замещения параметрических датчиков.

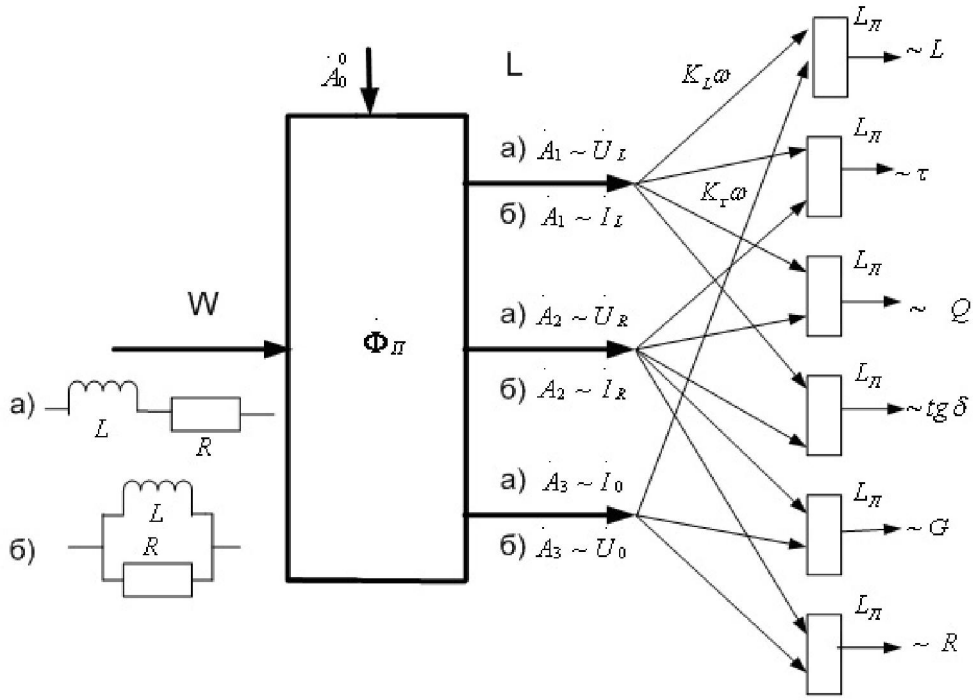


Рис. 1. Определение параметров СЗ через элементы RL

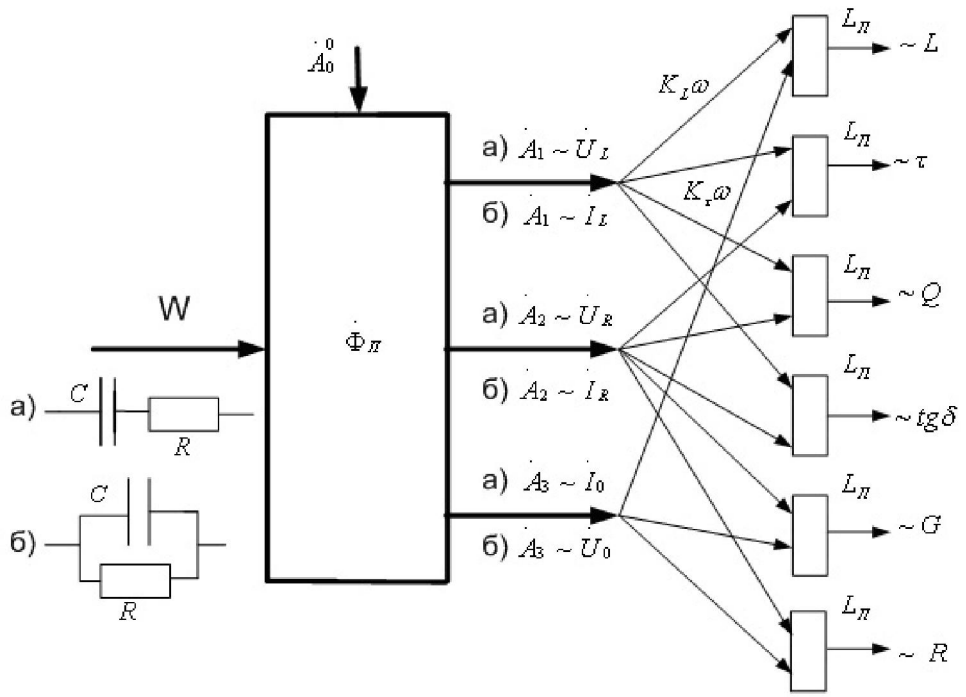


Рис. 2. Определение параметров СЗ через элементы RC

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белецкий А.Ф. Основы теории линейных электрических цепей. – М. : Связь, 1967. – 608 с. : илл.

2. Кнеллер В.Ю., Боровских Л.П. Определение параметров многоэлементных двухполюсников. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 144 с. : илл.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 681.3
ББК 30

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЦЕН В ПЕРЦЕПТИВНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

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

© ***Ю.Н. Косников***, *Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

REPRESENTATION OF SPATIAL SCENES IN PERCEPTIVE PERSPECTIVE BY MEANS OF COMPUTER GRAPHICS

© ***A.V. Kadomtsev***, *Penza State University (Penza, Russia)*

© ***Y.N. Kosnikov***, *Penza State University (Penza, Russia)*

Статья посвящена проблеме повышения реалистичности изображений, синтезируемых средствами компьютерной графики. Решение этой проблемы достигается за счёт изменения закона проецирования пространственной сцены.

Ключевые слова: перспектива, восприятие, компьютерная графика.

This article is devoted to a problem of realness' advancement of the images synthesized by means of computer graphics. The solution of this problem is reached at the expense of the projection law changing.

Key words: perspective, perception, computer graphics.

E-mail: kosnikov@gmail.com

Постановка задачи. При решении многих практических задач визуальная информация должна представляться наблюдателю в реалистическом виде. Одним из компонентов реалистичности является отображение пространственных объектов в перспективе. Для получения реалистических образов пространственных объектов в программных приложениях используют средства компьютерной графики. Они формируют изображение по закону линейной перспективы. Суть закона в том, что точки пространственной сцены находят свое место на картинной (экранной) плоскости как результат пересечения с ней прямых линий – проекторов, соединяющих точки сцены с центром проецирования. Этот закон применялся художниками ещё в эпоху Возрождения, поэтому другое название линейной перспективы – ренессансная.

Линейная перспектива верно отражает работу глаза и используется практически во всех графических системах. Однако в середине двадцатого века по-

явились работы, утверждающие, что в процессе формирования образов трёхмерных объектов у человека наряду со зрительным аппаратом участвует головной мозг [1 – 3]. Благодаря преобразующей деятельности мозга воспринимаемый человеком образ не вполне соответствует законам оптики. Линейное проецирование графических систем не учитывает деятельности мозга, из-за чего изображение объекта, сформированное средствами компьютерной графики, отличается от зрительного восприятия этого объекта в реальности. Отличия тем больше, чем ближе к наблюдателю находится объект. В целом ряде случаев такие отличия являются не только нежелательными, но и опасными.

В архитектурно-строительной отрасли компьютерное представление объекта средствами графики САПР по закону линейной перспективы не будет соответствовать реальному, из-за чего спроектированный комплекс может производить не запланированное, а несколько иное впечатление. Существует пилотируемая техника с контролем визуальной обстановки по экрану [4]. В ней используются электронные карты трёхмерной местности и линейная перспектива. Если пилот вертолёта летит по ущелью в тумане, пользуясь такой индикацией, то он может неверно оценивать окружающую обстановку. В транспортных тренажёрах вместо стекол переднего и бокового вида могут использоваться экраны компьютерных мониторов. В процедурных и комплексных авиационных тренажёрах изображения на экранах проекционных устройств визуализации и мониторов формируются компьютерными генераторами изображений [5]. В этих устройствах изображения формируются компьютерными средствами в линейной перспективе, что приводит к пониженной реалистичности восприятия окружающих объектов. Актуальность проблемы возрастает с развитием трёхмерного моделирования.

Системы перспективы, которые учитывают преобразующую деятельность головного мозга человека, получили название перцептивных (от латинского *perceptio* – представление, восприятие). Ниже представлен рис. 1, который позволяет сравнить перцептивную перспективу с ренессансной.

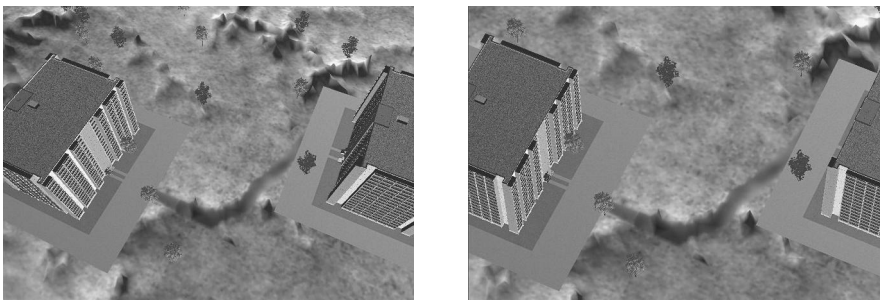


Рис. 1. Изображения в ренессансной (слева) и в перцептивной (справа) системах перспективы

Возникает задача представления пространственных объектов в перцептивной перспективе теми средствами, которые традиционно имеются в распоряжении разработчика графических систем.

Математическая модель перцептивной перспективы. В работе [2] отмечено, что над проекциями предметов на сетчатку глаза выполняются операции, подобные обратным проективным преобразованиям. На этом суждении основана модель перспективного проецирования, описанная в работе [6]. Данная модель имеет простую геометрическую интерпретацию, изображённую на рис. 2.

На картинную плоскость проецируется наблюдаемая из точки O пространственная сцена. Картинная плоскость перпендикулярна направлению взора. Расстояние от точки наблюдения до картинной плоскости равно d_{near}. Система координат располагается так, что наблюдение ведётся из её начала вдоль оси глубины (оси аппликат).

Некоторая точка A пространственной сцены отображается в точку A' на картинной плоскости по правилам ренессансной перспективы, а в точку A'_P – по правилам перцептивной перспективы.

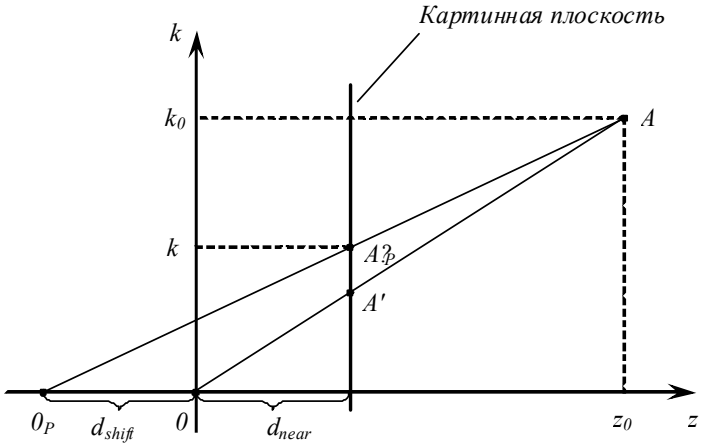


Рис. 2. Геометрическая интерпретация получения перцептивной проекции

При этом в обоих случаях имеет место центральное проецирование, но при построении изображения в классической перспективе центр проекции совпадает с точкой наблюдения O, а при построении изображения в перцептивной перспективе он смещается против направления взора на некоторую величину d_{shift} в точку O_P. На рис. 2 ось Ok – это либо ось абсцисс, либо ось ординат. Если точка A имеет координаты $k = k_0$ и $z = z_0$, то координата k точки A'_P вычисляется по выражению

$$k = k_0 \frac{d_{near} + d_{shift}}{z_0 + d_{shift}}. \qquad (1)$$

Если представить (1) в виде

$$k = k_0 f_p\left(z_0\right), \qquad (2)$$

где f_p – функция перспективного проецирования, то для получения изображения в перцептивной перспективе

$$f_p(z) = \frac{d_{near} + d_{shift}}{z + d_{shift}}. \quad (3)$$

Данная модель перспективного проецирования проста, но для того чтобы её использовать, нужно знать величину смещения центра проекции d_{shift}. Для ее нахождения использован следующий подход. Пусть существует эталонная функция перспективного проецирования, позволяющая получать изображения в перцептивной перспективе. Чтобы использовать стандартные средства графической системы, данная функция аппроксимируется функцией перспективного проецирования (3). Аппроксимация одной функциональной зависимости другой предполагает нахождение одного или нескольких параметров аппроксимирующей функциональной зависимости. В ходе сопоставления эталонной функции перспективного проецирования с аппроксимирующей функцией (3) для последней вычисляется параметр d_{shift}.

В качестве эталонной выбрана функция перспективного проецирования, полученная академиком Б.В. Раушенбахом для построения изображений в перцептивной перспективе класса [1] по его собственной классификации. Такой выбор сделан потому, что данная функция основана на большом объёме экспериментальных данных и верно отражает восприятие человеком объектов реального мира. Подробное описание функции есть в [2], здесь лишь следует отметить, что она может быть использована при расчёте координаты проекции точки по формуле (2), а её параметры различны при построении изображений открытых пространств и интерьеров.

Пусть d_{far} – расстояние до самой глубокой точки пространственной сцены, и при изменении аргумента эталонной функции перспективного проецирования в диапазоне от d_{near} до d_{far} с определённым шагом составляется последовательность отсчётов её значений. Тогда аппроксимация такой последовательности функцией (3) позволяет найти величину смещения центра проекции d_{shift}, но данная величина будет каждый раз изменяться при выборе новых значений d_{near} и d_{far}. В процессе нахождения величины d_{shift} при разных значениях d_{near} и d_{far} было замечено, что данные величины связаны функциональной зависимостью. Для её описания удобно ввести два новых понятия: относительной величины и глубины сцены. Под относительной величиной ниже понимается отношение абсолютного значения некоторой величины к расстоянию до картинной плоскости d_{near}, при этом относительные величины обозначаются так же, как и соответствующие им абсолютные величины, но с чертой наверху. Таким образом, относительное смещение проектора находится по формуле

$$\bar{d}_{shift} = \frac{d_{shift}}{d_{near}}. \quad (4)$$

Глубиной сцены называется расстояние от самой глубокой её точки до картинной плоскости. Относительная глубина сцены

$$\bar{d}_{depth} = \frac{d_{far} - d_{near}}{d_{near}}. \quad (5)$$

Итак, между величинами $\overline{d}_{shift}$ и $\overline{d}_{depth}$ существует функциональная зависимость. Для её нахождения составлена последовательность значений $\overline{d}_{shift}$ при изменении $\overline{d}_{depth}$ в пределах от 1 до 100. Такой диапазон выбран потому, что в нём происходит существенное изменение величины $\overline{d}_{shift}$. Полученная последовательность значений $\overline{d}_{shift}$ аппроксимирована функциональной зависимостью вида

$$\overline{d}_{shift} = k_2\left(\overline{d}_{depth}\right)^{-2} + k_1\left(\overline{d}_{depth}\right)^{-1} + k_0 \ , \tag{6}$$

т.е. найдены её коэффициенты k_0, k_1 и k_2. Для открытых пространств $k_0 = 2{,}938$, $k_1 = 4{,}930$, $k_2 = -2{,}970$. Для интерьеров $k_0 = 2{,}966$, $k_1 = 4{,}354$ и $k_2 = 6{,}716$.

Относительная погрешность аппроксимации эталонной функции, как и $\overline{d}_{shift}$, зависит от относительной глубины сцены $\overline{d}_{depth}$ и изменяется в пределах от 1,04 до 16,71 % при изменении $\overline{d}_{depth}$ от 1 до 100. Но при тех же условиях функция перспективного проецирования, используемая при построении ренессансной перспективы, даёт погрешность от 41,28 до 74,53 % по отношению к эталонной функции.

Теперь есть полная информация о том, как использовать функцию (3) при построении перцептивной перспективы. Этой функции, в отличие от функции Б.В. Раушенбаха, можно поставить в соответствие традиционно используемое в современных графических системах перспективное преобразование в матричной форме.

Матричное представление перспективного преобразования. Следует отметить, что в современных графических системах производится только параллельное проецирование, а изображение в перспективе получается благодаря предварительному преобразованию (“предыскажению”) исходной сцены. Такое преобразование называется перспективным. Преобразования, выполняемые графическим конвейером, подробно описаны в [7], а в рамках этой статьи существенно следующее.

Перспективное преобразование задаётся с помощью квадратной матрицы четвёртого порядка, которая перемножается с исходным вектором однородных координат преобразуемой точки:

$$M_P \cdot \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} wx \\ wy \\ wz \\ w \end{pmatrix}, \tag{7}$$

где M_P – матрица перспективного преобразования, а w – скалярный множитель. После указанного перемножения выполняется так называемое перспективное деление результирующего вектора на скалярный множитель. Такой подход позволяет выполнять более широкий класс преобразований, чем аффинные. Описанной выше модели перцептивного проецирования соответствует перспективное преобразование с матрицей

$$M_P = \begin{pmatrix} d_{near} + d_{shift} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & d_{near} + d_{shift} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_{shift} \end{pmatrix}. \qquad (8)$$

Третья строка матрицы (8) состоит из нулей. Это означает, что преобразование с данной матрицей переносит точки пространства на плоскость $z = 0$. Однако данный вариант перспективного преобразования является простейшим. В реальных графических системах оно, как правило, сопровождается так называемым приведением отображаемого объёма к каноническому виду. В результате выполнения этой процедуры матрица (8) примет вид

$$M_P = \begin{pmatrix} \frac{2\left(d_{near} + d_{shift}\right)}{x_{right} - x_{left}} & 0 & -\frac{x_{left} + x_{right}}{x_{right} - x_{left}} & -\frac{x_{left} + x_{right}}{x_{right} - x_{left}} \cdot d_{shift} \\ 0 & \frac{2\left(d_{near} + d_{shift}\right)}{y_{top} - y_{bottom}} & -\frac{y_{bottom} + y_{top}}{y_{top} - y_{bottom}} & -\frac{y_{bottom} + y_{top}}{y_{top} - y_{bottom}} \cdot d_{shift} \\ 0 & 0 & \frac{d_{near} + d_{far} + 2d_{shift}}{d_{far} - d_{near}} & -\frac{2d_{near} d_{far} + d_{shift}\left(d_{near} + d_{far}\right)}{d_{far} - d_{near}} \\ 0 & 0 & 1 & d_{shift} \end{pmatrix}, \qquad (9)$$

где x_{left} и x_{right} – абсциссы пересечения левой и правой плоскостей отсечения с ближней плоскостью отсечения, y_{bottom} и y_{top} – ординаты пересечения нижней и верхней плоскостей отсечения с ближней плоскостью отсечения. Матрица (9) обобщает ту матрицу перспективного преобразования, которая используется в стандартных графических системах для получения изображения в классической перспективе и вырождается в неё при $d_{shift} = 0$.

В графических системах с правой системой координат глубина часто измеряется в отрицательных единицах. Это сделано для удобства: если в отображаемом объёме направить ось абсцисс слева направо, а ось ординат снизу вверх (при взгляде из точки наблюдения), то при использовании правой системы координат ось аппликат, по которой откладывается глубина, будет направлена на наблюдателя. Для таких графических систем матрица перспективного преобразования примет вид

$$M_P = \begin{pmatrix} \frac{2\left(d_{near} + d_{shift}\right)}{x_{right} - x_{left}} & 0 & \frac{x_{left} + x_{right}}{x_{right} - x_{left}} & -\frac{x_{left} + x_{right}}{x_{right} - x_{left}} \cdot d_{shift} \\ 0 & \frac{2\left(d_{near} + d_{shift}\right)}{y_{top} - y_{bottom}} & \frac{y_{bottom} + y_{top}}{y_{top} - y_{bottom}} & -\frac{y_{bottom} + y_{top}}{y_{top} - y_{bottom}} \cdot d_{shift} \\ 0 & 0 & -\frac{d_{near} + d_{far} + 2d_{shift}}{d_{far} - d_{near}} & -\frac{2d_{near} d_{far} + d_{shift}\left(d_{near} + d_{far}\right)}{d_{far} - d_{near}} \\ 0 & 0 & -1 & d_{shift} \end{pmatrix}. \qquad (10)$$

Это преобразование эквивалентно преобразованию (9) с предварительным зеркальным отражением пространства относительно оси глубины.

Подводя итог, можно предложить алгоритм построения изображений в перцептивной перспективе средствами фиксированного графического конвейера. Следуя этому алгоритму, сначала надо вычислить относительную глубину сцены $\overline{d}_{depth}$ по формуле (5), а потом – относительное смещение центра проекции $\overline{d}_{shift}$ по формуле (6). Чтобы получить абсолютное значение смещения центра проекции d_{shift}, надо умножить его относительное значение $\overline{d}_{shift}$ на расстояние до картинной плоскости d_{near}. Пользуясь значением d_{shift}, остаётся вычислить матрицу перспективного преобразования по формуле (9) или (10) (в зависимости от ориентации оси глубины) и использовать эту матрицу в графическом конвейере.

Из-за погрешности аппроксимации эталонной функции перспективного проецирования изображения, полученные с помощью данного алгоритма, несколько отличаются от эталонных изображений в перцептивной перспективе по Б.В. Раушенбаху. Визуально оценить отличие позволяет рис. 3.

Рис. 3. Наложение изображений в перцептивной перспективе по Б.В. Раушенбаху на изображения в перцептивной перспективе, полученные средствами графического конвейера

Рисунок показывает, что предложенный алгоритм обеспечивает достаточное для практического использования приближение полученной перспективы к перцептивной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фёдоров М.В. Рисунок и перспектива. – М. : Искусство, 1960. – 199 с.

2. Раушенбах Б.В. Системы перспективы в изобразительном искусстве. –М. : Наука, 1986. – 254 с.

3. Зенкин Г.М. О механизмах константности зрительного восприятия пространства / Г.М. Зенкин, А.П. Петров // Сенсорные системы. – Л. : Наука, 1979. – С. 25 – 39.

4. Букреев А.С. Трёхмерная визуализация в системах искусственного видения для пилотов малой авиации. / А.С. Букреев, П.А. Васёв, Я.Д. Кузнецов, [и др.] // Трёхмерная визуализация научной, технической и социальной

реальности. Технологии высокополигонального моделирования : Труды Второй международной конференции. – 2010. – Том 1. – С. 54 – 58.

5. Авиационный тренажёр // Сайт "Википедия Ї свободная энциклопедия". – URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/

6. Ковалёв А.М. Оценка искажений предметов при отображении перцептивного пространства на картинную плоскость // Автометрия. – 2004. – № 6. – С. 87 – 100.

7. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. – СПб. : Питер, 2004. – 1088 с.

УДК 681.3
ББК 32.973

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ В-СПЛАЙНОВ

© ***В.С. Власов**, Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

COMPOSITE SURFACE MODELING WITH B-SPLINE

© ***V.S. Vlasov**, Penza state university (Penza, Russia)*

В статье предлагается методика построения гладких однозначных поверхностей с помощью В-сплайнов, точно проходящих через заданные точки. Используются составные поверхности. Возможна доводка результирующей поверхности оператором в интерактивном режиме.

Ключевые слова: В-сплайн, составная поверхность, геометрическое моделирование, отображение.

This article represents methodology of creation smooth composite single-valued surface with B-spline. Surface passes exact throw specified points. Result surface can be corrected by user in interactive mode.

Key words: B-spline, composite surface, geometric modeling, displaying.

E-mail: falconvvs@mail.ru

Постановка задачи

Исходной информацией при проектировании трехмерных объектов во многих случаях является набор характерных точек, принадлежащих поверхности объектов. Эти точки получаются в результате замеров, применения специальных технических средств, например 3D-сканеров, или задаются разработчиком. При любом способе получения данных возникает задача построения геометрической модели объекта по заданному набору точек. Такую задачу приходится решать в процессе проектирования ландшафтов, прокладки коммуникаций, создания трехмерных интерфейсов информационных систем, разработке формы изделий различного назначения. Полиго-

нальная интерполяция непосредственно по заданным точкам, чаще всего, приводит к поверхности низкого качества или к нереалистичной поверхности из-за большого шага расположения точек. Для создания гладкой поверхности необходимо построение ее аналитической модели.

Существуют различные способы построения поверхности, проходящей через заданные точки. Часть из них дает сильную осцилляцию, другие требуют больших вычислительных ресурсов, третьи обеспечивают прохождения поверхности через заданные точки с некоторой погрешностью, четвертые требуют специфических условий для их применения.

Использование при построении поверхности B-сплайнов позволяет достичь хорошей гладкости поверхности и обеспечить ее наглядную доводку оператором, что особенно актуально при редко расположенных исходных точках. Однако поверхность, получаемая с помощью аппроксимации B-сплайнами, в общем случае не проходит через заданные характерные точки. Существуют способы нахождения новых опорных точек, построение по которым B-сплайновой поверхности обеспечит ее прохождение через заданные точки. Предлагаются как способы, характеризующиеся некоторой погрешностью [3, 4], так и дающие точный результат [1, 2]. Но все они предполагают использование глобальной аппроксимации, то есть построения единой B-сплайн поверхности сразу по всем точкам. Интерактивная подгонка поверхности, включая коррекцию недостающих характерных точек, в таком случае становится невозможной. Изменение одной точки приводит к необходимости пересчета всей поверхности, что требует больших вычислительных затрат и не может выполняться в реальном времени. Значительно снизить требования к производительности можно при использовании кусочной аппроксимации с помощью B-сплайнов. Построение составной поверхности требует решения вопросов сопряжения отдельных ее участков. Препятствием для широкого использования такого подхода является отсутствие методики его применения.

Общие принципы построения поверхности

Для обеспечения гладкого прохождения B-сплайн поверхности через ***исходные точки*** необходимо найти новые ***опорные точки***, не совпадающие в общем случае с исходными. Построенная на новых опорных точках B-сплайн поверхность будет проходить через исходные точки.

Первоначально все исходные точки разбиваются на участки двух видов, которые назовем ***базовыми*** и ***сопрягающими***. Принципы определения количества точек, по которым строится каждый участок, рассмотрены в следующем разделе. После выполнения разбиения вычисляются поверхности для всех базовых участков с помощью какого-либо из алгоритмов подгонки B-сплайн поверхности. Один из них для полноты методики также рассмотрен в следующем разделе. После этого с помощью сопрягающих участков обеспечивается гладкое сопряжение базовых. Гладкое сопряжение получается в том случае, если некоторое количество ***конечных*** опорных точек предыдущего участка B-сплайн поверхности совпадает с ***начальными*** опорными точками следующего участка. Таким образом, на последнем этапе ме-

тодики находятся недостающие опорные точки сопрягающих участков. При этом некоторое количество крайних опорных точек базовых участков станет набором крайних опорных точек для сопрягающих участков.

Наглядно данный подход можно показать на примере плоской кривой. На рис. 1 кружками (0) помечены исходные точки, крестиками ($\times$) – найденные опорные точки для базовых участков, *B1*, *B2* обозначены крайние конечные опорные точки левого базового участка (по отношению к текущему сопрягающему участку), *B4*, *B5* – крайние начальные опорные точки правого базового участка, *D1* – исходная точка сопрягающего участка.

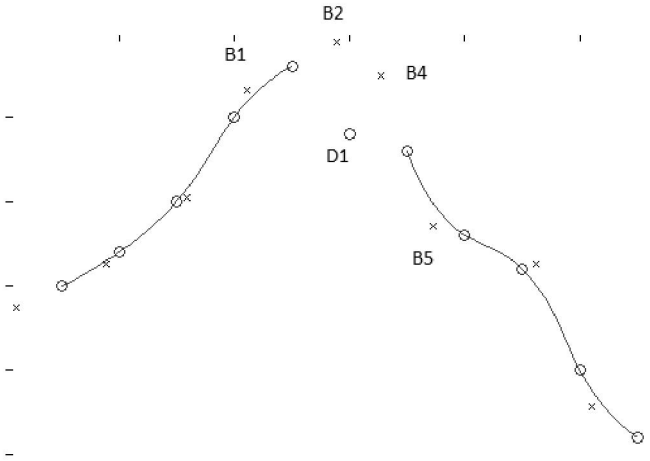


Рис. 1. Известные данные для сопряжения сплайновых кривых

В случае построения поверхности принцип разбиения точек и формирования участков аналогичен, но в этом случае они выполняются независимо сразу по двум координатам.

Алгоритмические и математические особенности построения аппроксимирующей B-сплайновой поверхности

Рассмотрим подробнее алгоритм, описанный выше в общем виде.

При построении B-сплайн поверхности степени k определяется количество опорных точек вдоль параметра u, равное n, и вдоль параметра v, равное m. Тогда B-сплайн поверхность в параметрическом виде будет определяться выражением

$$Q(u,v) = \sum_{i=1}^{n+1}\sum_{j=1}^{m+1} B_{i,j} \cdot N_{i,k}(u) \cdot M_{j,k}(v) \quad , \qquad (1)$$

где $N_{i,k}$ и $M_{j,k}$ – базисные функции, строящиеся на основе некоторого равномерного узлового вектора [1] для всех значений параметров u и ν, соответственно.

Количество опорных точек, необходимое для построения участка поверхности на основе B-сплайна вдоль каждого из параметров, равно количеству необходимых исходных точек и определяется выражением

$$m = n = (k-1)\cdot 2 + p\,, \qquad (2)$$

где p – количество дополнительных опорных точек вдоль каждого из параметров.

В соответствии с последним выражением (k-1) опорная точка вдоль параметра используется для сопряжения с соседними фрагментами вдоль того же параметра с каждой стороны сопрягающего участка, и еще требуется ***как минимум одна*** ($p \geq 1$) опорная точка для обеспечения сопряжения базовых участков. В-сплайн поверхность на всем протяжении должна строиться с постоянными n, m и k, то есть они должны быть одинаковыми как для базовых, так и для сопрягающих участков поверхности. Для этого после выбора n, m и k необходимо определить количество промежуточных точек p как

$$p_n = n - (k-1)\cdot 2 \quad \text{и} \quad p_m = m - (k-1)\cdot 2,$$

что следует из выражения (2).

Построение В-сплайн поверхности начинается с вычисления базовых участков с помощью использования алгоритма подгонки В-сплайнов [1], расширенного для использования трех координат. Для этого:

1) вычисляются значения параметров u и v для каждой исходной точки, например с помощью метода хордовой аппроксимации;

2) рассчитываются значения базисных функций N и M на основе параметров u и ν и равномерного узлового вектора с количеством узлов (n-1+k) и (m-1+k), соответственно;

3) находятся векторы, содержащие координаты получившихся опорных точек B_u и B_v вдоль направления параметров u и ν:

$$B_u = inv(N)\times D, \tag{3}$$

$$B_v = inv(M)\times D,$$

где D – массив исходных точек.

Здесь и далее предполагается, что матрицы B и D для поверхностей содержат для каждой точки 3 координаты.

Далее необходимо обеспечить гладкое соединение отдельных участков. Для этого рассчитываются сопрягающие участки. Их вычисление исходит из того, что значение функции В-сплайн поверхности в некоторой точке определяется выражением

$$\begin{aligned} D_i = {} & N_{1,k}(u_i)\cdot[M_{1,k}(v_i)\cdot B_1 + M_{2,k}(v_i)\cdot B_2 + \ldots + M_{n,k}(v_i)\cdot B_m] + \\ & + N_{2,k}(u_i)\cdot[M_{1,k}(v_i)\cdot B_1 + M_{2,k}(v_i)\cdot B_2 + \ldots + M_{n,k}(v_i)\cdot B_m] + \ldots + \\ & + N_{n,k}(u_i)\cdot[M_{1,k}(v_i)\cdot B_1 + M_{2,k}(v_i)\cdot B_2 + \ldots + M_{n,k}(v_i)\cdot B_m] \ . \end{aligned} \tag{4}$$

В данном случае D_i – некоторая исходная точка поверхности, которая имеет соответствующее значение параметров u_i и v_i и через которую должна пройти В-сплайн поверхность. Из предыдущих вычислений известны k начальных и k конечных опорных точек (B_u и B_v). Тогда найти любую промежуточную точку можно из выражения, полученного преобразованием (4):

$$
\begin{aligned}
&D_{i,j} - N_{1,k}(u_i)\cdot[M_{1,k}(v_j)\cdot B_{1,1} - M_{2,k}(v_j)\cdot B_{1,2} - \ldots - M_{k-1,k}(v_j)\cdot B_{1,k-1} - \\
&-M_{m-k+1,k}(v_i)\cdot B_{1,m-k+1} - \ldots - M_{m,k}(v_j)\cdot B_{1,m}] - N_{2,k}(u_i)\cdot[M_{1,k}(v_j)\cdot B_{2,1} - \\
&-M_{2,k}(v_j)\cdot B_{2,2} - \ldots - M_{k-1,k}(v_j)\cdot B_{2,k-1} - M_{m-k+1,k}(v_i)\cdot B_{2,m-k+1} - \ldots - M_{m,k}(v_j)\cdot B_{2,m}] - \ldots - \\
&-N_{k-1,k}(u_i)\cdot[M_{1,k}(v_j)\cdot B_{k-1,1} - M_{2,k}(v_j)\cdot B_{k-1,2} - \ldots - M_{k-1,k}(v_j)\cdot B_{k-1,k-1} - \\
&-M_{m-k+1,k}(v_i)\cdot B_{k-1,n-k+1} - \ldots - M_{m,k}(v_j)\cdot B_{k-1,n}] - \ldots - N_{n,k}(u_i)\cdot[M_{1,k}(v_j)\cdot B_{n,1} - \\
&-M_{2,k}(v_j)\cdot B_{n,2} - \ldots - M_{k-1,k}(v_j)\cdot B_{n,k-1} - M_{m-k+1,k}(v_i)\cdot B_{m,n-k+1} - \ldots - \\
&-M_{m,k}(v_j)\cdot B_{n,m}] = N_{k,k}(u_i)\cdot[M_{k,k}(v_j)\cdot B_{k,k} + M_{k+1,k}(v_j)\cdot B_{k,k+1} + \ldots + M_{m-k,k}(v_j)\cdot B_{k,n-k}] + \\
&+N_{k+1,k}(u_i)\cdot[M_{k,k}(v_j)\cdot B_{k+1,k} + M_{k+1,k}(v_j)\cdot B_{k+1,k+1} + \ldots + M_{m-k,k}(v_j)\cdot B_{k+1,m-k}] + \ldots + \\
&+N_{n-k,k}(u_i)\cdot[M_{k,k}(v_j)\cdot B_{n-k,k} + M_{k+1,k}(v_j)\cdot B_{n-k,k+1} + \ldots + M_{m-k,k}(v_j)\cdot B_{n-k,m-k}] \ .
\end{aligned}
\tag{5}
$$

В этом уравнении левая часть полностью известна, а в правой необходимо найти все опорные точки $B_{u,v}$. Для этого следует рассмотреть p уравнений вида (5). Получившуюся систему уравнений можно записать в матричном виде:

$$DB = NB \times B,$$

где DB – массив из p элементов, каждый из которых равен значению левой части уравнения (5);

NB – матрица базиса, вычисленная только для элементов B из правой части того же уравнения.

Для уменьшения количества вычислений матрица NB может быть получена из полной матрицы базиса удалением соответствующих строк и столбцов. Решение данной системы дает недостающие опорные точки сопрягающего участка поверхности.

Пример построенной по представленной методике сопряжения поверхности показан на рис. 2, он подтверждает работоспособность предлагаемой методики.

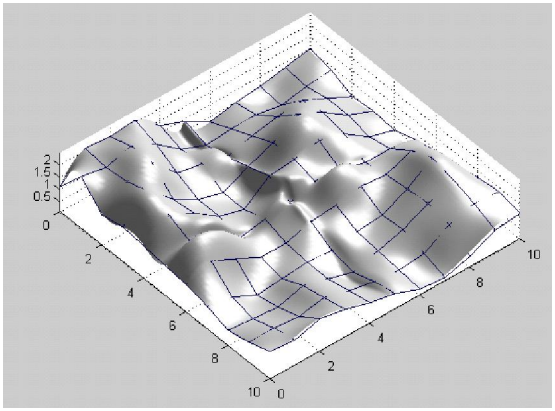


Рис. 2 – Пример B-сплайновой поверхности

Из рис. 2 видно, что приведенная методика решает задачу прохождения гладкой кривой заданной степени через указанные точки. Однако в местах сопряжения (в представленном примере – в середине по горизонтали и вертикали) видны складки, то есть гладкость не очень хорошая.

Коррекция аппроксимирующей поверхности

Как видно из рис. 2, не всегда обеспечивается “красивое” сопряжение, что выражается в возможности появления нежелательных всплесков и относительно резких перепадов высоты на сопрягающих участках. Здесь и далее следует учитывать, что поверхность в данной работе для большей наглядности строится по небольшому количеству точек при достаточно сильных их колебаниях, что ухудшает результирующую гладкость. Наличие всплесков связано с особенностями аппроксимации B-сплайнами, а именно, с приблизительной оценкой параметров u и ν при расчетах (например, по методу хорд). При обычном построении B-сплайна по исходным точкам каждой точке поверхности соответствуют свои значения параметров u и ν. Однако при нахождении новых опорных точек эти значения невозможно узнать: любое их допустимое значение позволит найти такие новые опорные точки, построение поверхности по которым даст именно заданное значение параметров и обеспечит прохождение поверхности через исходные точки. Этот вывод вполне естественен, так как интерполяция – это, в любом случае, приближение к поверхности, а не создание ее истинного образа.

Для решения этой проблемы возможна реализация подгонки результирующей поверхности оператором в диалоговом режиме. Такая коррекция позволит также убрать лишние всплески. Использование составной поверхности, в отличие от глобальной аппроксимации, позволяет производить ее доводку в интерактивном режиме. Так, изменение точно не известных характерных точек приводит к необходимости пересчета отдельного участка поверхности и соседних с ним участков по выражениям (3) и (5). Кроме того, возможна подгонка предсказанных параметров u и ν. Ее реализация тривиальна: для каждого параметра вводится дополнительная матрица, которая суммируется с расчетными значениями u и ν. В ней числа с некоторым шагом изменяются в сторону уменьшения или увеличения в зависимости от желания оператора. Матрицы нужны только при нахождении опорных точек и впоследствии их хранение необязательно.

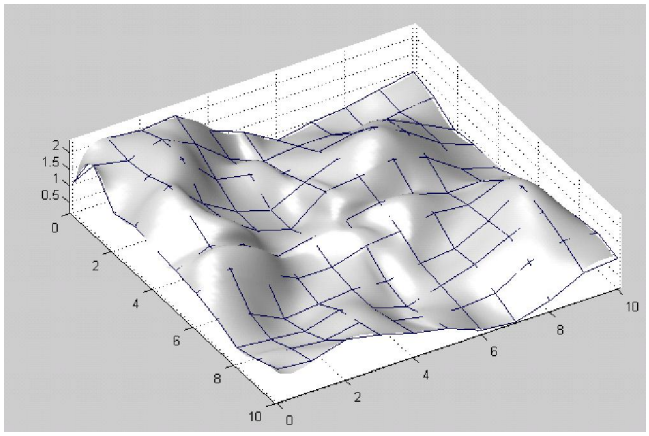


Рис. 3. Пример коррекции поверхности изменением параметров u и ν

Направление всплесков хорошо видно, поэтому выбор изменяемого параметра и его позиции не вызывает трудности. Пример такой подгонки показан на рис. 3 (использована та же поверхность, что и на рис. 2), из которого видно, что в результате легкой коррекции параметров убраны всплески в точках с координатами (0,5), (4,5), (6,5) и (5,0).

Выше рассмотрен пример построения поверхности при равномерном расположении исходных точек. В случае небольших отклонений в расположении вершин построение поверхности также возможно, так как алгоритм сам по себе не накладывает ограничений на положение точек. Однако в случае значительной нерегулярности сетки требуется дальнейшее развитие и адаптация даже не столько самого алгоритма сопряжения, сколько определения базовых и сопрягающих участков и вершин, которые можно принять за опорные. Возможно также приведение опорных точек к равномерной сетке, что требует доопределения опорных точек по каким-либо алгоритмам, например, с помощью метода обратно взвешенных расстояний, билинейной интерполяции или других методов.

Подводя итоги, можно сказать, что реализация кусочной аппроксимации B-сплайнами возможна. При этом она позволяет избежать ряда проблем, свойственных глобальной аппроксимации B-сплайнами: она выполняется быстрее за счет меньшего количества расчетов и позволяет оператору выполнить наглядную коррекцию поверхности в диалоговом режиме. Кусочную аппроксимацию можно использовать, когда важно прохождение поверхности через все заданные точки, но алгоритмы автоматического построения поверхностей дают достаточно сильные отклонения от реальной поверхности, что может быть исправлено коррекцией поверхности оператором. Предложенная методика решает эту задачу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. – М. : Мир, 2001. – 604 с.

2. Dr. C.-K. Shene. Curve Global Interpolation. – URL http://www.cs.mtu.edu/~shene/COURSES/ cs3621/NOTES/INT-APP/CURVE-INT-global.html. – [Дата обращения 21.05.2011].

3. Zhouwang Yang, Jiansong Deng, Falai Chen. Fitting unorganized point clouds with active implicit B-spline curves // The Visual Computer, Vol. 21 (2005). – С. 831 – 839.

4. W. Li, S. Xu, G. Zhao, and L. P. Goh, "A heuristic knot placement algorithm for b-spline curve approximation" // Computer-Aided Design and Applications, vol. 1, no. 1-4, 2004. – С. 727 – 732.

УДК 519.876.5
ББК 30

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ИТ-КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© ***С.Г. Митрошин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***В.В. Пикулин***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

MODEL OF A CONTROL SYSTEM OF ORGANIZATIONAL RESOURCES OF THE IT-COMPANY WITH USE OF A SIMULATION MODELING

© ***S.G. Mitroshin***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***V.V. Pikulin***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

В статье рассмотрен сценарий функционирования автоматизированной системы управления организационными ресурсами с использованием многоподходного имитационного моделирования.

Ключевые слова: планирование персонала, многоподходное имитационное моделирование, автоматизированная система управления.

In article the contents of the scenario of functioning of an automated control system organizational by resources with use of multimethod simulation are considered.

Key words: staff planning, multimethod simulation modeling, automated management system.

Эффективность деятельности предприятия в значительной степени зависит от качества решения вопросов организации деятельности: структуры системы управления предприятием, состава и профессиональных качеств специалистов, распределения функций между подразделениями и сотрудниками, системы взаимодействия подразделений и сотрудников. Процесс управления предприятием, включающий решение указанных задач, требует учёта большого количества взаимосвязанных факторов, и в значительной степени не является формализованным, что ведёт к снижению эффективности производственной деятельности из-за отсутствия возможности применения различных методов оптимизации процесса управления.

Целевую функцию деятельности ИТ-компании, занимающейся проектированием, разработкой, внедрением и сопровождением автоматизированных информационных систем, предоставлением консалтинговых услуг, можно определить как максимум прибыли $I(T)$ в течение заданного интервала времени T:

$$I\ (T) = D\ (T) - R\ (T) \to \max_{\forall P(T)}, \qquad (1)$$

где $D(T) = \sum_{\forall i \in P(T)} \sum_{\forall j \in S} D_{ij}$; $D_{ij} = f(S, N, n_i, K, k_j, C_i, h_j, \phi, \lambda_i, \mu_i)$; $P(T)$ – мно-

жество проектов, по которым выполняется работа за период времени T; S – структура штатного состава специалистов (перечень должностей и количество сотрудников по каждой должности); N – количество групп сложности ИТ-проектов; n_i – количество проектов i-й группы сложности, выполняемых за период времени T; K – количество наименований должностей, соответствующих определённым квалификационным уровням; k_j – количество специалистов j-й квалификации; C_i – цена проекта i-й группы сложности, h_j – стоимость нормо-часа работы специалиста j-й квалификации; ϕ – функция распределения количества заявок на обслуживание проектов; λ_i – интенсивность потока заявок на обслуживание проектов i-й группы сложности; μ_i – интенсивность потока выполненных заявок на обслуживание проектов i-й группы сложности;

$$D(T) = \sum_q \sum_i \sum_j l_{q,ij} v_{q,ij} C_{q,ij}\,; \quad R(T) = \sum_i \sum_j g_{ij} h_{ij}\,, \tag{2}$$

где g_{ij} – количество сотрудников i-й профессии j-го уровня квалификации, выполнявших обслуживание заявок.

Зависимость $I(T)$ от указанных параметров носит сложный структурно-параметрический характер; в таких случаях может использоваться стохастическая оптимизация на основе имитационного моделирования [2].

Поток заявок ИТ-компании на обслуживание клиентов включает в себя: заявки на новые проекты, заявки на модернизацию системы и др.; такой поток, как правило, соответствует закону Пуассона (4) при $x = n_i 1$

$$P_T(x < n) = \sum_{x=1}^{n-1} \frac{(\lambda T)^x e^{-\lambda T}}{x!}\,. \tag{3}$$

В работе [3] предложено использование методики многоподходного имитационного моделирования (МИМ) [4], позволяющей объединить в одной модели различные методологии моделирования (в частности, дискретно-событийное и агентное). В качестве среды для разработки модели использована система *AnyLogic* компании *XJ Technologies*, позволяющая применять МИМ с описанием различных частей гетерогенных систем и с использованием различных подходов к моделированию [4]. Разработанная двухфазная многоканальная модель состоит из ряда элементов, из которых класс *Firm* имитирует деятельность компании по обработке заказов, класс *Specialist* – “агент”, представляющий поведение специалистов.

Класс *Firm* (рис. 1) реализует следующий процесс: приём заявок и размещение в очереди (*queue*) на распределение по специалистам; задержка заявки (*setSpecDelay*) на период назначения ответственного специалиста (*setSpecialist*) (время задержки заявки распределено по закону Симпсона (min = 0,5; max = 1,5; mode = 1); функция *setSpecialist* определяет наименее загруженного специалиста, имеющего компетенцию по выполнению за-

явки указанного уровня сложности; при наличии специалиста производится контроль возможности отправки (*readyToSend*), иначе заявка отмечается как упущенная и передается объекту *sinkLost*, который уничтожает заявки и оповещает клиента о том, что заявка не обработана; если специалист для выполнения заявки назначен, то она пересылается (*exitToSpec*) соответствующему экземпляру объекта *Specialists*; после обработки завершенные заявки поступают на вход процесса *enterFinished* и передаются объекту *sinkFinished*, который оповещает клиента о завершении обработки; не обработанные специалистом по каким-либо причинам заявки (например, по истечении таймаута) возвращаются в процесс на вход *enterLost* и передаются объекту *sinkLost*, который их уничтожает и оповещает клиента о том, что заявка не обработана; заявки также попадают в объект sinkLost в случае, если время их нахождения в очереди *queue* превышает заданные нормативы.

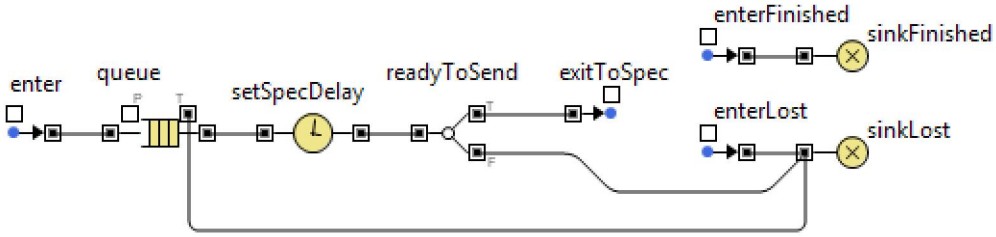


Рис. 1. Процесс обработки заявки. Диаграмма класса Firm

Класс ***Specialist*** является агентом, что позволяет моделировать произвольное децентрализованное поведение отдельных экземпляров объектов и их взаимодействие.

Предложенная в [3] модель использования имитационного моделирования в процессе управления организационными ресурсами должна быть включена в состав соответствующей автоматизированной системы управления организационными (человеческими) ресурсами (АСУОР) и использоваться в качестве системы поддержки принятия решений при выполнении процессов группы планирования на различных уровнях управления (рис. 2).

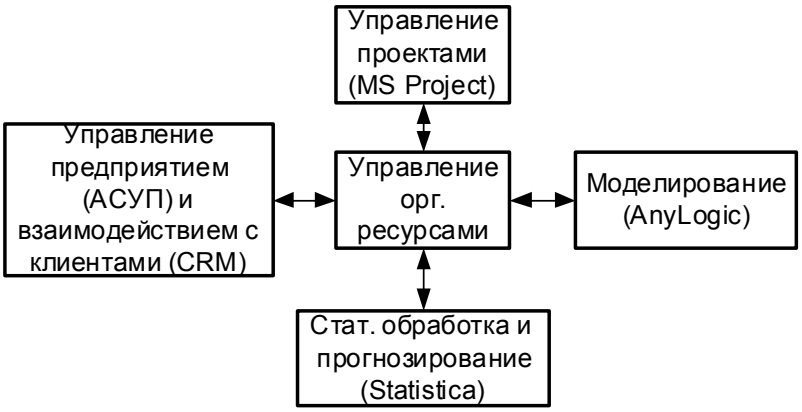


Рис. 2

Модуль управления организационными ресурсами (ОР) должен взаимодействовать с модулями управления проектами (назначение задач исполнителям, распределение ресурсов), АСУП и *CRM* (данные о клиентах, об актуальном кадровом составе, о потребностях в ресурсах, статистика по взаимодействиям с клиентами), статистической обработки и прогнозирования, моделирования; при этом модуль управления ОР выполняет коммуникативные функции между указанными модулями.

Предлагаемая система может функционировать по следующему сценарию, представленному в форме диаграммы деятельности (рис. 3).

1. Загрузка из АСУП сведений о составе и характеристиках ресурсов предприятия.

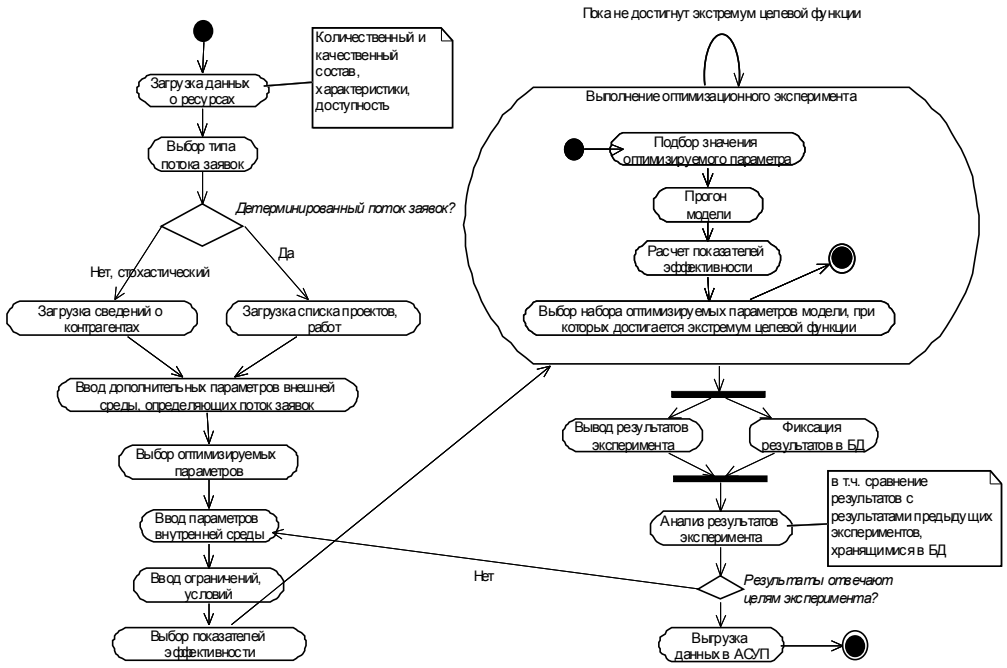


Рис. 3. Диаграмма UML деятельности АСУОР

2. Выбор типа потока заявок (детерминированный или стохастический); в первом производится загрузка проектов и работ по проектам из АСУП, во втором – загрузка данных о клиентах и проектах из системы управления взаимоотношениями с клиентами (*CRM*) или АСУП.

3. Ввод дополнительных параметров внешней среды, параметров внутренней среды, ограничений и условий, выбор оптимизируемых параметров и показателей эффективности.

4. Выполнение оптимизационного эксперимента с имитационной моделью: подбор значений оптимизируемых параметров, расчет показателей эффективности при заданном наборе параметров модели и указанных ограничениях.

5. Анализ результатов оптимизационного эксперимента, выбор значений оптимизируемых параметров, при которых достигается экстремальное значение целевой функции, сохранение результатов в базе данных.

6. Если результаты оптимизации отвечают целям эксперимента, то производится выгрузка данных в АСУП: сведения о качественном и количественном составе исполнителей, о распределении работ по исполнителям, об использовании ресурсов, иначе выполняется корректировка параметров модели и повторное проведение оптимизационного эксперимента.

Использование интегрированной АСУОР и проведение серии экспериментов с адекватной имитационной моделью деятельности компании позволяют получить данные для принятия организационных решений, в частности: о целесообразности применения проектного подхода для выполнения поставленной заказчиком задачи; о выборе модели жизненного цикла для выбранного проекта (каскадная, итерационная, спиральная); о назначении специалистов для выполнения проектных задач указанной группы сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента : Пер. с англ. – М. : Дело, 1995. – 704 с.

2. Сакалаускас Л. Нелинейная стохастическая оптимизация методом Монте-Карло // Стохастическая оптимизация в информатике : Межвузовский сб. / Под ред. проф. О.Н. Граничина. – СПб. : Изд-во СПб гос. ун-та, 2005. – Вып. 1. – С. 190 – 205.

3. Митрошин С.Г. Применение многоподходного имитационного моделирования для оптимизации состава специалистов консалтинговой компании / С.Г. Митрошин, В.В. Пикулин. – Программные продукты и системы. – 2012. – № 1. – С. 149 – 153.

4. Борщев А.В. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. – URL : http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf (дата обращения: 29.03.2011).

УДК 004.94
ББК 22

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ ВУЗА

© ***Т.В. Андреева***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***В.А. Чулков***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

FUNCTIONAL MODEL OF MANAGEMENT ACCOUNTING OF STUDENTS' RESEARCH AND INNOVATIVE ACTIVITY AT A HIGHER SCHOOL

© T.V. Andreeva, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

© V.A. Chulkov, Penza State Technological Academy (Penza, Russia)

Рассмотрены особенности применения методологии функционального моделирования IDEF0 в ходе создания информационного обеспечения мониторинга и поддержки принятия решений в системе управления научно-исследовательской и инновационной деятельностью студентов.

Ключевые слова: функциональное моделирование, методология IDEF0, управленческий учет, научно-исследовательская деятельность, инновационная деятельность, высшее профессиональное образование.

The characteristics of the Integrated computer aided manufacturing DEFinition methodology application for functional modeling during creation the information maintenance of monitoring and decision-making support in the management system of students' research and innovative activity are considered.

Key words: functional modeling, Integrated computer aided manufacturing DEFinition methodology, management accounting, research activity, innovative activity, higher vocational education.

E-mail: atv@pgta.ru, chu@pgta.ru

В условиях технологической модернизации экономики и активизации инновационной деятельности, преобразования российской высшей школы, перехода на двухуровневую систему высшего профессионального образования возрастают требования, предъявляемые к уровню подготовки выпускников высших учебных заведений. Современный специалист должен быть готов к самостоятельной инициативной, ответственной работе, требующей творческого мышления, принятия обоснованных решений в нестандартных ситуациях.

Важной составляющей профессиональной подготовки востребованного на рынке труда профессионала, владеющего методологией научных исследований и внедрения инновационных проектов, является участие студентов в научно-исследовательской и инновационной деятельности (НИДС).

Своевременное и качественное решение задач управленческого учета НИДС в вузе требует привлечения современных информационных технологий.

Существующие информационные системы управления деятельностью вуза, такие как “Галактика Управление вузом”, “REDLAB Университет”, “Naumen University”, “Softmotions Университетская информационная система”, Комплексная информационная система управления учебным заведением ООО “Виртуальные технологии в образовании”, “ПАРУС-ВУЗ”, “1С: Университет” и др., а также вузовские информационные системы ориентированы, в основном, на обеспечение учебного процесса, мониторинг учебной деятельности студентов, учет показателей научно-исследовательской работы профессорско-преподавательского состава, кадрово-экономической информации, поддержку электронного документооборота. Вопросы мониторинга результатов научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов, поддержки принятия решений при организации НИДС, реализации аналитических алгоритмов управления развитием исследовательских компетенций остаются за рамками информационных систем.

В последние годы опубликован ряд научных работ, посвященных применению информационных технологий для решения некоторых задач управления научно-исследовательской работой студентов. В работе [1] рассмотрена концепция повышения эффективности организации научно-исследовательской работы студентов через призму развития интеллектуального капитала вуза, в работе [2] предложен многоагентный подход к моделированию научно-исследовательской работы студентов вуза, в работе [3] разработаны математические модели и методы для управления развитием исследовательского потенциала студентов с применением автоматизированной информационной системы, в работе [4] рассмотрена система информационно-аналитической поддержки научно-исследовательской деятельности учащихся. Тем не менее, в области управления научно-исследовательской и инновационной деятельностью студентов вуза остается достаточно много неразрешенных вопросов. Таким образом, разработка информационно-аналитической системы мониторинга и поддержки принятия решений выдвигается в ряд актуальных научных задач управления НИДС.

Организацию НИДС в вузе можно рассматривать как сложную систему управления и как сложный процесс, состоящий из ряда взаимосвязанных этапов. Сложность НИДС как системы определяется многоаспектным целевым назначением, значительным количеством разнородных компонентов, наличием автономных подсистем, решающих свои задачи, значительным числом факторов, влияющих на достижение цели системы, трудно предсказуемым воздействием внешней среды, отсутствием единого формализованного описания системы [5].

Для создания информационного обеспечения мониторинга и поддержки принятия решений при организации НИДС необходимо, в первую очередь, разработать и проанализировать модели информационных процессов в системе управления научно-исследовательской и инновационной деятельностью студентов. С этой целью на начальных этапах создания информаци-

онных систем строится модель, дающая адекватное отображение предметной области и всех участников бизнес-процессов организации. Отобразить функциональную структуру процесса, то есть выявить производимые действия и связи между ними позволяет функциональная модель.

Разработка функциональных моделей производится в соответствии с процессным подходом, заключающимся в применении для управления деятельностью и ресурсами организации системы взаимосвязанных бизнес-процессов – устойчивых целенаправленных совокупностей взаимосвязанных видов деятельности, которые по определенной технологии преобразуют входы и выходы, представляющие ценность для потребителя [6]. При проектировании функций информационной системы используются информационно-аналитические технологии визуального стандартизированного описания процессов и систем – графические нотации концептуального и функционального моделирования, в частности, стандарт IDEF0 (Integrated Computer Aided Manufacturing DEFinition) [7], который является развитием методологии SADT (Structured Analysis and Design Technique).

Использование методологии IDEF0 представляется оптимальным способом описания бизнес-процессов на верхнем уровне, так как позволяет отобразить информационные и материальные потоки, требования к персоналу и инфраструктуре, управляющие воздействия и обратные связи, а также реализовать принципы декомпозиции и иерархического упорядочивания. Возможности, предоставляемые методологией IDEF0, в настоящее время успешно используются при разработке вузовских информационных подсистем различного назначения, в том числе для построения моделей приемной кампании, моделей бизнес-процессов организации научно-исследовательской деятельности и т.п.

Целью построения функциональной модели управленческого учета научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов является определение требований к информационному обеспечению мониторинга и поддержки принятия решений при управлении НИДС. Границами детализации явились процессы уровня рабочих мест. При создании модели рассмотрены следующие точки зрения: проректора по научной работе, лиц, ответственных за организацию НИДС в вузе, технических исполнителей. В качестве инструмента функционального моделирования выбран программный продукт Microsoft Office Visio 2007.

Контекстная диаграмма функциональной модели управленческого учета НИДС представлена на рис. 1.

На первом уровне функциональной модели выделены пять основных потоков входных ресурсов (Input): студенты и их научные руководители из числа профессорско-преподавательского состава; тематика выполняемых в подразделениях вуза научно-исследовательских работ и инновационных проектов; предъявляемые к организации НИДС в вузе требования вышестоящих организаций (критерии оценки эффективности НИДС, показатели активности и результативности НИДС); планы ежегодных мероприятий научного и инновационного характера (конкурсов, выставок, олимпиад, конференций), проводимых как в вузе, так и за его стенами.

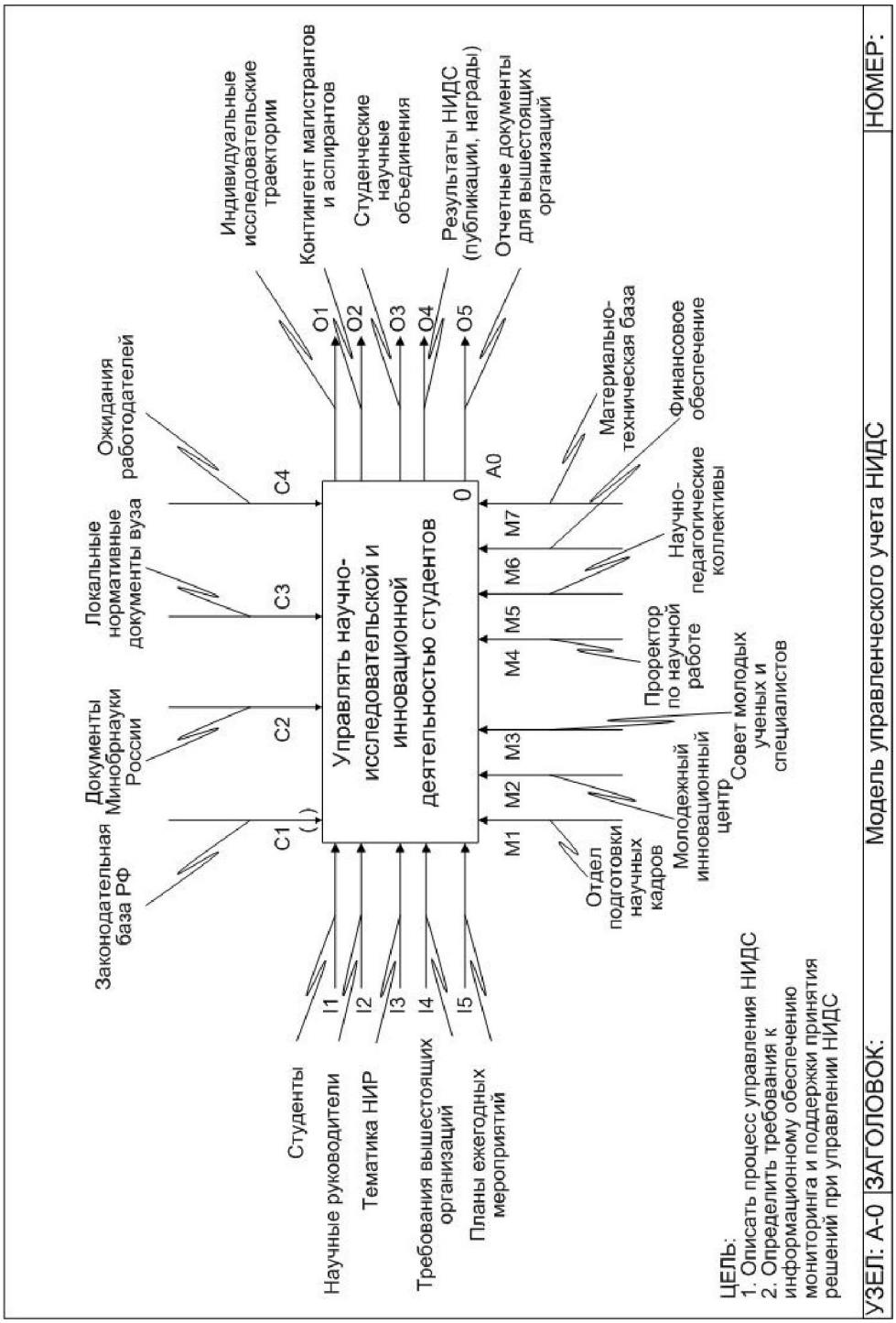


Рис. 1. Верхний уровень функциональной модели управленческого учета НИДС

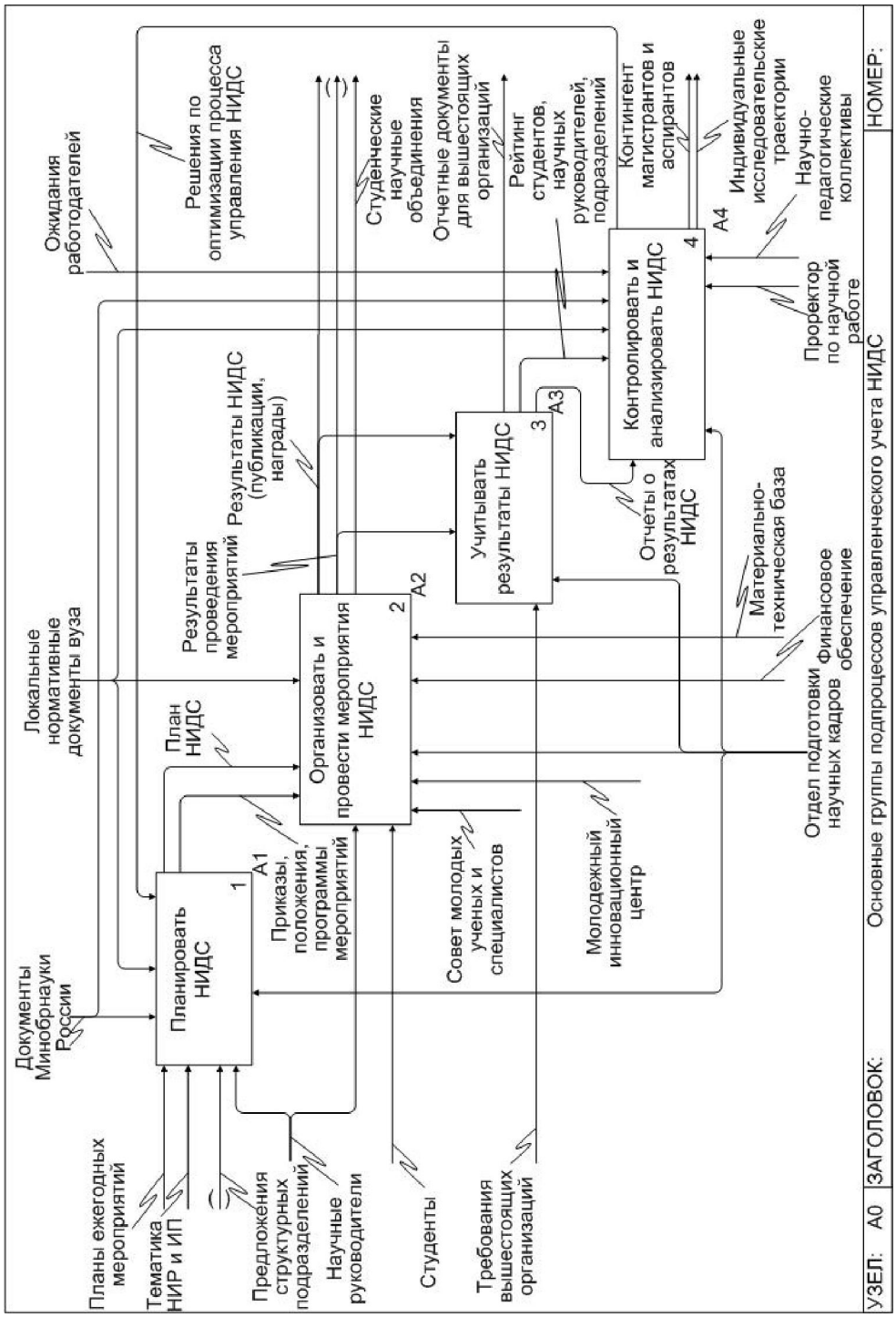


Рис. 2. Уровень А0 функциональной модели управленческого учета НИДС

Управление (Control) представляют четыре логических блока: совокупность законов РФ и федеральных законов; приказы, распоряжения и инструктивные письма Министерства образования и науки РФ; локальные нормативные документы вуза, регламентирующие процесс организации НИДС (стандарты, положения); ожидания работодателей, то есть требования, предъявляемые к уровню исследовательской компетентности выпускников вуза.

Механизмы (Mechanism) представлены: набором должностных лиц и структурных подразделений, непосредственно участвующих в процессах планирования, организации, мониторинга и контроля НИДС в вузе: проректор по научной работе, совет молодых ученых и специалистов, отдел подготовки научных кадров, молодежный инновационный центр; а также научно-педагогическими коллективами, материально-техническим и финансовым обеспечением НИДС.

Выходными потоками (Output) процесса управления НИДС являются: индивидуальные траектории исследовательской деятельности, построенные для каждого студента по итогам его участия в НИДС; сформированный контингент магистрантов и аспирантов из числа студентов, имеющих высокие рейтинговые показатели по результатам участия в НИДС; результаты НИДС (полученные студентами премии, награды, дипломы, опубликованные научные работы, поданные заявки и полученные охранные документы на объекты интеллектуальной собственности студентов); студенческие научные объединения (конструкторские бюро, научные общества, научно-исследовательские лаборатории), сформированные из числа студентов, участвующих в выполнении НИР и разработке инновационных проектов; отчетные документы, оформленные в соответствии с требованиями вышестоящих организаций.

Декомпозиция контекстной диаграммы приведена на рис. 2. На данном уровне А0 функциональной модели представлены основные группы подпроцессов управленческого учета НИДС.

В рамках первой группы подпроцессов (функция 1 “Планировать НИДС”) решаются задачи, связанные с планированием НИДС: составлением годового плана НИДС, подготовкой и утверждением положений и программ мероприятий, подготовкой приказов и распоряжений о проведении мероприятий НИДС.

Вторая группа подпроцессов (функция 2 “Организовать и провести мероприятия НИДС”) предназначена для решения задачи управления, связанной с организацией участия студентов в выполнении научных исследований, в разработке инновационных проектов, с проведением конкурсов НИДС и выставок научно-технического творчества молодежи, предметных олимпиад и олимпиад по специальностям, конференций и семинаров, с опубликованием результатов научных исследований студентов и подачей заявок на регистрацию объектов интеллектуальной собственности, с организацией участия студентов – победителей вузовских мероприятий в мероприятиях регионального, всероссийского и международного уровня.

В рамках третьей группы подпроцессов (функция 3 “Учитывать результаты НИДС”) решаются задачи мониторинга и учета показателей НИДС

с целью определения рейтинга студентов, преподавателей и структурных подразделений по итогам участия в НИДС, а также с целью подготовки отчетных документов о результатах НИДС для вышестоящих организаций.

Четвертая группа подпроцессов (функция 4 “Контролировать и анализировать НИДС”) служит для решения задач, связанных с контролем, анализом и оценкой эффективности управления НИДС, а также с принятием решений по оптимизации управленческого учета НИДС на основе обратной связи по управлению на подпроцессы первой группы.

На последующих этапах аналогичным образом производится декомпозиция функций 1, 2, 3, 4 уровня А0 функциональной модели.

Таким образом, на основе процессного подхода с использованием методологии IDEF0 разработана функциональная модель управленческого учета научно-исследовательской и инновационной деятельности студентов вуза, определены основные функции и взаимосвязи между отдельными функциональными блоками модели. Полученные результаты составляют основу для выполнения следующих этапов разработки информационно-аналитической системы мониторинга и поддержки принятия решений при управлении НИДС – информационного и структурного моделирования и создания программного обеспечения автоматизированных рабочих мест.

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. Бадамшин Р.А., Мухачёва Н.Н. Поддержка принятия решений по управлению НИРС на основе моделирования информационно-интеллектуальных ресурсов // Вестник УГАТУ : Научный журнал Уфимского государственного авиационного технического университета. – Уфа : УГАТУ, 2011. – Т. 15. № 5 (45). – С. 227 – 240.

2. Измайлова Е.В. Поддержка принятия решений при управлении научно-исследовательской работой студентов вуза : Автореф. дисс. ...канд. техн. наук: 05.13.10. – М., 2012. – 19 с.

3. Кадочкин Д.Е. Разработка методов автоматизированной поддержки управления развитием исследовательского потенциала студентов в вузе : Дисс. ...канд. техн. наук: 05.13.10. – Самара, 2003. – 194 с.

4. Клюкина Е.А. Система информационно-аналитической поддержки научно-исследовательской деятельности учащихся Карелии : Дисс. ...канд. техн. наук: 05.13.18. – Петрозаводск, 2006. – 161 с.

5. Алгазинов Э.К., Сирота А.А. Анализ и компьютерное моделирование информационных процессов и систем / Под общ. ред. д.т.н. А.А. Сироты. – М. : Диалог-МИФИ, 2009. – 416 с.

6. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М. : РИА “Стандарты и качество”, 2004. – 408 с.

7. Р 50.1.028–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. Введ. 2002–07–01. – М. : Госстандарт России; ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 80 с.

УДК 681.301
ББК 30

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ В СИСТЕМЕ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

© ***Е.Г. Бершадская***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***Н.С. Соколов***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

USING COMPUTER SIMULATION AND OPTIMIZATION FOR MANAGING DISTRIBUTED MEDICAL PREPARATIONS IN MEDICAL INSTITUTIONS

© ***E.G. Bershadskaya***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

© ***N.S. Sokolov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена мониторингу и анализу ситуаций, связанных с распределением медицинских препаратов в лечебных учреждениях. Используются современные средства сбора и обработки данных в совокупности с методами математического моделирования сложных систем.

Ключевые слова: моделирование, мониторинг, медицинские препараты, базы данных.

The article is devoted to monitoring and analysis related to the distribution of medicines in hospitals. Modern means of data collection and processing, together with the methods of mathematical modeling of complex systems.

Key words: modeling, monitoring, medications, database.

Мониторинг и анализ ситуаций, связанных с распределением медицинских препаратов в лечебных учреждениях – одна из актуальных задач в системе здравоохранения. Использование современных средств сбора и обработки данных в совокупности с методами математического моделирования сложных систем даст возможность детализировать описание процессов лекарственного обеспечения на уровне отдельного лечебного заведения исходя из особенностей исследуемого процесса. Это позволяет рассматривать такой процесс как вероятностный в системе сложной структуры с динамически изменяющимися свойствами, определяемыми как внешними (экономическими, социальными), так и внутренними (психологическими) факторами. Такая постановка задачи требует разработки методов математического моделирования и прогнозирования.

Предлагается подход к управлению обслуживанием лечебных учреждений лекарствами на основе компьютерных технологий моделирования и оптимизации.

Для управления территориально распределенными медицинскими системами целесообразно использовать программно-ситуационные структуры

[1], которые объединяют множество ситуаций, характеризующих социально-экономическое и психологическое состояние, и множество программно-целевых мероприятий по различным направлениям обслуживания.

Моделирование программно-ситуационной структуры состоит в формировании элементов множества ситуаций $s = \overline{1,S}$, где S – общее количество возможных ситуаций, и множества программных мероприятий $m = \overline{1,M}$, где M – общее число программных мероприятий, играющих роль управляющих воздействий, и установление степени соответствия между элементами s и m.

Основой упорядочивания элементов множеств S и M является применение экспертных данных, полученных на основе анализа о состоянии медицинских ресурсов в системе здравоохранения.

В результате получим для элементов множества S ранги R_s, множества M ранги R_m, а также вероятностные оценки значимости элементов s и m, соответственно:

$$p_s = \frac{R_s}{\sum_{s=1}^{S} R_s}, s = \overline{1,S}, \sum_{s=1}^{S} p_s = 1$$

$$p_m = \frac{R_m}{\sum_{m=1}^{M} R_m}, m = \overline{1,M}, \sum_{m=1}^{M} p_m = 1$$

Разнообразие (степень неоднородности) элементов s и m по их значимости в формировании эффективных решений оценивается величинами энтропии. Известно, величины энтропии максимальны при равномерном распределении соответствующих вероятностей и уменьшаются в сторону неравномерного распределения. Указанные величины впоследствии помогут в определении количественных характеристик вариативности ситуаций, которые могут повлиять на реализацию медикаментов с ограниченным сроком действия. При этом следует ориентироваться не только на приоритетные элементы, имеющие распределение близкое к равномерному. Недооценка некоторых ситуаций в определённом сочетании может привести к критической.

В такой постановке задачи критерий оптимизации отражает требование по минимизации ресурсов с учетов затрат и времени на реализацию программного мероприятия и при соответствующих ограничениях гарантирует бесперебойную и безубыточную работу с прогнозированием потребностей клиник в процессе лечения заболеваний в условиях дефицита времени, связанным с ограниченным сроком реализации лекарств.

Применение комплекса методов, моделей и алгоритмов поддержки принятия оптимальных решений позволит сформировать множество перспективных вариантов программно-целевых мероприятий управления лекарственным обслуживанием и повысить эффективность распределения ресурсов в учреждениях здравоохранения.

Основой всякого научного подхода к исследованию какой-либо проблемы является наличие модели изучаемого явления, которая, с одной сто-

роны, служит средством наглядного описания, а с другой, – лежит в основе моделирования.

Любая деятельность информационно-аналитического характера, связанная с автоматизированной обработкой больших информационных массивов, требует наличия удовлетворительных формализованных моделей, описывающих как семантику, так и логические отношения объектов предметной области анализа. Одной из наиболее удобных и функциональных моделей для представления данных в информационно-аналитических мониторинговых системах принято считать реляционную модель. Однако при условии многофакторности и сложности предметной области или в случае представления в рамках одной модели сразу нескольких предметных областей, реляционная модель теряет свою наглядность. К таким предметным областям могут относиться экономика, здравоохранение, рынок труда, промышленность. Одним из эффективных решений в области концептуального представления сложных предметных областей является многомерный подход к моделированию данных и *OLAP*-системы. Многомерное концептуальное представление является многомерным кубом, состоящим из нескольких независимых измерений, вдоль которых могут быть проанализированы определенные совокупности данных [2].

Изучая явление с перечисленных позиций наблюдения, лицо, принимающее решение, имеет дело с трехмерным кубом данных. На рис. 1 схематически представлено трехмерное пространство: “деление по заболеваниям – распределение по больницам – временные интервалы”, в котором “помещается” такой куб данных.

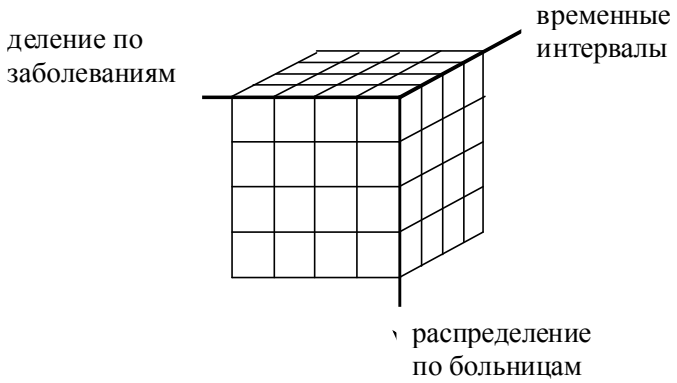


Рис. 1. Куб данных

Такое представление информации позволит более наглядно показать, что одним из ключевых параметров, от которого зависит вся система, являются “временные интервалы”, и без данного аспекта исследования будут практически бесполезны, так как приведут к переизбытку или недостатку медикаментов ограниченного срока действия в лечебном учреждении. Представление информации для принятия решения в виде трехмерного куба является упрощением. В частности, можно предположить, что, помимо де-

ления по заболеваниям, распределения по больницам и временных интервалов, интересны условия по областям воздействия или переносимости лекарств больными. Условий может быть достаточно много, тогда информацию следует представлять уже пятимерным “кубом” и т. д.

Измерения в многомерной модели данных можно рассматривать как систему справочников, используемых для идентификации конкретных значений данных, находящихся в ячейках гиперкуба. Система справочников на логическом уровне поддерживает иерархическую структуру, что дает возможность ориентироваться в многообразии хранимой информации и агрегировать информацию и проводить связи между различными показателями, формировать отчеты требуемой конфигурации. Просмотр, корректировка и выборка данных из базы по заданному условию должна осуществляться через запросы.

В условиях неопределённости и многовариантности в принятии решений построение математической модели будет зависеть от множества факторов и носить вероятностный характер, одним из важнейших будет являться время.

Исходя из главного критерия времени, процедура математического описания состоит из этапов:

1) выделение всех информативных входных переменных (показатели реализации медикаментов в течение нескольких лет) и прогнозирование распределения лекарственных средств в различные периоды;

2) построение прогностической математической модели с учётом всех переменных для прогнозирования потребности медикаментов с ограниченным сроком действия для непрерывного лечения больных с минимальными затратами в масштабе реального времени.

Используемая технология *OLAP* позволяет представить данные для оперативного совместного анализа больших групп параметров в их взаимной связи в системе здравоохранения в целом. Это позволит существенно сократить материальные затраты, связанные с переизбытком медикаментов в период, когда пика заболеваемости нет, и перераспределить их с учетом ограниченного срока реализации, обеспечивая наличие в лечебном учреждении в нужном количестве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. – Воронеж : Кварта, 2006. – 428 с.

2. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков. – СПб. : Питер, 2012. – 704 с.

УДК 681.5.01:658.512.2.011.56
ББК 30

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА КОНСТРУКЦИЙ ПО ЗАДАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

© ***Т.В. Андреева***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***В.Е. Курносов***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

THE METHODOLOGY OF SOLVING PROBLEMS ON STATED LOAD CONSTRUCTION SYNTHESIS

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

© ***V.E. Kurnosov***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Рассматривается методология построения систем автоматического оптимального синтеза конструкций, несущих заданную эксплуатационную нагрузку. Приведены результаты численных экспериментов по синтезу формы конструкций по заданным механическим воздействиям.

Ключевые слова: синтез конструкций, автоматическое проектирование, моделирование, численные методы.

The methodology of building systems of automatic optimal synthesis of constructions carrying the stated operating load is considered. The authors have given the results of numerical experiments on the construction shape synthesis by stated mechanical stress.

Key words: construction synthesis, automated layout, modeling, numerical methods.

E-mail: kurve@pgta.ru, atv@pgta.ru

Проблема оптимального синтеза конструкций актуальна в связи с необходимостью обеспечения надежности изделий при прогнозируемых эксплуатационных воздействиях. Численные эксперименты на основе моделирования физических процессов позволяют существенно сократить затраты на экспериментальное исследование вариантов конструктивного исполнения различных изделий, повысить качество их проектирования.

Под методологией обычно понимается учение об организации деятельности с целью достижения определенной цели [1]. В соответствии с концепцией решения задач автоматического синтеза необходимо выделить отличительные особенности системы моделирования, определить процессы и необходимые действия для получения результата, разработать требуемые инструментальные средства.

Известен неформализованный способ решения задач синтеза конструкций на основе пошаговой процедуры, включающей анализ имеющегося варианта, его исследование и модификацию в соответствии с критерием оптимизации [2].

Для реализации процедуры синтеза конструкций на основе анализа напряженно-деформированного состояния, теплопередачи, диффузии необ-

ходимо формализовать процессы: автоматического формирования краевой задачи по конфигурации, заданным воздействиям и ограничениям; получения решения задачи и исследования состояния варианта конструктивного исполнения; модификации модели конструкции в соответствии с критерием оптимизации.

В работах [3, 4] предложена концепция автоматического решения задач синтеза конструкций на основе эволюционных дискретных моделей. Концепция включает построение сеточной области пространства как совокупности дискретных элементов объема, формирование модели конструкции путем распределения материала по элементам объема и, возможно, изменения их геометрических характеристик, формирование системы разрешающих уравнений и ее решение, изменение конфигурации области решения краевой задачи.

Сеточная область пространства рассматривается как область проектирования, в которой может быть построена модель конструкции и проведено ее исследование, по результатам которых и выполняется ее модификация. Синтез конфигурации осуществляется на основе многократной модификации модели конструкции. Исходные данные для выполнения каждого последующего шага формируются по результатам, полученным на предыдущем шаге преобразования или модификации модели.

Реализация концепции позволяет синтезировать форму конструкций на основе многократного преобразования исходной заготовки.

Рассмотрим составляющие методологии решения задач синтеза конструкций по заданным воздействиям. Системы синтеза конструкций по заданному нагружению, реализованные на основе предложенной концепции, имеют отличительные от известных систем особенности: использование логико-математических моделей при построении краевой задачи; решение с нефиксированным количеством переменных, когда при модификации модели меняется распределение материала по элементам объема и, следовательно, количество переменных и размерность системы разрешающих уравнений; композиция и декомпозиция краевых задач в области проектирования, когда возможно разделение области решения на несвязанные или объединение двух или более областей решения задач; многократная автоматическая модификация конфигурации конструкции в соответствии с выбранным критерием оптимизации путем введения, удаления или перераспределения материала.

Рассмотрим особенности программного комплекса и процедуры решения задач синтеза конструкций по заданному одновариантному нагружению. Программный комплекс реализует процедуры синтеза конструкции на основе многократной автоматической модификации исходной формы или заготовки. Схема алгоритма показана на рис. 1.

Возможны различные варианты выбора исходной формы, в зависимости от которой выбираются и способы модификации конструкции.

Для исходной формы при минимальном объеме материала реализуется алгоритм только введения или введения и удаления материала, когда объем вводимого материала больше объема удаляемого. Для избыточной по объе-

му материала заготовки может быть реализован алгоритм последовательного удаления материала. Возможна реализация пошаговой модификации, когда ее вид выбирается по шагам преобразования формы конструкции.

На примере рассмотрим особенности построения области проектирования и модели плоской конструкции при синтезе конфигурации по заданному механическому нагружению.

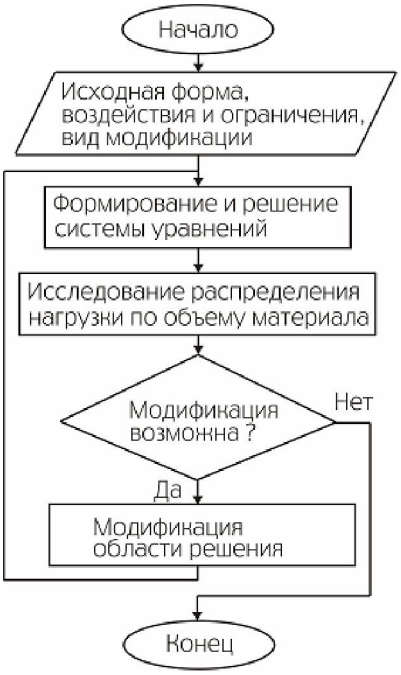


Рис. 1. Алгоритм автоматического синтеза конфигурации конструкции

Для построения модели воспользуемся уравнениями Ламе теории упругости, которые для плоского напряженно-деформированного состояния (НДС) имеют вид [5]:

$$\frac{E}{2(1-\nu)}\frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y}+\frac{E}{1-\nu^2}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{E}{2(1+\nu)}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+X_F=\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (1)$$

$$\frac{E}{2(1-\nu)}\frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}+\frac{E}{1-\nu^2}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{E}{2(1+\nu)}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+Y_F=\rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}. \quad (2)$$

Здесь E - модуль упругости первого рода; $\mu=\frac{E}{2(1+\gamma)}$ - модуль упругости второго рода; $\lambda=\frac{E\gamma}{2(1+\gamma)(1-\gamma)}$ - постоянная Ламе; ρ - плотность материала; γ - коэффициент Пуассона; X_F и Y_F - проекции на оси координат объемной силы (например, силы тяжести), отнесенной к единице массы; $u(x,y,t)$ и $v(x,y,t)$ - искомые компоненты смещений по направлениям осей X и Y, соответственно.

Уравнения Ламе совместно с условиями на поверхности, в данном случае на контуре пластины, позволяют непосредственно перейти к решению задач теории упругости в перемещениях. При выборе прямоугольных элементов объема и решении задачи вычисления НДС по методу конечных элементов фрагмент области проектирования будет иметь вид, показанный на рис. 2. Фрагмент содержит узел с четырьмя прилегающими элементами объема.

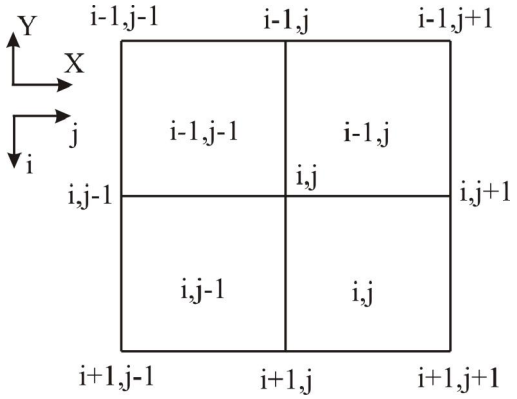


Рис. 2. Фрагмент области проектирования

При автоматическом формировании уравнений необходима индексация узлов и элементов объема, которые в рассматриваемом случае могут быть либо “пустыми”, либо “заполненными” материалом [3]. Конфигурация конструкции задается путем распределения материала по элементам объема области проектирования.

Пронумеруем узлы и элементы объема по направлениям осей координат *X*, *Y*. Далее будем считать, что каждый из них имеет целочисленные координаты $i,\ j$.

Смещения $u,\ v$ в пределах элемента, заполненного материалом, аппроксимируются полиномами:

$$u = \beta_1 + \beta_2 x + \beta_3 y + \beta_4 xy\,, \tag{3}$$

$$v = \beta_5 + \beta_6 x + \beta_7 y + \beta_8 xy\,. \tag{4}$$

Коэффициенты $\beta_1 ... \beta_8$ находятся непосредственно из геометрических соотношений. Матрица жесткости каждого элемента вычисляется путем двойного интегрирования по координатам *x* и *y*:

$$K = \int_{-\frac{b}{2}}^{\frac{b}{2}} \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \left[B(x,y)\right]^T [D][B(x,y)]\,dxdy\,, \tag{5}$$

где B, D – матрицы геометрических и упругих характеристик прямоугольного элемента объема.

Рассмотрим процедуру построения матрицы жесткости конструкции по матрицам жесткости элементов, “заполненных материалом”. В качестве

признаков распределения материала предложено использовать переменные импликативной алгебры выбора Л.И. Волгина. Использование операций импликативной алгебры выбора позволяет формализовать построение разрешающих уравнений на основе метода конечных элементов [5].

Выделим узел с координатами i, j с прилегающими к нему элементами объема. Узловые реакции при построении глобальной матрицы жесткости вычисляются по признакам наличия материала, смещениям узлов элементов:

$$\vee_{\alpha_{uv}^{ij}} \vee_{\alpha_l^m} F_l^{ij} = \vee_{\alpha_{uv}^{ij}} \vee_{\alpha_l^m} K_l U_l \,, \qquad (6)$$

где α_{uv}^{ij} – переменная импликативной алгебры выбора. Здесь имеет смысл выбор узла, к которому прилегает хотя бы один заполненный материалом элемент объема; α_m^l - переменная выбора заполненного материалом элемента объема l из числа прилегающих к узлу i, j; F_l^{ij}, U_l - вектор узловых реакций и вектор узловых смещений элемента l, прилегающего к узлу i, j; K_l - матрица жесткости заполненного материалом элемента.

Разрабатывается учебно-научный комплекс автоматического проектирования конструкций по заданному одновариантному и многовариантному нагружению. Проводятся численные эксперименты по синтезу конфигурации конструкций.

На рис. 3 показаны исходные данные при проведении численного эксперимента по автоматическому синтезу конфигурации конструкции. В области проектирования две области решения: прямоугольная ненагруженная и п-образная, нагружена в средней части, показана в деформированном под нагрузкой состоянии. В качестве нагрузки материала при плоском НДС рассматривается энергия деформации.

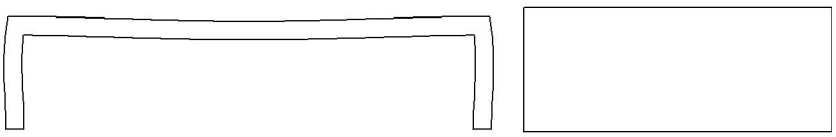


Рис. 3. Две области решения в области проектирования

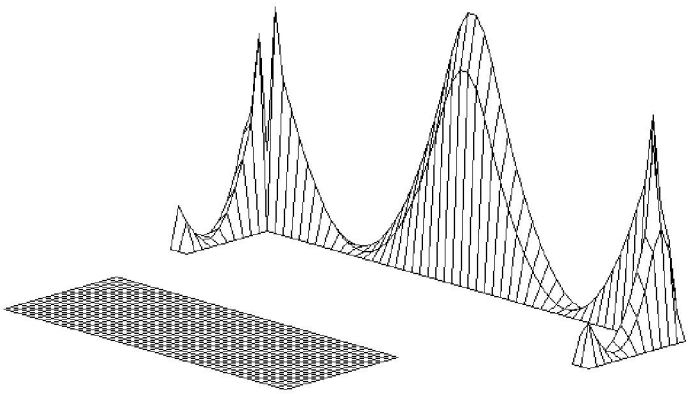


Рис. 4. Энергия деформации нагруженной области и допустимого для использования в конструкции объема материала

На рис. 4 показано распределение нагрузки по объему материала нагруженной и ненагруженной области.

Каждый шаг алгоритма синтеза конфигурации состоит в “удалении” материала из заданного количества элементов объема с минимальной энергией деформации и “введении” материала в элементы объема, граничные с элементами с максимальной энергией деформации. Естественно, для “введения” материала используется материал ненагруженной области с нулевой энергией деформации. После каждого преобразования для определения НДС вновь формируется система разрешающих уравнений, по методу конечных элементов находится решение уравнений Ламе (1, 2). Далее для каждого элемента вычисляется энергия деформации.

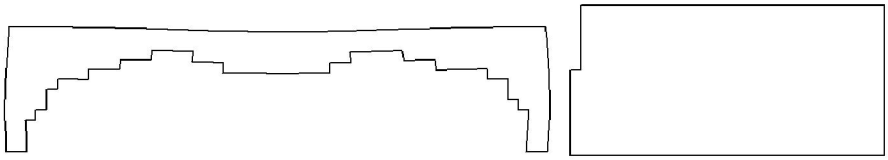


Рис. 5. Модификация нагруженной и ненагруженной областей при решении задачи синтеза конфигурации конструкции

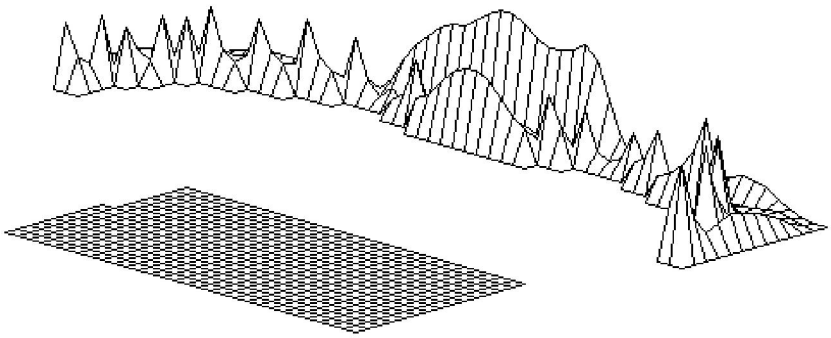


Рис. 6. Энергия деформации синтезированной конфигурации нагруженной конструкции и части допустимого для использования в конструкции объема материала

Результаты автоматического синтеза конфигурации нагруженной конструкции после выполнения двадцати шагов преобразования показаны на рис. 5. Решение дает существенное выравнивание распределения нагрузки по объему материала, что открывает перспективу автоматического вычисления конфигурации равнонапряженных конструкций, автоматического проектирования конструкций минимальной материалоемкости, несущих заданную нагрузку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. – М. : Либроком, 2010. – 280 с.

2. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование: Механические системы и конструкции : Пер. с англ. – М. : Мир, 1983.

3. Курносов В.Е. Теория и методы оптимального проектирования устройств радиотехники и связи на основе эволюционных дискретных моделей : Автореф. дисс. ...докт. техн наук. – Пенза : ПГУ, 1999. – 48 с.

4. Курносов В.Е. Эволюционный метод вычисления оптимальной формы конструкции // Измерительная техника. – 1994. – № 5. – С. 9 – 11.

5. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести : Учебник для втузов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Высш. шк., 1968. – 512 с.

6. Волгин Л.И., Климовский А.Б., Зарукин А.И. Импликативная алгебра выбора как основа информационных технологий и систем управления в континуальной области // "Чебышевский сборник" – Т. IV. Вып. 1 (5) : Труды V Международной конференции "Алгебра и теория чисел: современные проблемы и приложения". – Тула : Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2003. – С. 61 – 65.

УДК 621.396.6
ББК 32

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

© ***В.Г. Покровский***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

INFORMATION TECHNOLOGIES IN DESIGN OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF THE ELECTRONIC EQUIPMENT ON THE BASIS OF THE EVOLUTIONAL DISCRETE MODELS

© ***V.G. Pokrovskiy***, *Penza State Technological Academy (Penza, Russia)*

Рассматривается способ построения модели конструкций электронной аппаратуры в виде пространственной стержневой системы. Разработанная модель отличается возможностью автоматического формирования матрицы жёсткости и систем разрешающих уравнений по описанию структуры, параметрам стержневой системы, её нагружению.

Ключевые слова: напряжённо-деформированное состояние, конструкции электронной аппаратуры, автоматизация проектирования, инженерный анализ конструкций.

The article considers the ways of model building of electronic equipment structures in the form of volumetric framed structure. The developed model, distinguished by the possibility of automatic formation of stiffness matrices and systems of resolving equations for the description of the structure, the parameters of the framed structure, its loading.

Key words: the stress-strain state; structures of electronic equipment; automation of designing; engineering analysis of structures.

E-mail: svg0106@mail.ru

Сокращение сроков подготовки производства новых изделий электронной техники при одновременном обеспечении качества выпускаемой продукции является одной из главных задач современного производства. Ошибки, допущенные на этапе проектирования изделий, зачастую могут быть исправлены только путем повторения всех этапов проектных работ и подготовки производства. Решить указанную проблему можно применяя средства автоматизации проектно-конструкторских работ. В настоящее время работы по проектированию нового изделия совмещают с работами по моделированию различных воздействий, которым оно может подвергаться в процессе эксплуатации. Такое моделирование может быть осуществлено с применением информационных технологий и программно-технических комплексов автоматизированного проектирования, построенных на основе применения численных методов анализа физических процессов в конструкциях при заданных воздействиях.

Существующие системы инженерного анализа конструкций, построенные на основе применения конечно-элементных моделей с фиксированным количеством переменных проектирования, позволяют решать задачи моделирования конструкций, структура которых однозначно определена и задана. Изменение структуры проектируемой конструкции требует изменения математической модели объекта проектирования и, как следствие, привлечения соответствующего аппарата предметно-ориентированной логики, на основе которого можно строить логико-алгебраические выражения, позволяющие вводить и исключать переменные и функции, то есть создавать математические модели с нефиксированным количеством переменных проектирования.

В настоящее время актуальна задача разработки информационных систем, программно-технических комплексов автоматизированного проектирования и имитационного моделирования конструкций электронной аппаратуры, позволяющих решать задачи структурной оптимизации проектируемых конструкций по заданным эксплуатационным воздействиям и конструкторско-технологическим ограничениям.

Разработана модель пространственной стержневой системы и система имитационного моделирования, отличающиеся возможностью автоматического формирования систем разрешающих уравнений по описанию структуры проектируемой конструкции, параметрам конструкции, конструкторско-технологическим ограничениям. Модель позволяет осуществлять целенаправленное преобразование структуры проектируемых конструкций в соответствии с заданными эксплуатационными воздействиями и конструкторско-технологическими ограничениями.

Реализация процесса структурной оптимизации конструкций электронной аппаратуры, рассматриваемых как стержневые, связана с введением элементов или стержней в систему или их исключением. Введение и исключение элементов, в свою очередь, связано с введением и исключением переменных и функций, в частности переменных проектирования. Эти операции могут быть реализованы с использованием соответствующего аппарата предметно-ориентированной логики, наиболее полно представленного в работах

Л.И. Волгина [1, 2]. Для решения проблемы выбора в задачах анализа и оптимизации конструкций используются операции импликативной алгебры выбора, что позволило формализовать задачи модификации модели стержневой системы на основе введения и исключения переменных проектирования. Порождающее выражение импликативной алгебры выбора:

$$z = \left(\alpha_1 y_1^{\mu} + \alpha_2 y_2^{\mu} + ... + \alpha_n y_n^{\mu}\right)^{\frac{1}{\mu}}, \qquad (1)$$

где α_i – весовые коэффициенты; μ –степенные коэффициенты; y_i – математические объекты или предметные переменные.

При $\mu = 1$, $\alpha_1 + \alpha_2 + ... + \alpha_n = 1$, $\alpha_i \in \{0,\ 1\}$, $i = \overline{1,\ n}$ порождающее выражение имеет следующий вид:

$$z = \left(\alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2 + ... + \alpha_n y_n\right), \qquad (2)$$

где $\alpha_1,\ \alpha_2, ...,\ \alpha_n$ – предикатные переменные; $\alpha_i \in \{0,\ 1\}$, $i = \overline{1,\ n}$, $y_1,\ y_2, ...,\ y_n$ – предметные переменные.

В качестве предметной переменной может использоваться, например, матрица-вектор переменных, описывающих элемент стержневой системы.

Использование аппарата импликативной алгебры выбора позволяет формализовать задачи модификации модели стержневой системы, основанной на введении и исключении переменных проектирования и функций состояния.

Разработанная модель пространственной стержневой системы отличается возможностью автоматического формирования как матрицы жесткости, так и систем разрешающих уравнений, описывающих линейные и угловые смещения. Используется модель области проектирования пространственных стержневых систем, метод конечных элементов, положения теории эволюционного моделирования. Модель строится следующим образом. Используется понятие области проектирования как области автоматического формирования расчетной модели конструкции. Область решения является подобластью области проектирования и рассматривается как область с дискретной структурой и переменными границами, в которой определены искомые функции и для которой могут быть найдены значения целевой функции.

В процессе эволюции или адаптации происходит изменение конфигурации области решения таким образом, что для одной или нескольких несвязанных областей достигается экстремум целевой функции. Область проектирования охватывает область решения. Дискретная модель стержневой системы строится в области проектирования, которая заполняется сеткой. Узлам сетки ставятся в соответствие соединения стержней, связям – элементы системы или стержни. Считается, что каждый стержень конструкции является отдельным дискретным элементом. При объединении отдельных элементов в систему, узловые реакции суммируются. Разрешающие уравнения строятся в глобальной системе координат, автоматически, по заданной конфигурации области проектирования и структуре исследуемой или проектируемой конструкции.

Узловые реакции $A_e^{g_U r}$ определяются как скалярное произведение матрицы-вектора составляющих узловых смещений и матрицы-вектора узловых составляющих жесткостей [4]:

$$\sum_{1}^{N_e} A_e^{g_U r} = \overline{K^{g_U r}} \cdot \overline{T^{g_U}}, \tag{3}$$

где $\overline{K^{g_U r}}$ – матрица-вектор узловых составляющих жесткостей; $\overline{T^{g_U}}$ – матрица-вектор составляющих узловых смещений; e – номер прилегающей к узлу связи, $e = 1 \ldots N_e$; N_e – количество прилегающих к узлу связей; g_U – тип узла, g_U = 1, 2, 3,4, 5; r – порядковый номер степени свободы связи; r = 1…12, где 1 соответствует смещению U узла номер один стержня по направлению X; 2 – смещению V по направлению Y; 3 – смещению W по направлению Z; 4 – углу поворота Θ_X для узла вокруг оси координат X; 5 – углу поворота Θ_Y узла вокруг оси координат Y; 6 – углу поворота Θ_Z узла вокруг оси координат Z; 7 – смещению U узла номер два стержня по направлению X и т.д.

Вводится понятие матрицы-вектора узловых составляющих жесткостей. Обычно понятие жесткости соотносится с элементом конструкции, в данном случае со стержнем. Однако поскольку вычисления производятся относительно узловых значений, то характеристики конструкции, в том числе характеристика жесткости, также приводятся к узловым значениям.

Матрица-вектор узловых составляющих жесткостей

$$\overline{K^{g_U r}} = \left[\overline{k_{(1)}^{g_U r}}, \ldots, \overline{k_{(e)}^{g_U r}}, \ldots, \overline{k_{(N_e)}^{g_U r}} \right]. \tag{4}$$

Компонент матрицы-вектора узловых составляющих жесткостей соответствует матрице-вектору составляющих жесткостей стержня:

$$\overline{k_e^{g_U r}} = \overline{K_V^{g_U er}}, \tag{5}$$

где $\overline{K_V^{g_U er}}$ – матрица-вектор составляющих жесткостей стержня, выглядит следующим образом:

$$\overline{K_V^{g_U er}} = \left[k_{V(1)}^{g_U er}, \ldots, k_{V(p)}^{g_U er}, \ldots, k_{V(N_p)}^{g_U er} \right]. \tag{6}$$

где p – номер линейного или углового смещения конца стержня, которому соответствует компонент $k_{V(p)}^{g_U er}$ матрицы-вектора составляющих жесткостей стержня, $p = 1 \ldots N_p$; N_p – количество линейных и угловых смещений в матрице-векторе составляющих смещений стержня, N_p = 12. Верхний индекс обозначает собственно вектор соответствующего подмножества, нижний, в скобках – компоненты вектора.

Компонент матрицы-вектора составляющих жесткостей стержня

$$k_{V(p)}^{g_U er} = k_{M(r,p)}^{g_U e} \cdot \alpha_{L(r)}^{g_U e}, \tag{7}$$

где $k^{g_U e}_{M(r,p)}$ – компонент вектор-строки матрицы жесткости стержня, r – номер строки, а p – номер столбца в матрице жесткости стержня, $\alpha^{g_U e}_{L(r)}$ – предикатные переменные, соответствующие выбору или наличию признака шарнирного соединения (для алгебраической формы записи $\alpha^{g_U e}_{L(r)} = 0$, если стержень под номером e закреплен шарнирно, $\alpha^{g_U e}_{L(r)} = 1$ в противном случае, $\alpha^{g_U e}_{L(r)} \in \{0,1\}$) [3].

При построении расчетной модели также учитывается следующее.

1. Связи или стержни ориентированы в пространстве произвольным образом.

2. Конфигурация стержня задается по его сечениям.

3. Предполагается, что масса примыкающих к узлу стержневых элементов сосредоточена в узлах и связь полагается безынерционной.

4. Масса узла равна половине массы прилегающих к узлу элементов.

5. Момент инерции элементов рассчитывается относительно узловых точек.

Область проектирования содержит узлы пяти типов (рис. 1, 2).

Положение узла определяется глобальными координатами *X, Y, Z* и целочисленными *I, J, K*, соответствующими их нумерации в области проектирования. К узлу первого типа примыкает 26 связей, отличающихся ориентацией в пространстве (рис. 1). Узлы первого типа находятся на пересечении плоскостей, которые делят область проектирования на подобласти. К узлу второго типа примыкает восемь связей (рис. 2). Этот узел служит промежуточным соединительным звеном узлов первого типа. На гранях подобластей располагаются узлы третьего, четвертого и пятого типов.

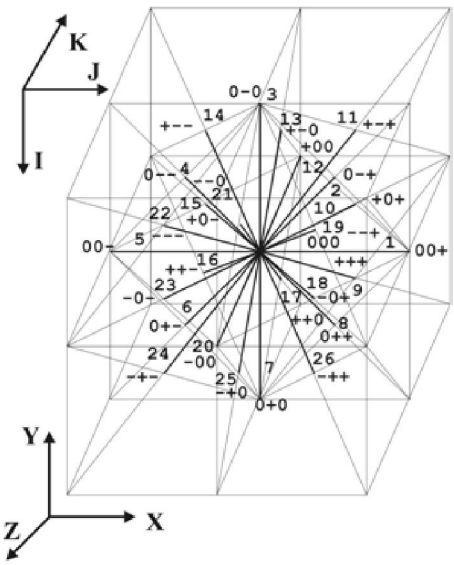


Рис. 1. Узел первого типа области проектирования

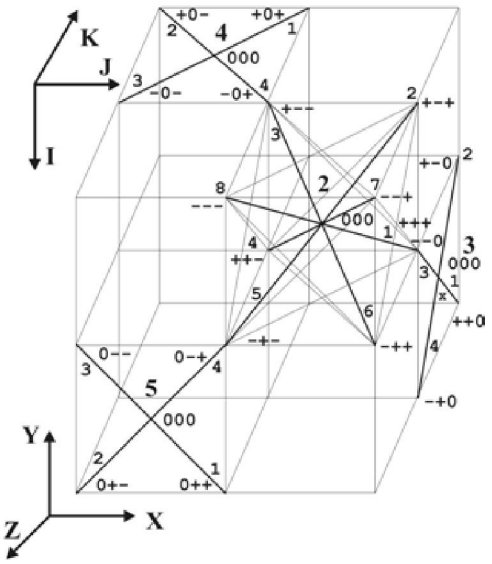


Рис. 2. Узлы второго, третьего, четвертого и пятого типов области проектирования

Для описания стержневой системы формируются массивы признаков: существования элементов; химического состава материала; формы сечения; сортамента (для сортового проката геометрические характеристики сечений хранятся в базе данных). Также формируются массивы координат узлов, узловых сил и моментов, геометрических характеристик сечений (для несортового проката), распределенных нагрузок, признаков шарнирных соединений, признаков закрепления (запрет линейных смещений и поворотов сечений). Если для какой-либо связи признак существования равен нулю, связь считается пустой, в противном случае выполняется процедура формирования матрицы жесткости элемента, которая далее используется для формирования матрицы жесткости конструкции [3, 5].

При структурной оптимизации конструкции осуществляется введение стержней или связей в область проектирования или их исключение. Для решения задач структурной оптимизации первоначально может выбираться стержневая система с избыточным количеством элементов. Введение в область проектирования новых элементов возможно при наличии свободных узлов. Слабонагруженные элементы могут быть удалены. Оптимизация осуществляется по следующим теориям прочности: энергетической, октаэдрических напряжений, предельных состояний (теории Мора). Цель оптимизации состоит в получении равнонапряженной конструкции или конструкции минимальной массы.

Система имитационного моделирования построена на основе положений теории эволюционного моделирования, что позволяет модифицировать исходную несовершенную заготовку-родителя и преобразовать ее в конструкцию-потомка с закреплением полезных признаков, таких как, например, прочность и жесткость, при снижении массы конструкции. Применяемый эволюционный подход является детерминированным. В качестве оптимальной рассматривается конструкция, которая удовлетворяет условиям работоспособности при минимуме массы и дальнейшие изменения которой не приводят к ее улучшению [5].

Решена задача определения нулевых стержней в плоской консольной ферме, которая является примером задачи оптимизации структуры конструкции [6]. Исходные данные при решении задачи оптимизации структуры консольной фермы (рис. 3): количество стержней в заготовке (шт.) – 44; масса (кг) – 14; сила F (Н) – 1000; длина консольной фермы (м) – 4,5; высота консольной фермы (м) – 0,75; размеры сечений стержней (мм) – 20 X 20; форма сечений стержней – прямоугольная; материал стержней – сталь Ст3.

Решение задачи оптимизации структуры консольной фермы было выполнено в автоматическом режиме. На рис. 4 изображена структура консольной фермы, которая была получена после выполнения третьего шага процедуры структурной оптимизации. После выполнения седьмого шага процедуры структурной оптимизации консольной фермы была получена структура конструкции, изображённая на рис. 5, которая полностью совпадает с аналитическим решением определения нулевых стержней в плоской консольной ферме, приведённым в [6]. Дальнейшее изъятие стержневых элементов из конструкции приводит к ухудшению её прочностных характеристик, поэтому структура, изображённая на рис. 5 является конечной.

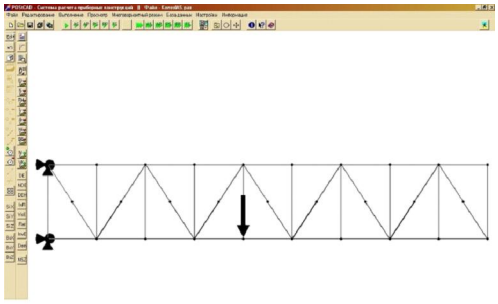


Рис. 3. Исходная структура консольной фермы

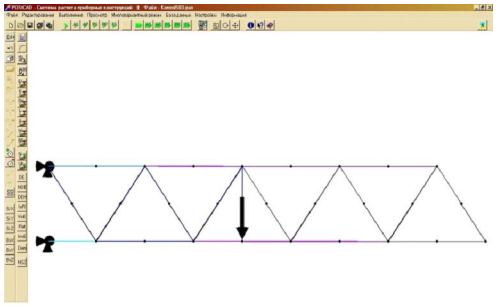


Рис. 4. Третья промежуточная структура

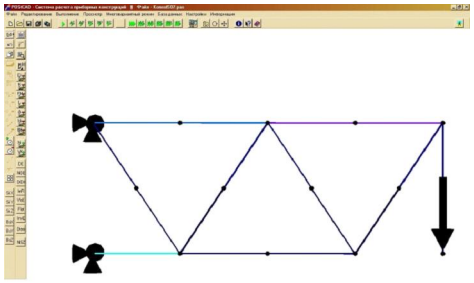


Рис. 5. Седьмая (конечная) структура консольной фермы

Результаты проведения процедуры структурной оптимизации консольной фермы: количество стержней (шт.) – 16; масса (кг) – 4,701; максимальная перегрузка (%) – 26 от допустимой; максимальный прогиб в вертикальной плоскости (%) – 0,102, (норма – 0,1 %).

Разработанная модель пространственной стержневой системы позволяет реализовать процедуры структурной и параметрической оптимизации конструкций электронной аппаратуры, рассматриваемых как стержневые, при автоматическом формировании разрешающих уравнений по описанию структуры, параметрам стержневой системы, её нагружению.

Применение аппарата импликативной алгебры выбора позволяет создать формализованное описание проектных процедур структурной и параметрической оптимизации конструкций, оптимальных при заданных эксплуатационных воздействиях. Система имитационного моделирования, построенная на основе применения аппарата импликативной алгебры выбора, моделирует поведение проектировщика в процессе проектирования. Она способна самостоятельно выполнять целенаправленное преобразование исходной заготовки в оптимальную конструкцию, обладающую, например, минимальной массой при заданных ограничениях. Разработанная система имитационного моделирования позволяет существенно снизить затраты времени и средств на проектирование конструкций электронной аппаратуры, рассматриваемых как стержневые. Решение задач оптимизации конструкций осуществляется с учетом эксплуатационных требований и конструкторско-технологических ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волгин Л.И. Непрерывная логика и ее схемотехнические применения. Пять лекций по курсу "Логические основы и модели нейронных сетей". – Ульяновск : УлГТУ, 1996.

2. Волгин Л. И., Левин В. И. Непрерывная логика. Теория и применение. – Таллинн : Изд-во Академии наук Эстонии, 1990.

3. Курносов В.Е., Покровский В.Г. Предикатная алгебра выбора в задачах проектирования нагруженных конструкций радиоаппаратуры и приборов // Проблемы исследования и проектирования машин : сборник статей Международной научно-технической конференции. – Пенза : ПДЗ, 2005. – С. 23 – 28.

4. Покровский В.Г. Математическая модель для решения задач параметрической и структурной оптимизации стержневых конструкций // Информационные технологии в проектировании и производстве: Науч.-техн. журнал / ГУП "ВИМИ". – 2000. – № 4. – С. 58 – 60.

5. Покровский В.Г. Система имитационного моделирования стержневых конструкций радиоэлектронных средств // Цифровые модели в проектировании и производстве РЭС : Межвузовский сборник научных трудов / Под ред. профессора Н.К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2005. – Вып. 12. – С. 92 – 101.

6. Рабинович И.М. Основы строительной механики стержневых систем. – М. : Госстройиздат, 1960.

УДК 519.711.3
ББК 22

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

© ***В.В. Бурков***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

© ***Е.А. Немкова***, *Пензенская государственная технологическая академия (г. Пенза, Россия)*

PROGRAM COMPLEXES FOR MODELLING PRODUCTION SYSTEMS WITH INTERVAL PARAMETERS

© ***V. V. Burkov***, *Penza State Techological Academy (Penza, Russia)*

© ***E.A. Nemkova***, *Penza State Techological Academy (Penza, Russia)*

Статья посвящена математическому моделированию производственных функций. Моделирование проводится с использованием разработанной авторами программы. Результатом моделирования являются производственные функции в интервальном виде.

Ключевые слова: математическое моделирование, интервальная неопределенность, производственные функции.

Article is devoted to mathematical modeling of production functions. Modeling is carried out with use of the program developed by authors. Result of modeling are production functions in an interval form.

Key words: mathematical modeling, interval uncertainty, production functions.

E-mail: seedragon@mail.ru , elenem58@mail.ru

В настоящее время наука накопила богатый опыт исследования различных систем с полностью определенными (детерминированными) параметрами. Однако на практике все чаще встречаются системы с неполностью определенными (недетерминированными) параметрами. Причины этого явления таковы: 1) естественная неопределенность, свойственная многим реальным процессам и системам; 2) неточное задание параметров большинства систем из-за погрешностей вычислений или измерений; 3) возникающая необходимость совместного изучения семейства однотипных систем, имеющих одинаковые функции-характеристики и различающихся лишь значениями параметров указанных функций, 4) изменение во времени параметров некоторых систем.

Исследование неопределенных производственных систем формируется в виде задач расчета, анализа и синтеза характеристик этих систем, имеющих вид тех или иных функций с недетерминированными параметрами – случайными, нечеткими, интервальными и т.д. Все эти задачи сложнее их детерминированных аналогов, что связано со значительным усложнением алгебраических операций над числами при переходе в область недетерминированных чисел. В настоящее время наиболее распространены три различных подхода к исследованию неопределенных систем: *детерминированный, вероятностный* и *нечеткий*. Все три подхода объединяет предварительная “детерминизация” параметров системы, выполняемая перед решением поставленной задачи. Однако возможен и принципиально иной, четвертый подход, когда параметры системы предварительно не детерминизируются, а решение нужной задачи проводится в ее “естественной” форме, т.е. с учетом полного множества всех возможных значений недетерминированных параметров системы. При изложении данного подхода будем считать параметры всех функций – характеристик изучаемых систем – неопределенностями интервального типа, потому что интервальные оценки неизвестных параметров систем наиболее просты и доступны для получения.

Математическим аппаратом для решения поставленных задач была выбрана интервальная алгебра. Основные правила для элементарных алгебраических функций таковы: сложение, вычитание, умножение, деление, которые выполняются в следующем виде [1]:

$$[x_1, x_2] + [y_1, y_2] = [x_1 + y_1,\ x_2 + y_2],\ [x_1, x_2] - [y_1, y_2] = [x_1 - y_2,\ x_2 - y_1],$$

$$k[x_1, x_2] = \begin{cases} [kx_1,\ kx_2],\ k \geq 0, \\ [kx_2,\ kx_1],\ k < 0, \end{cases}$$

$$[x_1, x_2] \cdot [y_1, y_2] = [\min_{i,j}(x_i y_j),\ \max_{i,j}(x_i y_j)],$$

$$[x_1, x_2] / [y_1, y_2] = [x_1,\ x_2] \cdot [1/y_2,\ 1/y_1],$$

где $[x_1, x_2]$ – интервал возможных значений, x_1 – нижняя граница интервала, x_2 – верхняя граница интервала.

С учетом поставленных задач можно сформировать общую методику моделирования в виде следующего алгоритма, характерного для большинства задач. Данный алгоритм подразумевает выполнение следующих действий:

1) обработка исходных данных, которая заключается в формировании целостных непротиворечивых сведений о моделируемом процессе или объекте на основе полученных данных и выборе данных, позволяющих получить наиболее адекватные результаты;

2) подготовка исходных данных, которая включает в себя структурирование полученной информации и представление ее в наиболее приемлемом для решения задачи виде (матрица, стеки, очереди, списки, массивы);

3) выбор алгоритма решения подразумевает выбор наиболее приемлемого алгоритма для решения данной конкретной задачи;

4) решение задачи;

5) контроль полученных результатов необходим для проверки адекватности полученных результатов моделирования. При выполнении этого действия могут использоваться как исходные данные, полученные на первом этапе, так и различные математические алгоритмы оценки точности решения. Контроль может осуществляться как полностью автоматически, так и под контролем оператора программной системы. В случае непрохождения контроля задача отправляется на повторное решение, включающее в себя корректировку алгоритма, если это необходимо. Если контроль пройден, то результаты сохраняются.

Реализация разработанной методики моделирования предъявляет к программному комплексу следующие требования:

1) нативное выполнение операций над интервальными величинами (сложение, вычитание, деление, умножение);

2) полный контроль над получаемыми интервальными величинами как при выполнении математических операций, так и при вычислении функций;

3) работа с массивами интервалов;

4) возможность сохранения результатов моделирования (как конечных, так и промежуточных) и исходных данных моделирования;

5) получение выборки как исходных данных, так и промежуточных данных по определенным условиям;

6) возможность интеграции с другими приложениями;

7) широкие возможности по визуализации результатов моделирования;

8) возможность дальнейшей модификации и развития функциональности.

Установленные требования к программному комплексу довольно сложны и противоречивы. В таких условиях выбор подходящей парадигмы про-

граммирования является довольно важным фактором, влияющим как на скорость реализации программного решения, так и на дальнейшее его развитие. Парадигма программирования не только определяет набор приемов программирования, но и устанавливает саму концепцию построения программы и подходы к решению задачи программным способом. Удобнее всего реализовывать перечисленные требования к программному комплексу при условии построения последнего с применением парадигмы объектно-ориентированного программирования. Требование нативности операций в таком случае выполнено за счет переопределения математических операций над членами класса. На конструктор класса в таком случае возложена функция контроля правильности интервала. Оперирование массивами интервалов при необходимости выполнено за счет выделения массива интервалов в отдельный программный класс с последующим переопределением операций. Функции сохранения результатов вычислений и графической визуализации реализуются при помощи встроенных библиотек и функций работы с графикой и файлами. Интеграция с математическими пакетами осуществлена при помощи механизма OLE.

В соответствии с вышеопределенными требованиями была разработана структура программного комплекса. Программный комплекс представляет собой четыре взаимосвязанные компоненты: ядро комплекса, выполняющее основные математические операции и вычисление базовых математических функций; модули, решающие задачи интервальными методами и использующие функции ядра; модули, реализующие операции с базой данных (запись, чтение и выборку по условию запроса); модули, визуализирующие результат.

Согласно разработанной структуре модули имеют сильную взаимную интеграцию, за счет чего увеличивается функциональность комплекса.

Рис. 1. Структура программного комплекса

Исходя из установленных требований и выбранного языка программирования, в качестве интерфейса пользователя был выбран вариант консольного приложения. Структура программного комплекса в таком случае может быть определена следующим образом (рис. 1).

Противоречивость требований к комплексу программ обуславливает выбор среды программирования как одно из важнейших условий успешного решения поставленной задачи. Применение таких систем, как Microsoft Visual Studio или Borland Delphi [2] позволяет выполнить программу как самостоятельное приложение, но соблюдение последнего требования в таком случае будет весьма затруднительно. Такие математические пакеты прикладных программ, как Mathcad, Maple, Mathematica имеют широкий набор математических функций и широкий набор встроенных средств графической визуализации [3] .

Необходимо помнить, что для реализации программного комплекса необходим язык программирования, допускающий объектно-ориентированный подход, переопределение операций и обладающий библиотеками графических функций. Из языков общего назначения сюда можно отнести C++, C#, Python, Vala, D и т. д. Кроме перечисленных языков общего назначения, существует целый ряд специализированных скриптовых языков программирования или, как их еще называют, языков пакетной обработки. Работа с программой на таком языке осуществляется в консоли при помощи специального программного интерпретатора. Применение скриптовых языков для решения данной задачи более целесообразно, так как это позволит сделать модули программного комплекса открытыми, а также позволит сократить сроки разработки за счет отказа от графического интерфейса. К скриптовым языкам относятся Python, Ruby, Perl, Matlab, Octave и т. д.

Выполнение всех вышеуказанных условий возможно только при использовании систем с открытым программным кодом, но при этом среда разработки должна обладать широким набором функций, позволяющих решать задачи математического анализа. Обобщая вышеизложенное можно заключить, что самым удобным вариантом является система с открытым кодом, имеющая в своем составе язык, ориентированный на математическое моделирование. Анализ показал, что в наиболее полной мере указанным требованиям отвечает пакет прикладных программ Matlab [3] или его свободно распространяемый аналог Octave. Он универсален, обладает широким набором функций, выпускается для различных операционных систем, гибок, имеет собственный язык программирования, ориентированный на работу с матрицами. Включает большой набор математических функций, допускает интеграцию с Microsoft Word и Excel. Matlab имеет большие возможности для графической визуализации результатов и дальнейшего расширения функциональности, позволяет создавать встроенные приложения с графическим интерфейсом, имеет средства для интеграции с базами данных. Также Matlab позволяет конвертировать программный код из собственного языка в язык C++, что дает возможность при необходимости выполнить программу как самостоятельное приложение и разрабатывать програм-

мы для встраиваемых систем, что полезно для дальнейшего внедрения программного комплекса на практике.

Результатом моделирования производственных систем является производственная функция, представленная в интервальном виде. Графическое изображение двухфакторной линейной функции в интервальном виде представляет собой две плоскости (рис. 2), а визуальное изображение интервальной двухфакторной функции Кобба – Дугласа – две поверхности (рис. 3).

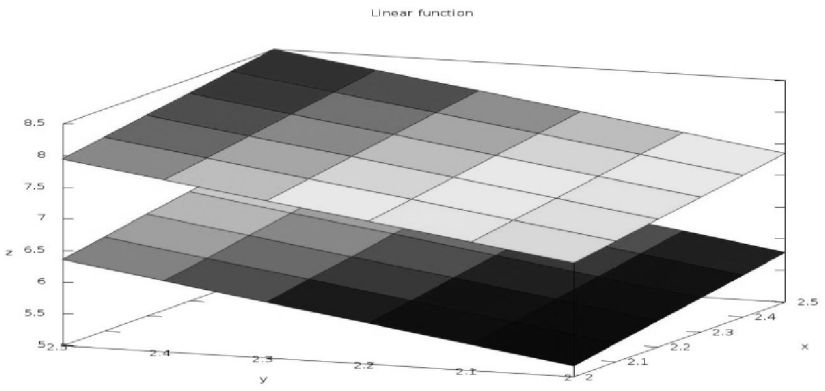


Рис. 2. Линейная двухфакторная производственная функция

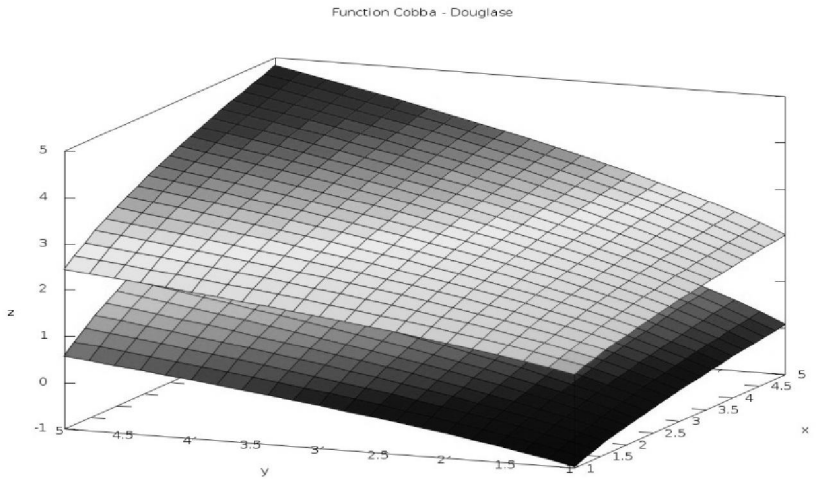


Рис. 3. Интервальная двухфакторная производственная функция Кобба – Дугласа

Разработанная программа позволяет получить интервальные производственные функции для планирования и прогнозирования производственных систем в зависимости от входных интервальных параметров. Её достоинство – ориентировка получаемого решения на всё множество возможных значений параметров изучаемой системы внутри их областей неопределенности, недостаток – несколько более сложная интерпретация решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин В.И. Упрощенная методика оптимизации систем в условиях интервальной неопределенности // Информационные технологии. – 2012. – № 4. – С. 17 – 22.

2. Подкур М.Л., Подкур, П.Н., Смоленцев Н.К. Программирование в среде Borland C++ Builder с математическими библиотеками MATLAB. – М. : ДМК Пресс, 2006. – 496 с.

3. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, MATLAB 7, Maple. – М. : НТ Пресс, 2006. – 496 с.

4. Цисарь И.Ф. MATLAB Simulink. Компьютерное моделирование экономики. – М. : Солон-Пресс, 2008. – 256 с.

КРИТЕРИИ ОТНЕСЕНИЯ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ К ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ

© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия", Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, академик РАЕ

E-mail: iis@pgta.ru

ОБ ИЗМЕРЕНИИ МГНОВЕННОГО И СРЕДНЕГО ЗНАЧЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

© **А.Б. Андреев**, к.т.н., доцент, профессор, проректор по учебной работе ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: andreev@pgta.ru

НЕЧЕТКАЯ МОДИФИКАЦИЯ КОЛЛЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ БИОМЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

© **Е.А. Шамин**, инженер кафедры "Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

© **Т.В. Истомина**, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой "Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: pochtayashik@mail.ru

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ МАСШТАБНО-РАКУРСНЫХ ИСКАЖЕНИЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **Н.А. Кочкин**, помощник генерального директора ОАО "Центральный научно-исследовательский институт "Циклон"", г. Москва

E-mail: bak-1960@mail.ru

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ

© **В.А. Кочкин**, к.т.н., доцент, начальник лаборатории ФГУП "НПО Астрофизика", г. Москва

E-mail: bak-1960@mail.ru

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ИЗ АЭРОФОТОСНИМКОВ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

© **А.В. Бурмистров**, ассистент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: bidika@pgta.ru

© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия", Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, академик РАЕ
E-mail: iis@pgta.ru

ВЫБОР СИСТЕМЫ ЦВЕТОВОГО КОДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ ЕГО ЦВЕТА

© **И.Р. Двойной**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: IlyaDvoinoi@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **Н.Г. Федотов**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Экономическая кибернетика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет", академик РАЕН
E-mail: fedotov@pnzgu.ru
© **Д.А. Голдуева**, к.т.н., доцент кафедры "Экономическая кибернетика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
© **Т.А. Богоносцева**, аспирант 2 года обучения ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
© **А.Г. Фахретдинов**, аспирант ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

© **В.С. Редькин**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: rvsob@yandex.ru
© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия", Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, академик РАЕ
E-mail: iis@pgta.ru

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ

© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия", Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, академик РАЕ
E-mail: iis@pgta.ru

СТРУКТУРА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ОБЪЕКТИВНОМУ ВЫБОРУ СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия", Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, академик РАЕ

E-mail: iis@pgta.ru

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНАЛА

© **О.С. Литвинская**, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: los@pgta.ru

СТРУКТУРА ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

© **Ю.А. Башвеев**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: ve4eq@yandex.ru

© **О.С. Литвинская**, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: los@pgta.ru

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

© **И.Г. Турыгин**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: tigseir@yandex.ru

© **О.С. Литвинская**, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: los@pgta.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

© **В.А. Егоров**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: Egorov-Vl@inbox.ru
© **В.О. Дунин**, Пензенская государственная технологическая академия
E-mail: DuninV@gmail.com
© **Т.В. Истомина**, д.т.н., профессор, заведующая кафедрой "Информационные технологии и менеджмент в медицинских и биотехнических системах" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: istom@mail.ru

ВОПРОСЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

© **М.Ю. Бабич**, д.т.н., начальник отдела ОАО "НПП "Рубин", г. Пенза

ВОЗМОЖНОСТИ ПАССИВНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ В ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА

© **В.А. Борисов**, старший преподаватель кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: grommit@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЧАСТОТНЫХ РАДИОЛУЧЕВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ

© **Е.А. Данилов**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: h3ker@narod.ru
© **И.И. Сальников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия", Почетный радист РФ, Почетный работник высшего образования, академик РАЕ
E-mail: iis@pgta.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ WI-FI В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕСТНОСТИ И ВИДА МОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА

© **А.Е. Дудров**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: anti_sd@mail.ru
© **О.С. Литвинская**, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: los@pgta.ru

ДИФРАКЦИОННЫЕ И ДИФРАКЦИОННО-РЕФРАКЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ФОКУСИРОВКИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© **Г.И. Грейсух**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой физики Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
E-mail: grey@ pguas.ru
© **Е.Г. Ежов**, д.ф.-м.н., профессор кафедры "Информационные системы и компьютерное моделирование" Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
© **С.В. Казин**, аспирант Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
© **С.А. Степанов**, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой АСУ Пензенского государственного университета архитектуры и строительства
E-mail: asut@pguas.ru

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИХ БЕСПРОВОДНЫХ СТАНДАРТОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

© **М.Н. Шмокин**, доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: ShMNpenza@mail.ru
© **Е.В. Грачева**, доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: Gracheva1964@mail.ru
© **В.А. Сулов**, студент специальности 230101 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: shagron_88@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

© **В.С. Чайковский**, аспирант ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
E-mail: rtech@pnzgu.ru

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ НА ПЛИС

© **И.В. Ушенина**, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: ivl23@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРОВ ЗАДАЧ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ НА МОДЕЛЯХ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

© **А.И. Мартышкин**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.18 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: Alexey314@yandex.ru

ПРИНЦИПЫ ФАЗОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В УСТРОЙСТВАХ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

© **В.А. Чулков**, д.т.н., профессор кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: chu@pgta.ru
© **С.А. Нестеренко**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: zdvv@bk.ru
© **И.В. Димов**, аспирант 3 года обучения по специальности 05.13.17 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: ivan3d@list.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ВЕЛИЧИН

© **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 "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: zvv@pgta.ru

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЦЕН В ПЕРЦЕПТИВНОЙ ПЕРСПЕКТИВЕ СРЕДСТВАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ

© **А.В. Кадомцев**, аспирант 1 года обучения кафедры "Информационные вычислительные системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
© **Ю.Н. Косников**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой "Информационные вычислительные системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
E-mail: kosnikov@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ B-СПЛАЙНОВ

© **В.С. Власов**, инженер-программист кафедры "Информационные вычислительные системы" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет"
E-mail: falconvvs@mail.ru

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ИТ-КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

© **С.Г. Митрошин**, программист-консультант компании "ЭЛСОФТ"
E-mail: mitroshin.pnz@gmail.com

© **В.В. Пикулин**, к.т.н., доцент, профессор кафедры "Прикладная информатика" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: pvv@pgta.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ ВУЗА

© **Т.В. Андреева**, старший преподаватель кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: atv@pgta.ru
© **В.А. Чулков**, д.т.н., профессор кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: chu@pgta.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ МЕДИЦИНСКИХ ПРЕПАРАТОВ В СИСТЕМЕ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

© **Е.Г. Бершадская**, к.т.н., доцент, профессор кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: bereg@pgta.ru
© **Н.С. Соколов**, аспирант 2 года обучения по специальности 05.13.18 ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИНТЕЗА КОНСТРУКЦИЙ ПО ЗАДАННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

© **Т.В. Андреева**, старший преподаватель кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: atv@pgta.ru
© **В.Е. Курносов**, д.т.н., профессор кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: kurve@pgta.ru

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ДИСКРЕТНЫХ МОДЕЛЕЙ

© **В.Г. Покровский**, к.т.н., доцент кафедры "Вычислительные машины и системы" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"
E-mail: svg0106@mail.ru

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ С ИНТЕРВАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

© **В.В. Бурков**, к.т.н., доцент кафедры "Автоматизация и управление" ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: seedragon@mail.ru

© **Е.А. Немкова**, ФГБОУ ВПО "Пензенская государственная технологическая академия"

E-mail: elenem58@mail.ru

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего *плюс*

Научное периодическое издание

Серия: Технические науки. Информационные технологии

ISSN 2221-951X

9 772221 951003

Редактор Л.Ю. Горюнова
Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Н.Н. Зосимовой

Сдано в производство . Формат 60x84 $^{1}/_{16}$
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.
Усл. печ. л. , . Уч.-изд. л. , . Заказ № . Тираж .

Пензенская государственная технологическая академия.
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1^{а}/11.