МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ISSN 2221-951X

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего*плюс*

Периодическое научное издание

Серия: «Технические науки. Информационные технологии»

03(19)/2014

Пенза
ПензГТУ
2014

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ

ЖУРНАЛ

«XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс» : Периодическое научное издание. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2014. – №03(19). – 208 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© Пензенский государственный технологический университет, 2014

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

ISSN 2221-951X

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

"XXI century: Resumes of the Past and Challenges of the Present$_{plus}$"

Scientific Periodical

Series: Engineering Sciences. Information Technologies

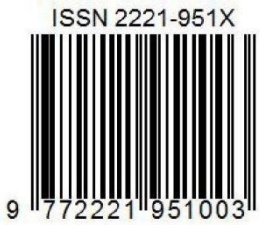
03(19)/2014

Penza
PenzSTU
2014

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL JOURNAL

«XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus». Scientific periodical. – Penza: PenzSTU Publishing House, 2014. – № 03(19). – 208 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© Penza State Technological University, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА 11
© И.И.Сальников, *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗВИТИИ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКАНА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ 16
© И.И. Сальников, *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЕ СОКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ 25
*© **Е. М.Боброва** Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

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

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЧНОГО АНАЛИЗА 29
© И.И. Сальников, *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ 42
© А.В. Бурмистров, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© И.И. Сальников, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА СЛОЖНОМ НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ 46
© ***В.А.Кочкин***,*ЗАО «Космические информационные аналитические системы» (Москва, Россия)*

АДАПТИВНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СЛОЖНОМ НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ 55
© ***Н.А.Кочкин,*** *ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «Циклон» (г. Москва, Россия)*

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМА ОДНОКАНАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПОИСКА ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 63
© ***К.Е. Румянцев***, *Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)*
© ***Л.А. Албогачиева***, *Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова (г. Грозный, Россия)*

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПОИСКА ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ОДНОКАНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ 71
© ***К.Е. Румянцев***, *Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)*
© ***К.Б.Баматгиреева***, *Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова (г. Грозный, Россия)*

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 3D ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ 78
© ***Н.Г. Федотов,****Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*
© ***А.А. Сёмов,****Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СВОЙСТВ 3D ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ 84
© ***А.А. Сёмов,****Пензенский государственный университет (г. Пенза, Россия)*

МЕТОДЫ РАЗМЕРНОЙ СЕЛЕКЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 90
© ***И.И.Сальников,*** *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

АЛГОРИТМ ТРАНСФОРМАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА 97
© Т.В.Истомина, О.А.Мещеряков *Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ 102
*© **И.Г.Турыгин,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО РОЕВОГО АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ *NP*-ПОЛНЫХ ЗАДАЧ 110
*© **А.А. Юрлов**, Пензенский государственный технологический университет(г. Пенза, Россия)*
*© **Л.И. Федосеева**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ АГЕНТОВ В КОНТУРЕ НЕСКОЛЬКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 116
*© **М.Ю. Бабич**, ОАО "НПП "Рубин" (г. Пенза, Россия)*

ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕРВИСОВ В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ 120
***Е.Г. Бершадская,** Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*
***В.А. Володин,** Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*
***Д.И. Маркин,** Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОДЕТЕКТОРА ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА 123
*© **В.А. Борисов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ 126
*© **С.Ю. Костенков**,Пензенский государственный технологическийуниверситет(г. Пенза, Россия)*
*© **М.А. Сидорова**,Пензенский государственный технологическийуниверситет(г. Пенза, Россия)*
*© **Д.С. Осипов**,Пензенский государственный технологическийуниверситет(г. Пенза, Россия)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ ПИКСЕЛЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИ ПРИ СЛЕЖЕНИИ ЗА ДВИЖУЩИМСЯ ОБЪЕКТОМ В ВИДЕОПОТОКЕ 133
*© **И.В. Шувалова,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
*© **О.С. Литвинская,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИОРИТЕТНОГО ПОТОКА ЗАЯВОК В МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ С ОБЩИМ ДИСПЕТЧЕРОМ ЗАДАЧ ПО КАЖДОМУ КОНКРЕТНОМУ ТИПУ ПРИОРИТЕТА 138
*© **А. И. Мартышкин**, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*
*© **Р. А. Бикташев**, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*
*© **А. А. Воронцов**, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*

РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ДИСПЕТЧЕРОМ ЗАДАЧ СО СТРАТЕГИЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ И БЕСПРИОРИТЕТНОЙ ДИСЦИПЛИНОЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ 146
*© **А. И. Мартышкин**, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХАРАРТЕРИСТИК КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 152
© ***И.В. Димов***, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ В СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ В СОСТОЯНИИ НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТИ 158
© ***А.В.Мускатиньев,*** *Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева (г. Саранск, Россия)*
©***А.А.Мускатиньев,*** *Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарева (г. Саранск, Россия)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ИНТЕГРИРУЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СРЕДНЕВЫПРЯМЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН 165
© ***А.Б. Андреев,*** *Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО АНАЛИЗА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ РАПИД 170
© ***И.И.Сальников,*** *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СВОБОДНЫХ ФОРМ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИАЛЬНЫХ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ 177
Ю.Н. Косников**,** *Пензенский государственный университет (г.Пенза, Россия)*

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ТЕСТА ЧОУ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗЫ О СТРУКТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ТРЕНДА 184
© ***О.В. Прокофьев****, Финансовый университет при Правительстве РФ,филиал в г.Пензе (г.Пенза, Россия)*
© ***А.Е. Савочкин***, *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОХРАНЫИ ЕЕ КОМПОНЕНТОВ 190
*© **М.Н. Шмокин,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
*© **В.А. Сулов,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ УЗЛА ДОСТУПА К ТЕЛЕМАТИЧЕСКИМ УСЛУГАМ СВЯЗИ В ВУЗЕ 197
*© **С.В.Печерский**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
*© **Н.С.Печерская**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

УСТРОЙСТВО ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ПУТИ ГАШЕНИЯ В СИСТЕМЕ АКТИВНОГО ПОДАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА 201
*© **И.В. Ушенина,** Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ T-FLEX CAD 205
*© **Д.С. Присяжный**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
*© **В. В. Волков,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ. ОБРАБОТКА, ХРАНЕНИЕ И ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ

ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

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

DRIVING FORCE DEVELOPMENT FUNDS INFORMATION NEEDS RIGHTS

© ***I.I.Salnikov,*** *Penza State TechnologicalUniversity (Penza, Russia)*

В статье обсуждается вопрос развития средств удовлетворения информационных потребностей человека. Показано, что движущими силами этого процесса являются эвристические способности человека и уровень технологии производства интегральных схем.

Ключевые слова:информационные потребности человека, эвристика, интегральные схемы

The article discusses the development of the means to meet the information needs of the person. It is shown that the driving forces of this process are heuristic abilities of the person and the level of technology of production of integrated circuits.

Keywords: information needs of man, heuristics, integrated circuits

В работе [1]показано, что наряду с самыми разнообразнымипотребностями человека существует *информационная потребность*, которая заключается в необходимости для человека:

– обмениваться информацией с себе подобными;
– запоминать информацию в виде слуховых, зрительных образов;
– сохранять информацию на каких-либо носителях;
– создавать информацию в виде звуковых и созерцательных образов;
– извлекать информацию об удаленных объектах;
– формировать информацию о своем пространственном положении;
– познавать закономерности окружающего мира;
– создавать программы, устройства, системы для решения информационных задач.

Как видно из приведенного перечня виды информационной потребности человека (ИПЧ)представляют широкий спектрвзаимодействия человека и источников информации.

В [2] были рассмотрены исторические аспекты развития средств реализации ИПЧ. Под идеей развития средств удовлетворения информационной потребности человека удалось объединить такие важные явления как язык, письменность, книгопечатание, телеграф, телефон, радиосвязь, телевидение, радио-

локация, вычислительная техника, спутниковые глобальные системы навигации, сотовая радиосвязь и интернет.

В данной работе предполагается проанализироватьпобудительные причины развития информационныхсредств ИПЧ, движущие силы этого развития. К движущим силамследует отнести две основныекатегории – это *эвристические способности человека*, заключающиеся в принятии решений на основе либо нечеткой информации, либо на основе догадок. Другойдвижущей силойявляется *уровень элементной базы* информационных технических систем (ИТС), который определяет *информационную производительность* функциональных преобразователей, являющихся основой средств удовлетворения ИПЧ.

1. Эвристические способности человека.

Являютсяоднимиз самых яркихпроявлений его **интеллекта** и заключаются в способности человека к научному исследованию, в котором можно выделить 3 основных аспекта:

–регистрация и анализ фактов, событий, то есть информации о каком либо явлениив окружающем мире;

–формирование модели наблюдаемого явления, когда отбрасываются все несущественные детали, а используются для моделирования существенные факты, предметы и свойства;

–анализ построенной модели и определение закономерностей, формулирование законов с использованием эвристических способностей человека, позволяющих обоснованно находить причину тех, или иных явлений.

Эвристические способности человека проявляются наэтапе *принятия-решения*,который является основополагающим в мыслительной деятельности человека, является сутью интеллекта человека.

Принятие решение включает в себя несколько подходов, которые включаются в *методологию принятия решений* как науки, изучающей методы принятия решений при интеллектуальной деятельности человека.

Выделимследующие методыпринятия решений при мыслительной деятельности человека:

– *алгоритмический метод*, когда используются известные законы и детерминированные условия получения и преобразования информации;

– *метод выдвижения и проверки гипотез*, когда имеются закономерности, частично описывающие происходящие события. В этом случае по полученным исходным данным выдвигается гипотеза о результате, выполняется проверка гипотезы с использованием существующихзакономерностейна сопутствующих условиях, и, если наблюдается совпадение, то гипотеза принимается за решение;в противном случае – отвергается;

– *эвристический метод,* когда отсутствуютзаконы и закономерности и требуется их выявить и сформулировать.При этом используются догадки, которые свойственны интеллекту человека, и,которыекладутся в основу законов и закономерностей.

Найденные законы и закономерности используются в дальнейшем в практических целях.

2. Уровень элементной базы.

Элементная база ИТС, как основа информационных технологий,прошла этапы развития, основываясь на самых различных *материальных средствах*. Отметим основные из них в связи со средствами удовлетворения ИПЧ, которые подробно рассмотрены в [1,2]:

– письменность, книгопечатание, газета – это глиняные дощечки, береста, бумага;
– телеграф, телефон – это реле, источники электрического тока, металлические провода;
– радио – это электротехнические средства возбуждения и приема электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве;
–телевидение – это электронно-лучевые трубки для передачи и приема по проводам электрических сигналов, формирующих на экране движущееся изображение;
– радиолокация – это генераторы мощных высокочастотных электрических колебаний; в начале своего развития на электронных лампах, а также сложные антенные устройства, формирующие направленное излучение в сторону неизвестного объекта.
– радиосвязь – это чувствительные радиоприемные устройства, сначала на электронных лампах, затем на транзисторах;
– вычислительная техника – это релейные схемы в начале своего развития, затем электронные лампы и твердотельные транзисторы, и, наконец, интегральные схемы (конец 60-х годов прошлого столетия).

Из этого краткого перечня видно, как усложнялась элементная база средств удовлетворения ИПЧ.

В настоящее время наблюдается процесс широкого использования *интегральных схем* (ИС) практически во всех средствах реализации ИПЧ, приведенных выше. *Интегральные схемы* в настоящее время являются доминирующей элементной базой, от уровня технологии производства которых напрямую зависятперспективы развития информационных технологий.

Следует отметить две тенденции в развитии ИС – *уменьшениеразмеров транзистора* как базового элемента ИС, а также *увеличение размера кристалла* кремния, на котором с помощью различных технологических приемов формируютсятранзисторы как активные элементы и связи между ними. Официальной датой появления первого транзистора считается 23 декабря 1947 года. Авторами этого замечательного изобретения стали американские физики У.Шокли, Дж.Бардин и У.Браттейн.В июле 1948 года информация об этом изобретении появилась в журнале «*The Physical Review*». За эту разработкуамериканские исследователи были удостоены Нобелевской премии в области физики в 1956 году [3].

Начиная с 1947 г. в СССР интенсивно велись работы в области полупроводниковых усилителей – в ЦНИИ-108 (лаб. С. Г. Калашникова) и в НИИ-160 (НИИ «Исток», г.Фрязино, лаб. А. В. Красилова). 15 ноября 1948 года, то есть на 4 месяца позже чем американцы, в журнале «Вестник информации» А.В. Красилов опубликовал статью, посвященную описанию полупроводникового прибора с использованием *p-n*-переходов.Таким образом, первый советский транзистор в СССР был создан независимо от работ американских учёных [4].

Отличительной особенностью советских разработок в области полупроводниковой техники на начальном этапе было использование германия *Ge*, тогда как американские физики использовали кремний *Si*.

а)б)в)

Рис. 1.Первые советские транзисторы П1А (а), П3А (б) и П2Б (в)

Транзистор является базовым элементом вычислительной техники, параметры которого – размеры и быстродействие переключения, являются основными и определяющими для информационной производительности средств ВТ. Начиная с изобретения транзистора, ведущие производители полупроводниковых элементовведут непрерывные исследования с целью уменьшения размеров транзистора, и, как следствие, увеличения числа транзисторов на кристалле. При этомобязательно преследуется цель уменьшения времени переключения транзистора.

В [5] отмечается, что ведущий производитель процессоров для вычислительной техники фирма *Intel* каждые 2 года совершенствует технологический процесс и уменьшает линейные размеры транзисторов:в 2003 г. они составили 90 нм; в 2005 г. – 65 нм; 2007 г. – 45 нм;2009 г. – 32 нм;2011г. – 22 нм. В настоящее время осуществляетсяпереход на 20-нанометровую и далее на 15-нанометровую технологию.В этой связи,метод фотолитографии, основанный на использованиифотошаблонов, исчерпал себя. Отметим, что длина волны ультрафиолетовой части оптического спектра электромагнитных волн составляет 400 нм. Разработчики технологического процесса производства ИС находят все новые решения и новые материалы, одними из которых являются *углеродные нанотрубки*.

Важным направлением развития производительности технологических процессов изготовления ИС является увеличение размеров пластинкремния. Если в конце XX века использовались пластиныдиаметром 100 мм, то в настоящее времяиспользуются пластиныдиаметром 300 мм. При этом специалисты фирмы *Intel* работают над переходом к использованию в производстве 450-мм пластин кремния [5].

На рисунке 2, взятом из [6], представлена диаграммаувеличения числа транзисторов в процессорах, выпускаемых фирмой *Intel*. Из этих данных следует, что число транзисторов в процессорах растет по параболе. При этом специалисты обращают внимание на эмпирический *закон Мура*, который в 1965 г. сформулировал сотрудник*Intel* Гордон Мур, и который гласит, что *число транзисторов в ИС удваивается каждые 2 года*.

Есть ли предел уменьшению размеров транзистора?Специалисты говорят – *да*!При переходе на 5-нанометровую технологию начнут проявляться законы квантовой механики, когда электроны начнут в соответствии с «туннельным эффектом» неконтролируемо проникать сквозь затвор транзистора, изме-

няя его логическое состояние. В перспективе специалисты видят использование углеродныхнанотрубок,а также переход на квантовые компьютеры.

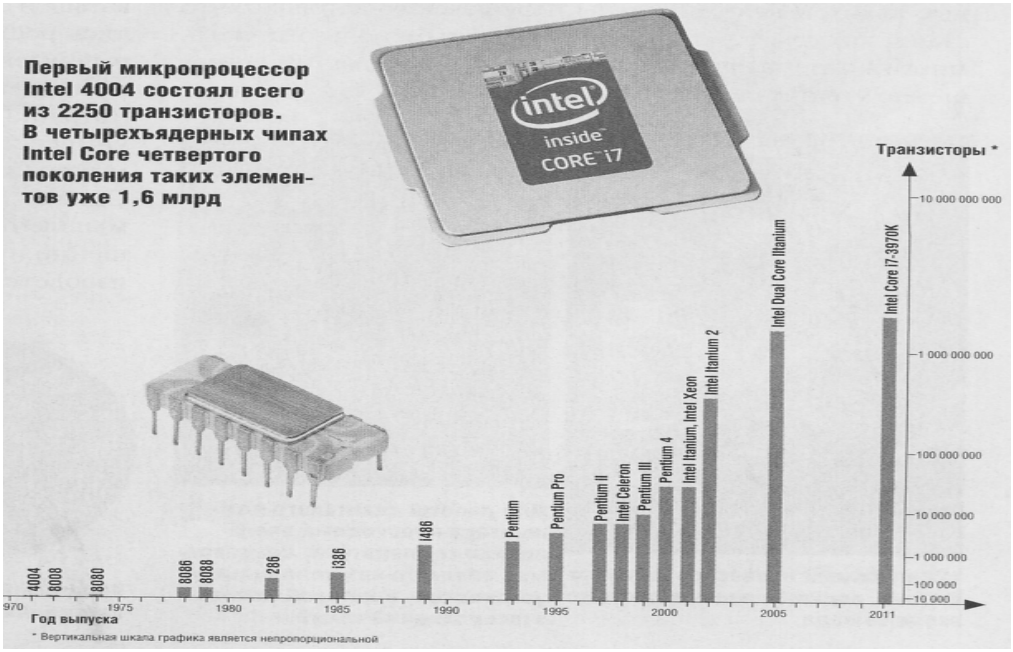


Рис. 2.Число транзисторов в процессорах, выпускаемых фирмой Intel

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. М.: Физматлит, 2011. – 252 с.*
2. *Сальников И.И.Этапы развития средств реализации информационной потребности человека. // Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего - плюс». Серия технические науки. Информационные технологии. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.технол.ун-та, №03(03), 2011.- С.10-18.*
3. *http:// hardwareguide.ru/other/tranzistor/.*
4. *http://statehistory.ru/1320/Razrabotka-pervykh-tranzistorov-v-SSSR/.*
5. *Intel: мнение лидера. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 11, 2013. – С.125.*
6. *После кремния: электроника будущего. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 11, 2013. – С.122-123.*

УДК 004.9
ББК 34

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗВИТИИ СРЕДСТВ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

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

INTEGRATION PROCESSES IN DEVELOPMENT FUNDS IMPLEMENTATION OF INFORMATION HUMAN NECESSITIES TODAY

© ***I.I. Salnikov*****,** *Penza state technologicaluniversity (Penza, Russia)*

В работе обсуждается основная тенденция современного развития средств реализации информационных потребностей человека, которая заключаетсяв интеграции всех средств в едином индивидуальном информационном центре, обладающем всеми средствами удовлетворения информационных потребностей человека.

Ключевые слова: информация, информационные потребности человека, интеграционный процесс.

The paper discusses the main trend of development of modern means of implementing the information needs of man, which is the integration of all the information in a single individual of a center with all the facilities to meet the information needs of the person.

Key words: information, information needs of human, integration process.

Информационная потребность человека существовала и существует наряду с другими потребностями [1,2].При этомвиды информационной потребности человека (ИПЧ)представляют широкий спектрвзаимодействия человека и источников информации [3].

На рисунке 1 представлена в общем виде структурная схема развития средств удовлетворения ИПЧ. В левой колонке показаны *информационные потребности человека*, которыеявляются источниками развития технических средств.

На начальном этапе развития средств удовлетворения ИПЧ вплоть до **начала XXI века** наблюдается их *автономность* и использование самых разнообразных *материальных носителей*:

– человеческий голос (речь, сказания, песни, былины);

– бумага (письменность, почта, книги, газеты, журналы, географические карты);

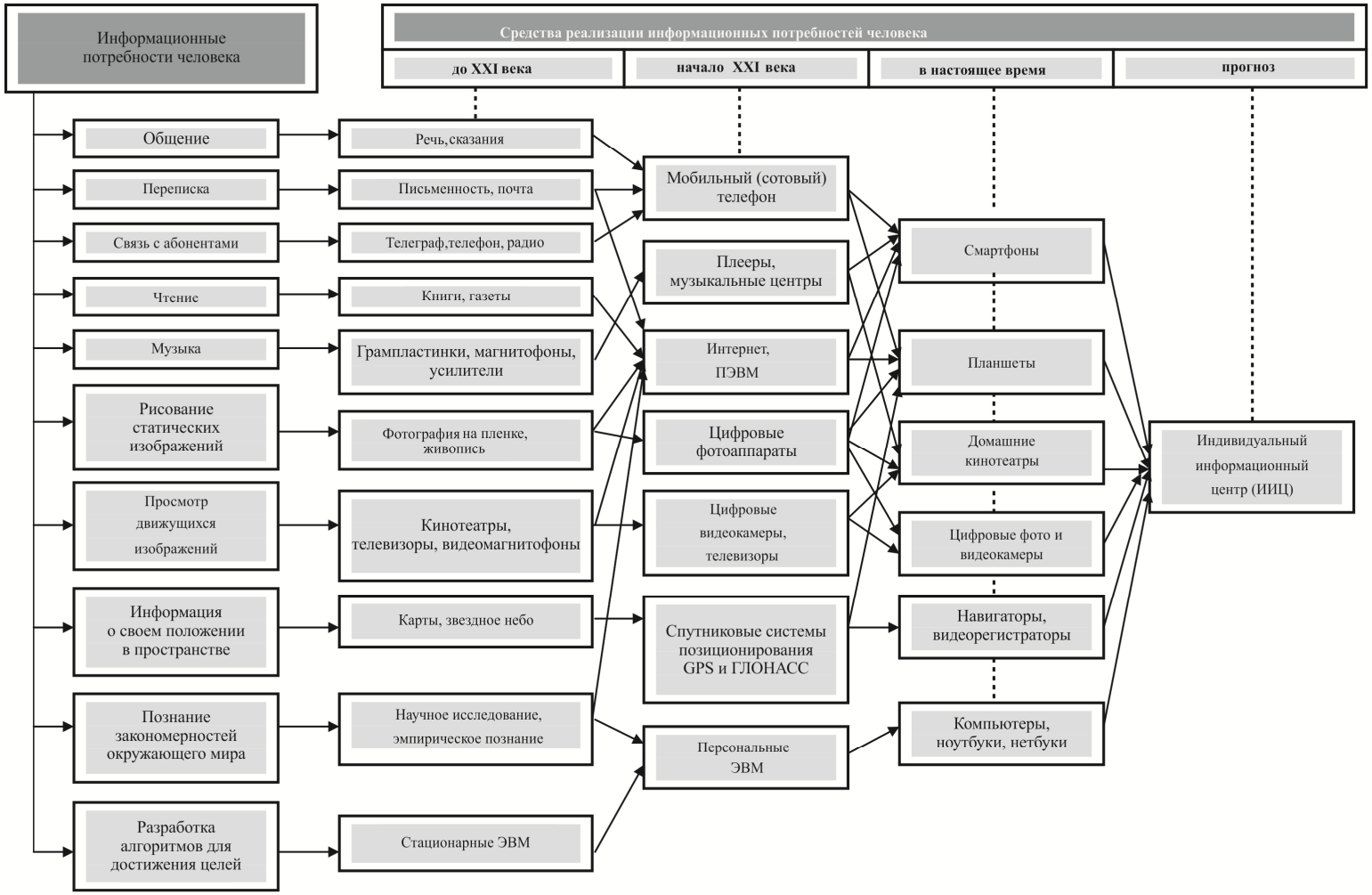


Рис. 1. Структурная схема развития средств удовлетворения информационных потребностей человека

– электрический ток, распространяющийся по проводам (телеграф, телефон);
– электромагнитные волны, распространяющиеся в свободном пространстве (радио, телевидение);
– пластиковые диски, магнитные ленты (грамзапись, магнитофоны, видеомагнитофоны);
– фотопленка, покрытая эмульсией с зернами серебра (фотография);
– краски, бумага, холст (живопись);
– кинопленка (кинотеатры);
– вычислительная техника (научные исследования, эмпирическое знание, стационарные ЭВМ).

В начале XXI века (2000-2008г.г.) наблюдается скачок в развитии информационных технологий, который был обусловлен, в первую очередь, развитием элементной базы ИТС.Здесь следует упомянуть о роли и значении микропроцессоров.Появившись в 1971г. на начальной стадии своего развития,микропроцессорыприменялисьтолько в вычислительной технике [6].В связи с непрерывным развитием технологии производства ИС появились микроконтроллеры (МК),которые стали широко использоваться в различных ИТС, особенно в бытовой технике. Встроенный МК позволял существенно расширить функциональные возможности ИТС, а существенное уменьшение размеров ИС, выполняющих функции преобразования, передачи и приема информации, привело к возможности приблизить ИТС непосредственно к пользователю. Примером может служить *мобильный* (сотовый) *телефон*, получившийширокое распространение как средство удовлетворяющее ИПЧ.

Данный этап характеризуется не только появлением более совершенных ИТС, автономно существовавших на предыдущем этапе (телевизоры, персональные ЭВМ),но и появлением совершенно *новых*, использующих новые информационные технологии. Это цифровые плееры, Интернет, цифровые фотоаппараты и видеокамеры, приемники глобального позиционирования*GPS* и ГЛОНАСС, навигаторы.

Кроме того, на данном этапе начинают проявляться *интеграционные процессы*, когда несколько функций, характеризующих разные ИПЧ, объединяются в одной ИТС, объединяя средства реализации ИПЧ, существующие раздельно на предыдущем историческом этапе. Примером может служить ПЭВМ, подключенная к Интернету. ПЭВМ с Интернетом явилось средством, котороеинтегрировало в себе целый спектр информационных возможностей – электронную почту, передачуголосовых, музыкальных, видео и изобразительных файлов, а также научной информации из всех сфер деятельности человека.

Настоящее время характеризуется развитием всех процессов, которые начались на рубеже XX-XXI веков,и о которых говорилось выше. На рисунке 2 отмечены основные ИТС, которые в настоящее время пользуются широкой популярностью у простого пользователя, – это смартфоны, планшеты, компьютеры в виде ноутбуков и нетбуков,цифровые фотокамеры, видеорегистраторы, навигаторы и домашние кинотеатры. Приведем краткий обзор технических характеристик современных ИТС – средств удовлетворения ИПЧ.

СМАРТФОНЫ – это мобильные ИТС, представляющие собой развитие мобильных телефонов и включающие в себя целый спектр потребительских функций. Это мобильная связь, интернет, цифровое фото и видео. Первые смартфоны появились в 2012 г. и были направлены на реализацию *коммуникационных возможностей* современных информационных технологий.

а) б) в)

Рис. 2.Современные смартфоны

На рисунке 2 представлены современные смартфоны различных производителей:*LGG2* (Корея) (а),*iPhone* 5 (*Apple* США) (б),*SamsungGalaxyS4* (Корея) (в).Для примера приведем **ХАРАКТЕРИСТИКИ** смартфона *SamsungGalaxyS4*[4], которые показываюткоммуникационныевозможности современных информационных технологий.

SamsungGalaxyS4(2013 г.) – 8-ядерный процессор*SoCSamsungExynos* 5 *Octa*; частота 1,8 ГГц;2 Гбайта ОЗУ;16-64 Гбайтфлеш-ПЗУ; подключение *microSD* до 64 Гбайт; операционная система *Android* 4.2.2;жидкокристалличесийдисплей*SuperAMOLED*1920×1080 мм;связь *GSMGPRS/EDGE* 850, 900, 1800, 1900 МГц; интерфейс оптической связи 4*G* - *LTECat* 3 100/50 Мбит/с —на базе *SoCQualcommSnapdragon* 600; последовательный канал связи *HSPA*+ 42 Мбит/с; для подключения наушников –*Bluetooth* 4.0, *NFC*; для беспроводного подключения к Интернету – *Wi-Fi* 802.11 *a/b/g/n/ac*;приемник глобального позиционирования *GPS*/Глонасс; фотокамера 13 Мп сразмеромкадра - 4128x3096 пикс;фронтальная фото/видеокамера 2 Мп с размером кадра 1080x306 пикс.; различные датчики – акселерометр, фотометр, цифровой компас, датчики приближения, гироскоп, барометр, термометр, гигрометр и ИК-датчик; литиево-ионный аккумулятор емкостью 2,6А·ч;размеры 136,6×69,8×7,9 мм; масса 130 г.

Закончилась ли эра мобильных телефонов? Нет! Мобильные телефоны все еще востребованы, так как гораздо дешевле и экономичнее смартфонов. А широкий спектр функциональных возможностей, который реализуется в смартфонах, не всем необходим. Примером может служить мобильные телефон *Nokia* 515 [5], который в 3 раза дешевле смартфона *SamsungGalaxyS4,* но обладает неплохими качествами: размеры 114x48x11мм; вес 103 г; экран 2,4 дюйма; фотокамера 5 Мп; кадр 2592 x 1944 пикс.; 2 СИМ-карты;проигрыватель аудио и видео; *FM*-радио.

ПЛАНШЕТЫ – это мобильные средства, предназначенные для реализации *развлекательных потребностей* человека. Основной упор в них сделан на размер экрана. При этом утвердились большие размеры экрана – 10 дюймов, то есть порядка 25 см по диагонали, а также маленькие размеры – 8 дюймов, то есть порядка 20 см по диагонали [6].Для сравнения отметим, что размер экрана для смартфонов порядка 4,5 дюйма, то есть 11,5 см по диагонали.

Рис. 3.Современные планшеты

Планшет ***iPad 4*** (***Apple***, США, 2013 г.) [7] – экран 9,7 дюймов по диагонали; 2048x1536 пикселей; 2-ядерный процессор *AppleA6X*, 1,4 ГГц; графический сопроцессор *PowerVRSGX 554MP4*, 300 МГц; флеш-память 16-64 Гбайт;1 Гбайт ОЗУ;разъем для наушников; тыловая фотокамера 5 Мп число пикселей 1920x1080;фронтальная фотокамера 1,2 Мп;для подключения интернета *Wi-Fi;* операционная система *AppleiOS 6.0.1*; поддержка *GSM 3G и 4G*;*Bluetooth* ; интерфейсы *HSUPA , HSCSD, HSPA+ , UMTS/HSDPA , EDGE*;поддержкамультимедийных форматов*AAC , WAV, MKV , MP4, MPEG-4, H.264*; датчики –акселерометр, гироскоп, *GPS* , компас, датчик освещенности; выход аудио/наушники; встроенные динамики, встроенный микрофон; сенсорный экран;габариты 241,2×185,7×9,4 мм; масса 652 г.

Сравнивая технические характеристики *смартфонов и планшетов* можно сказать, что в плане информационных возможностей принципиальных различий между ними в основном нет.Единственное важное отличие – размер экрана. Если пользователю важны развлекательные функции, то следует выбирать планшет, в противном случае удобнее использовать смартфон.

ДОМАШНИЕ КИНОТЕАТРЫ. Интеграционные процессы в развитии электронной элементной базы позволили в домашних условиях объединить различные средства удовлетворения ИПЧ в одном информационном центре. При этом в него могут входить: плоский телевизор с большим экраном, музыкальный центр с высококачественной цифровой системой записи и воспроизведения звука, видеопроектор для просмотра слайдфильмов на большом экране, разнообразные средства коммуникации и управления. Все это объединяется в едином информационномцентре под названием «домашний кинотеатр».

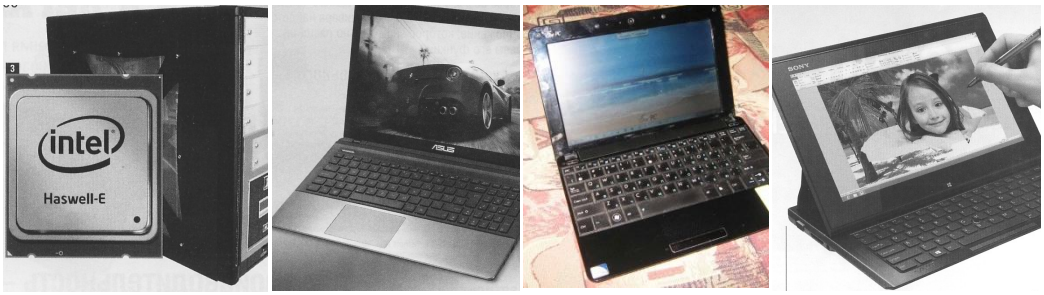
а) б) в) г)

Рис. 4.Составляющие домашнего кинотеатра – OLED-телевизор с функциями планшета (а), проектор(б), стереодинамики с Bluetoothуправлением (в), скоростной роутер для формирования домашней мультимедийной сети (г)

В развитии ТВ-техники, также как по другим направлениям,наблюдается широкое внедрение не только передовых технологий визуализации, но и информационных технологий. В первую очередь следует отметить отказ от ЖК-экранов, заключающихся в использовании жидких кристаллов для управления яркостью цветовых *RGB*-слоев. В ЖК-экранах использовался эффект изменения поляризации светового потока при поворотеэлектрических доменов ЖК в электрическом поле.Появились *OLED*-экраны, представляющие матрицу органических светодиодов. *OLED*-телевизоры точнее передают цвета, имеют большой запас яркости и более высокую контрастность, а также малую толщину [8].С 2012 г. наблюдается внедрениестандарта *UHD* (телевидение сверхвысокой четкости) с разрешением 4К (3840x2160 пикселей), при этом наблюдается тенденцияувеличения размеров экрана – 42, 55, 65 и 84 дюйма.

Другой тенденцией развития ТВ является внедрение технологии *SmartTV*, которая характеризуется встраиванием многоядерного процессора, ТВ-камер и системы индивидуальной настройки на несколько пользователей (до 5-ти). Используется система закладок, разделенных по тематическим категориям, вследствие чего *телевизор приобрел сходство с планшетом* (рисунок 4,а) [9].

ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ.Отличительной особенностью персональных компьютеров (ПК) является возможность работать с программными продуктами, предназначенными для разработки программного обеспечения на языках различного уровня, в пакетах средств визуального программирования и т.д. То есть ПК является *инструментальным средством созданияприкладных программ*.Если размеры экрана дисплея для ПК могут иметь средние значения как у планшетов, то наличие клавишной клавиатуры и ручного манипулятора “мышь” обязательно, так как эти средства обладают широкими функциональными возможностями и отвечают психофизиологическим особенностям человека.Чтобы удовлетворить самым разнообразным требованиям пользователей, производители выпускают самые разнообразные ПК, которые можно объединить в следующие группы: персональные стационарные компьютеры (рис.5,а),ноутбуки (рис.5,б), нетбуки (рис.5,в) и ультрабуки (рис.5,г).



а) б) в) г)

Рис. 5. Современные персональные компьютеры

Процессоры.Ядром всех современных информационных систем является процессор, от производительности которого напрямую зависят все потребительские свойства средств удовлетворения ИПЧ. Две крупнейших компании-производители процессоров – *Intel* и *AMD* делают очередной шаг в разработке новых процессоров, которые при меньшем энергопотреблении будут работать намного быстрее предшественников [13]. Будет освоена 14-нм технология, что

позволит на 30% снизить энергопотребление. Компания *Intel* планирует выпустить новый 8-ми ядерный процессор *Haswell*с интерфейсом обмена данными с жестким диском на скорости 2 Гбайт/сек, что в три раза быстрее чем у существующих процессоров.Планируется получить прирост вычислительной производительности равный 30%.

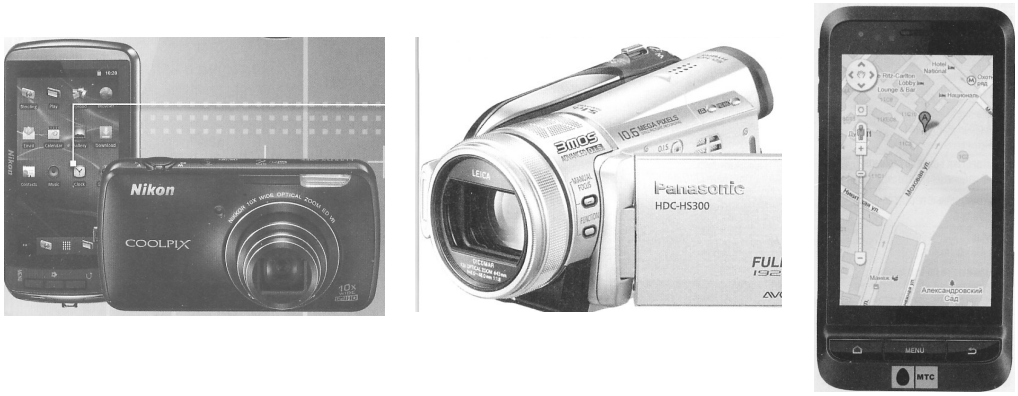
Ноутбуки. Относятсякмобильным компьютерам и характеризуются высокой вычислительной оснащенностью. Ноутбуки предназначены для решения офисных задач, то есть для разработки программных продуктов, ведения баз данных, для решения управленческих задач.Основное отличие от стационарных ПК – это переносимость и автономное питание.На рис. 5,б представлен ноутбук *ASUSK55VJ*, имеющий 4-х ядерный процессор *IntelCorei7-3610QM* с тактовой частотой 2,3 ГГц. Оперативная память составляет 8 Гбайт, а постоянная память на жестком диске имеет емкость 750 Гбайт. Вес ноутбука – 2,6 кг. Важным показателем является время автономной работы – до 6 час. В ноутбуках используются полноценные операционные системы типа *Windows* 8, а также может использоваться сенсорный экран наряду с клавиатурой.

Нетбуки. Характеризуются высокоймобильностью, почти полноразмерной клавиатурой. Нетбуки предназначены для использования в дороге. Они имеют меньший размер и вес, чем ноутбуки.Характеризуются меньшей производительностью. На рисунке 5,в представлен нетбук *ASUSEeePC* 1005*PE*, имеющий одноядерный процессор *IntelAtom*N450 с тактовой частотой 1,6 ГГц, операционную систему *Windows* 7 *Starter*, жесткий диск емкостью 250 Гбайт, вес – 1,3 кг, 3 *USB*-порта, *Web*-камера. Размер экрана 10 дюймов, что примерно в 1,5 раза меньше чем для ноутбуков.

Ультрабуки.Появились в 2013 г.,сочетают в себе высокие характеристики производительности ноутбуков, мобильные свойства нетбуков и сенсорный экран планшета. Приведем характеристики ультрабука *ASERASPIRES7*-392, в котором используется мощный процессор *IntelCorei7-4500U*с тактовой частотой 1,9 ГГц, жесткий диск емкостью 256 Гбайт, оперативная память на 8 Гбайт, экран размером 13,3 дюйма, аккумулятор емкостью 6,28 А·ч, что хватает на 8 часов работы с текстом. Используется ОС *Windows* 8. В настоящее время разрабатываются различные модели со съемными и поворотными экранами (рис.5,г).

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ СРЕДСТВА. Наряду с интегрированными средствами удовлетворения ИПЧ – смартфонами, планшетами, компьютерами, домашними кинотеатрами, успешно развиваются и специализированные средства удовлетворения ИПЧ – фото (рис.6,а) и видеокамеры (рис.6,б),навигаторы (рис.6,в), видеорегистраторы.

Фотоаппараты.Фотоаппараты не сошли со сцены. С каждым годом они становятся все более компактнее, а качество снимков значительно возрастает. Наблюдается переход к беззеркальным фотокамерам. «Беззеркалки» намного проще в использовании. Характеристики масштабирования (зума) непрерывно увеличиваются. В фотоаппарате *LumixDMC-FZ200* от фирмы Panasonic используется 24-кратное увеличение, а в *OlympusSP-820UZ* оно достигает 40х. Другой тенденцией в развитии функциональных возможностей фотоаппаратов являетсядобавление модулей беспроводной передачи данных. При этом, используется ОС *Android*, которая позволяет отправлять снимки по *Wi-Fi* каналу на любой смартфон или планшет, а также в Интернет (рисунок 6,а) [10].



а) б) в)

Рис. 6. Специализированные средства удовлетворения ИПЧ

Видеокамеры.В настоящее время к общейоценке характеристик видеокамер относится качество изображения [11]. Утвердился формат 16:9 с разрешением 1920x1080 пикселей. Причем используются фотоматрицы (сенсоры) с размерами до1/2,6 дюймаи с числом элементов разрешениядо 8,6 Мп. Например, видеокамера*PanasonicHDC-HS300*(рис.6,б) имеет 3 фотоматрицы с общим числом 6 Мп, а остальные используются для дополнительной пространственной обработки, уменьшения шумов и увеличения чувствительности. Важным моментом в работе видеокамер является память. В настоящее время *MiniDV*-кассеты и *MiniDVD* вытеснены встроенными жесткими дисками и флеш-памятью. Причем, флеш-память более компактна, надежна и экономична, но объем памяти в ней существенно меньше, чем у жестких дисков. Но этот разрыв постепенно сокращается. В видеокамере *CanonHG10* встроен жесткий диск емкостью 40 Гбайт, а ввидеокамере *LegriaHFS10* используется флеш-карта*SDHC*емкостью до 32 Гбайта. Следующей важной особенностью современных видеокамер является использование сенсорного управления, но им не очень удобно пользоваться при ярком солнечном свете.

Навигаторы.Решают информационную задачу – определение пространственного положения пользователя в пределах Земли. Эта задача решается с помощью спутниковых систем глобального позиционирования *GPS* (США) и ГЛОНАСС (Россия). Группировки спутников непрерывно вращаются по орбитам, передавая на Землю необходимые данные о своем положении, на основании которых в приемнике пользователя решается навигационная задача и вычисляются глобальные координаты, а также высота над уровнем моря. На рисунке 6,в представлен первый российский навигационный приемник в виде смартфона МТС 945 ГЛОНАСС, поддерживающий системы ГЛОНАСС и *GPS*[12].Этот навигатор поддерживает стандарты сотовой связи – *GSM* 850/900/1800/1900, 3*G*, что используется для загрузки электронных картот провайдера. Используются интерфейсы *WLAN, Bluetooth, USB*. Размер дисплея 3,2 дюйма. Встроенная память 130 Мб, внешняя *microSD* на 16 Гбайт. Ошибка позиционирования благодаря использования двух систем достигает ± 2м, тогда как в других навигаторах – ± 4 м. Смартфон стабильно “видит” 8-10 спутников ГЛОНАСС и 8 спутников *GPS*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М.: Физматлит, 2011. – 252 с.*
2. *Сальников И.И.Этапы развития средств реализации информационной потребности человека. // Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего - плюс». Серия: Информационные технологии. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.технол.ун-та, № 03(03), 2011. – С.10-18.*
3. *Сальников И.И.Движущие силы развития средств удовлетворения информационных потребностей человека. Настоящий сборник.*
4. *http://www.ixbt.com/mobile/samsung-galaxy-s4x.shtml*
5. *Мобильные устройства. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 11, 2013. – С.28.*
6. *Планшеты: выбор размера. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 12, 2013. – С.74-78.*
7. *http://www.ixbt.com/td/ipad-4-test.shtml#ixzz2wbpf1TEt*
8. *Новые ТВ: больше, быстрее, четче. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 11, 2013. – С.36-38.*
9. *«Умные» функции для умных зрителей. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 11, 2013. – С.39.*
10. *Фотоновинки. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 11, 2012. – С.22*
11. *Свет, камера, мотор!М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 12, 2009. – С.58.*
12. *Спутниковый тандем. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 07, 2011. – С.89.*
13. *Процессоры нового поколения. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 01, 2014. – С.18.*
14. *“Трогательные“ ультрабуки. М.: CHIP. Журнал информационных технологий CHIP. ISSN 1609-4212. – № 01, 2014. – С.50-53.*

УДК 28.21.27
ББК 30

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОЕ СОКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

© ***Е. М.Боброва****Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

STEGANOGRAPHICHIDING INFORMATION IN THE FREQUENCY DOMAIN OF IMAGE WHEN USING DISCRETE COSINE TRANSFORM

© ***Bobrova E.M.*** *Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В данной статье рассмотрены возможности сокрытия информации в частотной области изображения с применением дискретного косинусного преобразования, а также проведена оценка вносимых искажений при помощи вычисления среднеквадратического отклонения.

Ключевые слова: стеганография, дискретное косинусное преобразование, изображение, среднеквадратическое отклонение, частотная область.

This article describes the possibilities of hiding information in the frequency domain of image using the discrete cosine transform, and an assessment of the distortion introduced by calculating the standard deviation.

Keywords: steganography, discrete cosine transform, image, standard deviation, frequency domain.

В работе [1] представлены результаты исследования характеристик сокрытия информации в пространственной области изображений. Но, как известно, стеганографические методы сокрытияданных в пространственной области изображения являются нестойкими к большинству из известных видов искажений. Более стойкими к разнообразным искажениям, в том числе и компрессии, являются методы, использующие для сокрытия информации не пространственную область изображения, а частотную. Таким образом, в данной статье речь пойдет об использовании частотной области изображения в качестве контейнера для передачи сокрытой информации.

Существует несколько способов представления изображения в частотной области. При этом используется та или иная декомпозиция изображения, используемого в качестве контейнера. Например, существуют методы на основе использования дискретного косинусного преобразования (ДКП), дискретного преобразования Фурье (ДПФ), вейвлет-преобразования, преобразования Карунена-Лоэва и некоторые другие [2]. Подобные преобразования могут применяться либо к отдельным частям изображения, либо к изображению в целом.

Основой данной работы является анализ частотных характеристик двумерного изображения с применением ДКП. Выбор ДКП обусловлен тем, что данное преобразования является частью алгоритма сжатия с потерями *JPEG*, что дает дополнительную устойчивость сокрытой информации к сжатию.

Дискретное косинусное преобразование (англ. *Discrete Cosine Transform*) относится к линейным интегральным ортогональным преобразова-

ниям. Применяется в алгоритмах сжатия информации с потерями, например, *MPEG* и *JPEG*. В ДКП изображение рассматривается как совокупность пространственных волн, для которых оси *X* и *Y* проводятся параллельно продольной и поперечной осям изображения, а по оси *Z* откладывается значение цвета соответствующего пикселя изображения.

ДКП преобразует матрицу цветовых составляющих изображения в матрицу частотных коэффициентов соответствующего размера. В матрице коэффициентов высокочастотные элементы концентрируются в левом верхнем углу, а низкочастотные – в правом нижнем (рис.1).

77.125	1.785	-0.124	-1.2	-1.625	-1.129	- 0.625	-0.643
-1.149	0.508	3.592	-5.919	0.415	4.395	-1.083	1.607
2.618	-2.424	-1.412	-1.056	3.756	1.916	1.994	-1.591
-1.811	1.407	0.387	-2.156	1.393	2.081	1.833	-0.817
0.125	1.157	1.566	-3.472	-0.625	1.636	0.84	0.7
1.569	-2.882	-0.65	1.033	-2.966	-0.978	1.848	-2.189
3.38	1.475	-0.756	-2.113	1.556	-1.033	-1.588	1.994
-0.036	-1.941	0.106	1.201	0.101	0.28	2.587	-1.874

Рис. 1.Пример массива коэффициентов ДКП

На начальном этапе первичное изображение разбивается на блоки размером8×8 пикселей. ДКП вычисляется по формуле (1)для каждого блока, в результате чего получают матрицы 8×8 коэффициентов ДКП.

$$\Omega(\upsilon,\nu)=\frac{\zeta(\upsilon)\cdot\zeta(\nu)}{\sqrt{2N}}\cdot\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1}C(x,y)\cdot\cos\left[\frac{\pi\cdot\upsilon\cdot(2x+1)}{2N}\right]\cdot\cos\left[\frac{\pi\cdot\nu\cdot(2y+1)}{2N}\right], \quad (1)$$

где *C(x,y)* – элементы оригинального изображения размерностью *N×N; x* и *y* – пространственные координаты пикселей изображения; $\Omega(\upsilon,\nu)$ - массив коэффициентов ДКП; υ,ν - координаты в частотной области; $\zeta(\upsilon)=1/\sqrt{2}$, если υ=0 и $\zeta(\upsilon)$=1, если υ>0.

После внесения сокрытой информации в значения коэффициентов проводится обратное ДКП:

$$S(x,y)=\frac{1}{\sqrt{2N}}\cdot\sum_{\upsilon=0}^{N-1}\sum_{\nu=0}^{N-1}\zeta(\upsilon)\cdot\zeta(\nu)\cdot\Omega(\upsilon,\nu)\cdot\cos\left[\frac{\pi\cdot\upsilon\cdot(2x+1)}{2N}\right]\cdot\cos\left[\frac{\pi\cdot\nu\cdot(2y+1)}{2N}\right] \quad (2)$$

Для исследования преобразований информации использовался пакет *MathCAD*. Так как ДКП работает с массивами коэффициентов размерностью 8×8, изначально было взято изображение, которое делилось бы на такие блоки.

Рис. 2.Исходное изображение размером256×256 пикселей

Далее изображение раскладывается на цветовые составляющие и к каждой из матриц применяется ДКП по формуле (1). Пример одного из полученных массивов представлен на рис. 3.

$$\Omega_{49} = \begin{pmatrix} 77.125 & 1.785 & -0.124 & -1.2 & -1.625 & -1.129 & -0.625 & -0.643 \\ -1.149 & 0.508 & 3.592 & -5.919 & 0.415 & 4.395 & -1.083 & 1.607 \\ 2.618 & -2.424 & -1.412 & -1.056 & 3.756 & 1.916 & 1.994 & -1.591 \\ -1.811 & 1.407 & 0.387 & -2.156 & 1.893 & 2.081 & 1.833 & -0.817 \\ 0.125 & 1.157 & 1.566 & -3.472 & -0.625 & 1.636 & 0.84 & 0.7 \\ 1.569 & -2.882 & -0.65 & 1.033 & -2.966 & -0.978 & 1.848 & -2.189 \\ 3.38 & 1.475 & -0.756 & -2.113 & 1.556 & -1.033 & -1.588 & 1.994 \\ -0.036 & -1.941 & 0.106 & 1.201 & 0.101 & 0.28 & 2.587 & -1.874 \end{pmatrix}$$

Рис. 3.Массив коэффициентов ДКП

Далее, в массив вводился шум. Значения коэффициентов случайным образом изменялись на ±1. После внесения искажений проводилось обратное ДКП и сборка модифицированного изображения. Результаты встраивания представлены на рисунке 4.

а)б)

Рис. 4. Результат встраивания: разностное изображение (а), модифицированное изображение (б)

Для оценки внесенных искажений применялось среднеквадратическое отклонение :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot (S_i - \overline{S})^2} \text{ , где } \overline{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} S_i \qquad (3)$$

В данном случае, в отличие от результатов искажения пространственной области изображения, значение σ уменьшается по сравнению с исходным. Данный эффект может быть обусловлен изменением коэффициента, занимающего верхний левый угол массива коэффициентов ДКП (= 77,125). Так какэтот коэффициент содержит информацию о яркости всего сегмента, имеет смысл исключить его из модифицируемых. Так же следует учесть тот факт, что ВЧ, НЧ и СЧ-коэффициенты по разному реагируют на вносимые искажения и по разному устойчивы к сжатию, что дает материал для следующего исследования и разработки адаптивного алгоритма сокрытия данных в частотной области изображения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боброва Е.М.«Оценка параметров изображения для встраивания информации без заметного искажения мультимедийного потока» – Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции. Пенза, 2013. – с. 25-30.*
2. *Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. «Компьютерная стеганография. Теория и практика.» – «МК-Пресс», 2006. – 288 с.*

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

УДК 28.23.15
ББК 34

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ СЕГМЕНТАЦИИ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЧНОГО АНАЛИЗА

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

METHODS AND ALGORITHMS OF SEGMENTATION OF BINARY IMAGES BECAUSE OF LINE ANALYSIS

© ***I.I. Salnikov*****,** *Penza state technologicaluniversity (Penza, Russia)*

В статье приведено описание программы, реализующей алгоритм сегментации бинарных изображений на основе метода анализа связности соседних бинарных элементов в рамках пятисвязного формата. Особенностью данного алгоритма является использование растрового анализа исходного изображения. Приводится схема программы и экранные формы результата сегментации бинарного изображения. Разработанная программа предназначена для целеуказания и сопровождения динамических объектовв телевизионных системах наблюдения.

Ключевые слова: бинарное изображение, анализ, программа, сегментация, коэффициент связности.

In a paper the exposition of the program realizing algorithm of segmentation of binary images because of a method of the analysis of connectivity of the adjacent binary elements within the framework of a five-connected format is reduced. A singularity of the given algorithm is the use of the raster analysis of an initial image. The circuit of the program and screen forms of an outcome of segmentation of a binary image is reduced. The developed program is intended for target destination and support of dynamic plants in television systems of observation.

Key word: binary image, analysis, program, segmentation, factor of connectivity.

В работе [1] приведено описание алгоритма сегментации бинарных изображений, основанного на построчном анализе элементов в пределах исходного растра и предназначенного для реализации *аппаратными* средствами с использованием программируемых логических интегральных схем.В работе [2] приводятся результаты использования разработанного телевизионного устройства для быстродействующего анализа бинарного изображения с целью разделения исходного изображения на ЛО, то есть сегментации, а также измерения их пространственных параметров. В работах [3,4] описаны алгоритмы бинаризации.

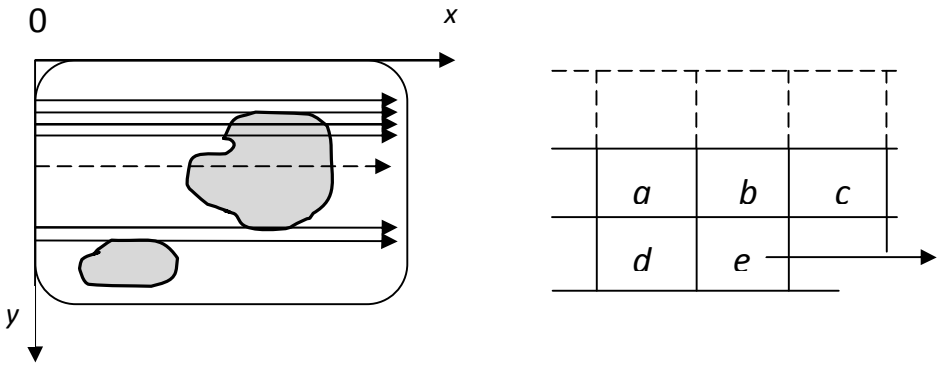
Под *сегментацией* подразумевается разделениепространственно-связанных локальных областей (ЛО) и измерение пространственных параметров – координат геометрических границ ЛО, габаритных размеров ЛО, а также координат центра тяжести ЛО. Особенностью разработанного в [1] алгоритма является ориентация на параметры *телевизионного изображения*, когда анализ

выполняется построчно за время формирования кадра в соответствие с временным видеосигналом. При этом результат формируется одновременно с формированием ТВ-кадра, чем достигается высокое быстродействие устройства.

В данной работе приводятся результаты *программной реализации* алгоритма сегментации бинарных изображений, ориентированной на возможность размерной селекции ЛО, необходимость в которой возникает при бинаризации реальных изображений, получаемых цифровой фотокамерой.

Программная реализация выполнена в среде визуального программирования *C++Builder* в виде модуля, входящего впрограммное обеспечение (ПО) растрового анализа и преобразования изображения и данных “РАПИД”. Модуль растровой разметки вызывается последовательностью пунктов меню: <Преобразования>, <Сегментация>, <Растровая разметка>.

В результате работы программного модуля <Растровая разметка> исходное бинарное изображение (БИ)разделяется на локальные области (ЛО), характеризующиеся пространственной связностью. Анализ выполняется *построчно* и *поэлементно* аналогично телевизионному растру (рис.1,а).



а)б)

Рис. 1. Исходный растр (а) и 5-элементный формат связности (б)

Исходное бинарное изображение находится в буферном массиве, обращение к которому выполняется последовательно в соответствие с оператором цикла с фиксированным числом шагов.В алгоритме сегментации используется 5-ти элементный формат связности, полнота и достаточность которого доказана в [1].При этом исходное бинарное изображение представляет собой массивбинарных пикселей $S_{i,j}$, где i – номер элемента по оси $0x$, а j – по оси $0y$ исходного растра. Тогда 5-тиэлементный форматанализа связности представляется в виде примыкающих к текущему элементу $S_{i,j}$ элемента$S_{i-1,j}$ для текущейj–строки и элементов $S_{i-1,j-1}$,$S_{i,j-1}$, $S_{i+1,j-1}$ для предыдущей (j–1)-строки. Для упрощения описания алгоритма используются следующие обозначения элементов бинарного изображения,входящих в формат анализа,представленномна рисунке 1,б:текущий элемент растра $S_{i,j}$ = eипримыкающие к нему элементы растра $S_{i-1,j-1}$= a,$S_{i,j-1}$= b, $S_{i+1,j-1}$ = c, $S_{i-1,j}$ = d. При выполнении разметки элементам БИ присваиваются номера – N_a, N_b, N_c, N_d.

Позиционное положение элементов растра *abcde* включается в формат **кода варианта связности**K_{BC} в виде:

$$K_{\text{BC}} = a\cdot 2^3 + b\cdot 2^2 + c\cdot 2^1 + d\cdot 2^0,\text{где } a,b,c,d,e\in\{0;1\}. \quad (1)$$

На основании анализа всех вариантов связности используетсяобщее выражение для функции назначения номера текущего элемента:

$$N_e = e[F(n,0)N_n + F(n,3\vee 11)\min\{N_c,N_d\} + F(n,10)\min\{N_c,N_a\} +$$
$$+ F(n,1\vee 5\vee 7\vee 9\vee 13\vee 15)N_d + F(n,2)N_c + F(n,4\vee 6\vee 12\vee 14)N_b + F(n,8)N_a], \quad (2)$$

где n – текущее значение $K_{\text{ВС}}$, $F(n, K_{\text{ВС}}) = \begin{cases} 1, & \text{при} \quad n = K_{\text{ВС}} \\ 0, & \text{при} \quad n \neq K_{\text{ВС}} \end{cases}$ – фильтрующая функция, выделяющая различные варианты $K_{\text{ВС}}$.Из(2) вытекают следующие **операции**, необходимые для назначении номера *Ne* для текущего элемента *e*.

1. Анализ значения текущего элемента *e* из исходного массива, а также соседних элементов *abcd* , иформирование $K_{\text{ВС}}$в соответствие с (1).

2.Назначение номера в соответствие с (2), если *e* = 1, то $N_e = N \in \{N_n, N_a, N_b, N_c, N_d\}$.

3. Формирование нового номера N_n,который используется в начале разметки новой ЛО.Признаком началаразметки новой ЛО является $K_{\text{ВС}} = 0$.

4. Сохранение результатов разметки для текущей строки, запоминание размеченных ЛОи чтение результата разметки при анализе следующей строки.При этом читаемые из памяти номера будутвыполнятьроль номеров N_a, N_b, N_c в формате анализа связности.

5. Для текущей строки сформированный номер N_e запоминается натекущем тактовоминтервале и читается на следующем интервале в виде N_d.

6. Для $K_{\text{ВС}} = 3 \vee 11$ наблюдается явление слияния двух ЛО,при этом необходимо сравнить номера элементовN_c и N_d,примыкающих ктекущемуэлементу *e*. Выбирается меньший, то есть $N_e = \min\{N_c, N_d\}$.

7. Для $K_{\text{ВС}} = 10$ также наблюдается явление слияния двухЛО,нопри этом сравниваются N_c и N_a,и выбирается меньший, то есть $N_e = \min\{N_c, N_a\}$.

8. Для всех вариантов $K_{\text{ВС}} = 1 \vee 5 \vee 7 \vee 9 \vee 13 \vee 15$ выбирается номер N_d,так как этот номер находится в текущей строке иможетпринадлежатьпереименованной ЛО.

9. Для $K_{\text{ВС}} = 2$ выбирается номер N_c,а для $K_{\text{ВС}} = 8$ – номер N_a .

10.Для вариантов $K_{\text{ВС}} = 4 \vee 6 \vee 12 \vee 14$ выбирается номер N_b.

11.Для $K_{\text{ВС}} = 3 \vee 10 \vee 11$, когда наблюдается слияние двух ЛО необходимо не только выбрать из двух номеров меньший,но и переименовать всю часть ЛО,имеющую больший номер, в ЛО с меньшим номером.

12. Для выявления факта окончанияЛОнеобходимо использовать три признака,которые хранятся в памяти окончания *PO[Ai]:* неиспользование данного номера для разметки – 0; использованиеданногономерав процессеразметки – 3;и,когда данный номер использовался для предыдущей строки,а для текущей строки он неиспользовался,то есть использование данного номера закончилось – 2. Это проверка на выполнение необходимогоусловияокончания ЛО.

Для каждой ЛО формируются текущие координаты геометрических границ, которые сохраняются в специальных массивах. Если ЛО с номером N_eзакончилась на строке $y = n$, дляэтой ЛО выводятся координаты геометрических границ $\{X_{\text{Л}}; X_{\text{П}}; Y_{\text{В}}; Y_{\text{Н}}\} \in N_e$. Также выводятся координаты $\{X_S A_i; Y_{\text{Н}}\}$ последней точки данной ЛО (рис.2).

Номер закончившейся ЛО записывается в стек окончившихся номеров на обратном ходе (ОХС) для строки $y = n+1$, когда определяется, что на прямом ходе (ПХС) на строке $y = n+1$ номер ЛО не использовался для разметки (на рисунке 2 – $N_e = 7$).Если на ПХС на следующей строке $y = n+2$ появляется новая ЛО, то для ее разметки используется номер ($N_e = 7$), извлеченный из стека окончившихся номеров. Использование стека для закончившихся номеров позволяет избежать переполнения используемых номеров, но измеренные пространственные параметры ЛО существуют для конкретной ЛО только на интервале ОХС после окончания ЛО с данным номером.

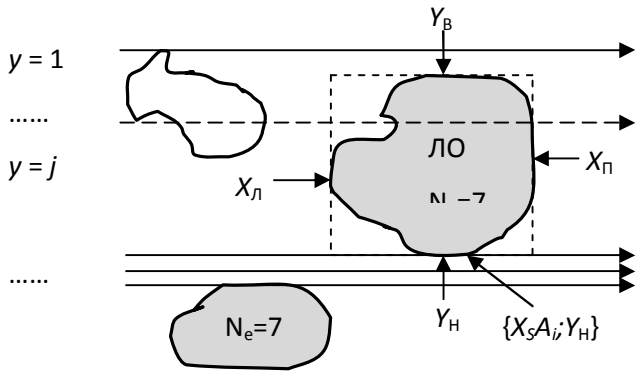


Рис. 2.Сегментация и формирование координат геометрических размеров ЛО

В этой связи дальнейшие действия по отношению к размеченной ЛО должны быть выполнены сразу же по окончании ЛО, не дожидаясь окончания анализа всего исходного растра,. Определяются:геометрические границы ЛО;координаты геометрического центра ЛО;координаты центра тяжести ЛО;площадь ЛО; размеры ЛО для размерной селекции ЛО и другие пространственные параметры. В соответствие с алгоритмом сегментации, описанным в [1] и предназначенным для реализации аппаратными средствамис использованием ПЛИС, был разработан программный модуль *Segment* (0, 0, 0), схема которого представлена на последующих рисунках.

На рисунке 3 представлена схема программы начальной части модуля *Segment* (0, 0, 0), в которой выполняетсяназначение **переменных**:*a, b, c, d, e* – элементы анализа в формате анализа связности (рис. 1,б);*Na, Nb, Nc, Nd, Ne*∈{0,..1023} – номера, присваиваемые приразметке;*N*1*a, N*1*b, N*1*c, N*1*d, N*1*e*∈{0,..1023} – промежуточные номера, присваиваемые приразметке; *KVS* – коэффициент варианта связности (1);*SchNN* – счетчик начального номера.

Далее в программе определяются **памяти**:

– *PPd*[1024] – переименований элемента *d,* если наблюдалось слияние номеров при *KVS* = 3V11 в текущей строке;

– *PPabc* [1024] –переименований элементов *a*, *b, c* в предыдущей строке;

– *PO* [1024] – окончания разметки ЛО, причем, *PO*[N_i] = 0 – если N_iне использовался для разметки; 1 – если произошло слияние номеров N_iи N_j, при котором текущему элементу присваивается меньший номер $N_e = N_i$, если $N_i \leq N_j$; 2 – если номер N_iиспользовался в предыдущее строке, а в текущей – нет;

3 – если номер N_iиспользовался в текущей строке, то есть разметка ЛО с данным номером продолжается;

– *PON*[1024] – память окончившихся номеров стекового типа, в которую на интервале ОХС записывается окончившийся номер N_i, при этом выполняется последовательно *SP*++; *PON[SP] = Ni*;

– *PS*0*N[*N_i*],PS*1*N[*N_i*]* – строчных номеров для четной “0” и нечетной “1” строк, где N_i– номер элемента в строке;

– *PS*0*E[*N_i*],PS*1*E[*N_i*]* – строчных элементов для четной “0” и нечетной “1” строк, где N_i– номер элемента в строке;

– *PCP*[1024] – память цепочечных переименований, назначение которой подробно описано в [1];

– *XL*[1024]; *XP*[1024]; *YV*[1024]; *YN*[1024] – памяти геометрических координат, соответственно – левой, правой, верхней и нижней границ.

Далее назначается массив*WremBitmap = newGraphics::TBitmap*с размерами, равными размерам исходного изображения. Затем выполняется ряд циклов с фиксированным числом шагов для перевода в исходное состояние всех памятей. Особенностью перевода в исходное состояние памятей *PPd*[*] и *PPabc*[*] является, то, что в каждую ячейку памяти записывается номер этой ячейки, то есть $PPd[N_i] = N_i$и $PPabc[N_i] = N_i$. Если произошло переименование ЛО,то $PPd[N_i] \neq N_j$.

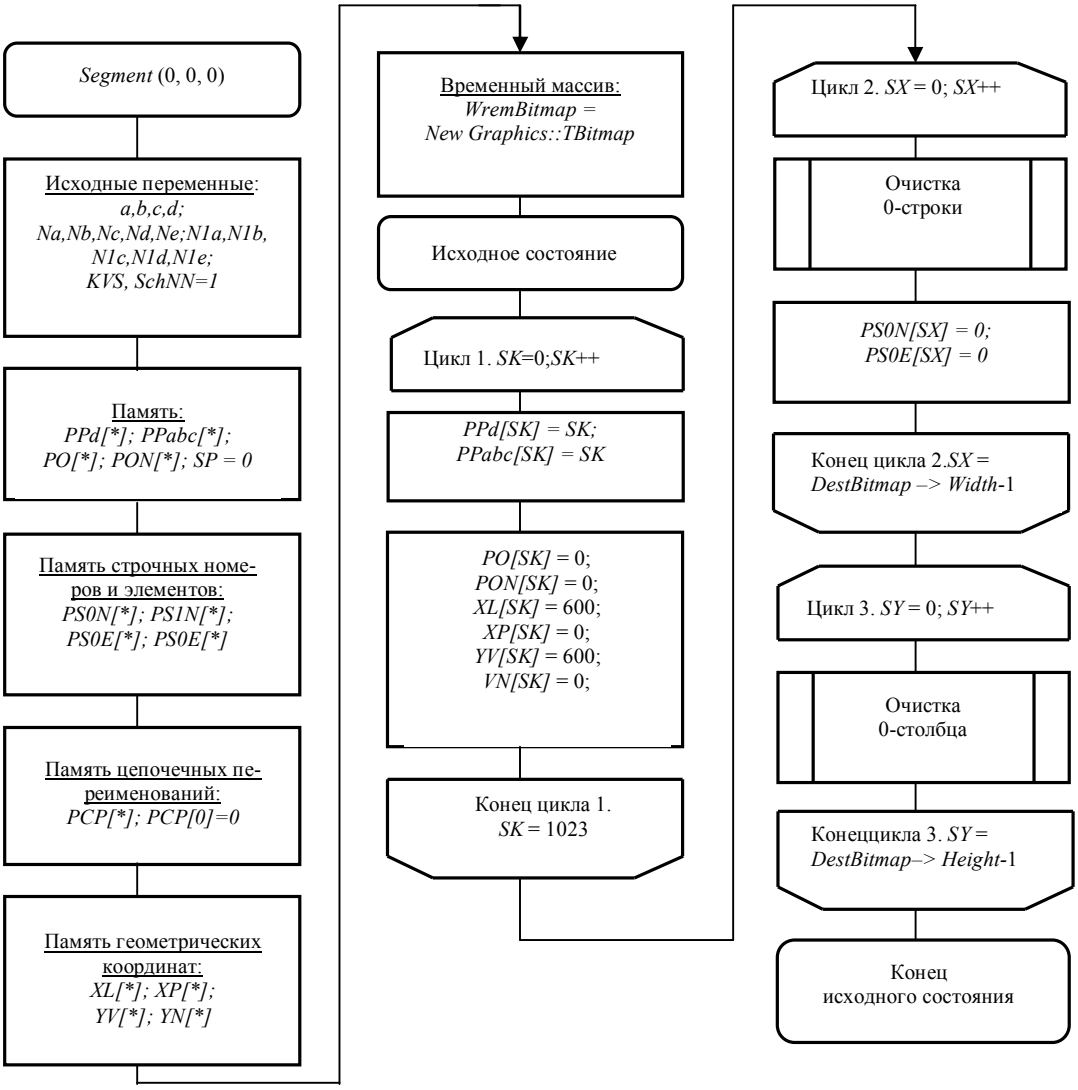


Рис. 3.Схема программы начальной части модуля Segment (0, 0, 0)

В цикле 2 очищается 0-строка элементов, а в цикле 3 –0-столбец исходного изображения, находящегося в массиве *DestBitmap*. На рис.4 представлена часть схемы программы модуля *Segment* (0, 0, 0), соответствующей прямому ходу по строке (ПХС), когда выполняется разметка ЛО.

Для нечетных и четных строк назначается исходное состояние памятей строчных номеров и элементов. Затем открывается цикл 4 на фиксированное число шагов для номера строки *SY,* открывается цикл 5 на фиксированное число шагов для номера элемента в строке *SX.*

Выполняется ввод текущего элемента *e* из исходного массива *DestBitmap.* Яркость пикселя *e* в исходном массиве кодируется двумя состояниями – 0 (черный цвет) и *FFFFFFh* (белый цвет). Для выделения логического 0 или 1 используется операция *e* = *e*& 1.

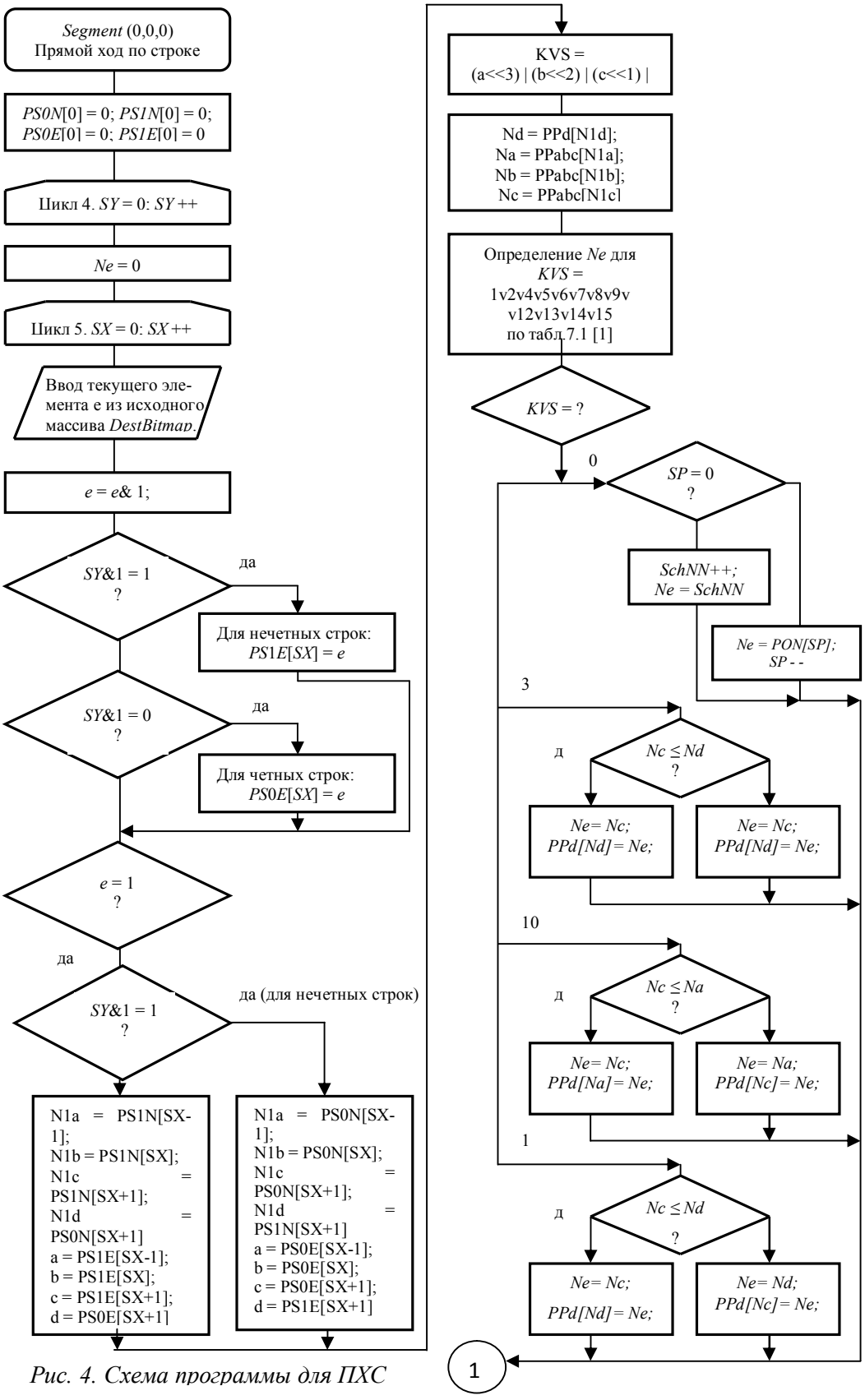


Рис. 4. Схема программы для ПХС

Далее, для нечетных и четных строк значение *e* запоминается в строчной памяти элементов *PS*1*E* и *PS*0*E* соответственно. Используется чересстрочное запоминание номеров и элементов в строчных памятях – если записывается из нечетной строки, то читается из предыдущей четной строки, и наоборот. Порядок чтения значений номеров *N*1*a, N*1*b, N*1*c, N*1*d*и элементов*a, b, c, d*из строчных памятей показан в блоках слева – снизу на рис. 4.

Из полученных элементов *a, b, c, d*формируется коэффициент варианта связности *KVS* по формуле (1), который входит валгоритм назначения номера *Ne* текущему элементу *e* ЛО.Предварительно, номера*Na, Nb, Nc, Nd*проверяются на возможность переименования, которое возникает, если соединяются (сливаются) части ЛО с разными номерами.

Для *KVS* = 1 v 2 v 4 v 5 v 6 v 7 v8 v 9 v 12 v 13 v 14 v 15 выполняется безусловное назначение номер *Ne* в соответствие с таблицей 7.1 в [1].

KVS = 0 соответствует началу разметки ЛО. Если указатель стека *SP* = 0,то это значит, что память окончившихся номеров *PON[SP]* пуста и в качестве источника нового номера используется счетчик новых номеров *SchNN*после выполнения инкремента*SP*++. Если*SP* $\neq$ *0* , то новый номер берется из стека *PON[SP]*, после чего выполняется декремент указателя стека *SP*- -.

KVS = 3 v 10 v 11 соответствует случаям слияния номеров, когда элемент *e* является объединяющим две части ЛО с разными номерами. При этом выполняется сравнение номеров N_i и N_jи меньший номер используется для присвоения текущему элементу *e*. Кроме того, в ячейку памяти переименований с номером, равным большему номеру, записывается меньший номер, *PPd[Nj]* = *Ni*, при *Ni* ≤ *Nj,* иначе*PPd*[N_i] = N_j, при N_i>N_j.

На рис.5 представлено продолжение схемы программы модуля *Segment* (0, 0, 0), соответствующей прямому ходу по строке (ПХС), когда выполняется разметка ЛО.

Для единичного элемента исходного изображения *e* = 1 на данной строке для каждого полученного номера выполняется *PO[Ne]* = 3, то есть записывается признак, что *Ne* используется в данной строке для разметки.

Далее по мере разметки заполняется память строчных номеров с учетом нечетных и четных строк *PS*1*N[SX] = Ne*, *PS*0*N[SX] = Ne*.

Для единичного элемента исходного изображения *e* = 1 заполняется временный массив *WremBitmap –>Canvas–>Pixels[SX][SY*]=*FFFFFFh*белыми точками.

При вызовепрограммного модуля сегментации *Segment* (*Rejim*, 0, 0) соответствующей переменной задается режим:

– *Rejim*= 0 – это обычный режим разметки, когдабинарное изображение при визуализации раскрашивается в разные цвета, которые задаются кодом цвета *KC[Ne]* соответствующим номеру *Ne*;

– *Rejim*= 1 – это режим вывода координат точек, соответствующих геометрическим границам каждой ЛО, при этом ЛО закрашивается голубым цветом *KC[Ne] = FFFFCFh*.

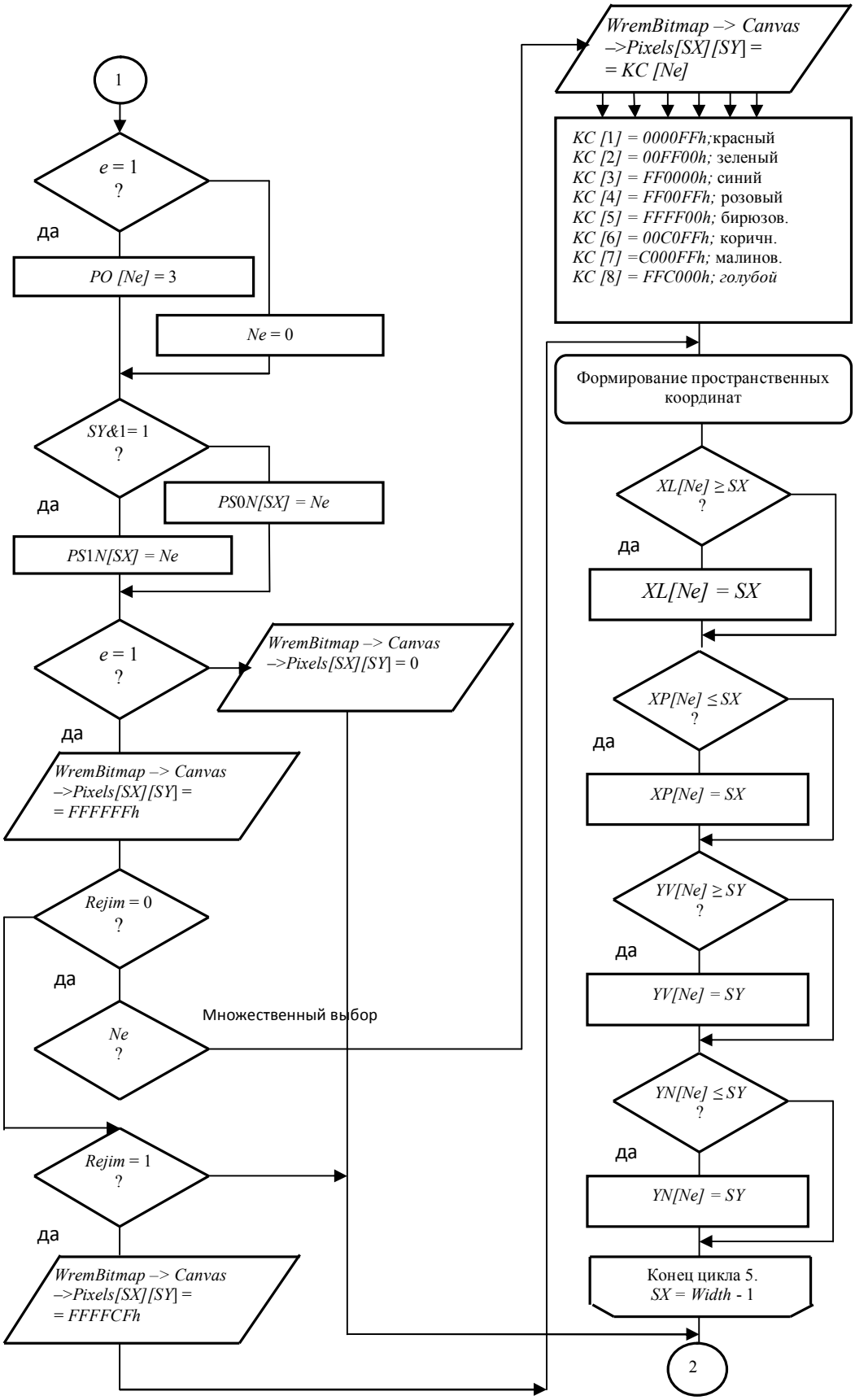


Рис. 5. Продолжение схемы программы модуля Segment (0, 0, 0) для ПХС, когда выполняется разметка ЛО

Остальные режимы здесь не описываются, так как они относятсяк программному средству “Рапид”, в состав которого входит данный программный модуль *Segment* (*Rejim*, 0, 0).

Следует заметить, что анализ ЛО выполняется **поэлементно**, то есть

$$e = \begin{cases} 0, & \text{нет пикселя} \\ 1, & \text{есть пиксель} \end{cases}, \quad (3)$$

а вывод яркости пикселей для визуализации осуществляется **3-х байтным кодом** в *RGB*-формате, в котором младший байт дает яркость красного слоя *R*, средний байт – зеленый слой *G*, а старший байт – синий слой *B*.

На рисунке 6 представлено продолжение схемы программы модуля *Segment* (0, 0, 0), соответствующее обратному ходу по строке (ОХС), когда выполняется анализ номеров для определения неиспользующихся, использующихся,закончившихся и слившихся.

Выполняется цикл 6 с перебором всех адресов *Ai*для выявления факта переименования. Если было переименование при анализе предыдущего элемента *d*,когда *PPd[Ai]* ≠ *Ai*, то из памяти цепочечных переименований записывается в память предыдущей строки *PPabc[Ai]*. Ситуация цепочечных переименований подробно описана в [1].

Для случая, когда не было переименований для *Ai,* подтверждается или восстанавливается *Ai–>PCP[Ai] = Ai; PPabc[Ai] = Ai.*

Далее выполняется цикл 7 для *Ai* с уменьшением, начиная с максимального значения *Ai* = 1023. Для случая слияния частей ЛО, когда наблюдается переименование номеров и *PPd[Ai]* ≠ *Ai*, выполняется «сшивание» координат геометрических границ *XL, XP, YV, YN* для частей ЛО с номерами *Ai*и *Ap*.

Восстанавливается исходное состояние геометрических границ для закончившегося номера *Ai*:для правой и нижней границ устанавливается “0”, а для левой и верхней – размеры исходного растра.

Далее выполняется анализ состояния памяти окончания для текущего адреса *Ai*.Если *PO[Ai]* = 1 или 2, это значит, что ЛО с номером *Ai*закончилась и этот номер возвращается в стековую памятьдля дальнейшего использования.
Если *PO[Ai]* = 1, то это значит, что произошло слияние частей ЛО и больший номер был переименован в меньший и далее не используется. *PO[Ai]* = 0.

Если *PO[Ai]* = 2, то это значит, что ЛО с номером *Ai*– закончилась ивыполняется формирование координат геометрических границ*SXL, SXP, SYV, SYN* из соответствующих памятей. Далее формируются размеры закончившейся ЛО *DXS* и *DYS*.

Восстанавливается исходное состояние геометрических границ для закончившегося номера *Ai*:для правой и нижней границ устанавливается “0”, а для левой и верхней – размеры исходного растра.

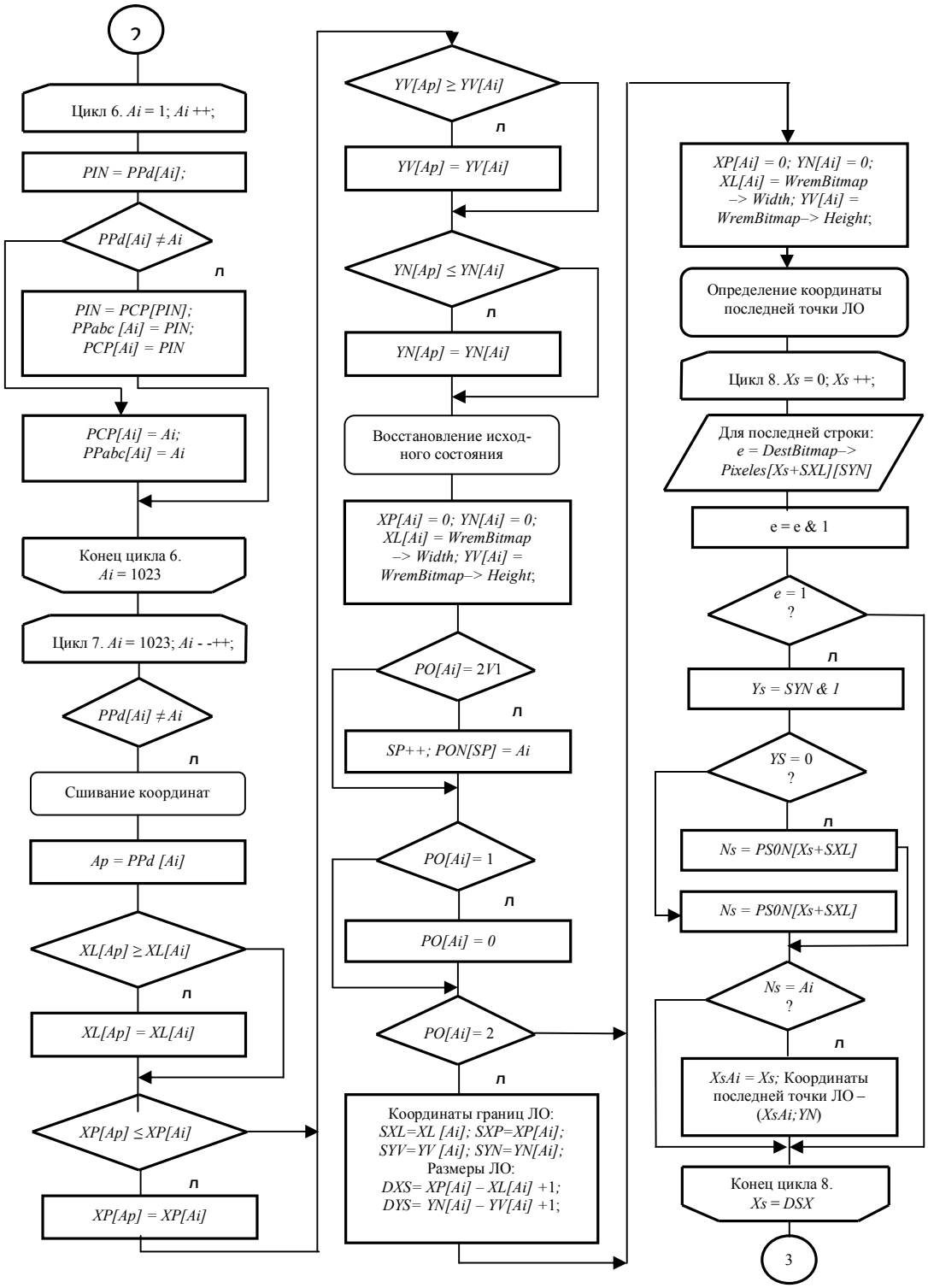


Рис. 6. Продолжение схемы программы на ОХС

Далее определяются координаты последней точки в закончившейся ЛО. Для этого для последней строки с координатой *SYN* организуется цикл 8, в котором перебираются координаты элементов *Xs* с инкрементом в пределах размера ЛО по горизонтали. Выполняется ввод элемента изображения из исходного массива *DestBitmap* и выделение младшего бита. Для четных или нечетной строк из соответствующей памяти строчных номеров читается номер *Ns*, который был в предыдущей строке. Если *Ns = Ai*, то координата элемента *Xs* принимается за искомую координату. Так как выполняется перебор *Xs* с инкрементом, то последнее значение *Xs* принимается за координату последней точки в закончившейся ЛО *XsAi = Xs*.

На рис. 7 представлены завершающие операции по анализу ЛО на интервале ОХС.Для *Rejim* = 1при условии окончания ЛО (*PO[Ai]* = 2) выполняется вывод точек геометрических границ с координатами *SXL, SXP, SYV, SYN*во временный массив *WremBitmap*белым цветом, то есть код – *FFFFFFh*. Аналогичным образом организуются режимы *Rejim* = (2,…8).

Далее выполняется подготовка к анализу следующей строки. Если *PO[Ai]* = 3, что означает использование номера *Ai* в предыдущей строке,то *PO[Ai]* = 2. Если – нет, то это значит, что номер *Ai*не использовался и *PO[Ai]* = 0.

Затем восстанавливается значение памяти переименований для предыдущего элемента для всех номеров *Ai, то есть PPd[Ai] = Ai.* Факт переименования остался в памятипереименований для предыдущей строки*PPabc* .

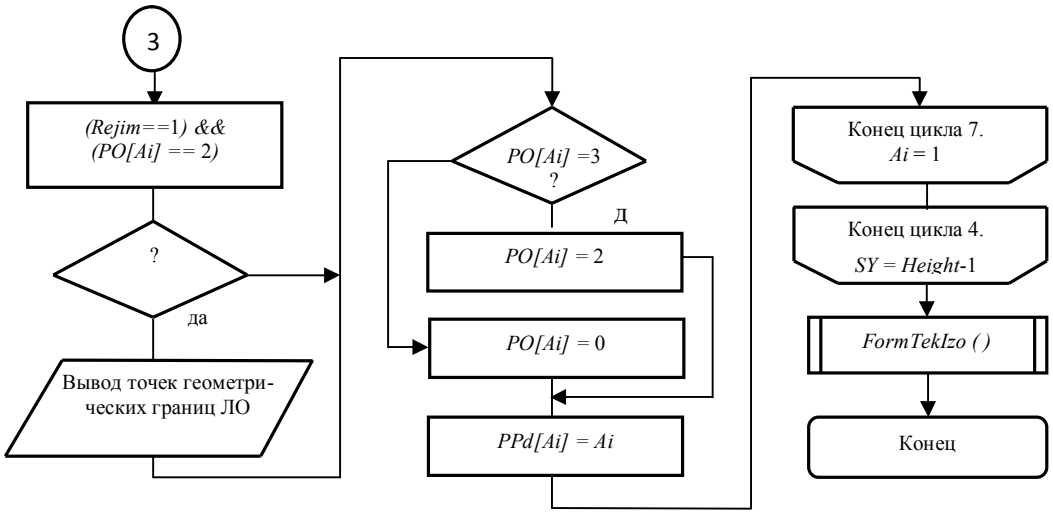


Рис. 7. Завершение анализа на интервале ОХС

После завершения циклов 7 – с перебором номеров *Ai* и 4 – с переборомстрок *SY*, выполняется подпрограмма формирования текущего изображения *FormTekIzo(*)* для вывода на экран результата сегментации.

На рис. 8 представлены результаты работы программного модуля сегментации *Segment* (0,0,0) и *Segment* (1,0,0) для бинарных изображений.
1 23456789 10

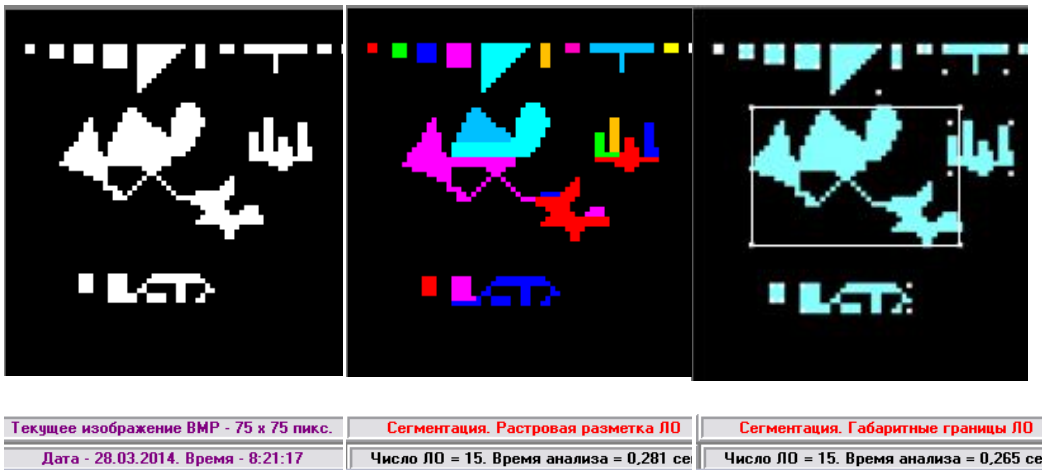


Рис. 8. Пример сегментации бинарных изображений для режима 0 (б) и режима 1 (в)

Результат разметкиисходного БИ представлен различными цветами, номера которых размещены сверху рис. 8,б. Цвета определяются блоком вывода кодов цвета *KC[Ne],* представленном на рис.5.На рис. 8,в выведены белые точки с координатами геометрических границ каждой ЛО. Белыми линиями показана зона сложной ЛО, которая может быть использована для целеуказания и сопровождения динамических объектов [2].

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. *Сальников И.И., Борисов В.А., Исаев О.Н.Формирование бинарного телевизионного изображенияс адаптивным пороговым уровнем по максимуму производной.Журнал "Инфокоммуникационные технологии", г.Самара, том 6, 2008. С.96-100.*
4. *Сальников И.И. Аппаратно-программный комплекс формирования карты местности по данным аэрокосмического зондирования.Журнал "Искусственный интеллект", Изд-во НАН Украины, №4, 2009, С.555–565.*

УДК 004.93
ББК 30

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОБЪЕКТОВНА АЭРОФОТОСНИМКАХ СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

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

THE INFORMATIONAL MODEL OF THE DISTINCTIVE FEATURES OF OBJECTSDEPICTED ON AERIAL PHOTORAPHS OF RURAL AREA

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

В статье представлена информационная модель, предназначенная для описания отличительных признаков изображений объектов на аэрофотоснимках сельской местности. Разработка подобных информационных моделей позволяет создавать новые методы распознавания, которые основаны на анализе структуры изображенных объектов, а не на расчете меры близости к эталону.

Ключевые слова: информационная модель, обработка изображений, распознавание образов, элементарный примитив, отличительные признаки, аэрофотоснимок

The informational model intended for the description of the distinctive features of the objects depicted on aerial photographs of rural area is described in the article. The development of such informational models allows to create new methods of recognition which are based on the analysis of the structure of depicted objects and not on the calculating of pattern proximity measure.

Key words: informational model, image processing, pattern recognition, elementary primitive, distinctive features, aerial photographs

В последнее время наблюдается возрастающая потребность в изучении обширных сельских территорий России. Учитывая современный научно-технический прогресс это невозможно представить без использования средств дистанционного зондирования, вычислительной техники и геоинформационных систем (ГИС). Для создания или обновления электронных карт местности чаще всего используют аэрофотоснимки, выполненные с небольшой высоты, на которых содержится достаточное количество информации, необходимой для создания подробных планов местности.

Мировой рынок геоинформационных систем развивается в основном за счет традиционных ГИС [1], которые не позволяют полностью автоматизировать процесс дешифрирования аэрофотоснимков. Большинство ГИС предоставляют широкий набор инструментов, упрощающих процесс дешифрирования в машинно-ручном режиме. При этом используются методы контролируемой и неконтролируемой классификации, основанные на анализе яркостных характеристик изображения и сравнении образов с эталоном [2]. Такой подход хорош для дешифрирования площадных объектов искусственного происхождения, но

для создания электронной карты населенного пункта по данным, полученным с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), такие методы не дадут хороший результат.

Используя аэрофотоснимки, выполненные в видимом диапазоне, можно выявлять большое количество отличительных признаков изображенных объектов, что позволяет создавать новые методы распознавания топографических объектов. Один из возможных подходов к созданию таких методов заключается в анализе *структуры* изображенных объектов. В этой связи возникает необходимость в получении отличительных признаков, по которым можно проанализировать структуру изображений полезных объектов.

В качестве отличительных признаков могут выступать ***элементарные примитивы (ЭП),*** под которыми следует понимать локальные области,соответствующие изображениям объектов (или их частей) или геометрические примитивы, образующие их контур.

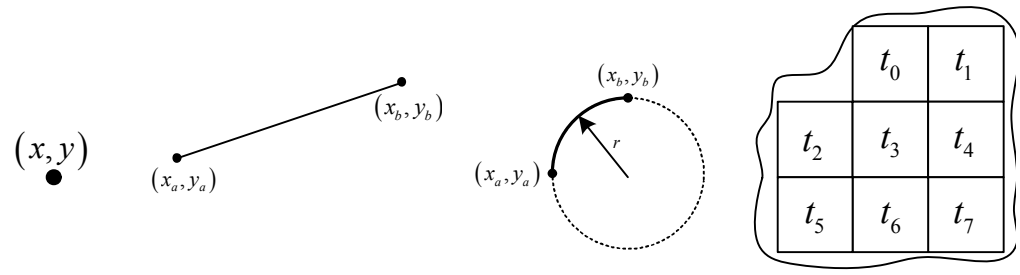
Для формирования ЭП можно использовать ***поэлементныйанализ*** [3] исходного изображения, который позволяет выявить взаимосвязи между пикселями на исходном изображении, объединить их в одну локальную область и при необходимости преобразовать в геометрические примитивы.

С одной стороны, полученные после поэлементного анализа ЭП позволяют выполнить анализ структуры изображенных объектов, но с другой стороны, отличительные признаки искомых объектов базируются на анализе нескольких ЭП. Назовем один или несколько взаимосвязанных элементарных примитивов ***первичными отличительными признаками***, а свойство изображенного объекта, учитывающее несколько первичных отличительных признаков назовем ***вторичными отличительными признаками***.Ко вторичным отличительным признакам можно отнести: форму, размер, среднюю яркость и т.д.

Для описания первичных отличительных признаков предлагается использовать следующую информационную модель. Каждый пиксель $S\left(x,y\right)$ растрового изображения, состоящего из $M^{(W)}$ точек по горизонтали и $M^{(H)}$ точек по вертикали можно представить ***точечным примитивом*** (рис.1.а) в виде кортежа $t=\left(x,y\right)$, где $x\in X$, $y\in Y$, $X=\{0,1,...,X\}$, $Y=\{0,1,...,Y\}$. Тогда множество всех точечных примитивов образует универсальное множество $U=X\times Y$. Точечный примитив позволит указать пиксель на изображении и проанализировать его яркостные характеристики $S_K\left(p\right)$.

Если на снимке имеются изображения объектов, обладающих прямолинейностью и угловатостью, то эффективнее анализировать их форму, состоящую из прямых линий, соответствующих внешнему контуру.

Обозначим ***линейный примитив*** (рис. 1.б) кортежем $l=\left(x_a,y_a,x_b,y_b\right)$ или $l=\left(t_a,t_b\right)$, где $x_a,x_b\in X$, $y_a,y_b\in Y$, t_a,t_b – точечный примитив. Для формирования линейных примитивов можно использовать преобразование Хаффа[4] или метод формирования линейных примитивов, описанный в [5].



а) точечный примитив	б) линейный примитив	в) дугообразный примитив	г) примитив в виде локальной области
$t=(x,y)$	$l=(x_a,y_a,x_b,y_b)$	$c=(x_a,y_a,x_b,y_b,r)$	$o=\{t_0,t_1,...,t_7\}$

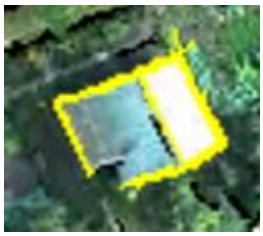
Рис. 1.Элементарные примитивы, образующие первичные отличительные признаки

Когда внешний контур объекта обладает сложной извилистой формой, тогда для его описания лучше использовать сочетание линейных и ***дугообразных примитивов*** (рис. 1.в). Обозначим дугообразный линейный примитив кортежем $c=(x_a,y_a,x_b,y_b,r)$ или $c=(p_a,p_b,r)$, где $x_a,a_b\in X$, $y_a,y_b\in Y$, r – радиус дуги.

Для того чтобы распознать искомый объект нужно проанализировать не только внешний контур, используя линейные и дугообразные примитивы, но и яркостные характеристики пикселей, соответствующих его изображению. Обозначим ***локальную область*** (рис.1.г), состоящую из n точечных примитивов t_n соответствующих изображению искомого объекта (или его части), множеством $O=\{t_0,t_1,...,t_n\}$.

Выполнив сегментацию исходного изображения [4] можно сформировать локальные области (ЛО) произвольной формы, которые расположены в произвольных местах. Анализ полеченных таким образом ЛО во многих случаях оказывается *неэффективным*.Поэтому, указав в процессе сегментации начальные точки ЛО, и сформировав относительно них ЛО, изображение разделится на множество ЛО, которые будут соответствовать изображениям объектов. Например, выполнив поэлементный анализ аэрофотоснимка (рис. 2.а) и получив линейные примитивы (рис.2.б, 2.г), соответствующие контурам объектов, можно предположить, что рядом расположены изображения искомых объектов, а также сформировать ЛО относительно начальных точек, расположенных на небольшом удалении от этих линейных примитивов (рис. 2.г, 2.д).

а) исходное изображение



б) контуры из ЛО, соответствующих линейным примитивам

в) контуры из линейных примитивов

г) ЛО, соответствующие изображению искомого объекта

д) ЛО, соответствующие изображению растительного фона

Рис. 2.Первичные отличительные признаки в виде линейных примитивов и сформированных рядом локальных областей

На представленном выше примере один первичный отличительный признак состоит из трех взаимосвязанных ЭП: линейного ЭП и двухсформированных рядом с ним ЛО. Если один первичный отличительный признак состоит из известно количества ЭП, тогда его можно описать кортежем, объединяющим входящие в его состав ЭП. Например, для описанного выше примера это будет кортеж $v = \left(l, O^{(1)}, O^{(2)} \right)$, где l – линейный ЭП, $O^{(1)}, O^{(2)}$ – две ЛО сформированные рядом с линейным ЭП l.

Когда первичный отличительный признак состоит из большого или неизвестного количества ЭП, тогда его можно описать кортежем который будет состоять из множеств ЭП определенного типа. Например, для описанного выше примера это будет кортеж $v = \left(M^{(L)}, M^{(O)} \right)$, где $M^{(L)} = \{l\}$ – множество линейных ЭП, $M^{(O)} = \{O^{(1)}, O^{(2)}\}$ – множество ЛО.

Таким образом, выполнив поэлементный анализ исходного изображения и сформировав элементарные примитивы, можно воспользоваться предложенной информационной моделью для описания первичных отличительных признаков изображенных на аэрофотоснимках объектов. Это позволит выявить взаимосвязь между первичными отличительными признаками, проанализировать структуру изображенных объектов и распознать искомый объект по его вторичным отличительным признакам. Используя такой подход, описание искомого объекта будет представлять собойдостаточное для его обнаружения количество вторичных отличительных признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *http://www.researchandmarkets.com/research/3l98mb/global*

2. *Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков : Учебник / И.К. Лурье. – 2-е изд., испр. – М. : КДУ, 2010. – 424 с.*
3. *Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М. : Физматлит, 2011. – 252 с.*
4. *Ворсайт, Дэвид А., Понс, Жан. Компьютерное зрение. Современный подход : Пер. с англ. – М. : «Вильямс», 2004. – 928 с.*
5. *Бурмистров А.В. Метод формирования линейных контуров на аэрофотоснимках сельской местности / А.В. Бурмистров, И.И. Сальников // Современные проблемы науки и образования: Электронный научный журнал. – 2013. – № 5.*

УДК 621.383.8
ББК: 34

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА СЛОЖНОМ НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ

© ***В.А.Кочкин***,*ЗАО «Космические информационные аналитические системы» (Москва, Россия)*

AUTOMATIC DYNAMIC OBJECT DETECTION IN COMPLEX VARIEGATED BACKGROUND

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

Рассмотрен алгоритм автоматического обнаружения динамического объекта на сложном неоднородном фоне. Предложенный алгоритм базируется на вычислении межкадровой разности зарегистрированных изображений с последующей пороговой обработкой и формировании суммарно-разностного изображения. Проводится анализ статистических параметров интенсивности разностных изображений и суммарно-разностного изображения. Предложен класс аппроксимирующих распределений на основе обобщенного экспоненциального распределения, рассмотрены параметры данных распределений для различных типов фоновой обстановки.

Ключевые слова: суммарно-разностное изображение, динамический объект, обнаружение, обобщенное экспоненциальное распределение, пороговая обработка.

The algorithm of automatic detection of dynamic objects on complex inhomogeneous background is given. The suggested algorithm is based on the images frame-to-frame difference calculating, threshold processing and summarizing of frame-to-frame difference images. The analysis of the statistical parameters of frame-to-frame difference images and summarizing and frame-to-frame difference images intensity is given. A class of approximating distributions on the basis of generalized exponential distribution is suggested. Parameters of data distributions for different types of background are discussed.

Keywords: detection, dynamic object, generalized exponential distribution, summarizing of frame-to-frame difference images, threshold.

Перспективы развития современных оптико-электронных координаторов информационно-измерительных систем различного назначения связаны с созданием автоматических систем обнаружения и определения координат динамических объектов (ДО), обеспечивающих решение в реальном масштабе времени информационных задач на сложных неоднородных фонах, таких как подстилающая поверхность. Для обнаружения ДО наиболее часто используется признак относительного движения объекта и фона в поле зрения координатора. Одним из перспективных методов решения данной задачи является суммарно-разностная обработка изображений.

В работе [1] предложен обобщенный алгоритм обнаружения динамических объектов на сложном неоднородном фоне, базирующийся на использовании разностных изображений (РИ). Данный класс алгоритмов основан на введении понятия поля обобщенных параллактических смещений (ОПС) $\Psi(\vec{\rho},t_I,t_J)=\vec{\xi}(\vec{\rho},t_I,t_J)$, как характеристики изменения пространственных параметров изображений фоноцелевой обстановки (ФЦО) для последовательности регистрируемых изображений $\left\{f(\vec{\rho},t_J)\right\}$. Рассмотренный алгоритм заключается в оценке вектора ОПС фона $\hat{\vec{\xi}}_{ФI,J}$ посредством разностных или корреляционно-экстремальных методов:

$$\hat{\vec{\xi}}_{ФI,J}=arg\,\max_{\vec{\rho}} K_{I,J}(\vec{\rho}), \quad (1)$$

где $K_{I,J}(\vec{\rho})$ - разностный или корреляционный функционал на I и J–ом изображениях.

Выделение изображения объекта (обнаружение) осуществляется последовательным формированием смещенного J–ого изображения $f_{CM}(\vec{\rho},t_J)=f(\vec{\rho}-\hat{\vec{\xi}}_{ФI,J},t_J)$ и разностного изображения (РИ):

$$\Delta f_{IJ}(\vec{\rho},t_I,t_J)=\left|f(\vec{\rho},t_I)-f(\vec{\rho}-\hat{\vec{\xi}}_{ФI,J},t_J)\right|, \quad (2)$$

ненулевая область которого соответствует обнаруженному объекту.

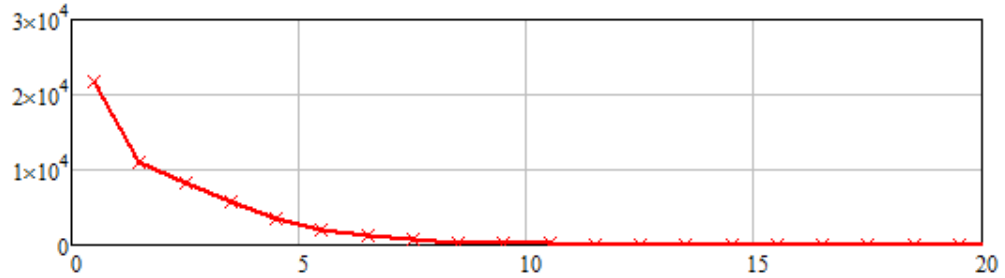
Формируемое разностное изображение искажено вследствие наличия остаточной фоновой компоненты, вызванной как влиянием шумовой компоненты ФЦО, так и изменениями интенсивности фрагментов фона из-за ракурсных искажений (наличие теневых областей, появление новых фрагментов ФЦО при распределенных по дальности фоновой компоненте и т.д.). Данные изменения не могут быть скомпенсированы путем проективных преобразований изображений ФЦО в рамках операций предварительной обработки, поэтому необходима пороговая обработка РИ (2). В условиях неопределенности величины и знака контраста объекта и фона выбор амплитудного порога $h_П$ не позволяет выделить изображение объекта. В силу этого осуществляется пороговая обработка РИ, которая обеспечивает сегментацию РИ на односвязные области:

$$S_M(\vec{\rho},t_I,t_J) \subset \Delta f_{IJ}(\vec{\rho},t_I,t_J) \ : \ \forall \vec{\rho}_S \in S_M(\vec{\rho},t_I,t_J)\ \Delta f_{IJ}(\vec{\rho}_S,t_I,t_J) \geq h_S,$$

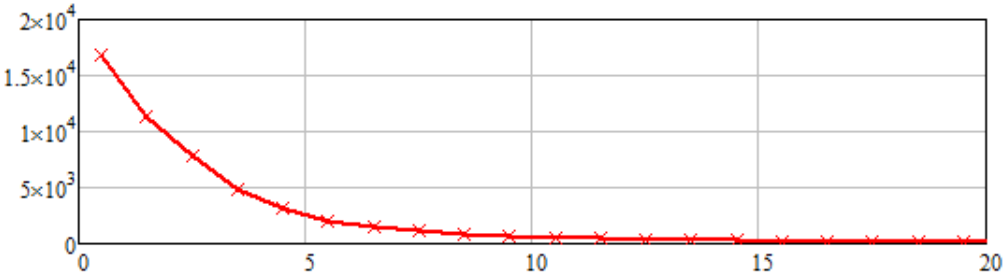
где h_S - порог сегментации и выделение пространственных стробов для дальнейшего анализа. Последующая обработка данных областей РИ посредством фильтрации по связности [1] позволяет выделить изображение объекта, т. к. фоновая компонента РИ характеризуется существенной анизотропией и пятенной структурой.

Проведенное моделирование предложенного алгоритма на зарегистрированных в реальных условиях изображениях ФЦО показало, что РИ имеет значительную по интенсивности остаточную фоновую компоненту.

На рис. 1 приведены примеры гистограмм РИ, полученные в видимом (а) и дальнем ИК-диапазонах (б). Значительный размах ΔB распределения интенсивности РИ, малая вероятность нулевой интенсивности РИ p_0 приводят к недостаточной помехоустойчивости данного алгоритма в условиях интенсивного неоднородного фона.



а)



б)

Рис. 1.Ненормированные гистограммы РИ (начальный участок), а) - видимый диапазон (размах $\Delta B = 73$, математическое ожидание $m = 3,17$, с.к.о. $\sigma = 4,5$, $p_0 = 0,195$); б) - дальний ИК-диапазон ($\Delta B = 143$, $m = 3,77$, $\sigma = 12,11$, $p_0 = 0,241$)

Для работы в условиях сложных пространственно распределенных фонов перспективно использование суммарно-разностных алгоритмов обнаружения динамических объектов. Наиболее существенным ограничением на использование данного класса алгоритмов является наличие неоднородного фона. Данная компонента регистрируемых изображений ограничивает минимальный контраст объекта и фона, обеспечивающий требуемое качество функционирования используемого алгоритма.

В рамках предложенного в [1] представления о поле ОПС последовательность изображений ФЦО $\left\{ f\left(\vec{\rho},t_J\right)\right\}$ может быть рассмотрена как координатные преобразования опорного изображения ФЦО $f\left(\vec{\rho},t_1\right)$ полем ОПС : $f\left(\vec{\rho},t_J\right)=f\left(\Psi\left(\vec{\rho},t_1,t_J\right)+\vec{\rho},t_1\right)$.Для произвольного J-ого изображения видеопотока производится текущая оценка поля ОПС $\hat{\Psi}\left(\vec{\rho},t_1,t_J\right)$. Оценка поля ОПС может проводиться по данным инерциальной системы, отслеживающей ориентацию и пространственное положение обнаружителя. На следующем этапе формируется трансформированное изображение $f_{TR}\left(\vec{\rho},t_J\right)=f\left(\vec{\rho}-\hat{\Psi}\left(\vec{\rho},t_1,t_J\right),t_J\right)$,которое при условии отсутствия шумовой компоненты в изображении ФЦО и отсутствии изменений интенсивности фрагментов фона совпадает с опорным изображением везде, кроме областей затенения объектом фона, которые в случае динамических объектов пространственно разнесены на различных изображениях видеопотока.Формируется последовательность РИ

$$\Delta f_{IJ}\left(\vec{\rho},t_I,t_J\right)=\left|f_{TR}\left(\vec{\rho},t_I\right)-f_{TR}\left(\vec{\rho},t_J\right)\right|,\ J=I+1;\ I\geq 1\ , \qquad (3)$$

Формируется суммарно-разностное изображение (СумРИ):

$$\Delta_{\Sigma} f_{1,2M}\left(\vec{\rho},t_1,t_{2M}\right)=\sum_{j=1}^{M}\left|\Delta f_{2j-1,2j}\left(\vec{\rho},t_{2j-1},t_{2j}\right)-\Delta f_{2j,2j+1}\left(\vec{\rho},t_{2j},t_{2j+1}\right)\right|,(4)$$

ненулевая область которого содержит информацию о траектории движения динамического объекта в поле зрения обнаружителя.

Поле ОПС может быть представлено в рекуррентном виде: $\hat{\Psi}\left(\vec{\rho},t_1,t_J\right)=\sum_{j=1}^{J}\hat{\Psi}\left(\vec{\rho},t_j,t_{j+1}\right)$. При этом при произвольном значении номера изображения в видеопотоке $J >> 1$ОПС может достигать существенных величин, однако для близко расположенных изображений величины ОПС сравнительно малы (обычно не более 5 … 10 э.р.) и, кроме того, поле ОПС практически постоянно (разность ОПС по изображению не превышает 1 … 2 э.р. в случае стабилизированного наблюдения). В этом случае можно заменить операцию оценки поля ОПС при формировании РИ (3) на оценку усредненного значения ОПС $\hat{\xi}_{I,I+1}$. При этом необходимо учитывать различный энергетический вклад фрагментов ФЦО в РИ, т.е. использовать оценки вида (1). В этом случае в РИ будет присутствовать остаточный фоновый сигнал.

Качество работы суммарно-разностного алгоритма может быть оценено по величине остаточного сигнала, т.е. по статистическим характеристикам интенсивности СумРИ $\Delta_{\Sigma} f_{1,2M}\left(\vec{\rho},t_1,t_{2M}\right)$. В качестве таких характеристик могут быть использованы: математическое ожидание m, дисперсия D (с.к.о. σ), размах интенсивности СумРИ ΔB и доля площади изображения ФЦО, имеющая нулевую интенсивность - p_0.

В результате тестирования предложенного алгоритма на трех реализациях видеопотоков видимого диапазона получены следующие результаты, сведенные в таблицу 1. Для сравнения в таблице 1 приведены статистические характеристики РИ, оцененные по тем же видеопотокам.

Табл. 1.

M	№ видеопотока	$\xi_{I,I+1}$	Статистические характеристики СумРИ			
			m	σ	ΔB	p_0
3	1	2	0,647	0,506	17	0,785
	2	1	0,62	0,346	4	0,797
	3	4	0,624	0,49	6	0,788
2	1	2	0,727	0,626	23	0,671
	2	2	0,711	0,456	8	0,672
	3	4	0,739	0,466	6	0,635
1	1	2	1,016	0,941	45	0,406
	2	2	1,004	0,673	12	0,339
	3	4	1,014	0,72	10	0,396
			Статистические характеристики РИ			
1	1	2	1,413	2,344	99	0,373
	2	2	1,494	1,815	31	0,374
	3	4	1,262	1,436	21	0,427

Из сравнения данных таблицы 1 следует, что использование суммарно-разностного алгоритма уменьшает размах интенсивности РИ в 2 … 8 раз, увеличивает величину p_0 в 1,8 … 2,1 раза, с.к.о. уменьшается в 3 … 4,6 раз.

Это связано с тем, что при формировании СумРИ происходит фильтрация пространственно распределенных фрагментов коррелированного фона за счет формирования разностей РИ.

Для уменьшения влияния шумовой компоненты ФЦО операции формирования РИ (3) и СумРИ (4) могут сопровождаться пороговой обработкой, при этом величина порога несущественно превышает нулевой уровень.

Статистические параметры СумРИ в реализации видеопотока мало изменяются, поэтому определенные величины размаха, m, σ могут однозначно определить величину порогового контраста объекта и фона для амплитудного порога обнаружения. Если значение порогового контраста превышает размах интенсивности СумРИ, то обнаружение объекта может осуществляться амплитудным способом. Если данное условие не выполняется, необходима пространственная фильтрация СумРИ.

Величина используемого при формировании РИ и СумРИ порога определяет эффективность обнаружения ДО. Для определения алгоритма выбора порога необходима оценка статистических характеристик РИ.

Рассмотрим статистические характеристики РИ, полученных в условиях их наилучшего совмещения , т.е. удовлетворяющих условию (1), где $K_{I,J}(\vec{\xi}) = \int\limits_D \left| f_i(\vec{r},t_i) - f_{i+1}(\vec{r}+\vec{\xi},t_{i+1}) \right| d^2 s$.В силу многообразия ФЦО и невозможности для широкого класса фрагментов ФЦО, обладающих различными статистическими характеристиками, определить одну статистическую модель, а также существенной коррелированности фоновой компоненты изображенийпо-

лучить аналитические зависимости для плотности вероятности РИ не представляется возможным.

Сформулируем основные требования к аппроксимирующему закону распределения интенсивности РИ: *унимодальность, непрерывность*, *возможность изменения формы распределения* за счет выбора параметров. Проведенный в [1,2] анализ показал, что для широкого класса фоновых образований (остаточный фон звездного неба, природные и искусственные ландшафты) хорошие результаты дает аппроксимация закона распределении плотности вероятности интенсивности разностного изображения в классе экспоненциальных законов распределения. Поэтому будем рассматривать статистические характеристики разностных изображений в классе обобщенных экспоненциальных распределений. Обобщенное экспоненциальное распределение имеет плотность вероятности [3]:

$$p(x)=\frac{a}{2\lambda\sigma\Gamma(1/a)}exp\left(-\left|\frac{x-m}{\lambda\sigma}\right|\right)^{a}, \qquad (5)$$

где $\lambda^2=\frac{\Gamma(1/a)}{\Gamma(3/a)}$; m, σ – математическое ожидание и с.к.о.Данная форма представления не полностью отвечает анализу РИ,что вызвано следующими соображениями:

– при анализе РИ пространственно-временных сцен с сложным неоднородным фоном обычно используется только информация о величине локального контраста, а информация о знаке отбрасывается;

– в силу существенной коррелированностиисходных изображений ФЦО, незначительных колебаниях общего уровня яркости изображений ФЦО величина m (для симметричного распределения вида (5) статистически не отличается от нуля.

Применительно к анализу РИ может быть предложена форма обобщенного экспоненциального распределения в виде:

$$p(x)=\frac{a}{b\Gamma(1/a)}exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^{a}\right], x\geq 0, \qquad (6)$$

Отметим, что в отличие от формы распределения (5), определеннойна интервале $]-\infty;+\infty[$, распределение (6) является неотрицательно определенным (данное распределение эквивалентно распределению (5) при $b=\lambda\sigma$, $m=0$). Статистические характеристики распределения (6) могут быть определены через гамма-функцию: $m=b\frac{\Gamma(2/a)}{\Gamma(1/a)}$;

$$\sigma^2=\frac{b^2}{\Gamma^2(1/a)}\left[\Gamma(1/a)\cdot\Gamma(3/a)-\Gamma^2(2/a)\right]=m^2\cdot\left[\frac{\Gamma(1/a)\cdot\Gamma(3/a)}{\Gamma^2(2/a)}-1\right]$$

.

Интегральный закон распределения (6) определяется как

$$P(x)=\frac{1}{\Gamma(1/a)}\gamma\left(\frac{1}{a},\left(\frac{x}{b}\right)^{a}\right)$$,где $\gamma(\alpha,t)$ - неполная гамма-функция.

Данные распределения являются функцией параметра a, определяющего скорость спада распределения. Параметр b определяет масштаб распределения и численно определяется спадом плотности вероятности по уровню e^{-1}. На рисунке 2 приведено семейство обобщенных экспоненциальных распределений (6) с параметрами $a=\{0,8;\quad 1;\quad 1,4;\quad 2;\quad 3\}$ (снизу вверх) при $b=1$.

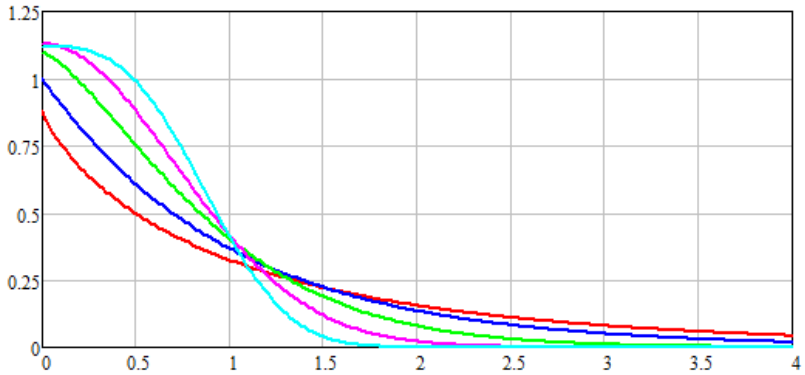


Рис. 2. Семейство обобщенных экспоненциальных распределений

Был проведен анализ большого количества (свыше 20 сюжетов) натурных съемок объектов ФЦО в видимом, среднем и дальнем ИК-диапазонах, полученных в наземных условиях и при аэросъемке и относящихся к природным, сельским игородским ландшафтам. В таблице 2 приведены результаты усредненных расчетов аппроксимаций распределения интенсивности РИ. В качестве ошибки аппроксимации приведены значения корня из выборочной дисперсии $\sqrt{s^2}$

Таблица 2

№	Тип ФЦО	Спектральный диапазон, мкм	Параметры распределения		Ошибка аппроксимации, $\sqrt{s^2}\times 10^3$
			b	a	
1	городской ландшафт, аэросъемка	видимый	3,24 … 3,45	1,31 … 1,59	3,3 … 5,1
2	лес, аэросъемка	3…5	25,3 … 26,9	1,84 … 1,97	0,55 … 1,01
3	сельский ландшафт	3 … 5	1,11 … 1,44	0,81 … 1,44	0,57 …1,3
4	городской ландшафт, аэросъемка	3 … 5	5,26 … 5,28	1,38 … 1,44	2,2 … 3,6
5	сельский ландшафт, аэросъемка	8 … 12	6,6 … 6,7	1,42 … 1,48	1,3 … 1,4
6	сельский ландшафт	8 … 12	1,24 …2,43	1,01…1,377	1,742…3,8

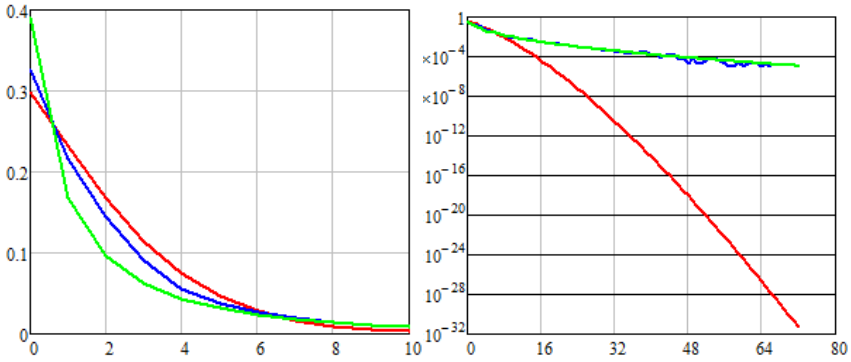
Из результатов анализа потоков видеоданных могут быть сделаны следующие выводы.

В пределах одного потока видеоданных параметр аппроксимирующего распределения b в видимом и среднем ИК-диапазонах практически постоянен, а параметр a, определяющий скорость спада распределения, изменяется в сравнительно широких пределах.

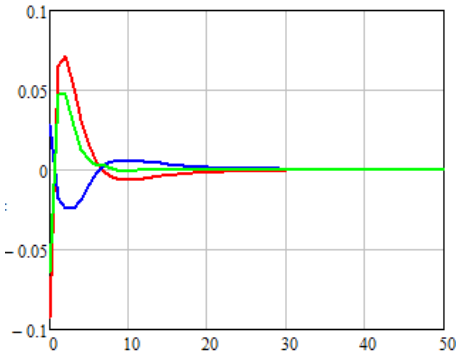
Практически для всех видеопотоков ФЦО аппроксимирующее распределение существенно отличается от обычно используемых экспоненциального (Лапласа) и гауссова законов.

На рис. 3 приведены гистограммы интенсивности РИ и вид аппроксимирующего закона в области малых (а) и больших значений (б) интенсивностей РИ. Учитывая экспоненциальный характер распределения, приводящий к резкому снижению плотности вероятности в области больших значений, предложено осуществлять кусочную аппроксимацию распределения интенсивности РИ. За счет выбора параметров в области больших значений аппроксимирующее распределение растягивается, обеспечивая аппроксимацию «хвоста» распределения интенсивности РИ.

Для приведенного на рис. 3 примера (видимый диапазон, городской ландшафт) $\{a = 1,4; \quad b = 3,445\}$ и $\{a = 0,43; \quad b = 0,229\}$ в области малыхи больших значений соответственно. В качестве точки сопряжения аппроксимирующих изображений выбирается точка пересечения этих аппроксимирующих распределений (около 7).



а) б)



в)

Рис. 3. Распределения интенсивности разностного изображения в области малых (а) и больших значений (б) интенсивностей разностного изображения, ошибки аппроксимации (в)

На рис. 3, а и бгистограмма распределения интенсивности разностного изображения (черный цвет), аппроксимации в классе обобщенных экспоненциальных распределений в области малых (темно-серый) и больших значений интенсивности (серый). На рис. 3, в ошибки аппроксимации в области малых (черный цвет) и больших значений (серый), разность аппроксимирующих распределений (темно-серый).

Следует отметить, что вследствие унимодальности распределения при аппроксимации в области малых значений аппроксимирующее распределение дает заниженную оценкунулевой компоненты РИ, характеризующей степень подавления фоновой компоненты.

Выбор класса аппроксимирующих распределений интенсивности РИ, применимых для широкой номенклатуры типов ФЦО в различных диапазонах оптического спектра позволяет проводить анализ помехоустойчивости алгоритмов обнаружения ДО, базирующихся на формировании РИ.

Результаты моделирования предложенного суммарно-разностного алгоритма обнаружения динамического объекта на натурных изображениях ФЦО подтверждают высокую эффективность подхода к обнаружению объекта, основанного на использовании оценки смещения фона и компенсации остаточной фоновой компоненты за счет суммарно-разностной обработки изображений ФЦО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кочкин В.А. Обобщенный алгоритм обнаружения динамических объектов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер. Технические науки. Информационные технологии – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та. – 2013. – Вып. № 10 (14). – с. 38–43.*
2. *Кочкин В.А. Автоматическое обнаружение малоразмерных динамических объектов в оптико-электронных системах // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер. Технические науки. Информационные технологии – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад. – 2012. – Вып. № 5 (09). – с. 30–40.*
3. *Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.-304с.*

УДК 621.391
ББК 34

АДАПТИВНЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА СЛОЖНОМ НЕОДНОРОДНОМ ФОНЕ

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

ADAPTIVE AUTOMATIC DINAMIC OBJECTS DETECTION ALGORITHMS ON COMPLEXNON-UNIFORMBACKGROUND

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

В статье анализируются алгоритмы обнаружения динамических объектов на сложном неоднородном фоне в условиях флуктуаций фона. Рассмотрены особенности применения разностных методов компенсации фона, выделения и восстановления изображений динамических объектов. Эффективность предложенных алгоритмов обнаружения и восстановления изображений динамических объектов подтверждена результатами экспериментальных исследований, проведенных с использованием натурных видеорядов

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

The paper analyzes the algorithms of detection of dynamic objects in a complex nonuniform background under a background fluctuations. Features of the use are subtraction methods for background compensation, separation and recovery of images of dynamic objects. Effectiveness of the proposed detection algorithms and image restoration of dynamic objects confirmed by the results of experimental studies conducted with the use of full-scale video sequences.

Keywords: binarization, cross-correlation function, detection, dynamic object, recovery, projective distortion, subtraction image.

В настоящее время одной из важнейших задач при создании бортовых оптико-электронных информационных систем смотрящего типа является задачаавтоматического обнаружения динамических объектов и определения их координат в условиях неоднородного протяженного фона. Несмотря на существенный прогресс в создании методов анализа видеорядов для решения данных задач, в настоящее время невозможно сформулировать общий подход, обеспечивающий выполнение совокупности требований к точности обнаружения, оценки координат обнаруженных объектов для всех возможных условий наблюдения.

На практике широкое распространение получили методы обнаружения и определения координат объектов, основанные на сравнении с эталоном, в той или иной мере реализующие корреляционные алгоритмы обнаружения. Их применение в реальной фоно-целевой обстановке ограничивается следующими факторами: наличием пространственно-неоднородного флуктуирующе-

гофона, коррелированного с эталонным изображением объекта, зависимостью текущего изображения объекта от априорно неопределенных условий регистрации (неопределенность масштаба, ориентации, ракурса объекта, условий освещения и т.д.), существенными размерами объекта. Это приводит к значительной вероятности аномальных ошибок, вызванных ложным отождествлением эталона с участками фона, коррелированными с объектом. Вследствие этого при наблюдении объектов на сложном неоднородном фоне (подстилающая поверхность, природные ландшафты и искусственные образования) методы, основанные на сравнении с эталоном, имеют ограниченное применение.

В условиях априорной неопределенности фоно-целевой обстановки для обнаружения динамических объектов перспективно использование разностных методов, в которых принятие решения об обнаружении динамического объекта принимается на основе совместного анализа совокупности последовательно регистрируемых изображений анализируемой сцены $\{g(\vec{\rho},t_j)\}, j=1,\ \ldots,\ \mathrm{N}$. Динамический объект выделяется как ненулевая область разностного изображения. Без учета влияния атмосферы в рамках анализируемого подхода может быть использована модель изображения ФЦО с затенением [1]:

$$g(\vec{\rho},t_j)=s(\vec{\rho},t_j)+f(\vec{\rho},t_j)\cdot\overline{S}(\vec{\rho},t_j)+n(\vec{\rho},t_j). \quad (1)$$

где $s(\vec{\rho},t_j)$, $f(\vec{\rho},t_j)$ $n(\vec{\rho},t_j)$ - пространственно-временные распределения описывающие объект, фон и шум на j-том зарегистрированном изображении в момент времени t_j соответственно, $S(\vec{\rho},t_j)$ - область определения изображения объекта. Для изображений объекта и фона в видеоряду характерно наличие кроме сдвигов искажений формы и интенсивности (в выражении (1) учитывается как зависимость функций, описывающих анализируемые изображения, от времени), что делает актуальной задачу предварительного совмещения последовательно регистрируемых изображений видеоряда перед формированием разностного изображения.

Рассмотрим два возможных случая:

Случай малых вариаций дальности фона. Расстояние до ближайшего фрагмента фона (объекта) много больше вариаций дальностей до фрагментов фоновых образований. Этот случай характерен для ОЭИС мониторинга Земли и наблюдения протяженных локально однородных по дальности. При этом межкадровые искажения изображения фона сводятся к проективным преобразованиям, т.е.

$$f(\vec{\rho},t_{j+1})=f_0(\varphi(\vec{\rho},\vec{X}_{j+1},\vec{X}_j),t_j), \quad (2)$$

где $\vec{X}_{j+1},\vec{X}_j$ - векторы параметров проективных преобразований фоновой компоненты для соответственно *j*-того и *j*+1-ого кадров видеоряда, $\varphi(\vec{\rho},\vec{X}_{j+1},\vec{X}_j)$ - функционал, описывающий преобразования координат при заданных значениях векторов параметров (в общем случае относящиеся к 8-параметрической проективной группе Ли), $f_0(\varphi(\vec{\rho},\vec{X}_1,\vec{X}_1),t_1)$ - функция, описывающая изображение фона на первом изображении видеоряда.

Изображение фоновой компоненты видеоряда может быть получено путем определения межкадрового изменения вектора параметров $\Delta\vec{X}_{j+1,j} = \vec{X}_{j+1} - \vec{X}_j$. Для оценки вектора $\Delta\vec{X}_{j+1,j}$ могут быть использованы адаптивные корреляционные методы выбора опорных точек [2, 3]. Решение задачи определения параметров проективных преобразований изображений требует точного оценивание межкадровых смещений опорных точек с субпиксельной точностью, для чего необходима аппроксимация корреляционного функционала в области экстремума. При реализации предложенных методов проводилась двумерная полиномиальная аппроксимация.

Текущий *j*+1-ый кадр видеоряда подвергается координатному преобразованию $\tilde{g}(\vec{\rho},t_{j+1}) = g(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_{j+1})$. Как результат, на формируемом разностном изображении

$$\Delta_{j,j+1}(\vec{\rho}) = \left|g(\vec{\rho},t_j) - \tilde{g}(\vec{\rho},t_{j+1})\right| = \left|g(\vec{\rho},t_j) - g(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{\mathrm{X}}_{j+1,j}),t_{j+1})\right|,$$

$\vec{\rho} \in G_J \cap G_{J+1}$, где G_J, G_{J+1} – области определения яркостного поля анализируемой сцены на соответственно *j*-том и*j*+1-ом кадрах видеорядавыделяются ненулевые области, соответствующие области

$$G_{\Delta|j+1,j} \subset \left(S(\vec{\rho},t_j) \cup S(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_{j+1})\right). \qquad (3)$$

Для выделения изображения объекта из изображений видеоряда может быть использован следующий алгоритм:

п.1 Выделение из *j*-того и *j*+1-ого кадров видеоряда фрагменты, соответствующих области $G_{\Delta|j+1,j}$:

$$\begin{aligned} &g_\Delta(\vec{\rho},t_j) = s(\vec{\rho},t_j)\cdot S(\vec{\rho},t_j) + f(\vec{\rho},t_j)\cdot(\overline{S}(\vec{\rho},t_j) \cap S(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_{j+1}) + \\ &+n(\vec{\rho},t_j)\cdot G_{\Delta|j+1,j} \\ &g_\Delta(\vec{\rho},t_{j+1}) = s(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_{j+1}) + f(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_{j+1})\times \\ &\times(S(\vec{\rho},t_j) \cap \overline{S}(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_{j+1}) + n(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_j)\cdot G_{\Delta|j+1,j} \end{aligned} \qquad (4)$$

п.2Корреляционное сравнение выделенных фрагментов и определение величины смещения изображения объекта как $\vec{\rho}^{CM}_{j,j+1} = arg\,\underset{\vec{\rho}}{extr}\, K\left\{g_\Delta(\vec{\rho},t_j), g_\Delta(\vec{\rho},t_{j+1})\right\}$, где $K\{x(\vec{\rho}), y(\vec{\rho})\}$ - корреляционный функционал.

п.3 Формирование разностного изображения

$$\Delta f_{j,j+1}(\vec{\rho}) = \left|g_\Delta(\vec{\rho},t_j) - g_\Delta(\vec{\rho}-\vec{\rho}_{j,j+1},t_{j+1})\right|\cdot G_{\Delta|j+1,j}.$$

п.4 Пороговая обработка разностного изображения с порогом, определяемым шумовой компонентой $n(\vec{\rho},t_j)$ с формированием бинаризированного изображения $\Delta f^{Б}_{j,j+1}(\vec{\rho})$, при этом его ненулевая компонента соответствует остаточному фоновому изображению в пространственном стробе $Str_{\Delta|j+1,j} \subset \overline{S}(\vec{\rho},t_j) \cap S(\varphi(\vec{\rho},\Delta\vec{X}_{j+1,j}),t_{j+1})$.

п.5 Определение области локализации изображения объекта на *j*-ом кадре как $L_{s|j} = G_{\Delta|j+1,j} \cap \overline{Str}_{\Delta|j+1,j}$.

Тогда координаты обнаруженного объекта на*j*+1-ом кадре могут быть определены как $\vec{\rho}_{s|j+1} = \vec{\rho}_{C|j} + \vec{\rho}^{CM}_{j,j+1}$, где $\vec{\rho}_{C|j}$ - координаты геометрического (энергетического) центра области $L_{s|j}$.

Проективные преобразования изображения фоно-целевой обстановки необходимо использовать только на первом этапе решения задачи обнаружения динамического объекта, т.к. для последующих кадров видеоряда обнаружение динамического объекта проводится только в области текущего изображения, примыкающей к объекту.Для размеров этой области может быть использована оценка скорости движения объекта $\vec{V}^{O}_{j+1,j} = \vec{\rho}^{CM}_{j,j+1} + \Delta\vec{\rho}_{\bar{X}_{j+1,j}}$, где $\Delta\vec{\rho}_{\bar{X}_{j+1,j}}$ - компонента вектора $\vec{X}_{j+1,j}$, соответствующая смещению *j*-ого и*j*+1-ого кадров.

Рассмотренный алгоритм обеспечивает компенсацию фоновой компоненты для случаев фоно-целевой обстановки в виде крупноразмерных локально-однородных областей[3] и удаленного фона.

Случай больших вариаций дальности фона.В условиях сложного неоднородного фона, характеризующегося существенными вариациями дальности до фрагментов фоно-целевой обстановки, представление временных изменений фоно-целевой обстановки в классе проективных преобразований сопровождается существенными ошибками. Это связано, в первую очередь, с тем, что отдельные фрагменты фона характеризуются разрывным характером по дальности, что характерно для пересеченного рельефа и искусственных образований (застройка и т.п.). Тогда при небольшой дальностях до фона даже малые изменения направления визирования приводят к существенным изменениям условий наблюдения границ фрагментов сцены, причем априорно данные границы не выделены.

На рис. 1 приведены исходное изображение тепловизионного изображения городского ландшафта (а), результаты его обработки дифференцирующим фильтром Лапласа (б) и разностное изображение, полученное при оптимальном смещении изображений(в). При этом для изображений (б) и (в) выбран один и тот же порог бинаризации.

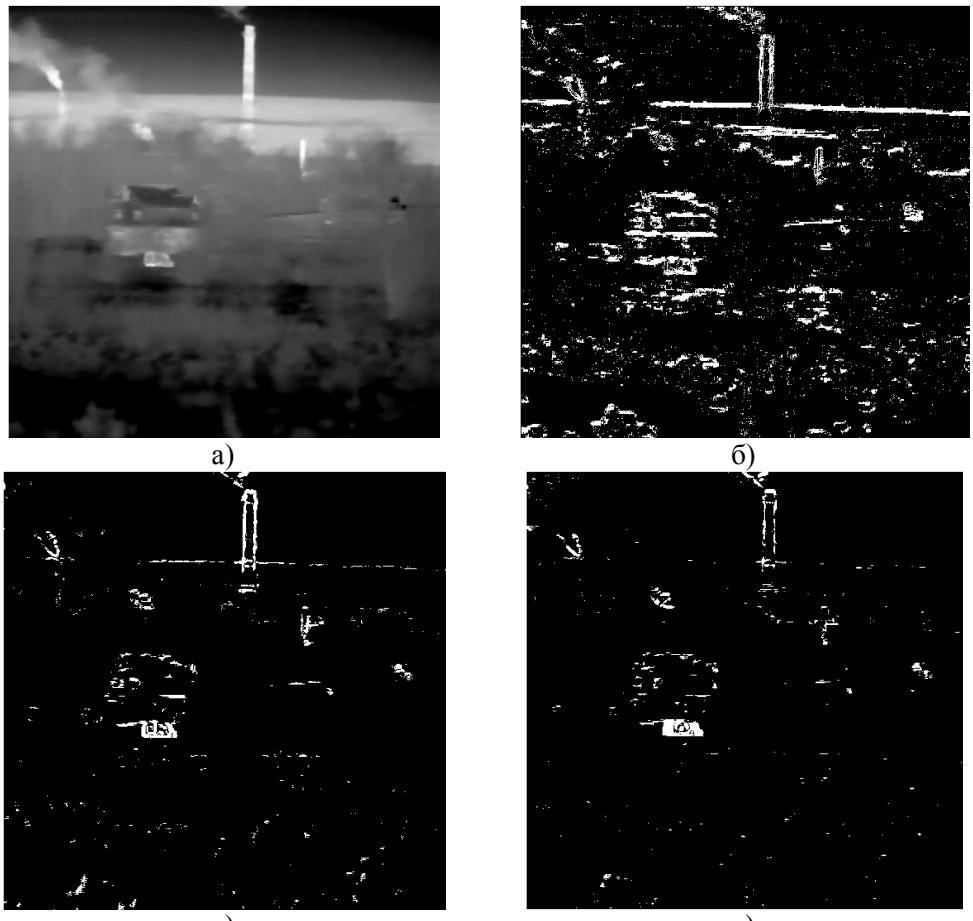


Рис. 1. Изображения: исходное (а),дифференцированное (б), разностное (в), разностное с коррекцией (г)

Наличие большого количества неравномерно распределенных по сцене фрагментов приводит к тому, что при определении координат опорных точек корреляционным методом в данных условиях возникают существенные ошибки.На рис. 2 приведены результаты определения координат смещения опорных точек, выбранных по центрам фрагментов опорного изображения, размер фрагмента в элементах разрешения 64х64 э.р.. По оси 0x отложены координаты центров фрагментов по горизонтали (в э.р.), по оси 0y – смещения координат максимумов ВКФ фрагментов относительно глобального максимума ВКФ.

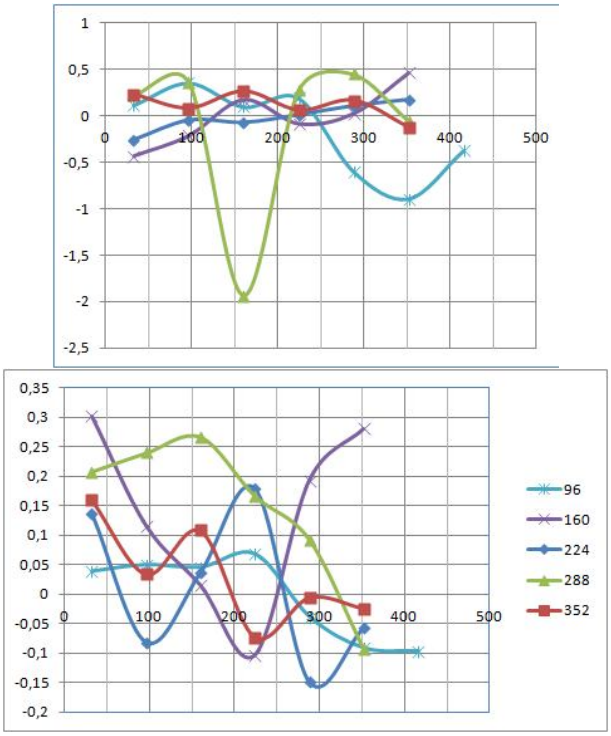


Рис. 2.Смещение опорных точек по горизонтали (а) и вертикали(б)

Из сравнения представленных данных следует, что условие монотонности зависимостей координат опорных точек от пространственных координат на кадре видеоряда не выполняется, что свидетельствует о невозможности получения в данных условиях оценки вектора параметров проективного преобразования. Возможными причинами этого являются существенные по ширине переходные области между различными фрагментами на анализируемых кадрах, имеющими существенный перепад по яркости и попадание в анализируемые фрагменты нескольких фоновых образований, отличающихся по дальности.

В даннойфоно-целевой обстановкедля уменьшения влияния фоновой компоненты предложен **субпиксельный алгоритм** определения смещения изображений. При реализации данного алгоритма смещение кадров видеоряда определяется в два этапа. На первом этапе формируется ВКФ анализируемых изображений $K\left\{g(\vec{\rho},t_j),g(\vec{\rho},t_{j+1})\right\}$ и определяется оценка смещения $\vec{\rho}^{C}_{j,j+1}=arg\,\underset{\vec{\rho}}{extr}\,K\left\{g(\vec{\rho},t_j),g(\vec{\rho},t_{j+1})\right\}$. На втором этапе проводится аппроксимация ВКФ в классе полиномиальных функций и определяются координаты максимума аппроксимирующего полинома $\Delta\vec{\rho}^{C}_{j,j+1}=\left(\rho_{x|j,j+1};\quad \rho_{y|j,j+1}\right)^{T}$ относительно вектора $\vec{\rho}^{C}_{j,j+1}$.

В такой постановке величина смещения по каждой из координат не превышает одного э.р., что позволяет осуществить сглаживание текущего кадра видеоряда несимметричным масочным фильтром вида

$H^F(\rho_{x|j,j+1},\rho_{y|j,j+1}) = \begin{pmatrix} (1-\rho_{x|j,j+1})(1-\rho_{y|j,j+1}); & \rho_{x|j,j+1}(1-\rho_{y|j,j+1}) \\ (1-\rho_{x|j,j+1})\rho_{y|j,j+1}; & \rho_{x|j,j+1}\cdot\rho_{y|j,j+1} \end{pmatrix}$. При этом формируется сглаженное текущее изображение $g^F(\vec{\rho}_{km},t_{j+1}) = g(\vec{\rho}_{km},t_{j+1}) \otimes H^F(\rho_{x|j,j+1},\rho_{y|j,j+1})$, где $\vec{\rho}_{km}$ - радиус-вектор, соответствующий *km*-ному э.р. Сущность данной операции – смещение текущего изображения на дробное число э.р., соответствующее полученной оценке сдвига.

Для оценки качества формируемого разностного изображения могут быть использованы различные критерии. В качестве интегрального критерия, учитывая, что динамические объекты занимают малую часть поля зрения, могут быть использованы характеристики интенсивности разностного изображения: математическое ожидание M_{Id} и дисперсия D_{Id} (СКО). Дополнительным признаком может служить доля нулевых элементов.

Для видеоряда, одно из изображений которого приведено на рис. 1,а, использование предложенного алгоритма уменьшает величину M_{Id} на 53% (до 0,5 единиц квантования (ед.кв.)) при уменьшении D_{Id} на 35% (СКО 1,8 ед.кв.). Разностное изображение формируется как

$$\Delta^F{}_{j,j+1}(\vec{\rho}) = \left| g(\vec{\rho},t_j) - g^F(\vec{\rho}+\vec{\rho}^C_{j,j+1},t_{j+1}) \right|$$

Результат применения данной операции приведен на рис. 1,г.

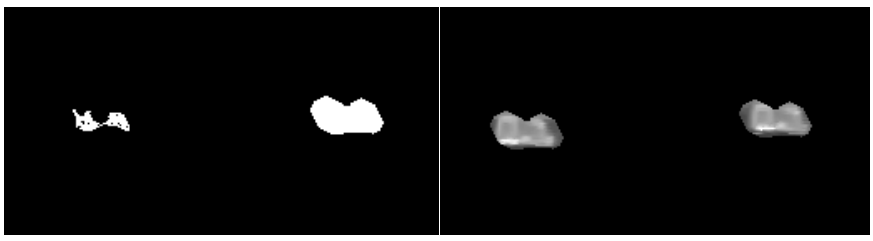
Рассмотрим **алгоритм выделения изображения объекта**. На первом этапе данный алгоритм сводится к предложенному ранее [3] адаптивному алгоритму выделения изображения объекта:

$$\Delta S^{Б}_{j,j+1}(\vec{\rho}) = \begin{cases} 1, & \Delta^F{}_{j,j+1}(\vec{\rho}) \geq H_S \\ 0, & иначе \end{cases}$$

$$S^{P}_{j,j+1}(\vec{\rho}) = \Delta S^{Б}_{j,j+1}(\vec{\rho}) \underset{Q}{\oplus} A_Q$$

$$S^{PK+1}_{j,j+1}(\vec{\rho}) = S^{PK}_{j,j+1}(\vec{\rho}) \underset{Q}{\square} A_Q,\ K = 1 \ldots K_M\ .$$

Пример работы данного алгоритма приведен на рис. 3,а (количество циклов эрозии по связности 7, пороговое значение связности 6).



а)б)в)г)

Рис. 3.Результаты восстановления изображения динамического объекта

На втором этапе восстанавливается область определения $G_{\Delta|j+1,j}$ (3). Данное восстановление происходит путем цикличного применения к изображе-

нию $S_{j,j+1}^{K_M}(\vec{\rho})$ операции расширения множества по связности (количество циклов не менее K_M):

$$S_{j,j+1}^{B1}(\vec{\rho}) = S_{j,j+1}^{K_M}(\vec{\rho})\ S_{j,j+1}^{BK+1}(\vec{\rho}) = S_{j,j+1}^{BK}(\vec{\rho}) \underset{Q}{\oplus} A_Q,\ K = 1 \ldots K_M\ .$$

На рис. 3,б приведен результат восстановления (количество циклов дилатации по связности 8, пороговое значение связности 3).

На третьем этапе реализуется рассмотренный выше алгоритм выделения изображения объекта из изображений видеоряда.

На рис. 3,в, г приведены фрагменты, соответствующие области $G_{\Delta|j+1,j} : g_\Delta(\vec{\rho}, t_j)$, $g_\Delta(\vec{\rho}, t_{j+1})$. Из сравнения видно, что они содержат практически неискаженное изображение объекта с остаточным фоном, занимающим противоположные части фрагментов.

Проведенный анализ двух реализаций видеорядов, полученных в дальнемИК-диапазоне в наземных условияхи с борта самолета показал, что степень восстановления изображений динамических объектов (автомобилей) (размер объектов составлял от 10×25 до 15×35 э.р.) не ниже 86% по площади, а СКО ошибки определения координат не превышает 1,2 э.р.

Предложенные алгоритмы обеспечивают повышение точности обнаружения динамических объектов в условиях сложного неоднородного фона и выделение изображений объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Левшин В.Л.Обработка информации в оптических системах пеленгации. М.: Машиностроение, 1978. – 168 с.*
2. *Н.А.Кочкин Адаптивныйалгоритм обнаружения динамических объектов в условиях масштабно-ракурсных искажений изображений /XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: Технические науки. Информационные технологии – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та., вып.№5 (09), 2012., с.27-31*
3. *Н.А.Кочкин Автоматическое обнаружение динамических объектов при проективных искажениях изображений /XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: Технические науки. Информационные технологии – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та., вып.№10(14), 2013., с.44-51*

УДК 621.396.96
ББК 32

ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМА ОДНОКАНАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПОИСКА ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*© **К.Е. Румянцев**, Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)*
*© **Л.А. Албогачиева**, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова (г. Грозный, Россия)*

TIME CHARACTERISTICS ALGORITHM SINGLECHANNEL SPATIOTEMPORAL SEARCH PULSED RADIATION

*© **K.E. Rumyantsev**, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)*
*© **L.A. Albogchieva**, Grozny State Oil Technical University of Acad. M.D. Millionshtchikov (Grozny, Russia)*

Установлены количественные соотношения для расчёта временных характеристик комплекса пространственно-временного поиска источников импульсного излучения с одноканальной обработкой информации при использовании сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора с ограниченной полосой пропускания, обеспечивающие приемлемую погрешность инженерных расчётов.

Ключевые слова: пространственно-временной поиск, однофотонный импульс, одноканальная регистрация, сканирующий однофотонный фотоэмиссионный приборов/

Quantitative correlations are set to analyse sequential characteristics of spatio-temporal corpus which is aimed to look for sources of pulse emission required for single-channel data processing via scanning single-photonic photoemission device with limited band pass range which calculates an acceptable accuracy of engineer calculations..

Key words: existential search, single photon pulse, the single-channel registration, scanning photoemissive device.

Цель работы состоит оценке временных характеристик системы пространственно-временного поиска импульсного излучения с одноканальной обработкой информации при использовании сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора с ограниченной полосой пропускания.

Пусть, согласно алгоритма поиска в [11], фотоприёмный канал системы пространственно-временного поиска импульсного излучения предусматривает последовательное соединение сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора, импульсного электронного усилителя и амплитудного дискриминатора (АД). Однофотонный импульс на нагрузочном сопротивлении $R_Н$ ОФЭП, имеющего $N_Д$ идентичных каскадов умножения (динодов) и коэффициент умножения

$G_{ОФЭП}$, описывается гамма-функцией:

$$u_{ОФИ}(t) = U_{ОФИm} \cdot \left(\frac{t}{N_д \cdot \tau_д} \right)^{N_д} \exp\left(N_д - \frac{t}{\tau_д} \right) \qquad (1),$$

где $\tau_д$ – время пролета электронами между двумя соседними динодами ОФЭП. Амплитуда ОФИ равна

$$U_{ОФИm} = \frac{e_{эл} \cdot G_{ОФЭП} \cdot R_н}{N_д! \cdot \tau_д} \cdot N_д^{N_д} \exp(-N_д) \qquad (2),$$

где $e_{эл} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

Заметим, что время пролета $\tau_д$ связано с полосой пропускания ОФЭП $П_{ОФЭП}$ по уровню 0,707 соотношением :

$$П_{ОФЭП} \cdot \tau_д = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\sqrt[N_д]{2} - 1} = b_{ОФЭП} \qquad (3),$$

где коэффициент $b_{ОФЭП}$ изменяется в пределах от 0,048 до 0,036 для однофотонных фотоэлектронных умножителей(ОФЭУ) и однофотонных диссекторов с числом динодов соответственно от 8 до 14.

Описанный в [10,11] алгоритм пространственно-временного поиска импульсного излучения с одноканальной обработкой информации и выделением временного момента прихода оптических импульсов основан на том, что на приёмном конце поискового комплекса известен период следования оптических сигналов $T_{след}$. В течение времени $t \in (0, T_{след}]$ фиксируется момент $t_{АД}$ первого превышения порогового уровня $U_{АД}$ амплитудного дискриминатора (рис. 1 в [11]), анализ причины которого производится в последующем интервале $[T_{след}, 2T_{след}]$.

Превышение процессом с выхода ОФЭП уровня амплитудной дискриминации $U_{АД}$ в момент времени $t_{АД} \in (0, T_{след}]$ переводит аппаратуру в ждущий режим, при котором канал однофотонной регистрации не реагирует на поток фотоэлектронов до момента $t_{строб1}$. Повторный опрос ОФЭП производится навременном интервале

$$[t_{строб1}, t_{строб2}]. \qquad (4)$$

Здесь $t_{строб1} = t_{АД} - \tau_{зад1} + T_{след} - \frac{\tau_{строб}}{2}$ соответствует моменту начала действия, а $t_{строб2} = t_{АД} - \tau_{зад1} + T_{след} + \frac{\tau_{строб}}{2}$ – моменту окончания действия импульса стробирования во время повторного обследования.

Величина $\tau_{зад1}$ представляет время задержки между моментом срабатывания АД $t_{АД}$ и моментом генерации одиночного фотоэлектрона $t_{ФЭ1}$ [10]

$$\tau_{зад1} = 7 \cdot \tau_{д} + 5{,}8 \cdot \tau_{д} \cdot U_{АД.н}, \qquad (5)$$

где $U_{АД.н} = U_{АД} / U_{ОФИm}$ – нормированный относительно амплитуды ОФИ $U_{ОФИm}$ уровень амплитудной дискриминации.

В [11] показано, что из-за априорной неопределённости в отношении числа ФЭ и момента приёма сигнального излучения длительность импульса стробирования $\tau_{строб}$ значительно превышает длительность оптического импульса $\tau_{имп}$:

$$\frac{\tau_{строб}}{\tau_{имп}} = 2 + 2 \cdot \frac{\Delta T_{след}}{\tau_{имп}} + 11{,}6 \cdot \frac{b_{ОФЭП} \cdot U_{АД.н}}{П_{ОФЭП} \cdot \tau_{имп}} \qquad (6),$$

где $\Delta T_{след}$ – нестабильность периода следования импульсов источника оптического излучения.

Если во временном интервале $\left[t_{строб1}, t_{строб2}\right]$ произошло повторное превышение порогового уровня амплитудной дискриминации $U_{АД}$, то принимается решение о приёме полезного излучения в анализируемом пространственном элементе разложения во время действия импульса стробирования.

В противном случае выносится решение об отсутствии излучения источника, и производится переход к обзору следующего пространственного элемента разложения в контролируемом пространстве. Такое же решение выносится и тогда, когда отсутствует превышение порогового уровня амплитудной дискриминации за время $t \in \left(0, T_{след}\right]$.

Пусть для описанного в [11] алгоритма пространственно-временного поиска источника оптического излучения при приёме фонового излучения интервал наблюдения элемента разложения равен

– периоду $T_{след}$ при отсутствии превышения уровня дискриминации на интервале $\left(0, T_{след}\right]$;

– двум периодам $2T_{след}$ при регистрации ОФИ или ИТТ на интервале

$\left(0, T_{след} - 0{,}5\tau_{строб}\right]$, но при отсутствии подтверждения факта регистрации ОФИ полезного излучения при повторном анализе;

– трём периодам $3T_{след}$ при отсутствии регистрации ОФИ или ИТТ на интервале $\left(0, T_{след} - 0{,}5\tau_{строб}\right]$, регистрации хотя бы одного ОФИ или ИТТ на интервале $\left(T_{след} - 0{,}5\tau_{строб}, T_{след}\right]$, но отсутствие регистрации во время повторного анализа.

Вероятность завершения наблюдения пространственного элемента разложения за время $T_{след}$ равна вероятности отсутствия генерации шумовых импульсов за период следования оптических импульсов. Для пуассоновского процесса эта вероятность равна $\exp\left(-\bar{n}_{ш.след}\right)$.

Для завершения наблюдения элемента разложения за время $2 \cdot T_{след}$ должно произойти два последовательных события. Во-первых, за время $t \in \left(0, T_{след} - 0{,}5\tau_{строб}\right]$ должен появиться хотя бы один шумовой импульс на выходе ОФЭП. Вероятность этого события определяется формулой $1 - \exp\left(-\bar{n}_{ш.след} + 0{,}5\bar{n}_{ш.строб}\right)$. Второе событие предполагает отсутствие появления шумовых импульсов на выходе ОФЭП во время действия импульса стробирования. Вероятность второго события определяется формулой $\exp\left(-\bar{n}_{ш.строб}\right)$.

Для завершения наблюдения элемента разложения за время $3T_{след}$ должно произойти три последовательных события. Во-первых, за время $t \in \left(0, T_{след} - 0{,}5\tau_{строб}\right]$ не должно появиться ни одного шумового импульса на выходе ОФЭП. Вероятность этого события определяется формулой $\exp\left(-\bar{n}_{ш.след} + 0{,}5\bar{n}_{ш.строб}\right)$.

Второе событие предполагает генерацию хотя бы одного шумового импульса на выходе ОФЭП за время $t \in \left(T_{след} - 0{,}5\tau_{строб}, T_{след}\right]$ и определяется вероятностью $1 - \exp\left(-0{,}5\bar{n}_{ш.строб}\right)$.

Третье событие предполагает отсутствие шумовых импульсов во время действия импульса стробирования. Вероятность третьего события определяется формулой $\exp\left(-\bar{n}_{ш.строб}\right)$.

Следовательно, среднее время наблюдения фонового пространственного элемента разложения составит

$$M\{\tau_{эл}\} = \bar{\tau}_{эл} = T_{след} \cdot \exp\left(-\bar{n}_{ш.след}\right) + \rightarrow$$
$$+ 2 \cdot T_{след} \cdot \left[1 - \exp\left(-\bar{n}_{ш.след} + \frac{\bar{n}_{ш.строб}}{2}\right)\right] \cdot \exp\left(-\bar{n}_{ш.строб}\right) + \rightarrow$$
$$+ 3 \cdot T_{след} \cdot \exp\left(-\bar{n}_{ш.след} + \frac{\bar{n}_{ш.строб}}{2}\right) \times \rightarrow$$
$$\left[1 - \exp\left(-\frac{\bar{n}_{ш.строб}}{2}\right)\right] \cdot \exp\left(-\bar{n}_{ш.строб}\right). \quad (7)$$

Для упрощения анализа выражения (7) введём понятие нормированного относительно периода следования оптических импульсов $T_{след}$ среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента разложения

$$\bar{\tau}_{эл.н} = \frac{\bar{\tau}_{эл}}{T_{след}} = \exp\left(-\bar{n}_{ш.след}\right) + \rightarrow$$
$$+ 2\left[1 - \exp\left(-\bar{n}_{ш.след}\left(1 - \frac{1}{2k_{след}}\frac{\tau_{строб}}{\tau_{имп}}\right)\right)\right]\exp\left(-\frac{\bar{n}_{ш.след}}{k_{след}}\frac{\tau_{строб}}{\tau_{имп}}\right) + \rightarrow$$
$$+ 3\exp\left(-\bar{n}_{ш.след} + \frac{\bar{n}_{ш.след}}{2k_{след}}\frac{\tau_{строб}}{\tau_{имп}}\right) \times \rightarrow$$
$$\left[1 - \exp\left(-\frac{\bar{n}_{ш.след}}{2k_{след}}\frac{\tau_{строб}}{\tau_{имп}}\right)\right]\exp\left(-\frac{\bar{n}_{ш.след}}{k_{след}}\frac{\tau_{строб}}{\tau_{имп}}\right). \quad (8)$$

На рис. 1 приведены зависимости нормированного среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента разложения от среднего числа шумовых импульсов $\bar{n}_{ш.след}$, генерируемых за период следования оптических импульсов для значений $k_{след} = T_{след}/\tau_{имп}$ =10, 20, 100 и 1000, рассчитанные по формуле (8) при $k_T = \Delta T_{след}/T_{след} = 0$, $\alpha = П_{ОФЭП} \cdot \tau_{имп}$ =1, $N_Д$=14 и $U_{АД.н} = 0{,}5$.

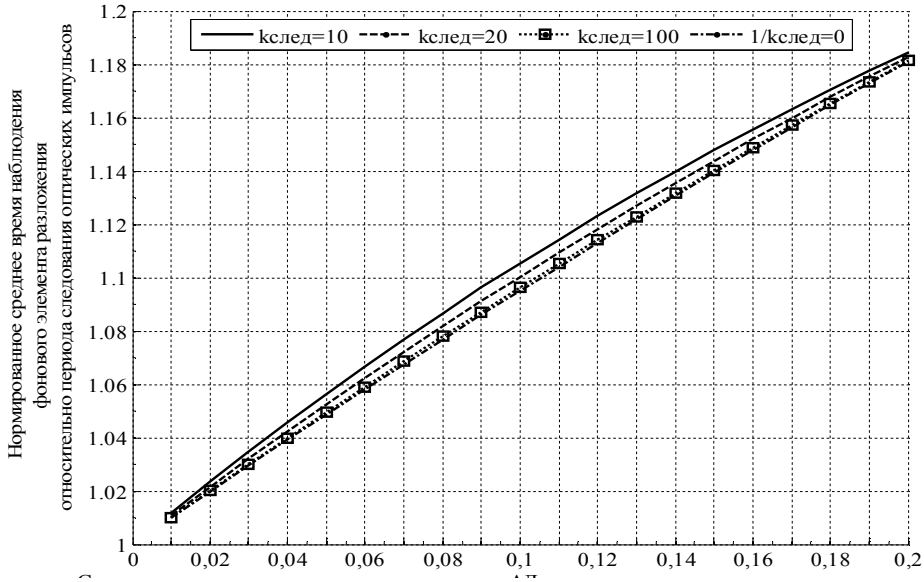


Рис. 1.Нормированное среднее время наблюдения фонового пространственного элемента разложения от среднего числа шумовых импульсов за период следования оптических импульсов $\overline{n}_{ш.след}$

Видно, что с ростом значений коэффициента $k_{след}$, определяющего отношение периода следования оптических импульсов $T_{след}$ к длительности прямоугольного оптического импульса $\tau_{имп}$, среднее время наблюдения фонового пространственного элемента разложения падает. Например, при $k_{след}$ =20 и $\overline{n}_{ш.след}$ =0,1 увеличение среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента разложения достигает 10 % (в 1,1 раза). Следовательно, минимум в 1,1 раза возрастает и среднее время пространственно-временного поиска импульсного излучения в контролируемом пространстве.Как следует из формулы (8), различие между средним временем наблюдения пространственного элемента разложения $\overline{\tau}_{эл}$ и периодом следования импульсов $T_{след}$ при выполнении условий $T_{след} >> \tau_{строб}$ и $\overline{n}_{ш.след}$<0,2 не превышает 20 %. Причём, с ростом значения коэффициента $k_{след}$ среднее время наблюдения элемента $\overline{\tau}_{эл}$ изменяется незначительно.

Рассмотрим случай, когда $k_{след} \to \infty$. Тогда из формулы (8) следует приближённое выражение для расчёта среднего времени наблюдения пространственного элемента разложения

$$\overline{\tau}_{эл.прибл} = 2 - \exp(-\overline{n}_{ш.след}). \qquad (9)$$

Зависимости на рис. 1 и рис. 2 доказывают возможность использования приближённой формулы (9) для расчёта среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента разложения. Действительно, как следует из рис. 2, погрешность расчёта среднего времени наблюдения фонового элемента разложения по приближённой формуле (9) не превышает 1,0 % при $\overline{n}_{ш.след}$ ≤0,2 при $k_{след}$≥10.

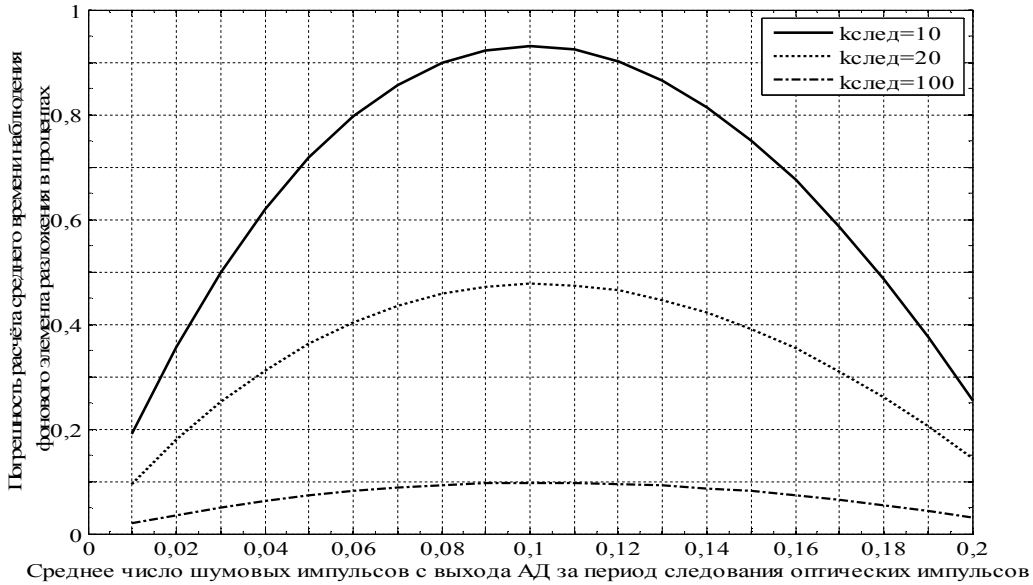


Рис. 2. Погрешности расчёта среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента разложения от среднего числа шумовых импульсов за период следования оптических импульсов $\overline{n}_{ш.след}$

Таким образом, установлены количественные соотношения для расчёта временных параметров приёмно-передающего комплекса поиска источников импульсного излучения при использовании сканирующего фотоэмиссионного прибора с ограниченной полосой пропускания в режиме регистрации однофотонных импульсов с одноканальной обработкой информации, обеспечивающие приемлемую погрешность инженерных расчётов.

Получено выражение (8) для расчёта среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента разложения. Показано, что различие между средним временем наблюдения пространственного элемента разложения и периодом следования импульсов при выполнении условий $T_{след} >> \tau_{строб}$ и $\overline{n}_{ш.след}$<0,2 не превышает 20 %. Причём, с ростом значения коэффициента $k_{след}$ среднее время наблюдения элемента изменяется незначительно. Доказана возможность использования приближённой формулы (9) для расчёта среднего времени наблюдения фонового пространственного элемента разложения с погрешностью не более 1,0 % при $\overline{n}_{ш.след}$ ≤0,2 при $k_{след}$≥10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бычков С.И., Румянцев К.Е. Поиск и обнаружение оптических сигналов / Под ред. К.Е. Румянцева. М.: Радио и связь; Таганрог: ТРТУ. 2000.*
2. *Гальярди Р.М., Карп Ш. Оптическая связь / Пер. с англ., под ред. А.Г. Шереметьева. М.: Связь. 1978.*
3. *Гулаков Н.Р., Холондырев С.В. Метод счета фотонов в оптико-физических измерениях. Минск: БГУ. 1989.*
4. *Румянцев К.Е. Временной поиск импульсных сигналов одноэлектронными фотоприёмниками // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1986. Т. 29. № 3. С.100 – 103.*
5. *Румянцев К.Е. Проектирование цифровой диссекторной системы пространственно-временного поиска источников импульсного излучения // Вопросы формирования и обработка сигналов в радиотехнических устройствах и системах. Таганрог: ТРТИ. 1989. Вып. 5. С. 8 – 12.*
6. *Румянцев К.Е. Многоканальная система временного поиска импульсных сигналов одноэлектронными фотоприёмниками // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1990. Т. 33. № 5. С. 36 – 41.*
7. *Румянцев К.Е. Достоверность результатов одноэлектронной регистрации оптических потоков // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1986. Т. 29, № 12. С. 62 – 65.*
8. *Румянцев К.Е., Амплиев А.Е. Требования к двоичному счетчику для регистрации потока фотонов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011.*
9. *Румянцев К.Е., Албогачиева Л.А., Баматгиреева К.Б. Алгоритм пространственно-временного поиска импульсных сигналов в режиме одноканальной регистрации однофотонных импульсов. // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2012. – Т. 8, № 4. – С. 3 – 11.*
10. *Ковалев В.В., Субботина Ф.М, Шубников Е.Н. Времена пролета электронов в ФЭУ // Приборы и техника эксперимента. 1972. № 1. С. 158 – 159.*
11. *Румянцев К.Е. Одноэлектронные регистраторы оптических сигналов. Таганрог: ТРТИ. 1991.*

УДК 621.396.96
ББК32

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛГОРИТМА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО ПОИСКА ИМПУЛЬСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ОДНОКАНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

*© **К.Е. Румянцев**, Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону, Россия)*
*© **К.Б.Баматгиреева**, Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова (г. Грозный, Россия)*

PROBABILISTIC CHARACTERISTICS ALGORITHM SPATIOTEMPORAL SEARCH PULSED RADIATION WITH SINGLE-CHANNEL INFORMATION PROCESSING

*© **K.E. Rumyantsev**, Southern Federal University (Rostov-on-Don, Russia)*
*© **K.B.Bamatgireeva**, Grozny State Oil Technical University of Acad. M.D. Millionshtchikov (Grozny, Russia)*

Установлены количественные соотношения для расчёта вероятностных характеристик комплекса пространственно-временного поиска источников импульсного излучения с одноканальной обработкой информации при использовании сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора с ограниченной полосой пропускания, обеспечивающие приемлемую погрешность инженерных расчётов.

Ключевые слова: пространственно-временной поиск, однофотонный импульс, одноканальная регистрация, сканирующий однофотонный фотоэмиссионный приборов.

Quantitative correlations for calculation of probability characteristics of complex spatio-temporal search for sources of pulsed radiation with single-channel data processing using a scanning single-photon photoemission device with limited bandwidth, ensuring acceptable accuracy of engineering calculations.

Key words: existential search, single photon pulse, the single-channel registration, scanning photoemissive device.

Задача приёма и обработки оптических сигналов важна в системах связи, локации, навигации, системах квантовой криптографии [1, 2]. В режиме вхождения в связь при пространственно-временном поиске источника оптического излучения момент появления импульсного сигнала на приёмном конце считается неизвестным. Организация пространственно-временного поиска с целью обнаружения и выделения момента появления оптического импульса является необходимым условием вхождения в связь (синхронизм) приёмно-передающего комплекса.

Предельные параметры фотоприёмной аппаратуры реализуются при использовании однофотонных фотоприёмников [3, 4], позволяющих регистрировать акты преобразования фотона в фотоэлектрон (ФЭ) – первичный электрон. Вопросы применения последних в системах пространственно-временного поиска освещены в монографии [1] и статьях [5−9]. Здесь, в

предположении использования идеального однофотонного фотоэмиссионного прибора (ОФЭП) с бесконечно широкой полосой пропускания описываются временные методы обработки информации в аппаратуре поиска с ОФЭП, синтезируются алгоритмы пространственно-временного поиска импульсного излучения, оптимизируются параметры и дается методика проектирования аппаратуры поиска источников импульсного излучения.

В [10] установлены количественные соотношения для описания временных параметров комплекса поиска источников импульсного излучения при использовании сканирующего ОФЭП с ограниченной полосой пропускания в режиме регистрации однофотонных импульсов (ОФИ) с учётом эффектов наложения откликов на появление фотоэлектрона с фотокатода ОФЭП.

Цель работы состоит в оценке вероятностных характеристик системы пространственно-временного поиска импульсного излучения с одноканальной обработкой информации при использовании сканирующего однофотонного фотоэмиссионного прибора с ограниченной полосой пропускания.

Пусть фотоприёмный канал системы поиска импульсного излучения предусматривает последовательное соединение сканирующего ОФЭП, электронного усилителя и амплитудного дискриминатора (АД). Однофотонный импульс на нагрузочном сопротивлении R_H ОФЭП, имеющего $N_Д$ идентичных каскадов умножения (динодов) и коэффициент умножения $G_{ОФЭП}$, описывается гамма-функцией [1]: $u_{ОФИ}(t) = U_{ОФИm} \cdot \left(\frac{t}{N_д \cdot \tau_д}\right)^{N_д} \exp\left(N_д - \frac{t}{\tau_д}\right)$,

где $\tau_Д$ – время пролета электронами между двумя соседними динодами ОФЭП.Амплитуда ОФИ равна:

$$U_{ОФИm} = \frac{e_{эл} \cdot G_{ОФЭП} \cdot R_н}{N_Д! \cdot \tau_Д} \cdot N_Д^{N_Д} \exp(-N_Д),$$

где $e_{эл} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона.

Заметим, что время пролета $\tau_Д$ связано с полосой пропускания ОФЭП $П_{ОФЭП}$ по уровню 0,707 соотношением [1]:

$$П_{ОФЭП} \cdot \tau_д = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\sqrt[N_д]{2} - 1} = b_{ОФЭП},$$

где коэффициент $b_{ОФЭП}$ изменяется в пределах от 0,048 до 0,036 для однофотонных фотоэлектронных умножителей (ОФЭУ) и однофотонных диссекторов с числом динодов соответственно от 8 до 14.

Алгоритм пространственно-временного поиска импульсного излучения с одноканальной обработкой информации и выделением временного момента прихода оптических импульсов основан на том, что на приёмном конце поискового комплекса известен период следования оптических сигналов $T_{след}$ [10].В течение времени $t \in (0, T_{след}]$ фиксируется момент $t_{АД}$ первого превышения

порогового уровня $U_{АД}$ амплитудного дискриминатора, анализ причины которого производится в последующем интервале $\lfloor T_{след}, 2T_{след} \rfloor$.

Превышение процессом с выхода ОФЭП уровня амплитудной дискриминации $U_{АД}$ в момент времени $t_{АД} \in (0, T_{след}]$ переводит аппаратуру в ждущий режим, при котором канал однофотонной регистрации не реагирует на поток фотоэлектронов до момента $t_{строб1}$. Повторный опрос ОФЭП производится во временном интервале $\lfloor t_{строб1}, t_{строб2} \rfloor$. Здесь $t_{строб1} = t_{АД} - \tau_{зад1} + T_{след} - \frac{\tau_{строб}}{2}$ соответствует моменту начала действия, а $t_{строб2} = t_{АД} - \tau_{зад1} + T_{след} + \frac{\tau_{строб}}{2}$ – моменту окончания действия импульса стробирования во время повторного обследования.

Величина $\tau_{зад1}$ представляет время задержки между моментами срабатывания АД $t_{АД}$ и генерации одиночного фотоэлектрона $t_{ФЭ\,1}$ [10] $\tau_{зад1} = 7 \cdot \tau_д + 5{,}8 \cdot \tau_д \cdot U_{АД.н}$, где $U_{АД.н} = U_{АД} / U_{ОФИm}$ – нормированный относительно амплитуды ОФИ $U_{ОФИm}$ уровень амплитудной дискриминации.

Из-за априорной неопределённости в отношении числа ФЭ и момента приёма сигнального излучения длительность импульса стробирования $\tau_{строб}$ значительно превышает длительность оптического импульса $\tau_{имп}$:

$$\frac{\tau_{строб}}{\tau_{имп}} = 2 + 2 \cdot \frac{\Delta T_{след}}{\tau_{имп}} + 11{,}6 \cdot \frac{b_{ОФЭП} \cdot U_{АД.н}}{П_{ОФЭП} \cdot \tau_{имп}}, \qquad (1)$$

где $\Delta T_{след}$ – нестабильность периода следования оптических импульсов.

Если в интервале $\lfloor t_{строб1}, t_{строб2} \rfloor$ произошло повторное превышение уровня амплитудной дискриминации $U_{АД}$, то принимается решение о приёме полезного излучения в анализируемом пространственном элементе разложения во время действия импульса стробирования. В противном случае выносится решение об отсутствии излучения источника, и производится переход к обзору следующего элемента разложения в контролируемом пространстве. Такое же решение выносится и тогда, когда отсутствует превышение порогового уровня амплитудной дискриминации за время $t \in (0, T_{след}]$.

К вероятностным характеристикам аппаратуры поиска импульсных сигналов в режиме регистрации однофотонных импульсов следует в первую очередь

отнести вероятность ложных тревог $P_{ЛТ}$ и вероятность правильного обнаружения источника полезного оптического излучения $P_{обн}$.

Вероятность ложных тревог при условии приёма только фонового излучения (гипотеза H_0) рассчитывается по формуле

$$P_{ЛТ} = 1 - \Pr\{n = 0,\ t \in (0, T_{след}] | H_0\} - \rightarrow$$
$$- \Pr\{n \geq 1,\ t \in (0, T_{след}] | H_0\} \cdot \Pr_2\{n = 0 \| H_0\}. \quad (2)$$

Здесь $\Pr\{n = 0,\ t \in (0, T_{след}] | H_0\}$ определяет вероятность отсутствия фонового фотоэлектрона или ИТТ на временном интервале $(0, T_{след}]$, а $\Pr\{n \geq 1,\ t \in (0, T_{след}] | H_0\}$ – вероятность регистрации хотя бы одного (n≥1) фонового фотоэлектрона или ИТТ на временном интервале $(0, T_{след}]$.

В формуле (2) через $\Pr_2\{n = 0 | H_0\} = \Pr\{n = 0, t \in [t_{строб\ 1}; t_{строб\ 2}] | H_0\}$ обозначена условная вероятность того, что при повторном обследовании не будет зарегистрировано ни одного фонового фотоэлектрона или ИТТ во время стробирования фотокатода ОФЭП.

Пусть $\xi_{фон}$ – частота генерации фоновых фотоэлектронов, а $\xi_{ИТТ}$ – частота генерации ИТТ после амплитудной дискриминации.

Как ОФИ фонового излучения, так и импульсы темнового тока ОФЭП являются шумовым воздействием. Поэтому вводится понятие частоты генерации шумовых импульсов $\xi_{ш} = \xi_{фон} + \xi_{ИТТ}$. Тогда за время измерения $\tau_{изм}$ будет в среднем генерироваться $\bar{n}_{ш} = \xi_{ш} \cdot \tau_{изм}$ шумовых импульсов.

Для описания статистических свойств потока шумовых импульсов используется закон Пуассона, при котором вероятность генерации равно *n* шумовых импульсов равна

$$\Pr\{n | \bar{n}_{ш}\} = \frac{\bar{n}_{ш}^{n}}{n!} \exp(-\bar{n}_{ш}).$$

В случае пуассоновского потока шумовых импульсов с частотой генерации $\xi_{ш}$ находим:

$$P_{ЛТ} = [1 - \exp(-\bar{n}_{ш.след})] \cdot [1 - \exp(-\bar{n}_{ш.строб})], \quad (3)$$

где $\bar{n}_{ш.след} = \xi_{ш} \cdot T_{след}$ – среднее число шумовых импульсов, генерируемых за период следования оптических импульсов $T_{след}$; $\bar{n}_{ш.строб} = \xi_{ш} \cdot \tau_{строб}$ – среднее число шумовых импульсов, генерируемых за длительность импульса стробирования $\tau_{строб}$.

Из формулы (3) видно, что для снижения вероятности ложных тревог следует генерировать оптические импульсы наносекундной и пикосекундной длительности, предъявляя жёсткие требования к стабильности частоты следования последних. Этот вывод согласуется с выводами работы [1].

Из выражений (1) и (3) следует, что вероятность ложных тревог зависит от длительности $\tau_{имп}$ периода и периода $T_{след}$ и нестабильности следования $\Delta T_{след}$ оптических импульсов, параметров (числа динодов $N_{Д}$, полосы пропускания $П_{ОФЭП}$ по уровню 0,707) ОФЭП, уровня амплитудной дискриминации $U_{АД}$, частоты генерации шумовых импульсов $\xi_{ш}$.

Пусть в обследуемом пространственном элементе разложения (рис. 1) присутствует полезное излучение, занимающее временные интервалы $t \in [t_c, t_c + \tau_{имп}]$ и $t \in [t_c + T_{след}, t_c + T_{след} + \tau_{имп}]$.

Условная вероятность правильного обнаружения полезного излучения (гипотеза H_1) равна:

$$P_{обн}\{t_c\} = \Pr\{n = 0, t \in (0, t_c) | H_1\} \cdot \Pr\{n \geq 1, t \in [t_c, t_c + \tau_{имп}] | H_1\} \cdot \rightarrow$$
$$\rightarrow \Pr\{n \geq 1, t \in [t_{строб\,1}, t_{строб\,2}] | H_1\}$$

определяется моментом появления первого фотоэлектрона в оптическом импульсе $t_{ФЭ} \in [t_c, t_c + \tau_{имп}]$.

Здесь $\Pr\{n = 0, t \in (0, t_c] | H_1\}$ – вероятность отсутствия шумовых импульсов во временном интервале $t \in [0, t_c]$, предшествующему оптическому импульсу; $\Pr\{n \geq 1, t \in (t_c, t_c + \tau_{имп}] | H_1\}$ – вероятность регистрация хотя бы одного фотоэлектрона полезного излучения или шумового импульса за время действия оптического импульса $t \in (t_c, t_c + \tau_{имп}]$; $\Pr\{n \geq 1, t \in [t_{строб\,1}, t_{строб\,2}] | H_1\}$ – вероятность регистрации хотя бы одного фотоэлектрона полезного излучения или шумового импульса в интервале $[t_{строб\,1}, t_{строб\,2}]$.

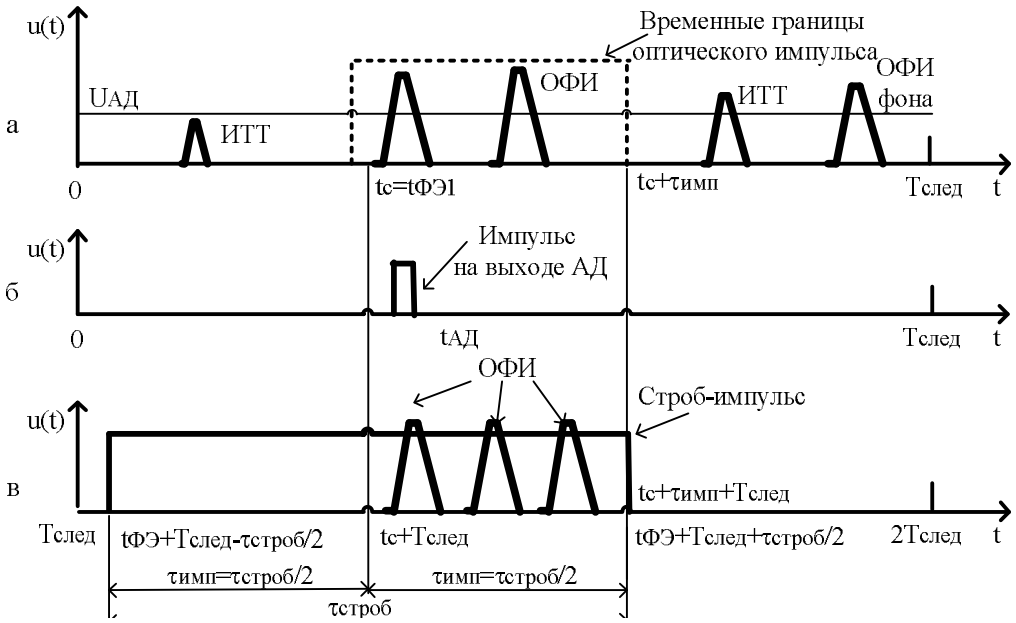


Рис. 1. Процесс обнаружения источника полезного излучения

Полагая распределение чисел фотоэлектронов, обязанных приёму полезного излучения, подчинённым закону Пуассона со средним $\overline{n}_c$, находим

$$P_{обн}\{t_c\,|H_1\} = \exp\left(-\xi_ш \cdot t_c\right)\cdot \rightarrow$$
$$\left[1-\exp\left(-\overline{n}_c - \overline{n}_{ш.имп}\right)\right]\cdot\left[1-\exp\left(-\overline{n}_c - \overline{n}_{ш.строб}\right)\right]. \quad (4)$$

В формуле $\overline{n}_{ш.имп} = \xi_ш \cdot \tau_{имп}$ – среднее число шумовых импульсов, генерируемых за длительность оптического импульса $\tau_{имп}$.

Вероятность правильного обнаружения находится усреднением (4) по закону распределения момента появления оптического импульса t_c на временном интервале $t \in \left(0, T_{след} - \tau_{имп}\right]$. В силу равновероятного распределения $Pr\{t_c\} = \left(T_{след} - \tau_{имп}\right)^{-1}$ случайной величины t_c найдём безусловную вероятность правильного обнаружения (в дальнейшем просто вероятность правильного обнаружения)

$$P_{обн} = \int_0^{T_{след}-\tau_{имп}} P_{обн}\{t_c\}\cdot Pr\{t_c\}\cdot dt_c = \frac{1}{T_{след}-\tau_{имп}} \int_0^{T_{след}-\tau_{имп}} P_{обн}\{t_c\}\cdot dt_c$$

.

Произведя интегрирование, находим

$$P_{\text{обн}} = \frac{1 - \exp(-\bar{n}_{\text{ш.след}} + \bar{n}_{\text{ш.имп}})}{\bar{n}_{\text{ш.след}} - \bar{n}_{\text{ш.имп}}} \cdot \rightarrow$$
$$\rightarrow \left[1 - \exp\left(-\bar{n}_{\text{с}} - \bar{n}_{\text{ш.имп}}\right)\right] \cdot \left[1 - \exp\left(-\bar{n}_{\text{с}} - \bar{n}_{\text{ш.строб}}\right)\right].$$

Представим выражение в виде произведения трёх вероятностей

$$P_{\text{обн}} = Pr_{\text{ш}} \cdot Pr_{\text{имп}} \cdot Pr_{\text{строб}}. \quad (5)$$

В формуле (5) первый сомножитель

$$Pr_{\text{ш}} = \frac{1 - \exp(-\bar{n}_{\text{ш.след}} + \bar{n}_{\text{ш.имп}})}{\bar{n}_{\text{ш.след}} - \bar{n}_{\text{ш.имп}}} \quad (6)$$

определяет усреднённую вероятность отсутствия регистрации шумового импульса до момента появления оптического импульса. Эта вероятность зависит только от свойств фонового излучения и темнового тока ОФЭП, но не зависит от энергии сигнала.

Второй сомножитель в формуле (5)

$$Pr_{\text{имп}} = 1 - \exp\left(-\bar{n}_{\text{с}} - \bar{n}_{\text{ш.имп}}\right) \quad (7)$$

определяет вероятность срабатываний АД во время действия оптического импульса на интервале $t \in (0, T_{\text{след}}]$.

Наконец, сомножитель

$$Pr_{\text{строб}} = 1 - \exp\left(-\bar{n}_{\text{с}} - \bar{n}_{\text{ш.строб}}\right) \quad (8)$$

определяет вероятность срабатывания АД во время действия импульса стробирования.Два последних сомножителя (7) и (8) зависят как от свойств фонового излучения и темнового тока диссектора, так и от энергии (среднего числа ОФИ) полезного излучения в импульсе.

Таким образом, установлены соотношения для расчёта вероятностных параметров приёмно-передающего комплекса поиска источников импульсного излучения, при использовании сканирующего фотоэмиссионного прибора с ограниченной полосой пропускания в режиме регистрации однофотонных импульсов с одноканальной обработкой информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бычков С.И., Румянцев К.Е. Поиск и обнаружение оптических сигналов / Под ред. К.Е. Румянцева. М.: Радио и связь; Таганрог: ТРТУ. 2000.*
2. *Румянцев К.Е. Системы квантового распределения ключа: Монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. – 264 с.*
3. *Гальярди Р.М., Карп Ш. Оптическая связь / Пер. с англ., под ред. А.Г. Шереметьева. М.: Связь. 1978.*

4. *Гулаков Н.Р., Холондырев С.В. Метод счета фотонов в оптико-физических измерениях. Минск: БГУ. 1989.*
5. *Румянцев К.Е. Временной поиск импульсных сигналов одноэлектронными фотоприёмниками // Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника. 1986. Т. 29. № 3. С.100 – 103.*
6. *Румянцев К.Е. Проектирование цифровой диссекторной системы пространственно-временного поиска источников импульсного излучения // Вопросы формирования и обработка сигналов в радиотехнических устройствах и системах. Таганрог: ТРТИ. 1989. Вып. 5. С. 8 – 12.*
7. *Румянцев К.Е. Многоканальная система временного поиска импульсных сигналов одноэлектронными фотоприёмниками // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1990. Т. 33. № 5. С. 36 – 41.*
8. *Румянцев К.Е. Достоверность результатов одноэлектронной регистрации оптических потоков // Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника. 1986. Т. 29, № 12. С. 62 – 65.*
9. *Румянцев К.Е., Амплиев А.Е. Требования к двоичному счетчику для регистрации потока фотонов // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2011.*
10. *Румянцев К.Е., Албогачиева Л.А., Баматгиреева К.Б. Алгоритм пространственно-временного поиска импульсных сигналов в режиме одноканальной регистрации однофотонных импульсов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2012. – Т. 8, № 4. – С. 3 – 11.*

УДК 004.93
ББК30

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ 3D ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

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

MAIN ADVANTAGES AND ADDITIONAL CAPABILITIES OF 3D TRACE TRANSFORM

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

В статье предлагается новая методика анализа и распознавания 3D изображений, основанных на методах стохастической геометрии и функционального анализа. Дается описание основных теоретических результатов предложенного метода, его преимущества. Приводится кратко математическая модель 3D трейс-преобразования. Рассматриваются способы построения гипертрейс матриц, связанные с правилами нумерации узлов опорной сетки на сфере. Описываются дополнительные возможности данного метода.

Ключевые слова: 3D трейс-преобразование, 2D трейс-преобразование, гипертрейс матрица, опорная сетка на сфере, триплетная и гипертриплетная структура признаков.

In this article authors proposes a new method of analysis and recognition of 3D image based methods of stochastic geometry and functional analysis. Theoretical results of the proposed method and its advantages are described. A brief mathematical model of 3D trace transform is presented. The ways of constructing hypertrace matrices associated with numbering nodes rules of supporting mesh on the sphere are considered. Additional abilities of this method are described.

Key words: 3D trace transform, 2D trace transform, hypertrace matrix, supporting mesh on the sphere, triplet and hypertriplet structure of features.

Введение.

Для современного этапа актуально применение технологий 3D моделирования и решение задач распознавания пространственных изображений. Для многих областей исследования важно не только надежное распознавание движущихся 3D объектов, подверженных линейным искажениям, но также и определение параметров движения и деформации (например, в исследованиях Земли из космоса, при позиционировании инструмента в робототехнике, в компьютерном зрении встраиваемых систем управления). С развитием и усложнением технических устройств актуальной становится также задача анализа особенностей 3D объектов, вычисление различных их метрических свойств и признаков.

Данная статья состоит из описания основных теоретических результатов и дальнейших разрабатываемых дополнительных возможностей 3D трейс-преобразования. Описывается кратко математическая модель данного метода, анализируются особенности и способы построения гипертрейс матрицы, связанной с нумерациями узлов опорной сетки на сфере. Рассматривается теоретические примеры вычисления гипертриплетного признака и коэффициента масштабирования. В виду ограниченного объема статьи практические примеры не приводятся в данной статье. Экспериментальная проверка свойств 3D трейс-преобразования описана в настоящем журнале – статья А.А. Сёмов «Экспериментальная проверка свойств 3D трейс-преобразования».

Основные свойства и преимущества 3D трейс метода.

Известные сегодня методы распознавания 3D объектов в основном решают узкоспециализированные задачи, ориентированные на анализ и распознавание определенных групп изображений. При этом данные методы не обладают рядом крайне важных свойств и, как следствие, нужной универсальностью. Предлагаемое в данной статье гипертрейс-преобразование позволяет конструировать признаки полностью инвариантные к группе движений 3D объектов и сенситивные (в части случаев даже инвариантные) к масштабированию [1]. Данным свойством не обладает ни один из известных на сегодняшний момент метод распознавания 3D изображений [2].

Кроме того, данный метод обладает устойчивостью к координатному шуму [3, 4], что проявляется не только в получении признаков инвариантных к группе движений и отсутствии предварительной обработки изображений, но и в применяемой технике сканирования. Так, искажение формы объекта поразному проявляется при разных углах обзора и сечения объекта плоскостями.

Данный метод обладает определенной универсальностью, так как схема сканирования не привязана к геометрическим особенностям исходной модели, а благодаря большому числу используемых видов функционалов и их композиционной структуре можно подбирать и конструировать различные признаки [5-7], которые будут наиболее эффективны при распознавании заданной базы объ-

ектов. Предлагаемая методика ориентирована на объекты любой сложности и конфигурации.

Также стоит отметить, что обработка, сканирование и анализ изображения осуществляется в одной технике благодаря специфичной структуре формируемых признаков [4, 6], что позволяет ускорить время работы распознающей системы. Кроме того, данный метод обладает возможностью извлечения множества дополнительной информации об объекте (в частности, получение его метрических свойств), причем это осуществляется в той же технике сканирования.

Математическая модель 3D трейс-преобразования.

Обозначим через *B(η, r)* плоскость на расстоянии *r* от начала координат и вектором нормалью $\eta = \left[\cos\varphi \cdot \sin\omega,\ \sin\varphi \cdot \sin\omega,\ \cos\omega\right]$, где ω – угол между *B(η, r)* и 0xy, φ – угол между *B(η, r)* и 0xz.

Исходный 3D объект *F* сканируется сеткой параллельных плоскостей. Результат пересечения каждой сканирующей плоскости *B(η(ω,φ),r)* с трёхмерной моделью *F* характеризуется числом: $G = HyperT\left(F \cap B\left(\eta(\omega,\varphi), r\right)\right)$. Объект сканируется под различными углами ω и φ с шагом $\Delta\omega$ и $\Delta\varphi$ до завершения оборота обхода объекта *F* в 2π радиан по каждому углу с дискретным шагом Δ между сканирующими плоскостями. В результате вычислений формируется гипертрейс матрица 3TM, у которой ось 0ω направлена горизонтально, ось 0φ – вертикально, ось $0r$ – вглубь.

Далее, используя построковые и постолбцовые обработки матрицы 3TM при помощи гиперфункционалов *HyperP*, *HyperΩ* и *HyperΘ*, вычисляется признак *Res*(*F*) исходной модели [3]:

$$Res\left(F\right) = Hyper\boldsymbol{\Theta} \circ Hyper\boldsymbol{\Omega} \circ Hyper\boldsymbol{P} \circ HyperT\left(F_{\sec t}\right)$$

Признаки получившихся в сечении фигур извлекаются при помощи 2D трейс-преобразования, введённого [8] и развитого в последующих работах Н.Г. Федотовым [9-12]. Так, изображение фигуры сечения F_{sect} сканируется решеткой параллельных прямых $l(\rho,\theta)$ с дискретным шагом $\Delta\rho$ между линиями под различными углами θ, до завершения полного оборота обхода в 2π радиан. Признак 2D изображения имеет структуру в виде композиции трех функционалов [8]:

$$\boldsymbol{\Pi}\left(F_{sect}\right) = HyperT\left(F_{sect}\right) = \boldsymbol{\Theta} \circ \boldsymbol{P} \circ T\left(F_{sect} \bigcap l(\theta,\rho)\right)$$

2D трейс-преобразование обладает теми же свойствами инвариантности и сходной композиционной структурой признаков, что и рассматриваемый в данной статье 3D трейс метод, что обуславливает его эффективное здесь применение [4].

Построение гипертрейс матриц и формирование опорной сетки.

Стандартный перебор всевозможных позиций каждой плоскости (вариантов углов ω и φ) в топологическом смысле дает модель сферы с центром в начале координат. Каждой позиции плоскости сопоставим точку ее касания с соответствующей сферой. Смена углов происходит согласно точкам этой опорной сетки, однозначно определяющим единственную плоскость и соответствующую ей сетку параллельных плоскостей.

При повороте сферы вокруг своего центра опорная сетка должна полностью или почти совпадать сама с собой, чтобы и соответствующие сетки секущих параллельных плоскостей полностью или почти совпадали друг с другом, т.к. смещение угла наклона сетки плоскостей повлияет на расчет признаков и точность распознавания объекта. Данное отклонение должно быть контролируемой величиной, зависящей от способа построения сетки и количества в ней

узлов. Таким образом, распределение точек на сфере должно быть равномерным [13].

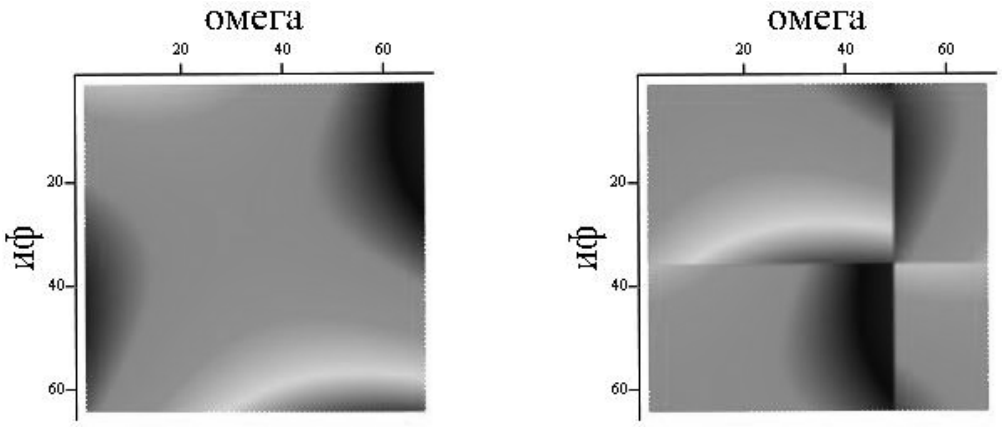
Также необходимо задать правило нумерации узлов сетки, которое задает принцип формирования гипертрейс матрицы 3ТМ и влияет на порядок следования и периодичность её столбцов и строк. Данное правило нумерации точек должно быть таким, чтобы не зависеть от пространственной ориентации объекта, и получаемый признак не изменял своего значения при обработке функционалами строк и столбов матрицы 3ТМ.

Правила нумерации могут быть различными, иметь различную вычислительную сложность и информативность с целью извлечения определенного класса признаков из 3D объекта.

Приведем один из примеров нумерации узлов опорной сетки для формирования гипертрейс матрицы 3ТМ, удовлетворяющей приведенным выше ограничениям с возможностью совмещения с той же техникой сканирования. Так, из всего множества возможных узлов выбирается ключевая точка, которая считается полюсом. Для большей надежности данная точка должна иметь несколько отличительных значений по одному или нескольким признаку (например, максимум и медиана площади распределения всех сечений, их периметров и т.п.). Сфера с помощью меридиан разбивается на двуугольники с вершинами в полюсах. Нумерация в двуугольниках идет от первой ключевой точки по часовой стрелке в направлении противоположного полюса.

В этом случае смысл строк и столбцов гипертрейс матрицы 3ТМ останется тем же с той лишь разницей, что тройке (ω_i, φ_j, r_k) соответствует элемент матрицы со значением $\Pi(F_{sect})$ и номером (u_t, v_s, k), который лежит в пределах от долготы u_t до u_{t+1} и в пределах широт от v_s до v_{s+1}. Соответственно, вертикальный столбец матрицы 3ТМ описывает все точки, принадлежащие одному двуугольнику, с тем же порядком следования. Горизонтальная строка определяет порядок обхода двуугольников. Т. к. не задан нулевой двуугольник или точка их отсчета, то горизонтальная строка представляет собой дискретный аналог периодической кривой.

Ниже представлен пример практического расчета гипертрейс матрицы 3ТМ для общего случая после отработки функционалом *HyperP*(см. рис. 1). Тон цвета обозначает числовое значение элемента матрицы: темный тон характеризует большее значение, светлый тон – меньшее. Оси показывают размерность матрицы.



а) б)

Рис. 1.Графическое представление гипертрейс матрицы 3ТМ после отработки глубинных строк: а) исходный объект; б) повернутый объект

Если убрать требование предопределенной нумерации, то тогда исходную 3D матрицу 3TM удобнее представить в виде 2D матрицы 2TM, т.к. из-за нарушения периодичности столбцов горизонтальная строка и вертикальный столбец должны обрабатываться одним и тем же видом функционала. У такой матрицы 2TM столбцы представляют собой набор сечений плоскостями, сохраняющий порядок следования секущих плоскостей, а строки (обзор 3D объекта с разных углов) – массивы чисел, в которых элементы могут быть переставлены произвольным образом.

Преимуществом же 2D матриц (отсутствие требования предопределенной нумерации) является быстрота вычисления, недостатком – использование меньшего числа возможных функционалов и извлечение меньшего количества дополнительной информации из обработки гипертрейс матрицы.

Следует отметить также, что возможны такие типы нумераций, при которых 3D матрица 3TM преобразуется в 4D матрицу 4TM. Обработка строк и столбцов такой матрицы позволяет находить признаки локальных областей поверхности объекта (например, определение глубины впадины объекта, площадь поверхности кратера и т.п.).

Дополнительные возможности 3D трейс метода.

Предлагаемый пространственный трейс метод позволяет не только различать 3D объекты, но и параллельно получать множество информации об объекте, не проводя при этом дополнительных сканирований. Так, ниже приведен пример вычисления объема объекта при помощи 3D трейс-преобразования при отсутствии нумерации узлов опорной сетки:

$$V(F) = Res(F) = Hyper\boldsymbol{\Theta} \circ Hyper\boldsymbol{P} \circ HyperT(\boldsymbol{\Theta} \circ \boldsymbol{P} \circ T),$$

где $T(F_{sect} \cap l(\theta,\rho)) = \sum_t f(\theta,\rho,t) \cdot \boldsymbol{\Delta t}$, $\boldsymbol{P}(g(\theta,\rho)) = \sum_\rho f(\theta,\rho)$,

$\boldsymbol{\Theta}(g(\theta)) = \max_\theta f(\theta)$,

$HyperT(F \cap B(\eta(\omega,\varphi),r)) = \boldsymbol{\Pi}(F_{sect}) = \boldsymbol{\Pi}(\varphi,r)$,

$Hyper\boldsymbol{P}(\boldsymbol{\Pi}(\varphi,r)) = \sum_r \boldsymbol{\Pi}(\varphi,r) \cdot \boldsymbol{\Delta h}$, $Hyper\boldsymbol{\Theta}(\boldsymbol{\Pi}(\varphi)) = \max_\varphi \boldsymbol{\Pi}(\varphi)$,

Δt – расстояние между параллельными прямыми в плоскости сечения, $f(\theta,\rho,i)$ – длина i-го отрезка, высекаемого ρ_j-ой прямой в плоскости сечения F_{sect}, $\boldsymbol{\Pi}(F_{sect}) = \boldsymbol{\Pi}(\varphi,r)$ – признак сечения (площадь), получаемого сечением r_k-ой плоскости под φ_s-ым углом (по принципу формирования матрицы *2TM*), Δh – расстояние между параллельными плоскостями.

Отметим, что можно также вычислить площадь поверхности объекта, периметр контура и площадь сечения, радиус вписанной или описанной около пространственного объекта сферы и т.п.

Также гипертрейс-преобразование способно определить коэффициент масштабирования объекта, его удаленность от начала координат и вектор переноса, определить пространственную ориентацию объекта с выделением основных осей объекта.

Приведем пример вычисления коэффициента масштабирования непосредственно из результатов техники сканирования. Определим для каждого сечения F_{sect} n-мерный вектор $V(F_{sect})$ признаков сечения $\Pi(F_{sect})$. Среди всех сечений F_{sect} отдельно для каждого j-го угла выбирается, например, сечение с мак-

симальным признаком для каждой *k*-ой координаты *n*-мерного вектора признаков: $M_{k,j} = \max\left((F_{\sec t})_k\right)_{i,j}$. Далее определяется коэффициент масштабирования для *k*-го признака: $\mu_{k,j} = M_{k,j}^{-1/m(k)}$, где *m(k)* – размерность *k*-го признака (например, для признака площади сечения *m*=2). Для получения более устойчивого признака найденные коэффициенты масштабирования $\mu_{k,j}$ усредняются, предварительно исключив аномальные значения: $\mu_j = \sum_k \mu_{k,j} / n$.

Заключение.

Из приведенных выше теоретических результатов видна практическая значимость и актуальность разрабатываемого пространственного трейс- преобразования, причем границы его применимости и возможности далеко не исчерпаны. В данной статье приведены лишь основные теоретические результаты, полученные авторами к моменту написания данной работы.

Данный метод авторы планируют развить для анализа дефектов и особенностей на поверхности трехмерных объектов, для распознавания 3D объектов по нескольким его фотографиям (проекциям), для нелинейной обработки пространственных объектов, делая их сглаженными в одной технике сканирования, для изучения движущихся объектов, подверженных линейным искажениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fedotov N.G., Ryndina S.V., Syemov A.A. Trace transform of spatial images / 11th International conference on Pattern Recognition and Image Analasis: New Information technologies (PRIA-11-2013). Conference Proceedings (V. I-II). – Samara: IPSI RAS, 2013. V. 1. P. 186-189.*
2. *Федотов Н. Г., Сёмов А.А. Краткий обзор основных подходов к анализу 3D-моделей и разработка 3D трейс-преобразования / Новые информационные технологии и системы» (НИТИС-2012): сборник трудов X Международной научно-технической конференции. – Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2012. – С. 222-225*
3. *Федотов Н.Г., Семов А.А. 3d трейс-преобразование и его свойства // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего - плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. Выпуск 10(14), 2013. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. Акад. – 2013. – С. 68-74.*
4. *Федотов Н.Г., Семов А.А. Применение трейс-преобразования для распознавания 3D изображений / Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза. Изд-во АННОО «Приволжский дом знаний». – 2013. – С. 73-75.*
5. *Федотов Н.Г. Триплетные признаки распознавания изображений. Применение для анализа трехмерных поверхностей // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего- плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. Выпуск 10(14). – 2013. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. Акад., 2013. – С. 60-68.*
6. *Семов А.А. Об одном подходе к распознаванию 3D-изображений / Надежность и качество: труды Международного симпозиума. – Пенза, Изд-во ПГУ. – 2013. – Т. 1. – С. 350-351.*

7. *Федотов Н.Г., Голдуева Д.А. Анализ трехмерных текстур с позиции стохастической геометрии и функционального анализа // Математические методы распознавания образов: 16-я Всероссийская конференция, г. Казань, 6-12 сентября 2013 г.: Тезисы докладов. – Москва: Торус Пресс.– 2013. – С. 47.*
8. *Fedotov N.G. The Theory of Image-Recognition Features Based on Stochastic Geometry // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications, 1998. V. 8. № 2. P. 264-266.*
9. *Fedotov N.G., Shulga L.A. New Ways to Form Features for Pattern Recognition on the Basis of Stochastic Geometry // 12th Scandinavian Conf. on Image Analysis. – Vol. I-II. – Bergen (Norway). – 2001. – P. 373-380.*
10. *Федотов Н.Г., Семов А.А, Крючкова Е.А. Двойственное трейс-преобразование // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сб. статей IX Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2011. – С. 71–73.*
11. *Федотов Н.Г., Крючкова Е.А., Сёмов А.А. Нелинейная фильтрация изображений на основе трейс-преобразования / Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: сборник статей X Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: Приволожский Дом Знаний, 2012. – 128 с. (с. 14-19)*
12. *Федотов Н.Г. Анализ свойств триплетных признаков распознавания при различных вариантах сканирования изображений / Надежность и качество: труды Международного симпозиума.– Пенза, Изд-во ПГУ. – 2013. – Т. 1. – С. 80-82.*
13. *Федотов Н.Г., Семов А.А. Идеи построения равномерной сетки на сфере и 3d трейс-преобразование / Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XIII Международной научно-технической конференции. – Пенза, Изд-во АННОО «Приволжский Дом знаний». – 2013. – С. 23-26.*

УДК 004.93
ББК30

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА СВОЙСТВ 3D ТРЕЙС-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

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

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF 3D TRACE TRANSFORM PROPERTIES

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

В статье дается описание 3D трейс-преобразования для распознавания и анализа пространственных изображений. Анализируется множество опытов и экспериментальных проверок для подтверждения теоретически описанных свойств данного подхода, основанного на методах стохастической геометрии и

функционального анализа. Рассматриваются теоретические примеры формирования гипертриплетных признаков.

Ключевые слова: 3D трейс-преобразование, композиционная структура функционалов, гипертриплетный признак, инвариантность признака к группе движений, устойчивость признакак координатному шуму.

In this article 3D trace transform for recognition and analysis of spatial images is described.Many experiments and pilot tests to confirm theoretically described properties of this approach based on the methods of stochastic geometry and functional analysis are analyzed. Theoretical examples of forming hypertriplet features are presented.

Key words: 3D trace transform, compositional structure of functionals, hypertriplet feature, feature invariant to the group of motions, feature stability to the coordinate noise.

Введение.

Стремительный рост научно-технического прогресса в последние десятилетия (особенно в области компьютерного зрения) позволил разработать различные машинные и программные технологии и внедрить их для решения широкого круга прикладных задач. Методы трехмерного моделирования и конструирования широко применяются в архитектуре и строительстве, в медицине и химии, промышленности и физике, дизайне и рекламах и т.п.

Актуальность применения трехмерного моделирования в различных областях науки и техники объясняется, прежде всего, тем, что оно наиболее полно передает информацию об изменениях объектов с течением времени, выделяет основные свойства, присущие именно этому 3D объекту, описывает его форму. Методы анализа трехмерных объектов позволяют решить ряд прикладных задач, недоступных для методов, использующих 2D данные [1].

Данная статья состоит из краткого описания 3D трейс-преобразования и экспериментальной проверки его основных теоретических свойств. Основные теоретические результаты можно прочитать в [2-4]. В данной работе показаны также теоретические примеры формирования гипертриплетных признаков.

Теория 3D трейс-преобразования.

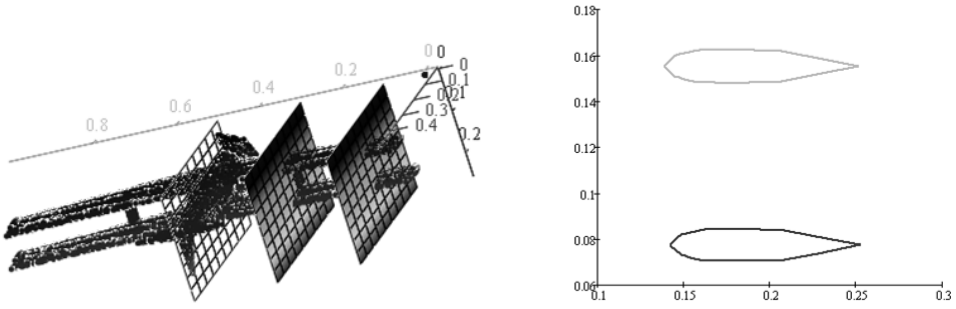
Метод 3D трейс-преобразования состоит из сканирования 3D объекта сеткой параллельных плоскостей под различными углами обзора (см. рис. 1). Вычисляемый признак $Res(F)$ исходной модели F имеет гипертриплетную структуру, состоящую из четырех функционалов [4]:

$$Res(F) = Hyper\boldsymbol{\Theta} \circ Hyper\boldsymbol{\Omega} \circ Hyper\boldsymbol{P} \circ HyperT\left(F_{\sec t}\right)$$

Получившиеся в сечении фигур признаки $\Pi(F_{sect})$ извлекаются при помощи 2D трейс-преобразования [5]. Данное 2D изображение сканируется сканируется решеткой параллельных прямых $l(\rho,\theta)$ с нормальными координатами ρ и θ и расстоянием $\Delta\rho$ между линиями:

$$\boldsymbol{\Pi}\left(F_{sect}\right) = HyperT\left(F_{sect}\right) = \boldsymbol{\Theta} \circ \boldsymbol{P} \circ T\left(F_{sect} \bigcap l(\theta,\rho)\right)$$

3D трейс метод позволяет конструировать признаки полностью инвариантные к группе движений 3D объектов. Признаки являются устойчивыми к координатному шуму, что проявляется не только в получении признаков инвариантных к группе движений и отсутствии предварительной обработки изображений, но и в применяемой технике сканирования [6, 7].



а) б)

Рис. 1.Сканирования объекта сеткой плоскостей: а) сам процесс; б) одно из его сечений

Стоит отметить, что в данной статье практическая проверка свойств описываемого метода будет производиться при использовании сокращенной структуры гипертриплетного признака, когда функционалы HyperΘ и HyperΩ совпадают. В этом случае признак *Res* объекта будет иметь композиционную структуру из трех функционалов *HyperΘ*, *HyperP* и *HyperT*. Гипертрейс матрица будет двумерной из-за отсутствия нумерации узлов опорной сетки на сфере [8]. Подробное описание способов построения гипертрейс матрицы и нумерации узлов опорной сетки описано в настоящем журнале – статья А.А. Сёмов, Н.Г. Федотов «Основные преимущества и дополнительные возможности 3D трейс-преобразования».

Примеры построения гипертриплетных признаков.

Ниже приведены некоторые частные примеры формирования и построения гипертриплетных признаков:

1) Максимально возможная площадь сечения объекта плоскостью:

$$S(F_{sect}) = Res(F) = Hyper\boldsymbol{\Theta} \circ Hyper\boldsymbol{P} \circ HyperT(\boldsymbol{\Theta} \circ \boldsymbol{P} \circ T),$$

где $T(F_{sect} \cap l(\theta,\rho)) = \sum_t f(\theta,\rho,t) \cdot \Delta t$, $\boldsymbol{P}(g(\theta,\rho)) = \sum_\rho f(\theta,\rho)$,

$\boldsymbol{\Theta}(g(\theta)) = \max_\theta f(\theta)$,

$HyperT(F \cap B(\eta(\omega,\varphi),r)) = \boldsymbol{\Pi}(F_{sect}) = \boldsymbol{\Pi}(\varphi,r)$,

$Hyper\boldsymbol{P}(\boldsymbol{\Pi}(\varphi,r)) = \max_r \boldsymbol{\Pi}(\varphi,r)$, $Hyper\boldsymbol{\Theta}(\boldsymbol{\Pi}(\varphi)) = \max_\varphi \boldsymbol{\Pi}(\varphi)$, Δt – расстояние между параллельными прямыми в плоскости сечения, $f(\theta,\rho,i)$ –длина *i*-го отрезка, высекаемого ρ_j-ой прямой в плоскости сечения F_{sect}, $\boldsymbol{\Pi}(F_{sect}) = \boldsymbol{\Pi}(\varphi,r)$ – признак сечения (площадь), получаемого r_k-ой плоскости под φ_s-ым углом.

2) Объём объекта:

$$V(F) = Res(F) = Hyper\boldsymbol{\Theta} \circ Hyper\boldsymbol{P} \circ HyperT(\boldsymbol{\Theta} \circ \boldsymbol{P} \circ T)$$

где $T = \sum_t f(\theta,\rho,t) \cdot \Delta t$, $\boldsymbol{P} = \sum_\rho f(\theta,\rho)$, $\boldsymbol{\Theta} = \max_\theta f(\theta)$,

$HyperT = \boldsymbol{\Pi}(F_{sect})$, $Hyper\boldsymbol{P} = \sum_r \boldsymbol{\Pi}(\varphi,r) \cdot \Delta h$,

$Hyper\,\Theta = \max_{\varphi} \Pi(\varphi)$, Δh – расстояние между параллельными плоскостями.

3) Периметр конкретного сечения:

$$Perm(F_{sect}) = HyperT(\Theta \circ P \circ T),$$

где

$$T = \sum_{t} f(\theta, \rho, t),$$

$$P = (Row2D + 1) \cdot \Delta t + \sum_{i=1}^{Row2D-1} \left| f(\theta, \rho_{i+1}) - f(\theta, \rho_i) \right|,$$

$$\Theta = \sum_{i=1}^{Col2D} f(\theta_i)/Col2D,\ HyperT = \Pi(F_{sect}),$$ *Row2D* – количество ненулевых элементов в столбце трейс матрицы *TM* в плоскости сечения, *Col2D* – количество столбцов трейс матрицы *TM*.

4) Площадь поверхности объекта:

$$S(F) = Res(F) = Hyper\,\Theta \circ Hyper\,P \circ HyperT(\Theta \circ P \circ T),$$

где $T = \sum_{t} f(\theta, \rho, t)$, $P = (Row2D+1) \cdot \Delta t + \sum_{i=1}^{Row2D-1} \left| f(\theta, \rho_{i+1}) - f(\theta, \rho_i) \right|$,

$$\Theta = \sum_{i=1}^{Col2D} f(\theta_i)/Col2D,\quad HyperT = \Pi(F_{sect}),$$

$$HyperP = \sum_{r} \Pi(\varphi, r) \cdot \Delta h,\ Hyper\,\Theta = \max_{\varphi} \Pi(\varphi).$$

Экспериментальная проверка свойств гипертриплетных признаков.

Уровень колебания вычисляемого признака будем оценивать посредством коэффициента средней абсолютной погрешности, который рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{j=1}^{n} \left| Res_j - \sum_{i=1}^{n} \left| Res_i \right| \Big/ n \right|}{\sum_{i=1}^{n} \left| Res_i \right|},$$

где Res_i – значение i-го признака, n – количество признаков.

Ниже представлена таблица результатов вычисления объема различных трехмерных тел при разных углах наклона сетки параллельных плоскостей. В качестве опорной сетки на сфере использовался куб с восемью вершинами (табл. 1). Объекты были взяты из известной тестовой базы ThePrincetonShape-Benchmark [9] с измененным масштабом (номера в порядке перечисления в таблице: m1480, m1536, m1129, m1433).

Таблица 1 Объем объектов при разных сечениях плоскостями.

Наименования объекта	Номер узла опорной сетки на сфере (вершины куба)								ε, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Мотоцикл	30,727	30,980	30,656	31,246	30,780	30,189	30,225	31,000	0,90
2. Легковой	60,564	61,748	60,798	63,017	61,547	60,954	62,272	60.205	1,23
3. Параплан	72,047	75,699	74,696	73,617	76,048	73,923	73,191	74,548	1,38
4. Корабль	155,23	153,69	151,52	153,32	156,52	151,95	154,23	151,29	0,94

Низкий уровень коэффициента ε в данном случае говорит о низком уровне колебания признака, возникающем из-за дискретного шага сканирования (расстояния между параллельными плоскостями в сетке).

Ниже приводятся результаты эксперимента, демонстрирующих сразу несколько свойств данного метода (табл. 2). В качестве опорной сетки на сфере использовался икосаэдр с рекурсивным делением каждой грани на 25 треугольников (всего 252 узла в сферической сетке). В качестве исходного объекта был взят истребитель с кодовым номером m1298 в базе [9].

Таблица 2 Инвариантность признаков к группе движений.

Вид эксперимента	Порядковый номер эксперимента								ε, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1. Поворот объекта на случайный угол	28,794	28,269	29,408	29,227	28,177	28,484	27,946	29,123	1,60
2. Перенос на случайный вектор	29,200	29,070	28,320	28,996	28,386	28,761	28,155	28,540	1,14
3. Поворот и перенос объекта	27,632	28,094	28,401	29,313	29,721	27,962	28,843	29,462	2,29

В качестве признака объекта бралась площадь максимального сечения. Для исходной оригинальной модели она равна 28,6682. В качестве коэффициента колебания признака использовался тот же тип коэффициента среднего абсолютного отклонения, только сравнение происходит не со средним результатом эксперимента, а со значением признака оригинальной неизменной модели, взятой в качестве эталона.

Данные таблицы 2 демонстрируют практическое выполнение свойств инвариантности признаков к повороту на случайный угол и переносу на произвольный вектор.

Ниже представлена таблица, описывающая результаты вычисления признака площади максимального сечения для того же объекта с номером m1298, подвергшегося искажению (табл. 3). Координатный шум в вершины объекта был внесен с использованием нормального закона распределения с нулевым математическим ожиданием и положительной величиной среднеквадратического отклонения. Данный шум определяет величину расстояния, на которое будут передвинуты вершины объекта, при этом направление переноса определяется с помощью равномерного генератора случайных чисел.

Таблица 3 Расчет признака площади максимальной сечения объекта m1298 при разных уровнях координатного шума.

Уровень координатного шума, %	Порядковый номер эксперимента								ε, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	27,632	28,094	28,401	29,313	29,721	27,962	28,843	29,462	2,29
1	28,487	28,448	28,183	27,937	29,462	30,447	28,448	29,679	2,52
2	30,145	32,289	30,413	29,313	28,802	29,462	28,487	29,434	3,19
5	27,931	32,871	28,401	31,052	29,960	27,962	31,828	30,396	4,95
10	27,654	30,287	37,640	38,823	35,208	34,050	32,464	30,776	9,19

Как видно из представленной таблицы вычисляемый признак достаточно устойчив к координатному шуму. Так, при 10% координатном шуме колебание признака находится в пределах до 10%, что говорит о сохранении различающей силы данного признака.

Ниже представлена таблица результатов практического применения 3D трейс-преобразования (табл. 4). Она показывает вычисление разных видов признаков для трех видов объектов (коды m1122, m1298, m1579 в порядке перечисления). Первые два объекта относятся к одному классу моделей, а третий – к другому классу. В качестве признаков брались различные виды функционалов (ввиду большого количества признаков они не приводятся).

Таблица 4 Результаты тестирования различных признаков.

Уровень координатного шума	Порядковый номер гипертриплетного признака							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Биплан	17,138	0,471	135,737	22,015	36,027	28,668	0,735	0,456
Истребитель	17,009	0,251	129,451	22,987	37,148	24,557	0,824	0,401
Поезд	11,734	0,624	164,124	21,241	43,763	19,652	0,234	0,127

Как видно из представленной таблицы разные объекты в большинстве признаков имеют сильно отличающиеся числовые значения, что косвенно говорит об эффективности использования данного метода при решении задачи идентификации (когда в базе 3D моделей ищется точная копия объекта). Похожие же объекты, наоборот, в большинстве признаков имеют слабо отличающиеся числовые значения, что косвенно говорит об эффективности использования данного метода при решении задачи классификации (когда в базе 3D моделей объекты разбиваются на классы).

Заключение.

Экспериментальная проверка метода в этой статье не ставила собой цель провести полномасштабный эксперимент с охватом всех теоретических результатов 3D трейс-преобразования. Из представленных практических результатов видна значимость и актуальность дальнейшего развития теории 3D трейс-преобразования. Эффективность и точность разрабатываемого метода обусловлена как логично составленной теорией с применением адекватного математического аппарата, так и представленными практическими результатами.

Из представленных результатов видно, что не все признаки имеют одинаковую различающую силу, что говорит об актуальности дальнейшего решения задачи отбора информативных признаков для заданной базы данных.

Автор совместно со своим научным руководителем Н.Г. Федотовым планирует провести апробацию 3D трейс-преобразования на различных базах объектов (в том числе по упомянутой выше тестовой базе данных). При этом эксперименты по поиску и классификации объектов планируется провести не только разрабатываемым методом, но и другими основными методами распознавания 3D изображений для сравнения результатов между собой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алпатов А.В., Калинин Р.Е. Способ количественной визуализации формы правого желудочка сердца человека в целях эхокардиографических исследований // Актуальные вопросы клинической морфологии: Сборник научных трудов. Рязань, 2000. С. 80-84*
2. *Федотов Н. Г., Сёмов А.А. Краткий обзор основных подходов к анализу 3D-моделей и разработка 3D трейс-преобразования / Новые информационные технологии и системы» (НИТИС-2012): сборник трудов X Международной научно-технической конференции. – Пенза: Изд-во Пенз. ГУ, 2012. – С. 222-225*
3. *Семов А.А. Об одном подходе к распознаванию 3D-изображений / Надежность и качество: труды Международного симпозиума. – Пенза, Изд-во ПГУ. – 2013. – Т. 1. – С. 350-351.*
4. *Федотов Н.Г., Семов А.А. 3d трейс-преобразование и его свойства // "XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего - плюс". Научно-методический журнал. Серия: технические науки. Информационные технологии. Выпуск 10(14), 2013. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. Акад. – 2013. – С. 68-74.*
5. *Fedotov N.G. The Theory of Image-Recognition Features Based on Stochastic Geometry // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 1998. – V. 8, № 2. – P. 264-266.*
6. *Fedotov N.G., Ryndina S.V., Syemov A.A. Trace transform of spatial images / 11th International conference on Pattern Recognition and Image Analasis: New Information technologies (PRIA-11-2013). Conference Proceedings (V. I-II). – Samara: IPSI RAS, 2013. V. 1. P. 186-189.*
7. *Федотов Н.Г., Семов А.А. Идеи построения равномерной сетки на сфере и 3d трейс- преобразование / Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XIII Международной научно-технической конференции. – Пенза, Изд-во АННОО «Приволжский Дом знаний». – 2013. – С. 23-26.*
8. *The Princeton Shape Benchmark,* http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/

УДК 28.23.15
ББК 34

МЕТОДЫ РАЗМЕРНОЙ СЕЛЕКЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ БИНАРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

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

EXTENT METHOD SELECTION IN THE ANALYSIS OF BINARY IMAGES

*© **I.I.Salnikov,** Penza State TechnologicalUniversity (Penza, Russia)*

В работе рассмотрены методы размерной селекции бинарных изображений, которые используются для удаления ложных изображений, имеющих меньшие размеры или большие размеры по сравнению с размерами изображений полезных объектов.

Ключевые слова:бинарные изображения, размерная селекция, сегментация, следящий анализ.

The paper discusses the selection methods dimensional binary images, which are used to remove false images having smaller or larger size compared with the size of the images useful objects.

Key words: binary images, dimension selection, segmentation, tracking analysis.

Анализ изображений, который широко используется в настоящее время, преследует самые различные *цели*:
– улучшение изобразительных свойств исходного изображения (фотография, книгопечатание, газеты, журналы, фоторегистрация);
– обнаружение объектов в системах видеонаблюдения (технические системы охраны объектов);
– измерение пространственных параметров объектов по их изображениям (дистанционное исследование объектов);
– динамическое сопровождение объектов по их изображениям.

Особенностью систем измерения пространственных параметров объектов и их сопровождение является широкое использование *бинаризации,* которая существенно уменьшаетдинамический диапазон изменения яркостей пикселей, превращая его в два отсчета – “0”и“1”.При этом пространственно-временные параметрыисходного изображения сохраняются. Подобное сжатие динамического диапазона яркости пикселей существенно упрощает последующий анализ изображений, позволяя сосредоточиться только на пространственных характеристиках изображений объектов – размеры, координаты центра тяжести, контуры, изрезанность контура, площадь.

Бинарное преобразование основано на сравнении кода яркости каждого пикселя $S^{(k)}(i,j)$ с пороговым кодом $S^{(k)}_{П}(i,j)$ и принятии решения:

$$S^{(k)}_{BI}(i,j)=\begin{cases}0, & если \quad S^{(k)}(i,j)<S^{(k)}_{П}\\ 1, & если \quad S^{(k)}(i,j)\geq S^{(k)}_{П}\end{cases}, \quad (1)$$

гдеi,j – номер отсчета по 0x и 0y.

Бинарное преобразованиесопровождается помехами, которые формируются при бинаризации ложных изображений, имеющих яркость выше порогового уровня. При этом большую роль играетзначение порогового кода, который должен быть сформирован исходя из статистических свойствизображения полезного объекта иокружающего фона.В работе [1] проанализированы различные способы формирования порогового уровня – на основе гистограммы распределения яркости, на основе среднего значения в пределах исходного изображения и фрагмента, на основе адаптивного алгоритма, вычисляющего максимум производной функции изменения яркости.

Несмотря на многообразие методов формирования порогового уровня идеального алгоритма не существует и на реальном изображении всегда остаются ложные, представляющие собой, как правило, бесформенные пятна, отличающиеся размерами от изображений полезных объектов. Далее будем называть бинарные изображения, ограниченные пространственной связностью пикселей, локальными областями (ЛО).

Следующим шагом после бинаризации широко используется *размерная селекция,* задача которой – удалить ЛО с размерами меньше определенных, и/или с размерамибольше определенных. Простейшим методом удаления ЛО с размерами, меньше заданных, является медианная фильтрация.

1. Метод удаления ЛО на основе медианной фильтрации

Основан на ранжировании по яркости пикселей в пределах заданного окна анализа $D_{\text{АН}}$ и присвоении текущему элементу значения яркости$S^{(k)}$ *(i,j)*, равного среднему (медиане) из результата ранжирования.Как правило, размеры окна анализа должны составлять нечётное число пикселей. Удаляются локальные области (ЛО), для которых размеры:

$$D_X \le \frac{1}{2}(D_{\text{АН}} + 1) \text{.(2)}$$

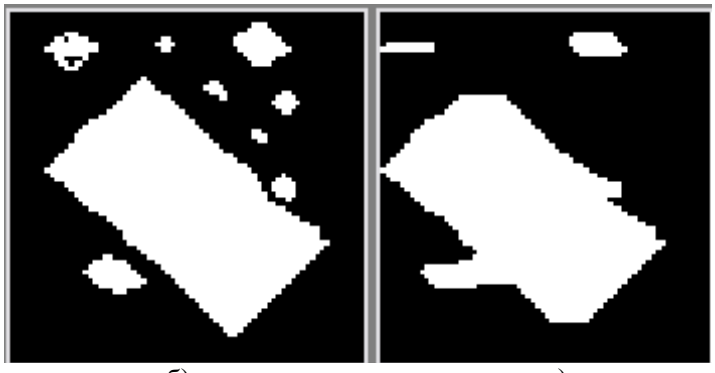
Алгоритм чрезвычайно прост в реализации, но обладает рядом недостатков. На рис. 2. Представлен результат медианной фильтрации при размере анализа $D_{\text{АН}} = 15$,из которого следует, что элементы с размерами $D_x \le 15$ (ЛО-4, ЛО-5, ЛО-7) на рис.1,будаляются полностью. Для изображений ЛО с $D_x > 15$ наблюдаются искажения (рис.1,б):

– “откусывание частей” для ЛО, имеющих углы (ЛО-1, ЛО-3 ЛО-6), ориентированные в ортогональном развертке направлении;

– “прилипание” малой ЛО к большой (ЛО-2, ЛО-8), что наблюдается при наличие разрыва между ними размером меньшим 0,5 $D_{\text{АН}}$;

– смещение результата фильтрации вправо на 0,5 $D_{\text{АН}}$.

ЛО-12 34567 8



б) в)

Рис. 1. Медианная фильтрация: исходное бинарное изображение (а), результат фильтрации с размером окна анализа $D_{\text{АН}}$=15, (б)

Таким образом, если допустимы искажения БИ, не подвергающихся размерной селекции, например ЛО-3 на рис.1,а, то можно вполне использовать медианную фильтрацию, добавивк алгоритму, описанному выше, еще и анализ в ортогональном направлении, то есть по 0у.

2. Метод удаления ЛО на основе одноэтапнойсегментации

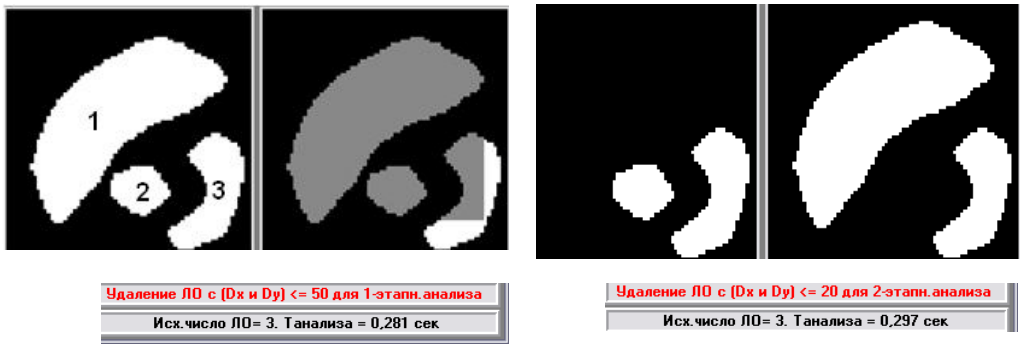
Сегментация – разделение исходного бинарного изображения на ЛО по признаку пространственной связности. Условия, метод и алгоритм сегментации подробно изложен в [1]. Особенностью алгоритма сегментации является растро-

вый принцип поэлементного анализа, при котором в пределах исходного растра (ИР) последовательно просматриваются всебинарные пиксели изображения, формируется 5-ти связанный формати выносится решение о принадлежности текущего пикселя той или иной ЛО, то есть выполняется разметка ЛО, когда каждой ЛО присваивается свой номер.

Другая особенность разработанного в [1] алгоритма сегментации заключается в том, что одновременно с разметкой формируются координаты геометрических границ ЛО и размеры по ортогональным направлениям для ЛО, которая на анализируемой строке закончилась.В этот момент в данном методе общая разметка в пределах ИР приостанавливается и выполняется
алгоритм удаления ЛО:

– определяется условие удаления ЛО с меньшими размерами $U_{\min} = \begin{cases} 1, & если \quad (D_x \le D_{\max}) \,\&\, (D_x \le D_{\max}) \\ 0, & если \quad иначе \end{cases}$ или с большими размерами

$$U_{\max} = \begin{cases} 1, & если \quad (D_x \ge D_{\min}) \,\&\, (D_x \ge D_{\min}) \\ 0, & если \quad иначе \end{cases} ;(3)$$



а) б) в) г)

Рис. 2. Удаление ЛО: исходное БИ (а); ошибки при одноэтапной сегментации (б); при двухэтапной сегментации для ЛО с размерами больше заданного размера D_{min} = 50 (в);при двухэтапной сегментации для ЛО с размерами меньше заданного размера D_{max} = 20 (г);

– если $U_{\min} \vee U_{\max} = 1$, то выполняется анализ в пределах растра геометрических границ (РГГ);

– последовательно для каждого пикселя $S_{BI}(i, j) = 1$ выполняется стирание.

На рис.2, б представлен результат удаления ЛО с размерамиD_{min} = 50 пикс. Большая ЛО (1) удаляется (серый цвет), но при этом наблюдаются ошибки удаления – пропадание ЛО (2) с размерами меньшими D_{min} = 50 пикс. и “откусывание” части ЛО (3), разметка которой еще не закончилась. Данные недостатки не позволяют широко использовать данный метод.

3. Метод удаления ЛО на основе двухэтапнойсегментации

На рис. 2,в,г показан результат работы алгоритма, основанного на методе удаления ЛО при *двухэтапной сегментации* в пределах РГГ. Видно, что недостатки одноэтапного метода устранены. Удаление ЛО как с большимизадан-

ных размеров (рис.2,в), так и с меньшими заданных размеров (рис.2,г) выполняется нормально.

Идея данного метода заключается в следующем.

1.Выполняется сегментация всего БИ в пределах исходного растра ИР в направлении «вправо-вниз».

2.Как только появляется признак, что закончилась разметка ЛО с данным номером,то формируется условиеудаления (3) и если $U_{\min} \vee U_{\max} = 1$, то выполняется 2-х этапная сегментация БИ в пределах РГГ.

3. Выполняется1-й этап сегментации в пределах РГГ и в направлении «влево-вверх».

4. При выполнении сегментации 1-го этапа просматриваются все пиксели и выносятся решения:

– пиксель принадлежит полезной ЛО, то есть, которая должна быть удалена;

– пиксель принадлежит ЛО, которая не должна быть удалена;

– пиксель принадлежит части ЛО с другим номером, которая сливается с основной частью и которая должна быть удалена.

5. При растровом анализе в пределах РГГ невозможно знать заранее к какой области будет принадлежать текущий пиксель, поэтому в специальной памяти стекового типа запоминаются все характерные моменты в пределах РГГ. Таким образом, в пределах РГГ формируется «история» разметки ЛО со всеми особенностями.

6. Выполняется2-й этап сегментации в пределах РГГ и также в направлении «влево-вверх».

7. Удаляются пиксели:

– принадлежащие основной ЛО, которая всегда будет иметь $N_{ЛО} = 1$, так как с этого номера начиналась разметка ЛО в пределах РГГ;

– принадлежащие части ЛО, вначале размечаемой с $N_{ЛО} \neq 1$, а затем после слияния, также принимающие номер $N_{ЛО} = 1$.

8. Оставляются пиксели:

– принадлежащие другой ЛО, имеющей $N_{ЛО} \neq 1$ (рис. 2,а ЛО-2);

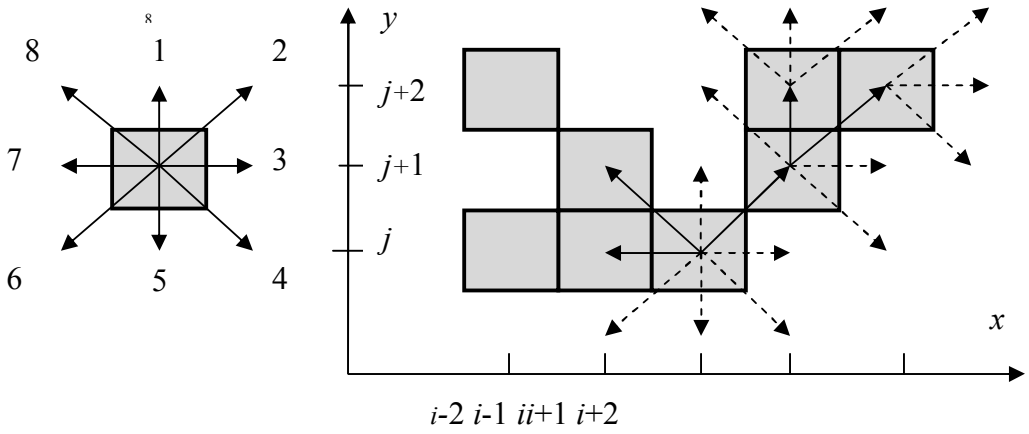
– принадлежащие ЛО, которая еще не закончилась, и которая частично входит в РГГ (рис. 2,а ЛО-3).

На рис. 2, в представлен результат удаления ЛО-1 при условии удаления ЛО с большими, чем $D_{min} = 50$, размерами. ЛО-2 и ЛО-3 остались без искажений. На рис. 2, г представлен результат удаления ЛО-2 при условии удаления ЛО с меньшими, чем $D_{max} = 20$, размерами. ЛО-1 и ЛО-3 остались без искажений.

4. Метод удаления ЛО на основе следящего анализа

Метод основан на определении направления анализав каждом текущем пикселе. Задача – проанализировать все связанные с начальным пикселем примыкающие пиксели в пределах границ удаляемой ЛО.Этот метод более сложен в реализации, но он является *адаптивным* к границам удаляемой ЛО.То есть, поэлементный анализ БИ выполняется в пределах границудаляемой ЛО, а не в пределах растра геометрических границ ЛО, в который могут попасть ЛО целиком или частью.

На рис. 3,а показаны позиции элементов,примыкающих к анализируемому элементу *S(i,j)*, на рис.3,б показан пример следящего анализа.



а) б)

Рис. 3. Метод удаления ЛО на основе следящего анализа

Начинается следящий анализ аналогично предыдущим двум методам, то есть сначала выполняется сегментация всего БИ в пределах исходного растра ИР в направлении «вправо-вниз».Как только появляется признак, что закончилась разметка ЛО с данным номером,то формируется условиеудаления (3) и если $U_{\min} \vee U_{\max} = 1$, то выполняется следящий анализБИ в пределах РГГ, который заключается в следующем.

1.Первым элементом в следящем анализе является элемент *S(i,j)* (рис.3,б), который был последним на предварительном этапе – сегментации БИ в пределах ИР.Четкого направления дальнейшего анализа, как в предыдущих двух методах,для данного метода – нет.

2.Для начального элемента *S(i,j)* выполняется анализ соседних элементов, примыкающих ребром, или углом, в соответствие с позициями, показанными на рис.3,а.

3. Формируется код позиций соседних пикселей:

$$K_S(i,j) = \sum_{p=1}^{8} q \cdot 3^{(p-1)} \quad ,(4)$$

где p={1,..8} – номер позиции; q = {0, 1, 2} – код условия, причем, (0) – нет пикселя; (1) – есть пиксель, но не было анализа; (2) – есть пиксель, и он уже проанализирован. Для ЛО, показанной на рис.3,б,для анализируемого

пикселя *S(i,j)* код позиций будет равен:

$$p = 8\ 7\ 6\ 5\ 4\ 3\ 2\ 1\ 11$$

$$K_S(i,j) = 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \qquad (5)$$

4. Сформированный код позиций $K_S(i,j)$ сохраняется в стековой памяти.

5. Выполняется чтение $K_S(i,j)$ и его анализ. Если все разряды равны 0 или 2, то элемент *S(i,j)* стирается.

6. Если для кода позиций какой-то разряд $k_S^{(p)} = 1$, то выполняется смещение анализа в ту позицию, для которой $k_S^{(p)} = 1$. При этом в $K_S(i,j)$ "1" заменяется на "2" и $K_S(i,j)$сохраняется в стековой памяти.

7. Для смещенного пикселя повторяется анализ, формирование кода позиций и сохранение в стеке. Например, для кода позиций (5), который читается из стековой памяти, для $k_S^{(2)} = 1$.Это соответствует пикселю $S(i+1,j+1)$,для которого формируется код позиций $K_S(i+1,j+1)$ = 0 0 2 0 0 0 1 1 , и затем сохраняется в стековой памяти. В дальнейшем, при анализе этого кода, направление p = 6, соответствующее разряду $k_S^{(6)} = 2$,уже не будет анализироваться, так как это соответствует пикселю $S(i,j)$, анализ которого выполнялся ранее.

Метод следящего анализа более сложен в реализации, но он позволяет удалять ЛО любой сложности, например такие, как ветвящиеся и спиралевидные БИ. Кроме того, данный метод анализа может быть положен в основу выявления точек перегиба, ветвления и слиянии при анализе, например, рукописного текста [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М.: Физматлит, 2009. – 248 с.*
2. *Сальников И.И. Методы построчного и следящего поэлементного анализа сложных бинарных изображений. // Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего - плюс». Серия технические науки. Информационные технологии. – Пенза: Изд-во Пенз.гос.технол.ун-та, №10(14), 2013. – С.53-60.*

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

УДК 004.054; 631.171
ББК 34

АЛГОРИТМ ТРАНСФОРМАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

© ***Т.В.Истомина, О.А.Мещеряков****Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

APPLICATION INFORMATION ALGORITHM TRANSFORMATION MODELS FOR DEVELOPING DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SELECTION SOFTWARE COMPANIES OF AGRICULTURE

© ***T.V. Istomina, O.A. Mescheryakov****Penza State University, (Penza, Russia)*

В данной статье рассматривается система поддержки принятия решения по выбору подходящего программного обеспечения для предприятий агропромышленного комплекса. Описывается алгоритм преобразования объектно-ориентированной модели в теоретико-множественную модель, необходимую для решения задачи выбора и разработки системы.

Ключевые слова:диаграмма классов, моделирование, алгоритм трансформации, агропромышленный комплекс, программа.

This article discusses the decision support system for choosing the right software for the agricultural enterprises. An algorithm for converting an object-oriented model-theoretic model necessary for the solution of the selection and design of the system

Key words:the class diagram, modeling, transformation algorithm, agriculture, program.

В современных условиях бизнес находится в зависимости от информационных систем, ошибочный выбор или проблемы при внедрении которых, могут вызвать непредсказуемые последствия [4]. Функционирование ни одной крупной компании немыслимо без использования в своей работе специализированного программного обеспечения (ПО), позволяющего автоматизировать бизнес-процессы компании и обеспечить руководство нужным объемом информации, необходимой для принятия управленческих решений [2]. Речь идет в первую очередь об интегрированных системах планирования ресурсов предприятия (ИС ПРП). Риск потери финансов особенно высок в отраслях, обладающих определенной спецификой, как предприятия агропромышленного комплекса.

Выбор и приобретение ИС ПРП – сложный многоэтапный процесс, включающий: определение целей приобретения новой системы, определение основных требований к будущей системе, сбор информации об имеющихся на рынке про-

граммных продуктах, определение краткого списка интересующих программ, углубленное изучение отобранных программ, выбор программного продукта.

Достаточно много времени тратится на обзор имеющихся на рынке ИС ПРП. Предлагаемым решением данной проблемы, позволяющим не только сэкономить время, но и упростить выбор, является система поддержки принятия решения (СППР), включающая базу данных по основным системам планирования ресурсов предприятия и позволяющая подобрать программный продукт по интересующим характеристикам [1].

Для разработки СППР необходимо провести анализ различных ИС ПРП, на основании которого разработать обобщённую информационную модель ИС ПРП. При разработке модели ИС ПРП нужно представить предметную область, как совокупность объектов, модулей, классов, свойств, образующих целостность и действующих согласованно, для этого следует применить метод *объектно-ориентированной декомпозиции*.

В качестве средства моделирования можно использовать язык информационного моделирования *UML* [3]. Таким образом модель ИС ПРП будет представлена в виде диаграммы классов на языке *UML*. На рисунке 1 представлена часть диаграммы классов, отражающей функциональные возможности ИС ПРП в управлении персоналом.

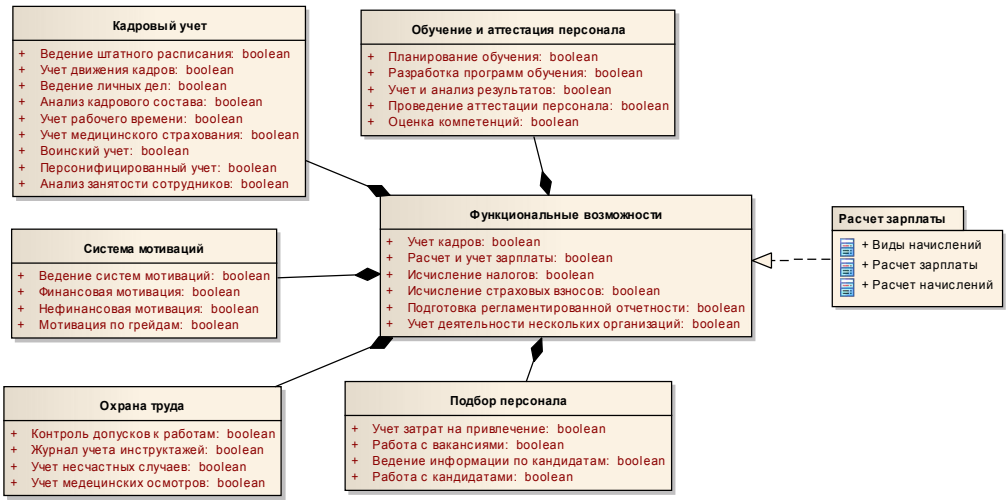


Рис. 1.Диаграмма классов: «Информационная модель ИС ПРП»

Построение только диаграммы классов ИС ПРП недостаточно для реализации СППР. Для математической формулировки и решения задачи выбора оптимального ПО необходима модель ИС ПРП на основании теоретико-множественного представления.

В разработанной информационной модели на основании объектно-ориентированной декомпозиции атрибуты всех классов могут быть 2-х видов: *Boolean, String*.

Исходя из этого, все элементы информационной модели ИС ПРП на основании теоретико-множественного представления можно сгруппировать по группам, каждая из которых образует отдельное множество:

1-группа: параметры типа *Boolean*, принимающие логическое значение.

2-группа: параметры типа *Integer*, принимающие целочисленное значение.

Введем следующие обозначения для информационной модели ИС ПРП. Пусть α – номер класса, χ - номер атрибута класса. Тогда число классов определенного вида ИС ПРП равно C, а число атрибутов класса α равно M_α. Номер класса α и номер атрибута класса χ изменяются соответственно в диапазоне: $\alpha=\overline{1,}$, $\chi=\overline{1,\alpha}$.

Пусть переменная F_χ^α есть название χ–го атрибута класса α и имеет тип *String*. ПеременнаяP_χ^α есть название типа χ–го атрибута класса α и имеет тип *String*, множество значений переменной есть {*Boolean, Integer, String*}. ПеременнаяR_χ^α есть значение χ – го атрибута класса α.

Для всех $F_\chi^\alpha, P_\chi^\alpha, R_\chi^\alpha$ индексы изменяются в следующих границах: $\alpha=\overline{1,}$, $\chi=\overline{1,\alpha}$.

На основании принятых обозначений приведем информационную модель ИС ПРП в теоретико-множественное представление. Алгоритм перехода от модели на основании объектно-ориентированной декомпозиции в модель ИС ПРП на основании теоретико-множественного представления представлен на рисунке 2.

Представленный на рисунке 2 алгоритм представляет собой метод построения информационной модели ИС ПРП, которая включает описание всех *K*-программ вида модели ИС ПРП. Считаем, что k соответствует конкретной программе вида ПО, $k=\overline{1,K}$. Здесь *K* – число программ вида ИС ПРП. Операция перевода проводится по всем программам вида ИС ПРП, о чем свидетельствует внешний цикл по *k*.

Для каждой *k*-ой программы вида ИС ПРП, вводится 2 значение типа String – название *k*-ой программы и производитель, Оператор «Ввод (R_1^1, R_2^1)». Переменные b_k и d_kопределяют, соответственно, название и производителя *k*-ой программы вида ИС ПРП.

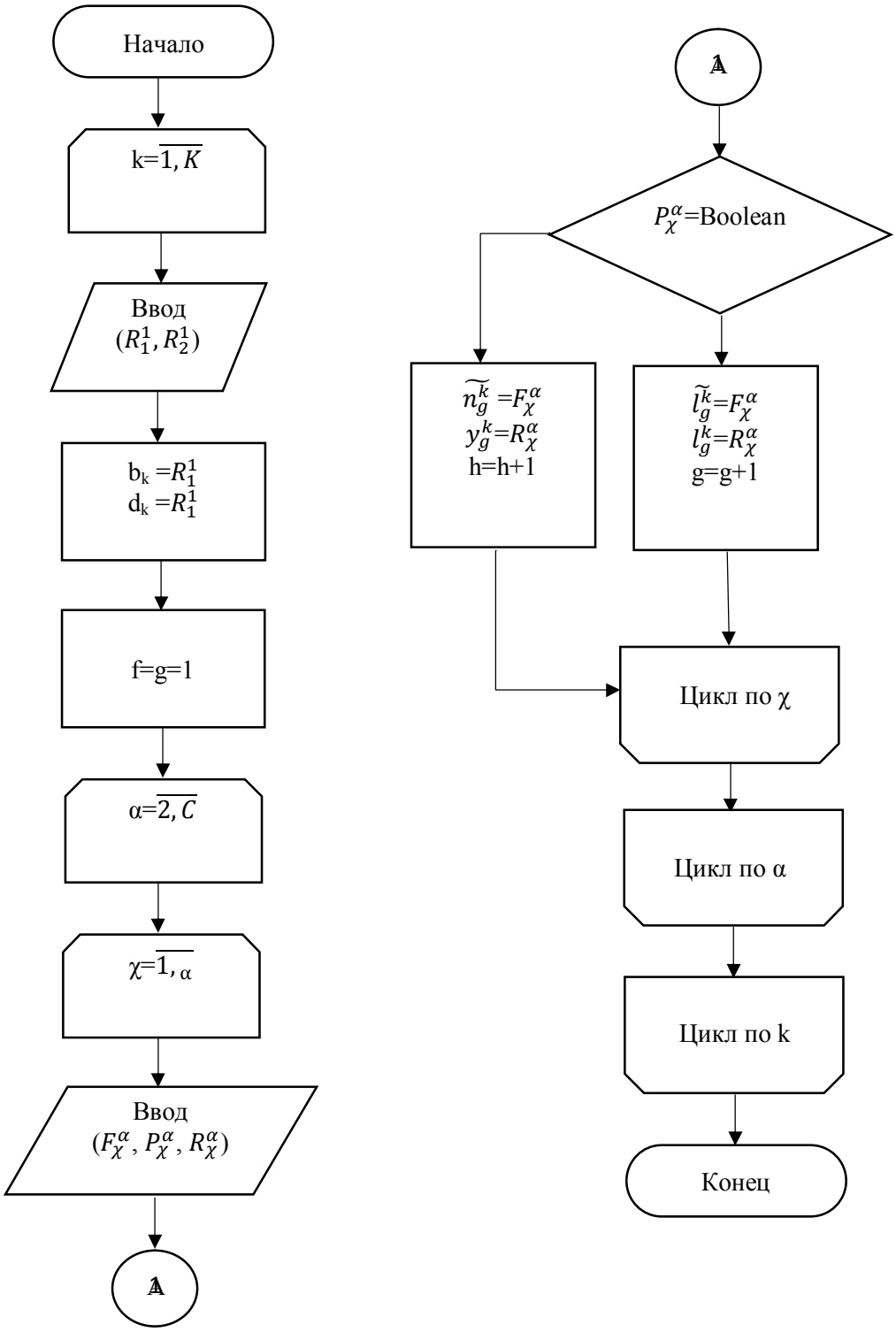


Рис. 2.Алгоритм перевода информационной модели ИС ПРП на основании объектно-ориентированной декомпозиции в информационную модель на основании теоретико-множественного представления

Переменные g,h изменяются в диапазоне $g=\overline{1,G}$, $h=\overline{1,H}$, где G,H – число параметров соответственно:

1-группы, которые принимают логические значения (тип *Boolean*);

2-группы, которые принимают целочисленные значения (тип *Integer*).

В основном построение информационной модели ИС ПРП на основе теоретико-множественного представления происходит в циклах по α и χ. Рассматривается каждый класс α и каждый атрибут χ класса в диапазонах: $\alpha=\overline{2,}$, $\chi=\overline{1,\alpha}$, где С - число классов, M_α – число атрибутов класса α.

Для *k*-ой программы вида ИС ПРП класса α вводится значение и название атрибута χ класса, а также типа атрибута, оператор ввода «Ввод ($F_\chi^\alpha, P_\chi^\alpha, R_\chi^\alpha$)».

Следующий этап – проверка типа атрибута χ класса α. Если тип атрибута χ есть P_χ^α= Boolean, то переменной $\widetilde{l_g^k}$ присваивается имя -F_χ^α, переменной l_g^kзначение - R_χ^α χ – го атрибута класса α.

Если тип атрибута χ есть P_χ^α =*Integer*, то переменной $\widetilde{n_g^k}$ присваивается имя - F_χ^α, переменной y_g^k значение - R_χ^α χ - го атрибута класса α. Такое присвоение переменным проводится для каждой k-ой программы вида ИС ПРП.

Математическую модель ИС ПРП на основании теоретико-множественного представления можно представить в виде множества:

$$MD_k = \{b_k, L_k, N_k, d_k\}, \quad ((1)$$

$$k = \overline{1,K}$$

где b_k – параметр, определяющий название *k*-ой программы вида ИС ПРП; L_k– множество параметров *k*-ой модели ИС ПРП, принимающих логические значения; N_k – множество параметров *k*-ой модели ИС ПРП, принимающих целочисленные значения; d_k– параметр, определяющий производителя k-ой программы вида ИС ПРП. Здесь $k=\overline{1,K}$, где k – номер программы вида ИС ПРП, К – количество программ вида ИС ПРП.

Представим множество L_kв виде последовательности кортежей:

$$L_k = \left\{\left\langle \widetilde{l}_1^k, l_1^k \right\rangle, \ldots \left\langle \widetilde{l}_g^k, l_g^k \right\rangle, \ldots \left\langle \widetilde{l}_G^k, l_G^k \right\rangle\right\}, \quad ((2)$$

где $\left\langle \widetilde{l}_g^k, l_g^k \right\rangle$– кортеж, в котором для *k*-ой модели ИС ПРП переменная $\widetilde{l_g^k}$является именем *g*-го параметра и имеет тип String; переменная l_g^k определяет значение g-го параметра и принимает логическое значение «*true*», если параметр l_g^k присутствует в программе вида ИС ПРП, «*false*» - если параметр отсутствует.

Множество N_k представляется в виде последовательности кортежей:

$$N_k = \left\{\left\langle \widetilde{n}_1^k, n_1^k \right\rangle, \ldots \left\langle \widetilde{n}_g^k, n_g^k \right\rangle, \ldots \left\langle \widetilde{n}_G^k, n_G^k \right\rangle\right\}, \quad (3)$$

Где $\left\langle \widetilde{n}_g^k, n_g^k \right\rangle$ – кортеж, в котором для *k*-ой модели ИС ПРП переменная $\widetilde{n_g^k}$является именем *g*-го параметра и имеет тип *String*; переменная y_g^k принимает целочисленное значение, соответствующее *g*-му параметру *k*-ой модели вида ИС ПРП.

Таким образом, сформировав множество MD_k путем присвоения переменным модели конкретных значений, получим информационную модель вида

ИС ПРП на основании теоретико-множественного представления, которая будет использована при разработке СППР.

Система поддержки принятия решения, разработанная на основании данной модели, позволит определить программные продукты, наиболее подходящие под специфику деятельности компании и имеющие необходимые характеристики. Наиболее перспективным видится использование данной СППР в компаниях, работающих в отраслях, отличающихся особой спецификой работы, или в развивающихся отраслях. Примером подобных компаний могут быть предприятия агропромышленного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Истомина Т.В., Мещеряков О.А. Методика тестирования программного обеспечения для сельскохозяйственных организаций // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс -2012 – № 8/13 – с. 108-114.*
2. *Мещеряков О.А. Использование автоматизированных информационных систем для развития биотехнологий в РФ // Инновационные технологии в экономике, информатике и медицине: Сборник статей VII Межрегиональной научно-практической конференции студентов и аспирантов. – Пенза. – 2010. – С. 37–39.*
3. *http://www.intuit.ru/studies/courses/32/32/lecture/1008(дата обращения: 27.02.2014)*
4. *Трофимов В.В.Информационные системы и технологии в экономике и управлении – М, : Высшее образование, 2007. – 480 с.*

УДК 004.891.2
ББК 22.18

МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

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

THE DECISION-MAKING METHOD OF THE PROGRAMMABLE LOGIC DEVICES SELECTION IN THE DIGITAL DEVICE DESIGN

*© **I.G.Turygin,** Penza State Technological University (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 и множество критериев оценки альтернатив, получены оценки альтернатив по критериям и 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 and the criterias variety of alternatives evaluating, received the estimations of alternatives on criterias and the advices on the best alternative choosing.

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

Важным этапом в процессе проектирования специализированных устройств обработки информации с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) является оптимальное определение требуемой микросхемы. Используетсяподход,основанный на отношениях порядка среди альтернатив (модель принятия решения, в которой каждой альтернативе ставится в соответствие некоторое число [1]) и на отношениях включения (поведенческая модель, основанная на принадлежности альтернатив к некоторому множеству) [2].

Основу подхода при выборе ПЛИС составляют: база данных, где будет храниться информация о микросхемах, и целевой функционал, на основе которого будут формироваться варианты решений [3]. На рисунке 1 представлена *UML*-диаграмма обобщенной схемы выбора, позволяющая объединить параметры ПЛИС и параметры обрабатываемого сигнала в единый целевой функционал, а также учесть вариант пересмотра лицом принимающим решение (ЛПР) требуемых параметров микросхем и сигналов при отсутствии решения.

В качестве исходных данных *D* при выборе ПЛИС являются параметры микросхем $w_i \in D$, максимальные значения этих параметров $\gamma_i \in D$ и параметры сигналов $s_i \in D$. Множество исходных параметров *D* предлагается разделить на две группы: параметры ПЛИС – $w_i = \{w_1, w_2, ..., w_n\}$, $\gamma_i = \{\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_n\}$ и параметры сигналов – $s_i = \{s_1, s_2, \ldots, s_n\}$. К параметрам ПЛИС отнесём следующие: N_{LE} – количество эквивалентных логических элементов; N_{MC} – количество эквивалентных макроячеек; N_M – количество встроенных умножителей; N_{SP} – количество встроенных сигнальных процессоров; T_{PD} (нс) – максимальное время задержки сигнала; F_{MAX} (МГц) – максимальная тактовая частота; N_{PC} – максимальное количество встроенных микропроцессорных ядер; $N_{IO,MIN}$ – минимальное количество программируемых пользователем вводов-выводов; $N_{PCIO,MIN}$ – минимальное количество вводов-выводов встроенной микропроцессорной системы; C_{MAX} (\$) – максимальная цена микросхемы по данным производителя.

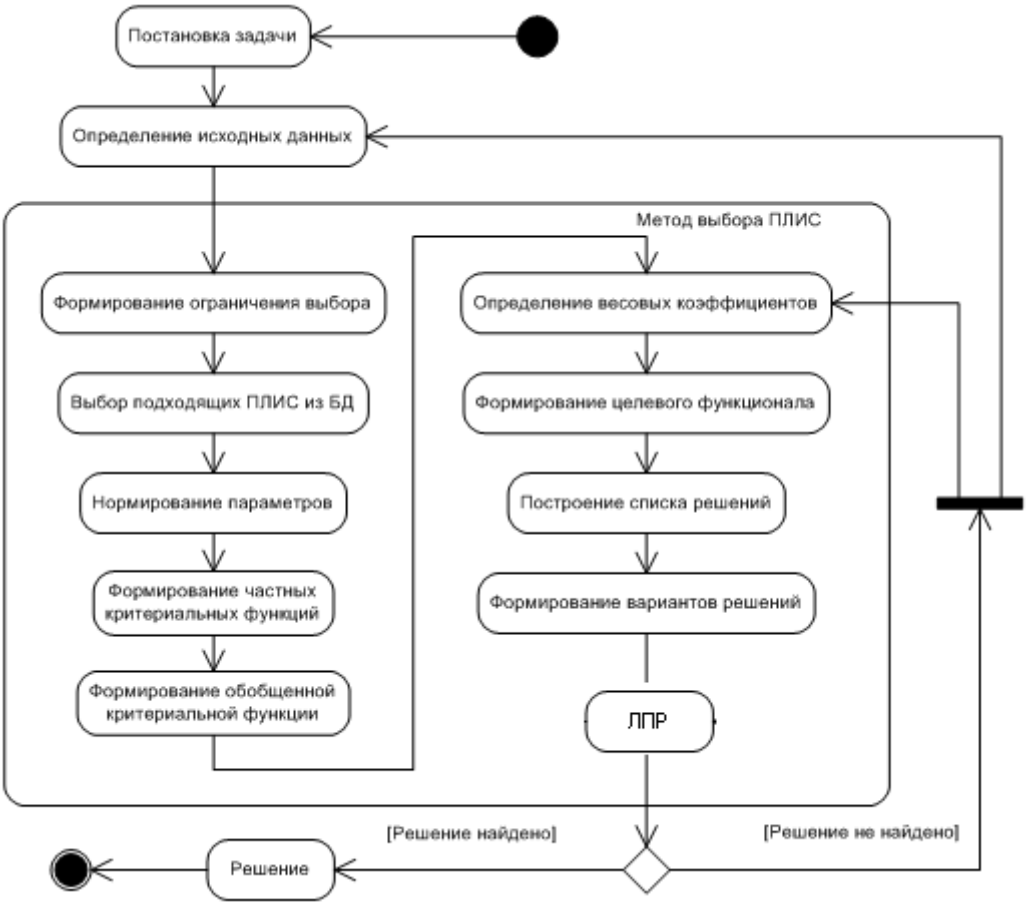


Рис.1.UML диаграмма обобщенной схемы выбора

К параметрам сигнала отнесём следующие параметры: $F_{S,MAX}$ (МГц) – максимальная частота сигнала; N_{PS} – количество обрабатываемых сигналов.

Множество параметров микросхем w_i и сигнала представляется различными единицами измерений, потому для дальнейших преобразований подвергается нормированию. Нормирование параметров w_i осуществляется по их максимальным значениям γ_i [2]:

$$\forall K_i : K_i \le 1; K_i = w_i / \gamma_i , \quad (1)$$

при этом получается множество безразмерных коэффициентов параметров:

$$K_i = \left\{ K^C_{MAX}, K^N_{LE}, K^N_{MC}, K^N_M, K^N_{SP}, K^T_{PD}, K^F_{MAX}, K^N_{PC}, K^N_{IO,MIN}, K^N_{PCIO,MIN} \right\} . \quad (2)$$

Для определения целевого функционала необходимо сформировать частные критериальные функции математической модели [2,4]:

$$y_i^{(M)}(K_i) = f(K_i) \quad (3)$$

При наличии существенно разнородных коэффициентов бывает сложно указать их приоритет, поэтому в работе выделяются существенные коэффициенты параметров – K_i^S.

Некоторые коэффициенты можно объединить в выражения, позволяющие оценить относительную вычислительную способностьP_P микросхемы:

$$P_P^{(M)}(K_i) = P_P^{(R)}(K_i) \big/ P_P^{(G)}(K_i), \quad (4)$$

где $P_P^{(G)}$ – вычислительная способность гипотетической микросхемы, для которой выполняется условие:

$$w_i = \gamma_i; \forall K_i = 1, \quad (5)$$

$P_P^{(R)}$ – вычислительная способность реальной микросхемы.

Под вычислительной способностью ПЛИС будем понимать характеристику, позволяющую оценить логическую емкость, быстродействие и количество линий ввода-вывода микросхемыс учетом ранжирования этих показателей, то есть:

$$P_P^{(R)}(K_i) = f(E_{LC}, E_P, E_{IO}), \quad (6)$$

где $E_{LC} = f(K_i, r_i)$ – оценка логической емкости, $E_P = f(K_i, r_i)$ – оценка быстродействия, $E_{IO} = f(K_i, r_i)$ – оценка количества линий ввода-вывода, r_i – множество коэффициентов ранжирования.

В большинстве случаев, при проектировании цифровых устройств обработки информации на этапе выбора ПЛИС в первую очередь учитывают логическую емкость микросхемы E_{LC}. Это связано, прежде всего, со сложностью алгоритма обработки сигналов. Во вторую очередь учитывают быстродействие микросхемы E_P. В связи с чем, выражение (6) приобретает вид:

$$P_P^{(R)}(K_i) = f(E_{LC}(K_i, r_i^1), E_P(K_i, r_i^2), E_{IO}(K_i, r_i^3)), \quad (7)$$

где r_i^1, r_i^2, r_i^3 – коэффициенты ранжирования, $1..3$ – приоритеты ранжирования.

С целью уменьшения интервала области значений функции, определяющей вычислительную способность микросхем, в качестве коэффициентов при ранжировании параметров предлагается использовать элементы числовой последовательности, основанной на арифметической прогрессии. Тогда выражение (4) с учетом выражения (7) приобретает вид:

$$P_P^{(M)}(K_i) = f(E_{LC}(K_i, r_i^1), E_P(K_i, r_i^2), E_{IO}(K_i, r_i^3)) \Big/ f\left(\sum_{i=1}^{3} r_i\right) \quad (8)$$

Оценка количества линий ввода-вывода в общем виде определяется выражением:

$$E_{IO}{}^{(M)} = f(K_{IO,MIN}^N, K_{PCIO,MIN}^N, r_i^3). \quad (9)$$

При выборе ПЛИС без учета архитектуры микросхемы, у коэффициентов $K_{IO,MIN}^N$, $K_{PCIO,MIN}^N$ приоритет принимается одинаковым, т. е. $r_1^3 = r_2^3 = 1$. Учитывая выражение (9), в качестве коэффициентов ранжирования в функции (8), в данной работе автором предлагается использовать элементы последовательности Фибоначчи. Общий вид выражения для оценки относительной вычислительной способности микросхемы (8), основанного на свойстве последовательности Фибоначчи, представим в виде:

$$P_P^{(M)}(K_i) = \sum_{i=1}^{n} f_{FIB}(i) \cdot K_i \Big/ f_{FIB}(n+2) - 1. \quad (10)$$

Одним из свойств выражения (10) будет являться то, что

$$\lim_{\forall K_i \to 1} P_{P,MAX}^{(M)}(K_i) = 1; \quad \lim_{\forall K_i \to 0} P_{P,MIN}^{(M)}(K_i) = 0. \quad (11)$$

В таком случае, общий вид частных критериальных функций (3) приобретает зависимость:

$$y_j^{(M)}(K_i) = P_P^{(M)}(K_i). \quad (12)$$

Для определения обобщенной критериальной функции $Y^{(M)}$ необходимо учесть общий вид частных критериальных функций (12), а также возможность разделения значений функции $Y^{(M)}$ на области в зависимости от архитектуры микросхемы. Общий вид обобщенной критериальной функции:

$$Y^{(M)} = \begin{cases} 0, \textit{ если условие } \forall I_j(K_i) \textit{ не выполняется}; \\ \exp\left(y_j^{(M)}(K_i) + C\right), \textit{ если условие } I_j(K_i) \textit{ выполняется}, \end{cases} \quad (13)$$

где C – коэффициент, необходимый для разделения значений функции $Y^{(M)}$ на области в зависимости от архитектуры микросхемы, $C = 2 \cdot (j-1)$, $j = 1..n$, n – количество возможных архитектур микросхем; $I_j(K_i)$ – условие определения архитектуры микросхемы.

Однако, обобщенная критериальная функция (13) не позволяет выполнить комплексный анализ всех выделенных параметров, используемых при выборе ПЛИС. Она не учитывает соотношения существенных коэффициентов K_i^S и относительной вычислительной способности $P_P^{(M)}(K_i)$ микросхемы. Это учитывает целевой функционал.

Целевой функционал модели выбора $J^{(M)}(X^{(M)})$ варианта ПЛИС, который определяет поведение модели в зависимости от обобщенной критериальной функции $Y^{(M)}(y_j^{(M)}, K_i)$ и существенных коэффициентов K_i^S имеет вид [4]:

$$J^{(M)} = f(Y^{(M)}, K_i^S); \quad (14)$$

Учитывая выражения (12) и (13) выражение целевого функционала (14) приобретает вид:

$$J^{(M)} = a_1 \cdot Y^{(M)} + a_2 \cdot \exp(K_i^S + L), \quad (15)$$

где L – коэффициент, зависящий от значения $Y^{(M)}$; a_i – весовые коэффициенты критериев выбора. Они должны удовлетворять условию:

$$\forall a_i : a_i > 0; \sum_{i=1}^{2} a_i = 1. \quad (16)$$

Коэффициент a_1 определяет вес требований вычислительной мощности микросхемы, а коэффициент a_2 определяет вес влияния существенных коэффициентов K_i^S.

Выполнив обзор альтернативных вариантов ПЛИС [1], множество альтернативных вариантов выбора ПЛИС можно свести к четырем:

$$X^{(M)} = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}, \tag{17}$$

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).

Учитывая конкретизацию альтернативных вариантов выбора ПЛИС (17), можно сформулировать условия определения архитектуры микросхемы для выражения (13):

$$I_j(K_i) = \begin{cases} K_{PC}^N > 0, если\ j = 1; \\ K_{PC}^N = K_{LE}^N = 0, если\ j = 2; \\ K_{PC}^N = 0\, и\, K_{MC}^N > 0\, и\, K_{\mathrm{LE}}^N > 0, если\ j = 3; \\ K_{PC}^N = K_{MC}^N = 0, если\ j = 4. \end{cases} \tag{18}$$

Объединив выражения (13), (17) и (18), получим уточненный вид обобщенной критериальной функции:

$$Y^{(M)} = \begin{cases} 0, если\, K_{PC}^N = K_{MC}^N = K_{\mathrm{LE}}^N = 0; \\ \exp(y_1^{(M)}), если\, K_{PC}^N > 0; \\ \exp(y_2^{(M)} + 2), если\, K_{PC}^N = K_{LE}^N = 0; \\ \exp(y_3^{(M)} + 4), если\, K_{PC}^N = 0\, и\, K_{MC}^N > 0\, и\, K_{\mathrm{LE}}^N > 0; \\ \exp(y_4^{(M)} + 6), если\, K_{PC}^N = K_{MC}^N = 0. \end{cases} \tag{19}$$

Зональное разделение области значений целевого функционала $\Delta J_{X_i}^{(M)}$, соответствующие альтернативным вариантам (17):

$$\Delta J_{X_j}^{(M)} \in \left\{\Delta J_{X_1}^{(M)}, \Delta J_{X_2}^{(M)}, \Delta J_{X_3}^{(M)}, \Delta J_{X_4}^{(M)}\right\}. \tag{20}$$

Анализируя выражение (13) совместно с выражениями (12) и (11), получим:

$$\begin{aligned} \lim_{K_i \to 1} Y_{MAX}^{(M)} &= \begin{cases} 0, \text{ если условие } \forall I_j(K_i) \text{ не выполняется}; \\ \exp(1 + C), \text{ если условие } I_j(K_i) \text{ выполняется}, \end{cases} \\ \lim_{K_i \to 0} Y_{MIN}^{(M)} &= \begin{cases} 0, \text{ если условие } \forall I_j(K_i) \text{ не выполняется}; \\ \exp(C), \text{ если условие } I_j(K_i) \text{ выполняется}. \end{cases} \end{aligned} \tag{21}$$

Учитывая множество альтернативных вариантов (20), аналитическое выражение (21) и обобщенную критериальную функцию (19), получим:

$$\Delta Y_{X_j}^{(M)} \in \begin{cases} 0,\ при\ отсутствии\ альтернатив \\ (1;\exp(1)],\ при\ j=1; \\ (\exp(2);\exp(3)],\ при\ j=2; \\ (\exp(4);\exp(5)],\ при\ j=3; \\ (\exp(6);\exp(7)],\ при\ j=4. \end{cases} \quad (22)$$

Принимая во внимание выражение (22), можно определить значения коэффициента L для целевого функционала (15), который зависит от значения $\Delta Y_{X_j}^{(M)}$:

$$L = \begin{cases} 0, при\ \Delta Y_{X_j}^{(M)} \in (1;\exp(1)]; \\ 2, при\ \Delta Y_{X_j}^{(M)} \in (\exp(2);\exp(3)]; \\ 4, при\ \Delta Y_{X_j}^{(M)} \in (\exp(4);\exp(5)]; \\ 6, при\ \Delta Y_{X_j}^{(M)} \in (\exp(6);\exp(7)]. \end{cases} \quad (23)$$

Объединив вид целевого функционала (17) и аналитические выражения (22) и (23), получим экспоненциальный вид разделения области значений целевого функционала на интервалы:

$$\Delta J_{X_j}^{(M)} \in \begin{cases} 0,\ при\ отсутствии\ альтернатив; \\ (1;a_1\cdot\exp(1)+a_2\cdot\exp(1)],\ при\ j=1; \\ (a_1\cdot\exp(2)+a_2\cdot\exp(2);a_1\cdot\exp(3)+a_2\cdot\exp(3)],\ при\ j=2; \\ (a_1\cdot\exp(4)+a_2\cdot\exp(4);a_1\cdot\exp(5)+a_2\cdot\exp(5)],\ при\ j=3; \\ (a_1\cdot\exp(6)+a_2\cdot\exp(6);a_1\cdot\exp(7)+a_2\cdot\exp(7)],\ при\ j=4. \end{cases} \quad (24)$$

Принимая во внимание условия (16), выражение (24) упрощается:

$$\Delta J_{X_j}^{(M)} \in \begin{cases} 0,\ при\ отсутствии\ альтернатив; \\ (1;\exp(1)],\ при\ j=1; \\ (\exp(2);\exp(3)],\ при\ j=2; \\ (\exp(4);\exp(5)],\ при\ j=3; \\ (\exp(6);\exp(7)],\ при\ j=4. \end{cases} \quad (25)$$

Из выражения (25) можно сделать вывод, что перекрытия интервалов для областей значений целевого функционала (15) не происходит.

Графическое представление экспоненциального разделения (25) при условиях $K_i^S = 1, a_1, a_2 - \mathrm{var},$ представлено на рисунке 2. Как видно из рисунка 2, при увеличении значения коэффициента a_2 значимость вычислительной мощности микросхемы $P_P^{(M)}$ при построении списка решений уменьшается.

Под относительной вычислительной способностью ПЛИС будем понимать функцию вида (10), позволяющую оценить логическую емкость микросхемы, быстродействие и количество линий ввода/вывода.

Для ПЛИС с архитектурой SoC логическую емкость позволят оценить параметры K_{LE}^N и K_{PC}^N; быстродействие – K_{MAX}^F и K_{PD}^T, причем коэффициент

K^T_{PD} показывает отрицательное влияние на быстродействие, т.е. чем больше K^T_{PD}, тем меньше быстродействие; количество линий ввода/вывода – $K^N_{PCIO,MIN}$ и $K^N_{IO,MIN}$.

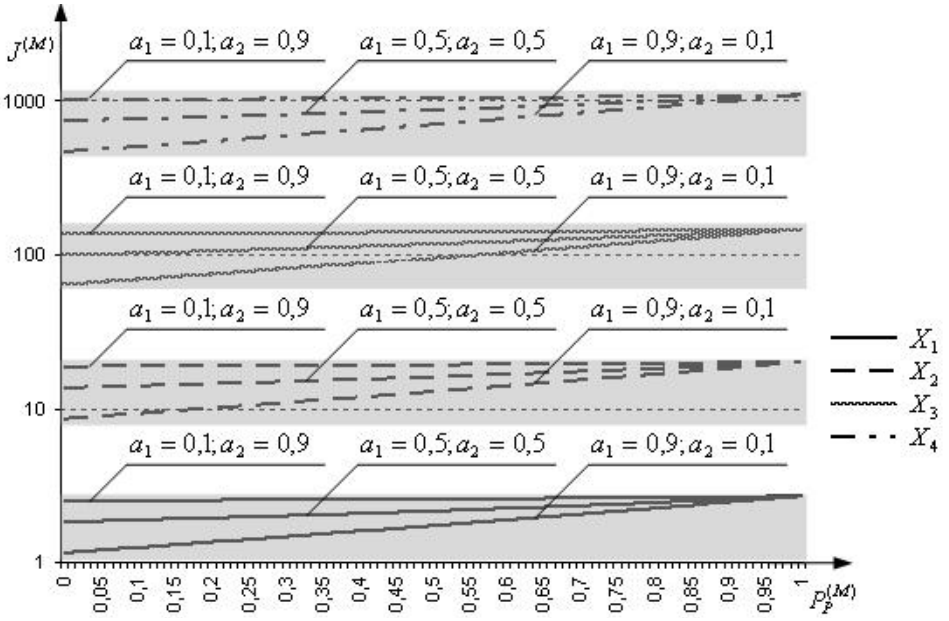


Рис. 2.Разделение на интервалы $\Delta J^{(M)}_{X_j}$

Подставив данные параметры в выражение (10) и, учитывая выражение (12), получим:

$$y_1^{(M)} = \frac{8K^N_{LE} + 5K^N_{PC} + 3K^F_{MAX} + 2\cdot(1-K^T_{PD}) + K^N_{PCIO,MIN} + K^N_{IO,MIN}}{20}, \quad (26)$$

Аналогичным образом получим выражения, определяющие вычислительную способность микросхемы для ПЛИС с архитектурами *CPLD, PLD, FPGA* соответственно:

$$y_2^{(M)} = 3K^N_{MC} + 2K^F_{MAX} + (1-K^T_{PD}) + K^N_{IO,MIN}/7, \quad (27)$$

$$y_3^{(M)} = 5K^N_{LE} + 3K^N_{MC} + 2K^F_{MAX} + (1-K^T_{PD}) + K^N_{IO,MIN}/12, \quad (28)$$

$$y_4^{(M)} = 2K^N_{LE} + K^F_{MAX} + K^N_{IO,MIN}/4. \quad (29)$$

Применительно к выбору кристалла ПЛИС принятие решения является иерархическим, то есть выполняется в несколько этапов: определяются предварительные варианты подходящих микросхем из диапазона допустимых архитектур с учетом параметров сигналов на основе формального описания ограничений. 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 [4, 5]. Таким образом, в работе представлен метод выбора ПЛИС, основанный на формировании и анализе целевого функционала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сальников И.И. Анализ растровых пространственно-временных сигналов и синтез специализированных процессоров для быстродействующей обработки изображений в системах технического зрения // диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Пенза:, 2000.*
2. *Литвинская О.С., Сальников И.И. Метод принятия решения по выбору средства реализации алгоритма цифровой обработки информации на основе целевого функционала // Современные проблемы науки и образования. – М.: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2011. – №5. – С. 46.*
3. *Сальников И.И. Структура иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемой системы цифровой обработки информации. Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего – плюс. Серия: Информационные технологии. Пенза: Изд-во Пенз.гос.технол.акад., 2012. – С.69–74.*
4. *Турыгин И.Г., Литвинская О.С. Многокритериальный выбор программируемых логических интегральных схем при проектировании устройств обработки цифровой информации // Инфокоммуникационные технологии. – Самара: Аэропринт, 2013. – № 4. – Т. 12 – С. 58-62.*
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. *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 681.32
ББК 30

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭВОЛЮЦИОННОГО РОЕВОГО АЛГОРИТМАРЕШЕНИЯ *NP*-ПОЛНЫХ ЗАДАЧ

*© **А.А. Юрлов**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
*© **Л.И. Федосеева**, Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

HARDWARE REALIZATION OF EVOLUTIONARY SWARM ALGORITHM SOLUTIONS OF *NP*-COMPLETE PROBLEMS

*© **A.A. Yurlov**, Penza State Technological University (Penza, Russia)*
*© **L.I. Fedoseeva**, Penza State Technological University(Penza, Russia)*

Статья посвящена аппаратной реализации алгоритма эволюционного роевого алгоритма при решении задачи комбинаторной оптимизации. Для ре-

шения предлагается вариант алгоритма муравьиной колонии. Дан пример работы муравьиного алгоритма. На основе алгоритма построена электрическая структурная схема.

Ключевые слова:аппаратная реализация, роевый алгоритм, *NP*-полные задачи.

Article is devoted to a hardware implementation of evolutionary swarm algorithm in solving combinatorial optimization problems. For the solution offers a version of ant colony algorithm. Given of example of work of formic algorithm. Constructed electric structural scheme on the basis of the algorithm.

Keywords: hardware realization, swarm algorithm, *NP*-complete problems.

В последние годы алгоритмы, наблюдаемые в природных системах, широко применяются в отраслях науки и техники. Это связано с тем, что природа замногие годы эволюции выработала действенные технологии оптимизации. Использование таких алгоритмов в решении задач дискретной оптимизации, позволяют находить оптимальные значения параметров объектов и структур. Одной из перспективных технологий являются методы, основанные на роевых алгоритмах.

Данные методы описывают коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы.Роевые алгоритмы впервые были предложены Херардо Бени и Ван Цзином в 1989 году [1]. Эти алгоритмы рассматривают самоорганизующуюся многоагентную систему. Сами агенты обычно довольно просты, но все вместе, локально взаимодействуя, создают так называемый роевой алгоритм. Примерами таких систем в природе могут служить апроксимационные алгоритмы, относящиеся к классу метаэвристик, такие как:

- муравьиныйалгоритм (*Ant colony optimization*);
- методроячастиц (*Particle swarm optimization*);
- пчелиный алгоритм (*Bees algorithm*) и др.

Данные алгоритмы были реализованы для решения различных *NP*-полных задач. Одна из наиболее известных задач комбинаторной оптимизации является *задача коммивояжера*, которая заключается в отыскании самого выгодного маршрута, проходящего через указанные города как минимум один раз с последующим возвратом в исходный город. Таким образом, коммивояжер сталкивается с задачей поиска гамильтонова контура минимальной длины с посещением каждой вершины ровно один раз. Гамильтонов контур возможен только в связанном графе с четными степенями вершин. Поэтому выполняется решение общей задачи коммивояжера, т.е. поиск минимального маршрута (минимальной протяженности, длительности и стоимости) с возвратом в точку старта для всех возможных путей. При этом при необходимости вершины посещаются не один раз [2].

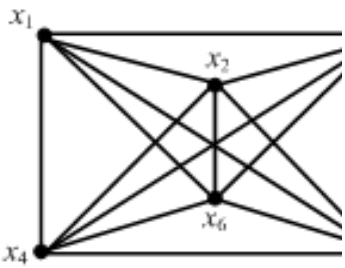
Сформулируем задачу в терминах *теории графов*. В неориентированном взвешенном графе $G = (X,A)$, каждому ребру (x_i,x_j) которого сопоставлен вес $L(x_i,x_j)$, требуется найти гамильтонов контур наименьшей стоимости, причем контур необязательно должен содержать все ребра графа. В условиях задачи указываются критерии выгодности маршрута и соответствующие матрицы расстояния, стоимости и т.п. Целью решения является нахождение маршрута, удовлетворяющего всем условиям и при этом имеющего минимальную сумму затрат.

Решить поставленную задачу можно разными способами, которые отличаются точностью и скоростью решения. Наибольшую вычислительную трудоемкость имеют эвристические методы. Более приемлемыми являются метаэвристические методы. Преимущество данных методов перед классическими эвристи-

ческими, основанными на методе локального поиска, в том, что они позволяютисследовать большее пространство поиска для нахождения решения близкого оптимальному, тогда как методы локального поиска останавливаются после нахождения локального решения. В данной работе в основе реализации задачи лежит *муравьиный алгоритм*. Привлекательность данного алгоритма заключается в том что, хотя в его основе и лежит метод локального поиска, но метод запретов позволяет продолжить поиск после нахождения локального оптимума, тем самым, расширяется пространство поиска в надежде найти решение близкое к оптимальному [3].

Данный класс алгоритмов разрабатывался в рамках научного направления, которое можно назвать «природные вычисления». Исследования в этой области начались в середине 90-х годов XX века, автором идеи является Марко Дориго. В основе этой идеи лежит моделирование поведения колонии муравьев. Колония муравьев представляет собой систему с очень простыми правилами автономного поведения особей. Однако, несмотря на примитивность поведения каждого отдельного муравья, поведение всей колонии оказывается достаточно разумным. Основой поведения муравьиной колонии служит низкоуровневое взаимодействие, благодаря которому, в целом, колония представляет собой «разумную» многоагентную систему. Взаимодействие определяется через специальное химическое вещество – феромон, откладываемый муравьями на пройденном пути. При выборе направлении движения муравей исходит не только из желания пройти кратчайший путь, но и из опыта других муравьев, информацию о котором получает непосредственно через уровень феромонов на каждом пути. Концентрация феромона определяет желание особи выбрать тот или иной путь. Разработаны модификации муравьиного алгоритма, на основе которых получены более качественные решения для задачи поиска минимального гамильтонова цикла на тестах Эйлона для 50, 75 и 98 вершин. Для теста Эйлона с 30 вершинами оптимальное решение находится за 1-2 секунды [5].

Рассмотрим данный алгоритм на основе примера неориентированного нагруженного графа (рис. 1,*а*). Матрица весов дуг приведена на рис. 1,*б*. Матрица интенсивностиферомона приведена на рис. 1,*в*. Требуется отыскать минимальный гамильтонов контур в графе. Начальная вершина – x_1.



	1	2	3	4	5	6
1		23	12	22	19	11
2	23		10	14	26	8
3	12	10		19	19	12
4	22	14	19		30	28
5	19	26	19	30		28
6	11	8	12	28	28	

	1	2	3	4	5	6
1		2	1	2	2	1
2	2		1	2	3	1
3	1	1		2	2	1
4	2	2	2		3	3
5	2	3	2	3		3
6	1	1	1	3	3	

а) *б*) *в*)

Рис. 1. Пример поиска кратчайшего пути: а) граф; б) матрица весов дуг; в) матрица интенсивности феромона

Муравьиный алгоритм является итерационным. Каждая итерация состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Для начала необходимо создать муравьев. Выбираем стартовую вершину x_i, куда будут помещаться муравьи. Она будет зависетьот ограничений, накладываемых условиями задачи. Потому что, для каждой задачи способ размещения является определяющим. «Муравьи» могут быть помещены в одну вершину, либо в разные с повторением, либо без повторении. На этом же шаге задается начальный уровень феромона, $\tau_{ij} > 0$ (рис. 1,*в*).

Шаг 2. Поиск решения. Находим вероятность перехода из вершины x_iв вершину x_jпо формуле :

$$P_{ijk} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha}\eta_{ij}^{\beta}}{\sum_m \tau_{im}^{\alpha}\eta_{im}^{\beta}}, \quad (1)$$

где$P_{ij,k}$– функция вероятности перехода (где i – номер вершины в которой производится выбор, j– вершина, в которую должен направится муравей,k– номер муравья, движущегося по ребрамграфа);τ_{ij}– количество феромона, оставленного муравьями на ребре (x_i,x_j); η_{ij} – величина, обратная весу (длине) ребра(x_i,x_j) ($\eta_{ij}=1/L_{ij}$, где L_{ij}– расстояние между вершинами x_iи x_j); α, β – эмпирические коэффициенты.

Приα=0 выбор ближайшего города наиболее вероятен, т. е. алгоритм становится жадным.При $\beta = 0$ выбор происходит только на основании феромона, что приводит к субоптимальнымрешениям. Поэтому необходим компромисс между этими величинами, который находится экспериментально [6]. Принимаем значения $\alpha = 1$,$\beta = 2$. Индекс m в сумме пробегает по всем не пройденным вершинам, смежным с i.

Важно отметить, что выбор пути производится не по максимуму функции $P_{ij,k}$, а случайным образом с помощью генератора чисел, но на случай, конечно, влияет значение $P_{ij,k}$. Рассмотрим на примере нашего графа (рис. 1,а).

После расчета вероятностей перехода из вершины x_1 в вершины x_2-x_6, получаем отрезок с секторами вероятностей (рис. 2) в виде «Рулетки» вероятностей.

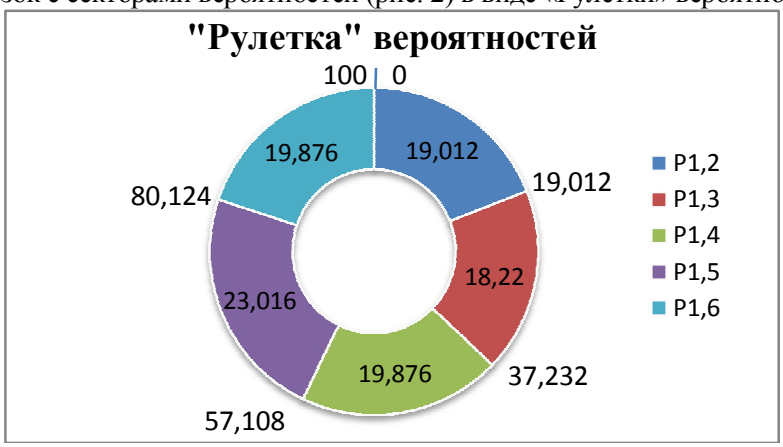


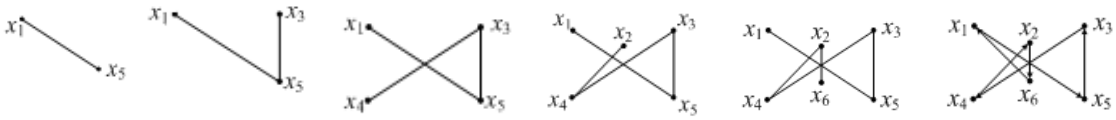
Рис. 2.Отрезок с секторами вероятностей

«Рулетка» вероятностей, размеченная функцией $P_{ij,k}$, имеет неравные сектора. Чем ближе вершина и чем больше значение феромона, тем больше сектор. Таким образом, муравей использует и опыт предшественников τ_{ij}, и здравый смысл η_{ij}, и случайный фактор, т.е. все как в жизни [6].Случайное число I_1 = 75, полученное генератором случайных чисел попадает насектор 4. Этот сектор указывает на вершину 5. Далее муравей будет выбирать маршрут из этой вер-

шины. Вершина 1 заносится в список запрещенных вершин (*tabulist*). Окончательное построенное дерево кратчайших путей состоит из дуг (рис. 3, *е*):

$$(x_1,x_5),\ (x_5,x_3),\ (x_3,x_4),\ (x_4,x_2),\ (x_2,x_6),\ (x_6,x_1).$$

Общая длина маршрута x_1-x_5-x_3-x_4-x_2-x_6-x_1 имеет длину 19+19+19+14+8+11= 90.



а) *б)* *в)* *г)* *д)* *е)*

Рис. 3. Текущие деревья кратчайшего пути – а), б), в), г), д) и окончательное построенное дерево кратчайших путей – е)

Шаг 3. Обновление феромона. Уровень феромона обновляется в соответствии с формулой (2).

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum \frac{Q}{L_k}, \qquad (2)$$

гдер – интенсивность испарения,

$L_k(t)$ – цена текущего решения для k-го муравья,

Q – параметр, имеющий значение порядка цены оптимального решения, т. е.

$Q/L_k(t)$– феромон, откладываемыйk-ым муравьём, использующим ребро *(i,j)*.

Для нахождения оптимального решения в алгоритме муравьяпредусмотрено «испарение» феромона. Это достигается введением коэффициента ρ в итеративной формуле (2), применяющейся после каждого цикла обхода графа [6].

Для реализации рассмотренного алгоритма было разработано цифровое устройство (ЦУ), структурная схема которого приведена на рис. 4.

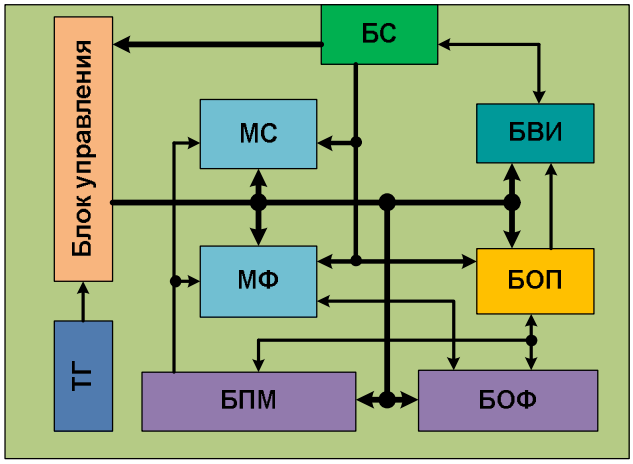


Рис. 4. Электрическая структурная схема ЦУ

Схема состоит из следующих узлов:

ТГ – тактовый генератор, генерирует тактовые импульсы для синхронной работы устройства;

БС – блок сопряжения, предназначен для связи ЦУ с базовой ЭВМ;

БВИ – блок вывода информации, обеспечивает вывод информации;

МС – матрица смежности, содержит электронную модель графа;

МФ – матрица феромонов, содержит электроннуюмодель интенсивности феромона;

БОП – блок операндов, предназначен для установки начальных данных, а также для хранения промежуточных значении и результата;

БПМ – блок построения маршрута по формуле (1) и расчета длины пути;

БОФ – блок обновления феромона, предназначен для обновления следов феромона на дугах по формуле (2);

Блок управления предназначен для формирования управляющих сигналов.

Для реализации ЦУ использованы программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) семейства *VirtexIIPro.*

СПИСОКЛИТЕРАТУРЫ

1. *Beni, G., Wang, J. Swarm Intelligence in Cellular Robotic Systems, Proceed. NATO Advanced Workshop on Robots and Biological Systems, Tuscany, Italy, June 26–30 (1989).*
2. *Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах.– М.: Мир,1981.*
3. *Olli Bräysy, Michel Gendreau. Route Construction and Local Search Algorithms for theVehicle Routing Problem with Time Windows. Internal Report STF42 A01024, SINTEF Applied Mathematics, 2001.*
4. *В.М. Курейчик, А.А. Кажаров.Алгоритмы эволюционного роевого интеллекта в решении задачи разбиения графа. Таганрог. Изд-во ТРТУ, 2012.*
5. *Курейчик В.М., Кажаров А.А. О некоторых модификациях муравьиного алгоритма // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008.*
6. *Кирсанов М.Н. Графы в Maple. Задачи,алгоритмы,программы. – М.: Издательство ФИЗМАТЛИТ, 2007.*
7. *Юрлов А.А. Федосеева Л.И. Поиск оптимального маршрута в транспортной сети. / Л.И.Федосеева А.А. Юрлов // XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс: пер. науч. изд. – Пенза, №10 (14), 2013, с.166-171.*

СТРУКТУРЫ, МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК: 681.32
ББК: 32

МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ АГЕНТОВ В КОНТУРЕ НЕСКОЛЬКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

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

THE MODEL OF AUTONOMOUS AGENT GROUP FUNCTIONING IN CIRCUIT OF SEVERAL INFORMATION CONTROL SYSTEMS

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

В статье описывается модель функционирования группы автономных агентов, принадлежащих нескольким системам управления. Рассматриваемые типы групп относятся к альянсу, коалиции и командам агентов. Вводится понятие допустимых действий по достижению целей. Рассматривается изменение типа групп во время длительного пребывания системы в неустойчивом состоянии.

Ключевые слова: автономный агент, достижение цели, команда агентов, система управления, устойчивость системы.

The paper describes the model of autonomous agent group functioning, belonging to several control systems. Considered types of groups refer to the alliance, the coalition and the teams of agents. Conception of admissible action for goal achievement is introduced. The change of group type during the long stay of the system in an unstable state is considered.

Key words: autonomous agent, goal achievement, teem of agents, control system, system stability.

Рассмотрим информационную систему управления S,функционирующую в некоторой среде C, в которой также функционирует система S'. Для системы S система S' может быть безразлична, ее цели могут быть противоположны целям системы S' (конкурент), совпадать с целями системы S' (союзник). В состав систем S и S' входят группы агентов из множества автономных агентов A. Обозначим через A^{Red} множество агентов системы S, через A^{Blue}множество агентов системыS', то есть$A^{Red} \cup A^{Blue} = A$.

Заметим, что каждый агент определяется своим состоянием, куда могут входить ресурсы агента, его цели, убеждения и т.д. Одним из свойств автономногоагента является умение самостоятельно анализировать ситуацию и на основании этого анализа выбирать и реализовыватьстратегиюповедения по достижению своей цели.

Система Sможет оказывать управляющее воздействие на среду C и на систему S' с помощью автономных агентов из A^{Red}, которые управляются из

пункта управления (ПУ) системы *S*. Таким образом, каждый агент $a \in A^{Red}$ имеет свою цель, соответствующую глобальной цели системы.

Изменение состояния системы *S* можно описать функцией

$S(t') = F(C(t), A^{Red}(t), A^{Blue}(t), V(t))$,(1)

где *t, t'* – время, $t' > t$, *V* – воздействие на агентов из множества A^{Red}со стороны ПУ системы*S*, *F* – функция, осуществляющая переход системы в новое состояние.

Под устойчивостью системы будем понимать свойство системы сохраняться по своим признакам после изменений, вызванных определенными факторами (внешними или внутренними) [1]. Будем предполагать, что в случае конкуренции, свои цели системы *S* и *S'*могут достичь,только переводя в неустойчивое состояние другую систему. В других случаях (безразличие, союз) системы *S* и *S'* в состояние неустойчивости пытается перевести среда *C*.

Попытки перевести в состояние неустойчивости систему *S*, наличие системы *S'*, цели которой могут быть неизвестны, а также отсутствие другой необходимой информации делают в (1) функцию *F* плохо формализуемой, а задачу прогнозирования состояния системы *Sслабоструктурируемой* [2].

Существуют различные методы решения слабоструктурируемых задач. Одним из них является имитационное моделирование и анализ его результатов перед началом периода достижения своей цели системой *S* [3–6]. Как правило, при имитационном моделировании предполагают, что группа агентов A^{Red} принадлежит только системе *S*, то есть $A^{Red} \in S$. Это допустимо, когда период достижения цели является незначительным. Например, при моделировании скоротечной операции по спасению терпящих бедствие силами МЧС. Если же период попыток перевести систему S в неустойчивое состояние затягивается, то на точность результатов моделирования может оказать влияние факт, что любой рассматриваемый агент всегда принадлежит больше, чем одной системе. То есть справедливо утверждение:

для $\forall a \in A^{Red} \exists S_1, S_2$, для которых

$(a \in S_1) \wedge (a \in S_2) \wedge (S_1 \neq S_2) \wedge (S_1 \neq S') \wedge (S_2 \neq S')$(2)

Например, боец системы силовой структуры S_1также принадлежит системе S_2 – семья, дом. В случае, когда границу охраняемого объекта пытаются пересечь несколько нарушителей, то оператор, принадлежащий системе «охрана объекта – нарушитель1», также принадлежит системе «охрана объекта – нарушитель 2».

Таким образом, необходимо определить правила и условия моделирования функционирования систем S_1иS_2, при выполнении утверждения (2).

Предположим, что для агента *a* существует некоторая цель P_1. $P_1 = true$, если цель достигнута, и$P_1 = false$, в противном случае.

Пусть *d* это последовательность действий агента, приводящая его к цели P_1, то есть $d = \{d_i\}$. Если действие d_i выполнено, то $d_i = 1$. Если для $\forall i d_i = 1$, то $d = 1$. Таким образом, справедливы утверждения,

если $d = 1$, то $P_1 = true$,

если $\exists i$ такое, что $d_i = 0$, то $P_1 = false$.(3)

Предположим, что для выполнения действия d_iотводится временной интервал $X_i = [start_i, finish_i]$, где $start_i < finish_i$. Введем отношения < и ≤ для интервалов X_i. Если $finish_i < start_{i+1}$, то $X_i < X_{i+1}$. Если $finish_i = start_{i+1}$, то $X_i \leq X_{i+1}$. В дальнейшем будем рассматривать только последовательности действий, для которых выполняется условие:

для $\forall$i,$(X_i < X_{i+1}) \vee (X_i \leq X_{i+1})$.(4)

Для достижения агентом цели P_2 аналогично введем последовательность действий $g=\{g_i\}$и временные интервалы Y_i .

Для простоты изложения будем считать, что для достижения цели P_1достаточно всего три действия: d_1,d_2, d_3.

Последовательности действий dи g назовем допустимыми, если существуют такие подпоследовательности$g^1=\{g_{i_i}\}$ и $g^2=\{g_{j_j}\}$, где $1\le i\le n$, $n<j\le m$, что выполняется следующее условие.

$$(g= g^1g^2)\wedge((X_1<Y_1)\vee(X_1\le Y_1)) \wedge ((Y_n<X_2)\vee(Y_n\le X_2)) \wedge ((X_2<Y_{n+1})\vee(X_2\le Y_{n+1}))$$
$$\wedge ((Y_m<X_3)\vee(Y_m\le X_3))(5)$$

Отсюда следует утверждение.

Утверждение 1. Если для последовательности действий d выполняется условие $d_1\le d_2\le d_3$, тодействия dи g не могут быть допустимыми.

Утверждение 1 и условие, аналогичное условию (5), можно распространить на любое количества действий d_i.

Принадлежность агента a некоторой системе S определяет правила поведения агента $\varphi(S)$, то есть выполнение некоторых регламентированных действий при соответствующем состоянии среды и системы S'. При частом невыполнении правил $\varphi(S)$ происходит принудительное вытеснение агента из системы. В дальнейшем будем придерживаться обозначений и терминологии работ [7, 8].

Рассмотрим понятия: альянс, коалиция, команда.

Под альянсом будем понимать объединение агентов в группу, в котором взаимные обязательства агентов группыотносительнослабы.Вэтомслучае агенты обязуются «помогать» друг другу, но не в ущерб собственным интересам, то есть, когда их цели не противоречат друг другу.

Коалиция – это объединениеагентоввгруппусдостаточно сильными взаимными обязательствами. Условия,прикоторыхагенты коалициипрекращаютпомогатьдругдругу, четко оговорены.

Команда – этообъединенияагентовдля совместногодостижения общей цели,локальныецелиагентовнаправлены на достижение общих целей команды.

Заметим, что наиболее «жесткое» правило φимеет команда, наименее«жесткое» правило φимеет альянс. Обозначим через $type$ тип группы агентов, через $type_a$обозначим тип «альянс», $type_c$– тип «коалиция», $type_{co}$– тип «команда».Введем следующие числовые значения $type_a$=0;$type_c$=0,5;$type_{co}$=1. Можно ввести k промежуточных типов групп, в соответствии со степенью «жесткости» правила φ. Будем считать, что $type_i<type_{i+1}$;$type_1= type_a$; $type_k= type_{co}$.

Введем также приоритет цели для каждого агента a из A^{Red}.$P_i<P_j$, если приоритет цели P_iменьше приоритета цели P_j.

Для достижения своей цели система S_1 должна определить тип группы агентов A^{Red}и закрепить его в правилах $\varphi(S_1)$. Как правило, в условиях возможной неустойчивости система определяет тип группы как $type(A^{Red})=type_{co}$=1.

Каждый агент определяет тип своей группы и вносит его в свои ментальные понятия, а именно в свои убеждения. Обозначим ментальный тип группы агента через $type^i(a)$, где верхний индекс соответствует номеру системы. В общемслучае $type^1(a)$ может быть отличным от типа $type(A^{Red})$, который устанавливает система S_1. Если $type^1(a) \neq type(A^{Red})$, то агент aначинает действовать в соответствии со своими метальными правилами $\varphi^1(a)$, которые соответствуют типу $type^1(a)$ и могут быть отличными от правил системы $\varphi(S_1)$.

Определим алгоритм работы агента, принадлежащего системам S_1, S_2, когда возникают две цели: P_1 в контуре системы S_1 и P_2 в контуре системы S_2.

1. Агент определяет последовательность действий по достижению целей P_1, P_2.

2. Если последовательности действий являются допустимыми, то агент осуществляет разбиение действий на подпоследовательности и их выполнение. Цели P_1, P_2 достигнуты. В противном случае происходит переход к пункту 3.

3. Агент определяет приоритеты действий. Предположим, что $P_2 > P_1$.

4. Агент определяет, можно ли отказаться от цели P_1 в соответствии с ментальными правилами $\varphi^1(a)$.

5. Если можно, то выполняет действия по достижению цели P_2. Цель P_2 достигнута, цель P_1 – нет. Если нельзя, то происходит переход к пункту 6.

6. Агент уменьшает $type^1(a)$ до тех пор, пока правило $\varphi^1(a)$, соответствующее новому ментальному типу группы, позволят ему отказаться от цели P_1.

7. Происходит выполнение действий по достижению цели P_2. Цель P_2 достигнута, цель P_1 – нет.

После завершения приведенного алгоритма системой S_1 анализируется значение P_1. Если P_1=false, ПУ системы S_1 определяет, необходимо ли вытеснить агента из системы в соответствии с правилами $\varphi(S_1)$. Если агент не вытеснен, то следующие действия агента по достижению очередной цели в контуре системы S_1 осуществляются в соответствии с ментальными правилами $\varphi^1(a)$.

Справедливы следующие утверждения.

Утверждение 2. Если количество агентов ограничено, то для сохранения своей устойчивости, при длительном периоде достижении цели, система S вынуждена снижать тип $type(A^{Red})$, установленный в начале функционирования.

Утверждение 3. Если количество агентов не ограничено, то для сохранения своей устойчивости, при длительном периоде достижении цели, система S вынуждена снижать тип $type(A^{Red})$, установленный в начале функционирования, либо производить замену агентов A^{Red}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Артюхов В.В. Общая теория систем: самоорганизация, устойчивость, разнообразие, кризисы. – М. Книжный дом «Либроком», 2009. – 224 с.*
2. *Ларичев О.И., Петровский А.Б. Системы поддержки принятия решений. // Современное состояние и перспективы развития. Итоги науки и техники. – М. : ВИНИТИ, 1987. –Т. 21. С. 131-164.*
3. *Бабич М.Ю., Ковалева В.С., Нисенбаум Е.Э., Ползунов Н.В., Рыбин С.А. Имитационная модель обнаружения нарушителей границы охраняемой области. // Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ: Выпуск 5. – М.: ЦНИ«Электроника», 2008. – С. 112–120.*
4. *Бабич М.Ю. Математическая модель адаптивного поведения рациональных агентов в процессе проведения операций на территории заданного региона. // Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. Выпуск 4. – М.: ЦНИ«Электроника», 2009. – С.74–83.*
5. *Бабич М.Ю., Ползунов Н.В., Фролов А.С. Вопросы создания информационной системы взаимодействия агентов с противоположными целями. //Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. Выпуск 5. – М.: ЦНИ«Электроника», 2010. – С.59–68*
6. *Бабич М.Ю. Адаптация рациональных агентов к изменяющейся обстановке по нечетким параметрам состояния ресурсов. //Вопросы радиоэлектроники. Серия ОТ. – М.: ЦНИ«Электроника», 2011. – С. 102 – 110.*

7. *Городецкий В.И. Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. (Часть 1) // Искусственный интеллект и принятие решений, 2011. №2. – С. 19 – 30.*
8. *P.Cohen and H.J.Levesque. Teamwork. Nous, 35 (1991).*

УДК
ББК 30

ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЕРВИСОВ В НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Е.Г. Бершадская, *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*
В.А. Володин, *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*
Д.И. Маркин, *Пензенский государственный технологический университет (г.Пенза, Россия)*

REVIEW OF NAVIGATION SYSTEMS PERSPECTIVE SERVICES IN THE CONTEXT OF MOBILE USERS' POSITION

Bershadskaya E.G. *Penza State Technological University (Penza» Russia)*
Volodin V.A. *Penza State Technological University (Penza» Russia)*
Markin D.I. *Penza State Technological University (Penza» Russia)*

В статье проводится сравнительный анализ сервисного программного обеспечения *LoadStone-GPS, Foursquar, AlterGeo, Gowalla* и приложений, которые могут быть полезны для решения задач позиционирования пользователей мобильных устройств.

Ключевые слова: система навигации *GPS*, сервисное программное обеспечение, позиционирование, мобильные устройства

The article presents a comparative analysis of service software (*LoodStone-GPS*, *Foursquar*, *AlterGeo, Gowalla*) and applications that can be useful for mobile users' position detection.

Key words: Navigation System *GPS*, utility software, positioning, mobile devices

Создание спутниковой навигационной системы является одним из важнейших результатов деятельности человечества в области позиционирования на местности. Любая спутниковая система позиционирования состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского. Космический состоит из автономных спутников, которые равномерно распределены по нескольким орбитам и излучают специальные навигационные сигналы, несущие информацию об исправности спутника, дате и времени на текущий момент, орбитальные данные всех спутников и точное время отправки всей совокупности сообщений. Наземный – это станции слежения за спутниками. Пользовательский сегмент – это устройства, получающие сигналы со спутников для определения местопо-

ложения, причем как стационарные, так и встраиваемые в автомобили, сотовые телефоны, и даже наручные часы [2].

Первой из подобных систем стала глобальная система позиционирования *GPS*. В зависимости от области применения и стоимости, исполнение *GPS*-приемников весьма разнообразно. В целом весь спектр моделей можно разделить на четыре большие группы:

1. Персональные *GPS*-приемники индивидуального применения. Эти модели отличаются малыми габаритами и широким набором сервисных функций. В эту группу можно отнести навигаторы, используемые для прокладки маршрута и, в особенности важны для облегчения работы спасательных и специальных служб.
2. Автомобильные *GPS*-приемники, которые предназначены для установки в любом наземном транспортном средстве и имеют возможность подключения внешней приемо-передающей аппаратуры для автоматической передачи параметров движения на диспетчерские пункты. Данная опция также предоставляет возможность получить значительные скидки на страхование по рискам (полное КАСКО).
3. Морские *GPS*-приемники, оснащены ультразвуковым эхолотом, а также дополнительными сменными картриджами с картографической и гидрографической информацией для конкретных береговых районов.
4. Авиационные *GPS*-приемники, используемые для пилотирования летательных аппаратов, включая коммерческую авиацию.

Ещё одним перспективным направлением развития *GPS* стало разработка сервисного программного обеспечения. В частности, программа *LoadStone-GPS* – это свободно распространяемое программное обеспечение, предназначенное специально для незрячих пользователей. Отличительной особенностью *LoadStone* является то, что она не работает с картами, как большинство аналогичных программ. Пользователь должен сам создавать базы данных или загружать другие базы, поддерживаемые программой.

Большое распространение получили сервисы, построенные на определении местоположения чего-либо (пользователя или точки на карте), на их основе были реализованы идеи *GPS*-меток. Сервис *Foursquare* предлагает пользователям отмечать на карте интересные места, которые могут заинтересовать других, не прибегая к Интернет-поиску. Однако и у *Foursquare* есть не менее успешные аналоги, как русские – *AlterGeo*, так и зарубежные – *Gowalla*. Так же подобные сервисы развиваются и внутри социальных сетей: в *Facebook* – *Places*, в ВКонтакте – Места, позволяющие отметиться в каком-либо месте и отметить друзей, которые находятся рядом с тобой. Можно предположить, что «Места» будут востребованы во всем мире.

Интересное приложение выпустил сайт «Вокруг света». Оно способно определять местоположение и автоматически предоставляет информацию о ближайшей достопримечательности. Здесь также присутствует ручной режим и, в случае ошибки *GPS*, можно выбрать интересующий объект вручную.

Но главными потребителями данной технологии являются мобильные карты. *Google Maps*, предустановленные в каждом смартфоне, и «Яндекс. Карты», располагающие более точной на сегодня картой России, то и дело добавляющие новые функции и сервисы, становясь качественнее и функциональнее. Их сравнительная характеристика — это: трехмерный вид и быстрая векторная карта у *Google* против более грамотной навигации и более точной растровой карты у «Яндекса»; при отображении загруженности дорог и автомобильной

маршрутизации пользовательские комментарии на карте у «Яндекса» против недавно запустившегося режима полноценного автомобильного навигатора у *Google*; более грамотный поиск по русскоязычным названиям у «Яндекса» против пешеходной маршрутизации с учетом общественного транспорта у *Google*.Альтернатива выбора приведет к изменению рынка *GPS*-навигации, дав на выбор два бесплатных, оперативно обновляющихся и компактных навигатора.

Тем не менее, в большинстве случаев сотовые телефоны не имеют достаточно хорошего приемника, который бы смог обеспечить уверенный прием сигнала в помещении или между зданиями. Это потребует применениямeтодов и средств устранения погрешности в системах *GPS* и ГЛОНАСС в отмеченных ситуациях. Первым способом увеличения точности геопозиционирования является использование сигналов сотовой связи (*GSM*).Именно тут приходит на помощь так называемый ***A-GPS***, что в большинстве других мобильных телефонах называется просто ***GPS*** **[1].**

A-GPS (англ. *Assisted GPS*) система, ускоряющая определение координат ***GPS*-приёмника представлена на рисунке 1.**

Самой большой проблемой для ***GPS*-** приемника является так называемый «холодный старт». Именно в этот момент происходит поиск спутников. В зависимости от внешних факторов, процесс старта может затянуться, что не только вызывает дискомфорт, но и приводит к повышенному потреблению энергии. Технология ***A-GPS*** помогает справиться не только с данной проблемой, но несколько упростить работу ***GPS*-**приёмнику.

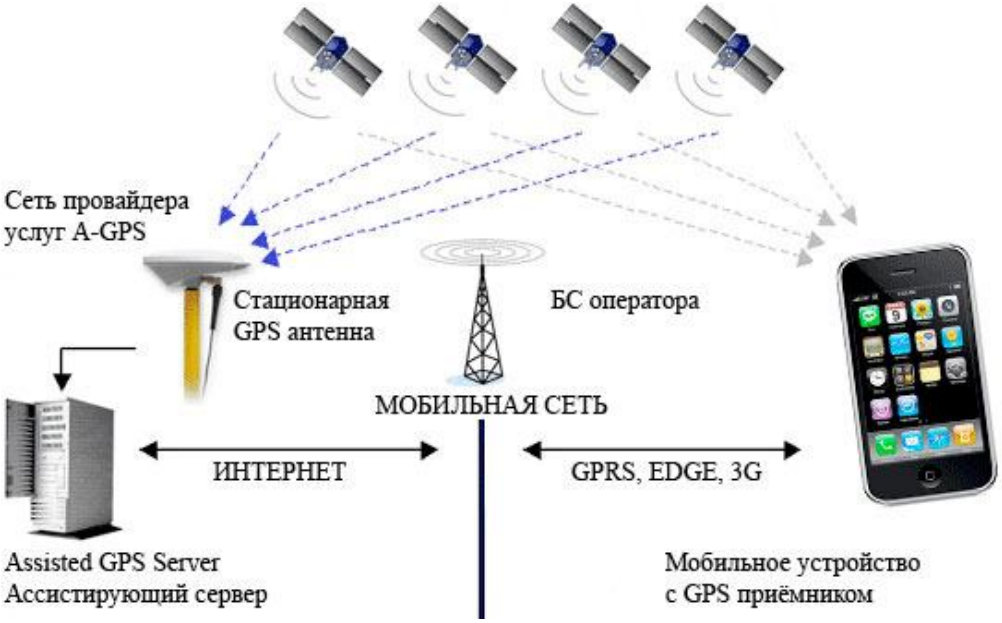


Рис. 1.Взаимодействие GPS-приемника спользовательскими сетями

В отличие от многих других телефонов, устройство, оснащенное *A-**GPS*,** будет работать без связи с сетью, что позволит использовать его вообще в любой точке мира, где улавливается сигнал спутника, однако требуется чтобы электронные карты были загружены заранее. При реализации дополнительно потребуется программное обеспечение для отслеживания перемещения объекта

при помощи *GPS*-приемника, встроенного в телефон под управлением операционной системы *Android*.

Несмотря на то, что система *GPS* обеспечивает предоставление услуг в глобальном масштабе, у нее есть и недостатки. Не говоря о технических, *GPS*-навигатор из соображений безопасности США может быть отключен. Учитывая, что навигационные системы составляют неотъемлемую часть инфраструктуры государства, влияют на безопасность и на развитие промышленного производства в целом, в развитых странах разрабатываются собственные спутниковые системы навигации. Поскольку дело это сверхдорогое, государства объединяют свои усилия в разработке программ [5].

В настоящее время происходит развитие альтернативных систем навигации, которые придут на замену *GPS* и ГЛОНАСС. Например, система «Скорпион» (Россия), способная обеспечивать большую зону действия (1 тыс. км против 600) и автоматически поддерживать параметры излучаемого сигнала [4]. Приемники системы могут быть установлены на авиацию, наземную, морскую и речную технику. Преимущество этой системы и в возможности синхронизации станций с системой ГЛОНАСС, что значительно повышает их эффективность и даст альтернативу навигационным спутниковым системам к 2016 году.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *http://www.rusarticles.com/obmen-opytom-statya/oznakomtes-chto-takoe-a-gps-i-chem-on-otlichaetsya-ot-gps-560940.html*
2. *Сетевые спутниковые радионавигационные системы. — 2-е изд. Козловский Е. Искусство позиционирования // Вокруг света. — М.: 2009 — С. 204-280.*
3. *http://www.gpstrace.ru/sitemap*
4. *http://masterok.livejournal.com/1232841.html*
5. *http://www.geodinamika.ru/_userfiles/files/Reference%20Information/Navigational%20systems/navigational_systems.pdf?PHPSESSID=3fbb7207a7f5596d6f0c005614b129cb*

УДК 621.397
ББК 32

ПРИМЕНЕНИЕ ВИДЕОДЕТЕКТОРА ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА

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

VIDEOMOTION DETECTORINTECHNICAL SECURITYPERIMETER

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

В статье рассмотрена возможность построения системы технической охраны на основе последовательно соединенных линейных модулей, содержащих видеокамеру и видеодетектор, реализованный аппаратно.

Ключевые слова:видеодетектор движения, видеокамера, охрана, периметр.

The article discusses the possibility of building a system of technical protection on the basis of series-connected linear modules containing a video camera and a video detector, implemented in hardware.

Key words: motion detector, CCTV, security, perimeter.

В состав современных технических систем охраны входят видеокамеры, устанавливаемые по периметру объекта наблюдения. Если система видеонаблюдения большая, тов целях совместной работы отдельные модули соединяются друг с другом с помощью шины. Полученная система вырабатывает большой поток информации, который целесообразно обрабатывать в автоматическом режиме, с минимальным участием оператора. Одним из способов автоматической обработки видеосигнала является использование видеодетектора движения.

Видеодетекторы движения обрабатывают сигналы от передающих камер системы охранного телевидения. К основным достоинствам этих приборов следует отнести пассивный принцип их работы и возможность создания зоны обнаружения сложной конфигурации, обход которой для нарушителя затруднен. Основнымисложностями в алгоритмах детекторов движения являются подверженность влиянию помех, которыми служат метеорологические явления (дождь, снег, изменение освещенности), сложность фона (движение растительности под влиянием ветра, движение птиц и животных).

Для борьбы с помехами современные видеодетекторы движения используют многоуровневую обработку видеосигнала, с применением систем цифровой фильтрации на всех уровнях.

На первом уровне происходит вычитание постоянного фона, данная операция, обычно, производится сравнением соседних кадров видеосигнала. На этом этапе происходит выделение контуров объектов, положение которых изменилось относительно прошлого кадра. Данные контуры составят передний план для дальнейшей обработки (Рис. 1). Возможно применение фильтрации по порогу значения разности кадров, с целью уменьшения влияния помех.

Рис. 1.Один из кадров исходного изображения и результат формирования межкадровой разности

На втором уровне происходит сегментация объектов – из множества пикселей переднего плана выделяются связные области, принадлежащие одно-

му движущемуся объекту (человеку, автомобилю и др.). После сегментации часть объектов может быть отфильтрована по размерам.

На третьем уровне осуществляется статистическое накопление данных об объектах. На основе этих данных построены алгоритмы сопровождения, вычисление траектории движения, координат, скорости передвижения, детектор оставленных предметов, распознавание объектов.

Большинство из перечисленных алгоритмов являются довольно трудоемкими и для повышения гибкости их использования, реализуются программно на достаточно мощных ПЭВМ. При использовании большого количества камер в системе наблюдения становится затруднительным использование полноценного набора алгоритмов так называемого «интеллектуального» видеодетектора. Это особенно ярко выражено на протяженных участках, когда для удешевления и упрощения системы используют малое количество линий связи и последовательное подключение видеокамер. В таком случае необходимо включать видеодетектор движения в каждый модуль системы, содержащий видеокамеру (рис. 2).

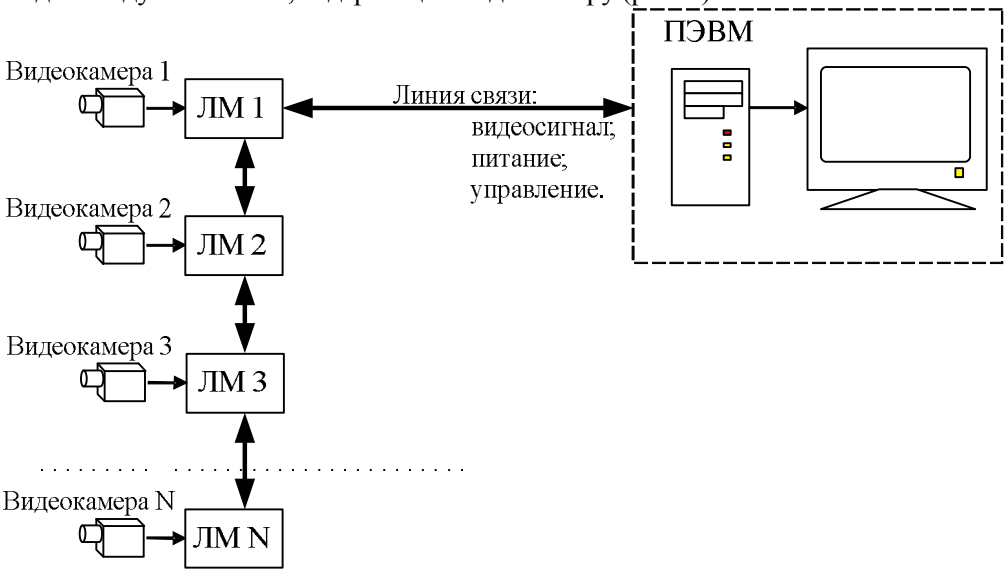


Рис. 2. Структура системы охраны с последовательным подключением видеокамер

ЛМ – последовательно соединенные линейные модули. Одновременно только один из линейных модулей может выдавать видеосигнал в линию связи. При такой организации каждый модуль может содержать аппаратную реализацию основных алгоритмов видеодетектора и видеорегистратор, для хранения записи некоторого временного интервала до и после срабатывания видеодетектора.

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 : Научно-методический журнал. – Пенза : Пенз. гос. технол. академия. – 2011. – № 3(03). – С. 100–106.*
2. *Борисов В.А. Возможности пассивного метода измерения дальности в телевизионных системах охраны периметра // XXI век: итоги прошлого и про-*

блемы настоящего плюс : Научно-методический журнал. – Пенза : Пенз. гос. технол. академия. – 2012. – № 5(09). – С. 102–106.

УДК 612.014.421.8

ББК 30

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

© ***С.Ю. Костенков****,Пензенский государственный технологическийуниверситет (г. Пенза, Россия)*

© ***М.А. Сидорова****,Пензенский государственный технологическийуниверситет(г. Пенза, Россия)*

© ***Д.С. Осипов****,Пензенский государственный технологическийуниверситет (г. Пенза, Россия)*

METHOD FOR CREATING MATHEMATICAL MODELS OF ELECTROPHYSIOLOGICAL SIGNALS

© ***S.Y. Kostenkov,*** *Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© ***M.A. Sidorova,****Penza State Technological University (Penza, Russia)*

© ***D.S. Osipov,****Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье предложена методика формирования математических моделей электрофизиологических сигналов. Авторами рассмотрено преимущество использования баз данных оцифрованных сигналов и расписаны особенности создания некоторых моделей электрокардиосигналов.

Ключевые слова: Математическая модель, методика моделирования электрофизиологический сигнал.

The paper proposes a method of creating mathematical models of electrophysiological signals. The authors discuss the advantages of using a database of digitized signals and painted features create some models electrocardiosignals.

Key words: The Mathematical model, simulation method, electrophysiological signal.

В настоящее время большой популярностью пользуются диагностические приборы и системы, анализирующие электрофизиологические сигналы (ЭФС). Наиболее сложными для анализа, но, в тоже время, и наиболее информативными считаются сигналы сердца (ЭКГ), центральной нервной системы и головного мозга (ЭЭГ) и мышечной активности (ЭМГ).

Для качественной диагностики применяется продолжительная регистрация ЭФС и надежные методы обнаружения патологий. Одним из таких надежных методов является сравнительный анализ. При сравнении ЭФС с рядом моделей нормы и различных патологий можно легко классифицировать сравниваемый ЭФС по принадлежности к той или иной группе моделей. При использовании сравнительного анализа качество диагностики напрямую зависит от качества математических моделей.

Чтобы математические модели, основанные на реальных ЭФС, не уступали моделям, сформированным по стандартизованным математическим функциям [2], авторы статьи предлагают в качестве реальных сигналов использовать ЭФС из стандартных баз данных:

- База данных *AHA*: База данных американской ассоциации сердца (*The American Heart Association*) для оценки аритмии желудочков (80 двухканальных записей по 30 мин каждая);

- База данных *MIT-BIH*: База данных по аритмиям Массачусетского технологического института - института Израильского госпиталя *Beth* (The *Massachusetts Institute of Technology Beth Israel Hospital*) (48 двухканальных записей по 30 мин каждая);

- База данных *NST*: База данных Теста Шумового Стресса (*Noise Stress Test*) (12 двухканальных записей по 30 мин каждая);

- База данных *CU*: База данных по длительным аритмиям желудочков Крейгтоновского университета (*The Creighton University*) (35 одноканальных записей по 8 мин каждая) [1].

При этом все используемые модели будут сформированы с учетом того, чтобы с их помощью можно было выявлять наибольшее количество отказов и ошибок (ложных пропусков и ложных срабатываний) в работе медицинских приборов и аппаратов на всех этапах тестирования, так как при разработке, наладке и поверке рекомендовано пользоваться этими базами сигналов.

В указанных базах сигналы представлены разной длительности, частоты дискретизации и различных патологий, что делает невозможным их использование «один в один». Поэтому необходимо проведение этапа формирования моделей этих сигналов. Для формирования модели ЭФС необходимо решить несколько задач:

1. выделить участки сигналов с одинаковыми морфологическими характеристиками и классифицировать по «норме» и «патологиям»;
2. провести нормализацию сигналов по амплитуде и выявить изолинию сигнала;
3. нормализировать сигналы по частоте дискретизации;
4. провести статистическую обработку и усреднить анализируемых сигналов, отбросив нехарактерные формы;
5. сегментировать полученные статистические модели;
6. применить специализированный математический аппарат для описания моделей.

Авторы статьи предлагают разработанную ими методику формирования моделей на основе реальных ЭФС, этапы которой представлены на рис. 1.

Рис. 1. Схема методики формирования моделей ЭФС

Форма сложных биологических сигналов может меняться в соответствии с характером того или иного заболевания, а также в зависимости от индивидуальных физиологических особенностей пациента. Поэтому на этапе классификации сегментов ЭФС необходимо привлечение компетентного специалиста в данной области. Это приводит к увеличению времени формирования модели, но полученная модель будет адекватнее отражать индивидуальные физиологические особенности. Применение этой методики позволит создать модели ЭФС, отражающие особенности характерные для мужчин и женщин, «стариков» и детей, а также других категорий пациентов.

Формированные моделей по записям сигналов из Базы данных *MIT-BIH* и *AHA* сокращает время на проведение оцифровки, сегментации и классификации сегментов, учитывающих особенности «нормы» и «патологии», а также позволяет использовать полученные модели для качественной оценки работоспособности медицинских приборов, аппаратов и систем, производящих автоматический анализ медико-биологических сигналов.

При решении поставленных задач использовался пакет *MATLAB*, являющийся математической лабораторией инженера, позволяющий упростить и автоматизировать процесс формирования сигнала и представить его в удобочитаемой форме.

Для формирования статистической модели ЭФС, представляющей модель электрокардиосигнала в «норме», использовалась 103-я запись Базы данных *MIT-BIH*. Был выбран первый канал оцифрованного сигнала как более наглядный. Он представляет собой II отведение ЭКГ. Благодаря использованию базы, в которой каждый кардиоцикл промаркирован, выделить участки сигналов с одинаковыми морфологическими характеристиками и классифицировать по «норме» и «патологиям» не составляло сложности. С помощью функций *rdsamp* и *rdann* из библиотеки доступа к Базе данных мы получили 2082 кардиоцикла, промаркированных как «норма». Следующим шагом стала нормализация по частоте дискретизации и амплитуде. На рис. 2 пунктиром выделена статистическая модель, полученная в процессе обработки, т.е. усредненная форма модели сигнала.

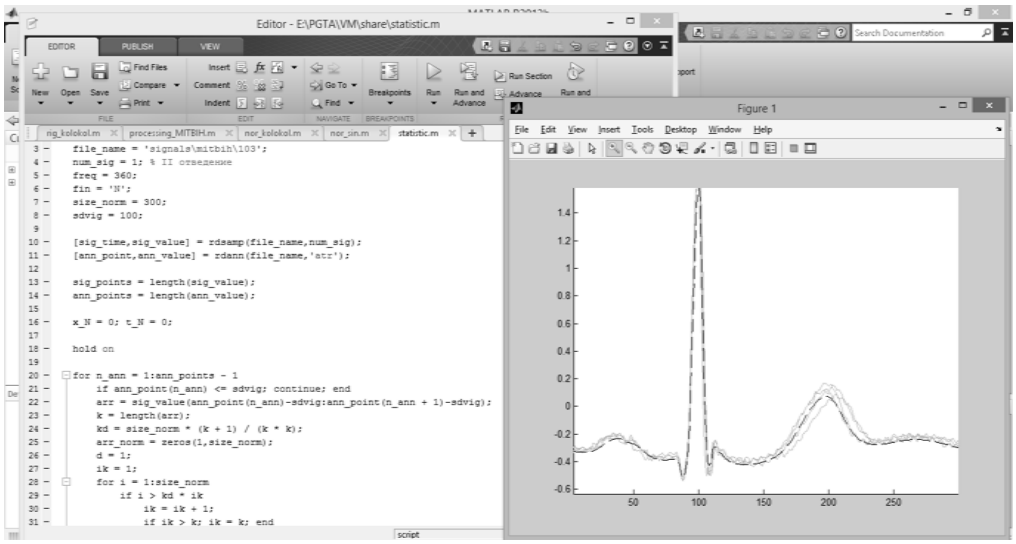


Рис. 2. Формирование статистической модели ЭФС

Такую статистическую модель проблематично описать целиком математически, следовательно, ее нужно разделить на участки, выделив основные сегменты ЭКГ-сигнала. На рис. 3, представлено 9 полученных участков.

Для отрезков, выделенных под *QRS*-комплекс, а также под *P* и *T* зубцы, были подобраны опорные структуры. Остальные участки не были описаны. В качестве опорных структур для описания участков использовались стандартные измерительные сигналы.

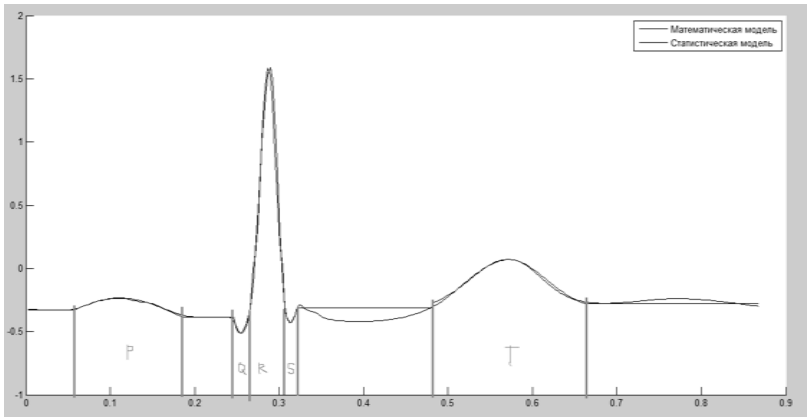


Рис. 3. Сегментирование статистической модели ЭФС

Как видно на рис. 4, описание *R*-зубца произведено косинусквадратным импульсом, а зубцы *P*, *Q*, *S*и*T* – синусом. После подбора параметров получилась математическая модель ЭКГ-сигнала в «норме», представленная формулой (1).

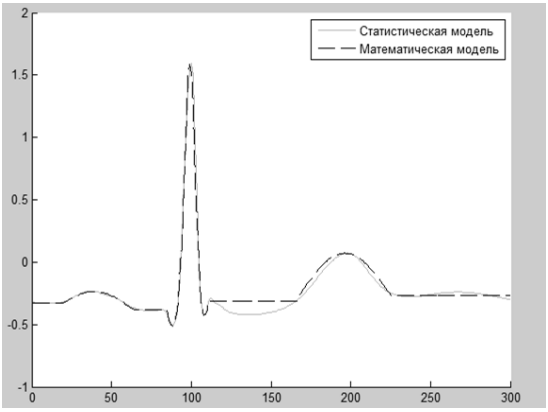


Рис. 4. Построение опорной структуры формы отрезка ЭКГ-сигнала

$$X(t) = \begin{cases} -0{,}328; t \le 0{,}056 \\ 0{,}124 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}130}t + 0{,}210\right) - 0{,}360\,; 0{,}056 \le t < 0{,}186 \\ -0{,}360; 0{,}186 \le t < 0{,}246 \\ -0{,}174 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}022}t + 0{,}413\right) - 0{,}340\,; 0{,}246 \le t < 0{,}268 \\ 1{,}590 * cos^2\left(\frac{\pi}{0{,}036}t + 4{,}291\right); 0{,}268 \le t < 0{,}304 \\ -0{,}170 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}019}t\right) - 0{,}260\,; 0{,}304 \le t < 0{,}323 \\ -0{,}260; 0{,}323 \le t < 0{,}483 \\ 0{,}351 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}170}t\right) - 0{,}280\,; 0{,}483 \le t < 0{,}653 \\ -0{,}280; t > 0{,}653 \end{cases} \quad (1)$$

Графическая визуализация на рис. 5 наглядно показывает, что для описания *T*-зубца больше подходит колоколообразный импульс.

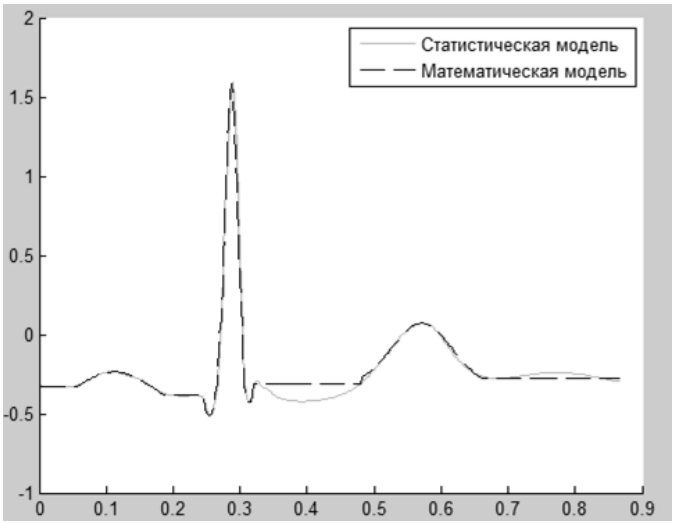


Рис. 5. Модели ЭКГ-сигнала в «норме»

Формула (2) более точно описывает ЭКГ-сигнал в «норме».

$$X(t) = \begin{cases} -0{,}328;\ t \le 0{,}056 \\ 0{,}124 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}130}t + 0{,}210\right) - 0{,}360\ ;\ 0{,}056 \le t < 0{,}186 \\ -0{,}360;\ 0{,}186 \le t < 0{,}246 \\ -0{,}174 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}022}t + 0{,}413\right) - 0{,}340\ ;\ 0{,}246 \le t < 0{,}268 \\ 1{,}590 * cos^2\left(\frac{\pi}{0{,}036}t + 4{,}291\right);\ 0{,}268 \le t < 0{,}304 \\ -0{,}170 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}019}t\right) - 0{,}260\ ;\ 0{,}304 \le t < 0{,}323 \\ -0{,}260;\ 0{,}323 \le t < 0{,}483 \\ 0{,}401 * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-1{,}414}{0{,}180}\right)^2} - 0{,}330\ ;\ 0{,}483 \le t < 0{,}663 \\ -0{,}330;\ t > 0{,}663 \end{cases} \quad (2)$$

Участок ЭКГ-сигнала, соответствующий *ST*-интервалу, не был специально описан и на опорной структуре выглядел в виде прямой. Во время построения модели, соответствующей ЭКС при патологии «блокада правой ножки пучка Гиса», этот участок был представлен синусом (рис. 6).

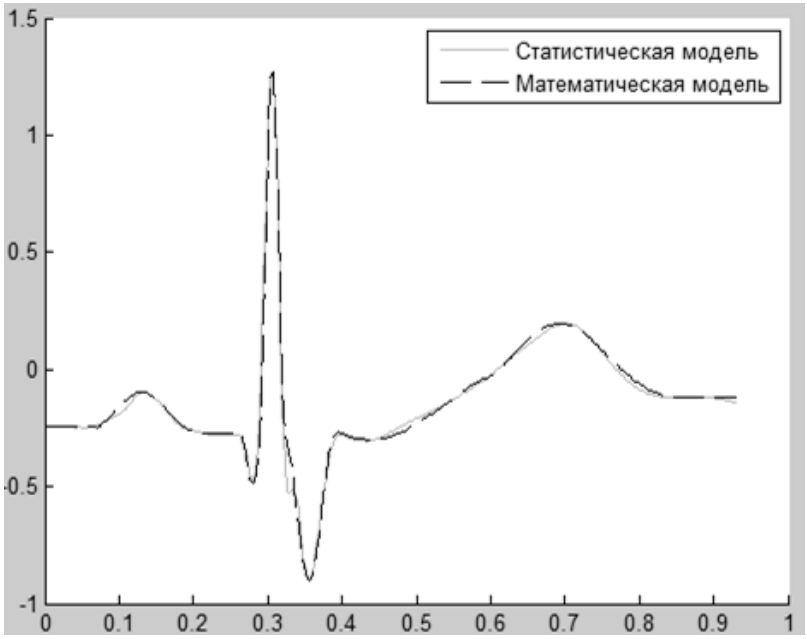


Рис. 6. Модели ЭКГ-сигнала при блокаде правой ножки пучка Гиса

Взглянув на формулу (3), несложно заметить, что *P*-зубец описан колоколообразным импульсом, а *S*-зубец отрицательным косинусквадратным импульсом. Это позволило максимально близко смоделировать данный вид патологии.

$$X(t) = \begin{cases} -0{,}247;\ t \le 0{,}070 \\ 0{,}193 * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-0{,}060}{0{,}135}\right)^2} - 0{,}290\ ;\ 0{,}070 \le t < 0{,}205 \\ -0{,}290;\ 0{,}205 \le t < 0{,}265 \\ -0{,}148 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}022}t + 0{,}004\right) - 0{,}340\ ;\ 0{,}265 \le t < 0{,}287 \\ 1{,}590 * cos^2\left(\frac{\pi}{0{,}036}t + 0{,}017\right) - 0{,}300;\ 0{,}287 \le t < 0{,}323 \\ -0{,}620 * cos^2\left(\frac{\pi}{0{,}070}t + 0{,}037\right) - 0{,}280;\ 0{,}323 \le t < 0{,}393 \\ -0{,}150 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}200}t + 0{,}055\right) - 0{,}150\ ;\ 0{,}393 \le t < 0{,}593 \\ 0{,}336 * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-0{,}100}{0{,}250}\right)^2} - 0{,}140\ ;\ 0{,}593 \le t < 0{,}843 \\ -0{,}140;\ t > 0{,}843 \end{cases} \quad (3)$$

При построении модели ЭКГ-сигнала с патологией «желудочковая экстрасистола» не представляется возможным выделить отдельные зубцы, так как для желудочковой экстрасистолии характерно:

1) отсутствие перед желудочковой экстрасистолой зубца *P*;
2) преждевременное появление на ЭКГ измененного комплекса *QRS*;
3) значительное расширение (до 0,12 сек. и больше) и деформация экстрасистолического комплекса *QRS*
4) расположение сегмента *RS - T* и зубца *T* экстрасистолы дискордантно направлению основного зубца комплекса *QRS*;
5) наличие после желудочковой экстрасистолы полной компенсаторной паузы.

А также проблематично описать каким-либо одним импульсом сложную форму такого сигнала. На рис. 7 отражено решение данной проблемы – сегментировать ЭФС на несколько участков без выделения отдельных зубцов. Таким образом, *QRS*-комплекс будет представлен двумя частями уравнения (4).

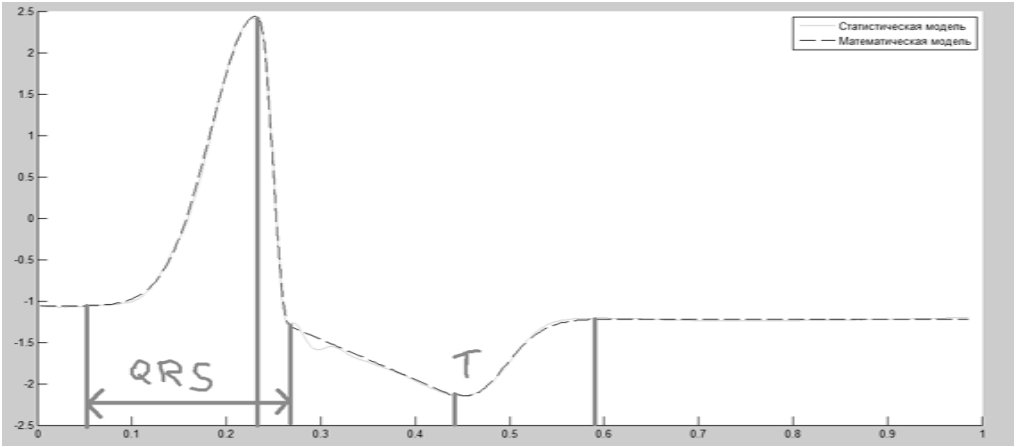


Рис. 7 Сегментирование опорной структуры модели ЭКГ-сигнала при желудочковой экстрасистолии

$$X(t) = \begin{cases} -1{,}060; t \le 0{,}040 \\ 3{,}505 * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-0{,}192}{0{,}192}\right)^2} - 1{,}060 \,; 0{,}040 \le t < 0{,}132 \\ 1{,}850 * sin\left(\frac{\pi}{0{,}032}t + 0{,}014\right) - 0{,}570 \,; 0{,}132 \le t < 0{,}164 \\ -0{,}016 * t - 1{,}290; 0{,}164 \le t < 0{,}344 \\ -0{,}930 * e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-0{,}010}{0{,}165}\right)^2} - 1{,}220 \,; 0{,}344 \le t < 0{,}509 \\ -1{,}220; t > 0{,}509 \end{cases} \quad (4)$$

Для формирования моделей других патологий процесс не претерпевает никаких изменений. Методика, предложенная авторами, позволяет составить математическую модель ЭФС в «норме» и при «патологиях».

Использование построенных моделей для генерации тестовых последовательностей ЭФС позволит создать имитатор ЭФС [3] и применять его для тестирования и оценки работоспособности медицинских приборов, регистрации и анализа параметров электрофизиологических сигналов, а также для нужд учебного процесса медико-технических специальностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ Р 50267.47-2004 (МЭК 60601-2-47-2001). Изделия медицинские электрические. Часть 2. Частные требования безопасности с учетом основных функциональных характеристик к амбулаторным электрокардиографическим системам. - М.: Изд-во стандартов, 2004.*
2. *Костенков С.Ю., Сидорова М.А. Особенности математических моделей электрофизиологических сигналов // Известия ВУЗов. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. – №3. – С. 19-25.*
3. *Костенков С.Ю. Особенности разработки программного имитатора электрофизиологических сигналов / С.Ю. Костенков, М.А. Сидорова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Технические науки. Информационные технологии. – 2013. – №10 (14). – С. 210-214.*

УДК 681.3.067
ББК34

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ФИЛЬТРАЦИИ ПИКСЕЛЕЙ НА ИЗОБРАЖЕНИИПРИ СЛЕЖЕНИИ ЗА ДВИЖУЩИМСЯ ОБЪЕКТОМ В ВИДЕОПОТОКЕ

*© **И.В. Шувалова,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
*© **О.С. Литвинская,**Пензенский государственный технологический университет(г. Пенза, Россия)*

PERFORMANCE EVALUATION OF PARTICLE FILTER IN TRACKING SYSTEMS

*© **I.V. Shuvalova**, Penza State Technological University (Penza, Russia)*

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

В статье анализируется точность и качество работы метода фильтрации пикселей изображений, применяющегося при слежении за движущимся объектом в системах видеонаблюдения. Успехи в отслеживании определяются на основе изменений уровней точности трекера. Для проверки восстановления после сбоя слежения применяется обратимость во времени.

Ключевые слова: видеослежение, обратимость времени, точность трекера,качество работы трекера, фильтр частиц.

The article analyzes accuracy and quality of particle filter, which is commonly used in tracking systems. Successful tracking is identified by analyzing accuracy of the tracker. Track recovery from errors is determined based on the time-reversibility constraint.

Key words: video tracking, time-reversibility, tracker accuracy, tracker quality,particle filter.

Исследование работы алгоритма слежения за движущимся объектом, выполненное в статье, заключается в оценке состояния отслеживаемого объекта в каждый момент времени и выявлении слежения за другим физическим процессом, соответствующим той части изображения, которая не является наблюдаемым объектом, то есть подстилающим фоном. Устройство, которое реализует алгоритм слежения за движущимся объектом, далее будем называть *трекером.*В трекере используется *три режима работы*: отслеживание, блокирование и сканирование. Режим отслеживания используется во время слежения за объектом, который может быть как наблюдаемым объектом, так и посторонним. Режим блокирования относится к моменту приблизительного определения местонахождения объекта после сбоя, или когда трекер определяет границы объекта более точно. Сканирование описывает момент поиска объекта после того, как произошел сбой отслеживания. В данной статье рассмотрена оценка работы трекера, которая состоит из оценки точности $\widetilde{U}_t$ и оценки качествавыделения движущегося объекта Q_t .

Для исследования оценки точности работы трекера взят метод фильтрации пикселей изображенияна основе цветовых признаков [1]. Для данного метода характерно то, что гистограммы распределения цвета устойчивы к изменениям в масштабе, окклюзии и ротации объекта. Движущийся объект отслеживается путем фильтрации пикселей изображения и сравнения его гистограммы с гистограммами выборки положения, используя расстояние Бхаттачария [2]. По известному положению объекта генерируется набор пикселей изображения в заданном направлении со случайными отклонениями. Возможно использование нескольких групп пикселей изображения с разными распределениями. У каждого пикселя есть определенное положение, скорость и размеры в плоскости изображения. Кроме того, у каждого пикселя изображения есть свой вес, который рассчитывается при классификации. Для этого при появлении наблюдаемого объекта в кадре определяется гистограмма распределения цвета. После чего пиксели изображения классифицируются с использованием расстояния Бхаттачария.

При слежении за объектом трекер должен поддерживать постоянное значение анализа точности трекера в том случае, когда он успешно следит за движущимся объектом. Точность работы трекера уменьшается тогда, когда теряется наблюдаемый объект. Низкий уровень точности показывает, что трекер

сканирует изображение для поиска объекта, чтобы зафиксироваться на нем. Увеличение точности означает, что трекер заблокирован на объекте, который может быть как целевым, так и посторонним [3,4].

Для оценки состояния трекера необходимо обнаружить временные изменения в анализе точности. Это позволит различать переходы трекера между заблокированным и незаблокированным состоянием в каждый момент времени. Чтобы обнаружить переходы в уровнях точности трекера при удалении значения смещения объекта, определяется сигнал изменения. Он показывает максимальную разницу между точностью работы метода фильтрации пикселей в определенный момент времени и положением объекта в пределах кадра.

Изменения в сигнале обнаруживаются с помощью параметров, отражающих скорость сигнала [5,6].

Алгоритм оценки точности работы метода фильтрации пикселей [7] заключается в следующем.

1. Выполняется анализ собственных значений ковариационной матрицы, отражающей взаимосвязь контролирующих параметров и параметров положения объекта.
2. Рассчитываются возможные пространственные положения объекта (пространственная неопределенность).
3. Выполненяется нормализация пространственной неопределенности, используя ширину и высоту наблюдаемого объекта.
4. Определяется точность $\widetilde{U}_t$ алгоритма слежения.
5. Применяется фильтрация для сглаживания результата алгоритма слежения.

Один только анализ точности трекера не может определить восстановление алгоритма после сбоя в слежении. Неточная фиксация объекта может возникнуть из-за сходства между признаками наблюдаемого объекта и других объектов в кадре. В этой ситуации уровень точности при слежении за наблюдаемым объектом может быть таким же, как при слежении за посторонним объектом, схожим с наблюдаемым. Чтобы преодолеть это ограничение и обеспечить точное обнаружение объекта используется свойство обратимости времени. Оно предполагает, что движение объекта во времени можно представить в обоих направлениях, т.е. трекер отслеживает объект как в прямом, таки обратном направлении. Определим состояние процесса слежения в прямом и обратном направлении соответственно как:

$$x_t^F = f^F(I_t, x_{t+1}^F, \beta_{t+1}^F) \text{ и } x_t^R = f^R(I_t, x_{t+1}^R, \beta_{t+1}^R) , \quad (1)$$

гдеF обозначает слежение в прямом направлении, R - в обратном;I_t- кадр в момент времени t; β_{t+1}^F и β_{t+1}^R - модель объекта в момент времени $t+1$; x_{t+1}^F и x_{t+1}^R - оценка состояния объекта в момент времени $t+1$; $f(.)$ – функция слежения.

Для каждого момента времени создается и инициализируется состояние x_t^R. Отслеживание выполняется в обратном направлении до опорного кадра, содержащего последнее успешное восстановление слежения. Успешное восстановление слежения характеризуется высокой точностью совпадения значений $\widetilde{U}_{t\max}$ положения объекта и результата работы трекера.

Различие между прямым и обратным трекингом используется для оценки качества выделения движущегося объекта Q_t:

$$Q_t = 1 - \frac{1}{t - t_1} \sum_{i=t_1}^{t} D(x_i^F, x_i^R), \quad (2)$$

где t_1 - опорный кадр; *D(.)* - функция, которая измеряет различие между прямым и обратным отслеживанием объекта.

На рис. 1 приведен пример работы трекера при слежении за движущимся объектом. Для проведения эксперимента использовался анализ эффективности работы метода фильтрации пикселей изоражения, реализованный программой *VideoTracking лаборатории VideoProcessingandUnderstanding* [7].

Рис. 1.Пример работы трекера на основе метода фильтрации пикселей

Начиная слежение за движущимся объектом, определяются параметры изображения, затем формируется сигнал изменения и рассчитываются состояния(1). В табл.1 приведены результаты изменения точности работы трекера в кадрах № 484, 593, 650.

На кадрах в таблице 1 выделены результаты работы трекера: область объекта серым цветом и ложный объект черным цветом.

Оценка качества выделения движущегося объекта Q_t (2) зависит от функции *D*. Различие между прямым и обратным отслеживанием состояния объекта определяется с помощью параметрических и пространственных расстояний:

$$D(x_t^F, x_t^R) = \omega \cdot d_S(x_t^F, x_t^R) + (1 - \omega) \cdot d_F(x_t^F, x_t^R),$$

где ω – коэффициент сглаживания, $\omega \in [0,1]$; $d_F(x_t^F, x_t^R)$ – параметрическая функция расстояния, равная $d_F(x_t^F, x_t^R) = \sqrt{1 - \rho(p,q)}$, где $\rho(p,q) = \sum_{u=1}^{m} \sqrt{p_u q_u}$ - коэффициент Бхаттачария, который зависит от коэффициентов изменения цвета при прямом – *p* и обратном – *q* отслеживании объекта; $d_S(x_t^F, x_t^R)$ – пространственная функция расстояния, указывает пересечение между двумя положениями объекта в пространстве, равная

$$d_S(x_t^F, x_t^R) = \frac{2\left|A_t^F \cap A_t^R\right|}{\left|A_t^F\right| + \left|A_t^R\right|},$$

где $\left|A_t^F \cap A_t^R\right|$- пространственное пересечение; A_t^F и A_t^R – область вокруг объекта (в пикселях).

Табл. 1.Анализ точности работы трекера

Кадр №	Работа трекера	Описание работы трекера
484		В кадре наблюдается наибольшее совпадение данных для всех отслеживаемых параметров, что соответствует наибольшей точности работы трекера
593		В кадре заметно влияние гистограммы распределения цвета и фона.Трекер теряет наблюдаемый объект и принимает посторонний объект за искомый. Это показывает, как влияет освещение на точность и корректность алгоритма
650		В кадре видно как трекер принял ложный объект за наблюдаемый и продолжает слежение

Изменяя коэффициент сглаживания ω, можно проследить качество выделения движущегося объекта, т.е. определить какова разница между величинами (1).

Влияние коэффициента сглаживания на параметрическую и пространственную функции расстояния рассмотрено при ω = 0,1; 0,5 и 1. В первом случае, когда больший вес имеет функция параметрического расстояния d_F, в то время как функция d_S в расчет практически не берется, наблюдается низкая точность в определении места положения объекта. При ω = 0,5 было отмечено, что обе функции имеют равное влияние на результат работы трекера. При максимальном значении ω = 1 функция d_F не учитывается совсем, однако большое значение функции d_S позволяет увеличить точность определения местоположения движущегося объекта.

Таким образом, большое значение коэффициента ω должно быть выбрано при высоком уровне помех, потому что гистограмма распределения цвета наблюдаемого объекта не будет обеспечивать точного обнаружения объекта.

Увеличение веса функции d_S будет увеличивать качество анализа области вокруг объекта. Малое значение коэффициента ω для функции d_S следует задавать тогда, когда трекер не может точно определить позицию наблюдаемого объекта в прямом и обратном направлении.

Данный анализ позволяет корректировать работу метода фильтрации пикселей изображения, меняя коэффициент слежения. Дальнейшее направление работы по этой тематике заключается в выявлении адаптивных пороговых значений коэффициента сглаживания для оценки качества выделения объекта в видеопотоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nummiaro K., Koller-Meier E., and Van Gool E. An adaptive colour-based particle filter // Image and Vision Computing vol. 21(1), 2003, pp.99 – 110.*
2. *Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Техносфера, 2005. – 1072 с.*
3. *Maggio E., Cavallaro A. Video tracking theory and practice. Wiley, 2011.*
4. *Wu H., Sankaranarayanan A., Chellappa R., Online empirical evaluation of tracking algorithms // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 32(8), 2010, pp.1443 – 1458.*
5. *Erdem E., Tekalp A., Sankur B., Video object tracking with feedback of performance measures // IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 4(4), 2004, pp.310 – 324.*
6. *Correia P., Pereira F., Stand-alone object segmentation quality evaluation // EURASIP Journal on Applied Signal Processing, vol. 4, 2002, pp. 389 – 400.*
7. *J. SanMiguel, A. Cavallaro and J. MartínezAdaptive on-line performance evaluation of video trackers //IEEE Transactions on Image Processing , 21(5): 2812 – 2823, May 2012*
8. *Black J., Ellis T., Rosin P., A novel method for video tracking performance evaluation // Proc. of IEEE Int. Workshop on Performance Evaluation of Tracking and Surveillance, Nice (France), October 2003, pp. 125 – 132.*

АЛГОРИТМЫ, УСТРОЙСТВА И ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК: 519.872.3, 519.872.8
ББК: 22.171

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИОРИТЕТНОГО ПОТОКА ЗАЯВОК В МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ С ОБЩИМ ДИСПЕТЧЕРОМ ЗАДАЧ ПО КАЖДОМУ КОНКРЕТНОМУ ТИПУ ПРИОРИТЕТА

*© **А. И. Мартышкин**, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*
*© **Р. А. Бикташев**, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*
*© **А. А. Воронцов**, Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*

NUMERICAL METHOD FOR DETERMINING THE BANDWIDTH PRIORITY THREAD APPLICATIONS IN THE MULTIPROCESSOR SYSTEM WITH A COMMON TASK MANAGER FOR EACH SPECIFIC TYPE OF PRIORITY

© ***A. I. Martyshkin***, *Penza State Technological University(Penza Russia)*
© ***R.A. Biktashev***, *Penza State Technological University(Penza Russia)*
© ***A.A. Vorontsov***, *Penza State Technological University(Penza Russia)*

Целью работы является проведение математического моделирования для анализа пропускной способности многопроцессорной системы, включающей диспетчер задач со стратегией разделения во времени. Методы исследования основаны на использовании положений теории аналитического моделирования, теории систем и сетей массового обслуживания (СМО и СеМО), теории вероятностей и теории случайных процессов. В статье приводится усовершенствованный численный метод моделирования диспетчеров задач со стратегией разделения во времени для многопроцессорных систем на основе разомкнутых сетей массового обслуживания. В заключении сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: математическая модель, численный метод моделирования, диспетчер задач, разделение во времени, случайный процесс, стохастическая сеть, приоритет, вероятность.

The aim is conducting of mathematical modeling for the analysis of the capacity of a multiprocessor system comprising a Task Manager with the strategy of separation in time. Research methods based on the use of the theory of analytical modeling, systems theory and queuing networks (SMO and SeMO), probability theory and stochastic processes. The article provides an improved method for numerical simulation task managers with the strategy of separation in time for multiprocessor systems based on the open queuing networks. Finally, deducted accordingly.

Key words:mathematical model, the numerical simulation method, Task Manager, separation in time, stochastic process, stochastic network, priority, probability.

ВВЕДЕНИЕ. При исследовании вычислительных систем (ВС) со стохастическим характером функционирования полезной математической модели является случайный процесс, который развивается в зависимости от рядафакторов. Примером таких случайных процессов могут служить процессы, связанные с диспетчеризацией задач в системах параллельной обработки данных, в частности в многопроцессорных системах. На практике во многих случаях необходимо, чтобы задачи определенного типа обслуживались быстрее, чем требования других типов [2,7]. С целью обеспечения преимущественного права на обслуживания одних задач (в системах реального времени (СРВ) требования, которые необходимо исполнить сразу же после появления) перед другими, им присваивается различный приоритет.Различия в важности задач, их трудоемкости и требованиях к оперативности принятия решения приводят к введению приоритетных дисциплин обслуживания.Задачи разного приоритета имеют, как правило, различную интенсивность поступления в систему. То есть на вход поступает неоднородный поток задач, что вполне соответствует реальным ВС. Приоритеты задачам реального времени устанавливают и по остаточному времени решения (например, алгоритмы *RMS* и *EDF* [7]).Чем меньше остаточное время, тем приоритетнее задача и по некоторым другим признакам.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.В приоритетной многопроцессорной системе (с n процессорными узлами ($ПУ_i$)) неоднородный поток задач, формируемый предварительным планировщиком, образует очередь перед диспетчером задач

(ДЗ), который распределяет задачи на обслуживание по ПУ$_i$. Он формирует потоки задач с интенсивностями $\lambda_1, \ldots, \lambda_g$ каждый из которых имеет приоритет k_i $(i = 1,\ldots, g)$. Приоритеты задач распределяются следующим образом: 1 – сверхсрочные требования, реакция на воздействия которых должна быть незамедлительно, 2 –срочные требования, реакция на воздействие которых может быть не такой мгновенной, как в предыдущем случае, …, g – задачи с самым низким приоритетом (например, фоновые задачи СРВ). Приоритет задачи уменьшается с увеличением номера потока запросов от ДЗ к ПУ. При таком распределении задач по ПУ не формируется очередь. То есть данная система является приоритетной, но с приостановкой обслуживания в случае, если все ПУ заняты обслуживанием задач. Системная программа, реализующая ДЗ, может выполняться как выделенным ПУ, как например, в операционной системе (ОС) с ведущим, или управляющим процессором, так и в любом ПУ , как например, в ОС с симметричной обработкой [7]. Предварительный планировщик формирует очередь задач, ДЗ направляет их на обслуживание в ПУ. Если все ПУ в определенный момент времени будут заняты обслуживанием задач, другая пришедшая задача будет приостановлена, пока не освободится *i*-й ПУ. Схема такой модели приведена на рисунке 1.

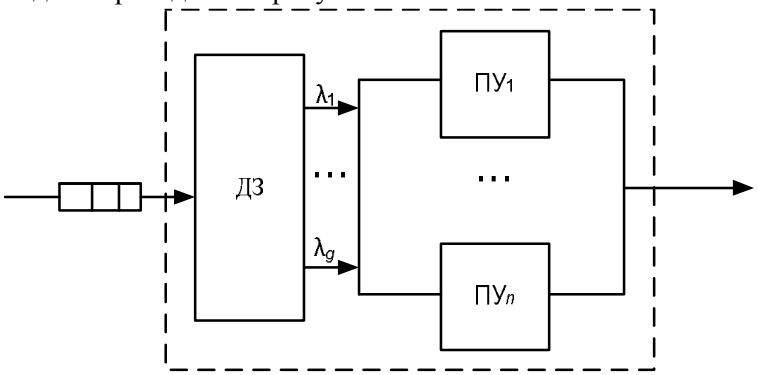


Рис. 1.Схема многопроцессорной системы с общим диспетчером задач и приоритетным обслуживанием

Аналитическими методами такую систему описать достаточно трудоемко. Нужны сложные преобразования и выкладки. Работы [5,6] дают некоторые представления о расчетах приоритетных многоканальных СМО. Решить такую сложную систему «на бумаге» можно лишь некоторыми приближенными методами.

ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ И ДОПУЩЕНИЯ. Введем допущение, что рассматриваемая система с общим ДЗ в системе с *n* ПУ является системой с приостановкой (блокированием) задачи из *i*-го приоритетного класса, когда все ПУ заняты обслуживанием. На вход ДЗ поступает суммарный поток задач от предварительного планировщика с интенсивностями $\lambda_1,\ldots,\lambda_g$, каждый из которых имеет различный приоритет k_i (*i*=1,…, *g*). Обозначим нумерацию потоков запросов на исполнение таким образом, что наиболее приоритетный будет под номером 1, следующий по приоритету – 2, наименее приоритетный –*g*. Все входящие потоки задач являются пуассоновскими, со временем обслуживания задач распределенными экспоненциально, причем интенсивность входного пото-

ка задач *k*-го потока равна λ_k, а интенсивность обслуживания в ПУ μ_k, *k*=1, 2, 3, …, *g*. В таком случае задачи *k*-го потока обслуживаются лишь в том случае, когда отсутствуют задачи более высокоприоритетных потоков с номерами 1, 2, …, *k*-1. Аналитический анализ эффективности такой системы с общим ДЗ для частного случая суммарного потока, состоящего из двух потоков, становится очень трудоемкой задачей, требующий громоздких выкладок и преобразований. Однако численный метод оценки производительности можно получить с использованием некоторых соображений [1].

Задачи первого (наивысшего) приоритета обслуживаются в системе так, как будто других требований не существует. Показатели производительности для таких высокоприоритетных задач определяются формулами Эрланга. Вероятность занятости ровно $m1$ ПУ, обслуживающих задачи первого приоритета, определим по выражению [3]: $P_{m1} = \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^{m1}}{m1!} / \sum_{j=0}^{n} \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^{j}}{j!}$,(1)

где$m1$ = 0,1,…n; λ_1 – интенсивность потока задач первого приоритета; μ_1 – интенсивность обслуживания потока задач первого приоритета.

Вероятность приостановки задачи первого приоритета находим по выражению: $P_{приост1} = \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^{n}}{n!} / \sum_{j=0}^{n} \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^{j}}{j!}$.(2)

Среднее число ПУ, занятых обслуживанием высокоприоритетных задач, рассчитывается по формуле [3]: $\overline{M_1} = \dfrac{\lambda_1}{\mu_1} \cdot \left(1 - P_{приост1}\right)$ (3)

В таком случае для обслуживания второго и последующих по приоритетности потоков задач свободны в среднем $n - \overline{M_1}$ ПУ и, ввиду того, что задачи второго типа имеют абсолютный приоритет перед всеми остальными, то эффективность их обслуживания также будет описываться формулами Эрланга. Вероятность занятости обслуживанием задач второго приоритета ровно $m2$ ПУ, определяется: $P_{m2} = \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^{m2}}{m2!} / \sum_{j=0}^{n-\overline{M_1}} \dfrac{\left(\dfrac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^{j}}{j!}$,(4)

где $m2 = 0,1,2,...,n - \overline{M_1}$; λ_2 – интенсивность потока задач второго приоритета; μ_2 – интенсивность обслуживания потока задач второго приоритета.

Вероятность в приостановке задачи второго приоритета равна

$$P_{приост2} = \frac{\left(\dfrac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^{n-\overline{M_1}}}{\left(n-\overline{M_1}\right)!} / \sum_{j=0}^{n-\overline{M_1}} \frac{\left(\dfrac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^{j}}{j!}, \quad (5)$$

Среднее число ПУ, занятых обслуживанием таких задач равно

$$\overline{M_2} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot \left(1 - P_{приост2}\right) = \frac{\lambda_2}{\mu_2} \cdot \left(1 - \frac{\left(\frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^{n-\overline{M_1}}}{\left(n-\overline{M_1}\right)!} / \sum_{j=0}^{n-\overline{M_1}} \frac{\left(\frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^j}{j!} \right) \qquad (6)$$

В приведенных соотношениях $n - \overline{M_1}$ - среднее число ПУ, свободных для обслуживания второго и последующих приоритетных потоков задач, которое нужно округлять до ближайшего целого числа, а это вносит определенную погрешность в результаты расчетов.

Для потоков задач *k*-го приоритета выражения, оценивающие эффективность обслуживания требований данного приоритета, представлены ниже:

$$P_{mk} = \frac{\left(\frac{\lambda_k}{\mu_k}\right)^{mk}}{mk!} / \sum_{j=0}^{n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}} \frac{\left(\frac{\lambda_k}{\mu_k}\right)^j}{j!},$$

$$m_k = 0,1,2,...,n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}, \qquad (7)$$

$$P_{приостk} = \frac{\left(\frac{\lambda_k}{\mu_k}\right)^{n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}}}{\left(n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}\right)!} / \sum_{j=0}^{n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}} \frac{\left(\frac{\lambda_k}{\mu_k}\right)^j}{j!}, \qquad (8)$$

$$\overline{M_k} = \frac{\lambda_k}{\mu_k} \cdot \left(1 - P_{приостk}\right) = \frac{\lambda_k}{\mu_k} \cdot \left(1 - \frac{\left(\frac{\lambda_k}{\mu_k}\right)^{n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}}}{\left(n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}\right)!} / \sum_{j=0}^{n-\sum_{r=1}^{k-1}\overline{M_r}} \frac{\left(\frac{\lambda_k}{\mu_k}\right)^j}{j!} \right) \qquad (9)$$

Оценим погрешность приведенных выражений. Для этого сравним вероятность приостановки задачи, определяемую ими, с точным значением, получаемым в результате анализа имитационной модели. Примем, что на вход поступает суммарный поток задач двух приоритетов, из которых первый имеет абсолютный приоритет перед вторым. Можно получить точные соотношения для распределения состояний такой системы. Для анализа системы воспользуемся технологией укрупнения состояний [4].

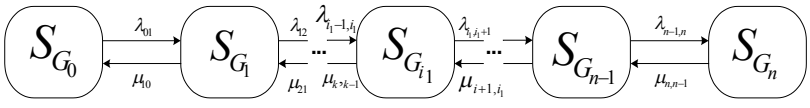


Рис. 2.Граф состояний и переходов в укрупненной системе

Согласно формулам Эрланга, распределение вероятностей групповых состояний принимает вид $P_{Gi_1} = \frac{\gamma_1^{i_1}}{i_1!} / \sum_{g=0}^{n} \frac{\gamma_1^g}{g!}$, где $i_1 = 0, 1, \ldots n; \gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$.(10)

Приостановка обслуживания приоритетной задачи первого потока произойдет только в случае, когда ДЗ передает ее на обслуживания на ПУ, но в этот момент все *n* ПУ системы уже заняты обслуживанием задач первого приоритета. Тогда система находится в состоянии $S_{n,0}$, а вероятность перехода в такое состояние составляет

$$P_{приост_1} = P_{n,0} = \frac{\gamma_1^n}{n!} / \sum_{g=0}^{n} \frac{\gamma_1^z}{g!} \quad . \tag{11}$$

Полученный результат вполне естественен: задачи приоритетного потока обслуживаются таким образом, если бы задач второго потока вовсе не существовало. Приостановка выполнения задачи из второго потока наступает в тех случаях, когда все *n* ПУ системы заняты обслуживанием любых задач. Таким образом, для второго потока состояния приостановки будут $S_{0,n}, S_{1,n-1}, \ldots, S_{i_1,n-i_1}, \ldots, S_{n-1,1}, S_{n,0}$.

Определим погрешность, которую дает соотношение (5). Запишем его более детально.

$$P_{приост2} = \frac{\left(\frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^{\left[n-\frac{\lambda_1}{\mu_1}\cdot\left(1-\frac{\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^n}{n!}}{\sum_{j=0}^{n}\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^j}{j!}}\right)\right]}}{\left[n-\frac{\lambda_1}{\mu_1}\cdot\left(1-\frac{\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^n}{n!}}{\sum_{j=0}^{n}\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^j}{j!}}\right)\right]!} / \sum_{j=0}^{b}\frac{\left(\frac{\lambda_2}{\mu_2}\right)^j}{j!},$$ где

$$b = \left[n-(\lambda_1/\mu_1)\cdot\left(1-\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^n}{n!}/\sum_{j=0}^{n}\frac{\left(\frac{\lambda_1}{\mu_1}\right)^j}{j!}\right)\right].(12)$$

В представленных соотношениях значение скобки «[ ]» есть символ округления до ближайшего целого числа. Примем приведенные плотности первого и второго потоков задач равными между собой, для них $\frac{\lambda_1}{\mu_1} = \frac{\lambda_2}{\mu_2} = \gamma$. В таком случае приведенное выше соотношение (12) приобретет вид:

$$P_{приост2}=\frac{\gamma^{\left[n-\gamma\cdot\left(1-\frac{\frac{\gamma^n}{n!}}{\sum_{j=0}^{n}\frac{\gamma^j}{j!}}\right)\right]}}{\left[n-\gamma\cdot\left(1-\frac{\frac{\gamma^n}{n!}}{\sum_{j=0}^{n}\frac{\gamma^j}{j!}}\right)\right]!}\Big/\sum_{j=0}^{c}\frac{\gamma^j}{j!},\text{где } c=\left[n-\gamma\cdot\left(1-\frac{\gamma^n}{n!}\Big/\sum_{j=0}^{n}\frac{\gamma^j}{j!}\right)\right].(13)$$

Проведенные расчеты показали, что погрешность соотношения (13) невелика, составляет порядка 7%от имитационной модели и падает с ростом приведенной плотности γ и числа ПУ n. Однако эту погрешность, основная доля которой связана с операцией округления, можно еще уменьшить, если при вычислениифакториала в выражениях (5) – (9) использовать гамма функцию $\Gamma(x)=\int_0^{\infty}e^{-t}\cdot t^{x-1}dt$ [9].Тогдасоотношение (13) примет вид:

$$P_{приост2}=\frac{\gamma^{\Gamma\left[n-\gamma\cdot\left(1-\frac{\frac{\gamma^n}{n!}}{\sum_{j=0}^{n}\frac{\gamma^j}{j!}}\right)\right]}}{\Gamma\left[n-\gamma\cdot\left(1-\frac{\frac{\gamma^n}{n!}}{\sum_{j=0}^{n}\frac{\gamma^j}{j!}}\right)\right]}\Big/\sum_{j=0}^{d}\frac{\gamma^j}{j!},\text{где}$$

$$d=\Gamma\left[n-\gamma\cdot\left(1-\frac{\gamma^n}{n!}\Big/\sum_{j=0}^{n}\frac{\gamma^j}{j!}\right)\right] (14)$$

На рисунке 3 приведен график, отображающий зависимость вероятности приостановки в обслуживании от величины, приведенной плотности потоков задач, поступающих в ПУ и рассчитываемых по выражению (13) для различного числа ПУ в системе. Поступают задачи 2-х типов приоритета и первый имеет высший приоритет.Согласно сделанного выше допущения, приведенные плотности первого и второго приоритетных потоков задач равны между собой. Значения параметров при моделировании n=6…12; $\lambda_1/\mu_1=\lambda_2/\mu_2$=1…6.

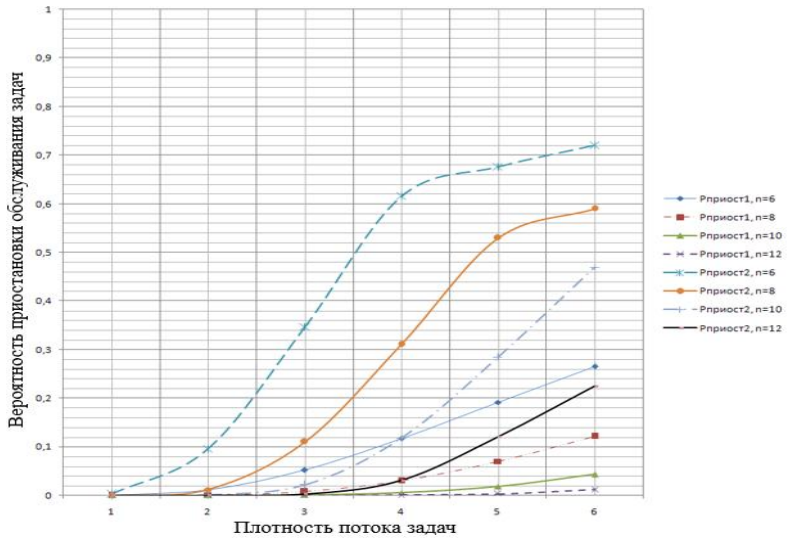


Рис. 3. Зависимости вероятностей $P_{приост1}$ и $P_{приост2}$ от плотности потоков задач, рассчитанных для различного числа процессорных узлов

Согласно принятому допущению о том, что задачи первого приоритета имеют абсолютный приоритет по отношению к задачам второго приоритета, можно определить пропускную способность по каждому типу приоритета.Абсолютнаяпропускная способность системы с задачами двух приоритетных потоков будет определяться согласно выражениям:

$$\begin{aligned} A_1 &= \lambda_1 \cdot (1 - P_{приост1}) \\ A_2 &= \lambda_2 \cdot (1 - P_{приост2}) \end{aligned}, \qquad (15)$$

где λ_1 – интенсивность потока задач первого приоритета, λ_2 – интенсивность потока задач второго приоритета, $P_{приост2}$ – вероятность приостановки обслуживания задач второго приоритета по причине занятости всех ПУ обслуживанием задач первогоприоритета, $P_{приост1}$– вероятность приостановки обслуживания задач первого приоритета по причине занятости всех ПУ обслуживанием задач этого же приоритета. Например, пусть интенсивность входного потока задач наиболее приоритетного потока равна $\lambda_1 = 10\,задач/мс$, интенсивность второго потока, соответственно, $\lambda_2 = 12\,задач/мс$.

Рассчитаем пропускную способность при числе ПУ равном 6, 8, 10, 12. Приведенная плотность первого и второго потоков равна между собой.Вероятность приостановки обслуживания задач первого приоритета определяется по формуле 11 и составляет для указанного числа процессорных узлов, соответственно 0,1172; 0,03; 0,005; 0,0006. Вероятность приостановки обслуживания задач второго приоритета для аналогичных характеристик составляет соответственно 0,6154; 0,31; 0,117 и 0,03. Отсюда найдем абсолютную пропускную способность при числе ПУ, равном 6: $A_1 = 10 \cdot (1 - 0{,}1172) = 8{,}828\,задач/мс;\ A_2 = 12 \cdot (1 - 0{,}6154) = 4{,}6152\,задач/мс$.

При числе ПУ, равном 8:

$$A_1 = 10 \cdot (1 - 0,03) = 9,7\ задач/мс;\ A_2 = 12 \cdot (1 - 0,31) = 8,28\ задач/мс$$

При числе ПУ, равном 10:

$$A_1 = 10 \cdot (1 - 0,005) = 9,95\ задач/мс;\ A_2 = 12 \cdot (1 - 0,117) = 10,596\ задач/мс$$

При числе ПУ, равном 12:

$$A_1 = 10 \cdot (1 - 0,0006) = 9,994\ задач/мс;\ A_2 = 12 \cdot (1 - 0,03) = 11,64\ задач/мс$$

ВЫВОДЫ.В статье предложен усовершенствованный численный метод оценки производительности системы с общим диспетчером задач и *n* процессорами, на вход которых от диспетчера поступает неоднородный поток с различным приоритетом. Простота предлагаемого метода, а также приемлемая точность вычислений обеспечивают возможность его практического использования. Метод позволяет проводить исследования приоритетной *n*-процессорной системы с общим диспетчером задач по конкретному приоритету задачи, не прибегая к сложным преобразованиям и громоздким выкладкам.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ на 2012-2014 гг. (СП-1172.2012.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахвалов, Н.С. Численные методы/ Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков. – М.: Бином, 2003. – 632 с.

2. Бронштейн, О. И., Духовный И. М. Модели приоритетного обслуживания в информационно-вычислительных системах. М.: Наука, 1976. 220 с.

3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. — 6-е изд. стер. — М.: Высшая школа, 1999.— 576 с.

4. Пустовойтов, П. Е. Управляемая Марковская цепь – модель корпоративной компьютерной сети [Текст] / П. Е. Пустовойтов, Са'ди Ахмад Абдельхамид Саед Ахмад, Эль Саед Абделаал Эль Саед Мохамед // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – №55. – С. 167-171

5. Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование в обосновании методик расчета многоканальных приоритетных систем [Текст] / Ю. И. Рыжиков // ИММОД-2003: Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции. – Санкт-Петербург. – 2003. – С. 161 – 165

6. Рыжиков,Ю.И.Средниевременаожиданияипребываниявмногоканальных приоритетных системах [Текст] / Ю. И. Рыжиков // Информационные управляющие системы. СПб. – 2006. – №6(25). – С. 43-49

7. Таненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум. –2-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 1040 с.

8. Томашевский, В. Л. Многоканальные приоритетные системы массового обслуживания: автореф. дис. … канд. техн. наук. М.: МГУ, 1986. 14 с.

9. Янке, Е., Эмде Ф., Леш Ф.Специальные функции: Пер. с нем. / Е. Янке, Ф. Эмде, Ф. Леш. – М.: Наука-Физмат, 1968. 344 с.

УДК: 519.872.3, 519.872.8
ББК: 22.171

РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С ДИСПЕТЧЕРОМ ЗАДАЧ СО СТРАТЕГИЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ И БЕСПРИОРИТЕТНОЙ ДИСЦИПЛИНОЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ

© ***А. И. Мартышкин***, *Пензенский государственный технологический университет (Пенза, Россия)*

CALCULATIONPROBABILITYCHARACTERISTICS OF MULTIPROCESSOR COMPUTER SYSTEM WITH A SINGLE TASK MANAGER WITH STRATEGIES OF SEPARATION IN TIME AND NO PRIORITY SERVICE DISCIPLINE

© ***A. I. Martyshkin***, *Penza State Technological University(Penza Russia)*

В статье приводятся результаты вычислительного эксперимента по моделированию диспетчеров задач со стратегией разделения во времени для многопроцессорных систем на основе разомкнутых сетей массового обслуживания. Рассмотрены результаты, полученные при классическом моделировании, имитационном моделировании и при разработанном методе моделирования. В заключении сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: математическая модель, диспетчер задач, разделение во времени, стохастическая сеть, вероятность

The article presents theresults of computational experimentson modelingtask managerswith the strategyof separationin timefor multiprocessorsystems based on the openqueuing networks. The resultsobtainedin the classicalmodeling, simulationsandmodelingdeveloped method. Finally,conclusions are drawn. Finally, deducted accordingly.

Key words:mathematical model, task manager, separation in time, stochastic network, probability

При моделировании вычислительных систем (ВС) адекватным аппаратом является теория массового обслуживания. Зачастую для упрощения модели реальной системы опускают ряд факторов, которые могут существенно повлиять на результаты моделирования и сопоставление их с работой системы. В используемом методе моделирования (в нашем случае методе моделирования диспетчеров задач (ДЗ) со стратегией разделения во времени многопроцессорных систем (МПС)) имеют место следующие недостатки: 1) неограниченная длина очереди, что противоречит принципу ограниченности ресурсов ВС; 2) отсутствует модель конфликтов за общую очередь задач со стороны множества процессорных узлов (ПУ); 3) не учитываются задержки, связанные с переключением контекста задачи и перезагрузкой кэш-памяти ПУ.

Назовем существующий метод **базовым**. Под базовым понимается метод моделирования СеМО, основанный на СМО с простейшими потоками за-

дач, экспоненциальным временем обслуживания, неограниченной очередью заявок и бесприоритетной дисциплиной обслуживания.

Для начала рассмотрим базовый метод моделирования, чтобы определить относительно него адекватность разработанного в [3] метода.Характеристики базовой и исследуемой системы (быстродействие ПУ, время кванта, интенсивность входного потока задач, число ПУ, средняя загрузка ПУ и др.) одинаковы, отличием является общая очередь перед блоком ПУ (в базовом варианте она принята неограниченной длины, в варианте с общим ДЗ со стратегией разделения во времени – она ограничена, также отличительной особенностью является наличие ДЗ для устранения конфликтов за доступ к общей очереди задач перед блоком ПУ. Для проведения вычислительного эксперимента приняты следующие параметры, соответствующие реальным МПС: число ПУ варьировалось от 2 до 20; интенсивность входящего потока задач λ_0 для задач с высокой реакцией варьировалась от 6,5 до 65 задач/мс (среднее время обработки на ПУi составляет 0,1 мс), интенсивность входящего потока задач λ_0 для задач со средней реакцией варьировалась от 0,416 до 4,16 задач/мс (среднее время обработки на ПУi составляет 0,5 мс), интенсивность входящего потока задач λ_0 для задач со средней реакцией варьировалась от 0,13 до 1,3 задач/мс (среднее время обработки на ПУi составляет 1,0 мс). Такие значения интенсивностей обеспечивают среднюю загрузку ПУ на уровне 65% ($\rho_{ПУ}$=0,65); длина общей очереди в базовой системы принята неограниченного размера, в системе с ДЗ длина общей очереди принята равной 128 задач; среднее время работы ДЗ, учитывая время перезагрузки кэш-памяти и переключения контекста задач, составляет 0,015 мс.

Известно, что в системах реального времени (СРВ) имеется большой запас производительности ПУ, чтобы можно было решать задачи с низкой трудоемкостью (так называемые «короткие» задачи) [4]. При моделировании учитывалась трудоемкость задач: низкая или высокая, а также реакция на запрос. Низкая трудоемкость характерна для систем жесткого реального времени, когда задача должна быть выполнена точно в срок и, зачастую, с высокой скоростью. Низкая трудоемкость обусловлена либо небольшой длиной программы, либо высокой производительностью процессора. Трудоемкость задач варьировалась путем изменения времени обслуживания в ПУ. Считается, чем меньше время обслуживания задачи в ПУ, тем ниже её трудоемкость (выше реакция на запрос, что характерно для систем реального времени). Реакция на запрос варьировалась путем изменения величины кванта процессорного времени, предоставляемого выполняемым задачам. Считается, чем меньше квант, тем выше реакция на запрос.

Теперь исследуем нашу систему [1] с ограниченной общей очередью и ограничением числа источников запросов ДЗ. На рисунке 1 представлен граф такой системы, где

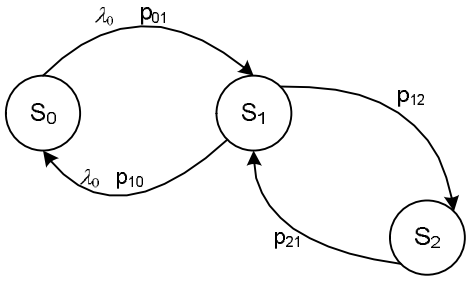


Рис.1.Граф передач системы с общим диспетчером задач со стратегией разделения во времени

S_0 – предварительный планировщик – источник запросов, S_1 – процессорные узлы, S_2 – диспетчер задач. Распишем выражение, полученное в [1] более подробно:

$$W = \frac{w_1}{p_{10}} + \frac{w_2 \cdot p_{12}}{p_{10}} = \frac{w_1 + w_2 \cdot p_{12}}{p_{10}}, \qquad (1)$$

где w_1 – время ожидания в очереди перед процессорными узлами; w_2 – время ожидании процессорных узлов перед занятием ДЗ; p_{10} – вероятность выхода обработанной задачи из системы; p_{12} – вероятность перехода задачи на обслуживание в ДЗ.

Время ответа в системе с ДЗ и общей очередью задач в МПС

$$U = \frac{(w_1 + k \cdot (t_k + \delta))}{P_{10}} + \frac{P_{12} \cdot (w_2 + k \cdot (\tau + \varsigma))}{P_{10}} = \frac{w_1 + k \cdot (t_k + \delta) + P_{12} \cdot (w_2 + k \cdot (\tau + \varsigma))}{P_{10}}, \qquad (2)$$

где k – число квантов на выполнение одной задачи; t_k – длительность одного кванта; δ – время, необходимое для перезагрузки кэш; ς – время работы ДЗ, τ – время, необходимое для переключения контекста (ПК).

Вероятности p_{10} и p_{12} зависят от трудоемкости пришедшей на выполнение задачи (чем большей трудоемкостью обладает пришедшая задача, тем дольше она находится на обработке в ПУ, тем меньшее значение имеет вероятность выхода отработанной задачи из системы (p_{10}) и тем большее значение вероятности (p_{12}) возвращения на дообслуживание задачи в ПУ). При моделировании прохождения через систему трудоемких («длинных») задач значения p_{10} и p_{12} задавались 0,1 и 0,9 соответственно. При рассмотрении задач средней трудоемкости значения принимались равными 0,16 и 0,84 соответственно. При моделировании поступления и обслуживания коротких (задач с самой маленькой трудоемкостью), p_{10} и p_{12} принимались равными 0,5 и 0,5 соответственно. Все расчеты проводились в разработанной программе расчета стохастических сетей массового обслуживания [2].

Были получены времена ожидания в очередях МПС с общим ДЗ с разделением во времени, времена ответа МПС с общим ДЗ, а также загрузка ДЗ от трудоемкости задач. Результаты представлены в виде графиков на рисунках 3 и 4.

Имитационное моделирование. Модель описывает процесс обработки задач в МПС. Время обработки каждой задачи выбирается при генерировании экспоненциальной по значению интенсивности входного потока λ_0. Среднее время обработки задачи выбирается экспоненциально по произведению времени одного кванта t_k на количество квантов k, необходимых для полного выполнения задачи ПУ. Моделируемая система представляет собой массив ПУ с общим ДЗ и общей очередью задач на обслуживание. Схема имитационной модели представлена на рисунке 2.

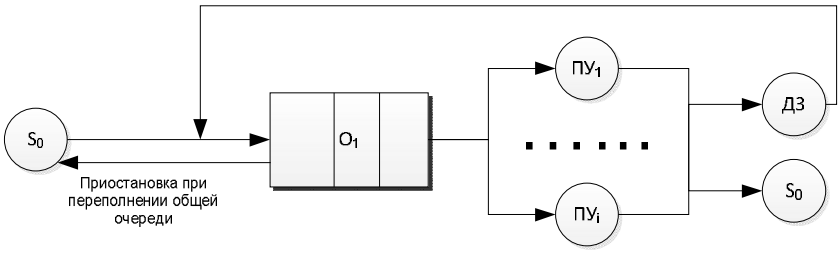


Рис. 2.Схема МПС с общим диспетчером задач

На рисунке 2 приняты следующие обозначения: S_0 – источник задач (предварительный планировщик); O_1 – очередь задач, ожидающих обслуживания; ДЗ – диспетчер задач; ПУ1-ПУi – процессорные узлы.

Задачи из предварительного планировщика помещаются в очередь, если в ней имеются свободные места. Иначе они покидают вычислительную систему необработанными. Из очереди задачи равновероятно назначаются по ПУ,выбираясь в порядке поступления (*FIFO*), они выходят из очереди и поступают на обработку в соответствующий *i*-й ПУ. Также с некоторой вероятностью перед обработкой очередной поступившей задачи *i*-й ПУ перезагружает кэш-память (вероятность перезагрузки кэш-памяти будет равна $n-1/n$,где n – число ПУ в системе).После окончания кванта обработки проверяется, завершена ли обработка данной задачи полностью. При положительном ответе обслуженная задача покидает систему. Задача обрабатывается на *i*-м ПУ целый квант времени (k). По окончании обработки в ПУ из внутренней переменной задачи вычитается время обработки – время одного кванта (t_k). Затем происходит проверка на завершенность путем сравнения внутренней переменной задачи, отвечающей за остаток времени необходимого для завершения обработки, с нулем. Если задача обработана полностью, то она покидает вычислительную систему. Иначе задача ожидает освобождения ДЗ, не освобождая до тех пор *i*-й ПУ, создается очередь ожидающих (приостановленных) ПУ. Как только ДЗ освободится, задача переходит на обработку в него, где также происходит равновероятностная смена ПУ. Далее задача пытается вернуться в общую очередь при наличии в ней свободного места, иначе – покидает систему частично обработанной.

В ходе проведенного вычислительного эксперимента изменялась трудоемкость задач, поступающих на выполнение в МПС, включающую общий ДЗ. Загрузка ПУ находилась на уровне 65%, что соответствует средней загрузке системы. Число ПУ варьировалось от 2 до 20 (Рисунок 3.)Трудоемкость задач принята следующей: для задач с низкой трудоемкостью (требующих высокой реакции на запрос) – 0,1 мс, для задач со средней трудоемкостью– 0,5 мс, наконец, для самых трудоемких задач – 1,0 мс.

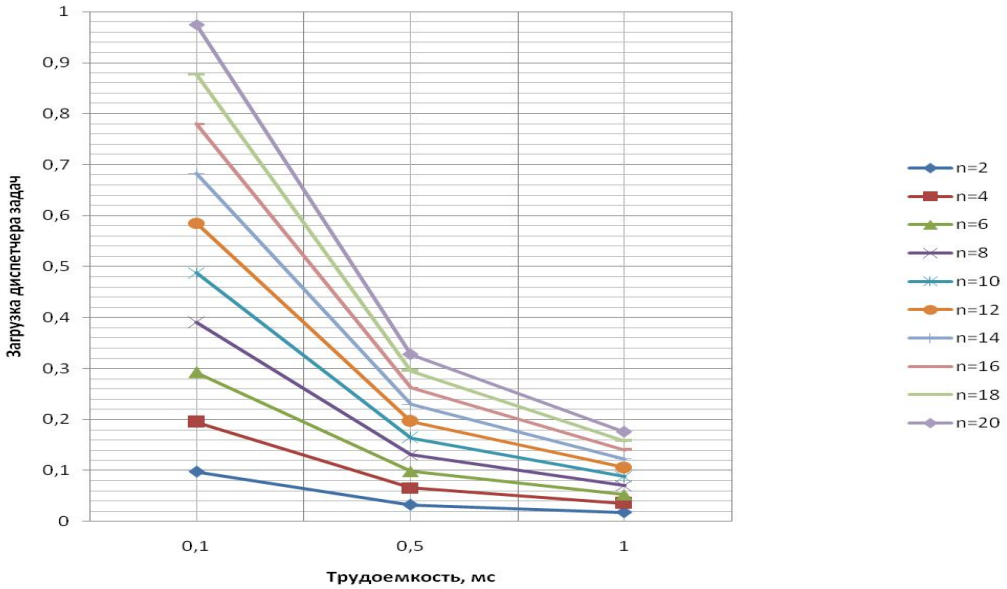


Рис. 3.Зависимость загрузки ДЗ от трудоемкости задач в МПС с общим ДЗ

Время кванта для проведенных опытов принято постоянным и равным 0,1 мс. Время работы ДЗ при переключении контекста задач составляет 5 мкс (получено измерением на системе-прототипе с помощью программы измерения [3]); время перезагрузки кэш-памяти принято равным 5 мкс (оценка получена с помощью тестового пакета *RightMark Memory Analyzer*).

Из рисунка 3 следует, что загрузка ДЗ со стратегией разделения во времени растет с понижением трудоемкости задач, т.е. с увеличением реактивности МПС.

Зависимость времени ответа МПС от числа ПУ при поступающем от предварительного планировщика потоке задач, требующих высокой реакции, полученная в ходе исследования системы с общим ДЗ (со стратегией разделения во времени), представлена на рисунке 4.

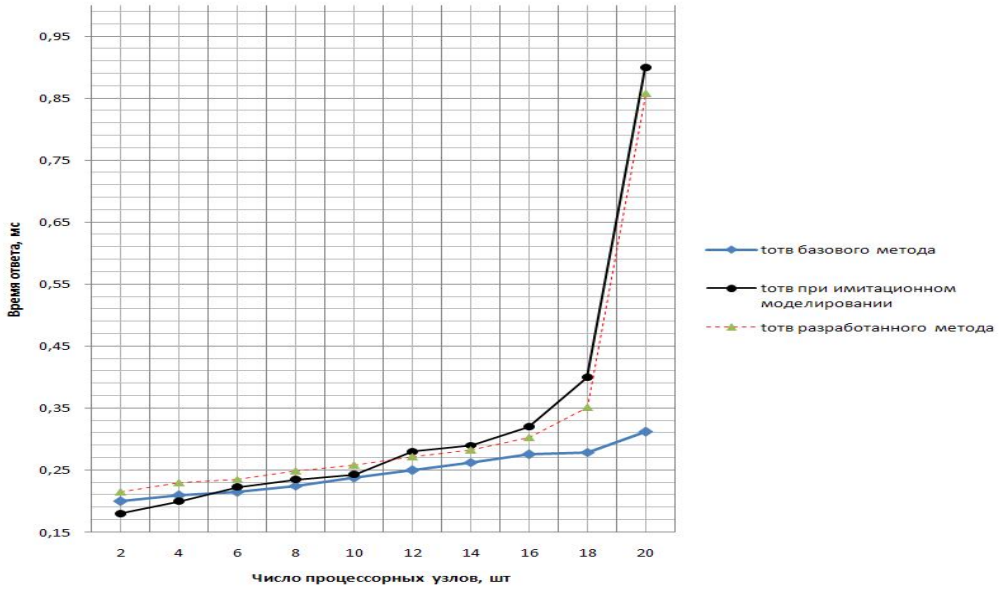


Рис.4.Зависимость времени ответа многопроцессорной системы от числа процессорных узлов при потоке задач, требующих высокой реакции

Анализ полученного графика показывает, что при увеличении числа процессорных узлов резко возрастет время ответа в модели, использующей разработанный метод и метод имитационного моделирования, что говорит об адекватности разработанного метода. Резкий рост времени ответа объясняется высокой загрузкой ДЗ, обслуживающего множество ПУ.

Модель, использующая базовый метод, ведет себя неадекватно относительно имитационного метода при числе процессоров более 16 для заданных параметрах задач и архитектурных параметрах многопроцессорной системы.Это свидетельствует о том, что точность моделирования базовым методом масштабных многопроцессорных систем резко снижается. Формально это снижение показано корреляционной зависимостью результатов, полученных на имитационной и аналитических моделях. Для получения корреляционной зависимости использовался регрессионный анализ. Линейный коэффициент корреляции базового метода моделирования с имитационной моделью составляет 0,83, а разработанного метода приближается к единице – 0,99.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов выявлено, что число процессорных узлов в составе многопроцессорной системы зависит от параметров задач и архитектурных параметров диспетчера задач.

Проведена верификация метода математического моделирования для оценки показателей производительности диспетчеров задач с разделением во времени в многопроцессорных системахпосредством корреляционного анализа. Показано, что линейный коэффициент корреляции существующего метода моделирования с имитационной моделью составляет 0,83, а разработанного метода приближается к единице – 0,99. Это свидетельствует о большей адекватности разработанного метода моделирования процессам в реальной системе, чем при использовании традиционных методов, основанных на экспоненциальных разомкнутых сетях массового обслуживания.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ на 2012-2014 гг. (СП-1172.2012.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мартышкин, А.И. Математическое моделирование диспетчеров задач для систем параллельной обработки на основе разомкнутых систем массового обслуживания [Текст] / А.И. Мартышкин, Р.А. Бикташев, Н.Г. Востоков // В мире научных открытий. – 2013. – № 6.1 (42) (Математика. Механика. Информатика). – С. 81–101.*
2. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611117. Программный комплекс для расчета вероятностно-временных характеристик стохастических сетей массового обслуживания. Правообладатель: ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия». Авторы: Мартышкин А. И., Бикташев Р. А. Заявка № 2012660617. Дата поступления 5 декабря 2012 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 г.*
3. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013611118. Программный комплекс для измерения производительности функций операционных систем. Правообладатель: ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия». Авторы: Мартышкин А. И., Бикташев Р. А. Заявка № 2012660618. Дата*

поступления 5 декабря 2012 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 г.

4. *Таненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум. –2-е изд. – СПб.: Питер, 2002. – 1040 с.*

УДК681.3.02
ББК 34

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХАРАРТЕРИСТИК-КАНАЛАПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

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

STATISTICAL ANALYSIS INFORMATIVE PARAMETERS SIGNALS IN THE PRESENCE INSTABILITY HARARTERISTIK DATA CHANNEL

***© I.V. Dimov**, Penza State Technological University (Russia, Penza)*

Предложен метод оценки уровня фазовых искажений сигналов данных в процессе их передачи и/или воспроизведения из устройства хранения, которая заключается в декомпозиции измеренной гистограммы временных интервалов между импульсами в соответствии с принятым методом канального кодирования с последующей аппроксимацией выделенных участков гистограммы несколькими «гладкими», аналитически описываемыми плотностями распределения вероятностей значений интервалов.

Ключевые слова: интервал, вероятность ошибки, гистограмма, джиттер, преобразование.

The methods of assessing the level of phase distortion signals during data transmission and / or reproduction of storage, which is to decompose the measured histogram of the time intervals between pulses in accordance with the method of channel coding with subsequent approximation of several selected areas of the histogram, «smooth», analytically described the probability density interval values .

Keywords: Interval, the probability of error, the histogram, jitter, transformation.

При проектировании систем передачи данных, в том числе информационных каналов внешних запоминающих устройств ЭВМ, важно знать характер и степень искажений воспроизводимых сигналов. Поскольку цифровые сигналы имеют два четко различающихся статических уровня, то искажения их проявляются в виде случайных смещений фронтов (спадов) относительно номинальных позиций – в виде джиттера.

Искажения позиций импульсов X в их совокупности характеризуются плотностью распределения вероятностей $\varsigma_X(t)$. Если фронт сформированного в процессе воспроизведения одиночного импульса данных выпадает за пределы

отведенного для него селектирующего временного «окна»,то символ воспроизводится с ошибкой. Как известно [1], вероятность ошибки определяется суммарной площадью «хвостов», отсекаемых левой t_{Yl}и правой t_{Yr} ($t_{Yr} - t_{Yl} = \tau_0$ - ширина «окна»)границами «окна» от кривой плотности распределения вероятностей $\varsigma_X(t)$ и без учета статических смещений импульса Δ_X и «окна» Δ_Y равна (рис.1)

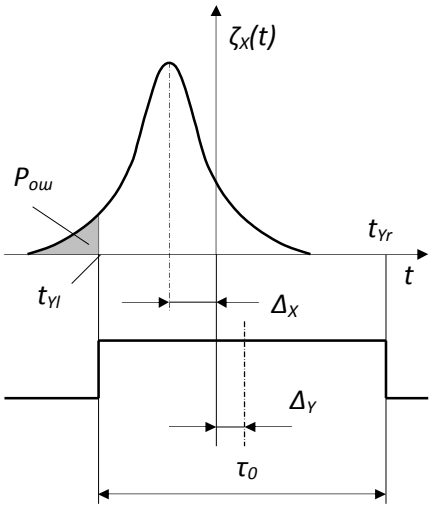


Рис. 1. Вероятность ошибки при воспроизведении одиночного символа

$$P_{ош} = \int_{-\infty}^{t_{Yl}} \varsigma_X(t)dt + \int_{t_{Yr}}^{\infty} \varsigma_X(t)dt . \quad (1)$$

Преимущественное распространение в технике цифровой магнитной записи получили коды под общим названием кодов с ограничением длины интервалов(*RLL – RanLengthLimited*), которые имеют ограничения на минимальное и максимальное количество нулей между двумя единицами. Строго говоря, любой из кодов с фазовой манипуляцией может быть отнесен к группе кодов *RLL*, так как все они также предполагают ограничения длины интервалов между значащими моментами цифрового сигнала данных.

Статистический анализ искажений сигналов воспроизводимого информационного кода *RLL* выполняется на основе непрерывного измерения интервалов между импульсами кода с помощью интерполирующего преобразователя «время-код» (ПВК), обеспечивающего режим прямого преобразования с малым «мертвым» временем. По результатам множества измерений строится гистограмма распределения значений интервалов, которая имеет количество локальных максимумов, соответствующее числу возможных интервалов кода. Например, трехинтервальный код *MFM* имеет три максимума при значениях $2\tau_0, 3\tau_0, 4\tau_0$, где τ_0 - единичный интервал цифрового сигнала данных, код *RLL* 2,7 – шесть максимумов. Нормированная гистограмма распределения значений интервалов по значительному множеству измерений представляет собой суперпозицию плотностей распределения вероятностей, локализованных в окрестностях математических ожиданий интервалов (рис.2).

На основании центральной предельной теоремы каждый фрагмент кривой можно представить своей плотностью распределения вероятностей вида $\zeta_{Xk}(t) = \frac{p_k}{\sigma_k\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-M_k)^2}{2\sigma_k^2}}$, где p_k - вероятность *k*-ого интервала, M_k и σ_k - его математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение. Условие нормирования заключается в том, что $\sum_k p_k = 1$.

Таким образом распределение значений интервалов кода можно характеризовать суммарной плотностью распределения вероятностей

$$\zeta_{X\Sigma}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_k \frac{p_k}{\sigma_k} e^{-\frac{(t-M_k)^2}{2\sigma_k^2}}. \qquad (2)$$

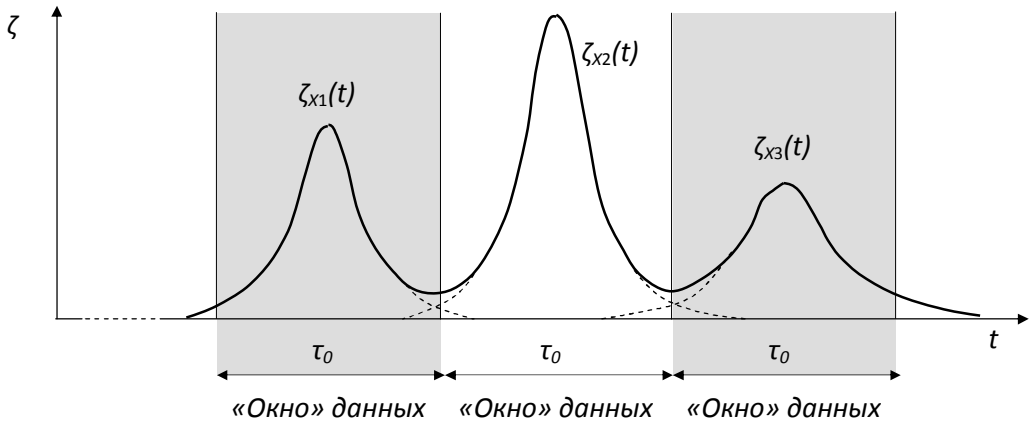


Рис. 2. Плотность распределения вероятностей интервала многоинтервального кода

Наличие джиттера сигналов приводит к перекрытию локальных областей $\zeta_{Xk}(t)$ плотности распределения вероятностей, что и обусловливает возникновение ошибки декодирования символа.

Таким образом, для оценки качества канала воспроизведения сигналов данных необходимо выполнить декомпозицию функцииплотности распределения вероятности, вычленив из нее составляющие, которые соответствуют «своим» значениям кодовых интервалов. Такая процедура позволяет определить долю сигналов, выпадающих за пределы отведенных для них селектирующих «окон» данных,и, следовательно, получить численную оценку вероятности ошибки.

Метод реализован на базе программно-аппаратного комплекса «Статистический цифровой хронометр» [2], дополненного программным модулем декомпозиции гистограммы измеренных временных интервалов. Аппаратное ядро комплекса составляет интерполирующийПВК, построенный на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) [3].

ПЛИС типа *EP2C20F484C7N* фирмы *AlteraCorporation* [4] размещена на отладочной плате *CycloneIIFPGAStarterDevelopmentBoard* [5]. Проектирование устройства выполнено в САПР *Quartus II*с загрузкой конфигурации ПЛИС по стандарту *JTAG* через *USB* порт компьютера. Результаты измерений накапливаются в буферном ЗУ платы, по заполнении которого накопленная информация передается по последовательному интерфейсу *RS*-232 в компьютер (рис. 4). Дальнейшая обработка данных, осуществляемая компьютером, заключается в сортировке множества чисел, вычислении математического ожидания M_t и среднеквадратического отклонения σ_t. Алгоритм обработки исходит из гипо-

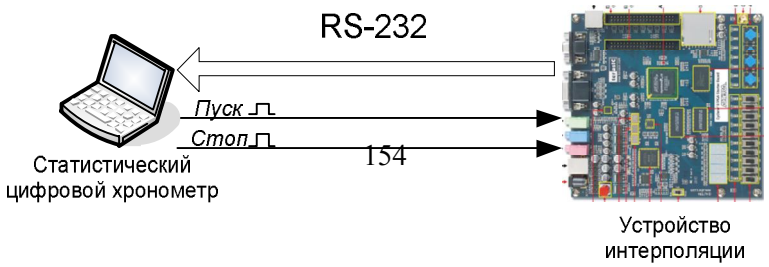


Рис. 4. Структура статистического цифрового хронометра

тезы о нормальном законе распределения вероятностей, что справедливо в силу действия центральной предельной теоремы. Результаты вычислений представляются графически в виде гистограммы распределения значений интервалов и аппроксимирующей ее гладкой кривой плотности распределения вероятностей, нормированной к шкале графика.

В процессе проверки устройства измеряемые интервалы времени задавались с помощью кварцевых генераторов отладочной платы путем деления их частоты и селекции входных импульсов в качестве импульсов «*Пуск*» и «*Стоп*». Схема делителя частоты с селектором импульсов также включена в ПЛИС при ее конфигурировании. Результаты преобразования в наносекундах выводились на семисегментные индикаторы отладочной платы (рис.5), те же результаты отображаются на экране монитора компьютера.

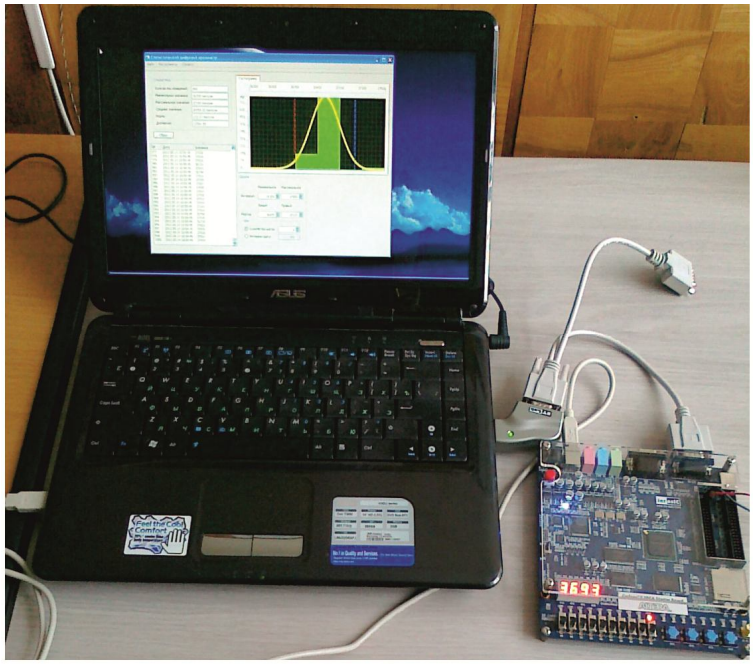


Рис. 5. Плата СЦХ, подключенная к ПК

Показанная для примера экранная форма разработанного прибора (рис.6) содержит гистограмму распределения измеренных временных интервалов, полученную при анализе джиттера стабильного генератора импульсов. С помощью пары маркеров, управляемых «мышью», устанавливаются границы области гистограммы, соответствующей заданному «окну» данных. Прибор выполняет расчет математического ожидания и среднеквадратического отклонения интервала внутри указанной области, и строит аппроксимирующую «глад-

кую» кривую плотности распределения вероятностей для этой области. Аналогично получаются кривые плотностей распределения для других областей гистограммы. Далее для каждой аппроксимирующей кривой по формуле (1) находится суммарная площадь отсекаемых маркерами «хвостов» как

$$P_{ош.k} = \int_{-\infty}^{t_{Yl.k}} \varsigma_{Xk}(t)dt + \int_{t_{Yr.k}}^{\infty} \varsigma_{Xk}(t)dt \,, \qquad (3)$$

где $t_{Yl.k}$и $t_{Yr.k}$ – временные позиции соответственно левой и правой границ k-ого «окна». Располагающиеся за пределами окна участки гистограммы игнорируются.

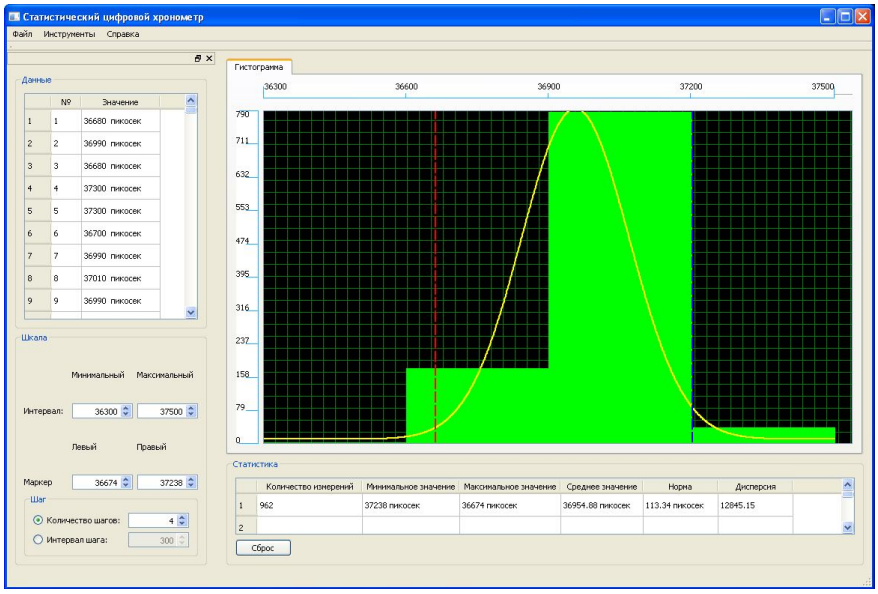


Рис. 6.Экранная форма статистического цифрового хронометра

Значения «частных» вероятностей ошибки далее суммируются с учетом весовых коэффициентов – вероятностей самих интервалов в их кодовой последовательности с целью определения полной вероятности ошибки:

$$P_{ош.\Sigma} = \sum_k p_k P_{ош.k} \,. \qquad (4)$$

Прибор выполняет расчет для отдельных участков гистограммы, разделенных маркерами, которые могут устанавливаться вручную, либо задаваться программным путем.При многократных измерениях «хвосты» смежных ап-

проксимирующих кривых могут пересекаться (рис. 7).В связи с этим есть необходимость учитывать вероятности ошибки влияния двух смежных аппроксимирующих кривых, которая вычисляется по формуле:

$$P_{ош.} = \left| P_{ош.\Sigma 1} - P_{ош.\Sigma 2} \right| \qquad (5)$$

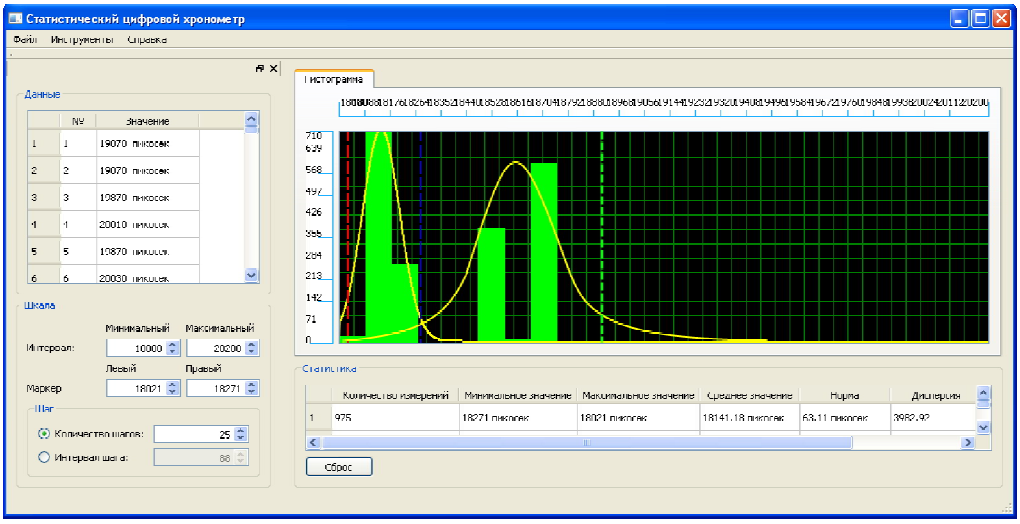


Рис. 7. Экранная форма для нескольких измерений

Заметим, что подобная оценка вероятности ошибки не претендует на высокую точность, поскольку не учитывает дисперсии самих «окон» данных и погрешностей статического смещения сигнала данных и «окна». Однако она позволяет провести сравнение различных технических средств декодирования и уточнить требования к их характеристикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Харкевич А.А. Борьба с помехами. – М.: Наука, 1965, 276 с.*
2. *Димов И.В., Чулков В.А. Программно-аппаратный комплекс «Статистический цифровой хронометр». - Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей IX Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза: ПДЗ, 2011, с. 132-136.*
3. *Чулков В.А., Медведев А.В. Интерполирующий преобразователь время-код на п.л.и.с. - Приборы и техника эксперимента, 2009, №6, с.31-35.*
4. *Грушвицкий, Р.И. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой. 2-е изд., перераб. и доп. / Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2006. - С. 142 -146.*
5. *Cyclone II FPGA Starter Development Board Reference Manual // Altera Corporation. – October 2006 [электронныйресурс]: Режимдоступа: http://www.altera.com/literature/manual/mnl_cii_starter_board_rm.pdf. – Загл. сэкрана.*

УДК 621.314.632:62-52
ББК 34

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКОВ УТЕЧКИ В СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ В СОСТОЯНИИ НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

© ***А.В.Мускатиньев, А.А.Мускатиньев,*** *Мордовский государственный университетим. Н.П.Огарева» (г. Саранск, Россия)*

FEATURES OF MEASUREMENT OF PARAMETERS OF PSD IN THE CONDITION OF LOW CONDUCTIVITY

© ***A.V. Muskatinyev, A.A.Muskatinyev,****Mordovian state university ofN. P. Ogaryov (Saransk, Russia)*

В статье обсуждаются проблемы измерения токов утечки силовых полупроводниковых приборов (диодов и тиристоров) в широком диапазоне температур. Показано влияние барьерной емкости СПП и скорости изменения испытательного импульса напряжения на результат измерения токов утечки. Предложена структура универсального высоковольтного генератора испытательных импульсов специальной формы.

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор; барьерная емкость; испытательный импульс напряжения; генератор импульсов.

In article problems of measurement leakage currents of power semi-conductor devices (diodes and tiristor) in a wide range of temperatures are discussed. Influence of barrier capacity of PSD and speed of change test voltage impulse on result of measurement leakage currents is shown. Requirements to a form test voltage impulse are formulated.

Keywords: power semiconductor device; barrier capacity; test voltage impulse.

Постановка задачи. В последнее десятилетие российской силовой электронике стала доступной новая элементная база, изменившая схемотехнику преобразовательных устройств. Мощные полевые транзисторы вида MOSFET, биполярные с изолированным затвором IGBT постепенно вытесняют обычные силовые полупроводниковые приборы (СПП) – тиристоры и диоды из традиционных областей их применения. Это объясняется многими факторами, главными из которых являются: полная управляемость транзисторов, малая мощность управления, возможность параллельного соединения (MOSFET), малое падение напряжения в открытом состоянии (IGBT) и др. Тем не менее, остаются обширные ниши преобразовательной техники, где позиции обычных СПП достаточно устойчивы. В первую очередь это касается применений, где требуются высоконадежные, способные к многократным перегрузкам по току силовые ключи, какими и являются СПП. К таким областям промышленности могут быть отнесены передача и преобразование энергии, преобразователи для подвижного состава, индукционный нагрев металлов, дуговые печи постоянного тока для плавки металлов, гальванотехника, электролиз металлов.

В настоящее время кроме завода «ЭЛЕКТРОВЫПРЯМИТЕЛЬ» г. Саранск, являющегося российским флагманом по производству СПП, появились новые, динамично развивающиеся предприятия подобного профиля с широкой номенклатурой элементов силовой электроники. Следует отметить завод «ПРОТОНЭЛЕКТРОТЕКС», на котором постоянно ведутся разработки новых

силовых приборов. В настоящее время их ряд расширился по току до 5000 А и напряжению до 6500 В.

Для диагностики и контроля состояния СПП предприятиям и организациям, эксплуатирующим и разрабатывающим преобразовательную технику, требуется аппаратура для измерения параметров СПП. Несмотря на то, что количество паспортных параметров СПП достаточно велико [1], существует несколько статических параметров, по результатам измерения которых можно однозначно оценить пригодность СПП к эксплуатации. Такие параметры называют параметрами-критериями годности, которыми в случае силовых тиристоров являются [2]:

- повторяющийся импульсный обратный ток I_{RRM} и повторяющийся импульсный ток в закрытом состоянии I_{DRM};
- отпирающий ток управляющего электрода I_{GT};
- импульсное напряжение в открытом состоянии U_{TM}.

Среди приведенных параметров токи I_{RRM} и I_{DRM} являются наиболее важными. Измерение указанных токов производят при максимальной температуре перехода и повторяющемся импульсном напряжении в закрытом состоянии U_{DRM} или обратном повторяющемся импульсном напряжении U_{RRM}. Наименьшее значение из напряжений U_{DRM} и U_{RRM}, округленное до величины кратной 100, определяет класс силового тиристора [2]. В случае силовых диодов рассмотренные параметры справедливы для обратной ветви вольтамперной характеристики.

Для оценки работоспособности СПП потребитель может измерять величины нормированных токов I_{DRM} и I_{RRM} . Такую операцию в условиях ремонтных предприятий осуществить достаточно сложно, поскольку необходимо нагреть СПП до максимальной температуры с высокой точностью, порядка ± 3 градуса. Поэтому на практике измеряют ток в закрытом состоянии I_D или обратный ток I_R(токи утечки) при комнатной температуре и напряжении выше напряжения класса СПП. Токи утечки представляют собой активную составляющую тока через силовой прибор. Контролируя тенденцию изменения значения этих токов в процессе эксплуатации СПП при проведении регламентных и ремонтных работ преобразовательных установок можно выявить потенциально ненадежные СПП и своевременно осуществить их замену. Кроме этого, на этапе входного контроля потребитель может также оценить качество СПП по значениям токов утечки.

Однако, точное измерение токов утечки СПП при комнатной температуре затруднено по двум причинам. Во-первых, для качественных приборов токи утечки могут иметь порядок единиц – десятков микроампер, что усложняет измерительный канал аппаратуры. Во-вторых, наличие емкостной составляющей тока СПП (I_c), возникающей при использовании импульса испытательного напряжения с конечной скоростью нарастания в момент измерения, может привести к существенной погрешности измерения токов утечки. Емкостная составляющая тока определяется барьерной емкостью C_n перехода, смещенного в обратном направлении. Зависимость емкости C_n от напряжения на переходе нелинейная [3], и с достаточной для практики точностью рассчитывается по формуле:

$$C_n = C_0 / \sqrt[3]{1 + \frac{|U_n|}{\varphi_0}}, \quad (1)$$

где U_n - напряжение на переходе; C_0 - начальная емкость перехода при U_n =0, зависящая от геометрических размеров (площади) и ряда технологических параметров перехода; $\varphi_0 \approx 0{,}7$ В.

Кривые, построенные в соответствии с формулой (1) для различных C_0 и U_n, показаны на рис. 1. Снижение емкости C_n относительно начального значения C_0 происходит достаточно быстро в пределах 100 вольт. Установившееся значение емкости перехода составляет порядка 20% от начального и равно (0,1 – 5) нФ. При дальнейшем изменении напряжения емкость перехода меняется незначительно.

Приборы с большой площадью перехода (таблеточная конструкция) обладают значительной начальной емкостью C_0, которую достаточно просто измерить на практике.

Для современных СПП допустимые значения напряжений U_{DRM} или U_{RRM} существенно превышает 100 В, и, в соответствии с рис. 1,емкость перехода можно считать постоянной величиной, равной установившемуся начению C_n.

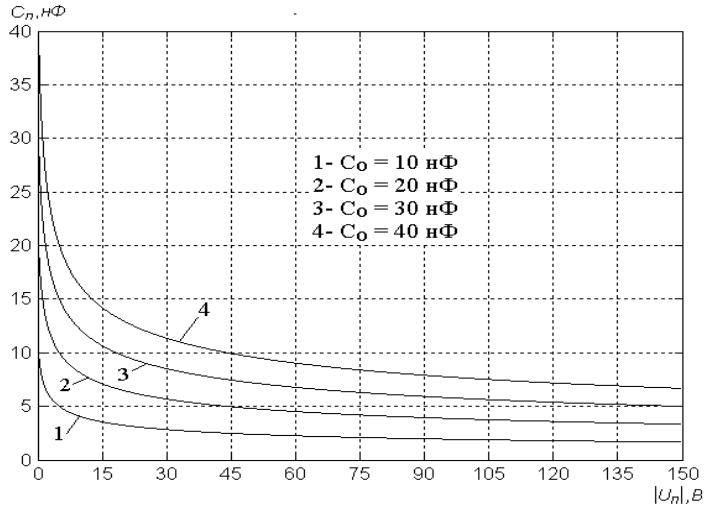
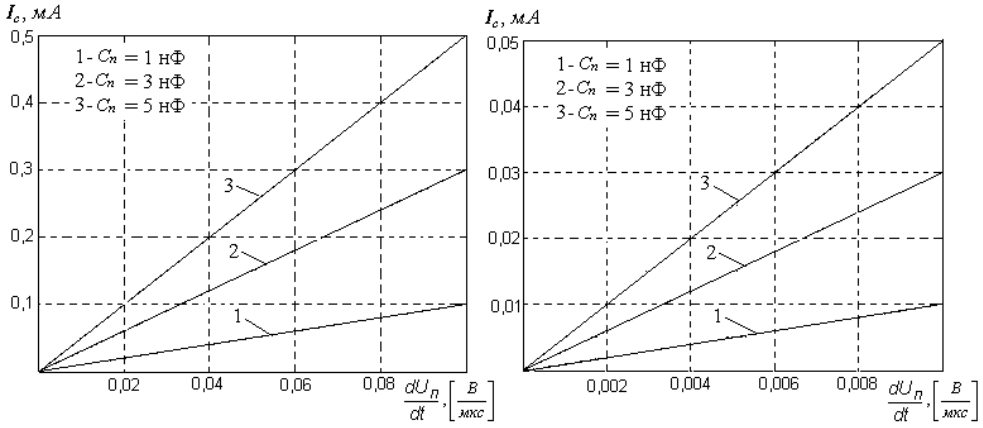


Рис. 1.Зависимости барьерной емкости СПП от обратного напряжения

При различных скоростях изменения испытательного напряжения в момент контроля тока через СПП в состоянии низкой проводимости емкостная составляющая I_c описывается выражением:

$$I_c = C_n * \frac{dU_n}{dt}. \quad (2)$$

На рис. 2 для различных C_n показаны зависимости емкостной составляющей тока I_cот ***скорости изменения испытательного напряжения в момент измерения тока*** в диапазонах от нуля до 0,1 В/мкс (рис. 2 а) и от нуля до 0,01 В/мкс (рис. 2 б).



а)б)

Рис. 2. Зависимости емкостной составляющей тока через СПП от скорости изменения испытательного напряжения

Из диаграмм (рис. 2 б) видно, что уже при скорости изменения испытательного напряжения 0,002 В/мкс амплитуда емкостного тока достигает 10 мкА, что при комнатной температуре и качественных СПП вносит существенную погрешность в результат измерения токов утечки.

Для более высоких скоростей изменения испытательного напряжения в момент измерения ток I_c достигает недопустимо больших значений (0,5 мА, рис. 2 а), на уровне которых невозможно судить о реальных величинах активной составляющей тока через СПП.

Указанные особенности необходимо учитывать при построении аппаратуры для диагностики состояния СПП, метрологические и технические характеристики которой, в основном, будут определяться формирователем (генератором) высоковольтных испытательных импульсов напряжения. Форма испытательного импульса напряжения должна быть такой, чтобы обеспечить возможность измерения активной составляющей тока $I_{акт}$через СПП в диапазоне от единиц микроампер до десятков миллиампер.

Для выполнения этого требования предлагается использовать испытательный импульс напряжения с пологой вершиной амплитудой U_m (рис. 3), уровень которой регулируется и стабилизируется с высокой точностью, что принципиально отличает предлагаемый генератор от известных образцов.

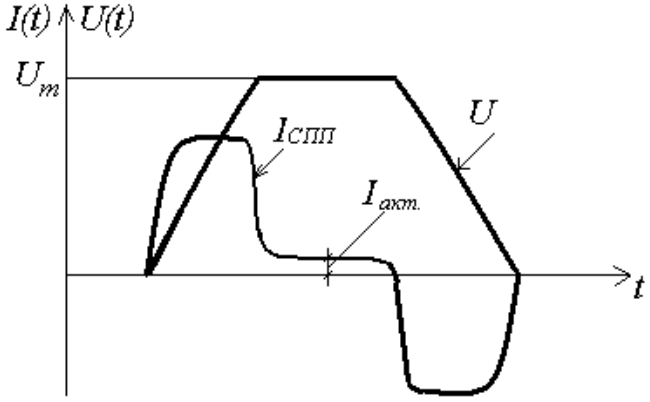


Рис. 3. Форма испытательного импульса напряжения (U) с пологой вершиной и тока через испытуемый прибор ($I_{СПП}$)

Из рис. 3 видно, что во время действия фронтов испытательного импульса ток через СПП $I_{СПП}$ содержит емкостную I_c и активную $I_{акт}$ составляющие. Во время пологой части импульса («полке») емкостная составляющая тока становится равной нулю, что дает возможность измерения тока утечки $I_{акт}$СПП.

На рис. 4 представлена функциональная схема генератора однократных однополярных импульсов напряжения с регулируемой «полкой» [4].

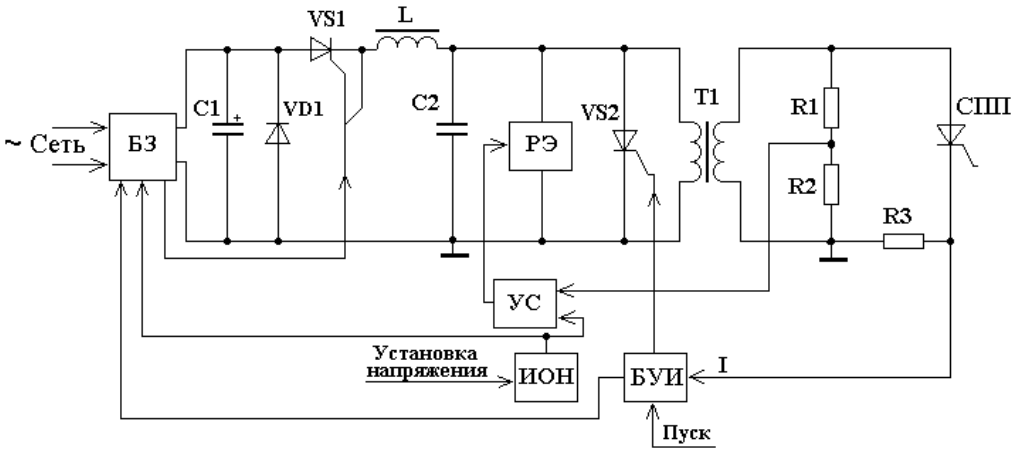


Рис. 4. Функциональная схема формирователя

Заряженный конденсатор *C*1 разряжается через тиристор *VS*1 на контур *LC*2. Импульс напряжения полусинусоидальной формы с конденсатора *C*2 поступает на первичную обмотку повышающего трансформатора Т1. С выхода трансформатора импульс напряжения прикладывается к испытуемому прибору СПП. Основным узлом генератора, отличающего его от известных решений, является регулирующий элемент РЭ, управляемый усилителем сигнала рассогласования УС. Усилитель усиливает разницу напряжения между опорным, снимаемым с выхода источника опорного напряжения ИОН, и выходным напряжением делителя *R*2-*R*1. Когда знак напряжения на выходе усилителя сигнала рассогласовании станет положительным, РЭ переходит из закрытого состояния в активный режим и начинает частично шунтировать конденсатор *C*2 таким образом, что на испытуемом СПП (силовом тиристоре) формируется пологая часть напряжения, пропорциональная опорному напряжению. Регулирующий элемент может быть реализован на основе биполярного или униполярного транзистора с сопротивлением в коллекторной цепи или в цепи стока соответственно. Зарядно-пусковой блок ЗПБ осуществляет заряд накопительного конденсатора *C*1 до напряжения, пропорционального опорному напряжению. Во время пологой части импульса происходит измерение тока утечки через СПП, емкостная составляющая которого практически отсутствует. Тиристор *VS*2 выполняет функции защиты испытуемого СПП.

На рис. 5 показаны осциллограммы выходного импульса напряжения $U_{вых}$ генератора и тока *I* через силовой тиристор, находящийся в холодном

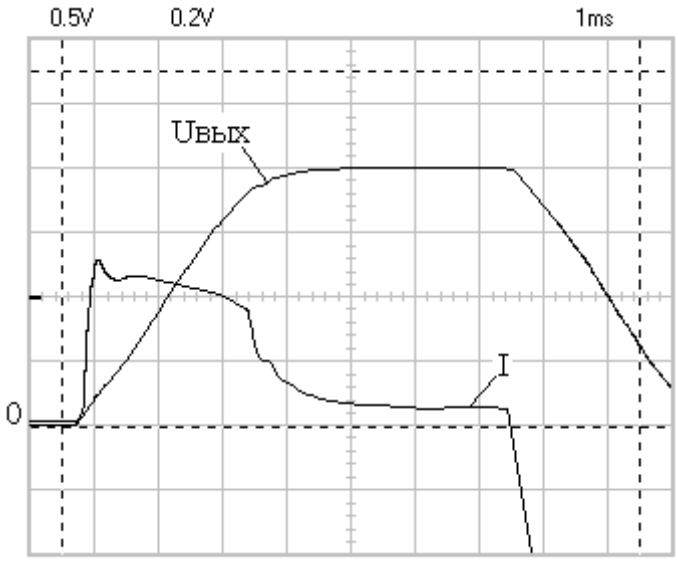


Рис. 5. Осциллограммы импульсов испытательного напряжения ($U_{вых}$ =2 кВ) и тока (I) через СПП

состоянии. При амплитуде 2 кВ активная составляющая тока утечки СПП равна около 500 мкА.

На основе рассмотренного генератора испытательных импульсов разработан надежный, переносной и простой в эксплуатации прибор ***ТЕСТ-1*** (рис.6), позволяющий контролировать токи утечки СПП в широком диапазоне значений при различных температурах. С целью предотвращения перегрева полупроводниковой структуры СПП и обеспечения безопасности обслуживающего персонала в приборе формируется однократный однополярный импульс напряжения с пологой вершиной и регулировкой в диапазоне 0,2 – 6 кВ. Диапазон измеряемых токов составляет 10 мкА – 40 мА. Предусмотрена защита испытуемого СПП от разрушения в процессе испытания.

Рис. 6. Прибор для измерения токов утечки

Таким образом, наличие барьерной емкости СПП может вносить существенную погрешность при измерении токов утечки, особенно прикомнатных температурах. Наиболее эффективно уменьшение этой погрешности достигается за счет применения испытательных импульсов с пологой вершиной, стабилизированной цепью обратной связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г., Недошивин Р.П. Силовые полупроводниковые приборы: справочник. – М. : Энергоатомиздат, 1985.– 400 с.*
2. *ГОСТ 24461-80 (СТ СЭВ 1656-79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний; введен с 01.01.82. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 55 с.*
3. *Степаненко И. П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: Энергия, 1973. – 608 с.*
4. *Патент на полезную модель 49281 RU, МПК^{7}G01 R 31/26. Устройство для измерения токов утечки силовых полупроводниковых приборов / А. А. Мускатиньев (RU), А. В. Мускатиньев (RU). – № 2005121204/22; заявлено 06.07.2005; опубл. 10.11.2005, Бюл. № 31. – 2 с.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 621.3.08
ББК 34

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ИЗБИРАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ИНТЕГРИРУЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СРЕДНЕВЫПРЯМЛЕННОГО ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

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

MATHEMATICAL MODELS AND SELECTIVE PROPERTIES OF INTEGRATING CONVERTERS FOR THE AVERAGE RECTIFIED VALUE OF PHYSICAL QUANTITIES

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

Статья посвящена математическому моделированию для анализа избирательных свойств интегрирующих преобразователей средневыпрямленного значения физических величин.

Ключевые слова: математическая модель, избирательные свойства, интегрирующие преобразователи.

The article is devoted to mathematical modeling to analyze the selective properties of the integrating converters for the average rectified values of physical quantities.

Keywords: the mathematical model, the selective properties, the integrating converters.

Под интегрирующим преобразованием физической величины $x(t)$ будем понимать преобразование, реализующее скользящий интеграл по А.А. Харкевичу [2],т.е. интервал интегрирования T имеет постоянную величину, но перемещается вдоль оси времени, причем его расположение остается неизменным относительно текущего времени t:

$$Y(t)=\frac{1}{T}\int_{t-T}^{t}x(t)\,dt=\int_{t-T}^{t}\frac{1}{T}x(t)\,dt=\int_{t-T}^{t}g(t)x(t)\,dt, \qquad (1)$$

где $Y(t)$ – результат преобразования (1); $g(t)$ – некоторая функция, нормированная и финитная на интервале $(t-T,t)$, называемая весовой функцией или временным окном. В частности,для преобразования (1) (рис. 1а)

$$g_1(t)=\begin{cases}1/T & \forall\, t\in(-T/2,T/2)\\ 0 & \forall\, t\notin(-T/2,T/2)\end{cases}. \qquad (2)$$

Иллюстрацией математической модели (1) с учетом выражения весовой функции (2) может служить структурная схема, состоящая из типовых динамических звеньев и представленная на рис. 2, которая с точки зрения теории автоматического регулирования является линейной стационарной системой.

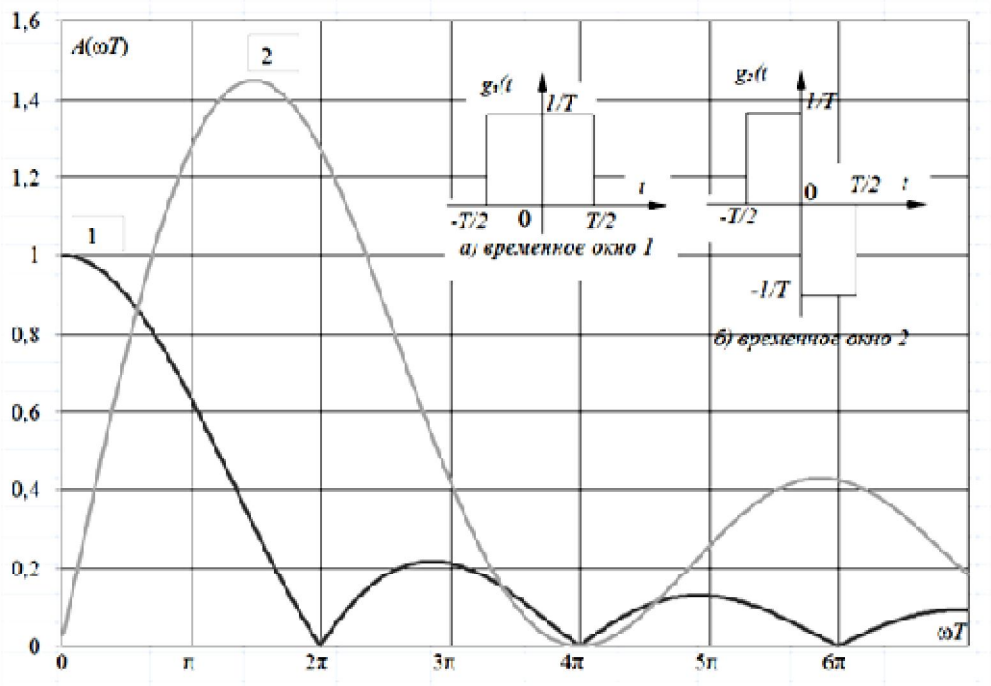


Рис. 1. Временные окна и их спектры

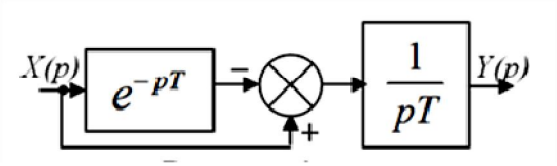


Рис. 2.Структурная схема для четно-симметричной функции окна

Таким образом, преобразование (1) реализует интегральное преобразование типа свертки, характерное для интеграла Дюамеля. В этом смысле весовая функция $g(t)$ в преобразовании (1) тождественна импульсной переходной функции в интеграле Дюамеля. Следовательно, спектр прямоугольного импульса длительностью $(t-T,t)$, непосредственно предшествующий данному моменту времени t ,будет являться его мгновенным спектром по Харкевичу [1]:

$$S_T(j\omega,t)=\int_{t-T}^{t} g(t)e^{-j\omega t}\,dt, \qquad (3)$$

т.е. нахождение частотных характеристик устройств, реализующих интеграл (1), будет сводиться к нахождению мгновенного спектра $S_T(j\omega,t)$ весовой функции $g(t)$ в соответствие с выражением (3).

Частотные избирательные свойства устройств полностью определяются их амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ), которые можно определить либо, находя вещественную часть комплексного выражения $S_T(j\omega,t)$, пользуясь формулой (3),либо, используя мгновенное преобразование Фурье весовой функции $g(t)$. При этом, если $g(t)$ – четно-симметричная функция, как, например, представленная выражением (2) (рис. 1а), то для нахождения АЧХ $A_{чет}(\omega T)$ используем косинус-преобразование Фурье:

$$A_{чет}(\omega t)=\left|\int_{t-T}^{t} g(t)\cos\omega t dt\right|. \qquad (4)$$

Если же $g(t)$ – нечетно-симметричная функция, то для нахождения АЧХ $A_{нечет}(\omega T)$ используем синус-преобразование Фурье:

$$A_{нечет}(\omega t)=\left|\int_{t-T}^{t} g(t)\sin\omega t dt\right|. \qquad (5)$$

Пользуясь выражением (5), найдем АЧХ устройства, реализующего временное окно вида (3) (рис.1а):

$$A(\omega T)=2\left|\int_{0}^{T/2}\frac{1}{T}\cos\omega t dt\right|=\frac{2}{T}\left|\int_{0}^{T/2}\cos\omega t dt\right|=\frac{\left|\sin 0,5\omega T\right|}{0,5\omega T}. \qquad (6)$$

Зависимость (6) представлена на рис. 1.

Под средневыпрямленным значением Y_{CB} периодической величины $x(t)$, изменяющейся с периодом T, в общем случае будем понимать результат реализации функционала вида [2]:

$$Y_{CB}(t)=\frac{1}{T}\int_{t-T}^{t}\left|x(t)\right| dt. \qquad (7)$$

Актуальность определения средневыпрямленного значения переменной физической величины состоит хотя бы в том, что, например, практически все приборы для измерения параметров переменного синусоидального напряжения имеют предвключенный детектор, т.е. измеряют именно средневыпрямленное значение, хотя для конкретной формы сигнала формально могут быть отградуированы в действующих значениях.

Для оценки и исследования путей улучшения избирательных свойств интегрирующих преобразователей средневыпрямленного значения физических величин вернемся к реализации выражения (7), которое может быть представлено в виде математической модели скользящего интеграла по Харкевичу: результат преобразования определим как разность текущих значений функции скользящего интеграла (1) и той же функции, задержанной по времени на интервал $T/2$, равный длительности интегрирования $x(t)$, соответствующей полупериоду основной гармоники входного сигнала.

Иллюстрацией предложенной математической модели служит структурная схема, представленная на рис. 3, а соответствующая модели весовая функция $g_2(t)$ представлена на рис. 1б.

Аналитически весовую функцию $g(t)$ в соответствии с рис. 1б запишем в следующем виде:

$$g_2(t)=\begin{cases}1/T & \forall\, t\in(-T/2,0)\\ -1/T & \forall\, t\in(0,T/2)\\ 0 & \forall\, t\notin(-T/2,T/2)\end{cases}. \qquad (8)$$

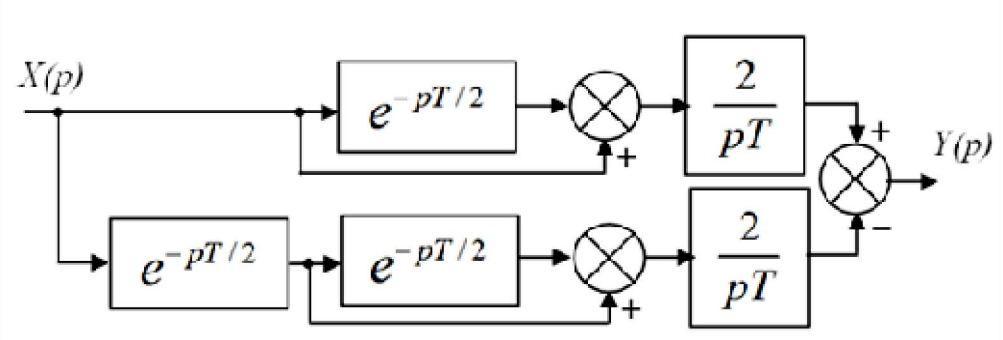


Рис. 3.Структурная схема для центрально-симметричного окна

Подвергая мгновенному синус-преобразованию Фурье выражение (8), получим искомую АЧХ:

$$A\ (\omega T)=2\left|\int_{-T/2}^{0}\frac{1}{T}\sin\omega t dt\right|=\frac{2}{T}\left|\int_{-T/2}^{0}\sin\omega t dt\right|=2\frac{\sin^2 0,25\omega T}{0,25\omega T}. \qquad (9)$$

Кривая АЧХ устройств, реализующих интеграл (7), представлена на рис. 1, откуда видно, что эти устройства обладают определенными избирательными свойствами. Следует особо отметить, что для малых значений ωT АЧХ имеет малый размер, что свидетельствует о низкой чувствительности рассматриваемых устройств к собственным низкочастотным шумам. Однако чувствительность к составляющим входного воздействия, частоты которых близки к частота основной и нечетных гармоник, остается высокой. Более того, максимум чувствительности приходится не на основную частоту входного сигнала ($\omega T=2\pi$), а на частоту $\omega T\approx 3\pi/2$.

Для уменьшения указанных недостатков попытаемся воспользоваться принципом многократного суммирования ряда последовательных результатов преобразования. Соответствующая структурная схема математической модели в случае 2^m – кратного суммирования приведена на рис. 4.

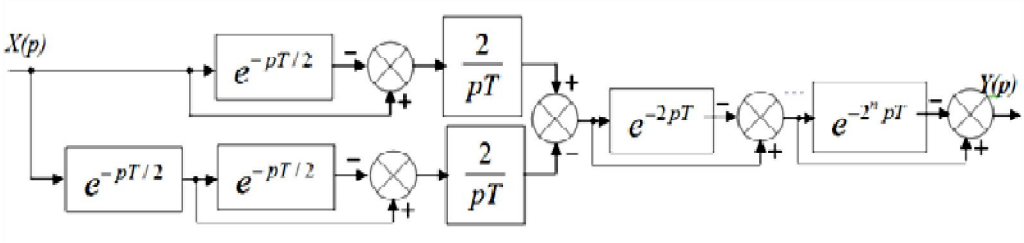


Рис. 4. Структурная схема для модели 2^m – кратного суммирования

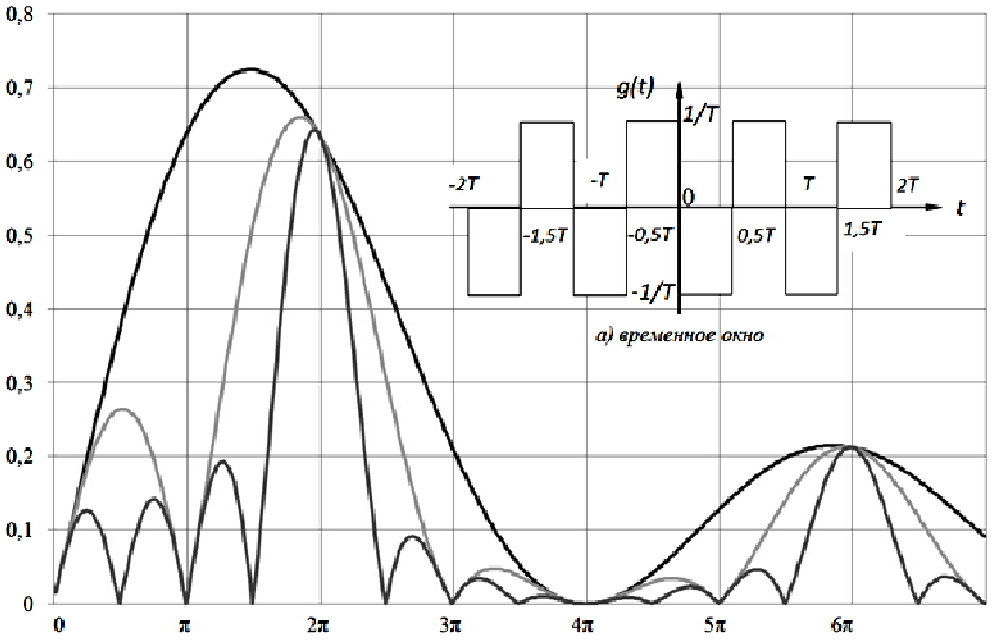


Рис. 5. Временное окно с суммированием и его частотный спектр

Такая модель соответствует весовой функции $g(t)$, представленной на рис. 5а.

Для получения аналитического выражения АЧХ, в силу нечетной симметрии $g(t)$, подвергнем ее мгновенному синус-преобразованию Фурье:

$$A(\omega T)=\frac{1}{T}\left|\sum_{i=0}^{2^m}(-1)^{i+1}\int_{iT}^{(i+1)T}\sin\omega t dt\right|=\left|2\frac{\sin^2 0,25\omega T}{0,25\omega T}2^m\prod_{i=0}^{m}\cos 2^i\omega T\right|. \quad (10)$$

Если числитель и знаменатель выражения (10) умножить на $\cos 0,25\omega T$, то оно сворачивается в простую зависимость:

$$A(\omega T)=2^m\left|\frac{\sin 2^{m+1}\omega T}{2^{m+1}\omega T}\operatorname{tg}0,25\omega T\right|. \quad (11)$$

Кривые зависимостей (11) для случаев $m=1$ и $m=2$ приведены на рис. 5, которые нормированы, т.е. поделены на 2^m. На этом же рисунке для сравнения приведена зависимость (9), которая также пронормирована (поделена на 2).

Из сопоставления графиков на рис. 5 следует, что суммирование ряда последовательных результатов преобразования является эффективным средством улучшения избирательных свойств по отношению к полезному сигналу. При этом, с повышением кратности суммирования максимум чувствительности все более сдвигается к основной частоте и уже при 4-кратном суммировании практически приходится на частоту, соответствующую $\omega T = 2\pi$. Чувствительность к нечетным гармоникам остается неизменной, но плащадь под кривой уменьшается по мере увеличения кратности суммирования. Следовательно, повышением кратности суммирования можно достичь высокого подавления паразитных составляющих входного сигнала, в т.ч. и собственных шумов устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Физматгиз, 1962. 276 с.*
2. *Андреев А.Б. Об измерении мгновенного и среднего значений физических величин. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего$_{плюс}$: Научно-периодическое издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012, С.16-20.*

УДК 621.397
ББК 22.17

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО АНАЛИЗА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙРАПИД

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

SOFTWARE OF THE ANALYSIS AND TRANSFORMATION OF IMAGES RAPID

© ***I.I.Salnikov,*** *Penza State TechnologicalUniversity (Penza, Russia)*

В статье приводится описание разработанного автором программного средства РАПИД, предназначенного для анализа характеристикипреобразований исходных изображений. Реализованы алгоритмы цветовых преобразований, формирования бинарного изображения, оконтуривания изображений объектов, сегментации, удаления изображений локальных объектов заданных размеров, а также алгоритмы поэлементного следящего анализа сложных изображений, предназначенные для распознавания рукописных текстов.

Ключевые слова: анализ изображений,бинарное изображение, контур, сегментация, следящий анализ.

In a paper the exposition of the software, developed by the author, RAPID, intended for the analysis of performances and transformations of initial images is reduced. The algorithms of colour transformations, shaping of a binary image, оконтуривания of images of plants, segmentation, deleting of images of local plants of specific sizes, and also algorithms of the item tracking analysis of complicated images intended for a discernment of the hand-written texts are realized.

Key words: image analysis, binary image, outline, segmentation, tracking analysis.

В работе приводится описание программного средства (ПО) растрового анализа и преобразования изображений и данных РАПИД, разработанного автором.ПО РАПИД реализовано в программной среде *C++Builder*и имеет широкий спектр функциональных преобразований. Основное назначение разработанного ПО заключается в возможности реализации и проверки методов и алгоритмов анализа, преобразования и распознавания изображений для различных сфер применения – это формирование электронных карт местности по аэрофотоснимкам, распознавание рукописных текстов, слежение за объектами при видеонаблюдении, идентификация личности побиометрическим признакам и другие.

Данное ПО дает своеобразную инфраструктуру разработчику методов и алгоритмов анализа и преобразования изображений, то есть различные вспомогательные функции – это ввод изображений в формате *.jpeg и преобразование в формат *.bmp, удобный для анализа и преобразований, выделение фрагментов, изменение масштаба, формирование тестовых изображений, удаление цветовых слоев и прочие.

На рис.1 представлен общий вид рабочего поля ПО РАПИД, состоящий из основного окна размером 600х600 пикс., и вспомогательных 6-ти вспомогательных окон, предназначенных для сохранения «истории» преобразований.

Рис. 1.Рабочее поле программного средства РАПИД

Основное меню имеет ряд подменю, с помощью которых вызывается подпрограмма анализа и преобразования исходного изображения:

<**Файл**> – Новый, Открыть, Сохранить, Печать общая, Печать окна, Закрыть;

<**Входноеизображение**> – Открыть BMP-файл, Преобразовать в JPEG-файл, Сохранить в JPEG-файле, Открыть JPEG-файл, преобразовать в BMP-файл, Сформировать тестовое изображение, Редактировать бинарное изображение;

<**Текущее изображение**> –Исходное, Сохранить в буфере, Загрузить из буфера, Загрузить из доп. окна, Сохранить в BMP-файле;

<**Масштаб**> – Меньше, Крупнее, Во все основное окно, Преобразование к заданному;

<**Фрагменты**> – Фиксированные 4x4, Фиксированные 6x6, Произвольный, Убрать сетку, Копировать в дополнительное окно;

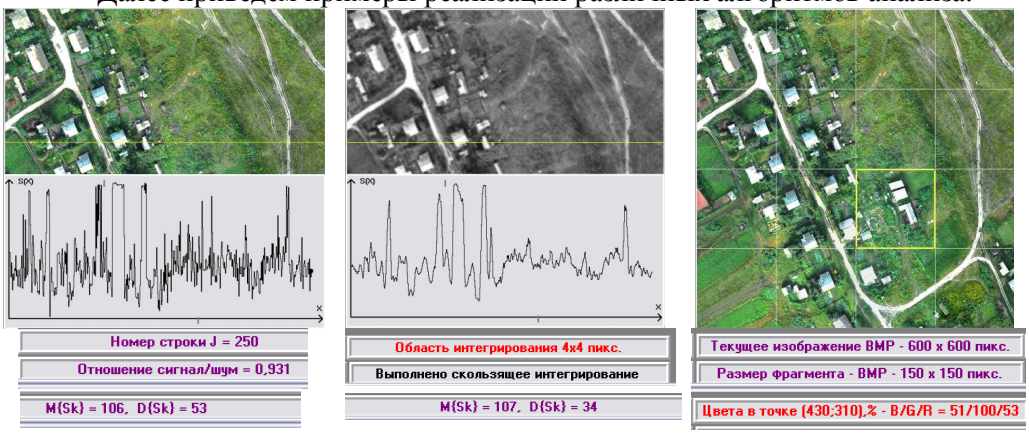
<**Окно**> – Очистить основное окно, Стереть графику в основном окне, Удалить выбор окна, Удалить изображение, Номер дополнительного окна, Загрузить из дополнительного окна;

<**Анализ**> – Сечение яркости, Отключить анализ. Яркость в точке для черно-белого изображения, Цветовые составляющие в точке, Гистограмма;

<**Преобразования**> – Силуэт (формирование бинарного изображения), Медианная фильтрация, Скользящее интегрирование, Сегментация в пределах исходного растра, Удаление ЛО при построчном анализе, Удаление ЛО при следящем анализе, Формирование средней линии, Контур (силуэта, Робертса, Собела), Перепад яркости,

<**Цветовые фильтры**> – Исходное изображение, Выделить цветовой слой, Градации серого, Задать интервал изменения цветов, Выделить преобладающий цвет, Удалить преобладающий цвет, Композитный цвет (Задать составляющие, Выделить, Удалить).

Далее приведем примеры реализации различных алгоритмов анализа.



а) б) в)

Рис. 2. Режимы анализа изображений: сечение яркости (а); результат скользящего интегрирования (б); разделение на фрагменты и анализ цветовых RGB-составляющих в заданной точке (в)

Сечение яркости. На рис 2,а приведен результат анализа кода яркости $S_{(k),\,i,j}$по строке j= 250. Вычисляются параметры:

– среднее значение: $$M\{S_{(k),j=250}\} = \frac{1}{N_x}\sum_{i=1}^{I} S_{(k),i,j} \quad (1)$$

–среднеквадратическое отклонение (СКО):

$$D\{S_{(k),j=250}\}=\sqrt{\frac{1}{N_x}\sum_{i=1}^{I}\left[(S_{(k),i,j}-M\{S_{(k),j=250}\}\right]^2} \quad (2)$$

– отношениесигнал/шум:

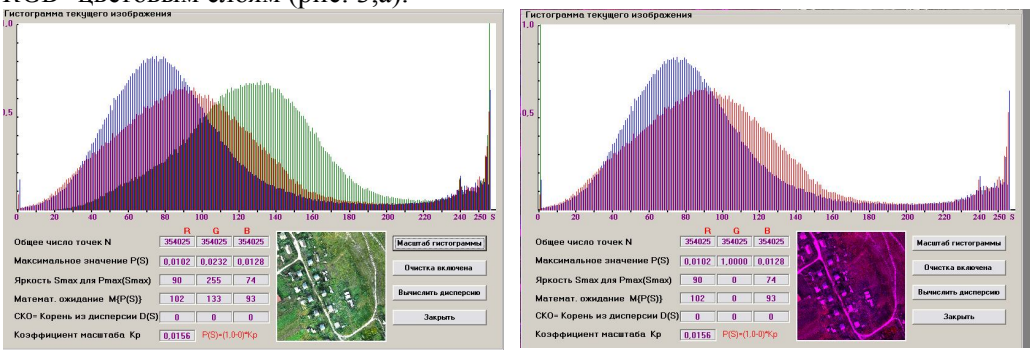
$$N_{SR}\{S_{(k),j=250}\}=\frac{S_{(k),\max}}{D\{S_{(k),j=250}\}+M\{S_{(k),j=250})}\,,(3)$$

где $S_{(k),\max}$– максимальное значение кода яркости.

На рис.2,б представлен разультат сглаживания исходного изображения с помощью скользящего интегрирования в окне 4х4 пикс. Из приведенных характеристик результата сглаживания следует, что СКО уменьшается почти в 2 раза.

Анализ цвета в заданной точке. На рисунке 2,в показан результат анализа *RGB*-составляющих цвета в точке с координатами (430; 310).

Гистограмма распределения яркости. Выполняется раздельно по *RGB*- цветовым слоям (рис. 3,а).



а) б)

Рис.3.Гистограммы яркости цветовых RGB-слоев: исходного изображения (а);после удаления зеленого цвета (б)

Значения гистограммы, как распределения вероятности появления данной яркости, формируются для каждого пикселя и для каждого цветового слоя. Для этого выполняется подсчет числа пикселей $n_{(k)}$для каждого значения кода яркости $S^{R,G,B}_{(k),i,j}$ и формируется вероятность:

$$P^{R,G,B}\{S_{(k)}\}=\frac{1}{N_x\cdot N_y}\sum_i\sum_j n_{(k)}\{S^{R,G,B}_{(k),i,j}\} \quad (4)$$

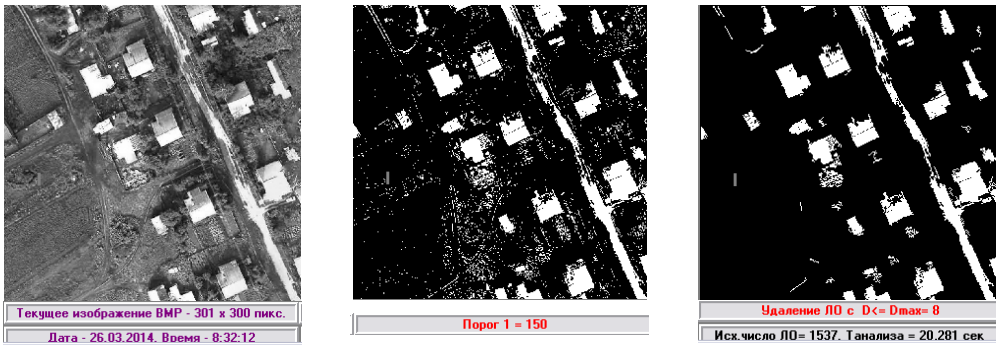
На рис. 3,б представлена гистограмма распределения яркости исходного изображения после удаления зеленого цвета.

Формирование бинарного изображения. Является важным преобразованием, которое широко используется при решении задач измерения пространственных параметров изображений объектов, распознавания образов, обнаружения объектов и других задач. Основой алгоритма бинаризации исходных изображений является операция поэлементногосравнения кода яркости $S_{(k)}$ с пороговым кодом $S_{(k),n}$:

$$S_{(b),i,j} = \begin{cases} 1, & \text{если} \quad S_{(k),i,j} \geq S_{(k),\text{п}} \\ 0, & \text{если} \quad S_{(k),i,j} < S_{(k),\text{п}} \end{cases} .(5)$$

Большое значение для бинарного преобразования имеет выбор порогового кода $S_{(k),\text{п}}$. В работе [1] подробно описываются различные методы определения $S_{(k),\text{п}}$:на основе динамического диапазона; на основе анализа гистограммы распределения яркости; на основе средней яркости по всему полю, а также по фрагменту; по максимуму производной от яркости.

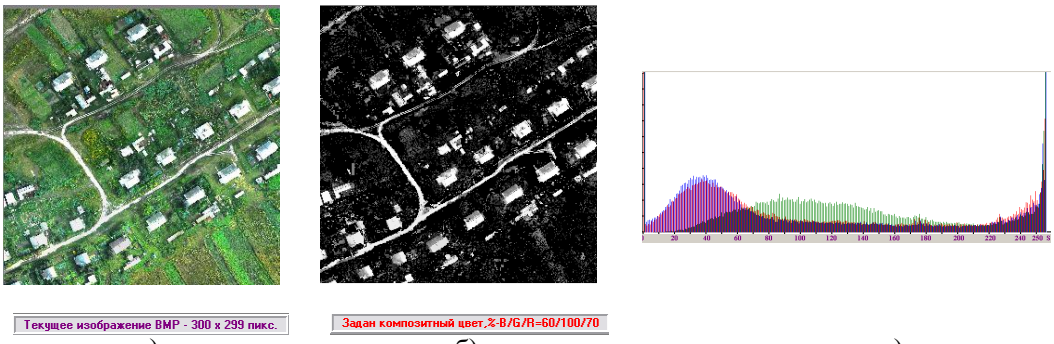
На рис. 4,б представлен результат бинаризации исходного черно-белого изображения с пороговым кодом $S_{(k),\text{п}} = 150$, который был найден экспериментальным путем. Бинарные изображения (БИ), полученные от реальных исходных изображений характеризуются высоким уровнем импульсных помех, которые удаляются с помощью алгоритма размерной селекции (рис. 4,в).



а) б) в)

Рис. 4. Формирование бинарного изображения: исходное (а); бинаризация с пороговым уровнем 150 (б); удаление изображений с размерами ≤ 8 пикс.(в)

Композитная цветовая фильтрация. Удаление цветовых слоев при решении задачи обнаружения объектов на реальных изображениях не дает положительного эффекта, так как “чистые” цвета характерны для искусственных изображений [2]. В данном ПО используется анализ композитного цвета, состав которого может быть получен при анализе гистограмм распределения вероятности яркости цветовых *RGB*-составляющих. Для удаления композитного цвета задается не только процентный состав *RGB*-составляющих, но и задается интервал изменения яркости каждого цвета.На рис. 5, г представлен результат удалениякомпозитного цвета с составляющими *B/G/R* = 60/100/70 при 25 % отклонении. Это соответствует удалению желто-зеленого подстилающего фона для изображений сельской местности [3]. На рис. 5,в представлена гистограмма цветовых слоев.

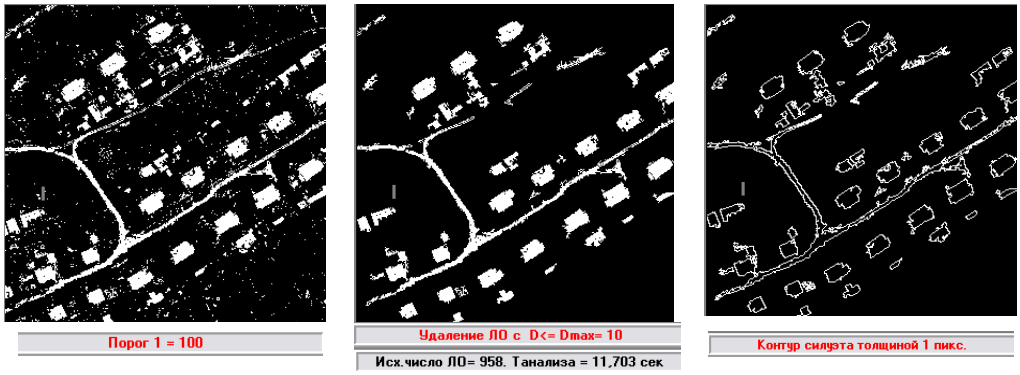


а) б) в)

Рис. 5. Удаление желто-зеленого композитного цвета (б)

Контуры изображений объектов. Контурный анализ изображений широко используется для выделения границ изображений объектов при распознавании образов [4]. Разработано большое количество методов и алгоритмов формирования контура полноградационного черно-белого изображения.

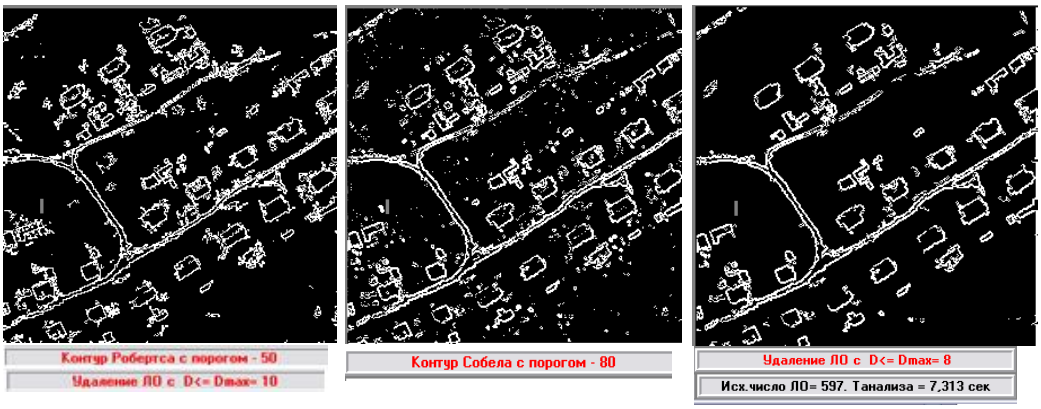
Простейшим вариантом формирования контура является алгоритм, основанный на использовании силуэта, то есть бинарного изображения. Предварительно выполняется бинаризация с оптимальным порогом, дающая минимальноечисло импульсных помех (рис. 6,а),затем выполняется сегментация и размерная селекция (рис. 6,б), после чего формируется контур с заданной толщиной (рис.6,в).



а) б) в)

Рис. 6. Формирование контура на основе силуэта

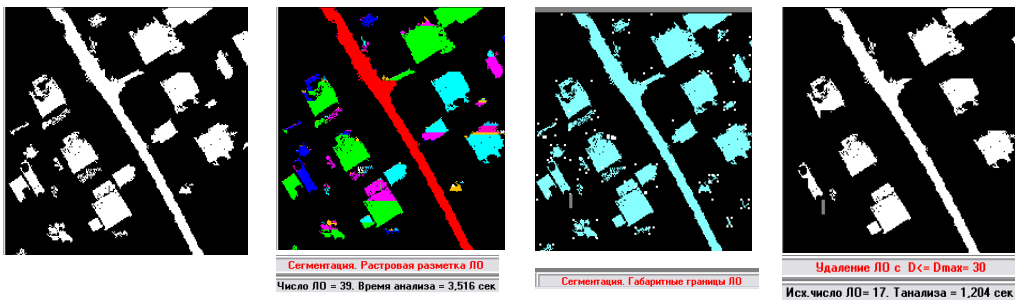
Большая роль в данном методе принадлежит выбору порогового уровня. При фиксированном пороговом уровне изображения некоторых объектов могут пропасть. В данном ПО реализованы алгоритмы оконтуривания Робертса (рис.7,а) иСобела(рис.7,б), описанные в [5].



а) б) в)

Рис. 7.Алгоритмы оконтуривания полноградационных изображений

Сегментациябинарных изображений.Преобразование исходногоБИ в результате которогоформируются локальные области (ЛО) по признаку пространственной связности [1]. Используется 5-связанный формат с учетом растрового представления изображения, аналогичного телевизионному растру. Выполняется разметка исходного БИ, то есть присвоения номера ЛО. На рис. 8.б номера ЛО и частей ЛО представлены цветом, или с учетом черно-белого представления в виде оттенков серого – 1 – красный,2 – зеленый, 3 – синий. Особенностью алгоритма сегментации является возврат в стековую память номеров ЛО, разметка которых закончилась.На рис. 8,б– это № 2 и 3, а № 1 соответствует разметке ЛО, соответствующей изображению дороги, которая в пределах данного фрагмента не заканчивается.



а) б) в) г)

Рис. 8. Сегментация бинарного изображения

Геометрические границы ЛО. Вычисляются при выполнении разметки для каждого пикселя БИ. После окончания ЛО координаты геометрических границ выводятся в виде белых точек (рис. 8,в).Кроме этого в ПО реализовано формирование координат геометрического центра ЛО, центра тяжести сложных БИ, длины контура, площади ЛО. Данные пространственные параметры необходимы в качестве признаков для распознавания и обнаружения объектов.

Размерная селекция. Используется для удаления импульсных помех, имеющих малые размеры(рис.4,вирис. 8,г).Предварительно задаются размеры по направлению 0x и 0y. Выполняется сегментация и для каждого ЛО вычис-

ляются координаты геометрических границ и размеры по ортогональным направлениям, которые являются условием для удаления ЛО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *1.Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений. – М.: Физматлит, 2009. – 248 с.*
2. *2.Сальников И.И. Анализ пространственно-временных параметров удаленных объектов в информационных технических системах. – М.: Физматлит, 2011. – 252 с.*
2. *Сальников И.И. Аппаратно-программный комплекс формирования карты местности по данным аэрокосмического зондирования.Журнал "Искусственный интеллект", Изд-во НАН Украины, №4, 2009, С.555 -565.*
3. *Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов. Под ред. Я.А.Фурмана. –М.: Физматлит, 2003. –592 с.*
4. *ПрэттУ.Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982.*

УДК 681.3
ББК30

МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ СВОБОДНЫХ ФОРМ СПРИМЕНЕНИЕМ РАДИАЛЬНЫХ БАЗИСНЫХ ФУНКЦИЙ

Ю.Н. Косников,*Пензенский государственный университет (г.Пенза, Россия)*

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY OF COMPUTER MODELING OF FREE FORMS SURFACES WITH RADIAL BASIS FUNCTIONS APPLICATION

Y.N. Kosnikov, *Penza State University (Penza, Russia)*

Предлагается последовательность действий, позволяющая регулярно расставить в пространстве опорные точки неаналитической поверхности с целью ее дальнейшего отображения. Набор исходных опорных точек размещается во вспомогательной системе координат, затем поверхность описывается в параметрической форме с применением радиальных базисных функций. Далее организуется обход плоскости аргументов вспомогательной системы координат по регулярному закону.

Ключевые слова: методика,моделирование, поверхность, радиальная базисная функция, геометрическое преобразование

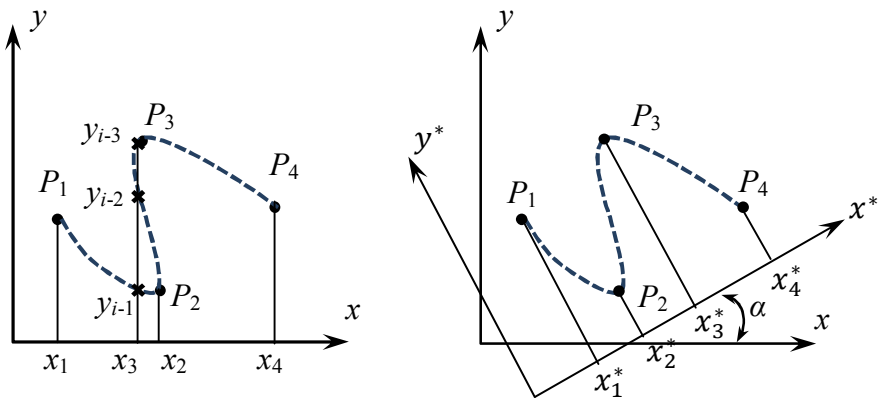
This article considers the sequence of actions, allowing to place reference points of non-analytical surface regularly in space for the purpose of its further displaying. The set of starting reference points takes place in an auxiliary coordinate system, and then the surface is described in a parametrical form with application of radial basis functions. Further exhaustion of a plane of arguments in the auxiliary coordinate system is organized under the regular law.

Key words:technique, modeling, surface, radial basis function, geometric transformation

В компьютерном моделировании форма проектируемых объектов часто задается набором характерных (опорных) точек. Задача проектирования – получить математическое описание (модель) гладкой поверхности, строго проходящей через опорные точки и имеющей характер рельефа моделируемого объекта. Эта модель визуализируется на экране монитора и используется для дальнейших проектных операций. Характерным примером предметной области, где востребовано проектирование неаналитических поверхностей, является синтез изображения местности в тренажерах, строительном проектировании, геоинформационных системах. Известен подход к решению указанной задачина основе радиальных базисных функций (РБФ), однако он имеет существенные недостатки. Используемое в этом подходе описание поверхности в общей форме требует использовать для вычисления и визуализациито чек поверхности ресурсоемкий метод обратной трассировки лучей. Кроме того, этот подход требует нахождения для описания поверхности дополнительных опорных точек. Предлагаемая методика использует другое описание поверхности – в явной или параметрической форме, что позволяет применить для визуализации поверхности более быстрыйметод прямого проецирования, а также позволяет обойтись без дополнительных опорных точек. Идея, заложенная в методику, изложена в более ранней публикации автора [1], однако для алгоритмической реализации идеи необходима инженерная последовательность действий. Кроме того, на практике набор («облако») опорных точек зачастую описывает поверхность, которая в выбранной системе координат является многозначной. В этом случае вычисление координат промежуточных точек поверхности сопряжено с трудностями и требует применения дополнительных технологических приемов. В статье излагаются решения указанных задач.

Задача алгоритмического построения гладкой поверхности, проходящей через опорные точки некоторого набора опорных точек, в самой общей постановке не решается. В связи с этим предлагаемая методика предполагает наличие следующего ограничения: при рациональном выборе системы координат моделируемая поверхность описывается однозначной функцией двух аргументов. Это ограничение заведомо выполняется для земной поверхности и многих других пространственных объектов. Если же поверхность имеет сложную форму и не отвечает ограничению, то она может быть разбита на более простые фрагменты и промоделирована по частям.

Координаты опорных точек, полученные с помощью датчиков, замеров, построения всегда представляются в некоторой пространственной системе координат (СК), обычно декартовой. Их последовательность может быть алгоритмически установлена путем сортировки по абсолютным значениямкоординат. Однако выбор исходной СК может оказаться таким, что опорные точки будут принадлежать потенциально многозначной поверхности (поверхности, описываемой многозначной функцией). Такой случай на примере двумерного пространства иллюстрируется рисунком 1,а, который показывает, во-первых, что сортировка опорных точек по координате x дает их неверную последовательность (P_1–P_3–P_2–P_4), а во-вторых, что правильная последовательность (P_1–P_2–P_3–P_4) принадлежит многозначной функции. Последнее свойство иллюстрируетсяна рисунке 1,а крестообразными отметками, которыми показаны три значения функции, соответствующиенекоторому i-му значению аргумента.



а) б)

Рис. 1. Многозначная кривая на четырех опорных точках (а) и устранение многозначности этой кривой (б)

Обе указанные аномалии устраняются вводом вспомогательной системы координат x^*y^*, повернутой относительно исходной СК на угол α, как показано на рисунке 1,б.После перевода в нее опорные точки приобретают новые координаты, которые дают правильный результат. В пространственном случае вспомогательнаяСК будет трехмерной и может получить три поворота вокруг своих координатных осей.

Методика моделирования поверхностей свободных форм на основе радиальных базисных функций

А.Определение базиса вспомогательной СК.

Для этого нужно задать направления координатных осей (векторов) x^*,y^*,z^* в исходной СК x,y,z.

Б.Перевод множества опорных точек из СК x,y,zвСКx^*,y^*,z^*.

Такой перевод осуществляется с помощью аффинных преобразований сдвига и/или поворота.

В.Представление сегмента поверхности на заданном наборе опорных точек в параметрической форме.

Описание сегмента поверхности представляется системой трех параметрически связанных уравнений, где параметрами являются координаты x^*,y^* вспомогательной СК:

$$\left.\begin{array}{l} x = f_1(x^*, y^*), \\ y = f_2(x^*, y^*), \\ z = f_3(x^*, y^*). \end{array}\right\} \quad (1)$$

Функциональные зависимостиf_1, f_2, f_3 включают радиальные базисные функции (РБФ):

$$f_k(x^*, y^*) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{ki} \Phi(r_i^*), r_i^* = \sqrt{\left(x^* - x_i^*\right)^2 + \left(y^* - y_i^*\right)^2}, \quad (2)$$

где $\Phi(r_i^*)$ – РБФ; N – число опорных точек; r_i^* – расстояние от текущей точки до i-ой опорной точки; λ_{ki} – весовой коэффициент («вклад») i-ой опорной точки, определяющий ее влияние на текущую точку по одной из координат.

Г.Нахождение коэффициентов влияния каждой опорной точки по координатам x,y,z.

Для этого с использованием (1),(2) составляется три набора из N уравнений, где N – число опорных точек. Каждое уравнение представляет собой условие прохождения поверхности через определенную опорную точку применительно к одной координате. Решение трех систем уравнений дает три набора коэффициентов влияния опорной точки – по трем координатам x,y и z. После подстановки коэффициентов влияния в систему (1) она будет являться математической моделью искомой гладкой поверхности, проходящей через заданные опорные точки.

Для упрощения процесса визуализации поверхности можно перейти к ее описанию в виде полигональной сетки или сплайн-функций. Вспомогательные операции для такого перехода включает следующий этап предлагаемой методики.

Д.Регуляризация расположения опорных точек.

Регуляризация предполагает получение описания поверхности набором других опорных точек, особенностью которых является регулярная расстановка их проекций на параметрической плоскостиx^*y^*. В ходе этого этапа опорные точки расставляются так, что алгоритмическое объединение их в треугольные или сплайновые примитивы не представляет труда. С этой целью организуется сканирование плоскости аргументов-параметров x^*y^* по некоторому рациональному закону, например, ортогональное сканирование. Пары очередных значений x_i^*, y_i^* подставляются в систему (1), которая дает тройку пространственных координат новых – упорядоченных – опорных точек.

Технологические шаги моделирования поверхности

Этап А методики. Определение базиса вспомогательной системы координат.

Положение плоскости аргументов вспомогательной СК $x^*y^*z^*$ задается тройкой опорных точек. Для упрощения алгоритмизации автоматического выбора в качестве таких точек задаются точка P_1 с минимальным расстоянием L_{min} от начала координат и точки P_2, P_3 с максимальными значениями координат x и y. Для выполнения дальнейших действий используется математический аппарат аналитической геометрии в пространстве.

Математическое описание плоскости, проходящей через три заданные точки, в форме определителя имеет вид

$$\begin{vmatrix} x-x_1 & y-y_1 & z-x_1 \\ x_2-x_1 & y_2-y_1 & z_2-z_1 \\ x_3-x_1 & y_3-y_1 & z_3-z_1 \end{vmatrix} = 0.$$

Разложив определитель по элементам первой строки, получим уравнение плоскости в общей форме, которое после ввода обозначений

$$\left.\begin{aligned} a &= (y_2-y_1)(z_3-z_1)-(y_3-y_1)(z_2-z_1), \\ b &= -\big((x_2-x_1)(z_3-z_1)-(x_3-x_1)(z_2-z_1)\big), \\ c &= (x_2-x_1)(y_3-y_1)-(x_3-x_1)(y_2-y_1) \\ d &= -ax_1-by_1-cz_1. \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

принимает вид

$$ax+by+cz+d=0. \quad (4)$$

Для дальнейших действий уравнение плоскости представляется в нормальном виде, для чего оно умножается на нормирующий множитель M:

$$M = \pm\frac{1}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}, (5)$$

знак которого противоположен знаку d (при $d = 0$ знак M выбирается произвольно). Тогда в уравнении (4) коэффициенты при неизвестных становятся равными направляющим косинусам нормали к плоскости:

$$aM = \cos\gamma_x, bM = \cos\gamma_y, cM = \cos\gamma_z, (6)$$

гдеγ_x, γ_y, γ_z –направляющие углы нормали к плоскости x^*y^* относительно осей x, y из исходной СК.

Положив в уравнении (4) $d = 0$, получим плоскость P^*, параллельную только что найденной и проходящую черезначало координат x, y, z. Она принимается за плоскость аргументов x^*y^* вспомогательной СК, а нормаль к этой плоскости – за ось z^*СК.Таким образом, определено направление одной координатной оси вспомогательной СК – оси z^*.Ее направляющие косинусы находятся из координат трех опорных точек с помощью выражений (3)–(6).

Далее необходимо найти направления двух других координатных осей СК $x^*y^*z^*$ – оси x^*и осиy^*. Их положение на плоскости x^*y^* влияет только на абсолютные координаты опорных точек во вспомогательной СК, а не на расстояния между точками. Поэтому следует задать направления этих осей, исходя из простоты алгоритма моделирования.Точнее, нужно задать направление одной оси, например, оси x^*, а направление второй оси – y^* – однозначно определяется векторным произведением векторов x^* иz^*.

За ось x^* примем проекцию оси x на плоскость P^*. Найдем проекцию как вектор, проведенныйна плоскостиP^* от начала координат xyzчерез точку A^*, причем т. A^* является проекцией на пл. P^* некоторой точки $A(x_a,y_a,z_a)$, которая принадлежит оси x, как это показано на рисунке 2. Точку A^* найдем как результат пересечения с пл. P^* прямой, перпендикулярной этой плоскости (а значит, имеющей те же направляющие косинусы, что и нормаль к пл. P^*)и проходящей через т. $A(x_a,0,0)$.

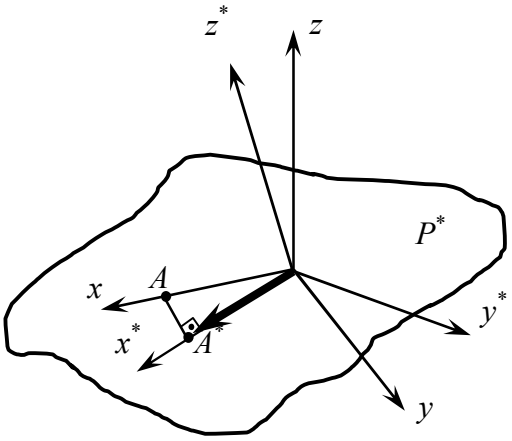


Рис. 2. Определение направления оси x^* вспомогательной системы координат

Опуская промежуточные выкладки, приведем результат нахождения базиса вспомогательной СК $x^*y^*z^*$. Ее расположениеотносительно исходной СКxyz задается девятью направляющими косинусами (таблица) 1.

Таблица 1 – Направляющие косинусы осейx^*, y^*,z^* относительно осей x, y, z

Координатная ось	x	y	z
x^*	$sin\gamma_x$	$-\frac{cos\gamma_x cos\gamma_y}{sin\gamma_x}$	$-\frac{cos\gamma_x cos\gamma_z}{sin\gamma_x}$
y^*	0	$\frac{cos\gamma_z}{sin\gamma_x}$	$-\frac{cos\gamma_y}{sin\gamma_x}$
z^*	$cos\gamma_x$	$cos\gamma_y$	$cos\gamma_z$

С учетом соотношения$sin\gamma_x = \sqrt{1 - cos^2\gamma_x}$исходными данными для вычисления значений таблицы 1 являются направляющие косинусы оси z^*, которые, в свою очередь, однозначно определяются тремя выбранными опорными точками «облака» по выражениям(3)–(6). Этап А методикимоделирования завершен.

Этап Б методики.Перевод множества опорных точек из СК x, y, zвСКx^*, y^*, z^*.

По условию построения системы координат$x^*y^*z^*$ ее начало совпадает с началом координат *x, y, z*. Это означает, что для перевода опорных точек изСК *xyz* в СК $x^*y^*z^*$достаточно выполнить аффинное геометрическое преобразование поворота. В однородных координатах оно описывается матричным выражением

$$\begin{vmatrix} x^* \\ y^* \\ z^* \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{vmatrix} = RT \cdot \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{vmatrix},$$

где– t_{ij}направляющие косинусы осей СК $x^*y^*z^*$ в СК *xyz* , которые определены на предыдущем этапе и сведены в таблицу 1.

Структура матрицы поворота *RT* без четвертых строки и столбца соответствует структуре табл.1. Для дальнейших действий понадобятся только координаты x^* и y^* опорных точек, координата z^* может быть отброшена. Выполнение поворота всех опорных точек сегмента поверхности по приведенному выражению составляет содержание этапа Б методики.

Этап В методики.Представление сегмента поверхности на заданном наборе опорных точек в параметрической форме.

Указанное представление на основе РБФ имеет структуру системы(1) с учетом (2):

$$x(x^*, y^*) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{xi} \Phi(r_i^*),$$

$$y(x^*, y^*) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{yi} \Phi(r_i^*),$$
$$z(x^*, y^*) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{zi} \Phi(r_i^*), \quad (7)$$

где r_i^* – декартоворасстояние между проекциями на плоскость $x^* y^*$ текущей точки поверхности и *i*-ойопорной точки (см. выражение (2)); $\lambda_{xi}, \lambda_{yi}, \lambda_{zi}$ – весовые коэффициенты *i*-ойопорной точки по координатам *x*, *y* и *z*.

В качестве РБФ следует использовать функцию, локализованную вокруг центра (опорной точки). Таким свойством, например, характеризуются гауссиан, инверсный квадрик, инверсный мультиквадрик.

Этап Г методики.Нахождение коэффициентов влияния каждой опорной точки по координатам x, y, z.

На этом этапе нужно найти *N* коэффициентов влияния опорных точек по каждой координате: $\lambda_{xi}, \lambda_{yi}, \lambda_{zi}$ (*i*=1,..,*N*), всего 3*N* коэффициентов. Они находятся из условия прохождения поверхности через опорные точки – раздельно по координатам *x*, *y* и *z*.Для этого на основе каждого из уравнений (7) составляется система из *N* уравнений, каждое из которых является условием прохождения поверхности через определенную (*k*-ю) опорную точку по своей координате:

$$x_k = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{xi} \Phi(r_{ki}^*), k = 1, .., N,$$
$$y_k = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{yi} \Phi(r_{ki}^*),$$
$$z_k = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{zi} \Phi(r_{ki}^*),$$

где r_{ki}^* – расстояние между *i*-ой*i*-ой опорными точками на плоскости $x^* y^*$.
На примере первой системы уравнений покажем нахождение коэффициентов λ_{xi}. В матричной форме система уравнений имеет вид

$$\begin{vmatrix} \Phi(r_{11}^*) & \Phi(r_{12}^*) \dots & \Phi(r_{1N}^*) \\ \Phi(r_{21}^*) & \Phi(r_{22}^*) \dots & \Phi(r_{2N}^*) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \Phi(r_{N1}^*) & \Phi(r_{N2}^*) & \Phi(r_{NN}^*) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \lambda_{x1} \\ \lambda_{x2} \\ \vdots \\ \lambda_{xN} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_N \end{vmatrix},$$

или в свернутом виде с очевидными обозначениями– $\mathbf{\Phi} \cdot \mathbf{\Lambda X} = \boldsymbol{X}$, откуда

$$\mathbf{\Lambda X} = \mathbf{\Phi^{-1}} \cdot \boldsymbol{X}.$$

Аналогично находятся остальные весовые коэффициенты. Далее осуществляется переход к этапу Д методики.

ЭтапД методики.Регуляризация расположения опорных точек.

Регулярная расстановка новых опорных точек достигается с использованием выражений(2), (7) следующим образом. Организуется перебор значений параметров x^*, y^* по некоторому регулярному закону с заданным шагом. Для каждой очередной пары значений x^*, y^*по формуле (2) находятся и подставляются в систему (7) расстояния r_i^* (*i*=1,..,*N*). Вычисленные по(7) значения дают очередную опорную точку поверхности в СК *xyz*.

Предложенные методика и технология позволяюталгоритмическим способом получить математическую модель гладкой поверхности, строго проходящей через свои опорные точки. Рациональный выбор вида РБФ позволяет придать рельефу поверхности желаемый вид. Для получения модели поверхности используются только исходныеопорные точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Косников Ю.Н., Александрова Н.В. О применении геометрических форм в вычислительных системах графического назначения // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего* $_{плюс}$*. Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2013. – №10(14). – С.124–130.*

УДК 004.9
ББК 34

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ТЕСТА ЧОУ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗЫ О СТРУКТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ТРЕНДА

© ***О.В. Прокофьев****, Финансовый университет при Правительстве РФ, филиал в г.Пензе (г.Пенза, Россия)*
© ***А.Е. Савочкин***, *Пензенский государственный технологический университет(г.Пенза, Россия)*

ALGORITHMIC TEST MODIFICATION CHOW FOR THE AUTOMATED VERIFICATION OF HYPOTHESES ABOUT THE STRUCTURAL STABILITY OF THE TREND

© ***O.V. Prokofiev,*** *Finance University under the Government of the Russian Federation, Penza branch (Penza, Russia)*
© ***A.E. Savochkin,*** Penza State Technological University *(Penza, Russia)*

Во временном ряду, описывающем какую-либо характеристику сложного технического объекта, зачастую обнаруживается структурная нестабильность тренда. В данной работе была сформулирована цель построения модифицированного теста Чоу для поиска возможного излома тренда временного ряда без участия эксперта. А также решен вопрос формирования набора тестовых данных.

Ключевые слова: тест Чоу, тренд, временной ряд, излом.

In the time series describing the features of a complex technical object often reveals structural instability trend. In this paper formulated the goal of building a modified Chow test for a possible fracture of the trend of the time series without the participation of an expert. And also resolved the issue of formation of a set of test data.

Key words: test Chow, trend, time series, fracture.

Динамика временного ряда, описывающего характеристику сложного технического объекта (СТО), зачастую позволяет обнаруживать структурную нестабильность тренда. Причиной может послужить корректировка курса дви-

жения, изменение режима работы, смена условия эксплуатации. В области эконометрики накоплено большое количество аналогичных примеров [1]. Проверка основной гипотезы о структурной стабильности тренда проводится на основе критериев Чоу, Гуйарати [2]. Поскольку во многих случаяхподразумевается тренд характеристик физического объекта, обладающего инерционностью, разрывы линии тренда представляются малоправдоподобными. Отметим, что в случае моделирования СТО универсальный подход Гуйарати, описывающий с помощью всех фиктивных переменных все возможные комбинации сдвига и наклона тренда, может быть избыточным. Дальнейшее изложение представляет постановку задачи обнаружения возможного излома тренда характеристик СТО с помощью теста Чоу.

"Классические" методы Чоу и Гуйарати построены на визуальном определении точки излома или на введении в модель фиктивнойпеременной с известными значениями, во многом объясняющими поведение зависимой переменной. Авторами была сформулирована цель построения модифицированного теста Чоу для поиска возможного излома тренда временного ряда без участия эксперта. Поэтому задачами исследования являются формулировка постановки задачи, разработка модифицированного алгоритма,создание современной программно-аппаратной реализации, в том числе, проектирование тестового набора данных.

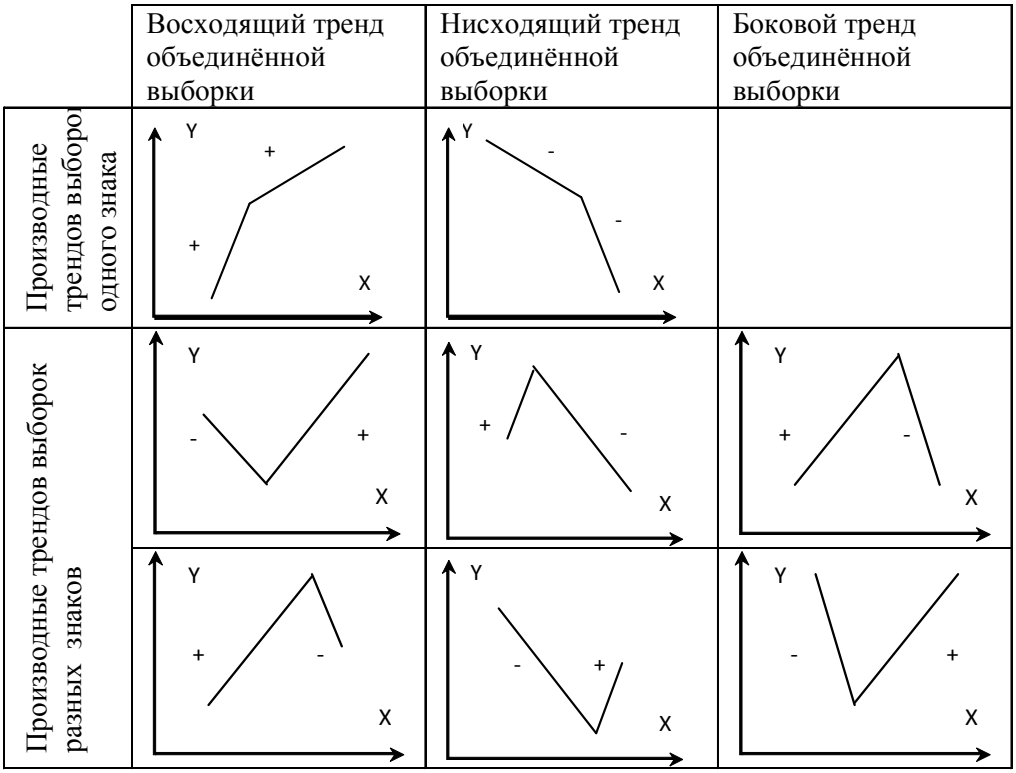


Рис. 1.Изломы тренда временного ряда

Для достижения цели исследования предварительно следует уточнить термины "излом тренда", "структурная нестабильность тенденции" и т.п. применительно к случаю моделирования СТО. Возникающие ситуации излома для

простейшего случая единственной точки приведены на рисунке 1, где знаками "+" или "–" отмечены соответствующие знаки производных линейных трендов процесса кусочно-линейной аппроксимации.

В силу того, что под фактором *X* здесь подразумевается время, исключаются изломы с несколькими значениями *Y* при одном значении фактора, пример которых изображён на рисунке 2.

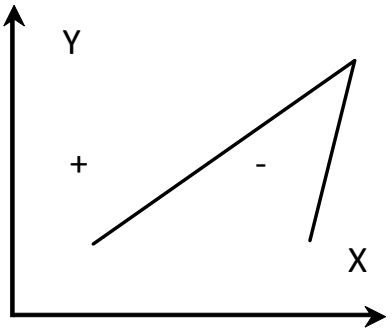


Рис. 2.Пример исключаемого варианта структурной нестабильности

Согласно теореме Шаля, часть изображённых на рисунке 1 вариантов излома тренда являются изометрическими преобразованиями соседних рисунков.Таким образом, число вариантов можно сократить до случаев, например, только с возрастанием конечной точки наблюдений относительно начальной, включив крайний случай горизонтального (бокового) расположения этих точек. На основе этого наблюдения далее сформулирован способ построения сокращённого тестового набора данных, находящихся в своём классе эквивалентности.

Сформулируем модифицированный тест Чоу в общем виде. Для автоматизированного поиска предполагаемого изменения линии тренда следует решить оптимизационную задачу: найти максимальное значение *F*-критерия Фишера,

$$F = \frac{S_e^2 - S_{e_1}^2 - S_{e_2}^2}{S_{e_1}^2 + S_{e_2}^2} \cdot \frac{n-4}{2} \to max(1)$$

при соблюдении функциональных ограничений:

$$\begin{gathered} n_1 + n_2 = n \\ n_1 \geq 7 \\ n_2 \geq 7 \\ 0 < x_\mathrm{A} < x_\mathrm{B} \end{gathered} ,$$

где n_1 и n_2– объёмы подвыборок наблюдений временного ряда, составляющих общую выборку объёмом n и не принимающие значений меньше рекомендуемых;X_A, X_B, соответственно, координаты точки излома тренда и крайней (последней) точки предсказанного значения временного ряда;S_e^2, S_{e1}^2, S_{e2}^2– суммы квадратов остатков регрессионных моделей, соответственно, для модели, построенной по всем наблюдениям, для модели по первой подвыборке наблюдений и второй подвыборке.

Предполагается возможное наличие не более одного излома в выборке и соблюдение принятых на практике минимальных объёмов подвыборок. Най-

денное значение F сравнивается с критическим значением $F_{кр}$, взятым при заданном уровне значимости с числами степеней свободы 2 и (n - 4). Если расчётное значение больше критического, то результат *значим*, граница между подвыборками соответствует времени излома тренда. Гипотеза о структурной стабильности тренда отвергается.

Следующим этапом является разработка исходного кода программы, реализующей изложенный алгоритм. Ввиду большого количества возможных вариантов изменения структуры тренда, возникает проблемапостроения достаточного набора тестовых данных, определяющих с приемлемойнадёжностью корректность работы программного обеспечения.

Предложен алгоритм формирования набора данных, обладающий пониженной избыточностью, в сравнении с полным непосредственным отображением ситуаций на рисунке 1. Процедура формирования пояснена с помощью рисунка 3. На примере дуг *OAB, OCB* изображены возможные геометрические положения точки излома (пример,вершина треугольника в точке *A*). Для ряда предметных областей приемлемо представление кусочных трендов, соответствующих подвыборкам, в виде катетов вписанного треугольника, гипотенуза которого одновременно является хордой окружности (например, треугольник *OAB* на рисунке 1).

Положение гипотенузы определяется положением единичного вектора $\overrightarrow{OB}$, вращающегося на угол в границах [0; π/2].

Степень изгиба дуги также является переменной величиной,которую предложено описывать путём перемещения центра окружности по серединному перпендикуляру, проведённому к гипотенузе *OB*.

Сделано предположение о том, что наибольший изгиб дуги описывается половиной окружности, а меньшие значения описываются окружностью большего радиуса, проходящей через точки *O* и *B*. Таким образом, начальная точка центра окружности (x_1; y_1) совпадает с серединой гипотенузы *OB* (треугольник *OAB* вписан в полуокружность).

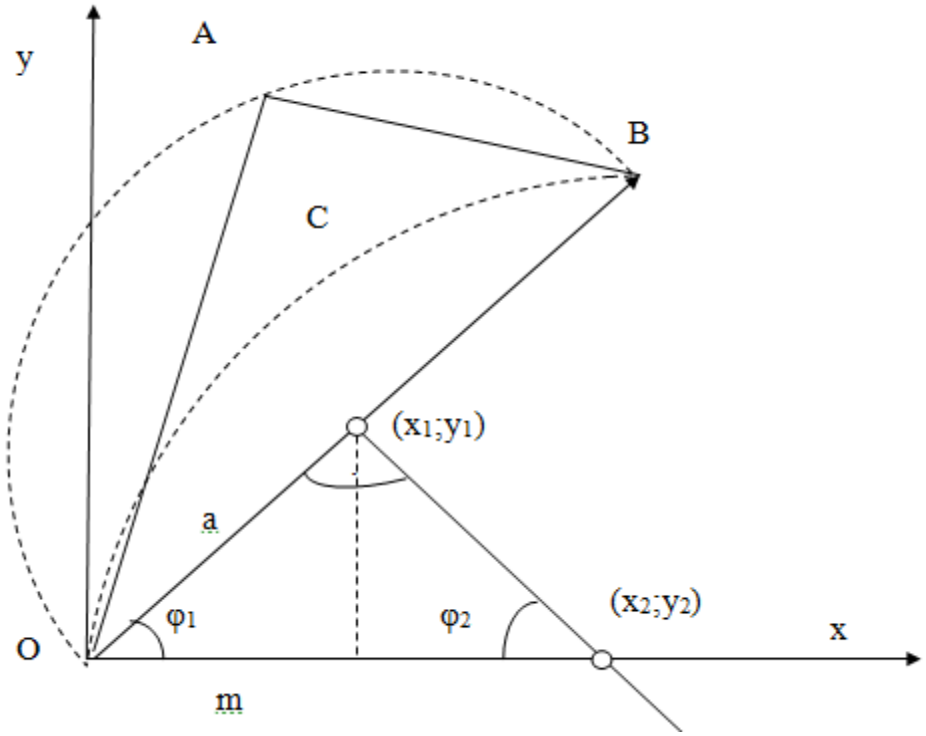


Рис. 3. Построение дуг, описывающих геометрическое место точек излома

Для перемещения, отдаления центра окружности и увеличения её радиуса нужно рассчитать параметры уравнения окружности, для которой точки Ои В по-прежнему является хордой. Учитывая, что угол φ_1 может быть задан при вводе тестовых данных, первоначально центр окружности имеет координаты

$$\begin{cases} x_1 = \frac{1}{2}\cos\varphi_1 \\ y_1 = \frac{1}{2}\sin\varphi_1 \end{cases} .(2)$$

Точка пересечения серединного перпендикуляра и оси абсцисс может быть определена координатами (x_2; y_2). Треугольник, образованный вершинами (0; 0), (x_1; y_1) и (x_2; y_2) - прямоугольный.

Если длину отрезка от точки (0; 0) до точки(x_1; y_1) обозначить как a,длину отрезка от точки (0; 0) до точки(x_2; y_2) обозначить как c,расстояние от точки (0; 0) до высоты, построенной из точки(x_1; y_1) обозначить как m,то согласно свойствам прямоугольного треугольника

$$c = \frac{a^2}{m} = \frac{0{,}5^2}{0{,}5\cos\varphi_1} = \frac{1}{2\cos\varphi_1} (3)$$

Таким образом, координаты точки ($x2$; $y2$) равны:

$$\begin{cases} x_2 = \frac{1}{2\cos\varphi_1} (4) \\ y_2 = 0 \end{cases}$$

Так как новый центр окружности находится на прямой, проведённой через точки (x_1; y_1) и (x_2; y_2), уравнение которой имеет вид

$$y = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}(y_2 - y_1) + y_1 (5)$$

то с учётом подстановки

$$y = \frac{x-\frac{\cos\varphi_1}{2}}{\frac{1}{2\cos\varphi_1}-\frac{\cos\varphi_1}{2}}\left(0 - \frac{1}{2}\sin\varphi_1\right) + \frac{1}{2}\sin\varphi_1 (6)$$

или

$$y = \frac{1}{2}\sin\varphi_1\left(\frac{\frac{\cos\varphi_1}{2}-x}{\frac{1}{2\cos\varphi_1}-\frac{\cos\varphi_1}{2}} + 1\right). (7)$$

Можно задать ряд центров окружностей на прямой, описываемой уравнением (7). Например, начальные координаты центра окружности в точке(x_1; y_1) можно изменить следующим образом. При каждом увеличении координаты точки центра по оси абсцисс

$$x = x_1 + 0{,}5k\cos\varphi_2 = x_1 + 0{,}5\,k\cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1\right), (8)$$

где k - натуральное число и при вычислении новой координаты точки центра по оси ординат согласно (7) радиус окружности R увеличивается в k раз.

Далее становится возможным выбор положения точки А. Её координату по оси абсцисс x_i можно задавать на сетке значений в диапазоне [0; cosφ_1]. Координата моделируемой точки излома по оси ординат равна

$$y_i = \sqrt{R^2 - x_i^2}. (9)$$

Тогда модель первой подвыборки наблюдений, соответствующих отрезку ОА, имеет вид, аналогичный (5)

$$y = \frac{x}{x_i}y_i + \varepsilon, (10)$$

а модель второй подвыборки наблюдений, соответствующих отрезку АВ, имеет вид

$$y = \frac{x-x_i}{\cos\varphi_1 - x_i}(\sin\varphi_1 - y_i) + y_i + \varepsilon\ , (11)$$

где ε- случайная составляющая, формируемая генератором случайных чисел с нормальным законом распределения. Целесообразно в модели осуществлять настройку вариации случайных чисел.

Следует также отметить особенность всех формируемых наборов данных – проверку на наличие "условия идентификации" метода наименьших квадратов, согласно которому точки наблюдений не могут располагаться на одной вертикальной прямой (ситуация деления на ноль) или близких к этому варианту.

Таким образом, помимо предложенной модификации теста Чоу, не требующей участия эксперта для выявления подвыборок (дополнительным преимуществом такого подхода является возможность работы с малыми выборками данных, с неравномерным шагом наблюдений), разработана инженерная методика формирования набора тестовых данных, учитывающая многообразие вариантов излома тренда, нарушения структурной стабильности. Разработка исходных кодов программного обеспечения для автоматизированной проверки гипотезы о структурной стабильности возможна на базе инструментальных средств продуктов класса *DataMining* [3] и доступна для аппаратной реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *О.В. Прокофьев. Совершенствование количественной оценки факторов рынка труда и их взаимосвязей в контексте международной статистики. Глава в монографии "Экономика и общество: проблемы и перспективы модернизации в России": Под ред. В.В. Бондаренко и др.– Пенза: Изд-во ПГУ, 2013, с.399-409.*
2. *Эконометрика: Учебник/ Под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, 2005, с. 327-334.*
3. *О.В. Прокофьев, И.Ю. Сёмочкина. Технологии и программные средства реализации интеллектуального анализа данных. Труды МНПК "Современные информационные технологии". - Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2013, № 17, с.31-35.*

УДК 681.301
ББК 30

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

*© **М.Н. Шмокин,** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

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

SOFTWARE DEVELOPMENT STRUCTURE TO SELECT TELEVISION TECHNICAL PROTECTION SYSTEMS AND ITS COMPONENTS

*© **M.N. Shmokin,** Penza State Technological University (Penza, Russia)*
*© **V.A. Sulov,** Penza State Technological University (Penza, Russia)*

Рассмотрены основные требования к созданию технических систем охраны объектов. Представлена разработка программного обеспечения для выбора оптимальной структуры телевизионной системы охраны и подбора компонентов выбранной структуры из базы данных.

Ключевые слова: телевизионная система охраны, структура, выбор, компоненты.

The basic requirements for the establishment of technical systems of protection of objects. Before the development of a database and software to choose the best structure for the television system and selection of components selected from the database structure.

Key words: television system of protection, the structure, selection, components.

Введение.Среди современных средств обнаружения видеонаблюдение имеет ряд преимуществ в отличие от извещателей и радиолокации [1]. Основными из них являются возможность более полно оценить обстановку, отсутствие ложной тревоги и способность выявлять и, более того, регистрировать преступные посягательства при наличии постоянной санкционированной активности в зоне наблюдения.

Непрерывное совершенствование и массовое производство оборудования для охранного телевидения привело к широкому использованию систем видеонаблюдения в целях обеспечения безопасности организаций, предприятий, учреждений и даже объектов частной собственности [2].

Система видеонаблюдения в простейшем случаесостоит из телекамеры и видеомонитора (рисунок 1), на который поступает видеоинформация.

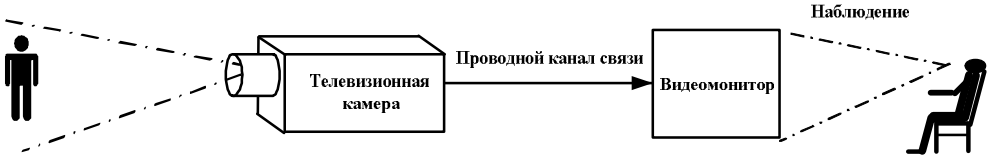


Рис. 1.Простейшая структура системы видеонаблюдения

Обычно для создания реальной системы охранного телевидения нужно более одной видеокамеры, поэтомуиспользуются устройства, позволяющие использовать один видеомонитор для визуализациисигнала от нескольких видеокамер. Также существует необходимость записи принятых видеосигналов для дальнейшего воспроизведения и их анализа. Поэтому регистрирующие устройства также являются неотъемлемой частью системы видеонаблюдения.

В настоящее время развиваетсякомплексный подход к решению проблемы обеспечения безопасности, который, в частности, подразумевает применение интегрированных средств охраны (ИСО). Онивключают в себя средства видеоконтроля, охранно-пожарной сигнализации,контроля доступа иинженерные средства защиты, объединенные общей системой управления и предназначенные для совместной работы.

Телевизионные технические системы охраны(ТВТСО) можно назвать основным звеном ИСО, так как они возводят систему охраны объекта на качественно более высокий уровень и позволяют решать в данной области практически любые задачи. Однако ТВТСО относятся к разряду довольно сложной и, соответственно, дорогостоящей техники, поэтому потребителю нужно иметь четкое представление о тактико-технических и функциональных возможностях этой аппаратуры. Неоспоримые достоинства ТВТСО определили быстро растущий спрос на них, что привело к появлению на рынке разнообразной специальной телевизионной техники.

Целью данной работы является разработка программного обеспечения (ПО) автоматизированного выбора структуры и компонентов ТВТСО по различным критериям, реализующее выполнение следующих задач:

1) на основании исходных данных, характерных для ТВТСО, условий эксплуатации и требований заказчика, рекомендовать соответствующую структуру ТВТСО;

2) для выбранной структуры произвести подбор компонентов схемы по их техническим характеристикам.

В качестве выбираемых компонентов структуры должны быть следующие устройства:

- телевизионные видеокамеры (ТВК) различных типов;
- видеомониторы (ВМ) наблюдения (монохромные, цветные);
- различные виды подсветок (инфракрасные, светодиодные);
- первичные датчики нарушения (ПДН) (проводные, объемные, сейсмодатчики);
- радиоинтерфейсы (РИФ), характерные для беспроводных ТВТСО.

Для решения поставленнойзадачи была разработанабаза данных (БД) для организованного хранения структур и компонентов ТВТСО. Для БД разработано программное обеспечение (ПО) для настройки под конкретные задачи и наполнения ее данными.

ПО осуществляет контроль вводимых данных пользователя, для исключения ошибочных или недопустимых действий. Кроме того, предусмотрена защита от несанкционированного доступа к базе данных путем авторизации пользователя.

На рынке специальной телевизионной техники существует множество различных типов компонентов ТВТСО.

Телевизионная видеокамера – это устройство, которое преобразует оптическое изображение; наблюдаемого объекта в электрический видеосигнал. Телевизионная видеокамера является важнейшим элементом системы, так как именно с нее в систему поступает первичная информация об объекте и именно ее характеристиками определяется качество изображения в целом. Различают ТВК:корпусные и бескорпусные;черно-белого и цветного изображения;обычной и повышенной чувствительности;обычного и высокого разрешения; для внутреннего и наружного наблюдения;для скрытого наблюдения.

Качество телевизионной видеокамеры определяется целым рядом показателей, однако в большинстве случаев при выборе видеокамеры для конкретной системы достаточно ориентироваться на следующие ее характеристики.

Оптический формат – размер фоточувствительной области ПЗС матрицы в дюймах. Основными форматами являются:. 1/3", 1/2", 2/3" и 1". Чем больше оптический формат, тем меньше (при прочих равных условиях) геометрические искажения изображения.

Разрешающая способность – максимальное количество телевизионных линий (ТВЛ), различаемых в изображении при минимально допустимой глубине модуляции 10%. Разрешение по горизонтали определяет максимальное количество градаций от черного к белому или обратно, которые могут быть получены от видеокамеры в центральной области экрана. Обычным разрешением считается 380 - 420 линий для черно-белых и 300 - 320 линий для цветных видеокамер. В системах высокого класса используются, как правило, видеокамеры с повышенным разрешением (500 - 600 линий для черно-белых и 375 - 450 линий для цветных видеокамер.

Пороговая чувствительность (чувствительность) – минимальная освещенность на ПЗС-матрице, при которой видеокамера сохраняет работоспособность. Обычной чувствительностью считается 0,1 – 0,5 лк для черно-белых и 1 - 3 лк для цветных видеокамер.В системах, предназначенных для наблюдения слабо освещенных объектов, имеющих малую отражательную способность, используются видеокамеры высокой чувствительности (порядка 0,01 лк).ПЗС-матрицы обладают очень важным свойством – они позволяют получать четкое изображение (особенно "теплых" объектов, например, человека) в условиях полной темноты при подсветке инфракрасными лучами. С этой целью некоторые видеокамеры оснащаются встроенной ИК-подсветкой.

В ТВТСО, в основном, применяются видеокамеры черно-белого изображения. Это объясняется тем, что они значительно дешевле цветных и работают с более дешевым оборудованием, имеют более высокие разрешение и чувствительность, не предъявляют жестких требований к источнику питания.

Видеомониторы – это устройства, преобразующие видеосигналы в двухмерное изображение. Видеомониторы являются изделиями, специально предназначенными для использования в ТВТСО. Многие видеомониторы снабжены встроенными устройствами для приема сигналов от нескольких видеокамер – *видеокоммутаторами*. Основными характеристиками видеомониторов являются размер экрана по диагонали и разрешающая способность по горизонтали. В ТВТСО наиболее часто применяются видеомониторы с размером экрана 9" и 12". При использовании устройств совмещения изображения (квадраторов) применяются, как правило, видеомониторы с большим размером экрана: 15", 17" или 20". Выбирать видеомонитор по разрешающей способности следует таким образом, чтобы она была выше, чем у применяемых телекамер – видеомонитор не должен ухудшать общее разрешение системы. При использовании в системе видеокамер с обычным разрешением целесообразно выбрать видеомонитор с обычным разрешением (600–800 ТВ-линий для черно-белых и 350 - 400 - для цветных). В системах высокого класса, как правило, используются видеомониторы с разрешением 900–1000 ТВ-линий (черно-белые) и 450 - 500 ТВ-линий (цветные). При наличии в системе нескольких видеомониторов они, как правило, размещаются в специальных стойках.

Видеокоммутаторы– это устройства, обеспечивающие последовательное переключение видеосигналов от нескольких телекамер на один или несколько выходов (видеомониторов). Видеокоммутаторы последовательного действияимеют автоматический ("листающий") и ручной режимы переключения видеокамер, позволяющие просматривать сигналы от всех видеокамер, либо выборочно от некоторых из них. Число входных видеоканалов может быть от 4 до 16, а при использовании нескольких блоков коммутации – до 64. Однако, на практике обычно используются коммутаторы на 4 или 8 входов, так как в системах с большим числом видеокамер целесообразно использовать более сложную аппаратуру, имеющую расширенные функции, возможность программирования и т.п. При выборе коммутатора следует обратить внимание на то, чтобы он имел регулировку времени просмотра видеокамер, желательно для каждой видеокамеры раздельно.

Видеоквадраторы– это цифровые устройства, обеспечивающие размещение изображений от 4-х видеоисточников на одном экране, который в этом случае делится на 4 части (квадранты), и позволяющие уменьшить количество видеомониторов в системе. Квадраторы высокого разрешения позволяют работать на одном видеомониторе с 8 видеокамерами: они формируют две группы по 4 видеокамеры и дают возможность по очереди выводить их на экран.

Видеодетектор движения представляет собой электронный блок, который хранит в памяти текущее изображение с телекамеры и подает сигнал тревоги при возникновении изменений в охраняемой зоне. Видеодетекторы движения применяются, главным образом, и системах охраны крупных объектов, где оператору приходится контролировать большое количество видеокамер.

Для передачи телевизионного сигнала в ТВТСО могут использоваться как проводные каналы связи (коаксиальные кабели, телефонные линии, волоконно-оптические линии), так и беспроводные каналы – радиоинтерфейс (РИФ) или инфракрасный канал (ИК-канал) [3]. Наиболее стабильная и качественная работа системы возможна только при использовании проводных каналов связи.

Разработка базы данных компонентов ТВТСО. В работе в качестве СУБД было использовано ПО *Microsoft SQL Server* 2008.Созданная база данных (рисунок 2), позволяет настроить ее под нужды пользователя, в данном случае организации хранения компонентов ТВТСО. Пользователь может добавлять, изменять и удалять объекты или атрибуты объектов. Настройка конфигурации заключается в создании типов и атрибутов, характерных для ТВТСО. Заполнение базы заключается в создании объектов и определенных для их типа атрибутов.

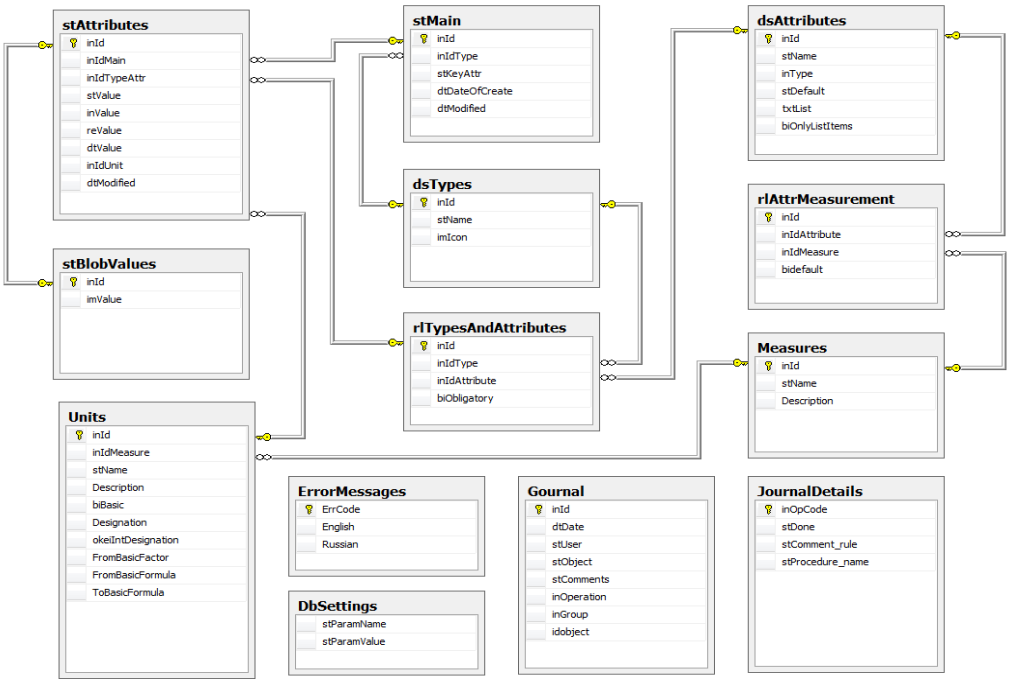


Рис. 2. Структура базы данных

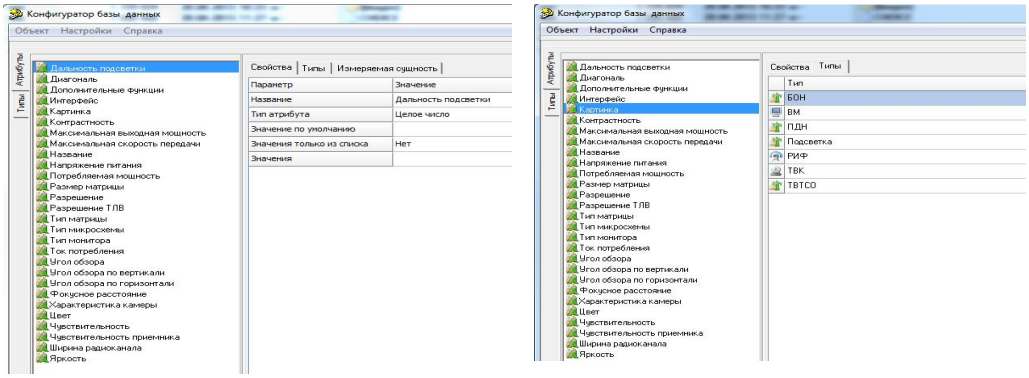
Первое, что определяется, это структура ТВТСО. При этом исходными данными являются: ширина и длина охраняемого периметра, его освещенность, требуемая цветность изображения и др. Далее рассчитываются комплексные показатели сложности (КПС) компонентов ТВТСО,и КПС всех структур ТВТСО и получают значение функции выбора для них [4]. Полученное значение должно лежать в пределах заранее рассчитанного КПС различных структур.

После того как выбрана одна из структур ТВТСО, необходимо подобрать для нее необходимые компоненты. Параметры для них будут уже определены при расчете КПС компонентов [5]. Результатом по итогам работы ПО бу-

дет представлена пользователю вариант структуры, перечень рекомендуемых компонентов и их количество.

Далее представлены экранные формы работы ПО.

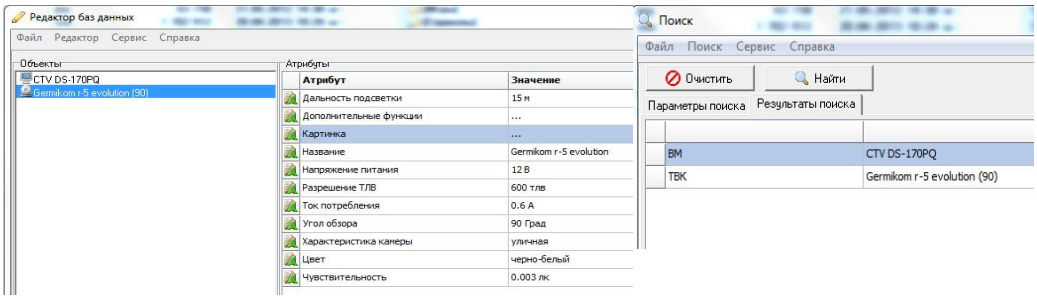
Сначала создается список типов объектов, которыми будет оперировать система, задаются их свойства. Это выполняется вконфигураторе Настройки, сделанные в конфигураторе, определяют, с какими именно объектамибудет работать система. Это могут быть ТВК, ВМ, ПДН и т.д. Чтобы определить набор атрибутов, необходимо перейтина вкладку «Атрибуты». В области информации откроется список атрибутов, существующих в базе данных, и их свойства (рисунок 3,а). Чтобы определить типы объектов, которые могут характеризоваться значением определяемого атрибута, используется вкладка «Типы» (рисунок 3,б).



а) а)

Рис. 3.Окно конфигуратора. Вкладки «Атрибуты» (а) и «Типы» (б)

Когда требуемая конфигурация создана, можно переходить к наполнению базы элементами. Для этого предназначена программа «Редактор баз данных», далее редактор. Окно программы (рисунок 4,а) разделено на две области. Область объектов и область атрибутов.



а) б)

Рис. 4.Окно редактора базы данных (а) и результата поиска(б)

В области информации «Объекты» находится список объектов, а в области информации «Атрибуты» находится список атрибутов выбранного объекта и их значений. В контекстном меню списков находятся команды, позволяющие выполнять манипуляции: создание, изменение, удаление.

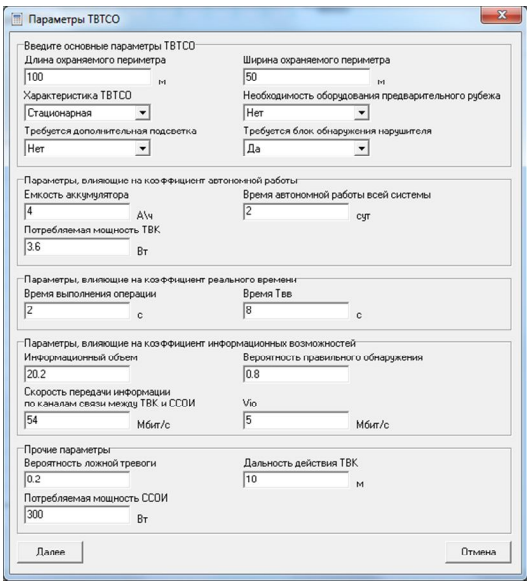
В общем случае при создании объектов в качестве наименования может использоваться не только значение ключевого атрибута объекта. Более того,

наименования могут быть разнородными. Чтобы запустить процесс поиска объектов в соответствии с введенными параметрами поиска, используется кнопка «Искать», расположенная на панели инструментов. Список объектов, обнаруженных в процессе поиска по заданным условиям, выводится на вкладку «Результаты поиска» (рисунок 4,б).

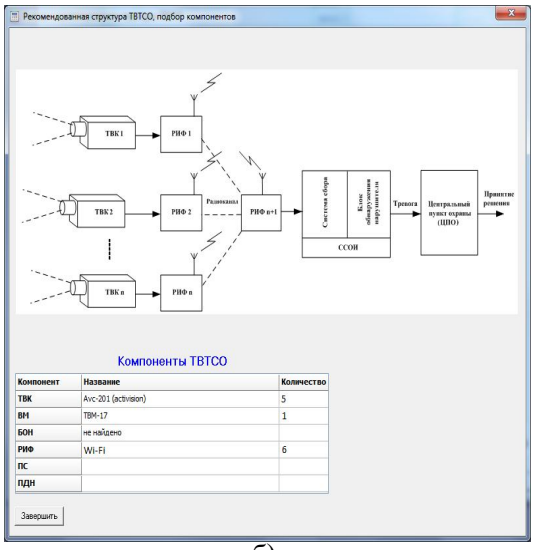
Программное обеспечение выбора структуры ТВТСО работает в двух режимах: демонстрационный (обучающий) и рабочий.

Демонстрационный режим позволяет при помощи построений графиков увидеть зависимость функции выбора от коэффициентов характерных для ТВТСО в заданном пользователе диапазоне изменения КПС системы и с заданным шагом. Можно рассмотреть как раздельное их влияние на функцию выбора, так и совместное.

Основным является рабочий режим, в котором производится расчет и выбор структуры ТВТСО и её компонентов. Для начала необходимо в главном меню программы выбрать пункт «Расчет», а затем подпункт «Расчет по заданным параметрам». В появившемся окне (рисунок 5,а) необходимо заполнить все поля ввода или выбрать одно значение из списка. После ввода всех параметров будет доступно продолжение работы.



а)



б)

Рис. 5.Окна «Параметры ТВТСО» (а) и «Результаты» (б)

В появившемся окне «Результаты» будет показана схема рекомендованной структуры ТВТСО и список компонентов (рисунок 5,б), необходимых для ее реализации.

Таким образом, разработанное ПО позволят обеспечить выбор оптимальной по параметрам комплексных показателей сложности структуры ТВТСО на основании исходных данных, характерных для ТВТСО, условий эксплуатации и требований заказчика, а для выбранной структуры произвести рекомендованный подбор компонентов схемы по их техническим характеристикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дементьев А.Н. Электронные системы безопасности личности и имущества. Ч.2. Охранное телевидение: учебное пособие. – Томск: В-спектр, 2007 – 172 с.*
2. *Скрытое охранное видеонаблюдение.*
3. *www.pro-oborudovanie.ru/info/video_nabludenie.shtml*
4. *Шмокин М.Н. Интеллектуальные системы видеонаблюдения в телевизионных системах охраны // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: тезисы докл.VIII– Всерос. конф. (Пенза, 25-26 мая 2010 г.). – Пенза, 2010. – С.99–101.*
5. *Шмокин М.Н. Выбор оптимального средства реализации сложной информационной технической системы//Научные ведомости Белгородского государственного университета: Научный рецензируемый журнал. –№7(102) выпуск 18/1. – Белгород: БелГУ, 2011. – С. 147 – 156.*
6. *Шмокин М.Н. Применение комплексных показателей сложности для выбора структуры и оптимизации параметров телевизионной технической системы охраны // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов: Сборник статей 11-й ВНТК. – Пенза: ПДЗ, 2013. – С. 96 – 100.*

7. *Шпеник Марк, Следж Оррин и др. Руководство администратора баз данных Microsoft SQL Server 2000.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 928 с.: ил. – Парал. тит. англ.*

УДК 378.16
ББК 34

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ УЗЛА ДОСТУПА К ТЕЛЕМАТИЧЕСКИМ УСЛУГАМ СВЯЗИ В ВУЗЕ

© ***С.В.Печерский,*** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)
© ***Н.С.Печерская,*** Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)

THE FEATURES OF CONSTRUCTION OF CENTRE OF TELEMATIC COMMUNICATION SERVICES IN UNIVERSITY

© ***S.V.Pecherskiy,*** Penza State Technological University (Penza, Russia)
© ***N.S.Pecherskaya,*** Penza State Technological University (Penza, Russia)

Рассмотрены вопросы проектирования и конфигурирования узла связи вуза для оказания коммерческих услуг связи.

Ключевые слова: вуз, телематические услуги связи, Интернет, биллинг.

The problems ofdesign and configurationof communication unitof the universityforthe delivery of commercialcommunication services are considered.

Key words: University, Telematic Services, Internet, Billing

В Пензенском государственном технологическом университете (ПензГТУ) уже много лет эффективно работает вычислительная сеть, объединяющая сотни компьютеров учебных классов, компьютеров рабочих мест работников и преподавателей. Сеть предоставляет доступ в Интернет, а также к локальным сетевым ресурсам. В ПензГТУ имеется несколько образовательных порталов, построенных на основе системы управления учебными курсами *Moodle* [1,5]. При этом все студенты и преподаватели имеют личные учётные записи и персональные дисковые ресурсы на файл-сервере локальной вычислительной сети (ЛВС), а также на образовательных порталах. Работники ПензГТУ, включая и преподавателей, имеют персональный корпоративный электронный почтовый ящик.

Таким образом, в ЛВС ПензГТУ реализованы следующие основные сетевые сервисы:

- система корпоративной электронной почты;
- доступ к образовательным порталам на основе *Moodle*;
- работа в Интранет-классах, использующих рабочие станции на базе ОС *Windows* (доступ в Интернет и к файл-серверам ЛВС);
- система корпоративного документооборота и АСУ вузом;
- работа биллинговой системы, управляющей доступом в Интернет.

На Интернет-серверах использовано свободное программное обеспечение [3] *CentOS Linux*, что позволяет существенно снизить финансовые затраты при обеспечении требуемой функциональности. Поддержка работы компьютерных классов в рамках учебного процесса осуществляется средствами Windows-серверов ЛВС. При этом реализована удалённая загрузка бездисковыхрабочих станций с предоставлением сетевых ресурсов для хранения программ и пользовательских файлов.

Одна из основных проблем, требующих решения в этой конфигурации, это создание общей системы авторизации в вышеописанных сервисах. Решение видится в создании единой базы пользователей в среде *Active Directory* или *LDAP*. Серверы *Linux* эффективно работают с учётными данными пользователей, хранящихся в *LDAP*, например, 389 *Directory Server*. В частности, сервисы *Dovecot, Postfix, Squid, Apache*, образовательная среда *Moodle*, адресные каталоги, *VPN* легко интегрируются с *LDAP*. Возможна синхронизация каталогов*LDAP* и *Active Directory*, что обеспечит единство системы авторизации в *Windows*- и *Linux*-сервисах.

Поскольку в ПензГТУ поддержкой учебных компьютерных классов и Интернет-серверов занимаются разные отделы, требуется решение организационных вопросов по разграничению административных полномочий. Должен ещё быть предусмотрен механизм отключения и включения тех или иных сервисов для отдельных категорий пользователей. Скажем, студенту, как правило, не требуется создание корпоративного почтового ящика, а технический персонал вуза не нуждается в регистрации на образовательном портале. То есть общая база пользователей должна быть разбита на группы с разными полномочиями.

Ещё одной особенностью ЛВС в вузе является чётко выраженная периодичность загрузки сетевых ресурсов. Пример приведен на рис.1. Нагрузка резко возрастает в дневное время, в частности во время учебных занятий.

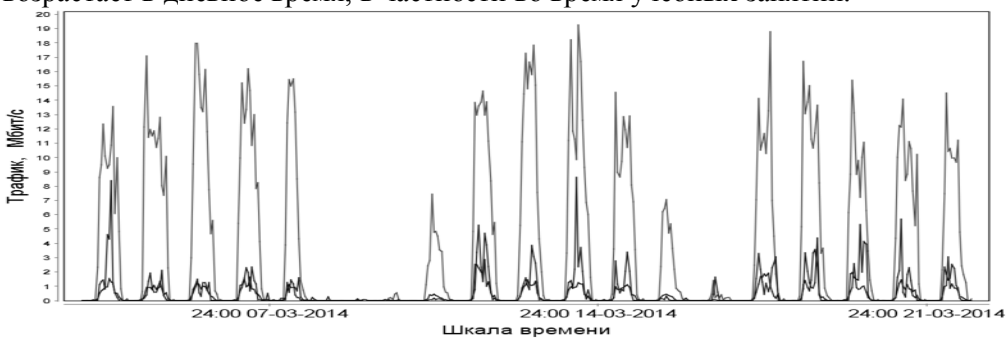


Рис. 1. Распределение сетевого трафика по времени

В случае отсутствия у вуза лицензии на оказание услуг связи и, соответственно, без осуществления коммерческих услуг связи, нет жёстких требований к конфигурации сооружения связи – узла доступа. Совершенно другая ситуация возникает при получении лицензии на коммерческое оказание телематических услуг связи. В этом случае сооружение связи должно быть принято Роскомнадзором, а для этого необходимо соблюдение жёстких требований к аппаратному и программному обеспечению, безопасности, надёжности, обслуживании, бухучёту, документированию и т.п.

В соответствии с лицензионными условиями необходимо обеспечить выполнение требований к сетям электросвязи для проведения оперативно-разыскных мероприятий. В частности, требуется установить аппаратуру *СОРМ*.

При этом возможна ситуация, когда потребуется существенное изменение существовавшей ранее ЛВС.

Во-первых, необходимо установить биллинговую систему, имеющую сертификат Минсвязи РФ, для учёта внешнего трафика. Во-вторых, необходимо обеспечить единую точку концентрации внешнего трафика и подключить к ней аппаратуру *COPM*. В-третьих, необходимо реализовать отправку на *COPM* информации о сессиях пользователей в формате пакетов *RADIUS*.

Задача оказывается весьма специфической, поскольку популярные биллинговые системы, например сертифицированная система *NetUP UTM5* [6], ориентированы на подключение квартир физических лиц и организаций, имеющих обособленное физическое подключение. Другими словами, они работают с пользователями, подключенными либо к зарезервированному *Ethernet*-порту коммутатора, либо к *VPN*-шлюзу. При этом не возникает проблем формирования *RADIUS*-сессии пользователя при его входе в сеть. В сети вуза ситуация другая. Для пользователя нет выделенного аппаратного порта коммутатора. Пользователь может войти в сеть с любого компьютера из любой аудитории. А поскольку в большинстве случаем пользовательские компьютеры подключены к портам дешёвых устройств, нет возможности на них аппаратно осуществлять *RADIUS*-авторизацию и учёт. Использование же *VPN*-доступа, хотя и решит проблему, но существенно снизит производительность сети, поскольку потребует пропускать весь локальный трафик (в том числе на образовательные порталы и веб-серверы) через *VPN*-шлюз, что перегрузит коммуникации и потребует покупки дорогостоящего оборудования.

Проблема может быть решена посредством предоставления пользователям персонального *IP*-адреса. Использование закреплённых за пользователями *IP*-адресов, кстати,позволило бы вообще отказаться от *COPM*, однако в описанной выше ситуации не представляется возможным обеспечить защиту от подмены адресов.

Итак, основная задача заключается в формировании *RADIUS*-пакета *Accounting-Request (Start* или *Stop*), содержащего связку *IP*-адрес – имя пользователя, при авторизации и выходе из сети пользователя. Одним из решений может быть использование в составе *UTM5* модуля *HotSpot*, работающего с использованием встроенного в систему *RADIUS*-сервера. При этом, используя в правилах *Firewall* вспомогательную утилиту *utm5_radgen*, можно успешно формировать необходимые *RADIUS*-пакеты.

К сожалению, требование применения в схеме авторизации *RADIUS*-сервера существенно осложняет решение задачи единой системы авторизации пользователей. Например, система *Moodle* имеет лишь ограниченный функционал соответствующего модуля аутентификации, а *UTM5*– не поддерживает синхронизацию с *LDAP*.

Другой сложностью является автоматизация обработки платежей абонентов и управление их доступом к сетевым сервисам. Если, скажем, предоставление доступа в Интернет автоматизируется средствами биллинговой системы, то управление коммерческим доступом абонентов к *Moodle* возможно только средствами аутентификации через *RADIUS*, либо вручную через аккаунт администратора-кассира. К сожалению, система *Moodle* пока не имеет удобных средств разграничения коммерческих и некоммерческих вариантов доступа.

Таким образом, необходимость соблюдения лицензионных требований при оказании коммерческих услуг связи требует в вузе существенной реконфигурации сетевых ресурсов, а также модернизации средств администрирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *С.В.Печерский Эффективная конфигурация системы управления учебными курсами Moodle для её интеграции с системой рейтинговой оценки работы студентов ПензГТУ// XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего $_{плюс}$: Периодическое научное издание. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2013.- №10(14).- С.131-134.*
2. *С.В.Печерский Особенности использования системы управления учебными курсами Moodle при построении образовательного портала вуза// Современные информационные технологии-2012 (Computer-based conference "Contemporary information technologies-2012"): Труды международной научно-технической конференции. – Пенза: ПензГТУ, 2012. – Edition. 15. – С. 102-103*
3. *Н.Н.Короткова, С.В.Печерский, Т.Н. Печерская Использование свободного программного обеспечения в профессиональном образовании// Современные информационные технологии-2012 (Computer-basedconference "Contemporaryinformationtechnologies-2012"): Труды международной научно-технической конференции. – Пенза: ПензГТУ, 2012. – Выпуск. 15. – С. 104-107*
4. *В.А.Егоров, В.В.Мошечков, С.В.Печерский Особенности построения Web-портала вуза на базе CMS TYPO3 // Современные информационные технологии-2013 (Computer-basedconference "Contemporaryinformationtechnologies-2013"): Труды международной научно-технической конференции.- Пенза: ПензГТУ, 2013.- Выпуск. 17. –С. 233–234.*
5. *Moodle - Open-source learning platform. –http://www.moodle.org*
6. *UTM 5: профессиональная биллинговая система для учета Интернет-трафика. – http://www.netup.ru/UTM5*

УДК 621.37
ББК 32

УСТРОЙСТВО ИДЕНТИФИКАЦИИ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ПУТИ ГАШЕНИЯ В СИСТЕМЕ АКТИВНОГО ПОДАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМА*

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

CANCELLATION PATH TRANSFER FUNCTION IDENTIFIER IN ACTIVE NOISE CONTROL SYSTEM

© ***I.V. Ushenina***, Penza State Technological University, (Penza, Russia)

В работе предлагается устройство статической оценки (идентификации) передаточной функции пути гашения системы активного подавления шума. Устройство реализовано на базе ПЛИС и использует систему *MATLAB*.

Ключевые слова: активное подавление шума, алгоритм FxLMS, путь гашения.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №14-07-31091 мол_а

An off-line identifier of cancellation path transfer function in active noise control system is proposed. Identifier includes *FPGA*-based hardware and uses *MATLAB* system.

Key words: active noise control, *FxLMS* algorithm, cancellation path.

Активные методы борьбы с акустическим шумом предполагают анализ шума, подлежащего подавлению, и генерацию противофазного гасящего сигнала в режиме реального времени. Вычислительную основу систем активного подавления шума (АПШ), как правило, представляет цифровой адаптивный фильтр, подстраивающий форму гасящего сигнала. Наиболее распространенной архитектурой систем АПШ является архитектура с заблаговременным получением опорного сигнала (рисунок 1). В качестве алгоритма адаптации при этом используется алгоритм наименьших квадратов с предварительной фильтрацией входного сигнала (*FxLMS*) [1,2].

Алгоритм *FxLMS* позволяет учесть изменения гасящего сигнала, вносимые по пути его распространения от входа динамика до выхода микрофона ошибки (так называемый путь гашения, *cancellationpath*), и компенсировать эти изменения за счет фильтрации опорного сигнала передаточной функцией*C(z)*, которая являетсяоценкой передаточной функции пути гашения *H(z)* (рисунок 1).

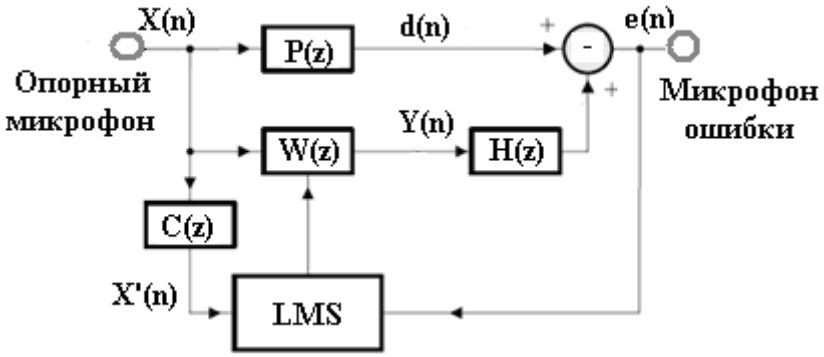


Рис. 1.Система АПШ с заблаговременным получением опорного сигнала, работающая на базе алгоритма FxLMS

На рисунке 1 приняты обозначения: *P(z)* – передаточная функция акустического пути распространения шума от опорного микрофона до динамика, *W(z)* – передаточная функция фильтра, моделирующего *P(z)*, *LMS* – адаптивный алгоритм подстройки коэффициентов фильтра, *X(n)* – входной сигнал системы, полученный от опорного микрофона, *Y(n)* – сигнал, поступающий на динамик, *d(n)* – исходный шум в точке расположения микрофона ошибки, *e(n)* – сигнал ошибки.

Таким образом, возникает задача оценки *H(z)*, которая может проводиться перед началом работы алгоритма (статическая оценка) или в процессе работы алгоритма (динамическая оценка). Первый вариант возможен, если изменение параметров пути гашения происходит медленно, и связано, например, со старением электронных компонентов. Преимуществом статической оценки является упрощение аппаратной реализации системы АПШ, т.к. из нее исключается ряд устройств [1]. Кроме этого, предварительные знания о групповой задержке гасящего сигнала по пути его распространения позволяют оценить перспективы применения системы АПШ с позиций условия каузальности [1]. Дополнительнымплюсом статической оценки является возможность использовать для полу-

чения *C(z)* специализированные математические пакеты моделирования – такие, как *MATLAB*.

В данной работе предлагается устройство для статической оценки *H(z)*, реализованное на базе ПЛИС *FPGASpartan* 6 *LX45* и аудиокодека *LM4550* стандарта AC'97, работающее совместно с пакетом MATLAB.

При оценке *H(z)* на динамик системы АПШ подается случайный шум с нормальным распределением, который регистрируется микрофоном ошибки и преобразуется в цифровой код подключенным к нему АЦП. Случайный шум и полученный от АЦП сигнал являются исходными данными для решения задачи идентификации *H(z)*, которая может быть решена с применением одного из адаптивных алгоритмов [3]. Генерация случайного шума и обработка оцифрованного сигнала от микрофона ошибки с получением *C(z)* выполняются в среде *MATLAB*.

Выбор ПЛИС Spartan 6 для реализации цифровой части описываемого устройства (рисунок 2), а также собственно контроллера системы АПШ обусловлен наличием у них специализированных аппаратных блоков цифровой обработки сигналов и блочной памяти, которые позволяют реализовывать адаптивные фильтры различными способами [4].

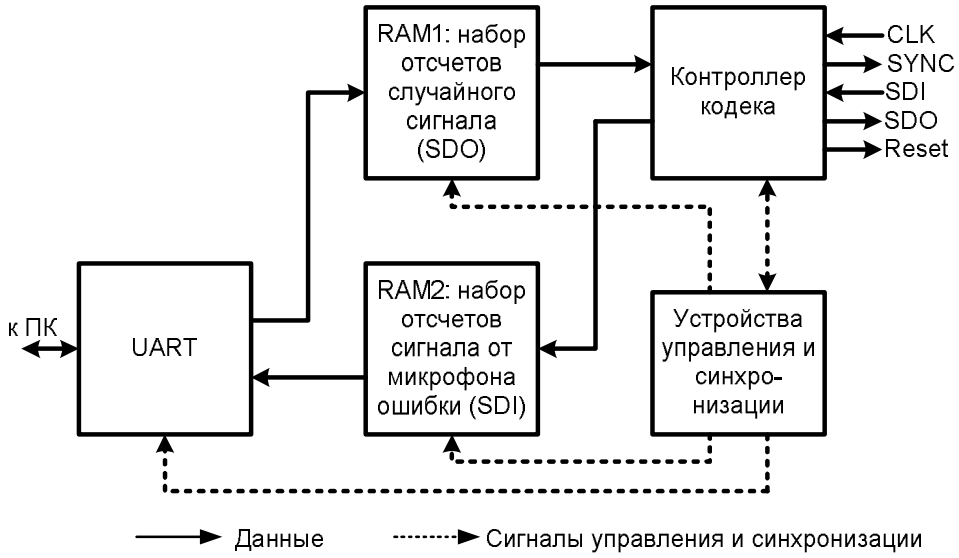


Рис. 2. Устройство, реализованное на ПЛИС

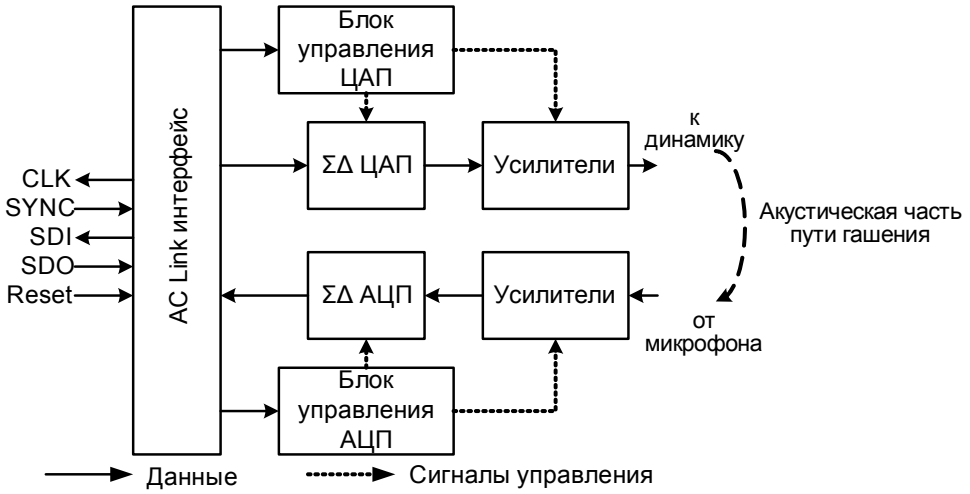
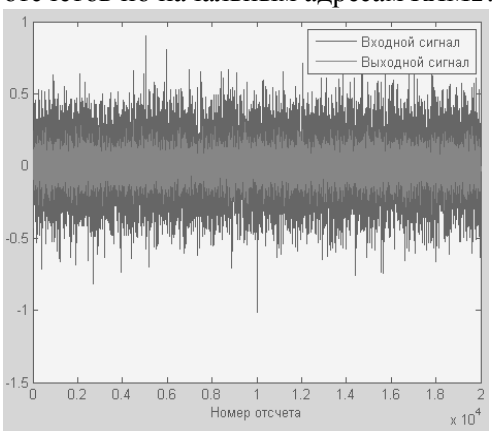


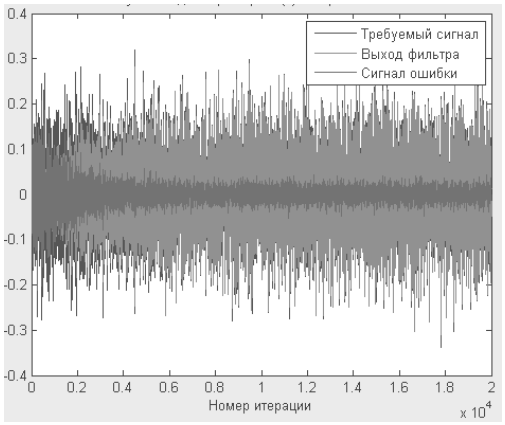
Рис. 3. Используемые ресурсы кодека

Кодек *LM4550* содержит 18-разрядные ΣΔ-ЦАП и АЦП, которые чаще всего используются в системах АПШ [2], встроенные программируемые усилители-аттенюаторы и интерфейсы для подключения динамиков, микрофонов и других устройств. Используемые ресурсы кодека и его взаимосвязь с ПЛИС приведены на рисунке 3.

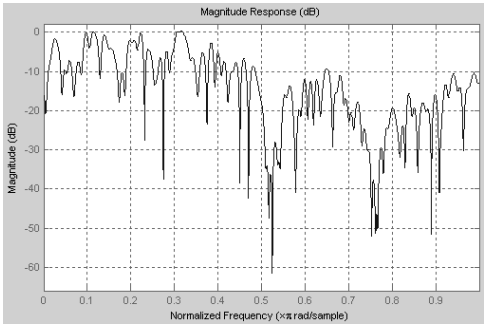
Для оценки задержки, вносимой путем гашения, необходимо определить момент достижения случайным шумом, прошедшим по пути гашения, микрофона ошибки. С этой целью данные от АЦП предварительно записываются в память ПЛИС, и только затем передаются на ПК. Запись начинается одновременно с чтением и передачей на ЦАП кодека отсчетов случайного шума. Это позволяет оценить задержку пути гашения по количеству «нулевых» значений отсчетов по начальным адресам *RAM2*.



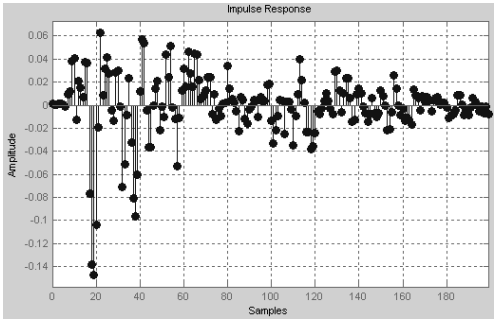
а)



б)



в)



г)

Рис.4. Исходные данные и результаты расчета C(z): а) входной и выходной сигналы пути гашения; б) результат идентификации H(z) алгоритмом NLMS; в) АЧХ фильтра C(z); г) импульсная характеристика фильтра C(z)

Полученный массив значений отсчетов сигнала от микрофона ошибки используется при идентификации системы с передаточной функцией *H(z)* в качестветребуемого сигнала системы, тогда как исходный случайный шум является ее входным сигналом. Для идентификации системы использовался нормализованный адаптивный алгоритм наименьших квадратов – *NLMS* [3,5].

На рисунке 4 представлены исходные данные и результаты расчета *C(z)* с использованием функции *MATLABadaptfilt.nlms* [5] при выборе порядка фильтра 200, шага сходимости – 0,1.

Предложенный способ оценки *H(z)* позволяет произвести ее на том же оборудовании, которое будет использоваться собственно при активном подавлении шума. Наличие готовой *C(z)* позволит упростить контроллер АПШ, а значит, перераспределить ресурсы ПЛИС или выбрать более дешевый кристалл. Полученное устройство может использоваться для оценки передаточных функций различных конфигураций пути гашения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *S.M. Kuo, D.R. Morgan. Active noise control system algorithms and DSP implementations. John Wiley & Sons, 1996.*
2. *S. Elliott. Signal processing for active control. Academic Press, 2000.*
3. *Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992с.: ил.*
4. *Ушенина И.В., Елизаров В.Н., Варнавский В.А. Реализация распределенного цифрового фильтра с настраиваемыми параметрами на микросхемах программируемой логики // Современные проблемы науки и образования. – Издательство Российской академии естествознания, 2013 – №3. URL: www.science-education.ru/109-9489*
5. *http://www.mathworks.com/help/dsp/ref/adaptfilt.nlms.html*

УДК 621.37
ББК 32

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ T-FLEX CAD

© ***Д.С. Присяжный***, *Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*
© ***В. В. Волков,*** *Пензенский государственный технологический университет (г. Пенза, Россия)*

DEVELOPMENT OF INTRUDER ALARM SYSTEMS WITH T-FLEX CAD

© ***PrisyazhnyiD.S.****., Penza State Technological University (Penza, Russia)*
© ***V. V. Volkov,*** *Penza State Technological University (Penza, Russia)*

В статье рассмотрены возможности создания параметрических трёхмерных моделей сборочных единиц в *T-FLEXCAD* с использованием внешних переменных и списков их значений с учётом особенностей разработки систем охранной сигнализации.

Ключевые слова:
система автоматизированного проектирования, технические средства охраны, трёхмерная модель, сборочная единица, переменная, список.

The possibilities of creating the three-dimensional parametric models of the assembly units in *T-FLEX CAD* using external variables and lists of their values, taking into account the peculiarities of designing the intruder alarm systems.

Key words:
computer-aided design system, intruder alarm systems, three-dimensional model, assembly unit, variable, list.

Технические средства охраны представляют собой совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих контроль, сохранность и безопасность территорий, помещений, и других объектов и субъектов контроля. Их важной составляющей являются инженерные средства физической защиты, препятствующие своими физическими свойствами несанкционированному проникновению на объект или в охраняемую зону [1].

Одной из эффективных систем автоматизированного проектирования, объединяющей мощные параметрические возможности трёхмерного моделирования со средствами создания и оформления конструкторской документации является *T-FLEX CAD*. Данная система в течение многих лет успешно используется при разработке технических средств охраны одним из ведущих предприятий отрасли. Изначально создаваемая как параметрическая, система даёт возможность существенно снизить временные затраты, связанные с созданием трёхмерных моделей сборочных единиц. Это достигается за счёт использования единой объектной параметрической модели, что позволяет единообразно управлять любыми параметрами объектов.

Специфика разработки охранных систем предполагает частое использование покупных изделий, подразумевающих различные габаритные размеры и форму в зависимости от ситуации. Например, положение кнопки может быть отжатое или нажатое, тумблера – включенное или выключенное и т.д. Пример, показанный на рисунке 1, наглядно демонстрирует ситуацию, в которой конст-

руктор вынужден создавать различные трёхмерные модели покупного изделия в зависимости от толщины сопрягаемой детали.

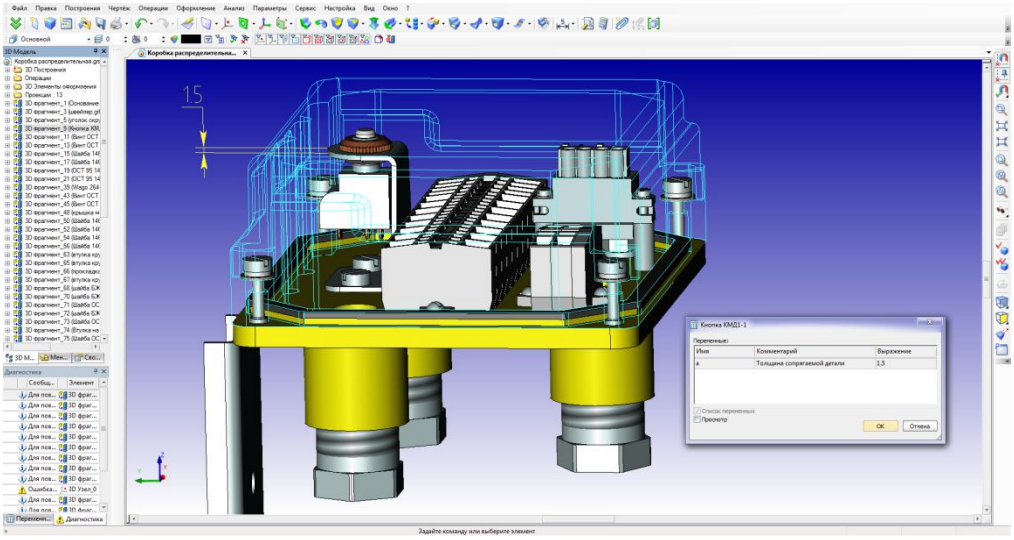


Рисунок 1 – Пример использования возможностей параметризации

Решением данной проблемы является использование внешних переменных, служащих для организации параметрической связи между сборочным документом и фрагментами. Значения внешних переменных, определённых во фрагменте, можно менять из сборочного документа [2]. В данном случае значение переменной есть расстояние между двумя гайкамипокупного изделия “Кнопка КМД1-1”, которое пользователь изменяет непосредственно в каждом из сборочных документов, в состав которых входит данное изделие. Для наглядности, переменным часто задают комментарий, здесь – ”Толщина сопрягаемой детали”. Для переменной*T-FLEX CAD* также можно задать список значений. Точнее – список выражений, поскольку список переменной может содержать любые значения, не обязательно константы. После этого значение любой переменной можно выбирать из созданного списка. Список создаётся в виде набора строк, содержащих требуемые константы или выражения. Поле ввода значения такой переменной будет содержать графическую кнопку, позволяющую вызвать список значений. Здесь – значения толщины листового проката(см. рисунок 2). В результате на экране появится список, в котором можно выбрать новое значение.

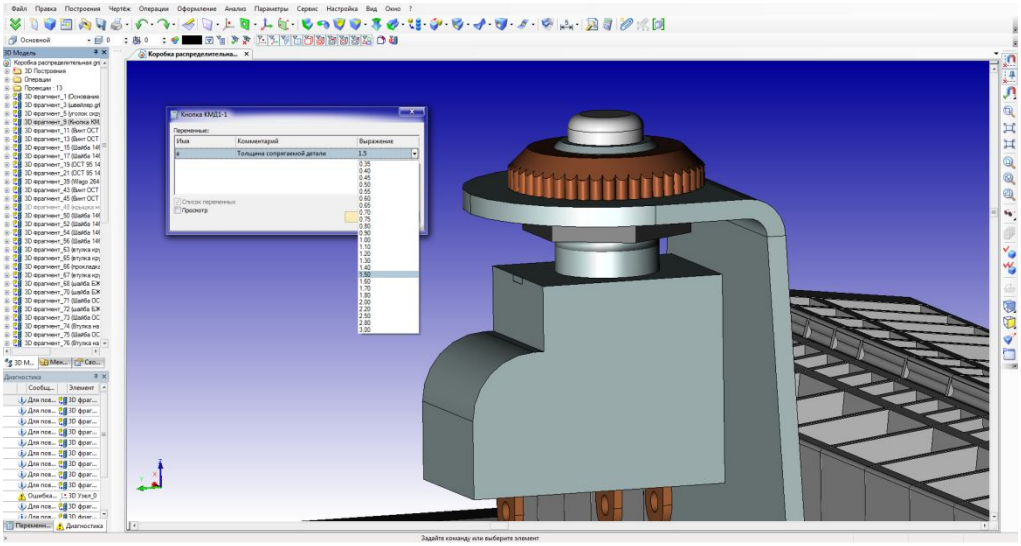


Рисунок 2 – Пример использования списка значений переменных

Таким образом, использование *T-FLEX CAD* сохраняет возможность использования одного единственного фрагмента – покупного изделия, что способствует более рациональному использованию ресурсов ЭВМ и рабочего времени специалиста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ Р 52551-2006 Системы охраны и безопасности. Термины и определения.*
2. *Максимов С. В., Протасова С. В. T-FlexCAD. Начальный курс: учебник.– Северодвинск, 2011. – 215 с.*

XXI век: итоги прошлого
и проблемы настоящего*плюс*

Периодическое научное издание

Серия: «Технические науки. Информационные технологии»

03(19)/2014

ISSN 2221-951X

Научный редактор С.Н. Волков
Компьютерная верстка Н. Хлопцевой

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии «КОПИ-РИЗО»
Пенза, ул. Московская, 74, к. 211. Тел. 56-25-09.
e-mail: tipograf_popovamg@inbox.ru

Сдано в производство 11.06.2014. Формат 70X108 1/16
Бумага типогр. №1. Печать ризография. Шрифт TimesNewRoman.
Усл. печ. л. 9,0. Уч. изд. л. 9,7. Заказ № 775. Тираж 100 экз.

ческий университет.
л. Гагарина, 1а/11.