

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-0064

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

Научно-технический журнал

Основан в 1997 г.

№ 4(67), октябрь – декабрь 2014

Выходит 4 раза в год

© Харьковский национальный
университет радиоэлектроники, 2014

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12097-968 ПР 14.12.2006

РИ, 2014, № 4

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОТЕХНИКА

БОРОДКИНА А.Н., СЛИПЧЕНКО Н.И. СВЧ ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ГИПЕРТОНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ.....	3
---	---

ЭЛЕКТРОНИКА

ПИСАРЕНКО Д.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ КОНКУРЕНЦИИ ВИДОВ КОЛЕБАНИЙ.....	8
ОКСАНИЧ А.П., КОГДАСЬ М.Г., АНДРОСЮК М.С. МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРНОГО СОВЕРШЕНСТВА ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО GAAS ДИАМЕТРОМ 100 ММ.....	11

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

БАРАННИК В.В., ОТМАН ШАДИ О.Ю., СТАСЕВ С.Ю., МУСИЕНКО А.П. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖКИ НА ОБРАБОТКУ БАЗОВЫХ КАДРОВ ВИДЕОПОТОКА ДЛЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	15
ХАРЧЕНКО Н.А. МЕТОД КОРРЕКТИРОВКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИДЕОПОТОКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ.....	20

СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ

ПОПОВ В.М., НОВОЖИЛОВА М.В. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ С ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫМИ ОБЪЕКТАМИ.....	25
ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., ЭЗЕ Ф.М. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ.....	29
ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., БАТУРА Е.С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	35

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

БАРАННИК В.В., БЕКИРОВ А.Э., БАРАННИК Д.В. СТЕГАНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ НЕРАВНОВЕСНОГО ПОЗИЦИОННОГО КОДИРОВАНИЯ.....	39
САПОЖНИКОВ В. В., САПОЖНИКОВ ВЛ. В., ЕФАНОВ Д. В. ПОСТРОЕНИЕ КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ С НАИМЕНЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ НЕОБНАРУЖИВАЕМЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ОШИБОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЕКТОРАХ.....	46
ХАХАНОВ В.И., МИЩЕНКО А.С., ЧУМАЧЕНКО С.В., ЗАЙЧЕНКО С.А. КИБЕРСЕРВИСЫ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСИТЕТОМ.....	56

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

БАРАННИК В.В., РЯБУХА Ю.Н. МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНО-ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ.....	62
--	----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

КОВАЛЕНКО А.А., ПАНКРАТОВ А.В., РОМАНОВА Т.Е., СТЕЦЮК П.И. БАЛАНСНАЯ КОМПОНОВКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ.....	69
ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., ОВЕРЧУК Ю.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТОВАРООБОРОТА ПРЕДПРИЯТИЯ.....	79
РУСТИНОВ В.А., СОРОКИН А.Р. КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	83

РЕФЕРАТИ.....	89
---------------	----

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА.....	93
---	----



**СВЧ ИССЛЕДОВАНИЕ
БИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ
ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ
ГИПЕРТОНИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ***БОРОДКИНА А.Н., СЛИПЧЕНКО Н.И.*

Проводится обзор современных представлений об изменении соотношения свободной и связанной воды биологических жидкостей пациентов. Показывается зависимость диэлектрической проницаемости проб от состояния пациентов и эффективности воздействия лекарственных препаратов. Формулируются требования к конструкции СВЧ датчиков, предназначенных для работы в приборах оперативной диагностики. Показывается, что наиболее эффективными являются четвертьволновые резонаторные преобразователи с коаксиальной измерительной апертурой.

Введение

Болезни сердечно-сосудистой системы в мире, в том числе в Украине, лидируют в структуре смертности населения. По данным Государственной службы статистики, в 2013 году в Украине половина смертей обусловлена сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ) [1]. Достижения современной науки позволяют четко прогнозировать возможности развития сердечно-сосудистых заболеваний и их осложнения, в том числе летальные [2]. В последнее время продемонстрирована способность ряда препаратов снижать общую смертность от ССЗ. Некоторые способы лекарственного воздействия оказались даже сравнимыми по эффективности с результатами хирургического лечения [3]. Многие исследования показали неэффективность или даже опасность терапии препаратами, долгое время применявшимися в медицине [4].

На сегодняшний день имеется избыток лекарственных препаратов, поэтому не для каждого из них проводят рандомизированные контролируемые исследования, в которых изучается возможность тех или иных препаратов воздействовать на так называемые «жесткие точки» – общую смертность и смертность от ССЗ [5-7]. На Западе появился термин, отражающий вольную интерпретацию данных доказательной медицины и ничем не обоснованное перенесение свойств одного препарата (хорошо доказанных) на другой препарат той же группы (который мог вообще не изучаться в этом качестве). Этот термин звучит как “Me too drugs”, что можно перевести как “И мы такие же”. Однако знакомство с доказательной базой различных препаратов внутри класса относи-

тельно их возможности влиять на прогноз заболевания убеждает, что это далеко не так [8].

Поэтому актуальным является разработка методик диагностики, выбор путей лечения и простой в обращении и клинической практике аппаратуры для ее реализации.

Целью данной работы является выбор и обоснование путей создания эффективной, удобной в клинической практике аппаратуры для исследований состояния пациентов с ССЗ.

1. Анализ современных медико-биологических исследований методики СВЧ диагностики ССЗ

В медицине большое значение имеет определение содержания в биологических жидкостях гормонов, медиаторов, их метаболитов при различных состояниях человека с учетом фона разных воздействий. Функциональное состояние рецепторного аппарата, который является точкой приложения действия биологически активных веществ, в том числе и гормонов, можно оценить опосредованно по результатам фармакологических проб [9].

Оценить работу системы регуляции клеток можно путем изучения функциональной активности мембранно-рецепторного комплекса [10]. Состояние рецепторных структур клетки соответствует функциональной активности гормон-рецепторных взаимодействий, изменяет активность аденилатциклазной системы (АЦС) – универсальной для всех типов клеток системы передачи сигнала от гормонов, медиаторов, большого количества фармакологических агентов и т.д. [11,12]. В свою очередь симпато-адреналовая система подлежит контролю, например, при различных формах артериальной гипертензии в силу ее прямого отношения к механизму формирования сосудистого тонуса [13,14].

Среди множества элементов биоматериала, вносящих вклад в релаксационный процесс при воздействии СВЧ излучения, наибольшим влиянием обладает свободная вода, которая и является своеобразным маркером [15]. В отличие от воды, связанной в макромолекулах биологического происхождения, частоты релаксации свободной воды лежат в СВЧ диапазоне [16-18]. Степень включения воды в макромолекулы в свою очередь связана с состоянием клеток пациента, которое зависит от естественных факторов и вводимых лекарственных препаратов. Эта связь весьма сложна и еще не полностью изучена. Тем не менее, существование основных ее элементов подтверждено многочисленными исследованиями [19,20].

Известно, что при сердечно-сосудистых заболеваниях: гипертонической болезни, ишемической болезни сердца, сердечной недостаточности – происходит постепенная десенситизация и уменьшение количества в-адренорецепторов из-за длительного активирующего действия повышенных концентраций нейrogормонов и уменьшения количества жизнеспособных клеток миокарда. (формирования кардиофиброза, про-

цессов апоптоза или некроза). Клинически это проявляется усугублением симптомов и прогрессированием заболевания, снижением эффективности действия лекарственных средств [21].

Комплексный подход, сочетающий диэлектрметрию в СВЧ диапазоне радиоволн и традиционные подходы к изучению гормон-рецепторной регуляции, является альтернативой исследованиям адренорецепторного состояния клеток *in vitro* и имеет некоторые преимущества [22,23]. В отличие от многих традиционных методов исследования, применяемых в биологии и медицине, этот комплексный подход дает возможность изучать биообъекты без разрушения их структуры в реальном времени.

Анализ систем регуляции клеток производится путем оценки функциональной активности мембранно-рецепторного комплекса нативной клетки по диэлектрическим параметрам биологической жидкости при направленном действии специфических биорегуляторов относительно контрольных (интактных) образцов, без добавления стимуляторов. Моделью для исследования молекулярных механизмов управляющих систем клеток выбраны эритроциты человека, что обусловлено наличием в их мембране адренорецепторов, функционально и структурно похожих на адренорецепторы клеток миокарда, сосудов и многих других органов [24]. Использование клинического материала пациента в микроколичествах при стимуляции клетки различными концентрациями катехоламинов и их блокаторами, действие которых связано с АЦС, позволяет определить порог чувствительности клеток органов конкретного пациента к данной дозе препарата.

Сказанное выше подтверждает правильность выбранного подхода.

2. Современное состояние СВЧ средств диагностики ССЗ

Имеются обширные литературные данные, касающиеся методов измерения диэлектрической проницаемости биологических веществ или веществ, близких к ним по свойствам [25-27]. Это позволило проанализировать применяемые аппаратные решения и проследить наиболее перспективные пути их развития [28,29].

Наиболее полным аналогом данной работы являются исследования, проведенные в Институте радиоп физики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины [30]. Для проведения автоматизированных измерений выбран метод, в котором применяется многозондовая измерительная линия (МИЛ). МИЛ фактически является заменой традиционной измерительной линии с подвижным зондом и хорошо оптимизируется для измерений на одной фиксированной частоте [31]. К тому же отсутствие блоков ФАПЧ и частотных преобразований значительно упрощает реализацию электронной части устройства.

В ходе этих исследований в ИРЭ был разработан и создан автоматизированный СВЧ-рефлектометр. В СВЧ генераторе использован диод Ганна. Генератор стабилизирован по напряжению и по частоте с помощью объемного резонатора [32]. Рабочая частота фиксирована и составляет 39,5 ГГц. В четырехзондовой измерительной линии из-за малой длины волны (λ) зонды смещены на 2λ относительно друг друга, предусмотрена индивидуальная настройка переходного ослабления. В качестве детекторов использованы диоды с барьером Шоттки. Для уменьшения помех использован метод синхронного детектирования, предварительная обработка сигналов зондов производится микроконтроллером. Далее информация поступает на персональный компьютер.

К этому аппаратно-программному комплексу были разработаны методики тестирования управляющих систем клеток крови в условиях покоя и психофизической нагрузки, которые моделируют состояние стресса организма на клеточном уровне, оценки действия лекарственных средств на больных с кардиальной патологией и индивидуального подбора лекарственных средств на клеточном материале пациентов. Разработанные методики направлены на внедрение экспресс-тестов по оценке функциональной чувствительности клеток крови адреналина и фармацевтических лекарственных препаратов, применяемых в медицинской практике при терапии сердечно-сосудистых заболеваний различной этиологии, и могут быть новым направлением в диагностике ССЗ на ранних стадиях их развития. Методика оценки действия кардиофармацевтических препаратов позволяет учитывать чувствительность пациентов к лекарственным средствам при их индивидуальном назначении в медицинской практике. Она дает возможность врачу улучшить качество лечения кардиальных патологий и сократить время для принятия оперативного решения, а также уменьшить риск возникновения побочного действия предлагаемых лекарственных средств.

К недостаткам аппаратного комплекса можно отнести значительный объем биологической жидкости, что обуславливает большую стрессовую нагрузку пациентов. Кроме того, фиксированная частота измерений не позволяет извлечь всю информацию, содержащуюся в изменении диэлектрической проницаемости биообъекта.

3. Выбор и обоснование требований к перспективным средствам СВЧ диагностики

Из сказанного выше очевидно, что СВЧ контроль может быть эффективным дополнением к традиционным методам контроля состояния пациентов с кардиологическими патологиями. Для этого необходимо создание специализированной диагностической аппаратуры, поскольку стандартные промышленные измерительные приборы имеют большую стоимость при заведомо избыточной функциональности. При создании специфической, мелкосерийной аппаратуры существенную роль играет снижения стоимости разра-

ботки. Таким образом, возникла необходимость провести ряд исследований, чтобы ответить на ряд конкретных вопросов. Среди них особенно важно отметить следующие:

1. Обоснование и выбор типа и конструкции СВЧ измерителя, позволяющего повысить информативность измерений и уменьшить объем биологической жидкости до уровня, ограничиваемого клиническими критериями.
2. Обеспечение измерений в широком диапазоне частот, который лежит в области частот релаксации свободной и связанной воды.
3. Разработка методики, обеспечивающей исключение основных погрешностей теоретической калибровки, в частности, с помощью критериев аппаратных погрешностей и необходимой точности измерений в клинических условиях.
4. Анализ процедуры получения конечных результатов и их самих для создания модели, позволяющей реализовать вычисление свойств СВЧ измерителя со сложной структурой. Создание совершенной модели, которая обеспечивает дальнейшую модернизацию сенсоров.
5. Разработка процедуры и алгоритма численного решения задачи расчета параметров СВЧ измерителя.

4. Перспективы использования четвертьволновых резонаторных датчиков

Наиболее информативные методы определения соотношения связанной и свободной воды предполагают проведение измерений в частотном диапазоне релаксации молекул воды, т.е. вблизи частоты 10 ГГц [25-27]. Однако для проведения СВЧ измерений необходимо строго выдерживать размеры образца, его положение в измерительном устройстве.

Для измерений в этом частотном диапазоне используются волноводные методы, резонаторные методы и методы свободного пространства [33,34]. Методы свободного пространства применяются для измерения параметров объектов больших размеров. Волноводные методы также требуют образцов, размеры которых соизмеримы с длиной волны. Резонаторные методы наиболее чувствительны к изменению параметров образцов малых размеров. Это позволяет уменьшить объем биожидкости при сохранении необходимой точности измерений. Поэтому они наиболее пригодны в клинической практике, поскольку уменьшение объемов биожидкости снижает стрессовую нагрузку пациентов. Объемные резонаторы обеспечивают высокую точность, но требуют внутреннего размещения образца, что неудобно для поточных измерений. Четвертьволновые коаксиальные резонаторные измерительные преобразователи (РИП) через коаксиальную измерительную апертуру (КИА) сообщаются с окружающим пространством. При этом они также обеспечивают достаточную точность измерений [35, 36]. Кроме того, возможна теоретическая калибровка

сенсоров на основе РИП с КИА [37-40]. Они обладают возможностью локальной концентрации поля в заданном объеме образца, широким частотным диапазоном.

Использование КИА малого диаметра позволяет уменьшить требуемый объем биожидкости и, соответственно, существенно снизить стрессовую нагрузку пациентов. Практически размеры КИА можно уменьшать до микронного уровня, поэтому объем биожидкости ограничивается биологическими критериями.

Наружное помещение образца наиболее удобно при проведении поточных клинических исследований.

Изменением индуктивной части резонатора можно изменять рабочую частоту в широком диапазоне.

Также в настоящее время хорошо развиты методы и средства извлечения информации с помощью таких резонаторных сенсоров [41].

Выводы

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время существуют принципиальные возможности для создания устройств экспресс-контроля кардиологических патологий и определения оптимальных путей их лечения.

Исследования функциональных связей между состоянием сердечно-сосудистой системы и электрофизическими свойствами биологических жидкостей человека в СВЧ диапазоне показывают высокую степень корреляции, что открывает возможность для практической диагностики. Наличие функциональных связей подтверждается физически обоснованной моделью изменения состояний гидратного окружения макромолекул мембранного комплекса, идентичного для клеток сосудов, миокарда, эритроцитов.

Медицинские наблюдения, имеющие длительную историю развития, выявили общие закономерности воздействия лекарственных препаратов. Дальнейшие исследования позволили детализировать характер воздействия препаратов, относящихся к различным группам, и, соответственно, реакцию конкретных пациентов. Это является базой аналитической диагностики, основанной на использовании биологических жидкостей пациентов и позволяющей определить оптимальные пути лечения. Специальные исследования подтвердили связь между электрофизическими свойствами биожидкости при наличии или отсутствии кардиальных патологий, а также специфику воздействия биологически активных веществ на биоматериал конкретных пациентов.

В настоящее время широко распространены СВЧ датчики параметров веществ. Несмотря на то, что СВЧ измерения носят косвенный характер, датчики способны обладать высокой информативностью. Обеспечивается это благодаря тому, что релаксационные свойства молекул веществ лежат в СВЧ диапазоне или вблизи него. Поэтому контрольно-измерительная аппаратура СВЧ диапазона представляет интерес в

широком спектре исследований в различных областях медицины и биологии.

Существенным преимуществом СВЧ датчиков является принципиальная возможность проведения их строгого математического моделирования. Принципиальная возможность аналитического описания весьма сложных конструкций СВЧ обеспечена высокой степенью соответствия математических выражений параметрам реальных конструкций при координатных геометрических границах. Это открывает пути значительного упрощения процесса разработки, что особенно важно при конструировании устройств, предназначенных для выпуска сравнительно мелкими сериями, при которых цена проектирования вносит существенный вклад в общую цену готовых изделий. Однако создание строгой математической модели, особенно на основе аналитических представлений является весьма сложным процессом, а результирующие выражения получаются крайне громоздкими, что существенно усложняет их использование для создания расчетных алгоритмов и программ. Поэтому перед исследователями стоят актуальные задачи поиска путей совершенствования методов составления программ и разработки алгоритмов, обеспечивающих упрощение и уточнение расчетов конкретных групп СВЧ устройств.

Литература: 1. Горбань І.М. Високий серцево-судинний ризик населення України: вирок чи точка відліку / І.М. Горбань. // Львівський клінічний вісник. 2013. № 3 (3). С. 45-48. 2. Каюденко Б.Г., Стратницікий Д.А. Профилактика кардиологических заболеваний. Харьков: Фактор, 2006. 212 с. 3. Blumenthal RS, Cohn G, Schulman SP. Medical therapy versus coronary angioplasty in stable coronary artery disease: a critical review of the literature. J Amer Coll Cardiol 2000; 36: 668-73. 4. Оганов Р.Г., Марцевич С.Ю. Лекарственная терапия сердечно-сосудистых заболеваний: данные доказательной медицины и реальная клиническая практика // Российский кардиологический журнал. 2001; 4:8-11. 5. Лапач С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С.Н. Лапач, А.В. Чубенко, П.Н. Бабич. К.: МОРИОН, 2000.—320 с. 6. Гельман В.Я. Медицинская информатика. СПб.: Питер, 2002. 362 с. 7. Эльянов М.М. Медицинские информационные технологии. М.: Третья медицина, 2006. 240 с. 8. Furberg C. Class effect. Are drugs within a class interchangeable? / C. Furberg, D. Herrington, В.М. Psaty // Lancet. 1999. №354. P. 1202-1204. 9. Авакян О.М. Фармакологическая регуляция функции адренорецепторов. / О.М. Авакян // М.: Медицина. 1988. 256 с. 10. Введение в биомембранологию / Под ред. А.А. Болдырева. М.: Изд-во МГУ, 1990. 208с. 11. Стрюк Р.И. Адренореактивность и сердечно-сосудистая система/ Стрюк Р.И., Длусская И.Г. // М.: Медицина. 2003. 160с. 12. Щеголева Т.Ю. Функциональная система связей аденилатциклазного комплекса эритроцитов / Т.Ю. Щеголева // Успехи современной биологии. 1997. 117. 4. С. 442-454. 13. Бунова С.С. Артериальная гипертензия и адренореактивность: особенности у больных с ожирением./ Бунова С.С., Остапенко В.А., Николаев Н.А., Нелидова А.В., Кузюкова А.А., Трошкина Т.Г., Москвина Ю.В. // Бюллетень СО РАМН. №1 (129). 2008. С.77-81. 14. Шоикимова Д.У. Адренорецепция клеточных мембран у беременных с нарушениями сердеч-

ного ритма./ Шоикимова Д.У. // Автореф...канд. мед. наук. 2008. 15. Щеголева Т.Ю. Метод КВЧ диэлектрометрии для контроля загрязнений водоемов поверхностью активными веществами / Т.Ю. Щеголева, Т.В. Паршикова, Е.А. Ружельник, Н.В. Брюзгинова, Б.Р. Масюк, П.С. Красов // Радиопизика и электроника. 2007. №2. С 435-438. 16. Jian-Zhong Bao. Microwave dielectric characterization of binary mixtures of water, methanol, and ethanol./ Jian-Zhong Bao, Mays L. Swicord, Christopher C. Davis // J. Chem. Phys. 104. 12. 22 March 1996. P. 4441-4450. 17. Satoru Mashimo. Structures of water and primary alcohol studied by microwave dielectric analyses./ Satoru Mashimo // J. Chem. Phys. 95. 9. 1 November 1991. P. 6257-6260. 18. Behrends R.. Dielectric properties of glycerol/water mixtures at temperatures between 10°C and 50°C. / R. Behrends, K. Fuchs, and U. Kaatze, Y. Hayashi and Y. Feldman // J. Chem. Phys. 124. 144512. 5 December 2006. 19. Бриль Г. Е. Содержание структурного матрикса воды — ведущий механизм регуляции гомеостаза в живых системах / Бриль Г. Е., Петросян В. И., Синицын Н. И., Елкин В. А. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2000. № 2. С. 18–23. 20. Щеголева Т.Ю. Гидратное окружение и структура макромолекул / Т.Ю. Щеголева // Успехи современной биологии. 116. 6. 1996. С.700-714. 21. Колобова Е.В. Оценка в-адренореактивности эритроцитов по скорости их оседания на фоне адренергических средств/ Колобова Е.В., Дворянский С.А., Ноздрачев А.Д., Циркин В.И. // Доклады РАН. 1998. Т.358. № 5. С. 695-698. 22. Щеголева Т.Ю. Исследование биологических объектов в миллиметровом диапазоне радиоволн / Т.Ю. Щеголева // К.: Наукова думка. 1996. 182 с. 23. Висоцька О.В. Оцінка функціонального стану бета-адренорецепторів еритроцитів людини при артеріальній гіпертензії методом КВЧ-діелектрометрії / О.В. Висоцька, К.А. Архипова, П.С. Красов, А.П. Порван, А.І. Фісун // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2009. №6/7. С 17-21. 24. Щеголева Т.Ю. Функциональная система связей аденилатциклазного комплекса эритроцитов/ Т.Ю. Щеголева // Успехи современной биологии. 1997. 117. 4. С. 442-454. 25. Jian-Zhong Bao. Microwave dielectric characterization of binary mixtures of water, methanol, and ethanol./ Jian-Zhong Bao, Mays L. Swicord, Christopher C. Davis // J. Chem. Phys. 104. 12. 22 March 1996. P. 4441-4450. 26. Satoru Mashimo. Structures of water and primary alcohol studied by microwave dielectric analyses./ Satoru Mashimo // J. Chem. Phys. 95. 9. 1 November 1991. P. 6257-6260. 27. R. Behrends. Dielectric properties of glycerol/water mixtures at temperatures between 10°C and 50°C. / R. Behrends, K. Fuchs, and U. Kaatze, Y. Hayashi and Y. Feldman // J. Chem. Phys. 124. 144512. 5 December 2006. 28. Engen G. F. An improved circuit for implementing the six-port technique of microwave measurements./ G. F. Engen // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 1977. 12. P. 1080-1083. 29. Ulker S. A Millimeter-Wave Six-Port Reflectometer Based on the Sampled-Transmission Line Architecture./ S.Ulker, R. M.Weikle // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. 2001. 8. P. 340-342. 30. Krasov P.S. Instrument for measuring the complex permittivity of biological objects / P.S. Krasov, E.A. Arkhipova // Telecommunication and Radio Engineering. 2009. Vol.68, №8. P. 727-733. 31. Красов П.С. Одночастотный рефлектометр на основе четырехзондовой измерительной линии / П.С. Красов // Прикладная радиоэлектроника. 2008. №2. С. 188-191. 32. Булгаков Б.М. Квазиоптический полупроводниковый генератор с радиально-волноводным возбуждением / Б.М.Булгаков, В.Н.Скресанов, А.И.Фисун, А.И.Шубный // ПТЭ. 1987. 1.С.114-116. 33. Валитов Р.А. Радиотехнические измере-

ния / Р.А. Валитов // М.: Сов. радио, 1963. 632с. **34.** *Бондаренко И.К.* Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов / И.К.Бондаренко, Г.А.Дейнега, З.В.Маграчев // М.: Сов. радио. 1969. 304с. **35.** *Steinhauer D. E.* Quantitative imaging of sheet resistance with a scanning near-field microwave microscope. / Steinhauer D. E., Vlahacos C. P., Dutta S. K., Feenstra B. J., Wellstood F. C., Anlage S.M. // *Appl. Phys. Lett.* 1998. № 72. P. 861–863. **36.** *Гордиенко Ю.Е.* Свойства четвертьволнового коаксиального СВЧ измерительного преобразователя для диагностики материалов / Ю. Е.Гордиенко, В.В. Петров, Д. А.Полетаев // *Радиотехника.* 2008. № 154. С. 61–66. **37.** *Слипченко Н.И.* Волново-диэлектрические резонаторы сложной структуры. Аналитический расчет / Н.И. Слипченко // *Радиоэлектроника и информатика.* 2004. № 3. С. 9-13. **38.** *Слипченко Н.И.* Расчет цилиндрического резонатора с диэлектрической вставкой сложной структуры / Н.И. Слипченко // *Радиоэлектроника и информатика.* 2004. № 4. С. 18-20. **39.** *Panchenko A.Yu.* Modeling a Small Aperture Resonator Type Microwave Meter of Substance Parameters / A.Yu. Panchenko // *Telecommunications and Radio Engineering. Electrodynamics.* Begell Hous, Inc., New York, NY, (USA).

1998. Vol.52, N8.P. 118-121. **40.** *Гордиенко Ю.Е.* Теоретический анализ резонаторного СВЧ измерительного преобразователя тороидального типа / Ю.Е. Гордиенко, А.Ю. Панченко, А.А. Рябухин // *Радиотехника.* 2000. Вып. 113. С. 174-179. **41.** *Бондаренко И.Н.* Формирование сигналов сканирования в микроволновой микроскопии с резонаторным микрозондом. / И.Н.Бондаренко, Ю.Е. Гордиенко, С.Ю. Ларкин // *Радиотехника.* 2009. № 158. С. 59–67.

Поступила в редколлегию 12.10.2014

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Бондаренко И.Н.

Бородкина Анна Николаевна, аспирантка кафедры микроэлектронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: биофизика, радиофизика, СВЧ методы измерений, неразрушающий контроль. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-362.

Слипченко Николай Иванович, д-р физ.-мат. наук, проф., проректор по научной работе ХНУРЭ. Научные интересы: микроволновая микроскопия, микро- и оптоэлектроника, СВЧ-гигрометрия, приборостроение. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 7021-013.



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МАГНЕТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ КОНКУРЕНЦИИ ВИДОВ КОЛЕБАНИЙ

ПИСАРЕНКО Д.В.

Разрабатывается математическая модель магнетронного генератора для улучшения его свойств. Предлагается методика расчета спектров анодного тока. Изучаются процессы в электронном потоке.

1. Введение

В настоящее время большое внимание уделяется возможностям генерации хаотических сигналов с эквидистантным спектром. Это направление изменяет подход к разработке таких приборов, поскольку физические процессы при взаимодействии электронного потока с электромагнитной волной отличаются от процессов при генерации детерминированного одночастотного сигнала. Подход к выбору электродинамических характеристик кольцевых замедляющих систем, используемых в магнетронных генераторах, должен быть иным. Поэтому приходится прибегать к моделированию процессов в магнетронах в целях поиска путей решения поставленных задач. В электронике СВЧ приборов использование результатов компьютерного моделирования позволяет сократить время и стоимость разработки приборов, наметить новые пути повышения их эффективности. Большинство теоретических и экспериментальных исследований посвящено изучению работы магнетрона в одночастотном режиме. Однако насыщенность выходного спектра магнетрона свидетельствует о полигармоническом составе выходного сигнала, поскольку возможно возбуждение аксиальных колебаний пространственного заряда, заметно влияющих на генерацию. В работах Галагана А. В. и Терентьева А. А. рассматриваются процессы взаимодействия временных гармоник колебаний ВЧ поля с электронным потоком в предосцилляционном режиме, исследуются условия перескока с p -вида колебаний на $N/2-1$ – вид при разности частот колебаний около 40%. Однако в них не рассматриваются те физические условия, которые могли бы привести к регулируемым изменениям частоты генерации. При этом остаются проблемы, связанные с выяснением перескока видов колебаний в классических магнетронах и определением возможности двухчастотного режима генерации.

В связи с этим целью работы является выяснение условий возбуждения побочных видов колебаний с частотами, близкими к частоте колебаний p -вида, условий и причин перескока между видами колебаний, рассмотрение процессов в электронном потоке при конкуренции видов колебаний и перескоке между ними. Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- построить цилиндрическую многопериодную трехмерную модель магнетронного генератора, позволяющую исследовать основные процессы взаимодействия электронного потока с высокочастотным полем сложного спектрального состава;
- исследовать конкуренцию видов колебаний на фронте модулирующего импульса в многочастотном режиме;
- проанализировать спектры анодного тока и высокочастотного поля для таких режимов.

2. Многопериодная модель магнетронного генератора на основании метода “крупных частиц”

Рассмотрим 3D-цилиндрическую многопериодную модель магнетронного генератора, реализованную методом “крупных частиц”. Самосогласованная система модели включает в себя уравнения движения частиц

$$\begin{cases} \frac{\partial v_r}{\partial t} = |\eta| E_r + \frac{v_\varphi^2}{r} - \omega v_\varphi; \\ \frac{\partial v_\varphi}{\partial t} = |\eta| E_\varphi - 2 \frac{v_r v_\varphi}{r} + \omega v_r; \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} = |\eta| E_z. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь r, φ, z – координаты частицы в цилиндрической системе; v_r, v_φ, v_z – координатные составляющие скорости; E_r, E_φ, E_z – компоненты вектора суммарной напряженности ВЧ, кулоновского и статического полей; ω – частота циклотронных колебаний. Уравнения возбуждения для амплитуд и фаз высокочастотных полей представлены в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка

$$\begin{aligned} \left(\frac{dA_n}{dt} - \delta_n A_n \right) e^{-\delta_n t} &= -\frac{1}{\pi N_n \omega_n \varepsilon_0} \int_{t_n-T_n}^t \int_V \frac{\partial \mathbf{j}}{\partial t} \cdot \mathbf{e}_n dV \cdot \cos(\omega_n \tau + \psi_n) d\tau, \\ \frac{d\psi_n}{dt} &= -\frac{1}{\pi N_n \omega_n \varepsilon_0 A_n} \int_{t_n-T_n}^{t_0} \int_V \frac{\partial \mathbf{j}}{\partial t} \cdot \mathbf{e}_n dV \cdot \sin(\omega_n t + \psi_n) dt. \end{aligned} \quad (2)$$

где N_n – эквивалентная емкость n -го вида колебаний замедляющей системы; T_n – период колебаний с номером n ; \mathbf{j} – плотность возбуждающего тока; \mathbf{e}_n – структурная функция поля данного вида колебаний; Q_n – нагруженная добротность.

Если же усреднение производится по фундаментальному периоду и частоты сигналов несоизмеримы, амплитуда колебаний быстро увеличивается, запаздывание расчетных значений амплитуд заметно искажает их временные зависимости в переходном процессе, представляется целесообразным непосредственно решать уравнения возбуждения второго порядка для резонансной системы:

$$\frac{d^2 a_n}{dt^2} + \frac{\omega_n}{2Q_n} \frac{da_n}{dt} + \omega_n^2 = \frac{1}{N_n} \int_V \frac{\partial j}{\partial t} e_n dV, \quad (3)$$

где a_n – значение напряженности электрического поля n -го вида колебаний в плоскости анода (на ламелях замедляющей системы); e_n – структурная функция этого вида единичной амплитуды; j – плотность возбуждающего тока в пространстве взаимодействия.

Особенностью данного метода является то, что в правой части уравнения (3) фигурирует мгновенное значение возбуждающего тока, благодаря чему отпадает необходимость усреднения тока по времени.

Для цилиндрической модели магнетрона типичный вид структурных функций имеет вид

$$\begin{cases} e_r = -\frac{N\theta}{\pi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \gamma \left(\frac{\sin \gamma i}{\gamma \theta} \right) \frac{Z_\gamma(kr)}{Z'_\gamma(kr_a)} \sin(\gamma \varphi) \sin\left(\frac{\pi}{w} z\right); \\ e_z = -\frac{N\theta}{\pi} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left(\frac{\sin \gamma i}{\gamma \theta} \right) \frac{Z_\gamma(kr)}{Z'_\gamma(kr_a)} \cos(\gamma \varphi) \sin\left(\frac{\pi}{w} z\right), \end{cases} \quad (4)$$

где Z_γ, Z'_γ – комбинация функций Бесселя и Неймана

$$Z_\gamma(kr) = J_\gamma(kr) - \frac{J_\gamma(kr_k)}{N_\gamma(kr_k)} N_\gamma(kr);$$

$$Z'_\gamma(kr) = J'_\gamma(kr) - \frac{J'_\gamma(kr_k)}{N'_\gamma(kr_k)} N'_\gamma(kr),$$

N – количество резонаторов в замедляющей системе; $\gamma = n + mN$ – постоянная распространения; k – волновое число; θ – половинный размер щели резонатора.

3. Определение коэффициента вторичной эмиссии

Плотность тока частиц, эмитируемых с катода, задается в долях тока Ленгмюра цилиндрического диода в магнитном поле [2]

$$j_L = 0.44 j_L^* \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{B_{кр}}{B} \right)^2} \right) \left(\frac{B}{B_{кр}} \right)^2, \quad (5)$$

$j_L^* = 2.33 \times 10^{-6} U_a / \beta r_a$ – плотность тока Ленгмюра без учета магнитного поля; B и $B_{кр}$ – номинальная и критическая индукции магнитного поля; r_a – радиус анода; β – табулированная величина, зависящая от кривизны электродов прибора. В качестве предельно-

го значения используется термоэмиссионная способность катода (формула Ричардсона–Дешмана):

$$j_{m.э.} = A_R D T_k^2 \exp\left(\frac{\bar{\varphi}}{kT_k}\right) \exp\left(\frac{|q|^{3/2}}{kT_k} \sqrt{\frac{E_k}{2\pi\epsilon_0}}\right), \quad (6)$$

где A_R – постоянная Ричардсона; D – прозрачность потенциального барьера; T_k – абсолютная температура катода; q – заряд частицы; k – постоянная Больцмана, $\bar{\varphi}$ – работа выхода; E_k – напряженность электрического поля вблизи катода.

Для определения коэффициента вторичной эмиссии обычно используется формула Панышина:

$$\sigma = 1.57 \sigma_{max} \left(\frac{E_{кин}}{E_{max}} \right) \exp\left(-0.55 \frac{E_{кин}}{E_{max}}\right), \quad (7)$$

здесь σ_{max} – максимальный коэффициент вторичной эмиссии; $E_{кин}$ – кинетическая энергия первичной частицы; E_{max} – максимальная кинетическая энергия.

Электронный поток представляется совокупностью заряженных частиц-облаков (“крупных частиц”) объемом $dV = r dr d\varphi dz$, массой $m = M m_e$ и зарядом $q = M e$, где M – коэффициент укрупнения; m_e и e – соответственно масса и заряд электрона. Выбор этого коэффициента влияет на соотношение между точностью расчета и затратами основного ресурса ЭВМ – процессорного времени. Выбирается он таким образом, чтобы суммарный заряд всех частиц $N m_e$ и средняя плотность пространственного заряда $\rho = N m_e / V$ в модели были такими же, как и в моделируемой физической системе. Число частиц N в модели должно удовлетворять условию $N \gg n_d \gg 1$, $n_d = n_0 \lambda^3$ – дебаевское число, т. е. количество перекрытых облаков; λ – дебаевский радиус экранировки; n_0 – концентрация частиц в рассматриваемом объеме. M имеет порядок нескольких миллионов, при этом количество частиц примерно составляет тысячи на одну пару резонаторов магнетрона.

4. Решение уравнений движения электрона

Для решения уравнений движения выбран метод, сочетающий экстраполяционные формулы Адамса для скорости и степенные ряды для радиус-вектора. Этот метод вместо многократного вычисления правых частей предполагает лишь их запоминание на двух предыдущих шагах. Данный метод по точности не уступает методу Рунге-Кутты, однако дает почти двукратный выигрыш по времени за счет уменьшения числа операций, необходимых для вычисления правых частей уравнений движения. Метод решения дифференциальных уравнений используется и для решения уравнений возбуждения. Однако метод Рунге-Кутты применяется на трех первых шагах по времени для нахождения интеграла возбуждения на двух первых шагах интегрирования. С учетом квазистатического

приближения электрические поля в правой части уравнений движения рассматриваются как суперпозиция полей пространственного заряда, электростатического анодного поля и ВЧ поля электромагнитных колебаний. Сумма первых двух составляющих вычисляется дифференцированием потенциала, полученного из уравнения Пуассона для рассматриваемой 3D-цилиндрической области. Цилиндрическая конструкция пространства взаимодействия учитывается с помощью конформного отображения цилиндрической области на прямоугольную. Преобразованная система координат используется только для решения уравнений Лапласа и Пуассона, все остальные вычисления выполняются в цилиндрической системе координат. Выражения, описывающие преобразования координат, имеют следующий вид:

$$r = r_k \exp(k_y Y); \varphi = k_x X; z = k_z Z;$$

$$k_y = \frac{1}{M} \ln\left(\frac{r_a}{r_k}\right); k_x = \frac{2\pi}{pN}; k_z = \frac{h}{L}.$$

где X, Y, Z – преобразованные координаты; r_a, r_k, h – размеры рассматриваемой области пространства взаимодействия; M, N, L – числа разбиений сетки по координатам r, φ, z соответственно, p – коэффициент, равный отношению углового размера пространства взаимодействия прибора к рассматриваемому фундаментальному периоду. Считая известными кулоновские потенциалы и, следовательно, производные поля в преобразованной системе координат, алгоритм расчета напряженностей электрического поля внутри учитываемой области в цилиндрической системе координат можно разбить на следующие этапы:

– вычисляем координаты X, Y, Z частицы в преобразованной системе координат (исходя из цилиндрической системы координат r, φ, z):

$$X = \frac{\varphi}{k_x}, Y = \frac{\ln(r/r_k)}{k_y}, Z = \frac{z}{k_z}. \quad (8)$$

– заряд “размазываем” по 8 узлам; тогда результирующий заряд ячейки с номером m вычисляется как

$$q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N_m} q_i (1 - |X_i - x_m|)(1 - |Y_i - y_m|)(1 - |Z_i - z_m|), \quad (9)$$

где N_m – количество частиц, удаленных не более чем на одну ячейку сетки; q – заряд частицы; X, Y, Z – преобразованные координаты частицы; x, y, z – преобразованные координаты узла m ;

– заряды в узлах сетки заменяем вычисленными значениями потенциалов;

– сглаживаем кулоновское поле по 27 узлам методом наименьших квадратов;

– напряженности в цилиндрической системе координат определяем по уравнениям

$$E_r = \frac{E_r Y}{rk_y}; E_{\varphi} = \frac{E_{\varphi} X}{k_x}; E_z = \frac{E_z Z}{k_z}.$$

Для решения уравнений Лапласа и Пуассона используется метод Хокни, сочетающий преобразование Фурье и циклическую редукцию. Рассмотренная модель позволяет изучать широкий круг явлений в магнетронном генераторе, протекающих при взаимодействии электронного потока с высокочастотными волнами, имеющими сложный спектральный состав.

5. Выводы

В результате проведенных исследований построена многопериодная цилиндрическая 3D модель магнетронного генератора и разработана методика расчета спектров анодного тока. Модель позволяет исследовать широкий круг процессов, происходящих в магнетронном генераторе при взаимодействии электронного потока с высокочастотным полем сложного спектрального состава, прогнозировать появление нежелательных видов колебаний на выходе. Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная математическая модель взаимодействия электронного потока с полигармоническими сигналами разных видов колебаний позволяет вычислять основные выходные характеристики и спектральный состав выходного сигнала магнетронного генератора, предсказывать дополнительные условия появления низкочастотных составляющих в спектре генерации.

Литература: 1. *Магнетроны* сантиметрового диапазона: В 2 т. / Под ред. С.А. Зусмановского. М.: Сов. радио, 1950. Т. 1. 420 с. 2. Yu S.P., Kooyers G.P., Buneman O. Time-Dependent Computer Analysis of Electron-Wave Interaction in Crossed Fields // J. Applied Physics. 1965. Vol. 36, No. 8. P. 2550–2559.

Поступила в редколлегию 08.12.2014

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Грицунов А.В.

Писаренко Дмитрий Васильевич, аспирант кафедры физических основ электронной техники ХНУРЭ. Научные интересы: математическая физика, методы математического анализа, компьютерное моделирование, схемотехника. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРНОГО СОВЕРШЕНСТВА ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО GaAs ДИАМЕТРОМ 100 ММ

ОКСАНИЧ А.П., КОГДАСЬ М.Г.,
АНДРОСЮК М.С.

Экспериментально исследуется дислокационная структура монокристаллов GaAs (диаметром до 100 мм), выращенных методом Чохральского. Доказывается, что высокотемпературный отжиг приводит к снижению плотности дислокаций в 1,2-1,3 раза.

1. Введение

Арсенид галлия широко применяется в качестве оптического материала для линз и входных фильтров тепловизионных систем инфракрасной (ИК) техники. Функции этих систем включают регистрацию и обнаружение объектов, сбор информации, аэро- и космическую навигацию, теплопеленгацию и т.д. Преимуществом систем тепловидения по сравнению с другими пассивными электронно-оптическими системами является их способность работать в любое время суток в неблагоприятных погодных условиях. Для эффективного применения приборов тепловидения требуются оптически совершенные образцы с минимальными световыми потерями, минимальным рассеянием ИК излучения и максимальной оптической однородностью, работающие в диапазоне длин волн 1,5-12 мкм.

Применение арсенида галлия для изготовления оптических элементов инфракрасной техники обуславливает необходимость детального изучения влияния на оптические свойства, в частности, на рассеяние, дефектов кристаллической решетки материала (прежде всего дислокаций и малоугловых границ), а также внутренних напряжений в кристаллах. Рассеяние ИК излучения в арсениде галлия является причиной уменьшения контраста изображения и может приводить к существенному ослаблению светового потока. Кроме того, для высококачественных монокристаллов арсенида галлия величина рассеяния в области прозрачности сопоставима с поглощением, а для коротковолновых участков диапазонов прозрачности – вблизи краев фундаментального поглощения – даже может превосходить поглощение.

2. Постановка задачи

Изучением дефектов, в частности дислокаций, в полупроводниках занимались интенсивно и плодотворно в 60-80 годах прошедшего столетия, опубликовано значительное число работ. На этом этапе были установлены основные свойства “чистых” дислокаций (т.е. дислокаций, почти не содержащих атомов примесей). Научились получать бездислокационный кремний и избегать генерации дислокаций в процес-

се. Новая волна интереса к дислокациям определяется несколькими причинами, основные из них: в ряде случаев дислокации в кристаллах необходимы; материал с наличием дефектов (в том числе и дислокациями) может быть существенно более дешевым в производстве, обладая относительно высокими техническими параметрами (свойствами).

Ранее проведенные теоретические разработки не смогли достаточным образом описать реальную дислокационную структуру монокристаллов: нет однозначной количественной связи напряжений и плотности дислокаций, не достаточно определена взаимосвязь влияния осевого и радиального температурных градиентов на дислокационную структуру, почти не рассмотрено влияние температурной обработки на дислокации и дислокационные дефекты. Создание новых технологий и совершенствование известных привело к существенному повышению структурного качества кристаллов, увеличению размеров выращиваемых кристаллов. Возникают новые применения материала с новыми свойствами. Все в целом ставит проблему изучения дислокаций и дислокационной структуры, их влияния на свойства арсенида галлия на новый уровень.

Целью данной работы является исследование условий возникновения дислокаций и дислокационных дефектов в монокристаллах арсенида галлия. В связи с этим были поставлены следующие основные задачи:

- исследование дислокационной структуры монокристаллов полуизолирующего арсенида галлия, применяемых в ИК оптике;
- исследование влияния высокотемпературного отжига на дислокационную структуру монокристаллов полуизолирующего арсенида галлия;

3. Исследование распределения плотности дислокаций в пластине GaAs диаметром 100 мм

Все дефекты, присутствующие в полупроводниках, можно разделить на несколько категорий по их размерам и форме: нульмерные, одномерные, плоские и объемные. Существует несколько типов точечных или нульмерных дефектов: вакансии и собственные межузельные атомы, примесные атомы в позициях замещения и в межузлиях (соответственно замещения и внедрения). Собственные точечные дефекты являются равновесными дефектами и становятся неравновесными, если вводятся облучением или закалкой. Собственные точечные дефекты имеют наименьшие по сравнению с другими дефектами размеры (порядка атомных размеров) и вызывают незначительные искажения в решетке. Поэтому эти дефекты очень трудно наблюдать непосредственно. Однако их присутствие может заметно влиять на атомные процессы диффузии, а следовательно и на процессы, зависящие от времени, например на преципитацию примесей. Преципитаты, в свою очередь, могут существенно изменить электрические свойства материала, а создаваемые ими локальные поля деформации – механические свойства материала [1].

Дислокации – одномерный дефект кристаллической решетки. Дислокационная линия не прерывается в кристалле, а всегда заканчивается на поверхностях раздела, которыми могут служить включения, границы зерен или поверхность кристалла. Таким образом, размеры дислокаций в одном измерении могут достигать размеров кристалла, а в другом – перпендикулярном к линии дислокации – находятся на атомном уровне. Дислокации играют значительную роль в процессах пластичности. Велико их влияние и на электрические свойства полупроводниковых материалов и структур. Взаимодействуя с собственными точечными дефектами и примесями, дислокации локально изменяют концентрацию последних. В свою очередь, это взаимодействие отражается на скорости перемещения дислокаций в процессе пластической деформации.

Выбор определенного метода для наблюдения того или иного дефекта определяется соотношением размеров дефектов и разрешающей способности метода и механизмом формирования контраста на дефектах, знание которого позволяет правильно интерпретировать результаты наблюдений и, следовательно, получать наиболее полную информацию о дефектах.

Методы визуализации дислокаций в полупроводниках могут быть классифицированы следующим образом:

- 1) выявление мест выхода дислокаций на поверхность кристалла с помощью избирательного травления и наблюдения в оптическом микроскопе;
- 2) наблюдение дислокаций в объеме кристалла:
 - в инфракрасной области спектра,
 - с помощью рентгеновских лучей,
 - электронно-микроскопически на просвет,
 - с помощью сканирующей электронной микроскопии в режиме наведенного тока.

Среди различных методов наблюдения дислокаций метод селективного травления и световой микроскопии нашел широкое применение вследствие своей простоты и доступности. Разрешение этого метода достигает $\sim 0,5$ мкм, что является вполне достаточным для наблюдения фигур травления на таких дефектах, как дислокации, дефекты упаковки, скопления кластеров точечных дефектов. Контраст на дефектах в световой микроскопии связан с изменением интенсивности отраженного света от деталей поверхности, имеющих разный наклон в области фигур травления на дефектах, выявленных химическим избирательным травлением.

Метод оптической микроскопии позволяет надежно обнаружить дислокации, возникающие как при росте монокристаллов полупроводниковых материалов, так и при их обработке в процессе изготовления приборов. Установление однозначного соответствия между дислокациями и ямками травления дало возможность исследовать основные свойства дислокаций в полу-

проводниковых кристаллах, определяющие их поведение при механических и термодиффузионных обработках материала в процессе изготовления полупроводниковых приборов.

Исследование распределения плотности дислокаций проводилось на пластинах GaAs диаметром 100 мм. вырезанных из верхней, нижней и средней частей слитка, выращенных методом Чохральского в направлении (100).

Для выявления ямок травления были выбраны специальные полирующие и селективные травители. В качестве полирующего травителя использовали состав $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH}:\text{KBr}$. В качестве селективного травителя применялся состав $\text{KOH}:\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6:\text{H}_2\text{O}$. Травление проводилось 5 мин. в кварцевом стакане при температуре 82°C .

Для наблюдения и регистрации изображений поверхности образцов использовался микроинтерферометр МИИ-4, снабженный видеокамерой, подключенной к ПЭВМ.

Измерения производились по всей поверхности пластины, по основным кристаллографическим направлениям с шагом 5 мм.

Проведенные опыты показали, что результаты селективного травления GaAs заметно варьируют как от кристалла к кристаллу, так и при переполировках одного и того же образца. Нестабильность процесса обусловлена в первую очередь трудно контролируемые изменениями температуры образца и состава растворов для химической полировки и травления. К числу артефактов относятся фигуры травления и рельеф поверхности, не связанные с дислокационной структурой материала, а также слияние дислокационных ямок травления между собой.

Полученные результаты измерений представлены на рис. 1-3.

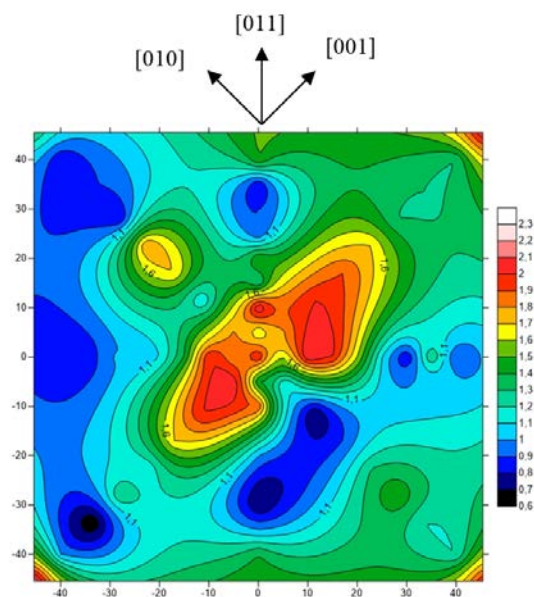


Рис. 1. Распределение плотности дислокаций в пластине GaAs из нижней части слитка

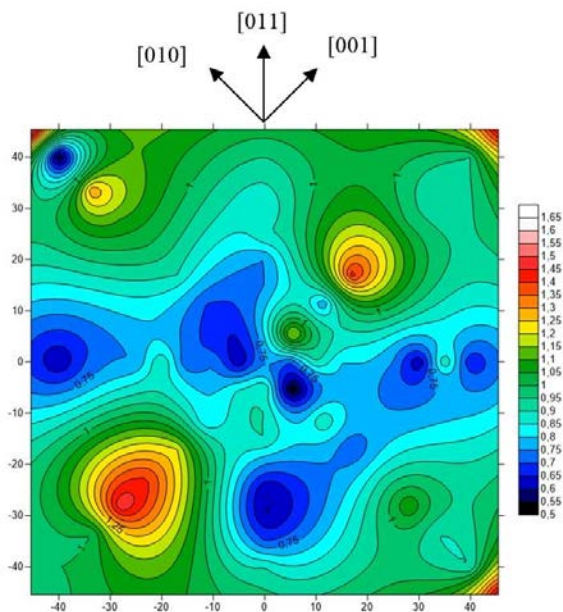


Рис. 2. Распределение плотности дислокаций в пластине GaAs из средней части слитка

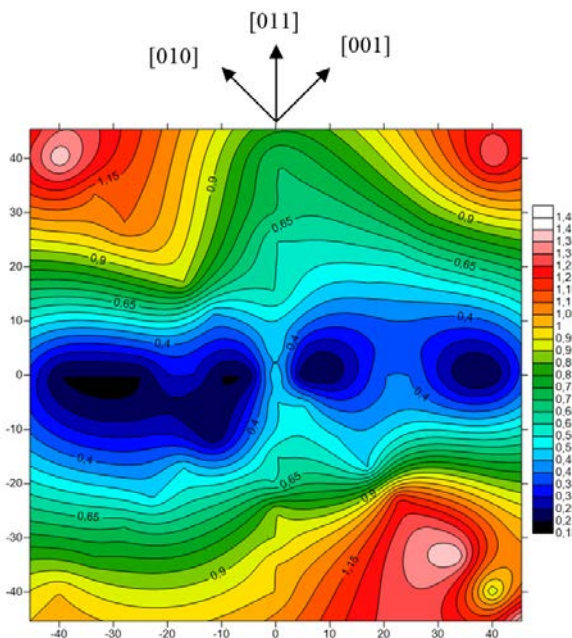


Рис. 3. Распределение плотности дислокаций в пластине GaAs из верхней части слитка

Как видно из рис. 1–3, в пластине, вырезанной из нижней части слитка (см. рис. 1), самая большая плотность дислокаций, которая достигает $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. В пластине, вырезанной из середины слитка (см. рис. 2), плотность дислокаций снижается почти в половину: $1,6 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. В пластине, вырезанной из верхней части слитка (см. рис. 3), самая низкая плотность дислокаций: $1,1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$. Если сравнивать ее с плотностью дислокаций в нижней части слитка, то она снизилась почти в два раза.

Также из рис. 1–3 видно, что плотность дислокаций носит островковый характер. Островки распределены вдоль определенных кристаллографических направлений $\langle 001 \rangle$, а вдоль направлений $\langle 011 \rangle$ плотность имеет достаточно малые значения.

Совокупность структурных дефектов в арсениде галлия в виде дислокаций приводит к локальным неоднородностям диэлектрической проницаемости (фотоупругости) и является источниками различных оптических аномалий.

Дислокации, образующиеся под воздействием термоупругих напряжений [2], которые, в свою очередь, являются следствием неоднородного распределения температур, являются основным источником оптических аномалий в GaAs. Снижение концентрации структурных дефектов при выращивании слитков GaAs большого диаметра возможно при автоматическом регулировании, прежде всего, температурных условий роста – температурных градиентов и переохлаждения в расплаве; контроле формы фронта кристаллизации, автоматическом поддержании диаметра растущего слитка с большой точностью.

Также неравномерное распределение плотности дислокаций в пластинках GaAs большого диаметра приводит к двулучепреломлению, что для кубических монокристаллов означает проявление анизотропии показателя преломления, что подтверждается результатами наших исследований.

4. Исследование влияния высокотемпературного отжига на плотность дислокаций в пластинках GaAs, легированных хромом

В большинстве технологических процессов производства приборов на основе GaAs применяется термическая обработка. Известно, что такие меры приводят к изменениям в свойствах кристалла, вызванных процессами релаксации механических напряжений в них, созданию и перераспределению структурных дефектов в процессе термической обработки [3–5].

Это особенно актуально для пластин полуизолирующего арсенида галлия большого диаметра, для которого является гетерогенным распределение электрических характеристик и механических напряжений по диаметру [3].

Кристаллы полуизолирующего арсенида галлия помещались в специально разработанные вакуумные печи. Образцы размещались в кварцевом контейнере, который был установлен в кварцевой трубе, подключенной к вакуумной системе. После откачки до давления $\sim 10^{-2}$ Па производился отжиг при температуре 550°C на протяжении 30 минут.

Выбор режимов термического отжига обусловлен следующими соображениями. Во-первых, как было показано в [6], отжиги до температур ниже 600°C на протяжении времени $t < 3$ часа не имеют существенного влияния на поверхность кристалла GaAs. При более высоких температурах отжига поверхность кристалла необходимо защищать слоем диэлектрика, чтобы предотвратить выход As из образца. Во-вторых, интервал температур $400 - 600^\circ\text{C}$ является оптимальным с точки зрения существенного изменения свойств кристаллов GaAs, не только при долгосрочных отжигах [7], но и во время быстрого теплового отжига [8].

Результаты исследования дислокационной структуры после отжига показали уменьшение средней плотности дислокаций, но распределение дислокаций по сечению в этом случае оказалось неравномерным.

Высокотемпературный отжиг пластин GaAs привел к снижению плотности дислокаций в 1,2-1,3 раза (таблица). Максимальные оптические аномалии фиксировались в областях с максимальной плотностью дислокаций.

Образец	Время отжига		
	20мин	30мин	40мин
Верх слитка	$1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$	$0,9 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$	$0,8 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$
Средина слитка	$1,4 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$	$1,3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$	$1,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$
Низ слитка	$1,9 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$	$1,65 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$	$1,5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$

5. Выводы

1. Экспериментально исследована дислокационная структура монокристаллов GaAs (диаметром до 100 мм), выращенных методом Чохральского.
2. Получены экспериментальные данные по величине плотности дислокаций и распределению дислокаций по кристаллам GaAs.
3. Установлено, что высокотемпературный отжиг приводит к снижению плотности дислокаций в 1,2-1,3 раза.

Литература: 1. *Концевой Ю. А.* Пластичность и прочность полупроводниковых материалов и структур. М.: Радио и связь, 1982. 240 с. 2. *Jordan A. S., Caruso R., VonNeida A. R., Nielsen J. W.* A comparative study of thermal stress induced dislocation generation in pulled GaAs, InP, and Si crystals // J. Appl. Phys. 1981. Vol. 52. P. 3331–3337. 3. *Jin N. Y., Fan C., Lin D., Lin T.* The effects of thermal annealing on defect configurations in SI-GaAs // Materials Letters. 1988. Vol. 7. № 73. P. 278–280. 4. *Ishiwara H., T. Hoshino, Katahama H.* Formation of strain-free GaAs-on-Si structures by

annealing under ultrahigh pressure // Materials Chemistry and Physics. 1995. Vol. 40. P. 225–229. 5. *Taylor P. C., Bray P. J.* Hyperfine interaction of adsorbed O₂ ? with GaAs surface atoms // J. Appl. Phys. 2002. Vol. 90. P. 305–312. 6. *Терлецкая Л. Л., Копыт Н. Х., Голубцов В. В.* // Особенности улучшения структурно-чувствительных параметров сенсоров на основе гетерогенных дисперсных систем // Физика аэродисперсных систем. 2010. Вип. 47. С. 154–159. 7. *Коршунов Ф. П., Богатырев Ю. В., Ластовский С. Б. и др.* Радиационные эффекты в технологии полупроводниковых материалов и приборов // Актуальные проблемы физики твердого тела (ФТТ – 2003) : материалы Междунар. науч. конф., (Минск, 4–6 ноября 2003 г.). Минск : Бел. наука, 2003. С. 332–364. 8. *Atanassova E. D., Belyaev A. E., Konakova R. V. et. al.* Effect of active actions on the properties of semiconductor materials and structures // Kharkiv: NTC «Inst. for Single Crystals», 2007. 216 p.

Поступила в редколлегию 25.12.2014

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Слипченко Н.И.

Оксанич Анатолий Петрович, д-р техн. наук, профессор, директор НИИ технологии полупроводников и информационно-управляющих систем Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского, зав. кафедрой информационно-управляющих систем. Научные интересы: методы и аппаратура контроля структурно-совершенных полупроводниковых монокристаллов. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366) 30157. Email: oksanich@kdu.edu.ua

Когдась Максим Григорьевич, канд. техн. наук, ст. преп. кафедры информационно-управляющих систем Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. Научные интересы: автоматизация процессов управления производством полупроводниковых материалов. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366) 30157. Email: kogdasMax@yahoo.com

Андросюк Максим Степанович, ассист. кафедры информационно-управляющих систем Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского. Научные интересы: автоматизация процессов управления производством полупроводниковых материалов. Адрес: Украина, 39600, Кременчуг, ул. Первомайская, 20, тел.: (05366) 30157. Email: maxander87@gmail.com



МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЗАДЕРЖКИ НА ОБРАБОТКУ БАЗОВЫХ КАДРОВ ВИДЕОПОТОКА ДЛЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

БАРАННИК В.В., ОТМАН ШАДИ О.Ю.,
СТАСЕВ С.Ю., МУСИЕНКО А.П.

Показывается актуальность вопросов, связанных с повышением качества предоставления видеoinформационных услуг с использованием инфокоммуникационных технологий. Обосновывается необходимость совершенствования технологий кодирования видеопотока. Строится метод оценки алгоритмической сложности для метода обработки базовых кадров на основе диагонально-неравномерного позиционного кодирования трансформант в неравновесном базисе оснований. Показывается, что сложность алгоритмической реализации разработанного метода сжатия базовых кадров находится в линейной зависимости от размера кадра и в основном определяется количеством операций на выполнение двумерного косинусного преобразования.

Ключевые слова: кодирование видеопотока, сжатие базовых кадров, диагонально-неравномерное позиционное кодирование.

Введение

Повышение качества видеосервиса является неотъемлемым требованием развития современных информационных технологий [1]. Здесь подразумевается как использование более производительных сетей передачи данных, так и интеграция новых технологий кодирования видеопотока [2 – 4]. Создание таких методов, направленных на снижение интенсивности видеопотока и сокращение задержки на его обработку, формирует актуальную область научных и прикладных исследовательских задач.

Одним из перспективных методов кодирования потока является метод компрессии базовых кадров на основе диагонально-неравномерного позиционного кодирования трансформант. При этом недостаточное внимание было уделено оценке задержек на обработку кадров. В то же время задержка на обработку формирует суммарную составляющую сквозной задержки по доставке видеoinформации и влияет на интенсивность компактно-представленного видеопотока. Поэтому *цель исследований* состоит в разработке соответствующего метода для оценки задержки на обработку базовых кадров.

Отличительные этапы метода кодирования базовых кадров

Базовые кадры обрабатываются с использованием методов на JPEG совместимой платформе [4 – 6]. Отличительные этапы метода их кодирования заключаются в следующем:

- 1) позиционные числа строятся на базе неравномерных диагоналей трансформанты;
- 2) основания элементов диагоналей определяются как значения динамических диапазонов на основе неравномерно-диагонального метода выявления;
- 3) первая и последняя диагонали исключаются из базиса оснований НДП чисел и обрабатываются отдельно.

Кодирование диагональных неравномерных позиционных чисел организуется на основе следующих выражений:

$$\bar{E}'_{\xi, n_{\xi}} = \begin{cases} \sum_{\tau=0}^{n_{\xi}-1} y_{1+\tau, \xi-\tau} d'_{\xi}{}^{n_{\xi}-\tau-1}, & \rightarrow \xi \leq n; \\ \sum_{\tau=0}^{n_{\xi}-1} y_{\xi-n+1+\tau, n-\tau} d'_{\xi}{}^{n_{\xi}-\tau-1}, & \rightarrow \xi \geq n+1, \end{cases} \quad (1)$$

Здесь $\bar{E}'_{\xi, n_{\xi}}$ – кодовое значение для ξ -го диагонального неравномерного позиционного числа; n – линейный размер трансформанты; n_{ξ} – длина для ξ -й диагонали трансформанты; $d'_{\xi}{}^{n_{\xi}-\tau-1}$ – весовой коэффициент для τ -го элемента ξ -й диагонали трансформанты.

Оценка задержки на обработку базовых кадров видеопотока

Интенсивность видеопотока определяется не только количеством бит на сжатое представление потока кадров, но и временными задержками t на их обработку. Такие задержки входят в состав суммарного времени доставки видеопотока и, следовательно, влияют на основную характеристику эффективности функционирования инфокоммуникационных систем – оперативность доставки данных. Поскольку видеопоток представляет собой последовательность кадров различных типов, относительно обработки которых предъявляются различные требования, то временные задержки в потоке будут распределяться неравномерно. На обработку кадров Р-типа и В-типа требуется затратить меньшее количество операций, чем для кадров I-типа. Это обусловлено следующими причинами:

- 1) сокращением количества компонент цветоразностных цветовых составляющих в макроблоках;

2) увеличением количества отбрасываемых компонент трансформант, соответствующих высокочастотной составляющей спектра.

Наоборот, для базовых кадров существует необходимость обеспечения высокого качества реконструкции. Это требует проводить их обработку с сохранением максимальной информации. Поэтому время обработки будет распределено по кадрам видеопотока неравномерно.

Рассмотрим суммарную временную задержку $t_{\text{GOP}}^{(r)}$ для группы кадров. Для стандартизированной технологии обработки время $t_{\text{GOP}}^{(r)}$ оценивается как:

$$t_{\text{GOP}}^{(r)} = t_I + t_P + t_B,$$

где t_I, t_P, t_B – временные задержки на обработку соответственно кадров I-типа, P-типа и B-типа.

Величина $t_{\text{GOP}}^{(r)}$ при обработке базового кадра созданного метода на основе диагонально-неравномерного позиционного (ДНП) кодирования оценивается по формуле

$$t_{\text{GOP}}^{(r)} = t'_I + t_P + t_B,$$

где t'_I – временные задержки на обработку кадров I-типа на основе разработанного метода с использованием ДНП кодирования.

Соответственно для оценки временной составляющей t'_I необходимо оценить количество q'_I операций на обработку кадра I-типа.

Для разработанного метода первый этап связан с выполнением двумерного дискретного косинусного преобразования фрагмента базового кадра размером $n \times n$ элементов. Это требует выполнения $n^2 \log_2 n^2$ операций умножения и $n^2 \log_2 n^2$ операций сложения.

Второй этап состоит в квантизации трансформанты ДКП. Здесь затрачивается n^2 операций деления.

Последующие этапы связаны с проведением диагонально-неравномерного позиционного кодирования квантизированных трансформант.

Такой процесс обработки трансформанты раскладывается на следующие составляющие:

1. Построение неравновесного неравномерно-диагонального позиционного базиса D' оснований, на что требуется затратить $(n^2 - 2)$ операций сравнения.

2. Формирование кодового значения \bar{E}'_{ξ, n_ξ} для диагоналей $\bar{Y}^{(\xi)}$ трансформанты. Здесь на определение кодового значения \bar{E}'_{ξ, n_ξ} для ξ -й диагонали требуется выполнить следующее количество операций:

– $(n_\xi - 1)$ -у операцию умножения для определения весовых коэффициентов $d_\xi^{n_\xi - \tau - 1}$;

– $(n_\xi - 1)$ -у операцию сложения для вычисления слагаемых кодового выражения (1).

Всего на всю трансформанту необходимо будет затратить количество операций, равное:

$$\sum_{\xi=2}^{n^2-2} (n_\xi - 1) = n^2 - 2$$

операций сложения и $(n^2 - 2)$ операций умножения.

3. Образование кодограмм V_ξ для кодовых значений диагоналей требует дополнительного выполнения $(2n - 3)$ операций умножения и $(2n - 3)$ операций для определения количества разрядов кодограмм.

Суммарное количество операций по типам на выполнение ДНП кодирования трансформант представлено в табл. 1.

Последний этап обработки трансформанты связан с табличным кодированием низкочастотной DC-компоненты. Построение статистического кодового описания для DC компоненты связано с такими затратами количества типовых операций:

– на вычисление значения разности необходимо затратить одну операцию вычитания;

– на формирование основного кода необходимо выполнить одну операцию сравнения со стандартными кодами для низкочастотных компонент, хранящихся в специальных таблицах;

Таблица 1
Количество типовых операций на ДНП кодирование трансформанты

Вид операции	Сравнения	Умножения/деления	Сложение/вычитание
Построение базиса оснований	$(n^2 - 2)$	-	-
Формирование кодовых значений для всех диагоналей трансформанты	-	$(n^2 - 2)$	$(n^2 - 2)$
Кодообразование	-	$(2n - 3)$	-
Всего	$(n^2 - 2)$	$(n^2 + 2n - 5)$	$(n^2 - 2)$

– на определение дополнительного кода, при условии отрицательного значения разности соседних DC-компонент, необходимо затратить одну операцию вычитания.

Отсюда суммарное количество типовых операций, которые необходимо затратить на статистическую обработку DC-компоненты, будет включать *две операции вычитания и одну операцию сравнения*.

Суммарные количества типовых операций, необходимые на обработку фрагмента базового кадра, приведены в табл. 2.

Количество q'_1 операций с учетом их типов, которое необходимо затратить на обработку всего базового кадра на основе разработанного метода, представлено в табл. 3.

Здесь учитывается, что количество фрагментов для базового кадра, размером $M \times N$ элементов будет равно $(M \times N / n^2)$.

Анализ данных в табл. 3 позволяет заключить следующее:

а) сложность алгоритмической реализации разработанного метода сжатия базовых кадров находится в линейной зависимости от размеров кадра, $M \times N$;

б) основное количество операций, т.е. основная сложность алгоритмической реализации, приходится на выполнение двумерного косинусного преобразования. Так, для $n=8$ удельные затраты количества операций на трансформирование достигают 80 %;

в) количество операций типа умножение/деление не превышают 50 % от общего количества операций на обработку;

г) количество операций для созданного метода на основе ДНП кодирования трансформант относительно технологии JPEG₁, использующей статические таблицы кодов, будет меньше в среднем на 10 %.

Количество основных операций для сжатия изображения на основании существующих методов в форматах JPEG₂ и JPEG2000 приведено в табл. 4 и 5. Для случая JPEG размер сегмента равен n^2 .

Данные, представленные в табл. 3 – 5, позволяют сравнить сложность алгоритмической реализации по количеству типовых операций для разработанного метода кодирования базовых кадров относительно стандартизированных технологий на JPEG-платформе.

В случае обработки базовых кадров, насыщенных деталями и сценами в режиме обеспечения высокого качества их реконструкции на основе созданного метода с использованием ДНП кодирования трансформант, выявлено, что относительно технологии JPEG₂, обеспечивается сокращение:

– количества типовых операций произведения минимум на 53 %;

– количества типовых операций сложения/вычитания минимум на 75%.

При этом в отличие от стандартизированных JPEG технологий обработки базовых кадров для разработанного метода все выполняемые операции являются целочисленными. В этом случае временная задержка дополнительно будет сокращаться на 20 %.

В то же время для стандартизированных технологий обработки базовых кадров, как показывают эксперименты, выполняются соотношения затрат количества

Таблица 2

Суммарное количество операций на обработку фрагмента базового кадра на основе ДНП кодирования трансформант

Вид операции	Сравнения	Умножения/деления	Сложение/вычитание
Выполнение двумерного ДКП		$n^2 \log_2 n^2$	$n^2 \log_2 n^2$
Коррекция компонент трансформант в соответствии со стратегией квантизации		n^2	
Диагонально-неравномерное позиционное кодирование в неравновесном базисе оснований	$(n^2 - 2)$	$(n^2 + 2n - 5)$	$(n^2 - 2)$
Кодирование DC-компоненты	1	2	
Всего	$n^2 - 1$	$n^2 \log_2 n^2 + 2n^2 + (2n - 3)$	$n^2 \log_2 n^2 + (n^2 - 2)$

Таблица 3

Количество операций затрачиваемых для всего базового кадра с использованием разработанного метода

Вид операции	Сравнения	Произведения	Деления	Сложения/вычитания
Количество операций	$M N$	$M N \log_2 n^2 + M N + \frac{M N (2n - 3)}{n^2}$	$M N$	$M N \log_2 n^2 + M N$

Таблица 4

Количество операций для метода JPEG2000

Вид операции	Сдвиг	Сложение/вычитания	Произведение	Деление
Смена цветовой модели	$M \times N$	$4M \times N$	$M \times N$	-
Вейвлет преобразование	$M \times N$	$4M \times N$	-	$M \times N$
Арифметическое кодирование	-	$12M \times N$	$6M \times N$	$12M \times N$
Всего	$M \times N$	$20M \times N$	$7M \times N$	$13M \times N$

Таблица 5

Количество операций для метода JPEG₂

Метод сжатия	Количество операций сложения/вычитания	Тип операций	Количество операций произведения/деления	Тип операций
Блок $M \times N$	$2M \times N \log_2 n^2$	Вещественный	$2M \times N \log_2 n^2$	Вещественный
	$12M \times N$	Целочисленный	-	-
Всего	$2M \times N \log_2 n^2 + 12M \times N$	Смешанный	$2M \times N \log_2 n^2$	Вещественный

операций на обработку для разных типов кадров, что показано в табл. 6.

В табл. 6 приняты такие обозначения: $q_I : q_P = 1 : 3$; $q_I : q_B = 1 : 5$ – означает, что количество операций, затрачиваемое на обработку базового кадра, соотносится с количеством операций, приходящимся на обработку соответственно трех кадров Р-типа и пяти кадров В-типа.

Например, для режима 1, соответствующего высокому качеству базового кадра, выполняются уровни ПОСШ: I-кадр – 42 дБ, Р-кадр – 28 дБ, В-кадр. Здесь получим следующее соотношение для оценки суммарного количества $q_{GOP}^{(r)}$ операций на группу кадров:

$$q_{GOP}^{(r)} = q_I + 2q_P + 5q_B = q_I + 2 \cdot \frac{1}{3} q_I + 5 \cdot \frac{1}{5} q_I = \frac{8q_I}{3}.$$

Тогда для режима 1 в случае использования созданного метода для обработки базового кадра суммарное количество $q'_{GOP}^{(r)}$ операций на группу кадров будет равно

$$q'_{GOP}^{(r)} = q'_I + 2q'_P + 5q'_B = \frac{q_I}{2} + 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{q_I}{2} + 5 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{q_I}{2} = \frac{8q_I}{6}.$$

Отсюда можно заключить, что суммарное количество операций за счет использования для обработки базового кадра созданного метода относительно стандартизированных технологий сократится на 50 %.

Аналогичным образом получим оценки для других показательных режимов:

- режим 2, хорошее качество базового кадра: I-кадр – 40 дБ, Р-кадр – 28 дБ, В-кадр – на 38 %;

- режим 2, достаточное качество базового кадра: I-кадр – 38 дБ, Р-кадр – 28 дБ, В-кадр – на 50 %.

Можно утверждать, что в среднем количество операций на обработку видеопотока на основе сжатия базового кадра путем диагонально-неравномерного позиционного кодирования трансформант относительно стандартизированных технологий обработки кадров сокращается в среднем на 45 %.

С другой стороны, сокращение количества операций создает возможность повысить качество предоставляемых видеоинформационных сервисов, а именно:

1) увеличить размер кадров, например, с формата 4CIF на формат кадра HD, или от формата кадра HD на формат FullHD;

2) повысить разрядность элементов изображений с 8 бит/элемент на 16 бит/элемент;

3) увеличить частоту с 25 кадров/с на 50 кадров/с.

Таблица 6

Зависимость соотношения количества операций q_I , q_P , q_B от ПОСШ

Тип кадра	h, дБ				
	I-кадр	42	40	40	40
P-кадр	28	28	30	32	28
B-кадр	22	22	24	24	22
$q_I : q_P$	1 : 3	1 : 2,5	1 : 2	1 : 2	1 : 2
$q_I : q_B$	1 : 5	1 : 4	1 : 3,5	1 : 3,5	1 : 4
$q'_I : q_P$	1 : 1,5	1 : 1,5	1 : 1	1 : 1	1 : 1
$q'_I : q_B$	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 1,7	1 : 1,7	1 : 2

Выводы

1. Построен метод оценки алгоритмической сложности по количеству типовых операций для метода обработки базовых кадров на основе диагонально-неравномерно-го позиционного кодирования трансформант в неравно-весном базисе оснований. Особенность созданной тех-нологии с позиции алгоритмической реализации заклю-чается в том, что диагонали имеют неравномерную длину, количество разрядов на кодограммы выбирают-ся по диагонально-неравномерному принципу.

2. Сложность алгоритмической реализации разработан-ного метода сжатия базовых кадров находится в линей-ной зависимости от размера кадра, и в основном опре-деляется количеством операций на выполнение двумер-ного косинусного преобразования. Для $n=8$ удельные затраты количества операций на трансформирование достигают 80 %. Количество операций типа умножение/ деление не превышает 50 % от общего количества опе-раций на обработку.

3. Сравнительная оценка показала, что количество опе-раций для созданного метода на основе ДПН кодирова-ния трансформант относительно технологии JPEG₁, использующей статические таблицы кодов, будет мень-ше в среднем на 10 %; относительно технологии JPEG₂ достигается: сокращение количества типовых операций произведения минимум на 53 %, а количества типовых операций сложения/вычитания - минимум на 75%.

Литература: 1. Осипов Л.А. Обработка сигналов на циф-ровых процессорах / Л.А. Осипов. М.: Горячая линия – Телеком, 2001. 112 с. 2. Синепол В.С. Системы компью-терной видеоконференцсвязи / В.С. Синепол, И.А. Цикин.

М.: ООО “Мобильные коммуникации”, 1999. 166 с. 3. Фи-сенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учебн. пособие / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фи-сенко. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с. 4. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук и др. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. 352 с. 5. Баранник В.В. Кодирование транс-формированных изображений в инфокоммуникацион-ных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 234 с. 6. Баранник В.В. Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Ста-сев, Н.А. Королева. Х.: ХУПС, 2009. 252 с.

Поступила в редколлегию 15.09.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профес-сор, начальник кафедры боевого применения и эксплуа-тации АСУ Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Отман Шади О.Ю., аспирант кафедры Сети Связи ХНУ-РЭ. Научные интересы: обработка и передача информа-ции. Адрес: Украина, 61023, Харьков, пр. Ленина, 14.

Стасев Сергей Юрьевич, аспирант ХНУРЭ. Научные интересы: технологии кодирования и обеспечения ин-формационной безопасности государства. Адрес: Укра-ина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. Email: Barannik_V_V@mail.ru.

Мусиенко Александр Павлович, адъюнкт ХУВС. Науч-ные интересы: технологии кодирования и обеспечения информационной безопасности государства. Адрес: Ук-раина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79. Email: Barannik_V_V@mail.ru

МЕТОД КОРРЕКТИРОВКИ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИДЕОПОТОКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

ХАРЧЕНКО Н.А.

Разрабатывается метод управления битовой скоростью при обработке Р-кадров в видеопоследовательности. Предлагается проводить выбор значений порогов и факторов качества для составляющих Y_C, C_b таким образом, чтобы яркостная составляющая в итоге была сжата с лучшим качеством, чем цветоразностные.

Введение

Несмотря на появление носителей информации большой ёмкости, компрессия цифрового видео по-прежнему является важнейшей задачей. Одним из последних ведущих стандартов сжатия видеоданных является стандарт H.264 [1].

Стандарт H.264, он же ISO/IEC MPEG-4 Part 10 (Advanced Video Coding), был опубликован в 2003 году. С тех пор в него были внесены несколько поправок, касающихся передачи и хранения данных, а также новых методов сжатия.

Основная задача дальнейших научных исследований состоит в усовершенствовании реализованного видеокодера по стандарту H.264 (базовый профиль) путем внедрения алгоритмов контроля битовой скорости.

Алгоритмы контроля битовой скорости можно разделить на:

- 1) глобальные (выбор шага квантования для всех макроблоков кадра);
- 2) локальные (выбор наилучшего варианта прогноза для данного макроблока).

Глобальный алгоритм выбирает шаг квантования, основываясь на заполненности буфера и ПОСШ текущего кадра. Рекомендация H.264 не специфицирует и не предлагает алгоритма контроля скорости. Стандарт MPEG-4 Visual содержит возможный алгоритм контроля скорости в информационном приложении. Этот алгоритм, называемый схемой SRC (Scalable Rate Control, масштабируемый контроль скорости), подходит для единственного видеообъекта и для определенного диапазона битовых скоростей, а также для некоторых пространственных и временных разрешений. Алгоритм SRC стремится достигнуть требуемой скорости после определенного числа кадров. Шаг квантователя не меняется для кодируемого в данный момент кадра. Это дает равномерное визуальное представление текущего кадра, однако могут возникнуть проблемы при работе с буферами малого размера и, следовательно, с короткой задержкой.

Локальный алгоритм действует на уровне макроблока (блока пикселей 16×16), что подходит для приложений с короткими задержками, которым необходим «жесткий» контроль скорости. Алгоритм на уровне макроблоков основан на модели, которая вычисляет предполагаемое число бит, для кодирования макроблока. Такой метод контроля скорости эффективен для поддержки хорошего визуального качества при малом размере выходного буфера кодера и для удержания задержек кодирования на минимальном уровне.

Телекоммуникационная система имеет ограничения, связанные с величиной и пульсацией интенсивности входящей нагрузки, которую она способна обслужить. Интенсивность входящей нагрузки и ее пульсация формируются на стороне источника сообщения. Поэтому изменяя эти параметры, можно добиться уменьшения потерь данных за счет переполнения буферов обслуживающих узлов.

Отсюда цель исследований заключается в разработке метода корректировки интенсивности видеопотока, который обеспечит максимально возможное качество изображения для заданной пропускной способности канала связи и времени обработки одного кадра.

Основная часть

При обработке Р-кадров в технологии MPEG после процедуры адаптивного предсказания каждому блоку присваивается один из двух типов: I или P. Эта операция осуществляется с помощью специального параметра - порога ΔD , в соответствии с которым определяется уровень информативности каждого блока. В зависимости от присвоенного типа блока выбирается и метод дальнейшей его обработки. Это позволит в Р-блоках, где изменения были незначительными, производить меньшее количество математических операций, что даст возможность значительно снизить время их обработки. В то же время, когда обрабатывается I-блок с большими дифференцированными значениями, что соответствует динамическому изменению объекта в обрабатываемой области, для них будут выбраны параметры компрессии, обеспечивающие наилучшее качество.

Предлагаемый метод управления в процессе работы алгоритма компрессии основывается на вариации значений следующих параметров: цветовой субдискретизации, порогового значения ΔD , а также фактора качества QF.

Рассмотрим работу общего алгоритма управления при компрессии Р-кадров (рис. 1).

На начальном этапе управления задаются исходные параметры компрессии блоков: пороги $\Delta D(Y)_{in}$, $\Delta D(C_a)_{in}$ и факторы качества $QF(Y)_{in}$, $QF(C_a)_{in}$, после чего проводится оценка итоговой битовой

скорости $D(t)$ и среднеквадратической ошибки $\sigma(t)$ видеопотока обрабатываемого кадра.

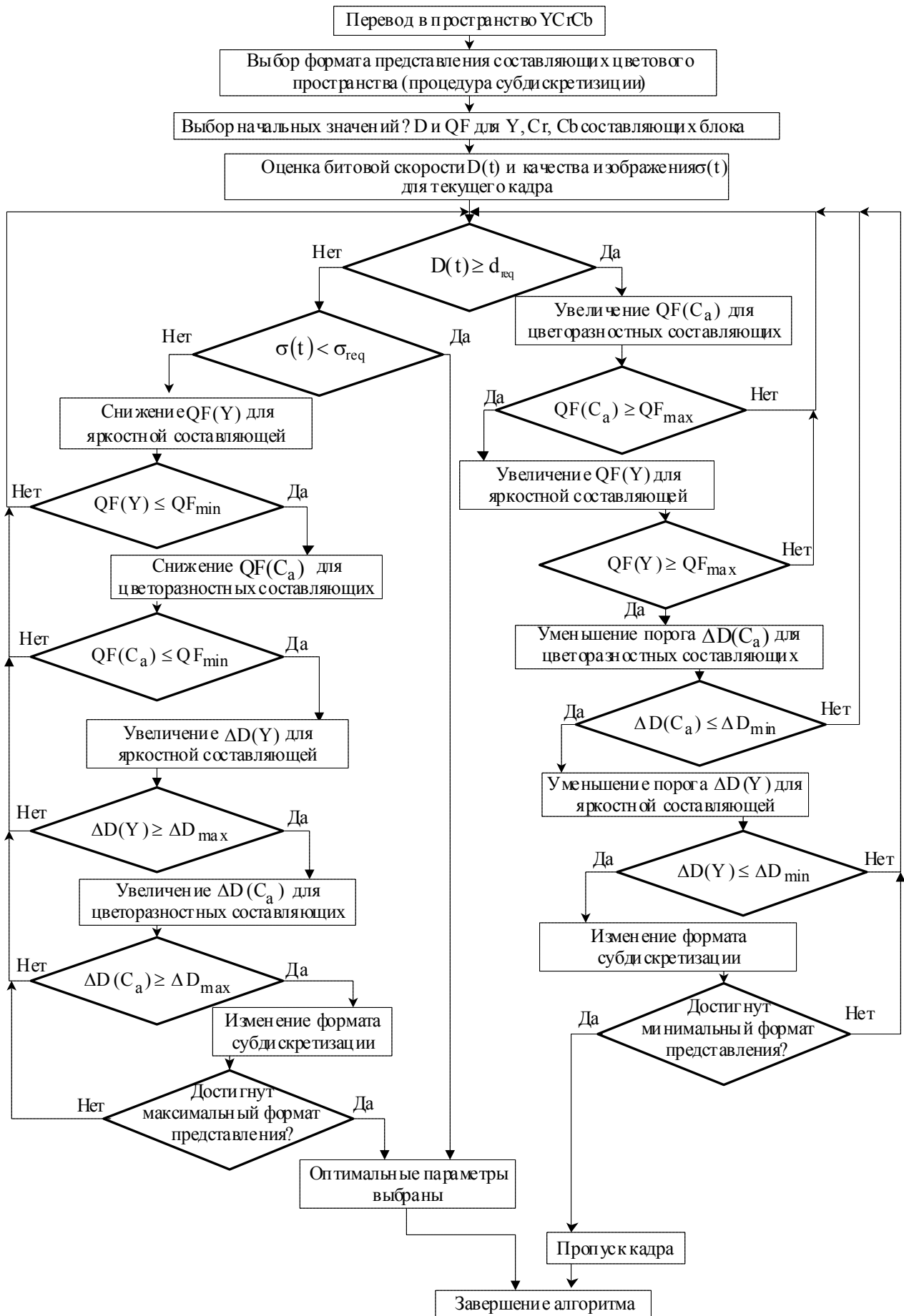


Рис. 1. Общий алгоритм стратегии управления битовой скоростью P-кадра

Так как яркостная составляющая при восстановлении изображения несет большую информационную нагрузку, чем цветоразностные составляющие C_r, C_b , то значение порога [3,4] при обработке блоков яркостной составляющей $\Delta D(Y)$ будем выбирать меньшим, чем при обработке цветоразностных составляющих $\Delta D(Y) < \Delta D(C_a)$, $\Delta D(C_r) = \Delta D(C_b) = \Delta D(C_a)$, где C_a - представляет компоненты одной из цветоразностных плоскостей: $C_a = C_r$ или $C_a = C_b$.

Аналогично, факторы качества для яркостной и цветоразностных составляющих также будут выбираться с разными величинами: $QF(Y) < QF(C_a)$.

Исходные параметры выбираются из соображений достижения наилучшего качества изображения, однако они задаются в пределах:

$$\Delta D_{\min} \leq \Delta D(Y)_{in}, \Delta D(C_a)_{in} \leq \Delta D_{\max};$$

$$QF_{\min} \leq QF(Y)_{in}, QF(C_a)_{in} \leq QF_{\max}.$$

Если среднеквадратическая ошибка $\sigma(t)$ будет превышать требуемое значение $\sigma(t) \geq \sigma_{req}$, т.е. качество восстановленного изображения меньше заданного, то нужно снизить значение фактора качества яркостной составляющей $QF(Y)$ (рис. 2).

После этого оценивается итоговая битовая скорость $D(t)$ и среднеквадратическая ошибка $\sigma(t)$ видеопотока [5]. Далее, при необходимости, $QF(Y)$ снова снижается, пока не будет достигнуто минимальное значение QF_{\min} . Если $QF(Y) = QF_{\min}$, а условие по

качеству изображения еще не достигнуто $\sigma(t) \geq \sigma_{req}$, то принимается решение об изменении следующего параметра – $QF(C_a)_{in}$ для цветоразностных составляющих. Процедура снижения $QF(C_a)_{in}$ повторяется аналогично.

Если параметры факторов качества достигли минимальных значений $QF(Y) = QF_{\min}$ и $QF(C_a) = QF_{\min}$, а среднеквадратическая ошибка $\sigma(t)$ по-прежнему превышает требуемое значение $\sigma(t) \geq \sigma_{req}$, происходит увеличение порога сначала для яркостной $\Delta D(Y)_{in}$, а затем и для цветоразностных составляющих $\Delta D(C_a)_{in}$. Это приводит к увеличению блоков I-типа в кадре, что в свою очередь позволит повысить качество сжатого P-кадра (см. рис. 2). При каждом изменении порогов также оценивается итоговая битовая скорость $D(t)$ и среднеквадратическая ошибка $\sigma(t)$.

Значения порогов $\Delta D(Y)$ и $\Delta D(C_a)$ могут увеличиваться только до заданного максимума: $\Delta D(Y) \leq \Delta D_{\max}$, $\Delta D(C_a) \leq \Delta D_{\max}$.

Подбор проводится до тех пор, пока заданное качество изображения при требуемом значении битовой скорости не будет достигнуто: $\sigma(t) < \sigma_{req}$.

Если перебор возможных вариантов параметров сжатия не позволил достигнуть заданного качества: $\sigma(t) \geq \sigma_{req}$, в соответствии с разрабатываемым методом управления принимается решение об изменении

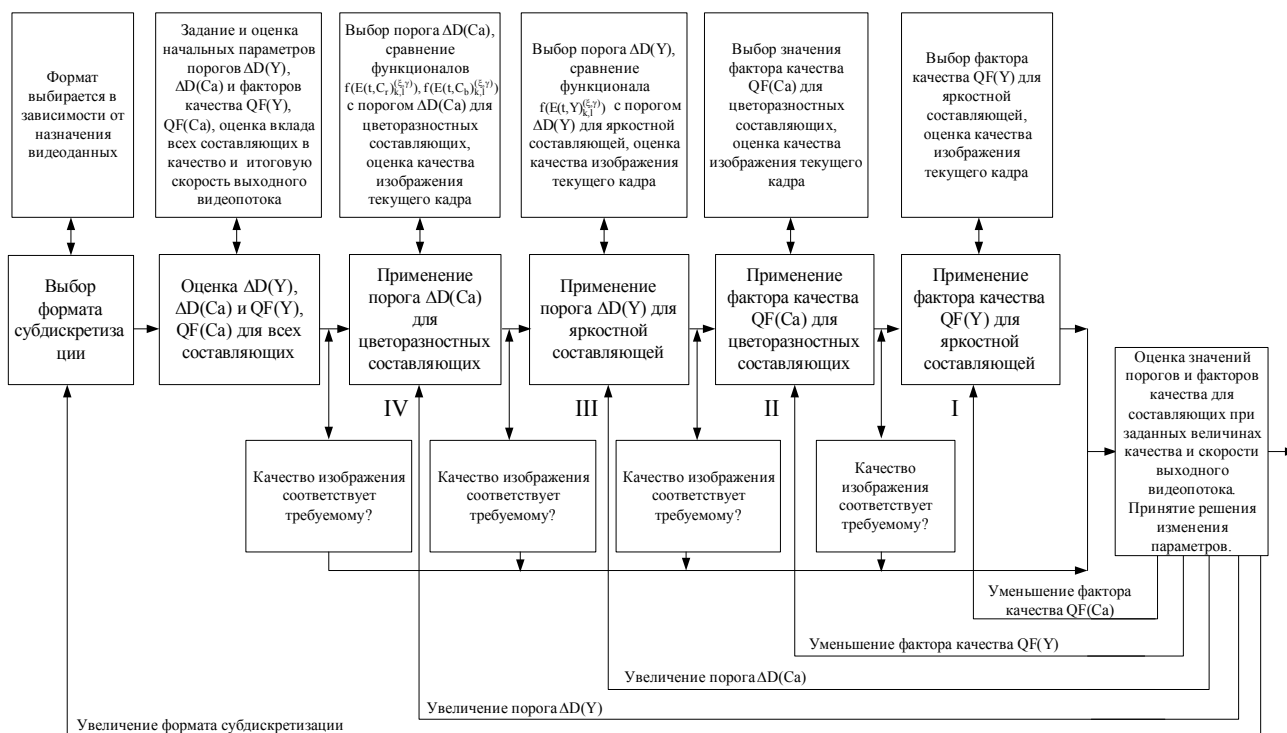


Рис. 2. Структурно-функциональная схема метода управления битовой скоростью сжатого видеопотока в условиях принятых ограничений на качество визуального восприятия изображения

формата цветовой субдискретизации (например из формата 4:2:2 в 4:4:4).

Такой подход позволит значительно улучшить качество восстанавливаемого изображения за счет передачи полной информации из всех плоскостей цветовой модели $YCbCr$, однако это может привести к резкому увеличению итоговой битовой скорости сжимаемого кадра.

Рассмотрим случай, когда итоговая битовая скорость $D(t)$ превышает требуемую: $D(t) \geq d_{req}$.

Здесь механизм управления характеристиками интенсивности видеопотока задействуется в следующем порядке (рис. 3):

1. Увеличение $QF(C_a)$ для цветоразностных составляющих.
2. Увеличение $QF(Y)$ для яркостной составляющей.
3. Уменьшение $\Delta D(C_a)$ для цветоразностных составляющих.
4. Уменьшение $\Delta D(Y)$ для яркостной составляющей.

Значения факторов качества $QF(Y)$, $QF(C_a)$ и порогов $\Delta D(Y)$, $\Delta D(C_a)$ могут увеличиваться или уменьшаться только до заданных значений:

$$QF(Y) \leq QF_{max}, QF(C_a) \leq QF_{max}; \Delta D(Y) \geq \Delta D_{min}, \Delta D(C_a) \geq \Delta D_{min}.$$

В случае, если перебор возможных вариантов параметров сжатия не позволил снизить битовую скорость

до требуемого значения: $D(t) \geq d_{req}$, в соответствии с методом управления принимается решение об изменении формата цветовой субдискретизации (например из формата 4:2:2 в 4:1:1), что позволит значительно снизить объем данных, приходящийся на цветоразностные составляющие.

Оценка итоговой битовой скорости $D(t)$ проводится после изменения каждого параметра, до тех пор пока $D(t)$ не станет меньше требуемого значения $D(t) < d_{req}$. Если после всех изменений не удалось достичь заданной скорости в течение времени обработки, которое было отведено на сжатие одного кадра, может быть принято решение о пропуске текущего P-кадра.

Выводы

Разработан общий метод управления битовой скоростью, позволяющий производить корректировку интенсивности видеопотока в соответствии с параметрами телекоммуникационной сети. Разработанный метод учитывает следующие механизмы:

1) применяется дифференциальная обработка блоков, выбираемая по заданному пределу, который показывает меру информативности текущего блока; ее алгоритм описан в работах [4,5];

2) в процессе работы алгоритма компрессии производится изменение следующих параметров: цветовой субдискретизации, порога информативности, а также фактора качества. Механизм комбинирования выбранных параметров составлен таким образом, чтобы решение об оптимальности было принято с мини-

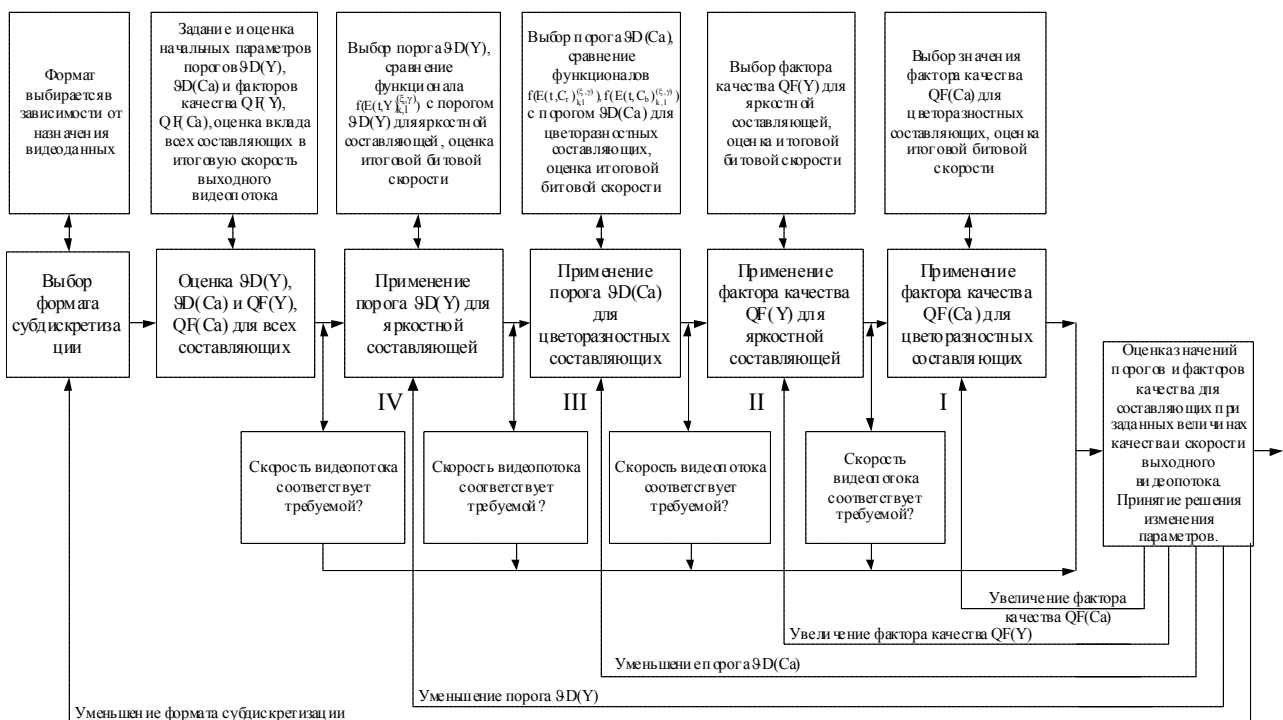


Рис. 3. Структурно-функциональная схема метода управления битовой скоростью в условиях принятых ограничений на максимальную скорость сжатого видеопотока

мальными временными задержками. Это позволяет быстро адаптироваться к пропускной способности канала связи и выбирать качество передаваемого изображения;

3) для обработки яркостной и цветоразностных составляющих кадра в соответствии с разрабатываемым методом значения порога и фактора качества будут выбираться меньшими для яркостной составляющей в сравнении с цветоразностными. Это приводит к тому, что яркостная составляющая кадра сжимается с лучшим качеством, чем цветоразностные.

В зависимости от выполнения условий по требуемой скорости или заданного качества будут изменяться параметры факторов качества и порогов таким образом, чтобы выбрать оптимальные значения для компрессии в максимально короткий временной промежуток. Это позволит использовать разработанный метод в режиме реального времени.

Таким образом, реализована возможность контроля и корректировки значений среднеквадратической ошибки и битовой скорости в процессе обработки Р-кадра.

Литература: 1. *Ричардсон Ян*. Видеокодирование. H.264 и MPEG-4 - стандарты нового поколения. М.: Техносфера, 2005. 368 с. 2. *Сэломон Д.* Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэломон. М.: Техносфера, 2004. 368с. 3. *Баранник В.В.* Методологическая база управления битовой скоростью при формировании предсказанных кадров / В.В. - Баранник, Н.А. Харченко, А.Э. Бекиров // Радиоэлектроника и информатика. 2013. №1. С. 25-30. 4. *Баранник В.В.* Метод оценки битовой скорости в процессе кодирования макроблока для видеоинформационного потока в телекоммуникационной сети / В.В. Баранник, Н.А. Харченко, К.Н. Юрченко, В.В. Твердохлеб // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2014. №4. С.52-59. 5. *Баранник В.В.* Метод контроля битовой скорости при компрессии предсказанных кадров в видеопоследовательности / В.В. Баранник, Д.Э. Двухглазов, Н.А. Харченко // СОИ. №5. 2014. С. 40-45.

Поступила в редколлегию 22.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Харченко Наталия Андреевна, инженер 2-й категории ХНУРЭ. Научные интересы: обработка и сжатие видеоданных. Адрес: Украина, 61166, Харьков пр. Ленина 14, тел. (057) 702-14-29.



ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ С ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

ПОПОВ В.М., НОВОЖИЛОВА М.В.

Предлагается структура имитационной модели территориальной системы техногенной безопасности (ТСТБ) как системы обслуживания. Входной поток требований на обслуживание моделирует вероятные техногенные аварии, вызванные случайными и систематическими отказами производственного оборудования территориальной производственной системы. Построенная имитационная модель представляет платформу для принятия решения о параметрах программы развития ТСТБ.

1. Введение

Решение проблемы устойчивости сложной социально-экономической системы региона включает разработку инструментальных средств моделирования состояния территориальной производственной подсистемы (ТПС) [1] в контексте содержания таких элементов, как потенциально опасные объекты (ПОО), которые рассматриваются с точки зрения эффективности функционирования территориальной системы техногенной безопасности (ТСТБ). В этом аспекте интересным представляется описание динамики состояния производственных фондов ТПС, включающее определение множества дестабилизирующих факторов, генерируемых внутренней и внешней средой ТПС, что вызывает случайные и постепенные отказы производственного оборудования. Подобная формализация закладывает методическую базу построения динамической имитационной модели ТСТБ. В условиях жестких ограничений текущего ресурсного потенциала ТСТБ, возросшей сложности задач, стоящих как перед ТСТБ, так и перед государственной службой гражданской защиты в целом, вопросы построения оптимальных программ развития ТСТБ подлежат решению с использованием информации о возможных сценариях дальнейшего функционирования ТПС. Таким образом, динамическая имитационная модель ТСТБ является основой сравнения существующей структуры и состава ТСТБ с аналогичными компонентами системы техногенной безопасности, модернизированной в результате реализации программы развития.

2. Анализ предыдущих исследований

В работах [1,2] на основе анализа имеющейся статистической информации о количестве и масштабах техногенных аварий в регионах Украины за последние 5 лет, данных Паспорта техногенного риска Харьковской области, материалов [3] выделены основные типы и источники техногенной опасности для Харьковской области. Возможный масштаб последствий техногенных аварий и катастроф обязывает принять соответствующие меры модернизации ТСТБ при составлении перспективных программ развития системы.

В [4,5] исследуются вопросы формализации понятия устойчивости производственной и инфраструктурной системы региона. Следуя [4], под устойчивостью понимают способность системы оказывать сопротивление (предотвращать и противостоять) любым возможным опасностям, поглощать начальный урон и восстанавливать нормальный режим работы.

Другими словами, под устойчивостью технологической (технической) системы понимается возможность сохранения ее работоспособности, точнее, производительности при чрезвычайной ситуации (ЧС).

В работе [6] рассмотрены методы, модели, информационные технологии и системы исследования причинно-следственного комплекса формирования и развития катастроф. Сделана попытка объединить полученные результаты с точки зрения системного анализа в научное направление «Информатика катастроф» или «Катаматика».

В [7,8] рассматриваются принципы адаптивного управления системами техногенной безопасности, а также программы их развития.

Однако в этих и других исследованиях не изучены вопросы разработки инструментальных средств моделирования взаимодействия промышленной системы региона, содержащей источники возможной техногенной опасности, и ТСТБ с учетом динамики их развития и обеспечения состояния устойчивости социально-экономической системы региона в целом. Оценка эффективности такого взаимодействия наряду с оценкой эффективности функционирования ТСТБ, получаемая на основе построения имплементации соответствующей имитационной модели, может быть также определяющим фактором при составлении программ развития региональной системы техногенной безопасности.

Цель исследования – построение логической структуры имитационной модели ТСТБ для обслуживания производственной системы с потенциально опасными объектами.

3. Изложение основного материала

Характеризуя множество R основных источников техногенной опасности в составе производственной системы Харьковского региона, выделим следующие их типы. Прежде всего, это объекты химической

промышленности или промышленные объекты, использующие опасные химические вещества (на 2013 – 93 объекта, около 10% всего количества химических предприятий Украины), что представляет угрозу загрязнения водного бассейна региона. Далее необходимо отметить объекты инженерной инфраструктуры города, включающие системы водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения и др., а также пожары и взрывы, вызывающие аварии техногенного характера. В качестве причин возможной аварии рассмотрим случайные и систематические отказы оборудования. Первые вызваны ошибками персонала, случайными отказами систем энергоснабжения и другими подобными факторами, отказы второго типа вызваны старением основных производственных фондов $S_{ПФ}$.

Положим, что территориальная производственная система Ψ имеет трехуровневую иерархическую структуру (рис.1). На первом уровне иерархии выделены

множества Ψ и Ψ предприятий – компонентов ТПС – с низкой и высокой степенью устойчивости соответственно. В группу $\Psi = \{\Psi_1, \dots, \Psi_G\}$ включены промышленные объекты и элементы инженерной инфраструктуры, частота и максимальная степень тяжести возможных техногенных аварий на которых такова, что ТСТБ не нуждается в дополнительных внешних ресурсах для осуществления регламентных мероприятий по локализации и ликвидации аварии. При этом возможные негативные последствия не нарушают состояния устойчивости ТСП в целом.

На следующем уровне множество Ψ представим в виде разбиения на подмножество предприятий Ψ_1 с источниками химической опасности, а также подмножество Ψ_2 элементов инженерной инфраструктуры региона. В свою очередь, множество Ψ_2 состоит из P множеств $\Psi_{2k}, k=1,2,\dots,P$, P – количество типов инженерных сетей (водоснабжение, водоотведение, теплосеть).

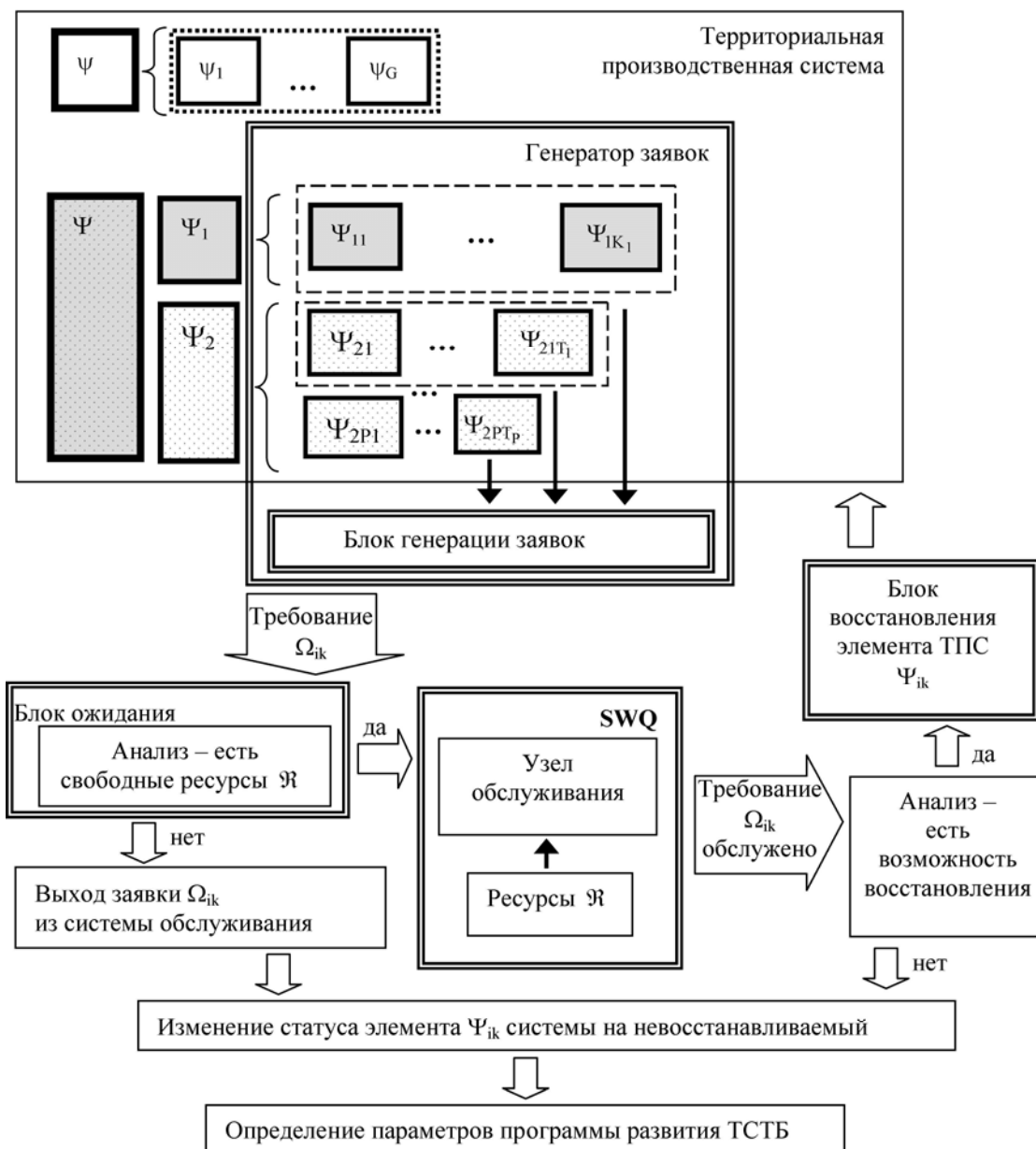


Рис. 1. Логическая структура имитационной модели ТСТБ как подсистемы ТПС перспективного развития ТСТБ

Рассмотрим следующие предположения, вытекающие из контекста построения имитационной модели ТПС, содержащей ПОО для дальнейшего применения при определении параметров программ.

Предположение 1. Каждое из множеств $\Psi_1, \Psi_{2p}, p=1,2,\dots,P$, рассматривается как множество высоконадежных восстанавливаемых элементов $\{\Psi_{11}, \dots, \Psi_{1K_1}\}$ и $\{\Psi_{211}, \dots, \Psi_{2PK_p}\}$ производственной системы соответственно.

Далее без потери общности остановимся на двух типах предприятий (на рис.1 выделены пунктирной линией), что позволяет упростить индексацию объектов: $\Psi_{2pk} = \Psi_{2k}, p=1; k=1,2,\dots,K_2$.

Предположение 2. ТСТБ рассматривается как система обслуживания без очередей – SWQ («system without queues»), непрерывно функционирующая в повседневном режиме.

Назовем событием Ω возникновение отказа оборудования элемента множества Ψ , что мгновенно изменяет состояние как производственной системы, так и ТСТБ как обслуживающей системы. В момент возникновения события Ω , соответственно, генерации требования на обслуживание ТПС переходит из режима штатного функционирования в аварийный режим, а ТСТБ – из повседневного в режим чрезвычайной ситуации. Обозначим требование на обслуживание через Ω_{ik} .

Таким образом, для моделирования развития взаимодействия систем во времени принимается парадигма дискретно-событийного моделирования.

ТСТБ есть система с резервированием, следовательно, SWO представляется как многоканальная система обслуживания.

Принимая во внимание, что каждое из множеств $\Psi_{ik}, k=1,2,\dots,K_i, i=1,2$ - это независимый источник требований на обслуживание, рассмотрим механизм функционирования имитационной модели как продвижение от события к событию (рис.2).

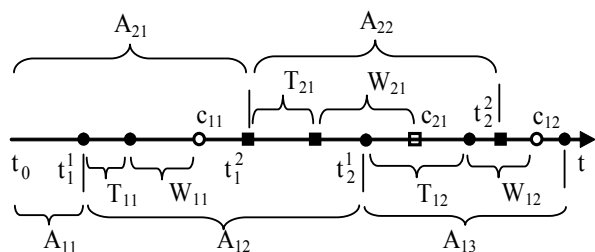


Рис. 2. Механизм функционирования имитационной модели:

- – движение требования Ω_{1k}
- – движение требования Ω_{2k}
- , ○ – моменты выхода требований Ω_{ik} из системы

В соответствии с наличием двух источников требований на временной оси присутствуют два типа событий,

моменты возникновения которых – $t_j^{i(k)}, j=1,2,\dots$ – случайны. Через A_{ij} обозначено время между поступлениями требований типа i : $A_{ij} = t_j^i - t_{j-1}^{i-1}$, S_{ij} – время, потраченное узлом SWQ на обслуживание требования Ω_{ik} в режиме чрезвычайной ситуации; W_{ij} – время восстановления элемента Ψ_{ik} , сгенерировавшего заявку Ω_{ik} , c_{ij} – моменты выхода требований по завершении обслуживания.

Каждое требование Ω_{ik} характеризуется уровнем тяжести реализованной опасности $r_i, i=1,2,\dots,I$, что влияет на эффективность ТСТБ. Примем следующие уровни: $r_i = \{\text{'низкий'}, \text{'средний'}, \text{'значительный'}\}, I=3$. При формировании требования в блоке генерации заявок уровень тяжести r_i задается согласно равномерному распределению.

Оценка эффективности ТСТБ как системы обслуживания определяется вектором числовых параметров, описывающих качество обслуживания. Такими характеристиками являются: время реакции системы на появление требования на обслуживание – в данной системе моделируется как время D_{ij} задержки требования в очереди (блок ожидания реакции ТСТБ), измеряемое в минутах, время ликвидации техногенной аварии – время T_{ij} (измеряется в днях), величина задействованных ресурсов различных видов.

Структура имитационной модели, обладая небольшим числом типов абстрактных объектов (на рис. 1 элементы имитационной модели выделены двойной рамкой), отражает структуру реальной системы ТСТБ и логику обслуживания. Здесь производственная система выступает источником требований двух видов на обслуживание – соответствующий элемент имитационной модели называется «генератор заявок».

Генератор заявок решает несколько задач.

Задача 1. Определение вида входных распределений моментов поступления требований на обслуживание. Моделирование входных потоков требований осуществляется несколькими способами [9]: моделирование, управляемое блоком слежения, построение функции эмпирического распределения, использование стандартных методов статистического вывода для подбора формы теоретического распределения. Остановимся на последней методике.

В этом контексте такие показатели надежности технической системы: $P(t)$ – вероятность безотказной работы – эмпирическая функция надежности и интенсивность отказов $\lambda(t)$ [9] формируют характеристики входного потока требований на обслуживание как основного элемента имитационной модели. Выделение конкретного входного распределения разбивается на следующие этапы: на основании предварительных сведений выбирается тип моделирующего распределения и обосновывается теоретически. В данном случае учет факта поступления событий одного типа в

систему по одному, причем число событий, поступивших в систему в непересекающиеся промежутки времени, является независимой случайной величиной, может служить обоснованием того, что интервалы времени между событиями являются независимыми экспоненциально распределенными случайными величинами. Кроме того, анализ предметной области показывает, что в силу особенностей ряда имеющихся теоретических распределений (например, нормального распределения $N(x, a, s)$ или гамма-распределения) их применение здесь исключено.

Очевидно, на частоту $l(t)$ возникновения чрезвычайных ситуаций в результате различного рода отказов оборудования и уровень тяжести последствий значительно влияет динамика изменения состояния основных фондов ТПС.

В современной практике хозяйствования параметры основных фондов ПОО таковы, что условия деятельности производственной системы соответствуют во многом периоду старения. На данном этапе жизненного цикла ТПС особенное значение приобретают систематические отказы, обусловленные закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений, усталость, износ.

Анализ имеющихся статистических данных и опыта эксплуатации технических систем показывает, что в период старения объекта интенсивность систематических отказов $\lambda_{\text{сист}}(t)$ растет, линейно или квадратично. Таким образом, выбор формы теоретического распределения моментов поступления требований на обслуживание, генерируемых каждым из множеств Ψ_1, Ψ_2 независимо, делается в пользу нестационарного распределения Пуассона вида

$$P_0(t, t_n) = \frac{\eta(t, t_n)^0}{k!} e^{-\eta(t, t_n)}, \quad (1)$$

где $\eta = \int_{t_n}^{t_n+t} \lambda(t) dt$ – параметр распределения; t_n – начало интервала наблюдения; q – количество требований в интервале $[t_n, t]$.

Задача 2. Определение параметров размещения объекта, ассоциированного с текущей заявкой, т.е. определение параметра k . Отметим, что элементы упорядоченных множеств Ψ_i имеют пространственное распределение, при этом размещение объекта Ψ_{ik} техногенной аварии играет важную роль для оценки возможного ущерба, тяжести последствий для экономики региона и времени восстановления W_{ij} объекта. Для выполнения указанной задачи в рамках данной модели предложено использовать равномерное распределение $U(0, 1)$ с последующим отображением на множества Ψ_1, Ψ_2 .

Задача 3. Еще одной важной характеристикой моделируемой ТПС является время восстановления W_{ij} аварийного элемента Ψ_{ik} (дни). Во-первых, на это

время отвлечены ресурсы ТСТБ, величина которых определяется тяжестью аварии. Во-вторых, режим функционирования Ψ_{ik} может влиять на параметры обслуживания ТСТБ последующих требований.

Положим, что время восстановления W_{ij} удовлетворяет нормальному распределению с заданным средним (стандартным отклонением) в зависимости от уровня γ_i тяжести аварии.

Блоки анализа ресурсов имитируют наличие ограниченного числа и величины ресурсов, что задается вектором параметров \mathfrak{R} . Отметим, что недостаток ресурсного обеспечения наряду с наднормативными характеристиками времени реакции D_{ij} и времени ликвидации аварии T_{ij} является основанием для разработки соответствующей программы развития ТСТБ.

4. Заключение

Проведен анализ режимов функционирования основных блоков логической структуры имитационной модели ТСТБ, предложенной в работе. Данная имитационная модель представляет собой инструментальную среду поддержки принятия решений при проведении анализа опасностей и риска техногенных аварий на ПОО ТПС, формирования миссии программы развития ТСТБ на этапе ее разработки, а также может применяться для решения оперативных задач управления программой развития на всех этапах реализации ее компонент.

Литература: 1. Попов В.М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2014. № 2 (20). С. 32-41 2. Попов В.М. Концептуальное представление системы техногенной безопасности региона / В.М. Попов, М.В. Новожилова, И.А. Чуб // Системи обробки інформації. 2012. Вип. 9(107). С. 201-205. 3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. Київ: Чорнобиль-інтерінформ. 2014. – 236с. 4. Ouyang Min A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems / Min Ouyang L. Duecas-Osorio, Xing Min // Structural Safety, 2012. N 36–37. P. 23-31. 5. Vugrin E.D. A framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems/ E.D. Vugrin, D.E. Warren, M.A. Ehlen, R.C. Camphouse // Sustainable and resilient critical infrastructure systems: simulation, modeling, and intelligent engineering. Berlin: Springer-Verlag, 2010. 420p. 6. Берман А.Ф. Информатика катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. №3. С. 17-37. 7. Попов В.М. Модель адаптивной системы техногенной безопасности региона/ В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системи обробки інформації, 2012. Вип. 6. С.248–252. 8. Попов В.М. Принципы адаптивного управления программами развития региональных систем техногенной безопасности / В.М. Попов, М.В. Новожилова, И.А. Чуб // Управління проектами: стан та перспективи: Х міжнарод. науч.-практ. конф., 16-19 сентября 2014. Николаев: тез. докл. Николаев, НУК им. адм. Макарова, 2014. С. 215-218. 9. Кельтон В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. СПб.: Питер; Киев: ВНУ, 2004. 847 с.

Поступила в редколлегию 24.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гребенник И. В.

Попов Вадим Михайлович, канд. техн. наук, доцент, проректор Национального университета гражданской защиты Украины. Научные интересы: математическое моделирование системы техногенной безопасности региона. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Чернышевская, 94, тел. (057) 707-34-13.

Новожилова Марина Владимировна, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующая кафедрой Харьковского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: системный анализ, математическое моделирование сложных динамических систем. Адрес: Украина, Харьков, 61000, ул. Сумская, 40, тел. (057) 706-20-49.

УДК519.7

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ

ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., ЭЗЕ Ф.М.

Предлагается подход к решению проблем управления запасами, основанный на эволюционных методах, возникающих при поиске рационального плана раскроя. Показывается возможность сравнительно легкой адаптации алгоритма к различным вариантам постановки задачи. В качестве объектов исследования рассматриваются системы интеллектуального анализа данных и объекты производственной деятельности предприятий и фирм различного назначения. Рассматривается задача управления запасами в системах производственного планирования на примере задачи оптимального раскроя ресурсов.

1. Введение

В данной работе приводится формальная постановка задачи, на решение которой изначально был направлен первый генетический алгоритм, и общая схема работы самого алгоритма. Описываются составляющие генетического алгоритма и их назначение. Для решения конкретной задачи разработчик, исследователь может сконструировать свою конкретную схему работы генетического алгоритма из его составляющих. При этом разработчик руководствуется особенностями предметной области, формализации задачи, структурой используемых данных, возможно, даже результатами тестирования других схем генетического алгоритма. Разумеется, в строении всех таких алгоритмов есть общие элементы и последовательность действий, которые являются основой генетических алгоритмов и отличают их от многих других. Данная статья посвящена опыту конструирования конкретных вариантов генетического алгоритма.

2. Состояние проблемы и анализ методов эволюционной оптимизации

Средства эволюционной оптимизации включают следующие методы: нейронные сети, деревья решений, генетические алгоритмы, а также их комбинации [1].

Нейронные сети относят к классу нелинейных адаптивных систем, строением они условно напоминают нервную ткань из нейронов. Это набор связанных друг с другом узлов, получающих входные данные, которые осуществляют их обработку и вырабатывают

на выходе определенный результат. На узлы нижнего слоя подаются значения входных параметров, на их основе производятся вычисления, необходимые для принятия решений, прогнозирования развития ситуации. Эти значения рассматривают как сигналы, которые передаются в вышележащий слой, усиливаясь или ослабляясь в зависимости от числовых значений (весов), приписываемых межнейронным связям. На выходе нейрона самого верхнего слоя вырабатывается значение, которое рассматривается как ответ, реакция всей сети на введенные начальные значения. Так как каждый элемент нейронной сети частично изолирован от своих соседей, у таких алгоритмов имеется возможность для распараллеливания вычислений. Нейроны сети обрабатывают входные данные, для которых известны и значения входных параметров, и правильные ответы на них. Обучение состоит в подборе весов межнейронных связей, которые обеспечивают наибольшую близость ответов сети к известным правильным ответам. После обучения на имеющихся данных сеть готова к работе и может быть использована для построения прогнозов поведения объекта в будущем. Нейронные сети используются для решения задач прогнозирования, классификации или управления.

Достоинство – сети могут аппроксимировать любую непрерывную функцию, нет необходимости заранее принимать какие-либо предположения относительно модели. Исследуемые данные могут быть неполными или зашумленными. Удобны при работе с нелинейными зависимостями.

Недостаток – необходимость иметь большой объем обучающей выборки. Окончательное решение зависит от начальных установок сети. Данные должны быть обязательно преобразованы к числовому виду. Полученная модель не объясняет обнаруженные знания.

Деревья решений используют разбиение данных на группы на основе значений переменных. В результате получается иерархическая структура операторов «Если..., то ...», которая имеет вид дерева. Для классификации объекта или ситуации нужно ответить на вопросы, стоящие в узлах этого дерева, начиная от его корня. Если ответ положительный, переходят к правому узлу следующего уровня, если отрицательный – к левому узлу. Заканчивая ответы, доходят до одного из конечных узлов, где указывается, к какому классу надо отнести рассматриваемый объект. Деревья решений предназначены для решения задач классификации и поэтому весьма ограниченно применяются в области финансов и бизнеса.

Достоинство – простое и понятное представление признаков для пользователей. В качестве целевой переменной используются как измеряемые, так и не измеряемые признаки – это расширяет область применения метода.

Недостаток – проблема значимости. Данные могут разбиваться на множество частных случаев, возникает “кустистость” дерева, которое не может давать статистически обоснованных ответов. Полезные результаты получают только в случае независимых признаков.

Генетические алгоритмы (ГА) на данный момент являются наиболее известным представителем эволюционных методов оптимизации. Они содержат все основные генетические операции. ГА получены в процессе обобщения и имитации в искусственных системах свойств живой природы:

- приспособляемость к изменениям среды;
- естественный отбор;
- наследование потомками наиболее «ценных» свойств родителей.

С его помощью можно улучшать работу поисковых систем, которые требуют обработки больших массивов информации; оптимизировать работу нефтяных трубопроводов; распределять инструменты в металлообрабатывающих цехах; осуществлять оптимизацию профилей балок в строительстве и т.д. Решение задач комбинаторной оптимизации является одной из основных областей применения ГА. Генетические алгоритмы имитируют процесс естественного отбора в природе. Для нахождения более оптимального с точки зрения критерия все решения описываются набором чисел или величин нечисловой природы. Поиск оптимального решения похож на эволюцию популяции индивидов, которые представлены наборами их хромосом. В этой эволюции действуют три механизма:

- отбор сильнейших наборов хромосом, которым соответствуют наиболее оптимальные решения;
- скрещивание – получение новых индивидов при помощи смешивания хромосомных наборов отобранных индивидов;
- мутации – преобразование хромосомы, случайное изменение одного или несколько генов (чаще – одного).

Наиболее популярное приложение генетического алгоритма – оптимизация многопараметрических функций. Реальные задачи формируются как поиск оптимального значения сложной функции, зависящей

от некоторых n – входных параметров. Сила ГА – в способности манипулировать одновременно многими параметрами. В одних случаях получено точное решение функции, в других – решением считается любое значение, лучшее некоторой заданной величины.

Чтобы реализовать генетический алгоритм, надо сначала выбрать структуру для представления этих решений. Структура данных ГА состоит из одной или большего количества хромосом. После проведенных в ходе применения ГА операций осуществляем декодирование и получаем подмножество значений, которые соответствуют субоптимальному решению задачи. Генетический алгоритм оптимизации является множественно-вероятностным, т.е. он позволяет находить множество значений, которые примерно соответствуют искомому условию. Это существенно для решения задач с неявно выраженными максимумами или минимумами. Существует множество модификаций генетического алгоритма, которые отличаются методами отбора, скрещивания, хромосомной кодировки. Традиционный (основной) ГА работает с двоичной строкой определенной длины, использует следующие свойства:

- на каждом поколении реализуется отбор пропорционально функции приспособленности;
- одноточечный кроссовер (скрещивание);
- мутация.

Как метод оптимизации ГА обладает внутренним параллелизмом: различные существенные комбинации генов отыскиваются параллельным образом, одновременно для всех комбинаций. Чем меньше комбинация, тем легче ее определить. В связи с тем, что алгоритм в процессе поиска использует некоторую кодировку значений, а не сами значения, он эффективно может применяться для решения задач дискретной оптимизации, которые могут быть определены как на числовых, так и на конечных множествах произвольной природы. Так как в качестве информации об оптимизируемой функции для работы алгоритма используются лишь значения в рассматриваемых точках пространства поиска, то данный алгоритм применим к широкому классу функций. Генетический алгоритм успешно справляется с поставленной задачей даже там, где не существует общеизвестных алгоритмов решения или высока степень априорной неопределенности.

Достоинство – метод удобен для решения различных задач комбинаторики и оптимизации, предпочтителен больше как инструмент научного исследования.

Недостаток – возможность эффективно сформулировать задачу, определить критерий отбора хромосом, и сама процедура отбора является эвристической и под силу только специалисту. Постановка задачи в терминах не дает возможности проанализировать статистическую значимость получаемого с их помощью решения.

3. Формулировка задачи исследования

Для построения математической модели за основу возьмем один из методов интеллектуального анализа данных – генетические алгоритмы, и на их базе будем решать поставленную задачу.

Целью работы является исследование деятельности предприятия, составление математической модели задачи в классе экстремальных задач и определение на основе решения оптимальной стратегии работы фирмы на определенный срок, а также анализ возможных колебаний затрат и цен реализации, которые не приведут к изменению стратегии.

Формально *генетический алгоритм* – это любой алгоритм поиска приближенного решения поставленной задачи, построенный по *схеме генетического алгоритма*.

Шаг 0. Создать случайную начальную популяцию $\{S_k(0)\}$.

Шаг 1. Вычислить приспособленность $f(S_k)$ каждой особи (S_k) популяции $\{S_k(t)\}$.

Шаг 2. Производя отбор особей из $\{S_k(t)\}$ в соответствии с их приспособленностями $f(S_k)$ и применяя генетические операторы (скрещивания и мутации) к отобранным особям для получения потомства, сформировать популяцию следующего поколения $\{S_k(t+1)\}$.

Шаг 3. Повторять шаги 1, 2 для $t = 0, 1, 2, \dots$ до тех пор, пока не выполнится некоторое условие окончания эволюционного поиска (прекращается рост максимальной приспособленности в популяции, число поколений t достигает заданного предела).

Возможны различные варианты генетического алгоритма, которые отличаются по схемам отбора особей из текущего поколения в новое, операторам скрещивания и мутации хромосом особей, по форме представления хромосом и т.д. Традиционный вид генетического алгоритма базируется на следующей частной схеме:

– цепочки символов в хромосомах бинарные (символы S_{kj} принимают значения 0 либо 1), длина цепочек постоянна ($N = \text{const}$);

– метод отбора – пропорционально-вероятностный;

– скрещивания производятся по одноточечной схеме.

Рассмотрим задачу распределения ресурсов на примере решения задачи оптимального раскроя [2].

На заготовочный участок радиоцеха поступили листы фольгированного гетинакса размером $l_1 * l_2$ мм. Его необходимо разрезать на заготовки для печатных плат:

Π_1 размером $l_3 * l_4$ мм, Π_2 – $l_5 * l_6$ мм, Π_3 – $l_7 * l_8$ мм, Π_4 – $l_9 * l_{10}$ мм, необходимость в которых $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ единиц соответственно.

Построить модель, на ее основании составить экстремальную задачу, решение которой дает минимальное количество разрезанных выходных листов. Найти решение задачи в условиях минимизации отходов раскроя. Предусмотреть возможность максимизации количества комплектов печатных плат при условии выполнения комплектности $\Pi_1:\Pi_2:\Pi_3:\Pi_4 = k_1:k_2:k_3:k_4$ (таблица).

Исходные данные: $l_1 * l_2, \Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, k_1, k_2, k_3, k_4$ (таблица).

Используемые переменные: $\Pi_i = a_i$ – необходимое количество заготовок i -го типа; C_j – отход при раскрое единиц исходного материала j -м способом; $j = \overline{1, m}$

– количество вариантов раскроя; a_{ij} – количество заготовок i -го типа ($i = \overline{1, 4}$), по-

лученных при раскрое единицы исходного материала j -м вариантом; i – вид заготовки; q – количество изделий ($\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$); a – количество разрезанных листов; K – количество типов листов, поступающих на раскрой ($K = 1$); l_i – компетентность-количество заготовок i -го вида в одном комплекте; x_j – количество единиц исходного материала, который раскраивается j -м вариантом;

Параметры	Значение
l_1	136
l_2	158
l_3	92
l_4	36
l_5	51
l_6	88
l_7	46
l_8	40
l_9	50
l_{10}	50
Π_1	270
Π_2	200
Π_3	310
Π_4	90
Комплектность	3:2:1:5

4. Формализация исследуемой задачи

Сформируем ограничения для данной задачи [2]:

$$\sum_{j=1}^m x_j = a, \quad (1)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j = \Pi_i. \quad (3)$$

Функция цели имеет вид:

$$F(x) = \sum_{j=1}^m x_j \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$F(x) = a \rightarrow \min. \quad (5)$$

Функция цели имеет вид:

$$\sum_{j=1}^n C_j x_j \rightarrow \min. \quad (6)$$

Необходимо предусмотреть возможность максимизации количества комплектов печатных плат при условии выполнения комплектности $\Pi_1:\Pi_2:\Pi_3:\Pi_4 = k_1:k_2:k_3:k_4$.

Функция цели имеет вид:

$$F(x) = X \rightarrow \max, \quad (7)$$

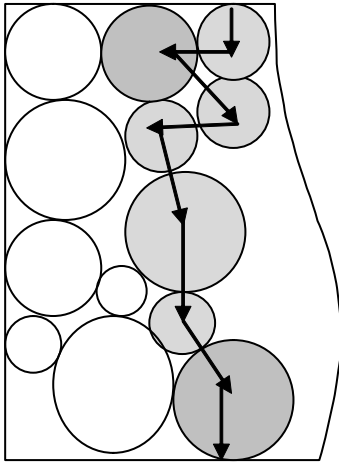


Рис. 1. Схема края размещения

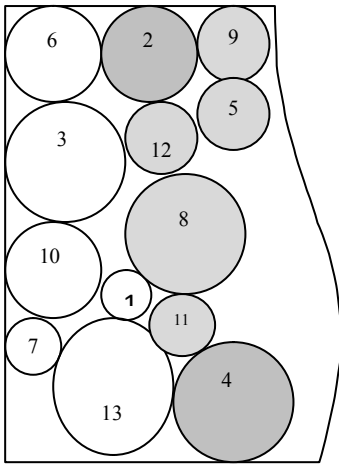


Рис. 2. Формальная запись края размещения

Для лучшего описания понятия края упаковки можно провести физическую аналогию. Пусть торец полосы W – дно двумерного стакана, нальем в него воду. Все хотя бы частично намокшие предметы – это край полосы (рис.2).

При помощи специальной структуры данных краевой декодер хранит информацию о крае текущего размещения и располагает каждый следующий предмет

вплотную к краю, минимизируя общую занятую предметами длину полосы.

Для решения задачи предлагается модификация генетического алгоритма, использующая процедуру декодирования как параметр. Сам генетический алгоритм (т.е. схема его работы, смена поколений), структура хромосомы, операторы мутации, скрещивания, селекции не чувствительны к геометрии размещаемых предметов. Например, оператор мутации случайным образом переставляет два номера предметов в хромосоме. Оператор скрещивания двух хромосом порождает двух потомков. Начальный участок дочерней хромосомы совпадает со случайным участком хромосомы одного родителя, а конец состоит из оставшихся предметов, перечисленных в том порядке, в котором они следуют в хромосоме другого из родителей.

Например, оператор скрещивания (для случайных параметров $p = 3, q = 4$) для родителей $S_{p1} = (1,2,3,4,5,6,7,8,9)$ и $S_{p2} = (4,7,9,1,2,5,3,8,6)$ порождает потомка $S_{c1} = (3,4,5,6,7,9,2,8)$ и для тех же родителей (для удобства понимания по-другому записанных) $S_{p2} = (4,7,9,1,5,3,8,6)$ и $S_{p1} = (1,2,3,4,5,6,7,8,9)$ – потомка $S_{c2} = (9,1,2,5,3,4,7,8)$. Оператор мутации (для случайных параметров $a = 2, b = 7$) исходную особь $S = (9,8,7,6,5,4,3,2,1)$ преобразует в особь вида $S_m = (9,3,7,6,5,4,8,2,1)$.

Генетический алгоритм показал, что оценочная полиномиальная сложность алгоритма и относительно короткие времена работы программы не зависят от типа задачи. В то же время оценочная сложность блочного декодера пропорциональна квадрату размерности задачи (числу предметов), а краевого — линейно зависит от размерности.

Разработанный алгоритм ориентирован на расширение и модификацию. Смена декодера позволяет решать задачу раскроя полубесконечной полосы как на

прямоугольные, так и на круглые предметы. Предположительно, если воспользоваться таким эвристическим приемом, как годограф Хэкманна, в качестве декодера, то тот же алгоритм возможно использовать для раскроя полубесконечной полосы на предметы нерегулярной формы.

Обе изначально поставленные задачи раскроя предполагают размещение предметов не на полубесконечной полосе, как обсуждалось при формализации задач, а на наборе прямоугольных листов. Данный алгоритм был модифицирован и для решения задач раскроя в таких, действительно прикладных, а не абстрактных постановках.

В реальном производстве, например, металлургическом, все листы имеют одинаковую ширину. Это выгодное обстоятельство дает возможность не рассматривать набор отдельных листов, а условно разбить на них непрерывную полосу. Предложено оставить в математической постановке задачи полубесконечную полосу, но добавить ограничение: предметы не должны пересекать границы между листами.

При модификации алгоритма остались неизменными все генетические операторы и сама схема работы генетического алгоритма.

6. Выводы

Исследованы проблемы организационного управления на предприятиях, разработана модель объекта управления и процессов управления, выявлены наиболее значимые, с точки зрения повышения эффек-

тивности, процессы принятия решений в системе управления раскроем. Исследованы методики поддержки принятия решений в процессах управления поступлением, хранением ресурсов, основанных на предложенной модели расчета затрат. Разработана методика принятия решений в целях оптимизации системы управления распределением материально-технических ресурсов, используемых на предприятиях. Проведен анализ эффективности разработанной методики управления запасами.

Научная новизна исследования заключается в обосновании экономического механизма управления запасами материально-технических ресурсов и разработке методического обеспечения процесса принятия решений по оптимизации объемов запасов.

Основными результатами исследования являются: обоснование места, роли и рациональной структуры запасов в системе планирования сбытовой деятельности предприятия в современных условиях; разработка концептуальных подходов к решению оптимизационных задач в области управления материально-технических ресурсов, использующих инструментарий анализа и процесса принятия решений; определение факторов стратегии управления запасами, основанных на различных параметрах системы закупок, таких как периодичность заказа, постоянная партия объема пополнения заказа, уровень восполнения запаса.

Практическая значимость определена возможностью применения разработанной методики в области управления производственными ресурсами на малых предприятиях, использующих в производственном процессе незначительное количество материальных

ресурсов как по номенклатуре, так и по объему. Разработанные теоретические и методические положения доведены до практических моделей и алгоритмов, в результате чего появляется возможность дать количественное обоснование размеров партий заказов, закупок и продаж, повышается достоверность расчетов.

Список литературы: 1. Гвоздинский А.Н. Методы аналитической обработки информации / А.Н. Гвоздинский, Е.Г. Клишко // Радиоэлектроника и информатика. 2000. №4. С.111-112. 2. Гвоздинский А.Н. Принципы и методы оптимизации в современных организационных системах управления: Научно-технический журнал / А.Н. Гвоздинский, А.Е. Козлова, А.О. Дроздов // X: Бионика интеллекта, 2013. №2(81). С.66-70. 3. Гвоздинський А.М. Методи оптимізації в системах прийняття рішень / А.М. Гвоздинський, Н.А. Якімова, В.О. Губін // X: ХНУРЕ, 2006. С.327. 4. Гвоздинський А.М. Методи оптимізації в системах організаційного управління / А.М. Гвоздинський, В.Л. Шергін, В.О. Губін // X: ХНУРЕ, 2014. С.395.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кузмин А.Я.

Поступила в редколлегию 21.10.2014

Гвоздинский Анатолий Николаевич, канд. техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация процедур принятия решений в сложных системах управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Академика Ляпунова, 7, кв.9, тел. 702-38-23.

Эзе Франклин Майкл, студент группы КН-12-5 кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: методы принятия решения в системах искусственного интеллекта. Адрес: Украина, 61158, Харьков, ул. Гв. Широнинцев, 11, кв.140, тел. (096)-77-47-405.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЯ

ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., БАТУРА Е.С.

Исследуются возможности использования методов эволюционной оптимизации для решения многокритериальных задач в производственных системах управления. В качестве основного аппарата для разработки систем производственного планирования используется многокритериальная оптимизация.

Введение

В последнее время проявляется тенденция использования естественных аналогов при создании моделей технологий методик алгоритмов для решения тех или иных задач, стоящих перед человечеством. В большинстве случаев это дает положительные результаты. Как правило, это объясняется тем, что аналог, взятый из природы, совершенствовался в течение многих лет эволюции и имеет в данный момент совершенную в своем роде структуру.

В настоящее время наиболее известным представителем эволюционных алгоритмов является генетический алгоритм (ГА), который содержит все основные генетические операции. Он получен в процессе обобщения и имитации в искусственных системах свойств живой природы [1]:

– приспособляемость к изменениям среды;

– естественный отбор;

– наследование потомками наиболее «ценных» свойств родителей.

С его помощью можно улучшить работу поисковых систем, которые требуют обработки больших массивов информации.

Среди основных трудностей использования генетического алгоритма – возможность эффективно сформулировать задачу, определить рациональный выбор функции приспособленности и хромосом, которые описывают особей популяции, являются эвристическими и под силу только специалисту.

Актуальность исследования: Одной из особенностей предлагаемого метода является отход от традиционной схемы «размножения» ,используемой в большинстве реализованных ГА-тах и повторяющих классическую схему, предложенную в Голландии [2]. Классическая схема предполагает ограничение численности потомков путем так называемой вероятности кроссовера. Такая модель придает величине, соответствующей численности потомков, вообще говоря,

недетерминированный характер. В работе предлагается отойти от вероятности кроссовера и использовать фиксированное число брачных пар на каждом поколении, при этом каждая брачная пара «дает» двух потомков. Такой подход хорош тем, что делает процесс поиска более управляемым и предсказуемым в смысле вычислительных затрат [3].

Цель работы – исследование возможности использования методов эволюционной оптимизации для решения многокритериальных задач в производственных системах управления.

Задачи исследования. В рамках данной статьи рассмотреть некоторые методы эволюционной оптимизации производственного планирования.

Сущность исследования. В качестве основного аппарата для разработки систем производственного планирования используется многокритериальная оптимизация [4].

1. Построение математической модели

Из множества качественных показателей для оценки взяты основные, на базе которых формируется задача.

1. Величина прибыли, получаемой предприятием, определяемой с помощью соотношения:

$$F_1(X) = \sum_{j=1}^n C_j^{(1)} X_j \longrightarrow \max, \quad (1)$$

$X_j \in Q = \{1, 2, \dots, n\}$, где Q – множество видов продукции, выпускаемой предприятием.

2. Показатель валового объема выпускаемой продукции задается соотношением:

$$\sum_{i=1}^5 P_i * X_i \longrightarrow \max. \quad (2)$$

Для конкретных значений функция цели принимает вид:

$$F_2(X) = 10x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 16x_4 + 11x_5 \longrightarrow \max.$$

3. Минимизация себестоимости:

$$\sum_{i=1}^5 C_i * X_i \longrightarrow \min. \quad (3)$$

4. Минимизация производственного времени:

$$\sum_{i=1}^5 T_i * X_i \longrightarrow \min. \quad (4)$$

Исходя из этого, задача исследования может быть сформулирована следующим образом. Определить

оптимальный план $X^{(0)} \in Q$ производства продукции, удовлетворяющий критериям (1)-(4).

Ограничениями на выпуск продукции различных видов служат производственные ресурсы b_1, b_2, \dots, b_m . С учетом норм затрат на единицу каждого типа продукции указанные ограничения можно записать в виде:

$$AX \leq B^T, \quad (5)$$

$$X \geq 0, \quad (6)$$

где $B^T = b_1, b_2, \dots, b_m$, (7)

$A = \{a_{ij}\}, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$ – матрица норм затрат ресурсов на единицу каждого типа продукции.

Выражение (5) описывает условия, которые необходимо учесть в годовой производственной программе. Строкам матрицы A соответствуют все виды ресурсов (группы машин, запасы материалов и т.д.), рассматриваемые в задачах. Соответствующие строкам A компоненты вектора B указывают ограничения видов ресурсов или объем производства, которые установлены для годовой производственной программы предприятия. Неравенства (6) представляют собой обычные условия неотрицательности, вытекающие из смысла задачи.

Тогда общая постановка задачи может быть сформулирована так: определить вектор $X^{(0)}$, обеспечивающий компромисс между величиной прибыли (1), качеством продукции (2) и минимальной себестоимостью (3), которые удовлетворяют ограничению минимизации производственного времени (4).

Один из возможных подходов к решению состоит в том, что вначале находятся три оптимальных вектора производства $X^{(i)}, i = \overline{1, 4}$, каждый из которых соответствует одному из локальных критериев (1)-(4). Затем определяется выпуклая линейная комбинация $X^{(0)}$, представляющая собой оптимальную (компромиссную) программу относительно указанных критериев:

$$X^{(0)} = v_1 x^{(1)} + v_2 x^{(2)} + v_3 x^{(3)}, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^3 v_i, v_i \geq 0. \quad (9)$$

2. Расчет показателей производства

3.1. Максимизация прибыли – это по существу задача расчета показателей качества продукции, относится к задачам линейной оптимизации [1]. В общем ее можно записать так:

$$\sum_{i=1}^5 (P_i - C_i) * X_i \longrightarrow \max. \quad (10)$$

Эту задачу обычно решают симплекс-методом [1].

Идея симплекс-метода состоит в последовательном продвижении по базисам опорных планов вплоть до получения оптимального решения или доказательства неразрешимости задач. При этом значение целевой функции должно увеличиваться.

Для конкретных значений функция цели будет иметь вид:

$$F_1(X) = 7x_1 + 8x_2 + 4x_3 + 14x_4 + 10x_5 \longrightarrow \max.$$

3.2. Функция цели будет выражать максимизацию валового объема выпуска продукции. Запишем ее в общем виде:

$$F_2(\overline{X}) = \sum_{i=1}^5 P_i * X_i \longrightarrow \max. \quad (11)$$

Для конкретных значений функция цели примет вид:

$$F_2(X) = 10x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 16x_4 + 11x_5 \longrightarrow \max.$$

3.3. Третьей функцией цели представим минимизацию себестоимости, которая имеет вид:

$$F_3(\overline{X}) = \sum_{i=1}^5 C_i * X_i \longrightarrow \min. \quad (12)$$

Запишем эту функцию для конкретных значений:

$$F_3(X) = 3x_1 + 4x_2 + 4x_3 + 2x_4 + x_5 \longrightarrow \min.$$

3.4. И, наконец, в роли четвертой функции цели будет выступать минимизация производственного времени:

$$\sum_{i=1}^5 T_i * X_i \longrightarrow \min. \quad (13)$$

Для конкретных значений эта функция имеет вид:

$$F_4(X) = 2x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 + 3x_5 \longrightarrow \min.$$

Для получения общего решения, нужно найти оптимальное решение для каждой функции цели. Для этого будем использовать вместо традиционных методов оптимизации методы эволюционной оптимизации. Остановимся на применении генетических алгоритмов типа муравьиных колоний [3].

1. Основу поведения муравьев составляет самоорганизация, механизмы которой обеспечивают теоретически оптимальное поведение. Принципы его состоят в достижении системой некоторой глобальной цели в результате низкоуровневого взаимодействия ее элементов. Здесь имеется в виду использование систе-

мой только локальной информации, при этом исключается любое централизованное управление и обращение к внешнему образу системы.

Муравьиный алгоритм применяется следующим образом: в начальный момент времени, в который входит эта функция базы знаний, находится количество муравьев, равное числу кластеров, куда входит эта функция. При этом каждый муравей имеет строгую принадлежность тому кластеру, из которого он начал свое движение. Принадлежность кластеру проявляется в том, что муравей более восприимчив к феромону, оставленному муравьями из “своего” кластера:

$$F_1(X) = \sum_{j=1}^n C_j^{(1)} X_j \longrightarrow \max, X_j \in Q = \{1, 2, \dots, n\}, \quad (14)$$

где Q - множество видов продукции, выпускаемых предприятием.

2. При переходе из одной функции в другую муравей оставляет на связи, соединяющей эти функции, определенное количество феромона. Для того чтобы избежать схождения маршрута всех муравьев к одному циклу, используется испарение феромона:

$$\sum_{i=1}^5 P_i * X_i \longrightarrow \max. \quad (15)$$

Для конкретных значений эта функция цели примет вид:

$$F_2(X) = 10x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 16x_4 + 113x_5 \longrightarrow \max.$$

Муравьиный алгоритм применяется на двух этапах знаний системы. Вначале он запускается на пространственной (многомерной) модели базы, после чего на основании его работы делаются первоначальные выводы. Затем модель упрощается: удаляются некоторые связи между функциями, отдельные функции объединяются в более крупные структурные единицы, структура знаний отражается на двумерном пространстве. После этого алгоритм запускается на упрощенной плоской модели знаний.

3. Для решения задач, представленных моделями (3)-(4), воспользуемся генетическими алгоритмами [2]. Оптимизировать работу нефтяных трубопроводов; распределять инструменты в металлообрабатывающих цехах; осуществлять оптимизации – одна из основных областей применения ГА. Генетические алгоритмы имитируют процесс естественного отбора в природе. Все решения задачи описываются набором чисел или величин нечисловой природы. Поиск оптимального решения похож на эволюцию популяции индивидов, которые представлены набором их хромосом. В этой эволюции действуют три механизма, (рисунок). Можно выделить следующие механизмы: отбор сильнейших наборов хромосом, которым соответствуют наиболее оптимальные решения;

скрещивание – получение новых видов при помощи смешивания хромосомных наборов отобранных индивидов;

мутации – преобразование хромосомы, случайное изменение одного или нескольких генов (чаще одного).

В результате смены поколений выбирается такое решение поставленной задачи, которое уже нельзя улучшить.

Для рассмотрения данной задачи используем минимизацию себестоимости:

$$\sum_{i=1}^5 C_i * X_i \longrightarrow \min. \quad (16)$$

4. Наиболее популярное приложение генетического алгоритма – оптимизация многопараметрических функций. Реальные задачи формируются, как поиск оптимального значения сложной функции, зависящих от некоторых n выходных параметров. Сила ГА в способности манипулировать одновременно многими параметрами. В одних случаях получено точное решение функции, в других – решением считается любое значение, лучшее некоторой заданной величины.

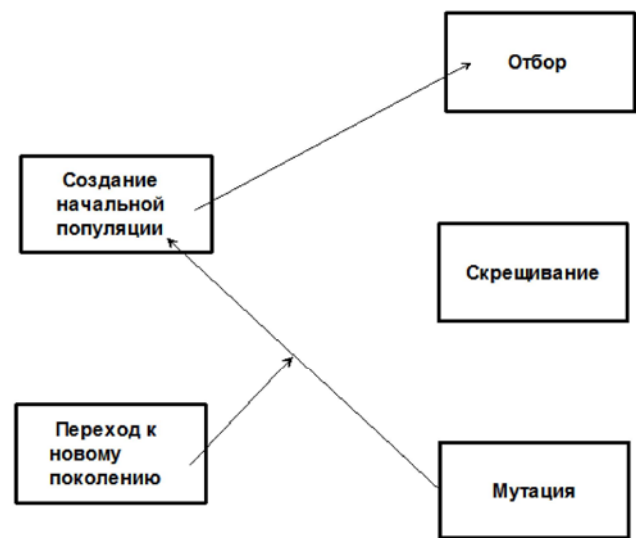


Схема генетического алгоритма

Общую схему генетического алгоритма лучше понять, когда рассматривается задача минимизации производственного времени:

$$\sum_{i=1}^5 T_i * X_i \longrightarrow \min. \quad (17)$$

Общую схему генетического алгоритма можно записать следующим образом.

1. Выбрать начальную популяцию $S_k(0), \{S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{kn}\}$, где N – длина цепочки. Считать это $f^* = \max \{f(S_k) | S_k \in S_k(t), t = 0\}$.

2. Пока не выполнен критерий остановки, нужно делать следующее:

– выбрать родителей из S_{k1}, S_{k2} из популяции $S_k(t)$ (отбор);

– построить новое решение S_k по S_{k1}, S_{k2} (скрещивание);

– модифицировать S_k (мутация);

– если $f^* < f(S_k)$, то $f^* = f(S_k)$;

– обновить $t := t + 1$.

3. Поиск оптимального компромиссного решения

После решения локальных задач оптимизации следует установить «меру оценки», которая укажет отклонение значений целевых функций при выборе единичного оптимального вектора производства от оптимальных значений остальных целевых функций [4].

Скалярная характеристика выбирается по формуле:

$$a_{ij} = \frac{F_j(X_j) - F_j(X_j^*)}{F_j(X_j^*)}, i, j = \overline{1, 3}, \quad (18)$$

где $F_j(X_j)$ – значение локальной функции цели j -й задачи, вычисленной в результате подстановки решения 1-й задачи. Значение a_{ij} характеризует «качество» оптимальной производственной программы X_i относительно показателя $F_j(X_j) \rightarrow \text{extr}$ и представляет собой множество потерь относительно этого показателя, если выполняется программа X_i вместо X_j .

Строкам матрицы $A = \| -a_{ij} \|$ соответствуют 3 оптимальных вектора производства $x_n, n = \overline{1, 3}$, столбцам 3 – целевые функции $F_j(X_j) \rightarrow \text{extr}, j = \overline{1, 3}$.

Матрица A может условно рассматриваться как матрица платежей матричной игры двух лиц X и F с нулевой суммой, которая определена множеством чистых стратегий $\{x_1, x_2, x_3\}$ первого игрока и множеством чистых стратегий второго игрока.

Выводы

При разработке проектов сложных систем, в частности автоматических систем управления АСУ, перед проектировщиком возникает проблема принятия решений при наличии одновременно нескольких показателей качества.

Поэтому разработка методов принятия решений при нескольких критериях оптимальности в условиях неопределенности по-прежнему остается одной из главных задач исследования операций.

Исследование операций как наука располагает разнообразными средствами моделирования целенаправленной деятельности. Существующие и развиваемые подходы к анализу прикладных программ проникают в новые области автоматизированного управления. Полученные результаты не только позволяют рационально расходовать ограниченные ресурсы, но и развивают наши представления о возможностях изучаемой науки.

Научная новизна: результатом проведенного исследования является решение многокритериальной задачи с использованием генетических алгоритмов.

Практическая значимость: результатом применения предложенных методов является нахождение оптимальных по задаваемым критериям показателей деятельности предприятия.

Литература: 1. Гвоздинский А.Н. Климко Е.Г. Методы аналитической обработки информации // Радиоэлектроника и информатика. 2000. №4. С.111-112. 2. Гвоздинский А.Н. Климко Е.Г. Применение генетических алгоритмов для решения оптимизационных задач // Сб. научных трудов 7-й Международной конференции «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». Харьков: ХНУРЭ, 2001. С.390-391. 3. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // ExponentaPro. Математика в приложениях. 2003 №4. С. 58-134. 4. Гвоздинський А.М., Губін В.О., Шергін В.Л. Методи оптимізації в організаційному управлінні. Х.: ХНУРЕ 2014. С. 395.

Поступила в редколлегия 17.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Куземин А.Я.

Гвоздинский Анатолий Николаевич, канд. техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация процедур принятия решений в сложных системах управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Академика Ляпунова, 7, кв.9, тел.702-38-23.

Батура Елена Сергеевна, студент ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация процедур принятия решений. Адрес: 61051 Харьков, ул. Целиноградская, 36, кв. 205, e-mail: bes.pol@mail.ru



СТЕГАНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ НЕРАВНОВЕСНОГО ПОЗИЦИОННОГО КОДИРОВАНИЯ

БАРАННИК В.В., БЕКИРОВ А.Э.,
БАРАННИК Д.В.

Рассматривается использование неравновесного позиционного кодирования в качестве функционального преобразования для числа с встроенной информацией. Разрабатывается метод стеганографического кодирования с маскированием структурной стеганографической избыточности. На основе сформулированного правила проектируется стеганографическая система для встраивания одного бита скрываемой информации на позицию старшего элемента неравновесного позиционного числа. На примере показывается процесс встраивания и извлечения встроенной информации с одновременной реконструкцией исходного неравновесного позиционного числа.

1. Введение

Одним из возможных путей повышения безопасности информационных ресурсов является использования стеганографических методов скрытия данных в изображении – контейнере.

Наиболее распространенными стеганографическими методами являются алгоритмы непосредственного встраивания информации в элементы пространственно-временного представления изображения - контейнера. Но такие системы имеют недостатки, обусловленные внесением значительных визуальных искажений в значения пространственно – временных элементов изображения – контейнера и низкой устойчивостью встроенных данных к активным атакам злоумышленника. В связи с этим наиболее актуальным является нахождение новых подходов для разработки альтернативных стеганографических алгоритмов непосредственного встраивания.

Возможным решением проблемы улучшения показателей визуальной устойчивости стеганограммы, а также стойкости к трансформации и атакам является разработка функционального преобразования для элемента с встроенными данными. В качестве кодообразующего функционала, соответствующего требованиям относительно процесса скрытия данных, предлагается использовать кодообразующую функцию для неравновесного позиционного числа. Отсюда **цель**

исследований состоит в разработке стеганографической системы на основе прямого и обратного функционального преобразования для неравновесного позиционного числа с имплантированным элементом.

2. Описание метода стеганографического кодирования с маскированием структурной стеганографической избыточности

В процессе реализации функционального преобразования на основе неравновесного позиционного кодирования область исходного изображения, содержащая совокупность видеопоследовательностей, рассматривается как множество неравновесных позиционных чисел $\{A(j)\}$. Здесь неравновесное позиционное число $A(j)$ без имплантации для j -го столбца массива видеоизображения состоит из m элементов, т.е. $A(j) = \{a_{1,j}; \dots; a_{i,j}; \dots; a_{m,j}\}$.

Имплантацию в число $A(j)$ предлагается проводить поэлементно, т.е. один элемент b_ξ на позицию γ -го разряда числа $A(j)$. Здесь b_ξ - ξ -й элемент встраиваемой последовательности $B = \{b_1; \dots; b_\xi; \dots; b_v\}$, $b_\xi \in [0; 255]$, $\xi = \overline{1, v}$. В этом случае имплантация задается следующей формулой:

$$A(j)' = A(j) \cup b_\xi, \quad b_\xi = a'_{\gamma,j}.$$

В результате имплантации число $A(j)'$ примет вид:

$$A(j)' = \{a_{1,j}; \dots; a'_{\gamma,j}; \dots; a_{i,j}; \dots; a_{m+1,j}\},$$

где $A(j)'$ – число с имплантированным элементом $a'_{\gamma,j}$ в γ -й разряд числа; $(m+1)$ – количество элементов в числе с имплантацией.

На следующем этапе число $A(j)'$ с имплантированным элементом кодируется. На этом этапе проводится встраивание скрываемой информации в код-контейнер. Значение кода-контейнера, содержащее скрываемую информацию, называется стеганокодом. Формирование стеганокода на основе кодирования неравновесного позиционного (НП) числа с имплантированным элементом скрываемого сообщения называется структурным стеганографическим кодированием в неравновесном позиционном базисе.

Значения стеганокода $N(j)'$ для НП числа с имплантацией определяется по следующей формуле:

$$N(j)' = \left(\sum_{i=1}^{\gamma-1} a_{i,j} V'_{i,j} \right) + a'_{\gamma,j} V'_{\gamma,j} + \sum_{i=\gamma+1}^{m+1} a_{i,j} V'_{i,j}.$$

Здесь $V'_{i,j}$ – весовой коэффициент элемента $a_{i,j}$; j – количество столбцов в массиве фрагмента видео-

изображения, $j = \overline{1, n}$; $V'_{\gamma, j}$ – весовой коэффициент имплантированного элемента $a'_{\gamma, j}$.

Данный коэффициент, равный накопленному произведению оснований старших элементов числа $A(j)'$, находится с помощью следующего выражения:

$$V'_{\gamma, j} = \prod_{\xi=\gamma+1}^{m+1} \Psi_{\xi, j}.$$

Значение весового коэффициента $V'_{i, j}$ для элемента $a_{i, j}$ определяется на основе выражения:

$$V_{i, j} = \begin{cases} \Psi'_{\gamma, j} \prod_{\xi=i+1}^{m+1} \Psi_{\xi, j}, & \rightarrow i = \overline{1, \gamma-1}; \\ \prod_{\xi=\gamma+1}^{m+1} \Psi_{\xi, j}, & \rightarrow i = \gamma; \\ \prod_{\xi=i+1}^{m+1} \Psi_{\xi, j}, & \rightarrow i = \overline{\gamma+1, m+1}. \end{cases}$$

В случае такого встраивания фрагмент исходной видеопоследовательности рассматривается как позиционное число $A(j)' = \{a_{1, j}, \dots, a'_{\gamma, j}, \dots, a_{i, j}, \dots, a_{m+1, j}\}$ с имплантированным элементом $a'_{\gamma, j}$, $i = \overline{1, m+1}$. Для числа $A(j)'$ кодовое представление $C(A(j)')$ его стеганокда $N(j)'$ в неравновесном позиционном базисе формируется в два этапа.

Первый этап включает в себя вычисление стеганокда $N(j)'$, как взвешенного суммирования величин $a_{i, j} V'_{i, j}$ и $a'_{\gamma, j} V'_{\gamma, j}$. Кодограмма $C(A(j)')$ стеганокда формируется на втором этапе для величины $N(j)'$:

$$C(A(j)') = \{c_1, \dots, c_\tau, \dots, c_{q(j)'}\},$$

где $q(j)'$ – длина кодограммы $C(A(j)')$.

В результате стеганографического кодирования формируются кодовые комбинации, состоящие из двух частей: служебной $\Psi^{(1)}$ и информационной $N(j)'$ (значение стеганокда). Такую кодовую комбинацию будем называть стеганограммой.

Длина $q(j)'$ кодограммы стеганокда $N(j)'$ для числа $A(j)'$ с имплантацией определяется по формуле:

$$\begin{aligned} q(j)' &= |N(j)'|_2 = [\log_2 \Psi'_{\gamma, j} + \log_2 \prod_{i=1}^m \Psi_{i, j}] + 1 = \\ &= [\log_2 \Psi'_{\gamma, j} + \sum_{i=1}^m \log_2 \Psi_{i, j}] + 1, \end{aligned}$$

где $|N(j)'|_2$ – длина стеганокда $N(j)'$.

В то же время длина $q(j)$ кодограммы кода-контейнера $N(j)$ числа $A(j)$ без имплантированного элемента определяется на основе следующего выражения:

$$\begin{aligned} q(j) &= |C(A(j))| = [\log_2 \prod_{i=1}^m \Psi_{i, j}] + 1 = \\ &= [\sum_{i=1}^m \log_2 \Psi_{i, j}] + 1 \text{ (бит)}. \end{aligned}$$

Из сравнения выражений для $q(j)'$ и $q(j)$ можно заключить, что в процессе формирования стеганокда для числа $A(j)'$ с имплантированным элементом относительно варианта до встраивания вносится структурная стеганографическая избыточность, равная величине $(\log_2 \Psi'_{\gamma, j})$ бит.

Появление стеганографической избыточности негативно влияет на выявление факта встраивания информации. Неавторизированный пользователь на основе имеющейся в кодограмме системы оснований $\Psi^{(1)}$ может вычислить длину $q(j)$ кодограммы для кода контейнера $N(j)$. Это позволит злоумышленнику установить наличие встроенной информации.

Поэтому для устранения влияния стеганографической избыточности на проведение атаки злоумышленником предлагается использовать маскирование структурной стеганографической избыточности.

Локализацию структурной стеганографической избыточности в процессе формирования стеганокда в неравновесном базисе предлагается осуществлять на основе коррекции длины кодограммы $C(A(j)')$ стеганокда $N(j)'$. Процесс коррекции предусматривает приведение длины кодограммы стеганокда $q(j)'$ к значению длины $q(j)$. В физическом плане реализация коррекции кодограммы заключается в отбрасывании $(\log_2 \Psi'_{\gamma, j})$ младших бит кодограммы $C(A(j)')$, т.е.

$$C_j'' = [N(j)'']_2 = [N(j)' / \Psi_{i, j}]_2,$$

где $N(j)''$ – значение стеганокда, скорректированное в процессе маскирования структурной стеганографической избыточности; $[N(j)'']_2$ – двоичное значение скорректированного стеганокда $N(j)''$; C_j'' – кодограмма кодового представления скорректированного стеганокда $N(j)''$.

Чтобы обеспечить появление минимального значения $R(j)_{\text{стег}}$ структурной стеганографической избыточности в процессе стеганографического кодирования предлагается встраивать элементы в двоичном представлении, т.е. $b_\xi \in [0; 1]$. В этом случае основание встроенного элемента будет равно $\Psi'_{\gamma, j} = 2$. Тогда количество $R(j)_{\text{стег}}$ структурной избыточности будет равно:

$$R(j)_{\text{стег}} = q(j)' - q(j) = 1 \text{ (бит)}.$$

Следовательно, встраивание двоичного элемента позволяет минимизировать степень несоответствия между значениями стеганокода и кода – контейнера. В этом случае правило локализации будет иметь вид:

$$C_j'' = [N(j)'']_2 = [N(j)' / 2]_2 .$$

После локализации стеганографической избыточности длина $q(j)''$ кодограммы скорректированного стеганокода $N(j)''$ будет вычисляться с помощью следующей формулы:

$$q(j)'' = \lceil (\sum_{i=1}^{m+1} \log_2 \psi_{i,j}) / 2 \rceil + 1 = q(j) .$$

Для повышения устойчивости встроенных данных предлагается размещать один бит скрываемой информации на позицию старшего элемента НП числа. В этом случае вес встраиваемого элемента $V'_{\gamma,j}$ в неравновесном позиционном числе будет наибольшим, т.е.

$$V'_{\gamma,j} = V'_{1,j} = \max_{1 \leq i \leq m+1} \{V'_{i,j}\} .$$

Следовательно, встраиваемый элемент будет более устойчив к преобразованиям со стеганокодом.

3. Основная часть

Рассмотрим этапы функционирования стеганографической системы с маскированием стеганографической избыточности (рис. 1). Данная система позволяет встроить бит скрываемого сообщения на старшую позицию НП числа в процессе стеганографического кодирования. Полученная в результате такого кодирования стеганограмма состоит из служебной и информационной частей. Реализация извлечения встроенных данных происходит по биполярному принципу: для авторизованного и неавторизованного пользователя.

Стеганографическая система включает в себя следующие базовые составляющие:

1. Стеганографическое кодирование с маскированием структурной стеганографической избыточности.

Рассмотрим процесс стеганографического кодирования. Данный этап включает в себя следующие действия:

1) Имплантацию элемента b_ξ на позицию старшего элемента числа $A(j)$. Здесь b_ξ - ξ -й элемент встраиваемой последовательности $B = \{b_1; \dots; b_\xi; \dots; b_v\}$, $b_\xi \in [0; 1]$, $\xi = \overline{1, v}$. Имплантация задается следующей формулой

$$A(j)' = A(j) \cup b_\xi, \quad b_\xi = a'_{1,j} \in [0, 1].$$

В результате имплантации, число $A(j)'$ примет следующий вид:

$$A(j)' = \{ a'_{1,j}; \dots; a_{i,j}; \dots; a_{m+1,j} \},$$

где $A(j)'$ – число с имплантированным на старшую позицию элементом $a'_{1,j}$.

2) Формирование стеганокода $N(j)'$ для числа $A(j)'$ с имплантированным элементом $a'_{1,j}$. Учитывая механизм локализации количества структурной стеганографической избыточности, выражения для формирования стеганокода $N(j)'$ будет иметь вид:

$$N(j)' = a'_{1,j} V'_{1,j} + \sum_{i=2}^{m+1} a_{i,j} V'_{i,j}; \quad V'_{i,j} = \prod_{\xi=i+1}^{m+1} \psi_{\xi,j},$$

где $V'_{i,j}$ – весовой коэффициент элемента $a_{i,j}$; $V'_{1,j}$ – весовой коэффициент имплантированного элемента, равный накопленному произведению оснований всех элементов числа $A(j)'$, т.е.

$$V'_{1,j} = \prod_{i=2}^{m+1} \psi_{i,j},$$

здесь $\psi_{i,j}$ – основание $(i; j)$ -го элемента числа $A(j)'$ с имплантацией.

С учетом того, что $a'_{1,j} \in [0; 1]$, преобразуем выражение для стеганокода к следующему виду:

$$N(j)' = \begin{cases} \sum_{i=2}^{m+1} a_{i,j} V'_{i,j} = N(j), & \rightarrow a'_{1,j} = 0; \\ V'_{1,j} + \sum_{i=2}^{m+1} a_{i,j} V'_{i,j} = V'_{1,j} + N(j), & \rightarrow a'_{1,j} = 1, \end{cases}$$

или используя функцию sign, получим:

$$N(j)' = (1 - \text{sign}(1 - a_{1,j})) \cdot V'_{1,j} + \sum_{i=2}^{m+1} a_{i,j} V'_{i,j} .$$

3) Маскирование структурной стеганографической избыточности. Осуществление такого маскирования происходит путем коррекции стеганокода $N'(j)$, а именно уменьшением длины его двоичного представления на один бит. Для получения значения скорректированного стеганокода $N(j)''$ используется следующее выражение:

$$N(j)'' = N(j)' / 2$$

или

$$N(j)'' = ((1 - \text{sign}(1 - a_{1,j})) \cdot V'_{1,j} + \sum_{i=2}^{m+1} a_{i,j} V'_{i,j}) / 2 .$$

4) Формирование кодограммы C_j'' для кодового представления скорректированного стеганокода $N(j)''$:

$$C_j'' = \{c_1, \dots, c_\tau, \dots, c_{q(j)''}\},$$

где $q(j)''$ – длина кодограммы C_j'' , равная $q(j)'' = \lceil (\sum_{i=1}^{m+1} \log_2 \psi_{i,j}) / 2 \rceil + 1$.

На рис. 2 схематически отображены этапы стеганографического кодирования.

II. Процесс извлечения данных, содержащихся в стеганограмме.

Структурное стеганографическое декодирование позволяет на основе реконструированного стеганокода одновременно изъять бит скрываемой информации и восстановить исходное неравновесное позиционное число.

Процесс стеганографического декодирования в данном случае осуществляется по биполярному принципу для авторизованного пользователя и злоумышленника (неавторизованный пользователь).

В случае неавторизованного доступа, когда у злоумышленника нет информации о позиции стеганокода в сжатом представлении изображения и позиции встро-

енного элемента, процесс декодирования осуществляется на основе следующих этапов:

1) Извлечение из кодограммы C_j'' скорректированного стеганокода $N(j)''$ при помощи системы оснований $\Psi^{(1)}$.

2) Восстановление элементов исходной видеопоследовательности по формуле:

$$a''_{i,j} = [N(j)'' / V_{i,j}] - [N(j)'' / (\psi_{i,j} V_{i,j})] \psi_{i,j},$$

где $a''_{i,j}$ – i -й элемент реконструируемого числа $A(j)''$, как составляющей реконструируемой j -й видеопоследовательности при неавторизованном доступе.

3) Оценка качества визуального восприятия реконструируемого изображения, т.е. проведение атаки относительно наличия встроенной информации.

Наоборот, когда проводится стеганографическое декодирование авторизованным пользователем, то ему доступна следующая информация:

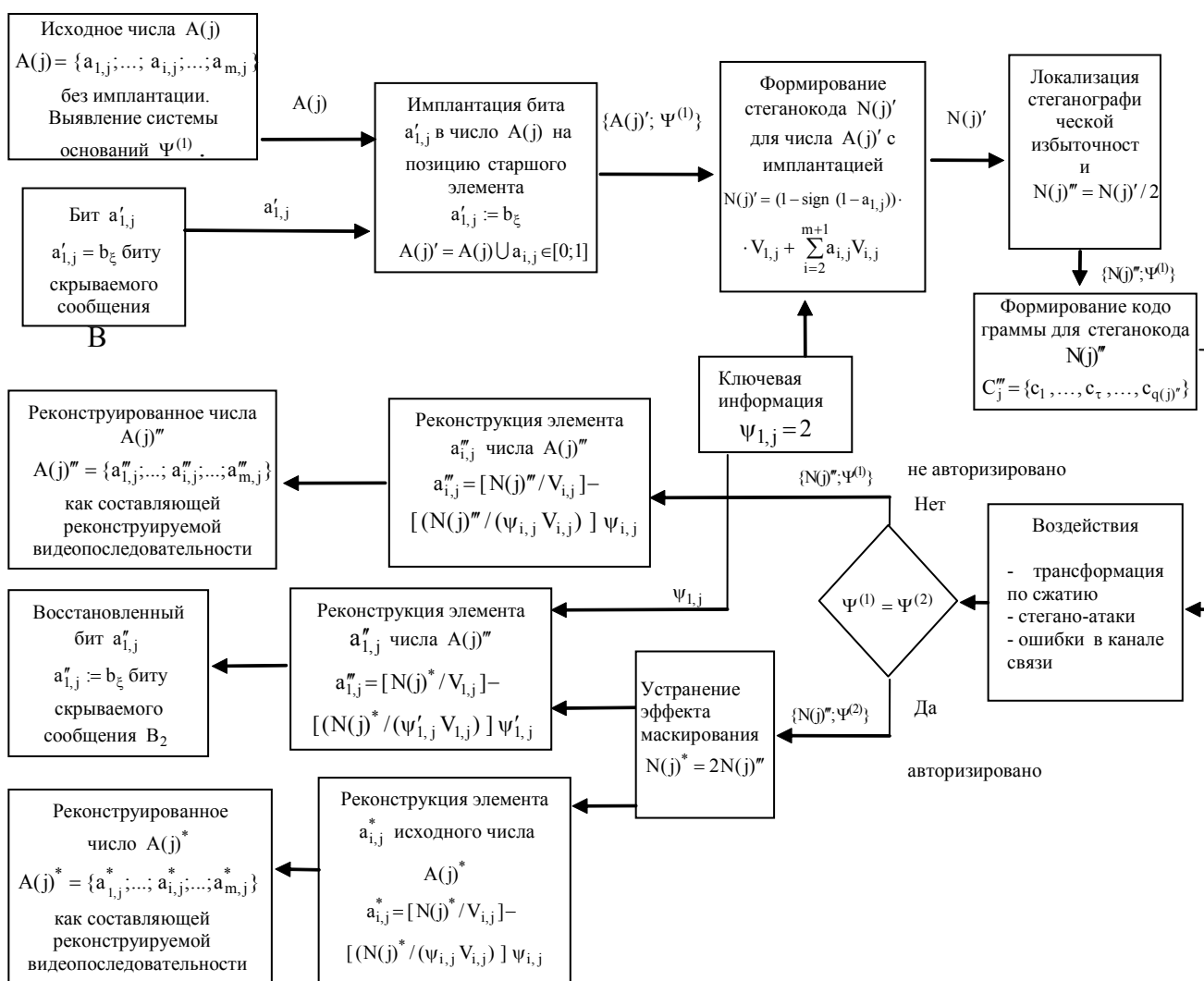


Рис. 1. Структурная схема стеганографической системы на основе имплантации скрываемого двоичного элемента на старшую позицию НПЧ с последующим кодированием и маскированием

а) позиция стеганокода в сжатом представлении изображения;

б) позиция встроенного элемента $a'_{1,j}$;

в) основание встроенного элемента.

В этом случае стеганографическое декодирование будет содержать следующие этапы:

1. Извлечение из кодограммы C_j''' скорректированного стеганокода $N(j)'''$. Такое извлечение осуществляется на основе системы оснований $\Psi^{(1)}$, которая содержится в служебной части стеганограммы.

2. Проведение демаскирования стеганокода (устранение эффекта маскирования).

Для этого к двоичному представлению стеганокода $N(j)'''$, извлеченного из кодограммы C_j''' , добавляется один бит (ноль). Значение восстановленного стеганокода $N(j)^*$ определяется по формуле:

$$N(j)^* = N(j)''' \cdot 2.$$

3. Восстановление встроенного элемента $a'_{1,j}$. Данный этап реализуется на основе информации о позиции стеганокода в сжатом изображении, о позиции встроенного элемента и его основания $\Psi'_{1,j} = 2$. Для этого используется следующая формула:

$$a''_{1,j} = [N(j)^* / V'_{1,j}] - [N(j)^* / (\Psi'_{1,j} V'_{1,j})] \Psi'_{1,j}.$$

Здесь $a''_{1,j}$ – значение изъятого бита встроенной информации, $b_\xi := a''_{1,j}$.

4. Восстановление остальных элементов $a_{i,j}^*$ исходной видеопоследовательности проводится на основе использования системы оснований $\Psi^{(1)}$. При этом применяется выражение:

$$a_{i,j}^* = [N(j)^* / V'_{i,j}] - [N(j)^* / (\Psi_{i,j} V'_{i,j})] \Psi_{i,j},$$

где $a_{i,j}^* - i$ -й элемент числа $A(j)^*$, как составляющей реконструируемой исходной j -й видеопоследовательности при авторизированном доступе.

Рассмотрим пример, когда в число $A(j) = (3; 5; 2; 6)$ с неравновесным базисом оснований $\Psi^{(1)} = (7, 6, 6, 8)$ имплантируется бит $a'_{1,j} = 1$ на позицию старшего элемента. Тогда число $A'(j)$ с имплантацией примет вид: $A(j)' = (1; 3; 5; 2; 6)$.

В таблице отображены промежуточные значения величин, которые использовались для получения результирующей кодограммы $C'_j = C(A(j)')$ стеганокода $N(j)'$ для числа $A(j)'$ с имплантированным элементом. Она определяется по формуле:

$$C'_j = \{2016\}_2 + \{864\}_2 + \{1240\}_2 + \{16\}_2 + \{6\}_2 = \{3142\}_2$$

Промежуточные значения величин, которые используются при получении кодограммы C'_j

i	$a_{i,j}$	$V_{i,j}$	$a_{i,j} V_{i,j}$	$C'_{i,j}$	$\lceil \log_2 a_{i,j} V_{i,j} \rceil + 1$	C'_j
1	1	2016	2016	111111 00000	11	3142
2	3	288	864	110110 0000	10	
3	5	48	240	111100 00	8	
4	2	8	16	10000	5	
5	6	1	6	110	3	

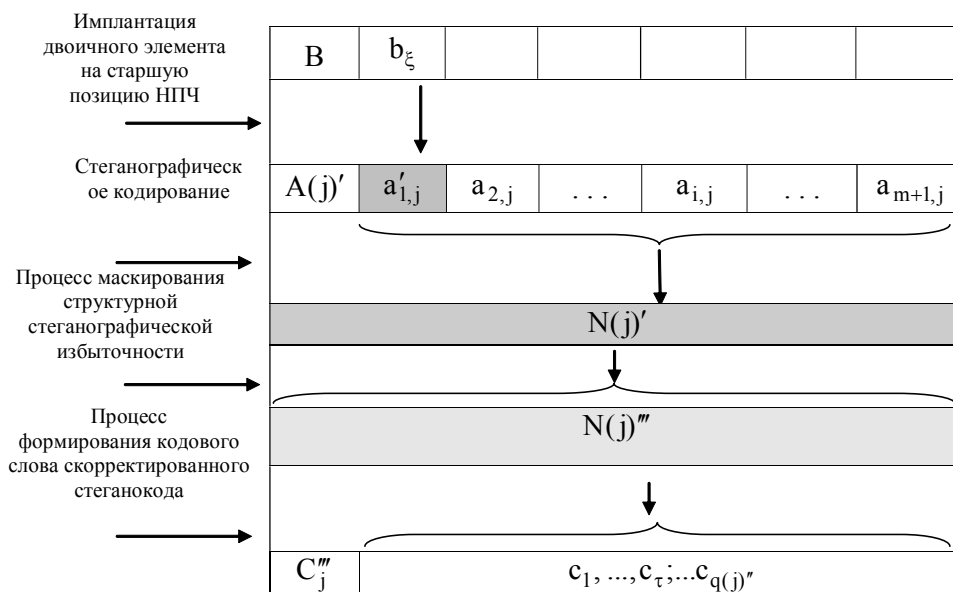


Рис. 2. Структурная схема построения кодограммы скорректированного стеганокода для числа $A'(j)$ с имплантацией

Первая строка таблицы содержит значения для встраиваемого элемента $a'_{1,j} = 1$. Значения для элементов числа $A(j)$ исходной видеопоследовательности содержатся в остальных строках таблицы.

Длина $q(j)'$ кодового представления стеганокода $N(j)'$ числа $A(j)'$ с имплантированным элементом $a'_{1,j} = 1$ определяется на основе следующего выражения:

$$q(j)' = [\log_2 \psi'_{1,j} \cdot \log_2 (\prod_{i=2}^{m+1} \psi_{i,j})] + 1 = 12 \text{ (бит)}.$$

Величина $R_{\text{стег}}$ стеганографической избыточности кодограммы стеганокода $N(j)'$ числа $A(j)'$ относительно кода-контейнера составляет:

$$R_{\text{стег}} = q(j)' - q(j) = 12 - 11 = 1 \text{ (бит)}.$$

Здесь локализация количества $R_{\text{стег}}$ стеганографической избыточности будет заключаться в приведении длины кодограммы C'_j стеганокода $N(j)'$ к значению $q(j)$. Для этого необходимо отбросить младший бит информационной части кодограммы C''_j . При этом длина $q(j)'$ будет отличаться от длины $q(j)$ на один бит. Поэтому необходимо провести локализацию структурной стеганографической избыточности.

Процесс локализации структурной стеганографической избыточности задается формулой:

$$N(j)''' = N(j)' / 2 = 3142 / 2 = 1571.$$

Здесь $N(j)'''$ – значение скорректированного стеганокода.

В результате локализации структурной стеганографической избыточности значения $N(j)'''$ и $N(j)$ будут различными, т.е. $N(j)''' = 1571 \neq N(j)' = 3142$.

Значение кодограммы C''_j после применения локализации будет иметь следующий вид:

$$C''_j = \{111100010011\}.$$

Рассмотрим процесс стеганографического декодирования с демаскированием стеганокода $N(j)'''$. Для этого к двоичному представлению стеганокода $N(j)'''$ добавляется бит (ноль). Значение демаскированного стеганокода $N(j)^*$ определяется по формуле:

$$N(j)^* = N(j)''' \cdot 2 = 1571 \cdot 2 = 3142.$$

Встроенный элемент $a''_{1,j}$ восстанавливается путем извлечения из кодограммы стеганокода $N(j)^*$. Здесь используется служебная информация, а именно сис-

тема оснований $\Psi^{(1)}$. Извлечение проводится по формуле:

$$a''_{1,j} = [N(j)^* / V'_{1,j}] - [N(j)^* / (\psi'_{1,j} V'_{1,j})] \psi'_{1,j} = \\ = [3142 / 2016] - [3142 / (2 \cdot 2016)] \cdot 2 = 1.$$

Отсюда можно заключить, что встроенный бит изымается в процессе реконструкции без ошибок, т.е.

$$a''_{1,j} = a'_{1,j}.$$

Восстановление остальных элементов, $i = \overline{2, m+1}$ для кода-контейнера осуществляется с помощью выражения:

$$a^*_{i,j} = [N(j)^* / V'_{i,j}] - [N(j)^* / (\psi_{i,j} V'_{i,j})] \psi_{i,j}.$$

Для $i = 2$ значение элемента $a^*_{i,j}$ будет равно:

$$a^*_{2,j} = [3142 / 288] - [3142 / (7 \cdot 288)] \cdot 7 = 3.$$

Для $i = 3$ значение элемента $a^*_{i,j}$ будет равно:

$$a^*_{3,j} = [3142 / 48] - [3142 / (6 \cdot 48)] \cdot 6 = 5.$$

Для $i = 4$ значение элемента $a^*_{i,j}$ будет равно:

$$a^*_{4,j} = [3142 / 8] - [3142 / (6 \cdot 8)] \cdot 6 = 2.$$

Для $i = 5$ значение элемента $a^*_{i,j}$ будет равно:

$$a^*_{i,j} = [3142 / 1] - [3142 / (8 \cdot 1)] \cdot 8 = 6.$$

В результате демаскирующего стеганографического декодирования значения элементов $i = \overline{2, m+1}$ реконструированного числа $A(j)^*$ восстановлены без ошибок.

4. Выводы

Разработана стеганографическая система на основе прямого и обратного функционального преобразования для НП числа с имплантированным элементом, обеспечивающая встраивание и изъятие скрываемой информации на основе соответственно структурного стеганографического кодирования и декодирования.

Разработано структурное стеганографическое кодирование с маскированием, базирующееся на следующих этапах:

- формирование неравновесного позиционного базиса для фрагмента изображения;
- структурное стеганографическое кодирование в неравновесном базисе оснований;
- маскирование структурной стеганографической избыточности путем ее локализации на основе коррекции длины стеганограммы.

Разработано демаскирующее стеганографическое декодирование для извлечения имплантированного на старшую позицию бита с одновременной реконструкцией элементов исходного НП числа. Механизм демаскирующего стеганографического декодирования предусматривает:

- 1) восстановление исходной длины для скорректированного в процессе маскирования стеганокода;
- 2) структурное стеганографическое декодирование, обеспечивающее восстановление неравновесного позиционного числа с имплантированным элементом;
- 3) изъятие элемента скрываемого сообщения со старшей позиции неравновесного позиционного числа.

Научная новизна. Впервые разработана стеганографическая система, реализующая стеганографическое кодирование с маскированием, и демаскирующее стеганографическое декодирование. В отличие от существующих систем разработанная система обеспечивает встраивание скрываемой информации в процессе НП кодирования с последующей локализацией стеганографической избыточности. При этом изъятие скрываемой информации и восстановление неравновесного позиционного числа проводится на основе реконструкции стеганокода по биполярному принципу с демаскированием стеганографической избыточности.

Литература: 1. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / В. Г. Грибунин, И. Н. Оков, И. В. Туринцев. М.: Солон-Пресс, 2002. 272 с. 2. Коначович Г. Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г. Ф. Коначович, А. Ю. Пузыренко. К.: МК-Пресс, 2006. 288 с. 3. Тарасов Д. О. Класифікація та аналіз безкоштовних програмних засобів стеганографії / Д. О. Тарасов, А. С. Мельник, М. М. Голобородько // Інформаційні системи та мережі: Вісник НУ "Львівська політехніка". №673. Львів, 2010. С. 365-374. 4. Соколов А. В. Защита от компьютерного терроризма. Справочное пособие / А. В. Соколов, О. М. Степанюк. СПб.: БВХ-Петрбург; Арлит, 2002. 496 с. 5. Баранник В. В. Технология неравновесного позиционного кодирования для функционального преобразования чисел со встроенной информации / В. В. Баранник, Ю. Н. Рябуха, А. Э. Бекиров // Радиотехнические компьютерные системы. 2014. №4. С. 23-32.

Поступила в редколлегию 12.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В. М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры боевого применения и эксплуатации автоматизированных систем управления, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79.

Бекиров Али Энверович, соискатель ХНУРЭ. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Ленина, 14.

Баранник Дмитрий Владимирович, студент первого курса факультета КИУ ХНУРЭ. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Ленина, 14.

ПОСТРОЕНИЕ КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ С НАИМЕНЬШИМ КОЛИЧЕСТВОМ НЕОБНАРУЖИВАЕМЫХ СИММЕТРИЧНЫХ ОШИБОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ ВЕКТОРАХ

САПОЖНИКОВ В. В., САПОЖНИКОВ ВЛ. В.,
ЕФАНОВ Д. В.

Рассматривается задача построения кодов с суммированием, эффективных с позиции обнаружения симметричных ошибок в информационных векторах. Полученные в работе коды обнаруживают также все монотонные искажения в информационных векторах. Ввиду простоты правил построения такие коды с суммированием могут быть эффективно использованы при организации систем функционального контроля логических устройств. Устанавливаются свойства предложенных кодов с суммированием, а также приводится пример их применения при выборе варианта кодирования для организации контроля комбинационной схемы со 100%-м обнаружением всех одиночных неисправностей во внутренней структуре.

1. Введение

Как на транспорте, так и в промышленности проблеме обеспечения безопасности при реализации технологических процессов уделяется особое внимание. Поддержка высокого уровня безопасности ведется на уровне человека-оператора и на уровне автоматических систем управления, которые постоянно совершенствуются: появляются новые функции, усложняется элементная база, развиваются методы обработки информации.

При построении надежных и безопасных систем управления на микропроцессорной и микроэлектронной основе часто используются методы функционального и тестового контроля. Тестовый контроль позволяет определять техническое состояние объекта диагностирования при подаче на его входы специальных проверочных воздействий [1 – 4]. Это требует отключения объекта диагностирования от работы. Тестовый контроль часто применяют при 100%-м резервировании объектов. Другим подходом к построению надежной структуры является применение функционального (рабочего, *on-line*, пассивного) контроля, когда состояние объекта диагностирования определяется в режиме выполнения им своих функций [5 – 8].

В данной работе освещаются аспекты, связанные с использованием избыточного кодирования при построении систем функционального контроля логических устройств. Приводится эффективное решение по построению контролепригодных структур с применением свойств модифицированных кодов с суммированием по обнаружению ошибок в информационных векторах.

2. Применение избыточного кодирования при построении системы функционального контроля

В системе функционального контроля логическое устройство $f(x)$, реализующее систему булевых функций $\langle f_1 f_2 \dots f_m \rangle$, снабжается блоком контрольной логики $g(x)$, формирующим ряд контрольных функций $\langle g_1 g_2 \dots g_k \rangle$ (рис. 1) [9, 10]. Между функциями $\langle f_1 f_2 \dots f_m \rangle$ и $\langle g_1 g_2 \dots g_k \rangle$ на этапе построения системы функционального контроля устанавливается однозначное соответствие, что достигается использованием избыточного кодирования. Информационный вектор заранее выбранного кода сопоставляется с вектором данных, вычисляемых блоком основной логики $f(x)$, а контрольный – с вектором данных, формируемых блоком контрольной логики $g(x)$ на тех же входных воздействиях. Для сравнения информационного и контрольного векторов система функционального контроля дополняется самопроверяемым тестером [4 – 6, 11, 12].

При возникновении ошибок в блоках $f(x)$, $g(x)$ или в самом тестере на контрольных выходах формируется непарафазный сигнал $\langle 00 \rangle$ или $\langle 11 \rangle$, что является сигналом возникновения неисправностей. В структуре, приведенной на рис. 1, при отдельной реализации каждого из блоков возникшая в произвольный момент времени одиночная неисправность может привести к нарушениям в работе только одного из блоков. Неисправности тестера обнаруживаются хотя бы на одном входном наборе, так как он строится самопроверяемым, а значит, защищенным от собственных неисправностей [5, 6]. Искажения в блоке $g(x)$ обнаруживаются всегда, так как нарушают установленное на этапе проектирования системы функционального контроля соответствие между значениями рабочих и контрольных выходов. Дефекты в блоке основной логики могут приводить к неверным вычислениям и, как следствие, к ошибкам на выходах. Структура самого контролируемого устройства может быть такова, что произвольная одиночная неисправность может приводить к появлению искажений в значениях различного числа разрядов информационных векторов.

Ошибки в информационных векторах могут быть разделены на четыре группы:

однократные ошибки – искажения только одного информационного разряда (однократные ошибки выделяются из всего множества ошибок, так как всегда должны обнаруживаться избыточным кодом);

монотонные ошибки – возникают при искажениях некоторого количества только нулевых или только единичных разрядов;

симметричные ошибки – возникают при искажениях одинакового числа нулей и единиц (разнонаправленные ошибки, содержащие группы искажений $0>1$ и $1>0$) в информационных разрядах;

асимметричные ошибки – возникают в случае неравного количества искажений нулей и единиц в информационных разрядах.

Такая классификация позволяет проследить свойства избыточных кодов по обнаружению различных видов ошибок в информационных векторах и, соответственно, сформулировать критерии пригодности того или иного варианта кодирования для организации системы функционального контроля логических устройств. Например, часто используемые при организации систем функционального контроля классические коды с суммированием единичных информационных разрядов (или коды Бергера) не обнаруживают 100% симметричных ошибок в информационных векторах, обнаруживая, однако, все остальные типы ошибок [13 – 18]. Такое свойство кодов Бергера позволяет эффективно применять их для контроля логических устройств с независимыми или монотонно независимыми выходами [19, 20]. Вопросы применения кодирования для построения надежных систем автоматики и вычислительной техники рассмотрены, в [21 – 26].

Обозначим через m количество разрядов в информационном векторе кода с суммированием (длину информационного вектора) и через k – количество разрядов в контрольном векторе (длину контрольного вектора). От значения числа k и правил формирования разрядов контрольного вектора зависят свойства кода по обнаружению ошибок в информационных векторах, а также избыточность контрольного оборудования в системе функционального контроля.

Векторы классического кода с суммированием образуются по следующему правилу: в контрольные разряды записывается двоичное число, равное сумме

числа единичных информационных разрядов (равное весу r информационного вектора). Число контрольных разрядов в коде Бергера $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ (скобки $\lceil \dots \rceil$ в записи обозначают целое сверху от вычисляемого значения) [13]. Далее будем обозначать коды Бергера как $S(m,k)$ -коды.

Свойства $S(m,k)$ -кодов по обнаружению ошибок в системах функционального контроля изучены в [27, 28]. В данных работах показано, что классические коды с суммированием имеют низкую эффективность обнаружения ошибок в области малой кратности d .

Уменьшение количества необнаруживаемых ошибок достигается двумя способами. Первый [29, 30] заключается в модификации кода путем преобразования в каждом слове кода Бергера контрольной его части при помощи специального алгоритма, связанного с определением веса вектора по модулю $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$ и использованием поправочного коэффициента, равного сумме по модулю два некоторых разрядов информационного вектора. Второй способ [31 – 33] состоит в построении взвешенного кода с суммированием, в котором некоторым информационным разрядам приписываются веса $w_i > 1$. При этом возможен такой подбор весов, при котором взвешенный код будет обладать всеми ключевыми свойствами кода Бергера, но иметь меньшее число необнаруживаемых ошибок. С другой стороны, модифицированные коды могут (в отличие от кода Бергера) иметь некоторое число необнаруживаемых монотонных и асимметричных ошибок.

Наличие информации о структуре необнаруживаемых ошибок для различных кодов позволяет выбирать для

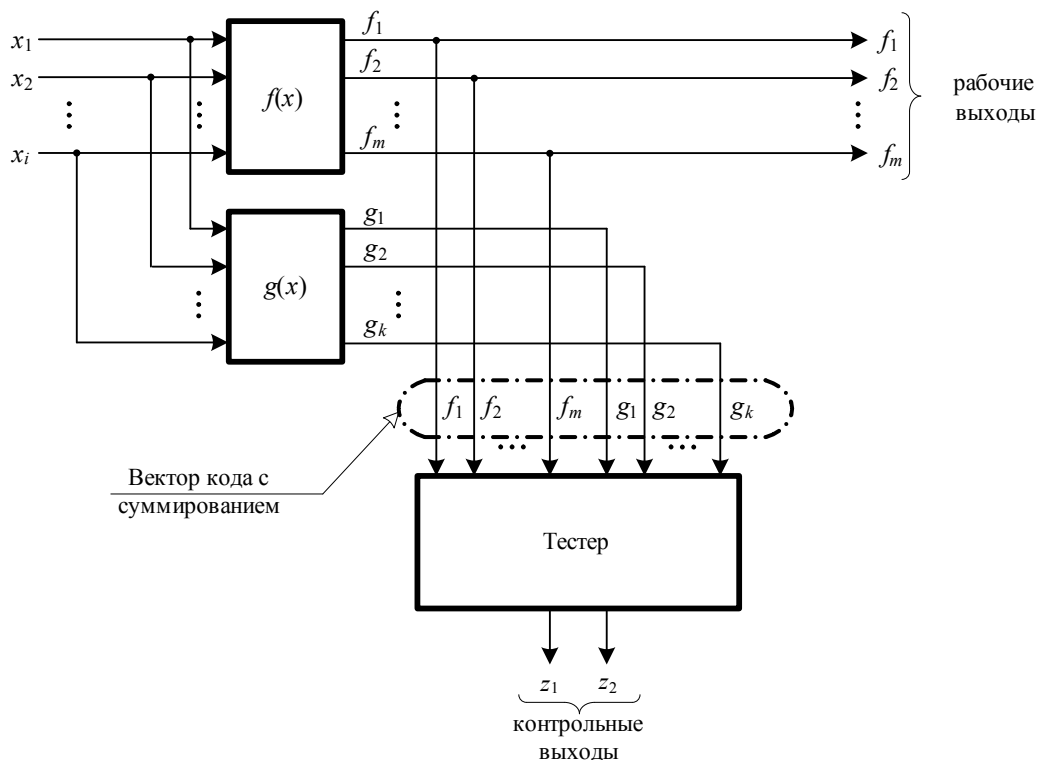


Рис. 1. Структура системы функционального контроля

конкретного логического устройства код, который обеспечивает наиболее эффективную систему функционального контроля. Для организации такого отбора при помощи логического моделирования определяется класс ошибок, возникающих на выходах контролируемой схемы при внесении в нее одиночных неисправностей логических элементов. Например, если моделирование показывает, что на выходах схемы возникают только немонотонные ошибки, то полный контроль схемы обеспечивает непосредственное применение кода Бергера. В другом случае, если на выходах схемы возможны только двукратные ошибки, то эффективным может оказаться применение кода Хэмминга, который обнаруживает все двойные ошибки [34].

В указанном смысле представляет интерес исследование свойств кодов (и возможностей их применения), которые позволяют обнаруживать не только монотонные, но и симметричные и асимметричные ошибки.

3. Коды с суммированием с наименьшим количеством необнаруживаемых ошибок в информационных векторах

Для определения свойств кодов с суммированием по обнаружению ошибок в информационных векторах удобно использовать табличную форму представления кода (табл. 1 в [27]). В столбцах таблицы размещаются контрольные группы, каждая из которых содержит все информационные векторы, соответствующие одному и тому же контрольному вектору. Для $S(m,k)$ -кода таблица содержит $m+1$ столбец, в каждом столбце находятся все C_m^r информационных вектора с одинаковым весом r ($r \in \{0,1,\dots,m\}$).

Так как значения весов r , соответствующих различным контрольным группам $S(m,k)$ -кода, существенно отличаются друг от друга, то для этого кода характерно неравномерное распределение информационных векторов по контрольным группам. Это определяет сравнительно большое количество необнаруживаемых ошибок в информационных векторах. Например, $S(6,3)$ -код не обнаруживает 860 симметричных ошибок, что составляет 21,239% от общего числа ошибок в информационных векторах.

Для изменения структуры необнаруживаемых ошибок воспользуемся методом взвешивания одного информационного разряда. При формировании на выходах контролируемого логического устройства $f(x)$ всех 2^m информационных векторов положение взвешенного разряда в векторе не отражается на свойствах самого кода с суммированием [35]. Это самый общий случай. Без потери общности положим, что весовой коэффициент будет приписан младшему разряду в информационном векторе. Обозначим данный класс кодов как $WS(m,k,w)$ -код, где w – значение взвешенного информационного разряда.

В $WS(m,k,w)$ -коде всем информационным векторам, у которых младший разряд равен 1, приписывается новый суммарный вес $W = r + w - 1$. Это приводит к новому распределению информационных векторов по контрольным группам по сравнению с распределением для $S(m,k)$ -кода.

В табл. 1 представлены контрольные группы для $WS(6,4,4)$ -кода. В ней 2^{m-1} информационных векторов с младшим единичным разрядом сдвигаются вправо в группы, соответствующие весам

Таблица 1

Вес информационного вектора, W									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Контрольные группы									
0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001
Информационные векторы									
000000	000010	000110	001110	<u>000001</u>	<u>000011</u>	<u>000111</u>	<u>001111</u>	<u>011111</u>	<u>111111</u>
	000100	001010	010110	011110	000101	001011	010111	101111	
	001000	001100	011010	101110	001001	001101	011011	110111	
	010000	010010	011100	110110	010001	010011	011101	111011	
	100000	010100	100110	111010	100001	010101	100111	111101	
		011000	101010	111100	111110	011001	101011		
		100010	101100			100011	101101		
		100100	110010			100101	110011		
		101000	110100			101001	110101		
		110000	111000			<u>110001</u>	<u>111001</u>		
Количество векторов в группе									
1	5	10	10	6	6	10	10	5	1

$W = r + w - 1$. Например, информационный вектор $\langle 000001 \rangle$ с весом $r=1$ перемещается из контрольной группы $\langle 0001 \rangle$ в группу $\langle 0100 \rangle$, так как в данном случае суммарный вес $W=1+4-1=4$, вектор $\langle 000011 \rangle$ ($r=2$) перемещается из группы $\langle 0010 \rangle$ в группу $\langle 0101 \rangle$ ($W=5$).

При перераспределении часть информационных векторов помещается в контрольные группы, где уже имеются информационные векторы (для $WS(6,4,4)$ -кода это группы $\langle 0100 \rangle$ и $\langle 0101 \rangle$), а часть – заполняет пустые контрольные группы (для $WS(6,4,4)$ -кода это группы $\langle 0110 \rangle$, $\langle 0111 \rangle$, $\langle 1000 \rangle$ и $\langle 1001 \rangle$). Последние соответствуют значениям веса $W > m$ и не заполняются при построении $S(m,k)$ -кода. В результате информационные векторы более равномерно размещаются по контрольным группам, что приводит к уменьшению количества необнаруживаемых ошибок: $WS(6,4,4)$ -код не обнаруживает 460 ошибок, что в 1,87 раза меньше, чем у $S(6,3)$ -кода. При этом меняется структура необнаруживаемых ошибок при сохранении свойства обнаружения всех монотонных ошибок в информационных векторах (это доказано в [36]).

В отличие от кода Бергера $WS(m,k,w)$ -коды обнаруживают определенные симметричные ошибки. Это ошибки максимальной кратности $d=m$ при четном значении m и $d=m-1$ при нечетном значении m . Рассмотрим, например, в табл. 1 информационный вектор $\langle 111000 \rangle$, расположенный в группе $\langle 0011 \rangle$. Ошибка максимальной кратности переводит этот вектор в вектор $\langle 000111 \rangle$ с тем же весом $r=3$. Но так как при этом всегда искажается взвешенный разряд, то искаженный вектор будет иметь суммарный вес W , отличный от веса r , и оба вектора будут располагаться в разных контрольных группах (в данном случае в группах $\langle 0011 \rangle$ и $\langle 0110 \rangle$).

Также в отличие от кода Бергера $WS(m,k,w)$ -коды не обнаруживают асимметричные ошибки в информационных векторах с различным значением числа единичных разрядов (с $r = W$ единичными разрядами и с $r = W - w + 1$ единичными разрядами). К примеру, для $WS(6,4,4)$ -кода в контрольной группе $\langle 0100 \rangle$ имеется пять векторов с весом $r=4$ и один вектор с весом $r=1$ (он оказался в данной контрольной группе благодаря сдвигу при взвешивании). В контрольной группе $\langle 0101 \rangle$ этого же кода, наоборот, имеется один вектор с весом $r=5$ и пять векторов с весом $r=2$. Взаимные переходы между информационными векторами с различными весами $r = W$ и $r = W - w + 1$ внутри одной контрольной группы соответствуют асимметричным необнаруживаемым искажениям. Для $WS(6,4,4)$ -кода таких переходов 20.

Кратность асимметричных ошибок зависит от значения веса W , так как они возможны только в тех контрольных группах, в которых присутствуют информационные векторы с различным числом единичных разрядов: $r = W$ и $r = W - w + 1$. Тогда часть

информационных векторов в такой группе будет иметь $r = W$ единичных разрядов и $m - r = m - W$ нулевых разрядов, тогда как другие информационные векторы будут иметь $r = W - w + 1$ единичных разрядов и $m - r = m - (W - w + 1)$ нулевых разрядов. При этом вектор с единичным младшим разрядом (вектор с весом $r = W - w + 1$) в данной группе перейдет в вектор с нулевым младшим разрядом только при искажении младшего разряда и искажении $W - (W - w) = w$ остальных разрядов. При большем числе искажаемых единичных разрядов в информационном векторе с весом $r = W - w + 1$ кратность ошибки увеличивается на 2 (должен исказиться единичный и нулевой разряды для перехода в вектор с весом $r = W$). Отсюда вытекает следующее свойство $WS(m,k,w)$ -кодов:

Утверждение 1. $WS(m,k,w)$ -код обнаруживает любые асимметричные ошибки с кратностью $d < w + 1$.

Можно также заметить, что кратность необнаруживаемых асимметричных ошибок равна $d = w + 1$, $d = w + 3$, $d = w + 5$ и так далее до $d = m$ или $d = m - 1$. На рис. 2 приводятся примеры асимметричных необнаруживаемых ошибок в информационных векторах $WS(8,4,4)$ -кода. При возникновении таких ошибок в информационных векторах с различным числом единичных разрядов обязательно искажается младший разряд и некоторое количество старших разрядов.

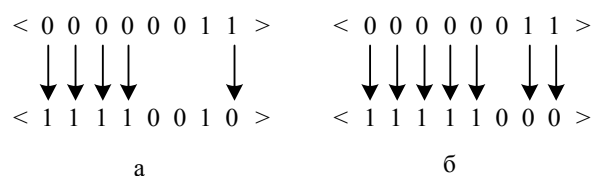


Рис. 2. Примеры асимметричных необнаруживаемых ошибок в $WS(8,4,4)$ -коде: а – кратности $d=5$; б – кратности $d=7$

При заданном значении длины информационного вектора максимальную эффективность взвешивания будет иметь такой вариант, при котором сдвиг половины информационных векторов произойдет в незаполненные группы. В этом случае $WS(m,k,w)$ -кодом будут обнаруживаться любые асимметричные ошибки в информационных векторах. В $S(m,k)$ -кодах информационные векторы есть в группах со значением веса $r \in \{0,1,\dots,m\}$. Соответственно, сдвинуть половину векторов необходимо на величину m . Отсюда следует

Утверждение 2. $WS(m,k,w)$ -код будет иметь минимальное число необнаруживаемых симметричных ошибок и при этом обнаруживать все асимметричные ошибки, если $w \geq m$.

4. Свойства $WS(m,k,w)$ -кодов с различными значениями w

Определим, как изменяются характеристики $WS(m,k,w)$ -кодов с увеличением значения веса одного информационного разряда.

Код Бергера не обнаруживает все симметричные ошибки в информационных векторах. При этом, как показано в [27], он не обнаруживает одинаковую долю $\sigma_{m,d}$ ошибок четной кратности d от общего количества ошибок данной кратности вне зависимости от длины информационного вектора:

$$\sigma_{m,d} = 2^{-d} C_{\frac{d}{2}}^2. \quad (1)$$

Экспериментальные исследования показали, что для $WS(m,k,w)$ -кодов имеет место следующее аналогичное положение:

Свойство 1. Доля необнаруживаемых симметричных ошибок в информационных векторах $WS(m,k,w)$ -кодов от общего числа симметричных ошибок не зависит от значения w и является постоянной величиной при данном значении m .

Из (1) следует, что $S(m,k)$ -коды имеют низкую эффективность обнаружения ошибок малой кратности в информационных векторах (не обнаруживают 50% двукратных, 37,5% четырехкратных ошибок и т.д. [27]). $WS(m,k,w)$ -коды имеют меньший процент необнаруживаемых симметричных ошибок. В табл. 2 приводятся рассчитанные значения долей симметричных необнаруживаемых ошибок от общего числа симмет-

Таблица 2

m	S(m,k)-код	WS(m,k,w)-код
3	1	0,33333
4	1	0,44444
5	1	0,49091
6	1	0,51163
7	1	0,52058
8	1	0,52386
9	1	0,5244
10	1	0,52368
11	1	0,52242
12	1	0,52103
13	1	0,51962
14	1	0,51832
15	1	0,51714
16	1	0,51608
17	1	0,51512
18	1	0,51427
19	1	0,51351
20	1	0,51282

ричных ошибок (величин $\sigma_m = \sum_{d=2}^{m,(m-1)} \sigma_{m,d}$) для различных кодов с суммированием.

С увеличением длины информационного вектора значение σ_m увеличивается, достигая максимума при

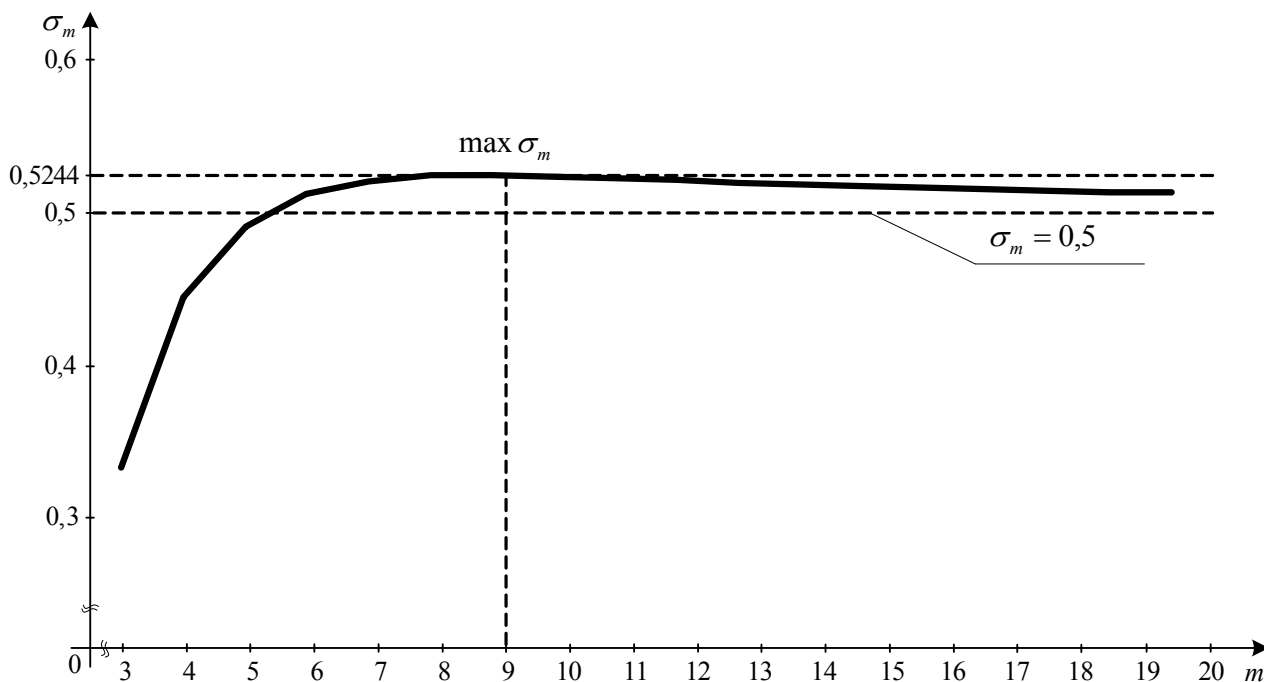


Рис. 3. Зависимость σ_m от значения m

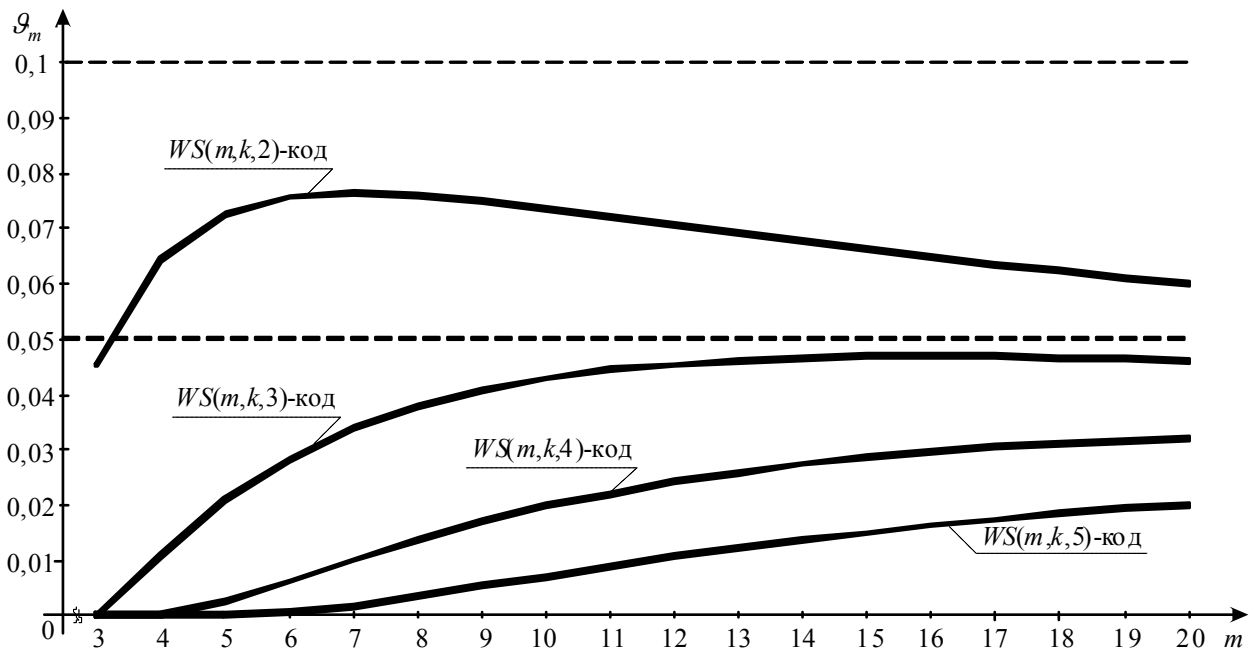


Рис. 4. Зависимость величин Q_m от значения m

$m=9$ (рис. 3). С дальнейшим увеличением длины информационного вектора величина σ_m незначительно уменьшается, не доходя до значения $\sigma_m = 0,5$. Данное значение является асимптотой графика функции σ_m , что объясняется сдвигом половины информационных векторов в таблице их распределения на контрольные группы (см. табл. 1) и, соответственно, уменьшением числа симметричных ошибок в информационных векторах по сравнению с классическим кодом Бергера.

Отметим тот факт, что $WS(m,k,w)$ -коды обнаруживают примерно в два раза больше симметричных ошибок, чем $S(m,k)$ -коды. Однако, в отличие от $S(m,k)$ -кодов,

$WS(m,k,w)$ -коды не обнаруживают некоторое количество асимметричных ошибок. На рис. 4 приводятся графики зависимостей долей асимметричных ошибок от общего их числа (величин Q_m) для $WS(m,k,w)$ -кодов с различными значениями w . Доля асимметричных ошибок от общего их числа для всех $WS(m,k,w)$ -кодов не превышает 10%, а для кодов с $w \geq 3$ – 5%.

В целом число необнаруживаемых ошибок при взвешивании одного информационного разряда сокращается в сравнении с классическим кодом Бергера. Доля необнаруживаемых ошибок от общего их числа (величина γ_m) уменьшается с увеличением m (рис. 5).

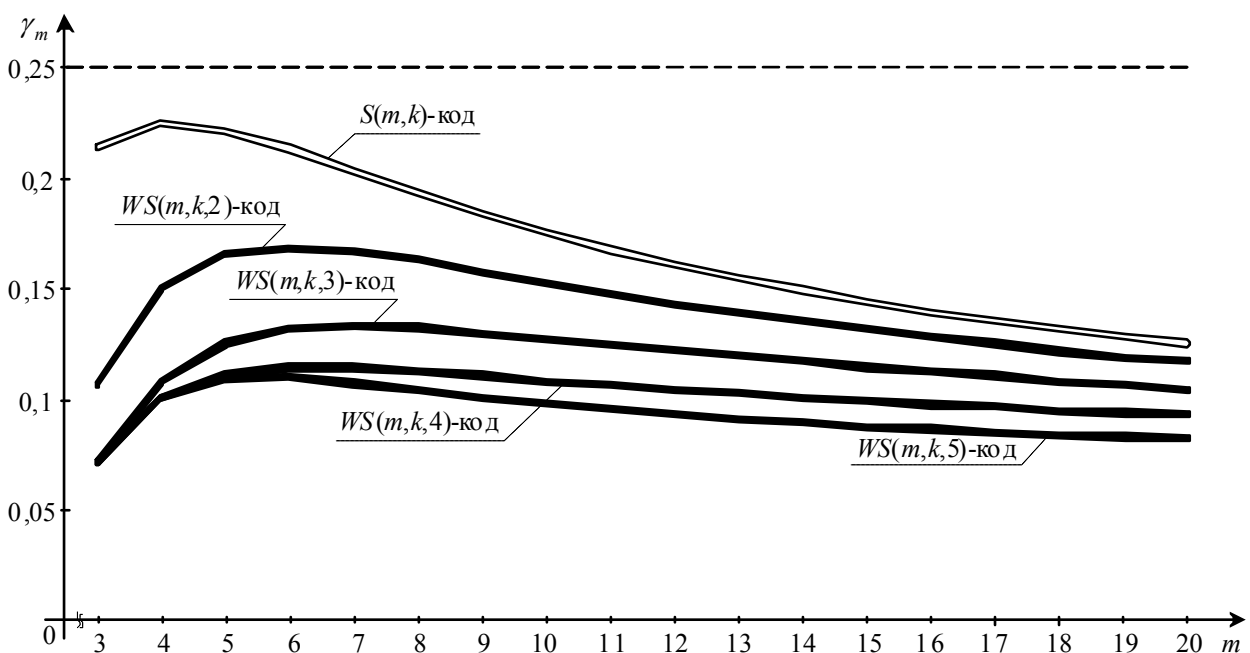


Рис. 5. Зависимость величин γ_m от значения m

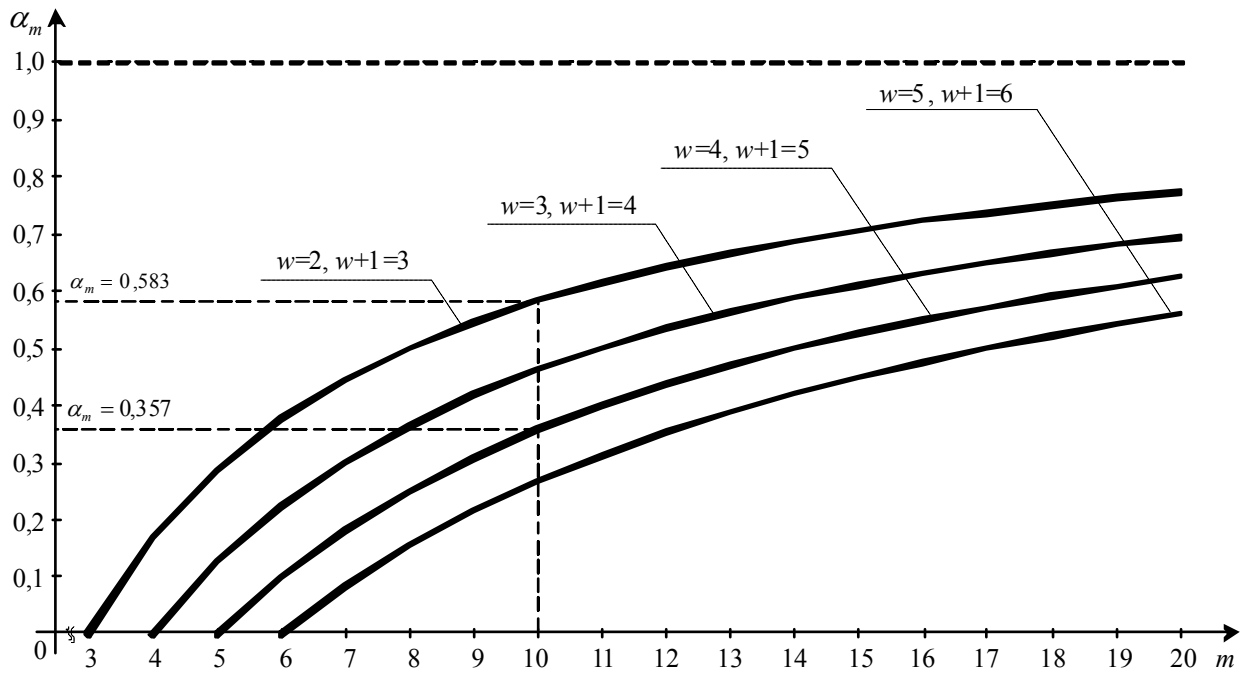


Рис. 6. Зависимость величин α_m от значения m

Для $WS(m,k,w)$ -кодов также справедлива следующая особенность, которая непосредственно следует из теоремы о взвешенных кодах [36]:

Свойство 2. $WS(m,k,w)$ -код обнаруживает любые ошибки нечетной кратности, если число w является нечетным.

Расчеты также показывают справедливость следующего положения.

Свойство 3. $WS(m,k,w)$ -коды с четными значениями w обнаруживают все ошибки нечетных кратностей $d < m$.

Если сравнить между собой $WS(m,k,w)$ и $WS(m,k,w+1)$, коды по обнаружению асимметричных ошибок в информационных векторах (рис. 6), то можно отметить сохранение характера изменения числа необнаруживаемых асимметричных ошибок при увеличении значения w . Кроме того, отношение числа асимметричных ошибок в $WS(m,k,w+1)$ -кодах к аналогичной величине в $WS(m,k,w)$ -кодах (величина α_m) с ростом w уменьшается при одинаковых значениях m . Например, при $m=10$ для кодов $WS(10,4,2)$ и $WS(10,4,3)$ $\alpha_m = 0,583$, а для кодов $WS(10,4,4)$ и $WS(10,4,5)$ – $\alpha_m = 0,357$.

5. О применении $WS(m,k,w)$ -кодов для организации контроля комбинационных схем

Результаты, полученные в предыдущем разделе, позволяют сделать следующий вывод. Так как $WS(m,k,w)$ -код обнаруживает все монотонные и существенную часть симметричных ошибок, то использование этого кода при контроле комбинационных схем может оказаться эффективнее, чем применение $S(m,k)$ -кода, если в контролируемой схеме невозможно возникновение на выходах асимметричных ошибок или число таких ошибок незначительно.

В этом плане следует выделить класс $WS(m,k,m)$ -кодов, которые в соответствии с утверждением 2 обнаруживают все асимметричные ошибки и поэтому любой $WS(m,k,m)$ -код имеет меньшее число необнаруживаемых ошибок, чем $S(m,k)$ -код.

Однако следует иметь в виду, что увеличение веса информационного разряда может приводить к увеличению числа контрольных разрядов. В связи с этим выделим среди $WS(m,k,m)$ -кодов такие, для которых выполняется условие:

$$m = 2^t \quad (t \in \{1, 2, \dots\}). \quad (2)$$

Если выполняется условие (2), то $WS(m,k,m)$ -код имеет такое же число контрольных разрядов, как и $S(m,k)$ -код.

Отмеченные обстоятельства позволяют сформулировать следующее положение.

Утверждение 3. Если $m = 2^t$ ($t \in \{1, 2, \dots\}$), то $WS(m,k,m)$ -код обнаруживает все монотонные и асимметричные ошибки и не обнаруживает меньшее, чем $S(m,k)$ -код, количество симметричных ошибок при сохранении числа контрольных разрядов, равного $\lceil \log_2(m+1) \rceil$.

В том случае, если контролируемая схема имеет $m = 2^t$ выходов, то всегда целесообразно использовать $WS(2^t, \lceil \log_2(m+1) \rceil, 2^t)$ -код.

В качестве примера рассмотрим двухуровневую схему (рис. 7), имеющую три входа x_1, x_2 и x_3 и четыре выхода f_1, f_2, f_3 и f_4 . Структура данной схемы такова, что при возникновении одиночных константных неисправностей логических элементов №2 и 5 допускается одновременное искажение сразу двух выходов

схемы. При возникновении неисправностей логического элемента №2 одновременно могут искажаться только выходы f_1 и f_2 , кратные ошибки на данных выходах будут принадлежать к классу монотонных. Любая подобная ошибка обнаруживается как $S(m,k)$ -кодом, так и $WS(m,k,w)$ -кодом. В случае возникновения одиночной неисправности логического элемента №5 существует возможность возникновения симметричной ошибки на выходах f_3 и f_4 . Двукратная симметричная ошибка на выходах схемы возникает при наличии отказа типа «константа 0» логического элемента №5 на входных наборах $\langle 110 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$ (см. табл. 3). Таким образом, данная ошибка классическим $S(m,k)$ -кодом обнаружена не будет.

Контроль заданной схемы по $S(4,3)$ -коду может быть организован путем преобразования заданной схемы к схеме с монотонно независимыми выходами по алгоритму, описанному в [19, 20]. В данном случае требуется дублирование элемента №5.

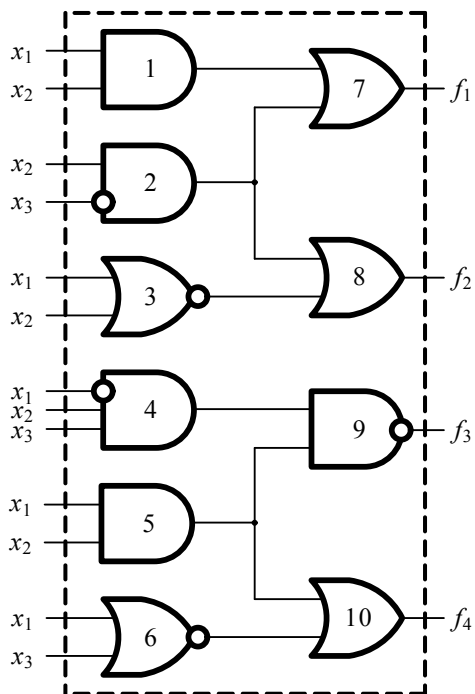


Рис. 7. Комбинационная схема

Использование взвешенного кода $WS(4,3,4)$ вместо $S(4,3)$ -кода позволяет решить задачу контроля схемы без ее преобразования. В табл. 4 показано, что в двух возможных случаях искажения информационного вектора, при которых сохраняется вес r этих векторов, контрольные векторы $S(4,3)$ -кода сохраняются, а контрольные векторы $WS(4,3,4)$ -кода изменяются (чем фиксируется ошибка) при условии взвешивания информационного разряда, соответствующего выходу схемы f_4 .

Отметим также, что, как указывалось выше, общие свойства $WS(m,k,w)$ -кодов по обнаружению ошибок, не зависят от того, какой из разрядов взвешивается. Однако при использовании кода для организации контроля конкретной логической схемы такая зависимость существует. Это связано с тем, что на выходах

конкретной схемы, как правило, не формируется все возможное множество двоичных векторов и не возникают все возможные ошибки, а возникает только ограниченный класс ошибок, определяемый особенностями внутренней структуры схемы. Так, если при организации контроля схемы рис. 7 применить $WS(4,3,4)$ -код со взвешиванием не разряда f_4 , а любого другого, то указанный эффект не будет достигнут.

По данной причине на последнем этапе выбора $WS(m,k,w)$ -кода целесообразно проводить экспериментальные исследования применения кодов с различными взвешенными разрядами.

В качестве примера приведем результаты экспериментальных исследований для одной из контрольных схем из системы схем, разработанных в университете Калифорнии и часто используемых для оценки эффективности предлагаемых подходов к диагностированию логических устройств [37]. Для примера была выбрана схема «cm163a» из пакета LGSynth'89 [38]. Схема имеет 16 входов и 5 выходов и реализована в библиотеке логических элементов ИЛИ-НЕ. Эксперимент по моделированию одиночных неисправностей на выходах внутренних логических элементов показал, что всего на выходах схемы «cm163a» при поступлении всех входных наборов имеется 1221312 ошибок, из них: одиночных – 987648 (80,87%), монотонных – 216000 (17,68%), симметричных – 10368 (0,85%) и асимметричных – 7296 (0,6%). В табл. 5 сведены результаты моделирования неисправностей для $S(5,3)$ и $WS(5,k,w)$ кодов. Для каждого варианта кодирования приведены данные о необнаруживаемых симметричных и асимметричных ошибках (все монотонные ошибки рассматриваемыми классами кодов обнаруживаются). В табл.5 использованы следующие обозначения: d – кратность ошибки, N_d – количество

необнаруживаемых ошибок кратности d , $\frac{N_d}{N}$ – доля необнаруживаемых ошибок кратности d от общего количества ошибок данной кратности.

Анализируя табл. 5, можно сделать следующие выводы:

- от положения взвешенного информационного разряда в векторе зависят свойства кода по обнаружению ошибок на выходах реальных схем;
- при определенном значении веса взвешенного информационного разряда $WS(m,k,w)$ -коды обнаруживают 100% асимметричных ошибок;
- вне зависимости от веса взвешенного информационного разряда количество симметричных необнаруживаемых ошибок постоянно (оно зависит только от положения взвешенного разряда в информационном векторе);
- наилучшим вариантом кодирования для схемы «cm163a» является выбор $WS(5,3,3)$ -кода со взвешенным вторым разрядом; данным кодом не обнаруживается всего 2,47% (вместо 100% при контроле по

Таблица 3

$x_1x_2x_3$	$f_1f_2f_3f_4$	Значения выходов при возникновении неисправностей ЛЭ №2		Значения выходов при возникновении неисправностей ЛЭ №5	
		Константа 1	Константа 0	Константа 1	Константа 0
		$f_1f_2f_3f_4$	$f_1f_2f_3f_4$	$f_1f_2f_3f_4$	$f_1f_2f_3f_4$
000	0111	1111	0111	0111	0111
001	0110	1110	0110	0111	0110
010	1111	1111	0011	1111	1111
011	0000	1100	0000	0001	0010
100	0010	1110	0010	0011	0010
101	0010	1110	0010	0011	0010
110	1101	1101	1001	1111	1110
111	1001	1101	1001	1011	1010

коду Бергера) симметричных ошибок (при организации контроля это потребует меньшего количества дублируемых логических элементов).

Таблица 4

Информационный вектор	Контрольный вектор	
	S(4,3)-код	WS(4,3,4)-код
1101 > 1110	011 > 011	110 > 011
1001 > 1010	010 > 010	101 > 010

6. Заключение

Показано, что $WS(m,k,w)$ -коды с суммированием единичных и одного взвешенного информационных разрядов позволяют по сравнению с классическим кодом Бергера обнаруживать не только монотонные и асимметричные ошибки, но также и определенную долю (иногда существенную) симметричных ошибок. Использование $WS(m,k,w)$ -кодов увеличивает число вариантов выбора среди кодов с суммированием при построении системы функционального контроля с учетом свойств самих контролируемых устройств.

Литература: 1. *McCluskey E.J.* Logic Design Principles: With Emphasis on Testable Semicustom Circuits. – N.J.: Prentice Hall PTR, 1986. 549 p. 2. *Abramovici M., Breuer M.A., Friedman A.D.* Digital System Testing and Testable Design. Comp. Sc. Press, 1998. 652 p. 3. *Ubar R., Raik J., Vierhaus H.-T.* Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source). – Information Science Reference, Hershey, New York, IGI Global, 2011. 578 p. 4. *Blanke M., Kinnaert M., Lunze J., Staroswiecki M.* Diagnosis and Fault-Tolerant Control: 2nd Edition. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 672 p. 5. *Согомонян Е.С., Слабаков Е.В.* Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. М.: Радио и связь, 1989. 208 с. 6. *Сапожников В.В., Сапожников Вл.В.* Самопроверяемые дискретные устройства. СПб: Энергоатомиздат, 1992. 224 с. 7. *Gyessel M., Ocheretny V., Sogomonyan E., Marienfeld D.* New Methods of Concurrent Checking: Edition 1. – Dordrecht: Springer Science+Business Media B.V., 2008. 184 p. 8. *Andrus C., Cavalli A.* How to Reduce the Cost of Passive Testing // Proceedings of 14th IEEE International Symposium on High-Assurance Systems Engineering (HASE 2012), Nebraska, USA, October 25-27, 2012. P. 209-216. 9. *Nicolaidis M., Zorian Y.* On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches // Journal of Electronic Testing: Theory and Application (JETTA), 1998. Vol. 12, issue 1-2. P. 7-20. 10. *Touba N.A., McCluskey*

Таблица 5

Веса разрядов					Симметричные ошибки			Асимметричные ошибки		
w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	d	N_d	$\frac{N_d}{N}, \%$	d	N_d	$\frac{N_d}{N}, \%$
1	1	1	1	1	2	10368	100%	–	0	0%
≥ 2	1	1	1	1	2	2048	19,75%	–	0	0%
1	2	1	1	1	2	256	2,47%	3	128	2,47%
1	≥ 3	1	1	1	2	256	2,47%	–	0	0%
1	1	2	1	1	2	8320	80,25%	3	4032	77,78%
1	1	3	1	1	2	8320	80,25%	4	64	3,08%
1	1	≥ 4	1	1	2	8320	80,25%	–	0	0%
1	1	1	2	1	2	10368	100%	3	1024	19,75%
1	1	1	3	1	2	10368	100%	4	2016	96,92%
1	1	1	4	1	2	10368	100%	5	32	100%
1	1	1	≥ 5	1	2	10368	100%	–	0	0%
1	1	1	1	≥ 2	2	10112	97,53%	–	0	0%

E.J. Logic Synthesis of Multilevel Circuits with Concurrent Error Detection // IEEE Trans. Computer-Aided Design of Integrated Circuits and System, Vol. 16, Jul. 1997. P. 783-789. **11.** *Lala P.K.* Self-Checking and Fault-Tolerant Digital Design. – University of Arkansas, 2001. 216 p. **12.** *Матросова А.Ю., Буторина Н.Б., Якимова Н.О.* Синтез детекторов равновесных кодов с использованием монотонных функций // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т.56. №9-2. С. 171-173. **13.** *Berger J.M.* A Note on Error Detection Codes for Asymmetric Channels // Information and Control. 1961. Vol. 4. Issue 3. P. 68-73. **14.** *Lo J.-C., Thanawastien S., Nicolaidis M.* An SFS Berger Check Prediction ALU and Its Application to Self-Checking Processor Designs // Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 1992. V. 11. Issue 4. P. 525-540. **15.** *Kluve T., Korzhik V.I.* Error Detecting Codes: General Theory and Their Application in Feedback Communication Systems. – New York: Springer Science+Business Media, 1995. 249 p. **16.** *Gorshe S.S.* A Self-checking ALU Design with Efficient Codes // Proceedings of 14th VLSI Test Symposium, Princeton, NJ, USA, 1996. P. 157-161. **17.** *Kavousianos X., Nikolos D.* Novel TSC Checkers for Bose-Lin and Bose Codes // Proceedings of 3rd IEEE Int. On-Line Testing Workshop, July 6-8, 1998, Capri, Italy. P. 172-176. **18.** *Fujiwara E.* Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications. – John Wiley & Sons, 2006. 720 p. **19.** *Morosov A., Saposhnikov V.V., Saposhnikov V.I., Goessel M.* Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs // VLSI Design. 1998. V. 5. Issue 4. P. 333-345. **20.** *Saposhnikov V.V., Morosov A., Saposhnikov V.I., Gysssel M.* A New Design Method for Self-Checking Unidirectional Combinational Circuits // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. №12. 1998. P. 41-53. **21.** *Wang L.-T., Stroud C.E., Touba N.A.* System-on-Chip Test Architectures: Nanometer Design for Testability. Morgan Kaufmann Publishers, 2008. 856 p. **22.** *Матросова А.Ю., Андреева В.В., Николаева Е.А.* Синтез синхронных последовательностных устройств, устойчивых к кратковременным и перемежающимся неисправностям // Управление, вычислительная техника и информатика. 2008. №3. С. 99-109. **23.** *Абрамов Б.Б., Керен О., Левин И.С., Островский В.И.* Построение самотестируемых схем с использованием каскадного контроля // Автоматика и телемеханика. – 2009. №7. С. 139-150. **24.** *Системы управления движением поездов на перегонах:* Учебник для вузов ж.-д. транспорта: В 3 ч. Ч. 2 / В.М. Лисенков, П.Ф. Бестемьянов, В.Б. Леушин, А.В. Лисенков, А.Е. Ваньшин; Под ред. В.М. Лисенкова. – М. ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2009, 324 с. **25.** *Das D.K., Roy S.S., Dmitiriev A., Morozov A., Gysssel M.* Constraint Don't cares for Optimizing Designs for Concurrent Checking by 1-out-of-3 Codes // Proceedings of the 10th International Workshops on Boolean Problems, Freiberg, Germany, September, 2012. P. 33-40. **26.** *Рабочее диагностирование безопасных информационно-управляющих систем /* А.В. Дрозд, В.С. Харченко, С.Г. Антошук и др. Под ред. А.В. Дрозда и В.С. Харченко. Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2012. 614 с. **27.** *Ефанов Д.В., Сапожников В.В., Сапожников В.В.* О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля // Автоматика и телемеханика. 2010. №6. С. 155-162. **28.** *Сапожников В.В., Сапожников В.В., Ефанов Д.В.* Предельные свойства кода с суммированием // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010. №3. С. 290-299. **29.** *Blyudov A., Efanov D., Sapozhnikov V., Sapozhnikov V.I.* Properties of Code With Summation for Logical Circuit Test

Organization // Proceedings of 10th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTs'2012), Kharkov, Ukraine, September 14-17, 2012. P. 114-117. **30.** *Блюдов А.А., Ефанов Д.В., Сапожников В.В., Сапожников В.В.* Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов // Электронное моделирование. 2012. Том 34. №6. С. 17-29. **31.** *Das D., Touba N.A.* Weight-Based Codes and their Application to Concurrent Error Detection of Multilevel Circuits // Proceedings of 17th IEEE Test Symposium, California, USA, 1999. P. 370-376. **32.** *Das D., Touba N.A., Seuring M., Gossel M.* Low Cost Concurrent Error Detection Based on Modulo Weight-Based Codes // Proceedings of 6th IEEE International On-Line Testing Workshop (IOLTW), Spain, Palma de Mallorca, July 3-5, 2000. P. 171-176. **33.** *Ghosh S., Lai K.W., Jone W.B., Chang S.C.* Scan Chain Fault Identification Using Weight-Based Codes for SoC Circuits // Proceedings of 13th Asian Test Symposium (ATS), 2004. P. 210-215. **34.** *Hamming R.W.* Coding and Information Theory. Prentice-Hall, 1986. P. 259. **35.** *Сапожников В.В., Сапожников В.В., Ефанов Д.В., Никутин Д.А.* Метод построения кода Бергера с повышенной эффективностью обнаружения ошибок в информационных разрядах // Электронное моделирование. 2013. Том 35. №4. С. 21-34. **36.** *Сапожников В.В., Сапожников В.В., Ефанов Д.В.* Взвешенные коды с суммированием для организации контроля логических устройств // Электронное моделирование. 2014. Том 36. №1. С. 59-80. **37.** *Gopalakrishan P., Rutenbar R.A.* Direct Transistor-Level Layout for Digital Blocks. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2004. 125 p. **38.** *Benchmarks: LGSynth89* [Режим доступа: <http://www.cbl.ncsu.edu:16080/benchmarks/LGSynth89/mlexamples/>].

Поступила в редколлегию 30.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Сапожников Валерий Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1963 г. Научные интересы: надежный синтез дискретных устройств, синтез безопасных систем, синтез самопроверяемых схем, техническая диагностика дискретных систем. Адрес: Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, тел.: +7 (812) 310-0788.

Сапожников Владимир Владимирович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения. Окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта в 1963 г. Научные интересы: надежный синтез дискретных устройств, синтез безопасных систем, синтез самопроверяемых схем, техническая диагностика дискретных систем. Адрес: Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, тел.: +7 (812) 310-0788.

Ефанов Дмитрий Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения, который окончил в 2007 г. Научные интересы: дискретная математика, надежность и техническая диагностика дискретных систем. Адрес: Россия, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, тел.: +7 (812) 457-8579, +7 (911) 709-2164, e-mail: TrES-4b@yandex.ru

КИБЕРСЕРВИСЫ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ УНИВЕРСИТЕТОМ

ХАХАНОВ В.И., МИЩЕНКО А.С.,
ЧУМАЧЕНКО С.В., ЗАЙЧЕНКО С.А.

Киберфизическая система Smart Cyber University (CyUni) характеризуется: наличием оцифрованного пространства регуляторных правил, точным мониторингом и активным киберуправлением научно-образовательными процессами, автоматическим генерированием оперативных актуаторных воздействий, независимым от руководителей принятием кибер-решений по управлению финансовыми и кадровыми ресурсами, исключением бумажных носителей из производственных процессов. Предлагаются модели метрического оценивания студентов, ученых, преподавателей, структурных подразделений, науки и образования университета для создания киберсервисов точного мониторинга и управления ресурсами и производственными процессами в целях достижения востребованного рынком качества выпускаемой продукции. Рассматриваются вопросы масштабирования киберсервисов управления применительно к высшей школе в целях существенного снижения государственных расходов на аппарат управления, повышения эффективности научно-образовательных процессов за счет полного искоренения коррупции, укрупнения университетов, киберстимулирования конструктивных ученых и профессоров, создающих рыночно востребованную продукцию.

1. Введение

Цель CyUni-проекта – повышение качества образовательных услуг и научных достижений высшей школы путем создания метрической системы отношений, регулирующей правила цифрового мониторинга и активного облачного киберуправления научно-образовательными процессами, что дает возможность уничтожить коррупцию, привлечь внешние инвестиции, существенно повысить производительность труда, уровень жизни конструктивных ученых и профессоров, создающих рыночно востребованную продукцию.

Реализация проекта позволит решить проблему существенного повышения уровня жизни работников высшей школы и устранения коррупции путем внедрения киберсервисов цифрового мониторинга и прозрачного управления ресурсами, подразделениями и научно-образовательными процессами, что обеспечит приток внешних инвестиций и повышение качества научных исследований и выпускников.

Объект исследования – научно-образовательные процессы и организационные структуры высшей школы, призванные готовить квалифицированные кадры (бакалавр, магистр, доктор философии, доктор наук) для внутреннего и международного рынка труда.

Предмет исследования – университет как киберфизическая система, состоящая из семи взаимосвязанных компонентов (Отношения, Roadmap, Управление, Инфраструктура, Кадры, Ресурсы, Продукция (вы-

пускники и научные достижения)), реализующих научно-образовательные процессы.

Анализ исследований в области создания киберфизических сервисов [1-10] свидетельствует об отсутствии на внутреннем (внешнем) рынке науки и образования системного понимания облачных киберсервисов, использующих метрические отношения, которые регулируют правила не только цифрового мониторинга (это есть [1,5-7]), но и активного human-free киберуправления научно-образовательными процессами [8-10] для уничтожения коррупции, привлечения внешних инвестиций, повышения производительности труда, уровня жизни ученых и профессоров.

Облачные сервисы (функциональности) CyUni. Переход человечества от каменного носителя информации к бумаге, как и переход от бумажного носителя к электронному (далее – к квантовому), является неотвратимым. Бумага – это наши вырубленные леса. Сделаем планету зеленой, а социальные отношения всех процессов и явлений – электронными. Облачные сервисы мониторинга и управления CyUni должны: исключать бумажные носители, быть независимыми от субъективности руководителя или чиновника, активно управлять оцифрованными процессами, связанными с наукой и образованием, а также с производственной деятельностью основных и вспомогательных структурных подразделений университета. Сервисы киберфизической системы CyUni в рамках технологической культуры IoT, создающей вертикаль иерархии Cloud – Fog Networks – Mobile, в частности, включают сервис активного online мониторинга и управления научно-образовательной деятельностью студента по индивидуальному учебному плану посредством использования мобильного гаджета, который отображает функциональности: расписание, посещение занятий, оценки тестирования и экзаменов, интегральная накопительная метрика мониторинга научной, образовательной, волонтерской деятельности и предложения по карьерному росту.

2. Киберсистема мониторинга и управления процессом достижения цели (образование студента)

Научная новизна заключается в создании математической модели карьерного роста человека в форме уравнения, описывающего взаимодействие трех матриц компетенций: 1) будущей социальной роли P (Purpose); 2) настоящих достижений C (Current); 3) текущей активности A (Activity). Уравнение (PCA) носит универсальный характер и определяет расстояние между тремя компонентами (матрицами: цель – компетентность – активность) с помощью xor (exclusive or) операции на двоичном алфавите описания переменных: $P \oplus C \oplus A = 0$. Если алфавит описания переменных в матрицах многозначный, то уравнение использует операцию симметрической разности, которая также формирует расстояние (производную, различие) между компонентами: $P \Delta C \Delta A = \emptyset$. Если зна-

чения координат матриц численные, то формируются разности между ними с помощью арифметической операции вычитания. Далее следует использовать формулу с операцией xor, которая будет обозначать операцию сравнения между матрицами в любом алфавите определения координат. С помощью PCA-уравнения формулируются три задачи состоятельности человека. 1) P-задача: кем ты хочешь стать – потенциальная достижимость желаемой социальной роли: $P = C \oplus A$. 2) C-задача: какой ты сегодня умный – оценивание текущего уровня компетентности: $C = P \oplus A$. 3) A-задача: что тебе делать для достижения желаемого будущего – активность (Roadmap) в образовательном пространстве, на временном интервале: $A = P \oplus C$. Таким образом, предложенная математическая модель описывает и оценивает все процессы становления индивидуума, как социально значимой личности, на временном интервале. В соответствии с PCA-уравнением достаточно просто создать киберсервис мониторинга и управления процессом образования студента в форме модели Хаффмена (рис. 1) для ответа на самый сложный вопрос – как достичь желаемого будущего. Модель содержит облачный киберсервис, который выдает студенту на гаджет туманной сети актуаторные рекомендации: Roadmap – что, где и когда изучать в ответ на введенные начальные условия (индивидуальный учебный план – syllabus) в форме матриц: будущей социальной роли и текущей компетентности. Естественно, что данная компетентностная PCA-модель масштабируется на все социальные, производственные и технические процессы и объекты, где существует необходимость в решении любой из трех упомянутых задач, если известны два из трех компонентов (цель, план, условия).

1) Целевая функция (Goal) – будущая желаемая социальная роль (бизнесмен, ученый, политик), уровень потребления (машина, дом, путешествия), счет в банке (\$IM).

2) Ресурсы для достижения цели – образовательные сервисы от лучших университетов и ученых, время и деньги.

3) Матрицы компетенций – определенные во времени и пространстве численные метрические характеристики знаний, умений, конструктивной деятельности, формирующие исчерпывающую характеристику индивидуума (цели, активности) для адекватного материального, морального стимулирования и карьерного роста.

4) Киберсервис управления активностью студента – во времени и пространстве выполняет сравнение матриц компетенции и цели для формирования актуаторных воздействий, передаваемых на гаджет, по координатам параметров, имеющих ненулевые значения. Киберсервис также выполняет и две другие задачи (C, P) по синтезу и анализу компетентностной состоятельности индивидуума, объекта, процесса или явления. Например, какие регуляторные (законодательные) воздействия следует применить к университету (стране), чтобы достичь уровня MIT (Германии)? Задача решается сравнением текущей матрицы исходного и целевого объекта. Далее все зависит от желания и воли первых лиц.

Обобщенная автоматная структура киберуниверситета раскладывается на сервисы, обслуживающие процессы (наука, образование) и объекты (студент, профессор, кафедра). Например, облачные киберприложения, ориентированные на активное сопровождение студентов, представляют собой полезные мобильные сервисы, доставляемые каждому из них посредством гаджетов в режиме online (рис. 2). Таковыми являются:

1) Интегральный рейтинг студента на момент запроса или оценки при сдаче экзаменов.

2) Формирование индивидуального плана обучения в зависимости от уровня компетенций студента.

3) Online-генерирование документов, сертифицирующих качество студента, включая приведение образовательных сертификатов к ECTS-стандарту.

4) Online-информирование студента обо всех затрагивающих его мероприятиях и документах в настоящем, прошедшем и будущем (расписание занятий и изменения, научные и волонтерские мероприятия, выстав-

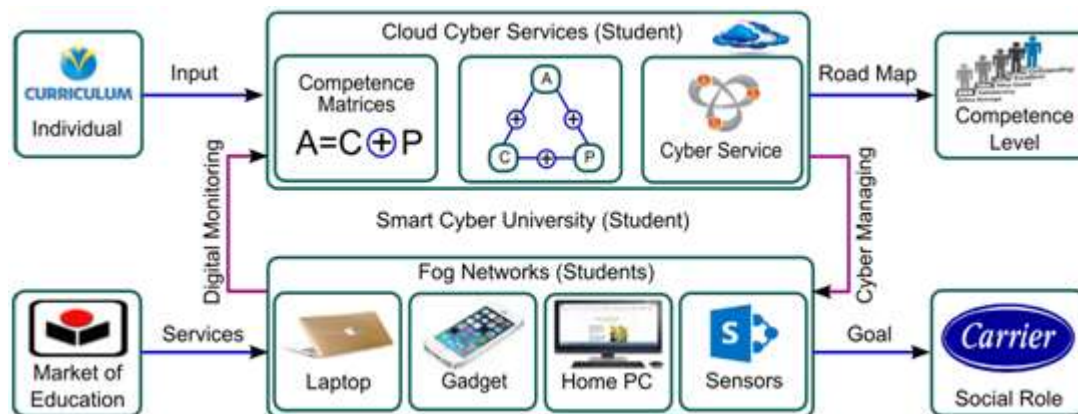


Рис. 1. Кибер система мониторинга и управления процессом достижения цели

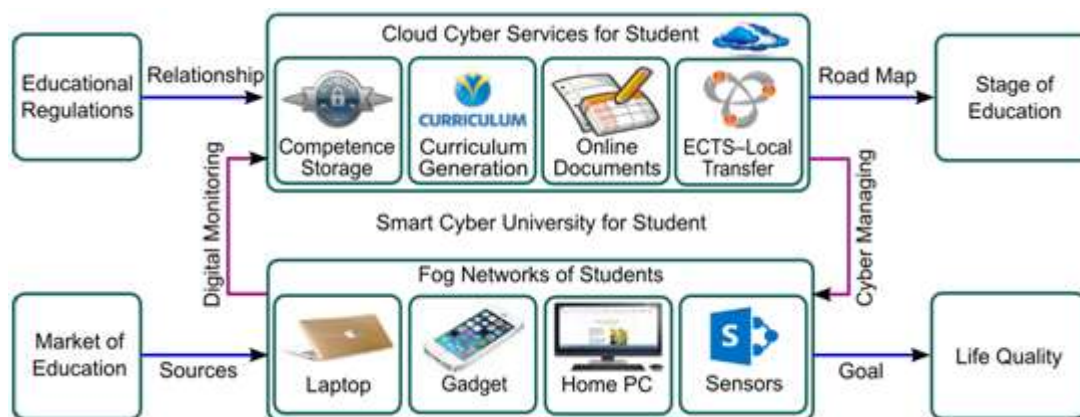


Рис. 2. Автоматная модель киберфизической СуUni-системы для студента

ленные экзаменационные оценки и изменения в рейтингах, приказы и положения).

Данный список сервисов можно продолжать по заданному формату функционирования киберфизической системы.

Выбор университета сегодня для абитуриента менее важен, чем выбор ученого-профессора. Это связано с тем, что число активных ученых в каждом университете год от года сокращается. Сегодня их количество в вузе составляет не более, чем 20 %, в то время как на Западе или в Америке – 80%. Студент, поступив в популярный университет, может не получить качественного образования. Верно и наоборот, если он найдет известного в мире ученого в заурядном университете.

Все дело в том, что матрицу компетенций студента сегодня можно и нужно собирать из лучших курсов, предоставляемых рынком образования [coursera (33 univ., 200 courses, exam – \$89), udacity, edx, edutainme, moodle, «ukr_ed», coursebuffet]. В связи с этим отпадают за ненадобностью неуспешные попытки создать библиотеку всех курсов учебного плана по каждой специальности для дистанционного образования при каждом университете. Сегодня следует интегрироваться каждому университету несколькими курсами в локальное (глобальное) образовательное пространство страны или мира. На первый план выступает значимость менеджмента в подготовке качественного специалиста из лучших деталей (курсов) всех университетов мира. Это может сделать только продвинутый в международном плане ученый или (кибер)-менеджер.

3. СуUni-сервисы образовательного процесса

3.1. Управление научно-исследовательской работой студентов (НИРС)

НИРС – нерегламентируемый во времени и пространстве творческий процесс сбора и анализа фактов под управлением руководителя для получения дополнительных знаний по выбранной специальности в период обучения для решения теоретических и практических задач в целях обеспечения качества востребованных рынком дипломированных бакалавров и магистров.

Цель НИРС – развитие творческих способностей студентов под управлением руководителя для конструктивного решения актуальных теоретических и практических задач в рамках интеграции научного и образовательного процессов, обеспечивающей качество востребованных рынком дипломированных бакалавров и магистров.

Регуляторные воздействия: моральные – почетные грамоты и дипломы, благодарности должностных лиц и акты международного признания достижений; материальные – именная стипендия, ценный подарок, денежная премия, материальное вознаграждение, исследовательский грант.

Управление НИРС – совокупность регуляторных воздействий на основе цифрового мониторинга интегральной и локальной активности студентов, направленных на мотивированное и творческое выполнение студентами научно-исследовательских работ путем их морального и материального стимулирования на основе конкурсного оценивания их достижений в целях обеспечения качества научных исследований и востребованных рынком знаний.

Формы НИРС: научные семинары, кружки, общества, студенческие конференции и олимпиады, конкурсы научных работ, выставки достижений, выполнение НИР, рефераты, доклады на конференциях, публикации статей и книг.

Принципы НИРС: систематизация знаний о специальности, углубленное изучение конкретной проблемы, самостоятельность в процессах поиска, сбора и анализа данных, ответственность за результаты исследований, аккуратность и точность в проведении экспериментов,

Нормы времени для выполнения НИРС: для магистров – 5 часов в неделю при изучении плановых дисциплин; для всех студентов – 18 часов в неделю, как самостоятельная работа.

Руководство НИРС осуществляет научный руководитель, а также в рамках выполнения своих должностных обязанностей – заведующий кафедрой, декан и проректор по научной работе.

Метрика рейтингового оценивания студента:

0. Персональные и интегральные данные:

- 1) Фамилия, Имя, Отчество;
- 2) университет; факультет; кафедра;
- 3) награды; премии;
- 4) область научных интересов;
- 5) основные научные достижения;
- 6) знание технологических языков и программных приложений;
- 7) знание языков;
- 8) количество публикаций;
- 9) список публикаций;
- 10) интегральная волонтерская деятельность.

1. Научный процесс:

- 11) рыночные продукты: программные приложения; устройства и макеты;
- 12) патенты; авторские свидетельства; дипломы; выставки;
- 13) монографии: зарубежные; национальные;
- 14) журнальные статьи: зарубежные; (ВАК) национальные; другие;
- 15) доклады на конференциях: зарубежные; внутренние; международные; другие; СС;
- 16) выполнение международных грантов; национальных проектов; контрактных НИР.

2. Образовательный процесс:

- 17) успеваемость по шкале накопительной системы ECTS;
- 18) учебно-методические комплексы;
- 19) учебники; учебные пособия; методические материалы;
- 20) зарубежные стажировки и обучение;
- 21) договора с предприятиями и университетами: зарубежные; национальные.

3. Волонтерский процесс:

- 22) организация конференций; семинаров; олимпиад;
- 23) участие в ПК конференций: зарубежных; национальных;
- 24) индивидуальные гранты: национальные; зарубежные;
- 25) доклады и лекции на конференциях и в университетах;
- 26) выступления на телевидении и в печати;
- 27) спортивные и культурные мероприятия;
- 28) издание журналов, газет, брошюр, видеофильмов и трудов конференций.

4. Воспитательный процесс:

- 29) научно-воспитательные семинары для школьников, студентов и аспирантов;
- 30) организация поездок студентов на конференции, выставки и олимпиады;
- 31) проведение экскурсий для студентов (физическая и эстетическая культура);
- 32) лекции и кружки для школьников и абитуриентов по профориентации.

3.2. Управление академической мобильностью

Академическая мобильность – способность студентов к приобретению и накоплению знаний, умений и навыков от предпочтительных университетов и учебных в формах online (МООС) и onsite обучения за счет возможностей, предоставляемых государственными структурами и частными компаниями на конкурсной основе.

Цель – повышение качества знаний в среде талантливой молодежи, инвариантной к уровню развития стран и регионов проживания, за счет конкурсного предоставления лучших мировых образовательных сервисов.

Задачи, связанные с созданием сервиса мониторинга и индивидуального управления научно-образовательным процессом студента в рамках киберуниверситета (рис. 3):



Рис. 3. Киберуправление мобильностью студента

1) Накопление и сохранение образовательных (ECTS) и научных компетенций студента. 2) Планирование пути обучения во времени и пространстве, исходя из возможностей, предполагаемой карьеры и уже полученных знаний по курсам. 3) Генерирование в режиме online всех форм документов, необходимых для подтверждения состоятельности студента: командировки, академические справки, дополнения к диплому, образовательные соглашения, индивидуальные учебные планы и графики, рекомендательные письма, справки с места учебы. 4) Трансформирование коли-

качественных и качественных оценок образовательных сервисов из национальных метрик к международным ECTS-стандартам, и наоборот. Преимущества: 1) Human-free cloud-driven управление процессом обучения студента с полным отсутствием чиновничьего бюрократизма. 2) Экономия финансовых и временных ресурсов при генерировании документов работниками университета за счет создания и внедрения online-сервисов киберуниверситета. 3) Активные online-рекомендации студенту новых образовательных сервисов от локального и международного рынка в соответствии с его компетенциями, возможностями и предпочтениями.

3.3. Управление самостоятельной работой студентов (СРС)

СРС – творческий процесс глубокого осмысливания знаний, умений и навыков, предоставляемых курсами учебного плана, формирующих целостную картину выбранной специальности и их конструктивного применения в будущей профессиональной деятельности студента.

Цель СРС – качественное усвоение учебной программы выбранной специальности с помощью предусмотренного образовательными стандартами внеаудиторного времени для индивидуального осмысливания полученных знаний, приобретения умений и навыков в процессе решения научно-образовательных и практических задач.

Задачи СРС-сервиса: 1) Online-управление процессом интерактивного изучения курса (осмысливание лекционного материала и самотестирование; подготовка, выполнение и сдача лабораторных, практических работ и курсовых проектов), исключая бумажные носители. 2) Разработка knowledge-driven электронных методических указаний для online-выполнения лабораторных работ, практических и семинарских занятий, курсовых и аттестационных проектов. 3) Планирование и учет временных ресурсов СРС в сетке расписания занятий для online-управления активностью студента в процессе изучения курса (СРС = 1/2 - 2/3 от кредита в 30 часов, основные курсы бакалаврата – 16 часов, социально-гуманитарные курсы – 18 часов) с общей недельной нагрузкой не более 45 часов. 4) Контроль СРС является сервисом объективного метрического оценивания качества знаний, умений и навыков, полученных в процессе изучения курса путем привлечения комиссии, преподавателя, компьютерного тестирования. В рамках киберсервиса следует реализовать рейтинговые и накопительные виды (сервисы) контроля: входное тестирование готовности студента к изучению курса, семинарским, практическим и лабораторным работам; текущий контроль усвоения материала на лекциях, практических и лабораторных занятиях; самоконтроль знаний в процессе изучения дисциплины; промежуточный контроль (коллоквиум) по окончании изучения раздела или модуля курса; контроль усвоения модулей курса, вынесенных на самостоятельное изучение;

итоговый контроль усвоения теоретического и практического материала в виде зачета или экзамена; контроль остаточных знаний и умений по прошествии времени.

4. Заключение

Научная новизна:

1) Предложена киберфизическая система Cyber University (CyUni), которая характеризуется: наличием оцифрованного метрического пространства регуляторных правил, точным мониторингом и активным киберуправлением научно-образовательными процессами, автоматическим генерированием оперативных актуаторных воздействий, независимым от руководителей принятием кибер-решений по управлению финансовыми, временными и кадровыми ресурсами, полным исключением бумажных носителей из производственных процессов.

2) Созданы метрики и модели цифрового оценивания студентов, которые характеризуются отсутствием арифметических операций, минимальным набором логических команд, параллельным выполнением процедур поиска и принятия решений на основе квантовых структур данных, необходимых для существенного повышения быстродействия проектирования киберсервисов оперативного и стратегического human-free управления ресурсами в целях достижения востребованного международным рынком качества научно-образовательных сервисов.

Литература: 1. *Lin, K.M., Chen, N.S.* Exploring of learning problems of cyber university. *Advanced Learning Technologies*, 2001. Proc. of the IEEE International Conference, 2001. P. 369-370. 2. *Hai-Ning Liang, Ka Lok Man.* Building a smart laboratory environment at a university via a cyber-physical system. *Teaching, Assessment and Learning for Engineering (TALE)*, 2013 IEEE International Conference. 2013. P. 239-247. 3. *Jongbae Moon, Chongam Kim, Kum Won Cho.* CFD Cyber Education Service Using Cyberinfrastructure for e-Science. *Networked Computing and Advanced Information Management*, 2008. NCM '08. Fourth International Conference. P. 306-313. 4. *Vierhaus H.T., Scholzel M., Raik J. Ubar R.* Advanced technical education in the age of cyber physical systems. *Microelectronics Education (EWME)*, 10th European Workshop. 2014. P. 193-198. 5. *Кибер университет в Японии.* <http://www.osvita.org.ua/news/32740.html> 6. *Умный университет.* <http://www.re-e.ru/decision/univer/> 7. *Vladimir Hahanov, Wajeb Gharibi, Kudin A.P., Ivan Hahanov, Ngene Cristopher (Nigeria), Tiekura Yeye (Cote d'Ivoire), Daria Krulevska, Anastasya Yerchenko, Alexander Mishchenko, Dmitry Shcherbin, Aleksey Priymak.* Cyber Physical Social Systems – Future of Ukraine // *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2014)*. 2014. Kiev, Ukraine. P. 67 – 81. 8. *Алексей Дуэль.* В России может появиться “Цифровой университет”. <http://www.rg.ru/2014/10/10/universitet-site.html> 9. *Парус – Управление навальным закладом.* <http://j.parus.ua/374/> 10. *Бауманский в облаках.* <http://www.bmstu.ru/mstu/news/news.html?newsid=2785>.

Поступила в редколлегию 19.12.2014

Рецензент: д-р техн.наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ, IEEE Senior Member, IEEE Computer Society Golden Core Member. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Мищенко Александр Сергеевич, аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: облачные технологии, web-программирование. Увлечения: путешествия. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +380 57 70-21-326, E-mail: santific@gmail.com.

Чумаченко Светлана Викторовна, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование, теория рядов, методы дискретной оптимизации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.+3805770-21-326, e-mail: ri@kture.kharkov.ua.

Зайченко Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизированное проектирование и верификация цифровых систем. Увлечения: технологии онлайн-образования. Адрес: Украина, 61045, Харьков, ул. Космическая, 23а, тел. (057)-760-47-25.



МЕТОД КОДИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНО- ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ВИДЕОИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

БАРАННИК В.В., РЯБУХА Ю.Н.

Обосновывается, что показательным становится появление видеоинформационных сервисов, предоставляющих услуги трехмерного цифрового отображения высокого качества. Показывается актуальность создания технологий обработки последовательности кадровых плоскостей, представляющих собой составляющие как одного полноцветного кадра, так и стереокадра. Излагаются этапы разработки трехмерного полиадического кодирования данных, начиная с младших элементов.

1. Введение

Современное состояние информационных технологий отличается развитием технологий цифровой обработки данных. Ключевую роль играют мультимедийные системы, включая видеоинформационные услуги, предоставляющие возможности трехмерного цифрового отображения высокого качества [1 – 3]. Отсюда происходит рост нагрузки на инфокоммуникационные системы. Особая критичность происходит для систем дистанционного сбора, обработки и передачи видеоинформации. В свою очередь недостаточные характеристики инфокоммуникационных технологий являются своего рода препятствием для предоставления качественных видеоинформационных услуг.

Исследование различных подходов относительно устранения избыточности выявило, что дополнительное снижение битовой скорости обеспечивается за счет учета структурных закономерностей содержания видеоинформационных ресурсов одновременно по трем координатам [4; 5].

Цель исследования заключается в разработке метода кодирования трехмерно-представленных видеоинформационных ресурсов без потери информации на основе устранения структурной избыточности.

В работах [4] предложен подход для кодирования, которое потенциально обеспечивает сокращение структурной избыточности в трехмерном пространстве. Однако, основным недостатком такого подхода является то, что кодирование допускается проводить начиная со старших элементов, и весовой коэффициент текущего элемента зависит от оснований всех последующих (не обработанных элементов). Это приводит

к усложнению процесса обработки. Поэтому предлагается разработать кодирование трехмерных полиадических чисел (ТПЧ), начиная с младших элементов. В этом случае весовой коэффициент будет зависеть только от оснований предыдущих (обработанных) элементов СВК.

2. Основной материал

В общем случае код-номер полиадического числа (ПЧ) представляет собой сумму произведений значений элементов ПЧ на соответствующий весовой коэффициент. Для трехмерного случая имеем [5; 6]:

$$N^{(3)} = \sum_{j=1}^{n_{стб}} \sum_{i=1}^{n_{стр}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{j,i,z} \omega_{j,i,z}, \quad (1)$$

где $\omega_{j,i,z}$ – весовой коэффициент ($j; i; z$) - го элемента.

Весовой коэффициент элемента полиадического числа равен количеству перестановок с повторениями, составленных из младших элементов. Значение весового коэффициента зависит от направления обхода элементов полиадического числа и от их количества. Поскольку величина произведения имеет положительное значение $a_{j,i,z} \omega_{j,i,z} \geq 0$, то с увеличением количества элементов значение кода-номера $N^{(3)}$ также будет повышаться $N^{(3)} \sim m$. Значит исключить потери информации из-за переполнения разрядной сетки, отводимой на представление величины $N^{(3)}$, можно если:

– для фиксированного количества элементов ПЧ (равномерная длина полиадического числа) использовать переменную длину разрядной сетки на представление кода-номера, т.е.

$$m = \text{const}; S(N^{(3)}) = \text{var}, \quad (2)$$

где $S(N^{(3)})$ – количество разрядов, затрачиваемое на представление кода-номера $N^{(3)}$;

– в случае равномерной (постоянной) длины разрядной сетки формировать код-номер для переменного количества элементов ПЧ (переменная длина полиадического числа):

$$m = \text{var}; S(N^{(3)}) = \text{const}. \quad (3)$$

В случае вычисления кода-номера в условиях (2) количество элементов полиадического числа известно заранее. Поэтому в качестве направления обхода элементов ПЧ предлагается выбирать направление «от старших к младшим» разрядам. Данное направление обхода реализуется также в условиях (3).

Понятно, что общими полиадического кодирования являются условия (3). Условия (2) получаются из (3) путем наложения ограничений на длину m ПЧ. Вывод выражения для определения весового коэффициента будем проводить с учетом выполнения условий, заданных соотношением (3). Это обеспечит сокращение

комбинаторной избыточности и исключение потери информации.

Поскольку формирование трехмерных структур рассматривается относительно обработки изображений, то в качестве обхода элементов предлагается использовать последовательность: «по вертикалям сверху – вниз, по столбцам в глубину параллелепипеда и по строкам слева – направо». Такая схема характерна для обработки последовательности кадров изображений. Выражение (3) диктует условия, когда:

1) количество элементов полиадического числа заранее считается неизвестным $m = \text{var}$. Поэтому формирование кода-номера, а следовательно, и вычисление весового коэффициента предлагается осуществлять по рекуррентной схеме;

2) количество разрядов на представление кода-номера ТПЧ является постоянным, т.е. $S(N^{(3)}) = M = \text{const}$, где M – длина машинного слова. Отсюда следует, что перед каждым добавлением к текущему значению кода-номера величины $a_{jiz} \omega_{jiz}$ необходимо проверять условие:

$$N_{jiz}^{(3)} \leq 2^M - 1, \quad (4)$$

где $N_{jiz}^{(3)}$ – значение кода-номера на (jiz) -м шаге обработки; 2^M – максимальное значение, которое представляется M двоичными разрядами.

Однако условие (4) для проверки на переполнение машинного слова использовать нельзя. Это объясняется тем, что величина $N_{jiz}^{(3)}$ формируется с учетом текущего значения (jiz) -го элемента ТПЧ. В то же время при восстановлении ТПЧ на приемной стороне на (jiz) -м шаге обработки значение элемента a_{jiz} не известно. Отсюда проверку на переполнение машинного слова необходимо проводить на основе информации, известной на приемной стороне. В качестве такой служебной информации предлагается использовать основания элементов трехмерного полиадического числа. Действительно, по определению весового коэффициента полиадического числа величина $\Psi_{jiz} \omega_{jiz}$ равна количеству комбинаций, составленных из элементов ТПЧ, уже обработанных на

(jiz) -м шаге. Следовательно, выполняется условие $N_{jiz}^{(3)} < \Psi_{jiz} \omega_{jiz}$. Тогда для проверки на переполнение машинного слова предлагается использовать величину $\Psi_{jiz} \omega_{jiz}$, а правило проверки примет вид:

$$\Psi_{jiz} \omega_{jiz} \leq 2^M - 1. \quad (5)$$

Первым элементом a_{111} трехмерной структуры будет старший элемент ТПЧ. Если количество разрядов на представление динамического диапазона первого элемента превышает длину машинного слова, то возможны два варианта: предварительно снизить динамический диапазон обрабатываемых данных, например, в результате дифференциальной импульсно-кодовой модуляции; увеличить длину машинного слова.

Разработка рекуррентной схемы формирования кода-номера показана на рис. 1.

Вертикальное направление обработки ТСД. Если для основания первого элемента ТПЧ выполняется неравенство $\Psi_{111} \leq 2^M - 1$, то $N_{11}^{(1)} = a_{111}$. По аналогии для первого элемента $(j; i)$ -й вертикали ТПЧ получим $N_{ji}^{(1)} = a_{ji1}$. На z -м шаге обработки $(j; i)$ -й вертикали проверяется условие (на переполнение машинного слова):

$$V_{ji}^{(z)} = \prod_{\gamma=1}^z \Psi_{ji\gamma} \leq 2^M - 1, \quad (6)$$

где $V_{ji}^{(z)}$ – количество допустимых комбинаций (полиадических чисел), составленных из z элементов $(j; i)$ -й вертикали трехмерного полиадического числа.

В случае выполнения неравенства (6) величина кода-номера $N_{ji}^{(z)}$ рассчитывается на основе предыдущего значения кода-номера $N_{ji}^{(z-1)}$ по формуле:

$$N_{ji}^{(z)} = N_{ji}^{(z-1)} \Psi_{jiz} + a_{jiz}, \quad (7)$$

где $N_{ji}^{(z-1)}$ – значение кода-номера, вычисленное для $(z-1)$ -го элементов $(j; i)$ -й вертикали ТПЧ.

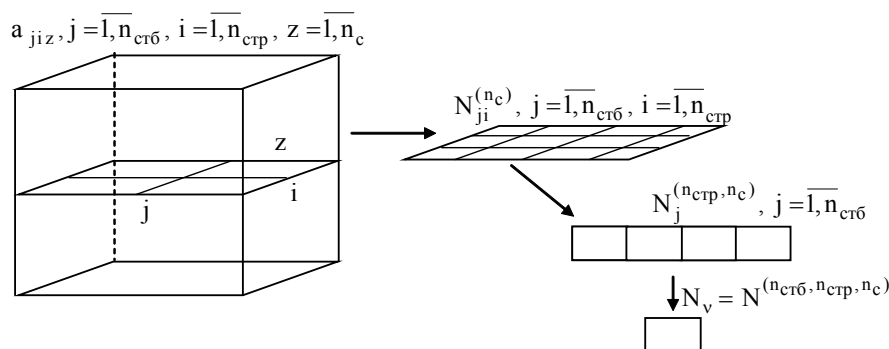


Рис. 1. Схема трехмерного кодирования

Значение кода-номера $N_{ji}^{(n_c)}$ с учетом последнего $a_{j i n_c}$ элемента $(j; i)$ -й вертикали вычисляется по формуле:

$$N_{ji}^{(n_c)} = N_{ji}^{(n_c-1)} \Psi_{j i n_c} + a_{j i n_c} \rightarrow V_{ji}^{(n_c)} \leq 2^M - 1;$$

$$N_{ji}^{(1)} = a_{j i n_c} \rightarrow V_{ji}^{(1)} > 2^M - 1, \quad (8)$$

здесь $N_{ji}^{(n_c-1)}$ – значение кода-номера для $(n_c - 1)$ элементов $(j; i)$ -й вертикали; $N_{ji}^{(1)}$ – значение кода-номера, образованного на базе элемента $a_{j i n_c}$; $V_{ji}^{(n_c)}$ – накопленное произведение оснований $\Psi_{j i z}$ для n_c

сечений $(j; i)$ -й высоты $V_{ji}^{(n_c)} = \prod_{\gamma=1}^{n_c} \Psi_{j i \gamma} \leq 2^M - 1$.

Вертикальная обработка заканчивается тогда, когда обработаны по отдельности все вертикали ТПЧ.

Горизонтальная обработка. Строчное формирование кода-номера заключается в рассмотрении кодовых номеров $N_{ji}^{(z)}$ отдельных вертикалей ТПЧ как элементов одномерного полиадического числа. При этом необходимо учитывать, что значения номеров $N_{ji}^{(z)}$ ограничены сверху величинами $V_{ji}^{(z)}$: $N_{ji}^{(z)} < V_{ji}^{(z)}$, для $z = \overline{1, n_c}$.

При обработке i -го номера $N_{ji}^{(z)}$ выполняются следующие действия:

– проверяется условие на переполнение машинного слова. Для этого вычисляется величина $V_j^{(i, n_c)}$, равная количеству допустимых комбинаций, составленных из $(i \times n_c)$ элементов трехмерного полиадического числа:

$$V_j^{(i, n_c)} = \prod_{k=1}^i \prod_{z=1}^{n_c} \Psi_{j k z} = \prod_{k=1}^i V_{jk}^{(n_c)} \leq 2^M - 1. \quad (9)$$

Если значение $V_j^{(i, n_c)}$ не превышает величины $2^M - 1$, то рекуррентное выражение, обеспечивающее вычисление кода-номера $N_j^{(i, n_c)}$ для $(i \times n_c)$ элементов, имеет вид:

$$N_j^{(i, n_c)} = N_j^{(i-1, n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)}, \quad (10)$$

где $N_j^{(i-1, n_c)}$ – значение кода-номера для $((i-1) \times n_c)$ элементов, т.е. для последовательности кодовых номеров $\{N_{j1}^{(n_c)}, \dots, N_{jk}^{(n_c)}, \dots, N_{ji}^{(n_c)}\}$.

В противном случае, когда неравенство (9) не выполняется, то код-номер равен $N_j^{(i)} = N_{ji}^{(n_c)}$, где $N_j^{(i)}$ –

значение кода-номера, полученное для полиадического числа, состоящего из одного элемента $N_{ji}^{(n_c)}$.

Для доказательства того, что правило, заданное неравенством (9), может использоваться для исключения случаев переполнения машинного слова, необходимо показать, что величина $V_j^{(i, n_c)}$ является верхней границей диапазона значений $N_j^{(i, n_c)}$. Для этого докажем следующую теорему.

Теорема о верхней границе кода-номера вертикальной плоскости ТПЧ. Значение кода-номера $N_j^{(i, n_c)}$ полиадического числа, элементами которого являются номера $N_{ji}^{(n_c)}$ вертикалей трехмерного полиадического числа, ограничено сверху величиной $V_j^{(i, n_c)}$:

$$N_j^{(i, n_c)} < V_j^{(i, n_c)}. \quad (11)$$

Доказательство. Распишем рекуррентное выражение (9) для значения кода-номера $N_j^{(i, n_c)}$:

$$N_j^{(i, n_c)} = N_{j1}^{(n_c)} \prod_{\xi=2}^i V_{j\xi}^{(n_c)} + \dots + N_{jk}^{(n_c)},$$

$$\prod_{\xi=k+1}^i V_{j\xi}^{(n_c)} + \dots + N_{j, i-1}^{(n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)}.$$

Введем замену $N_{ji}^{(n_c)}$ в последнем соотношении на величину $(V_{ji}^{(n_c)} - 1)$. При этом с учетом неравенства $N_{ji}^{(n_c)} \leq (V_{ji}^{(n_c)} - 1)$ получим:

$$N_j^{(i, n_c)} = N_{j1}^{(n_c)} \prod_{\xi=2}^i V_{j\xi}^{(n_c)} + \dots + N_{jk}^{(n_c)};$$

$$\prod_{\xi=k+1}^i V_{j\xi}^{(n_c)} + \dots + N_{j, i-1}^{(n_c)} V_{ji}^{(n_c)} + N_{ji}^{(n_c)} \leq$$

$$\leq (V_{j1}^{(n_c)} - 1) \prod_{\xi=2}^i V_{j\xi}^{(n_c)} + \dots + (V_{jk}^{(n_c)} - 1);$$

$$\prod_{\xi=k+1}^i V_{j\xi}^{(n_c)} + \dots + (V_{j, i-1}^{(n_c)} - 1) V_{ji}^{(n_c)} +$$

$$+ (V_{ji}^{(n_c)} - 1) \leq V_{j1}^{(n_c)} \prod_{\xi=2}^i V_{j\xi}^{(n_c)} - 1 =$$

$$= \prod_{\xi=1}^i V_{j\xi}^{(n_c)} - 1 \leq \prod_{\xi=1}^i V_{j\xi}^{(n_c)} = V_j^{(i, n_c)}.$$

Следовательно, неравенство (11) выполняется. *Теорема доказана.*

Неравенство (11) обеспечивает исключение случаев переполнения машинного слова.

Обработка j -го столбца ТПЧ завершается после анализа элемента $N_{j, n_{стр}}^{(n_c)}$. Если выполняется неравенство:

$$V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = \prod_{k=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{jkz} = \prod_{k=1}^{n_{\text{стр}}} V_{jk}^{(n_c)} \leq 2^M - 1, \quad (12)$$

то значение кода-номера $N_j^{(n_{\text{стр}}-1, n_c)}$, полученное на предыдущем шаге, увеличивается на величину $N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}$:

$$N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = N_j^{(n_{\text{стр}}-1, n_c)} V_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)} + N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}, \quad (13)$$

где $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ – значение кода-номера для последовательности величин $\{N_{j1}^{(n_c)}, \dots, N_{jk}^{(n_c)}, \dots, N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}\}$.

В противном случае, когда неравенство (13) не выполняется, то значение кода-номера $N_j^{(n_{\text{стр}})}$ на $n_{\text{стр}}$ -м шаге обработки j -го столбца будет равно $N_j^{(n_{\text{стр}})} = N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}$. В результате обработки всех последовательностей $\{N_{j1}^{(n_c)}, \dots, N_{jk}^{(n_c)}, \dots, N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}\}$ по всем столбцам ТПЧ $j = \overline{1, n_{\text{стб}}}$ получим последовательность кодов-номеров:

$$\{N_1^{(n_{\text{стр}}, n_c)}, \dots, N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}, \dots, N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}\}. \quad (14)$$

Поскольку в соответствии с неравенством (11) значение кода-номера ограничено сверху соответствующей величиной $V_j^{(i, n_c)}$, то последовательность (14) можно рассматривать как полиадическое число. Тогда допускается провести дополнительную постолбцовую обработку трехмерного полиадического числа по следующей схеме:

1. Если выполняется неравенство

$$\begin{aligned} V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} &= \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{z=1}^{n_c} \psi_{\eta iz} = \\ &= \prod_{\eta=1}^j \prod_{i=1}^{n_{\text{стр}}} V_{\eta i}^{(n_c)} = \prod_{\eta=1}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \leq 2^M - 1, \end{aligned} \quad (15)$$

то значение кода-номера $N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$ для $(j \times n_{\text{стр}} \times n_c)$ элементов трехмерного полиадического числа равно:

$$N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} = N^{(j-1, n_{\text{стр}}, n_c)} V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}, \quad (16)$$

где $N^{(j-1, n_{\text{стр}}, n_c)}$ – значение кода-номера на предыдущем шаге для $((j-1) \times n_{\text{стр}} \times n_c)$ элементов ТПЧ.

2. Наоборот, когда $V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} > 2^M - 1$, тогда значение кода-номера на j -м шаге обработки будет равно $N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} = N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$.

Чтобы для исключения переполнения машинного слова воспользоваться правилом (15), требуется показать, что значение кода $N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$ ограничено сверху

величиной $V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$. Для этого докажем следующую теорему.

Теорема о верхней границе кода-номера $N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$.

Значение кода-номера $N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$ полиадического числа (14), элементами которого являются номера $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ вертикальных плоскостей ТПЧ, ограничено сверху величиной $V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$:

$$N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} < V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}. \quad (17)$$

Доказательство. Распишем рекуррентное выражение (16) для кода-номера $N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}$:

$$\begin{aligned} N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} &= N^{(j-1, n_{\text{стр}}, n_c)} V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = \\ &= N_1^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \prod_{\eta=2}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + N_{\xi-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \prod_{\eta=\xi}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ &+ N_{j-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}. \end{aligned}$$

Введем замену кода-номера $N_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ на величину $(V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} - 1)$. Тогда с учетом неравенства (11) последнее выражение будет иметь следующую верхнюю границу:

$$\begin{aligned} N^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)} &\leq (V_1^{(n_{\text{стр}}, n_c)} - 1) \prod_{\eta=2}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ &+ (V_{\xi-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} - 1) \prod_{\eta=\xi}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ &+ (V_{j-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} - 1) V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + (V_j^{(n_{\text{стр}}, n_c)} - 1) = \\ &= \prod_{\eta=1}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} - 1 \leq \prod_{\eta=1}^j V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = V^{(j, n_{\text{стр}}, n_c)}. \end{aligned}$$

Отсюда следует, что неравенство (17) выполняется для $j = \overline{1, n_{\text{стб}}}$. Теорема доказана.

3. На завершающем этапе код-номер $N^{(3)}$ для всех элементов ТПЧ равен значению кода-номера $N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)}$, сформированного для последнего номера $N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$ вертикального сечения трехмерной структуры:

$$\begin{aligned} N^{(3)} &= N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} = N^{(n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стр}}, n_c)}, \\ &+ V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}, \end{aligned} \quad (18)$$

где $N^{(n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стр}}, n_c)}$ – значение кода-номера для $((n_{\text{стб}} - 1) \times n_{\text{стр}} \times n_c)$ элементов ТПЧ.

Таким образом, на основании выражений (6) – (18) построено трехмерное полиадическое кодирование для варианта равномерной разрядной сетки и переменного количества элементов ПЧ, т.е. $m = \text{var}$,

$S(N^{(3)}) = \text{const}$. Разработанное кодирование обеспечивает исключение комбинаторной избыточности, обусловленной неоднородностью динамического диапазона по трем направлениям трехмерной структуры без потери информации. Граф-схема метода трехмерного полиадического кодирования в направлении снижения весовых коэффициентов приводится на рис. 2.

Рассмотрим построение полиадического нумератора в случае, когда количество элементов ТПЧ фиксировано, а длина разрядной сетки на представление кода-номера является переменной, т.е. $m = \text{const}$;

$S(N^{(3)}) = \text{var}$. Допустим, что количество элементов ТПЧ равно $m = n_{\text{стб}} \times n_{\text{стр}} \times n_c$ и известно заранее.

Условие $S(N^{(3)}) = \text{var}$ позволяет выбирать необходимое количество разрядов на представление кода-номера $N^{(3)}$. Тогда создание нумератора трехмерных полиадических чисел сводится к выводу соотношения для определения величины весового коэффициента ω_{jiz} . Для этого сформулируем и докажем следующую теорему.

Теорема о весовом коэффициенте ТПЧ. Для известной длины трехмерного полиадического числа и переменной длины кодограммы значение весового коэффициента ω_{jiz} для (jiz) -го элемента находится по формуле:

$$\omega_{jiz} = \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} \prod_{k=1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{\eta k\gamma}. \quad (19)$$

Доказательство. Вывод выражения (19) будем проводить на основе рекуррентного соотношения (18). Для этого последовательно распишем значения предыдущих кодов-номеров предыдущих шагов обработки:

$$\begin{aligned} N^{(3)} &= N^{(n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, n_c)} = N^{(n_{\text{стб}}-1, n_{\text{стр}}, n_c)} V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \\ &+ N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} = N_1^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \prod_{\eta=2}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + N_{\xi-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} \\ &\prod_{\eta=\xi}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + N_{n_{\text{стб}}-1}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + N_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}. \end{aligned} \quad (20)$$

Преобразуем формулу (20) с учетом соотношений для величин $N_{\xi}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}$, $\xi = \overline{1, n_{\text{стб}}}$:

$$\begin{aligned} N^{(3)} &= (N_{11}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{1i\gamma} + \dots + N_{1k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{1i\gamma} + \dots + \\ &+ N_{1, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{1, n_{\text{стр}}, \gamma} + N_{1, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}) \prod_{\eta=2}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ &+ (N_{j1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + N_{jk}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + \\ &+ N_{j, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{j, n_{\text{стр}}, \gamma} + N_{j, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}) \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + \dots + \\ &+ (N_{n_{\text{стр}}-1, 1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{\text{стр}}-1, i\gamma} + \dots + \\ &+ N_{n_{\text{стр}}-1, k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{\text{стр}}-1, i\gamma} + \dots + \\ &+ N_{n_{\text{стр}}-1, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{\text{стр}}-1, n_{\text{стр}}, \gamma} + N_{n_{\text{стр}}-1, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}) \\ &V_{n_{\text{стб}}}^{(n_{\text{стр}}, n_c)} + (N_{n_{\text{стб}}, 1}^{(n_c)} \prod_{i=2}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{\text{стб}}, i\gamma} + \dots + \\ &+ N_{n_{\text{стб}}, k}^{(n_c)} \prod_{i=k+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{\text{стб}}, i\gamma} + \dots + N_{n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}-1}^{(n_c)} \\ &\prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}, \gamma} + N_{n_{\text{стб}}, n_{\text{стр}}}^{(n_c)}). \end{aligned}$$

Свернув слагаемые в последнем выражении под знак суммы, получим:

$$N^{(3)} = \left(\sum_{j=1}^{n_{\text{стб}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} N_{ji}^{(n_c)} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma} \right) \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{стб}}} V_{\eta}^{(n_{\text{стр}}, n_c)}. \quad (21)$$

Заменим в формуле (21) величины $N_{ji}^{(n_c)}$ для $1 \leq j \leq n_{\text{стб}}$, $1 \leq i \leq n_{\text{стр}}$ на соотношение:

$$\begin{aligned} N_{ji}^{(n_c)} &= N_{ji}^{(n_c-1)} \psi_{jin_c} + a_{ji} n_c = \\ &= a_{ji1} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + a_{ji, z-1} \prod_{\gamma=z}^{n_c} \psi_{ji\gamma} + \dots + \\ &+ a_{ji, n_c-1} \psi_{jin_c} + a_{ji} n_c = \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma}. \end{aligned}$$

После чего значение кода-номера $N^{(3)}$ будет равно:

$$N^{(3)} = \left(\sum_{j=1}^{n_{\text{стб}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{стр}}} \sum_{z=1}^{n_c} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_c} \psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{стр}}} \prod_{\gamma=1}^{n_c} \psi_{jk\gamma} \right)$$

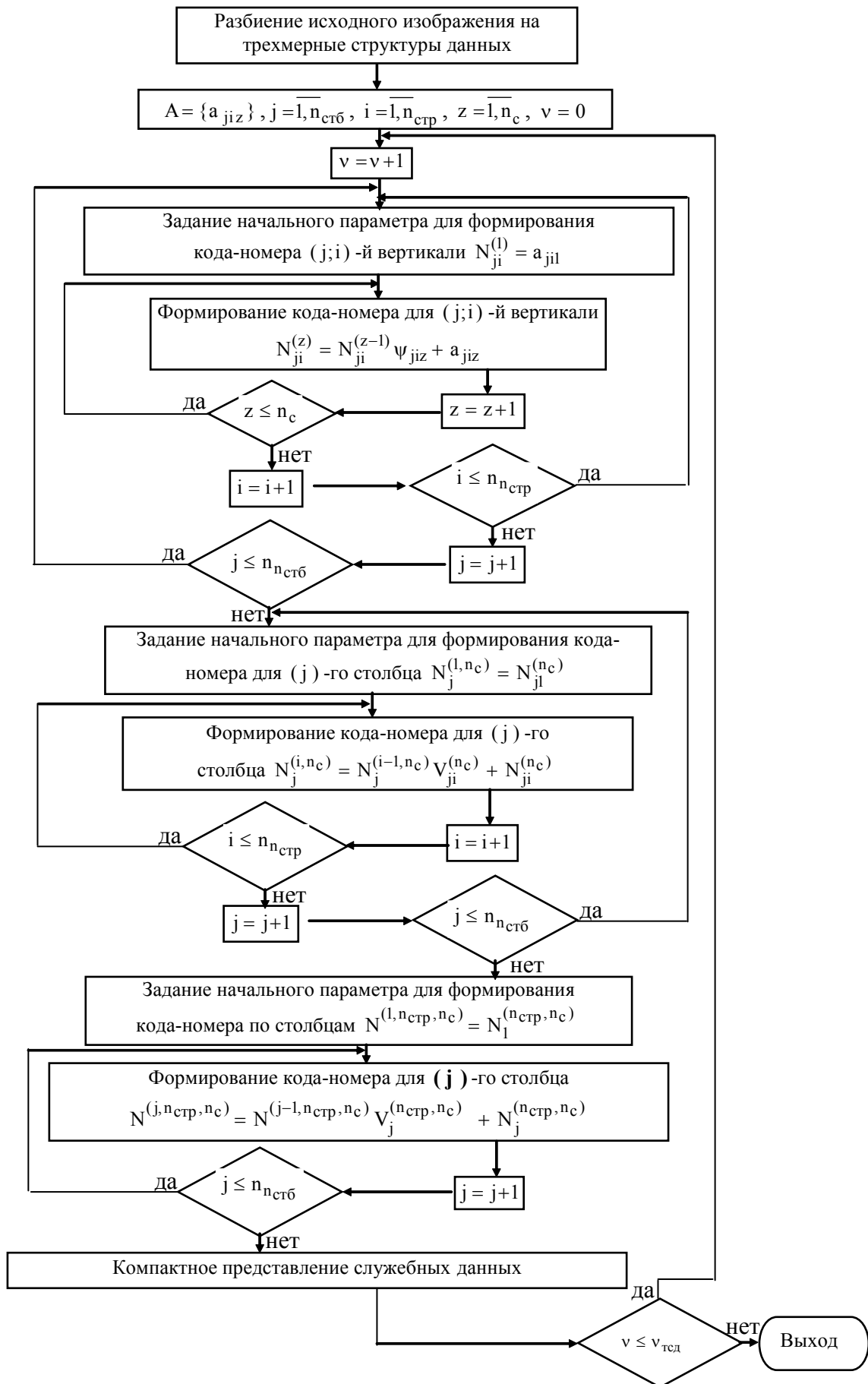


Рис. 2. Граф-схема трехмерного кодирования со старших разрядов

$$\prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{CTB}}} V_{\eta}^{(n_{\text{CTP}}, n_{\text{C}})} = \left(\sum_{j=1}^{n_{\text{CTB}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{CTP}}} \sum_{z=1}^{n_{\text{C}}} a_{jiz} \prod_{\gamma=z+1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{ji\gamma} \right. \\ \left. \prod_{k=i+1}^{n_{\text{CTP}}} \prod_{\gamma=1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{jk\gamma} \right) \prod_{i=1}^{n_{\text{CTP}}} \prod_{z=1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{\eta iz} = \sum_{j=1}^{n_{\text{CTB}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{CTP}}} \sum_{z=1}^{n_{\text{C}}} a_{jiz} \\ \prod_{\gamma=z+1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{CTP}}} \prod_{\gamma=1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{CTB}}} \prod_{i=1}^{n_{\text{CTP}}} \prod_{z=1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{\eta iz} . \quad (22)$$

Анализируя сомножитель при элементе a_{jiz} , приходим к выводу, что:

$$\omega_{jiz} = \prod_{\gamma=z+1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{ji\gamma} \prod_{k=i+1}^{n_{\text{CTP}}} \prod_{\gamma=1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{jk\gamma} \prod_{\eta=j+1}^{n_{\text{CTB}}} \prod_{k=1}^{n_{\text{CTP}}} \prod_{\gamma=1}^{n_{\text{C}}} \Psi_{\eta k\gamma} .$$

Следовательно, выражение (19) доказано. Теорема доказана.

Значит, соотношения (1) и (19) позволяют сформировать код-номер переменной длины для трехмерного полиадического числа фиксированной длины.

Таким образом, разработано трехмерное кодирование данных на основе трехмерной полиадической нумерации. Оно обеспечивает исключение избыточности одновременно по трем координатам трехмерных структур данных.

Выводы

Разработано трехмерное кодирование данных на основе трехмерной полиадической нумерации для снижения весовых коэффициентов элементов ТПЧ. Для исключения потери информации из-за переполнения машинного слова предложено проводить сравнение величины основания укрупненного элемента ТПЧ с максимально возможным значением числа, соответствующего заданной длине машинного слова.

Сжатие обеспечивается за счет исключения структурной избыточности, обусловленной ограниченностью и неравномерностью динамических диапазонов элементов видеоданных одновременно по трем координатам

трехмерных структур данных. Величина выигрыша в коэффициенте сжатия за счет дополнительно учета закономерностей в динамическом диапазоне по третьей координате будет тем больше, чем меньше значения оснований трехмерного полиадического числа относительно значений оснований двумерного полиадического числа, т.е. $\Psi_{jiz} < \Psi_{ji}$.

Литература: 1. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб.: Питер, 2006. 958 с. 2. *Гонсалес Р.* Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2005. 1072 с. 3. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. Х.: ХУПС, 2009. 252 с. 4. *Баранник В.В.* Сжатие данных на основе сокращения трехмерной структурной избыточности / В.В. Баранник, С.В. Карпенко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Харьков: НАКУ «ХАИ». 2007. Вып. 38. С. 177–187. 5. *Barannik V.V.* Method of the 3-D Image Processing / V.V. Barannik, S.V. Karpenko // Modern problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference TCSET'2008, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 20 – 24, 2008. P. 115 – 117. 6. *Баранник В.В., Рябуха Ю.Н.* Трехмерное полиадическое кодирование в направлении, начиная с младших элементов // Сучасна спеціальна техніка. 2013. №3. С. 22 - 27.

Поступила в редколлегию 17.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, начальник кафедры Харьковского университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: информационно-телекоммуникационные технологии, кодирование, защита и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская 77/79, тел. 8 050-3038971.

Рябуха Юрий Николаевич, канд. техн. наук, соискатель Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: информационно-телекоммуникационные технологии, кодирование, защита и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская 77/79, тел. 8 050-3038971.



БАЛАНСНАЯ КОМПОНОВКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

КОВАЛЕНКО А.А., ПАНКРАТОВ А.В.,
РОМАНОВА Т.Е., СТЕЦЮК П.И.

Рассматриваются три оптимизационные задачи балансной компоновки цилиндров в контейнере, которые применяются в космическом машиностроении. Учитываются ограничения поведения спутниковой системы (ограничения на центр масс, осевые и центробежные моменты инерции). Для аналитического описания ограничений на размещение объектов применяется метод ϕ -функций Стояна. Строятся три математические модели в виде задач нелинейного программирования с разными видами функции цели, геометрическими формами контейнера, размещением объектов на стеллажах контейнера. Рассматриваются стратегии решения задач балансной компоновки с применением методов дифференцируемой и недифференцируемой оптимизации. Приводятся тестовые примеры.

Введение

Среди множества задач балансной компоновки 3D-объектов, которые применяются в космическом машиностроении [1], особый интерес представляют задачи компоновки цилиндрических объектов. Так, в работах [2-4] рассматриваются задачи компоновки цилиндров в цилиндрическом контейнере с учетом *ограничений поведения (ограничения по статическим и динамическим характеристикам спутниковой системы)*. В данных публикациях приводятся математические модели с различными функциями цели, среди которых: радиус контейнера, отклонение центра масс системы от заданного значения, свертка, учитывающая как радиус контейнера, так и равновесие всей системы. Однако для решения данных задач предлагаются различные эвристические алгоритмы, что приводит к потере локально-оптимальных решений задач.

В статье [5] с помощью метода ϕ -функций [6] строится обобщенная математическая модель задачи балансной компоновки 3D-объектов в виде задачи нелинейного программирования. Данная математическая модель учитывает ограничения поведения (ограничения на центр масс, осевые и центробежные моменты инерции системы).

Целью данной работы является рассмотрение трех конкретных реализаций обобщенной математической модели, приведенной в работе [5], с объектами размещения цилиндрической формы, построение математических моделей данных задач с различными функциями цели, указанными выше, а также разработка алгоритмов решения с применением методов нелинейного программирования [7] и методов недифференцируемой оптимизации [8, 9].

1. Общие понятия и постановки задач

Рассмотрим класс задач балансной компоновки 3D-объектов в следующей постановке: разместить набор одинаково ориентированных прямых круговых цилиндров в контейнере с учетом ограничений поведения так, чтобы функция цели достигала своего экстремального значения. Сформулируем три вида задач балансной компоновки цилиндров.

Задача 1. Балансная компоновка цилиндров в цилиндрическом контейнере минимального радиуса при условии, что высота контейнера совпадает с высотой всех цилиндров.

Задача 2. Балансная компоновка цилиндров в контейнере (цилиндрической, параболической или усеченной конической формы) с круговыми стеллажами при условии, что цилиндры крепятся (сверху или снизу) к стеллажам контейнера. Функция цели – отклонение центра масс системы от заданного значения.

Задача 3. Балансная компоновка цилиндров в цилиндрическом контейнере с круговыми стеллажами при условии, что цилиндры крепятся сверху к круговым стеллажам контейнера. Функция цели учитывает радиус контейнера и равновесие системы.

Следуя работе [5], определим основные понятия, необходимые для построения математических моделей поставленных задач. Пусть Ω – контейнер высоты H , описанный следующим образом:

$$\Omega = \{(x, y, z) \in \mathbf{R}^3 : G(x, y, z) \geq 0\}.$$

В пределах данного исследования Ω рассматривается трех видов: круговой цилиндр с радиусом основания R при $G = \min\{-x^2 - y^2 + R^2, -z + H, z\}$; параболоид вращения с радиусом основания $R = \sqrt{H}$ при $G = \min\{-z - x^2 - y^2 + H, z\}$; усеченный круговой конус с радиусами R_1 и R_2 нижнего и верхнего оснований, соответственно, учитывая, что $G = \min\{-z - H(\sqrt{x^2 + y^2} + R_1)/(R_1 - R_2), -z + H, z\}$. Контейнер Ω задан в собственной неподвижной системе координат $Oxuz$, где Oz – продольная ось симметрии.

Пусть $A = \{C_i, i \in I_n\}$, $I_n = \{1, 2, \dots, n\}$, – семейство однородных цилиндров с метрическими характеристиками (r_i, h_i) , где r_i – радиус основания, h_i – полувысота цилиндра C_i . Каждый цилиндр C_i задан

в собственной системе координат $O_i x_i y_i z_i$, где O_i – центр симметрии C_i , $O_i z_i$ – продольная ось симметрии C_i , $O_i z_i \parallel Oz$. Расположение цилиндра C_i внутри контейнера Ω определяется вектором трансляции $u_i = (v_i, z_i)$ относительно неподвижной системы координат $Oxyz$, где $v_i = (x_i, y_i)$. При этом основным свойством, объединяющим перечисленные выше три задачи, является то, что $z_i = \text{const}$, $i \in I_n$. В общем случае вектор переменных имеет вид $u = (p, v)$, где p – переменная метрическая характеристика контейнера Ω , $v = (v_1, \dots, v_n) \in \mathbf{R}^{2n}$ – вектор переменных параметров размещения цилиндров. Обозначим через Ω_A систему, образованную в результате размещения цилиндров C_i семейства A в контейнере Ω , а через $O_s XYZ$ – систему координат для Ω_A , где $O_s = (x_s(v), y_s(v), z_s)$ – центр масс Ω_A , а оси $O_s X \parallel Ox$, $O_s Y \parallel Oy$, $O_s Z \parallel Oz$,

$$x_s(v) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{M}, y_s(v) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{M}, z_s = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{M}, \quad (1)$$

где m_i – масса цилиндра C_i , $i \in I_n$; $M = \sum_{i=1}^n m_i$ – масса системы Ω_A .

Ограничения поведения системы Ω_A описываются системой неравенств вида $\{\mu_1(v) \geq 0, \mu_2(v) \geq 0, \mu_3(v) \geq 0\}$, где $\mu_1(v) \geq 0$ – ограничения на центр масс системы Ω_A , $\mu_2(v) \geq 0$ и $\mu_3(z) \geq 0$ – ограничения на осевые и центробежные моменты инерции системы Ω_A , соответственно. Функции $\mu_1(v)$, $\mu_2(v)$, $\mu_3(v)$ определяются так:

$$\begin{aligned} \mu_1(v) &= \min \{\mu_{11}(v), \mu_{12}(v), \mu_{13}\}, \\ \mu_{11}(v) &= \min \{-(x_s(v) - x_0) + \Delta x_0, (x_s(v) - x_0) + \Delta x_0\}, \\ \mu_{12}(v) &= \min \{-(y_s(v) - y_0) + \Delta y_0, (y_s(v) - y_0) + \Delta y_0\}, \\ \mu_{13} &= \min \{-(z_s - z_0) + \Delta z_0, (z_s - z_0) + \Delta z_0\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где (x_0, y_0, z_0) – некоторая заданная точка, отклонение центра масс O_s от которой не должно превышать допустимого значения, а $\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0$ – заданные допустимые отклонения от точки (x_0, y_0, z_0) . Полагем, что $z = (z_1, \dots, z_n) \in \mathbf{R}^n$ таковой, что $\mu_{13}(z) = \mu_{13} = \text{const} \geq 0$ (в противном случае задача не имеет решения);

$$\begin{aligned} \mu_2(v) &= \min \{-J_X(v) + \Delta J_X, -J_Y(v) + \Delta J_Y, \\ &\quad -J_Z(v) + \Delta J_Z\}, \end{aligned} \quad (4)$$

здесь $J_X(v), J_Y(v), J_Z(v)$ – моменты инерции системы Ω_A относительно осей системы координат $O_s XYZ$; $\Delta J_X, \Delta J_Y, \Delta J_Z$ – допустимые значения для величин $J_X(v), J_Y(v), J_Z(v)$;

$$\begin{aligned} J_X(v) &= \sum_{i=1}^n J_{x_i} + \sum_{i=1}^n (y_i^2 + z_i^2) m_i - M([y_s(v)]^2 + z_s^2), \\ J_Y(v) &= \sum_{i=1}^n J_{y_i} + \sum_{i=1}^n (x_i^2 + z_i^2) m_i - M([x_s(v)]^2 + z_s^2), \\ J_Z(v) &= \sum_{i=1}^n J_{z_i} + \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) m_i - M([x_s(v)]^2 + [y_s(v)]^2), \end{aligned} \quad (5)$$

где $J_{x_i} = J_{y_i} = m_i(3r_i^2 + 4h_i^2)/12$, $J_{z_i} = m_i r_i^2/2$ – моменты инерции цилиндров C_i , $i \in I_n$, относительно осей системы координат $O_i x_i y_i z_i$;

$$\mu_3(v) = \min \{\mu_{31}(v), \mu_{32}(v), \mu_{33}(v)\}, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \mu_{31}(v) &= \min \{-J_{XY}(v) + \Delta J_{XY}, J_{XY}(v) + \Delta J_{XY}\}, \\ \mu_{32}(v) &= \min \{-J_{XZ}(v) + \Delta J_{XZ}, J_{XZ}(v) + \Delta J_{XZ}\}, \\ \mu_{33}(v) &= \min \{-J_{YZ}(v) + \Delta J_{YZ}, J_{YZ}(v) + \Delta J_{YZ}\}, \end{aligned} \quad (7)$$

здесь $J_{XY}(v), J_{XZ}(v), J_{YZ}(v)$ – центробежные моменты инерции системы Ω_A относительно осей системы координат $O_s XYZ$; $\Delta J_{XY}, \Delta J_{XZ}, \Delta J_{YZ}$ – заданные допустимые значения,

$$\begin{aligned} J_{XY}(v) &= \sum_{i=1}^n x_i y_i m_i - M x_s(v) y_s(v), \\ J_{XZ}(v) &= \sum_{i=1}^n x_i z_i m_i - M x_s(v) z_s, \\ J_{YZ}(v) &= \sum_{i=1}^n y_i z_i m_i - M y_s(v) z_s. \end{aligned} \quad (8)$$

Ограничения размещения цилиндров семейства A в контейнере Ω описываются системой неравенств $\{\Upsilon_1(u) \geq 0, \Upsilon_2(u) \geq 0\}$, где $\Upsilon_1(u) \geq 0$ и $\Upsilon_2(u) \geq 0$ – ограничения, описывающие непересечение и включение цилиндров в контейнер, соответственно,

$$\begin{aligned} \Upsilon_1(u) &= \min \{\Phi_{ij}^{CC}(u_i, u_j), i > j \in I_n\}, \\ \Upsilon_2(u) &= \min \{\Phi_i^{C\Omega^*}(p, u_i), i \in I_n\}, \end{aligned} \quad (9)$$

$\Phi_{ij}^{CC}(u_i, u_j)$ – *phi*-функция для цилиндров C_i и C_j [6], $\Phi_i^{C\Omega^*}(p, u_i)$ – *phi*-функция для цилиндра C_i и объекта $\Omega^* = \mathbf{R}^3 / \text{int } \Omega$ [10].

Поскольку $z_i = \text{const}$, $i \in I_n$, то функции $\Upsilon_1(u)$ и $\Upsilon_2(u)$ в (9) можно представить в эквивалентном виде с использованием *phi*-функций для двумерных объектов, а именно:

$$\begin{aligned} \Upsilon_1(v) &= \min \{ \Phi_{ij}(v_i, v_j), (i, j) \in \Xi \}, \\ \Upsilon_2(R, v) &= \min \{ \Phi_i(R, v_i), i \in I_n \}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $\Phi_{ij}(v_i, v_j)$ – *phi*-функция для кругов C_i и C_j радиусов r_i и r_j с центрами в точках $v_i = (x_i, y_i)$ и $v_j = (x_j, y_j)$,

$$\begin{aligned} \Phi_{ij}(v_i, v_j) &= (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 - (r_i + r_j)^2, \\ \Xi &= \{ (i, j) : |z_i - z_j| < h_i + h_j, i < j \in I_n \}, \end{aligned} \quad (11)$$

$\Phi_i(R, v_i)$ – *phi*-функция для круга C_i радиуса r_i с центром в точке $v_i = (x_i, y_i)$ и объекта $C^* = \mathbf{R}^2 / \text{int } C^z$ радиуса R_i^z с центром в точке $(0, 0)$ вида

$$\Phi_i(R, v_i) = -x_i^2 - y_i^2 + (R_i^z(R) - r_i)^2, \quad (12)$$

здесь $R_i^z(R)$ – радиус круга C^z (сечение контейнера Ω плоскостью, параллельной Oxy , на высоте $z_i + h_i$), $R_i^z(R) \geq r_i$. Для каждого вида задач конкретное значение радиуса R_i^z определяется в последующих разделах.

2. Математическая модель задачи 1

В задаче 1 размещается семейство A цилиндров одинаковой высоты $2h_i$ и различных радиусов r_i в цилиндрическом контейнере Ω высоты $H = 2h_i$ ми-

нимального радиуса так, чтобы выполнялись ограничения поведения $\mu_1(v) \geq 0$, $\mu_2(v) \geq 0$, $\mu_3(v) \geq 0$.

Поскольку $h_i = 0.5H$, $i \in I_n$ (рис.1) и $z_i = 0$, $i \in I_n$, то $O_s = (x_s(u), y_s(u), 0)$. Начало собственной системы координат $Oxyz$ контейнера Ω расположено в центре его симметрии. Для задачи 1 полагаем $(x_0, y_0, z_0) = (0, 0, 0)$.

С учетом перечисленных особенностей математическую модель задачи 1 можно представить следующим образом:

$$\min R \quad \text{s.t.} \quad u \in W,$$

где $u = (R, x_1, y_1, \dots, x_n, y_n) \in \mathbf{R}^{2n+1}$, а W описывается системой неравенств вида

$$(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 - (r_i + r_j)^2 \geq 0, i < j \in I_n,$$

$$-x_i^2 - y_i^2 + (R - r_i)^2 \geq 0, i \in I_n,$$

$$-\sum_{i=1}^n m'_i x_i + \Delta x_0 \geq 0, \sum_{i=1}^n m'_i x_i + \Delta x_0 \geq 0,$$

$$-\sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta y_0 \geq 0, \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta y_0 \geq 0,$$

$$\alpha_1 - \sum_{i=1}^n y_i^2 m_i + M \left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 + \Delta J_X \geq 0,$$

$$\alpha_1 - \sum_{i=1}^n x_i^2 m_i + M \left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + \Delta J_Y \geq 0,$$

$$\alpha_2 - \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) m_i + M \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + \right.$$

$$\left. + \left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 \right) + \Delta J_Z \geq 0,$$

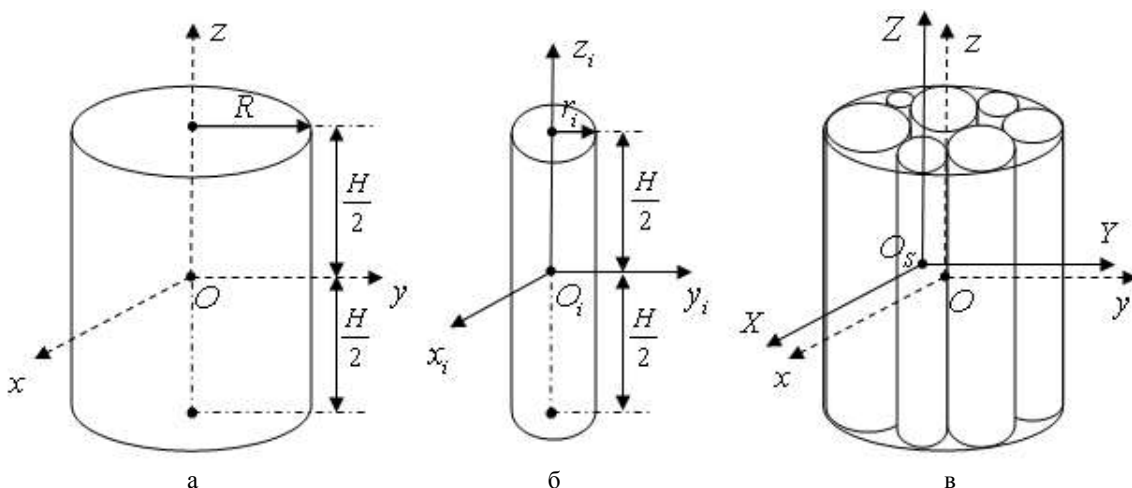


Рис. 1. Контейнер Ω (а); объект C_i (б); система Ω_A (в)

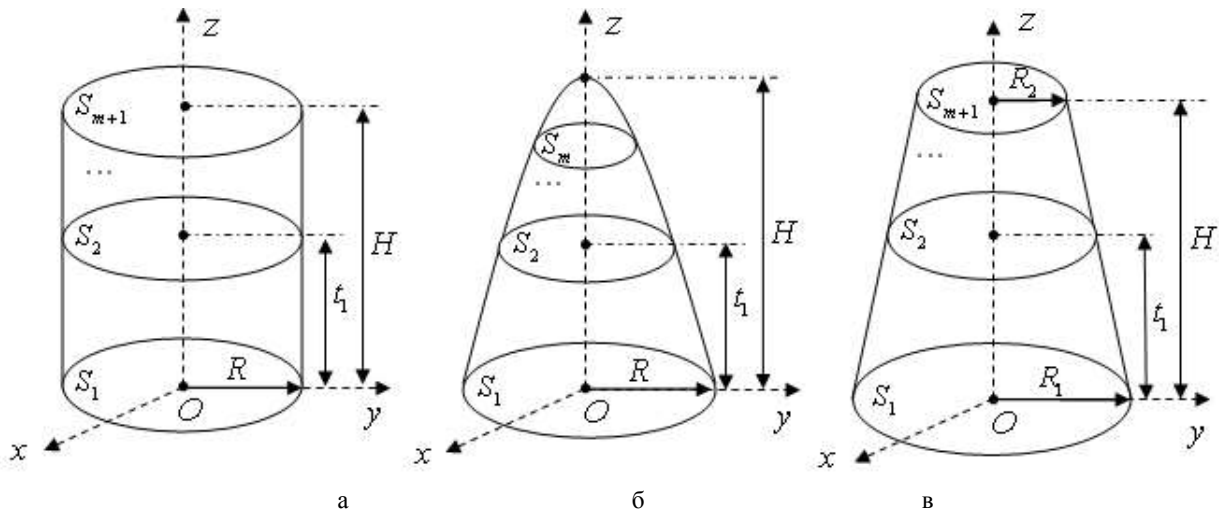


Рис. 2. Виды контейнеров: а – цилиндр; б – параболоид вращения; в – усеченный конус

$$\begin{aligned}
 & -\sum_{i=1}^n x_i y_i m_i + M \sum_{i=1}^n m'_i x_i \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{XY} \geq 0, \\
 & \sum_{i=1}^n x_i y_i m_i - M \sum_{i=1}^n m'_i x_i \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{XY} \geq 0, \\
 & R - R_{low} \geq 0,
 \end{aligned}$$

Заметим, что

$$\begin{aligned}
 m'_i &= \frac{m_i}{M} = \text{const}, \quad M = \sum_{i=1}^n m_i = \text{const}, \\
 \Delta x_0, \Delta y_0 &= \text{const}, \quad \Delta J_X, \Delta J_Y, \Delta J_Z = \text{const}, \\
 \alpha_1 &= -\frac{1}{12} \sum_{i=1}^n m_i (3r_i^2 + H^2) = \text{const}, \quad R_{low} = \max_{i=1, \dots, n} r_i, \\
 \alpha_2 &= -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = \text{const}, \quad \Delta J_{XY} = \text{const}.
 \end{aligned}$$

3. Математическая модель задачи 2

Для данной задачи рассмотрим три вида контейнера Ω , описанных выше. Метрические характеристики Ω – постоянные величины. Полагаем, что начало собственной системы координат $Oxuz$ расположено в центре нижнего основания контейнера. Пусть контейнер Ω разделен круговыми стеллажами S_k на отсеки Ω^k , $k=1, \dots, m$ (рис.2). Расстояния между стеллажами S_k и S_{k+1} обозначим через t_k ,

$$k=1, \dots, m, \quad \sum_{k=1}^m t_k = H.$$

Осуществим разбиение семейства A на группы $A^k = \{C_i, i \in I_k\}$, $k=1, \dots, m$, в зависимости от принадлежности цилиндра C_i подконтейнеру Ω^k ($I_1 \cup I_2 \cup \dots \cup I_k \cup \dots \cup I_m = I_n$). На размещение C_i , внутри Ω^k накладываются ограничения по z вида:

случай 1) если цилиндры C_i , $i \in I_k^+$, крепятся сверху к стеллажам S_k подконтейнера Ω^k , тогда $z_i = \sum_{l=1}^k t_{l-1} + h_i$, полагая $t_0 = 0$; *случай 2*) если цилиндры C_i , $i \in I_k^-$, крепятся снизу к стеллажу S_{k+1}

подконтейнера Ω^k , тогда $z_i = \sum_{l=1}^k t_l - h_i$. Заметим, что $I_k = I_k^+ \cup I_k^-$ и $I_k^+ \cap I_k^- = \emptyset$, $k=1, \dots, m$, при этом в случае, когда Ω – параболоид вращения $I_m^- = \emptyset$.

Функция $Y_1(v)$ в (10) определена при $\Xi = \bigcup_{k=1}^m \Xi_k$, $\Xi_k = \{(i, j) : |z_i - z_j| < h_i + h_j, i < j \in I_k\}$, и функция $Y_2(v)$ в (10) задана при следующих значениях R_i^z :

случай 1) $R_i^z = \sqrt{H - 2h_i - \sum_{l=1}^k t_{l-1}}$, $i \in I_k^+$, для параболического контейнера; $R_i^z = R$, $i \in I_k^+$, для цилиндрического контейнера;

$$R_i^z = R_1 - \frac{R_1 - R_2}{H} (2h_i + \sum_{l=1}^k t_{l-1}), \quad i \in I_k^+,$$

для контейнера формы усеченного конуса; *случай 2*)

$R_i^z = \sqrt{H - \sum_{l=1}^k t_l}$, $i \in I_k^-$, для параболического контейнера; $R_i^z = R$, $i \in I_k^-$, для цилиндрического контейнера;

$R_i^z = R_1 - \frac{R_1 - R_2}{H} \sum_{l=1}^k t_l$, $i \in I_k^-$, для контейнера формы усеченного конуса. Центр масс, осевые и центробежные моменты инерции системы Ω_A опре-

деляются по формулам (1), (5) и (8), соответственно. Для задачи 2 полагаем $(x_0, y_0, z_0) = (0, 0, z_0)$.

Математическая модель задачи 2 имеет вид:

$$\min \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n m'_i z_i - z_0 \right]^2 \right), \text{ s.t. } v \in W,$$

где $v = (x_1, y_1, \dots, x_n, y_n)$, а область W описывается системой неравенств вида

$$\begin{aligned} (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 - (r_i + r_j)^2 &\geq 0, (i, j) \in \Xi, \\ -x_i^2 - y_i^2 + (R_i^z - r_i)^2 &\geq 0, i \in I_n, \\ \alpha_1 - \sum_{i=1}^n (y_i^2 + z_i^2) m_i + M \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 + z_s^2 \right) + \Delta J_X &\geq 0, \\ \alpha_1 - \sum_{i=1}^n (x_i^2 + z_i^2) m_i + M \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + z_s^2 \right) + \Delta J_Y &\geq 0, \\ \alpha_2 - \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) m_i + M \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 \right) + \Delta J_Z &\geq 0, \\ -\sum_{i=1}^n x_i y_i m_i + M \sum_{i=1}^n m'_i x_i \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{XY} &\geq 0, \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i m_i - M \sum_{i=1}^n m'_i x_i \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{XY} &\geq 0, \\ -\sum_{i=1}^n x_i z_i m_i + M z_s \sum_{i=1}^n m'_i x_i + \Delta J_{XZ} &\geq 0, \\ \sum_{i=1}^n x_i z_i m_i - M z_s \sum_{i=1}^n m'_i x_i + \Delta J_{XZ} &\geq 0 \\ -\sum_{i=1}^n y_i z_i m_i + M z_s \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{YZ} &\geq 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i z_i m_i - M z_s \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{YZ} &\geq 0 \end{aligned}$$

Заметим, что

$$z_0 = \text{const}, \quad m'_i = \frac{m_i}{M} = \text{const}, \quad M = \sum_{i=1}^n m_i = \text{const},$$

$$z_i = \text{const}, \quad i \in I_n, \quad z_s = \sum_{i=1}^n m'_i z_i = \text{const},$$

$$\alpha_2 = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = \text{const},$$

$$\alpha_1 = -\frac{1}{12} \sum_{i=1}^n m_i (3r_i^2 + 4h_i^2) = \text{const},$$

$$\Delta J_X, \Delta J_Y, \Delta J_Z = \text{const}, \quad \Delta J_{XY}, \Delta J_{XZ}, \Delta J_{YZ} = \text{const}.$$

Если в задаче 2 положить $z_0 = z_s$, то при нулевом значении функции цели будет получено оптимальное решение данной задачи.

4. Математическая модель задачи 3

Пусть Ω – цилиндрический контейнер высоты H и переменного радиуса R (см.рис.2,а). Цилиндры размещаются на стеллажах контейнера Ω при $I_k = I_k^+$, $k = 1, \dots, m$.

Математическую модель задачи 3 можно представить так:

$$\min f, \text{ s.t. } u \in W,$$

где $u = (R, x_1, y_1, \dots, x_n, y_n)$,

$$f = \alpha R + \beta \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n m'_i z_i - z_0 \right]^2 \right),$$

область W описывается системой неравенств вида

$$\begin{aligned} (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 - (r_i + r_j)^2 &\geq 0, (i, j) \in \Xi, \\ -x_i^2 - y_i^2 + (R - r_i)^2 &\geq 0, i \in I_n, \\ \alpha_1 - \sum_{i=1}^n (y_i^2 + z_i^2) m_i + M \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 + z_s^2 \right) + \Delta J_X &\geq 0, \\ \alpha_1 - \sum_{i=1}^n (x_i^2 + z_i^2) m_i + M \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + z_s^2 \right) + \Delta J_Y &\geq 0, \\ \alpha_2 - \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) m_i + M \left(\left[\sum_{i=1}^n m'_i x_i \right]^2 + \left[\sum_{i=1}^n m'_i y_i \right]^2 \right) + \Delta J_Z &\geq 0, \\ -\sum_{i=1}^n x_i y_i m_i + M \sum_{i=1}^n m'_i x_i \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{XY} &\geq 0, \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i m_i - M \sum_{i=1}^n m'_i x_i \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{XY} &\geq 0, \\ -\sum_{i=1}^n x_i z_i m_i + M z_s \sum_{i=1}^n m'_i x_i + \Delta J_{XZ} &\geq 0, \\ \sum_{i=1}^n x_i z_i m_i - M z_s \sum_{i=1}^n m'_i x_i + \Delta J_{XZ} &\geq 0 \\ -\sum_{i=1}^n y_i z_i m_i + M z_s \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{YZ} &\geq 0 \\ \sum_{i=1}^n y_i z_i m_i - M z_s \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{YZ} &\geq 0 \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i z_i m_i - M z_s \sum_{i=1}^n m'_i x_i + \Delta J_{XZ} \geq 0,$$

$$-\sum_{i=1}^n y_i z_i m_i + M z_s \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{YZ} \geq 0,$$

$$\sum_{i=1}^n y_i z_i m_i - M z_s \sum_{i=1}^n m'_i y_i + \Delta J_{YZ} \geq 0,$$

$$R - R_{\text{low}} \geq 0.$$

Заметим, что

$$R_{\text{low}} = \max_{i=1, \dots, n} r_i, \quad m'_i = \frac{m_i}{M} = \text{const},$$

$$M = \sum_{i=1}^n m_i = \text{const},$$

$$z_i = \text{const}, z_s = \sum_{i=1}^n m'_i z_i = \text{const},$$

$$\alpha_1 = -\frac{1}{12} \sum_{i=1}^n m_i (3r_i^2 + 4h_i^2) = \text{const},$$

$$\alpha_2 = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = \text{const},$$

$$\Delta J_X, \Delta J_Y, \Delta J_Z = \text{const}, \Delta J_{XY}, \Delta J_{XZ}, \Delta J_{YZ} = \text{const}.$$

5. Алгоритмы решения

Для решения рассматриваемого класса задач балансной компоновки цилиндров предлагаются эффективные алгоритмы с использованием методов *нелинейного программирования* и *негладкой оптимизации*.

Суть алгоритмов с использованием методов *нелинейного программирования* заключается в следующем: строится множество стартовых точек u_0^s , $s = 1, 2, \dots, \eta$, из области допустимых решений W ; производится поиск локального экстремума *задач 1-3* для каждой стартовой точки $u_0^s \in W$; лучший из полученных локальных экстремумов выбирается в качестве локально-оптимального решения. Приведенные ниже алгоритмы используют ПРОПТ [7] для локальной оптимизации. Такой подход к поиску локальных экстремумов *задач 1-3* позволяет улучшить сходимость методов локальной оптимизации и сократить время решения.

В целях упрощения нетривиальной процедуры поиска допустимой стартовой точки для описанных выше задач осуществляется переход к решению вспомогательных задач, основанных на гомотетических преобразованиях кругов. Таким образом, в дальнейшем полагаем, что коэффициенты гомотетии λ_i переменные, при этом $\lambda_i = \lambda$, $0 \leq \lambda \leq 1$, $i \in I_n$.

Рассмотрим подробнее алгоритмы поиска стартовых точек из области допустимых решений для *задач 1-3*.

Алгоритм 1.1 предназначен для поиска стартовых точек из области допустимых решений *задачи 1* и заключается в следующем.

Шаг 1. Задаем стартовое значение радиуса контейнера $R^0 = R_{\text{up}}$, R_{up} – верхняя оценка радиуса R .

Шаг 2. Генерируем множество точек $v_i^0 = (x_i^0, y_i^0) \in \Omega^0$, $i \in I_n$, случайным образом. Полагаем $\lambda^0 = 0$.

Шаг 3. Используем точку $u'^0 = (R^0, v^0, \lambda^0)$, $v^0 = (x_1^0, y_1^0, \dots, x_n^0, y_n^0)$ в качестве допустимой стартовой точки для следующей вспомогательной задачи:

$$\lambda^* = \max \lambda, \quad \text{s.t.} \quad u' \in W_\lambda, \quad (13)$$

$$W_\lambda = \{u' \in \mathbf{R}^{2n+2} : Y_1(v') \geq 0, Y_2(u') \geq 0, \zeta \geq 0, \\ 1 - \lambda \geq 0, \lambda \geq 0, R_{\text{up}} - R \geq 0\}, \quad (14)$$

где $u' = (R, v')$, $v' = (v, \lambda)$, функции $Y_1(v')$, $Y_2(u')$ задаются аналогично функциям $Y_1(v)$, $Y_2(u)$ в математической модели *задачи 1* с учетом коэффициента гомотетии λ . Обозначим точку локального максимума $u'^* = (R^*, v'^*) = (R^*, v^*, \lambda^*)$. Заметим, что если $\lambda^* = 1$, то u'^* является точкой глобального максимума задачи (13)-(14).

Следует отметить, что $u'^0 \in W_\lambda$ по способу построения.

Шаг 4. Стартуя из точки $u''^0 = (R^0, v^0, \mu^0) = (R^*/\lambda^*, v^*/\lambda^*, -\eta)$, где $\eta > 0$ – заведомо большое число, решаем вспомогательную задачу:

$$\mu^* = \max \mu, \quad \text{s.t.} \quad u'' \in W_\mu, \quad (15)$$

$$W_\mu = \{u'' \in \mathbf{R}^{2n+2} : Y_1(v) \geq 0, Y_2(u) \geq 0, \mu_1(v) - \mu \geq 0, \\ \mu_2(v) - \mu \geq 0, \mu_3(v) - \mu \geq 0, \zeta \geq 0, R_{\text{up}} - R \geq 0\}, \quad (16)$$

где $u'' = (u, \mu) = (R, v, \mu)$. Следует отметить, что $u''^0 \in W_\mu$ по способу построения.

Если в результате решения задачи (15)-(16) получено значение $\mu^* < 0$, это означает, что при заданной оценке R_{up} для сгенерированной стартовой точки u''^0 не удалось получить точку u''^* , принадлежащую области допустимых решений *задачи 1*, поскольку нарушаются условия поведения системы. В этом случае следует увеличить значение верхней оценки R_{up} и перейти к первому шагу алгоритма. Если в результате решения задачи (15)-(16) $\mu^* \geq 0$, то обозначаем полученную точку локального максимума через $u''^* = (R''^*, v''^*, \mu^*)$.

Шаг 5. Формируем точку $u^0 = (R''^*, v''^*)$, полученную из точки u''^* локального максимума задачи (13)-(14). Точка u^0 служит стартовой точкой, принадлежащей области W *задачи 1*.

Алгоритм 1.2 предназначен для поиска стартовых точек из области допустимых решений *задачи 2* и заключается в следующем.

Шаг 1. Генерируем случайным образом множество точек $v_i^0 = (x_i^0, y_i^0)$, принадлежащих кругам радиуса R_i^z , $i \in I_n$. Полагаем $\lambda^0 = 0$.

Шаг 2. Используем точку $u'^0 = (v^0, \lambda^0)$, где $v^0 = (x_1^0, y_1^0, \dots, x_n^0, y_n^0)$, в качестве стартовой точки для следующей вспомогательной задачи:

$$\lambda^* = \max \lambda, \quad \text{s.t.} \quad v' \in W_\lambda, \quad (17)$$

$$W_\lambda = \{v' : \Upsilon_1(v') \geq 0, \Upsilon_2(v') \geq 0, 1 - \lambda \geq 0, \lambda \geq 0\}, \quad (18)$$

где $v' = (v, \lambda) \in \mathbf{R}^{2n+1}$, функции $\Upsilon_1(v')$, $\Upsilon_2(v')$ задаются аналогично функциям $\Upsilon_1(v)$, $\Upsilon_2(v)$ в математической модели задачи 2 с учетом коэффициента гомотетии λ . Обозначим точку локального максимума $u'^* = (v'^*) = (v^*, \lambda^*)$. Если в результате решения вспомогательной задачи (17)-(18) получено $\lambda^* < 1$, то для данной стартовой точки для задачи 2 не удалось получить допустимого размещения объектов. В этом случае осуществляется переход к первому шагу алгоритма. Следует отметить, что $u'^0 \in W_\lambda$ по способу построения.

Шаг 3. Полагаем $u''^0 = (v^0, \mu^0) = (v^*, -\eta)$, где $\eta > 0$ – заведомо большое число.

Стартуя из точки u''^0 , решаем вспомогательную задачу:

$$\mu^* = \max \mu, \quad \text{s.t.} \quad u' \in W_\mu, \quad (19)$$

$$W_\mu = \{u'' \in \mathbf{R}^{2n+1} : \Upsilon_1(v) \geq 0, \Upsilon_2(v) \geq 0, \mu_2(v) - \mu \geq 0, \mu_3(v) - \mu \geq 0\}, \quad (20)$$

где $u'' = (v, \mu)$. Следует отметить, что $u''^0 \in W_\mu$ по способу построения.

Если в результате решения вспомогательной задачи (19)-(20) получено значение μ^* меньшее нуля, то это означает, что для задачи 2 не удалось получить решение, удовлетворяющее условиям поведения системы. В этом случае следует перейти к шагу 1 алгоритма. Обозначим точку локального максимума задачи (19)-(20) через $u''^* = (v^*, \mu^*)$.

Точка $v^0 = v^*$, полученная из точки локального экстремума u''^* задачи (19)-(20), служит стартовой точкой, принадлежащей области допустимых решений W для задачи 2.

Для поиска стартовых точек из области W задачи 3 используется алгоритм 1.1, при условии, что в задаче (15)-(16) область W_μ имеет вид

$$W_\mu = \{u'' \in \mathbf{R}^{2n+2} : \Upsilon_1(v) \geq 0, \Upsilon_2(u) \geq 0, \mu_2(v) - \mu \geq 0, \mu_3(v) - \mu \geq 0, \zeta \geq 0, R_{\text{up}} - R \geq 0\}.$$

Такой подход к поиску локальных экстремумов задач 1-3 позволяет улучшить сходимость методов локальной оптимизации и сократить время решения.

Суть алгоритма с использованием методов не дифференцируемой оптимизации заключается в следующем.

Алгоритм 2 основан на применении r -алгоритма Шора, который позволяет с помощью негладких штрафных свести:

– задачу 1 условной оптимизации к задаче безусловной оптимизации вида

$$\begin{aligned} \min f_1(u), \\ f_1(u) = R + P_1 \sum_{k=1}^{N_1} \max\{0, -\Phi'_k\} + P_2 \sum_{j=1}^3 \max\{0, -\mu_j\} + \\ + P_3 \max\{0, -\zeta\}, \end{aligned} \quad (21)$$

– задачу 2 условной оптимизации к задаче безусловной оптимизации вида

$$\begin{aligned} \min f_2(v), \\ f_2(v) = F(v) + P_1 \sum_{k=1}^{N_2} \max\{0, -\Phi'_k\} + \\ + P_2 \sum_{j=2}^3 \max\{0, -\mu_j\}, \end{aligned} \quad (22)$$

– задачу 3 условной оптимизации к задаче безусловной оптимизации вида

$$\begin{aligned} \min f_3(u), \\ f_3(u) = \alpha R + \beta F(v) + P_1 \sum_{k=1}^{N_3} \max\{0, -\Phi'_k\} + \\ + P_2 \sum_{j=2}^3 \max\{0, -\mu_j\} + P_3 \max\{0, -\zeta\}, \end{aligned} \quad (23)$$

где $F(v) = (x_s(v))^2 + (y_s(v))^2 + (z_s - z_0)^2$, P_1, P_2, P_3 – штрафные коэффициенты [9]; N_1, N_2, N_3 – число ϕ -неравенств в ограничениях размещения для соответствующих задач, где $N_1 = n(n+1)/2$, $N_2 = N_3 = \text{card}(\Xi) + n$, Φ'_k – ϕ -функции вида

(11), (12) из соотношений (10); μ_1, μ_2, μ_3 – функции вида (2), (4), (6), $\zeta = R - \max_{i=1, \dots, n} r_i$.

Этот алгоритм предполагает также использование мультистарта и состоит в нахождении локальных минимумов функции вида (21), (22) или (23) для заданного набора стартовых точек. Стартовые точки генерируются случайным образом.

6. Тестовые примеры

Пример 1. Рассмотрим задачу 2 для контейнера, имеющего форму усеченного конуса. Пусть $A = \{C_i, i \in I_8\}$, $m = 2$, $H = 0.6$, $R_1 = 0.5$, $R_2 = 0.3$, $t_1 = H/2$,

$\{r_i, i \in I_8\} = \{0.1, 0.1, 0.1, 0.075, 0.075, 0.06, 0.05, 0.045\}$, $\{h_i, i \in I_8\} = \{0.12, 0.09, 0.1, 0.1, 0.1, 0.075, 0.1, 0.08\}$, $\{m_i, i \in I_8\} = \{26.62, 16.97, 18.85, 10.6, 10.6, 5.09, 4.71, 3.05\}$,

$$A^1 = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}, A^2 = \{C_5, C_6, C_7, C_8\},$$

$$(x_0, y_0, z_0) = (0, 0, 0.275),$$

$$(\Delta J_X, \Delta J_Y, \Delta J_Z) = (5, 5, 5), (\Delta J_{XY}, \Delta J_{YZ}, \Delta J_{XZ}) = (0, 0, 0).$$

Наилучшее решение с учетом всех ограничений поведения, полученное с помощью алгоритма 1 (рис. 3): $u^* = v^*$, $F(u^*) = 0.000819642$. Заметим, что u^* является точкой глобального минимума.

Пример 2. Рассмотрим задачу 2 для контейнера параболической формы. Пусть $A = \{C_i, i \in I_{45}\}$, $m = 3$, $H = 70$, $t_1 = 18.5$, $t_2 = 14$, $h_i = 1.85$, $i \in I_{45}$, радиусы r_i и массы m_i цилиндров $C_i, i \in I_{45}$, задаются следующим образом: $\{r_i, i \in I_{45}\} = \{2.0, 2.4, 0.8, 1.1, 1.3, 0.7, 0.7, 1.5, 2.4, 1.8, 1.5, 1.7, 1.7, 1.4, 1.6, 1.8, 0.5, 2.1, 2.1, 1.3, 0.8, 1.4, 0.8, 1.5, 1.1, 1.7, 2.1, 1.6, 0.6, 1.8, 2.4, 1.3, 2.0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.2, 1.7, 1.7, 0.7, 2.1, 1.1, 0.5,$

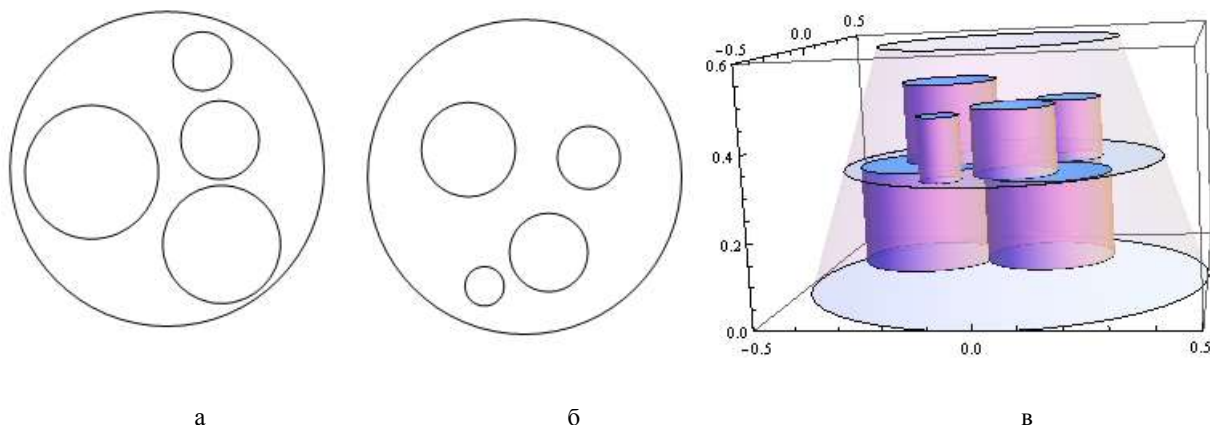


Рис. 3. Размещение объектов, соответствующее точке локального минимума u^* , с учетом всех ограничений поведения: а – размещение цилиндров подмножества A^1 снизу стеллажа S_2 ; б – размещение цилиндров подмножества A^2 сверху стеллажа S_2 ; в – вид системы Ω_A

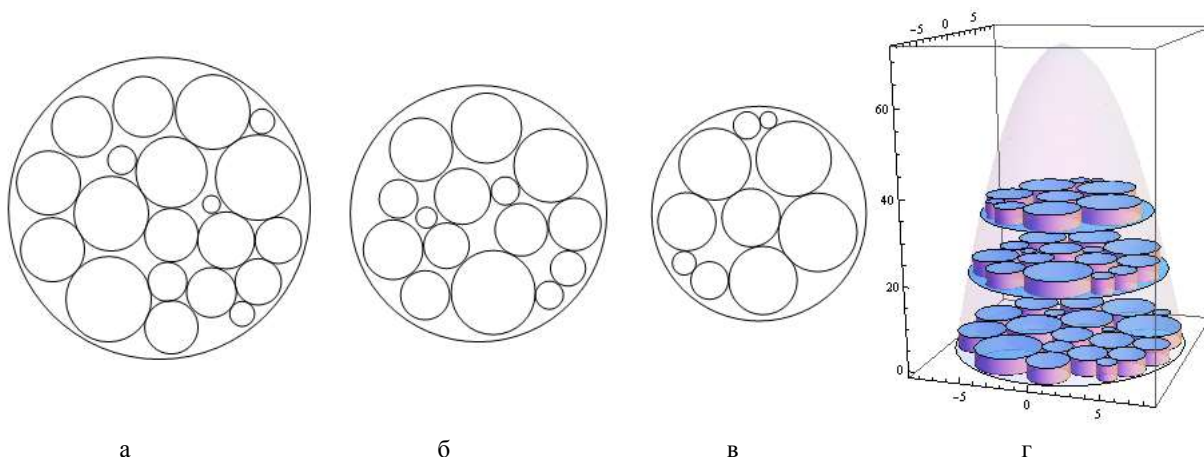


Рис. 4. Размещение цилиндров, соответствующее точке глобального минимума u^* : а – подмножество A^1 цилиндров на стеллаже S_1 ; б – подмножество A^2 цилиндров на стеллаже S_2 ; в – подмножество A^3 цилиндров на стеллаже S_3 ; г – вид системы Ω_A

2.3, 0.8}, $\{m_i, i \in I_{45}\} = \{86, 72, 81, 54, 29, 94, 92, 41, 57, 77, 40, 67, 31, 47, 39, 61, 73, 83, 11, 20, 75, 29, 36, 58, 75, 32, 98, 52, 76, 85, 59, 18, 85, 36, 12, 35, 61, 49, 89, 68, 80, 93, 82, 70, 20\}$,

$$(x_0, y_0, z_0) = (0, 0, z_S), \quad A^1 = \{C_1, \dots, C_{20}\},$$

$$A^2 = \{C_{21}, \dots, C_{35}\}, \quad A^3 = \{C_{36}, \dots, C_{45}\}.$$

Наилучшее локально-оптимальное решение без учета ограничений $\mu_2(v) \geq 0$ и $\mu_3(v) \geq 0$, найденное с помощью алгоритма 1 (рис. 4): $u^* = v^*$, $F(u^*) = 0$. Заметим, что u^* является точкой глобального минимума.

Пример 3. Рассмотрим задачу 3. Пусть $A = \{C_i, i \in I_{21}\}$, $m = 3$, $N = 9$, $t_1 = 3$, $t_2 = 3$, $h_i = 0,88$, $i \in I_{21}$, $(x_0, y_0, z_0) = (0, 0, z_S)$. Радиусы r_i и массы m_i цилиндров C_i , $i \in I_{21}$, задаются так: $r_i = 0,45$, $m_i = 3,1416$, для $i = 1, \dots, 7$; $r_i = 0,5$, $m_i = 3,8013$, для $i = 8, \dots, 14$; $r_i = 0,54$, $m_i = 4,5239$, для $i = 15, \dots, 21$.

$$A^1 = \{C_1, C_8, C_9, C_{15}, C_{16}, C_{17}, C_{18}\},$$

$$A^2 = \{C_2, C_3, C_4, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{19}, C_{20}\},$$

$$A^3 = \{C_5, C_6, C_7, C_{14}, C_{21}\}.$$

Наилучшее решение без учета ограничений $\mu_2(v) \geq 0$ и $\mu_3(v) \geq 0$, найденное с помощью IPOPT (рис. 5): $u^* = (R^*, v^*)$, $R^* = 1,7554$, $F(u^*) = 1,7555 + 0,0$. Точка u^* является точкой локального минимума.

Пример 4. Рассмотрим задачу 3. Пусть $A = \{C_i, i \in I_{35}\}$, $m = 2$, $N = 9$, $t_1 = 4$, $h_i = 1,85$, $(x_0, y_0, z_0) = (0, 0, z_S)$. Радиусы r_i и массы m_i цилиндров C_i , $i \in I_{35}$, задаются так: $\{r_i, i \in I_{35}\} = \{20, 24, 8, 11, 13, 7, 7, 15, 24, 18, 15, 17, 17, 14, 16, 18, 5, 21, 21, 13, 8, 14, 8, 15, 11, 17, 21, 16, 6, 18, 24, 13, 20, 10, 15\}$, $\{m_i, i \in I_{35}\} = \{86, 72, 81, 54, 29, 94, 92, 41, 57, 77, 40, 67, 31, 47, 39, 61, 73, 83, 11, 20, 75, 29, 36,$

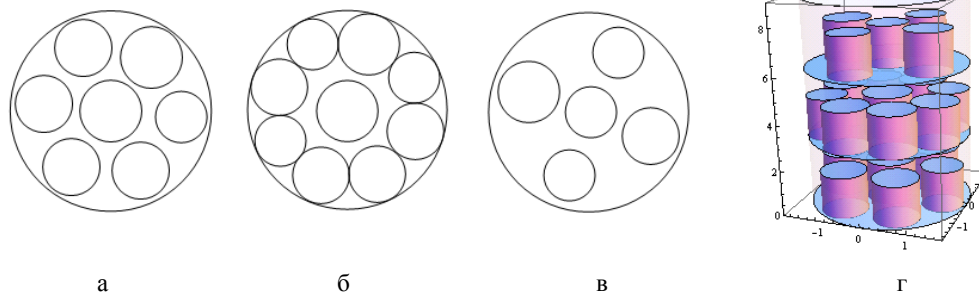


Рис. 5. Размещение цилиндров, соответствующее точке локального минимума u^* : а – подмножество A^1 цилиндров на стеллаже S_1 ; б – подмножество A^2 цилиндров на стеллаже S_2 ; в – подмножество A^3 цилиндров на стеллаже S_3 ; г – вид системы Ω_A

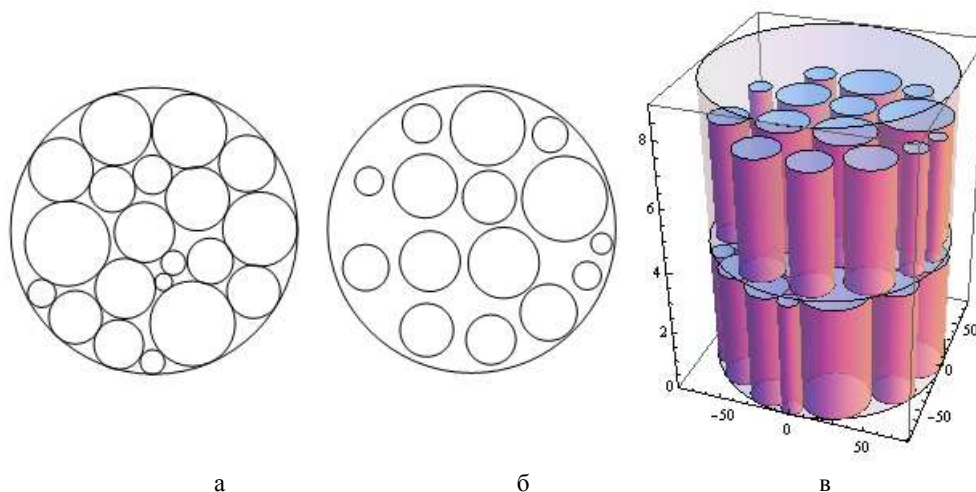


Рис. 6. Локально-оптимальное размещение цилиндров без учета ограничений поведения: а – подмножество A^1 цилиндров на стеллаже S_1 ; б – подмножество A^2 цилиндров на стеллаже S_2 ; в – вид системы Ω_A

58, 75, 32, 98, 52, 76, 85, 59, 18, 85, 36, 12},
 $A^1 = \{C_1, C_2, \dots, C_{20}\}$, $A^2 = \{C_{21}, C_{22}, \dots, C_{35}\}$.

Наилучшее локально-оптимальное решение без учета ограничений $\mu_2(v) \geq 0$ и $\mu_3(v) \geq 0$, найденное с помощью IPOPT (рис. 6): $u^* = (R^*, v^*)$, $R^* = 80,716254$, $F(u^*) = 80,716254 + 0,0$. Точка u^* является точкой локального минимума.

Выводы

Рассмотрены три класса задач балансной компоновки цилиндров: в зависимости от вида функции цели, формы контейнера, наличия стеллажей в контейнере, метрических характеристик цилиндров и особенностей их размещения внутри контейнера. Основным свойством, объединяющим перечисленные выше три задачи, является то, что параметры размещения цилиндров по оси z – фиксированы. Для каждой задачи построены математические модели в виде задач нелинейного программирования. Рассмотренные задачи могут быть сведены к задачам квадратичного программирования. Для их решения задач используются два подхода: 1) метод локальной оптимизации с применением алгоритмов построения стартовых точек из области допустимых решений и программы IPOPT; 2) метод негладкой оптимизации, основанный на r -алгоритме Шора с применением программы `ralgb5`. Данные подходы используют принцип «мультистарта» для поиска “хороших” локальных, а в некоторых случаях и глобальных, решений. Приведенные результаты для тестовых примеров показали эффективность предложенных подходов для рассмотренных классов задач балансной компоновки цилиндрических объектов. Получены рекорды для некоторых известных тестовых примеров benchmark instances.

Литература: 1. *Fasano G, Pinte'r J.D.* Modeling and Optimization in Space Engineering. Series: Springer Optimization and Its Applications. New York: Publisher Springer New York, 404 p. 2. *Che C., Wang Y., Teng H.* Test problems for quasi-satellite packing: Cylinders packing with behavior constraints and all the optimal solutions known // Optimization Online. 2008. Electronic source: http://www.optimizationonline.org/DB_HTML/2008/09/2093.html. 3. *Sun Z., Teng H.* Optimal layout design of a satellite module // Engineering optimization. 2003. Vol. 35, № 5. P. 513-530. 4. *Lei K.* Constrained Layout Optimization Based on Adaptive Particle Swarm Optimizer // Advances in Computation and Intelligence. Series: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009. № 1. P. 434-442. 5. *Коваленко А.А., Стецюк П.И., Романова*

Т.Е. Задача балансной компоновки 3D-объектов: математическая модель и методы решения // Кибернетика и системный анализ. 2015. Т. № 4. 6. *Stoyan Yu., Romanova T.* Mathematical Models of Placement Optimization: Two- and Three-Dimensional Problems and Applications // Modeling and optimization in space engineering. Series: Springer optimization and its applications / Fasano G, Pinte'r J.D. (Eds.), XII. 2013. Vol. 73. P. 363-388. 7. *Wachter A., Biegler L.T.* On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale nonlinear programming // Mathematical Programming. 2006. Vol. 106, № 1, P. 25-57. 8. *Shor N.Z.* Nondifferentiable optimization and polynomial problems. Kluwer Academic Publishers, 394 p. 9. *Shor N.Z., Stetsyuk P.I.* Modified r -algorithm to find the global minimum of polynomial functions // Cybernetics and Systems Analysis. 1997. Vol. 33, № 4. P. 482-497. 10. *Романова Т.Е., Коваленко А.А.* Phi-функции для моделирования ограничений включения в оптимизационных задачах компоновки // Системи обробки інформації. 2013. Т. 1, № 117. С. 228-133.

Поступила в редколлегию 23.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Шляхов В.В.

Коваленко Анна Андреевна, аспирант Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины. Научные интересы: исследование операций, математическое моделирование, геометрическое проектирование. Адрес: Украина, 61013, Харьков, ул. Матюшенко, 3а, кв. 43, тел.: 098 0005125.

Панкратов Александр Викторович, д-р техн. наук, научный сотрудник отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины. Научные интересы: исследование операций, математическое моделирование, геометрическое проектирование. Адрес: Украина, 61103, Харьков, ул. Деревянка, д. 14, кв. 26, тел.: 057 2941578.

Романова Татьяна Евгеньевна, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела математического моделирования и оптимального проектирования Института проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины. Научные интересы: исследование операций, математическое моделирование, геометрическое проектирование. Адрес: Украина, 61084, Харьков, ул. Новгородская, д. 6а, кв. 31, тел.: 057 7013477.

Стецюк Петр Иванович, д-р физ./-мат/ наук, заведующий отделом методов негладкой оптимизации Института кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины. Научные интересы: методы оптимизации, исследование операций, математическое моделирование. Адрес: Украина, 02090, Киев, ул. Новаторов, 22В, кв. 269, тел.: 044 2961059.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ТОВАРООБОРОТА ПРЕДПРИЯТИЯ

ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., ОВЕРЧУК Ю.А.

Исследуется проблема выбора решения в задачах оптимизации плана товарооборота, разрабатываются и предлагаются для него математические модели и методы ее решения. Анализируется результат, полученный при помощи модели, делаются соответствующие выводы. Рассматриваются положительные и отрицательные стороны данного подхода и приведены соответствующие рекомендации для улучшения. Рассмотрены также возможности использования эволюционных методов для решения исследуемой задачи.

Введение

В данное время исследуется проблема принятия решения в маркетинговой деятельности предприятия на примере задачи оптимизации плана товарооборота. Товарооборотом называют объем продажи товаров, и оказания услуг в денежном выражении за определенный период времени. Также было разработано оптимальный план товарооборота, путем составления для него математической модели и ее решения.

1. Анализ задач исследования

Известно, что товарооборот является важнейшим показателем не только для торгующей организации, но и для национальной экономики. Во внутрифирменном значении этот показатель отражает успех организации, спрос покупателей на реализуемые товары.

Сам анализ товарооборота позволяет оценить соответствие имеющихся товаров спросу населения для принятия мер по оптимизации структуры товарооборота, увеличению объемов реализации, ускорению товарооборота, ритмичности и равномерности продаж. Товарооборот продукции отечественного производства отражает уровень ее востребованности на рынках. В этом смысле торговля является двигателем промышленности. Поэтому оптимизация плана товарооборота – одна из главных задач в экономике, от которой зависят очень многие показатели.

При постановке задачи оптимизации предполагается существование конкурирующих свойств процесса, например:

количество продукции – расход сырья;

количество продукции – качество продукции.

Выбор компромиссного варианта для указанных свойств и представляет собой процедуру решения оптимизационной задачи.

Обычно оптимизируемая величина связана с экономичностью работы рассматриваемого объекта (аппарат, цех, завод). Оптимизируемый вариант работы объекта должен оцениваться какой-то количественной мерой – критерием оптимальности.

В зависимости от своей постановки любая из задач оптимизации может решаться различными методами, и наоборот – любой метод может применяться для решения многих задач. Методы оптимизации могут быть скалярными (оптимизация проводится по одному критерию), векторными (оптимизация проводится по многим критериям), поисковыми (включает методы регулярного и методы случайного поиска), аналитическими (методы дифференциального исчисления, вариационного исчисления и др.), вычислительными (основаны на математическом программировании, которое может быть линейным, нелинейным, дискретным, динамическим, стохастическим, эвристическим и др.), теоретико-вероятностными, теоретико-игровыми и др. В последнее время особую актуальность приобрели эволюционные методы оптимизации, позволяющие достаточно точно и с использованием современных информационных технологий найти решения задачи.

Исследованные и предложенные в данной работе принципы оптимизации имеют научную инновацию, а также практическое значение. Результаты были опробованы в системах принятия оптимальных решений с использованием многих критериев.

2. Постановка задачи

Целью работы является исследование методов выбора и принятия решений, анализ их возможностей, а также рассмотрение конкретного примера оптимизации плана товарооборота и изучение различных подходов к выбору оптимальных решений в задачах оптимизации плана товарооборота. В качестве принятия решений в системах оптимизации плана товарооборота использовались методы многокритериальной и эволюционной оптимизации [1].

В данной работе задача оптимизации товарооборота рассматривается как многокритериальная оптимизационная задача с использованием ряда локальных примеров, характеризующих качество производственного процесса. Рассмотрим основные из них:

1. Величина прибыли, получаемой предприятием, определяется с помощью соотношения:

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^n C_j^{(1)} x_j \rightarrow \max, x_j \in Q = \{1, 2, \dots, n\}, \quad (1)$$

где Q – множество ассортимента продукции, которое выпускает предприятие.

2. Показатель качества выпускаемой продукции задается соотношением:

$$F_2(x) = \sum_{i=1}^S P_i * X_i \rightarrow \max. \quad (2)$$

Для конкретного примера значение функции цели имеют вид:

$$F_2(x) = 10x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 16x_4 + 11x_5 \rightarrow \max.$$

3. Минимизация себестоимости:

$$F_3(x) = \sum_{i=1}^5 C_i * X_i \rightarrow \min. \quad (3)$$

4. Минимизация производственного времени:

$$F_4(x) = \sum_{i=1}^5 T_i * X_i \rightarrow \min. \quad (4)$$

Таким образом, задача исследования может быть сформулирована следующим образом.

Определить оптимальный план $X^{(0)} \in Q$ производства продукции, удовлетворяющий указанным критериям (1) – (4).

Ограничениями на выпуск продукции различных видов служат производственные ресурсы b_1, b_2, \dots, b_m . С учётом норм затрат ресурсов на единицу каждого типа продукции указанные ограничения можно записать в виде:

$$AB \leq B^T, \quad (5)$$

$$x \geq 0, \quad (6)$$

$$B^T = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}, \quad (7)$$

$A = \{a_{ij}\}, i = 1, m, j = 1, n$ – матрица норм затрат ресурсов на единицу каждого типа продукции.

Выражение (5) описывает условия, которые необходимо учесть в годовой производственной программе. Строке матрицы A соответствуют все виды ресурсов (группы машин, запасы материалов) рассматриваемых задачах. Соответствующим строкам матрицы A компоненты вектора B указывают ограничения видов ресурсов или объемов производства, которые установлены для годовой производственной программы предприятия. Неравенство (5) представляет собой обычные условия неотрицательности, вытекающие из смысла задачи.

Общая постановка задачи формулируется следующим образом: требуется определить вектор $X^{(0)}$, обеспечивающий компромисс между величиной прибыли (1), валовым объемом (2) и минимальной себестоимостью (3), который удовлетворяет ограничениям минимизации производственного времени (4).

Один из возможных методов решения состоит в том, что вначале находится три оптимальных вектора производства $x^{(i)}, i = 1; 4$, каждый из которых соответствует одному из локальных критериев (1) – (4). Затем определяется выпуклая линейная комбинация $X^{(0)}$, представляющая собой оптимальную (компромиссную) программу относительно указанных критериев:

$$X^{(0)} = v_1 x^{(1)} + v_2 x^{(2)} + v_3 x^{(3)}, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^3 v_i = 1, v_i \geq 0. \quad (9)$$

Для решения задачи такого типа, с учетом всех особенностей поставленной задачи, строим математическую модель, используя [5], где x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – количество единиц изделий вида T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 соответственно. На основе этого составим целевую функцию:

$$P(x) = 40x_1 + 15x_2 + 10x_3 + 35x_4 + 70x_5 \rightarrow \max$$

при условиях:

$$19x_1 + 13x_2 + 8x_3 + 5x_4 + 11x_5 < 6000000,$$

$$75x_1 + 70x_2 + 25x_3 + 40x_4 + 35x_5 < 400000,$$

$$15x_1 + 21x_2 + 15x_3 + 10x_4 + 10x_5 < 900000,$$

$$85x_1 + 115x_2 + 140x_3 + 60x_4 + 68x_5 < 600000,$$

$$100x_1 + 75x_2 + 85x_3 + 25x_4 + 75x_5 < 300000,$$

$$x_1 > 600, x_2 > 750, x_3 > 500, x \geq 0 \geq 1.5.$$

У нас имеются ограничения по двум параметрам: по объему ресурсов (нельзя использовать больше ресурсов, чем у нас есть) и по минимальному плану товарооборота по группе товаров (вероятно, что при меньшем товарообороте мы понесем убытки). Если решать задачу «вручную», то необходимо привести систему ограничений к каноническому виду, т.е. представить в виде управлений:

$$19x_1 + 13x_2 + 8x_3 + 5x_4 + 11x_5 + x_6 < 6000000,$$

$$75x_1 + 70x_2 + 25x_3 + 40x_4 + 35x_5 + x_7 < 400000,$$

$$15x_1 + 21x_2 + 15x_3 + 10x_4 + 10x_5 + x_8 < 900000,$$

$$85x_1 + 115x_2 + 140x_3 + 60x_4 + 68x_5 + x_9 < 600000,$$

$$100x_1 + 75x_2 + 85x_3 + 25x_4 + 75x_5 + x_{10} < 300000,$$

$$x_1 - x_{11} = 600, x_2 - x_{12} = 750, x_3 - x_{13} = 500,$$

$$x \geq 0 \geq 1.3.$$

Для решения этой задачи воспользуемся симплекс-методом [2]. По данной системе составляем симплекс-таблицу и решаем ее. Но в силу того, что наша модель будет рассчитана с помощью программной реализации, то систему ограничений в каноническом виде и симплекс-таблицу строить не надо, так как программа построит их сама.

3. Наследование методов решения

Для анализа результатов исследуемой задачи воспользуемся методами эволюционной и методами многокритериальной оптимизации [4].

Методы многокритериальной оптимизации. Поиск оптимального взаимодействия производится с помощью принципов решения многокритериальных задач. Критерии задачи не однородны, так как часть критериев оптимизации стремится к минимальному значению, а один – к максимальному. Приведенные критерии оптимизации находятся в существенном экономическом противоречии, так как с сокращением сро-

ков поставки товара от производителя к потребителю возрастают транспортно-заготовительные издержки и затраты организации, связанные с хранением.

В качестве критериев оптимизации принимаются три параметра. Критерий оптимизации издержек:

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N c_{ij} x_j \rightarrow \min. \quad (10)$$

Критерий оптимизации сроков поставок:

$$F_2(x) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N t_{ij} x_j \rightarrow \min. \quad (11)$$

Критерий оптимизации коэффициентов загрузки:

$$F_3(x) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N k_{if} x_j \rightarrow \min. \quad (12)$$

В общем случае при взаимодействии элементов в рамках одного технологического процесса, а также при движении продукции по каналам распределения необходимо учитывать следующие основные критерии:

1. Снижение затрат на товародвижение.
2. Сокращение затрат времени на доставку продукции.
3. Учет загрузки складского хозяйства и транспорта.

Используется многокритериальная модель, которая учитывает перечисленные выше критерии. Рассматривается вертикальная интеграция без вступления в какие-либо альянсы. Взаимодействие начинается лишь при условии, что оно выгодно финальному звену – торговой компании. На практике отдельные звенья товаропроводящей сети имеют свои интересы, однако в критериях или ограничениях они не учитывались, так как рассматривается движение сквозного материального потока. Теперь перейдем к рассмотрению решения задачи, используя методы эволюционной оптимизации:

1) *Максимизация прибыли.* Расчет показателей качества продукции относится к задачам линейной оптимизации. В общем виде ее можно записать так:

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^S (P_j - C_j) X_j \rightarrow \max. \quad (13)$$

Эту задачу обычно считают симплекс-методом [2].

Идея симплекс-метода состоит в последовательном продвижении по базисам опорных планов вплоть до получения оптимального решения или доказательства неразрешимости задачи. При этом значение целевой функции должно увеличиваться.

2) *Определение валового объема выпускаемой продукции.* Для решения этой задачи с использованием генетического алгоритма (ГА) в качестве общей математической модели применяют формулу:

$$F_2(x) = \sum_{j=1}^S P_j X_j \rightarrow \max. \quad (14)$$

Для конкретных значений функция цели примет вид:

$$F_2(x) = 10x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 16x_4 + 11x_5 \rightarrow \max.$$

3) Третьей функцией цели представим минимизацию себестоимости, которая имеет общий вид:

$$F_3(x) = \sum_{j=1}^S T_j X_j \rightarrow \max. \quad (15)$$

Запишем эту функцию с конкретными значениями:

$$F_3(x) = 3x_1 + 4x_2 + 4x_3 + 2x_4 + x_5 \rightarrow \max.$$

4) В роли четвертой функции цели будет выступать минимизация производственного времени:

$$F_4(x) = \sum_{j=1}^S T_j X_j \rightarrow \max, \quad (16)$$

или в виде:

$$F_4(x) = 2x_1 + 2x_2 + x_3 + x_4 + 3x_5 \rightarrow \max.$$

Чтобы достичь поставленной цели, мы должны найти оптимальное решение для каждой ее функции. Для этого будем использовать вместо традиционных методов оптимизации, таких как математическое программирование, методы эволюционной оптимизации.

Остановимся на применении генетических алгоритмов следующих видов.

Для решения задачи, представленной моделями (1) – (2), используем ГА типа метода муравьиных колоний [3].

Основу поведения муравьев составляет самоорганизация, механизмы которой обеспечивают теоретически оптимальное поведение. Принципы его состоят в достижении системой некоторой глобальной цели в результате низкоуровневого взаимодействия ее элементов.

Муравьиный алгоритм применяется следующим образом: в начальный момент времени, в который входит эта функция базы знаний, находится количество муравьев, равное числу кластеров, куда входит эта функция. При этом каждый муравей имеет строгую принадлежность тому кластеру, из которого он начал свое движение. Принадлежность кластеру проявляется в том, что муравей более восприимчив к феромону, оставленному муравьями из «своего» кластера:

$$F_1(x) = \sum_{j=1}^n C_j^{(1)} x_j \rightarrow \max, x_j \in Q = \{1, 2, \dots, n\}, \quad (17)$$

где Q – множество видов продукции, выпускаемых предприятием.

Для конкретных значений функция примет вид:

$$F_2(x) = 10x_1 + 12x_2 + 8x_3 + 16x_4 + 11x_5 \rightarrow \max.$$

Муравьиный алгоритм применяется на двух этапах анализа знаний системы. Вначале он запускается на пространственной (многомерной) модели базы, после чего на основании его работы делаются первоначальные выводы. Затем модель упрощается: удаляются некоторые связи между функциями, отдельные функции объединяются в более крупные структуры единицы, структура знаний отображается на двумерное пространство. После этого 1 алгоритм запускается на упрощенной плоской модели знаний.

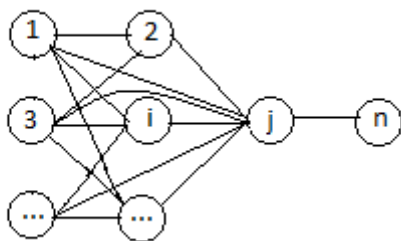
Для решения задач, представленных моделями (3) – (4), воспользуемся генетическими алгоритмами [4].

Генетические алгоритмы имитируют процесс естественного отбора в природе. Решение задачи, более оптимальное с точки зрения некоторого критерия, описывается набором чисел или величин нечисловой природы. Поиск оптимального решения похож на эволюцию популяции и видов, которые представлены набором их хромосом. В этой эволюции (рисунок) можно выделить следующие механизмы:

отбор сильнейших наборов хромосом, которым соответствуют наиболее оптимальные решения;

скрещивание – получение новых индивидов при помощи смешивания хромосом наборов, отобранных индивидом;

мутации – преобразование хромосомы, случайное изменение одного или нескольких генов (чаще – одного).



Графическое представление взаимодействия элементов

В результате смены поколений вырабатывается такое решение поставленной задачи, которое уже нельзя дальше улучшать.

Для рассмотрения данной задачи используем минимизацию себестоимости:

$$\sum_{j=1}^s C_j^* X_j \rightarrow \max.$$

4. Выводы

Изучена задача по оптимизации плана товарооборота в системах принятия решений. Также была детально проработана типичная модель этого вида задач. Рассмотрена детерминированная задача. Построена модель оптимального плана товарооборота. Для решения применялся симплекс-метод с искусственным базисом.

Можно сказать, что линейное программирование применимо для построения математических моделей тех

процессов, в основу которых может быть положена гипотеза линейного представления реального мира: экономических задач, задач управления и планирования, оптимального размещения оборудования и пр. Симплекс-метод линейного программирования отлично подошел для решения задачи оптимизации товарооборота в маркетинговой деятельности предприятия.

Новизной проведенных исследований является решение оптимизационной задачи в системах принятия решений при планировании товарооборота с применением методов эволюционной и многокритериальной оптимизации, а также использование генетических алгоритмов в управлении запасами.

Практическая значимость заключается в применении предложенных методов для нахождения оптимальных показателей в системах принятия решений при планировании товарооборота в маркетинговой деятельности предприятия.

Литература: 1. Гвоздинський А.М. Методи оптимізації в системах прийняття рішень: навч. посібник / А.М. Гвоздинський, Н.А. Якімова, В.О. Губін. Харків: ХНУРЕ, 2006. 327 с. 2. Бондаренко М.Ф. Оптимізаційні задачі в системах прийняття рішень: підручник / М.Ф. Бондаренко, А.М. Гвоздинський. Харків: ХТУРЕ, 1998. 216 с. 3. Гвоздинский А.Н. Применение генетических алгоритмов для решения оптимизационных задач / А.Н. Гвоздинский, Е.Г. Климно. Харьков: Радиоэлектроника и информатика. 2001. №2. С. 109 – 113. 4. Гвоздинский А.Н. Применение методов эволюционной оптимизации для решения задач производственного планирования / А.Н. Гвоздинский, В.А. Малышкин, С.В. Ткачев / АСУ и ПА. 2011. №154. С. 97-102. 5. Гвоздинский А.Н. Исследование методов оптимизации в системах принятия решений при планировании товарооборота / А.Н. Гвоздинский, С.В. Бушков / АСУ и приборы автоматизации. 2011. №157. С. 95 – 102.

Поступила в редколлегию 07.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кузмин А. Я.

Гвоздинский Анатолий Николаевич, канд. техн. наук, профессор кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация процедур принятия решения в сложных системах управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Академика Ляпунова 7, кв. 9, тел. 702-38-23.

Оверчук Юрий Александрович, студент ХНУРЭ. Научные интересы: методы принятия решений в системах искусственного интеллекта. Адрес: Украина, 61051, Харьков, ул. Целиноградская, 36, ком. 409, тел. 050-475-95-83

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

РУСТИНОВ В.А., СОРОКИН А.Р.

Много технологий и методов предложено для локализации подвижных объектов как внутри, так и снаружи зданий. Однако каждый метод имеет недостатки. В статье предлагается объединить несколько технологий, которые обеспечат более высокие результаты точности определения текущего положения подвижного объекта. Чтобы продемонстрировать данный подход, предлагается прототип системы на базе ОС Android с использованием iBeacon и акселерометра. Результаты экспериментов показывают улучшение точности позиционирования по сравнению с каждой технологией в отдельности.

Ключевые слова: локализация, навигация, подвижные объекты.

Key words: localization, navigation, mobile objects.

1. Введение

Проблемы локализации и навигации являются фундаментальными в работе с подвижными объектами. Они должны иметь четкое представление о том, где они находятся в настоящее время и по какому маршруту они должны следовать, чтобы достичь своей цели. Человек, в силу своих интеллектуальных навыков и способности ориентироваться в пространстве, требует относительно низкую точность данных о своем местоположении, в то время как роботам или другим подвижным объектам часто требуется максимально возможная точность данных об их местоположении. В больших современных городах плотность зданий очень высока. Как следствие, сигнал от спутников не достигает принимающие устройства, и такие системы как GPS или GNSS становятся практически неработоспособными. Это означает, что определение местоположения объекта даже на улице становится достаточно сложным, а процесс локализации объектов в здании и вовсе невозможен. В связи с этим в 2012 году был создан Альянс по разработке системы локализации внутри помещений. Данный альянс включает в себя такие гиганты мировой индустрии, как Samsung, Google, Qualcomm, Cisco, Sony [1]. Создание этого альянса подтверждает актуальность данной проблемы. Кроме того, над решением задачи определения местоположения подвижных объектов в помещениях активно работает компания Apple, которая разработала и выпустила технологию iBeacon [2].

Цель исследования – создание комбинированного метода локализации подвижного объекта для повышения точности его позиционирования с использованием беспроводных технологий, поддерживаемых платформами на базе ОС Android.

В данной работе решаются следующие задачи:

- 1) Экспериментальные исследования RSS (Уровень Принимаемого Сигнала) для WiFi, Bluetooth и iBeacon.
- 2) Разработка прототипа системы локализации подвижных объектов на базе смартфонов и планшетов метода под управлением ОС Android.
- 3) Выбор метода оптимального расположения передатчиков в пространстве.

2. Обзор технологий и методов локализации объектов

В данной статье представлен свой подход к решению упомянутой выше проблемы. Следует отметить, что главным критерием выбора методов и технологий, используемых в процессе определения местоположения подвижных объектов, является поддерживаемость той или иной технологии большинством современных устройств связи, таких как мобильные телефоны или планшетные компьютеры. Основанием данного критерия является распространенность указанных устройств, а также требование к отсутствию дополнительного оборудования для выполнения процесса локализации подвижных объектов. Также следует отметить, что под понятием подвижного объекта в большей степени следует принимать человека.

Предполагается, что процесс определения текущего местоположения человека в пространстве происходит с использованием тех устройств и датчиков, которые присутствуют в среднестатистическом переносном компьютере.

Среди датчиков можно выделить следующие:

- акселерометр, который служит для измерения ускорения устройства по трем осям в том случае, когда устройство перемещается;
- гироскоп, с помощью которого можно определять положение устройства в пространстве (угол наклона по трем осям) даже в неподвижном состоянии, в отличие от акселерометра;
- магнитометр, который служит для реакции на магнитное поле Земли, а также для определения стороны света. Частным случаем данного датчика является датчик Холла;
- датчик приближения для определения какого-либо препятствия вблизи устройства;
- датчик освещенности, с помощью которого можно определить уровень освещенности окружающей среды.

Среди технологий, поддерживаемых большинством современных переносных компьютеров, можно выделить следующие:

Wi-Fi – торговая марка Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме точка-точка

(Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую»;

Bluetooth – технология, которая была первоначально разработана для решения соединения личных, портативных и карманных электронных устройств между собой;

GSM – глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи, с разделением каналов по времени (TDMA) и частоте (FDMA). GSM на сегодняшний день является наиболее распространённым стандартом связи;

NFC – технология беспроводной высокочастотной связи малого радиуса действия, которая дает возможность обмена данными между устройствами, находящимися на расстоянии около 10 сантиметров. Эта технология – простое расширение стандарта бесконтактных карт (ISO 14443), которая объединяет интерфейс смарт-карты и считывателя в единое устройство;

iBeacon – технология, позволяющая передачу данных между беспроводными устройствами – маяками и устройствами, поддерживающими технологию Bluetooth LE, торговая марка Apple, Inc.

В первую очередь следует сказать, что использование стандарта GSM в решении проблем локализации подвижных объектов с относительно высокой точностью (до 10м) представляется невозможным в силу принципа построения сетей данного типа. Применение технологии NFC, наоборот, дает максимальную точность определения текущего местоположения объекта (20 см) в силу того, что принимающее устройство (считыватель) должно быть в непосредственной близости к NFC метке (порядка 5 см). Однако данная точность является следствием достаточно весомого недостатка. Как упоминалось выше, для работы данной технологии требуется непосредственная близость считывателя и метки. Это значит, что для определения своего текущего местоположения объекту требуется в первую очередь найти метку. Следует также учитывать, что даже в том случае, когда метка найдена, может быть ситуация большого скопления объектов возле одной метки. Одной из наиболее распространенных технологий, служащих для определения текущего местоположения подвижных объектов, является технология Wi-Fi. Wi-Fi RTLS (Система Локализации в Реальном Времени). Она позволяет обнаруживать местоположение объекта с использованием существующих беспроводных маршрутизаторов. Реализация данного метода состоит из двух этапов. Первым является создание карты уровней сигнала от окружающих точек доступа. Частным случаем первого этапа является использование метода “fingerprinting” [3]. Первым шагом данного метода является создание двух массивов данных – один для данных об уровнях принимаемого сигнала, измеренных с помощью принимающего устройства на стороне объекта позиционирования от N точек доступа, другой массив данных требуется для данных о текущих уровнях принятых

сигналов в конкретном месте. Первый вектор обозначим как: $R = [\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_N]$; второй как $\check{R} = [r_1, r_2, r_3, \dots, r_N]$. Евклидово расстояние между R и \check{R} представлено в формуле:

$$Z = \left[\sum_{i=1}^N (\rho_i - r_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = \left[\sum_{i=1}^N q_i^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1)$$

Случайная величина X равна квадрату расстояния между выборкой вектора, хранящего текущие уровни принятых сигналов, и среднего значения вектора, хранящего уровни принимаемого сигнала, полученные в процессе калибровки на первом этапе. Она имеет функцию плотности вероятности (PDF), показанную в формуле (2), где $x \geq 0$:

$$p_{X_N^2}(x) = \frac{1}{\sigma^N 2^{N/2} \Gamma(N/2)} e^{-x/(2\sigma^2)} x^{(N/2)-1}. \quad (2)$$

Данный метод состоит в отслеживании местоположения объекта с помощью его радио-сигнатуры. Этот метод представляет собой проверку на соответствие с определенными характеристиками сигнала, которые могут отличаться в зависимости от местоположения объекта. В базе данных хранятся так называемые “отпечатки пальцев” объекта в различных местах, которые проверяются на соответствие с измеряемым “отпечатком пальцев” объекта в текущем местоположении. На втором этапе происходит верификация множества точек и сигналов в базе данных с текущими результатами сканирования окружающей среды. Однако сигнал, поступающий от беспроводных маршрутизаторов, является чрезвычайно чувствительным к различного рода помехам, а также к таким препятствиям, как стены и люди [4].

3. Экспериментальные исследования распространения радиосигналов

Эксперименты, проведенные с помощью одной точки доступа в Харьковском национальном университете радиозлектроники, показали, что извлечь какую-либо закономерность из принимаемого сигнала в каждой точке пространства практически невозможно из-за помех, наводимых сторонним электронным оборудованием, а также в случае большого скопления людей. Рис. 1 показывает зависимость сигнала от расстояния до точки доступа без установленного соединения с ней. Единственным препятствием между точкой доступа и вычислительным устройством был человек.

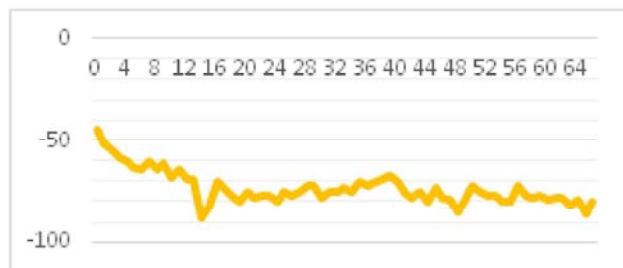


Рис. 1. Зависимость сигнала от расстояния до точки доступа

Спустя три дня было проведено повторное измерение сигналов в тех же условиях. Как видно из рис. 2, сигнал значительно изменился.

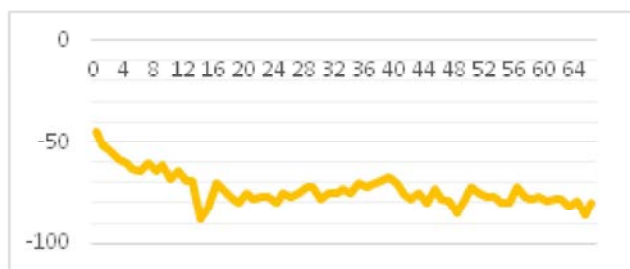


Рис. 2. Обновленная зависимость сигнала от расстояния до точки доступа

Следующей технологией, которую можно использовать в процессе локализации подвижных объектов, является технология Bluetooth (до версии 3 включительно). Она первоначально была разработана для решения связи личных электронных устройств. Bluetooth-метки представляют собой небольшие передающие устройства. Как любое другое устройство технологии Bluetooth, каждый передатчик имеет уникальный MAC-адрес, который может быть использован для определения местоположения Bluetooth-передатчиков. Система локализации подвижных объектов с помощью данной технологии может быть основана на принципе проверки MAC-адреса ближайшего передатчика с базой данных доступных адресов, с последующим отображением текущего местоположения объекта на экране устройства. Определение ближайшего передатчика может быть реализовано с помощью такого параметра как RSS (Уровень Принимаемого Сигнала). Определение ближайшего передатчика может быть реализовано с помощью такого параметра как RSS (Уровень Принимаемого Сигнала) [5]. В соответствии с этим предположим, что количество передатчиков $N \geq 2$ и их положение определяется формулой:

$$\vec{p}_k = (x_k, y_k)^T, k \in 1..N. \quad (3)$$

Расстояние между передатчиками i, j и принимающим устройством в прямоугольной системе координат представлено в формуле:

$$\begin{cases} r_i(\vec{x}) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}; \\ r_j(\vec{x}) = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}. \end{cases} \quad (4)$$

Если расстояния между передатчиками и принимающим устройством известны, местоположение объекта может быть рассчитано с помощью метода LSE, представленного в уравнении:

$$\begin{cases} r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \\ r_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} \end{cases}, i, j \in 1..N. \quad (5)$$

Периметр местоположения объекта может быть получен с использованием формулы:

$$r_i^2 - r_j^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 - (x - x_j)^2 - (y - y_j)^2. \quad (6)$$

Определение местоположения объекта представлено в формуле:

$$N \cdot \vec{m} = C. \quad (7)$$

Для преобразования измерения силы сигнала в расстояние между передатчиками и принимающим устройством используется формула:

$$s(\vec{x}) = c(d(\vec{x}))^{-\alpha}. \quad (8)$$

Для проверки работоспособности данного метода было проведено несколько экспериментов. В качестве Bluetooth-передатчика использовался вычислительный блок Lego Mindstorms NXT. База данных содержала MAC-адреса передатчиков и соответствующее им расположение курсора на карте окружающей среды. Эксперименты показали, что если период сканирования окружающей среды на наличие Bluetooth-устройств установлен на 3,5 секунды и расстояние между передатчиками равно 3 метра, процесс локализации работает стабильно, а точность отображаемого местоположения объекта составляет до 95%. Единственный недостаток данного метода заключается во времени сканирования окружающей среды. В среднем для преодоления расстояния между передатчиками человеку требуется относительно мало времени. Уменьшение расстояния между передатчиками снижает точность. Это делает систему не лучшим решением для процесса локализации.

Следует также отметить, что метод «fingerprinting» не может быть использован в паре с передатчиками Bluetooth. Это подтверждают измерения мощности принимаемого сигнала, проведенные в корпусе «З» Харьковского национального университета радиоэлектроники. На графике рис. 3 изображены зависимости мощности принимаемого сигнала от расстояния до передатчика, где синей кривой (1) обозначена мощность сигнала при отсутствии прямой видимости между принимающим и передающим устройством, а красной кривой (2) – при ее наличии.

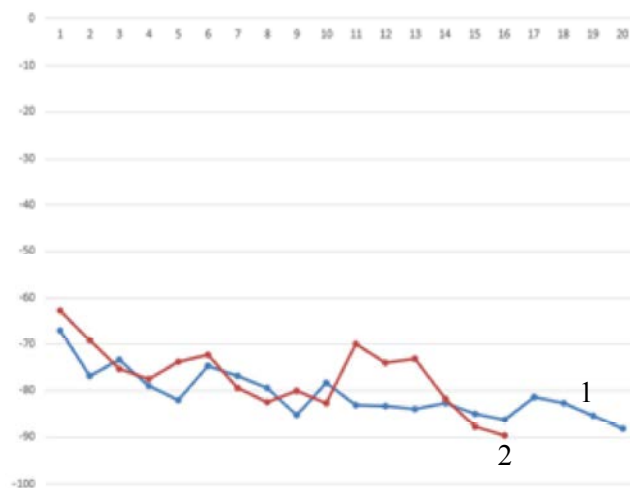


Рис. 3. Зависимость мощности принимаемого сигнала от расстояния

Из рис. 3 видно, что дальность распространения радиосигнала от передатчиков, работающих с помощью технологии Bluetooth, зависит от наличия прямой видимости. Следует также отметить, что при наличии прямой видимости между устройствами затухание сигнала более стабильно.

Последней технологией для определения текущего местоположения объектов является технология iBeacon. Устройства, использующие данную технологию, основаны на Bluetooth v4 LE. Система локализации с применением таких устройств работает удовлетворительно. Данная система состоит из самих передатчиков iBeacon, которые размещены в помещении (не более одного iBeacon на один квадратный метр), и вычислительного устройства (мобильный телефон, планшетный компьютер), которые получают и обрабатывают информацию от передатчиков. Данные, обрабатываемые в ходе процесса локализации, состоят из идентификаторов и уровня принимаемого сигнала, поступающего от передатчиков iBeacon. Уровень принимаемого сигнала используется для определения ближайшего передатчика. Передатчик с лучшим сигналом считается ближайшим к объекту локализации. Обычно это так, особенно в помещениях с относительно малым количеством людей.

4. Реализация процесса локализации объектов на основе технологии iBeacon

Реализация метода локализации объектов с использованием технологии iBeacon может быть выполнена для устройств на базе ОС IOS (рис. 4) и Android (рис. 5).



Рис. 4. Реализация метода локализации объектов с использованием iBeacon для устройств на базе ОС IOS

Для проверки работоспособности метода «fingerprinting» были также проведены измерения в корпусе «З» Харьковского национального университета радиоэлектроники.

На рис. 6 изображены зависимости мощности принимаемого сигнала от расстояния до передатчика, где зеленой кривой (1) обозначена мощность сигнала при отсутствии прямой видимости между принимающим и передающим устройством, а синей кривой (2) – при ее наличии.

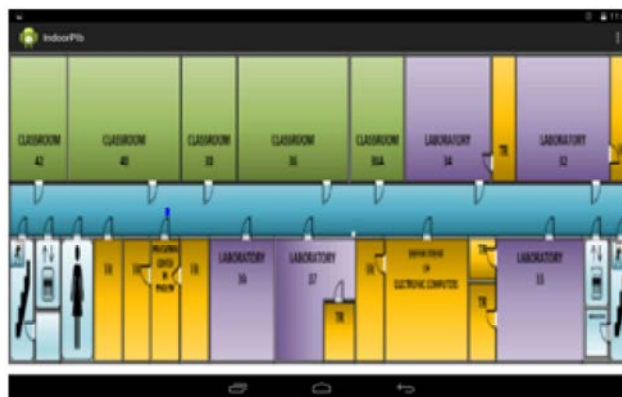


Рис. 5. Реализация метода локализации объектов с использованием iBeacon для устройств на базе ОС Android

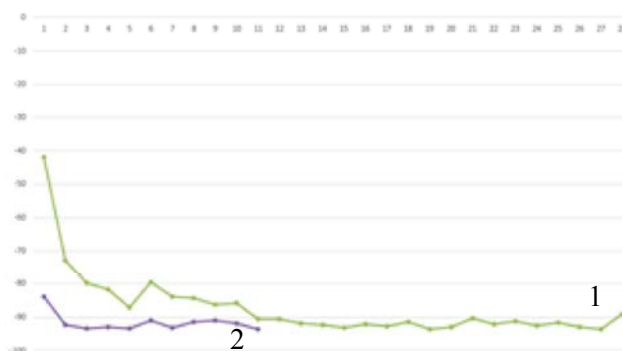


Рис. 6. Зависимость мощности принимаемого сигнала от расстояния

Из рис. 6 видно, что радиосигнал от передатчиков iBeacon также чрезвычайно чувствителен к помехам, а разность дальности его распространения является большей, чем при работе с технологией Bluetooth. Следовательно, использование метода «fingerprinting» при работе с передатчиками iBeacon также крайне нежелательно.

Одним из самых востребованных датчиков является акселерометр. Данный датчик участвует в различных процессах современных переносных компьютеров – от игр до задач определения текущего местоположения подвижных объектов. Процесс локализации подвижных объектов с помощью акселерометра состоит в следующем. Одной из реализаций сервисов с использованием данного датчика является шагомер. Данный сервис определяет шаги пользователя и может рассчитать пройденное пользователем расстояние. Как следствие, для процесса локализации системе требуется указать лишь начальную позицию пользователя. Однако данный метод не учитывает направление движения пользователя. Этот недостаток можно устранить с помощью датчика магнетометра и реализации сервиса, связанного с ним – компаса. К сожалению, корректность работы практически всех магнетометров, как и технологии Wi-Fi, чрезвычайно сильно подвержена искажению при наличии сторонних радиоволн, а также электронного оборудования. Так,

испытания компаса с использованием магнитометра показывают, что при отсутствии каких-либо помех, за пределами города, данный датчик показывает относительно корректную работу, тогда как в среде с наличием достаточно большого количества электронного оборудования компас дает чрезвычайно неточные показания.

5. Комбинированный метод локализации объектов

Комбинированный метод локализации подвижных объектов состоит в объединении функционала технологии iBeacon и датчика акселерометра. В первую очередь, нахождение текущего местоположения объекта производится в непосредственной близости от передатчика iBeacon (в радиусе 1 метра). Данный процесс происходит с участием такого параметра, как мощность принимаемого сигнала. Допустим, граничное значение этого параметра, при котором есть возможность утверждать, что объект находится в непосредственной близости к передатчику – не более 40 dBm. При таком условии система должна отображать положение объекта в радиусе 1 метра от передатчика. Затем, когда объект начинает передвижение, система запускает два параллельных процесса. Первый процесс заключается в измерении мощности принимаемого сигнала от всех передатчиков в зоне видимости, второй процесс состоит в запуске работы шагомера. На протяжении той части пути объекта, в которой мощность принимаемого сигнала от передатчиков составляет более -40 dBm, отображение текущего местоположения объекта опирается на показание шагомера. Средняя длина человеческого шага равна 70 см. Соответственно, на каждом шаге положение объекта будет сдвигаться на 70 см. Однако при таком условии остается вопрос о направлении движения объекта. Решение данного вопроса состоит в сканировании всех окружающих передатчиков. Тот передатчик, мощность принимаемого сигнала от которого уменьшается больше остальных, предполагается как опорный, т.е. тот, в сторону которого двигается объект. Вследствие этого появляется возможность реализовать компас с относительными сторонами света. Иллюстрация данного метода показана на рис. 7, где зелеными кругами обозначается этап локализации объектов с участием шагомера, значки передатчика показывают места корректировки положения объекта с помощью передатчиков iBeacon.

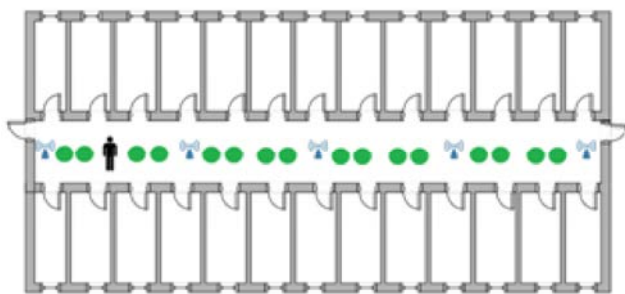


Рис. 7. Комбинированный метод локализации объектов

Немаловажной проблемой является расположение передатчиков в пространстве. Одним из наиболее распространенных методов такого расположения является метод «1-coverage method» [6]. Согласно данному методу, передатчики располагаются так, чтобы место полного затухания радиосигнала от одного передатчика пересекалось с местом полного затухания радиосигнала от другого передатчика. Этот метод изображен на рис. 8.

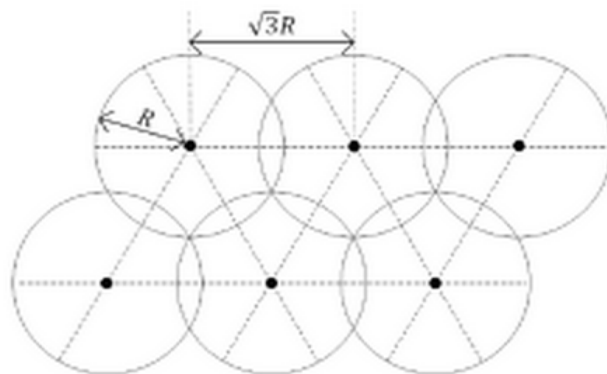


Рис. 8. Метод размещения передатчиков «1-coverage method»

Иллюстрация размещения передатчиков iBeacon согласно методу «1-coverage method» показана на рис. 9.

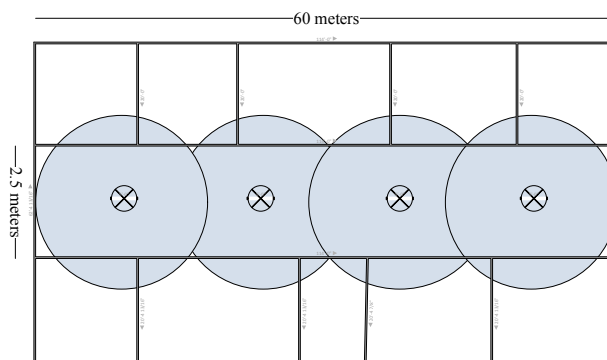


Рис. 9. Размещение передатчиков iBeacon согласно методу «1-coverage method»

Так, чтобы полностью покрыть радиосигналом коридор одного этажа корпуса «3» Харьковского национального университета радиоэлектроники, требуется 4 передатчика iBeacon при условии дальности распространения радиосигнала в 15 метров. Следует отметить, что заявленная дальность распространения радиосигнала современных передатчиков iBeacon от таких производителей как Estimote и Kontakt составляет порядка 20-30 метров. Такая дальность распространения радиосигнала позволит существенно уменьшить количество передатчиков в пространстве, однако при таком условии требуется увеличить точность показаний шагомера.

Заключение

Предложен подход к построению системы локализации подвижных объектов на базе смартфонов, планшетов, в которой объединяются несколько беспроводных технологий. Показано преимущество использования iBeacon в качестве опорных маяков по сравнению с WiFi и Bluetooth. Оценка экспериментов показывает перспективность комбинированного подхода.

В будущих исследованиях целесообразно дополнить систему локализации другими сенсорами, которые имеются в составе современных смартфонов и планшетов,

Литература: 1. *In Location Alliance*: <http://inlocationalliance.org/> (дата обращения: 18.09.2014). 2. *Apple Trademark List*: <http://www.apple.com/legal/intellectual-property/trademark/appletmlist.html> (дата обращения: 20.09.2014). 3. *Kaemarungsi K., Krishnamurthy P.* Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting // *Twenty-third Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*. Vol. 2. 2004. P. 1012-1022. 4. *Schmitt S., Adler S., and Kyas M.* The

Effects of Human Body Shadowing in RF-based Indoor Localization // *International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation*. Vol. 27. 2014. P. 1-7. 5. *Feldmann S., Kyamaky K., Zapater A., and Lue Z.* An Indoor Bluetooth-based Positioning System: Concept, Implementation and Experimental Evaluation // *International Conference on Wireless Networks*. 2003. P. 109-113. 6. *Dhillon S.S., Chakrabarty, K.* Sensor placement for effective coverage and surveillance in distributed sensor networks // *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*. 2010. P. 1609–1614.

Поступила в редколлегию 19.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Рустинев Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доц. каф. ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: локализация, навигация, большие данные, машинное обучение. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +38 050 301 1906.

Сорокин Антон Романович, асс. каф. ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: локализация, навигация, робототехника, компьютерные сети. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. +38 097 651 55 49.

РЕФЕРАТИ

УДК 615.47:616-074

НВЧ дослідження біологічних рідин для діагностики та лікування гіпертонічних станів / Г.М. Бородкіна, М.І. Сліпченко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 3-7.

Проведений огляд сучасних уявлень про зміни співвідношення вільної та зв'язаної води у пробах біологічних рідин пацієнтів. Сформульовано вимоги до конструкцій НВЧ датчиків для роботи у приладах оперативної діагностики. Показано, що найбільш ефективними є чвертьхвильові резонаторні перетворювачі з коаксіальною вимірювальною апертурою.

Бібліогр.: 41 назва.

УДК 621.385.6

Математичне моделювання фізичних процесів магнетронного генератора при конкуренції видів коливань / Д.В. Писаренко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 8-10.

Розроблена математична модель магнетронного генератора для поліпшення його властивостей. Досліджена еволюція форми електронних спиць при одно частотному режимі генерації. Розроблена методика розрахунку спектрів анодного струму для багатоперіодної моделі магнетронного генератора.

Бібліогр.: 2 назви.

УДК 621.315.59+546.681

Методи поліпшення структурної досконалості напівізольюючого GaAs діаметром 100 мм / А. П. Оксанич, М. Г. Когдась, М. С. Андросюк // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 11-14.

Експериментально досліджена дислокаційна структура монокристалів GaAs (діаметром до 100 мм), вирощених методом Чохральського. Встановлено, що високотемпературний відпал призводить до зниження щільності дислокацій в 1,2-1,3 рази.

Табл. 1. Іл. 3. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 62-519:681.5

Методологія оцінки затримки на обробку базових кадрів відеопотоку для інфокомунікаційних технологій / В.В. Бараннік, О.Ю. Отман Шаді, С.Ю. Стасев, О.П. Мусієнко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 4. С. 15-19.

Показана актуальність питань, пов'язаних з підвищенням якості надання відеоінформаційних послуг з використанням інфокомунікаційних технологій. Обґрунтована необхідність вдосконалення технологій кодування відеопотоку. Розроблено метод для оцінки алгоритмічної складності для обробки базових кадрів на основі діагонально-нерівномірною позиційного кодування трансформант в нерівноважному базисі основ.

Табл. 6. Бібліогр.: 6 назв.

ABSTRACTS

UDC 615.47:616-074

The microwave research of biological liquids for the diagnostics and treatment of hypertensive states / A.N. Borodkina, N.I. Slipchenko // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. P. 3-7.

The modern concepts review about the change in the ratio of free and bound water in biological liquids of patients shows the dependence of the dielectric constant of samples from patients and effectiveness of drugs. The requirements to the design of microwave sensors designed for use in devices operative diagnostics. The most effective quarter-wave resonator transducers with coaxial the measuring aperture were shown.

Ref. 41 items.

UDC 621.385.6

Mathematical modelling of physical processes of magnetron the generator at the competition of types of fluctuations / D.V. Pisarenko // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. P. 8-10.

Magnetron generators are widely used in various fields of science and technology. They are used in radio location, industrial and domestic heating installations, medical equipment, systems, global division-defined position on the ground and alerting. Therefore, the scientific article is devoted to the development of a mathematical model of the magnetron oscillator in order to improve its properties.

Ref. 2 items.

UDC 621.315.59+546.681

Методи поліпшення структурної досконалості напівізольюючого GaAs діаметром 100 мм / А. П. Oksanich, М. Г. Rjgdas, М. С. Androsuk // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. С. 11-14.

This paper experimentally investigated the dislocation structure of large single crystals of GaAs (diameter 100 mm), grown by Czochralski method. It is found that the high temperature anneal reduces the dislocation density by 1.2-1.3 times.

Tab. 1. Fig. 3. Ref.: 8 items.

UDC 62-519:681.5

Evaluation methodology of delay on processing of basic frames of the video stream for infocommunication technologies / V.V. Barannik, O.Yu. Othman Shadi, S.Yu. Stasev, A.P. Musienko // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. С. 15-19.

It is shown the actuality of issues related to improving the quality of video information services that using information and communication technologies. It is grounded the necessity of improving the technology of video stream coding. It is organized the construction of a method for evaluating the algorithmic complexity for the basic frames processing method based on diagonally unequal positional coding of transformants in nonequilibrium basis.

Tab. 6. Ref.: 6 items.

УДК 621.39

Метод корекції інтенсивності відеопотоку в телекомунікаційних системах / Н.А. Харченко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 20-24.

Розроблено метод управління бітовою швидкістю при обробці Р-кадрів в відеопослідовності. Запропоновано проводити вибір значень порогів і факторів якості для складових Y_C, C_b таким чином, щоб складова яскравості в підсумку була стиснута з кращою якістю ніж кольорово-різницею.

Лл. 3. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 519.85

Імітаційна модель виробничої системи з потенційно небезпечними об'єктами / В.М. Попов, М.В. Новожилова / *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 4. С. 25–29.

Представлена структура імітаційної моделі територіальної системи техногенної безпеки (ТСТБ) як системи обслуговування. Вхідний потік вимог на обслуговування моделює ймовірні техногенні аварії, викликані випадковими і систематичними відмовами виробничого обладнання територіальної виробничої системи. Побудована імітаційна модель являє платформу для прийняття рішення про параметри програми розвитку ТСТБ.

Лл. 2. Бібліогр.: 9 назв.

УДК 519.7

Дослідження методів еволюційної оптимізації задач прийняття рішень в організаційному управлінні виробництвом / А.М. Гвоздинський, Ф.М. Езе // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 4. С. 29-34.

Процеси прийняття рішень загалом на задачі управління зокрема мають важливе значення для сучасних організацій. Вони є одним з найбільш поширених класів задач дослідження операцій. Існує безліч методів для вирішення задач такого типу, але одними з пріоритетних є методи інтелектуального аналізу даних. У роботі розглянуто створення математичної моделі таких задач.

Лл.2.Бібліогр.: 4 назви.

УДК 519.7

Застосування методів еволюційної оптимізації для задач прийняття рішень в системах керування діяльністю підприємства / А.М.Гвоздинський, О.С.Батура // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 35-38.

Доведено принципову можливість використання методів еволюційної оптимізації у системах управління діяльністю. Досліджено можливості використання різноманітних підходів до формування вихідної множини альтернатив.

Лл.1 Бібліогр. 4 назви.

UDC 621.39

Adjustment method intensity video streams in a telecommunications network / N. Kharchenko // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. № 4. P. 20-24.

A method for bit rate control in the processing of P-frames in the video sequence. Since the luminance component has a greater payload than the color difference block, to conduct selection of proposed threshold values and quality factors for Y_C, C_b components so as to result in a luminance component has been compressed with higher quality than chrominance images in real time.

Fig. 3. Ref.: 5 items.

UDC 519.85

Simulation model of production system having potentially dangerous objects / V.M. Popov, M.V. Novozhilova // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. № 4. P. 25-29.

The structure of the simulation model of an territorial technological safety system (TTSS) as a service system has been proposed. Input flow simulates the possible technological accidents caused by random and systematic failures of production equipment of territorial production system. The simulation model proposed is considered as a platform for making decision concerning parameters of TTSS programs.

Fig. 2. Ref.: 9 items.

UDC 519.7

Study methods of evolutionary optimization in the tasks of the organizing production management / A.N. Gvozdinskiy, F.M. Eze // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. P. 29-34.

Decision making processes in general and the problem of inventory management in particular are important for modern organizations. They are one of the most common classes of problem of operations research. There are many methods for these tasks, but one of the main methods are Data Mining. The paper was considered creating mathematical models of such problem.

Tab.1. Fig.2.Ref.: 4 items.

UDC 519.7

The use of optimization methods in task of choice and decision making production activities / A.M.Gvozdinskiy, O.S.Batura // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. P.35-38.

This work shows the possibility of using the evolutionary optimization methods in business management Systems.

Fig.1. Ref.: 4 items.

УДК621.327:681.5

Стеганографічна система на основі нерівновагового позиційного кодування / В.В. Баранник, А.Е. Бекіров, Д.В. Баранник // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 39-45.

Розглянуто використання нерівновагового позиційного кодування функціонального перетворення для числа з вбудованою інформацією. Розроблено метод стеганографічного кодування з маскуванням структурної стеганографічної надлишковості. На основі сформульованого правила спроектована стеганографічна система для вбудовування одного біта прихованої інформації на позицію старшого елемента нерівновагового позиційного числа. На прикладі показаний процес вбудовування та вилучення вбудованої інформації з одночасною реконструкцією вихідного нерівновагового позиційного числа.

Табл. 1. Іл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

УДК681.518.5:004.052.32

Побудова кодів з підсумовуванням з найменшою кількістю симетричних помилок, які не виявляються в інформаційних векторах / В.В. Сапожніков, В.В. Сапожніков, Д.В. Єфанов / *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С.46-55.

Розглянуто задачу побудови кодів з підсумовуванням, ефективних з позиції виявлення симетричних помилок в інформаційних векторах. Отримані в роботі коди виявляють також всі монотонні спотворення в інформаційних векторах. Зважаючи простоти правил побудови такі коди з підсумовуванням можуть бути ефективно використані при організації систем функціонального контролю логічних пристроїв.

Табл. 5. Іл. 7. Бібліогр.: 38 назв.

УДК004:519.713

Кіберсервіси активного управління університетом / В.І. Хаханов, О.С. Міщенко, С.В. Чумаченко, С.О. Зайченко / *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 4. С. 56-61.

Запропоновано моделі метричного оцінювання студентів, науковців, викладачів, структурних підрозділів, науки і освіти університету для створення кіберсервісів точного моніторингу та управління ресурсами та виробничими процесами з метою досягнення затребуваної ринком якості продукції, що випускається. Розглянуто питання масштабування кіберсервісів управління стосовно вищої школі з метою істотного зниження державних витрат на апарат управління, підвищення ефективності науково-освітніх процесів за рахунок повного викорінення корупції, укрупнення університетів, кіберстимулювання конструктивних вчених і професорів, що створюють ринково затребувану продукцію.

Іл. 3. Бібліогр.: 10 назв.

УДК621.327:681.5

Steganographic system on the basis of nonequilibrium positional coding / V.V.Barannik, A.E.Bekirov, D.V.Barannik // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. P.39-45.

In this article the using of nonequilibrium positional coding as the functional conversion for number with the embedded information is considered. The method of steganographic coding with masking of structural steganographic redundancy is developed. On a basis of the formulated rule the steganographic system for one bit of the hidden information embedding of on a line item of a high element of nonequilibrium positional number is designed. On an example process of embedding and extraction of the built-in information with simultaneous reconstruction of the initial nonequilibrium positional number is shown.

Tab. 1. Fig. 2. Ref.: 5 items.

UDC 681.518.5:004.052.32

Formation of Codes with Summation with the Smallest Number of Undetectable Errors of Data Bits / V.V. Sapozhnikov, V.V. Sapozhnikov, D.V. Efanov / *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. P.46-55.

Codes with summation are widely used in concurrent error detection systems of automation and computing logical devices. In this paper the problem of errors of data vectors detection for the case of faultlessness of check vectors efficiency increasing is being solved. Herewith new codes with summation detect more symmetric errors of data vectors than classic Berger codes or modulo codes with summation. Moreover, codes described in the paper keep an important feature of Berger codes – an ability to detect all the unidirectional errors of data vectors.

Tab. 5. Fig. 7. Ref.: 38 items.

UDC 004:519.713

Cyber-active management of university services / V.I. Hahanov, A.S. Mishchenko, S.V.Chumachenko, S.A. Zaychenko / *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. С. 56-61.

The models of the metric evaluation of students, scientists, teachers, departments, science and university education to create kiberservisov accurate monitoring and management of resources and production processes in order to achieve the sought-after market product quality. Questions of scale kiberservisov management in relation to high school in order to substantially reduce public expenditure on administrative staff, improve the efficiency of scientific and educational processes through the complete eradication of corruption, consolidation of universities, cyber-stimulation design scientists and professors, creating a market demanded products.

Fig. 3. Ref.: 10 items.

УДК 567.456

Метод кодування трьохмірно-представлених відеоінформаційних ресурсів / В.В. Баранник, Ю.М. Рябуха // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 62-68.

Обґрунтовано, що показовим стає поява відеоінформаційних сервісів, які надають послуги тривимірного цифрового відображення високої якості. Показана актуальність створення технологій обробки послідовності кадрових площин, що являють собою складові як одного повнокольорового кадру, так і стереокадру. Викладено етапи розробки тривимірного поліадичного кодування даних.

Лл. 2. Бібліогр.: 6 назв.

УДК 519.85

Балансна компоновка циліндричних об'єктів: математичні моделі і методи розв'язання / Г.А. Коваленко, О.В. Панкратов, Т.Є. Романова, П.І. Стецюк // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. № 4. С. 69-78.

Розглянута задача рівноважної компоновки однорідних кругових циліндрів в контейнері (циліндричної, параболічної або зрізаної конічної форми). З допомогою методу ϕ -функцій побудовано математичні моделі для трьох задач балансної компоновки циліндрів у вигляді задач нелінійного програмування. Запропоновано алгоритми вирішення даних задач, які використовують метод мултистарт, алгоритм побудови припустимих стартових точок, IPOPT, а також g -алгоритм Шора. Наведено результати чисельних експериментів для тестових прикладів.

Лл. 6. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 519.7

Дослідження методів оптимізації в системах прийняття рішень в плануванні товарообігу підприємства / А.М. Гвоздинський, Ю.О. Оверчук // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 79-82.

Запропонований метод знаходження оптимального плану товарообігу шляхом постановки задачі, формування математичної моделі та застосування декількох методів її розв'язання. Також проаналізовано результат, отриманий за допомогою моделі, зроблені відповідні висновки. Визначені позитивні і негативні сторони цього підходу, наведені відповідні рекомендації для поліпшення.

Лл. 1. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 621.396.96:621.391.1

Комбінований метод локалізації рухомих об'єктів / В.О. Рустінов, А.Р. Сорокін // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2014. №4. С. 83-88.

Запропоновано об'єднати декілька технологій, які забезпечують більш високі результати точності визначення поточного положення рухомого об'єкта. Щоб продемонструвати даний підхід, був запропонований прототип системи на базі ОС Android з використанням iBeacon і акселерометра. Результати експериментів показали поліпшення точності позиціонування в порівнянні з кожною технологією окремо.

Лл. 9. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 567.456

Method encoding three-dimensional presentation of video information resources / V.V. Barannik, Y.V. Ryabuha // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. №4. P. 62-68.

Justified, what is remarkable is the appearance of the video system services that provide services-three-dimensional digital display high quality build. Shows the relevance of the technology of processing the sequence of human planes, represent-related components as a single full color kad-RA, and stereocamera. This scheme is effective in the case of con-Vaernes implementation on spectraserv.

Fig. 2. Ref.: 6 items.

UDC 519.85

A balanced layout problem of cylindrical objects: mathematical models and solution methods / A.A. Kovalenko, O.V. Pankratov, T.E. Romanova, P.I. Stetsuk // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. № 4. P. 69-78.

We study a balanced layout problem of homogeneous circular cylinders in the given container that has cylindrical, parabolic or truncated conical shape. Mathematical models for three problems are constructed in the form of nonlinear programming problems, using ϕ -functions. We propose the efficient algorithms, involving the multistart method, an algorithm for constructing a set of feasible starting points, IPOPT and Shores r -algorithm to solve nonlinear programming problems. We present a number of computational experiments for benchmark instances.

Fig. 6. Ref.: 10 items

UDC 519.7

Research methods for optimization in decision-making systems in the marketing activity of the company / A.M. Gvozinskiy, Y.A. Overchuk // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. № 4. P. 79-82.

This work proposes a method to find optimal plan turnover, by setting objectives, forming a mathematical model and use several methods to solve it, to analyze the results obtained using the model made by appropriate conclusions. Were identified positive and negative aspects of this approach are given appropriate recommendations for improvement.

Fig. 1. Ref.: 5 items.

UDC 621.396.96:621.391.1

Combined method of localization of mobile objects / V.A. Rustinov // *Radioelectronics & Informatics*. 2014. N 4. P. 83-88.

In this paper we propose to combine several technologies that provide higher accuracy results of determining the current position of the mobile object. To demonstrate this approach was proposed a prototype system based on the Android OS with iBeacon and accelerometer. Experimental results shows the improved positioning accuracy compared with each technology separately.

Fig. 9. Ref.: 6 items.

ПРАВИЛА

оформления рукописей для авторов
научно-технического журнала

"Радиоэлектроника и информатика"

Тематика: радиотехника; электроника; телекоммуникации; компьютерные науки; компьютерная инженерия и техническая диагностика; системы и процессы управления; информационные технологии в науке, образовании, культуре, медицине, экономике, экологии, социологии.

Формат страницы — А4 (210x297 мм), поля: сверху — 15, справа, слева, снизу — 20 мм. Количество колонок — 2, интервал между ними — 5 мм. Редактор: Pagemaker 6.0 (можно, но нежелательно Word), гарнитура Times ET (Times New Roman Cyr), кегль — 10 пунктов, межстрочное расстояние — 110%, табуляция — 5 мм.

Объем рукописи — от 2 до 10 с. (языки: русский, украинский, английский). Текст рукописи должен быть структурирован и содержать все *основные части, характерные для научной статьи*: **введение** (отражает *актуальность*, формулирование *цели и задач* исследования); **сущность** (изложение основного материала исследования с описанием идеи, метода, и обоснованием полученных научных результатов); **выводы** (отражают результаты исследования, их *научную новизну* и *практическую значимость*, сравнение с лучшими аналогами, перспективы).

Структура рукописи: заголовок, аннотация, текст, литература, реферат (на украинском и английском языках), сведения об авторах.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК519.713

НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

ФАМИЛИЯ И.О.

(Название желаемого раздела тематики)

Аннотация (на языке статьи, абзац 5-10 строк, кегль 9) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

Основной текст можно разделять на 2 и более подразделов с заголовками, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

1. Название раздела

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и отдельно нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись под иллюстрацией (вне рисунка), как показано на рис. 1.

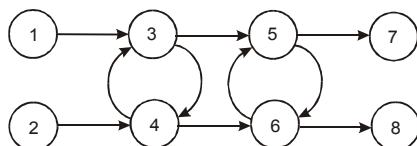


Рис. 1. Граф с контурами

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы), что иллюстрируется табл. 1. Редакторы: CorelDraw, Table Editor, Excel.

Таблица 1

Шаг i	1	2	3	4	5	6
$\Phi(1,3)$	1	2	2	4	6	1

Формулы нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Формулы, символы, переменные, встречающиеся в тексте, должны быть набраны как объекты Microsoft Equation. Рекомендуемая высота формульных кеглей: переменная — 10 пунктов, индекс — 8, над- и подиндекс — 8, основной (индексный) математический символ — 12(10):

$$F_{i+i} = \sum_{j=1}^k F_j^{i-1} \prod_{j=1}^{1+h} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X^{\sum n^k} \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом — без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от высоты кегля, которые рекомендуется опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

Литература (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

Литература: 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника / Под ред. И.О. Фамилия.* Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи // Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

Поступила в редколлегию 00.00.00

Рецензент: должность, ученая степень, Фамилия, И.О.

Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Увлечения и хобби. Адрес, контактные телефоны.

Рефераты представляются на украинском и английском языках.

УДК 000.000.00

Назва статті /Ініціали. Прізвище // **Радиоэлектроника та информатика.** 2000. № 00. С. 00-00.

Текст реферату.

Табл. 00. Лл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

UDC 000.000.00

Title of paper /Initials. Surname // **Radioelektronika i informatika.** 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

Представление материалов

Рукопись, рефераты, сведения об авторах — в одном файле, *поименованном фамилией автора*, на дискете 3,5 дюйма. Твердая копия материалов — для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, акт экспертизы, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, ХНУРЭ, комната 321, тел. 70-21-326, e-mail: ri@kture.kharkov.ua; hahanov@kture.kharkov.ua. <http://www.ewdtest.com/ri>

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники (протокол № 4 от 27.12.2014)

Підписано до друку 27.12.2014. Формат 60x84¹/₈.

Умов. друк. арк. 10,8. Зам. № б/н. Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Віддруковано у СПД ФО Степанов В.В.

61168, Харків, Акад. Павлова, 311.