

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 515.142.33

СТЕРЖАНОВ
Максим Валерьевич

**АЛГОРИТМЫ ВЕКТОРИЗАЦИИ МОНОХРОМНОГО РАСТРА И ИХ
ИНТЕГРАЦИЯ В СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Минск 2011

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Научный руководитель **Минченко Леонид Иванович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Садыхов Рауф Хосровович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ЭВМ учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Образцов Владимир Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем управления Белорусского государственного университета

Оппонирующая организация Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»

Защита диссертации состоится «28» апреля 2011 года в 16 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, корп. 1, ауд. 232, тел.: 293-89-89, email: dissovet@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Проблема поиска улучшенных алгоритмов обработки и векторизации бинарных штриховых изображений и создания на их основе эффективных средств ввода, преобразования и анализа технической документации с научной точки зрения является весьма актуальной. Современные программные продукты для САПР, ГИС и дизайна работают с файлами, основанными на векторном представлении. Наиболее эффективным методом получения цифровой версии чертежа на данный момент является метод полной или частичной загрузки цифрового растрового изображения в память ЭВМ с последующей векторизацией. Несмотря на наличие публикаций и экспериментальных систем по автоматической обработке и векторизации штриховых изображений, круг решаемых в них задач весьма ограничен, и результаты автоматической векторизации сильно зависят от качества сканирования, набора параметров векторизации, типа чертежа и т.д.

Чтобы система векторизации была эффективной и могла применяться в решении реальных задач, она должна иметь высокую точность распознавания и значительно превосходить в производительности ручную обработку. Очевидно, что в процессе векторизации ошибки неизбежны. Эффективность системы распознавания изображений должна измеряться затратами человеческого труда, требуемого на постобработку. Для увеличения производительности подобных систем необходимо оптимизировать наиболее времязатратные операции.

Методы скелетизации бинарных растровых изображений являются наиболее универсальным способом построения векторных моделей объектов. Однако задачи эффективной скелетизации бинарных изображений и обобщения методов скелетизации на случай технических документов требуют доработки решения. Основным недостатком алгоритмов скелетизации, осложняющим их использование в задаче векторизации, является недостаточно качественная обработка мест соединений. Важным требованием к векторизации является производительность алгоритма. Штриховые технические изображения имеют большой размер, поэтому требуется использование быстрых алгоритмов обработки. Значительным недостатком многих современных алгоритмов векторизации является большое количество эвристических порогов. Следовательно, актуальной задачей является создание методики векторизации, которая имеет высокую производительность и позволяет получить векторную модель хорошего качества. Анализ современных систем управления инженерными документами показал, что недостатки данных систем заключаются в недостаточно полной поддержке коллективной работы и в технологических ограничениях, не позволяющих выполнять обработку растра и векторизацию без использования дополнительных программ. Проведенный анализ позволил сделать вывод о важности интеграции алгоритмов векторизации в подобные системы, т.к. это позволит значительно увеличить эффективность использования систем управления инженерными документами.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Диссертация выполнена на базе учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (кафедра информатики). Работа проводилась в ходе выполнения следующих научно-исследовательских программ и проектов:

- Государственной программы фундаментальных исследований «Исследование математических моделей и их применение к анализу систем, структур и процессов в природе и обществе», задание «Многозначный анализ и устойчивость негладких бесконечномерных экстремальных задач относительно возмущений параметров» (№ ГР 20063735, НИР в 2006–2010 гг.);
- госбюджетной научно-исследовательской темы БГУИР ГБ №06-2007 «Исследование задач оптимизации и управления» (№ ГР 20066219, НИР в 2006–2010 гг.);
- задания БРФФИ по выполнению совместного Белорусско-российского проекта НИР «Исследование устойчивости и чувствительности параметрических задач математического программирования» в рамках договора №Ф10- (тема 10-7034, НИР в 2010–2012 гг.).

Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка производительных алгоритмов обработки и векторизации бинарных штриховых изображений и создания на их основе эффективных средств ввода, преобразования и анализа технической документации.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработать алгоритм быстрого получения сжатого представления бинарного изображения на основе использования пирамидального представления.
2. Разработать эффективный алгоритм выделения связанных компонент штрихового бинарного изображения.
3. Разработать алгоритм построения графовой модели бинарного растра, адаптированного к особенностям штриховых бинарных изображений и уделяющего особое внимание обработке мест соединений.
4. Разработать алгоритм векторизации на базе полученной графовой модели, осуществляющий выделение отрезков, дуг окружностей и кривых Безье.
5. Разработать специализированное программное обеспечение, объединяющее все предложенные модели и обеспечивающее алгоритмизацию и

автоматизацию решения задач ввода и преобразования штриховых технических изображений.

Объектом исследования являются бинарные штриховые изображения (сборочные чертежи, поэтажные планы, электрические схемы). *Предметом исследования* являются алгоритмы предобработки и векторизации штриховых изображений.

Положения, выносимые на защиту

На защиту автором выносятся следующие положения:

1. Новые алгоритмы предобработки штриховых бинарных изображений, позволяющие сократить время выполнения операций предобработки (в отдельных задачах до 2 раз):

– алгоритм получения сжатого представления бинарного изображения, в котором время обработки сокращается за счет использования пирамидального представления изображения и минимизации количества обращений к памяти вследствие обработки только объектных пикселей и независимого вычисления уровней пирамиды;

– алгоритм выделения связанных компонент бинарного изображения, разработанный на основе классического двухпроходного алгоритма Розенфельда. Использование сжатого представления бинарного растра и односвязного списка для представления ячеек таблицы эквивалентностей, а также отсутствие в алгоритме отдельной фазы нахождения финальных значений меток позволяет исключить обработку избыточной информации и сократить время обработки.

2. Новые алгоритмы построения графовой и векторной моделей бинарного растра, позволяющие строить компактное представление СК изображения в виде планарного нагруженного графа, а затем осуществлять выделение отрезков, дуг окружностей и кривых Безье, и имеющие отдельную процедуру обработки мест соединений, что позволяет сократить затраты на коррекцию и постобработку получаемых моделей.

3. Реализация разработанных алгоритмов в растр-векторном редакторе RVE, обладающем функциональностью по формированию БД конструкций здания и позволяющим автоматизировать процесс обработки графической информации; интеграция созданных алгоритмов в разработанную CMS-систему Stagirites позволяет снизить трудозатраты на создание и поддержку электронного архива предприятия.

Личный вклад соискателя

Все результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Научный руководитель принимал участие в постановке задач,

обсуждении результатов исследований, проведенных автором самостоятельно. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками излагаемых в диссертационной работе результатов.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены автором на следующих научных конференциях и симпозиумах:

X Республиканской НК студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь (2006, Минск), IV-VI Междунар. НПК "Управление информационными ресурсами" (2006-2008, Минск), III Междунар. НК "Сетевые компьютерные технологии" (2007, Минск), VII Всерос. НПК студентов, аспирантов и молодых ученых "Молодежь и современные ИТ" (2009, Томск), междунар. НТК, посвящ. 45-летию МРТИ-БГУИР (2009, Минск), НТК "Мир информации и телекоммуникаций – 2009" (2009, Кисв), 5, 6 междунар. молодежной НТК "Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций" (2009, 2010, Севастополь), VII Бел.-рос. НТК "Технические средства защиты информации" (2009, Минск), междунар. науч.-практ. конф. "WebConf09" (2009, Минск), междунар. науч.-практ. конф. "Инфотех" (2009, Севастополь), междунар. НТК "Многопроц. выч. и управляющие системы" (2009, Геленджик), XIV Междунар. НТК "Современные средства связи" (2009, Минск), 14 Всерос. конф. "Математические методы распознавания образов" (2009, Суздаль), 19, 20 Междунар. конф. по Компьютерной Графике и Зрению "ГрафиКон" (2009, Москва, 2010, Санкт-Петербург), V Междунар. конф.-форум "IST 2009" (2009, Минск), 33 конф. молодых ученых и специалистов ИППИ РАН (2009, Геленджик).

Опубликованность результатов диссертации

Материалы диссертации отражены в 38 печатных работах, включая 9 статей в рецензируемых научно-технических журналах, 1 статью в сборнике научных статей, 22 работы в сборниках трудов и материалов научных конференций и тезисы 6 докладов. Общий объем публикаций по теме, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в РБ, составляет 4,1 авторского листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложения. В первой главе проведен обзор методов и алгоритмов, используемых для векторизации

штриховых изображений, осуществлен анализ систем управления инженерными документами. Во второй главе предложены алгоритмы эффективного получения сжатого раstra и выделения связанных компонент. В третьей главе предложены алгоритмы построения графовой и векторной моделей бинарного раstra. В четвертой главе описывается применение разработанных алгоритмов в программных средствах, служащих для обработки штриховых технических изображений.

Общий объем работы состоит из 143 листов, в том числе 29 рисунков на 10 страницах, 8 таблиц на 3 страницах, библиографического списка из 154 наименований на 15 страницах, списка публикаций соискателя из 38 наименований на 7 страницах, 1 приложения на 4 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определена область и основные направления исследования, обоснована актуальность темы диссертации, дана краткая характеристика исследуемых вопросов, показана практическая значимость работы.

В **первой главе** проведен обзор методов и алгоритмов, используемых для векторизации штриховых изображений, под которыми в данной работе понимаются сканированные чертежи, поэтажные планы, электрические схемы. Вводятся основные понятия и определения для описания векторного представления объектов в САПР. Рассматриваются и анализируются основные характеристики растровой и векторной форм представления графической информации.

Задача первичной векторизации заключается в построении модели раstra V , состоящей из точек и наборов отрезков на плоскости, которая бы аппроксимировала изображение на растре с заданной точностью. Данная задача, как правило, решается по следующей схеме. Сначала выделяются осевые линии объектов в виде цепочек пикселей раstra. Затем выполняется линейная аппроксимация осевых линий, задача которой заключается в представлении изображения в виде наборов ломаных, стыкующихся в своих конечных точках. Последней фазой является постобработка, повышающая качество модели.

В современной литературе методы выделения осевых линий на растре могут быть представлены с помощью следующих групп: 1) основанные на утоньшении линий; 2) основанные на сопоставлении контуров; 3) основанные на графах объектных штрихов; 4) основанные на разбиении изображения регулярной сеткой; 5) основанные на разреженном просмотре раstra; 6) основанные на преобразовании Хафа; 7) основанные на аппроксимации объектов раstra площадными геометрическими фигурами.

Проведенный анализ алгоритмов, реализующих вышеописанные методики, позволил сделать следующие выводы. Методы скелетизации бинарных растровых изображений, рассмотренные в данной главе, являются

наиболее универсальным способом построения векторных моделей объектов. Однако задачи эффективной скелетизации бинарных изображений и обобщения методов скелетизации на случай технических документов требуют доработки решения. Основным недостатком алгоритмов скелетизации, осложняющим их использование в задаче векторизации, является недостаточно качественная обработка мест соединений. Важным требованием к векторизации является производительность алгоритма. Штриховые технические изображения имеют большой размер, поэтому требуется использование быстрых алгоритмов обработки. Важным недостатком многих современных алгоритмов векторизации является большое количество эвристических порогов. Следовательно, актуальной задачей является создание методики векторизации, которая имеет высокую производительность и позволяет получить векторную модель хорошего качества.

Изучение возможностей программных продуктов, представленных на мировом рынке, позволило выявить их слабые стороны: избыточная функциональность при высокой стоимости, узкая направленность на отдельный вид работ при низкой стоимости, сложность внедрения дополнительных модулей. Не все системы имеют русскоязычный интерфейс. Выявленные недостатки подтверждают необходимость создания простого в использовании, недорогого отечественного программного продукта, не уступающего по функциональным возможностям зарубежным аналогам, но адаптированного для применения на территории Республики Беларусь, обладающего открытым алгоритмом векторизации, позволяющего расширять функциональность. Проведенный в главе анализ систем управления инженерными документами выявил их значительные недостатки, которые заключаются в недостаточно полной поддержке коллективной работы и в технологических ограничениях, не позволяющих выполнять обработку раstra и векторизацию без использования дополнительных программ. Следовательно, актуальной является интеграция алгоритмов векторизации в системы управления документами, выполнение которой значительно повысит эффективность использования подобных систем.

Во второй главе рассматривается задача эффективного получения сжатого раstra и быстрого выделения связанных компонент. Очевидно, что от выбора структуры данных зависит производительность алгоритма. Так как разрабатываемые алгоритмы векторизации ориентированы на обработку широкоформатных изображений, требуется использование сжатого представления, позволяющего осуществить эффективное хранение данных большого размера. В данной работе предлагается использовать кодирование концами серий, так как это простой и компактный способ представления. Одной из целей диссертационной работы является получение производительных алгоритмов векторизации. Понятно, что общее время векторизации является суммой интервалов времени, которое затрачивается на предварительные операции, непосредственно векторизацию и на возможную постобработку. В качестве предварительных операций можно выделить этапы

построения сжатого представления и выделения связанных компонент (СК). Поэтому решение задачи быстрого получения сжатого представления и выделения СК повысит общую эффективность векторизации.

В данной работе вводится понятие шаблона `BlackPixelIterator`. Пусть исходное бинарное изображение представлено классическим образом – 1 бит на пиксель. Многие алгоритмы можно значительно ускорить, если производить обработку только объектных пикселей: передавать на вход только их координаты, считая, что все остальные – фоновые. Это не подходит для алгоритмов, требующих доступа к произвольному пикселю, например, для алгоритма вычисления интегральной матрицы. Количество черных пикселей в штриховых технических изображениях гораздо меньше, чем белых. Пусть $B(G)$ – количество черных пикселей изображения G ; $A(G)$ – общее количество пикселей изображения G ; F – подпрограмма, которая реализует некоторый алгоритм, входными данными которого являются координаты чёрных точек. Для уменьшения операций обращения к памяти при инициализации шаблона сразу обрабатываются все пиксели, находящиеся в машинном слове (32 бита). Шаблон `BlackPixelIterator` осуществляет итерацию по всему изображению G , поэтому количество обращений к памяти будет $A(G)/32$, однако количество вызовов подпрограммы F равно $B(G)$.

Пирамиды изображений являются весьма эффективным средством для обработки и анализа информации в системах технического зрения. В диссертационной работе предложен алгоритм построения пирамиды бинарного изображения на основании шаблона `BlackPixelIterator`. Предложенный алгоритм сокращает количество обращений к памяти исходного изображения, поэтому его применение позволяет строить пирамиду быстрее, чем в известных алгоритмах. В частности, как показано экспериментально, в некоторых случаях за время, до 2 раз меньшее, чем время, которое требуется при реализации классического подхода. В отличие от классического подхода уровни пирамиды вычисляются независимо, что дает возможность эффективной реализации предлагаемого метода на параллельной архитектуре.

Таблица 1 – Сравнение производительности алгоритмов построения пирамиды бинарных изображений

Алгоритм	Min, мс	Max, мс	Avg, мс	Disp, мс
Классический	4	192	33	29
На основе интегральной матрицы	8	861	84	112
Предложенный	2	168	20	20

Примечание – Время построения пирамиды: *Min* – минимальное, *Max* – максимальное, *Avg* – среднее выборочное, *Disp* – квадратный корень среднеквадратичного отклонения.

Одним из эффективных способов представления бинарного изображения в сжатом виде является кодирование длин серий (RLE), для чего используется метод сканирования исходного изображения – метод «грубой силы». Для решения задач векторизации во многих случаях более конструктивным является кодирование концами серий (REE). В диссертации используется специальная структура хранения и разработан алгоритм построения сжатого REE-кодирования бинарного изображения на основе использования пирамидального представления изображения. Каждый уровень пирамиды (за исключением базового) может быть представлен тремя REE-кодами: черным, серым и белым. Черный REE-код состоит строго из «черных» ячеек, серый – из «серых», белый – из «белых». Так как цель алгоритма заключается в построении REE-кода черных пикселей базового уровня, то рассматриваются только черные и серые REE на каждом уровне (за исключением базового). Черный и серый REE-коды уровней пирамиды строятся сверху вниз. Для этого рассматривается самый верхний уровень пирамиды, состоящий из одной ячейки. Если эта ячейка «белая» – основной алгоритм построения REE завершает свою работу, т.к. исходное изображение не имеет черных пикселей. Если ячейка вершины пирамиды «черная» – основной алгоритм также заканчивает свою работу, возвращая REE, в котором число серий равно ширине изображения, а размер каждой серии равен высоте изображения. Если ячейка вершины пирамиды является «серой» – то в сером REE будет одна серия единичного размера, а черный REE будет пустым. Построение REE каждого оставшегося уровня L осуществляется с использованием информации о REE верхнего уровня $L + 1$, т.к. «черные» ячейки имеют только «черных» потомков, а «серые» ячейки имеют хотя бы одного потомка, не являющегося «черным».

Приведем результаты экспериментального сравнения быстродействия алгоритмов построения сжатого REE-кода в таблице 2. Тестирование выполнялось пакетным способом на 127 тестовых штриховых изображениях при значении сжимающего коэффициента равном 16. Обработывались типовые штриховые изображения (схемы электрические принципиальные, различные чертежи, планы).

Таблица 2 – Анализ производительности алгоритмов построения сжатого растра

Алгоритм	Min, мс	Max, мс	Avg, мс	Disp, мс
«Грубой силы»	4	385	43,87	59,16
Предлагаемый	2	168	20,13	20,03

Примечание – Время построения сжатого растра: *Min* – минимальное, *Max* – максимальное, *Avg* – среднее выборочное, *Disp* – квадратный корень среднеквадратичного отклонения.

Алгоритм прост в реализации и позволяет строить сжатое представление за время, до 2 раз меньшее времени, которое требуется методу «грубой силы» (см. таблицу 2, где приводится экспериментальное обоснование производительности алгоритма).

Задача выделения связных компонент (СК) изображения играет важную роль во всех приложениях распознавания образов и компьютерного зрения. Для ее решения ранее предложено множество методов, основанных на различных способах обработки скан-проходов исходного бинарного изображения. В диссертации на основе классического двухпроходного алгоритма Розенфельда предложен алгоритм выделения связных компонент, использующий сжатое представление бинарного растра. За счет специально выбранной структуры для хранения промежуточных данных эффективность алгоритма в три-четыре раза выше чем у известных алгоритмов. В качестве эффективного средства увеличения производительности алгоритмов выделения СК, использующих попиксельный анализ, обосновано использование методики «разделяй и властвуй», что позволяет в рассмотренных тестовых задачах достичь уменьшения времени выполнения по сравнению с известными алгоритмами: многопроходных алгоритмов от 4 (с использованием таблицы связности) до 10 (без использования таблицы связности) раз, классического алгоритма – от 4 (с применением структуры данных для объединения-поиска) до 32 раз.

Предложенные во второй главе алгоритмы могут использоваться совместно при решении различных задач обработки широкоформатных бинарных штриховых изображений. Экспериментально показано, что при этом может произойти снижение времени выполнения операций предобработки до 2 раз, что в свою очередь увеличит производительность алгоритма векторизации в целом.

В третьей главе предлагаются алгоритмы построения графовой и векторной моделей бинарного растра. При векторизации широкоформатных чертежей важно осуществлять обработку изображения без разбиения на части с последующей «сшивкой». Требуется использование компактного промежуточного представления, которое будет сохранять топологию объектов изображения и способствовать эффективному нахождению геометрических примитивов. Как было показано в первой главе, скелетизированное изображение сохраняет топологию, однако оно чувствительно к шуму, места соединений обрабатываются не всегда корректно. Недостатком контурного препарата является то, что по нему трудно построить топологию исходного изображения. В рамках данной диссертационной работы предлагается представление каждого объекта изображения в виде планарного нагруженного ориентированного графа. Предлагается гибридная методика векторизации на основании графовой модели.

При построении графовой модели предлагается использование вспомогательного быстрого алгоритма частичной скелетизации, основной задачей которого является нахождение осевых линий объектов простой формы.

Более сложные фрагменты будут обработаны отдельно в дальнейшем. Скан-проход частичной скелетизации СК заключается в следующем. Изображение сканируется по вертикали скан-строками, анализируется связность смежных серий и выделяются связные группы серий, образующие полосы. Найденные полосы тестируются на корректность и заменяются скелетными кривыми (СКР). Схема работы алгоритма показана на рисунке 1.

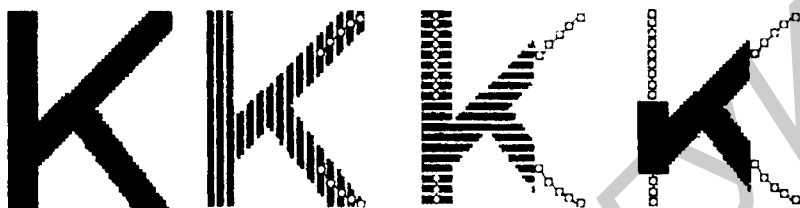


Рисунок 1 – Схема работы алгоритма частичной скелетизации

В результате скан-прохода будут найдены осевые линии горизонтальных «ветвей» изображения. Чтобы обработать вертикальные объекты, выполняется следующее. После вертикального сканирования изображение поворачивается на 90° , снова выполняется скан-проход. Поворот изображения на 90° осуществляется без потерь и является простой операцией. Затем изображение поворачивается в исходное положение. Благодаря обработке смежных серий в полученной «средней линии» отсутствуют разрывы и паразитные ответвления. Высокая производительность алгоритма частичной скелетизации обуславливается тем, что он анализирует только смежные серии и имеет ровно две итерации, в то время как классические алгоритмы работают попиксельно и заканчивают свою работу тогда, когда ни один пиксель не может быть удален.

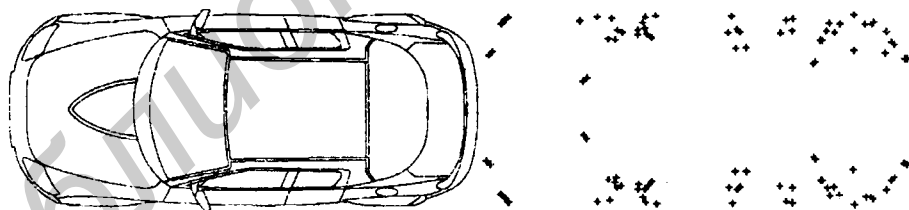
Итак, в результате двух скан-проходов прямолинейные отрезки СК заменяются скелетными кривыми (СКР). Группы серий, которые не были заменены СКР на процедуре частичной скелетизации, представляют собой области соединений (например X, T, Y-типа). Из области соединения (ОС) исходят СКР, аппроксимирующие относительно прямолинейные участки. Для каждой СКР, исходящей из ОС, получим вектор направления, построенный по ее начальным точкам. Найдём точку пересечения векторов направлений ОС и соединим ее отрезками с начальными точками СКР. Пометим точки раstra, через которые проходят эти отрезки. Затем применим параллельный алгоритм утоньшения для ОС, который не будет удалять помеченные пиксели. Таким способом обеспечивается корректная обработка соединений.

Каждая СК изображения представляется нагруженным ориентированным планарным псевдографом, вершинам которого соответствуют концевые и узловые точки отрезков СК, а ребрам – сами отрезки СК, представленные в форме СКР.

Граф G задается парой $G = (V, E)$, где V – множество вершин. Описание каждой вершины содержит координаты точки, порядок вершины и ее тип (концевая или узловая). E – мультимножество ребер, каждое из которых соединяет две вершины из V , причем изображения ребер из E на плоскости не пересекаются, поэтому (V, E) представляет собой планарный граф. Каждое ребро имеет важные характеристики (например: длина, ширина, элонгация), которые могут быть использованы при последующем создании векторной модели.

Построенная графовая модель обладает важными свойствами. Графовая модель является компактной формой представления СК изображения. Она описывает топологию СК, связи между отрезками СК (ОСК) и позволяет осуществлять эффективное нахождение графических примитивов. Выделенные на этапе векторизации отрезки могут иметь атрибуты, соответствующие атрибутам ребер графа.

Следующим шагом является построение векторной модели на основании имеющегося графа. Из имеющегося псевдографа G получим гиперграф GG . Из имеющегося псевдографа G получим гиперграф GG . На первом шаге процедуры построения выделим гиперребра графа GG , состоящие из ребер графа G , соединяющих вершины графа G степени один и два. Каждое гиперребро имеет две концевые вершины. Из каждой такой вершины гиперребра GE исходит ноль или более одно ребра E , не принадлежащих гиперребру GE . Рассмотрим 2 ребра $E1$ и $E2$, исходящих из вершины степени 3 графа G . Пусть ребра $E1$ и $E2$ принадлежат гиперребрам $GE1$ и $GE2$ соответственно. Если ребра $E1$ и $E2$ являются коллинеарными с некоторой погрешностью (например 5°), то гиперребра $GE1$ и $GE2$ объединяются. На рисунке 2 показан пример графовой модели.



а б
а – исходное изображение; б - узлы гиперграфа
Рисунок 2 - Пример графовой модели

Под путем векторизации (ПВ) будем понимать последовательность точек $p_i = (x_i, y_i)$, лежащих на средней линии СК. $ПВ = \{p_0, p_1, \dots, p_n\}$. Если $p_0 = p_n$, то путь является закрытым. Точки ПВ описывают набор отрезков и дуг окружностей. Каждое гиперребро описывает ПВ.

В диссертационной работе предлагаются процедуры векторизации отрезками прямых, дугами окружностей и кривыми Безье.

Опишем методику векторизации кривыми Безье третьего порядка. Рассмотрим методику нахождения контрольных точек при аппроксимации дуги окружности единичного радиуса (рисунок 3).

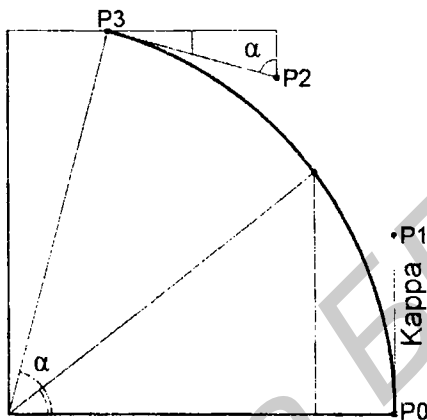


Рисунок 3 – Аппроксимация дуги окружности кривой Безье

Запишем выражения для вычисления опорных точек:

$$P_0 = (x_0, y_0) = (1, 0), \quad (1)$$

$$P_1 = (x_1, y_1) = (1, \text{kappa}), \quad (2)$$

$$P_2 = (x_2, y_2) = P_3 + (\text{kappa} \times \sin(\alpha), -\text{kappa} \times \cos(\alpha)), \quad (3)$$

$$P_3 = (x_3, y_3) = (\cos(\alpha), \sin(\alpha)). \quad (4)$$

Значение так называемого «магического числа» kappa может быть рассчитано по формуле

$$\text{kappa}(\alpha) = \frac{4(1 - \cos(0,5\alpha))}{3\sin(0,5\alpha)}. \quad (5)$$

Опишем базовый алгоритм векторизации дуги эллипса кривой Безье. Рассмотрим дугу эллипса E , проходящую через точки $A(x_1, y_1)$ и $B(x_2, y_2)$. Положим $P_0 = A$, $P_3 = B$. Вычислим вектор касательной τ в начальной точке A . По точкам A , B и касательной τ проведем дугу окружности. Рассчитаем ее радиус R . Контрольная точка P_2 вычисляется по формуле $P_2 = P_1 + k \cdot \tau$, где $k = R \cdot \text{kappa}(\varphi)$. Аналогичным образом вычисляется контрольная точка P_3 .

Рассчитаем отклонение каждой точки дуги от кривой Безье, построенной по точкам $P_0 \dots P_3$. Если максимальное отклонение превысит заданное пороговое

значение ϵ , то разобьем дугу E на две части в точке максимального отклонения. Затем применим процедуру аппроксимации для каждой части.

Пусть имеется ПВ. Рассчитаем вектора касательных во всех точках ПВ. Анализируя касательные в смежных точках, найдем точки изменения кривизны, которые разбивают исходный ПВ дугами эллипса. Для каждой эллиптической дуги выполняется алгоритм аппроксимации кривой Безье.

В четвертой главе описывается применение разработанных алгоритмов в программных средствах, служащих для обработки штриховых технических изображений. Разработанные в рамках данной диссертации алгоритмы преобразования и векторизации бинарного растра являются применимыми для обработки штриховых документов различных видов: чертежей, схем, поэтажных планов. Так как данные документы имеют широкое применение в проектно-строительных и проектно-конструкторских бюро предприятий, рациональным является внедрение созданных алгоритмов в специализированное программное обеспечение, которое применяется в соответствующих организациях. В частности, создан растрово-векторный редактор RVE, максимально облегчающий переход от старой технологии проектирования на кульмане к новым технологиям САПР. Внедрение алгоритмов векторизации в систему управления документами Stagirites позволяет снизить затраты на обработку документов за счет эффективного преобразования сканированных растровых чертежей в векторный формат, используемый в САПР.

Система RVE работает в диалоговом режиме, для минимизации затраченного времени оператором группа файлов может быть обработана пакетным образом. В качестве исходных данных используются изображения форматов BMP, JPEG, PCX, GIF, TIFF. Выходными данными являются файлы в векторных форматах DXF, DWG, также имеется внутренний векторный формат «.rve». Ядро графической системы позволяет отображать большое количество объектов с очень высокой точностью и манипулировать ими на экране.

Предлагаемый векторный редактор может быть применен в технологической цепочке решения задачи проектирования оптимальной системы мобильных телекоммуникаций на этапе построения БД конструкций здания. Отметим, что данный этап является ключевым во всем процессе моделирования, т. к. во-первых, если сложность данного этапа высока, то в целом снижается эффективность применения программных средств при решении задачи, во-вторых, от качества построенной модели конструкций зависит точность результата расстановки станций.

Система Stagirites ориентирована на работу с техническими документами, которые представлены в текстовой и графической форме. При вводе изображений в систему имеется возможность векторизации документа. При векторизации изображения система позволяет задать виды векторных примитивов (отрезки, дуги окружностей, кривые Безье), которыми будет представлено изображение после обработки, и некоторые пороговые значения.

Набор алгоритмов автоматизации векторизации поставляется в виде динамически подключаемой библиотеки Windows (DLL). Интерфейс системы состоит из двух частей: каталога и депозитария. Каталог предназначен для структуризации и краткого описания ресурсов, размещающихся в депозитарии. Система представляет контент в виде логических записей. Записи упорядочиваются в каталоге с помощью иерархической древовидной структуры, называемой деревом контента. Редактирование текстовых документов осуществляется с помощью встроенного в систему WYSIWYG-редактора, имеющего схожую с MS Word функциональность. Многие проекты обладают большим размером, очевидно, что от методов структурирования и упорядочивания контента зависит производительность работы пользователей. Автор осуществляет индексирование публикаций с помощью деревьев ключевых слов. В предлагаемой CMS-системе реализовано разграничение прав доступа к данным на основе политики DAC. Имеется возможность выдачи пользователям и группам пользователей прав на работу с узлами дерева публикаций (чтение, запись, изменение). При совместной работе необходима возможность одновременного редактирования документа несколькими пользователями. Для этого реализован механизм check in/out. В распределенной среде важна гарантия того, что новый контент не будет опубликован без контрольной редакторской проверки. Для каждого узла дерева контента можно задать ход документооборота, который описывает порядок и правила операций редакционно-издательской обработки.

Автором созданы предпосылки для нового комплексного подхода к организации работы с проектной технической документацией. Благодаря применению CMS-технологий автоматизируются процессы создания, организации, хранения и преобразования документов. Система Stagirites повышает оперативность движения и актуальности информации. Предлагаемая CMS-система Stagirites является гибкой и способной к дальнейшим модификациям, что позволяет развивать ее в соответствии с новыми требованиями и задачами.

В **заключении** сформулированы основные научные результаты диссертации и рекомендации по их практическому применению.

Приложение содержит акты внедрения результатов диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложен алгоритм построения пирамиды бинарного изображения, ориентированный на использование в решении задачи векторизации, в котором за счет обработки только объектных пикселей и независимого вычисления уровней пирамиды сокращается количество обращений к памяти, поэтому его

применение позволяет строить пирамиду за время, до 2 раз меньшее, чем время, которое требуется при реализации классического подхода [5–А]. Предложенный алгоритм построения пирамиды может использоваться в решении задачи векторизации и имеет определенные преимущества по сравнению с известными ранее алгоритмами. В частности, применение алгоритма, использующего интегральную матрицу и обладающего высокой эффективностью, в задаче векторизации может быть неоправданным из-за большого времени вычисления самой интегральной матрицы, использование которой не предусматривается последующими шагами алгоритма векторизации.

2. Предложен алгоритм построения сжатого REE-представления бинарного изображения на основе использования пирамидального представления изображения. Алгоритм прост в реализации и позволяет строить сжатое представление за время, до 2 раз меньшее времени, которое требуется методу «грубой силы» [6–А]. На основе развития классического двухпроходного алгоритма Розенфельда предложен алгоритм выделения СК, использующий сжатое представление бинарного раstra. Отличительной особенностью алгоритма является использование односвязного списка для представления ячеек таблицы эквивалентностей и отсутствие отдельной фазы нахождения финальных значений меток. В качестве эффективного средства увеличения производительности алгоритмов выделения СК, использующих попиксельный анализ, в диссертационной работе обосновано использование методики «разделяй и властвуй», что позволяет достичь уменьшения времени выполнения [9–А, 32–А]. Для тестирования производительности предложенных алгоритмов была разработана методика пакетного режима обработки с использованием аппарата математической статистики [4–А].

3. С целью построения скелетных линий прямолинейных участков объектов изображений разработан алгоритм частичной скелетизации, который не включает в результирующее скелетизированное представление места соединений частей СК [2–А]. Предложенный алгоритм в отличие от широко распространенных итеративных алгоритмов является строго двухпроходным и оперирует с сериями, а не с отдельными пикселями, что позволяет добиться сокращения числа обращений к памяти. Развивая идеи, сформулированные в работах Ди Зензо, Монагана, Кропача, Павлидиса, в данной работе предложена методика представления СК изображения в виде планарного ориентированного графа. В отличие от описанных в других работах графовых моделей, в данной работе предлагается построение нагруженного графа, хранящего важные характеристики СК изображения, вычисленные в процессе построения модели. Разработан алгоритм построения графовой модели бинарного изображения. Особенностью разработанного алгоритма является наличие отдельной процедуры обработки мест соединений. При этом полученная графовая модель не является конечным результатом векторизации, а служит компактным представлением, сохраняющим топологические и морфологические признаки

СК изображения [3–А, 7–А]. На основе разработанной графовой модели предложены алгоритмы векторизации, осуществляющие выделение отрезков, дуг окружностей и кривых Безье [7–А, 29–А, 30–А].

4. Разработанные системы предоставляют возможность векторизации штриховых технических изображений, что упрощает работу пользователя, улучшает точность и качество получаемых результатов. Предложенный автором векторный редактор RVE объединяет растр-векторное преобразование с интуитивным редактированием как растровых так и векторных объектов. Отличительной особенностью продукта RVE является функциональность по формированию БД конструкций здания [8–А]. Предложенная система Stagirites создает основание для комплексного подхода к организации работы с проектной технической документацией. Благодаря применению предлагаемой системы Stagirites происходит снижение трудозатрат на создание и поддержку электронного архива предприятия. Отличием предлагаемой системы от аналогов является наличие встроенных интерактивных инструментов для преобразования штриховых технических изображений и для обеспечения коллективной разработки [1–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные алгоритмы и программное обеспечение рекомендуется использовать в организациях, занимающихся решением задач, связанных с обработкой и векторизацией широкоформатных технических изображений. Предложенный векторный редактор может применяться в решении задачи проектирования оптимальной системы мобильных телекоммуникаций. Система управления инженерными данными система Stagirites создает основание для комплексного подхода к организации работы с проектной технической документацией. Область применения разработанного ПО – машиностроение, заводское проектирование, строительство зданий, гражданское строительство. Разработанные в диссертационной работе методы и ПС могут быть использованы при построении новых и реорганизации существующих систем обработки изображений. Результаты исследований применяются в научно-исследовательской работе СП ЗАО «Международный деловой альянс» и ООО «БелХард Девелопмент», а также в учебном процессе БГУИР при проведении занятий по дисциплине «Технологии программирования». Алгоритмы, разработанные в рамках настоящей диссертационной работы, целесообразно использовать в учебных процессах по специальностям, связанным с обработкой изображений, построением алгоритмов и ПС.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1–А. Стержанов, М.В. Компонент трекинга изменений для CMS-системы / М.В. Стержанов // *Электроника Инфо.* – 2009. – №1(61). – С. 45–47.

2–А. Стержанов, М.В. Графовая модель как средство описания бинарных штриховых изображений / М.В. Стержанов // *Науч.-техн. вестник Санкт-Петербургского гос. ун-та информационных технологий, механики и оптики.* – 2009. – №05(63). – С. 105–111.

3–А. Стержанов, М.В. Алгоритм построения графовой модели бинарных штриховых изображений / М.В. Стержанов // *Доклады БГУИР.* – 2009. – №6(44). – С. 54–61.

4–А. Байдаков, И.В. Методика автоматизации отладки и тестирования реализации алгоритмов обработки изображений / И.В. Байдаков, М.В. Стержанов // *Электроника Инфо.* – 2010. – №4(73). – С. 60–62.

5–А. Стержанов, М.В. Алгоритмы построения пирамиды бинарного изображения / М.В. Стержанов, И.В. Байдаков // *Вести ИСЗ.* – 2010. – №3(44). – С. 114–119.

6–А. Стержанов, М.В. Быстрый алгоритм построения сжатого представления бинарного растра / М.В. Стержанов, И.В. Байдаков // *Труды БГТУ. Сер. 6. Физ.-мат. науки и информатика.* – 2010. – вып. 18. – С. 142–145.

7–А. Стержанов, М.В. Быстрый алгоритм векторизации бинарных штриховых изображений / М.В. Стержанов // *Доклады БГУИР.* – 2010. – №4(50). – С. 89–94.

8–А. Стержанов, М.В. Система векторизации штриховых изображений и ее применение в задаче проектирования оптимальной системы мобильных телекоммуникаций / М.В. Стержанов, С.М. Стаховский // *Вестник ГрГУ. Сер. 2.* – 2010. – №3(102). – С. 87–92.

9–А. Стержанов, М.В. Выделение связанных компонент в штриховых бинарных изображениях / М.В. Стержанов // *Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки.* – 2010. – Т.15. Вып. 6. – С. 1934–1940.

Статьи в сборниках научных трудов

10–А. Стержанов, М.В. Алгоритм построения графовой и векторной моделей бинарного растра, кодированного длинами серий / М.В. Стержанов // *Технологии информатизации и управления: сб. науч. стат. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: П. А. Мандрик [и др.]. – Минск, 2009. – С. 71–76.*

Материалы конференций

11–А. Стержанов, М.В. Дополнительная обработка изображений при векторизации / М.В. Стержанов, Л.И. Мидценко, С.М. Стаховский //

Х Республиканская науч. конф. студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь «НИРС-2005»: сборник тезисов, Минск, 14-16 фев. 2006 г. / Белорус. гос. ун-т информ. и радиозл.; редкол.: С.К. Рахманов [и др.]. – Минск, 2006. – С. 110–111.

12–А. Стержанов, М.В. Проблемы векторизации технических документов / М.В. Стержанов, Л.И. Минченко, С.М. Стаховский // Управление информационными ресурсами: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17 мая 2006 г. / Акад. управления при Президенте Республики Беларусь; редкол.: Н. И. Белодед [и др.]. – Минск, 2006. – С. 246–247.

13–А. Стержанов, М.В. Векторизация монохромных технических документов / М.В. Стержанов, Л.И. Минченко // Управление информационными ресурсами: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 17 мая 2007 г. / Акад. управления при Президенте Республики Беларусь; редкол.: Н. И. Белодед [и др.]. – Минск, 2007. – С. 270–271.

14–А. Минченко, Л.И. Система векторизации монохромных технических изображений / Л.И. Минченко, М.В. Стержанов // Сетевые компьютерные технологии: материалы III Междунар. науч. конф., Минск, 17–19 окт. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: М.К. Буза [и др.]. – Минск, 2007. – С. 48–52.

15–А. Стержанов, М.В. Электронная система хранения документов строительной организации / М.В. Стержанов // Сетевые компьютерные технологии: материалы III Междунар. науч. конф., Минск, 17–19 окт. 2007 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: М.К. Буза [и др.]. – Минск, 2007. – С. 93–96.

16–А. Минченко, Л.И. Электронная система управления документами строительной организации / Л.И. Минченко, М.В. Стержанов // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: материалы Междунар. науч.-метод. конф., Минск, 22–23 ноября 2007 г. / Белорус. гос. ун-т информ. и радиозл.; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2007. – С. 351–354.

17–А. Минченко, Л.И. Публикация содержимого CMS на веб-сайте / Л.И. Минченко, М.В. Стержанов // Управление информационными ресурсами: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24 апреля 2008 г. / Акад. управления при Президенте Республики Беларусь; редкол.: А. С. Гринберг [и др.]. – Минск, 2008. – С. 107–109.

18–А. Стержанов, М.В. Построение графовой модели бинарного растра / М.В. Стержанов, Л.И. Минченко // Молодежь и современные ИТ: сборник трудов VII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 25–27 февраля 2009 г.: в 2 ч. / Томский политех. ун-т; редкол.: О.М. Замятина [и др.]. – Томск, 2009. – Ч. 1. – С. 199–200.

19–А. Стержанов, М.В. Выделение прямолинейных отрезков на инженерных изображениях // Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XII Респ. науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 16–18 марта 2009 г.: в 2 ч. / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины; редкол.: О.М. Демиденко [и др.]. – Гомель, 2009. – Ч. 2. – С. 38–40.

20–А. Стержанов, М.В. Графовая модель бинарного растра, кодированного длинами серий / М.В. Стержанов // Технологии Microsoft в

теории и практике программирования: сборник трудов VI Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 17–18 марта 2009 г. / Томский политех. ун-т; редкол: В.П. Григорьев [и др.]. – Томск, 2009. – С. 339–340.

21–А. Стержанов, М.В. Векторизация бинарного растра, кодированного длинами серий / М.В. Стержанов // Тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 45-летию МРТИ–БГУИР, Минск, 19 марта 2009 г. / Белорус. гос. ун-т информ. и радиоэл.; редкол: М.П. Батура [и др.]. – Минск, 2009. – С. 145–146.

22–А. Стержанов, М.В. Векторизация технических документов / М.В. Стержанов // Научный потенциал молодежи – будущему Беларуси: материалы III Междунар. молодежной науч.-практ. конф., г. Пинск, 27 марта 2009 г. / Полесский гос. ун-т; редкол: К.К. Шебеко [и др.]. – Пинск, 2009. – С. 62–64.

23–А. Стержанов, М.В. Применение кривых Безье в задаче векторизации бинарного растра / М.В. Стержанов // Мир информации и телекоммуникаций – 2009: материалы науч.-техн. конф., Киев, 28–29 апреля 2009 г. / Гос. ун-т информ.-коммуникац. технологий. – Киев, 2009. – С. 27–28.

24–А. Стержанов М.В. Функциональность CMS строительной организации / М.В. Стержанов, Е. П. Калоша // Веб-программирование и Интернет технологии: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «WebConf09», Минск, 8–10 июня 2009 г. / Ин-т математики НАН Беларуси. – Минск, 2009. – С. 37–38.

25–А. Стержанов, М.В. Применение CMS-технологий при создании УМК / М.В. Стержанов, В.Я. Анисимов // Инфокоммуникационные образовательные технологии: модели, методы, средства, ресурсы: материалы Байкальской региональной науч.-практ. конф. с междунар. участием, Улан-Удэ, 1 июня–5 июля 2009г. / Бурятский гос. ун-т. – Улан-Удэ, 2009 – С. 206–209.

26–А. Стержанов, М.В. Векторизация бинарного растра кривыми Безье / М.В. Стержанов // Инфотех 2009: материалы междунар. науч.-практ. конф., Севастополь, 7–12 сент. 2009 г. / Севастопольский нац. технич. ун-т.; редкол: А.В. Скатков [и др.]. – Севастополь, 2009. – С. 435–438.

27–А. Стержанов, М.В. Векторизация бинарного растра кривыми Безье. / М.В. Стержанов // Многопроц. выч. и управляющие системы : материалы междунар. науч.-техн. конф., с. Дивноморское, Геленджик, Россия, 28 сент.–3 окт. 2009 г. / Научно-исслед. ин-т многопроц. выч. систем им. А.В. Каляева Южн. Фед. Ун-та. – Таганрог, 2009. – С. 225–227.

28–А. Стержанов, М.В., Алгоритм векторизации штриховых бинарных изображений / М. В. Стержанов, И.В. Байдаков // Математические методы распознавания образов: материалы 14 Всерос. конф., Владимирская область, г. Суздаль, 21–26 сент. 2009 г. / Выч. Центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук. – М., 2009. – С. 449 – 452.

29–А. Стержанов, М.В. Алгоритм векторизации штриховых изображений отрезками прямых / М.В. Стержанов // ГрафиКон'2009: сборник докладов 19-ой Междунар. конф. по Компьютерной Графике и Зрению: Москва, 5–9 окт. 2009 г. / МГУ им. М.В. Ломоносова – М., 2009 – С. 194–197.

30–А. Sterjanov, M. Effective graph based line drawings vectorization / M. Sterjanov // Informational systems and technologies (IST'2009): материалы V Междунар. конф.-форума, Минск, 16–17 нояб. 2009г.: в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т: редкол.: Н. И. Листопад [и др.]. – Минск, 2009. – Ч. 1. – С. 203–204.

31–А. Стержанов, М.В. Выделение связанных компонент в штриховых бинарных изображениях / М.В. Стержанов // Информационные технологии и системы (ИТиС'10): материалы 33 конф. молодых ученых и специалистов ИППИ РАН, Геленджик, 20–24 сент. 2010 г. / ИППИ РАН: редкол.: А.А. Сафонов [и др.]. / М., 2010. – С. 127–131.

32–А. Стержанов, М.В. Методики выделения связанных компонент в штриховых бинарных изображениях / М.В. Стержанов // ГрафиКон'2010: сборник докладов 20 Междунар. конф. по Компьютерной Графике и Зрению: Санкт-Петербург, 20–24 сент. 2010 г. / Санкт-Петербургский гос. ун-т информационных технологий, механики и оптики. – СПб., 2010. – С. 169–174.

Тезисы докладов

33–А. Стержанов, М.В. Компонент создания цитат для CMS / М.В. Стержанов, И.В. Байдаков // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: материалы XIII Междунар. молодежного форума, Харьков, 30 марта–1 апреля 2009 г. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектрон. – Харьков, 2009. – Ч. 1. – С. 365.

34–А. Стержанов, М.В. Скелетизация бинарного растра, кодированного длинами серий / М.В. Стержанов // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2009): материалы 5-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 20–25 апреля 2009 г. / Севастопольский нац. техн. ун-т. / Севастополь, 2009. – С. 229.

35–А. Стержанов, М.В. Компонент контроля доступа для eCMS / М.В. Стержанов, Е.П. Калоша // Технические средства защиты информации: материалы VII Бел.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г., Белорус. гос. ун-т информ. и радиоэлектрон. ; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2009. – С. 66.

36–А. Стержанов, М.В. Вычисление характеристик объектов бинарного растра при построении псевдографовой модели / М.В. Стержанов // Теоретич. и прикладные вопросы современных ИТ: материалы Всерос. науч.-техн. конф. / Улан-Удэ, 20–26 июля 2009 г.: в 2 ч. / Вост.-Сиб. гос. технолог. ун-т; редкол.: В.В. Найханов [и др.]. – Улан-Удэ, 2009. – Ч. 2. – С. 423.

37–А. Стержанов, М.В. Защита информации в системе управления документами. / М.В. Стержанов // Современные средства связи: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., 29 сент.–1 окт. 2009 г. / Высший гос. колледж связи; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. – Минск, 2009. – С. 178.

38–А. Стержанов, М.В. Алгоритмы построения пирамиды бинарного изображения. / М.В. Стержанов, И.В. Байдаков // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций (РТ-2010): материалы 6-й междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, 19–24 апреля 2010 г. / Севастопольский нац. тех. ун-т. / Севастополь, 2010. – С. 407.



РЭЗІЮМЭ

Сцяжанаў Максім Валер'евіч

Алгарытмы вектарызацыі манахромнага растра і іх інтэграцыя ў сістэмы кіравання дакументамі

Ключавыя словы: бінарны растр, графавая мадэль, вектарызацыя, штрыховае выяўленне, вектарны рэдактар, CMS-сістэма.

Мэта даследавання: распрацоўка прадукцыйных алгарытмаў вектарызацыі бінарных штрыховых шырокафарматных выяўленняў і стварэнне на іх аснове эфектыўных сродкаў уводу, пераўтварэння, аналізу тэхнічнай дакументацыі.

Метады даследавання: метады апрацоўкі і распазнавання выяўленняў, матэматычнай марфалогіі, тэорыі графаў, тэорыі аналізу алгарытмаў, тэорыі мностваў, тэорыі кадавання інфармацыі.

Атрыманыя рэзультаты і іх навуковая навізна. Прапанавана група эфектыўных алгарытмаў папярэдняй апрацоўкі, ажыццяўляючых хуткае атрыманне сціснутай формы растра і выдзялення звязных кампанент. Распрацаваны дапаможны хуткі алгарытм частковай скелетызацыі, які знаходзіць скелет прамалінейных участкаў аб'ектаў выяўлення. Задача вектарызацыі вырашаецца на аснове пабудовы прамежкавай графавай мадэлі. Прапануецца алгарытм пабудовы графавай мадэлі растра. У адрозненне ад вяломых падыходаў распрацаваная мадэль дазваляе рэалізаваць вектарызацыю нецасрэдна на выяўленні, улічваючы яго інфарматыўнасць у поўным аб'ёме. На базе створаных алгарытмаў рэалізавана праграма-вектарызатар, якая мае функцыянальнасць вектарнага рэдактара і інтэрфейсы з САПР.

Ступень выкарыстання. Рэзультаты даследаванняў прымяняюцца ў навукова-даследчай працы кампаній ЗП «Міжнародны Дзелавы Альянс» і ААТ «Белхард Дэвелопмент», а таксама ў навучальным працэсе БДУІР пры правядзенні заняткаў па дысцыпліне «Тэхналогіі праграмавання».

Вобласць ужывання. Распрацаваныя алгарытмы вектарызацыі і растр-вектарны рэдактар RVE прымяняецца пры вектарызацыі сканіраваных шырокафарматных выяўленняў. Прапанаваны вектарны рэдактар можа прымяняцца пры рашэнні задачы праектавання аптымальнай сістэмы мабільных тэлекамунікацый. Створаная CMS-сістэма Stagirites стварае пасыл да комплекснага падыходу да арганізацыі работы з праектнай тэхнічнай дакументацыяй. Вобласць ужывання распрацаванага ПЗ – машынабудаванне, заводское праектаванне, грамадзянскае будаўніцтва, планаванне інфраструктуры.

РЕЗЮМЕ

Стержанов Максим Валерьевич

Алгоритмы векторизации монохромного растра и их интеграция в системы управления документами

Ключевые слова: бинарный растр, графовая модель, векторизация, штриховое изображение, векторный редактор, CMS-система.

Цель исследования: разработка производительных алгоритмов обработки и векторизации бинарных штриховых изображений и создания на их основе эффективных средств ввода, преобразования и анализа технической документации.

Методы исследования: методы обработки и распознавания изображений, математической морфологии, теории графов, теории анализа алгоритмов, теории множеств, теории кодирования информации.

Полученные результаты и их новизна. Предложена группа эффективных алгоритмов предобработки, осуществляющих быстрое получение сжатой формы растра и выделение связанных компонент. Разработан вспомогательный быстрый алгоритм частичной скелетизации, осуществляющий нахождение скелета прямолинейных участков объектов изображения. Задача векторизации решается на основе построения промежуточной графовой модели. Предлагается алгоритм построения графовой модели растра. В отличие от известных подходов разработанная модель позволяет реализовать векторизацию непосредственно на изображении, учитывая его информативность в полной мере. На базе созданных алгоритмов реализована программа-векторизатор, имеющая функциональность векторного редактора и интерфейсы с САПР. Созданные алгоритмы интегрированы в модуль обработки изображений системы управления документами Stagirates.

Степень использования. Результаты исследований применяются в научно-исследовательской работе СП ЗАО «Международный деловой альянс» и ООО «БелХард Девелопмент», а также в учебном процессе БГУИР при проведении занятий по дисциплине «Технологии программирования».

Область применения. Предложенный векторный редактор RVE служит для векторизации сканированных широкоформатных изображений, а также может применяться в решении задачи проектирования оптимальной системы мобильных телекоммуникаций. Созданная CMS-система Stagirates создает основание для комплексного подхода к организации работы с проектной технической документацией. Область применения разработанного ПО – машиностроение, заводское проектирование, гражданское строительство, планирование инфраструктуры.

SUMMARY

Maxim Sterjanov

Algorithms of binary raster vectorization and their integration into document management systems

Keywords: binary raster, graph model, vectorization, line drawing image, vector editor, CMS.

Objective: The aim of the research is to develop productive algorithms for binary line large-size images raster to vector conversion and to create effective tools for automated input, conversion and analysis of technical documentation.

Research methodology: methods of image analysis and recognition, mathematical morphology, graph theory, algorithms analysis, set theory, coding theory.

Scientific novelty. A group of effective raster processing algorithms has been suggested. Fast algorithm of connected component extraction at binary raster is developed. The suggested algorithm has high performance at line large-size images processing. Supplementary fast algorithm of partial skeletization is suggested. Vectorization is implemented using intermediate graph model creation. As opposed to traditional approaches suggested technique allows to perform the vectorization straight on the image, taking into account it's informativity. Research results are adopted into the following software products: raster and vector editor RVE, that can be applied in the solving the task of indoor wireless stations desing, CMS Stagirites.

Efficiency. Research results are used in research activities of JV «International business aliancc» and JIL «Belhard development», and are also integrated in the educational process of Belorussian state university of informatics and radioelectronics.

Application area. Designed algorithms and raster-vector editor RVE are used for the vectorization of scanned line large-size images. Suggested vector editor can be used in the design of indoor wireless stations. Developed CMS Stagirites provides complex integrated approach for organizations that work with technical documentation. The domain fields of developed software are the following: mechanical engineering, building construction, civil engineering.

Научное издание

СТЕРЖАНОВ МАКСИМ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**АЛГОРИТМЫ ВЕКТОРИЗАЦИИ МОНОХРОМНОГО РАСТРА И
ИХ ИНТЕГРАЦИЯ В СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОКУМЕНТАМИ**

специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Подписано в печать 24.03.2011.	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,5.	Тираж 60 экз.	Заказ 172.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009
220013, Минск, П. Бровки, 6