

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

УДК 004.91, 004.93'1, 004.896

Шевцов Дмитрий Валерьевич

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА

Специальность 05.13.06 Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами (по отраслям)
(технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научные консультанты:
доктор технических наук, профессор
Мышко Сергей Васильевич;

доктор технических наук, профессор
Толстых Виктор Константинович

Идентичность всех экземпляров
ПОДТВЕРЖДАЮ
Ученый секретарь
диссертационного совета Д 01.024.04
канд. техн. наук



Т.В. Завадская

Донецк – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
РАЗДЕЛ 1 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ДОКУМЕНТООБОРОТА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	22
1.1 Тенденции автоматизации процессов поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов	22
1.2 Современные средства распознавания документов электронных информационных ресурсов	32
1.3 Анализ проблем создания и совершенствования информационных технологий автоматизации обработки документов электронных информационных ресурсов на основе применения современных подходов к распознаванию образов	42
1.4 Перспективные направления в разработке методов и информационных технологий автоматизации аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов	57
1.5 Постановка задачи по разработке методов и информационных технологий автоматического моделирования и распознавания документов электронных информационных ресурсов для систем с открытым алфавитом.....	67
1.6 Выводы по разделу 1.....	71
РАЗДЕЛ 2 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИНАРНЫХ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ.....	72
2.1 Анализ образов изображений знаков, моделируемых на множестве атомарных элементов.....	73

2.2 Определение ориентации элементарных составляющих моделей знаков, подлежащих автоматическому именованию на множестве атомарных элементов	82
2.3 Определение взаимного расположения элементарных составляющих моделей D -знаков	96
2.4 Определение u -меры для кратчайших путей и D -отрезков на множестве атомарных элементов.....	108
2.5 Подпути кратчайших путей и их свойства	117
2.6 Выводы по разделу 2.....	131
РАЗДЕЛ 3 МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗОВ	
БИНАРНЫХ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ	
ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ НА ДИСКРЕТНОМ МНОЖЕСТВЕ АТОМАРНЫХ	
ЭЛЕМЕНТОВ	
3.1 Аналитическое обоснование метода автоматического моделирования образов растровых цифровых бинарных изображений на дискретном множестве атомарных элементов.....	135
3.2 Определение элемента покрытия и его структурных составляющих. Понятие покрытия GT-объекта и установление максимального размера элемента покрытия.....	138
3.3 Полное покрытие путей элементами покрытия. Определение модели фрагмента пути, характеризуемого сохранением локально-глобального направления	144
3.4 Метод автоматического формирования моделей образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов.....	156
3.5 Подобие моделей путей и D -знаков. Сходство моделей GT-объектов как образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов. П-валидная модель D -знака.....	162

3.6 Выводы по разделу 3.....	170
РАЗДЕЛ 4 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ.....	
4.1 Обоснование выбора метода адаптивной бинаризации как основы информационной технологии предварительной обработки сканированных документов электронных информационных ресурсов.....	175
4.2 Информационная технология генерации GT-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на множестве атомарных элементов.....	186
4.3 Информационная технология автоматического моделирования GT-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов	193
4.4 Информационная технология именования и распознавания бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов.....	201
4.5 Структура комплекса информационных технологий автоматического анализа, моделирования, именования и распознавания растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов	210
4.6 Выводы по разделу 4.....	216
РАЗДЕЛ 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДОВ, МОДЕЛЕЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАСПОЗНАВАНИЯ И ИМЕНОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	
5.1 Анализ результатов апробации разработанных методов, моделей и информационных технологий автоматизации процессов приведения сканированных копий документов к редактируемому формату.....	219

5.2 Перспективные направления исследований по автоматическому моделированию, именованию и распознаванию растровых изображений.....	227
5.3 Выводы по Разделу 5	232
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	235
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	240
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	241
ПРИЛОЖЕНИЕ А. АКТЫ И СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	275
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПРИМЕРЫ СКАНИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ БИБЛИОТЕК И АРХИВОВ	280
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПРИМЕРЫ ДОКУМЕНТОВ КОММЕРЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	282
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПРИМЕРЫ КОНСТРУТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ	284

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Задачи учета, обработки, анализа и хранения больших объемов информации, содержащейся в различного рода документах, является неотъемлемой частью работы любого учреждения или организации. Библиотеки, архивные организации и музеи, выполняющие общественно-коммуникативную функцию как базовые элементы культурной, образовательной и информационной инфраструктуры, должны эффективно обеспечивать хранение, накопление и доступ к документам и содержащейся в них информации с целью реализации конституционных прав граждан Донецкой Народной Республики, связанных с удовлетворением информационных потребностей, свободы литературного, художественного, научного и технического творчества, защитой интересов субъектов авторского права и смежных прав. Функционирование органов государственного управления, предприятий крупного, среднего и малого бизнеса различных форм собственности невозможно без совокупности процессов, которые обеспечивают документирование управленческой информации и организацию работы с документами.

Подготовка, формирование и сопровождение рабочей конструкторской документации предполагают необходимость создания, накопления, учета, анализа, систематизации и хранения больших объемов различных документов, таких как чертежи, схемы, графики, таблицы, отчеты и прочие. Решение перечисленных задач позволяет, в частности, автоматизировать технологические процессы; усовершенствовать производство; модернизировать оборудование; повышать качество, расширять ассортимент и снижать себестоимость готовой продукции; увеличивать надежность и безопасность производственных линий.

Эффективная организация труда сотрудников библиотек, архивных и музейных учреждений, отделов делопроизводства промышленных предприятий, конструкторских проектных бюро на сегодняшний день предполагает внедрение и эксплуатацию современных информационных технологий (ИТ) для решения множества практических и прикладных задач.

Современные тенденции к компьютеризации информационных структур в рамках используемых средств автоматизации определяют создание и применение электронных информационных ресурсов, которые постепенно вытесняют традиционные документы на бумажных носителях.

При этом возникают задачи, связанные с потоковым сканированием, вводом и распознаванием полнотекстовых документов; сканированием и распознаванием документов с занесением данных в систему для ускорения анализа и увеличения достоверности информации; преобразованием чертежей в векторную форму представления; конвертации форматов документов; приведения документов к редактируемому формату; индексации сканированных копий документов; эффективной организацией процессов хранения электронных документов и поиска, предполагающие аналитическую обработку изображений.

Анализ современных тенденций развития информационных технологий обосновывает актуальность автоматизации процессов поиска и аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов. В Статье 8 Закона об информации и информационных технологиях, принятого Народным Советом Донецкой Народной Республики 07 августа 2015 года (Постановление № I-278П-НС) отмечена необходимость обеспечения права граждан на доступ к информации, накапливаемой в открытых фондах библиотек, музеев и архивов, а также в государственных информационных системах, информационных системах органов местного самоуправления и иных информационных системах, созданных или предназначенных для обеспечения физических и юридических лиц такой информацией.

Задачи анализа, распознавания и приведения к редактируемому формату электронных копий документов в системах документооборота различных предприятий и организаций в настоящее время решаются разработчиками систем оптического (optical character recognition) и интеллектуального (intelligent character recognition) распознавания текста. Использование современных технологий распознавания зрительных образов предоставляет пользователям возможности поиска информации по содержимому файлов в форматах PDF, Jpeg, TIFF, bmp, gif,

png, dib в отсканированных страницах книг, рекламных буклетов, электронных копиях подписанных договоров, презентациях, анкетным формам и других документах; автоматической индексации электронных копий документов для поиска по содержимому на Internet-серверах Google; обучения системы распознавания знакам алфавитов, изначально не присутствовавшим в базовом наборе эталонов, с целью анализа текстов, содержащих нестандартные символы.

Таким образом, на сегодняшний день одной из актуальных научных задач в направлении развития и усовершенствования процессов и систем автоматизации документооборота является эффективное приведение электронных копий документов к редактируемому формату на основе разработки моделей, методов и ИТ автоматической обработки цифровых изображений знаков открытых алфавитов, которые позволяют осуществлять классификацию и именование объектов безотносительно к предметной области, специфике информационного контекста документов и используемым словарям, шрифтам и символам в теории распознавания зрительных образов.

Степень разработанности темы исследования. Решение задач развития теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота путем разработки средств автоматизации поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов в настоящее время осуществляется, как правило, на основе применения современных подходов, методов, способов и соответствующих алгоритмов теории распознавания зрительных образов к электронным копиям документов.

За последние десятилетия сформировано множество фундаментальных подходов к решению задач автоматизации процессов обработки, анализа и распознавания зрительных образов в сканированных документах, различающихся целями обработки, предметной областью применения, природой используемой информации и математическим аппаратом. Среди них наибольшими возможностями обладают структурные методы (весомый вклад в развитие данного направления внесли Д. Альвес, М. Бауэр, Е. Брондизио, Л. Брюззон, Дж.Б. Коллинс, Р. Конгэлтон, П.Р. Коппин, С. Франклин, П. Фернандес, Т. Фанг,

Дж.Р. Дженсен, А. Хьюэстар, Э. Лэмбин, Е. Морен, Р. Нэльсон, С. Серпико, Д. Тауншенд, К.Е. Вудкок, а среди отечественных ученых – Ю.И. Журавлев, Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, Л.М. Местецкий, Ю.П. Пытьев, В.В. Сергеев, А.И. Чуличков, А.Ю. Рубис, В.С. Горбацевич), детерминистские подходы (в данном направлении следует отметить таких исследователей, как Д. Хьюбел, Т. Визел, Т. Кохонен, М. Турк, А. Петланд, Д. Хинтон, Я. Лекун, Гонсалес Р., Дуда Р., Ли К., Прэтт У., Форсайт Д.А., Фу К., Хорн Б.К.П., Павлидис Т., Глушков В.М., Журавлев Ю.И., Сойфер В.А., Шлезингер М.И., Местецкий Л.М.), а также методы, основанные на теории решений, разработкой и внедрением которых занимаются Дж.З. Ванг, А.Гупта, С. Карсон, Дж.П. Эйкинс, Н.С. Байгарова, Е.П. Путятин Ю.А. Бухштаб и другие. Также широко распространены комбинации различных методов, направленные на эффективное решение прикладных задач распознавания зрительных образов.

В последние годы перечисленные подходы прочно утвердились как проверенные и надежные методы обработки изображений различных классов, в том числе сканированных документов электронных информационных ресурсов, и они активно развиваются во всем мире, о чем свидетельствует значительное количество публикаций и международных конференций по данной тематике.

Однако, не смотря на то, что разработанные на основе теории распознавания образов системы приведения сканированных копий документов к редактируемому формату успешно внедрены более чем в 30 странах мира, вследствие чего существенно повысилась эффективность работы с электронными информационными ресурсами за счет использования современных технологий распознавания, результаты автоматической обработки широкого класса документов (сканированных книг, содержащих математические, химические символы, знаки нестандартных алфавитов, анкет, бланков, заявок, удостоверений личности, карточек складского учета, приказов, форм, таблиц, коммерческих предложений, чертежной и проектной документации) в общем случае не соответствуют пользовательским потребностям.

Данный факт обусловлен, в частности, значительным количеством ошибок, допускаемых при распознавании слабо структурированных либо неструктурированных текстов; сложностью автоматической интерпретации нестандартных, специальных и рукописных символов; низким качеством электронных копий документов, полученных в результате сканирования и, как следствие, содержащих помехи (шумы), что во многих случаях приводит либо к неверной интерпретации символов, либо делает распознавание невозможным; отсутствием единых правил анализа полнотекстовых документов; ограниченностью наборов словарей, используемых при распознавании.

Избежать указанных недостатков возможно путем разработки методов и информационных технологий обработки сканированных копий документов электронных информационных ресурсов, содержащих знаки различных алфавитов, в том числе открытых, при этом их реализация должна осуществляться в автоматическом режиме безотносительно к априорному выбору значащих свойств, множеств имен классов и изображений знаков – объектов обучающей выборки, поскольку указанный выбор существенно ограничивает функциональность систем распознавания изображений.

Цель и задачи исследования. Целью работы является совершенствование современных компьютерных систем автоматизации документооборота на основе развития методов и информационных технологий автоматического моделирования, именованного и классификации растровых цифровых изображений.

Достижение поставленной цели осуществляется путем решения следующих основных задач:

- обзор современных компьютерных систем автоматизации документооборота, анализ методов распознавания и приведения к редактируемому формату сканированных документов электронных информационных ресурсов и определение значений показателей качества функционирования указанных систем;
- обоснование перспективных направлений развития компьютерных систем автоматизации документооборота путем совершенствования существующих, а

также разработки инновационных методов и принципов моделирования, классификации и распознавания цифровых изображений;

– развитие теоретических основ моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений (РЦИ) знаков в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов;

– развитие и внедрение в компьютерных системах автоматизации документооборота метода автоматического моделирования цифровых изображений знаков открытых алфавитов, не предполагающего априорного задания множеств производных элементов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений для его реализации;

– развитие информационных технологий автоматизации систем документооборота за счет автоматической обработки, анализа, моделирования, именованя, классификации и распознавания изображений знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях документов электронных информационных ресурсов;

– апробация разработанных методов и ИТ на изображениях знаков открытых алфавитов в экзаменационной выборке документов, относящихся к разнообразным сферам деятельности компьютерных систем автоматизации документооборота;

– подтверждение полученных в диссертационном исследовании результатов путем сравнительного анализа данных, определенных в ходе экспериментальной апробации использования разработанных моделей, методов и ИТ для преобразования к редактируемому формату сканированных копий документов в компьютерных системах автоматизации документооборота.

Объект исследования: компьютерные системы автоматизации документооборота, реализующие анализ и распознавание сканированных копий документов электронных информационных ресурсов.

Предмет исследования: теоретические основы и информационные технологии моделирования, классификации и распознавания цифровых изображений как средство автоматизации компьютерных систем документооборота.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые предложен общий подход к решению задачи автоматического моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов без априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и множества элементов репрезентативной выборки, традиционно используемой на этапах проектирования и разработки систем преобразования сканированных копий документов к редактируемому формату, что позволило отказаться от использования непроектируемых элементов, эталонов, значащих признаков, мер близости и пороговых констант, либо интервалов их значений, для описания и классификации анализируемых объектов.

2. Впервые представлено обоснование выбора образов изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, в качестве объектов исследования в комплексе задач их автоматического моделирования, именования и классификации, что позволило конструктивно учесть специфику представления сканированных копий документов в цифровом формате средствами используемой электронно-вычислительной техники и, как следствие, осуществлять процессы анализа непротиворечиво к результатам дискретизации исходных изображений.

3. Для путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов, впервые введены понятия различной ориентации, позволяющие на дискретном множестве учитывать такие характеристики, которые в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости, определенных для кривых в терминах свойств всюду плотных множеств и позволяющих, в частности, учитывать локальные свойства соответствующих объектов, моделирующих изображения знаков, например, в признаковых и структурных подходах к распознаванию.

4. На множестве атомарных элементов для путей, формирующих представление образов растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, впервые даны определения взаимного расположения элементарных

составляющих моделей, что позволило конструктивно определить различные типы пар путей и способы установления атрибутов для каждой из них. Вследствие этого автоматическое моделирование позволило учитывать для описания объектов исследования наличие пересечений, касаний и иных относительных характеристик, которым ставятся в соответствие значения соответствующих атрибутов.

5. Впервые на множестве атомарных элементов предложено понятие меры объектов, аналогичное градусной мере, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, что позволило в процессе моделирования дискретных образов изображений знаков открытых алфавитов измерять и учитывать характеристики путей, аналогичные значениям меры угла между парой отрезков и меры угла наклона отрезка к горизонтали.

6. Впервые предложено определение подпутей различных уровней, что предоставило возможность при моделировании относительных характеристик, устанавливаемых на множестве путей образа цифрового изображения знака, учитывать, в частности, различие их длин по мере, равной числу связей, составляющих конкретный путь. При этом для каждого пути критериально установлены «допустимые» пределы изменения меры его «длины», так как многократная генерация одноименных изображений не всегда характеризуется равенством продолжительностей соответствующих элементарных составляющих.

7. Впервые конструктивно определен элемент, используемый для покрытия путей с целью их автоматического моделирования, и его количественные и структурные параметры, что позволило ввести понятие полного покрытия пути и формализовать правила выявления фрагментов, характеризуемых сохранением локально-глобальных направлений движений, реализованных в процессе генерации прообраза исходного знака.

8. Впервые введено понятие моделей фрагмента и всего образа цифрового изображения знака на множестве атомарных элементов как совокупности дискретных отрезков, что при различных значениях размеров элементов покрытия и их секторов позволило сформировать множество математических моделей

каждого образа как множества путей. Выбор дискретного отрезка как единой структурной составляющей моделей также теоретически обоснован в работе.

9. В диссертационной работе впервые определены понятия сходства, подобия и эквивалентности моделей дискретных образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, что позволило разработать информационную технологию автоматического представления, именованя, классификации и распознавания объектов исследования настоящей работы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Получившие развитие в диссертационной работе модели, методы и информационные технологии являются оригинальными теоретическими положениями и позволяют усовершенствовать современные компьютерные системы автоматизации документооборота за счет повышения точности распознавания содержимого сканированных копий документов электронных информационных ресурсов различных предприятий и организаций безотносительно к их сфере профессиональной деятельности, связанной с обработкой и преобразованием графической информации, представленной в редактируемом формате.

Применение результатов диссертационного исследования позволяет повысить точность распознавания сканированных копий документов электронных ресурсов, содержащих изображения знаков произвольных алфавитов, на величину до 32,62 %, что является качественным показателем практической значимости разработанных моделей, методов и информационных технологий.

Комплекс информационных технологий автоматической обработки, именованя, классификации и распознавания растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, основанный на предложенных в работе методах и моделях, использован в системе документооборота ООО «МСталь» (г. Кимры, РФ) при решении задач приведения сканированных копий документов к редактируемому формату, что позволило решить задачи эффективного учета, хранения, сортировки, систематизации и анализа коммерческих предложений контрагентов ООО «МСталь», и в целом привело к повышению точности принятия решений по выбору коммерческих предложений из множества поступивших,

снизило объемы хранимой электронной документации и уменьшило экономические потери, возникающие вследствие допущенных ошибок при анализе коммерческих предложений (Акт о внедрении утвержден Генеральным директором ООО «МСталь» Сабиным С.А. «3» декабря 2019 г. и проректором по научной и инновационной деятельности ГОУВПО «ДОННУ» д-ром техн. наук, проф. Сторожевым В.И. «5» декабря 2019 г).

Предложенные в работе методы, модели и информационные технологии внедрены в специализированном конструкторском бюро ООО «Бета ТВ ком» (г. Донецк) для автоматизации технологических процессов накопления, учета, анализа, систематизации и хранения больших объемов технической документации. Применение полученных в работе результатов позволило усовершенствовать производственные процессы предприятия, повысить качество, расширить ассортимент и сократить сроки изготовления продукции, в частности, одно- и двусторонних печатных плат с металлизацией отверстий и защитной маской (в том числе СВЧ). (Акт о внедрении утвержден Генеральным директором ООО «Бета ТВ ком» Ушаковым А.Н. «6» декабря 2019 г. и проректором по научной и инновационной деятельности ГОУВПО «ДОННУ» д-ром техн. наук, проф. Сторожевым В.И. «6» декабря 2019 г).

Методы, модели и информационные технологии, разработанные в диссертационной работе, приняты к использованию архивом ГПОУ «Донецкий транспортно-экономический колледж», что позволило упростить процессы упорядочивания электронных копий документов и обеспечения оперативного доступа к ним, повысить эффективность поиска и отображения архивных документов. Как следствие, упрощена классификация дел и рубрикация документов с учетом различных форм, осуществлена возможность хранения не только карточек документов, но и соответствующих электронных образов документов, обеспечен удаленный доступ пользователей к электронным образам дел и документов (Акт о внедрении утвержден директором ГПОУ «Донецкий транспортно-экономический колледж» Демурой Ю.Н. «11» декабря 2019 г. и

проректором по научной и инновационной деятельности «ДОННУ» д-ром техн. наук, проф. Сторожевым В.И. «11» декабря 2019 г).

Подход к автоматическому моделированию и распознаванию изображений знаков без априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и множества элементов репрезентативной выборки; обоснование выбора образов изображений знаков открытых алфавитов в качестве объектов исследования в комплексе задач их автоматического моделирования, именования и классификации; понятия различной ориентации путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов; метод многоуровневого моделирования знаков использованы в качестве основного материала для проведения лекционных и лабораторных занятий по дисциплинам «Прикладные информационные технологии 5, 6» для студентов ОП «Бакалавриат», по дисциплинам «Прикладные информационные технологии», «Анализ и обработка изображений» для студентов ОП «Магистратура» направлений подготовки 02.03.02, 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»; основные теоретические положения диссертационного исследования использованы при выполнении дипломных работ и магистерских диссертаций студентами ОП «Бакалавриат» и «Магистратура» указанных направлений подготовки; разработанный комплекс информационных технологий решения задач приведения сканированных копий документов к редактируемому формату внедрен и апробирован в ходе прохождения производственных и преддипломных практик студентами указанных направлений подготовки. Внедренные результаты диссертационного исследования позволили активизировать учебный процесс при подготовке высококвалифицированных специалистов в области информационных технологий и математического моделирования, а также актуализировать материал лекционных и лабораторных занятий в соответствии с современными тенденциями развития компьютерных наук (подтверждено справкой о внедрении № 5506/01-27/6.1.0 от «12» декабря 2019 г).

Документы, подтверждающие практическое использование полученных в диссертационной работе результатов, представлены в Приложении А.

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач в диссертационной работе использованы методологии и методы: математического моделирования, позволившие определить основные теоретические положения и метод автоматического моделирования образов изображений знаков на дискретном множестве атомарных элементов; теории информации и кодирования, на основании которых определены структура и основные элементы математических моделей распознаваемых образов; теории распознавания образов, согласно которым установлены способы и механизмы классификации и именования анализируемых объектов; автоматического анализа сложных изображений, позволившие разработать комплекс информационных технологий автоматической обработки, анализа, моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов; современные методы программирования, которые применялись в процессе практической апробации возможностей использования результатов диссертационной работы для эффективного преобразования сканированных копий документов электронных информационных ресурсов в редактируемый формат.

Положения, выносимые на защиту. Все основные идеи, положения, теоретические и практические результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. К таковым относятся:

1. Общий подход к решению задачи автоматического моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов в терминах дискретного множества, отличающийся от общепринятых отсутствием априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и элементов репрезентативной выборки, безотносительно к выбору эталонов, значащих признаков, мер близости и пороговых констант.

2. Определения различной ориентации путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов

изображений знаков, которые в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости кривых в терминах всюду плотных множеств.

3. Определения взаимного расположения элементарных составляющих моделей образов растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, отличающиеся конструктивизмом в описании моделируемых объектов пересечений, касаний и иных относительных характеристик, которым ставятся в соответствие значения соответствующих атрибутов.

5. Мера классов объектов на множестве атомарных элементов, аналогичная градусной мере, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, использование которой позволяет учитывать количественные и качественные характеристики путей.

6. Определение подпутей различных уровней и критериальное установление «допустимых» пределов изменения меры их «длин» с целью учета возможных вариативностей в используемых элементарных составляющих математических моделей.

7. Определение элемента покрытия путей при их автоматическом моделировании и его количественных и структурных параметров, понятие полного покрытия пути и установление правил выявления фрагментов, характеризуемых сохранением локально-глобальных направлений движений, реализованных в процессе генерации прообраза исходного знака.

8. Понятия моделей фрагмента и всего образа цифрового изображения знака на множестве атомарных элементов как совокупности дискретных отрезков, обоснование выбора дискретного аналога отрезка как единой структурной составляющей генерируемых моделей.

9. Определения понятия сходства, подобия и эквивалентности моделей дискретных образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, положенных в основу информационной технологии автоматического представления, именованя, классификации и распознавания образов бинарных цифровых изображений знаков, содержащихся в сканированных копиях документов электронных информационных ресурсов.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации.

Изложенные в диссертационном исследовании положения, выводы и рекомендации по использованию являются достоверными, что подтверждается:

– достаточной полнотой критического анализа классических и современных литературных источников, содержащих фундаментальные и актуальные результаты прогрессивных исследований в предметной области решаемой задачи;

– корректным и последовательным изучением методов, моделей, способов и алгоритмов автоматизации процессов и систем документооборота;

– грамотным применением математического аппарата, теории распознавания изображений, средств математического моделирования, структурным и логическим изложением теоретических положений и практических разработок и рекомендаций;

– обоснованным выбором методологической базы исследования, способами и формами проведения апробации и сравнения рассматриваемых в работе и разработанных автором информационных технологий и систем.

Основные результаты исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение на VIII Международной научно-технической конференции «Контроль и управление в сложных системах» (Винница, 2005), XIII Международной научной конференции по автоматическому управлению «Автоматика-2006» (Винница, 2006), VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2007» (Одесса, 2007), XI Научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании и управлении» (Новая Каховка, 2009), Научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Донецкого национального университета по итогам научно-исследовательской работы за период 2007-2008 гг. (Донецк, 2009), VIII Международной научно-практической конференции «Математическое и программное обеспечение интеллектуальных систем» (Днепропетровск, 2010), VIII, IX, XI Международных научно-практических конференциях «Современные информационные и электронные технологии» (Одесса, 2007, 2008, 2010), II

Международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды» (Нальчик, 2011), I Международной научной конференции «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности» (Донецк, 2016), Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Донецкие чтения 2017: русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса» (Донецк, 2017), IV Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» (Горловка, 2018), III Международной научной конференции «Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (Донецк, 2018), II Международной научно-практической конференции «Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2018)» (Донецк, 2018), IV Международной научной конференции «Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» (Донецк, 2019).

Публикации. По результатам диссертации опубликовано 32 научные работы, из них 18 – в ведущих специальных изданиях, 14 – в материалах и тезисах конференций.

Соответствие темы и содержания диссертации паспорту научной специальности.

Полученные результаты, положения и выводы отвечают требованиям паспорта специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки), в частности: п.3 «Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТП) и т. д.»; п.4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и

объектов управления и их алгоритмизация»; п.8 «Формализованные методы анализа, синтеза, исследования и оптимизация модульных структур систем сбора и обработки данных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.»; п.15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.)»; п.18 «Средства и методы проектирования технического, математического, лингвистического и других видов обеспечения АСУ».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 325 наименований на 34 страницах, содержит четыре приложения на 11 страницах. Работа содержит 5 таблиц, 68 рисунков. Общий объем диссертации составляет 285 страниц, из них 274 страницы основного текста.

РАЗДЕЛ 1

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ
ОСНОВ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ
ДОКУМЕНТООБОРОТА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В разделе проанализированы современные тенденции и обоснована актуальность автоматизации процессов поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов библиотек, музеев, архивных учреждений, промышленных предприятий, использующих системы электронного документооборота, конструкторских и проектных бюро. Исследованы современные средства автоматического распознавания документов электронных информационных ресурсов рассмотренных отраслей и осуществлены анализ и оценка результатов их использования для приведения сканированных документов к редактируемому формату. Изучены недостатки современных OCR-систем, снижающие эффективность автоматизации поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов. Определены и обоснованы перспективные направления разработки методов и информационных технологий аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов и сформулирована постановка задачи диссертационного исследования.

1.1 Тенденции автоматизации процессов поиска и аналитической обработки
электронных информационных ресурсов

В настоящее время необходимость учета, обработки, анализа и хранения больших объемов информации, содержащейся в различного рода документах, является неотъемлемой частью работы практически любого учреждения [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. В частности, согласно [15, 16, 17, 18, 19], библиотеки, архивные организации и музеи, выполняющие общественно-коммуникативную

функцию как базовые элементы культурной, образовательной и информационной инфраструктуры, должны эффективно обеспечивать хранение, накопление и доступ к документам и содержащейся в них информации с целью реализации конституционных прав граждан, связанных с удовлетворением информационных потребностей, свободы литературного, художественного, научного и технического творчества [16 (с. 3)], защитой интересов субъектов авторского права и смежных прав [20].

Функционирование органов государственного управления, предприятий крупного, среднего и малого бизнеса различных форм собственности, страховых обществ, банковских учреждений, инвестиционных компаний и прочих невозможно без делопроизводства [4 (с. 11), 21, 22, 23, 24, 25, 26] – совокупности процессов, которые обеспечивают документирование управленческой информации и организацию работы со служебными документами [27]. Основными задачами служб делопроизводства являются: установление единого порядка работы с документами; документационное обеспечение на основе использования современной техники; автоматизация работы с документами и сокращение количества документов; организация документооборота – движения служебных документов от даты их создания или получения до даты завершения выполнения или отправления [4 (с. 6), 22 (с. 9), 26 (с. 17), 28].

Подготовка, формирование и сопровождение рабочей конструкторской документации, необходимой для производства разнообразного оборудования, станков, изделий, промышленных товаров [19 (с. 34)]; изготовление чертежей, проектной, конструкторско-технологической и эксплуатационной документации [29]; разработка систем учета и контроля ресурсов предприятий [30] и другие виды работ [31], выполняемых конструкторскими и проектными бюро (КПБ), предполагают необходимость создания, накопления, учета, анализа, систематизации и хранения больших объемов различных документов, таких как чертежи, схемы, графики, таблицы, отчеты и прочие [1 (с. 22), 2 (с. 10), 3 (с. 28), 4 (с. 51), 5 (с. 13), 6 (с. 5), 7 (с. 34)]. Решение перечисленных задач указанными бюро позволяет, в частности, промышленным предприятиям: автоматизировать

технологические процессы; усовершенствовать производство; модернизировать оборудование; повышать качество, расширять ассортимент и снижать себестоимость готовой продукции; увеличивать надежность и безопасность производственных линий [19 (с. 49)].

Эффективная организация труда сотрудников библиотек, архивных и музейных учреждений, отделов делопроизводства промышленных предприятий, КПБ на сегодняшний день предполагает внедрение и эксплуатацию современных информационных технологий [3 (с. 21), 5 (с. 52), 6 (с. 7), 34 (с. 56), 35]. Применение ИТ позволяет ставить и решать такие актуальные задачи, как:

- создание сводного каталога, единого национального депозитария, а также повышение эффективности использования и обеспечения доступности документов, хранящихся в библиотечных, архивных и музейных фондах [28 (с. 14), 34 (с. 26)];

- разработка информационно-поисковых систем, средств информационного обеспечения организаций и учреждений в рамках интеграции с отечественными и зарубежными научными и образовательными центрами [6 (с. 10), 33 (с. 12)];

- ведение, учет и систематизация документов, а также снижение временных затрат на поиск, сбор и копирование документов сотрудниками предприятий, КПБ [3 (с. 15), 36 (с. 8), 37];

- обеспечение конфиденциальности и сохранности документов и содержащейся в них информации [20 (с. 33)];

- проверка подлинности документов, соблюдение авторских и смежных прав [38], и другие [4 (с. 19), 8 (с. 26), 22 (с. 12), 27 (с. 5)].

Объективная необходимость автоматизации библиотечного, архивного и музейного дела, делопроизводства промышленных предприятий, КПБ с использованием ИТ, обусловленная многообразием задач по аналитической обработке и поиску информации [1 (с. 5)], а также значительными затратами временных и трудовых ресурсов на их решение [14 (с. 14)], предопределила появление и развитие автоматизированных библиотечно-информационных систем (АБИС), электронных архивов документации (ЭАД), систем электронного документооборота (СЭД), систем автоматического проектирования (САПР).

Рассмотрим основные задачи и функции систем перечисленных типов.

АБИС – автоматизация и систематизация процесса комплектования и обработки фонда библиотеки, создание баз данных электронных каталогов и ресурсов, обеспечение поиска информации, а именно: каталогизация, систематизация и перевод в электронную форму библиотечных ресурсов, осуществление в автоматизированном режиме библиотечно-информационных процессов, обслуживание пользователей и обеспечение доступа к информационным ресурсам библиотеки, отслеживание библиотечных фондов [39, 40].

ЭАД – упорядоченное хранение электронных копий документов, предполагающее: формирование, ведение и учет документального архивного фонда организации; безопасное хранение, оперативный доступ, эффективный поиск и отображение архивных документов, поточное сканирование и распознавание документов, классификация дел и рубрикация документов с учетом различных форм, хранение не только карточек документов, но и соответствующих электронных образов документов (текстов/отсканированных изображений), обеспечение удаленного доступа пользователей к электронным образам дел и документов с гибкой иерархией разграничения прав [18 (с. 2), 41, 42, 43, 44].

СЭД – обеспечение процессов создания, управления доступом и распространения электронных документов, контроля над потоками документов в организации, а также: контроль отправления, передачи, получения, хранения, использования и уничтожения документов (в том числе электронных), которые выполняются с применением проверки целостности и, в случае необходимости, с подтверждением факта получения таких документов; сканирование и распознавание документов; резервное копирование, осуществление систематизации архива [45, 46, 47, 48, 49].

САПР – автоматизация проектной и конструкторской деятельности, направленная, в частности, на эффективное использование бумажных чертежей, планов, схем при создании новых проектов; сокращение трудоёмкости проектирования и планирования; сокращение сроков, а также себестоимости

проектирования и изготовления продукции; уменьшение затрат на эксплуатацию; повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования; сокращение затрат на натурное моделирование и испытания [50, 51, 52, 53].

Системы каждого из перечисленных типов получили широкое распространение в Российской Федерации и за ее пределами. Одними из наиболее известных систем [53, (с 2)], используемых для автоматизации процессов соответствующих отраслей, являются: АБИС «ИРБИС» (разработчик – Международная Ассоциация пользователей и разработчиков электронных библиотек и новых информационных технологий ЭБНИТ) [54] и «Фолиант» (разработчик – РЦ НИТ совместно с НБ ПетрГУ) [55]; ЭАД «АРХИВНОЕ ДЕЛО» (разработчик – «ЭОС – системы») [56] и «СПДС-АРХИВ» (разработчик – «АрхиСОФТ») [57]; СЭД «АСКОД» (разработчик – ЦКТ «ИнфоПлюс») [58] и ОРТИМА WorkFlow (разработчик – группа компаний ОРТИМА и ЕС/RG Data) [59]; САПР «КОМПАС» (разработчик – АО АСКОН) [60] и «Schemagee» (разработчик – ООО «Евроинтех») [61].

Современные тенденции к компьютеризации информационных структур в рамках используемых средств автоматизации предопределяют создание и применение электронных информационных ресурсов (ЭИР) [62], которые постепенно вытесняют традиционные документы на бумажных носителях [63, 64]. Отказ от бумажных документов и переход к электронным аналогам определен множеством факторов, среди которых: физический износ и моральное устаревание бумажных носителей информации [65]; значительные затраты времени высококвалифицированных специалистов на поиск, сбор и копирование документов [36 (с. 14)]; отсутствие доступа к оригиналам документов сотрудников из различных территориальных подразделений учреждений [66]; потеря бумажных документов [61 (с. 5)]; затраты, связанные с переоформлением найденных договоров [64 (с. 12)]; трудности и расходы, обусловленные необходимостью хранения и поддержания бумажных носителей в актуальном состоянии [67];

организация иерархии доступа к информации, содержащейся в документах [20 (с. 22)]; контроль за соблюдением авторских прав [38 (с. 22)] и т.д. [44 (с. 8)].

Кроме того, использование бумажных носителей информации делает затруднительным решение таких актуальных задач, как:

- создание и усовершенствование интеллектуальных технологий поиска и аналитической обработки информации, а также внедрение и использование программного обеспечения для информатизации библиотек, архивов и музеев [6 (с. 11)];

- создание информационно-телекоммуникационных систем с высокой пропускной способностью для обеспечения доступа пользователей и постоянного копирования информации [33 (с. 3)];

- автоматизированное и автоматическое ведение учета и систематизации документов, обеспечение полноты и не избыточности хранимой и обрабатываемой информации [5 (с. 18)];

- автоматизированный импорт и конвертация документов [68].

Однако, объемы бумажных документов, участвующих в документообороте, а также специфика и формы представления информации, содержащейся в них, являются факторами, существенно снижающими уровень использования ЭИР в АБИС, СЭД, ЭАД, САПР [17 (с. 12), 19 (с. 2), 43 (с. 15), 62 (с. 22)]. Структура информационных систем библиотек, архивов, промышленных предприятий, КПБ не позволяет на сегодняшний день полностью отказаться от морально (а зачастую и физически) устаревших бумажных носителей [48 (с. 5)], вследствие чего одной из компонент, традиционно интегрируемых в контур соответствующих средств автоматизации, являются системы сканирования и распознавания бумажных документов [69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82].

При этом возникают задачи, связанные с потоковым сканированием [36 (с. 41)], вводом и распознаванием полнотекстовых документов [69 (с. 4), 72 (с. 8)]; сканированием и распознаванием документов с занесением данных в систему для ускорения анализа и увеличения достоверности информации [73 (с. 6)]; преобразованием чертежей в векторную форму представления [83, 84, 85, 86, 87,

88, 89, 90, 91]; конвертации форматов документов [92]; приведения документов к редактируемому формату [93]; индексации сканированных копий документов [51 (с. 3)]; эффективной организацией процессов хранения электронных документов и поиска [33 (с. 7)], и иные [94, 95, 96, 97, 98], предполагающие аналитическую обработку ЭИР. Решение указанных задач при разработке средств автоматизации поиска и аналитической обработки ЭИР осуществляется на основе применения современных подходов, методов, способов и соответствующих алгоритмов распознавания зрительных образов [99, 100, 101, 102, 103] к электронным копиям документов. Анализ средств автоматизации информационных процессов, имеющих место в рассмотренных организациях и учреждениях, а также литературных источников [104, 105, 106, 107], позволил представить обобщенную функциональную схему формирования, обработки и хранения документов ЭИР, приведенную на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Обобщенная функциональная схема системы формирования, обработки и хранения ЭИР

Одними из функций, выполняемых подсистемой ввода и распознавания документов, как показано на рисунке 1.1, является формирование ЭИР и преобразование сканированных документов к редактируемому формату, что позволяет в последующем вносить изменения в электронный документ [25 (с. 4)]; использовать содержащуюся в нем информацию для анализа, передачи, формирования отчетов [37 (с. 12)]; реализовывать полнотекстовый поиск [68 (с. 9)]; классифицировать, хранить и систематизировать данные [33 (с. 17)]; оптимизировать хранение информации [32 (с. 31)] и т.д.

Указанное преобразование, согласно [95 (с. 4)], является одной из наиболее сложных и трудно формализуемых задач по обработке ЭИР, поскольку многообразие форм представления данных на бумажных носителях не предполагает создания единых эффективных и унифицированных средств распознавания для произвольных типов документов [53 (с. 7)].

В соответствии с этим, автоматизация процессов поиска и аналитической обработки ЭИР предполагает качественное решение задач распознавания сканированных документов различных предметных областей, присущих таким учреждениям, как библиотеки, архивы, музеи, промышленные предприятия, КПБ [17 (с. 9), 29 (с. 4), 31 (с. 2)]. Согласно [75 (с. 10)], распознавание и приведение к редактируемому формату указанных документов целесообразно осуществлять в автоматическом режиме, что позволит, в частности, без существенных финансовых затрат эффективно обеспечить систематизацию библиографических и музейных фондов [6 (с. 9)], сформировать единый центр каталогизации с соответствующими справочно-информационными средствами [37 (с. 4)], организовать гибкие системы поиска документов в СЭД и ЭАД [41 (с. 5)], сократить ресурсы, необходимые для хранения и обслуживания архивов, а также улучшить качество и условия работы сотрудников КПБ с документацией, выполненной на бумажных носителях [108].

Задача распознавания и приведения к редактируемому формату сканированных документов в настоящее время решается разработчиками систем оптического (OCR – optical character recognition) [92] и интеллектуального (ICR –

intelligent character recognition) [109] распознавания текста [110, 111, 112, 113, 114, 115, 116]. Признанными лидерами на рынке программных продуктов, реализующих ввод, потоковый ввод и распознавание сканированных документов, являются компании ABBYY и Cognitive Technologies [117, 118, 119, 120, 121]. Такие OCR-системы, как FineReader (разработчик – компания ABBYY) [111 (с. 1)] и CuneiForm (разработчик – компания Cognitive Technologies) [112 (с. 1)], лицензированы и успешно используются в качестве подсистем практически во всех системах автоматизации делопроизводства [122, 123, 124, 125], в которых осуществляется преобразование ЭИР из графического в текстовый формат.

Использование OCR и ICR-технологий предоставляет пользователям при работе с различными ЭИР возможности: поиска информации по содержимому файлов в форматах PDF, Jpeg, TIFF, bmp, gif, png, dib по отсканированным страницам книг, рекламных буклетов, электронным копиям подписанных договоров, презентациям, анкетным формам и другим документам [126, 127]; автоматической индексации электронных копий документов для поиска по содержимому на Internet-серверах (например, Google) [128]; обучения системы распознавания знакам алфавитов, изначально не присутствовавшим в базовом наборе эталонов, с целью анализа текстов, содержащих нестандартные символы [129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140].

Как следствие, увеличивается эффективность работы пользователей, поскольку, используя универсальный поиск, имеется возможность найти нужные для работы документы гораздо быстрее, вследствие чего больше времени уделяется решению непосредственных задач делопроизводства. Кроме того, сокращается дублирование работ за счет обеспечения доступа к полному архиву документов и возможности использования подготовленных ранее документов [20 (с. 7)]; ускоряется необходимый доступ к полной актуализированной информации, что позволяет принимать обоснованные решения в более короткие сроки [37 (с. 11)]; сокращаются затраты на обучение сотрудников [15 (с. 4)]; обеспечивается доступ сотрудников из различных территориальных подразделений к оригиналам и

копиям необходимых документов; снижаются издержки, связанные с обслуживанием бумажного документооборота [50 (с. 2)].

Однако, не смотря на то, что системы FineReader и CuneiForm успешно внедрены более чем в 30 странах мира [109 (с. 1)], что позволило существенно повысить эффективность работы с ЭИР за счет использования технологий распознавания, результаты обработки OCR и ICR-системами широкого класса документов (сканированных книг, содержащих математические, химические символы, знаки нестандартных алфавитов, анкет, бланков, заявок, удостоверений личности, карточек складского учета, приказов, форм, таблиц, коммерческих предложений, чертежной и проектной документации) в общем случае не всегда соответствуют пользовательским потребностям [121 (с. 1)].

Данный факт обусловлен, в частности, значительным количеством ошибок, допускаемых при распознавании слабо структурированных либо неструктурированных текстов [135, 136]; сложностью автоматической интерпретации нестандартных, специальных и рукописных символов; низким качеством документов ЭИР [141, 142, 143, 144], полученных в результате сканирования и, как следствие, содержащих помехи (шумы), что во многих случаях приводит либо к неверной интерпретации символов [145, 146, 147, 148], либо делает распознавание невозможным [149, 150, 151, 152, 153]; отсутствием единых правил анализа полнотекстовых документов [154, 155, 156, 157]; ограниченностью наборов словарей, используемых OCR и ICR-технологии при распознавании [121 (с. 1)].

В следующем подразделе проведем анализ результатов работы наиболее востребованных на рынке программных продуктов OCR-систем применяемых для приведения к редактируемому формату сканированной документации с целью обоснования перспективных направлений по разработке методов и информационных технологий автоматизации поиска и аналитической обработки документов ЭИР библиотек, архивных и музейных организаций, промышленных предприятий и КПБ.

1.2 Современные средства распознавания документов электронных информационных ресурсов

Для оценки эффективности использования OCR и ICR технологий в качестве средств автоматизации процессов поиска и аналитической обработки ЭИР библиотек, архивных и музейных учреждений, промышленных предприятий и КПБ, осуществим анализ качества распознавания соответствующих документов системами «FineReader» и «CuneiForm», выбор которых обоснован в п. 1.1.

Поскольку документам каждой из рассматриваемых отраслей присуща определенная специфика, обусловленная формами и способами представления содержащейся в них информации [108 (с. 2)], во избежание терминологической неоднозначности введем следующее определение, основанное на понятиях электронного [127 (с. 4)] и бумажного документов [25 (с. 9)].

Определение 1.1. Документом электронных информационных ресурсов называется электронный документ, созданный в рамках компьютерной системы вследствие сканирования соответствующим периферийным средством бумажного документа.

В качестве периферийного средства, используемого для формирования документа ЭИР, традиционно используются настольные и ручные сканеры [36 (с. 20)], многофункциональные устройства [11, (с. 47)]. Результатом работы указанного устройства является цифровое изображение [92 (с. 95)], представимое в виде файла одного из графических форматов (например, bmp, TIFF, Jpeg, PDF) [32 (с. 32)]. Примеры цифровых изображений приведены на рисунке 1.2.

Последующая обработка которого осуществляется аппаратными и программными средствами современной цифровой электронно-вычислительной техники (ЦЭВТ).

При раскрытии квадратичной формы $(x-\mu_i)^T \Sigma^{-1} (x-\mu_i)$ обнаруживается, что квадратичное слагаемое $x^T \Sigma^{-1} x$ не зависит от i . Исключая его, снова получим линейные разделяющие функции вида

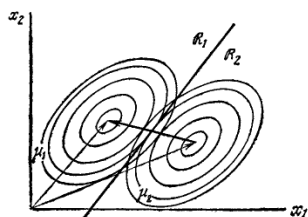


Рис. 2.9. Граница областей решений при использовании классификатора по минимальному махаланобисова расстояния.

$$g_i(x) = w_i^T x + w_{i0}, \quad (41)$$

где $w_i = \Sigma^{-1} \mu_i$ (42)

и $w_{i0} = -\frac{1}{2} \mu_i^T \Sigma^{-1} \mu_i + \log P(\omega_i)$. (43)

Так как разделяющие функции линейны, границы областей решений в этом случае становятся гиперплоскостями (рис. 2.9). Для смежных R_i и R_j граница между ними описывается уравнением

$$w^T (x - x_0) = 0, \quad (44)$$

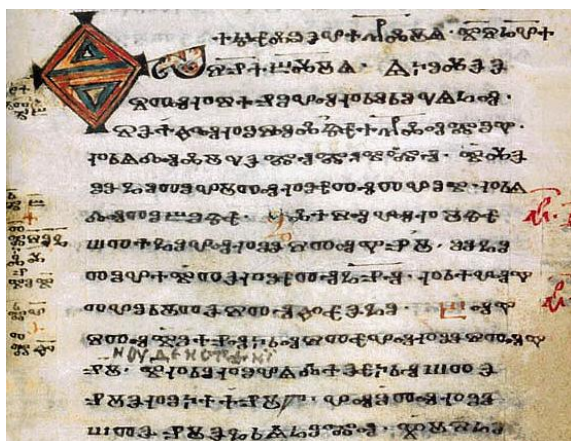
где $w = \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j)$ (45)

и $x_0 = \frac{1}{2} (\mu_i + \mu_j) - \frac{\log \frac{P(\omega_i)}{P(\omega_j)}}{(\mu_i - \mu_j)^T \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j)} (\mu_i - \mu_j)$. (46)

а)

ВЪЖЕ ПОГАСУБОПІА
 ВЪСХІЩЮСІАЦЮ· ІСЪ
 СПЪТІШАОБОН· ІБЫ
 СІВЧАДІАІПРОУСЪЩ
 КОПІІЛОМЛЕНІА· І
 ЗВОУКЪЩСІВНІАМІ
 ЧНАГО· ІАКОЖЕНЕЗЕРУ
 ПОМЕРЗЪШЮДВІГНУ

б)



в)

ДѢСЯСОУЖРА. ДѢПЪМІВЪЖ.
 ДѢСНѢМН, ДѢПЪМНѢ БЯ-
 ДѢСНѢМНѢПЪЖУЭ, БЯДѢ-
 ДѢПЪМНѢ ДѢПЪЖУДѢМНУЭ
 ЧДѢКНѢН: ДѢПЪ ДѢПЪ В ДѢДѢМН
 ДѢПЪМНѢМН ДѢПЪ ДѢДЪЖ ДѢДЪЖМН.
 ДѢ. ДѢ. ДѢДѢЖУДѢЖ ДѢПЪМНУЭ
 ДѢЖ ДѢМНѢМН ДѢМНЪЖ: ДѢМН-
 ДѢМНѢМН КѢМ ДѢДѢМН ДѢЖА ЧД-
 ДѢКНѢМ. ДѢ. ДѢМНѢМН ДѢПЪМН.

г)

Рисунок. 1.2 – Фрагменты документов ЭИР библиотек, архивов, музеев, содержащие знаки: а) математического языка [158, 159]; б) старославянской азбуки [160]; в) старой глаголицы; г) новой глаголицы [161]

Документы ЭИР библиотек, архивных и музейных учреждений, промышленных предприятий и КПБ характеризуются, в частности, различными алфавитами, знаки которых используются для фиксации информации на исходном носителе, как правило, бумажном [28 (с. 51)]. На рисунке 1.2 также приведены фрагменты документов ЭИР библиотек, архивов и музеев, содержащих знаки старославянской азбуки, ранней и поздней глаголицы, математические символы.

В документах ЭИР промышленных предприятий присутствуют знаки различных алфавитов, рукописные и специальные символы, формулы, обозначения, таблицы, формы, схемы и т.д., что иллюстрируют примеры, приведенные на рисунке 1.3.

ДОГОВОР № 15599дс

г. Донецк 11 марта 2008 года

Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственная фирма «Днепрогетсервис», именуемое в дальнейшем Продавец, в лице директора Зиновьева А.М., действующего на основании Устава, с одной стороны, и Закрытое акционерное общество «Донецксталь» - металлургический завод, именуемое в дальнейшем Покупатель, в лице директора филиала «Обогащательная фабрика» Антоненко С.А., действующего на основании Доверенности № 20-718 от 28.12.2007 г., с другой стороны, вместе именуемые Стороны, заключили настоящий Договор о нижеследующем:

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Продавец обязуется изготовить по согласованным чертежам и передать в собственность Покупателя, а Покупатель обязуется принять и оплатить согласно условиям настоящего договора металлоконструкции эстакады для кабельных трасс и трубопроводов, именуемые в дальнейшем Товар. Техническая часть, номенклатура, количество, цена и срок поставки Товара оговариваются сторонами в Приложениях (Спецификация) к настоящему договору: в т.ч.:

- приложение № 1 - Техническая часть,
- приложения № 2 - Спецификация чертежей;
- приложения № 3 - График выполнения работ.

1.2. Продавец обязуется передать Товар, который является новым, не бывшим в употреблении, не имеет дефектов (коррозии или иных повреждений), принадлежит ему на праве собственности, не продан или другим способом отчужден третьим лицам, не находится под залогом либо арестом, отсутствуют на этот Товар какие-либо права третьих лиц.

14. РЕКВИЗИТЫ СТОРОН

ПРОДАВЕЦ
 ООО НПФ «Днепрогетсервис»
 Юридический адрес:
 Украина, 49005, г. Днепропетровск,
 ул. Симферопольская, д.21, к.815
 счет № 26000002 в ЗАО АБ«Радабанк»
 г. Днепропетровска
 МФО 306500
 Код ЕГРПОУ 193055558
 ИНН 193055504025
 № свид. 100064162
 Тел. (0562) 38-76-27

ПОКУПАТЕЛЬ
 ЗАО «ДМЗ»
 Юридический адрес:
 Украина, 83062, г. Донецк,
 ул. И.Ткаченко, 122
 Почтовый адрес:
 83055, г. Донецк, ул. Челюскинцев, 174
 счет № 26006198028081 в Донбасском
 филиале ОАО «Кредитпромбанк»
 МФО 335593
 Код ЕГРПОУ 30939178
 ИНН 309391705094, № свид. 40378590

Адрес филиала:
 85334, Донецкая обл.,
 Красноармейский р-н, пгт. Удачная,
 ул. Железнодорожная, 53
 Код ЕГРПОУ 34849944
 Тел. (062) 332-53-48

а)

приложение № 2
к договору №17115,с/39с/1
от 18.08.2008г.

СМЕТА №2
на проектные (гидравлические) работы

Наименование проектирования, строений, сооружений, стадии проектирования, этапы, виды проектных или инженерных работ:

Проект "Ремонт номениний под офис.Бульвар Пушкина,23, встанка 1-и этаж". Архитектурно-строительные решения.Чертежи марки АС

Наименование проектной организации: ЗАО "Донецксталь"-МЗ" Дирекция по организации строительных работ

Наименование организации-заказчика: ООО "СНС "Энерго"

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители		Количество часов	Показатель сметной стоимости в тыс.	Итого заработная плата
		количество	должность			
1	0025-01 АС1 План раскладов балок в кондукторной (лист 2,3)	3	Ведущий инженер	3	221	663,00
Итого по расценке						
2	0025-01 АС1 Марш П1,П2,П4,П1	1	Ведущий инженер	0,7	221	154,70
Итого по расценке						
3	0025-01 АС1 Марш П5-П10	1	Ведущий инженер	0,8	221	176,80
Итого по расценке						
4	0025-01 АС1 Ступенька Ст1	1	Ведущий инженер	0,5	221	110,50
Итого по расценке						
5	0025-01 АС1 Каркас для установки оборудования	1	Ведущий инженер	0,5	221	110,50

б)

ЗАО "ДОНЕЦКСТАЛЬ" - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД"

Начало согласования: **БЛАНК** Окончание согласования:

2008 г. 03.03.2008 г. 04.26 согласования и визирования 2008 г. 03.03.2008 г. 14.03

к договору (контракту) № 15599дс от 11 марта 2008 года

000 НОФ, Днепрогетсервис

№ п/п	ДИРЕКЦИЯ, ОТДЕЛ	ЗАМЕЧАНИЯ	ДАТА и время согласования	ПОДПИСЬ
1	Филиал ОФ		13.03.08	<i>[Подпись]</i>
2	Дирекция по финансам		11.03.08	<i>[Подпись]</i>
3	Дирекция по внутреннему контролю и аудиту	Согласовано количеством прорисовки 1шт - 4800 руб. Максимально 4шт. и/л - 10000 руб. Итого: 48000 руб.	11.03.08	<i>[Подпись]</i>
4	Дирекция по СЭТИ		13.03.08	<i>[Подпись]</i>
5	Дирекция по правовому обеспечению		13.03.08	<i>[Подпись]</i>
6	Дирекция по безопасности		11.03.08	<i>[Подпись]</i>

Рисунок 1.3 – Фрагменты документов ЭИР предприятия, содержащих: а) только печатные символы; б) печатные, рукописные символы и графические элементы; в) печатные символы, часть которых структурирована в виде таблицы; г) печатные и рукописные символы, часть которых структурирована в виде таблицы

Очевидно, что широкий спектр библиотечных, архивных и музейных ресурсов охватывает документы, содержащие, кроме рассмотренных, знаки множества иных алфавитов [139 (с. 2)], включая химические, физические, биологические и другие [40 (с. 31)]. Следует заметить, что часть информации также отображается в виде графиков, схем и прочих структур представления данных [83 (с. 7)]. Примеры соответствующих документов приведены в Приложении Б. В Приложении В также приведены примеры документов промышленного предприятия, содержащих таблицы и иные формы представления информации, обрабатываемой и анализируемой в СЭД.

Документы ЭИР КПБ содержат, в основном, графическую информацию в силу специфики работы данных учреждений [31 (с. 2)], однако примеры, приведенные на рисунке 1.4, показывают, что в них также присутствуют знаки алфавитов, специальные символы и обозначения, используемые, в частности, для маркировки элементов чертежей, схем, диаграмм.

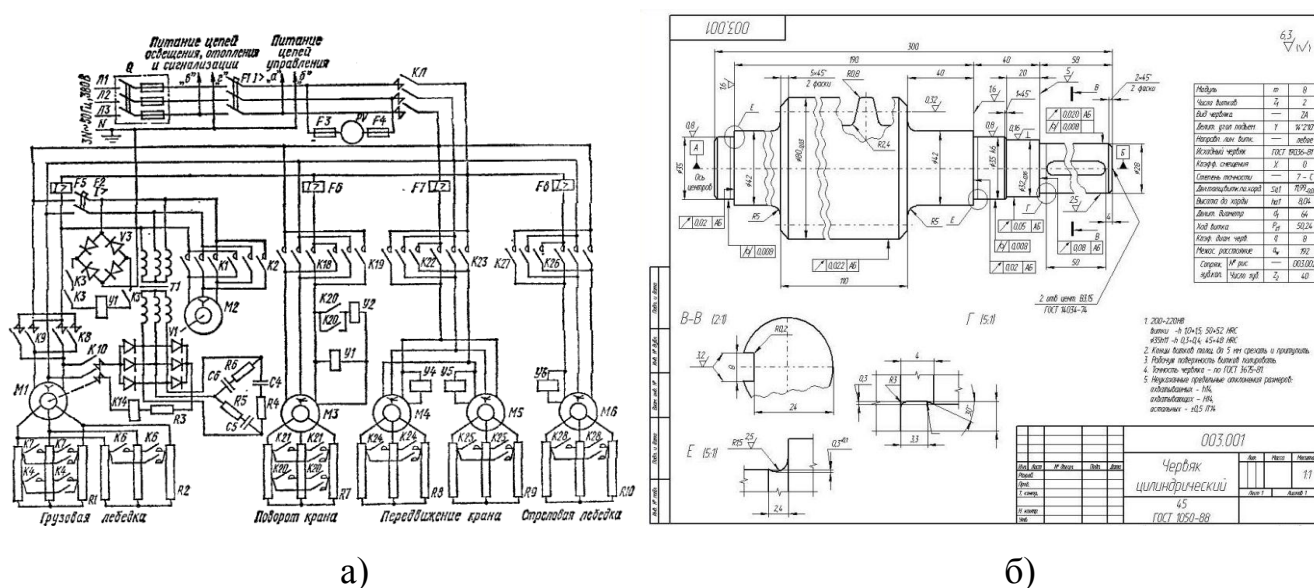


Рисунок 1.4 – Фрагменты документов ЭИР КПБ: а) принципиальная электрическая схема силовой цепи крана КВ401А [162]; б) чертеж червяка цилиндрического [163]

Приложение Г содержит примеры иных документов ЭИР, используемых в КПБ, в которых присутствуют как стандартизованные знаки фиксированных

алфавитов, так и рукописные пометки, замечания, комментарии к представленной информации.

Проведенный анализ документов ЭИР библиотек, архивных и музейных организаций, предприятий и КПБ, а также литературных источников [101 (с. 14), 123 (с. 9), 127 (с. 25)], позволил сформулировать основные требования, предъявляемые к современным OCR и ICR-системам, которые применяются для автоматизации процессов поиска и аналитической обработки сканированной документации.

1. Предоставление пользователю возможности осуществлять редактирование результатов распознавания обработанного OCR-системой документа ЭИР в выбранном алфавите, что позволит повысить эффективность использования содержащейся в нем информации, вносить необходимые изменения, индексировать и систематизировать ее для автоматизации процессов поиска и анализа.

2. Предоставление пользователю возможности обучения OCR-системы, которое достигается путем изменения алфавита, в котором реализуется распознавание и последующее редактирование документа ЭИР, за счет добавления новых и модификации имеющихся знаков. Это позволит, в частности, решать задачи автоматизации аналитической обработки сканированных документов, информация в которых представлена с использованием декоративных шрифтов [160 (с. 8), 161 (с. 22)] или знаков, изначально не включенных в базовые наборы алфавитов системы распознавания. Примеры таковых можно увидеть на рисунках 1.2, а), 1.3, б), в), и 1.4.

3. Улучшение результатов распознавания больших объемов (более 100 страниц [36 (с. 10)]) документов ЭИР «плохого качества» [82 (с. 5)] вследствие применения процедур обучения, описанных ранее, что повлечет повышение эффективности представления в электронном редактируемом формате физически изношенных бумажных фондов библиотек, архивных, музейных организаций, КПБ [43 (с. 8)].

4. Предоставление пользователю возможности создания собственных открытых алфавитов, пересечение множества знаков которых с множеством знаков алфавитов системы распознавания пусто. Это, в частности, позволит эффективно осуществлять редактирование и аналитическую обработку сканированных документов, примеры которых приведены на рисунках 1.2, б)-г).

Определим, насколько соответствуют указанным требованиям современные OCR и ICR-системы, используемые с целью автоматизации процессов поиска, индексации, систематизации, каталогизации, анализа, изменения и хранения документов ЭИР библиотек, архивов, музеев, промышленных предприятий и КПБ, поскольку, согласно [82 (с. 19)], от результатов и качества распознавания во многом зависит эффективность функционирования всей системы автоматизации в целом.

Как следует из п. 1.1 и литературных источников [111 (с. 6), 112 (с. 34), 117 (с. 18)], в настоящее время для автоматизации перечисленных процессов путем сканирования и распознавания бумажных документов в подавляющем большинстве АБИС, ЭАД, СЭД, САПР применяются программные продукты «FineReader» и «CuneiForm», производимые соответственно компаниями АBBYУ и Cognitive Technologies. В соответствии с этим, определим значения показателей качества распознавания документов ЭИР библиотек, архивов, музеев, промышленных предприятий и КПБ указанными OCR-системами, а также установим, насколько они удовлетворяют перечисленным выше требованиям.

С этой целью каждой из систем «АBBYУ FineReader 12 Professional Edition» и «OCR CuneiForm v12 Master» были предъявлены для автоматического распознавания документы ЭИР, примеры которых представлены в Приложениях Б-Г к диссертационной работе. Общее количество сканированных и распознанных страниц документов составило 186 экземпляров, содержащих 39858 знаков 11 алфавитов.

Более подробные данные о типах и количествах классов объектов экзаменационной выборки, предложенных системам для автоматического распознавания, а также полученные результаты работы систем, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты работы систем автоматического распознавания

№ п/п	Алфавит	Сфера использования	К-во знаков в экзамен. выборке	OCR CuneiForm v12 Master				ABBYY FineReader 12 Professional Edition			
				К-во верно расп. знаков	К-во ошибок к 1-го рода	К-во ошибок к 2-го рода	К-во не-расп. знаков	К-во верно расп. знаков	К-во ошибок к 1-го рода	К-во ошибок к 2-го рода	К-во не-расп. знаков
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Цифры и матем. символы	АБИС, ЭАД, СЭД	4182	2184	554	1250	194	2670	151	741	620
2.	Химические символы	АБИС, ЭАД, СЭД	3783	1975	501	1131	176	2415	136	670	562
3.	Старославянский	АБИС, ЭАД	1434	749	190	429	66	916	52	254	212
4.	Новая глаголица	АБИС, ЭАД	3381	1766	448	1011	156	2159	122	599	501
5.	Старая глаголица	АБИС, ЭАД	987	515	131	295	46	630	36	175	146
6.	Русский (печ.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	4677	2442	620	1398	217	2986	168	828	695
7.	Русский (рукоп.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	1536	802	204	459	71	981	55	272	228
8.	Английский (печ.)	АБИС, ЭАД, САПР	5205	2718	690	1556	241	3323	188	922	772
9.	Английский (рукоп.)	АБИС, ЭАД, САПР	2271	1186	301	679	105	1450	82	402	337
10.	Украинский (печ.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	9363	4889	1241	2799	434	5978	337	1658	1390
11.	Украинский (рукоп.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	3039	1587	403	909	140	1940	109	539	451

Для проведения анализа данных, представленных в таблице 1.1, использована формула [92 (с. 61)] вычисления точности распознавания (в процентах):

$$P = \frac{\sum_{i=1}^M r_i}{\sum_{i=1}^M R_i} \cdot 100, \quad (1.1)$$

где M – общее количество классов объектов,

r_i – количество правильно распознанных элементов i -го класса,

R_i – количество элементов i -го класса в экзаменационной выборке, $i \in \{1, 2, \dots, M\}$.

Согласно формуле (1.1), для системы «OCR CuneiForm v12 Master» точность распознавания составила 52,22 %, для системы «ABBYY FineReader 12 Professional Edition» – 63,85 %. Используя формулы, аналогичные (1.1), установлено, что системой «OCR CuneiForm v12 Master» допущено ошибок первого рода 13,25 %, ошибок второго рода – 29,9 %, оценка количества нераспознанных вовсе знаков составляет 4,63 %. Результаты работы системы «ABBYY FineReader 12 Professional Edition» также характеризуется следующими показателями: 3,6 % ошибок первого рода, 17,71 % ошибок второго рода, 14,84 % знаков не распознаны.

Как отмечено в [111 (с. 1)], одной из опций программы «ABBYY FineReader 12 Professional Edition», предоставляемых пользователям, является распознавание с обучением [141 (с. 52)], предполагающее возможность создания и редактирования нестандартных алфавитов на основе имеющихся. В соответствии с перечисленными выше требованиями 1)-4), предъявляемыми к современным OCR-системам, были реализованы процедуры обучения «ABBYY FineReader 12 Professional Edition» на подмножестве объектов экзаменационной выборки с целью повышения точности распознавания и снижения количества ошибок первого и второго рода, а также нераспознанных знаков.

Итерационный процесс обучения продолжался до тех пор, пока значения выбранных показателей качества не перестали изменяться. Всего было проведено шесть итераций обучения. Таблица 1.2 содержит результаты работы системы «ABBYY FineReader 12 Professional Edition», полученные на той же экзаменационной выборке, что и данные таблицы 1.1, после первой и шестой итераций процесса обучения.

Таблица 1.2 – Результаты работы системы «ABBY FineReader 12 Professional Edition» после обучения

№ п/п	<i>Алфавит</i>	Сфера использования	К-во знаков в экзамен. выборке	После 1-ой итерации обучения				После 6-ой итерации обучения			
				К-во верно расп. знаков	К-во ошибок к 1-го рода	К-во ошибок к 2-го рода	К-во не-расп. знаков	К-во верно расп. знаков	К-во ошибок к 1-го рода	К-во ошибок к 2-го рода	К-во не-расп. знаков
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Цифры и матем. символы	АБИС, ЭАД, СЭД	4182	3047	148	474	513	3694	123	214	151
2.	Химические символы	АБИС, ЭАД, СЭД	3783	2756	134	429	464	3342	111	194	136
3.	Старославянский	АБИС, ЭАД	1434	1045	51	162	176	1267	42	73	52
4.	Новая глаголица	АБИС, ЭАД	3381	2463	120	383	415	2987	99	173	122
5.	Старая глаголица	АБИС, ЭАД	987	719	35	112	121	872	29	51	35
6.	Русский (печ.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	4677	3408	166	530	573	4132	137	239	169
7.	Русский (рукоп.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	1536	1119	54	174	189	1357	45	79	55
8.	Английский (печ.)	АБИС, ЭАД, САПР	5205	3792	184	590	639	4598	153	267	187
9.	Английский (рукоп.)	АБИС, ЭАД, САПР	2271	1655	80	257	279	2006	67	116	82
10.	Украинский (печ.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	9363	6822	331	1061	1149	8271	276	479	337
11.	Украинский (рукоп.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	3039	2214	108	344	373	2685	89	156	109

В результате анализа данных таблиц 1.1 и 1.2 сформирована сводная таблица 1.3, содержащая показатели качества работы систем «OCR CuneiForm v12 Master» и «ABBY FineReader 12 Professional Edition», полученные на используемой экзаменационной выборке. Согласно приведенным в таблице 1.3 данным, из двух рассматриваемых систем «ABBY FineReader 12 Professional Edition» по сравнению с «OCR CuneiForm v12 Master» характеризуется наибольшим значением

точности распознавания, равным 88,34 %, и наименьшими значениями как ошибок первого и второго рода, так и оценки нераспознанных знаков, соответственно равными 2,94%, 5,12 % и 3,6 %.

Таблица 1.3 – Результаты работы систем распознавания до и после обучения

Оцениваемый критерий качества	OCR CuneiForm v12 Master	ABBYY FineReader 12 Professional Edition		
		до обучения	после 1-ой итерации обучения	после 6-ой итерации обучения
Точность распозн. (%)	52,22	63,85	72,86	88,34
Ошибки 1 рода (%)	13,25	3,6	3,54	2,94
Ошибки 2 рода (%)	29,9	17,71	11,33	5,12
Нерасп. знаки (%)	4,63	14,84	12,27	3,6

Отметим, что данные показатели достигнуты в результате проведения пяти итераций процедуры обучения указанной системы, при этом относительное увеличение точности распознавания составило 36,67 %; количества ошибок первого, второго рода, и нераспознанных знаков уменьшились соответственно на 10,31 %, 24,78 % и 1,03 %.

Представленные результаты распознавания свидетельствуют о том, что современные OCR-системы не вполне соответствуют предъявляемым требованиям 1)-4), сформулированным ранее. Следовательно, использование рассмотренных систем в качестве средств автоматизации поиска и аналитической обработки документов ЭИР библиотек, архивных и музейных организаций, предприятий и КПБ не позволяет достичь желаемого эффекта из-за недостаточно высокой точности распознавания и большого числа ошибок, допускаемых в процессе приведения указанных документов к редактируемому формату.

Рассмотрим основные принципы проектирования и разработки современных OCR-систем с целью выявления причин возникновения ошибок и неточностей при распознавании, что позволит определить перспективные направления в разработке методов и информационных технологий автоматизации поиска и аналитической обработки документов ЭИР.

1.3 Анализ проблем создания и совершенствования информационных технологий автоматизации обработки документов электронных информационных ресурсов на основе применения современных подходов к распознаванию образов

Согласно проведенным в пп. 1.1, 1.2 рассуждениям, автоматизация процессов поиска и аналитической обработки документов ЭИР, осуществляемая с привлечением современных OCR и ICR технологий, предопределяет необходимость повышения точности распознавания, формирования открытых алфавитов распознаваемых знаков, одинаковой интерпретации знаков, являющихся одноименными, но различающихся по размеру, стилю начертания, используемым при печати шрифтам. Рассмотрим принципы и методы распознавания зрительных образов, являющиеся основой указанных технологий, с целью анализа возможности их применения для разработки OCR-систем, удовлетворяющих сформулированным в п. 1.2 требованиям 1)-4) и характеризующимся высокими показателями точности распознавания.

Согласно [69 (с. 26), 92 (с. 15)], при проектировании систем распознавания зрительных образов разработчиками и привлеченными экспертами – специалистами в предметной области документов ЭИР автоматизируемой отрасли – осуществляются следующие основные этапы:

1) проведение статистических исследований документов, для распознавания электронных копий которых разрабатывается OCR-система, а также когнитивный анализ изображений знаков алфавитов, используемых для формирования указанных документов; экспертный отбор документов ЭИР и формирование на его основе обучающей выборки [177], используемой, в частности, для выбора и реализации методов сегментации, моделирования и распознавания [92 (с. 9), 151 (с. 24), 156 (с. 38)];

2) назначение (выбор) имен классов образов, соответствующих распознаваемым знакам алфавитов;

3) выбор репрезентативных представителей для каждого класса образов из множества объектов обучающей выборки;

4) когнитивный анализ изображений репрезентативных представителей и объектов обучающей выборки с целью установления характерных особенностей изображений каждого из распознаваемых знаков алфавитов;

5) эвристический выбор метода моделирования и элементарных составляющих моделей анализируемых изображений знаков;

6) формирование эталонных моделей репрезентативных представителей каждого класса, разработка структуры базы данных (БД) и моделей, с которыми в процессе эксплуатации OCR-системы будет осуществляться автоматическое сравнение моделей распознаваемых изображений знаков, сгенерированных в процессе эксплуатации системы;

7) выбор метода определения набора правил для автоматического формирования моделей распознаваемых изображений знаков;

8) выбор и определение критериев, параметров для сравнения эталонных моделей, хранящихся в БД OCR-системы, с моделями, формируемыми автоматически для каждого из распознаваемых изображений знаков;

9) апробация способа автоматического моделирования и отыскание оптимальных в смысле некоторого выбранного критерия параметров (констант) для сравнения автоматически сформированных моделей распознаваемых объектов с эталонными.

Перечисленные этапы традиционно реализуются в рамках одного из подходов к распознаванию образов – эталонного, признакового, структурного (лингвистического) или морфологического, либо их комбинаций.

На этапах 1)-5) разработчиками априорно задается словарь W имен объектов распознавания, $W = \{w_i\}$, $i \in \bar{I} = \{1, 2, \dots, I_W\}$ и классы $B_i = \{b_j^i\}$, $i \in \bar{I}$, $j \in \bar{J}_i = \{1, 2, \dots, J_i\}$, распознаваемых объектов, содержащие элементы (знаки алфавитов) обучающей выборки [149, 151, 153]. При этом полагается, что для каждого

значения $i = \overline{1, I_W}$ все элементы класса B_i именуется соответствующим именем $w_i \in W$.

Из того, что элементы каждого из множеств B_i отождествлены с индивидуальным именем класса $w_i \in W, i \in \bar{I}$, следует, что $B_i \cap B_l = \emptyset, \forall i \neq l, i, l \in \bar{I}$.

Элементы множества $B = \bigcup_{i=1}^{I_W} B_i$, являющегося обучающей выборкой, используются для формирования правил генерации математических моделей (ММ) объектов распознавания на этапах 6), 7), 9).

Согласно введенным обозначениям, осуществим обзор и анализ подходов к распознаванию изображений с целью определения перспективных направлений разработки средств автоматизации процессов поиска и аналитической обработки документов ЭИР библиотек, архивных, музейных организаций, промышленных предприятий и КПБ.

В случае, если алфавит содержит сравнительно небольшое количество знаков, для решения задачи распознавания эффективно использование эталонного подхода [164 (с. 52)] В нем предполагается наличие для каждого из множеств B_i распознаваемых объектов некоторого типичного (репрезентативного) представителя – эталона. То есть для каждого значения $i \in \bar{I}$ существует элемент $b_{j^*}^i \in B_i, j^* \in \bar{J}_i$ – эталонный объект данного класса. При этом считается, что эталон $b_{j^*}^i$ класса B_i обладает тем свойством, что все элементы множества B_i либо несущественно от него отличаются, либо совпадают с ним.

Эталоны, отождествляемые с именами $w_i \in W, i \in \bar{I}$, классов распознаваемых объектов, хранятся в базе данных OCR-системы. При предъявлении системе произвольного изображения знака осуществляется его критериальное сравнение с каждым из эталонов, введенных в БД на этапе 6) разработки. В результате исходный объект отождествляется с именем $w_i \in W, i \in \bar{I}$, того класса B_i , с эталоном $b_{j^*}^i, j^* \in \bar{J}_i$, которого установлено наименьшее его отличие (наибольшее сходство) [169 (с. 21)]. Допустимые пороговые значения, используемые для сравнения эталонных и распознаваемых изображений знаков, определяются на этапах 8) и 9)

проектирования OCR-системы и являются, как правило, зависимыми от статистических данных, полученных на этапах 1), 3), и компетентности разработчиков и привлеченных экспертов [100 (с. 35)].

В случае, если по результатам сравнения произвольного распознаваемого объекта определено более одного успешно сопоставимого с ним эталона разных классов, однозначное именование осуществить затруднительно, что предполагает коррекцию либо правил сравнения, либо переопределение множества эталонных представителей классов.

Необходимость модификации OCR-системы, в частности, БД, обусловленная указанными трудностями в реализации и использовании эталонного подхода для распознавания изображений, а также зависимость результатов именования обрабатываемых образов знаков алфавита от субъективно-статистически определенных пороговых констант, существенно снижают точность распознавания и, как следствие, эффективность практического использования рассматриваемого подхода.

При этом, формирование открытого алфавита затруднительно, поскольку увеличение размеров БД эталонов знаков предопределяет рост затрат временных и аппаратных ресурсов, необходимых для хранения и поиска объектов в базе.

По этой же причине, когда задача распознавания ставятся для алфавитов большой мощности, то есть число классов распознаваемых объектов велико, применение эталонного подхода нецелесообразно [96 (с. 36)], а его эффективная аппаратно-программная реализация проблематична даже с использованием современной высокопроизводительной ЦЭВТ. В таких случаях разработчики OCR-систем выбирают, как правило, иные подходы к распознаванию, в рамках которых на этапах 3), 5), 6) осуществляется априорное задание в общем случае множества словарей $C_i = \{c_k^i\}$, $i \in \bar{I}$, $k \in \bar{K}_i = \{1, 2, \dots, K_i\}$, содержащих имена элементарных составляющих ММ объектов каждого из классов B_i , отождествленных, в свою очередь, с именами $w_i \in W$.

Таким образом, объектам распознавания $b_j^i \in B_i$, $i \in \bar{I}$, $j \in \bar{J}_i$, названным именем $w_i \in W$, на этапе б) проектирования OCR-системы ставится в соответствие множество элементарных составляющих ММ, называемых именами $c_k^i \in C_i$, $k \in \bar{K}_i$.

Так, в рамках признакового подхода [171, 172, 173, 174, 175, 176] предполагается, что объекты распознавания $b_j^i \in B_i$, $\forall i \in \bar{I}$, $\forall j \in \bar{J}_i$, обладают набором K значащих различительных признаков, или характеристик, с именами $c_k^i \in C_i$, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, общих для всех элементов множества B , то есть $C_i = C_l$, $\forall i, l \in \bar{I}$. Анализ совокупностей значений указанных признаков, осуществляемый на этапе 4) разработчиками OCR-системы, позволяет отождествлять между собой объекты, принадлежащие одному классу образов, и дифференцировать объекты различных классов на основании расчета значений выбранных на этапах 7), 8) мер близости или сходства.

В качестве различительных признаков с соответствующими именами $c_k^i \in C_i$, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, используются: цвет, наличие и число линий определенного вида, количества однородных областей и их размеры, центр тяжести или геометрический центр объекта, степень кривизны границы, форма выпуклой оболочки, а также другие измеримые параметры [176 (с. 25)], определяемые вследствие когнитивного анализа распознаваемых знаков алфавита на этапах 4), 5) экспертами и разработчиками OCR-системы.

Математическая модель объекта распознавания $b_j^i \in B_i$, $j \in \bar{J}_i$, $i \in \bar{I}$, в данном случае представляет собой вектор $X_j^i \in E_K$, рассматриваемый в априорно заданном K -мерном пространстве признаков, имена $c_k^i \in C_i$, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, которых отождествляются с полученными результатами измерений объектов – компонентами вектора X_j^i .

Как отмечено ранее, в рамках признакового подхода полагается, что все объекты b_j^i каждого класса B_i , $i \in \bar{I}$, $j \in \bar{J}_i$, обладают множеством общих свойств или признаков C_i . Следовательно, вектора X_j^i , $j \in \bar{J}_i$, полученные для каждого

фиксированного $i \in \bar{I}$ в результате расчета значений признаков и рассмотренные в метрическом пространстве признаков E_K , «тесно группируются» [175 (с. 14)], в следствие чего различным множествам векторов $\{X_j^i\}$, $i \in \bar{I}$, $j \in \bar{J}_i$ и $\{X_m^l\}$, $l \in \bar{I}$, $m \in \bar{J}_m$, могут быть поставлены в соответствие подпространства пространства признаков E_K [159 (с. 32)].

При распознавании произвольного изображения знака, предъявленного OCR-системе для автоматической классификации (именования) на основании признакового подхода, рассчитываются значения признаков с именами $c_k^i \in C_i$, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$, согласно набору правил, установленных на этапе 7), и формируется вектор $X^* \in E_K$. Далее, с использованием решающих правил [174 (с. 54)], определенных на этапах 8), 9) разработки OCR-системы, исследуется принадлежность вектора X^* подпространству, содержащему вектора X_j^i , $i \in \bar{I}$, $j \in \bar{J}_i$, соответствующие результатам измерений на этапе 6) значений признаков объектов $b_j^i \in B_i$ [176 (с. 15)].

В случае, если принадлежность вектора X^* указанному подпространству определена успешно, объект, для которого данный вектор был сформирован, именуется именем $w_i \in W$, $i \in \bar{I}$, закрепленным за классом распознаваемых знаков B_i . В противном случае, например, при попадании вектора X^* на разделяющую границу подпространств, либо в случае непустого пересечения подпространств, соответствующих различным классам образов, также возникает проблема с однозначным именованием исходного объекта.

Данное обстоятельство обуславливает наличие ошибок как первого, так и второго рода при распознавании, и предопределяет необходимость либо коррекции модели, либо уточнения значений признаков, либо изменения границ подпространств, соответствующих классам распознаваемых объектов, либо переопределения решающих правил. В рамках рассматриваемого подхода добавление новых знаков к уже имеющимся в алфавите предполагает, в общем случае, задание новых значащих различительных признаков, определение

соответствующих подпространств пространства признаков E_K (возможно, изменение размерности пространства), и, как следствие, переопределение ранее установленных границ кластеров [177], вследствие чего возможна реконфигурация OCR-системы в целом.

Структурный, или лингвистический, подход [178, 179, 180] подразумевает изначальное описание объектов распознавания, в частности, подмножеств обучающего множества B , то есть элементов $b_j^i \in B_i, \forall i \in \bar{I}, \forall j \in \bar{J}_i$, с применением иерархической структуры непроеизводных элементов или подобразов [100 (с. 14)], назначенных априорно на этапах 4), 5), которые отождествляются с именами $c_k^i \in C_i, k \in \bar{K}_i$. При этом на этапах 7), 8) разработчиками OCR-системы выбираются (устанавливаются) грамматические правила или правила подстановки [178 (с. 44)], учитывающие отношения непроеизводных элементов наподобие синтаксической структуры языка [177 (с. 19)]. Также на этапе 8) осуществляется генерация порождающих грамматик, на основании которых определяется принадлежность знака алфавита одному из классов $B_i, \forall i \in \bar{I}$, согласно их структурному описанию. Такой подход используется в случаях, когда изображения знаков алфавита – объекты распознавания – не могут быть эффективно описаны единичными наборами свойств, характеризуемыми числовыми значениями, как это осуществляется в рамках описанного ранее признакового подхода.

На этапах 4), 5) проектирования OCR-систем, в которых реализуется структурный подход, в результате эвристического когнитивного анализа знаков обучающей выборки распознаваемых объектов B формируется конечное множество $C = \bigcup_{i=1}^{I_w} C_i$ имен всех непроеизводных элементов, используемых в качестве элементарных составляющих для формирования математических моделей объектов классов $B_i, \forall i \in \bar{I}$.

В рамках лингвистического подхода ММ объекта распознавания $b_j^i \in B_i, i \in \bar{I}, j \in \bar{J}_i$, представляет собой набор сопоставимых с множеством имен $C_i = \{c_k^i\}$,

$i \in \bar{I}$, $k \in \bar{K}_i$, производных элементов, иерархическая структура которых определена на этапах 5), 6), 9) используемыми грамматическими правилами [177 (с. 9)]. Предполагается, что при успешном выборе множества подобразов и правил подстановки каждому из множеств B_i , $\forall i \in \bar{I}$, соответствует уникальная иерархическая структура множества производных элементов $C_i \subseteq C$ [177 (с. 14)], определенная грамматикой данного класса.

При распознавании предъявленного OCR-системе произвольного изображения знака на основании априорно заданных на этапе 7) синтаксических операций или операций композиции в процессе сегментации осуществляется выделение фрагментов изображения с использованием параметров, значения которых устанавливаются экспериментально на этапах 8), 9).

Заметим, что указанное выделение фрагментов изображений знаков реализуется одним из описанных ранее подходов (эталонным или признаковым), поскольку решение задачи сегментации, согласно [156 (с. 45)], предполагает решение частных задач распознавания для идентификации фрагментов изображения знака и их именования именами подобразов c_k^i , $i \in \bar{I}$, $k \in \bar{K}_i$. Данный факт обуславливает, с учетом проведенных рассуждений, снижение качества сегментации исходного изображения за счет ошибок, допускаемых при выявлении (распознавании) производных элементов, установлении их границ и месторасположения на обрабатываемых изображениях знаков [181, 183, 183].

Каждая выделенная часть идентифицируется относительно элементов множества C производных элементов путем ее отождествления с именем $c_k^i \in C$, $i \in \bar{I}$, $k \in \bar{K}_i$, некоторого подобраза. Полученная в результате ММ изображения знака представляет собой набор производных элементов, отождествленных с именами подмножества $C^* \subseteq C$, сформированный на основании используемых грамматических правил.

В случае, если сгенерированная описанным способом модель обладает тем свойством, что подмножество C^* является синтаксически правильным, то есть может быть описано грамматикой, соответствующей единственному множеству B_i ,

$i \in \bar{I}$, исходный объект именуется именем $w_i \in W$, $i \in \bar{I}$, класса объектов распознавания. Иначе считается, что допущена ошибка, исправление которой предполагает либо изменение правил сегментации и выявления производных элементов, либо выбор иных порождающих грамматик, либо изменение назначенного множества производных элементов.

В отличие от эталонного и признакового, структурных подход наиболее гибко позволяет осуществлять незначительное расширение множества классов распознаваемых объектов. Однако, как отмечено в работах [77 (с. 14), 80 (с. 28), 95 (с. 5), 180 (с. 4)], определение набора производных элементов, выявление примитивов на изображении, выбор порождающих грамматик и формальных языков описания классов образов является исключительно сложной задачей, успешное решение которой во многом зависит от интуиции, личного опыта и квалификации разработчиков, а также экспертов, привлекаемых к реализации этапов 1)-9) проектирования OCR-систем и обеспечивающих, в частности, необходимую представительность обучающей выборки, вследствие чего использование лингвистического подхода для распознавания знаков открытого алфавита затруднительно.

Морфологический подход [177 (с. 4), 179 (с. 16)] предполагает задание объектов распознавания $b_j^i \in B_i$, $\forall i \in \bar{I}$, $\forall j \in \bar{J}_i$, как совокупностей точек множества Z_2 с тем, чтобы по результатам их морфологического анализа, в частности, на этапах 4), 6) разработки OCR-системы, выявить некоторые подмножества – атрибуты, соответствующие именам множеств $C_i = \{c_k^i\}$, $i \in \bar{I}$. Реализация морфологического подхода для автоматической обработки и анализа изображений знаков основана на использовании аппаратов теории множества дискретной математики [184] для задания на этапах 4), 5) конечного набора так называемых морфологических операций над изображениями. Примерами указанных операций являются дилатация и эрозия, размывание и замыкание, утолщение и построение остова, и другие [185, 1986, 187]. Как и в структурном

подходе, имена всех атрибутов, которые могут быть выявлены на объектах обучающей выборки, образуют множество $C = \bigcup_{i=1}^{I_w} C_i$.

Применение морфологических операций к изображениям знаков осуществляется при помощи структурообразующих множеств или примитивов [73 (с. 14), 164 (с. 51), 177 (с. 11)]. Их априорное задание осуществляется на этапах 6), 7) проектирования OCR-системы с учетом когнитивного анализа на этапах 4), 6), 8) специфики объектов обучающей выборки и сущности используемых морфологических операций.

Математическими моделями объектов $b_j^i \in B_i, \forall i \in \bar{I}, \forall j \in \bar{J}_i$, сгенерированными в рамках морфологического подхода, являются подмножества точек Z_2 , полученные в результате применения морфологических операций и отождествляемые с именами множества $C_i = \{c_k^i\}$.

Использование морфологического, как и признакового, подхода к распознаванию изображений знаков основано на предположении о том, что все объекты одного класса $B_i, \forall i \in \bar{I}$, могут быть взаимно однозначно охарактеризованы одной совокупностью имен $C_i, i \in \bar{I}$, в данном случае – подмножеств точек, полученных в результате применения морфологических операций.

Следовательно, распознавание и именование произвольного объекта в процессе эксплуатации OCR-системы, реализуемые в рамках морфологического подхода, осуществляются вследствие отождествления изображения знака алфавита с некоторой совокупностью $C^* \subseteq C$ имен подмножеств точек из Z_2 . При этом сравнение ММ, представленных, как правило, совокупностями линий, аппроксимирующих множества точек, осуществляется способами, аналогичными используемым в признаковом подходе [177 (с. 8)]. В частности, используются меры близости или сходства, а также пороговые значения, необходимые для принятия решений о «похожести» моделей [188], определенные на этапах 7)-9). Вследствие этого, морфологическому подходу присущи как указанные выше недостатки признакового подхода, так и собственные, а именно: зависимость результатов

моделирования и распознавания от выбора морфологических операций, примитивов и начальных точек изображения знака для их применения; неоднозначность в представлении ММ классифицируемого объекта с точки зрения последовательности реализации морфологических операций и параметров примитивов; формирование множества неравнозначных с точки зрения результатов последующего распознавания моделей исходного изображения; проблематичность добавления в алфавит новых знаков без изменения правил формирования ММ в OCR-системе.

Поскольку основу реализации рассматриваемого подхода составляют морфологические операции и примитивы, введенные априорно на этапе 5) для выбранных на этапах 1), 3) изображений знаков конкретного алфавита, их использование для решения практических задач распознавания зачастую приводит к результатам, отличным от ожидаемых. В частности, имеют место несоответствия между эталонными ММ изображений знаков и, теми, которые сформированы автоматически в процессе эксплуатации [111 (с. 1), 112 (с. 1)] OCR-системы.

В настоящее время для обработки и анализа объектов распознавания применяются не только рассмотренные принципы, но и их различные комбинации. Однако точность распознавания, характеризующая работу современных OCR-систем, не соответствует реальным потребностям, предъявляемым пользователями, что подтверждают результаты, приведенные в таблице 1.3 п. 1.2.

Данный факт обусловлен, в частности, значительным количеством ошибок, допускаемых системами распознавания, а также обозначенными ранее недостатками, присущими рассмотренным подходам и их комбинациям. Для обоснования перспективных направлений разработки средств автоматизации поиска и аналитической обработки документов ЭИР, осуществим критический анализ используемых в современных OCR-системах принципов моделирования, анализа, и именованя изображений знаков различных алфавитов.

Согласно [73 (с. 30), 177 (с. 5)] и проведенным выше рассуждениям, реализация описанных подходов к распознаванию изображений знаков осуществляется вследствие априорного выбора метода распознавания и

элементарных составляющих ММ анализируемых объектов – множеств эталонов, признаков, производных элементов, морфологических операций и соответствующих примитивов, осуществляемого на этапах 5)-7) проектирования OCR-системы.

Указанный выбор реализуется вследствие формирования на этапах 2)-4) обучающей выборки, задания имен $w_i \in W$, $i \in \bar{I}$, и репрезентативных представителей для каждого из классов B_i , $\forall i \in \bar{I}$, распознаваемых знаков алфавитов. При этом разработчиками OCR-систем полагается, что каждое из подмножеств B_i , $\forall i \in \bar{I}$, обучающей выборки может быть задано так, чтобы содержащиеся в нем элементы своим многообразием отражали все значимые характеристики и особенности, совокупности которых взаимно однозначно сопоставимы с одноименными знаками – объектами одного класса.

Субъективизм разработчиков OCR-систем и привлекаемых к реализации этапов 1)-9) экспертов, как правило, не позволяет обеспечить достаточную представительность обучающей выборки и адекватный выбор репрезентативных представителей каждого класса изображений знаков, что негативно сказывается на результатах формирования множеств словарей C_i , $i \in \bar{I}$, имен элементарных составляющих ММ распознаваемых объектов, так и на определении решающих правил моделирования и последующего сравнения моделей при именовании.

Как следствие, одноименные множества B_i^1 и B_i^2 , сформированные различными разработчиками OCR-систем, в общем случае таковы, что $B_i^1 \neq B_i^2$, следовательно, выбор репрезентативных представителей каждого класса приводит к формированию различных обучающих выборок.

Действительно, конечной совокупностью объектов затруднительно отразить все многообразие способов написания одного знака некоторого алфавита, даже при условии наличия общепринятых правил письма.

Кроме того, искомое задание множества репрезентативных представителей для каждого класса B_i , $\forall i \in \bar{I}$, не всегда реализуемо практически, что обусловлено альтернативностью выбора элементов, формирующих множества B_i . В общем

случае также невозможно определить полный перечень имен различительных свойств, производных элементов и атрибутов, выявление которых должно осуществляться автоматически в режиме реального времени современными аппаратно-программными средствами, используемыми в OCR-системах для решения задач обработки и именования изображений знаков алфавитов.

Следовательно, корректное функционирование OCR-систем обеспечивается только при анализе, моделировании и распознавании либо элементов обучающей выборки, либо объектов, в определенном смысле «близких» к ним, что, очевидно, не соответствует сформулированным в п. 1.2 требованиям 1)-4), а также не позволяет достичь желаемых показателей качества, что подтверждают приведенные в таблице 1.3 показатели, обеспечить гибкость в именовании знаков, универсальность и унифицированность средств и способов анализа.

Заметим, что используемые меры сходства и пороговые значения не являются объективным критерием для определения принадлежности изображения именуемого знака одному из классов образов, поскольку их задание обусловлено субъективно-статистическими факторами, описанными ранее при обзоре методов распознавания. Следует отметить, что существенная трудность при реализации этапов 8), 9) проектирования OCR-систем, в рамках которых устанавливаются обозначенные критерии и правила сравнения изображений знаков с соответствующими ММ, заключается в дискретности представлений образов изображений знаков как обучающей выборки, так и подлежащих именованию в процессе автоматического моделирования и распознавания [189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203]. Данный факт обусловлен использованием ЦЭВТ при аппаратно-программной реализации подходов к моделированию и распознаванию.

Поскольку эталонные модели или представители классов изображений знаков на этапе б) формируются разработчиками OCR-систем в терминах свойств непрерывных множеств, что предопределяется выбором на этапах 3), 5) одного из подходов к распознаванию, имеет место объективная необходимость использования методов преобразования дискретных представлений объектов,

сгенерированных подсистемой ввода и распознавания, представленной на рисунке 1.1, в непрерывные, например, аппроксимацией линий контуров, скелетизацией, и прочими [204, 205, 206, 207, 208, 209]. Полученная в результате ММ, заданная в терминах категорий непрерывных множеств, как правило, не позволяет сделать вывод об инвариантности свойств исходного и результирующего представлений [210] обрабатываемого образа изображения знака, что, в свою очередь, предопределяет использование пороговых констант при идентификации изображений и (или) их фрагментов в рамках каждого из рассмотренных подходов к распознаванию. Зависимость значений порогов от субъективизма проектировщиков OCR-системы, проявляющаяся в выборе и анализе статистических данных на этапах проектирования, снижает эффективность использования указанных параметров при моделировании и сравнении изображений знаков, а также сформированных ММ.

Проведенные рассуждения относительно использования современных подходов к моделированию и распознаванию изображений знаков в OCR-системах позволяют высказать предположение о том, что низкая точность распознавания и недостаточная эффективность практического использования рассматриваемых систем для автоматизации поиска и аналитической обработки документов ЭИР обусловлены, в частности, следующими гипотетическим посылками, принятыми исследователями в области распознавания образов:

- эвристический когнитивный анализ предметной области и знаков алфавитов каждой прикладной задачи распознавания позволяет эффективно осуществить выбор элементов обучающей выборки так, чтобы определить все многообразие проявлений свойств и особенностей объектов каждого класса;

- все одноименные знаки фиксированного алфавита обладают общностью свойств, которые могут быть установлены априорно выбранным конечным набором значимых различительных характеристик;

- свойства объектов, задаваемых в терминах категорий непрерывных и дискретных множеств, могут быть эффективно выявлены в каждом из указанных представлений;

- математические модели изображений знаков, принадлежащих одному классу, будучи рассмотренными в выбранном пространстве элементарных составляющих, могут быть охарактеризованы «близостью», определяемой вследствие сравнения значения меры сходства с некоторой пороговой величиной.

Однако, каждая из представленных гипотетических посылок является основополагающей при реализации подходов, способов и алгоритмов распознавания, используемых в OCR-системах. Отказ по крайней мере от одной из них предполагает невозможность построения системы распознавания, основанной на рассмотренных выше подходах.

Таким образом, автоматизация процессов поиска и аналитической обработки документов ЭИР предопределяет целесообразность разработки методов и информационных технологий моделирования и именования образов изображений знаков различных алфавитов, в том числе открытых, в дискретных представлениях безотносительно к перечисленным гипотетическим посылкам. При этом реализация искомых методов и технологий не должна быть статистически и субъективно зависимой от результатов априорного выбора множеств имен классов и изображений знаков – объектов обучающей выборки, а, следовательно, не предполагает осуществления этапов 1) - 9) при проектировании OCR-системы.

Моделирование дискретных представлений образов изображений предполагает также отказ от априорного задания имен элементарных составляющих ММ, выбора мер сходства и пороговых констант. Именование моделей, сформированных, с учетом обозначенных требований, в автоматическом режиме, также следует осуществлять без использования априорно сформированных на этапе разработки OCR-системы математических моделей, заданных в терминах свойств непрерывных множеств, а также решающих правил, основанных на субъективно-статистически установленных критериях и пороговых величинах [172 (с. 4)].

Рассмотрим предпосылки к разработке указанных методов и информационных технологий автоматизации процессов поиска и аналитической обработки документов ЭИР библиотек, архивных и музейных организаций,

предприятий и КПБ, основанных на автоматическом моделировании и именовании дискретных представлений изображений знаков открытых алфавитов, и не предполагающих осуществления описанных ранее этапов 1)-9) при проектировании соответствующей системы.

1.4 Перспективные направления в разработке методов и информационных технологий автоматизации аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов

Как следует из пп. 1.2 и 1.3, а также литературных источников [190 (с. 4), 210 (с. 7)], средствами автоматизации процессов поиска и аналитической обработки документов ЭИР библиотек, архивных и музейных организаций, предприятий и КПБ осуществляется, в частности, автоматическое моделирование и распознавание цифровых изображений, представленных отмеченной на рисунке 1.1 подсистемой ввода и распознавания в виде файлов одного из графических форматов.

В соответствии с этим, при проведении последующих рассуждений, не нарушая их общности, будем полагать, что указанными средствами автоматизации, согласно определению 1.1, анализируются растровые цифровые изображения (РЦИ), сформированные, хранимые и отображаемые видеосистемой ЦЭВТ. Под РЦИ в работах [136 (с. 15), 177 (с. 85)] понимается множество значений функции яркости $f(x,y)$, областью определения которой является множество $D(f) = X \times Y$, множеством значений – $R(f) = \{0, 1, \dots, \tilde{L}-1\}$, где $X = \{0, 1, \dots, \tilde{M}-1\}$, $Y = \{0, 1, \dots, \tilde{N}-1\}$, \tilde{M}, \tilde{N} – размеры цифрового изображения в пикселях, \tilde{L} – число уровней (градаций) яркости пикселей, определенные используемой видеосистемой [211].

Как правило, РЦИ представляют в виде матрицы размера $\tilde{M} \times \tilde{N}$ следующего вида:

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, \tilde{N}-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, \tilde{N}-1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(\tilde{M}-1,0) & f(\tilde{M}-1,1) & \dots & f(\tilde{M}-1, \tilde{N}-1) \end{pmatrix} [92]. \quad (1.2)$$

Такие исследователи, как [79 (с. 26), 92 (с. 13)], отмечают, что в ряде случаев для обозначения цифрового изображения и его элементов бывает полезно использовать более традиционную матричную запись:

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,\tilde{N}-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,\tilde{N}-1} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{\tilde{M}-1,0} & a_{\tilde{M}-1,1} & \dots & a_{\tilde{M}-1,\tilde{N}-1} \end{pmatrix}, \quad (1.3)$$

где $a_{i,j} = f(x=i, y=j) = f(i, j)$, $i = \overline{0, \tilde{M}-1}$, $j = \overline{0, \tilde{N}-1}$

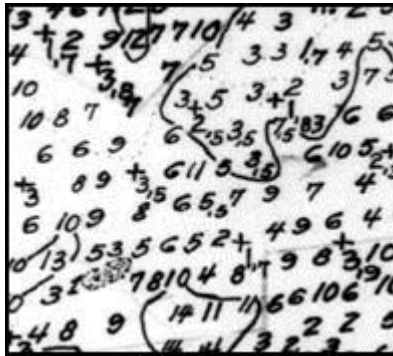
С учетом введенных обозначений полагается, что формы представления (1.2) и (1.3) считаются идентичными [212].

В зависимости от используемого динамического диапазона функции яркости различают, в частности, полноцветные, полутоновые и бинарные РЦИ [213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221]. Авторами [70 (с. 8), 79 (с. 5), 92 (с. 11)] отмечается, что при автоматическом моделировании и распознавании знаков большинства алфавитов анализ полноцветных и полутоновых цифровых изображений затруднителен по причине избыточности информации [164 (с. 10)], представленной значениями функции яркости в формуле (1.2), принимаемыми в большом диапазоне [212 (с. 6)].

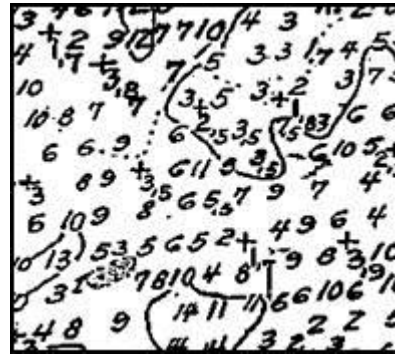
Кроме того, использование бинарных РЦИ предполагает существенное сокращение временных и аппаратных затрат на их обработку и хранение по сравнению с иными формами представления растровых изображений. Как следствие, в системах автоматического анализа РЦИ документов ЭИР

осуществляется бинаризация [164 (с. 15)] полноцветных и полутоновых цифровых изображений с использованием известных методов и алгоритмов.

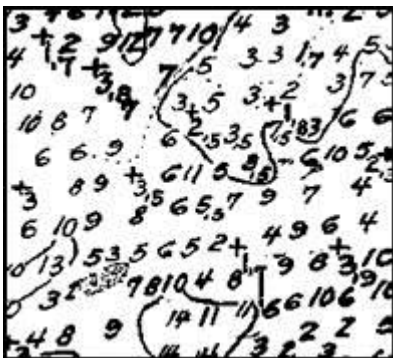
На рисунке 1.5 приведены примеры использования алгоритмов бинаризации для цифровых изображений знаков, иллюстрирующие различия в получаемых результатах.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.5 – Примеры применения к исходному цифровому изображению (а) различных методов бинаризации: Ниблэка (Niblack) [217 (с. 2)] с постпроцессингом (б); максимальной энтропии [219 (с. 3)] (в); Отса (Otsu) [214 (с. 2)] (г)

Методы глобальной и локальной бинаризации, отличающиеся по качеству, скорости обработки РЦИ и прочим параметрам, характеризуются также различными недостатками [221 (с. 5)], вследствие чего априорно обосновать выбор того или иного алгоритма проблематично.

В соответствии с этим, эмпирически выбирается один из методов бинаризации, соответствующий алгоритм которого продемонстрировал

наилучший, с точки зрения исследователя, результат для РЦИ знаков алфавитов, представленных в документах ЭИР, обрабатываемых системой автоматизации аналитической обработки.

Поскольку выбор метода и алгоритма бинаризации не имеет непосредственного отношения к обоснованию в данном разделе перспективных направлений разработки методов и информационных технологий автоматизации аналитической обработки документов ЭИР, при проведении дальнейших рассуждений будем полагать, что, согласно [73 (с. 5)], указанные документы вследствие применения к ним алгоритмов бинаризации представлены в виде бинарных РЦИ, то есть множеством значений функции яркости из формулы (1.2) является $R(f) = \{0, 1\}$. Соответственно, для матричной формы записи (1.3) цифрового изображения выполнено условие: $a_{i,j} \in \{0, 1\}$, $i = \overline{0, \tilde{M}-1}$, $j = \overline{0, \tilde{N}-1}$.

На рисунке 1.6 приведены примеры РЦИ представленных ранее на рисунке 1.2 документов ЭИР, к которым применен алгоритм бинаризации, основанный на методе Бернсена (Bernsen).

Согласно [92 (с. 49), 212 (с. 2)], каждому из бинарных изображений знаков алфавитов, присутствующих в документах ЭИР, соответствует некоторое подмножество элементов матрицы $\tilde{A}_{\tilde{M} \times \tilde{N}}$ (1.3), состоящей из нулей и единиц.

На основании проведенных рассуждений, а также в соответствии с введенными в п. 1.3 обозначениями, про анализе документов ЭИР необходимо осуществлять, в частности, автоматическое именование указанных подмножеств элементов матриц в формулах (1.2), (1.3) именами $W = \{w_i\}$, $i \in \bar{I} = \{1, 2, \dots, I_W\}$, знаков используемого алфавита.

Как следует из пп. 1.2 и 1.3, одними из актуальных задач автоматизации аналитической обработки документов ЭИР являются моделирование и распознавание знаков открытых алфавитов. В рамках последующих рассуждений будем полагать, что рассматриваемый алфавит, как и множество W имен содержащихся в нем знаков, изначально представляют собой пустые множества. Данная посылка, в силу своей общности, очевидно, не противоречит выбору открытого алфавита для проведения исследований.

При раскрытии квадратичной формы $(x-\mu_i)^T \Sigma^{-1} (x-\mu_i)$ обнаруживается, что квадратичное слагаемое $x^T \Sigma^{-1} x$ не зависит от i . Исключая его, снова получим линейные разделяющие функции вида

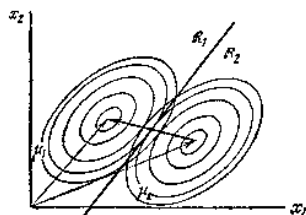


Рис. 2.9. Граница областей решений при использовании классификатора по минимуму махаланюбисова расстояния.

$$g_i(x) = w^T x + w_{i0}, \quad (41)$$

$$w_i = \Sigma^{-1} \mu_i \quad (42)$$

$$w_{i0} = -\frac{1}{2} \mu_i^T \Sigma^{-1} \mu_i + \log P(\omega_i). \quad (43)$$

Так как разделяющие функции линейны, границы областей решений в этом случае становятся гиперплоскостями (рис. 2.9). Для смежных ω_i и ω_j граница между ними описывается уравнением

$$w^T (x - x_0) = 0, \quad (44)$$

где $w = \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j) \quad (45)$

и
$$x_0 = \frac{1}{2} (\mu_i + \mu_j) - \frac{\log \frac{P(\omega_i)}{P(\omega_j)}}{(\mu_i - \mu_j)^T \Sigma^{-1} (\mu_i - \mu_j)} (\mu_i - \mu_j). \quad (46)$$

а)

ВЪ ЖЕ ПОГЯ СУВОПЛА
 ВЪ СХЪЩОСАЩО ИСЪ
 СТИЩА ОБОИ ИБЫ
 СЪЧА ГЛАПРОУСЪЩ
 КОПТИЛОМЛЕНИЯ И
 ЗВОУКЪЩ СЪВНИМА
 ЧНАГО ИАКОЖЕНЕЗЕРЪ
 ПОМЕРЪЩЮ ДВИГНЪ

б)

ТЪЖЕ ПОГЯ СУВОПЛА
 ВЪ СХЪЩОСАЩО ИСЪ
 СТИЩА ОБОИ ИБЫ
 СЪЧА ГЛАПРОУСЪЩ
 КОПТИЛОМЛЕНИЯ И
 ЗВОУКЪЩ СЪВНИМА
 ЧНАГО ИАКОЖЕНЕЗЕРЪ
 ПОМЕРЪЩЮ ДВИГНЪ

в)

РЪСНОПЖРА. ДЪПЪЩА ПЪЩА.
Д ПЪСНОПЖ, ДЪПЪЩА БЯ-
 ПЪСНОПЖРЪЩЪ, БЯПЪС-
 ПЪЩА ДЪПЪЩА ПЪЩА
 ПЪЩА ПЪЩА: ПЪЩА РЪЩА В ПЪЩА ПЪЩА
 ДЪПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА.
 РЪЩА ПЪЩА ДЪПЪЩА ПЪЩА
 ПЪЩА ДЪПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА
 ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА
 ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА ПЪЩА

г)

Рисунок 1.6 – Примеры результатов бинаризации РЦИ алгоритмом метода Бернсена (Bernsen) документов ЭИР, содержащих знаки: а) математического языка; б) старославянской азбуки; в) старой глаголицы; г) новой глаголицы

Согласно пп. 1.1-1.3, а также источникам [200 (с. 6), 203 (с. 20)], решение указанных задач предполагает формирование (дополнение) алфавита, которое осуществляется вследствие автоматической генерации модели образа произвольного знака [222, 223, 224, 225, 226, 227] как подмножества элементов

бинарной матрицы $\tilde{A}_{\tilde{M} \times \tilde{N}}$ в формуле (1.3) и последующего назначения пользователем соответствующего имени.

Поскольку множество имен W и алфавит, в силу сделанных предположений, пусты, априорный выбор элементов обучающего множества, элементарных составляющих ММ и методов моделирования знаков не может быть осуществлен.

Рассмотрим имеющиеся предпосылки к разработке искомых методов и информационных технологий аналитической обработки документов ЭИР, предполагающих автоматическое моделирование и именование знаков открытых алфавитов без реализации этапов 1)-9) разработки OCR-систем, что обосновано в п. 1.3 и работах [190 (с. 3), 202 (с. 2)].

Учитывая, согласно формулам (1.2), (1.3), дискретность представления видеосистемой бинарных РЦИ знаков алфавитов, формирование, обработка и анализ которых осуществляется средствами современной ЦЭВТ, а также приведенные в [210 (с. 6)] рассуждения, автоматическое моделирование и именование соответствующих подмножеств элементов бинарной матрицы $\tilde{A}_{\tilde{M} \times \tilde{N}}$ целесообразно осуществлять в терминах дискретного множества A атомарных элементов (АЭ) [190, (с. 2)].

Следовательно, согласно изложенным в работах [190 (с. 5), 193 (с. 4), 225 (с. 16)] основным теоретическим положениям моделирования знаков на дискретных множествах, в рамках данной работы будем полагать, что документу ЭИР, подлежащему аналитической обработке, в частности, с целью автоматического моделирования и именования содержащихся в нем знаков, соответствует множество $A \text{Э} A = \hat{A} \cup \check{A}$, где \hat{A} – множество активных атомарных элементов (ААЭ) [225 (с. 3)], \check{A} – множество пассивных АЭ [190 (с. 9)].

В соответствии с гипотезой о способе формирования изображений знаков, приведенной в [228], будем полагать, что автоматическому анализу подлежат максимальные по мощности связные подмножества ААЭ, каждое из которых соответствует отдельному знаку алфавита документов ЭИР как подмножеству элементов бинарной матрицы $\tilde{A}_{\tilde{M} \times \tilde{N}}$.

На рисунке 1.7 приведены примеры представления знаков различных алфавитов в виде подмножеств $AA\bar{A}$ множества A .

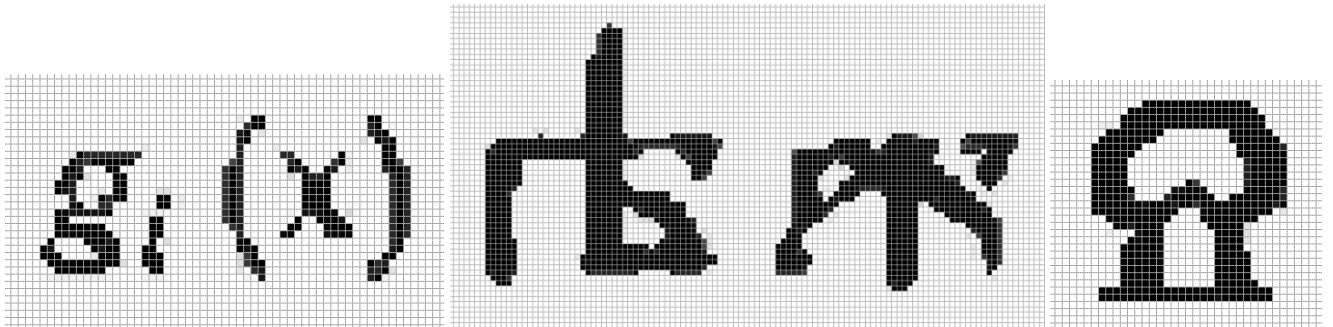


Рисунок 1.7 – Знаки различных алфавитов, представленные на дискретном множестве A в виде связных подмножеств $AA\bar{A}$

При проведении дальнейших рассуждений воспользуемся определением D -знака Z , предложенным в [193 (с. 4)].

Определение 1.2. D -знаком образа изображения на множестве A называется каждое максимальное по мощности связное подмножество множества \hat{A} .

Согласно [201 (с. 2), 202 (с. 5)], D -знаки характеризуются, в частности, различной толщиной [229, 230, 231], что иллюстрируют примеры, представленные на рисунке 1.7. Как отмечено в [227 (с. 2)], при моделировании и именовании D -знаков актуальной задачей является формирование скелета или остова [231 (с. 4)] с целью генерации изображения, к которому эффективно применимы как методы векторизации, так и известные способы определения количественных и качественных характеристик [98 (с. 25)].

В рамках принятой гипотезы о способе формирования изображений знаков, в работах [200 (с. 2), 207 (с. 3)] обосновано, что на множестве $A\bar{A}$ путь [225 (с. 12)] является образом порождающей траектории [228 (с. 4)], вследствие чего разработано конструктивное определение ГТ-объекта как, в общем случае, множества кратчайших путей (КП), результирующих скелетизацию, и предложен способ автоматической генерации ГТ-объектов произвольных D -знаков.

Поскольку формальное определение скелета или остова не приводится, а под соответствующим объектом понимается, как правило, результат применения того

или иного алгоритма скелетизации к исходному РЦИ, согласно [231 (с. 4)] будем полагать, что каждому D -знаку Z ставится в соответствие GT-объект как связанное множество КП [225 (с. 6)]. Генерация GT-объектов образов произвольных бинарных РЦИ знаков осуществляется безотносительно к априорному введению морфологических операций и примитивов, является константно-независимой и позволяет осуществлять предварительную обработку исходных D -знаков с целью формирования множества конструктивно определенных элементарных составляющих модели – кратчайших путей или D -отрезков.

На рисунке 1.8 приведены примеры GT-объектов D -знаков, сгенерированные с использованием алгоритмов, предложенных в [196 (с. 3)].

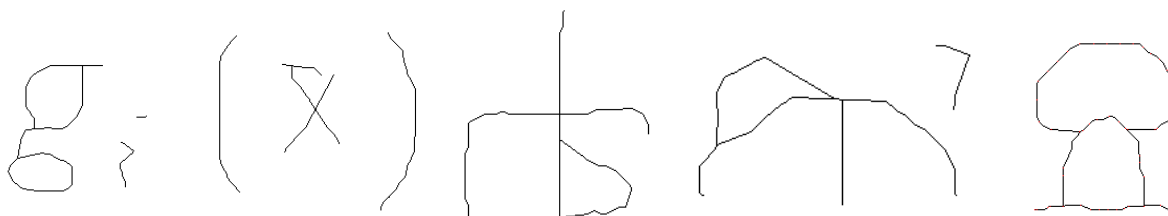


Рисунок 1.8 – Примеры GT-объектов D -знаков, заданных на дискретном множестве АЭ

Так как GT-объект для произвольного D -знака Z определен конструктивно, не ограничивая общности проводимых рассуждений будем полагать, что автоматическому моделированию и анализу подлежат множества КП GT-объектов, результирующие скелетизацию исходных бинарных РЦИ знаков.

Поскольку в общем случае произвольный D -знак Z представим множеством GT-объектов [231 (с. 2)], а также имеет место известная неоднозначность в изображении одноименных знаков [232, 233, 234], разрабатываемые методы автоматического моделирования и именования должны учитывать допустимую вариативность представления знаков алфавитов, которые, с точки зрения пользователя, соответствуют одному имени [223 (с. 4)]. На рисунке 1.9 приведены примеры различных изображений одноименных знаков и представления D -знаков множествами GT-объектов.

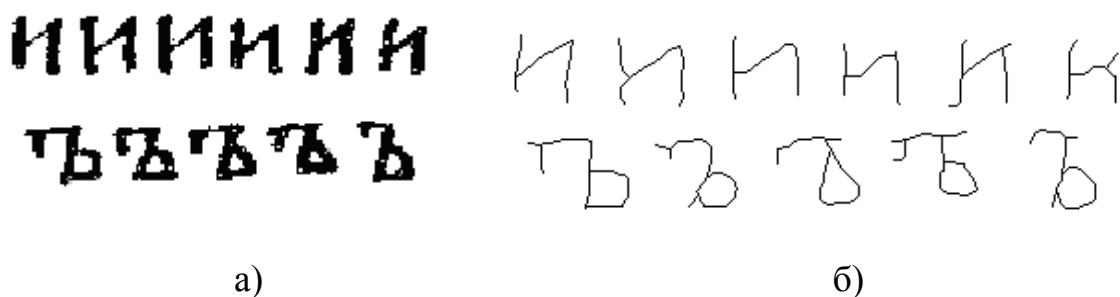


Рисунок 1.9 – Различные изображения одноименных знаков (а) и множества GT-объектов *D*-знаков (б)

Для решения указанной проблемы в работах [223 (с. 1), 224 (с. 3)] предложено использовать покрытие знака элементами представления [235, 236] для автоматического формирования ММ и последующего именованного бинарных РЦИ знаков, сгенерированных отрезками прямых. В рамках разработанного способа моделирования определены основные характеристики отрезков, формирующих исходный объект, а именно: количество, значения длин и углов наклонов к горизонтали отрезков, а также количественные параметры, описывающие взаимное расположение отрезков [193 (с. 5), 194 (с. 2)].

Однако, проведенные компьютерные эксперименты по практическому применению предложенного способа автоматического моделирования показали, что использование современной ЦЭВТ в качестве элементной базы для его реализации предопределяет целесообразность формирования множества ММ, сгенерированных при всевозможных значениях элемента представления и его секторов, причем размещение секторов на границе указанных элементов не должно быть фиксировано [224 (с. 3)]. Кроме того, в некоторых случаях было установлено, что изображение, сгенерированное по автоматически сформированной модели, этой же модели не удовлетворяет [194 (с. 1)], что обосновывает необходимость модификации предложенного метода с целью устранения выявленных недостатков.

В соответствии с [190 (с. 4), 198 (с. 3)], дискретный аналог отрезка, заданного аналитически в терминах свойств всюду плотных множеств, является частным

случае КП, участвующих в формировании GT-объектов D -знаков на множестве АЭ. Следовательно, предложенный способ автоматического моделирования [223 (с. 2), 224 (с. 3), 227 (с. 1)] может быть использован для формирования ММ GT-объектов D -знаков различных алфавитов.

Таким образом, одним из перспективных направлений исследований в области автоматического моделирования и именования образов бинарных РЦИ является разработка, на основе описанного способа, метода автоматического формирования ММ D -знаков, заданных в терминах свойств множества АЭ, предполагающая исследование свойств элементов представления применительно к дискретным образам анализируемых объектов как GT-объектов, результирующих их скелетизацию.

При этом для каждой из измеримых характеристик элементарных составляющих ММ целесообразно задавать, в общем случае, различные уровни детализации, что позволит более точно и эффективно учитывать особенности моделируемых и именуемых бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов.

Согласно проведенным рассуждениям, указанными элементарными составляющими автоматически генерируемых ММ D -знаков являются КП или D -отрезки, формирующие соответствующие GT-объекты [202 (с. 2)], примеры которых приведены на рисунке 1.10.

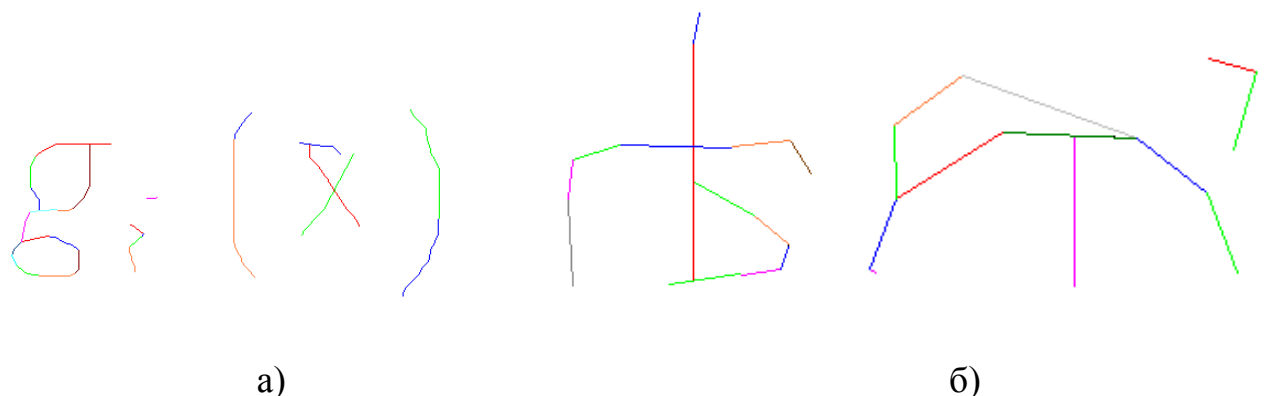


Рисунок 1.10 – Иллюстрация представления GT-объектов D -знаков связными множествами КП (а) и D -отрезков (б)

Таким образом, перспективные направления исследований по разработке методов и информационных технологий автоматизации процессов аналитической обработки документов ЭИР библиотек, музейных и архивных организаций, предприятий и КПБ предполагают, в частности, следующее:

- выбор метода бинаризации полноцветных и полутоновых растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, характеризуемого наилучшими значениями показателей качества по сравнению с остальными;

- определение в терминах свойств дискретного множества АЭ измеримых характеристик и способов установления их значений для кратчайших путей и D -отрезков как элементарных составляющих автоматически генерируемых ММ;

- обоснование основных теоретических положений автоматического моделирования бинарных РЦИ произвольных знаков открытых алфавитов, основанного на определениях и свойствах элементов покрытия, секторов и технологии полного покрытия, сформулированных в терминах дискретного множества АЭ для КП и D -отрезков, являющихся элементарными составляющими формируемых ММ;

- разработку метода автоматического распознавания знаков открытых алфавитов, основанного на автоматическом моделировании и последующем именовании бинарных РЦИ, заданных в терминах свойств дискретных множеств.

Проведенные рассуждения позволяют перейти к постановке задачи исследования диссертационной работы, сформулированной в следующем подразделе.

1.5 Постановка задачи по разработке методов и информационных технологий автоматического моделирования и распознавания документов электронных информационных ресурсов для систем с открытым алфавитом

Проведенный в п. 1.1 анализ современных тенденций развития информационных технологий позволяет выделить в отдельные направления проектирование и разработку средств и методов автоматизации процессов поиска и аналитической обработки электронных информационных ресурсов библиотек, музейных и архивных организаций, КПБ, что подтверждается, в частности, Законом ДНР об информации и информационных технологиях, принятым Народным Советом Донецкой Народной Республики 07 августа 2015 года (Постановление № I-278П-НС) [16], результатами исследования рынка программных продуктов OCR-систем (см. п. 1.2), необходимость эффективного хранения и аналитической обработки больших объемов информации, представленной в виде сканированных электронных копий документов [17 (с. 7), 19 (с. 21), 36 (с. 14)], а также авторами [33 (с. 6), 92 (с. 12), 196 (с. 3)].

Как показано в пп. 1.2-1.4, основной проблемой автоматизации аналитической обработки указанных документов является приведение графических файлов, результирующих сканирование бумажных документов периферийными устройствами ввода видеоинформации, к редактируемому формату в выбранном алфавите.

В качестве обобщения данной проблемы в п. 1.4 рассмотрена задача автоматизации процессов приведения документов ЭИР к редактируемому формату в открытом алфавите.

Анализ данной проблемы и современных методов и средств ее решения, проведенный в пп. 1.2-1.3 диссертационной работы, привел к выводу о целесообразности разработки метода автоматического моделирования бинарных РЦИ знаков как электронных образов минимальных составляющих указанных документов, с целью их именованя и последующего пополнения алфавита.

Рассматривая бинарное РЦИ документа и составляющие его знаки как части объекта исследования, в п. 1.4 обоснована актуальность задачи их моделирования GT-объектами с целью выявления КП и (или) *D*-отрезков, определенные характеристики и взаимное расположение которых позволят однозначно осуществлять последующее именованя.

В соответствии с предположением о возможности представления ГТ-объекта произвольного D -знака D -отрезками [190 (с. 4)], актуальной является задача разработки основных теоретических положений автоматического моделирования связанных подмножеств активных атомарных элементов [237, 238, 239, 240, 241], в частности, предполагающая:

- введение на множестве АЭ дискретного аналога градусной меры угла наклона отрезка к горизонтали [242], заданного в терминах свойств всюду плотных множеств, как одной из измеримых характеристик D -отрезков;

- обоснование способа моделирования взаимного расположения D -отрезков и (или) КП, предполагающего устанавливать их фрагменты взаимопересечений, касаний и иных типов;

- определение качественных характеристик кратчайших путей, позволяющих осуществлять их описание с учетом ориентации относительно иных КП;

- разработку способа критериального изменения значений меры D -отрезков [190 (с. 5)] либо КП, позволяющего сохранить характеризующие их значения дискретного аналога угловой меры наклона к горизонтали.

Согласно проведенным в п. 1.4 рассуждениям, с целью автоматического моделирования рассматриваемых бинарных РЦИ необходимо обосновать способ автоматической генерации моделей знаков открытых алфавитов, заданных на множестве АЭ совокупностями КП или D -отрезков, таким образом, чтобы они были непротиворечивы прообразам исходных цифровых изображений.

Наличие указанных методов автоматической генерации моделей D -знаков открытых алфавитов позволит разработать информационные технологии автоматизации процессов поиска и аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов библиотек, музейных и архивных организаций, КПБ, которые, в соответствии с проведенными в пп. 1.1-1.4 рассуждениями, предполагают необходимость:

- исследования современных методов бинаризации полноцветных и полутоновых растровых цифровых изображений и обоснованного выбора одного

из указанных методов, что обеспечит улучшение качества моделируемых бинарных РЦИ, и, как следствие, повышение точности распознавания;

– развития методов аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов с открытым алфавитом, которые позволят, в частности, формировать математические модели знаков без априорного субъективно-статистического назначения элементарных составляющих и параметров, а также без эмпирического выбора константно-зависимых средств интерпретации и классификации моделей;

– постановки и решения задачи распознавания знаков, присутствующих в электронных копиях сканированных документов, на основе именования автоматически сформированных моделей бинарных РЦИ соответствующих фрагментов обрабатываемых информационных ресурсов, с целью повышения точности и достоверности результатов их аналитической обработки;

– апробации разработанных методов и информационных технологий на экзаменационной выборке документов электронных информационных ресурсов, описанной в п. 1.2, и сравнения полученных результатов распознавания с результатами работы OCR-систем, приведенными в таблицах 1.1-1.3.

Решение поставленных задач диссертационного исследования позволит, в частности, интенсифицировать процессы поиска и аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов различных отраслей профессиональной деятельности человека с повышением показателей точности распознавания; усовершенствовать методы и подходы к индексации, систематизации, каталогизации разнообразных информационных ресурсов; снизить загрузку каналов связи за счет отказа от необходимости пересылки больших объемов графической информации; облегчить решение задач по защите авторских и смежных прав; обеспечить возможность своевременного получения специалистами актуальных данных; предоставить доступ широкому кругу пользователей к информации с соблюдением прав и иерархий доступа; уменьшить затраты на обслуживание, обработку и хранение бумажных документов [17 (с. 2), 19 (с. 16), 36 (с. 24), 53 (с. 8)].

1.6 Выводы по разделу 1

1. В разделе исследованы современные тенденции в разработке средств автоматизации поиска и аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов библиотек, музеев, архивных учреждений, промышленных предприятий, конструкторских, проектных бюро и прочих.

2. Проанализированы принципы построения систем автоматизации приведения электронных копий сканированных документов к редактируемому формату.

3. Обоснована актуальность применения методов распознавания зрительных образов для автоматизации процессов обработки электронных документов.

4. Изучены методы и способы решения задач распознавания образов, а также причины, обуславливающие снижение значений точности распознавания.

5. Определены перспективные направления разработки методов и информационных технологий аналитической обработки электронных сканированных документов, и изложены основные предпосылки к их реализации.

6. На основе проведенных в разделе рассуждений приведена постановка задачи диссертационного исследования.

РАЗДЕЛ 2

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА
АВТОМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИНАРНЫХ РАСТРОВЫХ
ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ

Раздел содержит теоретические основы разработанного метода автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах дискретного множества атомарных элементов.

В подразделе 2.1 осуществлен анализ способов представления изображений знаков открытых алфавитов, подлежащих автоматическому моделированию и именованию, а также описана проблема конструктивного определения образов обрабатываемых объектов на дискретном множестве атомарных элементов, указаны направления поиска ее решения.

Подраздел 2.2 посвящен определению ориентации кратчайших путей, являющихся элементарными составляющими моделей GT-объектов, подлежащих автоматическому анализу на множестве атомарных элементов, введены понятия путей, ориентированных влево, вправо, вверх и вниз, а также отмечен отдельный класс кратчайших путей, локально-глобальное направление которых постоянно – D -отрезки.

В подразделе 2.3 конструктивно заданы типы взаимного расположения для пар элементарных составляющих моделей D -знаков, названные Т-, V- и X-путями, а также установлены правила определения соответствующих атрибутов каждой пары.

Подраздел 2.4 содержит теоретические положения определения аналога градусной меры на дискретном множестве атомарных элементов – u -меры для пары произвольных кратчайших путей или D -отрезков. Также для произвольного КП либо D -отрезка установлена количественная характеристика, аналогичная градусной мере угла наклона отрезка к горизонтали, заданной в терминах всюду плотных множеств.

В подразделе 2.5 определены подпути кратчайших путей и изучены их свойства, что позволяет на дискретных множествах оперировать такими кратчайшими путями, значение некоторой числовой характеристики которых равно некоторой части значения такой же характеристики заданного КП.

2.1 Анализ образов изображений знаков, моделируемых на множестве атомарных элементов

Согласно поставленной в п. 1.5 задаче исследования, а также проведенным в пп. 1.3, 1.4 рассуждениям, актуальной является разработка нового подхода к автоматическому моделированию и именованию бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, не предполагающего, в частности, априорного задания объектов обучающей выборки.

В соответствии с этим, а также на основании введенных в п. 1.3 обозначений, при проведении дальнейших рассуждений будем полагать, что словарь W имен моделируемых объектов, а также множество B изображений знаков обучающей выборки (или их моделей) не содержат ни одного элемента, то есть $W = \emptyset$, $B = \emptyset$.

В дальнейшем, на этапе разработки либо эксплуатации системы обработки, анализа и моделирования изображений знаков открытых алфавитов пользователю должна быть предоставлена возможность самостоятельно именовать указанные знаки в соответствии с предметной областью решаемой прикладной задачи.

Не ограничивая общности проводимых рассуждений, предположим, что системе автоматического моделирования и именования предъявляются изображения различных знаков, примеры которых приведены на рисунке 2.1.

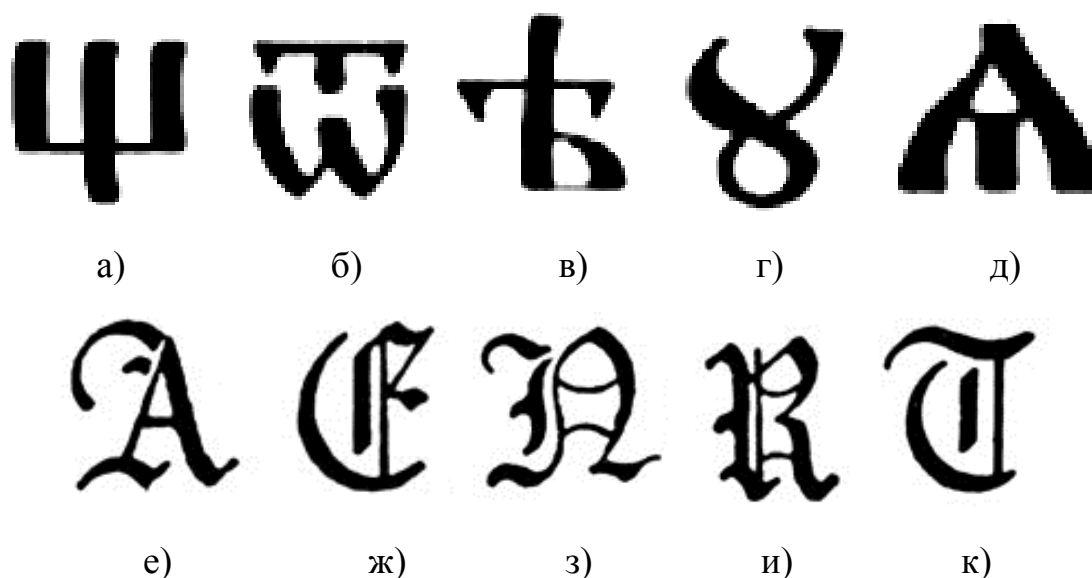


Рисунок 2.1 – Примеры изображений знаков, подлежащих автоматическому моделированию: а)-д) изображения букв старославянского алфавита; е)-к) изображения букв латинского алфавита готическим шрифтом

В результате автоматического либо автоматизированного анализа системой распознавания каждое из представленных на рисунке 2.1 изображений должно быть отождествлено с именем, поставленным ему в соответствие разработчиком либо пользователем системы, что подтверждается проведенными в пп. 1.1-1.4 рассуждениями. Примеры указанных имен для рассматриваемых знаков приведены на рисунке 2.2.

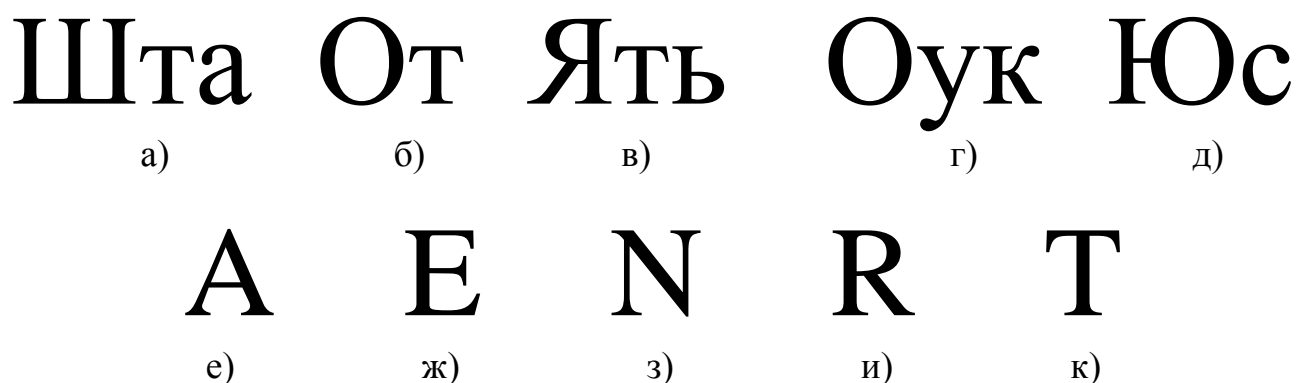


Рисунок 2.2 – Имена изображений знаков, приведенных на рисунке 2.1: а)-д) имена букв старославянского алфавита; е)-к) имена букв латинского алфавита

При проектировании систем автоматического распознавания разработчиками осуществляется автоматизированное именование объектов обучающей выборки [73 (с. 16), 177 (с. 24)]. В рамках рассматриваемого примера изображению, представленному на рисунке 2.1, а) необходимо поставить в соответствие имя «Шта», отображенное на рисунке 2.2, а). Аналогично, представленному на рисунке 2.1, б) изображению должно быть поставлено в соответствие имя «От», отображенное на рисунке 2.2, б), изображению на рисунке 2.1, в) имя «Ять» (рисунок 2.2, в), изображению на рисунке 2.1, г) имя «Оук» (рисунок 2.2, г), и изображению на рисунке 2.1, д) имя «Юс» (рисунок 2.2, д). Далее, изображению, представленному на рисунке 2.1, е) должно быть поставлено в соответствие имя «А» (рисунок 2.2, е), изображению на рисунке 2.1, ж) имя «Е» (рисунок 2.2, ж), изображению на рисунке 2.1, з) имя «N» (рисунок 2.2, з), изображению на рисунке 2.1, и) имя «R» (рисунок 2.2, и), изображению на рисунке 2.1, к) имя «Т» (рисунок 2.2, к).

Система распознавания после автоматического моделирования и автоматизированного именования изображений разработчиком либо пользователем функционирует в автоматическом режиме, предполагающем в последующем автоматическое именование знаков, имена которых назначены априорно [177 (с. 37)].

В процессе эксплуатации системе распознавания, согласно [73 (с. 61)], необходимо на произвольном предъявленном изображении, содержащем, в частности, изображения приведенных на рисунке 2.1 знаков, осуществить их в автоматическое выявление, моделирование и именование назначенными разработчиками либо пользователями именами, примеры которых представлены на рисунке 2.2.

На рисунке 2.3 приведены примеры фрагментов текстов, содержащих рассматриваемые изображения знаков, на которых в автоматизированном режиме выделены фрагменты, отождествимые с именами соответствующих элементов алфавитов.

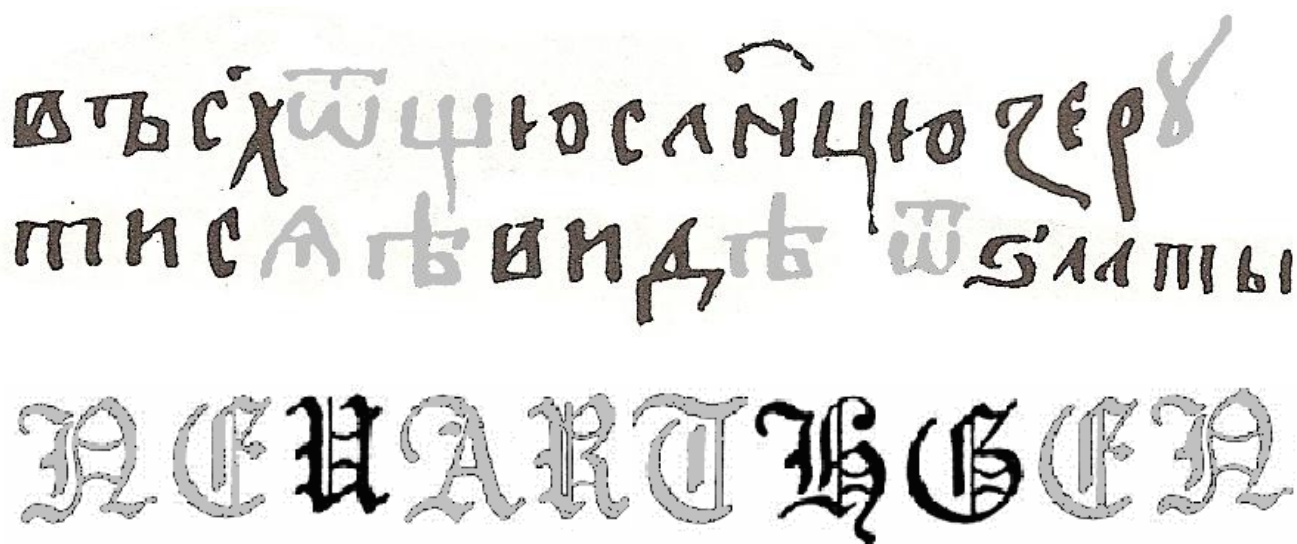


Рисунок 2.3 – Фрагменты текстов, содержащих рассматриваемые знаки алфавитов

Автоматизированное и автоматическое именованія изображений знаков предполагают разработку и реализацию метода автоматического моделирования изображений знаков, примеры которых приведены на рисунке 2.1, инвариантного, в частности, к «толщинам» обрабатываемых и анализируемых объектов, что иллюстрируют приведенные на рисунке 2.3 примеры.

Результатом автоматического (или автоматизированного) анализа и моделирования системой распознавания произвольного изображения фрагмента текста, представленного на рисунке 2.3, и содержащего априорно поименованные именами с рисунка 2.2, знаки, представленные на рисунке 2.1, является их автоматическое именование, пример которого приведен на рисунке 2.4.

Следует отметить, что указанное именование осуществляется, как отмечено в [223 (с. 2)], вследствие априорного задания множества распознаваемых классов изображений знаков выбранного алфавита в терминах выбранной предметной области прикладной практической задачи, решаемой в рамках автоматизации процесса обработки и анализа документов ЭИР, например, архива библиотеки либо научно-исследовательского центра.

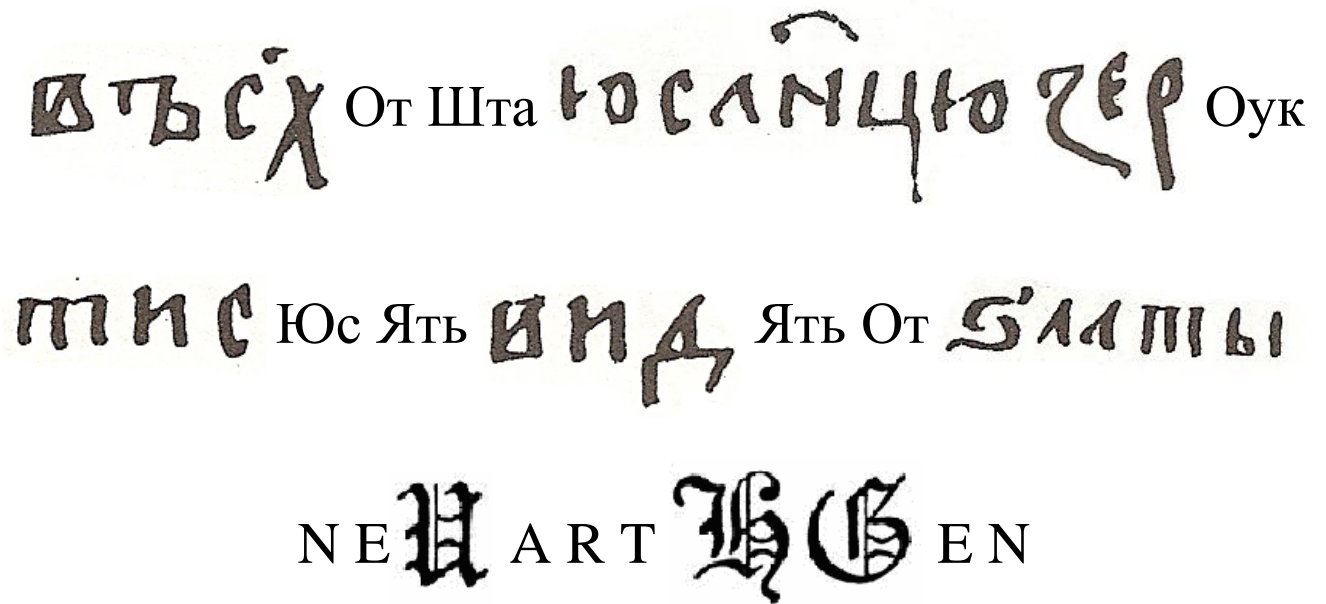


Рисунок 2.4 – Ожидаемый результат автоматического именованя выявленных на рисунке 2.3 знаков, приведенных на рисунке 2.1, именами, представленными на рисунке 2.2

Как показано на рисунке 2.5, вариативность «толщины» фрагментов изображений знаков допускает возможность наличия существенных отличий в различных начертаниях одноименных знаков.

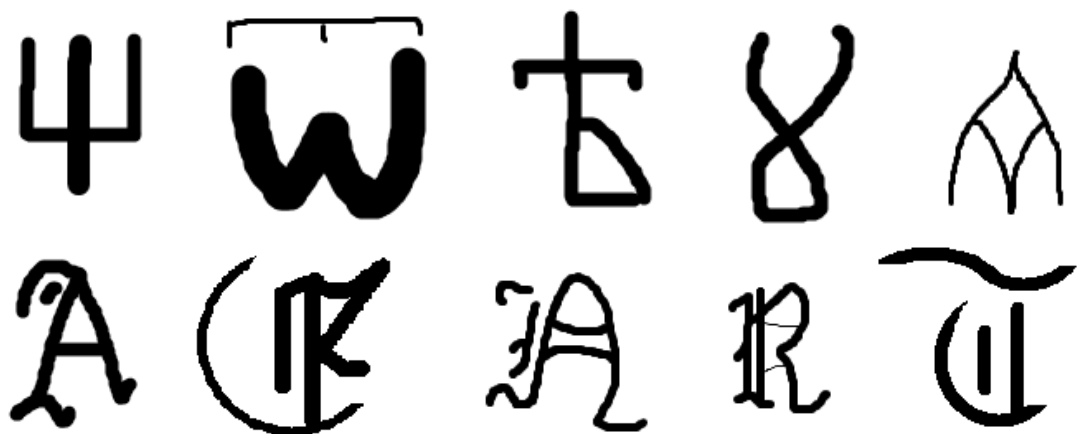


Рисунок 2.5 – Примеры вариативности «толщины» фрагментов изображений знаков, одноименных приведенным на рисунке 2.1

В соответствии с этим, актуальной является проблема скелетизации [243, 244] или утоньшения [227 (с. 12), 228 (с. 7)] изображений, подлежащих автоматическому моделированию, решение которой предполагает, согласно п. 1.4 и изложенной в [231 (с. 2)] гипотезе, выявление образов порождающих траекторий [227 (с. 4)] на обрабатываемых объектах. На рисунке 2.6 приведены примеры указанных траекторий, выявленных на рассматриваемых изображениях знаков в автоматизированном режиме.

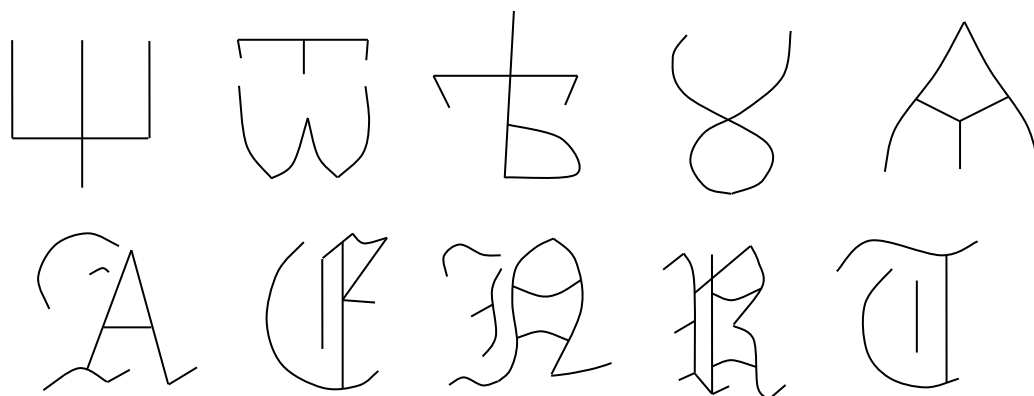


Рисунок 2.6 – Образы порождающих траекторий, выявленные в автоматизированном режиме на изображениях знаков

При этом изображения, результирующие скелетизацию, должны сохранять структуру, связность и иные качественные характеристики [202 (с. 23)] исходных с тем, чтобы увеличить достоверность представления исходного изображения остовом и, как следствие, повысить эффективность реализуемых методов, способов и алгоритмов распознавания [177 (с. 38)].

Однако, использование цифровой электронно-вычислительной техники (ЦЭВТ) в качестве элементной базы для разработки и аппаратно-программной реализации систем распознавания не предполагает возможным формировать остовы или скелеты исходных изображений знаков в виде, представленном на рисунке 2.6.

Видеосистема [211 (с. 19)] современных цифровых устройств, одним из основных элементов которой является видеопамять, предполагает дискретное

представление графической информации [245] в виде цифровых изображений [212 (с. 82)], что подтверждается проведенными в п. 1.4 и работах [200 (с. 2), 210 (с. 5)] рассуждениями.

Вследствие применения процедур скелетизации к исходным изображениям, введенным в систему распознавания, формируются матрицы вида (1.2), описанные в п. 1.4 данной работы, которые хранятся и обрабатываются видеопамятью [211 (с. 41)]. Содержимое страниц видеопамати, отображаемое, например, на мониторе [183 (с. 29)], предъявляется пользователю также в дискретном представлении [242 (с. 4)].

Кроме того, следует заметить, что, как показали проведенные в рамках диссертационной работы многочисленные исследования [190 (с. 2), 191 (с. 4), 196 (с. 4), 200 (с. 4), 210 (с. 3)], современные способы и алгоритмы генерации остова в общем случае не позволяют формировать результирующие утоньшение цифровые изображения, одноименные с исходными, что подтверждают приведенные на рисунке 2.7 примеры.

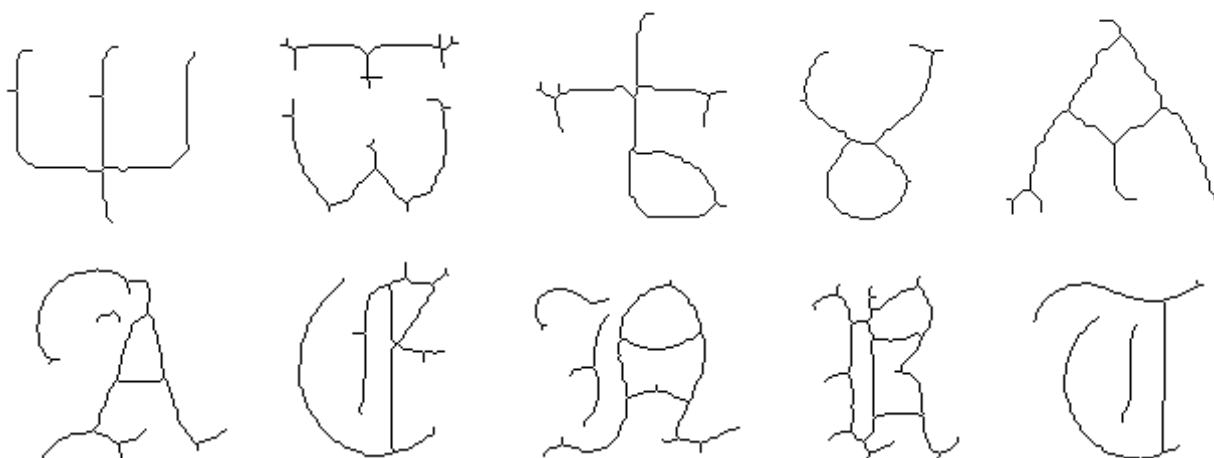


Рисунок 2.7 – Примеры остовов изображений, сформированных современными алгоритмами скелетизации

Зачастую в результате скелетизации нарушается связность исходных изображений или их фрагментов, возникают различные «артефакты» [202 (с. 8)],

изначально на изображении не присутствовавшие. Также имеют место существенные трудности с выбором примитивов при реализации морфологических процедур утоньшения, определением «рациональных значений» параметров в волновых [185 (с. 20), 187 (с. 36)] и прореживающих [206 (с. 14)] алгоритмах, что негативно сказывается на качестве как скелетизации, так и последующего моделирования, распознавания и именования.

Согласно проведенным рассуждениям, анализ и моделирование образов изображений знаков средствами современной ЦЭВТ целесообразно осуществлять в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов [190 (с. 12)] В работах [223 (с. 4), 225 (с. 1), 229 (с. 2)] изложены основные теоретические положения разработанного метода [202 (с. 2)] и соответствующих алгоритмов [231 (с. 6)] автоматического формирования ГТ-объектов бинарных РЦИ.

Указанный метод не предполагает использования категорий всюду плотных множеств для предложенного конструктивного определения на дискретном множестве АЭ образов совокупностей порождающих траекторий произвольного исходного изображения. Разработанные на его основе алгоритмы генерации ГТ-объектов позволили повысить достоверность распознавания широкого класса бинарных РЦИ, в частности, с использованием структурных методов [136 (с. 38)].

На рисунке 2.8 приведены примеры дискретных представлений ГТ-объектов на множестве АЭ как образов порождающих траекторий (показанных на рисунке 2.6), выявленных в автоматизированном режиме на исходных изображениях знаков, приведенных на рисунке 2.1.

Таким образом, как следует из проведенных рассуждений, в соответствии с поставленной в п. 1.5 задачей исследования разработка искомого метода автоматического моделирования предполагает выбор образов ГТ-объектов, заданных в терминах свойств дискретного множества АЭ, в качестве объектов исследования как *D*-знаков [232 (с. 5)], примеры которых приведены на рисунке 2.8.

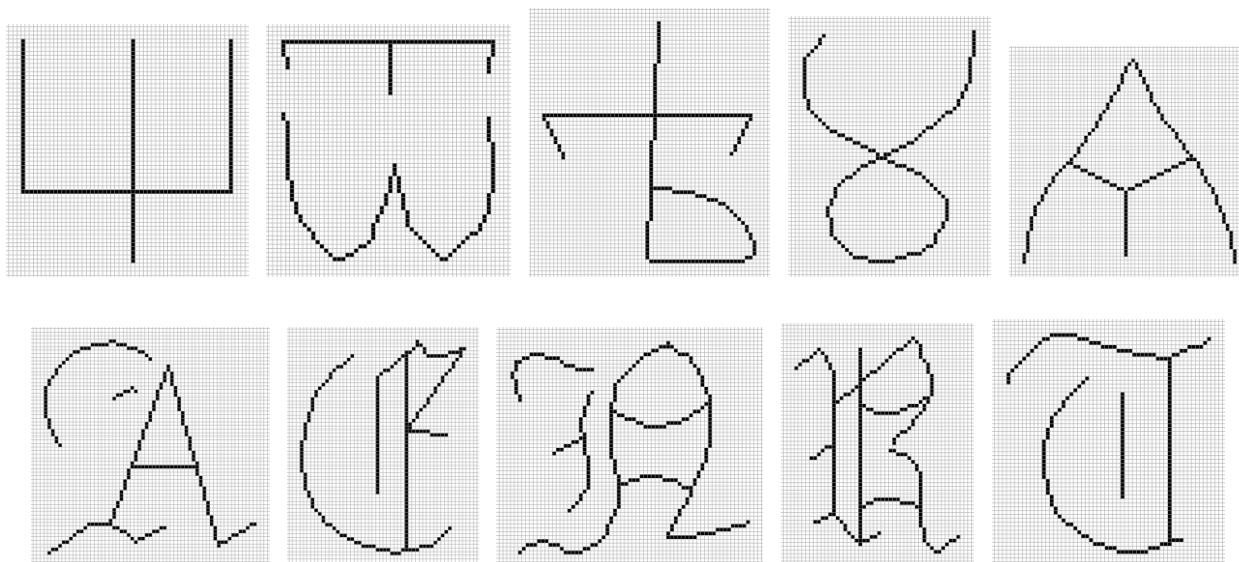


Рисунок 2.8 – GT-объекты как образы порождающих траекторий знаков исходных изображений на дискретном множестве атомарных элементов

Однако, указанный выбор образов GT-объектов в качестве объекта исследования при автоматическом моделировании и именовании изображений знаков делает затруднительным априорное эмпирическое назначение элементарных составляющих моделей анализируемых объектов в силу сделанной посылки о пустоте алфавита знаков. В соответствии с этим, актуальной является проблема конструктивного определения в терминах свойств дискретных множеств таких подмножеств АЭ произвольных анализируемых образов GT-объектов, которые являются элементарными составляющими модели, генерируемой, согласно пп. 1.4, 1.5, в автоматическом режиме. В случае задания указанных элементарных составляющих в терминах свойств множества АЭ автоматическое моделирование и именование образов GT-объектов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов возможно с использованием, например, структурных методов распознавания [92, (с. 29)] или их аналогов [82 (с. 19)]. В следующем подразделе приведены конструктивные определения указанных элементарных составляющих и их основные свойства, предполагающие возможность их использования для автоматического формирования моделей образов бинарных РЦИ в терминах свойств дискретного множества АЭ в соответствии с поставленной в п. 1.5 задачей исследования.

2.2 Определение ориентации элементарных составляющих моделей знаков, подлежащих автоматическому именованию на множестве атомарных элементов

В рамках проведенных в п. 2.1 рассуждений, будем полагать, что автоматическому моделированию и именованию подлежат образы GT-объектов бинарных РЦИ знаков произвольных изображений [231 (с. 2)]. Согласно проведенным рассуждениям, в соответствии с поставленной в п. 1.5 задачей исследования, актуальной является проблема конструктивного определения в терминах свойств дискретного множества АЭ объектов, допускающих однозначную декомпозицию [200 (с. 1)] GT-объектов, аналогичная описанному в п. 1.3 заданию множества непроектируемых элементов в рамках структурных методов распознавания [136 (с. 14), 182 (с. 6)].

На рисунке 2.9 приведены примеры исходных бинарных РЦИ и множеств непроектируемых элементов, априорно заданных для каждого класса распознаваемых объектов.

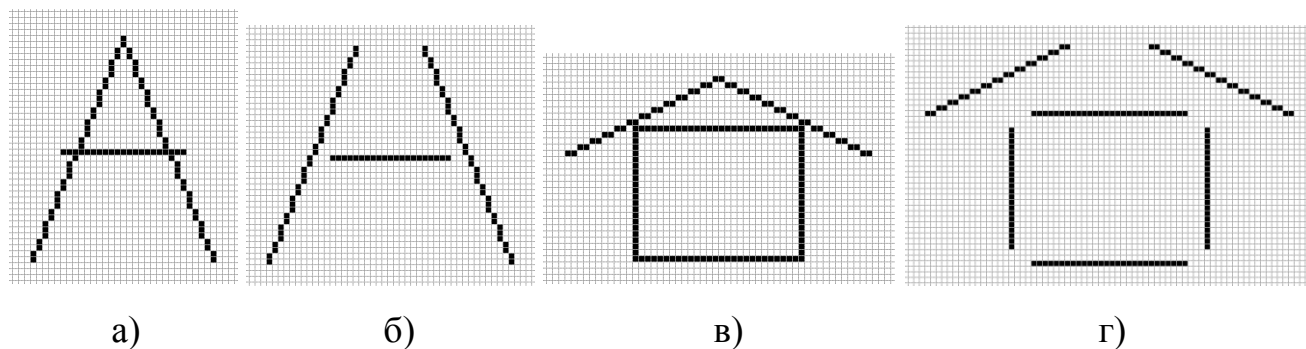


Рисунок 2.9 – Исходные растровые цифровые изображения (а, в) и традиционно используемые множества непроектируемых элементов для их моделирования (б, г)

В рамках сделанного в п. 2.1 предположения о том, что словарь W имен моделируемых объектов и множество B изображений знаков обучающей выборки пусты, указанное задание множеств непроектируемых элементов затруднительно. С целью конструктивного определения в терминах свойств множеств АЭ

минимальных составляющих автоматически формируемых ММ образов ГТ-объектов моделируемых и именуемых знаков изображений, последующие рассуждения проведем в рамках гипотезы о способе генерации соответствующих изображений, изложенной в [202 (с. 2), 226 (с. 4)].

Будем полагать, что изображение произвольного знака открытого алфавита представляет собой визуализированный на плоскости регистрации след некоторого устройства фиксации [202 (с. 3)], осуществляющего движения по траекториям, каждая из которых взаимно однозначно соответствует непрерывной кривой без самопересечений, заданной на подпространстве пространства E_2 , множество $M_j^i = \{\varphi_k^{ij}(x, y) = 0\}_{k=1}^{N_{ij}}$, $i, j \in N$ [158, 159, 246], которых является моделью генерируемого изображения [227 (с. 4)].

В системах распознавания, обзор методологий проектирования которых представлен в п. 1.3, осуществляются попытки вследствие эвристического анализа изображений обучающей выборки задания и последующего выявления на цифровых образах обрабатываемых изображений образов указанных кривых и их фрагментов, трактуемых либо как признаки [177 (с. 31)], либо как неприводимые элементы [136 (с. 9)]. Однако, априорное задание множества образов кривых моделей сгенерированных изображений в общем случае проблематично [92 (с. 14), 94 (с. 37), 181 (с. 11)], что подтверждают представленные в п. 1.2 результаты экспериментов и проведенные в пп. 1.3, 1.4 рассуждения. Также затруднительно, используя категории и объекты всюду плотных множеств [246], осуществлять автоматическое выявление на анализируемых образах изображений фрагментов, однозначно либо с некоторой точностью сопоставимых с выбранными элементарными составляющими моделей [71 (с. 8)], что негативно влияет на точность распознавания.

В соответствии с этим, в работах [190 (с. 2), 210 (с. 2)] предложено множество образов кривых, восстановленных по образу изображения, каждый из которых соответствует единственной траектории движения регистрирующей части [231 (с. 3)] устройства фиксации следа, осуществленного в процессе генерации, рассматривать в качестве модели изображения знака. Указанное множество

образов кривых определено в [201 (с. 4)] как GT-объект – модель образа изображения знака.

Согласно проведенным рассуждениям, в рамках принятой гипотезы [226 (с. 2), 228 (с. 4)] одной из задач диссертационного исследования, в соответствии с п. 1.5, является определение на дискретном множестве АЭ [190] образов кривых GT-объекта, моделирующих траектории, порождающие исходное изображение знака [231 (с. 3)].

Пусть задано множество АЭ $A = \{\alpha_h\}_{h=1}^H$, где $\alpha_h = \alpha(i_h, j_h)$, $i_h \in \{1, 2, \dots, I\}$, $j_h \in \{1, 2, \dots, J\}$, $H = I \cdot J$ [225 (с. 4)], на котором $\forall \alpha_a, \alpha_b \in A$ следующей формулой введена метрика [190 (с. 5)]:

$$\rho(\alpha_a, \alpha_b) = |i_a - i_b| + |j_a - j_b|, \quad (2.1)$$

и определены четыре типа связок s_m , $m \in \hat{M} = \{1, 2, 3, 4\}$ [225 (с. 5)].

Как показано в [241 (с. 6)], на множестве АЭ образом непрерывной кривой без самопересечений, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, является путь [190 (с. 12)] как конечное вполне упорядоченное множество связных связок – $L(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h, \alpha_{h+1})_{m_h}\}_{h=1}^n$, $m_h \in \hat{M}$, где $\alpha_1 = \alpha_a$, $\alpha_{n+1} = \alpha_b$ – соответственно начальный и конечный АЭ пути, $(\alpha_h, \alpha_{h+1})_{m_h}$ – связка типа $m_h \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n}$. При этом, согласно [191 (с. 2)], АЭ α_r , $\forall r \in \{2, 3, \dots, n\}$, имеет ровно два связных АЭ из множества $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b)) = \{\alpha_k\}_{k=1}^{n+1}$, а АЭ α_1 и α_{n+1} – не более двух.

В п. 2.1 на рисунке 2.8 приведены примеры образов GT-объектов бинарных РЦИ знаков, которые представимы на множестве АЭ совокупностями путей.

Таким образом, пути на множестве АЭ моделируют образы GT-объектов, в частности, результирующих утоньшение или скелетизацию образов РЦИ знаков различных алфавитов, что соответствует изложенной гипотезе о способе генерации

изображений знаков и подтверждается приведенными в работах [73 (с. 14), 223 (с. 3)] рассуждениями и полученными результатами моделирования [227 (с. 2)].

Согласно проведенным рассуждениям, каждый путь является образом кривой без самопересечений, моделирующей траекторию движения устройства генерации следа [226 (с. 2), 228 (с. 5)]. Поскольку путь однозначно определяется парой атомарных элементов $\alpha_a, \alpha_b \in A$ и последовательностью связных связок между ними, в работе [190 (с. 7)] введено в рассмотрение множество $\mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b)$ всевозможных путей L_k из α_a в α_b : $\mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b) = \{L_k\}$, $k \in \{1, 2, \dots, K_0\}$, где $\forall k \in \{1, 2, \dots, K_0\}$,

$$L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}, m_h^k \in \hat{M}, h = \overline{1, n_k}.$$

Исследования свойств различных путей показали, что для произвольных $\alpha_a, \alpha_b \in A$ пути множества $\mathfrak{Z}(\alpha_a, \alpha_b)$, характеризующиеся одинаковыми типами образующих их связок, в общем случае моделируют ГТ-объекты различных изображений знаков, которые не являются одноименными, как показано, в частности, на рисунке 2.10.

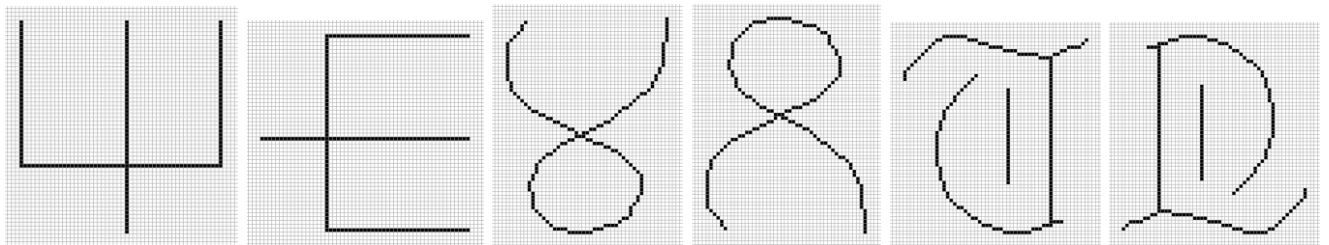


Рисунок 2.10 – Множества путей, неразличимых по типам составляющих их связок, моделирующие на множестве АЭ образы ГТ-объектов различных изображений знаков, не являющихся одноименными

Связки различных типов, формирующие пути, в зависимости от порядка следования, позволяют выявить фрагменты D -знаков, соответствующих исходным изображениям, характеризующиеся сохранением локально-глобального направления (ЛГН) [235 (с. 2), 236 (с. 5)]. Введенные в [190 (с. 3)] меры μ_1 и μ_2 путей, а также результаты исследований их свойств, позволили определить кратчайшие пути

между парами произвольных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$, характеризующиеся сохранением локально-глобального направления в целом [247].

Определение 2.1. Путь $L(\alpha_a, \alpha_b)$ такой, что

$$\mu_2(L) = \min_{\forall L_k \in \mathfrak{S}_1(\alpha_a, \alpha_b)} \mu_2(L_k), \quad (2.2)$$

где $\mathfrak{S}_1(\alpha_a, \alpha_b) \subset \mathfrak{S}(\alpha_a, \alpha_b)$ – множество путей из α_a в α_b таких, что $\forall L_k \in \mathfrak{S}_1(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in K_1$, где $K_1 \subset \{1, 2, \dots, K_0\}$ – индексное множество, и выполнено $\mu_1(L_k) = \rho(\alpha_a, \alpha_b)$, называется *кратчайшим путём* от α_a к α_b (из α_a в α_b).

В работах [190 (с. 12), 248] показано, что для произвольных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ в общем случае существует множество $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b) \subseteq \mathfrak{S}_1(\alpha_a, \alpha_b)$ КП между ними, $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b) = \{L_k\}$, $k \in K_2 \subseteq K_1$, где K_2 – индексное множество.

Также в работах [240 (с. 4), 242 (с. 3)] обосновано утверждение, согласно которому кратчайшие пути не содержат одновременно горизонтальных и вертикальных связей, а также диагональных связей двух типов, то есть s_1 и s_2 одновременно, или s_3 и s_4 одновременно. Таким образом, КП на множестве АЭ являются моделями принадлежащих ГТ-объекту некоторого изображения исходного знака образов кривых без самопересечений, характеризующихся сохранением локально-глобального направления движения [235 (с. 2), 236 (с. 1)], либо их фрагментов [224 (с. 3)].

Заметим также, что, согласно определениям пути и КП [190 (с. 4)], для любых АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ произвольный путь $L_k \in \mathfrak{S}(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K_0\}$, может быть представлен в виде объединения [190 (с. 6)] конечного числа кратчайших путей.

Приведенный в [200 (с. 5)] критерий принадлежности произвольного пути множеству кратчайших в совокупности с доказанными утверждениями [190 (с. 7)] позволяют осуществлять автоматическую декомпозицию [249] произвольного D -знака, предполагающую выявление фрагментов образов ГТ-объектов, которые соответствуют кривым модели исходного изображения знака [247 (с. 4)], и характеризуются сохранением ЛГН.

Конструктивизм определения указанных фрагментов образов GT-объектов на множестве АЭ позволяет осуществлять их автоматическое выявление без априорного задания элементов открытого алфавита и множеств производных элементов в соответствии с пп. 1.4, 1.5.

Таким образом, КП является искомой элементарной составляющей моделей образов GT-объектов на множестве АЭ, не предполагающей априорного задания множеств производных элементов, эталонов, примитивов, последовательностей морфологических операций, которая позволяет в силу конструктивизма своего определения и имеющихся теоретических предпосылок [190 (с. 1)] автоматически формировать модели анализируемых образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов и их GT-объектов в терминах свойств дискретного множества АЭ.

Выбор КП в качестве элементарной составляющей модели *D*-знака предполагает возможность автоматического формирования ММ образа GT-объекта произвольного бинарного РЦИ аналогично структурным методам.

Разница с указанными методами заключается в том, что, в отличие от производных элементов, КП задается конструктивно безотносительно к объектам обучающей выборки и их эвристически-субъективному анализу на этапе проектирования системы распознавания (п. 1.3), и его автоматическое выявление не предполагает необходимости применения мер близости, пороговых констант и прочих способов [94 (с. 41)], снижающих, как показано в пп. 1.3, 1.4, качество распознавания.

На рисунке 2.11. приведены примеры результатов автоматизированного выявления на образах GT-объектов [236 (с. 2)] множеств КП [190 (с. 2)], каждый из которых характеризуется на множестве АЭ [200 (с. 2)] сохранением ЛГН [202 (с. 4), 236 (с. 2)].

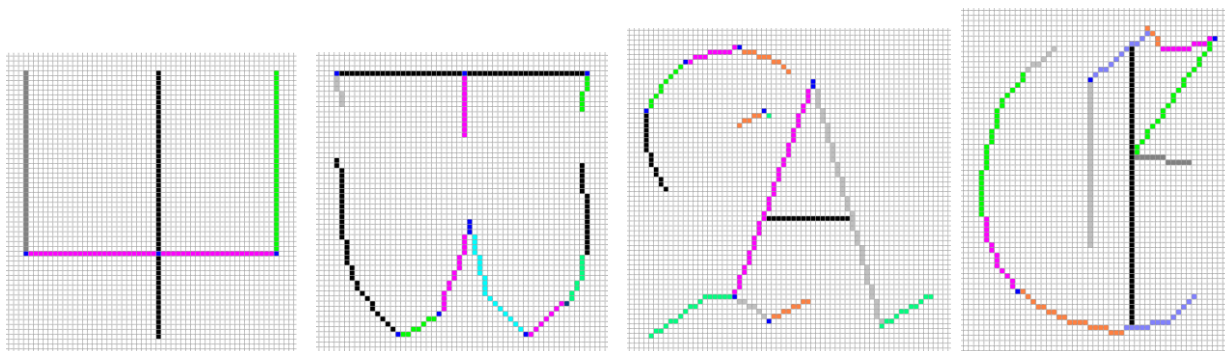


Рисунок 2.11 – Множества КП, выявленных на образах GT-объектов в автоматизированном режиме

Заметим, что наличие в КП между парой фиксированных АЭ связок установленных типов в общем случае предполагает наличие различий между КП в рамках одного множества $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, обусловленных различными порядками следования связок, формирующих различные кратчайшие пути. Данный факт подтверждается, в частности, примерами, приведенными на рисунке 2.12.

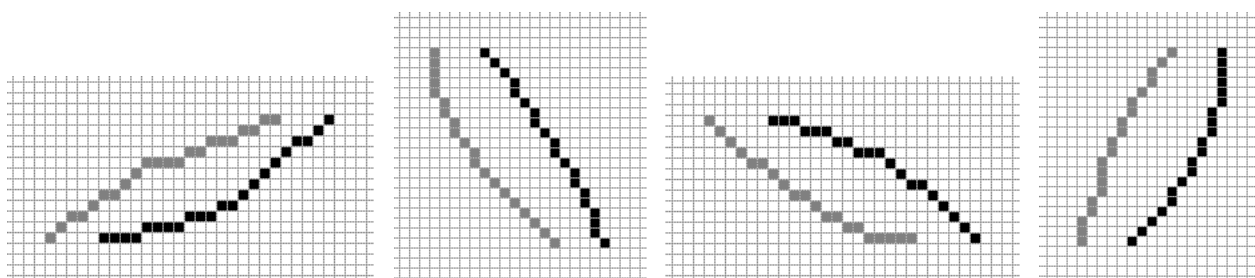


Рисунок 2.12 – Примеры КП между парами фиксированных АЭ, моделирующих локальные изменения направлений движений РЧ УФС

Указанные различия между КП, принадлежащими одному множеству $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, в общем случае определяют проблематичность именованности образов GT-объектов как совокупностей кратчайших путей, сформированных одинаковыми типами связок, например, именами, приведенными в п. 2.1 на рисунке 2.2. На рисунке 2.13 приведены примеры множеств КП, выявленных на образах GT-объектов, неразличимых по типам составляющих связок с

аналогичными путями, выявленными на образах GT-объектов, изображенных на рисунке 2.8.

Таким образом, КП, являясь конструктивно определенным на множестве АЭ универсальным аналогом производного элемента, при его использовании в качестве элементарной составляющей автоматически формируемой ММ образа GT-объекта бинарного РЦИ знака произвольного алфавита, предполагает необходимость учитывать его свойства, отражающие в частности, последовательности типов составляющих его связок. То есть кратчайшие пути, изображенные на рисунке 2.12, целесообразно различать между собой.

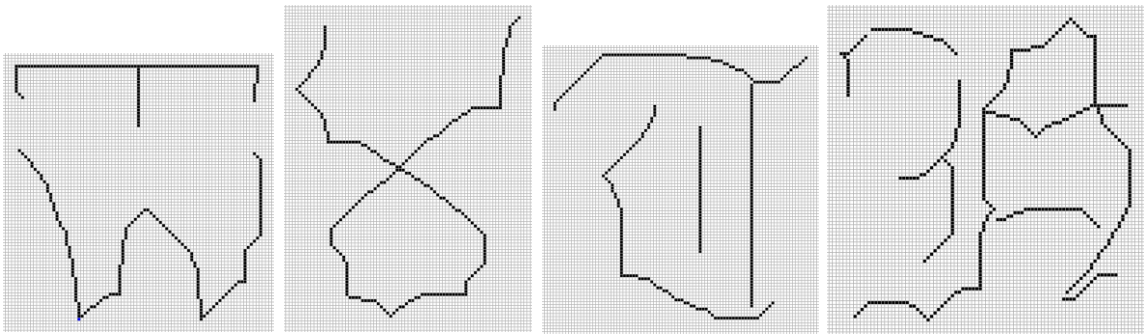


Рисунок 2.13 – Образы GT-объектов, именование которых именами, приведенными на рисунке 2.2, проблематично

В соответствии с этим, чтобы различать принадлежащие одному множеству $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ пути, порядки следования связок в которых различны, определим понятия выпуклых вверх, вниз, влево и вправо КП. Указанные характеристики в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости, определенных для кривых в терминах свойств всюду плотных множеств и позволяющих, в частности, учитывать локальные свойства соответствующих объектов, моделирующих изображения знаков, например, в признаковых и структурных подходах к распознаванию. С этой целью введем в рассмотрение определения верхней, нижней, левой и правой границ множеств кратчайших путей.

Определение 2.2. Путь $L_k \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *верхней границей* множества кратчайших

путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_k}$, $m_r^l \in \hat{M}$, $r = \overline{1, n_k}$, $l \in K_2$, и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k)$, $\forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l)$, $h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

$$\begin{aligned} i_h \leq i_r, j_h \leq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{1, 4\}, h, r = \overline{1, n_k}, \text{ или} \\ i_h \leq i_r, j_h \geq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{1, 3\}, h, r = \overline{1, n_k}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Определение 2.3. Путь $L_k \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *левой границей* множества кратчайших путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_k}$, $m_r^l \in \hat{M}$, $r = \overline{1, n_k}$, $l \in K_2$, и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k)$, $\forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l)$, $h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

$$\begin{aligned} i_h \leq i_r, j_h \leq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{2, 4\}, h, r = \overline{1, n_k}, \text{ или} \\ i_h \geq i_r, j_h \leq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{2, 3\}, h, r = \overline{1, n_k}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Примеры верхних и левых границ различных множеств кратчайших путей приведены на рисунке 2.14.

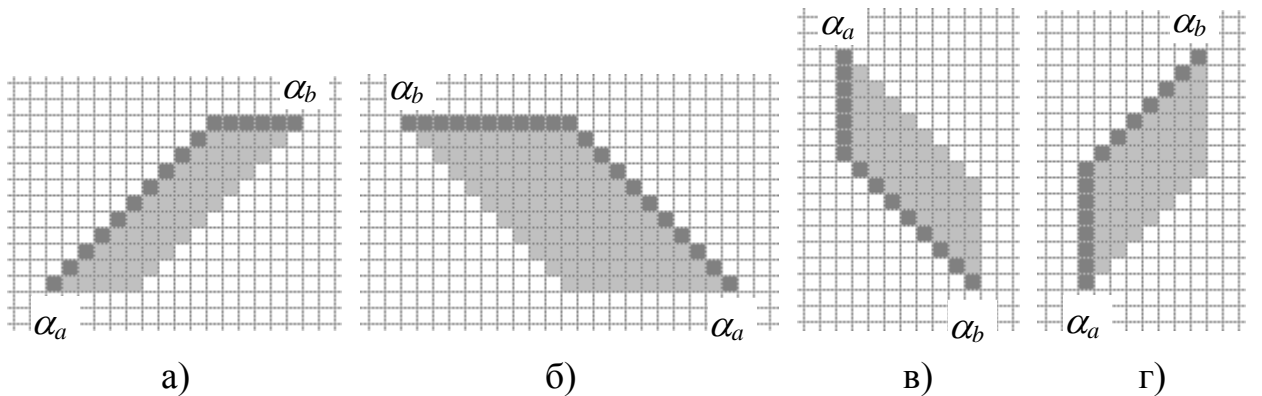


Рисунок 2.14 – Верхние (а, б) и левые (в, г) границы множеств КП

Аналогично определим нижнюю и правую границы множества КП.

Определение 2.4. Путь $L_k \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *нижней границей* множества кратчайших путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_k}$, $m_r^l \in \hat{M}$, $r = \overline{1, n_k}$, $l \in K_2$, и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k)$, $\forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l)$, $h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

$$\begin{aligned} i_h \geq i_r, j_h \geq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{1, 4\}, h, r = \overline{1, n_k}, \text{ или} \\ i_h \geq i_r, j_h \leq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{1, 3\}, h, r = \overline{1, n_k}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Определение 2.5. Путь $L_k \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *правой границей* множества кратчайших путей, если $\forall L_l \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_l = L_l(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_r^l, \alpha_{r+1}^l)_{m_r^l}\}_{r=1}^{n_k}$, $m_r^l \in \hat{M}$, $r = \overline{1, n_k}$, $l \in K_2$, и $\forall \alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in \Lambda(L_k)$, $\forall \alpha_r = \alpha(i_r, j_r) \in \Lambda(L_l)$, $h, r = \overline{1, n_k + 1}$, где L_l – произвольный КП из α_a в α_b , выполнено:

$$\begin{aligned} i_h \geq i_r, j_h \geq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{2, 4\}, h, r = \overline{1, n_k}, \text{ или} \\ i_h \leq i_r, j_h \geq j_r, \text{ в случае, когда } m_h^k, m_r^l \in \{2, 3\}, h, r = \overline{1, n_k}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

На рисунке 2.15 приведены примеры нижних и правых границ множеств КП.

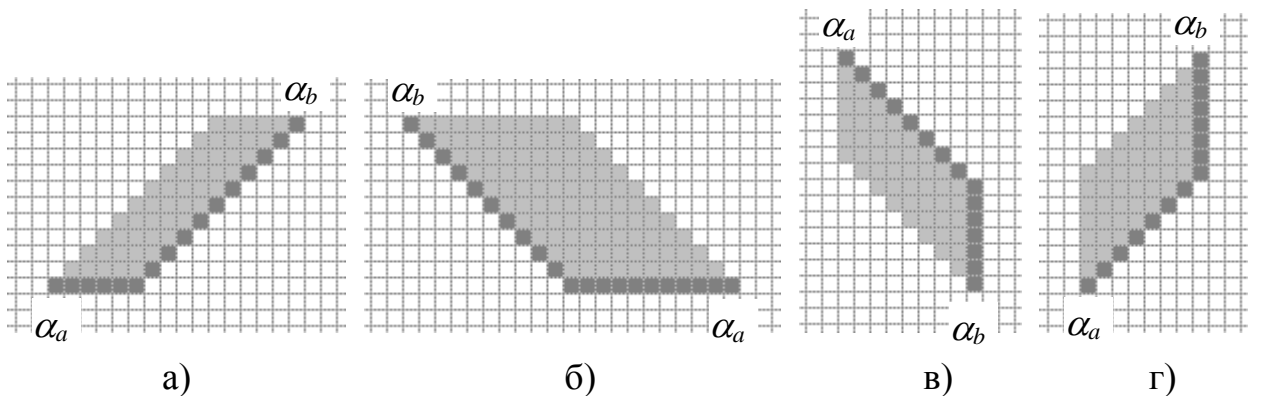


Рисунок 2.15 – Нижние (а, б) и правые (в, г) границы множеств КП

На основании предложенных определений выделим в различных множествах КП $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ подмножества путей, характеризуемых, согласно проведенным рассуждениям, верхней, нижней, левой либо правой ориентацией [250], что позволит при автоматическом моделировании и именовании на множестве АЭ образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов более точно учитывать особенности сохраняющих ЛГН фрагментов образов GT-объектов [231].

Определение 2.6. Путь $L_k \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *ориентированным вверх*, если $\forall \alpha_h^k = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k)$, $h = \overline{2, n_k}$, выполнено:

$$j_h^k = j_h^t = j_h^l, i_h^t \leq i_h^k \leq i_h^t + [(i_h^l - i_h^t - 1) / 2], \text{ при } m_h^k \in \{1, 3\} \text{ либо } m_h^k \in \{1, 4\},$$

где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$,

$L_t, L_l \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$, – соответственно верхняя и нижняя границы множества $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

На рисунках 2.16, а), б) приведены примеры множеств АЭ, формирующих связки ориентированных вверх КП различных множеств $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ в соответствии с определением 2.6.

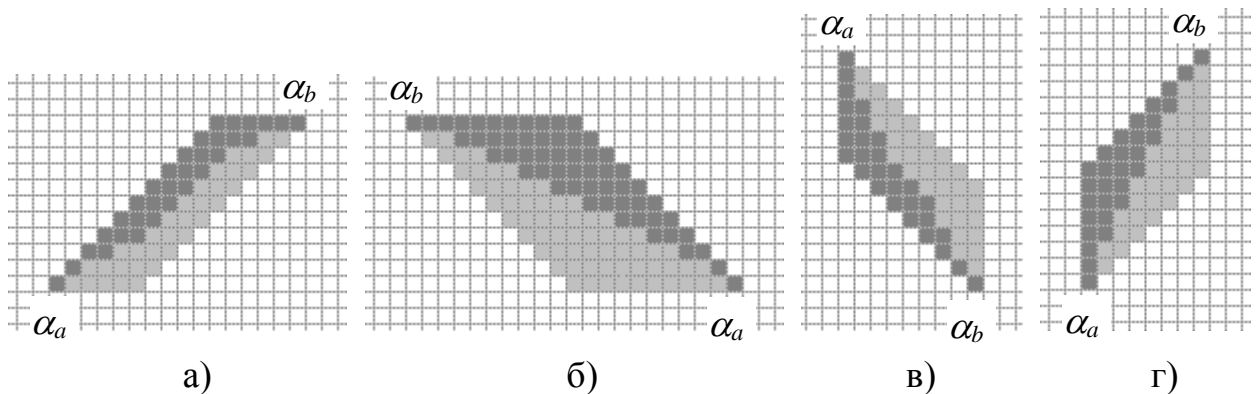


Рисунок 2.16 – Множества АЭ, формирующие связки ориентированных вверх (а, б) и влево (в, г) КП множеств $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ (выделены темным)

Определение 2.7. Путь $L_k \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *ориентированным влево*, если $\forall \alpha_h^k = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k)$, $h = \overline{2, n_k}$, выполнено:

$$i_h^k = i_h^t = i_h^l, j_h^k \leq j_h^t \leq j_h^l + [(j_h^l - j_h^t - 1) / 2], \text{ при } m_h^k \in \{2, 4\}, \text{ либо } m_h^k \in \{2, 3\},$$

где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$,

$L_t, L_l \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$, – соответственно левая и правая границы множества $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Рисунки 2.16, в), г) содержат примеры множеств АЭ, формирующих связки КП, ориентированных влево согласно определению 2.7, для различных множеств $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Аналогично ориентированным вверх и влево, для различных множеств $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ определим ориентированные вниз и вправо КП.

Определение 2.8. Путь $L_k \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *ориентированным вниз*, если $\forall \alpha_h^k = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k)$, $h = \overline{2, n_k}$, выполнено:

$$j_h^k = j_h^t = j_h^l, i_h^k - [(i_h^l - i_h^t - 1) / 2] \leq i_h^k \leq i_h^l, \text{ при } m_h^k \in \{1, 3\} \text{ либо } m_h^k \in \{1, 4\},$$

где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$,

$L_t, L_l \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$, – соответственно верхняя и нижняя границы множества $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Определение 2.9. Путь $L_k \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L_k = L_k(\alpha_a, \alpha_b) = \{(\alpha_h^k, \alpha_{h+1}^k)_{m_h^k}\}_{h=1}^{n_k}$, $m_h^k \in \hat{M}$, $h = \overline{1, n_k}$, $k \in K_2$, называется *ориентированным вправо*, если $\forall \alpha_h^k = \alpha(i_h^k, j_h^k) \in \Lambda(L_k)$, $h = \overline{2, n_k}$, выполнено:

$i_h^k = i_h^t = i_h^l, j_h^k - [(j_h^l - j_h^t - 1) / 2] \leq j_h^k \leq j_h^l$, при $m_h^k \in \{2, 4\}$, либо $m_h^k \in \{2, 3\}$,
где $i_h^t, j_h^t, i_h^l, j_h^l$ – индексы АЭ $\alpha_h^t = \alpha(i_h^t, j_h^t) \in \Lambda(L_t)$, $\alpha_h^l = \alpha(i_h^l, j_h^l) \in \Lambda(L_l)$,
 $L_t, L_l \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $t, l \in K_2$, – соответственно левая и правая границы множества
 $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$.

Примеры множеств АЭ, в соответствии с определениями 2.8, 2.9 формирующих связки ориентированных вниз и вправо КП из различных множеств $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, приведены на рисунках 2.17, а), б) и рисунках 2.17, в), г) соответственно.

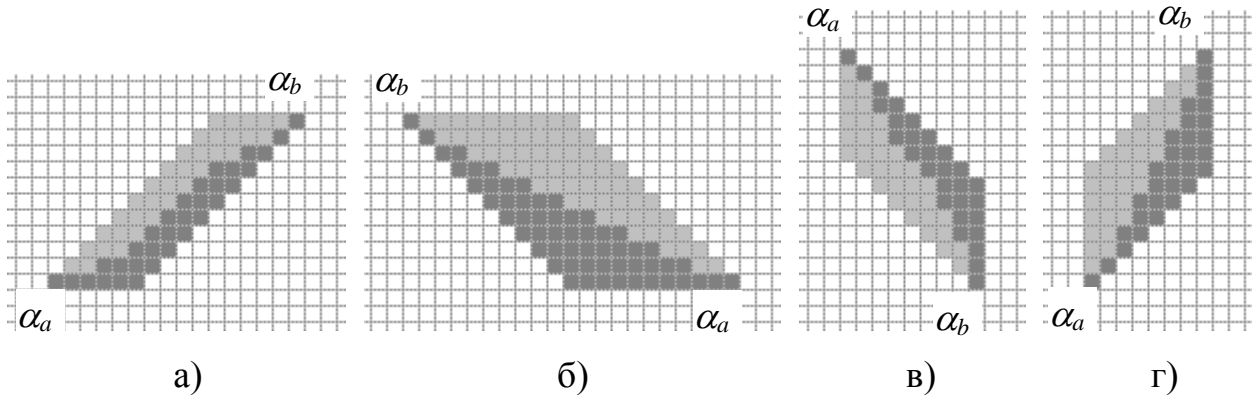


Рисунок 2.17 – Множества АЭ, формирующие связки ориентированных вниз (а, б) и вправо (в, г) КП множеств $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ (выделены темным)

В случае, если произвольный путь $L_k \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in K_2$, не является ориентированным вверх, вниз, влево либо вправо согласно определениям 2.6-2.9, он может быть представлен в виде объединения конечного числа ориентированных КП [225 (с. 3)].

Если начальные и конечные АЭ КП некоторого множества $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ таковы, что $i_a = i_b$ или $j_a = j_b$, но при этом $i_a \neq i_b$ и $j_a \neq j_b$ одновременно, или $|i_a - i_b| = |j_a - j_b|$, для фиксированных значений индексов АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$, удовлетворяющих указанным условиям, существует единственный КП между ними, который состоит

из связок только одного типа, при этом верхняя и нижняя либо левая и правая границы множеств КП совпадают, как показано на рисунке 2.18.

В данном случае соответствующие образы кривых как элементы GT-объекта, или их фрагменты, характеризуемые сохранением ЛГН, на множестве АЭ автоматически моделируются D -отрезками [238 (с. 2)], являющимися частными случаями КП [190 (с. 6)].

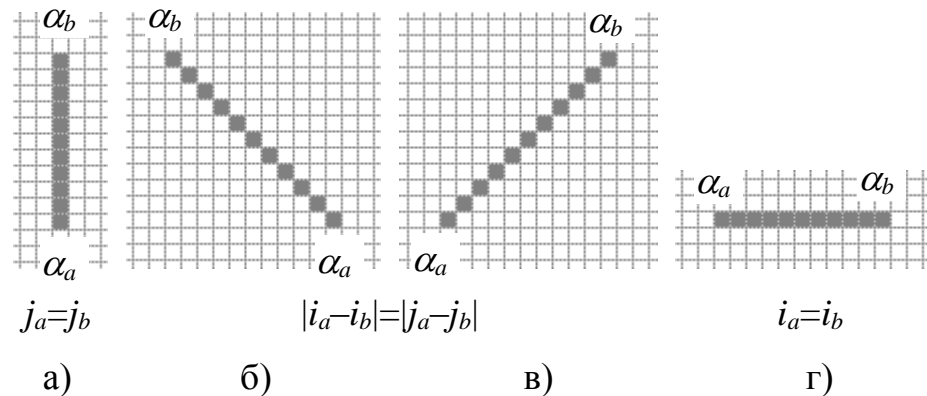


Рисунок 2.18 – Множества КП, состоящие из единственного элемента, являющегося одновременно левой и правой (а-в) либо верхней и нижней (б-г) границами множеств $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$

При этом, согласно [247 (с. 5)], вариативность в выборе элементарной составляющей модели образа GT-объекта минимальна, следовательно, определение ориентированности кратчайшего пути не является целесообразным, и автоматическому моделированию подлежат непосредственно выявленные D -отрезки [249 (с. 1)]. Как отмечено в работах [224 (с. 3), 226 (с. 2)], выбор кратчайшего пути в качестве элементарной составляющей модели образа GT-объекта изображения произвольного знака открытого алфавита позволяет, в частности, эффективно осуществлять автоматическую декомпозицию D -знаков [249 (с. 1)]. Определения ориентированных вверх, вниз влево и вправо КП позволяют при формировании моделей анализируемых D -знаков учитывать такую характеристику кривых, как выпуклость, традиционно используемую, согласно [158 (с. 30), 159 (с. 12)], при моделировании исходных изображений знаков (п. 1.3).

Проведенные в настоящем подразделе рассуждения и введенные определения позволяют перейти к рассмотрению проблемы взаимного расположения КП в моделируемых D -знаках, что позволит учитывать относительные характеристики автоматически выявляемых в процессе декомпозиции элементарных составляющих образов ГТ-объектов, представимых в виде множества путей, соответствующих порождающим траекториям исходных изображений знаков, сгенерированных в соответствии с изложенной в [226 (с. 1), 228 (с. 2)] гипотезой.

2.3 Определение взаимного расположения элементарных составляющих моделей D -знаков

На основании проведенных в пп. 2.1, 2.2 рассуждений, автоматическое моделирование образов ГТ-объектов на множестве АЭ предполагает декомпозицию D -знаков на кратчайшие пути, каждый из которых соответствует кривой (или фрагменту кривой) модели исходного изображения знака, сгенерированного в соответствии с принятой гипотезой [226 (с. 1), 228 (с. 2)], и характеризуемой сохранением ЛГН движения регистрирующей части устройства фиксации следа (УФС) [202 (с. 6)]. При этом в работах [191 (с. 4), 195 (с. 3)] показано, что на дискретных множествах КП, формируемые связками определенных типов [190 (с. 8)], являются фрагментами D -знаков, которые также характеризуются сохранением ЛГН в терминах свойств множества АЭ [224 (с. 5)]. Таким образом, в рамках поставленной в п. 1.5 задачи исследования, обоснован выбор КП в качестве минимальной составляющей автоматически формируемой модели произвольного D -знака как образа исходного изображения знака открытого алфавита, заданного в терминах свойств дискретных множеств [251].

При этом, для пары фиксированных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ множество КП, характеризующихся одинаковыми типами формирующих их связей, содержит

образованный связками тех же типов D -отрезков, который также соответствует элементу модели исходного изображения знака [201 (с. 2)], следовательно, является элементарной составляющей автоматически генерируемой модели анализируемого D -знака [247 (с. 4)].

Согласно [232 (с. 4), 237 (с. 3)] и перечисленным в п. 1.5 основным задачам исследования, актуальным является конструктивное определение различных типов взаимного структурного расположения D -отрезков как указанных элементарных составляющих модели D -знака, что позволит, в частности, автоматически формировать его описание с целью последующего именованя.

Для удобства проведения последующих рассуждений определим понятие равенства двух произвольных атомарных элементов.

Определение 2.10. Атомарные элементы $\alpha_h, \alpha_r \in A$, $\alpha_h = \alpha(i_h, j_h)$, $\alpha_r = \alpha(i_r, j_r)$, где $i_h, i_r \in \{1, 2, \dots, I\}$, $j_h, j_r \in \{1, 2, \dots, J\}$, называются *равными*, если для индексов выполнено: $i_h = i_r$ и $j_h = j_r$. Равенство АЭ $\alpha_h, \alpha_r \in A$ обозначим как $\alpha_h = \alpha_r$. Если АЭ $\alpha_h, \alpha_r \in A$ не являются равными, используем обозначение $\alpha_h \neq \alpha_r$.

Рассмотрим пары АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$, $\alpha_a = \alpha(i_a, j_a)$, $\alpha_b = \alpha(i_b, j_b)$, и $\alpha_c, \alpha_d \in A$, $\alpha_c = \alpha(i_c, j_c)$, $\alpha_d = \alpha(i_d, j_d)$, $i_a, i_b, i_c, i_d \in \{1, 2, \dots, I\}$, $j_a, j_b, j_c, j_d \in \{1, 2, \dots, J\}$, такие, что $\alpha_a \neq \alpha_b$, $\alpha_c \neq \alpha_d$, и множества КП $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b) = \{L_k^{ab}\}$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $\mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d) = \{L_t^{cd}\}$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, где $K^{ab}, K^{cd} \in N$ – мощности множеств $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ и $\mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ соответственно: $K^{ab} = \text{mes}(\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b))$, $K^{cd} = \text{mes}(\mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d))$ [249]. Не ограничивая общности проводимых рассуждений, будем полагать, что КП каждого из множеств $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ и $\mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ состоят более чем из одной связки, то есть $\mu_2(L_k^{ab}) = n_k^{ab} > 1$, $\forall k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $\mu_2(L_t^{cd}) = n_t^{cd} > 1$, $\forall t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$.

Также воспользуемся введенным в [198] понятием окрестности АЭ.

Определение 2.11. *Окрестностью* $U(\alpha_h) \subset A$ атомарного элемента $\alpha_h \in A$, $h \in \{1, 2, \dots, H\}$, называется подмножество:

$$U(\alpha_h) = \{\alpha_p \in A \mid \max\{|i_h - i_p|, |j_h - j_p|\} = 1, p \in \{1, 2, \dots, H\}, p \neq h\}.$$

На основании проведенных рассуждений, в соответствии с принятыми обозначениями в введенными понятиями, определим на множестве АЭ взаимное

расположение КП, моделирующих касание крайней точкой одной из непрерывных кривых без самопересечений внутренней точки другой кривой, которые принадлежат модели исходного изображения знака, сгенерированного согласно гипотезе [202 (с. 2), 206(с. 4)], и характеризуются сохранением ЛГН [224 (с. 4)]. Для этого рассмотрим АЭ $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$, множества $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b), \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ КП между ними и пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b), k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}, L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d), t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, такие, что выполнено одно из следующих четырех условий:

$$\begin{aligned} 1) \text{ для любого АЭ } \alpha_r^{cd} \in \Lambda(L_r^{cd}), r = \overline{1, n_r^{cd} + 1}, \text{ выполнено: } \alpha_b \notin U(\alpha_r^{cd}), \\ \text{и существует } \alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_{r_0}^{cd}) \setminus \{\alpha_c, \alpha_d\}, r_0 \in \{2, 3, \dots, n_r^{cd}\}, \text{ такой, что} \quad (2.7) \\ \alpha_a = \alpha_{r_0}^{cd} \text{ или } \alpha_a \in U(\alpha_{r_0}^{cd}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ для любого АЭ } \alpha_r^{cd} \in \Lambda(L_r^{cd}), r = \overline{1, n_r^{cd} + 1}, \text{ выполнено: } \alpha_a \notin U(\alpha_r^{cd}), \\ \text{и существует } \alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_{r_0}^{cd}) \setminus \{\alpha_c, \alpha_d\}, r_0 \in \{2, 3, \dots, n_r^{cd}\}, \text{ такой, что} \quad (2.8) \\ \alpha_b = \alpha_{r_0}^{cd} \text{ или } \alpha_b \in U(\alpha_{r_0}^{cd}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ для любого АЭ } \alpha_h^{ab} \in \Lambda(L_h^{ab}), h = \overline{1, n_h^{ab} + 1}, \text{ выполнено: } \alpha_d \notin U(\alpha_h^{ab}), \\ \text{и существует } \alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_{h_0}^{ab}) \setminus \{\alpha_a, \alpha_b\}, h_0 \in \{2, 3, \dots, n_h^{ab}\}, \text{ такой, что} \quad (2.9) \\ \alpha_c = \alpha_{h_0}^{ab} \text{ или } \alpha_c \in U(\alpha_{h_0}^{ab}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ для любого АЭ } \alpha_h^{ab} \in \Lambda(L_h^{ab}), h = \overline{1, n_h^{ab} + 1}, \text{ выполнено: } \alpha_c \notin U(\alpha_h^{ab}), \\ \text{и существует } \alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_{h_0}^{ab}) \setminus \{\alpha_a, \alpha_b\}, h_0 \in \{2, 3, \dots, n_h^{ab}\}, \text{ такой, что} \quad (2.10) \\ \alpha_d = \alpha_{h_0}^{ab} \text{ или } \alpha_d \in U(\alpha_{h_0}^{ab}). \end{aligned}$$

На основании проведенных рассуждений, введем в рассмотрение понятие T -путей, отражающее один из вариантов взаимного расположения элементарных составляющих D -знака.

Определение 2.12. Пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b), k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}, L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d), t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, где $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$, называются *парой T -путей* или *T -путями*, если для множеств АЭ $\Lambda(L_k^{ab}), \Lambda(L_t^{cd})$, формирующих связки соответствующих КП, выполнено одно из условий (2.7-2.10).

На рисунке 2.19 приведены примеры пар Т-путей и характеризуемых, в частности, наличием либо отсутствием общих АЭ во множествах $\Lambda(L_k^{ab})$ и $\Lambda(L_t^{cd})$.

Для того, что при автоматическом моделировании на множестве атомарных элементов D -знаков как образов GT-объектов, представленных множествами КП, учитывать относительные характеристики пар Т-путей, введем в рассмотрение Т-атрибуты КП, соответствующие различным вариантам взаимных расположений начальных и конечных АЭ одного из путей с АЭ, формирующими связки другого пути, как это показано на рисунке 2.19.

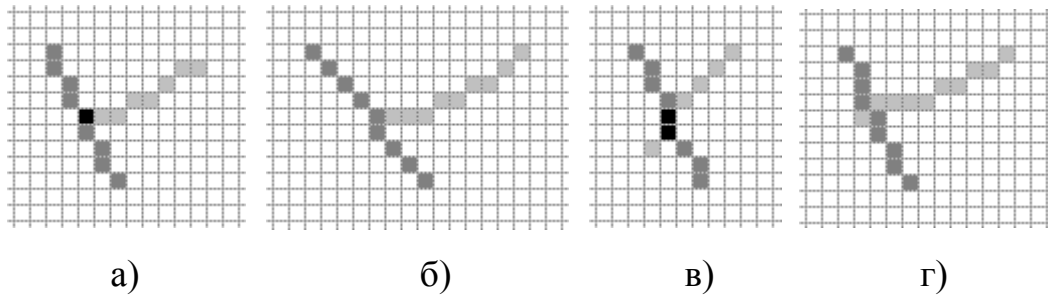


Рисунок 2.19 – Примеры пар Т-путей L_k^{ab} , L_t^{cd} : а), в) – $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) \neq \emptyset$ (общие АЭ множеств выделены черным); б), г) – $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) = \emptyset$ (общие АЭ множеств отсутствуют)

Пусть пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, являются парой Т-путей, и выполнено условие (2.7). Тогда, если $\exists \alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd}\}$, такой, что $\alpha_a = \alpha_{r_0}^{cd}$, АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$ будем полагать Т-атрибутом пути L_t^{cd} , АЭ α_a – Т-атрибутом пути L_k^{ab} .

Иначе, если $\forall \alpha_r^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r = \overline{1, n_t^{cd} + 1}$, $\alpha_a \neq \alpha_r^{cd}$, то существует по крайней мере один АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd}\}$, такой, что $\alpha_a \in U(\alpha_{r_0}^{cd})$, то есть $U(\alpha_a) \cap \Lambda(L_t^{cd}) \neq \emptyset$.

Тогда, если $mes(U(\alpha_a) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 1$ (пример показан на рисунке 2.19, в), то есть существует единственный $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd}\}$, связанный с $\alpha_a \in$

$\in \Lambda(L_k^{ab})$, АЭ $\alpha_{r_0}^{cd}$ будем полагать Т-атрибутом пути L_t^{cd} , АЭ α_a – Т-атрибутом пути L_k^{ab} .

Если $mes(U(\alpha_a) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 2$ (пример показан на рисунке 2.19, б), существует пара связных АЭ $\alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd} - 2\}$, каждый из которых связан с $\alpha_a \in \Lambda(L_k^{ab})$. В этом случае связку $(\alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd})_{m_{r_0}} \in L_t^{cd}$, $m_{r_0} \in \hat{M}$, будем полагать Т-атрибутом пути L_t^{cd} , АЭ α_a – Т-атрибутом пути L_k^{ab} .

В случае, если $mes(U(\alpha_a) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 3$ (пример показан на рисунке 2.19, г), то есть существуют три АЭ $\alpha_{r_0-1}^{cd}, \alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{3, 4, \dots, n_t^{cd} - 2\}$, каждый из которых связан с $\alpha_a \in \Lambda(L_k^{ab})$, Т-атрибутом пути L_t^{cd} будем полагать АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, Т-атрибутом пути L_k^{ab} – АЭ $\alpha_a \in \Lambda(L_k^{ab})$.

Аналогично, пусть пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, являются Т-путями и выполнено условие (2.8). Тогда, если $\exists \alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd}\}$, такой, что $\alpha_b = \alpha_{r_0}^{cd}$, АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$ будем полагать Т-атрибутом пути L_t^{cd} , АЭ α_b – Т-атрибутом пути L_k^{ab} .

Иначе, если $\forall \alpha_r^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r = \overline{1, n_t^{cd} + 1}$, $\alpha_b \neq \alpha_r^{cd}$, то существует по крайней мере один АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd}\}$, такой, что $\alpha_b \in U(\alpha_{r_0}^{cd})$, то есть $U(\alpha_b) \cap \Lambda(L_t^{cd}) \neq \emptyset$.

Тогда, если $mes(U(\alpha_b) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 1$ (пример показан на рисунке 2.19, в), то есть существует единственный $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd}\}$, связный с $\alpha_b \in \Lambda(L_k^{ab})$, АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$ будем полагать Т-атрибутом пути L_t^{cd} , АЭ α_b – Т-атрибутом пути L_k^{ab} .

Если $mes(U(\alpha_b) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 2$ (пример показан на рисунке 2.19, б), то существует пара связных АЭ $\alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{2, 3, \dots, n_t^{cd} - 2\}$, каждый из

которых связан с $\alpha_b \in \Lambda(L_k^{ab})$. В этом случае связку $(\alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd})_{m_{r_0}} \in L_t^{cd}$, $m_{r_0} \in \hat{M}$, будем полагать Т-атрибутом пути L_t^{cd} , АЭ α_b – Т-атрибутом пути L_k^{ab} .

В случае, если $mes(U(\alpha_b) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 3$ (пример показан на рисунке 2.19, г), то есть существуют три АЭ $\alpha_{r_0-1}^{cd}, \alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $r_0 \in \{3, 4, \dots, n_t^{cd} - 2\}$, каждый из которых связан с $\alpha_b \in \Lambda(L_k^{ab})$, Т-атрибутом пути L_t^{cd} будем полагать АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, Т-атрибутом пути L_k^{ab} – АЭ α_b .

Аналогично, пусть пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, являются парой Т-путей и выполнено условие (2.9). Тогда, если $\exists \alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab}\}$, такой, что $\alpha_c = \alpha_{h_0}^{ab}$ (пример показан на рисунке 2.19, а), АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$ будем полагать Т-атрибутом пути L_k^{ab} , АЭ α_c – Т-атрибутом пути L_t^{cd} .

Иначе, если $\forall \alpha_h^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $h = \overline{1, n_k^{ab} + 1}$, $\alpha_c \neq \alpha_h^{ab}$, то существует АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab}\}$, такой, что $\alpha_c \in U(\alpha_{h_0}^{ab})$, то есть $U(\alpha_c) \cap \Lambda(L_k^{ab}) \neq \emptyset$.

Тогда, если $mes(U(\alpha_c) \cap \Lambda(L_k^{ab})) = 1$ (пример показан на рисунке 2.19, в), то есть существует единственный $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab}\}$, связанный с $\alpha_c \in \Lambda(L_t^{cd})$, АЭ $\alpha_{h_0}^{ab}$ будем полагать Т-атрибутом пути L_k^{ab} , АЭ α_c – Т-атрибутом пути L_t^{cd} .

Если $mes(U(\alpha_c) \cap \Lambda(L_k^{ab})) = 2$ (пример показан на рисунке 2.19, б), существует пара связных АЭ $\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab} - 2\}$, каждый из которых связан с $\alpha_c \in \Lambda(L_t^{cd})$. В этом случае связку $(\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab})_{m_{h_0}} \in L_k^{ab}$, $m_{h_0} \in \hat{M}$, будем полагать Т-атрибутом пути L_k^{ab} , АЭ α_c – Т-атрибутом пути L_t^{cd} .

В случае, если $mes(U(\alpha_c) \cap \Lambda(L_k^{ab})) = 3$ (пример показан на рисунке 2.19, г), то есть существуют три АЭ $\alpha_{h_0-1}^{ab}, \alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $h_0 \in \{3, 4, \dots, n_k^{ab} - 2\}$,

каждый из которых связан с $\alpha_c \in \Lambda(L_t^{cd})$, Т-атрибутом пути L_k^{ab} будем полагать АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, Т-атрибутом пути L_t^{cd} – АЭ α_c .

Аналогично, пусть пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b), k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}, L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d), t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, являются Т-путями и выполнено условие (2.10). Тогда, если $\exists \alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab}), h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab}\}$, такой, что $\alpha_d = \alpha_{h_0}^{ab}$ (пример показан на рисунке 2.19, а), АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$ будем полагать Т-атрибутом пути L_k^{ab} , АЭ α_d – Т-атрибутом пути L_t^{cd} .

Иначе, если $\forall \alpha_h^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab}), h = \overline{1, n_k^{ab} + 1}, \alpha_d \neq \alpha_h^{ab}$, то существует АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab}), h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab}\}$, такой, что $\alpha_d \in U(\alpha_{h_0}^{ab})$, то есть $U(\alpha_d) \cap \Lambda(L_k^{ab}) \neq \emptyset$.

Тогда, если $mes(U(\alpha_d) \cap \Lambda(L_k^{ab})) = 1$ (пример показан на рисунке 2.19, в), то есть существует единственный $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab}), h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab}\}$, связанный с $\alpha_d \in \Lambda(L_t^{cd})$, АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$ будем полагать Т-атрибутом пути L_k^{ab} , АЭ α_d – Т-атрибутом пути L_t^{cd} .

Если $mes(U(\alpha_d) \cap \Lambda(L_k^{ab})) = 2$ (пример показан на рисунке 2.19, б), существует пара связанных АЭ $\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab}), h_0 \in \{2, 3, \dots, n_k^{ab} - 2\}$, каждый из которых связан с $\alpha_d \in \Lambda(L_t^{cd})$. В этом случае связку $(\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab})_{m_{h_0}} \in L_k^{ab}, m_{h_0} \in \hat{M}$, будем полагать Т-атрибутом пути L_k^{ab} , АЭ α_d – Т-атрибутом пути L_t^{cd} .

В случае, если $mes(U(\alpha_d) \cap \Lambda(L_k^{ab})) = 3$ (пример показан на рисунке 2.19, г), то есть существуют три АЭ $\alpha_{h_0-1}^{ab}, \alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab}), h_0 \in \{3, 4, \dots, n_k^{ab} - 2\}$, каждый из которых связан с $\alpha_d \in \Lambda(L_t^{cd})$, Т-атрибутом пути L_k^{ab} будем полагать АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, Т-атрибутом пути L_t^{cd} – АЭ α_d .

В дальнейшем для произвольной пары КП $L_k^{ab} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, являющихся Т-путями согласно определению 2.12, их Т-атрибуты будем обозначать через $T(L_k^{ab})$ и $T(L_t^{cd})$ соответственно.

Далее, определим на множестве АЭ пары КП, моделирующих касание крайними точками двух непрерывных кривых без самопересечений модели исходного изображения знака, сгенерированного согласно гипотезе [202], каждая из которых характеризуется сохранением ЛГН [235]. С этой целью рассмотрим АЭ $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$, множества $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $\mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ КП между ними и пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, такие, что выполнено одно из следующих условий:

$$1) \alpha_a = \alpha_c \text{ или } \alpha_a \in U(\alpha_c) \text{ или } \alpha_c \in U(\alpha_a), \text{ при этом } \alpha_b \neq \alpha_d, \alpha_b \notin U(\alpha_d); \quad (2.11)$$

$$2) \alpha_a = \alpha_d \text{ или } \alpha_a \in U(\alpha_d) \text{ или } \alpha_d \in U(\alpha_a), \text{ при этом } \alpha_b \neq \alpha_c, \alpha_b \notin U(\alpha_c); \quad (2.12)$$

$$3) \alpha_b = \alpha_c \text{ или } \alpha_b \in U(\alpha_c) \text{ или } \alpha_c \in U(\alpha_b), \text{ при этом } \alpha_a \neq \alpha_d, \alpha_a \notin U(\alpha_d); \quad (2.13)$$

$$4) \alpha_b = \alpha_d \text{ или } \alpha_b \in U(\alpha_d) \text{ или } \alpha_d \in U(\alpha_b), \text{ при этом } \alpha_a \neq \alpha_c, \alpha_a \notin U(\alpha_c). \quad (2.14)$$

Для рассмотренных пар КП, удовлетворяющих условиям (2.11)-(2.14), введем понятие V-путей, которое, аналогично Т-путям, является одной из характеристик взаимного расположения элементарных составляющих модели D-знака.

Определение 2.13. Пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, где $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$, называются парой V-путей или V-путями, если для множеств АЭ $\Lambda(L_k^{ab})$, $\Lambda(L_t^{cd})$, формирующих связки соответствующих КП, выполнено одно из условий (2.11-2.14).

Примеры пар V-путей приведены на рисунке 2.20.

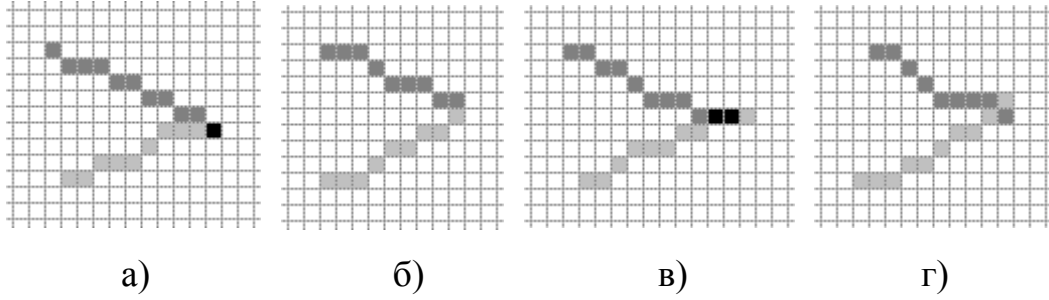


Рисунок 2.20 – Примеры V-путей L_k^{ab} , L_t^{cd} : а), в) – $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) \neq \emptyset$ (общие АЭ множеств выделены черным); б), г) – $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) = \emptyset$ (общие АЭ множеств отсутствуют)

В случае, если для пары V-путей $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, выполнено условие (2.11), АЭ $\alpha_a \in \Lambda(L_k^{ab})$ будем полагать V-атрибутом пути L_k^{ab} , АЭ $\alpha_c \in \Lambda(L_t^{cd})$ – V-атрибутом пути L_t^{cd} .

В противном случае, если выполнено условие (2.12), V-атрибутом пути L_k^{ab} будем полагать АЭ $\alpha_a \in \Lambda(L_k^{ab})$, V-атрибутом пути L_t^{cd} – АЭ $\alpha_d \in \Lambda(L_t^{cd})$.

Иначе, если выполнено условие (2.13), V-атрибутом пути L_k^{ab} будем полагать АЭ $\alpha_b \in \Lambda(L_k^{ab})$, V-атрибутом пути L_t^{cd} – АЭ $\alpha_c \in \Lambda(L_t^{cd})$.

Если же выполнено условие (2.14), V-атрибутом пути L_k^{ab} будем полагать АЭ $\alpha_b \in \Lambda(L_k^{ab})$, V-атрибутом пути L_t^{cd} – АЭ $\alpha_d \in \Lambda(L_t^{cd})$.

При проведении дальнейших рассуждений V-атрибуты КП $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{cd} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, являющихся парой V-путей, будем обозначать $V(L_k^{ab})$ и $V(L_t^{cd})$ соответственно.

Аналогично T- и V-путям, определим на множестве АЭ пары кратчайших путей, моделирующих на множестве АЭ пересечения двух кривых модели исходного изображения знака, каждая из которых характеризуется сохранением ЛГН.

Для этого рассмотрим АЭ $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$, множества $\mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b), \mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ КП между ними и пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b), k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}, L_t^{cd} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d), t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$.

Определение 2.14. Пути $L_k^{ab} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b), k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}, L_t^{cd} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d), t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, где $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$, называются *парой X-путей* или *X-путями*, если для любых АЭ $\alpha_r^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, и $\alpha_h^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $r = \overline{1, n_t^{cd} + 1}$, $h = \overline{1, n_k^{ab} + 1}$, выполнено: $\alpha_c, \alpha_d \notin U(\alpha_h^{ab}), \alpha_a, \alpha_b \notin U(\alpha_r^{cd})$, при этом существуют АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, и $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab}), r_0 \in \{3, 4, \dots, n_t^{cd} - 1\}, h_0 \in \{3, 4, \dots, n_k^{ab} - 1\}$, такие, что:

$$\alpha_{r_0}^{cd} \in U(\alpha_{h_0}^{ab}) \text{ и } \alpha_{h_0}^{ab} \in U(\alpha_{r_0}^{cd}).$$

На рисунке 2.21 приведены примеры пар X-путей, которые характеризуются, в частности, различными значениями мощностей множеств $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd})$.

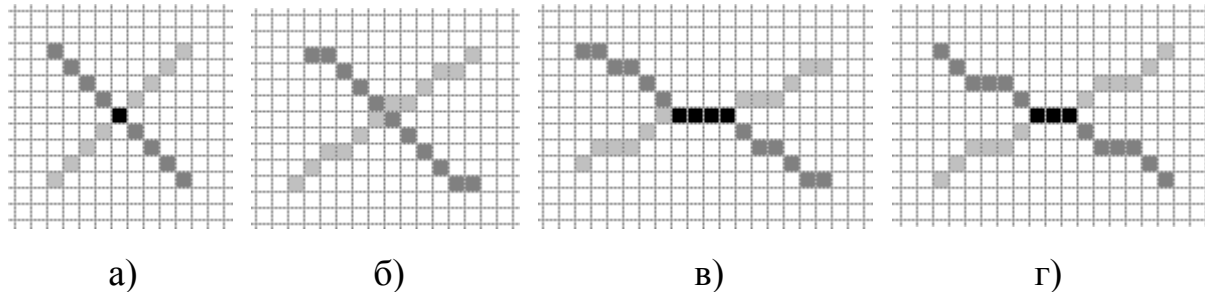


Рисунок 2.21 – Примеры X-путей L_k^{ab}, L_t^{cd} : а), в), г) $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) \neq \emptyset$ (общие АЭ множеств выделены черным); б) $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) = \emptyset$ (общие АЭ множеств отсутствуют)

Как и для пар Г- и V-путей, определим атрибуты X-путей. Для этого рассмотрим пару X-путей $L_k^{ab} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_a, \alpha_b), k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}, L_t^{cd} \in \mathfrak{T}_2(\alpha_c, \alpha_d), t \in \{1, 2, \dots, K^{cd}\}$, и проанализируем возможные варианты взаимного расположения АЭ, формирующих связки данных путей, определяющие, в частности, различные значения мощностей множеств $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd})$.

Если $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) = \emptyset$, то есть $mes(\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 0$ (рисунок 2.21, б), тогда существуют индексы $h_0 \in \{3, 4, \dots, n_k^{ab} - 1\}$, $r_0 \in \{3, 4, \dots, n_t^{cd} - 1\}$, такие, что: $\alpha_{h_0+1}^{ab}, \alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd} \in U(\alpha_{h_0}^{ab})$, $\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab}, \alpha_{r_0+1}^{cd} \in U(\alpha_{r_0}^{cd})$, где $\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $\alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$. В данном случае связку $(\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab})_{m_{h_0}} \in L_k^{ab}$, $m_{h_0} \in \hat{M}$, будем полагать X-атрибутом пути L_k^{ab} , связку $(\alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd})_{m_{r_0}} \in L_t^{cd}$, $m_{r_0} \in \hat{M}$ – X-атрибутом пути L_t^{cd} .

Если же $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd}) \neq \emptyset$ и $mes(\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd})) > 0$, рассмотрим два случая: множество $\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd})$ содержит четное, как показано на рисунке 2.21, в), и нечетное, как показано на рисунке 2.21, а, г), количества атомарных элементов.

Пусть существует индекс $p \in \{1, 2, \dots, [\frac{1}{2} \min \{n_k^{ab} - 1, n_t^{cd} - 1\}]\}$ [249] такой, что $mes(\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 2 \cdot p$, тогда существуют индексы $h_0 \in \{p+1, p+2, \dots, n_k^{ab} - p\}$, и $r_0 \in \{p+1, p+2, \dots, n_t^{cd} - p\}$, такие, что выполнено: $\alpha_i^{ab} = \alpha_j^{cd}$, где $\alpha_i^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $\alpha_j^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $i = \overline{h_0 - p - 1, h_0 + p}$, $j = \overline{r_0 - p - 1, r_0 + p}$. В таком случае связку $(\alpha_{h_0}^{ab}, \alpha_{h_0+1}^{ab})_{m_{h_0}} \in L_k^{ab}$, $m_{h_0} \in \hat{M}$, будем полагать X-атрибутом пути L_k^{ab} , связку $(\alpha_{r_0}^{cd}, \alpha_{r_0+1}^{cd})_{m_{r_0}} \in L_t^{cd}$, $m_{r_0} \in \hat{M}$ – X-атрибутом пути L_t^{cd} .

Аналогично, пусть существует индекс $p \in \{0, 1, \dots, [\frac{1}{2} \min \{n_k^{ab} - 1, n_t^{cd} - 1\}]\}$ такой, что $mes(\Lambda(L_k^{ab}) \cap \Lambda(L_t^{cd})) = 2 \cdot p + 1$, тогда существуют индексы $h_0 \in \{p+1, p+2, \dots, n_k^{ab} - p\}$, и $r_0 \in \{p+1, p+2, \dots, n_t^{cd} - p\}$, такие, что выполнено: $\alpha_i^{ab} = \alpha_j^{cd}$, где $\alpha_i^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, $\alpha_j^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$, $i = \overline{h_0 - p, h_0 + p}$, $j = \overline{r_0 - p, r_0 + p}$. В рассматриваемом случае X-атрибутом пути L_k^{ab} будем полагать АЭ $\alpha_{h_0}^{ab} \in \Lambda(L_k^{ab})$, X-атрибутом пути L_t^{cd} – АЭ $\alpha_{r_0}^{cd} \in \Lambda(L_t^{cd})$.

Таким образом, определенные в подразделе Т-, V- и X-пути позволяют осуществлять автоматическое моделирование на дискретном множестве АЭ образов GT-объектов произвольных бинарных растровых цифровых изображений, в частности, знаков открытых алфавитов, с учетом взаимного расположения элементарных составляющих модели.

Заметим, что произвольный КП может образовывать множество пар Т-, V- и X-путей одновременно с несколькими другими КП образа GT-объекта, обладая, соответственно, множеством Т-, V- и X-атрибутов, качественно характеризующих взаимные отношения между элементарными составляющими моделируемого *D*-знака.

Поскольку, как указано в [249 (с. 3)], *D*-отрезок между парой фиксированных АЭ $\alpha_a, \alpha_b \in A$ определен на множестве $\mathfrak{Z}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ и является частным случаем КП, в рамках разрабатываемого согласно поставленной в п. 1.5 задаче исследования метода автоматического моделирования образов GT-объектов РЦИ знаков открытых алфавитов, рассмотренные свойства кратчайших путей справедливы для *D*-отрезков, следовательно, имеет место необходимость выявления соответствующих пар КП в случаях, когда анализируемый образ GT-объекта представлен связным множеством *D*-отрезков [231 (с. 6)].

Атрибуты КП, образующих пары Т-, V- и X-путей, являются качественными характеристиками путей, учет которых при автоматическом формировании модели образа знака, заданного в терминах свойств множеств АЭ, позволит, в соответствии с поставленной в п. 1.5 задаче исследования, опознавать и именовать анализируемые бинарные РЦИ знаков открытых алфавитов.

Однако, согласно проведенным в п. 1.4 рассуждениям, разработка методов автоматического моделирования, опознавания и именования указанных знаков предполагает необходимость учета параметров фрагментов формируемых моделей GT-объектов, являющихся аналогами угловой меры, в частности, характеризующей кривые модели исходного изображения [242 (с. 4)].

В случае, если указанная характеристика не учитывается при формировании и анализе образа исходного знака, возможны случаи, когда совокупность

формирующих GT-объект кратчайших путей, для которых учтены взаимное расположение и ориентация (п. 2.2), не может быть в целом однозначно отождествлена с именем исходного знака, что иллюстрирует пример на рисунке 2.22.

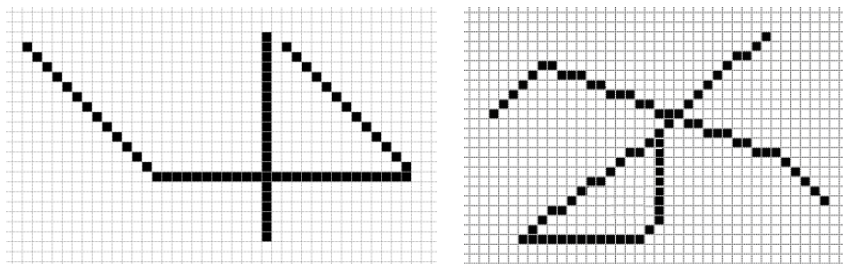


Рисунок 2.22 – Образы GT-объектов, однозначное отождествление которых с именами, приведенными на рисунке 2.2, проблематично

В соответствии с этим, актуально определение на множестве АЭ свойств КП и D -отрезков, учет которых позволит моделировать характеристики фрагментов знаков, связанные со значениями угловой меры, к рассмотрению которых перейдем в следующем подразделе.

2.4 Определение u -меры для кратчайших путей и D -отрезков на множестве атомарных элементов

Как следует, в частности, из проведенных в пп. 1.5, 2.1 и 2.3 рассуждений, автоматическое моделирование D -знаков бинарных РЦИ на множестве АЭ предполагает необходимость измерения и учета характеристик КП и D -отрезков, аналогичных значениям меры угла и угла наклона отрезка к горизонтали, введенной во всюду плотных множествах.

С целью определения указанных характеристик на дискретном множестве АЭ зафиксируем произвольное значение $M \in N$, АЭ $\hat{\alpha}(i_0, j_0) \in A$, $i_0 \in \{1, 2, \dots, l\}$,

$j_0 \in \{1, 2, \dots, J\}$, таким образом, чтобы выполнялись условия: $M < i_0 < I - M$, $M < j_0 < J - M$, и рассмотрим множество $A \ni U_M \subset A$, заданное следующим образом:

$$U_M = \{\alpha(i, j) \in A \mid i_0 - M \leq i \leq i_0 + M, j_0 - M \leq j \leq j_0 + M\}.$$

Границей множества U_M будем называть множество $A \ni \partial U_M$

$$\partial U_M = \left\{ \alpha(i, j) \in U_M \mid \begin{array}{l} i = i_0 - M, j_0 - M \leq j \leq j_0 + M, \\ i = i_0 + M, j_0 - M \leq j \leq j_0 + M, \\ j = j_0 - M, i_0 - M \leq i \leq i_0 + M, \\ j = j_0 + M, i_0 - M \leq i \leq i_0 + M. \end{array} \right\},$$

пример которого представлен на рисунке 2.23.

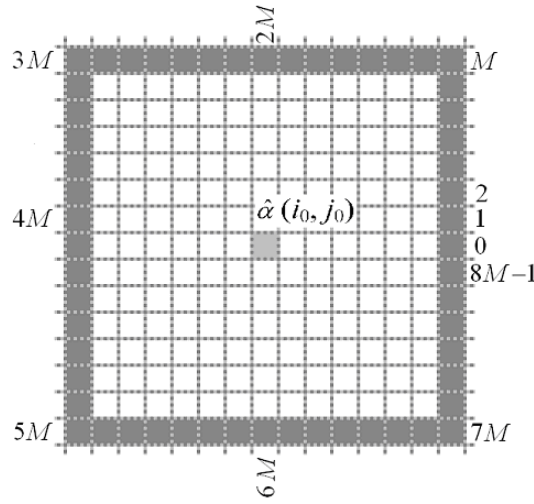


Рисунок 2.23 – Пример множества $A \ni U_M$ и его границы ∂U_M (выделена темно-серым)

Из определения множества U_M и его границы ∂U_M следует, в частности, что $\text{mes } \partial U_M = 8M$. Пронумеруем элементы множества ∂U_M , представив его следующим образом: $\partial U_M = \{\alpha_h\}_0^{8M-1}$, полагая при этом, что $\alpha_h = \alpha(i_h, j_h) \in U_M$, где значение величины h вычисляется по формуле:

$$h = \begin{cases} i_0 - i_h, & \text{если } j_h = j_0 + M, i_0 - M < i_h \leq i_0; \\ 2M + j_0 - j_h, & \text{если } i_h = i_0 - M, j_0 - M < j_h \leq j_0 + M; \\ 4M - i_0 + i_h, & \text{если } j_h = j_0 - M, i_0 - M \leq i_h < i_0 + M; \\ 6M - j_0 + j_h, & \text{если } i_h = i_0 + M, j_0 - M \leq j_h < j_0 + M; \\ 8M + i_0 - i_h, & \text{если } j_h = j_0 + M, i_0 < i_h \leq i_0 + M. \end{cases} \quad (2.15)$$

Для определения правила расчета численных значений искомой характеристики рассмотрим два D -отрезка $L_1(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_1})$, $L_2(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_2})$, где $\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2} \in \partial U_M$, как это показано на рисунке 2.24, при этом, не ограничивая общности проводимых рассуждений, будем полагать, что $h_1 \leq h_2$ ($h_1, h_2 \in \{0, 1, \dots, 8M - 1\}$).

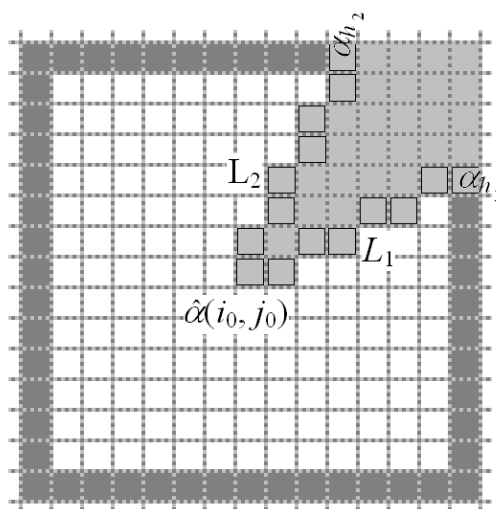


Рисунок 2.24 – Пример u -объекта M -го уровня (выделен светло-серым) для пары D -отрезков L_1 и L_2

Согласно введенным в настоящем подразделе объектам и используемым обозначениям, определим для фиксированного значения M , выбранного АЭ $\hat{\alpha}(i_0, j_0)$ и рассматриваемых D -отрезков $L_1(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_1})$, $L_2(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_2})$, множество атомарных элементов, аналогичное сектору круга, заданному в терминах всюду плотных множеств.

Определение 2.15. Для пары D -отрезков $L_1(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_1})$, $L_2(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_2})$ u -объектом M -го уровня называется множество АЭ $u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2}) \subseteq U_M$ такое, что

$$u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2}) = \bigcup_{l=h_1}^{h_2} \Lambda(L(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_l)), \text{ где } L(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_l), l = \overline{h_1, h_2}, - D\text{-отрезки между}$$

АЭ $\hat{\alpha}(i_0, j_0) \in A$ и $\alpha_l \in \partial U_k$.

В случае, если $h_1 = h_2$, то есть $\alpha_{h_1} = \alpha_{h_2}$, будем полагать, что соответствующий u -объект M -го уровня является вырожденным: $u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2}) = \emptyset$.

В противном случае, если $h_1 \neq h_2$, u -объект M -го уровня вырожденным не является, и существует возможность рассмотреть величину, характеризующую количество $A \in u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})$, принадлежащих введенному ранее множеству границы ∂U_M . Указанная величина является искомой характеристикой пары D -отрезков $L_1(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_1})$, $L_2(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{h_2})$, аналогичной градусной мере угла между парой отрезков, являющихся, согласно изложенной в [226 (с. 3)] гипотезе о способе формирования изображения, моделями порождающих траекторий фрагментов моделируемого D -знака исходного изображения [198 (с. 2)].

Определение 2.16. Каждому объекту $u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})$ поставим в соответствие число:

$$\mu_3(u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})) = |h_1 - h_2|, \quad (2.16)$$

где $h_1, h_2 \in \{0, 1, \dots, 8M - 1\}$, которое называется u -мерой объекта $u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})$.

Покажем, что для введенной подобным образом меры μ_3 выполнены все свойства меры.

1. Для произвольной пары значений $h_1, h_2 \in \{0, 1, \dots, 8M - 1\}$ значение меры μ_3 неотрицательно в силу определения 2.16:

$$\mu_3(u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})) \geq 0, \forall h_1, h_2 \in \{0, 1, \dots, 8M - 1\}.$$

2. В случае, если $h_1 = h_2$, и u -объект M -го уровня является вырожденным, значение меры μ_3 определяется на пустом множестве и равно нулю:

$$\mu_3(\emptyset) = \mu_3(u_k(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})) = \mu_3(u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_1})) = 0, h_1 \in \{0, 1, \dots, 8M - 1\}.$$

3. Для доказательства третьего свойства выберем произвольное число $n \in N$, $n > 2$, и множество значений $h_1 \leq h_2 \leq \dots \leq h_n \in \{0, 1, \dots, 8M - 1\}$, для пар которых рассмотрим соответствующие u -объекты M -го уровня: $u_M(\alpha_{h_l}, \alpha_{h_{l+1}})$, $l = \overline{1, n-1}$. Покажем, что значение меры μ_3 , вычисленное для объединения указанных u -объектов, равно сумме значений меры μ_3 , вычисленных для каждого из них. Действительно:

$$\begin{aligned} \mu_3\left(\bigcup_{l=1}^{n-1} u_M(\alpha_{h_l}, \alpha_{h_{l+1}})\right) &= |h_1 - h_n| = (h_n - h_1) = (h_n - h_{n-1}) + (h_{n-1} - h_{n-2}) + \dots \\ &+ \dots + (h_3 - h_2) + (h_2 - h_1) = |h_n - h_{n-1}| + |h_{n-1} - h_{n-2}| + \dots + |h_3 - h_2| + |h_2 - h_1| = \\ &= \mu_3(u_M(\alpha_{h_{n-1}}, \alpha_{h_n})) + \mu_3(u_M(\alpha_{h_{n-2}}, \alpha_{h_{n-1}})) + \dots + \mu_3(u_M(\alpha_{h_2}, \alpha_{h_3})) + \mu_3(u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})). \end{aligned}$$

Таким образом, показано, для μ_3 выполнены три свойства меры.

Для примера рассмотрим случай, когда $M = 45$, проиллюстрированный на рисунке 2.25.

Граница ∂U_{45} данного множества содержит 360 АЭ, что соответствует наибольшему для $M = 45$ значению меры μ_3 , увеличенному на 1, поскольку, согласно выражению (2.15), АЭ границы нумеруются числами от 0 до $8M - 1 = 8 \cdot 45 - 1 = 359$. Зафиксируем АЭ $\alpha_0, \alpha_1 \in \partial U_{45}$ так, как показано на рисунке 2.25. Мера μ_3 соответствующего u -объекта 45-го уровня для выбранных АЭ равна $\mu_3(u_{45}(\alpha_0, \alpha_1)) = 1$. Заметим, что выполняются следующие соотношения: $\mu_3(u_{45}(\alpha_0, \alpha_1)) = \rho(\alpha_0, \alpha_1) = \mu_1(L(\alpha_0, \alpha_1)) = \mu_2(L(\alpha_0, \alpha_1)) = 1$, а D -отрезок $L(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_1)$ состоит из горизонтальных связок и единственной диагональной связки.

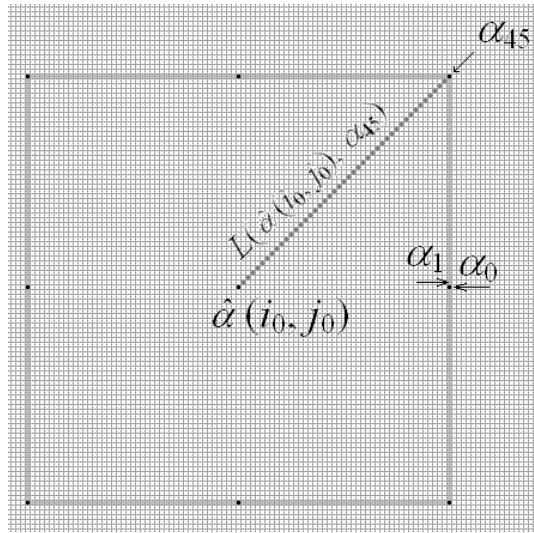


Рисунок 2.25 – Пример множества U_{45} и его границы ∂U_{45}

Проводя аналогию с градусной мерой угла [252], заданного во всюду плотном множестве, данное значение меры μ_3 соответствует одному градусу в традиционной 360-ти градусной системе измерения углов. Рассмотрев также АЭ $\alpha_0, \alpha_{45} \in \partial U_{45}$, получим, что мера μ_3 объекта $u_{45}(\alpha_0, \alpha_{45})$ равна $\mu_3(u_{45}(\alpha_0, \alpha_{45})) = \rho(\alpha_0, \alpha_{45}) = \mu_1(L(\alpha_0, \alpha_{45})) = \mu_2(L(\alpha_0, \alpha_{45})) = 45$. При этом D -отрезок $L(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_{45})$ состоит только из диагональных связей, что отображено на рисунке 2.25, и, очевидно, соответствует отрезку прямой, заданной во всюду плотном множестве и являющейся диагональю первой и четвертой четвертей декартовой системы координат в E_2 .

Из определения меры μ_3 , в частности, следует, что если для произвольного выбранного значения $M \in N$ выполнено $\mu_3(u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})) = 1$, где $\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2} \in \partial U_M$, $h_1, h_2 \in \{0, 1, \dots, 8M - 1\}$, то $\rho(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2}) = \mu_1(L(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})) = \mu_2(L(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})) = 1$.

Определение u -меры при фиксированном значении $M \in N$ для u -объекта M -го уровня $u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})$ позволяет вычислить значение характеристики пары D -отрезков либо кратчайших путей $L_k^{ab} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $k \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, $L_t^{ac} \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_c)$, $t \in \{1, 2, \dots, K^{ab}\}$, где $\alpha_a = \hat{\alpha}(i_0, j_0)$, $\alpha_b = \alpha_{h_1}$, $\alpha_c = \alpha_{h_2}$, численное значение меры μ_2 которых, согласно проведенным рассуждениям, равно M , то есть

$\mu_2(L_k^{ab}) = \mu_2(L_t^{ac}) = M$. Как отмечено ранее, указанная характеристика является дискретным аналогом градусной меры угла между парой отрезков, заданных в терминах свойств всюду плотных множеств. Однако, численное значение u -меры непосредственно зависит от значения величины M , следовательно, является относительной, и в случае ее использования при формировании модели знака с целью описания характеристики рассматриваемой пары кратчайших путей как элементарных составляющих данной модели, целесообразно использовать кортеж, состоящий из пары элементов: $\langle \mu_3(u_M(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})), M \rangle$, определенных согласно проведенным выше рассуждениям.

В случае рассмотрения произвольной пары D -отрезков либо, в общем случае, КП $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, $L(\alpha_c, \alpha_d) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$, где $\alpha_a, \alpha_b, \alpha_c, \alpha_d \in A$, таких, что $\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b)) = n_1$, $\mu_2(L(\alpha_c, \alpha_d)) = n_2$, $n_1 \neq n_2$, $n_1, n_2 \in N$, необходимо указать правило определения значений M и $u_k(\alpha_{h_1}, \alpha_{h_2})$ с целью формирования кортежа значений искомой характеристики.

Для этого, не ограничивая общности проводимых рассуждений, положим, для определенности, что $n_1 \leq n_2$. Положим значение M равным n_1 , рассмотрим АЭ $\hat{\alpha}(i_0, j_0)$ такой, что $i_0 = i_a$, $j_0 = j_a$, где i_a, j_a – индексы АЭ $\alpha_a \in \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$, и соответствующие множества U_M и ∂U_M . Также рассмотрим D -отрезок $L(\hat{\alpha}(i_0, j_0), \alpha_0)$, где $\alpha_0 \in \partial U_M$, состоящий исключительно из горизонтальных связок, и u -объект M -го уровня: $u_M(\alpha_0, \alpha_b)$, пример которого приведен на рисунке 2.26, а).

Согласно способу задания множеств $U_M, \partial U_M$, АЭ $\alpha_b \in \partial U_M$. Обозначим через $\mu_3^{L_1}$ – значение меры μ_3 указанного u -объекта M -го уровня: $\mu_3^{L_1} = \mu_3(u_M(\alpha_0, \alpha_b))$.

Аналогично, для выбранного КП $L(\alpha_c, \alpha_d) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ и значения $M = n_1$ рассмотрим множества $U'_M, \partial U'_M$, определенные для АЭ $\hat{\alpha}'(i'_0, j'_0)$ такого, что $i'_0 = i_c$, $j'_0 = j_c$, где i_c, j_c – индексы АЭ $\alpha_c \in \Lambda(L(\alpha_c, \alpha_d))$. Поскольку, как отмечено ранее, $n_1 \leq n_2$, то существует АЭ $\alpha_e \in \Lambda(L(\alpha_c, \alpha_d))$, принадлежащий множеству $\partial U'_M$, то есть $\alpha_e \in \Lambda(L(\alpha_c, \alpha_d)) \cap \partial U'_M$ (рисунок 2.26, б).

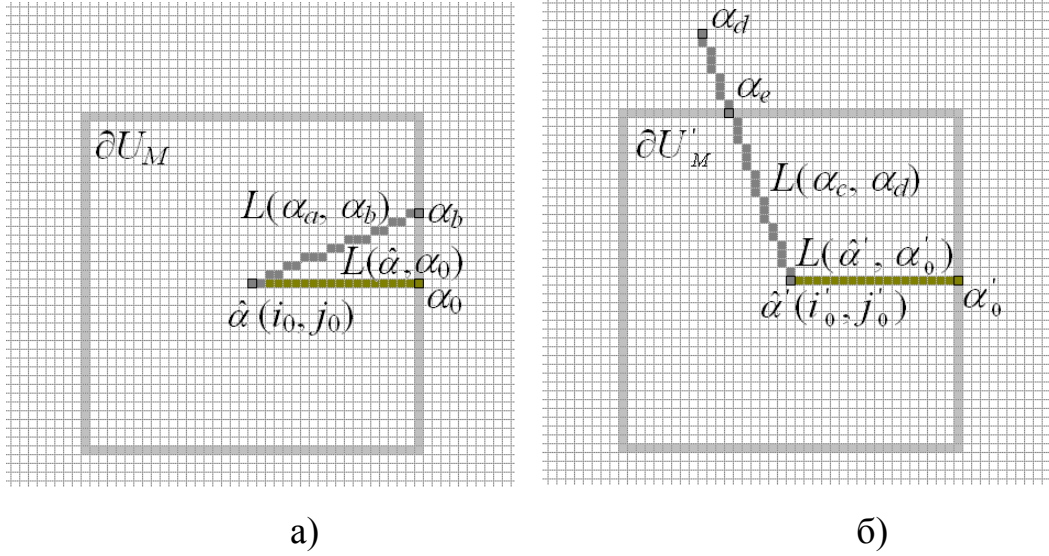


Рисунок 2.26 – Пример множеств ∂U_M и $\partial U'_M$ для путей $L(\alpha_a, \alpha_b)$ (а) и $L(\alpha_c, \alpha_d)$ (б)

Далее, рассмотрим D -отрезок $L(\hat{\alpha}'(i'_0, j'_0), \alpha'_0)$, где $\alpha'_0 \in \partial U'_M$, также состоящий исключительно из горизонтальных связей, и u -объект M -го уровня: $u_M(\alpha'_0, \alpha_e)$. Обозначим через $\mu_3^{L_2}$ – значение меры μ_3 данного u -объекта M -го уровня: $\mu_3^{L_2} = \mu_3(u_M(\alpha'_0, \alpha_e))$.

Согласно проведенным рассуждениям, разность $\mu_3^{L_1} - \mu_3^{L_2}$ является искомой относительной характеристикой пары рассматриваемых КП $L(\alpha_a, \alpha_b), L(\alpha_c, \alpha_d)$, зависящей от значения величины M . Тогда на декартовом произведении множеств КП $\mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b), \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ введем отображение $\Gamma: \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b) \times \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d) \rightarrow Z \times N$, где Z – множество целых чисел, которое произвольной паре кратчайших путей $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b), L(\alpha_c, \alpha_d) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_c, \alpha_d)$ ставит в соответствие кортеж:

$$\Gamma(L(\alpha_a, \alpha_b), L(\alpha_c, \alpha_d)) = \langle \mu_3^{L_1} - \mu_3^{L_2}, M \rangle \quad (2.17)$$

где величины $M, \mu_3^{L_1}$ и $\mu_3^{L_2}$ для каждого из путей $L(\alpha_a, \alpha_b), L(\alpha_c, \alpha_d)$ вычисляются согласно описанным выше правилам на основании определения 2.16.

Величина $\mu_3^{L_1}$, определенная для произвольного КП либо D -отрезка $L(\alpha_a, \alpha_b)$, является также характеристикой рассмотренного пути, аналогичной градусной мере угла наклона отрезка к горизонтали, заданной в терминах всюду плотных множеств. В соответствии с этим, введем в рассмотрение также отображение $\Gamma': \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b) \rightarrow Z \times N$, которое произвольному КП либо D -отрезку $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, ставит в соответствие кортеж:

$$\Gamma'(L(\alpha_a, \alpha_b)) = \langle \mu_3^{L_1}, n \rangle \quad (2.18)$$

где $n = \mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b))$, величина $\mu_3^{L_1} = \mu_3(u_M(\alpha_a, \alpha_b))$ вычисляется на основании задания множеств $U_M, \partial U_M$ для пути $L(\alpha_a, \alpha_b)$ при $M = n$.

При проведении последующих рассуждений кортеж $\Gamma'(L(\alpha_a, \alpha_b))$ будем называть D -угловой характеристикой кратчайшего пути либо D -отрезка $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, вычисляемой в процессе автоматического моделирования D -знаков образов ЦБИ согласно поставленной в п. 1.5 задаче исследования.

Как следует из пп. 1.4, 1.5, автоматическое моделирование указанных D -знаков предполагает также актуальность разработки способа критериального изменения значений меры μ_2 [190 (с. 7)] D -отрезков либо КП, что позволит, в частности, разработать на дискретном множестве АЭ определить понятия меры неопределенности и множества минимальной меры неопределенности, а также разработать валидные многоуровневые модели, учитывающие взаимное расположение КП или D -отрезков как минимальных составляющих бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов, заданных в терминах свойств дискретных множеств. Как следствие, предложенные валидные многоуровневые модели послужат основой для разработки искомого метода автоматической генерации валидных моделей D -знаков и их именования [252].

Следующий подраздел посвящен изложению основных теоретических положений указанного способа критериального изменения значений меры μ_2 , а

также предпосылки к изменению значений D -угловой характеристики D -отрезков либо КП в процессе их автоматического моделирования.

2.5 Подпути кратчайших путей и их свойства

В [249 (с. 1)] проблема сегментации изображений сведена к постановке задачи декомпозиции знаков исследуемых изображений на кратчайшие пути, не предполагающей априорного, субъективного задания множества производных элементов и их аналогов. Обосновано, что каждый КП, обладая определенной «длиной», моделирует типами связей, его составляющих, и порядком их следования локально-глобальное направление и «продолжительность» элементарного движения, реализованного при генерации исходного изображения; описание взаимного расположения всех КП знака, учитывающее их относительные характеристики, моделирует множество элементарных движений, а, следовательно, опознаваемое изображение.

Заметим, что относительные характеристики, устанавливаемые на множестве КП знака, должны учитывать, в частности, различие их длин по мере μ_2 [190 (с. 9)], равной числу связей, составляющих данный КП. Причем для каждого КП знака должны быть критериально установлены «допустимые» пределы изменения меры μ_2 , так как многократная генерация одноименных изображений не всегда характеризуется равенством продолжительностей соответствующих элементарных движений.

Указанные пределы на практике устанавливаются субъективно-статистически при анализе конечного множества одноименных изображений, а, следовательно, не претендуют на общность. Теоретические исследования, направленные на определение и формализацию искомым критериев, предполагают возможность оперировать такими кратчайшими путями, значение меры μ_2 которых равно некоторой части значения меры μ_2 данного КП. Проблематичность

установления указанных путей обуславливается тем, что мера μ_2 принимает значения на ограниченном подмножестве множества натуральных чисел.

В соответствии с изложенным, конструктивно определим КП, равные по мере μ_2 некоторой части меры μ_2 заданного КП, и исследуем существование и единственность указанных КП. Не ограничивая общности проводимых рассуждений, в качестве рассматриваемых выберем $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$ части КП.

Для проведения дальнейших рассуждений введем следующие определения.

Определение 2.17. Подмножество $\bar{A} \subset A$ называется *связным множеством* АЭ, если для произвольных $\alpha_a, \alpha_b \in \bar{A}$ существует путь $L(\alpha_a, \alpha_b)$ такой, что $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b)) \subseteq \bar{A}$, где $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$ – множество АЭ, составляющих связки пути $L(\alpha_a, \alpha_b)$.

Рассмотрим на множестве \bar{A} два КП $L(\alpha_a, \alpha_b)$ и $L(\alpha_c, \alpha_d)$ такие, что $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b)) \cap \Lambda(L(\alpha_c, \alpha_d)) = \{R_k\}_{k=1}^T$, где $T \in \mathbb{N}$, $R_k, k = \overline{1, T}$, – связные множества АЭ и $\forall k_1, k_2 \in \{1, 2, \dots, T\}, k_1 \neq k_2$, множество $R_{k_1} \cup R_{k_2}$ не является связным.

Заметим, что если не существует ни одного такого связного множества АЭ R_k , то множество $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b)) \cap \Lambda(L(\alpha_c, \alpha_d))$ содержит либо несвязные (изолированные) АЭ указанных путей, либо является пустым множеством.

В предположении, что хотя бы одно из указанных множеств R_k существует, обозначим $\text{mes}(R_k)$ – количество АЭ, принадлежащих множеству R_k . Тогда в силу определения 2.17 $\text{mes}(R_k) \geq 2, k = \overline{1, T}$. Для исследования свойств указанных множеств $R_k, k \in \{1, 2, \dots, T\}$, докажем следующее утверждение.

Утверждение 2.1. Если $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$, то для любого связного множества АЭ $\bar{A} \subseteq \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$ существуют АЭ $\alpha_e, \alpha_f \in \bar{A}$ и существует КП $\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_e, \alpha_f)$ такой, что $\Lambda(\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f)) = \bar{A}$.

Доказательство. Рассмотрим произвольный КП $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ такой, что $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b)) = \{\alpha_h\}_{h=1}^{n+1}, \alpha_a = \alpha_1 \prec \alpha_2 \prec \dots \prec \alpha_n \prec \alpha_{n+1} = \alpha_b$ [190], где запись « $\alpha_i \prec \alpha_{i+1}$ » означает, что «атомарный элемент α_{i+1} следует за α_i », $i = \overline{1, n}$.

Тогда $\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b)) = n$. Пусть \bar{A} – связное множество АЭ, такое, что $\bar{A} \subseteq \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$, $\bar{A} = \{\alpha_h\}_{h=n_1}^{n_2}$, где $n_1 \geq 1$, $n_2 \leq n+1$ и $\alpha_e = \alpha_{n_1} \prec \alpha_{n_1+1} \prec \dots \prec \alpha_{n_2-1} \prec \alpha_{n_2} = \alpha_f$.

Так как \bar{A} – связное множество АЭ, то из определения 2.17 следует, что для α_e, α_f существует путь $\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f): \Lambda(\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f)) \subseteq \bar{A}$. Из построения множества \bar{A} следует, что $\Lambda(\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f)) = \bar{A}$. Покажем, что путь $\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_e, \alpha_f)$, то есть он является кратчайшим.

Не ограничивая общности проводимых рассуждений, будем считать, что рассматриваемые АЭ пути $L(\alpha_a, \alpha_b)$ расположены в порядке, который проиллюстрирован рисунком 2.27.

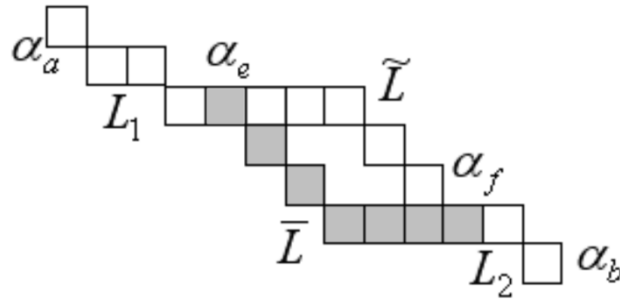


Рисунок 2.27 – Иллюстрация к доказательству утверждения 2.1

Предположим, что $\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f) \notin \mathfrak{S}_2(\alpha_e, \alpha_f)$, то есть \tilde{L} не является КП, тогда существует $\bar{L}(\alpha_e, \alpha_f) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_e, \alpha_f)$, такой, что $\Lambda(\bar{L}(\alpha_e, \alpha_f)) \neq \Lambda(\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f))$ и $\mu_2(\bar{L}(\alpha_e, \alpha_f)) < \mu_2(\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f))$.

Пусть $L_1(\alpha_a, \alpha_e)$ и $L_2(\alpha_f, \alpha_b)$ – такие пути, что: $\Lambda(L_1(\alpha_a, \alpha_e)) \subset \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$, $\Lambda(L_2(\alpha_f, \alpha_b)) \subset \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$. Очевидно, что $L_1 \overset{\rightarrow}{\cup} \tilde{L} \overset{\rightarrow}{\cup} L_2 = L$. Пусть $L^* = L_1 \overset{\rightarrow}{\cup} \bar{L} \overset{\rightarrow}{\cup} L_2$. В силу аддитивности меры μ_2 имеем:

$$\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b)) = \mu_2(L_1(\alpha_a, \alpha_e)) + \mu_2(\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f)) + \mu_2(L_2(\alpha_f, \alpha_b));$$

$$\mu_2(L^*(\alpha_a, \alpha_b)) = \mu_2(L_1(\alpha_a, \alpha_e)) + \mu_2(\bar{L}(\alpha_e, \alpha_f)) + \mu_2(L_2(\alpha_f, \alpha_b)).$$

Согласно сделанным предположениям, $\mu_2(\bar{L}(\alpha_e, \alpha_f)) < \mu_2(\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f))$. Тогда получаем, что $\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b)) > \mu_2(L^*(\alpha_a, \alpha_b))$. Это противоречит тому, что $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$. Следовательно, сделанное предположение неверно, и $\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_e, \alpha_f)$, то есть путь $\tilde{L}(\alpha_e, \alpha_f)$ является кратчайшим. Утверждение доказано.

В утверждении 2.1 показано, что все АЭ любого связного подмножества \bar{A} множества АЭ произвольного КП L составляют КП.

Следствие 1. Все АЭ, принадлежащие каждому множеству R_k , $k = \overline{1, T}$, образуют КП, поскольку каждое из R_k , $k = \overline{1, T}$, является связным множеством АЭ и $R_k \subseteq \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$, $R_k \subseteq \Lambda(L(\alpha_c, \alpha_d))$.

Следствие 2. Для произвольных КП $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ и $L(\alpha_e, \alpha_f) \in \mathfrak{S}(\alpha_e, \alpha_f)$ таких, что $\alpha_e, \alpha_f \in \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$, $\Lambda(L(\alpha_e, \alpha_f)) \subseteq \Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b))$ справедливо: $L(\alpha_e, \alpha_f) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_e, \alpha_f)$.

Принимая во внимание изложенное, введем понятие пересечения КП.

Определение 2.18. Пусть $L(\alpha_a, \alpha_b)$, $L(\alpha_c, \alpha_d)$ – КП, заданные на связном множестве АЭ $\bar{A} \subset A$ и $\Lambda(L(\alpha_a, \alpha_b)) \cap \Lambda(L(\alpha_c, \alpha_d)) = \{R_k\}_{k=1}^T$, где R_k – связное множество АЭ, $k = \overline{1, T}$, $T \in N$. Пересечением КП $L(\alpha_a, \alpha_b)$, $L(\alpha_c, \alpha_d)$ называется множество $\{L_k\}_{k=1}^T$, где L_k , $k = \overline{1, T}$, – КП, состоящий из всех АЭ множества R_k , $k = \overline{1, T}$, то есть $\Lambda(L_k) = R_k$, которое записывается в виде:

$$L(\alpha_a, \alpha_b) \overset{\rightarrow}{\cap} L(\alpha_c, \alpha_d) = \{L_k\}_{k=1}^T.$$

Заметим, что если указанных в определении 2.18 КП L_k не существует, то пересечением двух КП будем считать пустое множество.

Обозначим \mathfrak{S}_2 – множество всех КП на множестве \bar{A} , а $\mathfrak{S}_2^n \subseteq \mathfrak{S}_2$ – подмножество таких КП, мера μ_2 которых равна n , $n \geq 2$, $n \in N$. Выберем произвольный КП $L = L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2^n$.

Согласно [249 (с. 4)], каждый путь множества \mathfrak{S}_2 , а, следовательно, и рассматриваемый КП L , моделирует определенное элементарное движение УФС, которое было реализовано при генерации некоторого исходного изображения. При этом продолжительность указанного движения моделирует значение меры μ_2 соответствующего КП.

Многообразие одноименных изображений, различающихся только продолжительностями соответствующих элементарных движений, предполагает (с целью опознавания изображений) для данного элементарного движения определить такую его модель, которая описывает его $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, ... части с учетом сохранения локально-глобального направления. Принимая во внимание [249 (с. 4)] и проведенные рассуждения, искомые модели есть КП, значения меры μ_2 которых равны $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, ... значения меры μ_2 КП, моделирующего исследуемое элементарное движение УФС [226 (с. 3)].

С целью конструктивного задания указанных КП введем следующие определения, основываясь на приведенных ранее фактах.

Определение 2.19. *Подпутями первого уровня ($h_1(n)$ -объектами) КП $L = L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2^n$, $n \geq 2$, называются КП множества $H_1(n) = \{L_{h_1(n)}^i\}_{i=1}^2$, такие, что:*

- 1) $L_{h_1(n)}^i \xrightarrow{\rightarrow} L = L_{h_1(n)}^i$, $i = \overline{1, 2}$;
- 2) $L_{h_1(n)}^1 \xrightarrow{\rightarrow} L_{h_1(n)}^2 = \emptyset$;
- 3) $\mu_2(L_{h_1(n)}^1) = \mu_2(L_{h_1(n)}^2) = [n/2]$;
- 4) $\alpha_a \in \Lambda(L_{h_1(n)}^1)$, $\alpha_b \in \Lambda(L_{h_1(n)}^2)$.

Заметим, что при $n \geq 2$ по определению 2.19 КП $L_{h_1(n)}^i, i = \overline{1, 2}$, моделируют «половину» КП L , что показано на рисунке 2.28), а, следовательно, соответствующие части траектории движения УФС, совершенного в процессе генерации исходного изображения с сохранением локально-глобального направления движения. Заметим, что с целью установления КП, которые моделируют $\frac{1}{4}$ часть КП L , необходимо определить все $h_1([n/2])$ -объекты для каждого КП множества $H_1(n)$, множество которых – $H_2(n)$ – будут составлять подпути второго уровня ($h_2(n)$ -объекты КП $L \in \mathfrak{S}_2^n$).

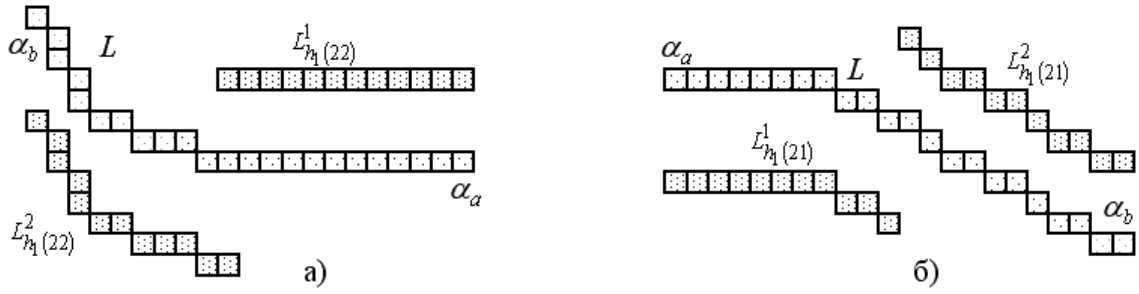


Рисунок 2.28 – Подпути первого уровня КП: а) n – четное число; б) n – нечетное

Рассуждая аналогично, зная, например, подпути первого уровня множества $H_{p-1}(n)$, возможно построить множество $H_p(n)$ при условии, что $\mu_2(L_{h_{p-1}(n)}) \neq 1$, где $L_{h_{p-1}(n)}$ – произвольный КП из $H_{p-1}(n)$.

В соответствии с приведенными рассуждениями определим подпути p -го уровня КП $L \in \mathfrak{S}_2^n$ следующим образом.

Определение 2.20. Пусть для КП $L \in \mathfrak{S}_2^n$, $n \geq 2$, построено множество $H_{p-1}(n) = \{L_{h_{p-1}(n)}^i\}_{i \in I}$, $p \geq 2$, где $L_{h_{p-1}(n)}^i$ – i -й $h_{p-1}(n)$ -объект КП L , причем $\mu_2(L_{h_{p-1}(n)}^i) \neq 1$, $\forall i \in I$, $I \subset N$ – индексное множество. Тогда подпутями p -го уровня КП $L \in \mathfrak{S}_2^n$, $n \geq 2$, ($h_p(n)$ -объектами КП $L \in \mathfrak{S}_2^n$) называются КП множества $H_p(n) = \{L_{h_p(n)}^j\}_{j \in J}$, где $J \subset N$ – индексное множество, такие, что $L_{h_p(n)}^j$ при $j = 2i - 1$ и $j = 2i$ являются подпутями первого уровня КП $L_{h_{p-1}(n)}^i$, $\forall i \in I$.

Предположим, что для КП $L \in \mathfrak{S}_2^n$, $n \geq 2$, согласно определениям 2.19 и 2.20 построена последовательность множеств $H(n) = \{H_p(n)\}_{p=1}^{p(n)}$, такая, что для любого КП $L_{h_{p(n)}(n)} \in H_{p(n)}(n)$ известно, что $\mu_2(L_{h_{p(n)}(n)}) = 1$.

Заметим, что значение $p(n)$ характеризует минимальную часть КП L , которую возможно рассматривать. При автоматическом моделировании произвольного КП

с известной мерой μ_2 необходимо знание указанного значения $p(n)$, расчет которого возможно осуществить на основе следующего утверждения.

Утверждение 2.2. Пусть КП $L \in \mathfrak{F}_2^n$, $n \geq 2$, $n \in N$. Тогда если $n \in \{2^i, 2^i + 1, \dots, 2^{i+1} - 1\}$, то $p(n) = i$, где $i \in N$.

Доказательство. Рассмотрим числовую последовательность $\{a_p\}_{p=1}^{p(n)}$ такую, что: $a_1 = [n/2]$, $a_{p+1} = [a_p/2]$, $p = \overline{1, p(n)-1}$, $a_{p(n)} = 1$. Согласно определениям 2.19 и 2.20, значение элемента a_p равно значению меры μ_2 каждого КП множества $H_p(n)$, $p = \overline{1, p(n)}$.

В соответствии с определением элементов последовательности $\{a_p\}_{p=1}^{p(n)}$, натуральное число n представимо в виде: $n = 2a_1 + C_1$, где $C_1 \in \{0; 1\}$. Тогда $\forall p \in \{1, 2, \dots, p(n) - 1\}$ справедливо, что $a_p = 2a_{p+1} + C_{p+1}$, где $C_{p+1} \in \{0; 1\}$, причем $a_{p(n)-1} = 2a_{p(n)} + C_{p(n)} = 2 + C_{p(n)}$, где $C_{p(n)} \in \{0; 1\}$, а, следовательно:

$$n = 2^{p(n)} + \sum_{p=1}^{p(n)} C_p 2^{p-1}, \quad (2.19)$$

где $C_p \in \{0; 1\}$, $p = \overline{1, p(n)}$.

Так как $\sum_{p=1}^{p(n)} C_p 2^{p-1} \geq 0$ для любого натурального n , то из выражения (2.19)

следует, что $2^{p(n)} \leq n$. Максимальное значение $\sum_{p=1}^{p(n)} C_p 2^{p-1}$ достигается, когда $C_p = 1$,

$p = \overline{1, p(n)}$, и равно $2^{p(n)} - 1$. Тогда из (2.19) следует: $n \leq 2^{p(n)+1} - 1 < 2^{p(n)+1}$, то есть $2^{p(n)+1} > n/2$. Таким образом, $n/2 < 2^{p(n)} \leq n$, или

$$\log_2 n - 1 < p(n) \leq \log_2 n. \quad (2.20)$$

По условию утверждения 2.2,

$$2^i \leq n \leq 2^{i+1} - 1. \tag{2.21}$$

Тогда из неравенства (2.21) и левой части неравенства (2.20) следует:

$$p(n) > \log_2 n - 1 \geq \log_2 2^i - 1 = i - 1,$$

то есть

$$p(n) > i - 1. \tag{2.22}$$

Рассмотрев правую часть неравенства (2.20) и неравенство (2.21), получим:

$$p(n) \leq \log_2 n \leq \log_2 (2^{i+1} - 1) < \log_2 2^{i+1} = i + 1,$$

то есть

$$p(n) < i + 1. \tag{2.23}$$

Так как $p(n)$ – натуральное число, то из неравенств (2.22) и (2.23) следует: $p(n) = i$, что и требовалось доказать. Для примера рассмотрим $h_p(n)$ -объекты для некоторого КП, пример которого представлен на рисунке 2.29.

Пусть $\mu_2(L) = n = 17 \in \{2^4, 2^4 + 1, \dots, 2^5\}$, тогда согласно утверждению 2.2 $p(17) = 4$, то есть возможно построить $h_p(17)$ -объекты для $p = \overline{1, 4}$.

Строим $h_1(17)$ -объекты, используя определение 2.19. Полученные КП $L^1_{h_1(17)}$, $L^2_{h_1(17)}$ приведены на рисунке 2.29, а).

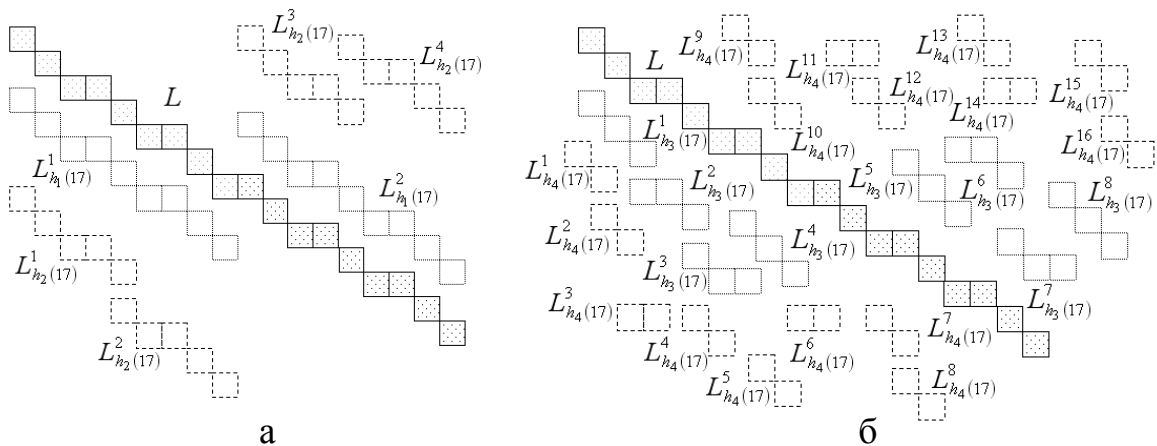


Рисунок 2.29 – Иллюстрация $h_p(n)$ -объектов КП L : а) для $p = 1, 2$; б) для $p=3, 4$

По определению 2.20, для построения $h_2(17)$ -объектов данного КП L надо построить $h_1(8)$ -объекты для КП $L_{h_1(17)}^1, L_{h_1(17)}^2$. Построенные КП $L_{h_2(17)}^1, L_{h_2(17)}^2, L_{h_2(17)}^3, L_{h_2(17)}^4$ приведены на рисунке 2.29, а).

Аналогично, для построения $h_3(17)$ -объектов данного КП L нужно построить $h_1(4)$ -объекты для путей $L_{h_2(17)}^1, L_{h_2(17)}^2, L_{h_2(17)}^3, L_{h_2(17)}^4$, при этом получим КП $L_{h_3(17)}^i, i = \overline{1, 8}$, изображенные на рисунке 2.29, б). Построив $h_4(17)$ -объекты данного КП L как $h_1(2)$ -объекты для КП $L_{h_3(17)}^i, i = \overline{1, 8}$, получим КП $L_{h_4(17)}^j, j = \overline{1, 16}$, показанные на рисунке 2.29, б).

Утверждением 2.2 показано, что для произвольного КП $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2^n$: $\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b)) = n, n \geq 2$, однозначно определяется количество множеств $H_p(n)$, которые могут быть для него построены согласно определениям 2.19 и 2.20. Данный факт обуславливает возможность автоматического установления числа возможных подмножеств подпутей КП, мера μ_2 которых равна $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$ части меры μ_2 исходного пути.

Таким образом показано, что для произвольного кратчайшего пути $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2^n$, такого, что $\mu_2(L(\alpha_a, \alpha_b)) = n, n \geq 2$, может быть построено множество $H_p(n)$ подпутей p -го уровня ($h_p(n)$ -объектов), $p = \overline{1, p(n)}$. Покажем далее, что при этом для каждого $p = \overline{1, p(n)}$ соответствующее множество $H_p(n)$ определено однозначно.

Теорема 2.1. Для любого КП $L = L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2^n, n \geq 2, n \in N$, и любого натурального числа p такого, что $p \leq p(n)$, существует единственное множество $H_p(n) \in H(n)$.

Доказательство. Доказательство теоремы проведем методом математической индукции. Для этого покажем, что теорема верна для $p = 1$, и докажем, что из того, что утверждение теоремы верно для некоторого p ,

$1 \leq p \leq p(n)$, следует, справедливость утверждения теоремы для $p + 1$. Тогда, согласно методу математической индукции, теорема будет верна для любых p .

Пусть $L = \{s_{m_i}^i\}_{i=1}^n, m_i \in M = \{1, 2, 3, 4\}, L = L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{F}_2^n$. С учетом введенных обозначений путь L имеет n связей и $n + 1$ АЭ. Покажем, что для пути L множество $H_1(n)$ существует и единственно.

Согласно определению 2.19, рассмотрим два случая: когда n – четное и нечетное число соответственно.

Если n четно, то существует единственное число $g_1 \in N$ такое, что $n = 2g_1$.

Рассмотрим пути $L_1 = \{s_{m_i}^i\}_{i=1}^{g_1}, L_2 = \{s_{m_i}^i\}_{i=g_1+1}^n, m_i \in M, i \in \{1, 2, \dots, n\}$. Покажем, что $L_1, L_2 - h_1(n)$ -объекты.

Пути L_1 и L_2 выбраны таким образом, что: 1) $L_1 \overset{\rightarrow}{\cap} L = L_1, L_2 \overset{\rightarrow}{\cap} L = L_2$; 2) $L_1 \overset{\rightarrow}{\cap} L_2 = \emptyset$; 3) $\mu_2(L_1) = g_1 = n/2 = [n/2], \mu_2(L_2) = n - g_1 = n/2 = [n/2] = \mu_2(L_1)$; 4) $\alpha_a \in \Lambda(L_1), \alpha_b \in \Lambda(L_2)$.

Из определения 2.19 следует, что рассматриваемые пути L_1 и L_2 являются $h_1(n)$ -объектами данного пути L , множество которых $H_1(n) = \{L_1, L_2\}$, очевидно, единственно в силу конструктивности его построения.

Если n нечетно, тогда существует единственное число g_2 такое, что $n = 2g_2 + 1$.

Заметим, что $[n/2] = [(2g_2 + 1)/2] = [g_2 + 1/2] = g_2$. Рассмотрим пути $L_1 = \{s_{m_i}^i\}_{i=1}^{g_2}, L_2 = \{s_{m_i}^i\}_{i=g_2+2}^n, m_i \in M, i \in \{1, 2, \dots, n\}$. Покажем, что $L_1, L_2 - h_1(n)$ -объекты.

Из способа выбора L_1 и L_2 следует, что:

- 1) $L_1 \overset{\rightarrow}{\cap} L = L_1, L_2 \overset{\rightarrow}{\cap} L = L_2$;
- 2) $L_1 \overset{\rightarrow}{\cap} L_2 = \emptyset$;
- 3) $\mu_2(L_1) = g_2 = [n/2], \mu_2(L_2) = n - g_2 - 1 = g_2 = [n/2] = \mu_2(L_1)$;
- 4) $\alpha_a \in \Lambda(L_1), \alpha_b \in \Lambda(L_2)$.

Из определения 2.19 следует, что рассматриваемые пути L_1 и L_2 являются $h_1(n)$ -объектами пути L . Множество этих путей $H_1(n) = \{L_1, L_2\}$ единственно в силу конструктивности его построения.

Утверждение теоремы для случая $p = 1$ доказано.

Пусть теорема верна для некоторого натурального p : $1 \leq p \leq p(n)$, то есть существует единственное множество $H_p(n) \in H(n)$ для данного КП L . Покажем, что если $p + 1 \leq p(n)$, то существует единственное множество $H_{p+1}(n) \in H(n)$.

По определению 2.20 множество $H_{p+1}(n)$ является объединением всех множеств H_1 для каждого из $h_p(n)$ -объектов КП L , $1 \leq p \leq p(n)$. Поскольку $h_p(n)$ -объекты КП L существуют и единственны по предположению индукции, и они являются КП согласно определению 2.20, то множество H_1 существует и единственно для любого КП, в том числе и для путей множества $H_p(n)$, $1 \leq p \leq p(n)$.

Отсюда следует, что множество $H_{p+1}(n)$ для пути L существует и единственно. В силу произвольности выбора p : $1 \leq p \leq p(n)$, теорема доказана полностью.

Теоремой 2.1, в частности, показано, что при выборе фиксированного значения $p \in \{1, 2, \dots, p(n)\}$ для произвольного КП $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2^n$ множество его подпутей p -го уровня определяется однозначно. При этом актуальным для моделирования КП подпутями является определение мощности каждого из множеств $H_p(n)$, а также значений меры μ_2 составляющих их путей. Сформулируем и докажем теорему, которая устанавливает мощность и структуру множества подпутей p -го уровня произвольного пути $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2^n$.

Теорема 2.2. Мощность множества $H_p(n) \in H(n)$ равна 2^p , $1 \leq p \leq p(n)$, а входящие в него $h_p(n)$ -объекты $L_{h_p(n)}^i$, для КП $L \in \mathfrak{S}_2^n$, обладают следующими свойствами: 1) $L_{h_p(n)}^i \xrightarrow{\rightarrow} L = L_{h_p(n)}^i$, $i = \overline{1, 2^p}$; 2) $L_{h_p(n)}^i \cap L_{h_p(n)}^j = \emptyset$, $\forall i, j \in \{1, 2, \dots, 2^p\}$, $i \neq j$; 3) $\mu_2(L_{h_p(n)}^i) = [n/2^p]$, $i = \overline{1, 2^p}$.

Доказательство. Проведем доказательство по методу математической индукции. При $p = 1$ для $H_p(n) = H_1(n)$ утверждение теоремы выполнено в силу

определения 2.19. Пусть утверждение теоремы верно для некоторого натурального p : $p < p(n)$, то есть мощность множества $H_p(n)$ равна 2^p , а входящие в него $h_p(n)$ -объекты $L_{h_p(n)}^i$, $i = \overline{1, 2^p}$, обладают указанными в формулировке теоремы свойствами 1)-3). Покажем, что в таком случае утверждение теоремы верно и для $p+1 \leq p(n)$.

Согласно определению 2.20, каждый из $h_p(n)$ -объектов множества $H_p(n)$ имеет два h_1 -объекта, тогда, так как $\text{mes } H_p(n) = 2^p$, то мощность множества $H_{p+1}(n)$ равна: $\text{mes } H_{p+1}(n) = 2 \cdot \text{mes } H_p(n) = 2 \cdot 2^p = 2^{p+1}$.

Рассмотрим КП множества $H_{p+1}(n) = \{L_{h_{p+1}(n)}^j\}_{j=1}^{2^{p+1}}$. Согласно определению 2.20, КП $L_{h_{p+1}(n)}^j$ при $j = 2i - 1$, и $j = 2i$ являются подпутями первого уровня КП $L_{h_p(n)}^i$, $i \in \{1, 2, \dots, 2^p\}$, откуда $H_{p+1}(n) = \{L_{h_{p+1}(n)}^j\}_{j=1}^{2^{p+1}} = \{L_{h_{p+1}(n)}^{2i-1}, L_{h_{p+1}(n)}^{2i}\}_{i=1}^{2^p}$. Тогда по определению 2.19 $L_{h_{p+1}(n)}^{2i-1} \vec{\cap} L_{h_p(n)}^i = L_{h_{p+1}(n)}^{2i-1}$, $L_{h_{p+1}(n)}^{2i} \vec{\cap} L_{h_p(n)}^i = L_{h_{p+1}(n)}^{2i}$, где $i \in \{1, 2, \dots, 2^p\}$.

С учетом свойства 1) для $h_p(n)$ -объектов КП L получаем: $L_{h_{p+1}(n)}^{2i-1} \vec{\cap} L = L_{h_{p+1}(n)}^{2i-1}$, $L_{h_{p+1}(n)}^{2i} \vec{\cap} L = L_{h_{p+1}(n)}^{2i}$, $i \in \{1, 2, \dots, 2^p\}$, или $L_{h_{p+1}(n)}^j \vec{\cap} L = L_{h_{p+1}(n)}^j$, $j \in \{1, 2, \dots, 2^{p+1}\}$, то есть свойство 1) для $h_{p+1}(n)$ -объектов КП L выполнено.

Согласно определению 2.19, $L_{h_{p+1}(n)}^{2i-1} \vec{\cap} L_{h_{p+1}(n)}^{2i} = \emptyset$, $i \in \{1, 2, \dots, 2^p\}$, откуда следует выполнение свойства 2) для $h_{p+1}(n)$ -объектов КП L .

Чтобы показать справедливость свойства 3) для $h_{p+1}(n)$ -объектов КП L , обозначим $n_p = \mu_2(L_{h_p(n)}^i)$, $i \in \{1, 2, \dots, 2^p\}$.

С учетом определения 2.19 и выполнения свойства 3) для $h_p(n)$ -объектов КП L , имеем: $\mu_2(L_{h_{p+1}(n)}^j) = [n_p/2] = \lceil [n/2^p]/2 \rceil$, $\forall j \in \{1, 2, \dots, 2^{p+1}\}$.

Представим n в виде: $n = r2^p + q$, где $r \in N \setminus \{1\}$, $q \in \{0, 1, 2, \dots, 2^p-1\}$. Тогда $[n/2^p] = [(r2^p + q) / 2^p] = [r + q / 2^p] = r$, следовательно, $\mu_2(L_{h_{p+1}(n)}^j) = [[n/2^p]/2] = [r/2]$.

Рассмотрим два случая: когда r – четное и нечетное число соответственно.

Если r – четное, то существует $g_1 \in N$ такое, что $r = 2g_1$. Тогда

$$\mu_2(L_{h_{p+1}(n)}^j) = [r/2] = [2g_1/2] = g_1.$$

С другой стороны,

$$[n/2^{p+1}] = [(r2^p + q)/2^{p+1}] = [r/2 + q/2^{p+1}] = [2g_1/2 + q/2^{p+1}] = [g_1 + q/2^{p+1}] = g_1,$$

значит, $\mu_2(L_{h_{p+1}(n)}^j) = [n/2^{p+1}]$, $j = \overline{1, 2^{p+1}}$, то есть свойство 3) для $h_{p+1}(n)$ -объектов КП L выполняется.

Если r – нечетное, то существует $g_2 \in N$ такое, что $r = 2g_2 + 1$. Отсюда получаем:

$$\mu_2(L_{h_{p+1}(n)}^j) = [r/2] = [(2g_2 + 1)/2] = [g_2 + 1/2] = g_2.$$

В этом случае

$$[n/2^{p+1}] = [(r2^p + q)/2^{p+1}] = [r/2 + q/2^{p+1}] = [(2g_2 + 1)/2 + q/2^{p+1}] = [g_2 + 1/2 + q/2^{p+1}].$$

Заметим, что $q/2^{p+1} < 1/2$, $1/2 + q/2^{p+1} < 1$, тогда $[n/2^{p+1}] = [g_2] = g_2$.

Следовательно, $\mu_2(L_{h_{p+1}(n)}^j) = [n/2^{p+1}]$, $\forall j \in \{1, 2, \dots, 2^{p+1}\}$, то есть свойство 3) для $h_{p+1}(n)$ -объектов КП L выполняется.

Таким образом показано, что если свойства 1)-3) из условия данной теоремы выполнены для некоторого $p: \{1, 2, \dots, p(n) - 1\}$, то они также выполнены и для значения $p + 1$. В силу произвольности выбора p теорема доказана полностью.

С целью исследования свойств множеств $H_p(n)$ при различных значениях n введем в рассмотрение множество $Q = \{q_i \mid q_i = 2^i, i \in N\}$.

Утверждение 2.3. Для любого $n \in N$ такого, что $n = q_i, i \in N$, выполнено: 1) $p(n) = p(n + 1) = i$; 2) для любого $p \in \{1, 2, \dots, i\}$ и любых $h_p(n)$ -объектов $L_{h_p(n)}$ и $L_{h_p(n+1)}$ таких, что $L_{h_p(n)} \in H_p(n), L_{h_p(n+1)} \in H_p(n+1)$, выполнено равенство $\mu_2(L_{h_p(n)}) = \mu_2(L_{h_p(n+1)})$.

Доказательство. 1) Так как $n = q_i \in Q, i \in N$, то $n \in \{q_i, q_i + 1, \dots, q_{i+1} - 1\}$, следовательно, согласно утверждению 2.2, $p(n) = i$. Докажем, что $p(n + 1) = i$. Для этого покажем, что $n + 1 \in \{q_i, q_i + 1, \dots, q_{i+1} - 1\}$, где $i \in N$.

Поскольку $n + 1 > n$, то $n + 1 > q_i$.

Предположим, что $n + 1 \notin \{q_i, q_i + 1, \dots, q_{i+1} - 1\}$, то есть $n + 1 > q_{i+1} - 1, i \in N$. С учетом равенства $n = q_i$, получаем: $q_{i+1} - q_i < 2$, или $2^{i+1} - 2^i < 2; 2^i < 2, i \in N$, что невозможно. Следовательно, сделанное предположение не верно, и $n + 1 \in \{q_i, q_i + 1, \dots, q_{i+1} - 1\}, i \in N$. Отсюда, согласно утверждению 2.2, следует, что $p(n + 1) = i$.

2) Рассмотрим произвольные $h_p(n)$ -объекты $L_{h_p(n)}$ и $L_{h_p(n+1)}$ такие, что $L_{h_p(n)} \in H_p(n), L_{h_p(n+1)} \in H_p(n+1)$, где $p \in \{1, 2, \dots, i\}, n = q_i \in Q, i \in N$. Согласно теореме 2.2, верны следующие равенства: $\mu_2(L_{h_p(n)}) = [n/2^p], \mu_2(L_{h_p(n+1)}) = [(n+1)/2^p]$. С учетом равенства $n = q_i = 2^i, i \in N$, а также условия $p \in \{1, 2, \dots, i\}$, запишем:

$$\mu_2(L_{h_p(n)}) = [n/2^p] = [2^i/2^p] = [2^{i-p}] = 2^{i-p};$$

$$\mu_2(L_{h_p(n+1)}) = [(n+1)/2^p] = [(2^i+1)/2^p] = [2^{i-p} + 1/2^p] = 2^{i-p} = \mu_2(L_{h_p(n)}),$$

что и требовалось доказать.

Полученные результаты применимы не только для сравнения кратчайших путей и установления их относительных характеристик по мере μ_2 , но также и для иных измеримых параметров, в частности, определения Т-, V- и X-атрибутов, установления значений D -угловой характеристики кратчайшего пути либо D -отрезка, и прочих.

Представленные теоретические положения в совокупности позволяют на их основе перейти к разработке и изложению искомого метода автоматического моделирования остовов знаков бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов.

2.6 Выводы по разделу 2

1. В разделе представлены основные теоретические положения метода автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах дискретного множества атомарных элементов.

2. Осуществлен анализ способов представления изображений знаков открытых алфавитов, подлежащих автоматическому моделированию и именованию на множестве атомарных элементов, описана проблема конструктивного определения образов обрабатываемых объектов, указаны направления поиска ее решения.

3. Определена ориентация элементарных составляющих моделей GT-объектов, подлежащих автоматическому анализу на множестве атомарных элементов, введены понятия ориентированных влево, вправо, вверх и вниз путей.

4. В виде конструктивных определений заданы типы взаимного расположения элементарных составляющих моделей D -знаков, названные

T-, V- и X- парами путей, установлены способы определения соответствующих атрибутов каждой пары.

5. Представлены теоретические положения определения аналога градусной меры на дискретном множестве атомарных элементов для пары произвольных кратчайших путей или D -отрезков. Для произвольного КП либо D -отрезка задана количественная характеристика, аналогичная градусной мере угла наклона отрезка к горизонтали, заданной в терминах всюду плотных множеств.

6. Определены подпути кратчайших путей и изучены их свойства, что позволило на дискретных множествах оперировать такими кратчайшими путями, значение некой числовой характеристики которых равно заданной части значения такой же характеристики фиксированного КП.

7. Обусловлена возможность использования введенных понятий, объектов и определений для разработки метода автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов.

РАЗДЕЛ 3

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗОВ
БИНАРНЫХ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ
ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ НА ДИСКРЕТНОМ МНОЖЕСТВЕ
АТОМАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Согласно постановке задачи исследования диссертационной работы, приведенной в п. 1.5, система обработки, анализа и именования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах дискретного множества атомарных элементов, предполагает разработку и реализацию метода автоматического моделирования ГТ-объектов, представленных совокупностью кратчайших путей. Искомый метод базируется на гипотезе о способе формирования исходного изображения, изложенной в [202 (с. 2), 226 (с. 4), 228 (с. 2)], и не предполагает априорного задания множеств производных элементов, примитивов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений либо интервалов, равно как и самого множества моделируемых и именуемых объектов. В основе метода лежит описанный в [224 (с. 4), 226 (с. 4)] подход, предполагающий автоматическое выявление на образе бинарного РЦИ знака фрагментов, характеризующихся сохранением локально-глобального направления движения [235 (с. 2), 236 (с. 4)]. Формирование модели осуществляется вследствие размещения на ГТ-объекте структурированных множеств атомарных элементов – элементов покрытия, с последующим определением их качественных относительных характеристик.

В подразделе 3.1 изложены элементы гипотезы о формировании изображений и определены перспективные направления реализации метода автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений на дискретном множестве атомарных элементов.

Подраздел 3.2 содержит определения элемента покрытия ГТ-объекта, его структурных компонентов и параметров, таких, как П-центр, П-граница и П-тело, размер элемента покрытия и прочие. В подразделе также представлены понятия

покрытия GT-объекта как совокупности путей на дискретном множестве атомарных элементов, изложены основные принципы формирования покрытия, установлено значение максимального размера элемента покрытия пути с целью генерации искомой модели.

В подразделе 3.3 вводятся понятия пути как структурной составляющей D -знака, полного покрытия, сегмента элемента покрытия и его размера. Обуславливаются дополнительные условия размещения элементов покрытия на путях с целью фиксации изменений локально-глобальных направлений. Определены фрагменты путей, характеризующиеся сохранением локально-глобального направления. Сформулирована и доказана теорема о сохранении D -отрезком как локального, так и глобального направлений, на основании которой обоснован выбор указанного объекта в качестве основной структурной единицы автоматически формируемой модели GT-объектов.

В подразделе 3.4 описан метод автоматического моделирования образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов, заданных на дискретном множестве атомарных элементов. Даны понятия моделей пути, D -знака, указаны основные характеристики путей, которые должны быть определены в процессе анализа GT-объекта и автоматической генерации математической модели – установление относительных характеристик путей, их ориентация и значения u -меры.

Подраздел 3.5 посвящен анализу элементов формируемого множества моделей D -знака. В нем введены понятия подобия моделей путей, коэффициентов расположения и пропорциональной близости фрагментов, характеризующихся сохранением локально-глобального направления, аргументированы правила выявления валидной модели с целью ее использования для последующего именованя анализируемого образа бинарного растрового цифрового изображения.

3.1 Аналитическое обоснование метода автоматического моделирования образов растровых цифровых бинарных изображений на дискретном множестве атомарных элементов

Так как формирование изображения играет ключевую роль в процессе моделирования и именования образов бинарных РЦИ, рассмотрим элементы гипотезы о способе формирования изображений [202 (с. 2)].

В соответствие с [226 (с. 4), 227 (с. 3)], «каждому поступающему концепту $K_i (i=1,2,\dots)$, именуемому как O_i , подлежащему генерации и регистрации, взаимно однозначно сопоставимо множество моделей $M_i = \{M_1^i, M_2^i, \dots\}$ », где каждая модель – это конечное упорядоченное множество непрерывных кривых без самопересечений, заданных на подпространстве из пространства E_2 . При этом полагается, что процессу регистрации изображения предшествует процесс его генерации, реализуемый устройством управления (УУ) регистрирующего устройства вследствие декодирования управляющего воздействия на устройство фиксации следа. В соответствии с исходной моделью, устройство управления генерирует упорядоченное множество траекторий движения УФС. Каждая из генерируемых траекторий также представляет собой непрерывную кривую, взаимно однозначно соответствующую некоторой кривой исходной модели, и характеризуется, в частности, локально-глобальными направлениями движения [228 (с. 3)].

Регистрирующая часть УФС при соприкосновении с плоскостью (поверхностью) регистрации изображения (ПРИ) фиксирует след движения в локально-глобальном направлении, который становится изображением или его фрагментом [202 (с. 2)].

В соответствии с траекториями устройство декодирования [226 (с. 1)] генерирует управляющие воздействия, изменяя и корректируя ЛГН движений, под действием которых регистрирующая часть УФС изменяет свое положение и площадь соприкосновения с поверхностью) регистрации изображения, при этом на

ПРИ отображается множество следов реализации каждой траектории, соответствующих фрагментам кривых исходной модели.

Из приведенных рассуждений следует, что результирующее процесс генерации изображение взаимно однозначно сопоставимо с множеством траекторий движения УФС, каждое из которых, как отмечено ранее, определяется совокупностью локально-глобальных направлений.

Таким образом, при анализе образов бинарных РЦИ на множестве атомарных элементов целесообразно осуществлять выявление таких фрагментов *D*-знаков, каждый из которых характеризуется сохранением ЛГН движения УФС, реализованного в процессе формирования исходного изображения. Совокупность указанных фрагментов, в силу взаимно однозначного соответствия начальной модели изображения как множества непрерывных кривых [226 (с. 1)], является основой для автоматического моделирования ГТ-объекта с целью его последующего именовании.

Однако, на практике присутствуют случаи, когда УУ или УФС функционирует так, что зафиксированное множество следов траекторий движений не вполне соответствует исходной модели [202 (с. 2), 210 (с. 6)] по причине нарушения последовательности ЛГН, например, в процессе декодирования [226 (с. 1)] , либо содержит фрагменты, не являющиеся значимыми с точки зрения последующего анализа и именовании, что проиллюстрировано рисунком 3.1.



Рисунок 3.1 – Примеры изображений, сгенерированных с нарушениями последовательности ЛГН движений УФС

Вследствие этого, фрагменты, выявленные в процессе сегментации или моделирования, могут существенно отличаться от содержимого словаря производных элементов [136 (с. 8)] или заданных репрезентативных представителей классов образов (набора эталонов), что показано на рисунке 3.2.

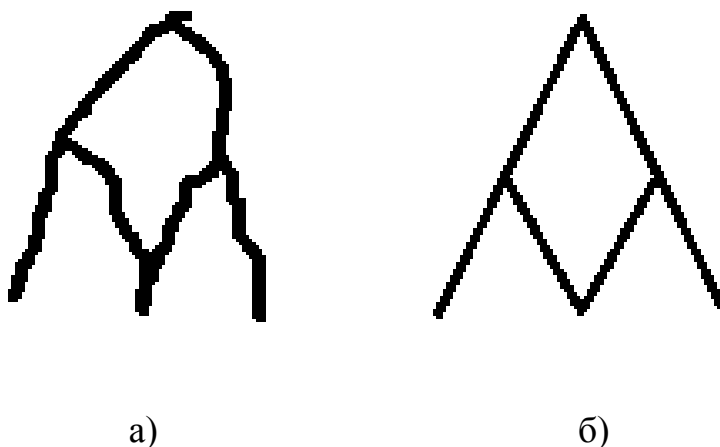


Рисунок 3.2 – Анализируемое (а) и эталонное (б) изображения

В таком случае решение задачи автоматического анализа, моделирования и последующего именованья значительно усложняется, а иногда и вовсе не представляется возможным. С целью решения данной проблемы в [224 (с. 2), 226 (с. 1)] предложен способ выявления фрагментов изображений, образы которых на множестве атомарных элементов характеризуются сохранением ЛГН, лишенный описанных недостатков.

В соответствии с гипотезой о формировании изображений [202 (с. 2)], элементы которой описаны выше, в работах [235 (с. 2), 236 (с. 1), 247 (с. 1)] предложено конструктивное определение элемента представления, позволяющего выявлять указанные фрагменты образов изображений, характеризуемые сохранением локально-глобального направления движения, позволяя абстрагироваться при этом от локальных изменений (нарушений) движения УФС в процессе генерации изображения – прообраза знака. Применение такого подхода предоставило возможность учитывать множественные вариативности, возникающие в процессе формирования изображения, а также увеличить учет

инвариантности в начертании знаков произвольной природы и открытых алфавитов, которые относятся к одному классу.

Однако, как отмечено в [236 (с. 2)], данный подход характеризуется, в частности, фиксированными положением и размером сектора элемента представления, что затрудняет его прикладное использование. Кроме того, правила размещения элементов представления на знаке не были формализованы, что не позволило достаточно эффективно применить предложенный подход на практике.

В соответствии с этим, для выявления на GT-объектах фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН, с целью последующего формирования моделей образов бинарных РЦИ определим элемент покрытия (ЭП) как модифицированный аналог элемента представления, введем правила размещения ЭП на образах бинарных РЦИ в терминах множества атомарных элементов, сформулируем понятие покрытия D -знака и проанализируем его структуру и свойства с тем, чтобы формализовать и определить модель произвольного GT-объекта как инструментарий для анализа и именования объектов исследования данной работы.

3.2 Определение элемента покрытия и его структурных составляющих.
Понятие покрытия GT-объекта и установление максимального размера элемента покрытия

Как указано в [253, 254], построение покрытия заключается в формировании множества АЭ элементов представления, включающего множество АЭ моделируемого пути.

Учитывая, что, как отмечено в пп. 2.1, 2.2, 3.1, автоматическому или автоматизированному анализу подлежит GT-объект как связное множество путей, не ограничивая общности проводимых рассуждений, для упрощения записи в

качестве объекта исследования настоящего раздела будем рассматривать один из путей, составляющих моделируемый GT-объект: $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $j \in N$.

Для проведения дальнейших рассуждений, определим элемент покрытия, который, согласно проведенным в п. 3.1 рассуждениям, будет использоваться для выявления фрагментов образов бинарных РЦИ, характеризуемых сохранением локально-глобального направления движения, как предмет исследования в задаче автоматического анализа и моделирования GT-объектов знаков на множестве АЭ. С этой целью введем понятия П-границы, П-центра и П-тела.

Определение 3.1. П-границей $\hat{\lambda}_p^j$, $p \in N$ называется замкнутый путь, полученный объединением четырех D -отрезков \bar{L}_k , $k \in \{1, 2, 3, 4\}$ [225 (с.

б)]такой, что $\hat{\lambda}_p^j = \bigcup_{k=1}^4 \bar{L}_k^p(\alpha_a^k, \alpha_b^k)$, при этом вторая мера каждого из D -отрезков –

нечетное число, т.е. $\left\{ \frac{\mu_2(\bar{L}_k^p)}{2} \right\} = 0$, и $\alpha_a^{k+1} \equiv \alpha_b^k$, $\sigma(\bar{L}_k) = (\Delta_1, \Delta_2, 0, 0)$, $\Delta_1 = \begin{cases} 1, k = \{1, 3\} \\ 0, k = \{2, 4\} \end{cases}$,

$$\Delta_2 = \begin{cases} 0, k = \{1, 3\} \\ 1, k = \{2, 4\} \end{cases}.$$

Пример П-границы проиллюстрирован на рисунке 3.3.

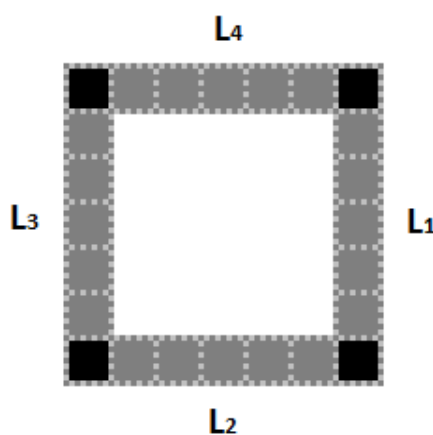


Рисунок 3.3 – Пример П-границы

Для того, чтобы в последующем использовать П-границу как структурную составляющую элемента покрытия для выявления фрагментов, характеризуемых

сохранением ЛГН, пронумеруем составляющие ее АЭ так, как показано на рисунке 3.4.

Введем понятие еще одного структурного элемента ЭП – центра множества АЭ, содержащегося внутри П-границы.

Определение 3.2. *П-центром* называется АЭ α_p^* , $p \in N$ такой, что

$$\mu_2(\bar{L}(\alpha_p^*, \alpha_a^k)) = \frac{\mu_2(\bar{L}_k(\alpha_a^k, \alpha_b^k))}{2}, \text{ где } \bar{L}_k(\alpha_a^k, \alpha_b^k) \in \lambda_p^j, k \in \{1, 2, 3, 4\}.$$

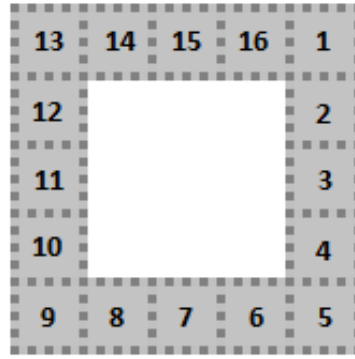


Рисунок 3.4 – Нумерация АЭ П-границы

Также для проведения последующих рассуждений и изложения теоретических положений определим понятие П-тела.

Определение 3.3. *П-телом* β_p^j , $p \in N$ называется множество атомарных элементов $\{\alpha_f^p\}_{f=0}^{f'}$, $f' = (\mu_2(\bar{L}_k^p) - 1)^2 - 1$ таких, что для $\forall \alpha_f^p$, $\exists \Pi_p^j, \alpha_r^k, \alpha_r^{k+2}$:
 $\mu_2(L(\alpha_f^p, \alpha_r^k)) + \mu_2(L(\alpha_f^p, \alpha_r^{k+2})) = \mu_2(\bar{L}_k^p)$, $\alpha_r^k \in \bar{L}_k^p$, $\alpha_r^{k+2} \in \bar{L}_{k+2}^p$, $\bar{L}_k^p, \bar{L}_{k+2}^p \subset \Pi_p^j$,
 $n = \mu_2(L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)) + 1$, $k \in \{1, 2, 3, 4\}$, $r \in N$, $p \in N$.

На основании введенных определений определим искомый ЭП как предмет исследования в задаче автоматического моделирования ГТ-объектов как образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов на множестве атомарных элементов.

Определение 3.4. *Элементом покрытия* Π_p^j , $p \in N$ называется множество АЭ, образованных объединением П-границы, ее П-центра и П-тела, т.е.
 $\Pi_p^j = \Lambda(\lambda_p^j) \cup \beta_p^j \cup \alpha_p^*$.

На рисунке 3.5 приведен пример элемента покрытия.

Поскольку определение ЭП предполагает, что метрические характеристики всех D -отрезков, составляющих его Π -границу, равны, т.е. $\mu_2(\overline{L_k^p}) = \mu_2(\overline{L_{k+1}^p})$, $\overline{L_k^p} \in \tilde{\lambda}_p^j$, $\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$, $k = \{1, 2, 3, 4\}$, то каждый Π_p^j , $p \in N$, целесообразно характеризовать в соответствии с мощностью множества $A \in D$ -отрезков, составляющих его Π -границу, для чего введем понятие размера элемента покрытия.

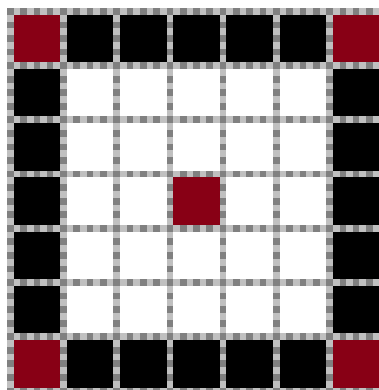


Рисунок 3.5 – Элемент покрытия

Определение 3.5. *Размером элемента покрытия* Π_p^j называется величина $\rho(\Pi_p^j)$ такая, что $\rho(\Pi_p^j) = \text{mes}(\Lambda(\overline{L_k^p}))$, $\overline{L_k^p} \subset \tilde{\lambda}_p^j$, $\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$, $k \in \{1, 2, 3, 4\}$.

В связи с тем, что при решении задач анализа, моделирования и именования GT-объект представляет собой связное множество путей $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $j = \overline{1, n'}$, $n' \in N$, то модель всего рассматриваемого образа бинарного РЦИ целесообразно формировать, основываясь на моделях путей, его составляющих. С этой целью определим правила размещения ЭП на произвольном пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, принадлежащем анализируемому GT-объекту.

Для формирования модели пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, согласно п. 3.1, необходимо выявить все его фрагменты, характеризующиеся сохранением ЛГН, следовательно, целесообразно сформировать покрытие [235 (с. 1)] кратчайшего пути, т.е.

«разместить» на нем множество ЭП с соблюдением совокупности правил, которые позволят эффективно использовать полученный результат для автоматического формирования моделей GT-объекта. С целью конструктивной трактовки понятия «размещение ЭП», введем следующее определение.

Определение 3.6. Элемент покрытия Π_p^j называется *размещенным* на пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, если $\alpha_p^* \cap \Lambda(L_j) \neq \emptyset$, $mes(\Lambda(\lambda_p^j \cap L_j)) \geq 2$, $\Lambda(\lambda_p^j) \subset \Pi_p^j$, $j, p \in N$. Элемент покрытия Π_p^j , размещенный на пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, будем обозначать $\Pi_p^j \Rightarrow L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$.

Пример ЭП, размещенного на пути анализируемого GT-объекта, приведен на рисунке 3.6.

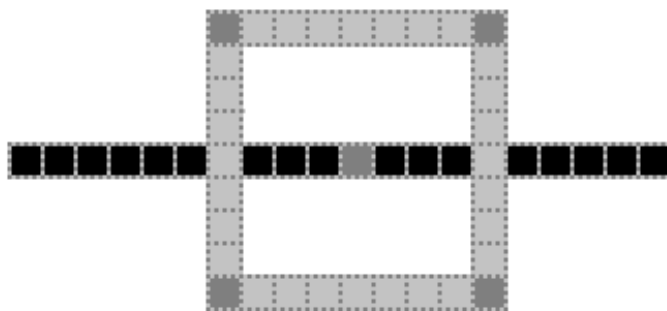


Рисунок 3.6 – Размещение ЭП на пути GT-объекта

Как отмечалось в работах [226 (с. 3), 247 (с. 2)], автоматическое моделирование знаков, в том числе образов бинарных РЦИ, предполагает размещение на путях, выявленных на GT-объектах во множестве АЭ, совокупности ЭП. С целью формализации способа формирования описания и анализа КП, введем определение покрытия.

Определение 3.7. *Покрытием* пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ называется множество ЭП $\Pi_p^j \Rightarrow L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $p = \overline{1, P_j}$, где P_j – количество размещенных на данном пути элементов покрытия.

Во избежание возникновения неопределенностей при моделировании пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, следует учесть, что все ЭП, расположенные на нем, должны быть

одинаковы по размеру в смысле определения 3.5, т.е. $\rho(\Pi_p^j) = \rho(\Pi_v^j)$, $\Pi_p^j \Rightarrow L_j$, $\Pi_v^j \Rightarrow L_j$, $p \in N$, $v \in N$.

В связи с тем, что основной задачей при построении модели отдельно рассматриваемого пути в D -знаке является выявление его фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, а, следовательно, и фиксация изменений направлений ЛГН на данном пути, а также учитывая, что для определения изменения направления движения необходимо разместить как минимум два ЭП, определим максимально допустимый размер ЭП для произвольного пути, что позволит априорно определять параметры элементов покрытия при генерации модели GT-объекта.

Определение 3.8. *Максимальным размером ЭП на пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ называется величина*

$$\delta_{\max} = \max \left\{ \left[\frac{\mu_2(L(\alpha_a^j, \alpha_{a+z}^j))}{2} \right] \right\}, \text{ где } L(\alpha_a^j, \alpha_{a+z}^j) \subseteq L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j), z \in \{1, 2, \dots, b-a\}.$$

Следует отметить, что согласно гипотезе о способе формирования изображений знаков открытых алфавитов, рассмотренной в п. 3.1, и в соответствии с идеей метода покрытия GT-объектов, для обеспечения формирования модели, соответствующей исходному изображению, необходимо гарантировать размещение на каждом пути D -знака достаточного количества ЭП, что позволит учесть все возможные изменения ЛГН движения УФС, осуществленные в процессе генерации прообраза знака. С этой целью перейдем к определению полного покрытия пути и установим дополнительные правила размещения элементов покрытия во избежание возможных неоднозначностей при фиксации изменений локально-глобальных направлений

3.3 Полное покрытие путей элементами покрытия. Определение модели фрагмента пути, характеризуемого сохранением локально-глобального направления

На основании проведенных в пп. 3.1, 3.2 рассуждений определено понятие покрытия путей D -знака и установлено правило вычисления максимального размера элемента покрытия для каждого из моделируемых путей ГТ-объекта. С целью автоматического формирования модели образа бинарного растрового цифрового изображения знака на дискретном множестве атомарных элементов необходимо определить модель фрагмента пути, характеризуемого сохранением локально-глобального направления. Для этого введем в рассмотрение понятие полного покрытия пути.

Определение 3.9. *Полным покрытием* пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ называется такое покрытие, при котором $\forall \alpha_q \in \Lambda(L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)) \exists \Pi_p^j : \alpha_q \in \Lambda(\Pi_p^j), \Pi_p^j \Rightarrow L_j, q = \{1, 2, \dots, n\}, j, p \in N$.

Однако фрагменты, выявленные вследствие полного покрытия пути, могут характеризоваться, с учетом последующего анализа, избыточной детализацией ЛГН, что сделает затруднительным процесс их описания. Данная ситуация возможна, к примеру, если на пути будет размещено количество ЭП, превышающее допустимое значение, т.е. $\forall \Pi_p^j, \Pi_{p+1}^j : \Pi_p^j \Rightarrow L_j, \Pi_{p+1}^j \Rightarrow L_j, mes(\Pi_p^j \cap \Pi_{p+1}^j) > mes(\overline{L_k^p}), \overline{L_k^p} \subset \lambda_p^j, \Lambda(\lambda_p^j) \subset \Pi_p^j$. Как следствие, такое размещение ЭП может приводить к возникновению «артефактов», показанных на рисунке 3.7, затрудняющих автоматическое моделирование пути и всего D -знака в целом.

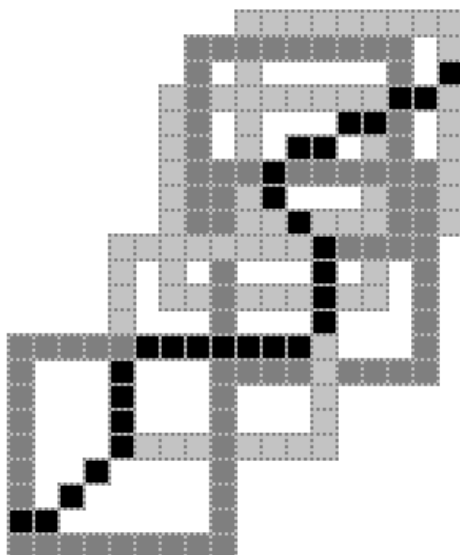


Рисунок 3.7 – Пример избыточного покрытия пути

Во избежание данной проблемы, необходимо определить правила размещения ЭП на пути, что позволит осуществлять процесс покрытия и автоматического моделирования ГТ-объектов как образов бинарных РЦИ знаков безотносительно к описанному ранее способу их генерации УУ и УФС.

Прежде всего, начальный элемент покрытия Π_1^j должен быть размещен таким образом, чтобы начальный АЭ α_a^j пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ принадлежал множеству атомарных элементов, образованному пересечением П-границы данного ЭП и множеством $\Lambda(L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j))$.

Каждый последующий ЭП, размещаемый на рассматриваемом пути, необходимо расположить таким образом, чтобы множество АЭ, образующих пересечение данного ЭП с предыдущим, принадлежали множеству АЭ границ указанных ЭП. Таким образом, элемент покрытия $\Pi_{m'}^j$ следует размещать аналогично Π_1^j , за исключением того, что пересечению пути и границы ЭП должен принадлежать конечный АЭ данного пути, т.е. $\alpha_a \in \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b) \cap \lambda_1^j)$, $\alpha_b \in \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b) \cap \lambda_{m'}^j)$, $\overline{L_{k'}^{p'}} \cap \overline{L_k^{p'-1}}$, $\overline{L_{k'}^{p'}} \subset \lambda_{p'}^j$, $\overline{L_{k'}^{p'-1}} \subset \lambda_{p'-1}^j$, $\Lambda(\lambda_1^j) \subset \Pi_1^j$, $\Lambda(\lambda_{m'}^j) \subset \Pi_{m'}^j$, $\Lambda(\lambda_{p'}^j) \subset \Pi_{p'}^j$, $k' \in \{1, 2, 3, 4\}$, $p' \in \{2, 3, \dots, m'-1\}$, $m' \in N$, как это показано на рисунке 3.8.

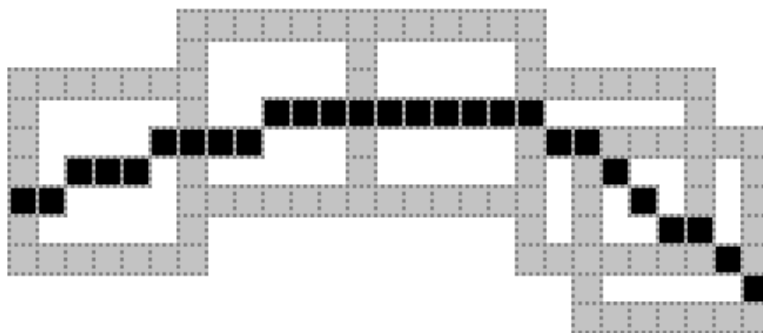


Рисунок 3.8 – Пример покрытия пути

В связи с тем, что понятие элемента покрытия не предполагает определения пересечений пути и ЭП, то сформированное покрытие, показанное на рисунке 3.6, не предоставляет какой-либо количественной либо качественной информации о ЛГН и его изменениях.

Учитывая выбранный способ построения модели, в связи с необходимостью выявления фрагментов ГТ-объекта, характеризуемых сохранением ЛГН, введем понятие сегмента элемента покрытия, что позволит выявить изменения локально-глобальных направлений движения непосредственно на пути и дополнить полученное покрытие искомой информацией о знаке для генерации его модели.

Определение 3.10. Сегментом ЭП ξ_p^j называется множество АЭ П-границы элемента покрытия такое, что $\xi_p^j = \{\alpha_q\}_{q=1}^{n'}, n' \in N: \alpha_q \in \Lambda(\tilde{\lambda}_p^j), \left\{ \frac{n'}{2} \right\} \neq 0$, $\alpha_{\left[\frac{n'}{2} \right]+1} \in \Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \cap \Lambda(L_j(\alpha_a, \alpha_b))$, $\Lambda(\tilde{\lambda}_p^j) \subset \Pi_p^j$. Размером сегмента ЭП будем называть мощность множества составляющих его АЭ, т.е. $mes(\xi_p^j)$.

Таким образом, каждый элемент покрытия Π_p^j характеризуется его размером $\rho(\Pi_p^j)$ и размером сегмента ЭП – $mes(\xi_p^j)$.

В связи с тем, что П-граница ЭП Π_p^j и путь $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ могут иметь более двух пересечений, т.е. $\aleph = \Lambda(L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)) \cap \tilde{\lambda}_p^j$, $mes(\aleph) \geq 2$, при этом элементы множества \aleph не связны между собой, возможна ситуация, в рамках которой ЭП может содержать

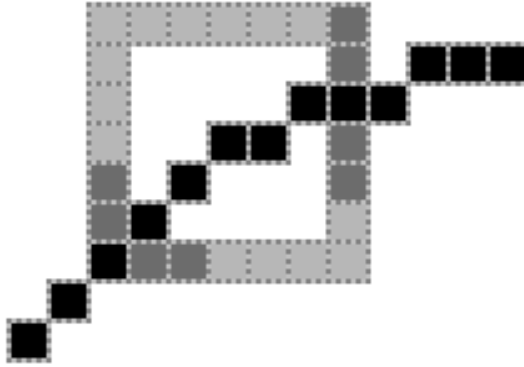


Рисунок 3.10 – Пример элемента покрытия, размер которого равен 7, величина размера сегмента равна 5

Расположим первый ЭП Π_1^j на пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ и зафиксируем множества номеров η_{in}^{fix} , η_{out}^{fix} АЭ, составляющих ξ_{in}^1 и ξ_{out}^1 соответственно. Продолжая формирование покрытия пути, будем считать, что ЛГН сохраняется, если $n_{in}^p \in \eta_{in}^{fix}$ и $n_{out}^p \in \eta_{out}^{fix}$, где n_{in}^p , n_{out}^p – номера АЭ $\alpha'_{in} \in \xi_{in}^p \cap L_j(\alpha_a, \alpha_b)$ и $\alpha'_{out} \in \xi_{out}^p \cap L_j(\alpha_a, \alpha_b)$, $\xi_{in}^p \in \Pi_p^j$, $\xi_{out}^p \in \Pi_p^j$. В случае, если $n_{in}^p \notin \eta_{in}^{fix}$ и/или $n_{out}^p \notin \eta_{out}^{fix}$ следует, что направление изменилось, и повторно фиксируются множества номеров АЭ для Π_{p+1} , т.е. $\eta_{in}^{fix} = \eta_{in}^{j+1}$, $\eta_{out}^{fix} = \eta_{out}^{j+1}$.

Покрытие пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ с использованием ЭП и секторов позволяет зафиксировать изменения локально-глобального направления движения, однако, на этапе формирования модели изменения ЛГН могут иметь место случаи, когда изменение направления происходит в П-теле одного из ЭП Π_p^j , т.е. $\exists \alpha_{b'}^j : L(\alpha_a^j, \alpha_{b'}^j) \subset L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, где $\alpha_{b'}^j \in \beta_p^j \cup \alpha_p^*$, $b' \in \{a+1, \dots, b-1\}$, и путь $L(\alpha_a^j, \alpha_{b'}^j)$ характеризуется сохранением ЛГН, что будет определено лишь на секторе «выхода» ξ_{out}^p данного ЭП, как это показано на рисунке 3.11.

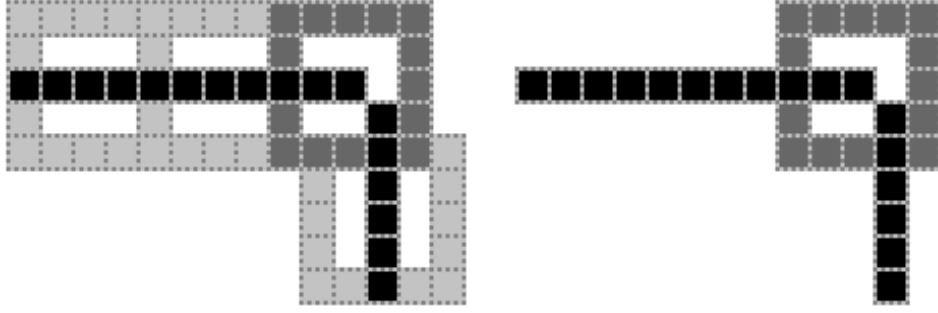


Рисунок 3.11 – Пример неоднозначности, возникающей при фиксации изменения ЛГН элементами покрытия пути

Фрагмент пути $L(\alpha_a^j, \alpha_{b+x}^j)$, $x \in N$, выявленный таким образом, в общем случае не будет характеризоваться сохранением ЛГН. С целью решения указанной проблемы, определим дополнительные правила размещения ЭП.

Правило 1. Если $n_{in}^p \notin \eta_{in}^{fix}$ и/или $n_{out}^p \notin \eta_{out}^{fix}$, то разместим ЭП Π_p^j , $\alpha_p^* \equiv \alpha_t^j$, $\alpha_t^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $t \in N$, таким образом, чтобы $\alpha_p^* \equiv \alpha_{t-1}^j$, $\alpha_{t-1}^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, и проверим выполнение условий сохранения локально-глобального направления: $n_{in}^{p-1} \in \eta_{in}^{fix}$, $n_{out}^{p-1} \in \eta_{out}^{fix}$.

Правило 2. Если $n_{in}^{p-1} \notin \eta_{in}^{fix}$ и/или $n_{out}^{p-1} \notin \eta_{out}^{fix}$, необходимо повторно выполнить действия, описанные в правиле 1.

Таким образом, при формировании покрытия пути атомарный элемент $\alpha_a^j \in \xi_{in}^1$, $\alpha_a^j \in \Lambda(L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j))$, $\xi_{out}^1 \in \Pi_p^1$, представляет собой начальный АЭ фрагмента, характеризующегося сохранением ЛГН, а АЭ $\alpha_h^j \in \xi_{out}^p$, $\alpha_h^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $\xi_{out}^p \in \Pi_p^j$ – конечный. Продолжение генерации покрытия пути следует производить с учетом описанных правил, при этом следует учитывать, что элемент покрытия Π_{p+1}^j должен быть расположен таким образом, чтобы $\alpha_{k^*}^j \in \xi_{in}^{p+1}$, $\alpha_{k^*}^j \in L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $\xi_{in}^{p+1} \in \Pi_{p+1}^j$, где k^* – номер АЭ на пути L_j такой, что $\alpha_{k^*-1}^j \in \xi_{out}^p$, $\xi_{out}^p \in \Pi_p^j$, после чего целесообразно зафиксировать множества номеров η_{in}^{fix} , η_{out}^{fix} АЭ, составляющих ξ_{in}^{p+1} и ξ_{out}^{p+1} , как показано на рисунке 3.12.

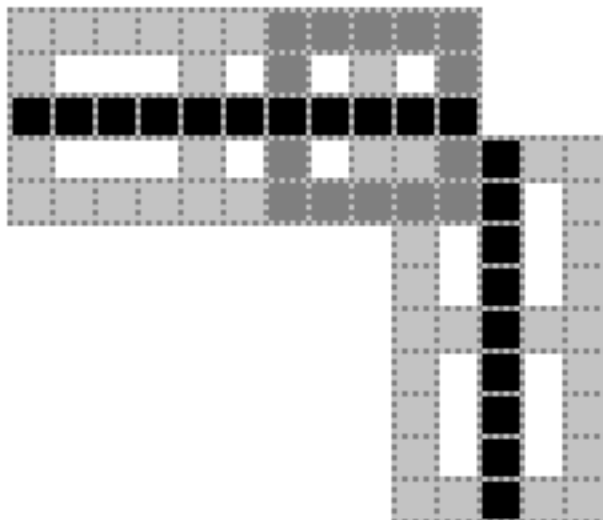


Рисунок 3.12 – Фрагмент покрытия пути, сформированный с учетом дополнительных правил расположения элементов покрытия

Поскольку описанный способ покрытия пути с применением ЭП позволяет избежать неточностей, возникающих при определении изменений ЛГН на пути, применение данного подхода является целесообразным при формировании моделей знаков бинарных РЦИ.

Описанный способ построения покрытия D -знаков с применением ЭП [254] позволяет выявлять фрагменты путей GT-объектов, характеризуемые сохранением ЛГН на дискретном множестве АЭ. Однако, поскольку целью осуществляемого покрытия пути является формирование модели D -знака и ее последующий анализ и именованье исходного знака открытого алфавита, необходимо определить правила генерации искомой модели.

Так как, согласно проведенным в пп. 2.1, 2.2, а также в [254] рассуждениям, автоматическому или автоматизированному анализу подлежит GT-объект как образ бинарного РЦИ знака на множестве атомарных элементов [190], представляющий собой связное множество путей $\{L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)\}$, $j = \overline{1, n'}$, $n' \in N$, не ограничивая общности проводимых рассуждений, с целью обеспечения вариативности при выявлении фрагментов D -знаков, характеризующихся сохранением ЛГН, будем полагать, что минимальный размер сегмента ЭП [255]

сохранения ЛГН. Пример фрагмента пути, характеризующегося сохранением ЛГН, приведен на рисунке 3.14.

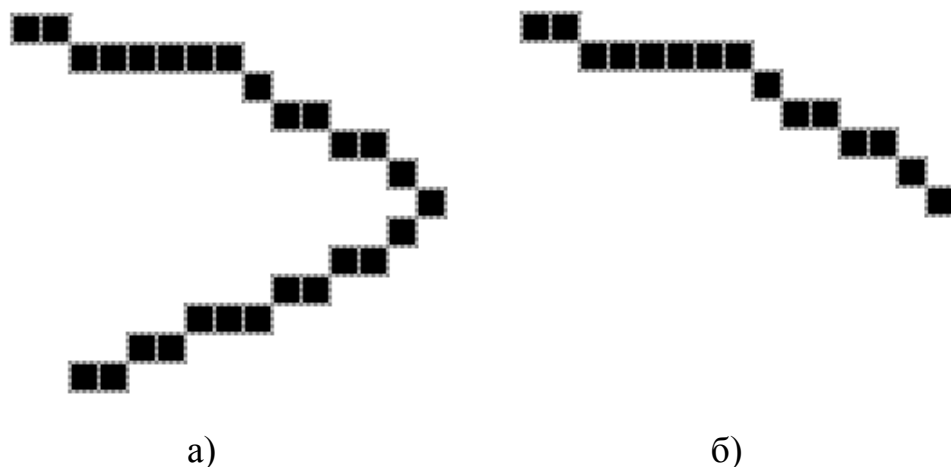


Рисунок 3.14 – Путь (а) и его фрагмент, характеризующийся сохранением ЛГН (б) в терминах множества АЭ

Из определения 3.11 и обозначенных в данной работе правил размещения ЭП на пути следует, что любой путь $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $j \in N$, может быть представлен в виде совокупности его фрагментов, каждый из которых характеризуется сохранением ЛГН, т.е. $\forall L_j = \bigcup_{m=1}^n L_j^m$, $L_j^m : \forall \Pi_q \in L_j^m$, $n_{in}^q \in \eta_{in}^{fix}$, $n_{out}^q \in \eta_{out}^{fix}$, $\forall \alpha_{s_{in}} \in \xi_{in}^1$, $s_{in} \in \eta_{in}^{fix}$, $\forall \alpha_{s_{out}} \in \xi_{out}^1$, $s_{out} \in \eta_{out}^{fix}$. Так как основной задачей при выявлении указанных фрагментов является абстрагирование от изменений локальных направлений движения [255], и, принимая во внимание тот факт, что фрагменты, выявленные при помощи покрытия пути ЭП, могут содержать таковые изменения, с целью формирования модели образа бинарного РЦИ знака открытого алфавита и ее последующего именования, искомые фрагменты целесообразно моделировать при помощи путей, которые не содержат локальных изменений направления движения, однако характеризуются сохранением ЛГН. Во всюду плотных множествах аналогом такого пути является отрезок прямой. Учитывая тот факт, что на множестве АЭ D -отрезок [238 (с. 6)] определен как аналог отрезка прямой, заданной в терминах всюду плотных множеств, он наследует некоторые его

свойства, в том числе метрические [246 (с. 18)]. В соответствии с этим, для проведения дальнейших рассуждений, докажем, что в рамках принятой терминологии D -отрезок характеризуется сохранением локального, локально-глобального и глобального направлений движения.

Теорема 3.1. Для любого D -отрезка $\overline{L}_k(\alpha_a^k, \alpha_b^k)$ верно, что для любых элементов покрытия $\Pi_p^k, \Pi_{p'}^k$, размещенных на нем, выполняются условия сохранения направления движения, т. е. $\forall \Pi_p^k, \Pi_{p'}^k : \Pi_p^k \Rightarrow \overline{L}_k, \Pi_{p'}^k \Rightarrow \overline{L}_k, n_{in}^p \in n_{in}^{fix}, n_{out}^p \in n_{out}^{fix}, n_{in}^{p'} \in n_{in}^{fix}, n_{out}^{p'} \in n_{out}^{fix}$, где $p, p' \in N$.

Доказательство: Пусть дан произвольный D -отрезок \overline{L}_k , для которого выполнено: $\lambda = \frac{|j_b - j_a|}{|i_b - i_a|}, |j_b - j_a| \neq 1, |i_b - i_a| \neq 1$ [238]. Не ограничивая общности проводимых рассуждений, предположим, что $|j_b - j_a| > |i_b - i_a|$, и сформируем покрытие данного D -отрезка как пути, используя ЭП с размером t и минимальным размером сегмента: $mes(\xi) = 3$.

Предположим, что условия сохранения направления движения не выполняются (в смысле определения 3.11). Для упрощения дальнейших рассуждений, не ограничивая их общности, учитывая правила расположения ЭП, предположим, что $n_{out}^2 \notin n_{out}^{fix}$ или $n_{in}^2 \notin n_{in}^{fix}$.

Воспользуемся формулой из определения D -отрезка [238 (с. 3)] для рассматриваемого случая:

$$i_h = \begin{cases} \arg \min_{\forall \alpha(i, j_h) \in D(\alpha_a, \alpha_b)} \left\{ \lambda - \frac{|j_b - j_h|}{|i_b - i|} \right\}, \text{если } |j_a - j_h| \leq |j_b - j_j|, \\ \arg \min_{\forall \alpha(i, j_h) \in D(\alpha_a, \alpha_b)} \left\{ \lambda - \frac{|j_a - j_h|}{|i_a - i|} \right\}, \text{если } |j_a - j_h| > |j_b - j_j|; \end{cases} \quad (3.1)$$

$$j_h = \min\{j_a, j_b\} + 1, \max\{j_a, j_b\} - 1.$$

Рассмотрим случай, когда $|j_a - j_h| \leq |j_b - j_j|$.

Подставив значение λ в формулу (3.1), получим:

$$i_h = \arg \min_{\forall \alpha(i, j_h) \in D(\alpha_a, \alpha_b)} \left\{ \left| \frac{j_b - j_a}{i_b - i_a} - \frac{j_a - j_h}{i_a - i} \right| \right\}.$$

Таким образом, выражение $\left| \frac{j_b - j_a}{i_b - i_a} - \frac{j_a - j_h}{i_a - i} \right|$ примет минимальное значение, если выполнено условие: $\frac{j_b - j_h}{i_b - i_h} = \frac{j_b - j_a}{i_b - i_a}$, следовательно, справедлива формула:

$$|i_b - i_h| = \frac{|j_b - j_h| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|}. \quad (3.2)$$

Учитывая, что путь – это упорядоченное множество связанных связей на дискретном множестве АЭ, перепишем формулу (3.2) в следующем виде:

$$|i_b - i_h| = \left[\frac{|j_b - j_h| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + o, \quad o \in \{-1, 0, 1\}. \quad (3.3)$$

Так как выбранный размер ЭП равен t , т.е. $\rho(\Pi_1^k) = t$ и $\rho(\Pi_2^k) = t$, рассмотрим АЭ, принадлежащие пересечению множества атомарных элементов D -отрезка (пути) \bar{L}_k и элементов покрытия Π_1^k и Π_2^k : α_a, α_{a+t-1} и $\alpha_{a+t-1}, \alpha_{a+2(t-1)}$ соответственно. Подставим индексы данных АЭ в формулу, (3.3), получим следующие соотношения:

$$|i_b - i_{a+t-1}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+t-1}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + o, \quad o \in \{-1, 0, 1\};$$

$$|i_b - i_{a+2(t-1)}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+2(t-1)}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + o, \quad o \in \{-1, 0, 1\}.$$

Учитывая определение D -отрезка и правила расположения ЭП на пути, сделаем вывод о том, что если $n_{out}^2 \notin n_{out}^{fix}$ или $n_{in}^2 \notin n_{in}^{fix}$, то выполняются соотношения:

$$|i_b - i_{a+t-1}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+t-1}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + o', \quad o' \in Z \setminus \{-1, 0, 1\},$$

$$|i_b - i_{a+2(t-1)}| = \left[\frac{|j_b - j_{a+2(t-1)}| |i_b - i_a|}{|j_b - j_a|} \right] + o', \quad o' \in Z \setminus \{-1, 0, 1\},$$

что противоречит формуле (3.2), следовательно, сделанное предположение неверно, из чего получаем вывод: локальное и глобальное направление движения сохраняется на любом фрагменте рассматриваемого D -отрезка $\overline{L_k}$.

Для случая, когда $|j_a - j_h| > |j_b - j_j|$, доказательство проводится аналогично.

Теорема доказана полностью.

Из доказанной теоремы, в частности, следует, что любой фрагмент пути GT-объекта, характеризуемый сохранением локально-глобального направления движения, возможно и целесообразно моделировать при помощи D -отрезка, поскольку он наследует ряд метрических свойств отрезка всюду плотных множеств. Учитывая это, определим понятие модели фрагмента D -знака, характеризующего сохранением ЛГН.

Определение 3.12. Моделью фрагмента L_k^j , характеризуемого сохранением ЛГН, называется D -отрезок $\overline{L_{mdl}^k}$, начальный и конечный АЭ которого совпадает с начальным и конечным АЭ фрагмента L_k^j .

Пример такой модели представлен на рисунке 3.15.



Рисунок 3.15 – Фрагмент пути, характеризующийся сохранением ЛГН (выделен серым), и его модель (выделена черным)

В связи с тем, что, как говорилось ранее, автоматическому или автоматизированному моделированию подлежит GT-объект как связанное множество путей, необходимо моделировать не только выявленные фрагменты путей, но и D -знак в целом, включая все составляющие его структурные элементы.

На основании изложенных положений и проведенных рассуждений, перейдем к рассмотрению метода формирования моделей пути и знака, заданного в терминах дискретного множества атомарных элементов.

3.4 Метод автоматического формирования моделей образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов

В связи с тем, что, как показано в п. 3.2, любой путь GT-объекта можно представить в виде совокупности фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, полученных при использовании ЭП с одинаковыми характеристиками, введем определение модели пути. Это позволит в дальнейшем перейти к определению модели GT-объекта как совокупности указанных моделей.

Определение 3.13. *Моделью пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$ называется множество $\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)$ моделей всех его фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, выявленных при использовании ЭП с одинаковым размером и одинаковым*

размером секторов, т.е. $\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j) = \{\overline{L_{mdl}^k}\}, \forall \overline{L_{mdl}^k}, \overline{L_{mdl}^{k'}} \in \Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j): \rho(\Pi_p^k) = \rho(\Pi_p^{k'})$ и $mes(\xi_p^k) = mes(\xi_p^{k'})$, где $\Pi_p^k \Rightarrow \overline{L_{mdl}^k}, \Pi_p^{k'} \Rightarrow \overline{L_{mdl}^{k'}}$, $\Lambda(\overline{L_{mdl}^k}) \subset \Lambda(L_j), \Lambda(\overline{L_{mdl}^{k'}}) \subset \Lambda(L_j), \forall k \neq k', k \in \{1, 2, \dots, n\}, k' \in \{1, 2, \dots, n\}$.

Таким образом, изменяя размер элемента покрытия и его сегмента, можно как детализировать, так и делать более абстрагированной с точки зрения учета изменения направлений, результирующую модель пути на основании выявляемых в процессе покрытия и анализа ЛГН движения. Пример такой модели проиллюстрирован на рисунке 3.16.

В связи с тем, что, как указано в пп. 2.1, 2.2, 2.5, 3.1, 3.2, автоматическому или автоматизированному анализу подлежит образ бинарного РЦИ знака открытого алфавита на множестве АЭ, представляющий собой связное множество путей GT-объекта, для того, чтобы сгенерировать модель GT-объекта в целом, необходимо сформировать модели каждого из составляющих его путей. На основании проведенных рассуждений, введем определение модели D-знака, являющегося объектом исследования данной работы.



Рисунок 3.16 – Путь (а) и его модель (б), сформированная с учетом изменения ЛГН движения

Определение 3.14. *Моделью D-знака* называется множество моделей всех составляющих его путей, заданное формулой:

$$M = \{\Psi_{(\xi_1, \Pi_1)}(L_1), \Psi_{(\xi_1, \Pi_2)}(L_1), \dots, \Psi_{(\xi_q, \Pi_p)}(L_1), \Psi_{(\xi_1, \Pi_1)}(L_2), \dots, \Psi_{(\xi_q, \Pi_p)}(L_j)\}, \quad (3.4)$$

где $j \in \{1, \dots, n'\}$, $n' \in N$, $p, q \in N$.

Однако определить характеристики ЭП, при которых результирующая модель пути полностью соответствует своему концепту [201 (с. 2)], зачастую весьма затруднительно, а иногда и вовсе невозможно. В связи с этим, задача однозначного формирования и выбора единственной модели D -знака, с точки зрения последующего анализа и именования, трудно формализуема и однозначного решения не имеет.

Таким образом, с целью решения указанной проблемы целесообразно формировать множество различных моделей знака, полученных при помощи покрытия путей с разнообразными числовыми характеристиками ЭП и их секторов. Таким образом, результатом покрытия GT-объекта знака растрового цифрового изображения, а также его последующего моделирования, должно являться множество моделей данного D -знака, т.е. $\bar{M} = \{M_1, M_2, \dots, M_{n^*}\}$, $n^* \in N$. Причем, каждая из моделей M_s , $s \in \{1, \dots, n^*\}$, $n^* \in N$, составляющих данное множество, представляет собой уникальный набор моделей путей, сформированных при использовании ЭП с разными характеристиками, т.е. $M_s \setminus M_{s'} \neq \emptyset$, $\forall s \neq s'$, $s, s' \in \{1, \dots, n^*\}$, $n^* \in N$.

Указанный подход позволяет решить проблему невозможности однозначного выбора количественных характеристик ЭП и обеспечить возможность нахождения модели анализируемого D -знака, наиболее точно, согласно гипотезе о способе формирования изображений знаков открытых алфавитов, соответствующей своему концепту.

При проведении последующих рассуждений будем постулировать, что вследствие покрытия произвольного пути $L_j(\alpha_a^j, \alpha_b^j)$, $j \in \{1, \dots, n'\}$, $n' \in N$,

являющегося структурной составляющей GT-объекта как образа бинарного РЦИ знака, формируется модель фрагмента \tilde{L}_k^j , $j \in \{1, \dots, n\}$, $k \in N$, характеризуемого сохранением ЛГН, в виде D -отрезка $\overline{L_{mdl}^k}$, начальный и конечный АЭ которого совпадают с начальным и конечным АЭ фрагмента \tilde{L}_k^j [256].

Заметим, что, как указано в пп. 2.1, 2.2, 2.5, 3.1, 3.2, автоматическому или автоматизированному моделированию подлежит GT-объект как связное множество путей, необходимо моделировать не только выявленные фрагменты путей, но и D -знак в целом, включая все составляющие его пути. Таким образом, будем полагать, что модель $\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)$ пути сформирована согласно определению 3.13 как множество моделей всех его фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, выявленных при использовании ЭП с фиксированным размером и одинаковым размером всех секторов выбранных элементов покрытия [256 (с. 6)]. При этом, также в соответствии с определением 3.14, сгенерирована модель GT-объекта в целом как множество \overline{M} моделей всех составляющих его путей согласно формуле (3.3).

Вследствие того, что как отмечено ранее, определить характеристики ЭП, позволяющие сгенерировать единственную модель D -знака для дальнейшего анализа и именования, весьма затруднительно, а иногда и вовсе невозможно [256 (с. 4)], предложено формировать множество всевозможных моделей GT-объекта знака, полученных при помощи покрытия путей ЭП с различными характеристиками. В связи с этим, результатом покрытия и моделирования знака изображения является множество моделей исходного знака $\overline{M} = \{M_1, M_2, \dots, M_{n^*}\}$, $n^* \in N$ [257], полученных при использовании ЭП с различными допустимыми характеристиками, определенными в п. 3.2.

Однако, при формировании множества моделей их образы могут оказаться идентичны. Пример образов указанных моделей приведен на рисунке 3.17.

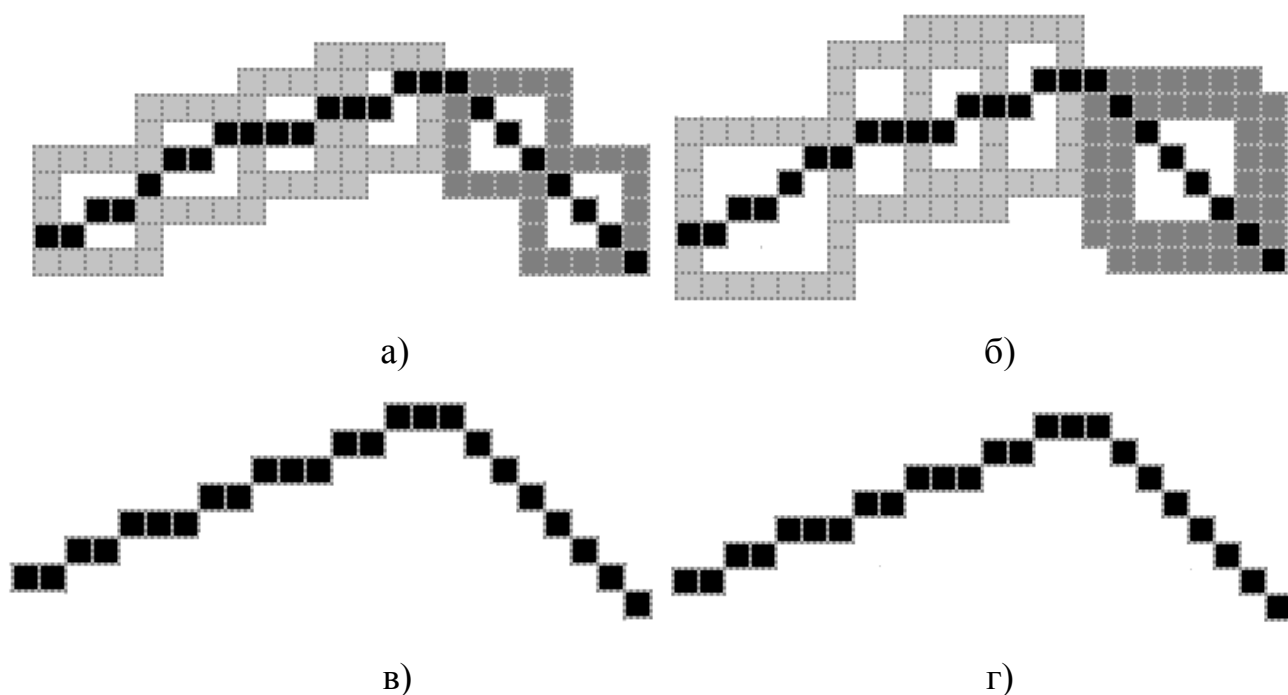


Рисунок 3.17 – Путь, покрытый ЭП размера: 5, размер сектора: 3 (а) и его модель (б); путь, покрытый ЭП размера: 7, размер сектора: 3 (в) и его модель (г)

Следовательно, рассмотрение всех моделей, образы которых являются идентичными, избыточно с точки зрения дальнейшего моделирования и анализа.

В таких случаях, с целью упрощения процессов анализа и опознавания, актуальной становится задача уменьшения мощности результирующего множества моделей \overline{M} посредством выявления и исключения из рассмотрения моделей, имеющих идентичные образы. Однако, для решения указанной проблемы следует определить правила сравнения моделей образов бинарных РЦИ знаков.

Таким образом, объектом исследования в задаче моделирования и именования GT-объектов являются указанные модели знаков, что объективно обуславливает необходимость разработки критерия их сравнения.

Заметим, что одним из основных критериев подобия фигур в планиметрии является равенство соответственных углов и пропорциональность структурных элементов данных фигур [158 (с. 16), 159 (с. 8)], установленные в терминах всюду плотных множеств. На этом основании, учитывая, что D -отрезок представляет дискретный аналог отрезка прямой, заданной во всюду плотном множестве, а также является основным и единственным структурным элементом модели GT-объекта

[257 (с. 3)], с целью определения подобия указанных объектов возникает необходимость формулировки описанных выше критериев в терминах свойств множества АЭ.

Исходя из сказанного, задача определения критерия подобия моделей состоит из двух частей: определение взаимного расположения моделей фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН, и определение пропорциональности данных фрагментов на основании введенных в п. 2.5 объектов и понятий.

Решение первой части указанной задачи основано на использовании введенных в п. 2.3 понятиях Т-, V- и X-путей и определенных в том же подразделе правилах установления Т-, V- и X-атрибутов указанных путей, а также учитываются такие характеристики выявленных фрагментов путей GT-объекта, как их выпуклость вверх, вниз, влево и вправо, определенные в п. 2.2 настоящей работы. То есть для каждой из пар фрагментов GT-объекта, характеризуемого сохранением ЛГН, и их моделей как D -отрезков определяются перечисленные параметры, для качественного учета значений которых используется аппарат задания и расчета подпутей КП, описанный в [198 (с. 4)] и п. 2.5. В результате генерируется структурное представление модели анализируемого GT-объекта, в котором учтены искомые параметры взаимного расположения моделей выявленных фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН.

С учетом того, что в п. 2.4 введено понятие u -меры для кратчайших путей на множестве атомарных элементов, предложенный дискретный аналог градусной меры, заданной в терминах всюду плотных множеств, его использование как составляющего элемента искомого подхода к определению пропорциональности выявленных фрагментов GT-объекта, характеризуемых сохранением ЛГН, позволит учитывать не только взаимное расположение элементарных составляющих модели – D -отрезков, но также и прочие важные метрические характеристики.

Учитывая, что образы моделей путей, полученные при использовании ЭП с различными параметрами, могут быть одинаковы, не ограничивая общности

проводимых рассуждений, с целью уменьшения мощности множества моделей, определим правила выявления подобных моделей путей и GT-объектов.

3.5 Подобие моделей путей и D -знаков. Сходство моделей GT-объектов как образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов. П-валидная модель D -знака

Как следует из п. 3.4, в связи с тем, что общность характеристик составляющих структурных элементов GT-объектов, то есть путей, не обеспечивает в общем случае совпадение их моделей в целом, при сравнении моделей указанных D -знаков необходимо учитывать не только пропорциональность составляющих их путей в смысле введенных в п. 2.5 понятий, но и структурные особенности сравниваемых знаков, в частности, пересечения соответствующих путей, их ориентация (вверх, низ, влево и вправо согласно п. 2.2), формирования T-, V- и X-пути и образования ими T-, V- и X-атрибутов (см. п. 2.3), а также значения кортежей $\Gamma^v(\overline{L}_{mdl}^k)$, рассчитанные для каждой из элементарных составляющих модели согласно п. 2.4.

Учитывая, что моделью фрагмента пути, характеризующегося сохранением ЛГН, является D -отрезок, принадлежащий множеству кратчайших путей, т.е. $\overline{L}(a_a, a_b) \in \mathfrak{F}_2(a_a, a_b)$ [249], то, согласно [225 (с. 4)] и п. 2.5, данный путь может быть представлен в виде множества $H_v(ms)$ связанных подпутей [198 (с. 3)] пути $\overline{L}(a_a, a_b) \in \mathfrak{F}_2(a_a, a_b)$, где $ms = mes(\Lambda(\overline{L}(a_a, a_b)))$, v – уровень подпутей.

В связи с этим, для обеспечения вариативности при учете пересечений моделей путей и подпутей [190 (с. 2), 198 (с. 4)], не ограничивая общности проводимых рассуждений, введем определение сектора пересечения двух моделей фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН:

Определение 3.15. Сектором пересечения $\chi_v(\overline{L_m^j}, \overline{L_{m'}^{j'}})$ модели фрагмента пути $\overline{L_{mdl}^m}$ с моделью фрагмента $\overline{L_{mdl}^{m'}}$, называется его подпуть $\overline{L_{m'}^j}$ уровня v такой, что $\Lambda(\overline{L_{m'}^j}) \cap \Lambda(\overline{L_{m'}^{j'}}) \neq \emptyset$, где $\Lambda(\overline{L_{m'}^j}) \subset \Lambda(\overline{L_{mdl}^m})$, $\Lambda(\overline{L_{m'}^{j'}}) \subset \Lambda(\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)})$, $\Lambda(\overline{L_{m'}^{j'}}) \subset \Lambda(\overline{L_{mdl}^{m'}})$, $\Lambda(\overline{L_{mdl}^{m'}}) \subset \Lambda(\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_{j'})})$, $m, m', t, t', v, j, j' \in N$, $\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)}$, $\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_{j'})}$ – модели путей L_j и $L_{j'}$, соответственно.

На основании того, что учет взаимного расположения структурных элементов сравниваемых образов ГТ-объектов знаков является одной из частей критерия подобия моделей и, учитывая введенное ранее в п. 2.4 определение кортежа $\Gamma'(L(\alpha_a, \alpha_b))$ (см. выр. (2.18)), являющегося D -угловой характеристикой D -отрезка $L(\alpha_a, \alpha_b)$, сформулируем критерий сравнения моделей фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН, в терминах свойств дискретного множества АЭ.

Не ограничивая общности дальнейших рассуждений, с целью упрощения записи, при сравнении нескольких моделей фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН, т.е. D -отрезков, будем полагать, что размер u -объекта M -го уровня (см. п.2.4) определяется относительно D -отрезка с минимальным значением меры μ_2 на дискретном множестве атомарных элементов, относительно других фрагментов, участвующих в сравнении.

Учитывая сказанное, введем определение подобных моделей фрагментов путей, характеризуемых сохранением ЛГН.

Определение 3.16. Модели $\overline{L_{mdl}^m}$, $\overline{L_{mdl}^{m'}}$ фрагментов путей подобны, если кортежи $\Gamma'(\overline{L_{mdl}^m})$, $\Gamma'(\overline{L_{mdl}^{m'}})$ данных фрагментов, определенные относительно максимального u -объекта M -го уровня, равны между собой, и сектора их пересечений совпадают на всех уровнях, т.е. модели $\overline{L_{mdl}^m}$ и $\overline{L_{mdl}^{m'}}$ подобны, если выполнено: $\Gamma'(\overline{L_{mdl}^m}) = \Gamma'(\overline{L_{mdl}^{m'}})$, а также $\forall \overline{L_{mdl}^{m_1}}, \overline{L_{mdl}^{m_2}} : \Lambda(\overline{L_{mdl}^m}) \cap \Lambda(\overline{L_{mdl}^{m_1}}) \neq \emptyset$, $(\overline{L_{mdl}^{m_2}}) \cap \Lambda(\overline{L_{mdl}^{m_1}}) \neq \emptyset$, $m_1 = m_2$, справедливо: $\chi_v(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m_1}}) = \chi_v(\overline{L_{mdl}^{m_1}}, \overline{L_{mdl}^{m_2}})$.

Для упрощения записи при проведении дальнейших рассуждений, подобие двух моделей $\overline{L_{mdl}^m}$ и $\overline{L_{mdl}^{m'}}$, будем обозначать как $\overline{L_{mdl}^m} \sim \overline{L_{mdl}^{m'}}$.

На основании введенных понятий и обозначений определим подобные модели путей с тем, чтобы перейти к разрешению вопроса о подобии моделей D-знаков.

Определение 3.17. *Модели $\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)}$, $\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_{j'})}$ путей подобны, если они состоят из одинакового количества моделей фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, и все составляющие их фрагменты подобны, т.е. $\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)} \sim \overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_{j'})}$, если $mes(\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)}) = mes(\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_{j'})})$ и выполнено: $\forall \overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}} : \overline{L_{mdl}^m} \in \overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_j)}, \overline{L_{mdl}^{m'}} \in \overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}(L_{j'})}, m = m', \overline{L_{mdl}^m} \sim \overline{L_{mdl}^{m'}}$.*

Таким образом, учитывая, что модель D-знака определена как множество путей, введем в рассмотрение понятие подобных моделей GT-объектов, или D-знаков, что позволит качественно осуществлять анализ множества моделей с целью последующего именованья образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов.

Определение 3.18. *Модели M_1, M_2 D-знаков подобны, если они содержат одинаковое количество моделей путей и все соответственные модели путей подобны, т.е. $M_1 \sim M_2$, если $mes(M_1) = mes(M_2)$ и $\forall \overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}^1(L_j)} \sim \overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}^2(L_j)}$, $\overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}^1(L_j)} \in M_1, \overline{\Psi_{(\xi, \Pi)}^2(L_j)} \in M_2$.*

В связи с тем, что основной целью формирования результирующего множества моделей исходного изображения знака является их анализ и опознавание, следует учесть, что указанное множество моделей не всегда содержит в себе модель, подобную репрезентативной для данного множества. В таких случаях целесообразно рассматривать модели, максимально схожие с ней. Следовательно, актуальной является задача разработки способа сравнения моделей и определения их сходства, решение которой представлено в следующем подразделе. Как отмечено ранее, поскольку сравниваемые модели GT-объектов могут не являться подобными в смысле определения 3.18, необходимо определить критерии их сходства относительно описанных характеристик.

Учитывая определение 3.17 подобия моделей путей и понятие u -меры для D -отрезков и кратчайших путей, введенное в п. 2.4, с целью оценки взаимного расположения фрагментов путей, характеризующихся сохранением ЛГН, введем понятие коэффициента расположения, что позволит в дальнейшем обосновать определение сходства моделей ГТ-объектов.

Определение 3.19. Коэффициентом расположения фрагментов $\overline{L_{mdl}^m}$ и $\overline{L_{mdl}^{m'}}$ путей, характеризующихся сохранением ЛГН, называется величина, заданная формулой:

$$\varphi(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \mu_3^{L_1} - \mu_3^{L_2}, \quad (3.5)$$

где $\mu_3^{L_1} - \mu_3^{L_2}$ – элемент кортежа $\Gamma(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}})$, рассчитанный по формуле (2.17) при значении величины $M = \min \{mes(\Lambda(\overline{L_{mdl}^m})), mes(\Lambda(\overline{L_{mdl}^{m'}}))\}$, когда $L_1 = \overline{L_{mdl}^m}$, $L_2 = \overline{L_{mdl}^{m'}}$.

С целью определения схожести двух моделей фрагментов, характеризующихся сохранением ЛГН, введем понятие коэффициента пропорциональной близости на основании представленных в п. 2.5 теоретических положений.

Определение 3.20. Коэффициентом пропорциональной близости $\zeta(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}})$ фрагментов $\overline{L_{mdl}^m}$ и $\overline{L_{mdl}^{m'}}$, называется величина, равная максимальному уровню подпутей, при котором все сектора пересечения сравниваемых моделей фрагментов совпадают, т.е. $\zeta(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \nu$, $\forall \chi_\nu(\overline{L_{m_i}^{i_j}}, \overline{L_{m_i^*}^{i_{j^*}}}) = \chi_\nu(\overline{L_{m_i}^{i_j}}, \overline{L_{m_i^*}^{i_{j^*}}})$, $\overline{L_{m_i}^{i_j}} \subset \overline{L_{mdl}^m}$, $\overline{L_{m_i}^{i_j}} \subset \overline{L_{mdl}^{m'}}$, причем $\forall \nu' > \nu$, $\exists \chi_{\nu'}(\overline{L_{m_i}^{i_j}}, \overline{L_{m_i^*}^{i_{j^*}}}) \neq \chi_{\nu'}(\overline{L_{m_i}^{i_j}}, \overline{L_{m_i^*}^{i_{j^*}}})$, где $\overline{L_{m_i}^{i_j}}$, $\overline{L_{m_i}^{i_{j^*}}}$ – подпути моделей фрагментов произвольных путей L_j^i и $L_j^{i'}$ соответственно, пересекающиеся с данными.

В связи с тем, что пути, характеризующиеся максимальными метрическими характеристиками, в частности, наибольшим значением меры μ_2 , влияют, согласно определению 3.8, на значение максимального размера ЭП на пути и, как следствие, на ГТ-объекте в целом, с целью учета указанных характеристик при сравнении

знаков, определим понятия весового коэффициента расположения и весового коэффициента пропорциональной близости.

Определение 3.21. *Весовым коэффициентом расположения* двух моделей фрагментов путей $\overline{L_{mdl}^m}$ и $\overline{L_{mdl}^{m'}}$, характеризующихся сохранением ЛГН, называется величина $\varphi^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}})$, равная сумме вычисленного согласно формуле (3.5) из определения 3.19 коэффициента расположения фрагмента $\overline{L_{mdl}^m}$ по отношению к $\overline{L_{mdl}^{m'}}$, и мощности множества АЭ пути, содержащего фрагмент $\overline{L_{mdl}^m}$, т.е. вычисленная по формуле:

$$\varphi^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \varphi(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) + mes(\Lambda(L_j)), \quad (3.6)$$

где $\Lambda(\overline{L_{mdl}^m}) \subset \Lambda(L_j)$, $\Lambda(\overline{L_{mdl}^{m'}}) \subset \Lambda(L_{j'})$.

Далее, в соответствии с проведенными выше рассуждениями, определим понятие весового коэффициента пропорциональной близости моделей фрагментов GT-объекта, характеризующихся сохранением ЛГН.

Определение 3.22. *Весовым коэффициентом пропорциональной близости* $\zeta^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}})$ моделей фрагментов $\overline{L_{mdl}^m}$ и $\overline{L_{mdl}^{m'}}$ называется величина, равная сумме коэффициента пропорциональной близости модели фрагмента $\overline{L_{mdl}^m}$ по отношению к фрагменту $\overline{L_{mdl}^{m'}}$, и мощности множества АЭ пути, содержащего фрагмент $\overline{L_{mdl}^m}$, т.е. найденная по формуле:

$$\zeta^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \zeta(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) + mes(\Lambda(L_j)), \quad (3.7)$$

где $\Lambda(\overline{L_{mdl}^m}) \subset \Lambda(L_j)$, $\Lambda(\overline{L_{mdl}^{m'}}) \subset \Lambda(L_{j'})$.

Для проведения дальнейших рассуждений введем определение П-репрезентативной модели с целью осуществления последующего сравнения моделей из результирующего множества \overline{M} . Для этого вернемся к рассмотренной

в п. 3.1 гипотезе о способе формирования изображений [226-228], которая предполагает, что каждому поступающему концепту K_i , ($i=1,2,3,\dots$), именуемому как O_i , подлежащему генерации и регистрации, взаимно однозначно сопоставимо множество моделей $M_i = \{M_1^i, M_2^i, \dots\}$. Причем, процессу регистрации изображения предшествует процесс его генерации, который в регистрирующем устройстве [202 (с. 3)] реализует устройство управления. Устройство управления, в соответствии с моделью M_j^i , генерирует упорядоченное множество траекторий движения устройства фиксации следа в виде кривых, каждая из которых взаимно однозначно соответствует некоторой кривой исходной модели. Исходя из этого, введем в рассмотрение понятие П-репрезентативной модели.

Определение 3.23. *П-репрезентативной моделью* называется модель M^{st} знака, отождествляемая с концептом исходного изображения и сформированная посредством применения излагаемого метода с использованием элементов покрытия размера $[\delta_{\max} / 2]$, где δ_{\max} – максимальный размер ЭП согласно определения 3.8, размер сектора ЭП при этом равен $[\delta_{\max} / 4]$.

Заметим, что П-репрезентативной модели M^{st} может быть присвоено определенное лингвистическое описание, представляющее собой имя данной модели и (или) исходного изображения, сгенерированного в соответствии с рассмотренной гипотезой о его формировании [202 (с. 2)].

Как следствие, при сравнении моделей знака с П-репрезентативной моделью M^{st} , каждая модель $M_i \in \bar{M}$, $i \in \{1, 2, \dots, n^*\}$, $n^* \in N$, полученная вследствие покрытия D-знака ЭП, описывается множеством пар вида $(\zeta_m^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{st}}), \varphi_m^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{st}}))$, где $\overline{L_{mdl}^m}$, $\overline{L_{mdl}^{st}}$ – модели фрагментов знаков, характеризующихся сохранением ЛГН, принадлежащие моделям M_i и M^{st} соответственно, \bar{M} – множество моделей D-знака, полученных посредством покрытия ЭП.

Исходя из того, что каждая модель из результирующего множества \bar{M} обладает своими качественными и количественными абсолютными и

относительными характеристиками, целесообразно определить правила сравнения указанных характеристик моделей для автоматического выбора той из них, отличия которой от репрезентативной наименьшие. Такую модель, по аналогии с работами [195 (с. 1), 197 (с. 1)], назовем П-валидной.

Таким образом, с целью сравнения двух моделей M_i и $M_{i'}$, $i, i' \in N$ D-знаков, введем определение сравнительного коэффициента расположения моделей [257 (с. 5)].

Определение 3.24. *Сравнительным коэффициентом расположения модели M_i относительно модели $M_{i'}$ D-знака называется пара величин $(\bar{\varphi}(M_i, M_{i'}), \bar{\zeta}(M_i, M_{i'}))$, элементы которой вычисляются по формуле:*

$$(\bar{\varphi}(M_i, M_{i'}), \bar{\zeta}(M_i, M_{i'})) = \left(\sum_{m=1}^t \Delta_1 \varphi_m^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}), \sum_{m=1}^t \Delta_2 \zeta_m^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) \right), \quad (3.8)$$

где $t = mes(M_i) * \sum_{j=1}^{t_1} \sum_{p=1}^{t_2} \sum_{q=1}^{t_3} mes(\Psi_{(\xi_{pj}, \Pi_{qj})}(L_j))$,

$$t_1 = mes(M_i) / (p * q), \quad t_2 = mes(M_i) / q, \quad t_3 = mes(M_i) / p, \quad j \in \{1, \dots, n'\}, \quad n' \in N, \\ i, i', p, q \in N,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_1 = 1, \text{ если } \varphi_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) < \varphi_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}); \\ \Delta_1 = 1, \text{ если } \varphi_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \varphi_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) \text{ и } \zeta_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) > \zeta_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}); \\ \Delta_1 = 0, \text{ если } \varphi_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) > \varphi_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}); \\ \Delta_1 = 0, \text{ если } \varphi_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \varphi_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) \text{ и } \zeta_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) \leq \zeta_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}), \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_2 = 1, \text{ если } \zeta_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) > \zeta_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}); \\ \Delta_2 = 1, \text{ если } \zeta_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \zeta_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) \text{ и } \varphi_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) < \varphi_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}); \\ \Delta_2 = 0, \text{ если } \zeta_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) < \zeta_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}); \\ \Delta_2 = 0, \text{ если } \zeta_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) = \zeta_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) \text{ и } \varphi_{m_{M_i}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}) \geq \varphi_{m_{M_{i'}}}^*(\overline{L_{mdl}^m}, \overline{L_{mdl}^{m'}}). \end{array} \right.$$

Как следствие, результатом сравнения каждой из моделей с остальными является множество ее сравнительных коэффициентов. В соответствии с этим, с целью получения единой характеристики каждой фиксированной модели D-знака изображения по отношению к остальным, введем понятие суммарного сравнительного коэффициента [257 (с. 4)].

Определение 3.25. Суммарным сравнительным коэффициентом модели M_i называется пара величин $(\overline{\varphi^*}(M_i), \overline{\zeta^*}(M_i))$, равных соответствующим суммам сравнительных коэффициентов модели M_i относительно всех результирующих моделей D-знака, значение которых рассчитывается согласно формуле:

$$(\overline{\varphi^*}(M_i), \overline{\zeta^*}(M_i)) = \sum_{i'=1}^{mes(\overline{M})} (\overline{\varphi}(M_i, M_{i'}), \overline{\zeta}(M_i, M_{i'})), \quad i' \neq i. \quad (3.9)$$

Таким образом, суммарный сравнительный коэффициент является главной характеристикой модели, позволяющей определить степень сходства данной модели с П-репрезентативной, относительно остальных моделей. На основании этого определим понятие П-валидной модели D-знака.

Определение 3.26. Модель M^* называется П-валидной, если $\forall M_{i'} \in \overline{M}$ выполнено соотношение из следующей формулы:

$$1 - \frac{\overline{\varphi^*}(M^*)}{\overline{\zeta^*}(M^*)} \leq 1 - \frac{\overline{\varphi^*}(M_{i'})}{\overline{\zeta^*}(M_{i'})} \quad \text{и} \quad \overline{\varphi_{\max}} - \overline{\varphi^*}(M^*) \leq \overline{\varphi_{\max}} - \overline{\varphi^*}(M_{i'}), \quad (3.10)$$

где $i' \in \{1, \dots, mes(\overline{M})\}$, $\overline{\varphi_{\max}}(M_{\max}) : \overline{\varphi_{\max}}(M_{\max}) \geq \overline{\varphi^*}(M_{i'})$,

$(\overline{\varphi_{\max}}(M_{\max}), \overline{\zeta^*}(M_{\max}))$ – суммарный сравнительный коэффициент модели M_{\max} ,

$(\overline{\varphi^*}(M^*), \overline{\zeta^*}(M^*))$, $(\overline{\varphi^*}(M_{i'}), \overline{\zeta^*}(M_{i'}))$ – суммарные сравнительные коэффициенты моделей M^* и $M_{i'}$ соответственно.

Исходя из этого, не ограничивая общности проводимых рассуждений, будем считать, что модель M^* наиболее сходна с Π -репрезентативной. Как следствие, имя анализируемого D -знака отождествляется с именем Π -репрезентативной или Π -валидной модели.

Пример модели, имеющей наибольшее сходство с Π -репрезентативной, приведен на рисунке 3.18. Таким образом, изложенный метод позволяет автоматически сформировать и определить на множестве моделей, результирующих покрытие путей GT -объекта, Π -валидную, после чего она может быть отождествлена с именем репрезентативной модели.

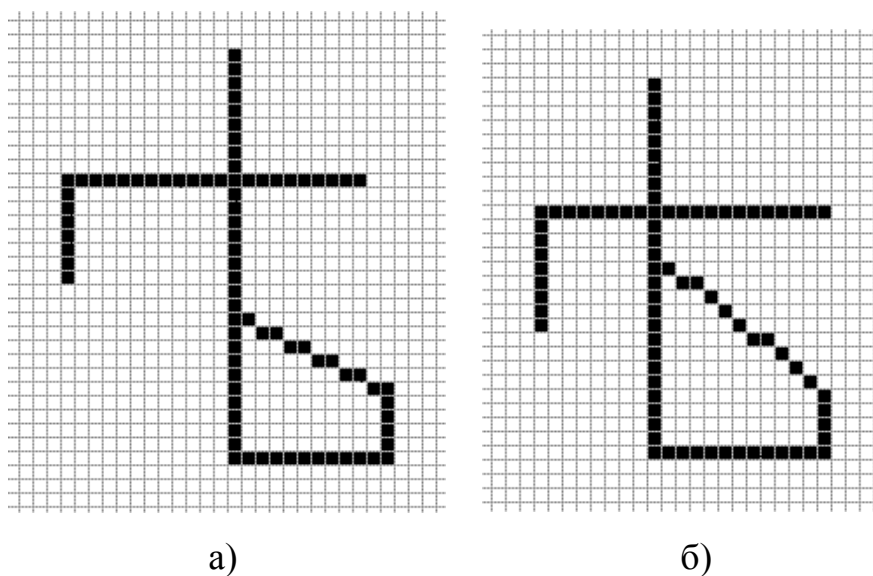


Рисунок 3.18 – Пример Π -репрезентативной модели (а) и модели, имеющей с ней наибольшее сходство (б)

Отсутствие каких-либо задаваемых параметров метода, его безотносительность к предметной области обрабатываемых образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов, а также независимость от применения математических категорий всюду плотных множеств, использования статистических и априорно заданных признаков, введения мер близости, пороговых величин, позволяет перейти к разработке информационной технологии автоматического

моделирования и распознавания цифровых бинарных изображений в системах с открытым алфавитом, основанной на предложенном в данном разделе методе.

3.6 Выводы по разделу 3

1. В разделе обоснован метод бесконстантного автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов с целью их последующего распознавания и именования на основе введенных в Разделе 2 основных теоретических положений. Метод основан на гипотезе о способе формирования исходного изображения вследствие осуществления совокупности движений, характеризуемых локально-глобальными направлениями. Автоматическая генерация моделей осуществляется вследствие размещения на GT-объекте элементов покрытия и установлением их качественных относительных характеристик.

2. Изложены определения элемента покрытия GT-объекта, его структурных составляющих их характеристик. В форме теоремы обосновано использование D-отрезка как единой структурной единицы генерируемой модели D-знаков.

3. Описаны принципы формирования покрытия образов РЦИ, приведены основные определения для формализации разработанного метода на множестве атомарных элементов, указаны правила покрытия GT-объектов и способы фиксации фрагментов путей, характеризуемых сохранением локально-глобального направления движения.

4. Предложены способы определения сходства формируемых моделей GT-объектов, введены: коэффициент расположения,

коэффициент пропорциональной близости и весовой коэффициент расположения фрагментов путей, характеризующихся сохранением ЛГН.

5. Определены весовой коэффициент пропорциональной близости и сравнительный коэффициент расположения моделей, суммарный сравнительный коэффициент модели.

6. Введены понятия репрезентативной и П-валидной моделей, проиллюстрирована возможность применения метода для автоматического именования прообразов анализируемых D-знаков.

7. Обоснована целесообразность использования разработанного метода как составляющей структурной части информационной технологии автоматического моделирования и распознавания растровых цифровых бинарных изображений в системах с открытым алфавитом.

РАЗДЕЛ 4

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ,
МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ РАСТРОВЫХ ЦИФРОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ОТКРЫТЫХ АЛФАВИТОВ

Исходя из поставленной в п. 1.5 задачи диссертационной работы, вследствие разработки представленных в разделе 2 основных теоретических положений и изложенного в разделе 3 метода автоматического моделирования образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов для документов ЭИР актуальным является формирование комплекса информационных технологий, использование которого позволит повысить качество и эффективность функционирования СЭД, предполагающих возможность приведения сканированных копий документов к редактируемому формату.

Согласно [258, 259], информационные технологии – процессы, методы поиска, сбора, хранения, обработки, предоставления, распространения информации и способы осуществления таких процессов и методов (Закон ДНР № I-278П-НС) [16 (с. 5)]; приёмы, способы и методы применения средств вычислительной техники при выполнении функций сбора, хранения, обработки, передачи и использования данных (ГОСТ 34.003-90) [260]; ресурсы, необходимые для сбора, обработки, хранения и распространения информации (ISO/IEC 38500:2008) [261]. Изложение материалов настоящего раздела приведем в соответствии с предложенным определением.

В п. 4.1 проведен обзор и анализ современных методов и алгоритмов бинаризации цифровых изображений, приведено обоснование выбора метода адаптивной бинаризации в качестве компонента разрабатываемой информационной технологии для осуществления предварительной обработки растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов с целью их последующего представления в виде GT-объектов и осуществления процессов моделирования, распознавания и именования.

П. 4.2 посвящен описанию стадии формирования *D*-знаков как объектов исследования в разработанном методе автоматического моделирования остовов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов. Представлена функциональная блок-схема информационной технологии генерации GT-объекта и приведено подробное описание каждого из блоков, задействованных для обработки бинарных РЦИ с целью построения *D*-знака, наиболее адекватно соответствующего исходной модели концепта прообраза изображения.

Материалы, изложенные в подразделе 4.3, описывают этапы реализации разработанного метода автоматического моделирования остовов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов для отдельного GT-объекта. Определены основные характеристики структурных элементов *D*-знака, выявляемые в процессе формирования моделей, с тем, чтобы представить подсистеме распознавания и именования наиболее полную информацию о конфигурации и конструктивных особенностях анализируемого объекта.

Подраздел 4.4 посвящен информационным технологиям распознавания зрительных образов применительно к задаче автоматического именования цифровых изображений знаков открытых алфавитов, образы которых подлежат автоматическому моделированию и анализу на дискретном множестве атомарных элементов. Определены способы именования *D*-знаков вследствие анализа сформированных в автоматическом режиме математических моделей образов распознаваемых объектов.

В подразделе 4.5 представлена функциональная блок-схема комплекса информационных технологий автоматического анализа, моделирования, распознавания и именования растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов сканированных документов электронных информационных ресурсов. Описана ее структура, определены функции блоков указанного комплекса ИТ и логические структуры данных, используемых при реализации блоков бинаризации, формирования GT-объекта, генерации математических моделей *D*-знаков,

осуществлении технологий именования, классификации и распознавания растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов.

4.1 Обоснование выбора метода адаптивной бинаризации как основы информационной технологии предварительной обработки сканированных документов электронных информационных ресурсов

Согласно постановке задачи исследования, приведенной в п. 1.5, информационные технологии автоматического моделирования, распознавания и именования растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов должны быть безотносительны к типам обрабатываемых документов ЭИР, на начальном этапе формирования РЦИ периферийными средствами ввода информации в ЦЭВТ должны быть осуществлены этапы сканирования и предварительной обработки полученных результатов. Как следует из источников [92 (с. 22), 111 (с. 14), 116 (с. 3)], в настоящее время общепринятым стандартом для сканирования документов выбрано разрешение в 300 dpi, позволяющее достичь наилучшего соотношения параметров получаемых РЦИ. В соответствии с этим, в настоящей работе документы ЭИР, подлежащие обработке, анализу, моделированию, распознаванию и именованию, были сформированы путем сканирования сканером название сканера в автоматическом режиме с расширением 300 dpi. Примеры используемых РЦИ представлены в разделе 1 и Приложениях Б-Г настоящей диссертационной работы.

Поскольку, как отмечено в пп. 1.2, 1.4, 2.1, 3.2-3.5, обработке подлежат бинарные растровые цифровые изображения, для выбора информационной технологии предварительной обработки сканированных документов ЭИР был поведен обзор и анализ наиболее востребованных современных методов и алгоритмов бинаризации.

Предварительно следует отметить, что под бинаризацией подразумевают, как правило, «выделение границы объекта, содержащей исчерпывающую информацию о его форме, для последующего ее анализа и решения задач обработки и анализа» [221 (с. 9)]. При этом существует множество способов представления границ формируемых объектов [262, 263, 264, 265, 266, 267], и выбор того или иного способа бинаризации может зависеть от предметной области [268, 269] либо прикладной специфики решаемой исследователями задачи [270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279].

Результат бинаризации традиционно передается в виде двумерной матрицы с размерами исходного цифрового изображения, заданного в п. 1.4 формулами (1.2), (1.3) где в качестве элементов матрицы (1.3) выступают логические значения «1» или «0», с учетом соответствия «1» – граница объекта, «0» – прочая область. Исследователи отмечают, что данный вид представления результата бинаризации является интуитивно понятным и может быть преобразован в заданный вид представления опраеиями с элементами матрицы. Таким образом, задача бинаризации может быть сведена к преобразованию цветного, включая градации серого, растрового изображения в монохромное изображение [211 (с. 6)].

Очевидно, выбор алгоритма бинаризации имеет значительную важность при решении задач автоматического анализа РЦИ, поскольку обычно только результаты работы метода бинаризации используются в алгоритмах распознавания. Выбор алгоритма бинаризации также влияет на алгоритмы, применяемые далее для анализа изображения. Правильный выбор алгоритма бинаризации позволит более эффективно выявлять GT-объекты обрабатываемых РЦИ знаков открытых алфавитов и, как следствие, сделает процессы моделирования и именования белее точными в смысле соответствия полученных результатов ожидаемым.

В процессе диссертационного исследования были выделены следующие виды алгоритмов бинаризации изображения [221 (с. 2)]:

1. адаптивная бинаризация;
2. обработка с постоянным порогом;

3. методы бинаризации на основе гистограмм (как правило, гистограммы содержат функцию яркости от количества точек с соответствующей яркостью);
4. на основе нейронных сетей.

В рамках поставленной в п. 1.5 задачи, согласно проведенным рассуждениям рассмотрены и проанализированы следующие современные алгоритмы адаптивной бинаризации как наиболее подходящие применительно к задаче распознавания сканированных документов ЭИР [222 (с. 4)]:

1. Sauvola [213 (с. 1)].
2. Otsu [214 (с. 1)].
3. Bernsen [215 (с. 1)].
4. Eikvil [216 (с. 1)].
5. Niblack [217 (с. 1)].
6. Gatos Thresholding [218 (с. 1)].
7. Отсечение по порогу яркости [212 (с. 1)].
8. Максимальной энтропии [219 (с. 1), 220 (с. 1)].
9. Адаптивной бинаризации [221 (с. 1)].

Рассмотрим каждый из них более подробно.

Метод Sauvola.

В рамках данного метода для РЦИ, подлежащего бинаризации, сформируются два вспомогательных «интегральных» изображения [213 (с. 6)]. Первое представляет собой результат обработки квадратной апертурой всего исходного изображения, при этом результирующее цифровое изображение получается как среднеарифметическое значение яркостей точек в квадратной апертуре.

Второе вспомогательное изображение создается аналогичным образом, однако, в отличие от среднеарифметического значения для его элементов рассчитывается сумма квадратов яркостей точек в апертуре, после чего из этого

значения вычитается квадрат среднеарифметического значения аналогичной апертуры из первого изображения [213 (с. 3)].

В основном цикле осуществляется перебор всех пикселей исходного РЦИ. Если значение яркости пикселя меньше априорно заданного глобального минимума, то результатом бинаризации данного пикселя является «1», если данное значение превосходит величину глобального максимума (также заданную в начале работы алгоритма), то «0». В случае, если значение яркости находится между указанных глобальных величин, находятся соответствующие значения из первого и второго вспомогательных изображений, после чего в соответствии с формулой [213 (с. 4)] вычисляется порог для текущего пикселя, и основе полученного значения осуществляется бинаризация данного пикселя [211 (с. 2)].

Метод максимальной энтропии.

Для обрабатываемого методом максимальной энтропии РЦИ формируется гистограмма на основе яркостей всех пикселей цифрового изображения и количества пикселей с заданной яркостью [211 (с. 2)]. После этого гистограмма нормализуется, и строится кумулятивная гистограмма, для каждого значения которой генерируются (с использованием нормализованной гистограммы) еще две гистограммы: по энтропиям черного и белого цветов. На основе гистограмм, построенных по указанным энтропиям, определяется значение максимальной суммы, и выбирается соответствующий порог бинаризации. Далее происходит пороговая бинаризация для найденного значения порога.

Бинаризация отсечением по порогу яркости.

Для исследования применения к обработке РЦИ методом бинаризации отсечением по порогу яркости была выбрана бинаризация с нижним порогом [212 (с. 5)], реализуемая согласно формуле:

$$f^{\circ}(m, n) = \begin{cases} 0, & f(m, n) \leq t; \\ 1, & f(m, n) > t, \end{cases} \quad (4.1)$$

где $f(m, n)$ – яркость пикселя на исходном изображении;

$$(m, n) \in [0, 2^k, 1],$$

k – количество значений градаций яркости,

$f^*(m, n)$ – значение пикселя результирующего изображения;

t – порог бинаризации.

Любой пиксель цифрового изображения, для которого выполняется условие $f(m, n) > t$ из формулы (4.1), назначается пикселем объекта, а в противном случае – пикселем (элементом) фона.

Метод Otsu.

В данном методе для цифрового изображения вычисляется порог t , минимизирующий среднюю ошибку от принятия решения о принадлежности пикселей РЦИ объекту или фону. Значения яркостей пикселей цифрового изображения рассматриваются как случайные величины, а их гистограмма – как оценка плотности распределения вероятностей. Если плотности распределения вероятностей известны, то можно определить оптимальный порог для сегментации РЦИ на два класса c_0 и c_1 (объекты и фон) [214 (с. 4)].

Исследования основывались на следующих рассуждениях: цифровое изображение представляется с помощью L уровней яркости; h_i – число элементов изображения (пикселей), имеющих яркость i , $i \in \{0, 1, \dots, L-1\}$; H – общее число пикселей на РЦИ; гистограмма цифрового изображения является нормализованной и ее можно рассматривать как распределение вероятностей по формуле:

$$p_i = \frac{h_i}{H}, \quad i = \overline{0, L-1}. \quad (4.2)$$

При этом отмечается, что должно выполняться условие: $\sum_{i=1}^{L-1} p_i = 1$.

Элементы цифрового изображения делятся на два класса c_0 и c_1 с помощью порогового значения t , где класс c_0 содержит пиксели с яркостями из множества $\{0, 1, \dots, t-1\}$, а класс c_1 – пиксели с яркостями из множества $\{t, t+1, \dots, L-1\}$. Вероятности каждого из этих двух классов и средние значения их яркости описываются формулами:

$$\begin{aligned} P_0 &= \sum_{i=0}^t p_i = P_t, P_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - P_t, \mu_0 = \sum_{i=0}^t i \cdot p_i, \\ P_0 &= \mu_t / P_t, \mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \cdot p_i / P_1 = (\mu_T - \mu_t) / (1 - P_t), \end{aligned} \quad (4.3)$$

где $\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i \cdot p_i$ означает среднюю яркость всего цифрового изображения [214 (с. 3)].

Метод Bernsen.

Все цифровое изображение, подлежащее бинаризации с использованием описываемого метода, делится на квадраты размера $r \times r$, $r \in N$ (r – нечетное) [215 (с. 2)] с центром в пикселе с координатами (m, n) . Для каждого пикселя РЦИ в пределах указанного квадрата используется порог, значение которого рассчитывается согласно формуле:

$$t(m, n) = (j_{high} + j_{low}) / 2, \quad (4.4)$$

где j_{high} и j_{low} являются соответственно наименьшим и наибольшим уровнями яркости пикселей в рассматриваемом квадрате.

Если в принятой области используемая мера контраста удовлетворяет условию, определенному следующей формулой:

$$G(m, n) = (j_{high} - j_{low}) \leq \varepsilon, \quad (4.5)$$

где ε – заданная пороговая величина,

то исследуемый квадрат содержит объекты только одного класса: объектов или фона.

Метод Eikvil.

В этом методе бинаризации цифровых изображений [216 (с. 1)] используются два окна размеров $r, R \in N$, из которых большее по размеру (назовем его окно R) служит для вычисления значения порога, в то время как меньшее (соответственно, окно r) определяет область РЦИ, в которой будет использоваться полученный порог. Оба окна перемещаются параллельно по цифровому изображению с шагом, равным размеру меньшего окна r , и каждый раз для всех элементов окна R вычисляется оптимальный порог по методу Otsu [214 (с. 1)], рассмотренному ранее.

Если вычисленные средние значения μ_0 и μ_1 существенно различаются, то есть для них выполняется условие $\mu_0 - \mu_1 \geq \varepsilon$, где ε – априорно заданный параметр, то пиксели внутри окна r подвергаются бинаризации в соответствии с вычисленным порогом t . Если же $\mu_0 - \mu_1 < \varepsilon$, то все пиксели внутри окна r относятся к классу с ближайшим средним значением [214 (с. 3)].

Метод Niblack.

В данном методе для каждого пикселя РЦИ используется свое значение порога [217 (с. 3)], величина которого определяется на основе вычисления локального среднего и локального среднеквадратического отклонения. Значение порога в пикселе с координатами (m, n) вычисляется в соответствии с формулой:

$$t(m, n) = \mu(m, n) + k \cdot \sigma(m, n), \quad (4.6)$$

где $\mu(m, n)$ – среднее отклонение в локальной окрестности пикселя цифрового изображения с координатами (m, n) ,

$\sigma(m, n)$, – среднеквадратичное отклонение в локальной окрестности пикселя цифрового изображения с координатами (m, n) ,

k – коэффициент, определяющий, какую именно часть границы объекта необходимо выбрать в качестве объекта.

Метод Gatos Thresholding.

В рамках данного метода для обрабатываемого РЦИ формируются два вспомогательных цифровых изображения [218 (с. 2)], первое из которых является бинаризованным по алгоритму Niblack Thresholding (метод Niblack) [217 (с. 1)] и служит для определения фона и расположения объектов.

Второе вспомогательное цифровое изображение строится с использованием первого по следующему принципу: РЦИ становится идентичным оригинальному, на нем отображены все пиксели, а соответствующие пиксели со значением «1» из первого вспомогательного цифрового изображения заменяются на интерполированные значения цвета соседних пикселей. В итоге формируется фоновое РЦИ.

Далее выбирается каждый пиксель исходного цифрового изображения, и если разница между цветом пикселя и цветом соответствующего пикселя из фонового РЦИ больше порога, вычисляемого по определенной формуле [218 (с. 4)], то результатом бинаризации данного пикселя является «1», а в противном случае – «0».

Метод адаптивной бинаризации растрового изображения.

Для анализируемого данным методом цифрового изображения фиксируется размер апертуры [221 (с. 2)]. Строится дополнительное РЦИ, содержащее промежуточный этап бинаризации исходного изображения по следующему правиле: окно перемещается по всему цифровому изображению, в каждой области окна происходит бинаризация по выбранному типу (использована интерпретация алгоритма градиентной бинаризации для локальной области).

Для каждой точки исходного РЦИ заново строится окно с размерами, равными выбранной ранее апертуре. Для каждого конкретного окна выбираются все значения параметра P , равного значению параметра градиента между двумя

любыми пикселями в окне, такие, что значение параметра меньше заданного алгоритма бинаризации B (использованного при построении дополнительного РЦИ). Все параметры P подвергаются корректировке в сторону увеличения, с учетом обратного нормального распределения для дискретной области. Причем обратное нормальное распределение применяется к созданному дополнительному цифровому изображению, содержащему результат проведенной ранее бинаризации. Если скорректированный параметр P получился больше параметра B , то соответствующая точка помещается в дополнительное РЦИ. Тем самым в дополнительное цифровое изображение добавляются новые точки границы, которые не были выделены ранее [221 (с. 3)].

Операция с корректировкой значения параметра P может выполняться несколько раз, в зависимости от изображения и необходимого качества, требуемого от границы объекта.

Основной идеей алгоритма [221 (с. 2)] является учет специфики непрерывности границы объекта, а также более подробное рассмотрение участков границы объекта, не выделенных при шаге бинаризации. Алгоритм понижает критерий, предъявляемый к пикселям, предположительно не прошедшим бинаризацию, но обнаруживаемым, результатом бинаризации которых является «1» (пиксели, принадлежащие границе объекта). Чем ближе к выбранным элементам области с результатом бинаризации равным «1», тем менее «жесткие» требования предъявляются к критерию выбора пикселей, принадлежащих границе, которые будут помечены результатом бинаризации равным «1». Такой подход позволяет задавать высокие критерии к выбору начальных пикселей границы, достаточных для выделения небольших, заведомо известных ее частей, а остальные элементы границы будут достроены на следующих шагах, за счет пониженного критерия, поскольку будут располагаться вблизи заведомо определенных пикселей границы.

Проведенный анализ описанных выше методов показал, что этап бинаризации тесно связан с последующими этапами анализа цифрового изображения, применяемыми при моделировании и распознавании объектов, при этом с практической точки зрения качество работы метода оценивается, исходя из

последующих этапов обработки РЦИ. Кроме того, в описании ряда методов бинаризации авторами [213 (с. 1), 218 (с. 4)] отмечается что для их эффективного применения необходимо сделать определенного вида предобработку, как правило, заключающуюся в фильтрации [92 (с. 26), 212 (с. 14)] цифрового изображения.

Достаточно сложно сравнивать непосредственно результат работы алгоритмов бинаризации по данным анализа РЦИ целым комплексом алгоритмов, в которых применяются рассмотренные методы. Один из подходов, используемых при сравнении результата работы таких типов алгоритмов, был взят на вооружение в работах [213 (с. 8), 221 (с. 11)] и основывался на бинарном сравнении работы метода с эталонным результатом, использующим понятие F-меры (F-measure) [280] как определенный аналог расстояния Левенштейна [281], применяемого при анализе печатного текста.

В соответствии с этим, для сравнения результатов использования описанных ранее методов выбран параметр сбалансированной F-меры [280 (с. 2)], значения которого представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты апробации методов бинаризации

Название метода	Параметр сбалансированной F-меры
Sauvola	0,2547
Otsu	0,3105
Bernsen	0,3232
Eikvil	0,2746
Niblack	0,2306
Gatos Thresholding	0,2353
Отсечение по порогу яркости	0,2173
Максимальной энтропии	0,1346
Метод адаптивной бинаризации	0,4674

Как видно из таблицы 4.1, наибольшим значением параметра сбалансированной F-меры характеризуется метод адаптивной бинаризации, для которого указанная величина равна 0,4674. Данный факт обуславливает целесообразность выбора указанного метода в качестве информационной технологии обработки РЦИ документов ЭИР на начальном этапе их автоматического анализа и последующего моделирования.

Отметим, что достаточно низкое (менее 0,5) значение в таблице 4.1 обусловлено не только применяемыми алгоритмами бинаризации, но и выбором обрабатываемых РЦИ из Приложений Б-Г, которые не были предварительно отфильтрованы [92 (с. 39)], не проходил процедур понижения шумовой составляющей [164 (с. 54)] и иных методов предобработки [212 (с. 17)]. Дополнительная обработка в виде фильтрации полученных результатов бинаризации также не проводилась (даже если это было указано в рекомендациях какого-либо метода), поскольку сравнивались сами алгоритмы бинаризации, а дополнительная фильтрация не являлась частью алгоритма бинаризации и могла внести искажение в результат его работы. К тому же, подбор алгоритмов фильтрации определяется в зависимости от решаемой прикладной задачи и самого алгоритма бинаризации, что существенно влияет на конечный результат.

Стоит отметить немаловажную особенность работы алгоритмов бинаризации, а именно плотность точек границы объектов, полученных в процессе бинаризации и сформированных как элементы границы в последующих алгоритмах, поскольку не у всех алгоритмов потенциальная граница объектов получалась непрерывной. Это также накладывает ограничения на применение алгоритмов распознавания и именования.

Предложенный алгоритм адаптивной бинаризации позволяет достоверно выделять границы объектов при условии, что часть границы может быть размыта и находится вне фокуса. Алгоритм исследован на реальных цифровых изображениях сканированных документов ЭИР, и его достоинством является высокая точность выделения границ объектов при невысокой математической сложности алгоритма

и низкой чувствительности к шумам по сравнению с иными рассмотренными методами бинаризации РЦИ.

4.2 Информационная технология генерации ГТ-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на множестве атомарных элементов

Растровые цифровые изображения знаков открытых алфавитов, прошедшие этап бинаризации обоснованным в п. 4.1 методом, согласно проведенным в п. 2.1 и в работах [201 (с. 12), 202 (с. 8), 226 (с. 3)] рассуждениям, а также в соответствии с постановкой задачи исследования, подлежат последующей скелетизации с целью генерации ГТ-объекта как образа указанных РЦИ на дискретном множестве атомарных элементов, к которому применяются описанные в Разделе 3 методы автоматического моделирования.

Информационная технология генерации ГТ-объектов подробно описана в работах [201 (с. 1), 231 (с. 5)], поэтому рассмотрим лишь необходимые для цельности изложения материала положения используемого метода скелетизации согласно [202 (с. 2)].

Конструктивное определение ГТ-объекта, приведенное в [231 (с. 4)], позволяет формировать множества путей, каждый из которых моделирует образ некоторой траектории движения регистрирующей части [202 (с. 2)] УФС при генерации изображения, согласно гипотезе о способе его формирования [226 (с. 3)]. С этой целью для обрабатываемого бинарного РЦИ необходимо построить таблицу значений функции $F(\alpha)$ [227 (с. 5)], соответствующих размерам максимальных элементов представления, которые могут быть установлены в АЭ α и полностью состоять из ААЭ образа цифрового изображения на множестве атомарных элементов.

Указанная функция определена в работе [227 (с. 6)] формулой:

$$F(\alpha_h) = \arg \max_{\forall r \in N \cup 0: P_{\hat{\alpha}_h}(r) \subseteq Z} |P_{\hat{\alpha}_h}(r)|, \quad h = \overline{1, N_Z}, \quad (4.7)$$

где $P_{\hat{\alpha}_h}(r) \subseteq Z$ – элемент представления образа бинарного растрового цифрового изображения $Z = \{\alpha_h\}_{h=1}^{N_Z}$.

Затем осуществляется выявление АЭ, относительно которых можно рассматривать локальную толщину анализируемого бинарного РЦИ, и, так как решается обратная задача, и неизвестно, имели ли в своем прообразе следы, формирующие образ цифрового изображения, общие точки, формируется $d\gamma$ -множество – множество атомарных элементов, образованных пересечением нескольких множеств, относительно которых можно говорить о локальной толщине [202 (с. 2)]. Анализ, проводимый для каждого фрагмента образа изображения вне $d\gamma$ -множества, позволяет восстановить образы траекторий без пересечений, которые затем соединяются с целью формирования ГТ-объекта.

В соответствии с рассуждениями, приведенными в [282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290], достоверность результатов обработки цифровых изображений (в частности, скелетизации) имеет значительное влияние на качество приведения сканированных бинарных РЦИ к редактируемому формату, а, следовательно, и на функционирование системы моделирования, распознавания и именования в целом. В работах [196 (с. 4), 201 (с. 2), 231 (с. 1)] показано, что ГТ-объект адекватно отображает информацию об исходном цифровом изображении, и допускает последующее применение используемых методов.

Как описано в гипотезе о способе формирования изображений [226 (с. 2), 228 (с. 1)], ГТ-объект – это множество множеств КП, каждое из которых соответствует одной из траекторий движения при регистрации изображения, причем в результате генерации изображения по заданному множеству КП будет получено изображение, одноименное исходному. Согласно [231 (с. 3)], для построения указанных путей необходимо выделить КП на образах фрагментов изображения, полученных в результате регистрации УФС движения без пересечений с фрагментами других

движений, а затем определить продление или соединение выявленных КП в фрагментах, соответствующих образам пересечений следов. Для формирования фрагментов, содержащих КП, соответствующих образам траекторий без пересечений, необходимо исключить из рассмотрения подмножества ААЭ, образованные пересечением нескольких образов следов движений, в которых, следовательно, сходятся несколько траекторий. Таким образом, сформировать образы траекторий в виде путей невозможно без выявления АЭ пересечений образов нескольких следов, заданных как $d\gamma$ -множества, которые не определимы без множества КП, соответствующих образам траекторий. Решением данной проблемы является выявление АЭ указанных $d\gamma$ -множеств.

Действительно, выявить множество АЭ, относительно которых моделируема локальная толщина фрагмента образа цифрового изображения, можно только при анализе значений функции $F(\alpha)$, которая каждому АЭ образа бинарного РЦИ ставит в соответствие величину, характеризующую размер максимального элемента представления [255], который полностью состоит из активных АЭ.

Отметим, что областью определения функции $F(\alpha_h)$ из формулы (4.7) является множество ААЭ обрабатываемого образа бинарного РЦИ Z , причем $F(\alpha_h) = 0$ только тогда, когда ААЭ образует горизонтальную или вертикальную связку с АЭ из множества $A \setminus Z$ [225 (с. 4)].

Указанное множество составляет либо АЭ $d\gamma$ -множества, либо содержит АЭ КП, моделирующих траекторию непрерывного движения регистрирующего устройства. Таким образом, для формирования ГТ-объекта необходимо вычислить значения функции $F(\alpha)$, затем на основе анализа полученного множества значений выявить множества АЭ, относительно которых можно определить относительную толщину бинарного растрового цифрового изображения. Исследование указанных множеств (а именно, оценка того, сколько траекторий могут содержать их элементы), позволит сформировать $d\gamma$ -множества, исключив которые получим множества АЭ, образованное в результате регистрации фрагмента следа движения без пересечений. На каждом выявленном фрагменте необходимо построить путь,

являющийся объединением КП с наименьшим значением меры μ_2 , такой, что все АЭ обрабатываемого множества являются связными с АЭ кратчайшего пути.

Выделенные КП позволяют провести анализ каждого подмножества $d\gamma$ -множества, соответствующего одному пересечению, с целью дальнейшего выявления множеств возможных сочленений и продлений, дающих в результате наименьшее количество КП с минимально возможным изменением размера элемента представления, моделирующего толщину регистрирующей части УФС. Причем указанное множество КП предполагает возможность восстановления образа изображения, одноименного исходному РЦИ, что является одним из способов проверки адекватности построенного GT-объекта. При этом под восстановлением изображения по заданному GT-объекту понимается установка в каждый АЭ выделенных путей элемента представления соответствующего размера. Если полученное цифровое изображение характеризуется значительным изменением размера элемента представления для АЭ из множества, относительно которого можно определить относительную толщину образа бинарного РЦИ, то полученная модель как результат скелетизации не является адекватной и в дальнейшем не используется. Функциональная блок-схема информационной технологии генерации GT-объекта [231 (с. 2)] представлена на рисунке 4.1.

Блок вычисления значений функции $F(\alpha)$ согласно формуле (4.7), представленный на рисунке 4.1 блоком 1, обрабатывает бинарное РЦИ, представленное в виде множества АЭ, причем образ указанного цифрового изображения представлен множеством активных АЭ. Исходное цифровое изображение может состоять как из одного, так и из нескольких элементов, что не влияет на результаты обработки, поскольку анализ образов бинарных РЦИ производится на связных подмножествах множества, относительно которого можно определить относительную толщину, и они обрабатываются по отдельности.

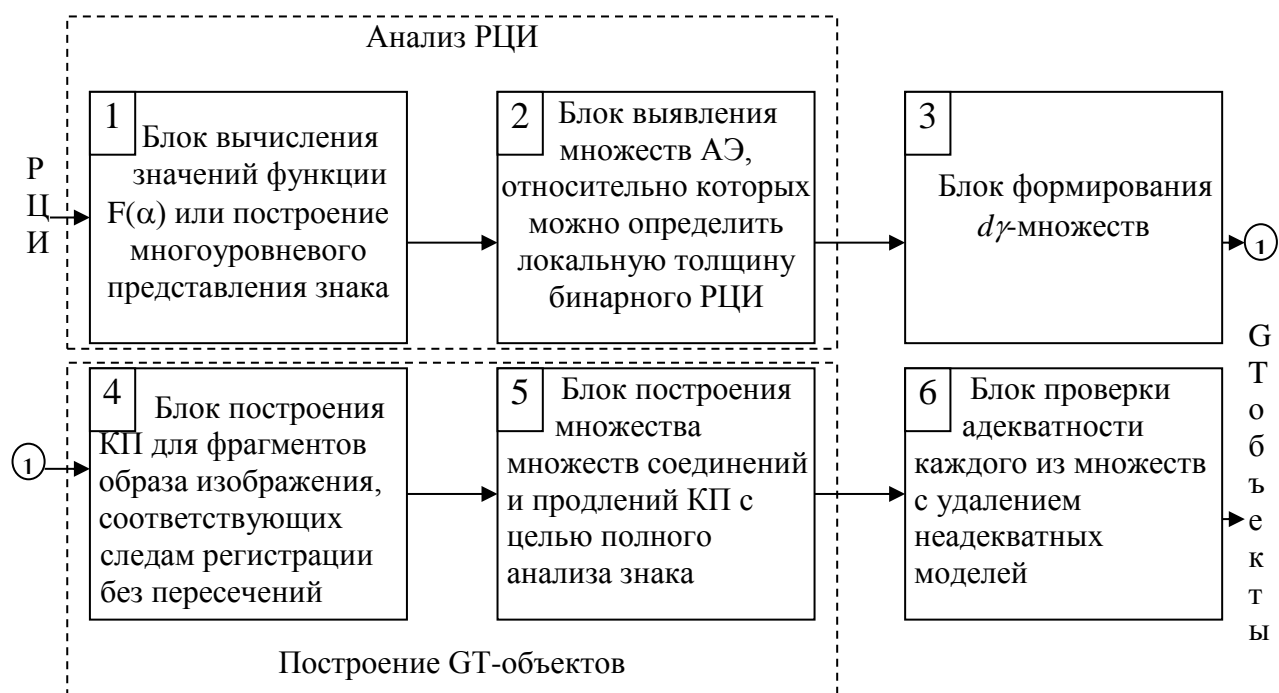


Рисунок 4.1 – Функциональная схема информационной технологии генерации GT-объекта бинарного цифрового изображения на множестве АЭ

Рассмотрим более детально функции, которые реализует каждый из блоков.

В результате работы представленного на рисунке 4.1 блока 1 формируется таблица значений функции $F(\alpha)$, которая в дальнейшем используется при генерации GT-объекта.

В блоке выявления множеств АЭ, относительно которых можно определить локальную толщину фрагмента изображения, представленном на рисунке 4.1 блоком 2, осуществляется определение таких АЭ, которые доставляют функции $F(\alpha)$ локальные максимумы, сохраняют локальную толщину или являются элементами множества, относительно которого можно установить относительную толщину образа. При анализе полученных значений предполагается, что если АЭ α_k – пассивный, то значение функции $F(\alpha_k)$ из формулы (4.7) меньше нуля. Данное предположение позволяет выявлять АЭ, для которых выполнено: $F(\alpha_k)=0$. Так как дальнейший анализ в блоке выделения $d\gamma$ -множества и в блоке построения КП производится для связных подмножеств АЭ из множеств, относительно которых можно определить относительную толщину бинарного РЦИ, то целесообразно результат работы блока 2 из рисунка 4.1 представлять в виде связных подмножеств.

На множестве связных подмножеств из множества, относительно которого можно определить относительную толщину образа, полученного в результате работы показанного на рисунке 4.1 блока 2, производится формирование $d\gamma$ -множеств в блоке 3 из рисунка 4.1. Для этого необходимо определить, какие АЭ из указанных множеств были образованы в результате наложения нескольких образов следов при генерации изображения. Следует отметить, что согласно [231 (с. 4)], АЭ $d\gamma$ -множества доставляют функции $F(\alpha)$ значения не меньшие, чем каждый из АЭ путей как образов траекторий, сформировавших $d\gamma$ -множества. Таким образом, элементы представления, установленные в АЭ $d\gamma$ -множеств, обладают непустым пересечением с элементами представления, восстановленными в АЭ двух и более несвязных множеств из тех, относительно которых можно определить относительную толщину образа обрабатываемого бинарного РЦИ. Заметим, что данное свойство можно сформулировать также с помощью оценки расстояния до соответствующих центров элементов представления, поскольку максимальный размер указанного элемента, установленного в каждый АЭ, моделирует расстояние до граничных АЭ объекта. Используя описанный способ, осуществляется выявление связных подмножеств $d\gamma$ -множества, причем АЭ $d\gamma$ -множества, являющиеся центрами элементов представления, которые имеют непустое пересечение, объединяются в одно, так как они образованы тем же пересечением следов.

Затруднителен анализ АЭ, в которых значение введенной формулой (4.7) функции $F(\alpha)$ равно нулю, т.к. в них соответствующий элемент представления является исследуемым АЭ. Для выявления таких АЭ целесообразно использовать либо элемент представления большего размера, либо проверять окрестность на наличие АЭ из множеств, относительно элементов которых можно определить относительную толщину образа РЦИ.

Исключая из рассмотрения подмножества, которые имеют полное пересечение с АЭ элементов представления, установленных в атомарные элементы $d\gamma$ -множеств, получим фрагменты цифрового изображения, каждый из которых, согласно гипотезе [226 (с. 3)], сформирован в результате регистрации одного следа

без пересечений. Для этих множеств, производится выделение КП блоком 4, изображенным на рисунке 4.1, которое основано на минимизации меры μ_2 пути и дополнительном условии о том, что все АЭ, не формирующие данные КП, являются связными с АЭ уже построенных кратчайших путей. Очевидно, что таких путей в общем случае множество, единственным критерием предпочтения может служить однотипность построения путей на каждом из фрагментов образа следа, с тем, чтобы при сочленении путей в представленном на рисунке 4.1 блоке 5 их можно было отнести к одному типу. Результатом работы данного блока является множество связных КП.

В соответствии с выделенными КП, в блоке построения множества множеств сочленений и продлений производится анализ КП с целью выявления путей, обеспечивающих выполнение гипотезы о способе формирования изображения. В первую очередь выявляются те сочленения, которые сохраняют локально-глобальное направление каждого из соединяемых КП, с учетом размера элемента представления. Далее определяются сочленения, которые сохраняют толщину и незначительно изменяют локально-глобальное направление, и т.д., в соответствии со сформулированными в работах [202 (с. 1), 226 (с. 4), 227 (с. 2)] условиями.

Если возможных соединений несколько, то в качестве искомым выступают множества, моделирующие все возможные комбинации для каждого $d\gamma$ -множества. При этом все соединения производятся как можно ближе к D -отрезку, соединяющему соответствующие АЭ КП, так как для АЭ $d\gamma$ -множества можно построить множество соединений, характеризуемых фиксированным значением меры μ_2 .

Таким образом, в результате работы блока 5, изображенного на рисунке 4.1, формируется множество множеств связных КП, результирующих процесс скелетизации – формирования GT-объекта образа бинарного растрового цифрового изображения на дискретном множестве атомарных элементов.

Полученные в блоке 5 на рисунке 4.1 множества множеств КП действительно являются GT-объектами в случае, если они адекватно отображают свойства исходного цифрового изображения, и при этом позволяют однозначно производить

последующие процессы анализа и обработки. Тот факт, что полученный GT-объект допускает использование методов автоматического моделирования, распознавания и именования, обеспечивается способом построения.

Проверка непротиворечивости исходному множеству АЭ и адекватности построенных GT-объектов осуществляется блоком 6, представленным на рисунке 4.1. Однако, оценка адекватности модели может быть оценена качественно путем сравнения таблиц значений функции $F(\alpha)$ из формулы (4.7) для исходного и восстановленного (в виде образующей GT-объекта [201, (с. 5)]) цифровых изображений. Значения в указанных таблицах должны отличаться не более чем на два для атомарных элементов из множеств, относительно выделенных на исходном цифровом изображении фрагментов, для которых можно определить относительную толщину бинарного РЦИ.

Таким образом, изложенная информационная технология генерации GT-объекта позволяет из множества результирующих ее использование D -знаков выбрать тот, который наиболее точно соответствует исходному бинарному растровому цифровому изображению знака открытого алфавита для применения к нему метода автоматического моделирования, изложенного в разделе 3.

На основании этого перейдем к рассмотрению информационной технологии автоматического моделирования GT-объектов как образов бинарных РЦИ на дискретном множестве атомарных элементов.

4.3 Информационная технология автоматического моделирования GT-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов

Как следует из п. 4.2, GT-объект, сгенерированный согласно представленной на рисунке 4.1 схеме обработки бинарного РЦИ, благодаря осуществляемой блоком 6 проверке адекватности полученного результата исходной модели

концепта на основании гипотезы о способе формирования изображения [201], элементы которой представлены в пп 2.1, 3.1 настоящей работы, предполагает его использование для последующего применения методов автоматического моделирования, распознавания и именования. На основании проведенных рассуждений и поставленной в п. 1.5 задаче исследования, опишем информационную технологию построения модели GT-объекта с целью дальнейшего распознавания и именования образов бинарных растровых цифровых изображений.

Для простоты изложения материала будем полагать, не ограничивая общности проводимых рассуждений, что объектом исследования в настоящем подразделе является единственный GT-объект, результирующий обработку образа одного из представленных на исходном РЦИ знака открытого алфавита. Для всех остальных GT-объектов применение описываемой информационной технологии осуществляется аналогично.

В соответствии с этим, определим искомый объект исследования как множество КП, являющееся GT-объектом некоторого D -знака, примеры которых представлены на рисунке 2.1 из п. 2 настоящей работы.

Определение 4.1. Для произвольного D -знака $Z \subset A$ результат восстановления его GT-объекта называется *GT-знаком*:

$$Z_{GT} = \{L_k(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \mid L_k(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}, \quad (4.8)$$

где $K_{GT} \in N$ – количество кратчайших путей, образующих GT-объект.

Согласно [231 (с. 2)], GT-знак – это множество КП, каждый из которых является на множестве атомарных элементов образом траектории движения, совокупность реализаций которых в результате сформировала исходный фрагмент документа ЭИР, как это было отмечено в пп. 1.1, 2.1 диссертационной работы. Следует заметить, что множество АЭ, формирующих связки всех кратчайших путей одного GT-знака, является, в свою очередь D -знаком [198 (с. 2)], который не

предполагает возможности последующего «утонышения». Примеры подобных GT-знаков приведены на рисунках 1.8, 2.6, 2.8 и 4.2.

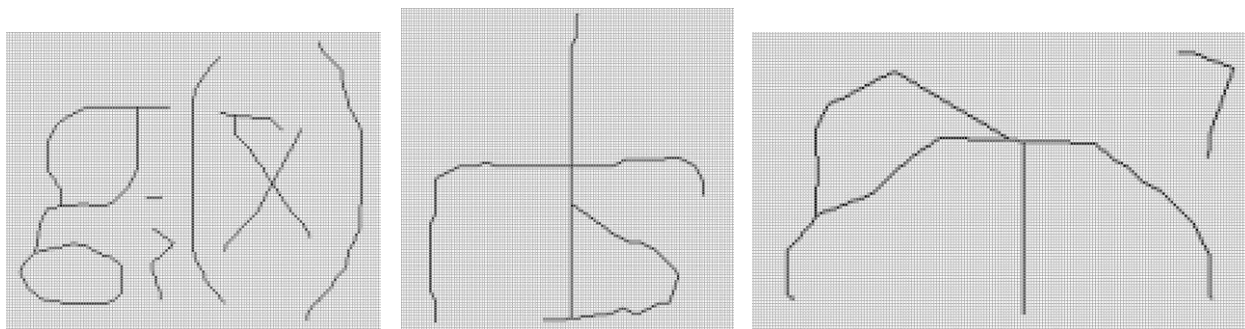


Рисунок 4.2 – Примеры GT-знаков на множестве атомарных элементов

При проведении дальнейших рассуждений, не ограничивая их общности, будем также полагать, что рассматриваемые объекты, подлежащие анализу и моделированию, являются GT-знаками, не предполагающими возможности их утонышения с применением изложенной в п. 4.2 информационной технологии.

Рассмотрим произвольный GT-знак как конечное вполне упорядоченное множество КП: $Z_{GT} = \{ L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \mid L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in \mathfrak{T}_2(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \}_{k=1}^{K_{GT}}$, состоящий из K_{GT} кратчайших путей. Будем полагать при этом, что $\alpha_{a_k} \neq \alpha_{b_k}$, $k = \overline{1, K_{GT}}$, то есть все КП GT-знака не являются замкнутыми [225 (с. 9)].

С целью разработки искомого метода автоматического моделирования знаков, заданных на множестве АЭ кратчайшими путями, был проведен анализ GT-знаков, являющихся образами фрагментов документов ЭИР, подлежащих обработке в СЭД, описанными в Раздел 1, в результате которого были выявлены основные характеристики КП $L_k^{GT} \in Z_{GT}$, $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$, значимые при формировании модели. Указанные характеристики перечислены ниже.

1. Количество связей, формирующих КП $L_k^{GT} \in Z_{GT}$, $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$, или значение второй меры данного пути: $n_k^{GT} = \mu_2(L_k^{GT})$.

2. Ориентации кратчайших путей, определенные в п. 2.2. При моделировании GT-знаков и составляющих их элементов – КП – существенно установление того факта, является ли кратчайший путь $L_k^{GT} \in Z_{GT}$, $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$, ориентированным влево, вправо, вверх или вниз согласно определениям 2.6-2.9, либо он является D -отрезком между АЭ $\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}$, что позволит, в частности, осуществлять проверку адекватности автоматически полученной модели исходной модели концепта изображения знака.

При проведении дальнейших рассуждений, в том числе для определения ориентации кратчайших путей рассматриваемых GT-знаков, введем в рассмотрение отображение $Or: \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b) \rightarrow \{l_or, r_or, t_or, b_or, d_s\}$, которое произвольному КП $L(\alpha_a, \alpha_b) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b)$ ставит в соответствие элемент $Or(L(\alpha_a, \alpha_b)) \in \{t_or, l_or, b_or, r_or, d_s\}$ согласно следующей формуле:

$$Or(L(\alpha_a, \alpha_b)) = \begin{cases} t_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным вверх,} \\ l_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным влево,} \\ b_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным вниз,} \\ r_or, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является ориентированным вправо,} \\ d_s, & \text{если КП } L(\alpha_a, \alpha_b) \text{ является } D\text{-отрезком между АЭ } \alpha_a, \alpha_b, \end{cases} \quad (4.9)$$

где ориентация КП трактуется на основании определений 2.6-2.9 настоящей работы и положений, представленных в [250 (с. 4)].

3. Взаимное расположение пары кратчайших путей $L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT}$, $k, t \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$, согласно проведенным в [291] и п. 2.3 рассуждениям, также является важной характеристикой элементарных составляющих модели GT-знака, которая устанавливает тип возможной взаимосвязи пары путей. В соответствии с определениями 2.12-2.14, предложено различать пары Т-, V- и Х-путей, для каждой из которых следует указывать Т-, V- и Х-атрибуты согласно п. 2.3.

4. Значение u -меры каждого кратчайшего пути GT-знака, являющееся аналогом значения меры угла наклона отрезка к горизонтали, которая введена во

всюду плотных множествах. Как следует из [242, 252] и п. 2.4, указанная характеристика элементарных составляющих моделей анализируемых на множестве АЭ объектов позволяет для произвольной пары КП $L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT}$, $k, t \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$, указать кортеж $\Gamma(L_k^{GT}, L_t^{GT}) = \langle \mu_3^{L_1} - \mu_3^{L_2}, M \rangle$, где величины M , $\mu_3^{L_1}$ и $\mu_3^{L_2}$ для выбранной пары путей определяются согласно описанным в п. 2.4 правилам на основании определения 2.16. Данный кортеж является аналогом значения градусной меры угла между парой отрезков всюду плотного множества, однако выбранная характеристика задана также и для произвольных кратчайших путей, что позволяет ее использовать для анализа существенно более широкого множества элементарных составляющих моделей GT-знаков.

Кроме того, в п. 2.4 определено отображение $\Gamma': \mathfrak{S}_2(\alpha_a, \alpha_b) \rightarrow Z \times N$, которое произвольному КП $L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in Z_{GT}$, $L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k}) \in \mathfrak{S}_2(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})$, $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$, ставит в соответствие кортеж: $\Gamma'(L_k^{GT}) = \langle \mu_3^{L_1}, n_k^{GT} \rangle$ где $n_k^{GT} = \mu_2(L_k^{GT})$, величина $\mu_3^{L_1} = \mu_3(u_M(\alpha_0, \alpha_{b_k}))$ вычисляется на основании задания множеств $U_M, \partial U_M$ для выбранного пути L_k^{GT} при $M = n_k^{GT}$ [252].

Для того, чтобы в последующем более эффективно использовать каждую из перечисленных выше характеристик КП произвольного GT-знака, в том числе комплексно учитывать взаимное расположение всех элементарных составляющих формируемой модели, введем понятие индикативной матрицы. Элементы указанной матрицы отражают тип взаимных расположений пар КП, образующих моделируемый GT-знак, если таковой может быть установлен согласно определениям 2.12-2.14.

Определение 4.2. *Индикативной матрицей* взаимного расположения всевозможных пар L_k^{GT}, L_t^{GT} , $k, t = \overline{1, K_{GT}}$, из множества КП, образующих GT-знак $Z_{GT} = \{L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}$, называется $K_{GT} \times K_{GT}$ матрица $D(Z_{GT})$, элементы которой $d_{kt}(Z_{GT})$, $k, t = \overline{1, K_{GT}}$, задаются следующим образом:

- 1) если КП L_k^{GT}, L_t^{GT} образуют пару T-путей, $d_{kt}(Z_{GT}) = 1$;

- 2) если КП L_k^{GT} , L_t^{GT} образуют пару V-путей, $d_{kt}(Z_{GT}) = 2$;
- 3) если КП L_k^{GT} , L_t^{GT} образуют пару X-путей, $d_{kt}(Z_{GT}) = 3$;
- 4) если для КП L_k^{GT} , L_t^{GT} не выполнено ни одно из условий 1)-3), в том числе и для случаев $k = t$, $k, t = \overline{1, K_{GT}}$, $d_{kt}(Z_{GT}) = 0$.

При проведении дальнейших рассуждений элементы $d_{kt}(Z_{GT})$ индикативной матрицы $D(Z_{GT})$ взаимного расположения КП, образующих GT-знак Z_{GT} , будем называть индикаторами отношений элементарных составляющих формируемой модели.

С целью качественного установления параметров отношений путей, образующих в GT-знаке пары T-, V- и X-путей, введем также в рассмотрение матрицу относительных атрибутов КП на основании определенных в п. 2.3 T-, V- и X- атрибутов путей. Для этого определим множество атрибутов КП GT-знака Z_{GT} формулой:

$$Atr(Z_{GT}) = \{atr_{i_k}(L_k^{GT})\}_{\substack{i_k = \overline{1, I_k^{atr}}, \\ k = \overline{1, K_{GT}}}}, \quad (4.10)$$

где I_k^{atr} – количество всех T-, V- и X-атрибутов каждого пути $L_k^{GT} \in Z_{GT}$, $k = \overline{1, K_{GT}}$.

Элементы множества $Atr(Z_{GT})$ задаются по формуле:

$$atr_{i_k}(L_k^{GT}) = \begin{cases} T(L_k^{GT}), & \text{если } \exists L_{t_{i_k}}^{GT} \in Z_{GT}, t_{i_k} \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\} : L_k^{GT}, L_{t_{i_k}}^{GT} - \text{T-пути,} \\ V(L_k^{GT}), & \text{если } \exists L_{t_{i_k}}^{GT} \in Z_{GT}, t_{i_k} \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\} : L_k^{GT}, L_{t_{i_k}}^{GT} - \text{V-пути,} \\ X(L_k^{GT}), & \text{если } \exists L_{t_{i_k}}^{GT} \in Z_{GT}, t_{i_k} \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\} : L_k^{GT}, L_{t_{i_k}}^{GT} - \text{X-пути,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (4.11)$$

$$\substack{i = \overline{1, I_k^{atr}} \\ k = \overline{1, K_{GT}}}$$

Согласно введенным обозначениям, указанное выше определение имеет следующий вид.

Определение 4.3. Матрицей относительных атрибутов КП, образующих GT-знак $Z_{GT} = \{L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}$, называется матрица $R(Z_{GT})$ $K_{GT} \times K_{GT}$ над множеством $Atr(Z_{GT})$, элементы $r_{kt}(Z_{GT})$, $k, t = \overline{1, K_{GT}}$, которой задаются следующим образом:

$$r_{kt}(Z_{GT}) = \begin{cases} atr_{i_k}(L_k^{GT}), & \text{если } k \neq t \text{ и КП } L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT} \text{ образуют пару T-, V- или X- путей,} \\ 0, & \text{если } k = t, \text{ или КП } L_k^{GT}, L_t^{GT} \in Z_{GT} \text{ пару T-, V- или X- путей не образуют.} \end{cases}$$

Элементы матрицы $R(Z_{GT})$ в дальнейшем будем называть относительными атрибутами путей $L_k^{GT} \in Z_{GT}$, $k \in \{1, 2, \dots, K_{GT}\}$.

Из определений 2.12-2.14 и 4.2, в частности, следует, что матрица $D(Z_{GT})$ является симметричной, и элементы ее главной диагонали являются нулевыми.

Матрица $R(Z_{GT})$, как следует из определения 4.3 и введенных в п. 2.3. понятий T-, V- и X-атрибутов, в общем случае симметричной не является; однако, как и в индикативной матрице, главную диагональ матрицы относительных атрибутов образуют нулевые элементы.

Введенные в Разделе 2 и настоящем подразделе понятия и определения позволяют перейти к рассмотрению так называемого представления [236 (с. 3), 247 (с. 1)] образа GT-объекта произвольного бинарного РЦИ, заданного в терминах дискретного множества атомарных элементов как объекта исследования. В соответствии с приведенным выше перечнем характеристик 1)-4) КП, значимых для автоматического моделирования и анализа фрагментов, сформулируем определение представления GT-знака.

Определение 4.4. Представлением $P(Z_{GT})$ GT-знака $Z_{GT} = \{L_k^{GT}(\alpha_{a_k}, \alpha_{b_k})\}_{k=1}^{K_{GT}}$, называется множество значений характеристик, заданное согласно формуле:

$$P(Z_{GT}) = \left\{ \{n_k^{GT}\}_{k=1}^{K_{GT}}, \{Or(L_k^{GT})\}_{k=1}^{K_{GT}}, \{\Gamma(L_k^{GT})\}_{k=1}^{K_{GT}}, \{d_{kt}(L_k^{GT})\}_{k,t=1}^{K_{GT}}, \{r_{kt}(L_k^{GT})\}_{k,t=1}^{K_{GT}} \right\}, \quad (4.12)$$

где $n_k^{GT} = \mu_2(L_k^{GT})$,

значение $Or(L_k^{GT})$ устанавливается на основании выражения (3.1),

правила вычисления $\Gamma'(L_k^{GT})$ приведены в п. 2.4,

элементы $d_{kt}(Z_{GT})$ и $r_{kt}(Z_{GT})$ индикативной матрицы $D(Z_{GT})$ и матрицы относительных атрибутов $R(Z_{GT})$ соответственно формируются на основании введенных в данном подразделе обозначений и определений 4.2, 4.3.

Разработка искомого метода автоматического моделирования произвольного GT-знака Z_{GT} на основе его представления $P(Z_{GT})$ предопределяет для всех КП, составляющих данный D -знак, необходимость учета каждой из характеристик, формирующих его представление в соответствии с определением 4.4. При этом в Разделе 3 изложения результатов диссертационного исследования определены такие принципы генерации модели, которые, согласно [73 (с. 2), 223 (с. 3)] и пп. 1.4, 1.5, не предполагают реализацию субъективно-статистических подходов к априорному заданию производных элементов, пороговых величин и мер близости.

На этом основании для обрабатываемого GT-знака Z_{GT} формируется его модель в терминах определений 3.13 и 3.14 согласно формуле (3.4), введенной в п. 3.4 настоящей работы, после чего автоматически генерируется множество моделей исходного знака $\overline{M}^{Z_{GT}} = \{M_1^{Z_{GT}}, M_2^{Z_{GT}}, \dots, M_{n^*}^{Z_{GT}}\}$, $n^* \in N$ [257 (с. 4)], полученных в результате осуществления полных покрытий GT-знака ЭП со всеми возможными допустимыми характеристиками размеров самих элементов покрытия и их секторов, определенными в п. 3.2.

Далее, с целью снижения мощности сформированного множества моделей, осуществляется выявление подобных моделей GT-знаков в смысле определения 3.18 и установление сходства моделей вследствие:

– нахождения величин коэффициентов расположения фрагментов, коэффициентов пропорциональной близости фрагментов моделей согласно определениям 3.19, 3.20,

– вычисления весовых коэффициентов расположения и пропорциональной близости моделей на основании определений 3.21 и 3.22 соответственно.

Таким образом, информационная технология автоматического моделирования GT-объектов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов для каждого обрабатываемого GT-знака Z_{GT} формирует его представление $P(Z_{GT})$ согласно формуле (4.12) из определения 4.4, а также множество моделей $\overline{M}^{Z_{GT}}$ и совокупность значений перечисленных выше коэффициентов, определенные в п. 3.4 диссертационной работы.

Следующий подраздел посвящен информационной технологии распознавания и именования растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, прошедших этапы бинаризации, скелетизации и автоматического моделирования, описанные соответственно в пп. 4.1-4.3.

4.4 Информационная технология именования и распознавания бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов

Автоматически сформированные на описанном в п. 4.3 этапе моделирования GT-знаков Z_{GT} представления $P(Z_{GT})$ и множества математических моделей $\overline{M}^{Z_{GT}}$ представляют собой исходные данные для информационной технологии распознавания и именования бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов сканированных документов электронных информационных ресурсов.

На рисунке 4.3 приведен пример изображений знаков, подлежащих моделированию, распознаванию и именванию в рамках решаемой задачи исследования, выбранных для иллюстрации излагаемой информационной технологии.

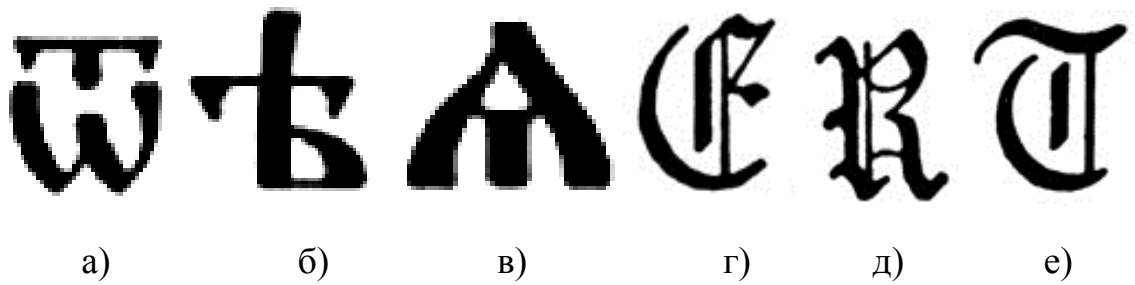


Рисунок 4.3 – Примеры изображений знаков открытых алфавитов

Представленные на рисунке 4.3 изображения знаков результируют применение к исходным цифровым изображениям метода адаптивной бинаризации, выбор которого в качестве информационной технологии предварительной обработки РЦИ обоснован в п. 4.1 настоящего раздела работы. На рисунке 4.4 представлены GT-объекты, сгенерированные в автоматическом режиме на этапе утоньшения бинаризованных растровых цифровых изображений исходных объектов описанным в п. 4.2 методом.

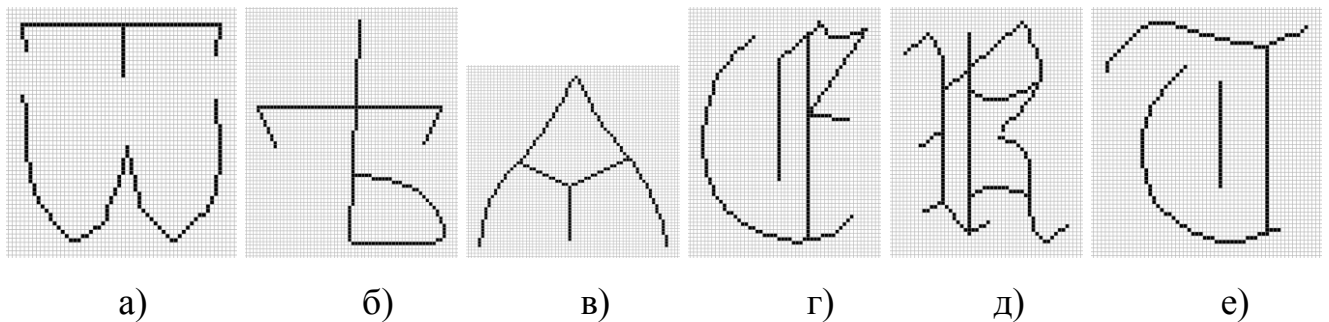


Рисунок 4.4 – GT-объекты бинаризованных РЦИ на дискретном множестве атомарных элементов

Заметим, что выбор представленных на рисунке 4.3 изображений знаков осуществлялся для наглядности проведения рассуждений исключительно с иллюстративной целью, без привязки к предметной области какой-либо конкретной решаемой задачи моделирования, распознавания и именованя объектов, а также без априорного задания имен рассматриваемых знаков. Результаты скелетизации, приведенные на рисунке 4.4, также получены

автоматически без использования каких-либо предустановленных пользователем параметров.

Далее, согласно проведенным в пп. 1.4, 1.5, 4.2, 4.3 рассуждениям, каждое из связанных множеств активных атомарных элементов, представленных в виде совокупностей путей GT-объектов, подлежит моделированию изложенным в Разделе 3 данной работы методом, на основании представленной в п. 4.3 информационной технологии.

Следует отметить, что каждому из изображений знаков на рисунках 4.3 б)-д) соответствуют связанные множества ААЭ, формирующие связки путей GT-объектов, представленных на рисунках 4.3 б)-д). Однако, изображениям знаков на рисунках 4.3 а), е) данное условие не выполнено, и каждому из них соответствует не единственный GT-объект, а пара, сгенерированных в процессе скелетизации [231 (с. 1)] бинарных РЦИ, что отражено на рисунках 4.4 а), е).

Таким образом, образами шести представленных на рисунке 4.3 изображений знаков на дискретном множестве атомарных элементов являются восемь GT-объектов, каждый из которых, согласно проведенным в п. 4.3 рассуждениям, является GT-знаком в смысле определения 4.1. Данный факт необходимо учитывать при последующей реализации процессов распознавания и именования рассматриваемых образов изображений знаков.

Далее, применяя к каждому из указанных GT-знаков информационную технологию, описанную в п. 4.3, получим автоматически сгенерированные совокупности представлений $P(Z_{GT}^1), P(Z_{GT}^2), \dots, P(Z_{GT}^8)$ и множеств математических моделей $\overline{M^{Z_{GT}^1}}, \overline{M^{Z_{GT}^2}}, \dots, \overline{M^{Z_{GT}^8}}$, из которых, согласно проведенным выше рассуждениям, изображению знака на рисунке 4.3 а) соответствуют пары $(P(Z_{GT}^1), \overline{M^{Z_{GT}^1}}), (P(Z_{GT}^2), \overline{M^{Z_{GT}^2}})$, изображению знака на рисунке 4.3 е) – пары $(P(Z_{GT}^7), \overline{M^{Z_{GT}^7}}), (P(Z_{GT}^8), \overline{M^{Z_{GT}^8}})$. Каждому из изображений знаков на рисунках 4.3 б)-д) соответствует единственная пара $(P(Z_{GT}^i), \overline{M^{Z_{GT}^i}}), i = \overline{3, 6}$.

Модели множеств $\overline{M}^{z_{GT}^i}$, $i = \overline{1, 8}$, в соответствии с п. 3.4, представляют собой совокупности D -отрезков, каждый из которых является моделью фрагмента GT-объекта, характеризуемого сохранением локально-глобального направления и выявленного при помощи элемента покрытия фиксированного размера и с сектором также фиксированного размера. Вариативность установления значений размеров ЭП и секторов обуславливает возможность как абстрагирования от незначительных отклонений либо изменений ЛГН, так и более точно, в случае необходимости, осуществлять учет указанных направлений для более детального представления GT-знака на этапе его моделирования. На рисунке 4.5 приведены примеры визуализации моделей представленных на рисунках 4.4 б), в) GT-объектов, сформированных при различных значениях размеров ЭП и секторов.

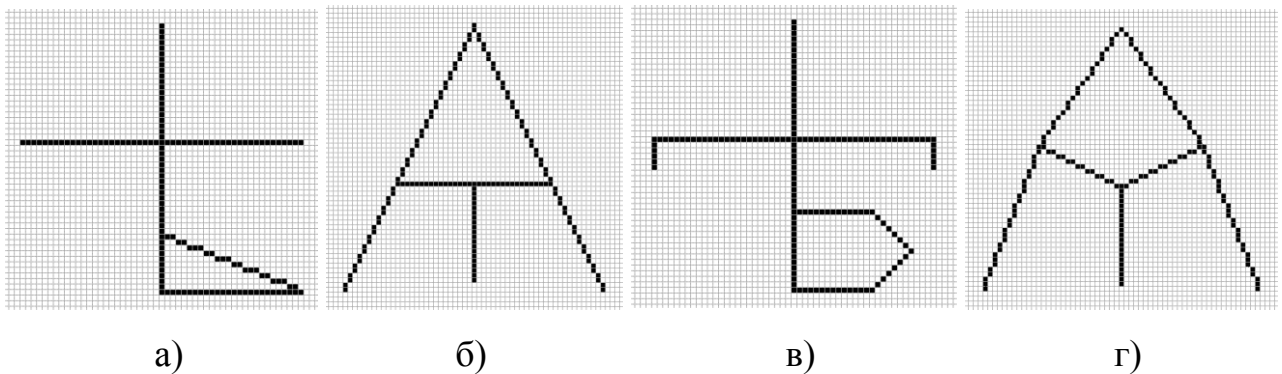


Рисунок 4.5 – Пример визуализации моделей GT-объектов, сформированных при вариации размеров ЭП и секторов: а), б) размер ЭП равен 15, размер сектора равен 7; в), г) размер ЭП равен 5, размер сектора равен 3

Как видно из рисунка 4.5, увеличение размеров элементов представления и секторов делает модель менее детализированной, в то время как уменьшение указанных параметров позволяет более точно представлять фрагменты GT-знаков, характеризуемые сохранением локально-глобального направления. Согласно пп. 3.4, 3.5, осуществляются покрытия D -знаков ЭП всех допустимых размеров при назначении каждого допустимого размера сектора.

Как отмечено ранее, в результате генерируется множество \bar{M} всех возможных моделей, сформированных вследствие полных покрытий GT-знака, что позволяет учитывать в ММ все многообразие вариативностей, присутствующих в процессе регистрации исходного изображения на основании гипотезы о способе его формирования [202 (с. 1)].

После того, как множество \bar{M} моделей сформировано, с целью их последующей классификации и распознавания осуществляется сравнение ММ, описанное в пп. 3.5, 4.3, определяется подобие моделей согласно определению 3.18. С использованием формулы (3.8) рассчитывается сравнительный коэффициент расположения для всевозможных пар моделей множества \bar{M} и для каждой из автоматически сгенерированных ММ вычисляется суммарный сравнительный коэффициент на основании определения 3.25.

Как следствие, на множестве \bar{M} моделей GT-знака выявляется П-валидная модель в смысле определения 3.26, которая отождествляется с концептом исходного изображения, сгенерированного согласно изложенной в работах [247 (с. 1), 254, (с. 3), 257 (с. 1)] и пп. 31, 4.2 настоящей диссертации гипотезе.

На рисунке 4.6 приведены примеры визуализации П-валидных моделей GT-знаков, изображенных на рисунках 4.4 б), в).

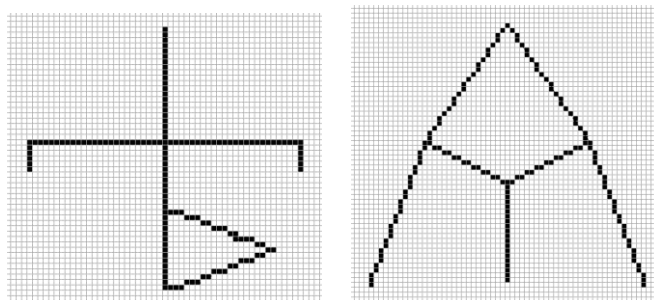


Рисунок 4.6 – Пример визуализации П-валидных моделей GT-знаков

Заметим, что результат визуализации П-валидной модели для *D*-знака на рисунке 4.4 в) совпадает с результатом визуализации модели, представленным на рисунке 4.5 г). П-валидная модель, в совокупности с определением 4.4

представления GT-знака, позволяет сформулировать правило автоматической классификации рассматриваемых D -знаков как образов бинарных РЦИ на дискретном множестве атомарных элементов. Для этого рассмотрим пару произвольных растровых цифровых изображений, к которым последовательно применены метод адаптивной бинаризации [221 (с. 1)] и информационная технология скелетизации, описанные соответственно в пп. 4.1, 4.2 настоящего Раздела. Как следствие, сгенерированы два GT-знака, обозначим их соответственно Z_{GT}' , Z_{GT}'' , и получены пары $(P(Z_{GT}'), \overline{M^{Z_{GT}'}})$, $(P(Z_{GT}''), \overline{M^{Z_{GT}''}})$, результирующие описанное выше в п. 4.3 применение информационной технологии автоматического моделирования образов растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов.

Определение 4.5. Два изображения знаков называются *принадлежащими одному классу объектов*, если для их образов Z_{GT}' , Z_{GT}'' и пар $(P(Z_{GT}'), \overline{M^{Z_{GT}'}})$, $(P(Z_{GT}''), \overline{M^{Z_{GT}''}})$, выполнено: П-валидные или репрезентативные модели GT-знаков Z_{GT}' , Z_{GT}'' подобны в смысле определения 3.18, при этом индикативные матрицы $D(Z_{GT}') \in P(Z_{GT}')$, $D(Z_{GT}'') \in P(Z_{GT}'')$ и матрицы $R(Z_{GT}') \in P(Z_{GT}')$, $R(Z_{GT}'') \in P(Z_{GT}'')$ относительных атрибутов их представлений попарно совпадают. Если по крайней мере одно из указанных условий не выполнено, рассматриваемые изображения знаков принадлежащими одному классу объектов не являются.

Предложенное определение, как и представленные в настоящем Разделе информационные технологии бинаризации, скелетизации и моделирования, является безотносительным к априорному заданию структурных элементов цифровых изображений, выявляемым в процессе его сегментации, множества производных элементов, признаков и значащих свойств. Как следствие, его реализация возможна без использования мер близости моделей объектов и субъективно-статистически назначаемых значений пороговых величин или их диапазонов, что позволяет автоматически генерировать математические модели анализируемых объектов с целью их распознавания и именованя.

Кроме того, отсутствует необходимость априорного задания классов множеств распознаваемых объектов и их имен, что позволяет решать задачу автоматической классификации и именованя изображений знаков открытых алфавитов, поставленную в п. 1.5 Раздела 1 диссертационной работы.

Рассмотрим принципы распознавания и именованя указанных изображений на основании предложенного определения 4.5 объектов, принадлежащих одному классу.

Для этого предположим, согласно [73 (с. 3)] и проведенным в пп. 1.4, 2.1 рассуждениям, что множество W имен распознаваемых изображений знаков, а также множество B их репрезентативных представителей, пусты, то есть $W = \emptyset$, $B = \emptyset$.

Тогда для произвольного растрового цифрового изображения знака некоторого алфавита осуществляется его бинаризация, утоньшение и автоматическое формирование пары $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{Gr}})$, где Z_{GT} – образ бинарного РЦИ, представленный информационной технологией генерации GT-объекта как совокупность путей на дискретном множестве атомарных элементов, $P(Z_{GT})$ – представление GT-знака Z_{GT} , $\overline{M}^{Z_{Gr}}$ – множество его моделей.

Как следует из проведенных в пп. 2, 3 рассуждений, модели множества $\overline{M}^{Z_{Gr}}$ соответствуют моделям концепта исходного изображения знака, поскольку основаны на выявлении в его образе на множестве АЭ фрагментов, характеризующих сохранением локально-глобальных направлений движений, осуществленных в процессе его генерации, следовательно, могут быть использованы для анализа и классификации РЦИ, взаимно однозначно соответствующего исходному с точностью до использованного средства ввода изображения в ЦЭВТ [211 (с. 2)].

В соответствии с этим, если с точки зрения пользователя результат визуализации П-валидной модели из множества $\overline{M}^{Z_{Gr}}$ соответствует концепту исходного изображения знака, ему присваивается имя, вносимое в изначально пустое множество W . При этом во множество B вносится пара $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{Gr}})$, являющаяся автоматически сгенерированным описанием исходного изображения,

сформулированным в терминах дискретного множества АЭ. Заметим, что между элементами множеств W и B существует взаимно однозначное соответствие, позволяющее отождествлять между собой назначенное пользователем имя изображения знака выбранного алфавита и пару $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{GT}})$, описывающую автоматически сгенерированный GT-знак как образ исходного бинарного РЦИ на дискретном множестве атомарных элементов.

Иначе, если указанный результат визуализации не позволяет пользователю отождествить его с именем исходного изображения знака, ему предоставляется результат визуализации сперва репрезентативной модели, и, в случае негативного результата, результаты последовательной визуализации подобных в смысле определения 3.18 моделей GT-знаков из множества $\overline{M}^{Z_{GT}}$. Это осуществляется с целью определения той модели, которая наиболее точно, с точки зрения пользователя, соответствует модели концепта исходного изображения согласно используемой гипотезе о способе его генерации, и позволяет осуществить ее именование с введением новых элементов во множества W и B .

В случае, если пользователь не счел возможным назвать ни один из представленных ему результатов визуализации модели именем изображения знака, осуществляется процесс повторной генерации GT-знака исходного образа бинарного РЦИ с выбором в блоке 6, представленном на рисунке 4.1, GT-объекта, отличного от изначального. После этого процедура генерации пары $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{GT}})$ и выбора модели, которой присваивается имя, повторяется до тех пор, пока именование не будет осуществлено и множества W, B в результате не пополнятся новыми элементами.

Заметим, что на практике в ходе экспериментальных исследований результатов использования предложенных методов, моделей и информационных технологий ситуация, когда пользователь не находил возможным назвать или не называл ни один из представленных ему результатов визуализации моделей GT-знаков именем исходного изображения, не возникала.

Необходимо учесть, что в случае, когда образ исходного бинарного цифрового изображения знака представлен на множестве атомарных элементов более чем

одним связным множеством ААЭ, что иллюстрируют примеры, представленные на рисунках 4.3, а), е), для каждого из GT-объектов, сгенерированных описанной в п. 4.2 информационной технологией скелетизации [201 (с. 4)], автоматически формируются пары $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$. Пользователю для именованья в таком случае предъявляются результаты визуализации моделей каждого из указанных GT-знаков. При этом одному имени, назначенному пользователем и вносимому во множество W , соответствует более одной пары $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$, добавляемой во множество B . Количество таких пар, очевидно, равно числу связных подмножеств ААЭ, являющихся образом исходного знака изображения на дискретном множестве атомарных элементов.

Таким образом, формирование множеств W и B соответственно имен и репрезентативных представителей классов распознаваемых изображений знаков осуществляется не априорно на основании данных, полученных статистически на этапе проектирования системы распознавания, а в результате реализации описанных процессов автоматической обработки, моделирования и анализа образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов, представленных в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, с последующим формированием самих алфавитов пользователем.

В случае, когда множества W и B не пусты и содержат элементы, результирующие описанные выше процессы именованья, для произвольного бинарного РЦИ генерируется GT-объект Z_{GT} , и формируется пара $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$ (или, в случае необходимости, несколько пар [197, 210]). После этого во множестве B репрезентативных представителей классов распознаваемых объектов осуществляется поиск элемента $(P(Z_{GT}^*), \overline{M^{Z_{GT}^*}})$ такого, что для образов Z_{GT} , Z_{GT}^* и указанных пар выполнены условия из определения 4.5, в соответствии с которым исходное изображение знака является принадлежащим тому же классу объектов, что и изображение-прообраз GT-знака Z_{GT}^* . На этом основании рассматриваемое бинарное РЦИ автоматически именуется именем из множества W , взаимно однозначно соответствующим найденному элементу $(P(Z_{GT}^*), \overline{M^{Z_{GT}^*}}) \in B$.

В противном случае, если для анализируемого GT-знака Z_{GT} во множестве B отыскать соответствующий элемент не удалось, осуществляется процедура именованя пользователем образа изображения знака с последующим внесением новых элементов во множества W и B .

Таким образом, разработана информационная технология распознавания образов растровых цифровых изображений знаков, не предполагающая необходимости априорного задания множеств имен и репрезентативных представителей классов объектов, структурных элементов моделей, значащих признаков или непроеизводных элементов, что позволяет ее использовать для автоматического именованя изображений знаков открытых алфавитов.

Совокупность описанных в пп. 4.1-4.4 ИТ позволяет на основании этого рассмотреть общую схему обработки, моделирования, анализа, именованя и распознавания произвольных РЦИ, принадлежащих классам объектов, не определенным заранее на этапе проектирования системы обработки и приведения к редактируемому формату сканированных документов электронных информационных ресурсов.

4.5 Структура комплекса информационных технологий автоматического анализа, моделирования, именованя и распознавания растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов

Согласно постановке задачи исследования, представленной в п. 1.5 диссертационной работы, на основании предложенных в п. 2 основных теоретических положений разработан метод автоматического моделирования остовов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов, изложенный в Разделе 3. Как следствие, в настоящем Разделе ранее описаны информационные технологии бинаризации, утоньшения, автоматической генерации математических моделей,

именования и распознавания сканированных документов электронных информационных ресурсов. В итоге сформирован комплекс перечисленных ИТ, схема которого представлена на рисунке 4.7.

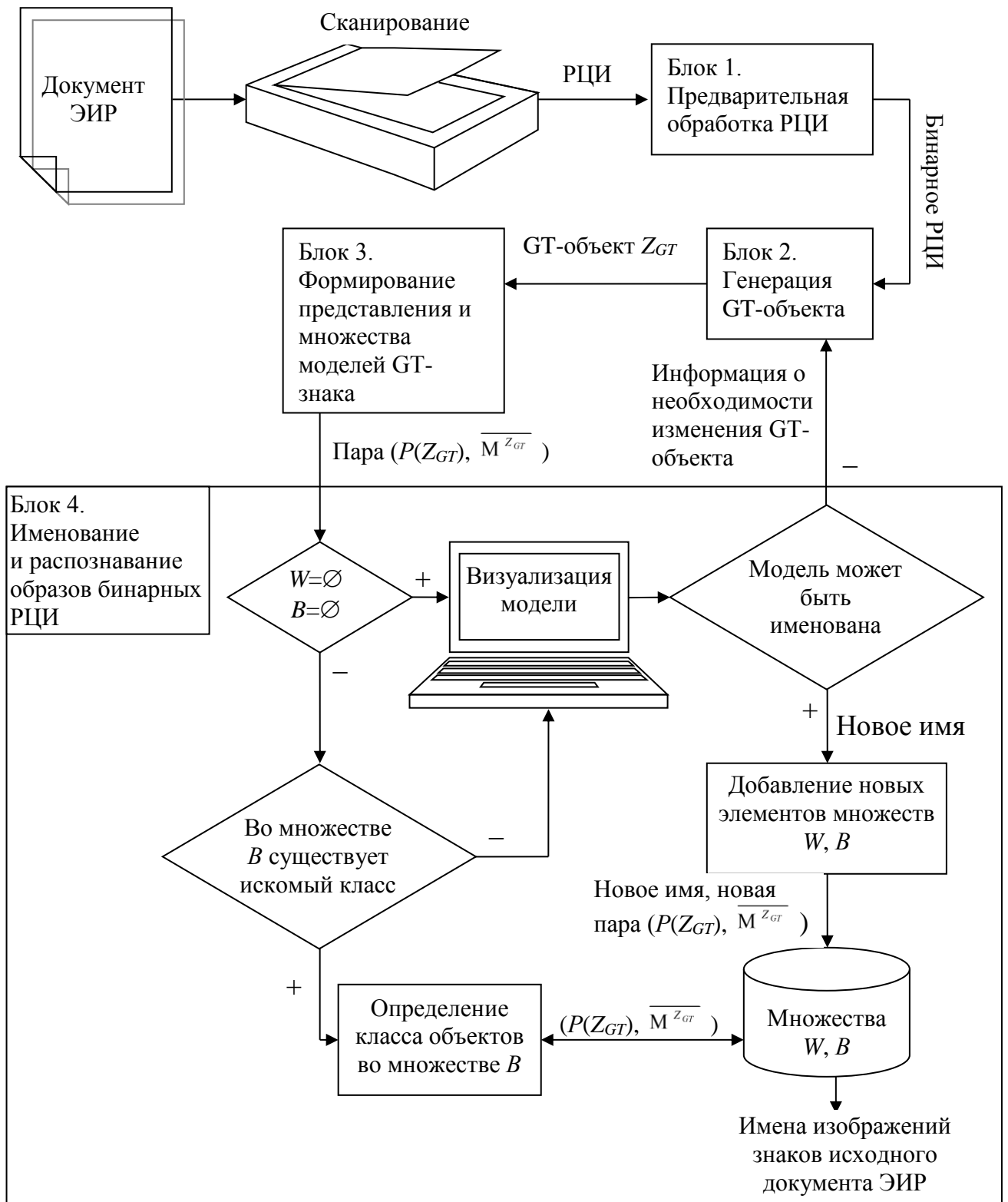


Рисунок 4.7 – Функциональная блок-схема разработанного комплекса информационных технологий

В ходе разработки комплекса ИТ определены основные форматы, блоки и этапы представления, обработки и анализа растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов.

Исходным объектом на представленной схеме является документ ЭИР, содержащий изображения знаков некоторых алфавитов, примеры которых приведены в пп. 1, 2 диссертационной работы и Приложениях Б-Г к ней. Ввод документа и его преобразование в формат, допускающий последующую обработку с использованием ЦЭВТ, осуществляется опосредованно неким периферийным устройством ввода, в качестве которого наиболее часто используют сканер, что отражено на рисунке 4.7. Вследствие анализа наиболее востребованных моделей сканирующих средств, было выбрано многофункциональное устройство Samsung SCX-4220 по критерию соотношений его цены и качества. Для проведения исследований, как отмечалось в п. 4.1, в качестве параметров сканирующего устройства были выбраны установки, рекомендуемые производителем.

Разрешение сканирования устанавливалось равным 300 dpi, что соответствует общепринятым стандартам при формировании цифровых копий документов ЭИР [117 (с. 1), 118 (с. 1)] и позволяет достичь наилучшего соотношения качества результатов сканирования и объема файлов для хранения полученных РЦИ [111 (с. 12), 112 (с. 6)].

В результате формируется растровое цифровое изображение, подлежащее, как правило, последующей предварительной обработке с целью снижения уровня шума, повышения или снижения уровня яркости, увеличения контрастности, бинаризации и изменения иных параметров РЦИ [293, 294]. Процесс предобработки цифрового изображения осуществляется Блоком 1, представленным на рисунке 4.7, и предполагает применение к обрабатываемому РЦИ метода адаптивной бинаризации. Обоснование выбора метода и его краткое описание приведены в п. 4.1 настоящего раздела. Заметим, что кроме бинаризации иные виды предварительной обработки не проводились. Это обусловлено тем, что как выбор средств и методов изменения параметров цифровых изображений

определяется пользователями исходя как из личных предпочтений, так и из специфики решаемой задачи обработки сканированных копий документов, физического состояния исходного документа ЭИР и прочих аспектов. Как следствие, проводился анализ целесообразности применения разработанных методов, моделей и информационных технологий безотносительно к перечисленным факторам. Задача снижения шума на РЦИ также не рассматривались по причинам того, что, во-первых, само понятие «шум» определено условно и однозначного установления соотношения «полезный сигнал» - «шум» в настоящее время не установлено. Во вторых, на последующем этапе скелетизации цифровых изображений знаков те их фрагменты, относительно которых невозможно сгенерировать остова, удаляются из дальнейшего рассмотрения и не подлежат анализу как незначимые с точки зрения гипотезы о способе формирования изображений.

Бинарное РЦИ передается Блоку 2, приведенному на рисунке 4.7, где осуществляется процесс генерации GT-объектов для каждого из связанных активных атомарных элементов, выявленных на дискретном образе цифрового изображения. Кроме того, как отмечено ранее, в данном блоке исключаются из последующей обработки фрагменты цифровых изображений, для которых сформировать образы порождающих траекторий не представляется возможным, что является своего рода фильтрацией [92 (с. 28)], направленной на выявление значимых с точки зрения последующих процессов моделирования, классификации, распознавания и именования.

Каждый из сгенерированных GT-объектов Z_{GT} передается представленному на рисунке 4.7 Блоку 3, в котором на основании методов и информационных технологий, изложенных в пп. 2, 3, а также п. 4.3 настоящей работы, формируются представления GT-знаков и множества их ММ, образующие пары $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{GT}})$. Подчеркнем, что моделирование осуществляется автоматически и не предполагает априорного задания множеств эталонов, признаков, непроектируемых элементов, мер близости, пороговых констант и прочих атрибутов, что делает процесс анализа образов цифровых изображений независимым от предварительно установленных

субъективно-статистических значений, параметров и объектов, а, следовательно, позволяет формировать ММ произвольных знаков без привязки к конкретному алфавиту.

Пары $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{GT}})$, сформированные для каждого из полученных GT-знаков Z_{GT} , являются основой для осуществления процессов анализа, именования, классификации и распознавания в представленном на рисунке 4.7 Блоке 4. Его функционирование начинается с проверки того, являются ли множества W имен распознаваемых объектов или их классов и B – моделей репрезентативных представителей пустыми, или уже содержат в себе элементы, определенные на предыдущих этапах анализа и именования.

Если указанные множества пусты, это означает, что пользователем еще не назначено ни одного имени сформированным на предыдущих этапах образом изображений знаков, присутствующих в исходном документе ЭИР. На этом основании осуществляется визуализация моделей каждого GT-знака, содержащихся во множестве $\overline{M}^{Z_{GT}}$.

Если пользователь вследствие анализа результатов визуализации признает модель соответствующей модели концепта исходного изображения знака согласно гипотезе о способе его формирования, им назначается имя, присваиваемое как образу, так и породившему его фрагменту РЦИ. Указанное имя становится элементом множества W , а соответствующая ему пара $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{GT}})$ – элементом множества B .

Возможен случай, когда вследствие анализа результатов визуализации моделей множества $\overline{M}^{Z_{GT}}$ пользователь не сможет поименовать ни один из них. В силу того, что указанное множество ММ генерируется автоматически для всех возможных значений размеров элементов покрытия и их секторов, возникновение подобной ситуации возможно вследствие некорректного формирования GT-объекта исходного цифрового изображения знака. Тогда Блок 2 на рисунке 4.7 должен реализовать повторный этап генерации GT-знака, отличного от предыдущего, для которого результаты именования оказались

неудовлетворительными. Соответствующее сообщение передается Блоком 4 Блока 2 в случае возникновения описанной ситуации, что показано на рисунке 4.7.

Если множества W и B не пусты и содержат заданные пользователем имена и соответствующие им модели репрезентативных представителей классов объектов, осуществляется процедура автоматической классификации образов изображений знаков, которая предполагает, согласно описанной в п. 4.4 ИТ, выявление для произвольного GT-знака Z_{GT} и соответствующей ему пары $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$ во множестве B осуществляется поиск такой пары $(P(\overline{M^{Z_{GT}}}), \overline{M^{Z_{GT}}})$, анализ элементов которой позволяет сделать вывод о принадлежности GT-знаков Z_{GT} и $\overline{M^{Z_{GT}}}$ одному классу. Если такая пара во множестве B найдена, GT-знаку Z_{GT} присваивается имя GT-знака $\overline{M^{Z_{GT}}}$, заданное ранее пользователем и являющееся элементом множества W , взаимно однозначно соответствующим выявленной паре $(P(\overline{M^{Z_{GT}}}), \overline{M^{Z_{GT}}}) \in B$.

В противном случае, если во множестве B не обнаружено ни одного объекта, позволяющего установить принадлежность GT-знака Z_{GT} одному из поименованных пользователем классов распознаваемых объектов и, как следствие, автоматически присвоить ему соответствующее имя из множества W , вновь реализуется процедура визуализации моделей множества $\overline{M^{Z_{GT}}}$ и пользовательского анализа полученных результатов, описанная выше на этапе формирования множеств W и B и отображенная на рисунке 4.7.

Если пользователь признает результаты визуализации моделей адекватными моделям концепта исходного изображения знака согласно гипотезе [201, (с. 1)], соответствующее имя из некоторого используемого алфавита присваивается анализируемому GT-знаку Z_{GT} , и становится новым элементом множества W имен классов распознаваемых объектов.

При этом во множестве B размещается новая пара $(P(Z_{GT}), \overline{M^{Z_{GT}}})$, взаимно однозначно соответствующая вновь назначенному имени. В противном случае, как это отмечалось ранее, требуется коррекция GT-объекта Блоком 2 на рисунке 4.7, о чем соответствующая информация передается Блоком 4.

Выходной информацией Блока 4 и всего комплекса информационных технологий, представленного на рисунке 4.7, является множество назначенных пользователем имен изображений знаков используемых алфавитов, указанных в автоматическом режиме вследствие формирования GT-объектов, их представлений и множеств ММ для каждого из связанных множеств активных атомарных элементов, выявленных на дискретном образе бинарного цифрового изображения множества знаков используемых алфавитов сканированного документа электронных информационных ресурсов.

Согласно постановке задачи исследования, представленной в п. 1.5, была проведена апробация разработанных методов и информационных технологий на экзаменационной выборке документов электронных информационных ресурсов, описанной в п. 1.2 диссертационной работы, и сравнение полученных результатов распознавания с результатами работы современных систем преобразования сканированных документов в редактируемый формат.

В следующем разделе представлены результаты проведенных экспериментальных исследований использования разработанных методов, моделей и информационных технологий автоматического моделирования, классификации, распознавания и именования изображений знаков открытых алфавитов, а также обоснованы перспективные направления исследований.

4.6 Выводы по разделу 4

1. В разделе проведен обзор и критический анализ современных методов и алгоритмов бинаризации цифровых изображений. Представлено обоснование выбора метода адаптивной бинаризации в качестве компонента разрабатываемого комплекса информационных технологий с целью предварительной обработки растровых цифровых

изображений знаков открытых алфавитов с их последующим представлением GT-знаками и осуществления процессов моделирования, классификации, распознавания и именования.

2. Описаны основные стадии формирования объектов исследования в разработанном методе автоматического моделирования остовов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов.

3. Представлена функциональная блок-схема информационной технологии генерации GT-объекта и описание каждого из блоков, задействованных при обработке бинарных РЦИ с целью построения D-знака, адекватно соответствующего исходной модели концепта прообраза изображения.

4. Описаны этапы информационной технологии автоматического моделирования остовов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов для отдельного GT-объекта.

5. Определены основные характеристики структурных элементов D-знака, которые автоматически выявляются в процессе формирования моделей, с тем, чтобы представить подсистеме распознавания, классификации и именования наиболее полную информацию о конфигурации и конструктивных особенностях анализируемого объекта.

6. Представлены информационные технологии классификации и распознавания зрительных объектов применительно к задаче автоматического именования цифровых изображений знаков открытых алфавитов, образы которых подлежат автоматическому моделированию и анализу на дискретном множестве атомарных элементов.

7. Определены способы автоматизированного именования D-знаков именами произвольного пользовательского алфавита вследствие

анализа сформированных в автоматическом режиме математических моделей образов распознаваемых объектов.

8. Представлена функциональная блок-схема комплекса информационных технологий автоматического анализа, моделирования, классификации, распознавания и именования растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов сканированных документов электронных информационных ресурсов.

9. Описана структура разработанного комплекса информационных технологий, определены функции используемых блоков и логические структуры данных, используемых при реализации этапов бинаризации, формирования GT-объекта, генерации математических моделей D-знаков, осуществлении процессов распознавания, классификации и именования растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов в задачах анализа сканированных документов ЭИР.

РАЗДЕЛ 5

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДОВ, МОДЕЛЕЙ И
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ
РАСПОЗНАВАНИЯ И ИМЕНОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗНАКОВ ОТКРЫТЫХ
АЛФАВИТОВ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Перечень задач диссертационного исследования, приведенный в п. 1.5 Раздела 1 настоящей работы предполагает, в частности, апробацию разработанных методов и информационных технологий на экзаменационной выборке документов электронных информационных ресурсов, описанной в п. 1.2, и сравнения полученных результатов распознавания с результатами работы OCR-систем, приведенными в таблицах 1.1-1.3. В соответствии с этим, подраздел 5.1 посвящен анализу результатов проведенных экспериментальных исследований использования разработанных методов, моделей и информационных технологий для автоматического распознавания, классификации и именования растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов. В подразделе 5.2 на основании проведенного анализа полученных результатов определены и обоснованы перспективные направления исследований в области автоматизации аналитической обработки сканированных документов различных электронных информационных ресурсов.

5.1 Анализ результатов апробации разработанных методов, моделей и информационных технологий автоматизации процессов приведения сканированных копий документов к редактируемому формату

Согласно поставленной в п. 1.5 задаче исследования диссертационной работы с целью определения достоинств и недостатков была проведена апробация

разработанных методов и информационных технологий на экзаменационной выборке документов электронных информационных ресурсов, описанной в п. 1.2. В выборке использовались сканированные документы библиотечных, архивных и музейных ресурсов, содержащие знаки множества алфавитов [160 (с. 14), 161 (с. 22)] и языков [131 (с. 3), 134 (с. 8)], включая химические, физические, биологические и другие. Следует заметить, что часть информации также представлена в виде таблиц, графиков, диаграмм и прочих структур отображения данных. Примеры указанных документов приведены в Приложении Б.

Экзаменационная выборка также включала в себя документы промышленного предприятия, содержащие различные формы представления информации, обрабатываемой и анализируемой в СЭД. В Приложении В представлены примеры промышленной документации предприятия.

Кроме перечисленных, были также проанализированы документы ЭИР, используемые в конструкторских и проектных бюро, в которых присутствуют как стандартизованные знаки фиксированных алфавитов, так и рукописные пометки, замечания, комментарии к представленной информации, что иллюстрирую примеры, приведенные в Приложении Г к настоящей работе.

Всего экспериментальная выборка состояла из 186 страниц документов, содержащих 39858 знаков 11 алфавитов, что позволяет сделать вывод о ее представительности [295] и объективно оценить качество и эффективность использования предложенных в данной работе методов, моделей и информационных технологий для обработки растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов с целью приведения обрабатываемых документов ЭИР к редактируемому формату.

Единственным требованием, предъявляемым к качеству обрабатываемых документов, являлась возможность различения и именования пользователем содержащихся в них изображений знаков, наделенных неким фиксированным семантическим смыслом в рамках, используемых в документе алфавитов. Данное требование обусловлено необходимостью последующего автоматизированного и автоматического именования визуализированных моделей образов бинарных РЦИ

знаков на этапе распознавания, описанном в пп. 4.4, 4.5 Раздела 4 диссертационной работы.

Сканирование страниц документов осуществлялось многофункциональным устройством Samsung SCX-4220, выбор которого в качестве периферийного средства ввода видеоинформации в ЦЭВТ обоснован в п. 4.5 настоящей работы, в автоматизированном режиме. Разрешение сканирования было установлено равным 300 dpi, что соответствует общепринятым стандартам для ввода электронных копий документов, подлежащих анализу с целью распознавания и приведения к редактируемому формату. Для определения прочих параметров сканирования, таких, как яркость, контрастность, баланс белого и прочих, использовались рекомендуемые предварительные установки, заданные разработчиками и производителями аппаратного и программного обеспечения как стандартизированные.

Кроме сканера, для проведения экспериментов по апробации полученных результатов диссертационной работы использовались монитор Asus VH196D с установленным разрешением 1440×900 и параметрами, рекомендуемыми производителем устройства; персональный компьютер Intel (R) Celeron (R) CPU E1400 @ 2.00 GHz 2.00 GHz с установленной на нем 32-разрядной операционной системой Windows 7 Ultimate (Service Pack 1). Видеоадаптер Intel (R) G33/G31 Express Chipset Family.

Программа, реализующая комплекс информационных технологий, представленный на рисунке 4.7, спроектирована в визуальной среде программирования приложений Borland Delphi 7.0 с использованием стандартных элементов интерфейса.

Следует отметить, что выбор монитора, ЦЭВТ и их параметров обусловлен имеющейся аппаратной базой организации, в которой выполнена диссертация (ГОУВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»), использованной для проведения исследований и описываемой апробации полученных результатов. Как следствие, указанный выбор не ограничивает общности проводимых рассуждений, полученных результатов и выводов, поскольку не влияет на качество

результатов визуализации ММ, представленных совокупностями D -отрезков, генерируемых стандартными графическими средствами и алгоритмами программного обеспечения и операционной системы.

Сканированные электронные копии документов ЭИР экзаменационной выборки, согласно представленной на рисунке 4.7 схеме комплекса информационных технологий проходили этап предварительной обработки с использованием метода адаптивной бинаризации, описанного в работах [220 (с. 1), 221 (с. 3)], выбор которого обоснован в п. 4.1 настоящей диссертации.

Как отмечено в п. 4.5, дополнительная постобработка, например, в виде фильтрации полученных результатов бинаризации не проводилась, поскольку могла внести искажение в сформированные РЦИ. Согласно [221 (с. 1)] и проведенным практическим исследованиям в рамках описываемой апробации результатов диссертационной работы, выбранный метод адаптивной бинаризации позволяет достоверно выделять границы объектов даже при условии, что часть границы может быть размыта и находится вне фокуса.

Далее сканированная копия обрабатываемой страницы документа экзаменационной выборки подлежала анализу в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, при этом пиксели исходного РЦИ, которым на предшествующем этапе бинаризации было присвоено значение «1», отождествлялись с активными АЭ, остальные (пиксели фона с присвоенным им значение, равным нулю) – с пассивными АЭ согласно проведенным в пп. 1.2, 1.4, 2.1 работы рассуждениями.

После этого для каждого из выявленных максимальных по мощности связных подмножеств ААЭ автоматически генерировался GT-объект согласно представленной на рисунке 4.7 схеме на основании описанной в п. 4.2 ИТ скелетизации образов бинарных РЦИ знаков, представленных на множестве АЭ.

Каждому из указанных GT-объектов, обозначенных в работе Z_{GT} , вследствие его автоматического моделирования изложенным в п. 3 методом ставилась в соответствие пара $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{GT}})$, состоящая из представления и множества ММ

локального объекта исследования, определенная в рамках п. 4.3 диссертационной работы.

Множество указанных пар, сгенерированных для дискретных образов каждого из присутствующих на сканированной копии документа изображения знака, представляет собой исходные данные для их последующего именованья, классификации и распознавания в рамках ИТ, описанной в п. 4.5 данной работы.

Вследствие предъявления пользователю совокупностей D -отрезков как результатов визуализации ММ GT-знаков опосредованно периферийным устройством вывода (в качестве такового, как отмечено ранее, использовался монитор Asus VH196D с рекомендуемым производителем устройства установленным разрешением 1440×900) осуществляется автоматизированное формирование множества W имен изображений знаков, присутствующих на исходном документе из экспериментальной выборки, и множества B моделей образов их репрезентативных представителей, описанное в п. 4.4 диссертации.

После того, как результат визуализации ММ GT-знака Z_{GT} дискретного образа изображения некоторого знака был именован пользователем, его имя и соответствующая ему пара $(P(Z_{GT}), \overline{M}^{Z_{GT}})$ добавлены во указанные множества W и B , предполагается, что тем самым задан класс объектов, подлежащих распознаванию и именованию.

Имена классов распознаваемых цифровых изображений знаков используемых алфавитов отождествляются с элементами множеств W и B , между которыми, согласно п. 4.4, установлено взаимно однозначное соответствие.

Последующие процессы распознавания и именованья изображений знаков, принадлежащих к одному из уже заданных классов объектов, осуществляются автоматически на основании ИТ, предложенных в пп. 4.4, 4.5 данной диссертации.

Проведенные исследования в ходе апробации результатов использования разработанных методов, моделей и информационных технологий автоматического распознавания и именованья изображений знаков открытых алфавитов из использованной экзаменационной выборки документов ЭИР позволили установить, что значение точности распознавания, рассчитанное по приведенной в

п. 1 формуле (1.1), для реализованного комплекса ИТ из п. 4.5 составило в среднем 96,47 %, при этом количества допущенных ошибок первого и второго рода в процентном отношении составили 1,35 % и 1,07 % соответственно. Не распознанные в ходе эксперимента знаки составили 1,11 %. В таблице 5.1 представлены количественные показатели проведенной апробации комплекса ИТ на той же выборке, которая использовалась для определения качества функционирования современных OCR-систем в п. 1.2 настоящей работы.

Таблица 5.1 – Результаты апробации комплекса информационных технологий автоматического моделирования, классификации и именования изображений знаков алфавитов экспериментальной выборки

№ п/п	Алфавит	Сфера использования	К-во знаков в экзамен. выборке	К-во верно расп. знаков	К-во ошибок 1-го рода	К-во ошибок 2-го рода	К-во нерасп. знаков
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Цифры и матем. символы	АБИС, ЭАД, СЭД	4182	4035	56	45	46
2.	Химические символы	АБИС, ЭАД, СЭД	3783	3649	51	40	43
3.	Старославянский	АБИС, ЭАД	1434	1383	19	15	17
4.	Новая глаголица	АБИС, ЭАД	3381	3262	46	36	37
5.	Старая глаголица	АБИС, ЭАД	987	952	13	11	11
6.	Русский (печ.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	4677	4512	63	50	52
7.	Русский (рукоп.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	1536	1482	21	16	17
8.	Английский (печ.)	АБИС, ЭАД, САПР	5205	5021	70	56	58
9.	Английский (рукоп.)	АБИС, ЭАД, САПР	2271	2191	31	24	25
10.	Украинский (печ.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	9363	9032	126	100	105
11.	Украинский (рукоп.)	АБИС, СЭД, ЭАД, САПР	3039	2932	41	32	34

Из полученных результатов следует, что практическое применение предложенных в работе теоретических положений, методов, моделей и

информационных технологий к решению задач приведения к редактируемому формату сканированных документов электронных информационных ресурсов позволяет повысить точность распознавания изображений знаков на 8,13 % по сравнению с системой ABBYY FineReader 12 Professional Edition в случае, если для нее были проведены шесть тактов обучения, и на 32,62 % в случае, если предварительного обучения указанной системы не проводилось.

Аналогично, уменьшение количеств ошибок первого рода от 1,54 % до 2,55 %, ошибок второго рода от 4,05 % до 16,64 %, и количества нераспознанных объектов от 2,49 % до 13,73 % соответственно после и до процедур обучения, позволяют сделать вывод о большей эффективности разработанного в работе комплекса ИТ по сравнению с системой ABBYY FineReader 12 Professional Edition, показавшей наилучшие значения точности распознавания, представленные в таблицах 1.1-1.3 п. 1.2. Полученные показатели увеличения точности и снижения количеств ошибок первого и второго рода, а также нераспознанных объектов, обосновывают практическую значимость полученных в процессе диссертационного исследования результатов. Показатели увеличения точности и снижения количеств ошибок первого и второго рода, а также нераспознанных объектов, обосновывают практическую значимость полученных в процессе диссертационного исследования результатов.

Однако, в ходе эксперимента было установлено, что при моделировании, анализе, классификации и распознавания знаки, изображения которых представлены на рисунке 5.1, не всегда автоматически классифицировались верно. Анализ изображений знаков и их моделей, сформированных в автоматическом режиме согласно предложенному в разделе 3 методу, показал, что причиной наличия ошибок первого и второго рода, а также нераспознанных в ходе эксперимента являются образы бинарных РЦИ, содержащих надточия, отточия и прочие элементы, генерация которых осуществлялась устройством фиксации следа таким образом, что в анализируемых дискретных образах указанных знаков установить образ порождающей траектории не представляется возможным.



Рисунок 5.1 – Примеры изображений знаков, именование которых обусловило снижение точности показателей распознавания комплексом ИТ

Как следствие, для таких объектов GT-объект представляет собой не путь как упорядоченную последовательность связей, а единственный АЭ, представить которой в виде множества моделей, определенного в п. 3, невозможно.

В остальных случаях, для образов бинарных растровых цифровых изображений знаков, каждому фрагменту которых может быть поставлен в соответствие GT-объект на множестве атомарных элементов, моделирование, именование, классификация и распознавание осуществлялись безошибочно, что подтверждается приведенными показателями точности распознавания.

Таким образом, разработанные модели, методы и информационные технологии являются искомым инструментарием повышения качества и эффективности систем распознавания зрительных образов, включенных в контур современных систем электронного документооборота. Возможность работы с изображениями знаков открытых алфавитов предопределяет целесообразность применения разработанного комплекса ИТ в широкой сфере деятельности, связанной с обработкой сканированной документации.

На основании проведенных рассуждений рассмотрим перспективные направления исследований по развитию и усовершенствованию разработанных методов, моделей и информационных технологий, направленные на повышение точности распознавания, снижение количества ошибок и нераспознанных объектов, а также расширение спектра возможностей предложенных средств на отрасли, предполагающие необходимость анализа цифровых изображений, отличных от рассмотренных ранее в данной работе.

5.2 Перспективные направления исследований по автоматическому моделированию, именованию и распознаванию растровых изображений

На основании проведенного анализа представленных в п. 5.1 качественных результатов апробации диссертационной работы определены и обоснованы перспективные направления исследований по усовершенствованию предложенных в настоящей работе методов и информационных технологий аналитической обработки документов электронных информационных ресурсов различных отраслей профессиональной деятельности специалистов, с повышением показателей точности распознавания. Как следствие, их реализация позволит модернизировать существующие и разработать новые методы и подходы к индексации, систематизации, каталогизации разнообразных информационных ресурсов; снизить загрузку каналов связи за счет отказа от необходимости пересылки больших объемов графической информации; облегчить решение задач по защите авторских и смежных прав; обеспечить возможность своевременного получения специалистами актуальных данных; предоставить доступ широкому кругу пользователей к информации с соблюдением прав и иерархий доступа; уменьшить затраты на обслуживание, обработку и хранение бумажных документов.

Однако, выявленным недостатком предложенных методов и информационных технологий является их невосприимчивость к фрагментам изображений знаков, образы которых на множестве атомарных элементов не могут быть представлены в виде GT-объекта, моделирующего элемент траектории движения регистрирующей части устройства фиксации следа в процессе генерации прообраза изображения. Примеры таких бинарных РЦИ представлены на рисунке 5.1.

Как следствие, одной из актуальных задач по модернизации и усовершенствованию полученных в настоящей работе теоретических и прикладных результатов является разработка методов и ИТ моделирования

изображений знаков открытых алфавитов, предполагающих анализ не только GT-знаков как образов объектов исследования, заданных в терминах свойств дискретного множества, но также и границ образующих GT-объектов [231].

Согласно [228 (с. 4)], образующая GT-объекта – это результат восстановления образа исходного объекта скелетизации вследствие его утоньшения с учетом определенных значений локальной толщины [226 (с. 2)] *D*-знака. На рисунке 5.2 приведены примеры исходных бинарных РЦИ (а, б), их GT-объектов (в, г) и границ образующих (д, е).

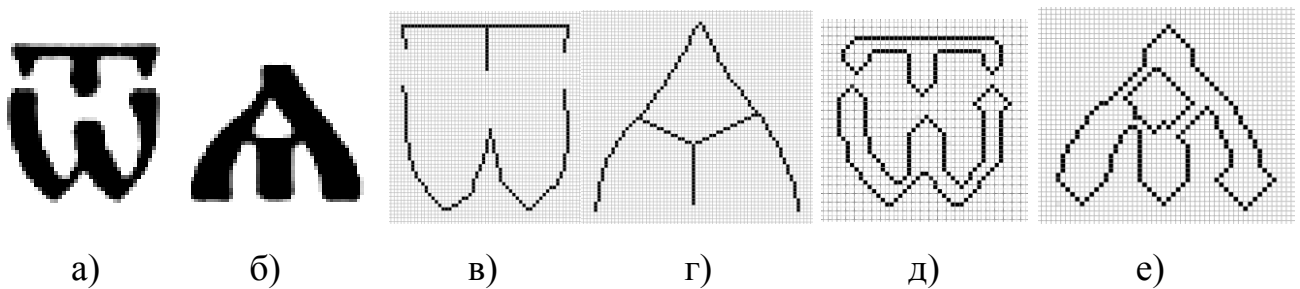


Рисунок 5.2 – Исходные бинарные РЦИ (а, б), их GT-объекты (в, г) и границы образующих (д, е)

На основании проведенных рассуждений, рассмотрим представленные на рисунке 5.3 границы образующих GT-объектов образов изображений знаков с рисунка 5.1, которые предложенным в п. 4.5 Раздела 4 диссертационной работы комплексом информационных технологий не всегда подлежали корректному автоматическому моделированию и именованию, что послужило причиной снижения точности распознавания, показанной в п. 5.1.

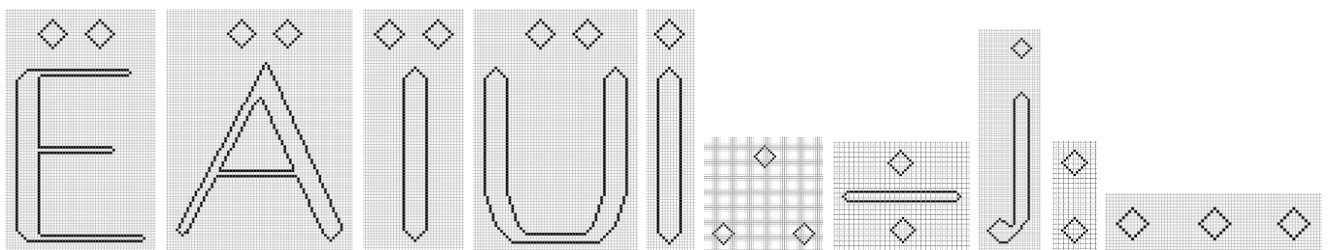


Рисунок 5.3 – Границы образующих GT-объектов изображений знаков, представленных на рисунке 5.1

Очевидно, что границы каждой образующей GT-объекта, изображенной на рисунке 5.3, является замкнутым путем, однозначно представимы в виде объединений кратчайших путей. Из этого следует, что к ним применим метод моделирования, представленный в Разделе 3 диссертационной работы.

Таким образом, одним из основных направлений усовершенствования методов и ИТ, предложенных в настоящем исследовании, является разработка подходов и информационных технологий автоматического анализа, описания, классификации и распознавания образующих GT-объектов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов в терминах свойств множеств атомарных элементов, что позволит повысить точность распознавания и сделает комплекс ИТ универсальным средством преобразования сканированных копий документов электронных информационных ресурсов СЭД к редактируемому формату.

Также с целью снижения мощности множества \bar{M} моделей, генерируемых согласно изложенным в Разделе 3 методом для обрабатываемых GT-объектов с целью последующего именованья, классификации и распознавания их прообразов, возможно использование методологии построения валидных моделей на основании использования теории меры неопределенности и множеств минимальной меры неопределенности, изложенной в работах [195, (с. 3), 197 (с. 1)]. Однако реализация данного подхода предполагает необходимость определения перечисленных понятий в терминах дискретного множества атомарных элементов для основных измеримых характеристик кратчайших путей и D -отрезков, введенных в Разделе 2 настоящего диссертационного исследования.

Использование полученных в рамках данного перспективного направления результатов исследований позволит повысить показатели быстродействия и надежности процессов именованья и классификации изображений знаков открытых алфавитов за счет применения многоуровневого представления фрагментов GT-знаков, характеризуемых сохранением локально-глобального направления движения.

Перспективной представляется модификация разработанных методов, моделей и информационных технологий для автоматического анализа, классификации и именованя зашумленных изображений [164, (с. 19)], например, при исследовании траекторий движения заряженных элементарных частиц, зарегистрированных камерой Вильсона [296], что показано на рисунке 5.4.

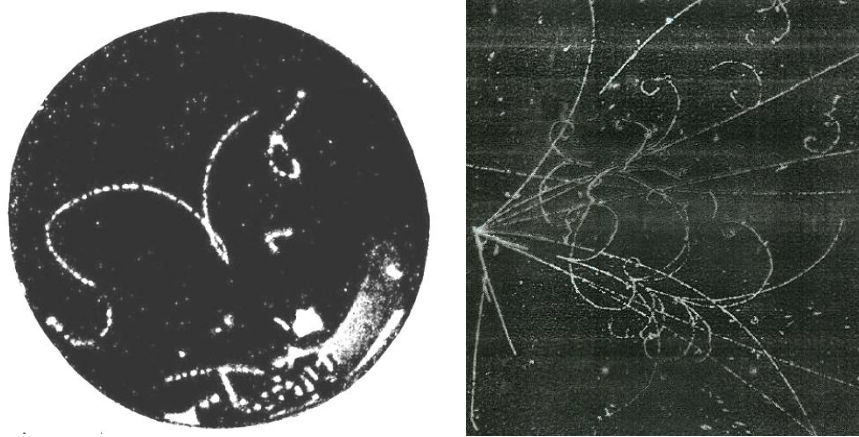


Рисунок 5.4 – Следы заряженных элементарных частиц в камере Вильсона

Выявление траектории движения электрона как следа движения является задачей формирования GT-объекта, а ее анализ – задачей распознавания, но зашумленность как регистрируемого следа движения, так и фона, не позволяет непосредственно применять предложенные в работе методы и ИТ.

Развитие теоретических и прикладных результатов диссертации для обработки образов изображений, заданных объемными моделями, позволит применить полученные результаты в медицине, в частности, для проведения высокоточных операций [297, 298].

При геолого-геофизическом районировании, обработке многоуровневых геофизических наблюдений актуальны задачи разведочной геофизики, в которых требуется выделить геологический объект по информации о параметрах полей, которые им индуцируются [299, 300]. Для их решения традиционно используют методы распознавания образов. Существует множество алгоритмов распознавания по данным комплексных геолого-геофизических наблюдений, в которых решение задачи коротко сводится к следующему. Первоначально проводится обучение на

эталонных объектах по ряду геолого-геофизических признаков с целью оценки тех или иных параметров признаков. Затем по имеющейся информации о значениях параметров признаков в каждой точке площади исследования делается вывод о принадлежности точки к эталонному объекту.

Авторами [300 (с. 5)] отмечается, что этап обучения на эталонных объектах является одним из самых уязвимых мест рассматриваемых методов распознавания. Многообразие геолого-геофизической информации, обусловленное изменением геологического строения в пределах даже одной площади, влияние различного рода помех очень часто не позволяют использовать результаты обучения на эталонных объектах для решения задач распознавания на других площадях со сходным геологическим строением.

В соответствии с этим, модификация предложенных в диссертации методом и ИТ к решению задач разведочной геофизики является одним из актуальных направлений исследования.

Методы распознавания образов находят применение и в конкретных социально-правовых исследованиях [301, 302, 303, 304]. Так, одной из центральных проблем криминалистики и судебной экспертизы является проблема идентификации, т.е. отождествление объектов криминалистического исследования – отпечатков пальцев, следов, почерка и т.д. Теория идентификации, основанная на количественном и качественном подходах, описывает порядок и процедуры установления тождества. Процесс криминалистической идентификации при этом трактуется как распознавание образов. В качестве примера рассмотрим идентификацию почерков объектов, в рамках которой почерк определенного человека представляет собой пример образа (класса), элементами которого является любая подпись, сделанная рукой этого человека [304 (с. 2)]. Также актуальной криминалистической задачей является дифференциация сходных почерков, которая, как и многие другие задачи экспертизы, может успешно решаться на основе применения методов и ИТ распознавания образов, в том числе, предложенных в данной диссертационной работе.

В настоящей диссертационной работе рассмотрены методы генерации и использования моделей бинарных растровых цифровых изображений, однако, многие автоматизируемые процессы производства, предполагающие использование систем технического зрения (например, обработка металла разной степени нагрева [164 (с. 12)]; сортировка одинаковых по форме, но различных по цвету объектов [305, 306, 307, 308, 309] и т.д.), требуют анализа полутоновых и полноцветных изображений. Таким образом, разработка методов и ИТ моделирования, классификации и именования полноцветных изображений (например, путем разделения изображения на несколько слоев по цветам), позволит расширить сферу применения полученных результатов.

Качественные и количественные показатели, полученные в ходе экспериментальной апробации результатов диссертационного исследования и приведенные в п. 5.1, подтверждают целесообразность дальнейшего развития разработанных методов, моделей и информационных технологий согласно перечисленным направлениям и последующего применения полученных результатов в сферах и отраслях, требующих автоматизации процессов обработки цифровых изображений, какими являются медицина, легкая и тяжелая промышленность, криминалистика, геофизика и иные [310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325].

5.3 Выводы по разделу 5

1. В разделе описаны экспериментальные исследования по апробации использования разработанных методов, моделей и информационных технологий автоматического распознавания и именования изображений знаков открытых алфавитов. В качестве экзаменационной выборки использовались документы ЭИР различных систем электронного документооборота, содержащие 39858 знаков 11 алфавитов на 186 страницах, что позволило сделать вывод о ее представительности

и объективно оценить качество полученных результатов классификации, именования и распознавания.

2. В виде таблицы 5.1 представлены количественные показатели результатов применения предложенных в работе методов и комплекса ИТ для классификации, распознавания и именования РЦИ знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях документов ЭИР. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами апробации современных OCR-систем, приведенными в таблицах 1.1-1.3 п. 1.2 Раздела 1 диссертационной работы. Сделан вывод о том, что практическое применение теоретических положений настоящей работы позволяет повысить точность распознавания от 8,13 % до 32,62 % в сравнении с показанными системой ABBYY FineReader 12 Professional Edition результатами, при этом количество ошибок первого рода может быть снижено от 1,54 % до 2,55 %, ошибок второго рода – от 4,05 % до 16,64 %, и количество нераспознанных объектов от 2,49 % до 13,73 %.

3. Обоснована целесообразность модификации теоретических и прикладных положений работы для автоматического анализа и моделирования границ образующих GT-объектов как образов бинарных РЦИ знаков открытых алфавитов на дискретном множестве атомарных элементов, что позволит достичь повышения точности именования, классификации и распознавания на основании предложенных методов и ИТ.

4. Предложено использовать методологию построения валидных моделей для измеримых характеристик фрагментов заданных на множестве атомарных элементов GT-объектов на основании теории меры неопределенности и множеств минимальной меры неопределенности, что позволит снизить мощность множества анализируемых моделей и повысить показатели точности распознавания бинарных РЦИ.

5. В качестве перспективных направлений исследований определены:

– автоматический анализ зашумленных изображений, что позволит, в частности, эффективно решить такие задачи, как определение и интерпретация

траекторий движений заряженных элементарных частиц, зафиксированных камерой Вильсона;

– обработка образов изображений, заданных объемными моделями, что позволит применять полученные результаты в медицине для проведения высокоточных операций, автоматического исследования снимков эритроцитов крови, и иных актуальных задач;

– модификация предложенных в диссертации методов и моделей обработки растровых цифровых изображений для решения задач геолого-геофизического районирования, что позволит автоматизировать анализ многоуровневых геофизических наблюдений;

– разработка на основании основных теоретических положений диссертационной работы методов и моделей для решения задач отождествления объектов криминалистического исследования – отпечатков пальцев, следов, почерка и прочих, что предоставит возможность эффективно решать проблемы социально-правовых исследований и судебной экспертизы;

– разработка методов и ИТ моделирования, классификации и именования полноцветных изображений, что позволит использовать полученные результаты для автоматизации производственных процессов, использующих системы технического зрения при обработке металла разной степени нагрева; сортировке одинаковых по форме, но различных по цвету объектов и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой получено новое решение актуальной научно-технической проблемы развития теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота за счет приведения электронных копий документов к редактируемому формату, обоснования новых моделей, методов и информационных технологий автоматической обработки цифровых изображений знаков открытых алфавитов, содержащихся в документах электронных информационных ресурсов, что позволяет осуществлять классификацию и именование цифровых бинарных изображений сканированных копий документов безотносительно к предметной области, специфике информационного контекста документов и используемым словарям, шрифтам и символам.

Основные выводы, научные и практические результаты выполненной работы заключаются в следующем.

1. Впервые предложен общий подход к решению задачи автоматического моделирования и распознавания изображений знаков открытых алфавитов без априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и множества элементов репрезентативной выборки, традиционно используемой на этапах проектирования и разработки систем преобразования сканированных копий документов к редактируемому формату, что позволило отказаться от использования непроецируемых элементов, эталонов, значащих признаков, мер близости и пороговых констант, либо интервалов их значений, для описания и классификации анализируемых объектов.

2. Впервые представлено обоснование выбора образов изображений знаков открытых алфавитов, заданных в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, в качестве объектов исследования в комплексе задач их автоматического моделирования, именованного и классификации, что позволило конструктивно учесть специфику представления сканированных копий документов

в цифровом формате средствами используемой электронно-вычислительной техники и, как следствие, осуществлять процессы анализа непротиворечиво к результатам дискретизации исходных изображений.

3. Для путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов, впервые введены понятия различной ориентации, позволяющие на дискретном множестве учитывать такие характеристики, которые в некотором смысле аналогичны понятиям выпуклости и вогнутости, определенных для кривых в терминах свойств всюду плотных множеств и позволяющих, в частности, учитывать локальные свойства соответствующих объектов, моделирующих изображения знаков, например, в признаковых и структурных подходах к распознаванию.

4. На множестве атомарных элементов для путей, формирующих представление образов растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, впервые даны определения взаимного расположения элементарных составляющих моделей, что позволило конструктивно определить различные типы пар путей и способы установления атрибутов для каждой из них.

Вследствие этого автоматическое моделирование позволило учитывать для описания объектов исследования наличие пересечений, касаний и иных относительных характеристик, которым ставятся в соответствие значения соответствующих атрибутов.

5. Впервые на множестве атомарных элементов предложено понятие меры объектов, аналогичное градусной мере, заданной в терминах свойств всюду плотных множеств, что позволило в процессе моделирования дискретных образов изображений знаков открытых алфавитов измерять и учитывать характеристики путей, аналогичные значениям меры угла между парой отрезков и меры угла наклона отрезка к горизонтали.

6. Впервые предложено определение подпутей различных уровней, что предоставило возможность при моделировании относительных характеристик, устанавливаемых на множестве путей образа цифрового изображения знака,

учитывать, в частности, различие их длин по мере, равной числу связей, составляющих конкретный путь.

При этом для каждого пути критериально установлены «допустимые» пределы изменения меры его «длины», так как многократная генерация одноименных изображений не всегда характеризуется равенством продолжительностей соответствующих элементарных составляющих.

7. Впервые конструктивно определен элемент, используемый для покрытия путей с целью их автоматического моделирования, и его количественные и структурные параметры, что позволило ввести понятие полного покрытия пути и формализовать правила выявления фрагментов, характеризуемых сохранением локально-глобальных направлений движений, реализованных в процессе генерации прообраза исходного знака.

8. Впервые введено понятие моделей фрагмента и всего образа цифрового изображения знака на множестве атомарных элементов как совокупности дискретных отрезков, что при различных значениях размеров элементов покрытия и их секторов позволило сформировать множество математических моделей каждого образа как множества путей.

Выбор дискретного отрезка как единой структурной составляющей моделей также теоретически обоснован в работе.

9. В диссертационной работе впервые определены понятия сходства, подобия и эквивалентности моделей дискретных образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов, что позволило разработать информационную технологию автоматического представления, именованная, классификации и распознавания объектов исследования настоящей работы.

10. Решена задача обзора современных систем автоматизации документооборота, анализа принципов функционирования современных систем распознавания и приведения к редактируемому формату сканированных документов электронных информационных ресурсов и определения значений показателей качества функционирования указанных систем, что позволило

обосновать перспективные направления исследований по усовершенствованию процессов и систем автоматизации документооборота.

11. Решена задача обоснования перспективных направлений развития компьютерных систем автоматизации документооборота путем совершенствования существующих, а также разработки инновационных методов и принципов моделирования, классификации и распознавания цифровых изображений знаков открытых алфавитов, что позволило сформулировать основные предпосылки для реализации предложенных в работе моделей и информационных технологий именования объектов исследования.

12. Решена задача развития теоретических основ моделирования образов бинарных РЦИ знаков в терминах свойств дискретного множества атомарных элементов, что позволило обосновать метод автоматического анализа цифровых изображений знаков открытых алфавитов, не предполагающий априорного задания множеств производных элементов, значащих свойств, мер близости и пороговых значений для его реализации.

13. Решена задача разработки и внедрения в компьютерных системах автоматизации документооборота метода автоматического моделирования изображений знаков открытых алфавитов, содержащихся в сканированных копиях документов электронных информационных ресурсов, что позволило провести экспериментальные исследования результатов диссертационного исследования на экзаменационной выборке указанных документов.

14. Решена задача создания комплекса информационных технологий автоматической обработки, анализа, моделирования, именования, классификации и распознавания сканированных копий документов, что позволило провести экспериментальные исследования результатов диссертационного исследования на экзаменационной выборке указанных документов.

15. Решена задача апробации разработанных методов и ИТ на изображениях знаков открытых алфавитов, содержащихся в различного рода документах, что позволило получить подтверждение практической значимости результатов диссертационного исследования с точки зрения повышения точности

распознавания при преобразовании сканированных копий документов электронных информационных ресурсов к редактируемому формату.

16. Решена задача подтверждения полученных в диссертационном исследовании результатов путем сравнительного анализа данных, определенных в ходе экспериментальной апробации использования разработанных моделей, методов и ИТ для преобразования к редактируемому формату сканированных копий документов в компьютерных системах автоматизации документооборота, что позволило сделать вывод о достижении цели диссертационной работы.

17. Апробация результатов диссертационного исследования показала, что использование разработанных моделей, методов и информационных технологий обработки, анализа, именования и классификации растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов позволяет добиться повышения показателей точности распознавания на величину от 8,13 % до 32,62 % по сравнению с аналогичными показателями системы ABBYY FineReader 12 Professional Edition.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ICR – intelligent character recognition;

OCR – optical character recognition;

ААЭ – активный атомарный элемент;

АБИС – автоматизированная библиотечно-информационная система;

АЭ – атомарный элемент;

БД – база данных;

ИТ – информационная технология;

КП – кратчайший путь;

КПБ – конструкторские и проектные бюро;

ЛГН – локально-глобальное направление;

ММ – математическая модель;

ПРИ – плоскость (поверхность) регистрации изображения;

РЦИ – растровое цифровое изображение;

САПР – система автоматического проектирования;

СЭД – система электронного документооборота;

УУ – устройство управления;

УФС – устройство фиксации следа;

ЦЭВТ – цифровая электронно-вычислительная техника;

ЭАД – электронный архив документации;

ЭИР – электронный информационный ресурс;

ЭП – элемент покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурова, Е.Н. Справочный аппарат к номенклатуре дел // Делопроизводство и документооборот на предприятии. – 2013. - №11. – С.36-37.
2. Фадеев, А.А. Роль документов в коммерческой организации: от делопроизводства к автоматизации процессов управления / А.А.Фадеев // Информационная безопасность. –2008. – № 2. – С.34-35.
3. Гореткина, Е.А. Что спасет от информационного хаоса / Е.А. Гореткина // CRN/RE («ИТ-бизнес»). – 2004. – №7(204). – С. 25-27.
4. Делопроизводство: образцы, документы. Организация и технология работы: более 120 документов / под ред. И.К.Корнеевой, В.А.Кудряевой. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Проспект, 2011. - 480 с.
5. Ложе, И. Информационные системы. Методы и средства: пер. с франц. / И. Ложе. – М.: Мир, 1987. – 632 с.
6. Гукасов, В.Г. Техника поиска в информационных базах: учеб.-метод. пособие / В.Г. Гукасов, С.П. Тищенко, Ю.Е. Якушин. – М.: ЦНИИатоминформ, 1981. – 74 с.
7. Арлазаров, В.Л. Методы и средства работы с документами /В.Л. Арлазаров В.Л., Н.Е. Емельянов – М.: Едиториал УРСС, 2000.– 376 с.
8. Барихин, А.Б. Делопроизводство и документооборот. – М.: Книжный мир, 2008.- 416 с.
10. Новиков, Ю.Л. Полигонально-линейные графовые модели растровых изображений. Теория геоинформатики и дистанционного зондирования // Геоинформатика. Теория и практика. Вып.1. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 2012.– С.50–55.
11. Кабашов, С.Ю. Делопроизводство и архивное дело в терминах и определениях / С.Ю. Кабашов. - М.: Флинта, 2009. - 296 с.
12. Кирсанова, М.В. Современное делопроизводство: Учебное пособие / М.В. Кирсанова. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2012. - 312 с.

13. Кузнецов, И.Н. Документационное обеспечение управления. Документооборот и делопроизводство: Учебник и практикум / И.Н. Кузнецов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 477 с.
14. Сологуб, О.П. Делопроизводство: составление, редактирование и обработка документов: Учебное пособие / О.П. Сологуб. - М.: Омега-Л, 2013. - 207 с.
15. Стенюков, М.В. Делопроизводство. Организация документационного обеспечения предприятия. / М.В. Стенюков. - М.: А-Приор, 2007. - 176 с.
16. Пашков, Д.В. Обзор современных систем автоматизации делопроизводства и документооборота / Д.В. Пашков // Документооборот и делопроизводство. – 2004. – № 5. – С. 10-19.
17. Закон ДНР об информации и информационных технологиях [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://dnrsovet.su/wp-content/uploads/2015/09/ZAKON-DNR-OB-INFORMATSII-I-INFORMATSIONNYH-TEHNOLOGIYAH.pdf> (дата обращения 21.11.2019).
18. Алешин, Л. И. Автоматизация в библиотеке: уч. пособие. Ч.1./ МГУК; Л. И. Алешин. — М.: Профиздат, 2001. — 176 с.
19. Андреева, В. И. Передача документов на архивное хранение / Андреева В. И. // Справочник секретаря и офис-менеджера. - 2008. - N 9. - С. 44-52.
20. Малюх, В. Введение в современные САПР / Владимир Малюх. - Москва: Гостехиздат, 2014. - 192 с.
21. Куняев, Н.Н. Конфиденциальное делопроизводство и защищенный электронный документооборот: Учебник / Н.Н. Куняев. - М.: Логос, 2015. - 500 с.
22. Быкова, Т.А. Документационное обеспечение управления (делопроизводство): учеб. пособие. / Т.А. Быкова, Т.В. Кузнецова, Л.В. Санкина. – 2-е изд. – М.: Инфра-М, 2012. - 304 с.
23. Арлазаров, В.Л. Документооборот. Концепции и инструментарий / В.Л. Арлазаров, Н.Е. Емельянов. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 208 с.

24. Хэмел, Г. Во главе революции. Как добиться успеха в турбулентные времена, превратив инновации в образ жизни / Гэри, Хэмел. - М.: СПб: BestBusinessBooks, 2017. - 370 с.
25. Басаков, М.И. Делопроизводство (документационное обеспечение управления на основе ГОСТ Р 6.30-2003): Учебное пособие для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования / М.И. Басаков. - М.: Дашков и К, 2012. - 348 с.
26. Басаков, М.И. Делопроизводство: Учебник / М.И. Басаков, О.И. Замыцкова. - Рн/Д: Феникс, 2013. - 376 с.
27. Гваева, И.В. Делопроизводство: учебный справочник / И.В. Гваева. - Минск: ТетраСистемс, 2011. - 224 с.
28. Кузнецов, И.Н. Делопроизводство: Учебно-справочное пособие / И.Н. Кузнецов. - М.: Дашков и К, 2016. - 520 с.
29. Басаков, М.И. Делопроизводство: Конспект лекций / М.И. Басаков. - Рн/Д: Феникс, 2010. - 192 с.
30. Системы автоматизированного проектирования: Учебн. пособие для ВУЗов: В 9 кн. / Под ред. И.П. Норенкова. - М.: Высш. шк., 1986. - 159 с.
31. Басовская, Е.Н. Делопроизводство: Учебное пособие / Е.Н. Басовская, Т.А. Быкова, Л.М. Вялова, Е.М. Емышева. - М.: Форум, 2012. - 256 с.
32. Грувер, М. САПР и автоматизация производства / М. Грувер, Э. Зиммерс. - Москва: Наука, 1987. - 528 с.
33. Трофимова, И.П. Системы обработки и хранения информации: учебн. пособие для вузов. / И.П. Трофимова. – М.: Высш. школа, 1989. – 191 с.
34. Барсегян, А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
35. Бобылева, М.П. Эффективный документооборот: от традиционного к электронному / М.П. Бобылева. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 172 с.

36. Ерёмина, Н.Л. Эффективный секретарь: делопроизводство, организация работы, деловое общение / Н. Л. Ерёмина. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2009. – 192с.
37. Рындин, А. А. Ввод сканированных документов в электронный архив предприятия / А.А. Рындин // CADmaster. – 2003. – № 1 (16). – С.40-43.
38. Гусев, В. А. Электронные документы / В.А. Гусев // Делопроизводство и документооборот на предприятии. – 2005. – № 6. – С. 35-37.
39. Гугуева, Т. А. Конфиденциальное делопроизводство: Учебное пособие / Т.А. Гугуева. - М.: Альфа-М, НИЦ ИНФРА-М, 2012. - 192 с.
40. Воройский, Ф. С. Основы проектирования автоматизированных библиотечно-информационных систем / Ф. С. Воройский. — М. : ГПНТБ России, 2002. — 389 с.
41. Библиотечные информационные системы [электронный ресурс] – Режим доступа <http://mognovse.ru/bef-bibliotechnie-informacionnie-sistemi.html> (дата обращения 21.11.2019).
42. Андреева, В. И. Подготовка документов к архивному хранению / Андреева В. И. // Справочник секретаря и офис-менеджера. - 2008. - N 6. - С. 40-44.
43. Бурова, Е. М. Особенности комплектования архивов документами персонального характера / Е. М. Бурова // Делопроизводство. – 2007. - N 1. - С. 82-89.
44. Кошелева, Е. А. Организация хранения архивных документов / Е. А. Кошелева // Справочник кадровика. – 2005. - N 2. - С. 55-61.
45. Кузнецов, С.В. Проблемы перехода к электронным документам: взгляд архивиста / С.В. Кузнецов // Секретарское дело. - 2011. - N 12. - С. 67-70.
46. Куперштейн, В.И. Современные информационные технологии в делопроизводстве и управлении / В.И. Куперштейн. – СПб.: ВHV-Санкт-Петербург, 1999. – 248 с.
47. Кравец, М.А. Электронные системы управления документооборотом: Учеб. пособие / М.А. Кравец. – Воронеж: АОНО ВПО «ИММиФ», 2004. – 48 с.

48. Баласанян, В.Э. Автоматизация делопроизводства и электронный документ как инструмент управления организацией / В.Э. Баласанян // Электронные системы. – 2003. – № 11. – С. 13-19.
49. Ермолаева, Н.А. Настоящее и будущее электронного документооборота / Н.А. Ермолаева // Электронные системы. – 2004. – № 9. – С. 13-19.
50. Романов, Д.А. Правда об электронном документообороте / Д.А. Романов, Т.Н. Ильина, А.Ю. Логинова. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 224 с.
51. Антипов, И.В. Государственная стратегия управления инвестициями в угольную промышленность / И.В. Антипов // Пути повышения эффективности управленческой деятельности органов государственной власти в контексте социально-экономического развития территорий: материалы науч.-практ. конф., 6-7 июня 2017, г. Донецк. Секция 3: Повышение эффективности управленческой деятельности предприятий ДНР. - Донецк: ДонАУиГС, 2017. - С. 12-14.
52. Антипов, И.В. Аналитическое решение задачи формирования матрицы жесткости элемента в методе конечных элементов / И.В. Антипов, А.В. Балагуров // Труды РАНИМИ: сб. научн. трудов. – Донецк. 2016. – № 1 (16). – С. 146-156.
53. Капустин, Н.М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении. – М.: Высшая школа, 2004. – 415 с.
54. Электронный ресурс: Обзор систем электронного документооборота. - Режим доступа: <http://www.ixbt.com/soft/sed.shtml>.
55. Система «ИРБИС». Основные характеристики [электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.elnit.org/index.php?option=com_content&view=article&id=65&Itemid=451 (дата обращения 21.11.2019).
56. О системе АИБС «Фолиант» [электронный ресурс] Режим доступа: <http://foliant.ru/about.shtml> (дата обращения 21.11.2019).
57. Функции системы «Архивное дело» [электронный ресурс] Режим доступа: https://www.eos.ru/eos_products/eos_archive_delo/function.php (дата обращения 21.11.2019).

58. Программный комплекс «СПДС-АРХИВ» — электронный архив и технический документооборот [электронный ресурс] - Режим доступа: <https://sapr.ru/article/6892> (дата обращения 21.11.2019).

59. Система электронного документооборота «АСКОД» [электронный ресурс] - Режим доступа: <http://infoplus.biz-gid.ru/products/unit?pid=190287> СЭД АСКОД (дата обращения 21.11.2019).

60. Система электронного документооборота на базе платформы OPTIMA-WorkFlow - [электронный ресурс] Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20190406053655/http://optima-workflow.ru/> (дата обращения 21.11.2019).

61. САПР «Компас-3D» [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kompas.ru/> (дата обращения 21.11.2019).

62. Schemagee - отечественный редактор принципиальных схем в полном соответствии с ГОСТ [электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.euointech.ru/eda/pcb_design/geeteesoft/Schemagee.phtml (дата обращения 21.11.2019).

63. Чернов, В.Н. Системы электронного документооборота. – М: РАГС, 2009. – 84с.

64. Ильина, Т.Н., Логинова А.Ю., Романов Д.А. Правда об электронном документообороте, Москва, ДМК, 2008, 224 с.

65. Баласанян, В. Концепция автоматизации отечественного документооборота // Открытые системы - 2003. №1.

66. Кузнецов, С.Л. Выбор и опытное внедрение системы электронного архива // Секретарское дело - 2006. №3.

67. Страстенко, В.В. НТЦ ИРМ. Для чего нужна автоматизация делопроизводства. [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mdi.ru/library/analit/avtom.html> (дата обращения 21.11.2019).

68. Жукова, М.П. Перечень типовых управленческих документов в делопроизводстве организации // Справочник секретаря и офис-менеджера. -2011. - №1. – С.6-11.

69. Чернов, В.Н. Системы электронного документооборота. – М.: РАГС, 2009.– 84 с.
70. Журавлев, Ю.И. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения / Ю.И. Журавлев, В.В.Рязанов, О.В. Сенько. – М.: Фазис, 2006. – 176 с.
71. Читающие автоматы и распознавание образов: Сб. статей / Под ред. В.М. Глушкова. – К.: Наук. думка, 1965. – 288 с.
72. Грузман, И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В. С. Киричук, В. П. Косых и др.–Новосибирск: НГТУ, 2003.–352 с.
73. Шевцов, Д.В. К решению задачи повышения качества функционирования подсистемы ввода и распознавания изображений в системах электронного документооборота / Д.В. Шевцов // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2010. – С. 314.
74. Шевцов, Д.В. Обоснование перспективных направлений при проектировании систем автоматизированной обработки видеoinформации / Д.В. Шевцов //Труды XI научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании и управлении», Новая Каховка, – Херсон: ХНТУ, 2009. – С. 57.
75. Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки информационных массивов: задачи анализа изображений и распознавания образов / под ред. Ф.Ф. Дедуса. – М.: Машиностроение, 1999.–357 с.
76. Прэтт, У.К. Цифровая обработка изображений: В 2 т. / М.: Мир, 1982. – Т.2. – 480 с.
77. Noble G.S. Image Processing [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/Image Processing.htm> (дата обращения 21.11.2019).
78. Бутаков, Е.А. Обработка изображений на ЭВМ /Е.А. Бутаков, В.И. Островский, И.Л. Фадеев. – М.: Радио и связь, 1987.– 327 с.

79. Subramanian A. Optical Character Recognition of Printed Tamil Characters [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ee.vt.edu/~anbumani> (дата обращения 21.11.2019).
80. Сайт лаборатории компьютерной графики при ВМК МГУ «Graphics & Media lab» [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://Graphics.cs.msu.ru> (дата обращения 21.11.2019).
81. Rutovitz D. Pattern recognition. /D. Rutovitz, J. Roy// Stat. Soc. – vol.129, Series A.– 1966.–P.504–530.
82. Распознавание образов и искусственный интеллект [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ocrai.narod.ru> (дата обращения 21.11.2019).
83. Емельянов, С.В. Информационные технологии и вычислительные системы. Вычислительные системы. Математическое моделирование. Распознавание образов. Прикладные аспекты информатики. Выпуск №3/2014 / С.В. Емельянов. - Москва: Высшая школа, 2014. - 160 с.
84. Основы построения систем автоматизированного проектирования / А.И. Петренко, О.И. Семенов. - 2-е изд., стер. - К.: Вища шк. Головное изд-во, 1985 - 294 с.
85. Бурлаков, М. «CorelDRAW X7». – СПб: БХВ-Петербург, 2017.– 676 с.
86. Vectory 6.0 [электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.esg.spb.ru/win/Pr_products/Scan/Vectory6.htm (дата обращения 21.11.2019).
87. Peter R. van Nieuwenhuizen. An Integrated Line Tracking and Vectorization Algorithm /Peter R. van Nieuwenhuizen, Olaf Kiewiet, Willem F. Bronsvort. // EUROGRAPHICS –Vol.13. – 1994. – P.349–359.
88. Кучуганов, А.В. Метод адаптивной векторизации фотоизображений. / А.В. Кучуганов, С.В. Моченов // Труды 11-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон - 2001». – М., 2001.– С.69–75.
89. Шевцов, Д.В. Обоснование выбора метода адаптивной бинаризации для предварительной обработки сканированных документов электронных

информационных ресурсов / Д.В. Шевцов, Е.В. Шевцова // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 1: Физикоматематические и технические науки. Часть 1 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – С. 152-155.

90. Крылов, А.Б. Модуль предварительной векторизации растровых монохромных изображений гибридного редактора SpotLight // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н. Филипповича – М.: МГУП, 2002. – Вып. 4. – С. 168-175.

91. Костюк, Ю.Л. Векторизация растровых изображений с использованием триангуляции / Ю.Л. Костюк, Ю.Л. Новиков/ Теория геоинформатики и дистанционного зондирования. Геоинформатика. Теория и практика. Вып.1. – Томск: Изд-во Том. ун-та. – 2012. – С.55–65.

92. Новиков, Ю. Л. Эффективные алгоритмы векторизации растровых изображений и их реализация в геоинформационной системе. Автореферат диссертации. – Томск. – 2002.

93. Liu Wenyin. Impact of Sparse Pixel Vectorization Algorithm Parameters on Line Segmentation Performance / Liu Wenyin, Wang Xiaoyu, Tang Long, Dov Dori// Selected Papers from the Third International Workshop on Graphics Recognition. – Vol.1941.–1999.– P.335–344.

94. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. Третье издание, исправленное и дополненное: пер. с англ. / Р. Гонсалес, Р. Вудс; под общ. ред. П.А. Чочиа. – М.: Техносфера, 2012. – 1105 с.

95. Лебедев, И. Автоматизация работы БТИ с использованием TDMS и PlanTracer //CADmaster [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://archive.cadmaster.ru/articles/17_plantracer_tdms.cfm (дата обращения 21.11.2019).

96. Сойфер, В.А. Проблемы обработки изображений и компьютерной оптики. Стенограмма научного сообщения на заседании Президиума Российской

академии наук 19 октября 1999 года. / В.А. Сойфер // Компьютерная оптика. – 1999. – Вып. 19. – С.6-20.

97. Анисимов, Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений: учеб. пособие для студентов ВУЗов / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов., В.К. Злобин. – М.: Высш. школа, 1983. – 295 с.

98. Патрик, Э.А. Основы теории распознавания образов: пер. с англ. / Э.А. Патрик. – М.: Сов. радио, 1980. – 408 с.

99. Ивахненко, А.Г. Самообучение системы распознавания и автоматического управления / А.Г. Ивахненко. – К.: Выща школа, 1969. – 392 с.

100. Davis R.H. Recognition of handwritten character – a review / R.H. Davis, J.Lyall // Image and Vision Computing. – 1986. –Vol. 4. –P. 208–218.

101. Загоруйко, Н. Г. Методы распознавания и их применение. – М.: Изд-во «Советское радио», 1972. – 208 с.

102. Абламенко, С.В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С.В. Абламенко, Д.М. Лагуновский.– Минск: Амалфея, 2000.– 304 с.

103. Фор, А. Восприятие и распознавание образов / Под ред. Катуса Г. П. – М.: Машиностроение, 1989. – 272 с.

104. Павлидис, Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. – М.: «Радио и связь», 1986. – 397 с.

105. Путятин, Е.П. Нормализация и распознавание изображений [электронный ресурс] - Режим доступа: <http://sumschool.sumdu.edu.ua/is-02/rus/lectures/pytyatin/pytyatin.htm> (дата обращения 21.11.2019).

106. Ермолаева, А.В. Технология разработки разделов сводной номенклатуры дел // Делопроизводство. – 2014. – №2. – С.53-58.

107. Козлов, Н.В. Компьютерное делопроизводство и работа с офисной техникой. Учебный курс / Н.В. Козлов. - СПб.: Наука и техника, 2007. - 304 с.

108. Быкова, Т.А. Документационное обеспечение управления (делопроизводство): Учебное пособие / Т.А. Быкова, Т.В. Кузнецова, Л.В. Санкина. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 304 с.

109. Быкова, Т.А. Делопроизводство: Учебник / Т.А. Быкова, Л.М. Вялова. - М.: ИНФРА-М, 2013. - 364 с.

110. Лебедев, И. Использование сканированных чертежей в САПР // CADmaster [электронный ресурс] Режим доступа: http://archive.cadmaster.ru/articles/01_using_scan_drawing_into_cad.cfm (дата обращения 21.11.2019).

111. Компания АБВУУ: Официальный сайт. Успешные проекты [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.abbyu.ru/company/?param=135065> – (дата обращения 21.11.2019).

112. Cognitive Technologies: Проектные решения [электронный ресурс] – М., 2009. – Режим доступа: <http://www.cognitive.ru/project/forms6.htm> – Загл. с экрана.

113. АБВУУ FineReader 14 [электронный ресурс]. – М., 2018. – Режим доступа: <https://www.abbyu.com/ru-ru/finereader/> (дата обращения 21.11.2019).

114. OCR CuneiForm. Система оптического распознавания текстов. [электронный ресурс]. – М., 2018. – Режим доступа: <http://xn--90abhbolvbbf9aje4m.xn--p1ai/%D0%BE%D1%84%D0%B8%D1%81/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%87%D0%B5%D0%B5/cognitive-openocr-%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%BD%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%D0%B0.html> (дата обращения 21.11.2019).

115. Omniformat image conversion [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.omniformat.com> (дата обращения 21.11.2019).

116. OmniPage 17 Professional – ocr software, optical character recognition, electronic document management [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nuance.com/print-capture-and-pdf-solutions/optical-character-recognition/omnipage/omnipage-standard.html> (дата обращения 21.11.2019).

117. Readiris 17 – OCR Software [электронный ресурс]. – Louvain-la-Neuve, 2018. – Режим доступа: <http://www.irislink.com/EN-ROW/c1729/Readiris-17--the-PDF-and-OCR-solution-for-Windows-.aspx> (дата обращения 21.11.2019).

118. ClaroRead for PC from Claro Software [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.clarosoftware.com/claroread> (дата обращения 21.11.2019).
119. OCR как предмет первой необходимости [электронный ресурс] Режим доступа: <https://compress.ru/Article.aspx?id=11378> (дата обращения 21.11.2019).
120. Вся правда об OCR [электронный ресурс] Режим доступа: <http://internetno.net/category/obzoryi/ocr/> (дата обращения 21.11.2019).
121. Вся правда об OCR [электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.softmixer.com/2011/02/ocr.html> (дата обращения 21.11.2019).
122. Обзор программ для распознавания текста [электронный ресурс] Режим доступа: <https://it.ros-kit.ru/help/programmy/obzor-programm-dlya-raspoznavaniya-teksta/> (дата обращения 21.11.2019).
123. Программа для распознавания текста: ТОП-7 лучших утилит [электронный ресурс] Режим доступа: <http://geek-nose.com/text-recognising/> (дата обращения 21.11.2019).
124. Глинских, А.А. Мировой рынок систем электронного документооборота. [электронный ресурс] Режим доступа: http://www.iteam.ru/publications/it/section_64/article_2582/ (дата обращения 21.11.2019).
125. Обзор системы Documentum [электронный ресурс]. – М., 2018. – Режим доступа: <http://www.doc-online.ru/tool/1003/> – (дата обращения 21.11.2019).
126. Система электронного документооборота NauDoc: система автоматизации внутреннего документооборота предприятия [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.naudoc.ru/> (дата обращения 21.11.2019).
127. Описание системы электронного документооборота и управления взаимодействием DIRECTUM [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.directum.ru/314838.shtml> (дата обращения 21.11.2019).
128. Малышенко, Ю.В. Электронный документооборот в торговле, банковском и таможенном деле: Учеб. пособие – Владивосток: ВФ РГА 2002. - 343 с.
129. Электронный документ и документооборот: правовые аспекты: сб. науч. тр. / под ред.: Е.В. Алферова. - М.: ИНИОН, 2003. - 206 с.

130. Шевцов, Д.В. Системы распознавания изображений как средство автоматизации процессов документооборота / Д.В. Шевцов // Программная инженерия: методы и технологии разработки информационно-вычислительных систем (ПИИВС-2018): сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, Том. 1. 14-18 ноября 2018 г. – Донецк, ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2018. – С 185-193.

131. Google Public DNS [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developers.google.com/speed/public-dns/> (дата обращения 21.11.2019).

132. Amin A. Machine recognition of printed Arabic text utilizing a natural language morphology / A. Amin, S. Al-Fedaghi // International Journal of Man-Machine Studies. – 1991. – Vol.35.– № 6.– P. 769-788.

133. Chen J.W. On-line handwritten Chinese character recognition via a fuzzy attribute representation / Ju-Wei Chen, Suh-Yin Lee // Image and Vision Computing. – 1994. – Vol. 12. – Issue 10. – P. 669-681.

134. Augi T. A description method of hand printed Chinese characters / T. Augi, H. Nagahashi // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1979.– Vol.1. – P. 673–685.

135. Yamamoto E. Handwritten Kanji character recognition using the features extracted from multiple standpoints / E. Yamamoto et al. // Proceedings of the IEEE Conference on Pattern Recognition and Image Processing. – 1981. – P. 25–29.

136. Глушков, В.М. Алгоритм обучения машины распознаванию простейших геометрических фигур / В. М. Глушков, В. А. Ковалевский, В. И. Рыбак // Принципы построения самообучающихся систем. – К.: Гостехиздат, 1962. – С. 5-18.

137. Шлезингер, М.И. Взаимосвязь обучения и самообучения в распознавании образов // Кибернетика.– 1968. – № 2. – С. 81-88.

138. Распознавание. Классификация. Прогноз: сб. науч. трудов / Под ред. Ю.И. Журавлева. – М.: Наука, 1989. – 304 с.

139. Фу, К. Структурные методы в распознавании образов: пер. с англ. / К. Фу. – М.: Мир, 1977. – 320 с.

140. Скобцов, Ю.А. Распознавание изображений медицинских эхограмм методом структурной индексации / Ю.А. Скобцов // Мат. III Всеукр. конф. «Обработка сигналов и изображений и распознавание образов (УкрОБРАЗ'96)» – К., 1996. – С. 182-184.
141. Melhi M. A novel triangulation procedure for thinning hand-written text / M. Melhi, S.S. Ipson, W. Booth// Pattern Recognition Letters. – №22.– 2001.– P.1059–1071.
142. Cowell J. Thinning Arabic Characters for Feature Extraction / J. Cowell, F. Hussain // Information Visualisation.– 2001.– P. 181-185.
143. Кучуганов, В.Н. Распознавание текстов арабского языка / В.Н. Кучуганов, С.С. Салюм // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – Ижевск: Ижевский государственный технический университет. – 2005. – С.69–75.
144. Горелик, А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипник. – М.: Высш. школа, 1989. – 232 с.
145. Форсайт, Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход: пер. с англ. / Д. А. Форсайт, Ж. Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.
146. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход: пер. с англ. / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2007. – 1424 с.
147. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: Физмалит, 2003. – 784 с.
148. Файн, В.С. Машинное понимание текстов с ошибками / В.С. Файн, Л.И. Рубанов. – М.: Наука, 1991. – 151 с.
149. LeCun Y. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition / Y. LeCun at al. // Neural Computation. – 1989.– Vol. 1. – №. 4. – P. 541-551.
150. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен: пер с англ. / Р. Дуда, П. Харт. – М.: Мир, 1976. – 512 с.
151. Шлезингер, М.И. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию / М.И. Шлезингер, В. Главач. – К.: Наук. думка, 2004. – 546 с.
152. Шлезингер, М.И. Математические средства обработки изображений / М.И. Шлезингер – К.: Наук. думка, 1989. – 200 с.

153. Браверман, Э.М. Теория распознавания образов и обучающихся систем / В.М. Глушков, Э.М. Браверман, В.А. Ковалевский, А.А. Летичевский // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – № 5. – С. 98-101.
154. Васильев, В.И. Формирование и опознавание образов / В.И. Васильев, А.И. Шевченко. – Донецк: ДонГИИИ, 2000. – 359 с.
155. Александров, В.В. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход / В.В. Александров, Н. Д. Горский – М.: Прогресс, 1985. – 192 с.
156. Марр, Д. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. – М: Радио и связь, 1987. – 400 с.
157. Гренандер, У. Лекции по теории образов (Том 3. Регулярные структуры) / У. Гренандер. - М.: Мир, 2012. - 432 с.
158. Обнаружение, распознавание и определение параметров образов объектов. Методы и алгоритмы. - М.: Радиотехника, 2012. - 112 с.
159. Журавлев, Ю.И. Избранные научные труды / Ю.И. Журавлев Изд. Магистр, 2002. - 420 с.
160. Потапов, А.В. Автоматический анализ изображений и распознавание образов / А.В. Потапов. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2017. - 292 с.
161. Никольский, С.М. Курс математического анализа / С.М. Никольский. – М.: Физматлит, 2001. – 592 с.
162. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.1. / Г.М. Фихтенгольц. – М.: Физматлит, 2001. – 616 с.
163. Глинкина, Л.А. От АЗА до ИЖИЦЫ: [книга-справочник /авт. - сост. Л.А. Глинкина]. - Оренбург: книжное изд-во. 2000. – 94 с.
164. Иванова, Т.А. Старославянский язык: Учебник. — 4-е издание, испр. и доп. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2008. – 240 с.
165. Электрическая схема крана КБ-401А [электронный ресурс] - Режим доступа: <https://kran-info.ru/b/book/1/page/7-elektricheskie-shemi-bashennih-kranov/100-58-elektricheskaya-shema-krana-kb-401a> (дата обращения 21.11.2019).

166. Правила выполнения чертежей цилиндрических червяков и червячных колес [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5584346/page:8/> (дата обращения 21.11.2019).
167. Техническое зрение роботов / В.И. Мошкин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
168. Ковалевский, В. А. Методы оптимальных решений в распознавании изображений. – М: Наука, 1976.–328 с.
169. Гренандер, У. Лекции по теории образов (Том 1. Синтез образов) / У. Гренандер. - М.: Мир, 2014. - 571 с.
170. Гренандер, У. Лекции по теории образов (Том 2. Анализ образов) / У. Гренандер. - М.: Мир, 2016. - 342 с.
171. Васильев, В.И. Распознающие системы: Справочник / В.И. Васильев. – К.: Наук. думка, 1983. – 424 с.
172. Хмелев, Р.В. Совместное использование структурного анализа и метрики Хаусдорфа при сравнении объекта и эталона / Р.В. Хмелев // Компьютерная оптика. – 2005. – Вып. 27. – С. 174-176.
173. Фукунага, К. Введение в статистическую теорию распознавания образов: пер. с англ. / К. Фукунага. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
174. Корепанов, А.О. Формирование признакового пространства на основе оценивания кривизны центральных линий сосудов в задаче анализа патологических изменений структуры сосудистой системы глазного дна / А.О. Корепанов, М.А. Ананьин // Компьютерная оптика. – 1999. – Вып. 19. – С. 52-57.
175. Фурсов, В.А. Формирование признакового пространства по критерию сопряженности векторов измерений / В.А. Фурсов, В.А. Шустов // Компьютерная оптика. – 2000. – Вып. 20. – С. 140-142.
176. Шустов, В.А. Сокращение пространства признаков по критерию сопряженности с нуль-пространством / В.А. Шустов // Компьютерная оптика. – 2002. – Вып. 23. – С. 66-68.
177. Душевская, И.Г. Синтезатор-генератор функций признаков в системах искусственного интеллекта / И.Г. Душевская // Сборник тезисов докладов

международной научно-технической конференции «Оптоэлектронные информационно-энергетические технологии». – Винница: ВГТУ, 2002. – С. 26.

178. Фурман, Я.А. Цифровые методы обработки и распознавания бинарных изображений / Я.А. Фурман, А.Н. Юрьев, В.В. Яншин – Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1992. – 248 с.

179. Хорн, Б.К.П. Зрение роботов. – М.: Мир, 1989.–487 с.

180. Ту, Дж. Принципы распознавания образов: пер. с англ. / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1978. – 416 с.

181. Скобцов, Ю.А. Распознавание изображений методом структурной индексации / Ю.А. Скобцов // Искусственный интеллект. – 1997. – № 1/2. – С. 68-77.

182. Коневский, О.Л. Адаптивная морфологическая обработка бинарных контуров [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/> (дата обращения 21.11.2019).

183. Местецкий, Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: Фигуры, скелеты, циркуляры. – М.: Физматлит, 2009.– 288 с.

184. Журавель, И.М. Краткий курс теории обработки изображений [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/index.php> (дата обращения 21.11.2019).

185. Фисенко, В.Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

186. Яне, Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007.–584 с.

187. Баврин, И.И. Дискретная математика: Учебник и задачник для СПО / И.И. Баврин. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 209 с.

188. Местецкий, Л. М. Непрерывный скелет бинарного растрового изображения / Л. М. Местецкий // Труды межд. конф. "Графикон-98". – М., 1998.

189. Nishida H. Thin line representation from contour representation of handprinted characters / H. Nishida, T. Suzuki, S. Mori // From pixels to features III: Frontiers in handwriting recognition. Elsevier – Amsterdam, 1992. – P. 29 – 44.

190. Plamondon R. Methodologies for Evaluating Thinning Algorithms for Character Recognition / R. Plamondon, C.Y. Suen, M. Bourdeau, C. Barriere // J. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, special issue thinning algorithms. – 1993. – Vol. 7. – № 5. – P. 1247–1270.

191. Бонгард, М.М. Проблема узнавания / М.М. Бонгард. – М.: Наука, 1967. – 320 с.

192. Шевцов, Д.В. Определение объекта исследования в системах автоматического анализа изображений / Д.В. Шевцов // Тезисы докладов XIII Международной научной конференции по автоматическому управлению «Автоматика-2006». – Винница: «УНИВЕРСУМ- Винница», 2006. – С. 117.

193. Шевцов, Д.В. Определение кратчайших путей на множестве атомарных элементов в системах автоматического опознавания изображений / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, 2001. – № 2. – С. 334-341.

194. Шевцов, Д.В. К вопросу об автоматическом моделировании изображений / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции «Контроль и управление в сложных системах -2005». – Винница: «УНИВЕРСУМ-Винница», 2005. – С. 236.

195. Шевцов, Д.В. Множество минимальной меры неопределенности для автоматического моделирования бинарных изображений / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, 2008. – № 2. – С.494-501.

196. Шевцов, Д.В. Основные теоретические положения способа автоматического моделирования бинарных изображений / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Проблемы информационных технологий. – Херсон: ХНТУ, 2008. – № 2. – С. 43-52.

197. Вайсруб, Н.В. Разработка метода автоматического моделирования бинарных изображений, заданных отрезками прямых / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко // Труды 8 международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, ОНПУ. – 2007. – С. 47.

198. Шевцов, Д.В. Способ автоматического моделирования бинарных изображений, сгенерированных отрезками прямых / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник ВНУ им. В. Даля. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – № 1 (131). – С. 19-29.

199. Шевцов, Д.В. Применение способа формирования ГТ-объектов и способа автоматического моделирования изображений при проектировании систем технического зрения / Н.В. Вайсруб, А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – Харьков: УкрГАЖТ. – 2009. – № 2 (75). – С. 55-59.

200. Шевцов, Д.В. Информационная технология автоматического моделирования ГТ-объектов образов бинарных растровых цифровых изображений знаков открытых алфавитов / Д.В. Шевцов // Сборник научных трудов ДОНИЖТ, 2019, Выпуск 55, секция «Автоматика, телемеханика, связь», С. 4-11.

201. Вайсруб, Н.В. Система автоматического моделирования бинарных изображений, сформированных отрезками прямых / Н.В. Вайсруб // Проблемы информационных технологий. – Херсон: ХНТУ, 2009. – № 1 (34). – С. 453-459.

202. Шевцов, Д.В. Подпути кратчайших путей в системах автоматического опознавания знаков / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, 2005. – № 2. – С. 403-411.

203. Коневский, О.Л. Автоматическая настройка параметров при обработке изображений средствами математической морфологии [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/> (дата обращения 21.11.2019).

204. Шевцов, Д.В. Автоматическая декомпозиция изображений при их опознавании в системах технического зрения роботов /С.В. Мышко, Д.В. Шевцов//

Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. Выпуск 38. – Донецк: РВА ДонГТУ, 2002. – С. 216–222.

205. Шевцов, Д.В. Обоснование метода автоматического моделирования образов растровых цифровых бинарных изображений на дискретном множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности: Материалы IV Международной научной конференции (Донецк, 31 октября 2019 г.). – Том 1: Физикоматематические и технические науки. Часть 1 / под общей редакцией проф. С.В. Беспаловой. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2019. – С. 146-148.

206. Мельник, А.-В.В. Разработка системы автоматической скелетизации бинарных изображений // Вісник ХНТУ. – Херсон: ХНТУ. – 2009. – № 1(34). – С. 225-230.

207. Шевцов, Д.В. Особенности формирования ГТ-объекта при скелетизации образов бинарных изображений с зашумленными границами / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2010. – С. 36.

208. Мельник, А.-В.В. Определение остова изображений, подлежащих автоматическому распознаванию / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко // Труды 8 международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одесса, ОНПУ.– 2007. – С.55.

209. Шевцов, Д.В. К постановке задачи декомпозиции знаков на дискретном множестве атомарных элементов / В.В. Грибинюкова, Д.В. Шевцов // Труды восьмой Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2007». – Одесса: «Маяк», 2007. – С. 50.

210. Автоматическое управление и вычислительная техника. Выпуск 10. Распознавание образов: монография. - М.: Машиностроение, 2016. - 256 с.

211. Котович, Н.В. Распознавание скелетных образов / Н.В. Котович, О.А. Славин // Методы и средства работы с документами: Сб. трудов Института системного анализа РАН, 2000.

212. Lam L. Thinning Methodologies: A Comprehensive Survey. / L. Lam, S.W. Lee, C.Y. Suen // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1992. – Vol. 14. – P. 869–885.

213. Lam L. Thinning Methodologies – A Comprehensive Survey / L. Lam, Seong-Whan Lee, Y.Suen // IEEE Transactions on pattern analyses and machine intelligence. –1992. – vol.14, №9.– P.869-885.

214. Клубков, И.М. Применение волнового алгоритма для нахождения скелета растрового изображения // Вестник ДГТУ. – Днепропетровск: ДГТУ, 2001.– Т.1, №1 (7).–С.126–133.

215. Иванов, Д.В. Эффективный алгоритм построения остова растрового изображения. / Д.В. Иванов, Е.П. Кузьмин // Труды 8-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон - 1998». – М.–1998 – С. 257-263.

216. Steven W. Smith. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. – California: California Technical Publishing, 1997.– 517 p.

217. Шевцов, Д.В. Разработка способа генерации языковой модели бинарного изображения, состоящего из отрезков прямых / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Труды 9 международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии».– Одесса, ОНПУ.– 2008. – С. 50.

218. Шевцов, Д.В. К определению аналога отрезка прямой на дискретном множестве атомарных элементов / К. В. Лиманский, Д.В. Шевцов // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2010. – С. 57.

219. Шевцов, Д.В. Разработка способа автоматического моделирования бинарных изображений в системах электронного документооборота / М.И. Зейдина, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Материалы VIII Международной научно-

практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2010. – С. 46.

220. Попов, С.Н. Аппаратные средства мультимедиа. Видеосистема РС. / Н.С. Попов. - СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 2000 - 400 с.: ил.

221. Гонсалес, Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005. 1072 с.

222. Sauvola J., Petikainen M. Adaptive document image binarization, Pattern recognition 33 (2000) 225-236.

223. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. 1979. Vol. 9, no. 1. P. 62–66.

224. Bernsen J. Dynamic thresholding of grey-level images Proc. Eighth Int'l Conj Pattern Recognition, 1986. P. 1, 251–1, 255, Paris.

225. Eikvil L., Taxt T., and Moen K. A fast adaptive method for binarization of document images Proc. First Int'l Con\$ Document Analysis and Recognition, 1991. P. 435–443, Saint-Malo, France.

226. Niblack W. An Introduction to Digital Image Processing, 1986. P. 115–116. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.

227. Gatos B., Pratikakis I., Perantonis S.J. Anadaptive binarisation technique for low quality historical documents In: IAPR Workshop on Document Analysis Systems (DAS2004), Lecture Notes in Computer Science (3163), September 2004, pp. 102–113 (2004).

228. Jarek S. Maximum Entropy Thresholding [электронный ресурс] – Режим доступа <http://ij-plugins.sf.net> (дата обращения 21.11.2019).

229. Kapur J.N., Sahoo P.K. and Wong A.K.C., A New Method for Gray-Level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram, CVGIP, (29), pp.273-285, 1985.

230. Вдовин, В.А. Метод адаптивной бинаризации растрового изображения / В.А. Вдовин, А.В. Муравьев, А.А. Певзнер // Ярославский педагогический вестник – 2012 – № 4 – Том III, с. 65 – 69.

231. Гавердовский, А. Концепция построения систем автоматизации документооборота // Открытые системы [электронный ресурс].–Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/1997/01/179060/> (дата обращения 21.11.2019).

232. Шевцов, Д.В. Обоснование перспективных направлений при проектировании систем автоматизированной обработки видеoinформации / Д.В. Шевцов // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2009. – № 1 (34). – С. 231-240.

233. Шевцов, Д.В. Многоуровневое моделирование знаков изображений на дискретном множестве атомарных элементов / А.В. Козел, Д.В. Шевцов // Труды восьмой Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии СИЭТ-2007». – Одесса: «Маяк», 2007. – С. 203.

234. Шевцов, Д.В. Основные теоретические положения моделирования знаков изображений, подлежащих распознаванию в интеллектуальных робототехнических системах: Учебное пособие / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов. – Донецк: ДонНУ, 2006. – 75 с.

235. Шевцов, Д.В. Проблема скелетизации при проектировании систем распознавания цифровых изображений / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. – Донецк: ДонНУ, 2008. – № 2. – С. 502-509.

236. Мельник, А.-В.В. Остов образа изображения, заданного на множестве атомарных элементов, как множество кратчайших путей / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко // Труды 9 международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» в 2 т.– Одесса, ОНПУ.– 2008. – Т.1. – С.29.

237. Шевцов, Д.В. Моделируемость GT-объекта на дискретном множестве атомарных элементов / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2008. – № 3. – С. 223-300.

238. Лагно, Д. Модифицированные алгоритмы Форчуна и Ли скелетизации многоугольной фигуры / Д. Лагно, А. Соболев // Труды 11-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон-2001». – М., 2001. – С. 122–127.

239. Telea A. An augmented fast marching method. for computing skeletons and centerlines / A. Telea, J. van Wijk // IEEE VisSym. –2002.– P. 251–260.

240. Шевцов, Д.В. Способ формирования ГТ-объектов образов изображений на множестве атомарных элементов / А.-В.В. Мельник, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов// Сборник научных трудов Восточнoукраинского национального университета имени Владимира Даля. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2009. – Вып. 2. – С.117-124.

241. Шевцов, Д.В. Множества неопределенности и их применение для бесконстантной классификации объектов опознавания / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научны сотрудников и аспирантов Донецкого национального университета по итогам научно-исследовательской работы за период 2007-2008 гг. (Том 1. Естественные науки). – Донецк, ДонНУ.– 2009. – С. 55.

242. Шевцов, Д.В. Способ автоматического моделирования бинарных изображений, сформированных отрезками прямых, для различных значений уровней неопределенности / Н.В. Вайсруб, С.В. Мышко , Д.В. Шевцов // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2010. – С. 49.

243. Шевцов, Д.В. К вопросу об опознавании знаков в дискретных представлениях / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов, Е.В. Шевчук // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Вычислительная техника в информационных и управляющих системах». – Мариуполь: ПГТУ, 2000. – С. 77-78.

244. Шевцов, Д.В. Опознавание знаков геометрических фигур, заданных в терминах свойств дискретных множеств / Д.В. Шевцов // Сборник тезисов докладов второй международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Оптоэлектронные информационно-энергетические технологии – 2002». – Винница: «УНИВЕРСУМ-Винница», 2002. – С. 23.

245. Шевцов, Д.В. Моделирование знаков элементарными стратегиями / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов, Е.В. Шевчук // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Вычислительная техника в информационных и управляющих системах». – Мариуполь: ПГТУ, 2000. – С.79–80.

246. Шевцов, Д.В. Метод формирования концепта знака / С.В. Григорьев, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов, Е.В. Шевчук // Материалы университетской научно-технической конференции по итогам НИР 1999-2000 гг. Выпуск: Естественные науки. Физические и компьютерные науки. – Донецк, ДонНУ, 2001. – С. 121–125.

247. Шевцов, Д.В. Сегментация изображений как декомпозиция знаков на дискретном множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции «Контроль и управление в сложных системах -2005». – Винница: «УНИВЕРСУМ-Винница», 2005. – С. 238.

248. Шевцов, Д.В. Особенности декомпозиции образов бинарных изображений, заданных на множестве атомарных элементов / В.В. Грибинюкова, Д.В. Шевцов. // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2010. – С. 52.

249. Шевцов, Д.В. Конструктивное распознавание дискретных контурных изображений знаков планиметрических фигур / С.В. Григорьев, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник Донецкого национального университета (Серия А: Естественные науки). № 1. 2004. С.487-491.

250. Шевцов, Д.В. Опознавание знаков геометрических фигур, заданных в терминах свойств дискретных множеств // Сборник тезисов докладов второй международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и

молодых ученых «Оптоэлектронные информационно-энергетические технологии – 2002». – Винница: «УНИВЕРСУМ-Винница», 2002. – С. 23.

251. Шевцов, Д.В. Определение знаков геометрических фигур на дискретных множествах атомарных элементов в системах автоматического опознавания // Материалы Международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «Ломоносов 2002», секция «Вычислительная математика и кибернетика». – М.: Издат. отдел факультета ВМиК МГУ, 2002. – С. 19.

252. Шевцов, Д.В. Определение прямой на множестве атомарных элементов / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Оптоэлектронные информационно-энергетические технологии». – Винница: ВГТУ, 2001. – С. 49.

253. Шевцов, Д.В. К определению меры D-углов на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2007. – С. 54-55.

254. Skeletonization [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cfar.umd.edu/users/kia/Publications/ICDAR95/node2.html> (дата обращения 21.11.2019).

255. Florio A. A skeletonizing algorithm for granulation and supergranulation cell finding /A. Florio, F. Berrilli// SOLE98 Workshop. – 1998. – P.307-309.

256. Шевцов, Д.В. К вопросу о сегментации изображений как декомпозиции знаков на дискретном множестве атомарных элементов / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Вестник Донецкого национального университета (Серия А: Естественные науки). № 1, 2005. С.445-449.

257. Александрян, Р.А., Мирзахарян Э.А. Общая топология: Учеб. Пособие для вузов / Р.А. Александрян, Э.А. Мирзахарян – М.: Высш. школа, 1979. – 336 с.

258. Шевцов, Д.В. К вопросу о разработке способа автоматического выявления и моделирования фрагментов знаков изображений произвольной

природы / Д.В. Шевцов, С.А. Сопин // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон: ХНТУ, 2012. – № 1 (44). – С. 312-319.

259. Шевцов, Д.В. Конструктивное определение прямой в терминах свойств множеств атомарных элементов / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Материалы университетской научно-технической конференции по итогам НИР 1999-2000 гг. Выпуск: Естественные науки. Физические и компьютерные науки. – Донецк, ДонНУ, 2001. – С. 99-103.

260. Шевцов, Д.В. Автоматическая декомпозиция изображений при их опознавании в системах технического зрения роботов / С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. Выпуск 38. – Донецк: РВА ДонГТУ, 2002. – С. 216-222.

261. Шевцов, Д.В. Определение ориентации элементарных составляющих моделей знаков, подлежащих автоматическому именованию на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Радиоэлектроника, информатика, управление, № 2, 2013. – С. 95-102.

262. Ивахненко, А.Г. Непрерывность и дискретность / А.Г. Ивахненко – Киев: Наук. думка, 1990. – 224 с.

263. Шевцов, Д.В. Определение u -меры для кратчайших путей и D -отрезков на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // «Донецкие чтения 2016. Образование, наука и вызовы современности» Материалы I Международной научной конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство Южного федерального университета. – 2016. – С. 247-258.

264. Шевцов, Д.В. Использование u -меры для определения количественных характеристик пар кратчайших путей и D -отрезков на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Информатика и кибернетика № 3 (17), 2019, Донецк, ДонНТУ. С. 15-20.

265. Шевцов, Д.В. Кратчайшие пути как элементарные составляющие модели знака / А.В. Лисицкая, С.В. Мышко, Д.В. Шевцов // Тезисы докладов VIII

Международной научно-технической конференции «Контроль и управление в сложных системах -2005». – Винница: «УНИВЕРСУМ-Винница», 2005. – С. 237.

266. Шевцов, Д.В. К вопросу о моделировании знаков изображений произвольной природы / Д.В. Шевцов, С.А. Сопин // Научный сборник «Материалы Второй международной конференции «Автоматизация управления и интеллектуальные системы и среды». – Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2011. Том 2. – С. 73-76.

267. Шевцов, Д.В. Определение способа формирования моделей ГТ-объектов знаков на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов, С.А. Сопин // «Проблемы информатизации и управления» Сборник научных трудов: Выпуск 2(46). – Киев: Национальная академия наук, 2014. – С. 77-82.

268. Шевцов, Д.В. Определение предмета исследования в задаче автоматической сегментации ГТ-объектов знаков на множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов, С.А. Сопин // Электротехнические и компьютерные системы, № 11 (87), 2013. – С. 122-131.

269. Шевцов, Д.В. Критерии сравнения моделей ГТ-объектов знаков цифровых бинарных изображений / Д.В. Шевцов, С.А. Сопин // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (Warszawa), Том 4, № 2, 2015. – С. 87-94.

270. ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering – Vocabulary.

271. Когаловский, М. Р. и др. Глоссарий по информационному обществу / Под общ. ред. Ю. Е. Хохлова. – М.: Институт развития информационного общества, 2009. — 160 с.

272. ГОСТ 34.003-90 Автоматизированные системы. Термины и определения.

273. ISO/IEC 38500:2008, Corporate governance of information technology: *resources required to acquire, process, store and disseminate information.*

274. Численные методы, параллельные вычисления и информационные технологии: Сб. науч. трудов / Под ред. Вл.В. Воеводина, Б.Б. Тыртышникова. – М.: Изд-во Московского Университета, 2008. – 320 с.

275. Соболев, А. Линейно-контурное представление бинарных изображений для анализа видео данных /Б. Чудинович, А. Бovyрин, В. Ерухимов и др. //Труды 11-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон - 2001». - М., 2001. – С. 122–127.

276. Коневский, О.Л. Адаптивная морфологическая обработка бинарных контуров [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2001/> (дата обращения 21.11.2019).

277. Remy E. Medial axis for chamfer distances: computing look-up tables and neighbourhoods in 2D or 3D /E. Remy, E. Thiel // Pattern Recognition Letters. – № 23–2002. –Р. 649–661.

278. Жизняков, А.Л. Выделение и анализ контуров и скелетов полутоновых изображений с использованием кратномасштабного представления [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/> (дата обращения 21.11.2019).

279. Якименко, Ю.И. Использование нечетких множеств для распознавания образов / Ю.И. Якименко, В.Г. Дзюба // Электроника и связь. – 2004.– №22. – Том 9. – С. 40-44.

280. Рейер, И. Сегментация штрихов и их соединений при распознавании рукописного текста // Труды Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон - 1999». – М., 1999.– С.356-360.

281. Иванова, А.А. Проблемы числовых оценок неравенства / В.А. Капитанов, А.А. Иванова, А.Ю. Максимова // Статистика и Экономика. 2018;15(4): 4-15.

282. Tkachenko V.N., Ivanova A.A., Krasnikov A.L., Tkachenko A.V., Chernyshev N.N. Parametric identification, analysis and synthesis of control systems of technological process. - Slavyansk: Publishing house IPMM NASU, 2016. - 525с. ISBN 978-966-02-7687-1.

283. Квятковская, И.Ю. Информационные системы управления качеством в автоматизированных и автоматических производствах: учебное пособие. / И.Ю. Квятковская, В.Ф. Шуршев. - Изд. ФГБОУ ВО «АГТУ», 2019. 238 с.

284. Чертина, Е.В. Информационная система оценки, анализа, отбора и мониторинга инновационных ИТ-проектов / Е.В. Чертина, И.Ю. Квятковская // Фундаментальные исследования. Издательский дом «Академия естествознания», № 5-3, 2016. С. 526-530.

285. Бородаенко, Д.Н. Распознавание образов / Д.Н. Бондаренко // Распознавание образов и искусственный интеллект. 2001. <http://www.ocrai.narod.ru> (26.12.2007).

286. Потапов, А.С. Распознавание образов и машинное восприятие / А.С. Потапов – С-Пб.: Политехника, 2007. - 548 с.

287. Шевченко, А.И. Выявление и моделирование закономерностей сходства, равенства и порядка / В.И. Васильев, Т.И. Ланге, А.И. Шевченко // Искусственный интеллект. – 2001. – № 3. – С. 26-39.

288. Шевцов, Д.В. Система автоматического опознавания знаков геометрических фигур // Труды 12-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон – 2002». – Н. Новгород: НГУ, 2002. – С. 262-267.

289. Шевцов, Д.В. Задача декомпозиции образов изображений на множестве атомарных элементов / В.В. Грибинюкова, Д.В. Шевцов // Труды научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Донецкого национального университета по итогам научно-исследовательской работы за период 2007-2008 гг. – Донецк: Издательство ДонНУ, 2009. – С. 156-157.

290. Костюк, В.И. Системы отображения информации и инженерная психология / В.И. Костюк, В.Е. Ходаков. – Киев: Вища школа, 1977. – 192 с.

291. Местецкий, Л.М. Сравнение формы изображений на основе циркулярного разложения. / Л.М. Местецкий, А.Б. Семенов // Труды

Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон - 2004». – М., 2004.– С.401–403.

292. Sasaki Y. The truth of the F-measure, School of Computer Science, University of Manchester MIB, 131 Princess Street, Manchester, M1 7DN. Version: 26th October, 2007.

293. Levenshtein V.I.: Binary codes capable of correcting deletions, insertions and reversals. Sov. Phys. Dokl., 6 (1966) 707-710.

294. Kruszynski K.J. Quantifying differences in skeletonization algorithms: a case study / K.J. Kruszynski, Robert van Liere, J. Kaandorp // Visualization, Imaging, and Image Processing – Benidorm:2005.– P.257-264.

295. Palágyi K. Skeletonization [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.inf.u-szeged.hu/~palagy/skel/skel.html> (дата обращения 21.11.2019).

296. Balazs Kegl'. Piecewise linear skeletonization using principal curves / Balazs Kegl', A. Krzyzak // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.– Vol.24, №1.– 2002.– P. 59-74.

297. Hilditch C.J. Linear skeletons from square cupboards // Machine Intell. New York: Amer. – 1969.–Vol.4.– P.403-420.

298. Gold C.M. Crust and anticrust: a one-step boundary and skeleton extraction algorithm // Proceedings of the ACM Conference on Computational Geometry. – 2015.– P.189–196.

299. Жизняков, А.Л. Многомасштабный подход к анализу скелетов полутоновых изображений / А.Л. Жизняков, Н.В. Вакунов / Материалы I Международной научно-технической конференции «Инфотелекоммуникационные технологии в науке, производстве и образовании». – Северо-Кавказский государственный технический университет, 2004.– С. 179–184.

300. Wim H. Hesselink. Euclidean skeletons of 3d data sets in linear time by the integer medial axis transform. /Wim H. Hesselink, Menno Visser, Jos B.T.M. Roerdink. //Computational Imaging and Vision. – Vol. 30, Part IV.–2005.– P. 259–268.

301. Golland P. Fixed Topology Skeletons / P. Golland, W. Eric, L.Grimson // Computer Vision and Pattern Recognition. IEEE Conference on Publication – Vol.1.–2000.– P.10–17.
302. Местецкий, Л. Непрерывное скелетное представление изображения с контролируемой точностью / Л. Местецкий, И. Рейер // Труды 13-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению «ГрафиКон - 2003». - Н. Новгород: НГУ, 2003.– С.123–126.
303. Шевцов, Д.В. Преобразование знаков изображений, заданных на дискретном множестве атомарных элементов / Д.В. Шевцов // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии». – Одеса, ОНПУ, 2008. – С. 118.
304. Manzanera A. Metrical properties of a collection of 2D parallel thinning algorithms //Electronic Notes in Discrete Mathematics – Vol. 12.–P. 255-266.
305. Peter I. Rockett. An Improved Rotation-Invariant Thinning Algorithm// IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence. – Vol. 27, № 10. – P.1671-1674.
306. Козлов, В. Н. Элементы математической теории зрительного восприятия. – М.: ЦПИ мех.-мат. МГУ, 2001. – 128 с.
307. Каримов, Р.Н. Обработка экспериментальной информации. Уч. Пособие. Ч. 3. Многомерный анализ / Р.Н. Каримов. – СГТУ, Саратов, 2000, 108 с.
308. Гош, С.С. Камера Вильсона и её применение в физике /С.С. Гош, Н.Н. Дас Гупта // Успехи физических наук. – М.: Наука. – 1947.– № 31, вып.4. – С.491–574.
309. Скобцов, Ю.А. Использование телемедицинских технологий в современной медицине / Ю.А. Скобцов // Научные труды Донецкого государственного технического университета. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. – Донецк: РВА ДонГТУ, 2002. – Вып. 38. – С. 156-161.
310. Ильясова, Н.Ю. Применение искусственных нейронных сетей для оценивания диагностических параметров на биомедицинских изображениях / Н.Ю. Ильясова, Д.Е. Липка, А.В. Куприянов // Компьютерная оптика. – 2003. – Вып. 25. – С. 151-153.

311. Sharon E. 2D Shape Analysis using Geodesic Distance / E. Sharon, D. Mumford // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.–2004.– P. 350–357.
312. Методы распознавания образов в задачах интерпретации геофизических наблюдений. [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://helpiks.org/6-49481.html> (дата обращения 21.11.2019).
313. Задачи распознавания образов [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studopedia.org/2-56078.html> (дата обращения 21.11.2019).
314. BRE. Идентификация по отпечаткам пальцев. Часть 1. [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bre.ru/security/20994.html> (дата обращения 28.04.2018).
315. Карагодин, В.Н. Криминалистика, второе дополненное издание: [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://samzan.ru/70424> (дата обращения 21.11.2019).
316. Криминалистическое распознавание. Книги по праву. [электронный ресурс]. – Режим доступа: http://adhdportal.com/book_1416_chapter_74_5_KRIMINALISTICHESKOE_RASPOZNAVANIE.html (дата обращения 21.11.2019).
317. Потапов, А. С. Распознавание образов и машинное восприятие. – СПб: Политехника, 2007.– 552 с.
318. Поцепаев, Р.В. Восстановление траекторий написания символов по их изображениям [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2003/> (дата обращения 21.11.2019).
319. Дударев, В. А. Методы распознавания образов в компьютерном конструировании неорганических соединений / В.А. Дударев. - М.: Синергия, 2014. - 325 с.
320. Ерош, И.Л. Обработка и распознавание изображений в системах превентивной безопасности / И.Л. Ерош, М.Б. Сергеев, Н.В. Соловьев – СПб: СПбГУАП, 2006.– 150 с.
321. Шевцов, Д.В. О существующих проблемах, связанных с разработкой систем автоматического распознавания образов / Григоренко В.А., Шевцов Д.В. // «Донецкие

чтения 2017: русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса» Материалы Международной научной конференции студентов и молодых ученых. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2017. – С. 65-68.

322. Шевцов, Д.В. Объектное моделирование интеллектуальной транспортной системы распознавания автомобильных номеров / Плешкова О.А., Шевцов Д.В. // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» в рамках IV Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие» 24 мая 2018. / редкол.: М.Н. Чальцев и др. — Горловка: — АДИ ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2018. — С. 338-342.

323. Шевцов, Д.В. Разработка системы автоматизации обработки технической документации, содержащей данные в таблицах / Ф.В. Киселев, Д.В. Шевцов // «Донецкие чтения 2017: русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса» Материалы Международной научной конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2017. – С. 67-68.

324. Шевцов, Д.В. Распознавание примитивов на изображении / Н.А. Вьюков, Д.В. Шевцов // «Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» Материалы III Международной научной конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2018. – С. 371-372.

325. Шевцов, Д.В. Перспективные направления развития интеллектуальных транспортных систем / О.А. Плешкова, Д.В. Шевцов // «Донецкие чтения 2018: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности» Материалы III Международной научной конференции. Под общей редакцией С.В. Беспаловой. Издательство ГОУ ВПО «ДонНУ». – 2018. – С. 385-388.

ПРИЛОЖЕНИЕ А.

АКТЫ И СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной и
инновационной деятельности
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
университет»



В.И. Сторожев
2019 г.

ул. Университетская, 24, Донецк,
283001 ДНР, ГОУ ВПО «ДонНУ»

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «МСталь»

Сабин
«3» декабря

С.А. Сабин
2019 г.

ш. Ильинское 95, г. Кимры, Тверская
область,
171502, РФ, ООО «МСталь»

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени доктора технических наук
ШЕВЦОВА Дмитрия Валерьевича

Комиссия в составе:

председатель: Сабин С.А. – генеральный директор ООО «МСталь»;
члены комиссии: Моисеев Ю.Ф – технический директор ООО «МСталь»;
Дурицын А.В. – директор по развитию ООО «МСталь»;

составила настоящий акт о том, что комплекс информационных технологий, разработанный доцентом кафедры прикладной математики и теории систем управления ГОУ ВПО «ДонНУ» Шевцовым Дмитрием Валерьевичем в диссертационной работе на тему «Развитие теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота», использован при решении задач приведения сканированных копий документов к редактируемому формату в отделах документации и информатизации ООО «МСталь». Применение предложенных Шевцовым Д.В. методов позволило решить задачи эффективного учета, хранения, сортировки, систематизации и анализа коммерческих предложений контрагентов ООО «МСталь», что в целом привело к повышению точности принятия решений по выбору коммерческих предложений из множества поступивших, позволило снизить объемы хранимой электронной документации и уменьшить экономические потери, возникающие вследствие допущенных ошибок при анализе коммерческих предложений.

Данный акт составлен для предъявления в специализированном ученом совете по защите диссертаций и не является поводом для финансовых расчетов.

Председатель комиссии

Члены комиссии



С.А. Сабин

Ю.Ф. Моисеев

А.В. Дурицын

Соответствует оригиналу
Ученый секретарь Д 01.024.04
Т.В. Завадская
Т.В. Завадская



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной и
инновационной деятельности
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
университет»



В.И. Сторожев
2019 г.

ул. Гаражная, 24, Донецк,
283001, ДНР, ГОУ ВПО «ДонНУ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор
ООО «Бета ТВ ком»



А.Н. Ушаков
2019 г.

ул. Гаражная, 39, Донецк,
283004, ДНР, ООО «Бета ТВ ком»

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы ШЕВЦОВА Дмитрия Валерьевича «Развитие теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота» представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки)


Комиссия в составе:

председатель: Белояров В.Ю. – заместитель директора ООО «Бета ТВ ком»;
члены комиссии: Бритков А.В. – главный инженер ООО «Бета ТВ ком»;
Толстых В.К. – профессор кафедры компьютерных технологий ГОУ ВПО «ДонНУ»,

составила настоящий акт о том, что методы, модели и информационные технологии, разработанные в диссертационной работе доцента кафедры прикладной математики и теории систем управления ГОУ ВПО «ДонНУ» Шевцова Дмитрия Валерьевича, внедрены в специализированном конструкторском бюро ООО «Бета ТВ ком» для автоматизации технологических процессов накопления, учета, анализа, систематизации и хранения больших объемов технической документации, содержащей спецификации, технические условия, эксплуатационные и ремонтные документы, чертежи, схемы, графики, таблицы, технические отчеты и прочие элементы. Кроме того, применение предложенных Шевцовым Д.В. результатов позволило усовершенствовать производственные процессы предприятия, повысить качество, расширить ассортимент и сократить сроки изготовления продукции, в частности, одно- и двусторонних печатных плат с металлизацией отверстий и защитной маской (в том числе СВЧ).

Данный акт составлен для предъявления в специализированном ученом совете по защите диссертаций и не является поводом для финансовых расчетов.

Председатель комиссии

 В.Ю. Белояров

Члены комиссии

 А.В. Бритков

 В.К. Толстых

Соответствует оригиналу

Ученый секретарь Д 01.024.04

 Т.В. Завадская



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной и
инновационной деятельности
ГОУ ВПО «Донецкий национальный
университет»



В.И. Сторожев
2019 г.

ул. Университетская, 24, Донецк,
83001 ДНР, ГОУ ВПО «ДонНУ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ГПОУ «Донецкий транспортно-
экономический колледж»



Ю.Н. Демура
2019 г.

ул. Артема, 17, Донецк,
283086, ДНР, ГПОУ «ДОНТЭК»

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы ШЕВЦОВА Дмитрия Валерьевича
«Развитие теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота»
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
(по отраслям) (технические науки)

Комиссия в составе:

председатель: Григорьева Л.И. – заместитель директора по учебно-методической
работе ГПОУ «Донецкий транспортно-экономический колледж»;
члены: Бушуева Я.В. – архивариус ГПОУ «Донецкий транспортно-
экономический колледж»;
Толстых В.К. – профессор кафедры компьютерных технологий ГОУ
ВПО «ДонНУ»,

составила настоящий акт о том, что методы, модели и информационные технологии,
разработанные в диссертационной работе доцента кафедры прикладной математики и
теории систем управления ГОУ ВПО «ДонНУ» Шевцова Дмитрия Валерьевича, приняты
к использованию архивом ГПОУ «Донецкий транспортно-экономический колледж».
Применение предложенных Шевцовым Д.В. результатов позволило упростить процессы
упорядочивания электронных копий документов и обеспечения оперативного доступа к
ним, повысить эффективность поиска и отображения архивных документов. Как
следствие, упрощена классификация дел и рубрикация документов с учетом различных
форм, осуществлена возможность хранения не только карточек документов, но и
соответствующих электронных образов документов, обеспечен удаленный доступ
пользователей к электронным образам дел и документов.

Данный акт составлен для предъявления в специализированном ученом совете по
защите диссертаций и не является поводом для финансовых расчетов.

Председатель комиссии

Л.И. Григорьева

Члены комиссии

Я.В. Бушуева

В.К. Толстых

Соответствует оригиналу

Ученый секретарь Д 01.024.04

Т.В. Завадская





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ГОУ ВПО «ДонНУ»)

ул. Университетская, 24, г. Донецк, 283001, тел: приемная (062) 302-07-22, справочная служба (062) 302-06-00, факс: (062) 302-07-49
e-mail: donnu.ector@mail.ru Идентификационный код 02070803

12.12.19. № 5306/01-29/6.1.0
На № _____ от _____

Г Диссертационный совет
Д 01.024.04 при ГОУ ВПО
«Донецкий национальный
технический университет» и
ГОУ ВПО «Донецкий
национальный университет»

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Шевцова Дмитрия Валерьевича

на тему «Развитие теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям) (технические науки)

Актуальность диссертационного исследования Д.В. Шевцова обусловлена тем, что библиотеки, архивные организации и музеи, выполняющие общественно-коммуникативную функцию как базовые элементы культурной, образовательной и информационной инфраструктуры, должны эффективно обеспечивать хранение, накопление и доступ к документам и содержащейся в них информации с целью реализации конституционных прав граждан Донецкой Народной Республики, связанных с удовлетворением информационных потребностей, свободы литературного, художественного, научного и технического творчества, защитой интересов субъектов авторского права и смежных прав. В соответствии с этим, развитие теоретических основ процессов и систем автоматизации документооборота с целью усовершенствования процессов приведения электронных копий документов к редактируемому формату является актуальной научно-практической задачей, решение которой позволит вывести на качественно новый уровень функционирование множества предприятий и организаций Донецкой Народной Республики.

Работа выполнялась в ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» на протяжении пяти лет. За этот период произошло внедрение

003498

разработанных Шевцовым Д.В. теоретических положений и полученных практических результатов в учебный процесс ГОУ ВПО «ДонНУ», а именно:

- подход к автоматическому моделированию и распознаванию изображений знаков без априорного задания множеств имен классов обрабатываемых объектов и множества элементов репрезентативной выборки; обоснование выбора образов изображений знаков открытых алфавитов в качестве объектов исследования в комплексе задач их автоматического моделирования, именованя и классификации; понятия различной ориентации путей, которые на множестве атомарных элементов являются основными структурными элементами образов изображений знаков открытых алфавитов; метод многоуровневого моделирования знаков
- использованы в качестве основного материала для проведения лекционных и лабораторных занятий по дисциплинам «Прикладные информационные технологии 5, 6» для студентов ОП «Бакалавриат», «Прикладные информационные технологии», «Анализ и обработка изображений» для студентов ОП «Магистратура» направлений подготовки 02.03.02, 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»;
- основные теоретические положения диссертационного исследования использованы при выполнении дипломных работ и магистерских диссертаций студентами ОП «Бакалавриат» и «Магистратура» направлений подготовки 02.03.02, 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии»;
- разработанный комплекс информационных технологий решения задач приведения сканированных копий документов к редактируемому формату внедрен и апробирован в ходе прохождения производственных и преддипломных практик студентами указанных направлений подготовки.

Внедренные результаты диссертационного исследования позволили активизировать учебный процесс при подготовке высококвалифицированных специалистов в области информационных технологий и математического моделирования, а также актуализировать материал лекционных и лабораторных занятий в соответствии с современными тенденциями развития компьютерных наук.

Справка дана для предъявления в диссертационный совет.

Проректор по научно-методической
и учебной работе, проф.



Е.И. Скафа

Е.И. Скафа

Соответствует оригиналу

Ученый секретарь Д 01.024.04

Т.В. Завадская
Т.В. Завадская

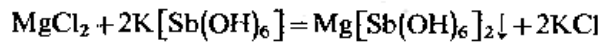


ПРИЛОЖЕНИЕ Б.

ПРИМЕРЫ СКАНИРОВАННЫХ ДОКУМЕНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ БИБЛИОТЕК И АРХИВОВ

7. Гидротартрат натрия $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ и гексапирокобальтат (III) натрия $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ с ионами Mg^{2+} осадков не образуют.

8. Гексагидроксостибиат (V) калия $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ с ионами Mg^{2+} образует белый кристаллический осадок $\text{Mg}[\text{Sb}(\text{OH})_6]_2$, по внешнему виду похожий на осадок $\text{Na}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$:



§ 6. АНАЛИЗ СМЕСИ КАТИОНОВ I АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ

Приступая к анализу, следует помнить, что: 1) обнаружению ионов NH_4^+ , а также Mg^{2+} (с Na_2HPO_4) другие катионы I группы не мешают, они могут быть обнаружены дробным путем из общего раствора; 2) обнаружению K^+ -ионов мешают NH_4^+ -ионы; 3) обнаружению Na^+ -ионов с $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ мешают NH_4^+ - и Mg^{2+} -ионы.

Предварительно определяют pH раствора с помощью набора индикаторов или универсальной индикаторной бумаги, после чего приступают к обнаружению катионов (табл. 2).

Таблица 2. Реактивы для обнаружения катионов I аналитической группы

Реактивы	K^+	Na^+	NH_4^+	Mg^{2+}
$\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	$\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ белый кристаллический осадок	—	$\text{NH}_4\text{HC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ белый кристаллический осадок	—
$\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	$\text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ желтый кристаллический осадок	—	$(\text{NH}_4)_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ желтый кристаллический осадок	—
$\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$	—	$\text{Na}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ белый кристаллический осадок	HSbO_3 белый аморфный осадок	$\text{Mg}[\text{Sb}(\text{OH})_6]_2$ белый кристаллический осадок
NaOH или KOH	—	—	NH_3 запах аммиака, посинение влажной лакмусовой бумаги	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ белый аморфный осадок
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$	—	—	—	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ белый кристаллический осадок
$\text{UO}_2 \cdot (\text{CH}_3\text{COO})_2$	—	$\text{NaUO}_2 \cdot (\text{CH}_3\text{COO})_3$ зеленовато-желтый кристаллический осадок	—	—
Окрашивание пламени	Фиолетовый цвет	Желтый цвет	—	—

дивает возможность дальнейшего продвижения к строгой психологической теории.

Следует остановиться еще на одном аспекте данной главы. Содержащиеся в ней рассуждения были направлены на то, чтобы снабдить исследователей системой понятий, с помощью которой можно анали-

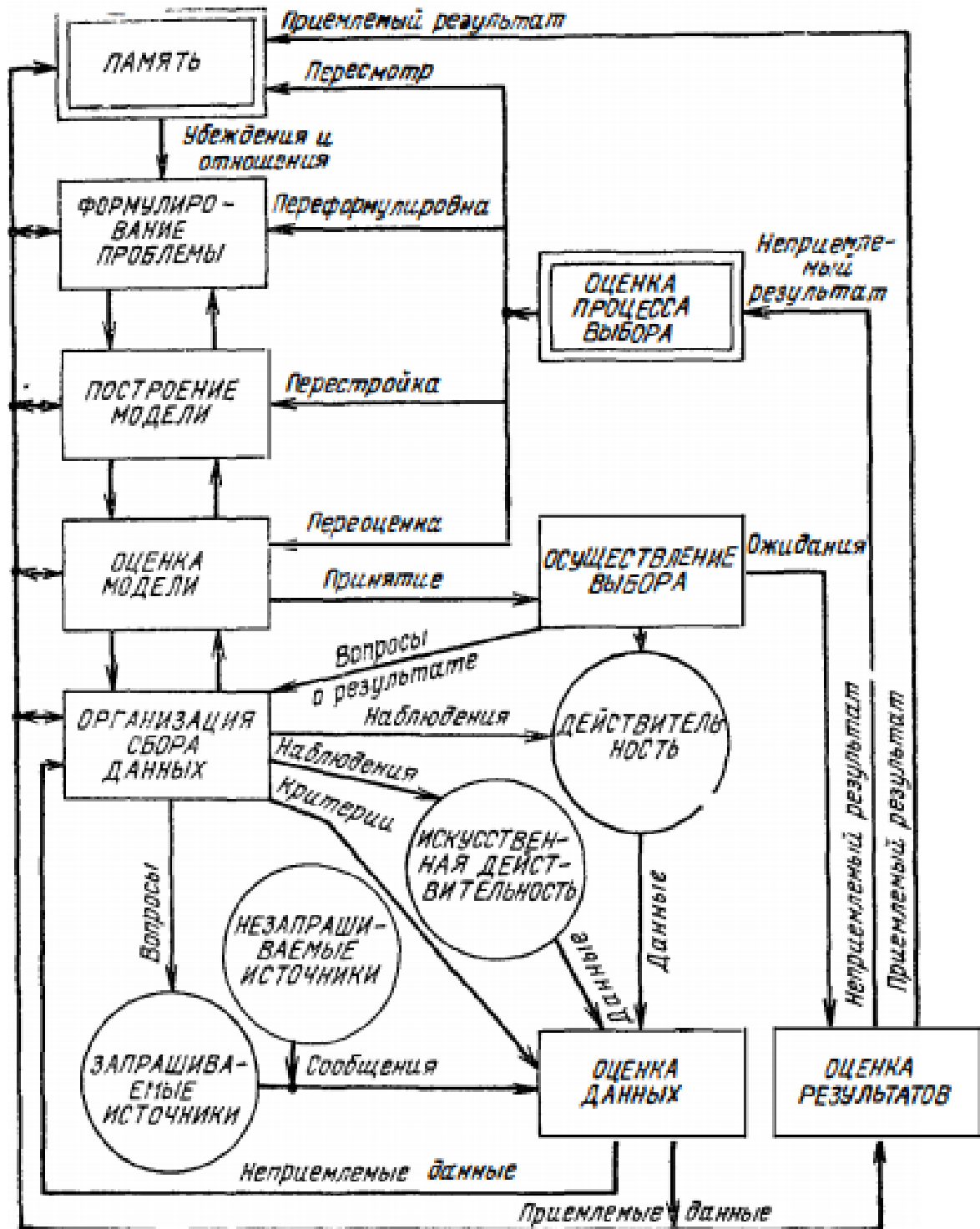


Рис. 3.2. Концептуальная модель процесса выбора.

ПРИЛОЖЕНИЕ В.

ПРИМЕРЫ ДОКУМЕНТОВ КОММЕРЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

ЗАО "ДОНЕЦКСТАЛЬ" - МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД

Начало согласования: **БЛАНК** Окончание согласования:
 "03" 2008 г. 16.03.2008 г. согласования и визирования "26" 2008 г. 14.03.2008 г.
 к договору (контракту) № 15599/08 от 11 марта 2008 года
 приложения 1, 2, 3
 ООО НПФ "Донецкстальсервис"

№ п/п	ДИРЕКЦИЯ, ОТДЕЛ	ЗАМЕЧАНИЯ	ДАТА и время согласования	ПОДПИСЬ
1	Финанс. ОП		13.03.08	<i>[Signature]</i>
2	Дирекция по финансам		14.03.08	<i>[Signature]</i>
3	Дирекция по внутреннему контролю и аудиту	Согласовано отделом по продажам 17.03.08 Опись товаров 17.03.08 17.03.08 Опись товаров № 2 862.000 руб	17.03.08	<i>[Signature]</i>
4	Дирекция по СУТН		13.03.08	<i>[Signature]</i>
5	Дирекция по правовому обеспечению		13.03.08	<i>[Signature]</i>
6	Дирекция по безопасности		14.03.08	<i>[Signature]</i>
7				
8				
9				
10				
11				
12				

Информация по сути договора *Иск поставка грубошерстной*

Заявитель *П.С. Петров М.В.* 20-24 13.03.08
 Ф.И.О. телефон дата подпись

02.03.08 14.03.08 11.03.08 24.03.08 26.03.08

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

к договору № 15599дс от 11 марта 2008 года

Спецификация чертежей

Металлоконструкции эстакады тепловых сетей над ж.д. путями		
№ чертежа	Наименование	Кол-во чертежей
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 1	Общие данные.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 2	Схема расположения элементов эстакады на участке А-Б.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 3	Схема расположения элементов эстакады на участке А-Б. Сечения 1-1...4-4.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 4	Схема расположения элементов эстакады на участке А-Б. Сечения 5-5...7-7. Фрагмент 1. Узел А.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 5	Узлы 1, 2, 8, 10.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 6	Узлы 3...6, 9.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 7	Узлы 7, 11.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 8	Балка БТ1. Траверсы Т1, Т2.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 9	Опоры ОП1, ОП2, ОП3, ОП1, ОП2.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 10	Фрагменты выполнения покрытия.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 11	Вставка анкерных опор ВА1. Сортамент.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 12	Опоры 10, 11, 12.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 13	Опоры 14, 15, 16, 17, 18, 19.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 14	Техническая спецификация металла (начало).	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ1 лист 15	Техническая спецификация металла (окончание).	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 1	Общие данные.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 2	Схема расположения элементов трассы на участке Б-Г.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 3	Схема расположения элементов трассы на участке Б-Г. Сечения 1-1...4-4.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 4	Схема расположения элементов трассы на участке Б-Г. Сечения 5-5...10-10.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 5	Схема расположения элементов трассы на участке В-Е. Сечения 1-1...9-9.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 6	Схема расположения элементов трассы на участке Е-Д. Сечения 1-1...9-9.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 7	Схема расположения элементов трассы на участке М-Н. Сечения 1-1...3-3.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 8	Схема расположения элементов трассы на участке К-Л. Сечения 1-1...3-3.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 9	Опоры ОП1...ОП4.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 10	Опоры ОП5, ОП6, ОП9, ОП10.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 11	Опоры ОП1, ОП2, ОП4, ОП5, ОП6, ОП7, ОП11, ОП12, ОП14.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 12	Опоры ОП3, ОП8, ОП9, ОП7, ОП8, ОП13.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 13	Вставки БТ1, БТ2.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 14	Узлы 1, 2, 8, 10.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 15	Узлы 3...6, 11, 13.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 16	Узлы 7, 9, 12.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 17	Узел 14.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 18	Фрагменты выполнения покрытия.	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 19	Техническая спецификация металла (начало).	1
7086.2.01.049.00.840.01.6.КМ2 лист 20	Техническая спецификация металла (окончание).	1
Итого чертежей		35



