

И.А. Зеленцов

Автоматизированная система распознавания древнерусских скорописных текстов

Реферат

по теме диссертационной

работы по специальности

05.13.17

“Теоретические основы информатики”

Предполагаемый научный руководитель

к.тн., доц. Ю.Н. Филиппович

Москва, 2008г.

Содержание

1	ВВЕДЕНИЕ	3
2	ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	4
2.1	Описание предметной области	4
2.2	Существующие методы распознавания текста	7
2.2.1	Методы, использующие Евклидово пространство	7
2.2.2	Признаковые методы	8
2.2.3	Структурные методы	9
2.2.4	Методы трассировки изображений	11
2.3	Предлагаемый метод распознавания	12
2.3.1	Основные принципы	12
2.3.2	Экспертный подход	15
2.4	Система распознавания	16
2.4.1	Структура	16
2.4.2	Схема функционирования	17
2.5	База знаний	18
2.5.1	Фреймовое представление знаний	18
2.5.2	Структура базы знаний	19
2.5.3	Общая схема построения фреймовых моделей	20
2.5.4	Пространственные отношения	21
2.5.5	Модель представления букв	21
2.5.6	Модель представления слов	24
2.6	Обучение системы	25
2.7	Распознавание	26
2.7.1	Виртуальный фрейм	26
2.7.2	Гипотезы и АВФ	28
3	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	32

1 ВВЕДЕНИЕ

Темой исследования является решение задачи автоматизированного перевода древнерусских скорописных текстов в электронное текстовое представление. В настоящее время исследователями русской письменности накоплено большое количество древнерусских рукописей различных временных периодов. Для обеспечения возможности компьютерного анализа и электронного переиздания этих документов требуется их перевод в электронный вид. Значительный объем задачи, а также весьма узкий круг специалистов, обладающих знаниями в сфере древнерусского языка, порождают необходимость в автоматизации данного процесса.

Необходимость исследования связана со спецификой используемого в рукописях языка и стиля письма, а также качеством входных изображений. Эти факторы затрудняют использование применительно к рассматриваемым документам существующих средств распознавания текста, ориентированных на современные языки и способы представления текстовой информации на бумажных носителях.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью перевода древнерусских скорописных документов в электронный вид с возможностью последующего автоматизированного анализа. Большую роль здесь играет специфика используемого в рукописях языка, круг пользователей которого ограничен в настоящий момент учёными-исследователями древнерусской письменности.

Целью исследования является разработка методики автоматизированного перевода текстов из растровых изображений в вид электронных текстов и основанного на этой методике программного продукта. Назначением такого продукта является сокращение времени получения электронных текстовых документов за счёт замены этапа ручного ввода автоматизированным распознаванием. Продукт предназначается для научных сотрудников, исследующих древние документы данного вида. Также возможно использование продукта при подготовке мультимедийных электронных изданий указанных рукописей.

Задачи исследования: изучение особенностей древнерусской скорописи; анализ существующих методов распознавания рукописных текстов; разработка метода распознавания, обеспечивающего достаточную степень автоматизации перевода текстов; разработка алгоритмов анализа изображений; проектирование и реализация программного продукта.

2 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание предметной области

Существуют два основных вида электронных представлений рукописных документов. Первым видом является цифровое растровое изображение документа, полученное в результате его сканирования или фотографирования. Электронные копии документов этого вида, называемые электронными изображениями, содержат информацию о способе письма соответствующего временного периода, особенностях начертания символов, почерке автора и, конечно, предоставляют возможность пользователю документа извлечь информацию, содержащуюся в его тексте. Однако, с точки зрения автоматической или автоматизированной обработки, к таким документам применимы только методы графического анализа изображений.

Для получения доступа к информации, содержащейся в тексте рукописи, требуется её электронное представление второго вида. Таковым является электронный документ, называемый электронным текстом. Он содержит непосредственно текст рукописи, представленный последовательностью числовых кодов. В электронном текстовом документе теряется информация об особенностях ручного письма, но становится возможным проведение автоматического или автоматизированного лексикографического, статистического, синтаксического анализа текста, применение методов извлечения знаний. Эта особенность является важной с точки зрения автоматизации работы учёных, исследующих содержащиеся в рукописях тексты.

Процесс получения электронной текстовой копии рукописи может заключаться в прочтении (т.е. распознавании) рукописи или её копии человеком, имеющим достаточные знания в области исследуемого языка, и вводом им прочитанного текста в ЭВМ с помощью программы-редактора. Этот процесс достаточно надежен с точки зрения корректности перевода текстовой информации в электронный вид. Кроме того, специалист, набирающий текст, может пользоваться семантикой текста для разрешения неоднозначности, связанных с дефектами рукописи. Однако, ручной ввод текста является трудоёмким процессом, требующим больших временных затрат. Не исключаются ошибки, вызванные утомлением переводчика, отвлекающими факторами рабочего места, что в свою очередь требует дополнительных затрат времени на проверку введённого текста.

Альтернативой ручному переводу текста в электронный вид является автоматическое

или автоматизированное распознавание электронного изображения текста. Процесс распознавания заключается в анализе графической информации документа с целью выделения фрагментов изображения, соответствующих отдельным буквам, и определения соответствующих им числовых кодов. Таким образом, задачей распознавания является преобразование растрового изображения текста в последовательность соответствующих числовых кодов. Компьютерные программы, осуществляющие такое преобразование графической информации в текстовую, называются *распознавателями*.

Сложность решения задачи компьютерного распознавания находится в сильной зависимости от особенностей графического представления текста. Для машинопечатного текста характерны следующие закономерности. Текст располагается в виде одной полосы на странице; расположение полос на всех страницах одинаковы. Полосы состоят из строк, расположенных одна под другой. Строки расположены на горизонталях страницы; левые и правые края строк выровнены (кроме начальных и конечных строк абзацев). Слова текста располагаются в строках, следуя друг за другом слева направо через пробельные промежутки. Буквы в словах следуют одна за другой и разделяются небольшими промежутками, т.е. не пересекаются. Буквы имеют четко определённое шрифтом начертание, одинаковое по всему тексту.

В скорописных документах текст так же располагается в виде одной полосы на странице, однако положение полос на разных страницах варьируется. Полосы состоят из строк, расположенных одна под другой. Строки расположены на линиях, близких к горизонталям страницы, но чаще всего отклоняются от них, имеют изгибы. Чёткого выравнивания по краям нет, в частности из-за присутствия декоративных росчерков. Слова текста располагаются в строках, следуя друг за другом слева направо через пробельные промежутки; последние могут быть слабо выраженными из-за выступающих элементов букв других строк. Буквы в словах следуют одна за другой и могут либо разделяться небольшими промежутками, либо соединяться (собственными или специальными штрихами), либо иметь случайные пересечения, в том числе с буквами соседних строк. Буквы имеют начертание, определённое почерком создателя рукописи, и это начертание может широко варьироваться на протяжении текста. Элементы букв могут иметь искажения, вызванные неточностью движения руки (неровности, пропущенные участки), а также дополнительные декоративные росчерки. На рисунке 1 приводится изображение фрагмента рукописи, иллюстрирующее указанные особенности.

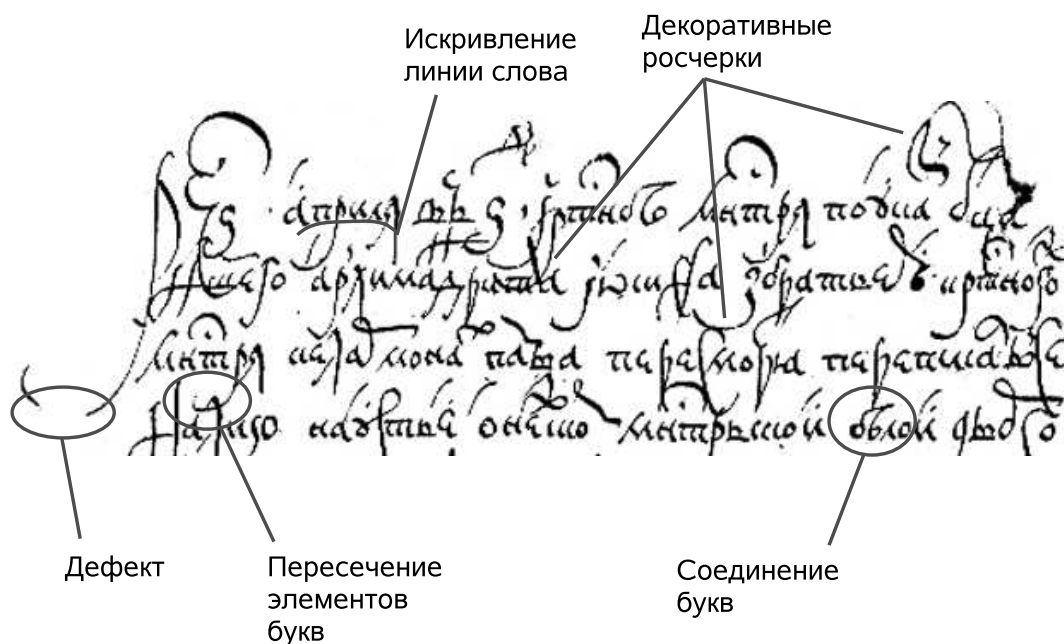


Рисунок 1: Иллюстрация особенностей скорописного формирования текста

Таким образом главными особенностями рассматриваемых рукописей являются:

- Отсутствие ровных строк;
- Широкая варьируемость начертаний букв;
- Возможные дополнительные декоративные элементы в буквах;
- Соединение и пересечение букв.

На основе проведённого анализа можно сделать заключение, что большинство допущений относительно распознаваемого текста, принимаемых при распознавании машинной печати, не применимы к скорописным документам. Так, нельзя полагать, что буквы имеют в большой степени одинаковое начертание. Более того, одна и та же буква может иметь в разных точках текста различные декоративные штрихи, не входящие в основной набор формирующих букву элементов. Нельзя рассчитывать на возможность выделения отдельных букв в изображении с помощью поиска обособленных скоплений чёрных точек. Кроме того, расположение соседних букв может отличаться по вертикали, поэтому можно лишь приблизительно обозначать место поиска очередной буквы.

2.2 Существующие методы распознавания текста

В настоящее время существует достаточно большое разнообразие подходов к распознаванию изображений в целом, и текстов в частности. Каждый из них ориентирован на определённый, более или менее обширный класс распознаваемых объектов. Как правило, применимость того или иного метода обуславливается набором предположений о виде объектов, условиях и результатах распознавания.

2.2.1 Методы, использующие Евклидово пространство

Представление распознаваемых объектов в виде точек Евклидова пространства строится следующим образом [27]. Над матрицей распознаваемого изображения производится несколько серий вычислений, определяющих необходимые для классификации характеристики изображения. Такими характеристиками могут быть число черных точек, значения цвета в определённых областях изображения, количество и площадь белых областей, ограниченных черными точками и прочие статистические измерения. Наконец, вектором измерения изображения может служить просто конкатенация строк матрицы изображения. Далее в многомерном Евклидовом пространстве (параметрическом пространстве), каждое измерение которого соответствует одной из вычисляемых характеристик, строится точка, соответствующая совокупности полученных измерений. По совокупностям точек, Евклидово расстояние между которыми мало, выделяют в область пространства, соответствующую данному классу изображений.

Методы, работающие с Евклидовым пространством, используют параллельную процедуру подачи входного изображения. Распознавание основывается на проведении ряда математических вычислений над полным множеством точек изображения. Среди параллельных методов можно также выделить методы, использующие обучение в процессе своей работы [28]. Такие методы используют в своей основе нейронные сети. Объекты представляются в виде параметрических векторов. Решение об отнесении объекта к какому-либо классу принимается на основе результатов преобразования входного вектора сетью простых преобразователей. Построение правил классификации производится в виде итеративного процесса оценки результатов каждого распознавания и подстройки параметров сети (обучение с учителем). Такой алгоритм имеет связь с методом разделяющих функций. Другой вариант – обучение без учителя, когда система не знает правильных ответов при обучении и стремится научиться давать различные ответы при поступлении различных

входных последовательностей. Здесь присутствует связь с методом функций расстояния, решается задача определения классов неизвестных объектов.

Недостатком методов данного класса является требование к единовременной подаче на вход всего множества точек распознаваемого изображения. В задаче распознавания рукописей такой подход реализовать трудно в связи с рассмотренным выше обстоятельством связанности букв между собой. Определить границу между двумя буквами параллельным методом можно только распознав сами буквы.

2.2.2 Признаковые методы

Методы данной категории опираются на возможность классификации распознаваемых объектов на основе наличия в них некоторых характерных признаков. Существуют два основных подхода. Первый основывается на предположении, что простые измерения, проводимые над изображением, есть результат действия совокупности небольшого числа порождающих признаков. Задачей разработки метода распознавания является определение пространства признаков, к которому требуется свести пространство прямых измерений. При этом пространство признаков имеет меньшую размерность. При таком подходе используется аппарат факторного анализа.

Второй подход определяет признаки как подмножества множеств простых измерений. Такими признаками могут служить наличие черных точек в определённых областях (например, диагональ или горизонтальная черта в середине изображения), число черных точек на характеристической линии, проводимой через изображение и т.д. Распознаваемые объекты представляются как различные совокупности наблюдаемых признаков.

Методы данного класса являются в большей степени эвристическими. Их эффективность определяется правильностью выбора набора рассматриваемых признаков. В работах [39] и [46] описываются примеры разработки наборов признаков для построения систем распознавания небольших изображений. Признаковый метод применён также в работах [10] и [11]. В работе [26] описывается способ представления целого текста в виде набора числовых признаков.

К особенностям методов данной группы следует отнести параллелизм процедуры обработки изображения и фиксированность размера принимаемой на вход выборки, свойственные методам предыдущего класса. Условием применения этих методов для распознавания является предварительное выделение распознаваемых символов из исходного изображе-

ния.

Однако, возможно применение признаков методов для решения задачи выделения строк и слов в тексте. В [37] предлагается способ нахождения строк на основе статистического анализа совокупности измерений числа чёрных точек на горизонтальных сечениях изображения. Несмотря на наличие выносных элементов букв в межстрочных интервалах, график указанных измерений имеет явно различимые подъёмы в областях строк и спады в промежуточных областях. Аналогичным образом в выделенных строках производится подсчёт чёрных точек в вертикальных сечениях, на основе чего с большой точностью производится разбиение строк на слова.

2.2.3 Структурные методы

Принципиально другой подход к обработке входной информации реализуют последовательные методы. Здесь входная информация подаётся постепенно. Следовательно, алгоритм распознавания имеет возможность управлять входным потоком на основании уже обработанной информации. К последовательным методам относятся структурные методы. Здесь процесс распознавания делится на два потока: выделение в изображении структурных элементов определенного вида и согласование получаемой структурной информации с имеющимися в системе моделями для классов изображений.

Одним из видов структурных методов являются методы грамматической классификации образов [32, 27]. Они используют представление образов в виде предложений специального языка. На этапе инициализации алгоритма требуется определить виды возможных структурных элементов изображений. Построение правила классификации сводится к выводу грамматики, описывающей язык классифицируемых образов. Распознавание заключается в определении выводимости рассматриваемого предложения с помощью найденной грамматики. Примерами грамматического описания изображений служат: язык описания изображений PDL (Picture Definition Language, Язык Описания Изображений), плекс-грамматики, веб-грамматики, синтаксическое описание рукописных символов. Описываемые в [33] грамматики Эванса используют в качестве терминальных символов простые элементы изображений, такие как круг, прямоугольник, линия. В качестве терминалов, описывающих взаимоотношения элементов, используются специальные операторы, такие как “над”, “внутри” и т.д.

В работе [42] приводится модель английской скорописи. В результате анализа англий-

ских скорописных текстов был выявлен ограниченный набор типов линий, с помощью комбинации которых можно изобразить любую скорописную букву (см. рис. 2). Подход нашел своё применение в системах распознавания Parascript FormXtra.

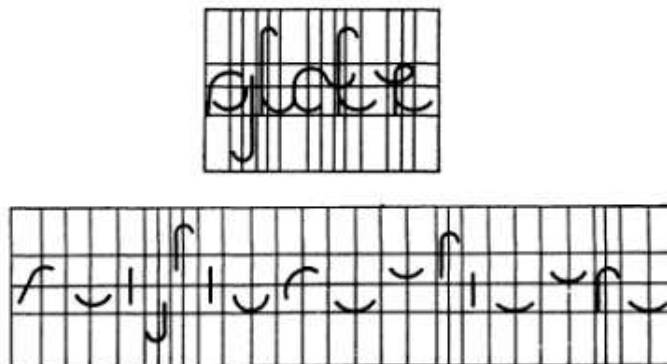


Рисунок 2: Разложение изображения записи слова на структурные элементы

В качестве структурных элементов изображений могут использоваться траектории движения пишущего или рисующего инструмента. В таком случае эти элементы могут характеризоваться последовательностью направлений шагов перемещения пера. Направления могут кодироваться кодами из конечного набора наперёд заданных направлений, распределённых на диапазоне $0^\circ - 360^\circ$ [32]. Другим способом является описание элементов с помощью кривых Безье [14].

Одним из способов анализа и согласования структурной информации об изображении является построение фреймовых моделей, предложенных в [19]. Информация о структурных элементах изображения и их взаимосвязи представляется в виде фреймов – сетевых структур, узлы которых описывают объекты изображения, а именованные дуги – их взаимоотношения. В процессе распознавания в изображении также выделяются структурные элементы и определяются связи между ними. Процесс сегментации изображения управляется процессом проверки выбранного в текущий момент фрейма – гипотезы. Изображение признаётся как описываемое каким-либо фреймом, если удаётся связать его терминальные узлы с наблюдаемыми элементами изображения. Преимуществом такой модели является возможность описания изображений на разных концептуальных уровнях, от наиболее абстрактных понятий к конкретным фрагментам изображения. Это позволяет проводить распознавание на разных уровнях детализации, способствуя решению проблемы вариативности начертания рукописных символов. Другой полезной особенностью является воз-

возможность задания для некоторых терминалов фрейма значений по умолчанию, которые могут быть изменены при обнаружении противоречия, или признаются действительными в противном случае.

В работе [43] описывается программа, способная распознавать изображения трёхмерных геометрических фигур, нарисованные прямыми чёрными линиями. В её основе лежит представление знаний о структуре изображений в виде фреймов. На начальном этапе распознавания выдвигается гипотеза о предполагаемом виде распознаваемого изображения. Далее изображение анализируется линия за линией. На каждом этапе выбранная гипотеза либо подтверждается, либо отвергается, и принимается более подходящая. В последнем случае считанная информация продолжает участвовать в проверке гипотез. На основе полученной информации и текущей гипотезы программа может делать предсказания относительно вновь поступающих данных.

Структурные методы позволяют системам распознавания перемещаться по изображению, постепенно и последовательно собирая необходимую информацию. Необходимость в выделении отдельных символов для их распознавания отпадает, так в процессе анализа полученных на данный момент сведений об изображении распознаватель может выбирать область дальнейшего исследования и самостоятельно определять границы наблюдаемого символа [4]. В настоящее время структурные методы распознавания изображений применяются в наиболее развитых системах распознавания скорописного текста, таких как ABBYY FineReader и Parascript FormXtra.

2.2.4 Методы трассировки изображений

Применение структурного подхода к распознаванию требует выделения на изображении его структурных элементов. Одним из подходов к выделению структурных элементов рукописного текста является выявление траекторий движения пера, которые имели место при синтезе изображения ([22, 23]). Такой подход не только определяет множество типов элементов изображения, но и позволяет свести задачу оффлайн-распознавания к онлайн-задаче. Последняя имеет меньшую сложность решения [40], так как входной массив данных дополняется информацией о процессе формирования изображения. В настоящее время она достаточно эффективно решается множеством компьютерных программ (Paragon Penreader, CellWriter, компонент MS Office).

Метод, основанный на построении векторной модели изображения, описан в [17]. Здесь

используется алгоритм скелетизации изображения [21], т.е. истончения линий до толщины в одну точку. В результате скелетизации получается эквивалентное со структурной точки зрения изображение, но состоящее из линий единичной толщины, которые могут с определёнными допущениями рассматриваться как те же траектории движения пишущего инструмента. Производится трассировка траекторий, т.е. их обход точка за точкой, с одновременным фиксированием точек пересечения с другими линиями и определением вида (отрезок, дуга) линий и их параметров.

2.3 Предлагаемый метод распознавания

2.3.1 Основные принципы

Как следует из описанных особенностей скорописи, система распознавания находится в ситуации, когда вариативность начертания распознаваемых символов велика, а их выделение из общего изображения затруднено. Основываясь на проведённом анализе методов распознавания предлагается использование структурного подхода.

Для распознавания буквы необходимо выделить и определить её составные части. Этой цели может служить механизм векторизации входного растрового изображения. Специальный алгоритм (называемый *трассировщиком*) должен произвести анализ изображения и представить совокупности точек, образующие различные штрихи-элементы букв, в виде геометрических объектов, имеющих известные свойства. Другая часть системы (*распознаватель*), отвечающая за структурный анализ, должна выполнять оценку состава и отношений полученных примитивов. Сопоставляя наблюдаемую картину структуры изображения с имеющимися в её памяти образцами, она сможет делать выводы относительно состояния процесса распознавания. Наличие образцов структур букв позволяет распознавателю прогнозировать поступление информации об изображении и управлять продвижением трассировщика. Таким образом, задача выделения отдельных букв становится частью процесса распознавания.

Проблема варьированности начертания символов решается отчасти на уровне описания их элементов, отчасти на уровне представления структуры и отчасти на уровне её анализа.

Для преодоления трудностей распознавания, связанных с неточностью формирования элементов, в их описание вводится элемент нечёткости. Описание элемента должно отражать наиболее характерные его свойства, не привязываясь к конкретным измерениям его геометрии. Аналогично, описание структуры элементов символа следует проводить

на качественном уровне, пользуясь нечёткими терминами “справа”, “выше”, “больше” и т.д. Не следует задавать эталон буквы, в котором указано, на сколько точек один элемент длиннее другого или сколько точек разделяют их друг от друга. Во-первых, масштабы реальных изображений могут быть разными, а во-вторых, соотношения размеров и взаимное положение будет варьироваться в определённых рамках. Более продуктивным будет отразить только факт наличия того или иного соотношения, и не указывать его абсолютные характеристики.

При оценке соответствия распознаваемого символа образцу единственное несоответствие может привести к отвержению гипотезы, если при этом пользоваться чётким понятием соответствия, имеющим два значения. Однако отклонения приведённых выше видов не изменяют символов, а только модифицируют их начертания. Нечёткость на уровне анализа структуры позволит говорить и степени соответствия изображения образцу. Если эта степень превышает установленный в данной ситуации порог, то можно считать гипотезу о соответствии верной.

Можно рассматривать два подхода к вопросу управления процессом структурного распознавания. Первый заключается в последовательном считывании элементов изображения и построении модели их структуры до тех пор, пока не будет установлено соответствие собранной информации одному из образцов в памяти. Второй основан на принятии гипотезы о наблюдаемом объекте и её целенаправленной проверке путём поиска предполагаемых элементов на изображении. В рассматриваемом контексте первый подход оказывается неприменимым, т.к. он не решает задачу выделения символов в процессе распознавания. Последовательное считывание подразумевает наличие некоторой известной упорядоченности элементов.

Напротив, распознавание, управляемое гипотезами, способно самостоятельно определять порядок считывания элементов. Имея привязку к определённой точке изображения и предположения об окружающих её элементах, можно назначить последовательность проверок этих предположений, производя последовательный разбор изображения в соответствии с этим порядком. Таким образом, команда считывания очередного элемента с изображения дополняется параметрами ожидаемого вида элемента и областью его поиска относительно уже выделенных элементов. В случае неподтверждения гипотезы информация, полученная к данному моменту, сохраняется и служит для выбора другой гипотезы. Сохранение информации позволяет избежать её повторного поиска и считывания, а также

уменьшает объем работы, необходимой для подтверждения следующей гипотезы.

Подход, основанный на подтверждении гипотез, позволяет решить также и проблему непредсказуемых декоративных элементов букв и случайных пересечений, искажающих картину. Проверка гипотезы подразумевает поиск только тех элементов изображения, которые составляют образец предполагаемой буквы, и оставляет без внимания все лишние факты. Таким образом, гипотеза позволяет как-бы выделить суть из зашумлённой картины.

Для повышения вероятности правильного распознавания в метод включается использование словника, т.к. набор слов, используемых в рукописях, является в принципе известным. До настоящего момента описываемый выше процесс распознавания букв рассматривался в контексте распознавания текста. С появлением словника вводится ещё один промежуточный контекст — распознавание слов. Теперь распознавание текста представляется в виде распознавания всех его слов, а распознавание каждого слова, в свою очередь, заключается в распознавании составляющих его букв.

Дополнительный контекст слов позволяет усилить принцип выдвижения гипотез. Распознавая очередное слово, можно сделать предположение, какое из слов словника наблюдается в данный момент. Проверка такой гипотезы будет заключаться в последовательном распознавании всех букв слова, т.е. серии вызовов распознавателя букв (РБ) с указанием ожидаемой буквы. Это означает, что РБ теперь имеет начальную гипотезу перед распознаванием очередной буквы, что позволяет ускорить процесс нахождения верного ответа. В случае, если гипотеза о букве не подтверждается, РБ возвращает распознавателю слов (РС) фактически обнаруженную букву, в результате чего последний корректирует свои прогнозы.

Развивая идею словника, в процесс распознавания можно было бы ввести ещё несколько контекстов. Например, распознаванием слов мог бы управлять синтаксический анализатор, действующий по правилам языка рукописей, в свою очередь управляемый семантическим анализатором. Каждый новый уровень позволял бы сужать круг поиска нижележащим уровням. Однако, данная работа ограничивается двухуровневой системой “буква – слово”.

2.3.2 Экспертный подход

Древнерусская скоропись является историческим памятником развития русской культуры. Язык и способ письма, используемые в ней, претерпели к настоящему времени значительные изменения. Все особенности древнерусского языка известны сегодня только кругу специалистов-исследователей. Таким образом, для обеспечения системы необходимыми данными о распознаваемом виде письма требуются знания эксперта. Кроме того, участие эксперта необходимо также в процессе работы системы. Разрешение всевозможных неоднозначных ситуаций требует понимания распознаваемого текста и знания правильного способа выхода из сложившейся ситуации.

Необходимость внедрения знаний эксперта в систему распознавания приводит к следующему выводу. «Памятью» системы распознавания, должна служить база знаний, наполненная полученными от эксперта сведениями. Предложенная двухуровневая система распознавания требует наличия знаний двух областей: знаний о начертании символов и знаний об изображениях слов. Первая компонента содержит организованную должным образом информацию о структуре изображения каждой буквы алфавита, причём буква может иметь несколько принципиально разных начертаний. Вторая компонента содержит информацию о структуре слов, отражающая как буквенный состав каждого слова, так и правила расположения изображений букв внутри изображения слова. Для обеспечения возможности наполнения базы знаний экспертом без погружения его в подробности её реализации, в систему включается специальный режим работы, обеспечивающий получение информации от эксперта с помощью диалога на высоком уровне. Т.е. система становится обучаемой.

Для обеспечения участия эксперта в решении возникающих при распознавании проблем алгоритм основного режима работы системы строится на интерактивном принципе. Процесс распознавания инициируется экспертом и работает автономно до возникновения проблемы, неразрешимой с помощью сведений из базы знаний. В этом случае система выдаёт эксперту описание проблемы, изображение проблемного участка рукописи и запрашивает правильный результат распознавания, а также область изображения, с которого следует продолжить процесс.

2.4 Система распознавания

2.4.1 Структура

На основе описания предлагаемого метода распознавания, можно построить структурную схему системы распознавания (рисунок 3).

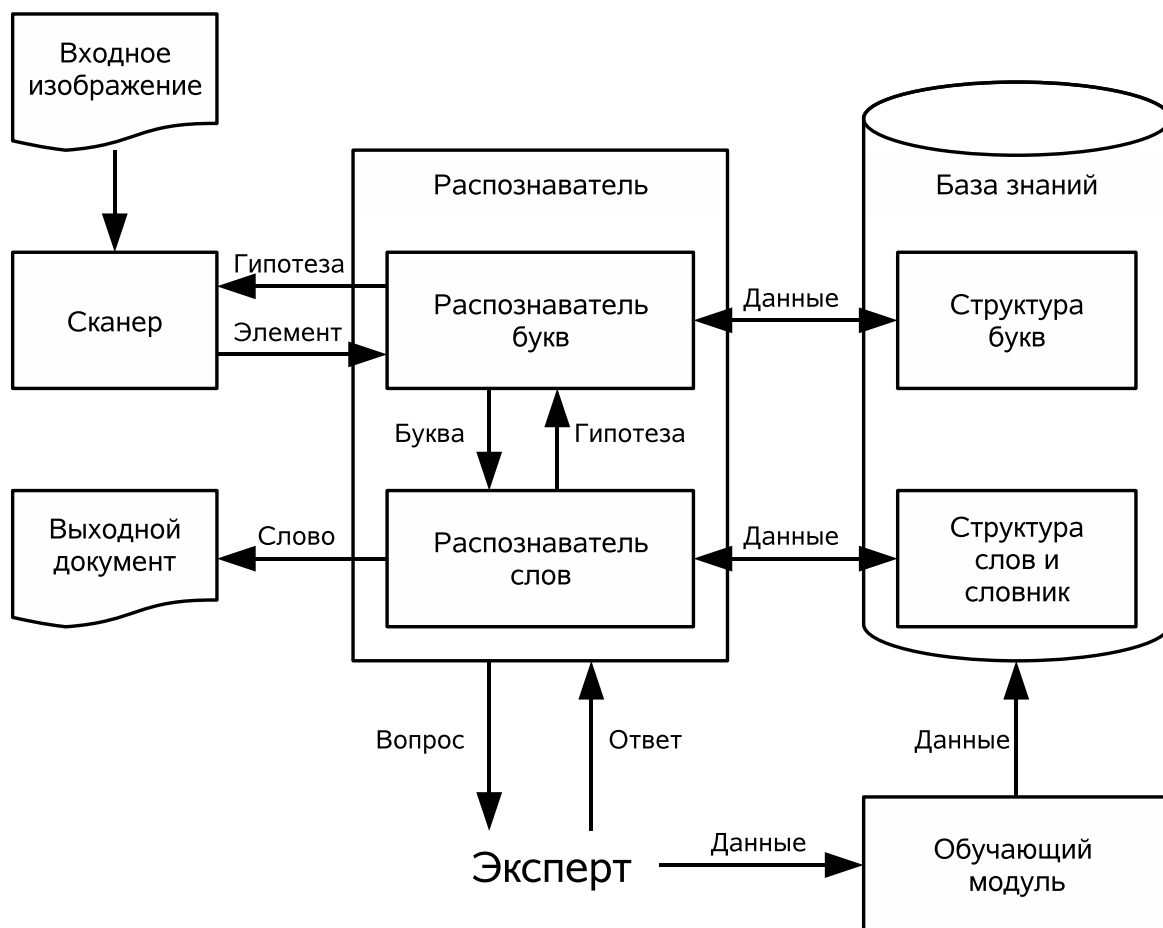


Рисунок 3: Структурная схема системы распознавания

Компонентами системы являются: сканер; распознаватель, состоящий из распознавателей слов и букв; база знаний, содержащая информацию о буквах и словах; модуль обучения. Ниже приводятся пояснения о роли компонентов и их взаимодействии.

Компонент *сканер* выполняет функции трассировки входного изображения. В его задачу входит начальная обработка изображения и выделение в нём структурных элементов букв. Компонент *распознаватель* отвечает за построение структурной картины входного изображения, её распознавание и формирование выходного электронного документа. Его составляющие части, *распознаватель букв* (РБ) и *распознаватель слов* (РС), реализуют описанную двухуровневую схему распознавания. *База знаний* (БЗ) содержит полученную

от эксперта информацию о структуре распознаваемых букв, а также словник и данные о структуре каждого из слов. За получение этой информации от эксперта и наполнение базы знаний отвечает *модуль обучения*.

2.4.2 Схема функционирования

Для того, чтобы стало возможным выполнение системой её основной функции — распознавания изображений, — необходимо наполнить её базу знаний. Для этого модуль обучения проводит диалог с экспертом, получая от него знания о структуре изображений букв и заполняя словник. В нём содержится вся логика, необходимая для преобразования вводимых данных в информационные структуры базы знаний установленной схемы.

Процесс распознавания инициируется экспертом. Управление передаётся компоненту *распознаватель*, который выполняет подготовку пустого выходного документа и подаёт на вход *сканера* входное изображение для предварительной обработки. Основной цикл распознавания заключается в серии команд модулю *РС* распознать поочерёдно все слова рукописи.

Для распознавания очередного слова *РС* выдаёт для *РБ* команду распознать очередную букву. На первом шаге распознавания слова гипотеза *РС* отсутствует, и команда заключается в запросе на распознавание любой буквы. *РБ*, в свою очередь, управляет работой *сканера*, запрашивая у него выделение очередного элемента в изображении. Сканер выполняет поиск первого элемента изображения (выбирая левый верхний элемент) и возвращает информацию о нём в *РБ*. Информация об элементе содержит его точные геометрические параметры и местоположение. *РБ* выполняет преобразование информации о геометрии элемента в его нечёткие характеристики и заносит в строимую им модель изображения. Запрашивая в базе знаний набор букв, содержащих элемент найденного вида, *РБ* может выдвинуть первую гипотезу о распознаваемой букве. Далее *РБ* действует в режиме проверки выдвинутой гипотезы, выдавая сканеру запросы на поиск элементов ожидаемого типа с указанием примерного местоположения нового элемента относительно одного из уже найденных. Во время проведения серии проверок *РБ* может отклонять гипотезы и выдвигать новые. В результате, когда одна из гипотез подтверждается в достаточной степени, *РБ* приостанавливает свою работу и передаёт соответствующий код буквы в *РС*.

Получив от *РБ* найденную букву, *РС* обращается к словарной части базы знаний и

получает набор слов, начинающихся с найденной буквы. Теперь можно принять одно из этих слов в виде гипотезы и в соответствии с ней предположить, какая буква будет найдена следующей. Эта буква помещается в следующий запрос к РБ и является для него начальной гипотезой. Результат этого запроса добавляется к полученным ранее, и из списка гипотез удаляются слова, не содержащие соответствующую последовательность букв. Когда одна из гипотез признаётся в достаточной мере соответствующей наблюдаемой картине, это слово передаётся управляющей части распознавателя, которая помещает его в выходной документ в кодированном виде.

2.5 База знаний

2.5.1 Фреймовое представление знаний

В качестве способа представления знаний выбраны фреймовые сети, предложенные в [19]. Сетевая природа фреймового представления позволяет корректно описывать сложный набор взаимосвязи структурных элементов букв. Кроме того, фреймовое описание хорошо согласуется с принципом проверки гипотез. Так, выдвижение высокоуровневой гипотезы означает активацию соответствующего фрейма, т.е. выделение из общей сети подмножества узлов, детализирующих его. Проверка заключается в попытке нахождения в распознаваемом изображении таких деталей, которые можно привязать ко всем терминальным узлам данной подсети. От общего фрейма по связям нужно перейти к детализирующим его субфреймам и активировать их. Этот процесс нужно рекурсивно продолжать до тех пор, пока не будет активирован терминальный узел. Его активация означает поиск в рассматриваемой картине объекта, свойства которого согласуются с данным терминальным фреймом. Фрейм считается согласованным с реальностью, если согласованы все его субфреймы, что в конце концов означает согласованность всех терминалов с реальными объектами. Если какой-либо фрейм удалось согласовать с реальной ситуацией, то можно сделать вывод, что наблюдается явление, обозначаемое данным фреймом, т.е. что явление распознано.

Различные фреймы в сети могут иметь общие узлы, отражая сходство отражаемых ими сущностей. Таким образом, если проверка данного фрейма на определённом этапе показывает его несоответствие реальной картине, то выбор следующей гипотезы можно произвести на основании уже собранной информации с помощью поиска другого фрейма, разделяющего согласованные узлы с первоначальным фреймом. Таким образом, разделе-

ние узлов между фреймами позволяет не только экономить память, но и время согласования. Кроме того, отношение числа согласованных терминалов фрейма к общему числу его терминалов отражает степень соответствия фрейма реальной картине. Это свойство также отвечает потребностям нечёткости сравнений выбранного метода распознавания.

2.5.2 Структура базы знаний

В соответствии с разработанным методом распознавания, в качестве ключевых понятий базы знаний следует выделить “слово” и “букву” как являющиеся объектами распознавания. Итак, база знаний представляется состоящей из множества фреймов, обозначающих конкретные слова, и множества фреймов, обозначающих буквы. Каждое слово состоит из некоторого количества букв, и все слова используют буквы из одного множества — алфавита языка. Таким образом, фрейм слова содержит набор субфреймов, описывающих вхождения составляющих его букв и связь между ними. Субфреймы-описатели слов ссылаются на фреймы-буквы как на детализирующие узлы, имеющие, в свою очередь, собственные субфреймы-описания. Описания букв устанавливают взаимоотношения между структурными элементами букв — линиями различных видов. Набор элементов также ограничен.

Терминалами, прикрепляемыми к субфреймам-описателям букв, будут являться конкретные найденные на изображении линии, имеющие уникальные координаты и геометрические характеристики. Аналогичным образом, конкретные распознанные буквы с определённым местоположением на изображении будут выступать в качестве терминалов для субфреймов-описателей слов.

Таким образом, словник системы представляется в виде набора фреймов-слов, распознаваемый алфавит — в виде набора фреймов-букв. На рисунке 4 изображена общая картина содержания базы знаний. Круги, помеченные буквами “С” с индексами обозначают фреймы различных слов. Буквами “Б” и “Э” помечены соответственно фреймы букв и видов составляющих элементов букв. Стрелками помечены ссылки, содержащиеся в слотах фреймов. Непомеченные узлы упрощенно представляют описатели структуры объектов. Подробно описатели и слоты будут рассмотрены далее. Терминальные ссылки не изображены (так как терминалы появляются лишь на стадии распознавания), но подразумеваются присутствующими в непомеченных узлах.

Из рисунка видно, что фреймы-слова разделяют фреймы-буквы, которые в свою оче-

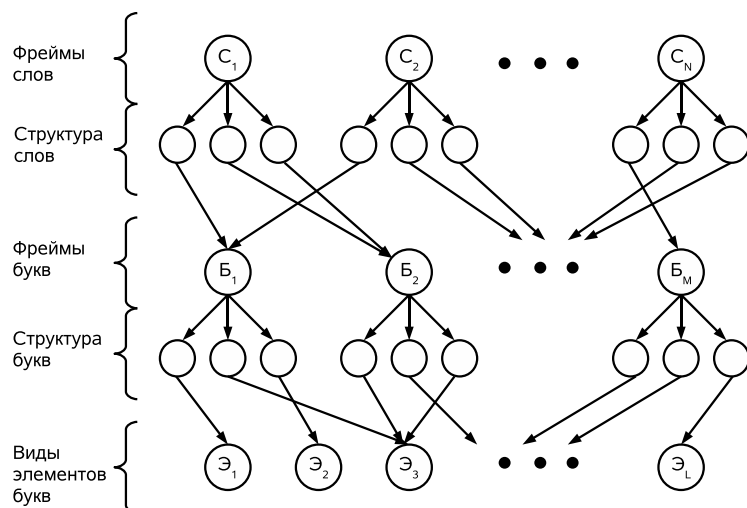


Рисунок 4: Общее представление содержания базы знаний

редь разделяют фреймы-элементы.

2.5.3 Общая схема построения фреймовых моделей

Описание детализируемого объекта строится из перечисления видов составляющих его элементов и их взаимоотношений. Причём, с одной стороны, объект может иметь несколько вхождений элементов одного вида, с другой стороны, различные объекты могут иметь одинаковые элементы, возможно имеющие одинаковые взаимоотношения. Здесь открывается возможность использования одного из свойств фреймовых сетей — разделения объектами частей описаний. Для этого следует разделить понятия элемента объекта и его вхождения в объект. С другой стороны, можно объединить понятие элемента с понятием отношения элементов на основе общего признака разделяемости, и назвать обобщённое понятие “свойством” объекта. Тогда описание объекта будет состоять из набора *вхождений* различных *свойств*. Понятие вхождения отражает единичный факт присутствия в объекте того или иного свойства, элемента или отношения. Если, к примеру, буква содержит две вертикальные линии, это может быть описано двумя экземплярами “вхождения”, ссылающимися на один экземпляр “вертикальная линия”. Таким образом, свойства являются общими для всех объектов, а их вхождения — уникальными.

Как свойства составляющих частей объектов, так и факты их вхождений в детализируемые объекты, представляются в фреймовой сети узлами специальных типов. Схема отношений объектов фреймовой модели представлена в виде диаграммы классов UML на рисунке 5.

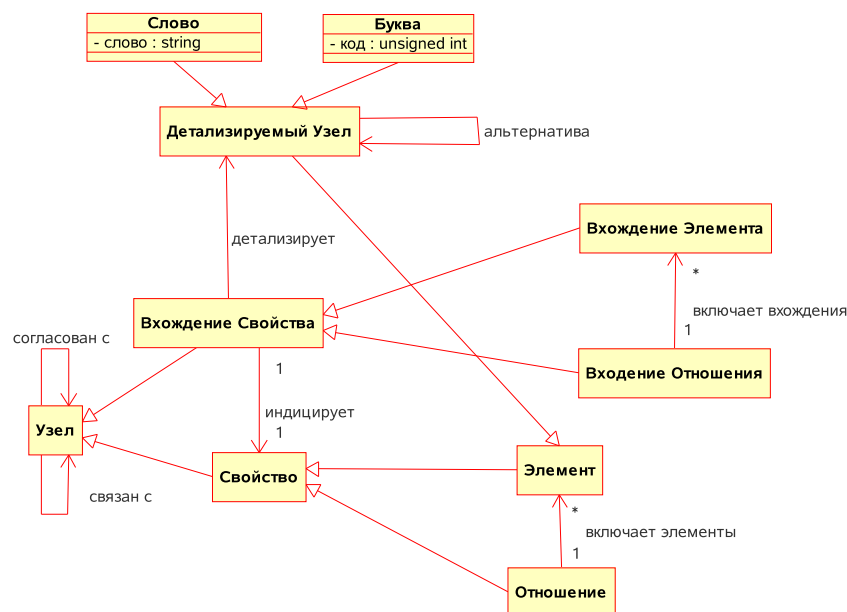


Рисунок 5: Базовая схема отношений объектов фреймовой модели

2.5.4 Пространственные отношения

И в описаниях структуры букв, и в описаниях слов потребуется указание относительно расположения элементов на изображении и их относительных размеров. Для этого, предлагается использование нечётких *пространственных отношений*. Для отражения того факта, что один элемент расположен слева от другого, строится узел типа *Слева-Справа*, слот *слева* которого ссылается на *Элемент*, расположенный левее, а слот *справа* — на *Элемент*, расположенный правее. Аналогично вводятся узлы типа *Выше-Ниже* (со слотами *выше* и *ниже*) и *Больше-Меньше* (со слотами *больше* и *меньше*). Узел типа *Равенство Размеров* будет связывать *Элементы* со схожими размерами с помощью произвольного числа слотов с именем *равный*.

2.5.5 Модель представления букв

Структурными элементами буквы являются линии определённых видов (элементарный штрих, входящий в начертание буквы), которые могут пересекаться. Полное описание структуры буквы можно построить, перечислив и охарактеризовав составляющие её линии, описав их пространственные взаимоотношения и пересечения.

Любую линию характеризует её траектория, т.е. последовательность направлений перемещения трассирующей точки при её движении от начала линии к концу. Траектория линии вычисляется следующим образом. Одна из крайних точек принимается начальной,

другая — конечной. Линия разбивается на L сегментов равной длины. Далее происходит L последовательных перемещений точки наблюдения по точкам границ сегментов в направлении от начальной точки линии к конечной. На каждом шаге измеряется величина угла между направлением вектора, проведённого из предыдущей точки в текущую, и направлением оси абсцисс (см. рис. 6). Последовательность измерений в градусах, разделённых символом ';', записывается в строку и называется *путём* линии.

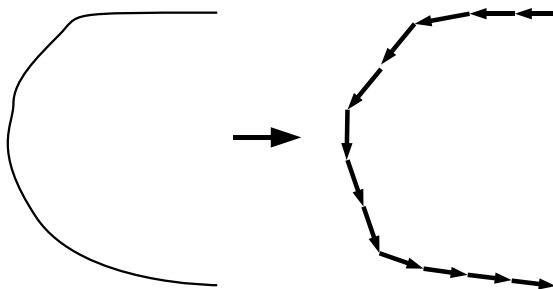


Рисунок 6: Построение пути линии

Построенное рассмотренным образом описание линии является чётким в смысле указания точных значений углов в пути. При сравнении путей каждое чёткое угловое измерение в пути представляется в виде нечёткой величины, характеризующей примерное направление вектора. Значением данной величины является набор степеней принадлежности нечётким множествам, показанным на рисунке 7.

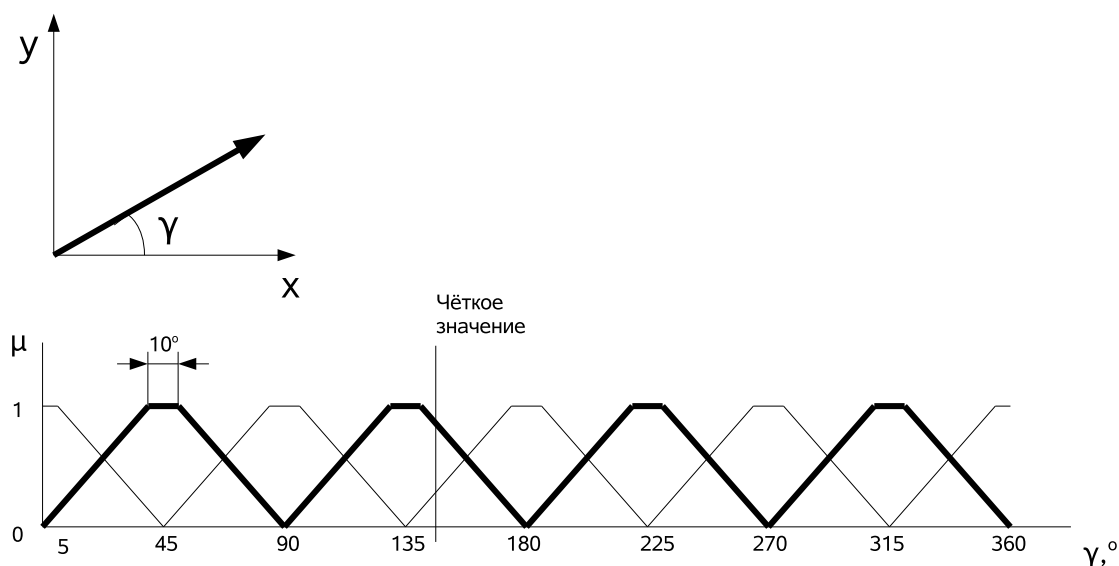


Рисунок 7: Нечёткое измерение направлений

Для учёта возможного различия масштабов линий с одинаковыми путями вводится

ещё одна характеристика линии — форма. Эта характеристика является нечёткой лингвистической переменной и отражает общий вид линии — является линия более широкой или высокой. Вычисляется она по форме описывающего линию прямоугольника, а именно по отношению его высоты и ширины. Чем больше это отношение, тем с большей уверенностью прямоугольник можно назвать высоким, чем оно меньше — тем он более широк. На рисунке 8 показаны нечёткие множества, характеризующие форму прямоугольника.

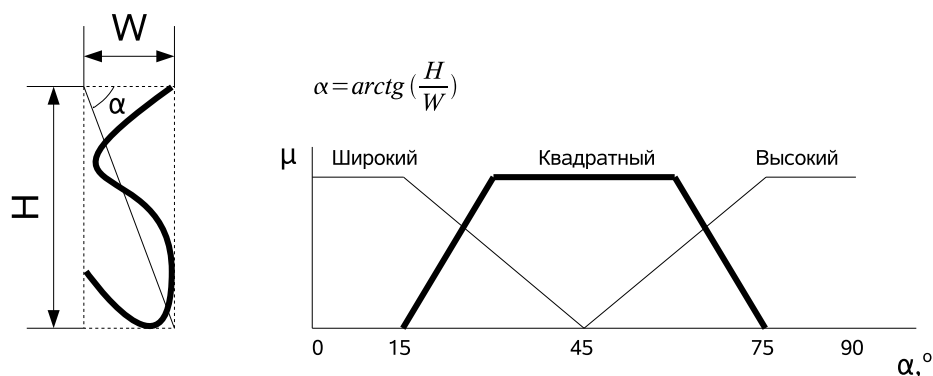


Рисунок 8: Нечёткое измерение формы линии

Пересечение двух линий можно описать, указав сами пересекающиеся линии и обозначив точку пересечения в каждой из них. Рассмотрим произвольную точку линии. Её можно охарактеризовать положением по горизонтали и вертикали внутри описывающего прямоугольника линии. Нечёткое описание положения точки использует термины “слева”, “в середине” и “справа” для горизонтальной оси, и “вверху”, “в середине” и “внизу” — для вертикальной. Нечёткие значения этих характеристик можно получить, измерив отношения отстояния точки от левого края линии к ширине линии и отстояния точки от верхнего края к высоте линии. Соответствующие нечёткие множества показаны на рисунке 9.

На рисунке 10 изображён упрощённый фрагмент фреймовой сети базы знаний. Здесь изображены возможные описания строчных букв 'н' и 'п'. В средней части рисунка располагаются общие для всех букв *Свойства*. Квадратами изображены *Линии*, а изображения внутри них заменяют описания самих линий. Кругами обозначены *Точки* пересечения линий, внутри кругов изображаются позиции точек. Ромбами показаны *Принадлежности Точек*, а шестиугольниками — *Соответствия Точек*. В верхней и нижней частях рисунка отображены *Вхождения Свойств* букв 'п' и 'н' соответственно. Белые треугольники обозначают *Вхождения Элементов*, а серые — *Вхождения Отношений*. Стрелками обозначены *отношения индикации* между *Вхождениями Свойств* и *Свойствами*. Простые соединитель-

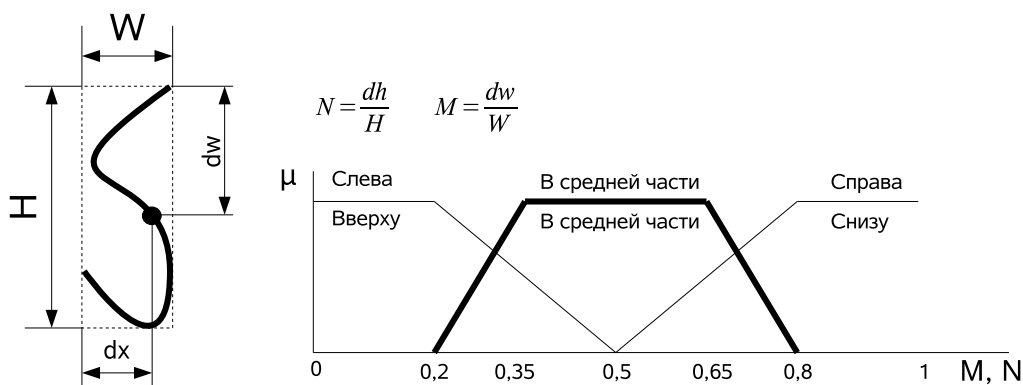


Рисунок 9: Нечёткое измерение позиции точки в области линии

ные линии обозначают *включения элементов* в отношения и *включения вхождений элементов* во вхождения отношений. Для упрощения рисунка, пространственные отношения опущены.

Из рисунка видно, что структуры обеих букв строятся на основе линий всего двух типов — горизонтальных и вертикальных. Соответствующие узлы эффективно разделяются между фреймами букв. Также на рисунке присутствуют только четыре вида точек пересечения, хотя сами буквы содержат в сумме восемь их вхождений. В целом видно, что число вхождений свойств значительно превышает число самих свойств, что иллюстрирует способность фреймовых моделей разделять описания между несколькими объектами.

2.5.6 Модель представления слов

Фреймовые описания слов строятся аналогично описаниям букв. Свойствами слов являются буквы как элементы, и пространственные отношения между буквами. Первый тип отношений очевиден и определяет последовательность расположения изображений букв в изображении слова. Последний вид отношений связан со спецификой древнерусской скорописи, в которой некоторые буквы в слове могут появляться над основным рядом букв.

На рисунке 11 изображён пример возможного фреймового описания слов “сорокъ” и “горшковъ”. Буквы изображены в виде квадратов, а отношения *Слева-Справа* — в виде блоков-стрелок, причём ссылки слотов *слева* и *справа* изображаются линиями, исходящими соответственно из левых и правых частей стрелок.

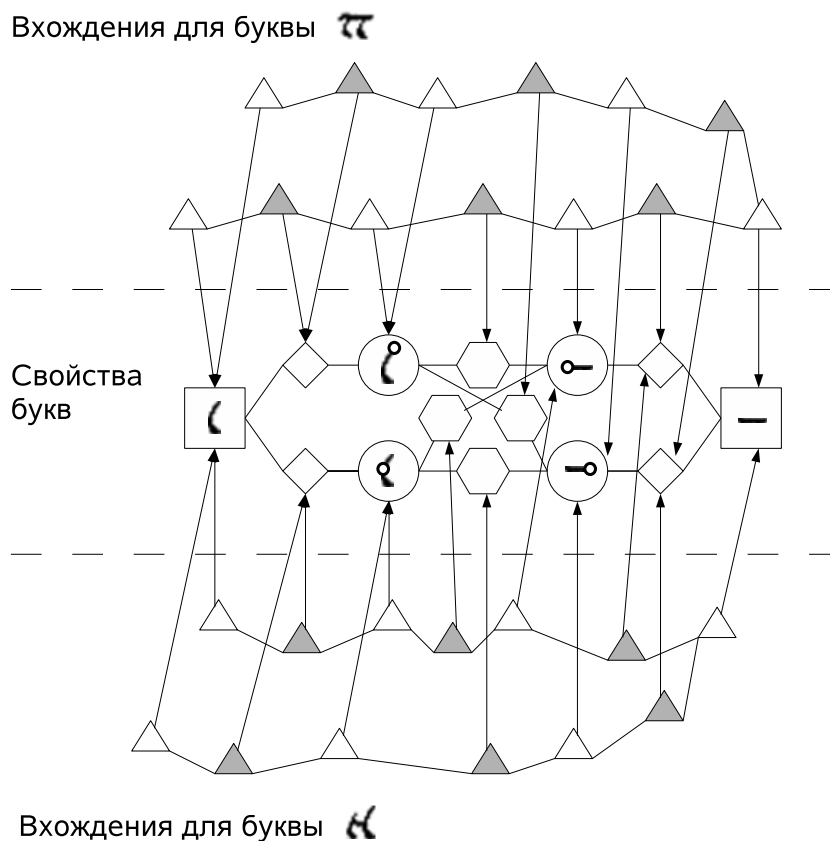


Рисунок 10: Пример фреймовой сети, описывающей две буквы

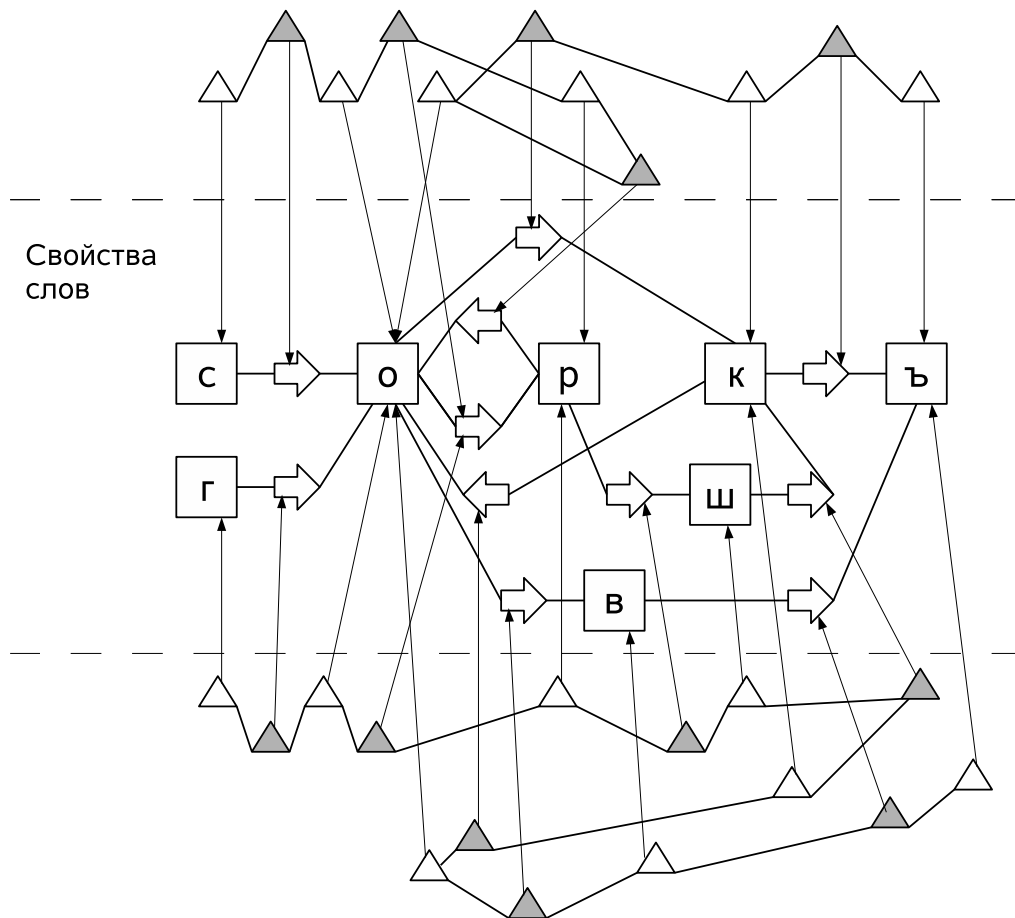
2.6 Обучение системы

Источником знаний системы является эксперт. Для облегчения их ввода, система предоставляет специальный режим работы, называемый режимом обучения.

Ввод в систему знаний о структуре букв происходит следующим образом. Эксперт выбирает из списка на экране букву, которую собирается описать. В специальной области экрана он рисует с помощью мыши или планшета эту букву, выводя её линия за линией, тем самым определяя набор элементов. Система сохраняет геометрические данных о вводимых линиях сразу после завершения ввода каждой из них. Когда буква нарисована, эксперт подтверждает ввод и система начинает разбор введённого изображения. На первом этапе происходит классификация линий, оценивается их взаимное расположение и размеры, определяются точки пересечения и положения этих точек внутри соответствующих линий. После того, как разобраны все элементы изображения, полученная информация заносится в базу знаний. После этого эксперт может продолжить обучение системы, вводя поочерёдно все другие буквы.

Формирование словарной части БЗ осуществляется на основе имеющегося словника,

Вхождения для слова «сорокъ»



Вхождения для слова «горшковъ»

Рисунок 11: Пример фреймовой сети, описывающей два слова

представленного в виде списка слов. Словник подаётся на вход системы, например, в виде текстового файла. Система осуществляет его разбор и заполняет базу знаний.

2.7 Распознавание

2.7.1 Виртуальный фрейм

В основе процесса согласования лежит концепция *виртуального фрейма* (ВФ). Иллюстрация этой концепции приведена на рисунке 12.

В процессе распознавания для сохранения получаемой информации об изображении в динамической памяти системы строится фреймовая модель, описывающая наблюдаемую в каждый текущий момент картину. Эта модель представляет собой не что иное, как описание буквы, аналогичное описаниям в БЗ. Отличие состоит только в том, что фрейм-

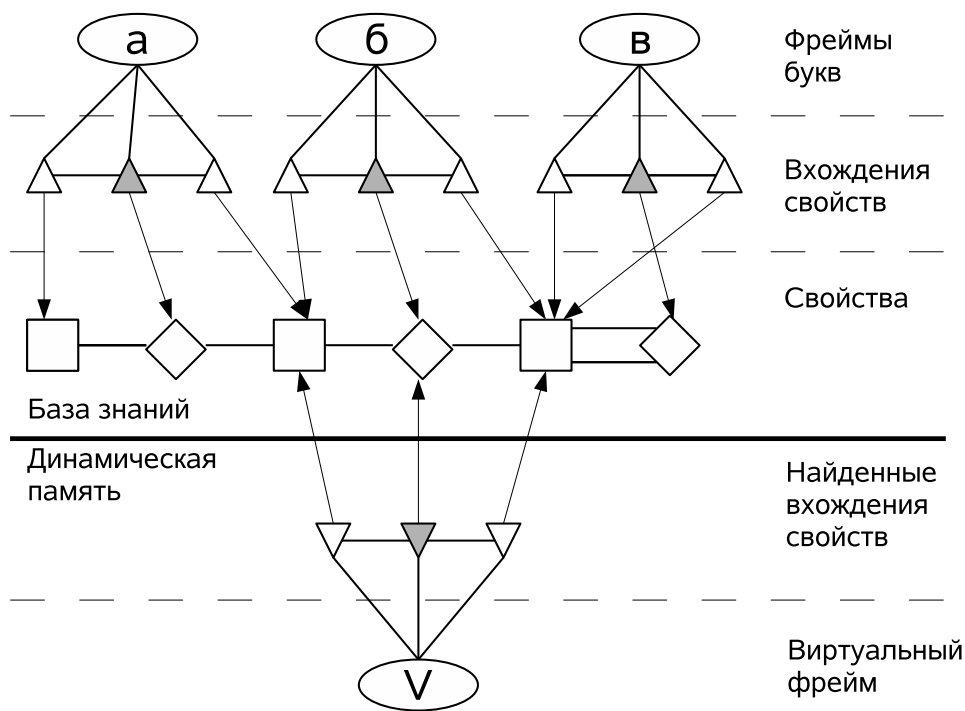


Рисунок 12: Виртуальный фрейм

мы в БЗ статически описывают структуру эталонных начертаний букв, а в динамической памяти строится фрейм буквы, рассматриваемой на изображении в данный момент, который дополняется новой информацией по мере её получения. Этот динамический фрейм и называется далее *виртуальным*.

Работа распознавателя букв строится на цикле обращений к сканеру. Каждый вызов сканера даёт для РБ очередную порцию информации о структуре изображения, а именно — обнаруженную линию буквы. О линии известно, каковы её форма и путь, а также точки её пересечения с другими линиями (возможно, пока не найденными). На основе этого в ВФ можно добавить узел, обозначающий вхождение найденной линии в рассматриваемую букву, и связать его с узлом-элементом в БЗ, обозначающим данный тип линий. Кроме того, можно добавить вхождения точек и так же согласовать их с набором элементов в БЗ. Необходимо также определить отношения между добавляемыми в ВФ элементами и отразить полученную информацию в виде *Вхождений Отношений*, увязанных с соответствующими статическими узлами-*Отношениями*. Таким образом, как видно на рисунке 12, в ВФ формируется динамическое описание вхождений статически заданных свойств буквы. Следует заметить, что построение подобного описания не модифицирует БЗ, т.к. ссылки на её узлы делаются в одностороннем порядке и не требуют каких-либо изменений статических узлов.

2.7.2 Гипотезы и АВФ

Пусть в результате первого обращения к сканеру получена линия некоторого типа, и в ВФ построено её описание, согласованное с БЗ. На данном этапе можно выдвинуть первые гипотезы. Можно предположить, что наблюдается одна из букв, содержащих в своей структуре линию найденного типа. Распознавание продолжается проверкой выдвинутых гипотез. Построенный динамический узел *Вхождения Элемента* может соответствовать такому же узлу одной из гипотез. Сами гипотезы представляются в виде узлов-*Альтернатив*, подчинённых ВФ — т.н. АВФ (альтернативный виртуальный фрейм). Каждый из полученных АВФ является копией исходного ВФ. Отличие будет состоять лишь в ссылках виртуальных *Вхождений* на статические *Вхождения*, соответствие которым подразумевается каждой из гипотез, а также в ссылках самих АВФ на соответствующие узлы-буквы в БЗ. Ссылки соответствия помещаются в специальные слоты виртуальных узлов. На рисунке 13 изображен случай с двумя гипотезами. Узлы A1 и A2 являются рассматриваемыми АВФ. Штрих-пунктирные линии обозначают отношения *согласования* между узлами.

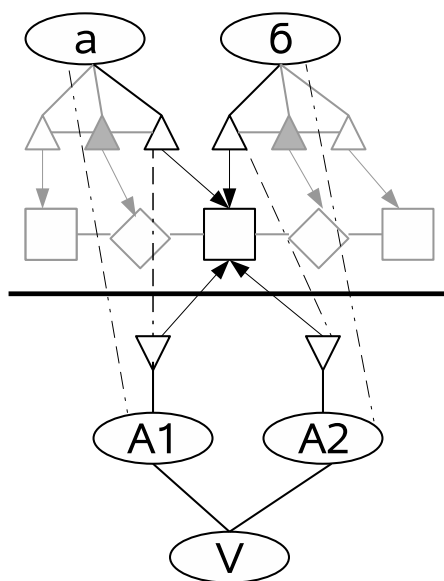


Рисунок 13: Построение АВФ

Обозначим набор узлов *Вхождений Свойств* в фрейме-букве через Q , а набор таких узлов в АВФ — через V . Обозначим через N число пар *согласованных Вхождений* из Q и V . Тогда *степенью согласованности* АВФ назовём величину

$$S_c = \frac{N}{|Q|},$$

а степенью пригодности АВФ — величину

$$S_a = \frac{N}{|V|}.$$

Степень согласованности АВФ отражает то, насколько полно он соответствует заданному фрейму. Эта величина будет расти по мере успешного согласования поступающей от сканера информации. При достижении некоторого верхнего порога Π_c можно говорить, что АВФ достаточно хорошо согласуется с данными фрейма и его гипотеза может быть принята. Условие $S_c > \Pi_c$ называется далее условием согласованности.

Степень пригодности говорит о точности соответствия АВФ рассматриваемому фрейму буквы. Чем меньше эта величина, тем больше в АВФ элементов, не имеющих отношения к обозначаемой им букве. При успешном согласовании поступающей информации этот показатель должен оставаться вблизи максимального значения — 1. При снижении его значения ниже некоторого установленного порога Π_a АВФ можно считать непригодным для дальнейшего рассмотрения и считать соответствующую ему гипотезу опровергнутой. Будем называть условие $S_a > \Pi_a$ условием пригодности.

После создания альтернативных ВФ (АВФ) для каждой из гипотез, для каждого из них вычисляются S_a и S_c , и обладатель максимального значения S_c принимается текущим. Дальнейшее распознавание ведётся путём проверки соответствующей ему гипотезы. При этом прочие АВФ остаются в памяти. Более того, они участвуют в проверке параллельно с текущим АВФ. Выбор текущего АВФ призван лишь определить наиболее перспективный путь распознавания.

Отталкиваясь от текущей линии, можно узнать из БЗ, какие точки пересечения должна иметь эта линия в наблюдаемой букве. Выполняется перебор этих точек, для каждой из которых выполняется следующее. Для текущей точки Р определяется вид ожидаемой пересекающей линии и эта информация передаётся сканеру в виде гипотезы. Полученная от сканера линия заносится во все АВФ. После этого определяются её реальные пространственные отношения с текущей линией. Результаты помещаются в виде соответствующих вхождений во все АВФ и производится попытка их согласования с фреймами БЗ.

Далее происходит пересчёт S_a и S_c для всех АВФ. Нарушившие условие пригодности АВФ исключаются из дальнейшего рассмотрения. Если нашёлся АВФ, удовлетворяющий условию согласованности, распознавание прекращается. Указанные действия повторяются для всех предполагаемых пересечений текущей линии. В конце концов АВФ будут содержать всю информацию о линиях, пересекающих текущую, а из их числа будут исключены

более не пригодные.

После согласования первой линии процесс дальнейшего распознавания разветвляется для выполнения согласования всех вновь найденных линий. Поочерёдно каждая из них принимается текущей во всех АВФ и для неё выполняется та же процедура согласования. При этом каждый раз на основе значений показателей S_c выбирается новый текущий АВФ.

Условием окончания алгоритма является либо отвержение всех гипотез, либо выполнение условия согласованности для одной из них. В последнем случае буква считается распознанной. Вызывающему модулю РС возвращается узел *Вхождения* найденной буквы, *согласованный* с фреймом распознанной буквы в БЗ. Все АВФ удаляются. В приложении А приводится блок-схема описанного алгоритма.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования были получены следующие результаты:

- Исследована предметная область распознавания древнерусских скорописных документов, в результате чего определены основные особенности текстов данного вида, влияющие на возможность применения различных методов распознавания, и сформулированы требования к используемому методу распознавания;
- Исследована возможность автоматизации распознавания рукописей, сформулированы критерии качества автоматизированной системы распознавания;
- Проведён анализ существующих методов распознавания, выделены их главные достоинства и недостатки в контексте распознавания скорописи, сделан вывод о перспективности использования структурного подхода к распознаванию при решении задачи;
- Проведён сравнительный анализ прототипов системы, в результате которого выявлена оправданность проведения разработки;
- Разработан метод распознавания рукописей, имеющий следующие ключевые особенности: экспертный подход к распознаванию, двухуровневая управляемая гипотезами схема распознавания (буквы-слова), структурное описание распознаваемых объектов с помощью фреймовых сетей, алгоритм распознавания основанный на согласовании виртуальных фреймов с образцами в базе знаний;
- Определена схема взаимодействия системы распознавания с экспертом в процессе обучения и распознавания;
- Проведено проектирование и реализация базы знаний с помощью языка OWL.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности. /Под ред. Н.А. Белова - М.: Знание, 2000 - 364с.
2. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов; Под общ. ред. Е.Я. Юдина – М.: Машиностроение, 1985. – 400с., ил.
3. Брюховецкая Т.А. Технология подготовки электронного издания рукописных книг XI века // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГУП, 2002. — Вып. 4.
4. Вершинина В.В. Метод и алгоритмы анализа контурных изображений в визуальных информационных системах на основе неоднородной нечёткой семантической сети : Дис. ... канд. техн. наук; 05.13.01 / Рыбин. гос. авиац.-технол. акад. — Рыбинск, 2004.
5. Гамма Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования — СПб,:Питер, 2008 — ISBN 978-5-469-01136-1
6. Гелецян Д. Векторизация растровых изображений // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГТУ, 1998. — Вып. 2.
7. Дубашов А.Е. Исследование динамики появления новых слов в тексте Словаря русского языка XI-XVII вв. // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — Вып. 6.
8. Дубашов А.Е. Распознавание полей Словаря русского языка XI-XVII вв. методом марковских моделей // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — Вып. 7.
9. Зинченко В.П. Основы эргономики. – М.: МГУ, 1979. – 179с.
10. Кадакин М.Ю. Система автоматизированного распознавания рукописных текстов / МГТУ им. Н. Э. Баумана. Фак. информатика и системы управления. Каф. систему обработки информации и управления. — М.,1999. — Дипломный проект.
11. Кадакин М.Ю. Разработка и исследование метода распознавания рукописных текстов / МГТУ им. Н. Э. Баумана. Фак. информатика и системы управления. Каф. систему обработки информации и управления. — М.,2000. — Дипломный проект.

12. Кадакин М.Ю. Распознавание шифров источников Рукописной древнерусской карто- теки XI–XVII вв. // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспи- рантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГУП, 2001. — Вып. 3.
13. Кадакин М.Ю. Определение угла наклона строк при распознавании текста // Интел- лектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:Эликс+, 2003. — Вып. 5.
14. Костюк Ю.Л., Кон А.Б., Новиков Ю.Л. Алгоритмы векторизации цветных растровых изображений на основе триангуляции и их реализация // Вестник Томского государ- ственного университета, 2003, 280. - С. 275-280.
15. Крылов А.Б. Технология обработки графических данных. Классификация методов машинной обработки изображений // Интеллектуальные технологии и системы: сбор- ник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГТУ, 1998. — Вып. 1.
16. Крылов А.Б. Способ выбора растровых объектов на монохромном изображении с авто- матическим вычислением геометрических параметров // Интеллектуальные техноло- гии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГУП, 2001. — Вып. 3.
17. Крылов А.Б. Модуль предварительной векторизации растровых монохромных изобра- жений гибридного редактора SpotLight // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГУП, 2002. — Вып. 4.
18. Мерков А. Б. Основные методы, применяемые для распознавания рукописного текста. Лаборатория распознавания образов МЦНМО. — 2004.
19. Мински М. Фреймы для представления знаний. Пер. с англ. 1979.
20. Овдей О.М., Проскудина Г.Ю. Обзор инструментов инженерии онтоло- гий [Электронный ресурс] / Институт программных систем НАН Украи- ны — Электрон. журн. — Том 7, Вып. 4 (2004) — . — Режим доступа : <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2004/part4/op>

21. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений — М.:Мир, 1982.
22. Поцеваев Р.Б., Петров И.Б. Эффективный алгоритм предобработки изображений для структурных методов распознавания рукописных символов [Электронный ресурс] / Моск. физ.-техн. ин-т. — Электрон. журн. — Долгопрудный : МФТИ, 2003.
23. Поцеваев Р.Б. Восстановление траекторий написания символов по их изображениям [Электронный ресурс] / Моск. физ.-техн. ин-т. — Электрон. журн. — Долгопрудный : МФТИ, 2003.
24. Самгин Э.Б. Освещение рабочих мест. — М.: МИРЭА, 1989. — 186с.
25. Справочная книга для проектирования электрического освещения. / Под ред. Г.Б. Кнорринга. — Л.: Энергия, 1976.
26. Сигачёв А.С. Модель текста в виде набора числовых признаков // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — Вып. 7.
27. Ту Дж, Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М.: Мир, 1978.
28. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: теория и практика. Пер. с англ. Ю.А. Зуев, В.А. Точенов, 1992.
29. Файн В.С. Оpozнание изображений. М.:Мир, 1970.
30. Филиппович А.Ю. Исследование эффективности системы оптического распознавания текстов // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — Вып. 7.
31. Филиппович А.Ю. Интеллектуальные системы // МГТУ им. Н. Э. Баумана — курс лекций.
32. Фу К. Структурные методы в распознавании образов. М.: Мир, 1977.
33. Хант Э. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1978.

34. Чикунов И.М. Проблемы редактирования переиздаваемой литературы // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГТУ, 1998. — Вып. 1.
35. Чикунов И.М. Электронное издание древних рукописей // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГТУ, 1998. — Вып. 2.
36. Чикунов И.М. Электронное издание древних рукописей и первопечатных книг // Интеллектуальные технологии и системы: сборник статей аспирантов и студентов / Под ред. Ю.Н.Филипповича — М.:МГУП, 2001. — Вып. 3.
37. Чикунов И.М. Методика и алгоритмы электронных изданий древних рукописей и первопечатных книг / МГТУ им. Н. Э. Баумана. Фак. информатика и системы управления. Каф. систему обработки информации и управления. — М.,2001. — Дипломный проект.
38. Эккель Б. Философия Java. Библиотека программиста — СПб,:Питер, 2001 — ISBN 5-272-00250-4 1-е издание, 2001 год, 880 стр., формат 17x24 см, мягкая обложка, ISBN 5-272-00250-4
39. Block H., Nilsson N., Duda H. Determination and detection of features in patterns //сб. “Computers and Information Sciences” под ред. Tou J., Wilcox R. — Baltimore, 1964.
40. Bunke, H., Wang, P. (eds.): Handbook of Character Recognition and Document Image Analysis, World Scientific Publ. Co., Singapore, 1997
41. Dickinson I. Jena Ontology API [Электронный ресурс]. — 2004 — . — Режим доступа : <http://jena.sourceforge.net/ontology/index.html>
42. Eden M. On the formalization of handwriting. Proc. Symposia in Applied Mathematics, 12, 83-88, 1961.
43. Kuipers B. A Frame for Frames: Representing Knowledge for Recognition [Электронный ресурс] // Representation and understanding под ред. D. Bobrow and A. Collins, — New York:Academic Press, 1975.

44. OWL Web Ontology Language Reference [Электронный ресурс] / World Wide Web Consortium. — 2004 — . — Режим доступа : <http://www.w3.org/TR/owl-ref>
45. Prudhommeaux E. SPARQL Query Language for RDF [Электронный ресурс] / World Wide Web Consortium. — 2008 — . — Режим доступа : <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query>
46. Uhr L. Vossler C. A pattern recognition program that generates, evaluates and adjusts its own operators // в сб. “Computer and Thought” под ред. Feigenbaum E., Feldman J., New York / перев на рус. в сб. “Вычислительные машины и мышление” под ред. Фейгенбаума Э. и Фельдмана Дж. — М.:Мир, 1967.