

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.352.243

СЕЛИНГЕР
Михаил Леонидович

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ
СИМВОЛОВ НА ОСНОВЕ МОМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики»

Минск, 2007

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

Научный руководитель	Садыхов Рауф Хосровович , доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронных вычислительных машин учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Официальные оппоненты:	Птичкин Владимир Алексеевич , доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационных технологий автоматизированных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» Краснопрошин Виктор Владимирович , кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой математического обеспечения автоматизированных систем управления учреждения образования «Белорусский государственный университет»
Опонирующая организация	Государственное научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт средств автоматизации»

Защита состоится 19 июня 2007 года в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.04 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П.Бровки, 6, ауд. 232-1, email: dissovet@bsuir.unibel.by, тел. 2938989.

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

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Диссертационная работа выполнена на кафедре электронных вычислительных машин учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках тем: «Разработать систему реального времени для обработки видеозображений», постановление СМ РБ №7 от 17.01.1997г.; «Разработка параллельных алгоритмов, программ и архитектуры спецпроцессора для обработки и распознавания полутоновых и символьных изображений» (шифр договора «Скиф 2002-У»), программа Союзного государства «СКИФ», программа, утвержденная постановлением Исполнительного комитета Союза Беларуси и России от 22.11.1999г. № 43; «Разработать структурные и статистические методы и алгоритмы распознавания образов для синтеза оптимальных систем компьютерного зрения», решение Совета БГУИР от 01.01.1998г.; «Разработать методы и алгоритмы обработки изображений и распознавания объектов в системах технического зрения», ГПОФИ «Инфотех», план НАН Беларуси от 01.02.2002г. з.08.

Цель и задачи исследования

Цель настоящей работы – разработать методы и алгоритмы распознавания рукописных символов на основе аппарата моментных функций. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- разработать алгоритмы формирования моментных функций и восстановления по ним изображений;
- разработать быстрые алгоритмы вычисления моментных функций;
- исследовать устойчивость моментных функций по отношению к распространенным типам искажений объектов в рукописных изображениях;
- исследовать и практически реализовать указанные выше алгоритмы и разработать на их основе аппаратно-программный комплекс распознавания рукописных символов.

Положения, выносимые на защиту

1. Быстрый рекурсивный алгоритм вычисления центральных геометрических моментов бинарных изображений. При этом достигается

уменьшение количества операций по сравнению с существующими алгоритмами в среднем на 3% и отсутствует необходимость применения вычислительно сложного преобразования обычных геометрических моментов в центральные.

2. Быстрый алгоритм приближенного вычисления ортогональных моментов Фурье-Меллина, основанный на представлении бинарного изображения в виде множества его контурных точек. Применение алгоритма позволяет добиться существенного увеличения скорости вычислений (в среднем в 9 раз) по сравнению с прямым методом при сохранении требуемой точности.

3. Метод вычисления ортогональных моментов Лежандра, Цернике, псевдо-Цернике на основе центральных геометрических моментов с использованием таблиц заранее вычисленных коэффициентов, характеризующийся малыми требованиями к памяти и небольшим количеством операций.

4. Результаты исследования устойчивости ортогональных моментных признаков по отношению к часто встречающимся типам искажений на рукописных изображениях: наклону, проекции и разрывам в линиях. По результатам этих исследований даны рекомендации по формированию оптимальных обучающих множеств для проведения последующей классификации, а также по заданию ограничений на входные внутриклассовые вариации объектов.

5. Аппаратно-программный комплекс для вычисления ортогональных моментных функций. Указанный комплекс создан на базе оригинальной специализированной платы стандарта PCI, которая реализует алгоритм вычисления центральных геометрических моментов для увеличения общей производительности системы за счет разгрузки центрального процессора компьютера. Вычислительные мощности платы базируются на 4 процессорах ЦОС Texas Instruments.

Личный вклад соискателя

Все предлагаемые методы и алгоритмы были разработаны и программно реализованы лично автором. Научный руководитель принимал участие в постановке задач, определении возможных путей решения. При ссылке на совместные публикации подразумеваются результаты, полученные лично автором диссертации.

Апробация результатов диссертации

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- III республиканской научной конференции студентов РБ (Минск, 1997);
- XXXIII научно-технической конференции аспирантов и студентов БГУИР (Минск, 1997);
- X научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов «Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике» (Брест, 1998);
- XXXVI научно-технической конференции аспирантов и студентов БГУИР (Минск, 2000);
- International Workshop on Discrete-Event System Design DESDes'01 (Przytok near Zielona Gora, Poland, 2001);
- 15th International Conference on Vision Interface (Calgary, Canada, 2002);
- III международной конференции «Информационные системы и технологии» IST'2006 (Минск, 2006).

Опубликованность результатов диссертации

По материалам выполненных исследований опубликовано 10 научных работ, в том числе: 3 статьи в научных журналах (общий объем 1,2 авторских листа), 2 статьи в сборниках научных трудов, 4 доклада в сборниках материалов международных и республиканских научных конференций и 1 тезисы доклада на республиканской конференции.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. В первой главе рассмотрена математическая теория ортогональных моментных функций, вторая глава посвящена разработке быстрых методов их вычисления, как на основе прямых алгоритмов, так и на основе геометрических моментов. В третьей главе приводятся результаты исследования устойчивости ортогональных моментных функций по отношению к часто встречающимся типам искажений на рукописных изображениях – наклону, проекции и разрывам в линиях. В четвертой главе рассмотрен аппаратно-программный комплекс вычисления ортогональных моментных функций для распознавания рукописных символов.

В приложениях даны примеры используемых при проведении экспериментов изображений, исходные коды программ, примеры бланков тестирования и акты внедрения.

Диссертация изложена на 190 страницах машинописного текста, содержит 58 рисунков (30 страниц), 23 таблицы (7 страниц), 4 приложения (59 страниц) и библиографический список из 102 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной тематики диссертационной работы, очерчивается область исследований, проводимых в рамках данной работы.

В первой главе исследуется задача распознавания рукописных символов. Приводятся основные этапы реализации систем распознавания образов и представлена краткая характеристика некоторых методов выделения информативных признаков. Представлен аналитический обзор известных методов и алгоритмов распознавания рукописных символов на основе моментных функций. Вводятся понятия моментных функций на основе ортогональных полиномов Лежандра, Цернике, Фурье-Меллина.

Далее в главе систематически изложена математическая теория моментных функций, рассматриваются характеристики основных типов моментов и их свойства. Подробно рассматриваются множества ортогональных полиномов Лежандра, Цернике, Фурье-Меллина, дается их аналитическое описание, представлены их свойства, приводятся графики некоторых ортогональных полиномов.

Показано, что моментные функции на базе ортогональных полиномов могут использоваться в качестве информативных признаков при проведении классификации рукописных изображений. При этом отличительными особенностями таких признаков является их инвариантность к изменению масштаба, местоположения и поворота объекта на изображении. Вместе с тем отмечена необходимость проведения дополнительных исследований устойчивости ортогональных моментных функций относительно часто встречающихся типов искажений рукописных символов: наклона, проекции и разрывов в линиях.

Рассмотрены и проанализированы известные быстрые алгоритмы вычисления моментных функций на основе ортогональных полиномов. Установлено, что проблема разработки таких алгоритмов является актуальной в

настоящее время и требует проведения дальнейших исследований. Приведен ряд предлагаемых аппаратных и аппаратно-программных решений для быстрого вычисления моментных функций. Установлено, что существует необходимость в разработке специализированного аппаратно-программного комплекса для вычисления моментных функций на современной элементной базе.

Во второй главе подробно рассматриваются алгоритмы формирования моментных функций. Анализируются погрешности, возникающие при переходе от непрерывной функции изображения к дискретной, которая используется при цифровой обработке изображений. Рассмотрены несколько методов достижения инвариантности моментных функций к масштабу объекта на изображении. Приводится алгоритм вычисления центральных геометрических моментов, инвариантных к местоположению и масштабу объекта.

Далее подробно рассмотрены алгоритмы вычисления моментных функций на основе ортогональных полиномов. Для моментов Лежандра, Цернике и псевдо-Цернике приводятся 2 метода – на основе их непосредственного аналитического соотношения и на базе геометрических моментов. Особо отмечено, что математическая природа ортогональных моментов Фурье-Меллина не дает возможности вычислять их на основе геометрических моментов.

Для ортогональных полиномов, определенных в области единичного круга (Цернике, псевдо-Цернике, Фурье-Меллина), приводится алгоритм перевода изображения из декартовой в полярную систему координат. Для всех рассмотренных алгоритмов приведены их блок-схемы в системе MATLAB. Далее рассмотрены вопросы анализа восстанавливающей способности моментных функций. Приведены аналитические соотношения и алгоритмы обратных преобразований – то есть восстановления изображений на основе ограниченного множества его моментов, а также примеры восстановленных изображений для всех типов моментных функций для разных величин максимального порядка моментов.

Приведен быстрый рекурсивный алгоритм Чена вычисления геометрических моментов изображений. На его основе автором разработан новый алгоритм вычисления центральных геометрических моментов, который позволяет отказаться от дорогостоящего в вычислительном плане преобразования обычных геометрических моментов в центральные. Для этого выражение для вычисления геометрических моментов преобразуется к виду:

$$\begin{aligned}\hat{\mu}_{nm} &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (i - i_{cr})^n (j - j_{cr})^m f_{ij} = \\ &= \sum_{i=1}^N (i - i_{cr})^n \sum_{j=1}^M (j - j_{cr})^m f_{ij} = \sum_{i=1}^N (i - i_{cr})^n KC_{im},\end{aligned}\quad (1)$$

где

(i_{cr}, j_{cr}) – округленные координаты центра масс изображения;

$$KC_{im} = \sum_{i=1}^N (j - j_{cr})^m f_{ij}.$$

Тогда

$$\begin{aligned}KC_{im} &= \sum_{j=1}^{j_{cr}-1} (j - j_{cr})^m f_{ij} + \sum_{j=j_{cr}+1}^M (j - j_{cr})^m f_{ij} + f_{ij_{cr}} = \\ &= \sum_{j=1}^{M-j_{cr}} j^m f_{i(j_{cr}+j)} + \sum_{j=1}^{j_{cr}-1} (-j)^m f_{i(j_{cr}-j)} + f_{ij_{cr}}\end{aligned}\quad (2)$$

После этого каждое из слагаемых в формуле (2) можно вычислять с использованием рекурсивного алгоритма, учитывая, что при четном m

$$\sum_{j=1}^{j_{cr}-1} (-j)^m f_{i(j_{cr}-j)} = \sum_{j=1}^{j_{cr}-1} j^m f_{i(j_{cr}-j)},\quad (3)$$

а при нечетном

$$\sum_{j=1}^{j_{cr}-1} (-j)^m f_{i(j_{cr}-j)} = - \sum_{j=1}^{j_{cr}-1} j^m f_{i(j_{cr}-j)}.\quad (4)$$

При этом удается достигнуть сокращения количества операций до 4% в зависимости от порядка моментов и размера изображения. Сводные результаты в сравнении с алгоритмом Чена приведены в таблице 1.

Далее приводятся алгоритмы вычисления моментов на основе ортогональных полиномов с использованием центральных геометрических моментов и таблиц заранее вычисленных коэффициентов. Показано, что для вычисления момента Лежандра порядка (n, m) на основе геометрических моментов количество операций умножения составляет $\left(\frac{n}{2} + 1\right) \times \left(\frac{m}{2} + 1\right)$, где

$n'' = n - 1, n - \text{нечетное}, \quad n'' = n, n - \text{четное}, \quad m'' = m - 1, m - \text{нечетное},$
 $m'' = m, m - \text{четное}.$

Таблица 1 - Увеличение скорости вычисления центральных моментов при использовании рекурсивного алгоритма для изображения размером 32x32 пикселей

Порядок моментов	Количество операций		Уменьшение, операций	Уменьшение, %
	Цена	Рекурсивный		
2	4320	4313	7	0.16
3	8672	8522	150	1.73
4	17376	16881	495	2.85
5	34784	33554	1230	3.54
6	69600	66912	2688	3.86
7	139232	133726	5506	3.95
8	278496	267442	11054	3.97
9	557024	534889	22135	3.97

Аналогично показано, что для вычисления момента Цернике порядка (n, m) требуется $\left(\frac{n-m}{2} + 1\right) \left(\frac{n-m}{4} + 1\right) (m+1)$ операций умножения, момента

псевдо-Цернике - $(n-m+1) \left(\frac{n-m}{4} + 1\right) (m+1)$ операций умножения.

Приведены сравнительные данные по количеству операций умножения для моментов различных типов (см. таблицу 2).

Таблица 2 - Количество операций умножения при вычислении моментов различных типов для $n = m$

Порядок моментов N	Тип моментов		
	Лежандра	Цернике	псевдо-Цернике
2	4	3	3
4	9	5	5
6	16	7	7
8	25	9	9
10	36	11	11
12	49	13	13

Подробно рассмотрен разработанный автором новый алгоритм быстрого вычисления ортогональных моментов Фурье-Меллина на основе представления изображения в виде совокупности его контурных точек (см. рисунок 1):

$$\{(X_{1j}, X_{2j}, Y_j), j = 1, \dots, P\}, \quad (5)$$

где X_{1j} , X_{2j} определяют абсциссы крайних точек изображения в строке с ординатой, равной Y_j .

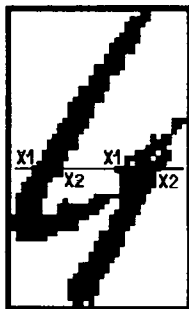


Рисунок 1 - Контурные точки объекта на бинарном изображении

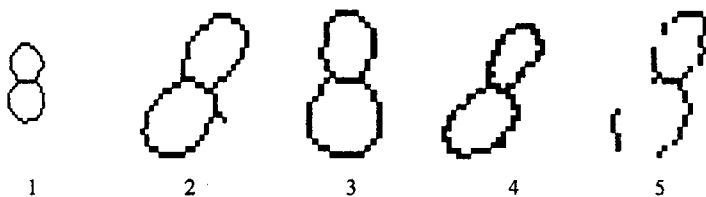
Применив свойство вычисления определенных интегралов линейных функций, соотношение для вычисления моментов Фурье-Меллина можно представить в виде

$$OFMRe_{nm} = \sum_{j=1}^P [Q_n(r_{1j}) \cos(m\theta_{1j}) + Q_n(r_{2j}) \cos(m\theta_{2j})] / 2 * (x_{2j} - x_{1j}), \quad (6)$$

$$OFMIm_{nm} = - \sum_{j=1}^P [Q_n(r_{1j}) \sin(m\theta_{1j}) + Q_n(r_{2j}) \sin(m\theta_{2j})] / 2 * (x_{2j} - x_{1j}). \quad (7)$$

Такой подход позволяет добиться значительного (до одного порядка) уменьшения количества операций при сохранении требуемой точности.

В третьей главе излагается методика проведения и результаты выполненного автором исследования устойчивости ортогональных моментных функций по отношению к часто встречающимся типам искажений на рукописных изображениях – наклону, проекции и разрывам в линиях (см. рисунок 2).



1 – исходное изображение; 2 – наклон; 3 – проекция;

4 – наклон + проекция; 5 – наклон + проекция + разрывы в линии

Рисунок 2 – Примеры изображений после применения преобразований наклона, проекции и их комбинации

Было выявлено, что моментные признаки не обладают устойчивостью к указанным выше типам искажений, в особенности к разрывам в линиях. Из рисунка 3 видно, что уровень классификации резко падает при увеличении степени и типа искажений объектов на изображении (использовались моменты Цернике и классификатор «линейный дискриминант Фишера»).

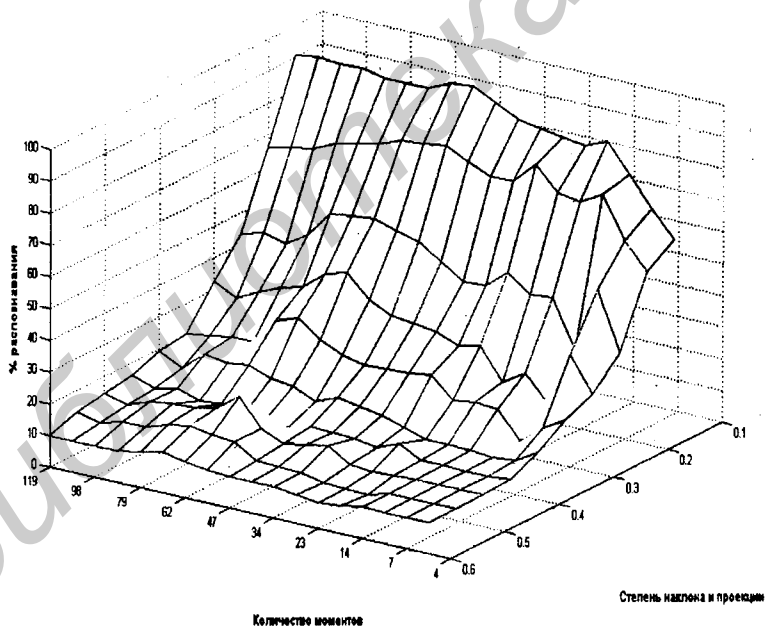


Рисунок 3 – Зависимость уровня распознавания наклонных и проективных версий изображений относительно количества моментов и разной степени наклона и проекции

Показано, что включение в обучающее множество версий объектов с искажениями позволяет существенно улучшить результат распознавания. Результаты классификации представлены на рисунке 4.

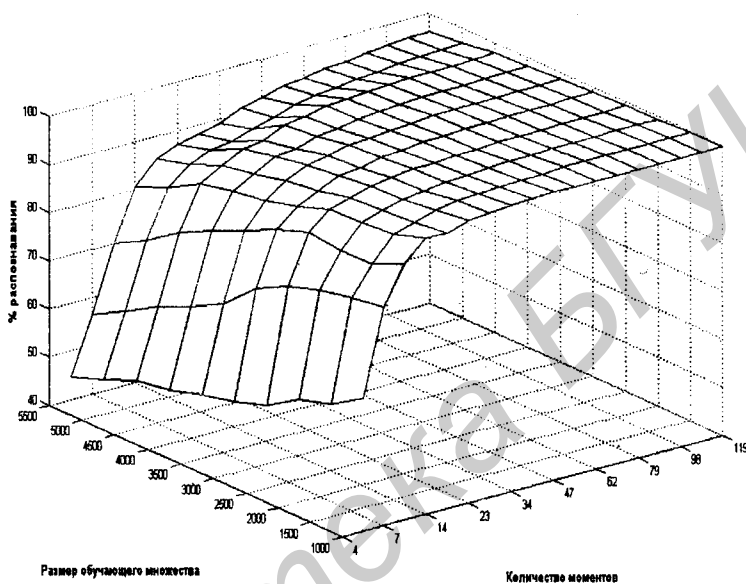
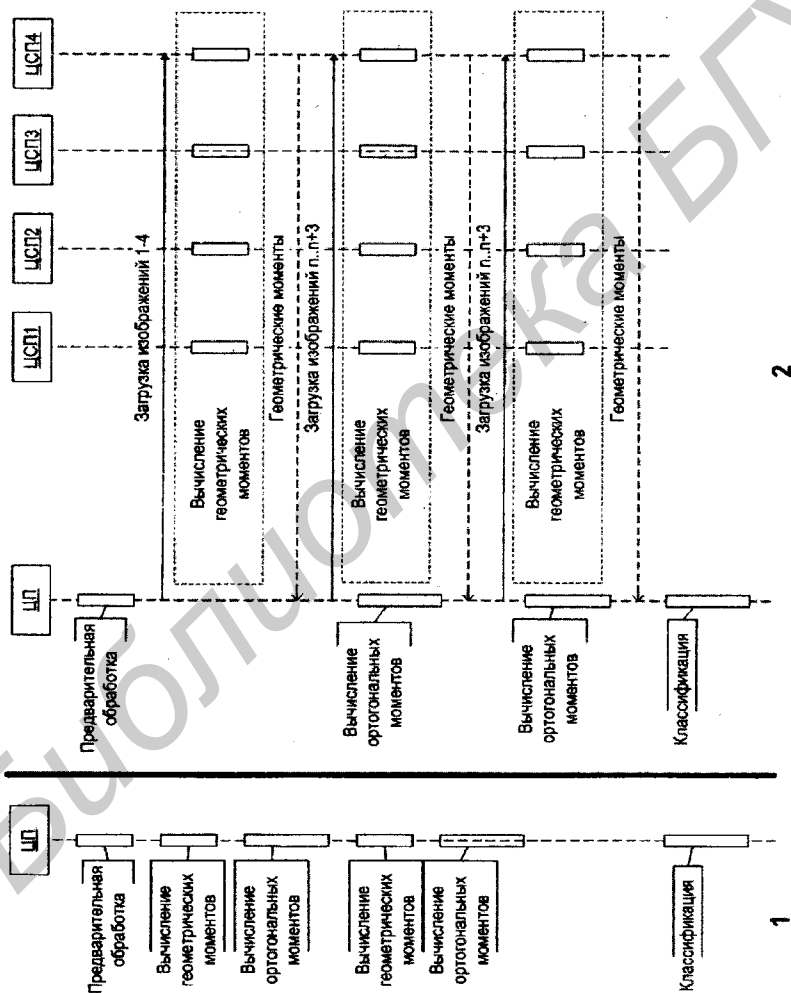


Рисунок 4 - Зависимость уровня распознавания наклонных и проективных версий изображений относительно количества моментов и размера обучающего множества при участии наклонного и проективного множеств в обучении

По результатам третьей главы сделаны выводы о том, что ортогональные моментные признаки не обладают достаточной устойчивостью по отношению к исследуемым типам искажений. Для обеспечения приемлемых результатов классификации необходимо включать в обучающее множество как можно более широкий спектр исходных объектов каждого класса (с разной степенью наклона, проекции, разрывами в линиях). Также при проведении классификации достаточно ограничиться моментными функциями до 12 порядка включительно, так как дальнейшее увеличение их количества не дает сколько-нибудь значительного прироста уровня распознавания.

Четвертая глава посвящена разработке аппаратно-программного комплекса вычисления моментных функций на базе специализированной платы стандарта PCI для распознавания рукописных символов. Вычислительные

возможности платы обеспечиваются 4 процессорами ЦОС Texas Instruments. Благодаря ЭТОМУ плата способна одновременно вычислять геометрические моменты сразу для 4 обрабатываемых изображений, что позволило освободить ресурсы центрального процессора для выполнения иных задач. При этом ускорение вычислений достигается за счет их распараллеливания между центральным процессором компьютера и процессорами ЦОС на плате. На рисунке 5 представлены схемы вычисления ортогональных моментных функций при помощи только центрального процессора (рисунок 5-1) и с использованием мощностей платы (рисунок 5-2).



1 -- на центральном процессоре; 2 -- с использованием платы РСІ
 Рисунок 5 – Схема вычисления ортогональных моментов

Автором было разработано программное обеспечение, обеспечивающие взаимодействие с платой как на низком уровне (драйвер для операционной системы семейства Windows 2000/XP), так и на прикладном уровне взаимодействия с пакетом MATLAB. Предложенный в главе 2 быстрый алгоритм вычисления центральных геометрических моментов реализован на базе процессоров ЦОС и его выполнение перенесено на плату.

Структурная схема платы и ее фотография представлены ниже на рисунках 6 и 7 соответственно.

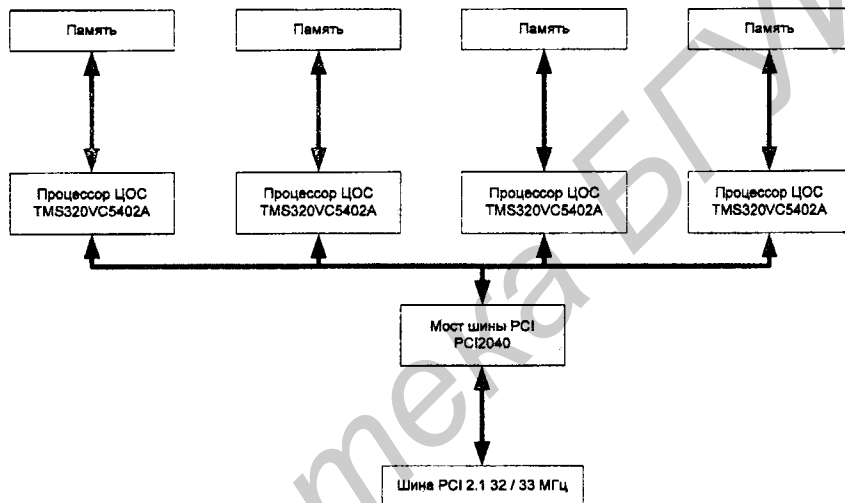


Рисунок 6 - Структурная схема модуля PCI

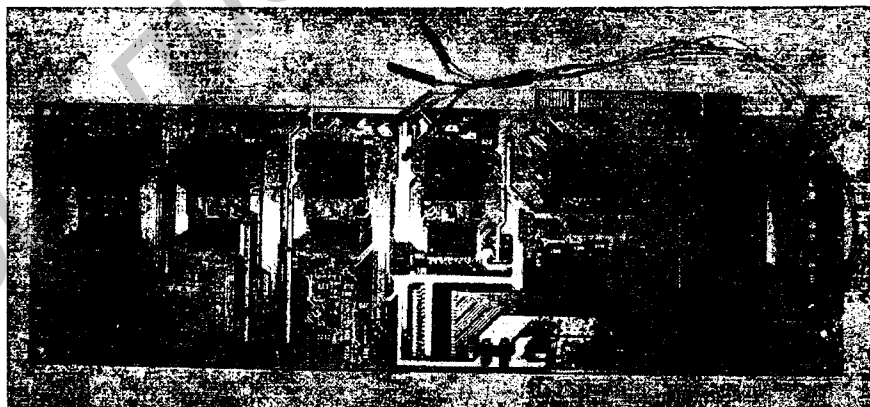


Рисунок 7 - Фотография модуля PCI

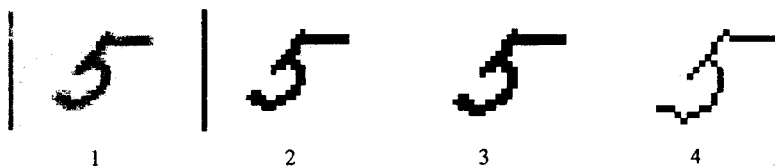
На базе платы в среде математического пакета MATLAB разработан макет системы автоматизированной обработки экзаменационных материалов абитуриентов БГУИР. Макет позволяет распознавать информацию на бланках тестирования; пример такого бланка представлен на рисунке 8.

Дата	2	3	/	0	5	/	2	0	0	6
Аудитория	0			1			1			9
Группа	0			0			М			3
Вариант	1			0			9			6
Ряд	0			0			2			0
Место	0			0			2			4
Предмет	Математика									
B1	2	B11		1		B21		3		
B2	3	B12		И		B22		2		
B3	6	B13		6		B23		6		
B4	И	B14		К		B24		5		
B5	8	B15		8		B25		К		
B6	Е	B16		6		B26		Е		
B7	2	B17		5		B27		6		
B8	7	B18		И		B28		8		
B9	1	B19		Е		B29		6		
B10	2	B20		А		B30		В		

Рисунок 8 - Пример бланка тестирования

В начале работы в системе создается шаблон бланка, на котором указываются так называемые знакоместа – области с изображениями, которые далее будет классифицироваться. Далее после предварительной обработки изображение знакоместа (см. рисунок 9) подается на плату для вычисления его центральных геометрических моментов.

После того, как процессоры ЦОС вернут посчитанные центральные геометрические моменты, на их основе получают моменты Цернике, и выполняется классификация рукописного символа с помощью классификатора «линейный дискриминант Фишера». Среднее время обработки одного бланка при этом составило около 12 секунд при уровне классификации 97,4%.



1 – исходное изображение; 2 – черно-белое изображение;
3 – изображение после подавления шумов; 4 – изображение после утоньшения линий
Рисунок 9 – Этапы предварительной обработки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, можно сформулировать следующим образом:

1. Установлено, что моментные функции на основе ортогональных полиномов являются информативными признаками изображения и обеспечивают приемлемый уровень классификации для большинства систем распознавания рукописных символов. Одним из основных факторов, ограничивающих их применение, является высокая вычислительная сложность их получения. Перспективной является разработка быстрых алгоритмов вычисления моментных признаков, а также создание для этой цели специализированных аппаратно-программных комплексов. Отмечена необходимость проведения дополнительных исследований устойчивости ортогональных моментных признаков по отношению к некоторым типам искажений, часто встречающихся в рукописных изображениях.

2. Реализованы и экспериментально проверены алгоритмы вычисления ортогональных моментов Лежандра, Цернике, псевдо-Цернике, Фурье-Меллина, а также алгоритмы восстановления изображений из конечного множества моментов на основе обратного преобразования [2, 3, 5, 7, 8]. Показана возможность использования ортогональных моментных функций в качестве информативных признаков при построении систем распознавания рукописных символов.

3. Разработан быстрый рекурсивный алгоритм вычисления центральных геометрических моментов, позволяющий избежать громоздких математических преобразований. В основе алгоритма лежит итерационный способ вычисления моментных функций при обходе изображения сначала по строкам, затем по столбцам, что позволяет получать значения образующих

полиномов на каждом шаге итерации. Далее на основе геометрических моментов показана возможность получения различных типов ортогональных моментных функций, инвариантных к повороту, масштабу и сдвигу объекта [4, 6].

4. Разработан быстрый алгоритм приближенного вычисления ортогональных моментов Фурье-Меллина на основе представления изображения в виде совокупности его контурных точек [1, 10]. Такое представление позволяет добиться значительного (в среднем в 9 раз) ускорения вычислений моментных функций при сохранении требуемой точности.

5. Исследована устойчивость ортогональных моментных функций по отношению к часто встречающимся типам искажений объектов на рукописных изображениях: наклон, проекция и разрывы в линиях. Установлено [3], что для обеспечения приемлемого уровня классификации при построении систем распознавания рукописной информации необходимо использовать при ее обучении множество объектов с как можно более широкими вариациями. В то же время, значительный уровень искажений приводит к невозможности распознавания с удовлетворительным качеством, вследствие чего при построении таких систем следует заранее накладывать определенные ограничения на внутриклассовые вариации объектов.

6. Разработан аппаратно-программный комплекс на основе оригинальной платы стандарта PCI, позволяющий ускорить процесс вычисления ортогональных моментных признаков за счет переноса алгоритма вычисления центральных геометрических моментов на процессоры ЦОС [9]. С использованием комплекса реализован и апробирован макет системы автоматизированной обработки экзаменационных материалов абитуриентов БГУИР. При этом среднее время обработки одного бланка составило около 12 секунд при точности распознавания 97,4%.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные в диссертационной работе результаты предназначены не только для реализации в системах распознавания рукописных символов, но могут быть использованы и в других приложениях, таких как автоматическая обработка результатов переписи населения, социологических опросов, системы видеонаблюдения и других. Архитектура специализированной PCI платы обеспечивает модернизацию или смену выполняющихся на ней алгоритмов, что дает возможность легко адаптировать плату под конкретные задачи. Результаты диссертационной работы внедрены и используются в макете аппаратно-программной системы автоматизированной обработки экзаменационных

материалов абитуриентов БГУИР; системе анализа, сжатия и хранения видеoinформации, выпускаемой ООО «КОЭЛСИС»; системе электронного документооборота СП «БЕВАЛЕКС» ООО. Кроме того, архитектура системы анализа бланков позволяет легко создавать новые или изменять уже существующие шаблоны бланков.

Перспективным направлением дальнейших исследований представляется создание новых быстрых алгоритмов вычисления ортогональных моментных функций, а в техническом плане – совершенствование аппаратно-программного комплекса с использованием современной элементной базы. Также представляется интересной задачей исследование возможности построения систем классификации с использованием нескольких типов ортогональных моментов по мажоритарному принципу.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

- 1 Селингер, М.Л. Быстрый алгоритм вычисления моментов Фурье-Меллина для бинарных изображений / М.Л. Селингер, Р.Х. Садыхов // Автоматика и вычислительная техника.– 1999.– №6.– С. 67-74.
- 2 Селингер, М.Л. Система распознавания рукописных символов на базе нейронных сетей и структурных методов / Р.Х. Садыхов, О.Г. Маленко, М.Л. Селингер // Нейрокомпьютеры: разработка, применение.– 2004.– №1.– С. 32-39.
- 3 Селингер, М.Л. Исследование устойчивости ортогональных моментных функций относительно некоторых типов искажений объектов на изображении / Р.Х. Садыхов, М.Л. Селингер // Доклады БГУИР.– 2007.– №1.– С. 49-54.

Статьи в сборниках научных трудов

- 4 Селингер, М.Л. Рекурсивный алгоритм вычисления центральных моментов / М.Л. Селингер, Р.Х. Садыхов // Идентификация образов: сб. науч. тр. / Ин-т технической кибернетики НАНБ Беларуси; под науч. ред. Р.Х. Садыхова.– Минск, 1999.– С. 44-51.
- 5 Селингер, М.Л. Исследование свойств различных моментных функций при распознавании рукописных символов / М.Л. Селингер, Р.Х. Садыхов // Цифровая обработка изображений: сб. науч. тр. / Ин-т технической кибернетики НАНБ Беларуси; под науч. ред. С.В. Абламейко.– Минск, 2000.– №4.– С. 75-87.

Статьи в сборниках материалов научных конференций

- 6 Селингер, М.Л. Быстрый алгоритм вычисления центральных моментов двумерных изображений / М.Л. Селингер // Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике: труды X науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, аспирантов и студентов, Брест, 10-12 апреля 1998г.: в 2 т. / Брестский политехн. ин-т.– Брест, 1998.– Т.2 – С. 97-101.

- 7 Selinger, M. The system of handwritten characters recognition on the basis of Legendre moments and neural network / M. Vatkin, M. Selinger // International Workshop on Discrete-Event System Design DESDes'01: proceedings, Przytok near Zielona Gora, Poland, June 27-29, 2001.– Przytok near Zielona Gora, 2001.– P. 34-38.
- 8 Selinger, M.L. Hybrid system for recognition of handwritten symbols on the base of structural methods and neural networks / R.Kh. Sadyhov, O.G. Malenko, A.N. Klimovich, M.L. Selinger // 15th International Conference on Vision Interface: proceedings, Calgary, Canada, May 27-29, 2002.– Calgary, 2002. – P. 223-228.
- 9 Селингер, М.Л. Специализированная плата стандарта PCI на базе процессоров ЦОС Texas Instruments для параллельной обработки данных / Р.Х. Садыхов, М.Л. Селингер // Информационные системы и технологии: материалы III Междунар. конф., Минск, 1-3 ноября 2006г.: в 2 ч.– Минск, 2006.– Ч.1.– С. 262-267.

Тезисы докладов

- 10 Селингер, М.Л. Исследование свойств моментов Фурье-Меллина для распознавания рукописных символов / М.Л. Селингер // III республ. науч. конф. студентов Республики Беларусь: тезисы докладов, Минск, 14-16 мая 1997г.: в 5 ч.– Минск, 1997.– Ч.56.– С. 202-204.



МЕТАДЫ І АЛГАРЫТМЫ РАСПАЗНАВАННЯ РУКАПІСНЫХ СІМВАЛАЎ НА АСНОВЕ МОМАНТНЫХ ФУНКЦЫЙ

Ключавыя словы: распазнаванне вобразаў, рукапісныя сімвалы, хуткія алгарытмы, моманты Лежандра, моманты Цэрніке, моманты Фур'е-Меліна, праграма-апаратны комплекс.

У дысертацыйнай працы даследавалася задача распазнавання рукапісных сімвалаў з выкарыстаннем апарата момантных функцый. Праца ставіла на мэце распрацоўку новых і ўдасканаленне існуючых метадаў і алгарытмаў вылічэння момантных адзнак у прымяненні да распазнавання рукапісных сімвалаў.

Па выніках даследаванняў распрацаваны хуткі алгарытм вылічэння цэнтральных геаметрычных момантаў, які дазволіў скараціць колькасць аперацый да 4% у параўнанні з вядомымі раней. Распрацаваны новы хуткі алгарытм прыблізнага вылічэння артаганальных момантаў Фур'е-Меліна, які заснаваны на прадстаўленні вобраза ў выглядзе сукупнасці яго контурных пунктаў. Алгарытм дазваляе дасягнуць значнага павелічэння хуткасці вылічэнняў (да 10 разоў) у параўнанні з вядомымі раней пры захаванні патрабаванай дакладнасці. Прапанаваны алгарытм хуткага вылічэння артаганальных момантаў Лежандра, Цэрніке, псеўда-Цэрніке на аснове цэнтральных геаметрычных момантаў і табліц загадзя вылічаных каэфіцыентаў.

Выкананы даследаванні ўстойлівасці артаганальных момантных адзнак адносна шэрагу скажэнняў рукапісных вобразаў, якія часта сустракаюцца, – нахіленне, прасекцыя і разрывы ў лініях. Вынікі эксперыментаў дазволілі зрабіць высновы аб тым, што артаганальныя момантныя функцыі не маюць устойлівасці да пералічаных тыпаў скажэнняў. Дадзены рэкамендацыі па будаванню аптымальных навучальных мностваў і заданню абмежаванняў на ўнутрыкласавыя варыяцыі.

На аснове распрацаваных аўтарам метадаў фарміравання артаганальных момантных функцый рэалізаваны макет апаратна-праграмага комплексу аўтаматызаванага тэсціравання абітурыентаў з выкарыстаннем арыгінальнай спецыялізаванай платы PCI.

РЕЗЮМЕ

СЕЛИНГЕР Михаил Леонидович

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ СИМВОЛОВ НА ОСНОВЕ МОМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ

Ключевые слова: распознавание образов, рукописные символы, быстрые алгоритмы, моменты Лежандра, моменты Цернике, моменты Фурье-Меллина, аппаратно-программный комплекс.

В диссертационной работе исследовалась задача распознавания рукописных символов с использованием аппарата моментных функций. Целью работы было разработать новые и усовершенствовать существующие методы и алгоритмы вычисления моментных признаков применительно к распознаванию рукописных символов.

По результатам исследований разработан быстрый алгоритм вычисления центральных геометрических моментов, позволяющий сократить количество операций до 4% по сравнению с известными ранее. Разработан новый быстрый алгоритм приближенного вычисления ортогональных моментов Фурье-Меллина, основанный на представлении изображения в виде совокупности его контурных точек. Алгоритм позволяет достичь значительного увеличения скорости вычислений (до 10 раз) по сравнению с известными ранее при сохранении требуемой точности. Предложен алгоритм быстрого вычисления ортогональных моментов Лежандра, Цернике, псевдо-Цернике на основе центральных геометрических моментов и таблиц заранее вычисленных коэффициентов.

Выполнены исследования устойчивости ортогональных моментных признаков относительно ряда часто встречающихся на рукописных изображениях искажений – наклона, проекции и разрывов в линиях. Результаты экспериментов позволили сделать выводы о том, что ортогональные моментные функции не обладают устойчивостью к указанным типам искажений. Даны рекомендации по построению оптимальных обучающих множеств и заданию ограничений на внутриклассовые вариации.

На основе разработанных автором методов формирования ортогональных моментных функций реализован макет аппаратно-программного комплекса автоматизированного тестирования абитуриентов с использованием оригинальной специализированной платы PCI.

SUMMARY

SELINGER Mikhail

METHODS AND ALGORITHMS OF HANDWRITTEN CHARACTERS RECOGNITION BASED ON MOMENT FUNCTIONS

Keywords: pattern recognition, handwritten characters, fast algorithms, Legendre moments, Zernike moments, Fourier-Mellin moments, hardware-software system.

In this work the problem of handwritten characters recognition based on moment functions is investigated. The purpose of the work is development the new and enhance existing methods and algorithms of moment features computation with regard to handwritten character recognition.

Based on research results a new fast algorithm to calculate the central geometric moments is developed. This algorithm allows reducing the number of operations up to 4% in comparison with those known before. New fast algorithm for approximate computation of orthogonal Fourier-Mellin moments is worked-out. This algorithm is based on image representation as a set of its contour points. Algorithm allows increasing the speed of computation (up to 10 times) in comparison with the known before, at the same time preserving desired accuracy. New algorithm for fast computation orthogonal Legendre moments, Zernike moments, pseudo-Zernike moments is suggested. This algorithm uses central geometric moments and sets of previously computed coefficients.

Stability analysis of orthogonal moment features is performed with regard to a number of frequent deformations on handwritten images – skewing, projection and breaks in lines. Results of experiments show that orthogonal moment features don't have stability with regard to the types of the deformations to be mentioned. Some recommendations on creation optimal training sets and define restrictions on interclass variations are suggested.

Based on new methods of orthogonal moment features computation a prototype of original specialized PCI board hardware-software system for automated school-leavers testing is implemented.

Научное издание

СЕЛИНГЕР Михаил Леонидович

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ РУКОПИСНЫХ
СИМВОЛОВ НА ОСНОВЕ МОМЕНТНЫХ ФУНКЦИЙ**

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

АВТОРЕФЕРАТ

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

Подписано в печать	11.05.2007. >	Формат 60x84 ¹ / ₁₆ .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.		Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.		Заказ 323.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6.