**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Актуальность темы диссертации**

Объекты на медицинских изображениях обладают большой сложностью и многофакторностью, что обусловливает высокие требования к надёжности, точности и достоверности результатов исследований. Использование вычислительной техники и математических методов в этой отрасли позволяет не только ускорить процесс обработки материала, но и повысить точность результатов исследования.

Развитие электроники и вредность условий работы стимулировали повышенное внимание к цифровому анализу рентгеновских, ультразвуковых изображений и изображений ядерно-магнитного резонанса, главным достижением которого можно считать появление компьютерного томографа. Однако сложности в получении качественных изображений гистологических объектов значительно тормозят развитие этой отрасли.

Автоматизация анализа гистологических структур ускоряет диагностику заболевания, позволяет расширить границы научных поисков в медицине. Автоматическое измерение параметров гистологических объектов даёт возможность уточнить лечение и управление терапевтическими процессами. Так, наиболее перспективным методом ранней диагностики опухолевых заболеваний в настоящее время является автоматизация цитофотометрического анализа специально приготовленных и окрашенных гистологических препаратов и разделение их по принципу норма – патология.

Одной из главных частей автоматизации измерения оптических и геометрических параметров является выделение объектов на гистологических препаратах. Эта задача решается с помощью методов и средств цифрового анализа изображений.

Основной причиной отсутствия автоматизации в гистологии является высокая вариабельность и слабая контрастность большинства гистологических структур.

Однако быстрое развитие цифровой и аналоговой техники в последнее время открывает новые возможности перед разработчиками. Например, увеличение быстродействия вычислительной техники позволяет использовать сложные, критичные ко времени алгоритмы, а благодаря появлению цветных телевизионных датчиков высокого разрешения можно получать и обрабатывать цветные изображения. Именно новые технические возможности позволяют значительно расширить круг исследований, открывают новые пути решения задач, касающихся анализа изображений. Данная работа посвящена одной из таких задач – сегментации объектов на изображениях гистологических препаратов.

**Связь работы с крупными научными программами, темами**

Диссертационная работа выполнена в лаборатории обработки и распознавания изображений Института технической кибернетики НАН Беларуси в сотрудничестве с лабораторией методов морфологических исследований МГМИ в рамках тем: Интеллект 17 “Создание теоретических основ разработки, применения и распознавания изображений с использованием искусственного интеллекта” – постановление президиума НАН Беларуси № 88 от 23.11.95; “Разработать рабочий проект АРМ клинического морфолога и сдать в опытную эксплуатацию в МГМИ” в соответствии с “Программой информатизации Республики Беларусь на 1991-1995 годы и на период до 2000 года”, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь N 444 от 27.11.92; “Разработать платформонезависимые инструментальные средства обеспечения удалённого сбора, хранения и визуализации биомедицинской информации в НИКС” в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 22 октября 1998 г. №1609 “О развитии в республике работ по созданию единой научно-информационной компьютерной сети”.

**Цель и задачи исследования**

Цель работы – разработать алгоритмы сегментации для определения гистологических объектов на слабоконтрастных цветных и полутоновых изображениях для решения задач диагностики заболеваний, лечения и управления терапевтическими процедурами.

Для достижения поставленной цели потребовалось:

1. классифицировать изображения гистологических объектов по геометрическим, топологическим, оптическим характеристикам;
2. разработать алгоритмы сегментации волокон и сосудов;
3. разработать алгоритмы сегментации клеток;
4. разработать методы сегментации цветных изображений гистологических объектов;
5. программно реализовать алгоритмы сегментации гистологических объектов и проверить их на конкретных примерах.

**Объект и предмет исследования**

Исследования выполнены в области сегментации изображений. Предметом исследования являются гистологические объекты на цветных и полутоновых изображениях препаратов оптической микроскопии.

**Гипотеза**

Все изображения гистологических объектов можно классифицировать по их геометрическим и оптическим свойствам и свойствам их окружения, а для каждого класса объектов можно определить алгоритм сегментации, позволяющий получить результат, удовлетворяющий исследователей гистологических препаратов.

**Методология и методы проведённого исследования**

В качестве теоретических методов исследования использовались методы цифровой обработки сигналов и изображений, математического анализа и математического моделирования. Для программной реализации разработанных алгоритмов использовались методы создания программных систем, методы оптимизации программных комплексов, программирование на языках высокого уровня.

**Научная новизна полученных результатов**

Разработана классификация гистологических объектов по особенностям их изображений для определения способа сегментации. Каждый класс определяет основные объекты на гистологических препаратах и особенности их представления. Для него выбран алгоритм сегментации, позволяющий получить качественный результат. Основная задача этой классификации – определить оптимальный путь от входного полутонового или цветного изображения до выделенного объекта на бинарном изображении.

Разработан алгоритм полутонового утоньшения, основное отличие которого заключается в том, что он ориентирован на обработку слабоконтрастных изображений сосудов и волокон, где толщиной исходных объектов можно пренебречь, так как длина этих объектов намного превышает их ширину. Причем объекты могут быть окружены фоном с постоянно меняющимися яркостными и цветовыми характеристиками, который включает в себя изображения объектов другого типа.

Разработан алгоритм сегментации и отслеживания сосудов и волокон при больших увеличениях. Основная особенность этого алгоритма – это определение объекта по областям, выделенным в результате утоньшения всего изображения, которое обработано оператором выделения границ (например, фильтром Собеля), что позволяет не только увеличить скорость по сравнению с алгоритмами поточечной трассировки, но и получить более качественные результаты на слабоконтрастных изображениях.

Разработаны два алгоритма сегментации выпуклых объектов (клеток, ядер, волокон и сосудов в продольном сечении). Их основная особенность заключается в том, что они ориентированы на выделение объектов, окруженных сложным по геометрическим и оптическим характеристикам фоном. Первый алгоритм базируется на методах математической морфологии и ориентирован на объекты с неравномерным фоном, основывается на определении границ выпуклых фигур; другой – на объединении областей, выделенных в результате утоньшения перепадов яркости, и позволяет определять объекты даже тогда, когда перепады уровней яркости объектов такие же, как и у окружающего их фона. Отсутствие стадий “засевания”, роста и разделения областей приводит к выигрышу в скорости по сравнению с традиционными алгоритмами роста областей.

Разработана система координат описания цвета, специализированная на выполнении операций математической морфологии на цветных изображениях. Использование этой системы координат даёт возможность улучшить качество получаемого результата и увеличить скорость по сравнению с обработкой в традиционных системах координат.

**Экономическая и практическая значимость полученных результатов**

Использование алгоритмов сегментации гистологических объектов способствует повышению эффективности работы исследователя и получению более качественных и точных результатов измерения характеристик гистологических объектов.

Разработанные алгоритмы и программный комплекс, используемые в настоящее время в научных и диагностических процессах, являются экономически эффективными за счёт снижения затрат на ручной труд при измерении и классификации гистологических объектов.

Алгоритмы и программный комплекс анализа и обработки медицинских изображений внедрены и используются в учебных, научных и диагностических процессах двух медицинских вузов (Минском государственном медицинском институте, Гродненском государственном медицинском институте) и трёх НИИ (Бел НИИ эпидемиологии и микробиологии (г.Минск), Бел НИИ онкологии медицинской радиологии (г.Минск), Институте биохимии НАН РБ (г.Гродно)) Республики Беларусь, а также в двух медицинских вузах (Саратовской государственной медицинской академии, Ярославльской государственной медицинской академии), Институте физиологии детей и подростков РАМН (г.Москва) и Всероссийском центре пластической хирургии глаза МПЗП РФ (г.Уфа) Российской Федерации.

Разработанные методы и алгоритмы могут также включаться в существующие либо разрабатываемые коммерческие системы анализа и обработки гистологических объектов как общеупотребительные, так и узкоспециализированные.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. классификация гистологических объектов для определения метода сегментации изображений гистологических объектов;
2. алгоритм полутонового утоньшения объектов на слабоконтрастных изображениях гистологических объектов;
3. алгоритм сегментации и отслеживания сосудов или волокон при больших оптических увеличениях;
4. алгоритм морфологической сегментации отдельных клеток;
5. алгоритм сегментации клеток со сложным фоном, основанный на объединении областей;
6. алгоритм определения клеток на бинарном изображении, полученном с помощью пороговой сегментации;
7. координаты описания цвета, предназначенные для работы методов математической морфологии и других сложных полутоновых операций на изображениях гистологических препаратов.

**Личный вклад соискателя**

Все предлагаемые алгоритмы были разработаны и программно реализованы лично автором. Научный руководитель принимал участие в постановке задач, определении возможных путей решения и их предварительном анализе.

**Апробация результатов диссертации**

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях и симпозиумах: научно-технической конференции по компьютерной графике и анимации (Минск, 1993), 8th International Symposium on Diagnostic Quantitative Pathology. (Amsterdam, The Netherlands, 1994), Третей научной конференции по распознаванию и анализу изображений (Минск, 1995), I конгрессе Международной ассоциации патологоанатомов (г.Москва, 1995), республиканской научной конференции молодых ученых и студентов “Актуальные проблемы современной медицины” (Минск, 1997), System and signals in Intelligent Technologies (Минск, 1998), V международной конференции “Компьютерный анализ данных и моделирование” (8-12 июня 1998, Минск), Fifth International Conference Pattern Recognition and Information Processing PRIP99 (Минск, 18 - 20 мая 1999).

**Опубликованность результатов**

По материалам проведённых исследований опубликовано 12 научных работ, в том числе:

1 статья в научном журнале;

3 статьи в сборниках научных трудов;

8 докладов на международных конференциях.

**Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, приложения и списка литературы из 152 наименований. Диссертация изложена на 121 странице, включая 72 иллюстрации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, кратко излагается состояние предметной области, нерешенные задачи и даётся краткая характеристика работы.

В **первой главе** выполнен анализ состояния предметной области: дано описание гистологических объектов и особенностей их изображений, обзор существующих методов систем обработки медицинских изображений, а также описание основных направлений развития алгоритмов сегментации объектов. По результатам проведённого анализа можно сделать следующие выводы.

1. Большинство объектов на гистологических препаратах представлены слабоконтрастными изображениями и характеризуются большой вариабельностью геометрических и оптических характеристик, в связи с чем при анализе подобных изображений возникают определенные трудности. Поэтому для выбора эффективных методов сегментации требуется дополнительная классификация этих объектов.
2. Автоматический анализ изображений гистологических объектов слабо освещён в литературе.
3. Гистологические объекты характеризуются слабой контрастностью, широким спектром форм и размеров. Поэтому их специфика вносит определенные особенности на этапе сегментации.
4. Можно определить три основных класса методов сегментации объектов на гистологических изображениях: пороговые, морфологические, методы наращивания областей. Хотя существует ещё ряд частных методов сегментации, не относящихся к ним.
5. Тема сегментации медицинских изображений в настоящее время является актуальной и очень важна в диагностических и научных исследованиях.

На основе результатов анализа выдвигается гипотеза: для каждого класса объектов можно определить алгоритм сегментации, позволяющий получить результат, удовлетворяющий исследователей гистологических препаратов.

**Вторая глава** посвящена сегментации гистологических объектов на полутоновых изображениях.

Глава начинается с классификации гистологических объектов для определения наиболее эффективного метода сегментации. В ходе классификации определяются три основных класса объектов: площадные (клетки, ядра клеток, сосуды и волокна в поперечном срезе), протяженные объекты (сосуды и волокна в продольном срезе), мелкие контрастные объекты (ядрышки, клеточные включения, артефакты) (табл. 1).

Таблица 1

*Таблица классификации гистологических объектов и методов их сегментации для каждого класса*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вид объекта | Характеристика  изображения | Равномерный фон | Неравномерный фон |
| Площадные | Отдельно лежащие объекты одного типа | *Пороговая сегментация* | *Методы математической морфологии* |
| Объекты | Объекты,  сопровождаемые  объектами другого типа | *Пороговая  сегментация* | *Методы  объединения областей* |
| Протяженные объекты | Произвольное  изображение | *Пороговая  сегментация* | *Морфологическая сегментация,  основанная на утоньшении* |
| Мелкие контрастные объекты | Произвольное  изображение | *Пороговая сегментация* | *Пороговая сегментация* |

Используя характеристику протяженных объектов, для получения результата можно применять методы математической морфологии. Для выделения средней линии, соответствующей протяжённым объектам, чаще всего применяется полутоновое утоньшение изображения. Поэтому в диссертации был разработан алгоритм полутонового утоньшения, ориентированный на обработку изображений гистологических препаратов со сложным фоном, у которых на разных участках изображения меняются полутоновые характеристики.

Утоньшение изображения осуществляется за четыре прохода, а именно для верхнего, нижнего, правого и левого края. За каждый из четырех проходов значение пикселя изменяется по условиям:

1. *p2*<x **AND** *p6*≥x **AND** (*p1*<x **AND** *p4*≥x **OR** *p3*<x **AND** *p0*≥x **OR** *p0*≥x **AND** *p4*≥x);
2. *p6*<x **AND** *p2*≥x **AND** (*p5*<x **AND** *p0*≥x **OR** *p7*<x **AND** *p4*≥x **OR** *p4*≥x **AND** *p0*≥x);
3. *p4*<x **AND** *p0*≥x **AND** (*p3*<x **AND** *p6*≥x **OR** *p5*<x **AND** *p2*≥x **OR** *p2*≥x **AND** *p6*≥x);
4. *p0*<x **AND** *p4*≥x **AND** (*p7*<x **AND** *p2*≥x **OR** *p1*<x **AND** *p6*≥x **OR** *p6*≥x **AND** *p2*≥x),

где номера пикселей соответствуют рис. 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| P3 | P2 | p1 |
| p4 | Х | p0 |
| p5 | P6 | p7 |

Рис. 1 Окрестность пикселя X

В работе предлагаются три варианта изменения пикселя, удовлетворяющего вышеуказанным условиям:



1. Последовательная обработка полутоновых слоёв: последовательное утоньшение каждого полутонового уровня как бинарного изображения от максимального к минимальному.
2. Одновременная обработка полутоновых слоёв: изменяемый пиксель уменьшается на единицу (рис. 2).
3. Одновременная обработка с максимизацией значения пикселя: значению изменяемого пикселя присваивается значение максимального соседа из его окружения, полутоновая величина которого не превышает величину изменяемого пикселя.

Способ изменения пикселя зависит от контрастности изображения. Первым способом достигается идеальный результат для любых изображений, но он медленный. Третий способ – быстрый, но результат корректен только для контрастных изображений. Для большинства изображений более эффективно использовать второй способ (рис. 2).

Бинаризация скелета проводится за один проход изображения. Если обрабатываемый пиксель имеет хотя бы одного из четырёх соседей (p0, p2, p4, p6) меньше его или всех диагональных восьмисоседей меньше его, то значение пикселя приравнивается к 1 , в противном случае – к 0:

**If** (X>p0 **OR** X>p4 **OR** X>p2 **OR** X>P6) **OR** (X>p1 **AND X**>p3 **AND** X>p5 **AND** X>p7) **THEN** X=1 **ELSE** X=0.

Учитывая особенности протяжённых объектов при слабом оптическом увеличении, бинаризированный скелет соответствует выделяемым сосудам или волокнам.

При больших увеличениях толщина протяженных объектов начинает играть существенную роль, поэтому для этого случая был разработан отдельный алгоритм сегментации. Особенность алгоритма заключается в наличии двух параллельных ветвей: обработка самого изображения и его градиента. В результате утоньшения градиента изображения получаются области для обработки, соответствующие либо фону, либо объекту. По соответствию полученного скелета изображения областям определяются протяженные объекты (рис 3).



В качестве развития этого алгоритма предлагается алгоритм идентификации сосудов или волокон, который использует области и скелет, полученные с помощью предыдущего алгоритма. Он выполняется с помощью отслеживания протяженного объекта и классификации областей на три класса (пересечения, разветвления и продолжения), которая проводится с помощью анализа точек пересечения скелета с границами области.

Выбор метода сегментации для площадных объектов зависит от соотношения фона и полутоновых характеристик объектов. Для контрастных изображений лучше всего использовать алгоритмы пороговой сегментации, но в случае слабоконтрастных изображений они не позволяют получить качественный результат. Если фон неравномерен, а изображение включает отдельно лежащие объекты одного типа, и, кроме того, полутоновая величина для пикселей фона меняется равномерно и не делает резких скачков, хорошие результаты получаются при применении морфологической сегментации. В основе разработанного алгоритма лежит полутоновое утоньшение морфологического градиента, сопровождаемое операцией обрезания хвостов на каждую итерацию, которая позволяет получить замкнутые контуры, ограничивающие области, соответствующие объектам. Результаты, полученные с помощью этого метода, соответствуют выделяемым гистологическим объектам (рис. 4).



а) б) в) г)

Рис. 4.Морфологическая сегментация клетки нейрона: а) исходное изображение; б) результат утоньшения полутонового градиента; в) результат заливания; г) результирующее бинарное изображение клетки

В случае, когда в изображении объектов и фона полутоновая величина пикселей принимает любое значение, для сегментации разработан алгоритм объединения областей (рис 5). Отсутствие стадий “засевания”, роста и разделения областей приводит к выигрышу в скорости по сравнению с традиционными алгоритмами роста областей.

Объединение областей происходит при следующих условиях.

1. Разница дисперсии для полутоновой величины не должна превышать заданного значения, определяющего отличия клетки от ткани.
2. Среднее значение полутоновой величины каждой области не должно выходить за пределы, ограниченные дисперсией другой области.



а) б) в) г) д)

Рис 5. Сегментация клеток методом объединения областей: а) исходное изображение, б) морфологический градиент, в) утоньшение морфологического градиента, г) объединение областей, д) результирующее бинарное изображение клеток

Причем среднее значение и дисперсия новой области рассчитываются по формулам:



где М1, М2 – средние значения полутоновых величин для родительской и соседней областей, σ1, σ2 – дисперсии полутоновых величин для родительской и соседней областей, А1, А2 – площади родительской и соседней областей, М12 – среднее значение полутоновой величины для объединённой области, σ12 – дисперсия полутоновой величины для объединённой области.

Важной характеристикой клеток, волокон и сосудов в поперечном сечении является их топологическая структура. На этом основывается разработанный алгоритм определения клеток среди бинарных образов, полученных пороговой сегментацией (рис 6).

Алгоритм позволяет откорректировать результат, удалив объекты, не принадлежащие клеткам, и построить мультифазное изображение, в котором отражается иерархия клеточных структур.

**Третья глава** посвящена сегментации цветных изображений гистологических объектов. Для анализа гистологических препаратов цвет составляющих компонентов ткани играет важную роль. Окрашивание препарата позволяет выделить те или иные клеточные структуры. Причем стандартное преобразование цветного изображения в полутоновое приводит к потере некоторых объектов разной окраски, но одинакового уровня яркости.

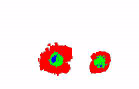
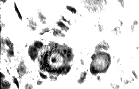


Рис 6. Изображение клеток нейронов симпатических ганглиев и построенное мультифазное изображение с иерархической структурой клеток

Алгоритмы сегментации гистологических объектов активно используют методы математической морфологии. Яркость и насыщенность можно охарактеризовать как полутоновые величины. Однако для гистологических изображений цветность можно только ограничить пороговыми значениями в спектре. Поэтому при обработке гистологических изображений цветность нельзя считать полутоновой величиной, несмотря на то, что она обладает такими свойствами, как возможность определения пороговых значений при помощи вычисления градиента.

Для сохранения цветности при использовании операций математической морфологии на цветных изображениях гистологических препаратов была разработана система описания цвета PHS (рис.7).



Рис 7. Декартовы системы RGB и ZYX и системы координат ZYX и PHS

Преобразование в координаты PHS из RGB выполняется по следующим формулам:



Тестирование работы операторов математической морфологии проводилось в четырёх координатных системах описания цвета PHS, HLS, RGB, YIQ на изображениях гистологических препаратов. Из результатов тестирования видно, что для системы HLS изменена яркость, в системах RGB и YIQ искажена цветность, а результат обработки в системе PHS наиболее близок к ожидаемому результату. Сравнение изображений проводилось посредством метрики Хаусдорфа, среднеквадратичной ошибки отклонения e2 и меры сходства изображений. Результаты представлены в табл. 2. Характеристики сходства исходного изображения и обработанного в системе PHS минимальны и свидетельствуют о более качественной обработке изображения.

Работу морфологических операций на цветных гистологических изображениях в системе PHS можно оптимизировать, обрабатывая вектор расстояния цвета и пропорционально ему меняя для пикселя значения по координатам RGB (красного, зелёного, синего лучей). Эта оптимизация увеличивает быстродействие на этапе преобразования координатных систем.

Использование полутоновой морфологии для цветных изображений позволяет более эффективно решать целый ряд задач сегментации изображений гистологических объектов.

Таблица 2

*Сравнение результатов тестирования работы операций математической морфологии для цветных изображений*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Система  координат | Метрика  Хаусдорфа | Среднеквадратичная ошибка  отклонения | Мера сходства изображений |
| HLS | **0,337** | **0,22755** | **0,05178** |
| RGB | **0,302** | **0,217798** | **0,047436** |
| YIQ | **0,302** | **0,235654** | **0,055533** |
| ***PHS*** | ***0,176*** | ***0,138054*** | ***0,019059*** |

**В четвертой главе** описывается система анализа изображений Bioscan.

Для этой системы были разработаны и опробованы вышеописанные алгоритмы. Большинство алгоритмов по автоматической обработке изображений в этой системе разработаны автором. Приведены программные и технические характеристики системы, организация программного обеспечения и геометрические и оптические параметры, которые можно получить в результате измерения объектов.

В системе анализа изображений реализован полный аппарат математической морфологии для работы с цветными, полутоновыми и бинарными изображениями, который является важной частью в решении многих задач сегментации. Рабочая панель системы Bioscan приведена на рис. 8.

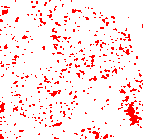
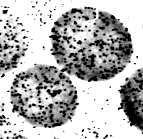


Рис. 8. Рабочая панель системы Bioscan:

1) меню, 2) панель инструментов, 3) окно с изображением, 4) динамическое окно вызова функций, 5) редактор подпрограмм интерпретатора

Приведены следующие примеры задач медицинской морфологии, решаемых системой:

1. исследование пирамидальных нейронов головного мозга разной степени поражения вирусом простого герпеса;
2. определение плотности радиальных и тангенциальных волокон мозговой ткани;
3. наблюдение обмена веществ в клетке с помощью радиоавтографии (рис. 9).



а) б) в)

Рис. 9. Клетки крови с радиоизотопными метками а) полутоновое изображение; б) результат пороговой сегментации для сегментации клеток; в) бинарное изображение радиоизотопных меток, полученных пороговой сегментацией

В **приложениях** приведены акты внедрения результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Выделение гистологических объектов на цифровых изображениях затруднено существенной вариабельностью и слабой контрастностью. Поэтому в задачах сегментации для решения частных задач применяются разнообразные методы. Универсальные подходы к выбору алгоритма для сегментации произвольного изображения гистологических объектов неизвестны. Следовательно, существует необходимость построения взаимосвязанной классификации гистологических объектов и алгоритмов сегментации, а также развития алгоритмов сегментации более общего и универсального характера для выделения широкого класса объектов.
2. Разработана классификация гистологических объектов для определения метода сегментации изображений гистологических объектов. В основе классификации лежат оптические и геометрические характеристики гистологических объектов, а также оптические характеристики их окружения – фона. Для каждого класса объектов определён наиболее оптимальный метод сегментации. Такая классификация определяет универсальный подход к выбору алгоритма для выделения гистологических объектов определённого класса, при этом сохраняя высокое качество полученных результатов.
3. Разработан алгоритм полутонового утоньшения объектов на слабоконтрастных изображениях гистологических объектов. Основным отличием алгоритма является то, что операция утоньшения начинает обрабатывать изображение с точек объектов, имеющих для своего окружения максимальные яркостные характеристики. Эта особенность позволяет обрабатывать и получать качественный результат на изображениях со сложным фоном с меняющимися яркостными характеристиками, особенно для изображений гистологических препаратов.
4. Разработан алгоритм сегментации и отслеживания сосудов или волокон при больших оптических увеличениях. Предложенный алгоритм, основанный на анализе областей, полученных с помощью утоньшения перепадов яркости, позволяет получить качественный результат, пригодный для дальнейшей обработки. Кроме того, для данного метода сегментации предлагается метод отслеживания, также основанный на анализе выделенных областей. Эти особенности позволяют повысить скорость и качество обработки.
5. Разработан алгоритм морфологической сегментации площадных гистологических объектов. Алгоритм выделяет такие объекты как клетки, сосуды и волокна в поперечном сечении на изображениях гистологических препаратов с фоном, яркостные характеристики которого меняются, а текстура не выражена.
6. Разработан алгоритм сегментации клеток методом объединения областей. Он ориентирован на обработку изображений со сложным фоном, у которого меняются яркостные характеристики и присутствует текстура, состоящая из ложных объектов и артефактов. Метод объединения областей существенно медленней морфологической сегментации, но он позволяет определять объекты даже тогда, когда перепады уровней яркости объектов такие же, как и у окружающего их фона. Отсутствие стадий “засевания”, роста и разделения областей приводит к выигрышу в скорости по сравнению с традиционными алгоритмами роста областей.
7. Предлагается система координат описания цвета, предназначенная для сохранения цветности при работе методов математической морфологии на изображениях гистологических препаратов. При представлении изображения в этой координатной системе основная часть обработки проходит по одной координатной оси, отображающей полутоновые свойства изображения. Это позволяет улучшить качество и ускорить обработку цветных изображений гистологических препаратов.

Полученные в диссертационной работе результаты предназначены для реализации в автоматических системах анализа гистологических препаратов и могут использоваться при традиционной обработке и анализе гистологических объектов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ  
 ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Статьи в сборниках и журналах**

1. Недзьведь А.М., Абламейко С.В. Утоньшение полутоновых изображений путем последовательного анализа бинарных слоёв // Цифровая обработка изображений. – Минск: Институт технической кибернетики АНБ 1997.– Вып.1. – С.137-147.
2. Морфометрия изменений онтогенеза у крыс, вызванных малыми дозами ионизирующей радиации. Мельниченко Э.М., Чешко Н.Н., Берлов Н.Н. и др. // Здравоохранение Беларуси. – 1997.– №10. – С.19-21.
3. Недзьведь А.М., Абламейко С.В. Полутоновое утоньшение цветного изображения // Цифровая обработка изображений. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси. – 1998.– Вып. 2.– С.41-52.
4. Недзьведь А.М., Абламейко С.В. Сегментация изображений волокон и сосудов при большом увеличении // Цифровая обработка изображений. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси. – 1999.– Вып. 3. – С.167-176.

**Тезисы докладов и материалы конференций**

1. Недзьведь А.М., Абламейко С.В. Представление цветных изображений для математической морфологии // Компьютерный анализ данных и моделирование. Сб. науч. статей V междунар. конф., под ред. проф. С.А.Айвазяна и проф. Ю.С.Харина. – Минск: БГУ. – 1998.– Ч. 4: К-Я. – С. 86-95.
2. Image analysis system for quantitative morphology task. Nalibotsky B., Nedzved A., Rubenchik A., e.a. // Program and abstract book; 8th International Symposium on Diagnostic Quantitative Pathology. – Amsterdam, 1994. – P.181-182.
3. Компьютерная обработка изображений сосудов и волокон биологических препаратов и измерение их геометрических характеристик. Недзьведь A.М., Ильич Ю.Г., Карапетян Г.М. и др.//Тез. докл. третьей науч. конф. по распознаванию образов и обработке информации.   
   – Минск, 1995. – С.110-113.
4. Nedzved A., Ablameyko S. Thinning of gray scale medical images.// System and signals in Intelligent Technologies. Minsk, 1998. – P.236-240.
5. Недзьведь А.М., Абламейко С.В. Сегментация клеток на гистологических препаратах для световой микроскопии // Сб. мат. докл. 5-й междунар. конф. по распознаванию образов и обработке информации PRIP-99. – Минск, 1999. – Ч. 2. – С. 143-148.
6. Аппаратная и программная поддержка системы обработки и анализа изображений “BIOSCAN-AT”. Налибоцкий Б.В., Недзьведь А.М., Рубенчик А.Я. и др.// Тез. докл. науч.-техн. конф. по компьютерной графике и анимации. – Минск, 1993. – С. 65-68.
7. Недзьведь А.М. Особенности системы пирамидальных нейронов головного мозга поля 10 // Тез. докл. республиканской науч. конф. молодых ученых и студентов “Актуальные проблемы современной медицины”. – Минск: МГМИ, 1997. – С.83-89.
8. Современные представления о морфогенезе герпетической инфекции. Недзьведь М.К., Фридман М.В., Недзьведь А.М. и др. // Инфекция и иммунитет: Мат. республиканской науч.-практ. конф., посвященной 75-летию БелНИИЭМ. – Минск, 1999. – С.309-313.

РЕЗЮМЕ

диссертационной работы Недзьведя Александра Михайловича “Сегментация слабоконтрастных изображений гистологических объектов”

*Ключевые слова: сегментация, медицинские изображения, системы анализа изображений, математическая морфология, цвет, гистологические объекты.*

Диссертационная работа посвящена проблеме сегментации объектов на изображениях гистологических препаратов. Её целью является разработка алгоритмов, позволяющих выделить гистологические объекты на изображении препарата, сохранив геометрические и оптические свойства объекта. Предложена классификация объектов для определения алгоритма сегментации. Разработан алгоритм полутонового утоньшения, учитывающий особенности изображений гистологических препаратов. На основе методов математической морфологии разработаны алгоритмы сегментации сосудов и волокон при мелком и большом оптических увеличениях, а также алгоритм идентификации сосудов и волокон при большом увеличении, использующий результаты алгоритма сегментации. Разработаны алгоритмы сегментации площадных объектов (клеток, ядер клеток, поперечного сечения сосудов и волокон) методами математической морфологии и объединения областей, а также алгоритм определения клеток на бинарном изображении, полученном в результате пороговой сегментации. Для выполнения сегментации гистологических объектов на цветных изображениях разработана система координат описания цвета PHS. Представлена система анализа изображений Bioscan, в которой реализованы вышеописанные алгоритмы. Полученные в диссертационной работе результаты предназначены для реализации в автоматических системах анализа гистологических препаратов и могут использоваться при традиционной обработке и анализе гистологических объектов.

РЭЗЮМЭ

дысертацыйнай працы Недзьведзя Аляксандра Мiхайлавiча “Сегментацыя слабакантрастных вiдарыса гiсталагiчных аб′екта”

*Ключавыя словы: сегментацыя, медыцынскiя вiдарысы, сiстэмы аналiзу вiдарыса, матэматычная марфалогiя, колер, гiсталагiчныя аб′екты.*

Дысертацыйная праца прысвечана праблеме сегментацыi аб′екта на вiдарысах гiсталагiчных прэпарата. Яе мэтай з′яўляецца распрацока алгарытма, дазваляючых вылучыць гiсталагiчныя аб′екты на вiдарысе прэпарата, захаваўшы геаметрычныя i аптычныя ўласцiвасцi аб′екта. Прапанавана класiфiкацыя аб′екта для вызначэння алгарытму сегментацыi. Распрацаваны алгарытм патонавага патанчэння, якi ўлiчвае асаблiвасцi вiдарыса гiсталагiчных прэпарата. На падставе метада матэматычнай марфалогii распрацаваны алгарытмы сегментацыi сасуда i валокна пры дробным i буйным аптычным павелiчэннi. На падставе алгарытма сегментацыi распрацаваны алгарытм iдэнтыфiкацыi сасуда i валокна пры буйным павелiчэннi. Распрацаваны алгарытмы сегментацыi плошчавых аб′екта (клетак, ядзер клетак, папярочнага сячэння сасуда i валокна) метадамi матэматычнай марфалогii i аб′яднання абласцей, а таксама алгарытм вызначэння клетак на бiнарным вiдарысе, атрыманым у вынiку парогавай сегментацыi. Для выканання сегментацыi гiсталагiчных абекта на каляровых вiдарысах распрацавана сiстэма каардынат апiсання колеру PHS. Прадсталена сiстэма аналiзу вiдарыса Bioscan, у якой рэалiзаваны вышэйапiсаныя алгарытмы. Атрыманыя дысертацыйнай працы вынiкi прызначаны для рэалiзацыi атаматычных сiстэмах аналiзу гiсталагiчных прэпарата i могуць выкарыстовацца пры традыцыйнай апрацоцы i аналiзе гiсталагiчных абекта.

**SUMMARY**

Dissertation of Nedzved Alexander

“Segmentation of low contrast images of histology objects”

*Key words: segmentation, medical images, image analysis systems, mathematical morphology, color, histology objects.*

Dissertation is devoted to the problem of object segmentation on histology preparations images. The purpose of research is the elaboration of image segmentation algorithms, allowing to must determine histology objects on preparation images, and preserving objects’ geometrical and optical properties. Object classification is proposed for determination of segmentation algorithm. Algorithm of gray thinning was developed for histology images. Algorithm of fibre and vessel segmentation in small and major magnifications has been worked out on the basis of mathematical morphology methods. Algorithm identification of vessels and fibres, that use results of segmentation, was developed. The algorithms of segmentation of the square objects (cells, nuclei, cross-section of fibres and vessels) were developed by the mathematical morphology and merging region methods. The system of coordinates PHS of color description was collaborated for segmentation of histology objects on color images. Image analysis system Bioscan is described. This system uses the algorithms that have been developed in this dissertation. Results of research can be uses for realization on automatic histology image analysis systems and for processing and analyzing histology objects.

Подписан к печати 3.02.2000. Формат бумаги 60x84 1/16.

Офсетная печать. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Зак. №9

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Отпечатано на ризографе Института технической кибернетики

НАН Беларуси. 220012, Минск, Сурганова, 6