

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 004.021:611/612

На правах рукописи

ПЯТЛИН
Владислав Сергеевич

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ
МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ МИКРООБЪЕКТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии
проектирования электронных систем

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ПАШКОВСКАЯ Ирина Дмитриевна**,
кандидат биологических наук, ведущий научный
сотрудник РНПЦ неврологии и нейрохирургии

Рецензент: **ПАВЛОВИЧ Александр Эдуардович**,
кандидат технических наук, доцент, старший пре-
подаватель БНТУ

Защита диссертации состоится «26» июня 2019 г. года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П. Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

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

ВВЕДЕНИЕ

В современной медицине основными методами установки окончательного диагноза для большого круга патологий, в таких областях как андрология, гематология, гистология, цитогенетика и других остаются цитоморфологические методы. Эти методы реализуются через анализ под микроскопом препаратов клеточных структур крови, спермы, костного мозга, урины и т.д., а также эпителиальных и тканевых структур (далее микрообъектов). Диагноз ставится врачом на основе анализа отдельных микрообъектов препарата или их совокупности. Микрообъекты – любые объекты, размеры которых можно определить с помощью оптического микроскопа, т.е. они лежат в пределах от 200 нм до 1 мм. В этой работе рассматриваются медико-биологические микрообъекты, включающие клетки крови, эпителиальные клеточные, тканевые и железистые структуры, сперматозоиды.

Сегодня микроскопическая диагностика заболеваний на основе анализа тканевых и клеточных структур (микрообъектов) на медико-биологических препаратах в гематологии, андрологии, цитогенетике, андрологии и других областях осуществляются врачами вручную под микроскопом.

Этот процесс, который обычно заключается в дифференцированном счете микрообъектов, очень утомителен и трудоемок, а возможности получения количественной информации ограничены. Оценки микрообъектов в большинстве случаев субъективные и приблизительные (качественные), такие как «темнее-светлее», «больше-меньше» и т.п. Отсюда вытекает низкая точность диагностики и низкая повторяемость результатов анализа. Поэтому возникает необходимость в разработке новых компьютерных технологических средств автоматизации (математических методов, алгоритмов, методик, программных средств) обработки, распознавания, анализа, классификации изображений микрообъектов и диагностики заболеваний.

С недавних пор начали появляться компьютерные системы анализа изображений микрообъектов (компьютерные анализаторы), которые позволяют в некоторой степени автоматизировать трудоёмкий процесс анализа микрообъектов, и главное, предоставить возможность специалисту-микродиагносту получать большой объем новой более подробной количественной информации, которая уменьшит влияние человеческого фактора в ходе постановки диагноза.

Компьютерные анализаторы изображений микрообъектов – это аппаратно-программные комплексы, позволяющие вводить изображения микрообъектов с медицинских препаратов на монитор компьютера, установленных на микроскопе с черно-белой либо цветной видеокамерой.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность диссертационной работы проявляется в важности решения проблем повышения качественных и количественных характеристик микроскопической диагностики.

Степень разработанности проблемы

Сегодня компьютерные анализаторы все еще не имеют широкого распространения в основном по причине своей высокой стоимости и узкой направленности на конкретный тип анализа определенного препарата, а также по причине жесткой привязки программного обеспечения к оборудованию. Поэтому сейчас нет возможности заменить микроскоп компьютерным анализатором на каждом рабочем месте врача-микробиолога.

Однако компьютерные анализаторы изображений микрообъектов являются очень востребованными для анализов патологически измененных тканевых и клеточных структур, особенно они важны для морфометрического анализа таких структур, необходимого для надежной и достоверной диагностики заболеваний, для врачей клинической лабораторной диагностики, для теледиагностики и телеконсультаций, а также для обучения студентов медицинских институтов.

В зависимости от характеристик препарата, условий его освещенности (падающий свет, проходящий свет, флуоресценция), а также предъявляемых требований к характеристикам получаемого изображения, необходимо использовать соответствующую камеру. Нынешний уровень развития электроники не позволяет создавать универсальные камеры, равно подходящие для различных задач. Поэтому камера с высоким разрешением всегда будет иметь преимущество перед камерой с низким разрешением способностью, поскольку она позволяет переключаться на объектив с меньшим увеличением, сохраняя при этом необходимые детали изображения и, таким образом, захватывать большую часть препарата за один проход. Это необходимо, например, в гистологии, где анализируются тканевые структуры, которые иногда не вписываются в поле зрения объектива даже с увеличением в 10 раз.

Одновременно с этим динамический диапазон и чувствительность обратно пропорциональны разрешению. Поэтому при флуоресцентной микроскопии, применяющейся при анализе «комет» (принадлежит ниже), необходимо применять камеры с низким разрешением. В этой работе использовались две камеры: *Leica DC300*, имеющей размер изображения 2048×1526 и *Roper*

Scientific Coolsnap FX с расширением 1300×1030 и с установленным охлаждающим модулем Пельтье.

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы заключается в исследовании, разработке и реализации новых универсальных компьютерных технологических средств (алгоритмов, методов, методик, программных средств) автоматизации процессов ввода, морфометрического анализа, обработки, распознавания и классификации изображений разнотипных микрообъектов, т.е. для автоматизации анализов тканевых и клеточных структур при микроскопической диагностике.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие *задачи*:

- исследовать способы обработки изображений, формирования методики предварительной обработки изображений медико-биологических микрообъектов;
- разработать алгоритмы средств сегментации изображений микрообъектов и методы преобразования сегментированного изображения, описания объектов на нем (построение хорд и контуров), операций с контурами;
- на основе полученных алгоритмов реализовать индивидуальные технологические средства морфометрического анализа разнотипных медико-биологических микрообъектов.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных авторов в области методологии искусственного интеллекта и ситуационного управления, элементы теории моделирования, распознавания образов и нечеткой логики.

Научная новизна

Научная новизна работы состоит в поиске и реализации новых математических методов, программных и технических средств, ориентированных на решение проблем автоматизации поиска, ввода, обработки (включая сегментацию), идентификации и классификации изображений разнотипных микро-

объектов, морфометрии, с целью компьютеризации анализов тканевых и клеточных структур для диагностики заболеваний.

Практическая значимость работы состоит в том, что созданы специализированные компьютерные технологические средства для автоматизации распознавания, обработки и морфометрического анализа изображений тканевых и клеточных структур. Разработаны программные, алгоритмические и информационные технологии для автоматического поиска микрообъектов, выделения их контура и контуров элементов их составляющих (с автоматизированной коррекцией).

Методы исследования базируются на теоретическом анализе с применением математических методов распознавания образов, фильтрации сигналов, теории статистических решений, а также экспериментального программного моделирования методов и технологических средств анализа изображений и их обработки.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Исследование методов морфометрического анализа, распознавания и классификации изображений разнотипных клеточных и тканевых структур.
2. Разработка методов и алгоритмов для решения проблемы автоматизации сегментации изображений микрообъектов.
3. Применение полученных методов автоматической фокусировки и ввода (оцифровки) изображений в компьютерном анализаторе.

Публикации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 8 печатных работах.

Структура и объем работы

Диссертация включает: введение, 4 главы, заключение и 1 приложение, изложена на 80 страницах машинописного текста, содержит 36 иллюстраций, 7 таблиц и библиографический список, включающий 43 наименования.

В рамках **первой главы** дается обзор технологических средств анализа, обработки и классификации изображений медико-биологических микрообъектов. **Вторая глава** посвящена исследованию и разработке технологического средства ввода изображений со стеклопрепаратов в компьютер и их предварительной обработке. В рамках **третьей главы** исследуются и разрабатываются технологические средства сегментации изображений микрообъектов и их описания. В **четвертой главе** разрабатываются индивидуальные технологические средства компьютерного морфометрического анализа.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено влияние клинических функциональных исследований на практическую медицину и на эффективность диагностики и лечения, прослеживается тенденция к автоматизации сбора и обработки данных, непосредственно получаемых при проведении исследований.

В **общей характеристике** работы показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований.

В **первой главе** кратко характеризуется состояние проблемы в области автоматизации деятельности медицинских служб функциональных исследований. В ней выделяются элементы деятельности персонала клинко-диагностических служб функциональных исследований, подлежащие информатизации, излагаются общие требования к организации процесса разработки медико-технологических систем, а также требования к источникам медицинских знаний и разработчикам информационного и алгоритмического обеспечения, принятые в качестве основы при проведении данной работы. Проводится обзор и анализ методов и подходов, лежащих в основе разработки. Представлен анализ технических решений по реализации этих технологических средств, сложности их реализации (их решений), кратко изложены характеристики существующих компьютерных систем анализа изображений микрообъектов, определяется направление для повышения эффективности подобных систем.

Во **второй главе** предлагается актуальная практическая методика, в результате которой ввод изображения в компьютер и его преобразование из формата *raw* в формат *RGB* производится по алгоритму «билинейная интерполяция», а при фокусировке – «интерполяция по ближайшему соседу». Также предложен метод предварительной обработки изображения для задачи распознавания микрообъектов, которая заключается в оптимизации гистограммы яркости и низкочастотной фильтрации (фильтр «размытия по Гауссу»). Также представлена методика предварительной обработки изображения для задач, которые требуют качественного визуального представления (например, для обучения студентов мединституты, для коллегиального обсуждения патологически измененных микрообъектов).

В **третьей главе** рассматриваются вопросы реализации компьютерной поддержки основных элементов деятельности врача функциональной диагностики, решения этих вопросов оказывают важнейшее влияние на проблему обнаружения микрообъектов.

Основной акцент делается на разработке метода сегментации изображений медико-биологических исследуемых опытным путем микрообъектов и его теоретическому обоснованию. В главе представлен метод интерактивной сегментации в пространстве *HSV* (насыщенность, цвет, уровень) с использованием цветовых плоскостей *HS* и *HV*.

Задача определения соотношения ретикулоцитов и нормальных эритроцитов в одном окрашенном мазка также является актуальной с точки зрения медицины. Это соотношение позволяет диагностировать большое количество заболеваний

и прогнозировать их течение. Определение его вручную не менее трудоемкая задача, чем построение кривой Прайс-Джонса.

Для ускорения и облегчения ручного счета, врачи идут на сознательное понижение точности: считают количество эритроцитов только в первом кадре. В последующих кадрах считаются только ретикулоциты. Количество эритроцитов на следующих кадрах принимается одинаковым и равным подсчитанному на первом кадре.

Предлагается практическая методика корректного выбора одной из плоскостей, исходя из параметров обрабатываемого изображения. Проводится экспериментальная оценка точности сегментации по представленному методу. Для описания объектов на сегментированном изображении используется метод построения хорд и контуров на базе метода заполнения ограниченной всеми возможными микроэлементами выделенной области «с затравкой». Такой метод ощутимо быстрее широко используемого метода «обхода контура», однако и не позволяет получить упорядоченный контур. В большинстве задач распознавания необходимость в упорядоченном контуре отсутствует.

Задача построения кривой Прайс-Джонса является актуальной с точки зрения медицины, т.к. она позволяет диагностировать разные типы анемий, что чрезвычайно важно для правильного лечения, однако ее построение вручную является чрезвычайно трудоемкой операцией с субъективными оценками.

Кривая Прайс-Джонса (эритроцитометрическая кривая) – это гистограмма распределения эритроцитов по диаметру. Для ее построения в окрашенном мазке крови врач должен при помощи окуляр-микрометра измерять диаметр не менее 100 эритроцитов. На этапе ввода изображения в компьютер микроскоп фокусируется и изображение оцифровывается. Фокусировка может быть автоматической и ручной. Так как в подавляющем большинстве световых микроскопов фокусировка происходит при вертикальном движении

предметного столика, то для осуществления автоматической фокусировки столик должен быть моторизированным и управляться компьютером. Поскольку данный анализ выполняется «на глаз», его результаты очень субъективны. По результатам этих измерений строят уточненный по всем показателям и нормам график.

В **четвертой главе** разрабатываются индивидуальные технологические средства компьютерного морфометрического анализа, классификации и дифференцированного счета изображений клеток крови человека (лейкоцитов, эритроцитов, ретикулоцитов), сперматозоидов, изображений «комет» (специальным образом обработанных ядер лейкоцитов), тканевых и клеточных структур гистологических препаратов.

Процесс анализа препаратов врачом сводится к их визуальной оценке и постановке диагноза (доброкачественная гиперплазия, рак разной степени дифференциации, *PIN*). Таким образом, правильность диагноза целиком зависит от опыта и квалификации врача.

В работе предложена методика и технологические средства автоматизации морфологической количественной (морфометрической) диагностики доброкачественных и злокачественных новообразований предстательной железы (ПЖ) по материалам игольной биопсии и трансуретральной резекции.

Следует отметить, что при построении математической модели клеточных структур (крови, спермы, урины и т.д.) структура нормальных и аномальных клеток играла первостепенную роль при распознавании и их классификации, поэтому для их описания использовалась структурно-параметрическая модель. В гистологических препаратах простаты тканая структура содержит микрообъекты, отличительные признаки которых не ярко выражены в структуре, для них наиболее характерна вариабельность морфологии: размера, формы, плотности как клеточных так и тканевых структур. Каждая из них задает в булевом пространстве признаков некоторый интервал.

В ходе построения системы решались проблемы по преодолению недостатков уже имеющихся систем анализа изображений микрообъектов. Программное обеспечение системы разрабатывалось с целью обеспечения ее универсальности и с точки зрения типов анализируемых микрообъектов, и с позиции используемого аппаратного обеспечения. Для измерения объектов, линейные размеры которых превышают примерно 1 мм, нет необходимости использовать микроскоп, в указанном диапазоне размеров находится немало количество объектов, которые интересны специалистам химической, медико-биологической, технической областей. Однако наличие верхней границы размеров носит условный характер и для большинства вопросов, рассматривае-

мых в работе, не является фундаментальным. Также максимизирована возможность коллективного использования путем разделения операций на те, которые требуют наличия аппаратного обеспечения системы (микроскоп, камера) и те, которые могут быть проведены автономно (обработка и анализ полученных изображений). Второй тип операций переведен на рабочие места пользователей, объединенные в локальную сеть.

Закономерности на втором этапе распознавания играют роль аксиом в процессе логического вывода. На основе полученных результатов строится решающее правило, которое и применяется для диагностики новообразований предстательной железы.

Нынешний уровень развития электроники не позволяет создавать универсальные камеры, равно подходящие для различных задач. Поэтому камера с высоким разрешением всегда будет иметь преимущество перед камерой с низким разрешением способностью, поскольку она позволяет переключаться на объектив с меньшим увеличением, сохраняя при этом необходимые детали изображения и, таким образом, захватывать большую часть препарата за один проход.

Рассмотрены имеющиеся на сегодняшний день системы обработки, анализа и классификации изображения микрообъектов, а также определены основные аппаратно-программные средства для дальнейших исследований.

Разрабатывается методология формализации знаний врачей об исследуемых микрообъектах, включающая построение параметризованной и структурной моделей общего описания микрообъектов.

В процессе построения параметрической модели был введен ряд других параметров, давших количественную оценку качественным признакам, используемым врачами экспертами. Представленные средства морфометрического анализа позволяют в той или иной степени решать такие задачи диагностики, как подсчет лейкоцитарной формулы, построение эритроцитометрической кривой (кривой Прайс-Джонса), вычисление ретикулоцитарного индекса, счет спермограммы, определение индивидуальной радиочувствительности онкологических больных, диагностика рака предстательной железы.

В заключении сформулированы результаты, которые были получены в ходе диссертационной работы, а также даны рекомендации по расширению области применения разработанных технологических средств и методов.

В приложении приводятся полные таблицы результатов экспериментальной проверки точности сегментации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

В диссертационной работе получены следующие теоретические и практические результаты:

1 Разработаны и программно реализованы в компьютерном анализе торе методы и алгоритмы ввода и предварительной обработки изображений микрообъектов; предложенная методика ввода позволила увеличить скорость обновления «живого» изображения при фокусировке в 1,6 раза. Определена зависимость оптимальной размерности фильтра от кратности оптической системы микроскопа и разрешения матрицы видеокамеры, что позволило полностью автоматизировать процедуры предварительной обработки изображений.

2 Предложен новый универсальный метод и разработаны программные средства интерактивной сегментации изображений разнотипных микрообъектов в пространстве *HSV* (*Hue, Saturation, Value* – Цветность, Насыщенность, Уровень яркости). Разработана методика выбора цветовой плоскости *HS* или *HV* для изображений разных типов микрообъектов. Произведена оценка точности сегментации по описанному методу, в результате которой получено значение суммарной средней ошибки, составляющее 0,045.

3 Разработан метод и программные средства построения контуров и хорд на основе алгоритма заполнения ограниченной области «с затравкой», который быстрее широко используемого метода обхода контура в 2,4 раза.

4 Разработаны методы и программные средства морфометрического анализа и классификации микрообъектов различной природы.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно–компьютерных систем учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники” в учебный курс “ Методы компьютерной обработки экспериментальных данных ”.

СПИСОК СОБСТВЕННЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Лойко, Е.И. Анализ состояния проблемы компьютерной поддержки врачебной деятельности / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 3(7)-2018 – С. 216.

2. Лойко, Е.И. Развитие технологических средств анализа изображений медико-биологических микрообъектов / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 3(7)-2018 – С. 154.

3. Лойко, Е.И. Деятельность службы функциональной диагностики как объект информатизации / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 10(14)-2018 – С. 216.

4. Лойко, Е.И. Анализ процесса разработки информационно-аналитических систем функциональной диагностики / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 11(15)-2018 – С. 128.

5. Лойко, Е.И. Реализация средств ввода изображений и видео микрообъектов в компьютерный анализатор медиафайлов / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, Д.С. Дулевич, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 12(16)-2018 – С. 171.

6. Лойко, Е.И. Сегментация изображений микрообъектов / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, Д.С. Дулевич, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 4(20)-2019 – С. 187.

7. Лойко, Е.И. Отслеживание объектов в видеопотоке и обработка перекрытия / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, Д.С. Дулевич, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 6(22)-2019 – С. 204.

8. Лойко, Е.И. Методы описания объектов на сегментированном изображении / Е.И. Лойко, В.С. Пятлин, В.Ю. Цвирко, Д.С. Дулевич, И.Д. Пашковская // материалы международного научного журнала «Научные горизонты», Россия, Российская Федерация / № 6(22)-2019 – С. 211.

РЭЗІЮМЭ

Пятлін Уладзіслаў Сяргеевіч

Метады і алгарытмы аналізу малюнкаў медыка-біялагічных микрообъектов

Ключавыя словы: аўтаматызаваная сістэма, функцыянальныя даследаванні.

Мэта працы: распрацоўка новых універсальных кампютарных тэхналагічных сродкаў (алгарытмаў, метадаў, метадык, праграмных сродкаў) аўтаматызацыі працэсаў ўводу, марфаметрычнага аналізу, апрацоўкі, распазнавання і класіфікацыі малюнкаў розна тыповых микрообъектов.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны і праграма рэалізаваны ў кампютарным аналізу торы метады і алгарытмы ўводу і папярэдняй апрацоўкі малюнкаў микрообъектов; прапанаваная метадыка ўводу дазволіла павялічыць хуткасць абнаўлення "жывога" малюнка пры факусоўцы ў 1,6 разы. Распрацаваны метады і праграмныя сродкі пабудовы контураў і хорд на аснове алгарытму запаўнення абмежаванай вобласці «з падсадкай», які хутчэй шырока выкарыстоўванага метаду абыходу контуру ў 2,4 разы. Распрацаваны метады і праграмныя сродкі марфаметрычнага аналізу і класіфікацыі микрообъектов рознай прыроды.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм ўстанова адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі" ў навучальны курс "Метады кампютарнай апрацоўкі эксперыментальных даных".

Вобласць ужывання: медыцынская сфера, інфармацыйныя тэхналогіі.

РЕЗЮМЕ

Пятлин Владислав Сергеевич

Методы и алгоритмы анализа изображений медико-биологических микрообъектов

Ключевые слова: автоматизированная система, функциональные исследования.

Цель работы: разработка новых универсальных компьютерных технологических средств (алгоритмов, методов, методик, программных средств) автоматизации процессов ввода, морфометрического анализа, обработки, распознавания и классификации изображений разнотипных микрообъектов.

Полученные результаты и их новизна: разработаны и программно реализованы в компьютерном анализе торе методы и алгоритмы ввода и предварительной обработки изображений микрообъектов; предложенная методика ввода позволила увеличить скорость обновления «живого» изображения при фокусировке в 1,6 раза. Разработан метод и программные средства построения контуров и хорд на основе алгоритма заполнения ограниченной области «с заправкой», который быстрее широко используемого метода обхода контура в 2,4 раза. Разработаны методы и программные средства морфометрического анализа и классификации микрообъектов различной природы.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники” в учебный курс “Методы компьютерной обработки экспериментальных данных”.

Область применения: медицинская сфера, информационные технологии.

SUMMARY

Pyatlin Uladzislau Syarheevich

Methods and algorithms for image analysis of biomedical microobjects

Keywords: automated system, functional studies.

The object of study: development of new universal computer technology tools (algorithms, methods, techniques, software) to automate input processes, morphometric analysis, processing, recognition and classification of images of various types of micro-objects.

The results and novelty: methods and algorithms for input and preliminary processing of images of micro-objects have been developed and implemented in software in the computer analysis of the torus; The proposed input method allowed us to increase the update rate of the “live” image when focusing 1.6 times. A method and software for constructing contours and chords was developed on the basis of an algorithm for filling a limited region “with a seed”, which is 2.4 times faster than the widely used contour traversal method. Developed methods and software for morphometric analysis and classification of micro-objects of various nature.

Degree of use: the results were introduced into the educational process at the department of design of information-computer systems of the educational institution “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics” in the training course “Methods of computer processing of experimental data”.

Sphere of application: medical field, information technology.