

Технологии искусственного интеллекта: компьютерное зрение



Сергей Абламейко,
профессор механико-математического факультета Белорусского государственного университета, академик



Александр Недзведь,
профессор кафедры компьютерных технологий и систем факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, доктор технических наук, доцент



Рихард Богуш,
заведующий кафедрой вычислительных систем и сетей Полоцкого государственного университета, доктор технических наук, доцент

Компьютерное зрение – область искусственного интеллекта (ИИ), связанная с анализом изображений и видео. Она включает в себя набор методов, наделяющих компьютер способностью «видеть» и анализировать полученную информацию: идентифицировать предметы и людей, распознавать текст, фиксировать движения, выделять однородные элементы на изображениях и видео и др. Системы компьютерного зрения находят применение во многих областях – в здравоохранении, на транспорте, производстве, в сельском хозяйстве, безопасности и пр. К примеру, они широко применяются для обработки изображений при дистанционном зондировании земной поверхности из космоса, что, в частности, позволяет оперативно оценить состояние сельхозкультур и принимать соответствующие меры. С их помощью решается определенный блок задач, связанных с обработкой изображений в медицине. Одна из наиболее актуальных – дифференциальная диагностика основных форм раковых заболеваний, которая достигается путем компьютерного анализа изображений, что в итоге повышает точность и эффективность верификации диагноза, а также выбора тактики лечения. Системы ком-

пьютерного зрения нашли применение в проектировании интегральных микросхем (ИМС), особенно в части контроля качества цифровых изображений.

В последнее десятилетие для создания алгоритмов компьютерного зрения наряду с классическими методами машинного обучения широко используются глубокие нейронные сети, что привело к взрывному росту ИИ.

Отечественные достижения в области компьютерного зрения и сферы их применения

За последние два десятилетия авторами данной статьи совместно с коллегами были получены следующие основные результаты в области компьютерного зрения.

Видеонаблюдение

Обнаружение и анализ объектов на изображениях с использованием сложных наборов признаков и сверточных нейронных сетей.

Для обнаружения объектов на изображениях с большим разрешением разработан метод на основе пирамидально-блочной обработки с перекрытием. Благодаря



Рис. 1. Примеры обнаружения объектов на видеокадре с разрешением 8К

ему точность небольших размеров на 8К-изображениях увеличивается не менее чем в 2 раза и обеспечивается параллельная обработка на современных вычислительных средствах, что существенно снижает временные затраты.

На рис. 1 с использованием предложенного метода выявлено 114 объектов с минимальным размером 26×31 пикселей. В то время как на основе сверточной нейронной сети (СНС) – 27.

Для оценки сходства изображений при обнаружении объектов на изображениях и видеопоследовательностях разработаны новые функции схожести, которые дают возможность рассчитывать мультипликативную или аддитивную нормированную величину схожести выбранных признаков. Минимаксная аддитивная функция схожести позволяет обнаруживать объекты на изображениях с плотностью импульсного шума в 1,6 раза выше, чем для других функций схожести, а нормированная минимаксная усредненная аддитивная функция схожести – улучшить точность локализации с учетом линейного изменения уровней анализируемых признаков сравниваемых изображений.

Для обработки изображений различных классов в пространственной и спектральной областях предложены способы обнаружения:

- полутоновых изображений (сопоставление с эталоном, обеспечивающее сокраще-

ние вычислительных затрат за счет инвариантности к зеркальному отображению объектов);

- бинарных объектов с учетом полученного выражения для определения оптимального размера блока при факторизации матрицы объекта размером $N \times N$ на основе блочного разбиения:

$$m = \lceil 0,765 \log_2 N + 0,84 \rceil;$$

- объектов в спектральной области (вейвлет-преобразование и многоуровневый анализ). Его формальная сущность заключается в сравнении аппроксимирующих коэффициентов вейвлет-разложения объекта и изображения для всех возможных смещений окна в зоне поиска и уровней вейвлет-преобразования, когда решение о наличии объекта на изображении принимается после обнаружения его на всех масштабах разложения. Для повышения инвариантности к повороту объекта используется анализ моментов строк и столбцов матриц вейвлет-

коэффициентов объекта и изображения. Такой подход совместно с методикой оценки схожести для каждого уровня вейвлет-обработки позволяет уменьшить вычислительные затраты и при этом реализовать достоинства, присущие методу максимального правдоподобия.

Для классификации изображений парковочных мест автостоянки на основе данных видеомониторинга предложено использовать гистограммы ориентированных градиентов для вычисления признаков парковочного места и метод опорных векторов для их классификации. (рис. 2). Определение наиболее эффективных параметров дескриптора, типа и параметров функции ядра классификатора позволило повысить вероятность правильной классификации парковочных мест на свободные и занятые до величины 0,997, что является наилучшим результатом для существующих подходов.

Обнаружение и сопровождение объектов различных классов на видеопоследовательностях.

Методы и алгоритмы обнаружения движущихся объектов

Метод построения модели фонового кадра для видеопоследовательности, формируемой статической видеокамерой,

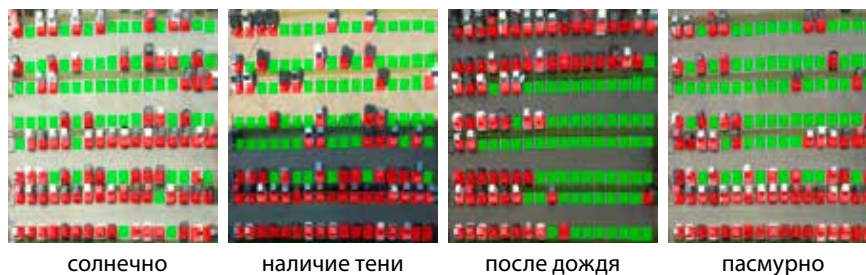


Рис. 2. Результаты классификации парковочных мест



Рис. 3. Результаты обнаружения движения на видео с наличием шумов

путем итерационного многоуровневого сравнения распределенных по времени кадров при построении маски движения, попиксельной кластеризации, логических и морфологических операций позволяет уменьшить вероятность ложного обнаружения пикселей с движением более чем в 2 раза, не требует значительных вычислительных затрат, повышает эффективность выявления движущихся объектов на видеопоследовательности (рис. 3).

Разработан метод обнаружения движущихся объектов, основанный на анализе оптического потока при пирамидальном представлении кадра с применением шаблонного поиска при построении предварительной карты векторов движения для сокращения временных затрат. В качестве шаблона принимаются координаты используемых при поиске точек, определяемых от центра шаблона в виде ромба. Для повышения точности локализации используются функции схожести при анализе векторов движения. Метод обеспечивает также возможность обнаружения групп объектов (рис. 4).

Сопровождения людей на видеопоследовательности.

Новая архитектура сверточной нейронной сети позволила учитывать вариативность схожих и отличных признаков людей на различных кадрах видеопоследовательности и обеспечила приемлемые вычислительные затраты, формирует 128 признаков изображения фигуры человека.

Разработан метод сопровождения людей на основе результатов обнаружения с применением сверточных нейронных сетей (рис. 5).

В целях увеличения точности обнаружения людей предложено применять идентификацию по лицам для сопровождения, включающую стадии обнаружения, идентификацию, формирование вектора пространственных и СНС-признаков (лицо и фигура), установление соответствия между ними на кадрах и их индексацию.



Рис. 4. Обнаружение движения групп людей на основе оптического потока и построение траектории движения областей с визуализацией карт движения

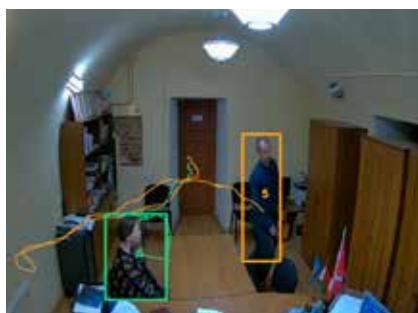


Рис. 5. Сопровождение людей с отображением их траекторий движения



Рис. 6. Примеры сопровождения людей при множественном их перекрытии

Составной дескриптор цифрового изображения каждого человека содержит признаки лиц, вычисленных на основе сверточной нейронной сети, а также комплекс других его параметров, что позволяет сопровождать человека при невозможности идентификации лица (рис. 6).

Задачу обнаружения и сопровождения людей в масках решает подход, основанный на нейронных сетях (рис. 7), предполагающий при создании наложение масок на лица из существующих наборов данных, что расширяет тренировочный набор и повышает точность распознавания.



Рис. 7. Примеры обнаружения и сопровождения людей масках

Своевременный и качественный анализ признаков, содержащихся на видеозображениях, предоставляет возможность раннего обнаружения дыма или возгорания. Именно для этого разработан ряд методик и подходов. В частности, предложено выполнять классификацию движущихся объектов на основе вычисления в них контраста Вебера и анализа их векторов движения, определяемых блочным методом вычисления оптического потока по трем основным направлениям. Это позволяет более эффективно отличать области дыма от движущихся объектов, имеющих схожие яркостно-цветовые характеристики.

В целях обнаружения пламени рекомендовано применять цветовую фильтрацию и вейвлет-преобразование всех областей, которые могут быть отнесены к пламени. Использовать движение как признак, характерный для дыма и пламени, для их обнаружения предложено впервые. Он служит в том числе и для уменьшения вероятности ложного распознавания путем анализа хаотичности движения в выявленных областях. Отличительной особенностью данного метода является использование на этапе классификации пространственного и временного вейвлет-анализа областей-



Рис. 8. Примеры обнаружения признаков пожара по видеопоследовательностям

кандидатов для пламени и для дыма (рис. 8).

Разработан новый подход к обнаружению полей реквизитов лицевой стороны банковских карт по видеопоследовательностям для мобильных устройств. Он позволяет в режиме реального



Рис. 9. Внешний вид мобильного приложения, реализующего разработанный подход: 1 – область просмотра изображения; 2 – метка успешного детектирования карты; 3 – область вывода распознанных данных

времени, используя библиотеку Tesseract, распознавать все информационные поля лицевой стороны банковской карты на латинице и кириллице, для эмбоссированных и неэмбоссированных типов карт (рис. 9).

Анализ и интерпретация изображений дистанционного зондирования Земли

Для обработки изображений дистанционного зондирования Земли, полученных как со спутников, так и с беспилотных летательных аппаратов, в последнее время стали широко использоваться нейронные сети. Нами разработан ряд методов для нахождения и выделения заданных объектов на изображении. В частности, была разработана нейронная сеть, работающая на основе архи-

тектуры Faster R-CNN ResNet-50 FPN, которая решает задачу распознавания некоторых типов транспортных средств на изображениях земной поверхности. На рис. 10 показаны результаты выделения зданий на спутниковом изображении и выделения и распознавания автомобилей на изображении, полученном с беспилотного летательного аппарата.

Для сжатия радиолокационных данных предложено энтропийно-ограниченное блочное адаптивное квантование с использованием решения системы нелинейных уравнений относительно координат углов ступенчатой функции для определения уровней квантования и последующим кодированием данных алгоритмом Хаффмана, которое обеспечивает улучшение отношения сигнал/шум по сравнению с традиционными подходами до 2 дБ. Для представления радиолокационных данных 0-го и 1-го уровней в стандартные форматы предложены обобщающие подходы, учитывающие особенности представления информации различного уровня и иерархии форматов (рис. 11). Таким образом обеспечивается совместимость продуктов системы дистанционного зондирования Земли на базе радиолокатора с синтезом апертуры уровней 0 и 1А со свободно распространяемым программ-

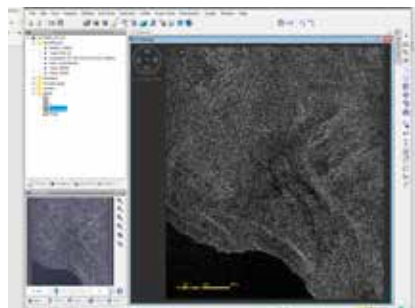
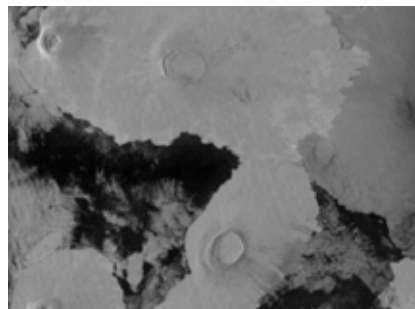


Рис. 11. Радиолокационное изображение PCA ERS-1 после сжатия и скриншот работы приложения NEST с продуктом уровня 1А системы ДЗЗ COSMO-SkyMed, сформированным из данных 0 уровня.

ным обеспечением, а также дальнейшая обработка изображений.

Обработка медицинской информации

Для постановки диагноза рака щитовидной железы разработан подход, основанный на совместном анализе ультразвуковых и гистологических изображений.

Установлена зависимость образования текстуры для определе-



Рис. 10. Результаты обнаружения зданий и автомобилей на изображениях дистанционного зондирования Земли

ния состояния гистологической структуры щитовидной железы. Выполнен совместный анализ ультразвуковых и гистологических изображений для исследования зависимости экзогенности (прозрачности для ультразвука) ее узлов от размера и состояния фолликул и их использования для диагностики рака щитовидной железы (рис. 12).

Разработана методика определения герпетической инфекции на основе анализа гистологического препарата нервных клеток. Нейроны пораженных тканей в головном мозге человека могут классифицироваться как здоровые, а также первого и второго типа привязанности. Анализ клеточного изображения рассматри-

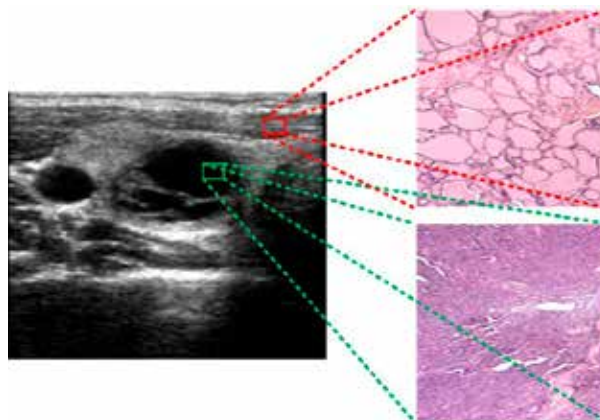


Рис. 12. Пример ультразвукового изображения щитовидной железы с определенной текстурой, фрагменты которой соответствуют гистологическим изображениям с видоизмененными и нормальными фолликулами, и схема определения этого соответствия

вается как образ задачи сегментации, где клетки и их ядра разделяются как отдельные объекты, для которых определяются геометрические характеристики, включая ядерно-цитоплазматическое отношение. Ядра здоровых клеток слабо выражены и не выделяются, соответственно, число Эйлера для объектов такого типа равно единице. Для здоровых клеток ядерно-цитоплазматическое отношение не вычисляется. Остальные клетки делятся по типу поражения на основе этого отношения: для первого типа поражения оно меньше 0,8, а в других случаях – больше. Автоматизация процесса анализа препаратов с вирусным

поражением позволяет оценить степень и стадию заболевания (рис. 13).

С целью более точной диагностики острого аппендицита при лапароскопических операциях предложен подход, основанный на вычислении характеристик эндовидеохирургического изображения, в частности для определения особенностей диагностики острых заболеваний органов брюшной полости путем анализа эндоскопических изображений. При этом используют этапы коррекции оптических искажений, сегментации органов и сосудистой системы и вычислений их геометрических и денситометрических характеристик (рис. 14).

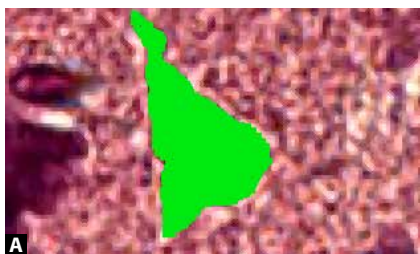


Рис. 13. Образцы нервных клеток: А) без вирусного поражения; Б) с поражением первого типа; В) с поражением второго типа

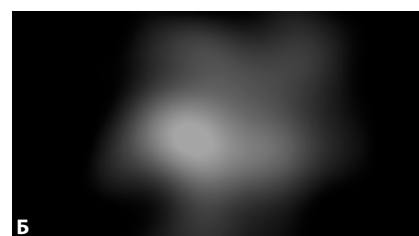


Рис. 14. Коррекция фона эндоскопического изображения: А) исходное изображение; Б) темная компонента фона; В) насыщенная компонента фона; Г) откорректированное изображение

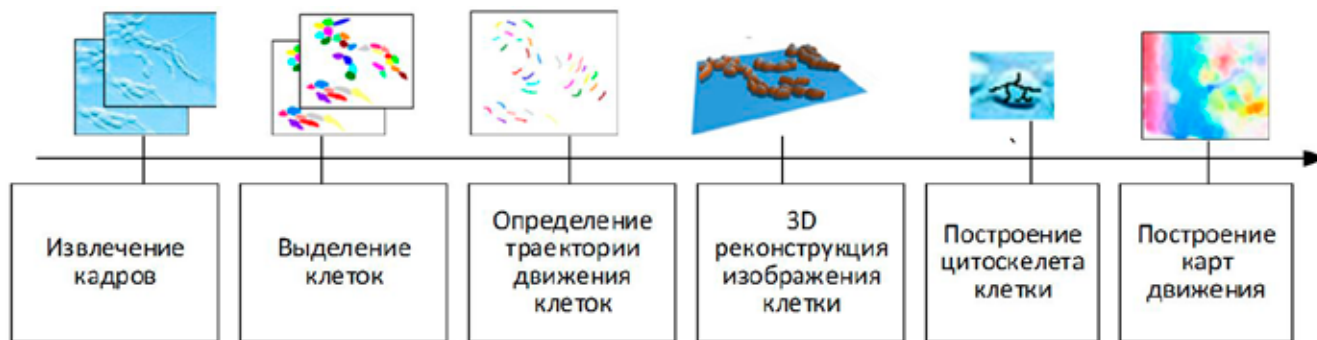


Рис. 15. Методика мониторинга развития клеточной популяции

В последнее время активное развитие получили методы формирования ткани на основе стволовых клеток, технологии выращивания органов. Хотя на людях они применяются ограниченно, с ними активно работают ученые для изучения и моделирования органогенеза, моделирования опухолей и различных заболеваний, а также для тестирования на них лекарственных препаратов. К примеру, для отслеживания качественного роста клеток требуется регулярный контроль,

который чаще всего осуществляется инвазивными методиками, нарушающими целостность ткани, в то время как приемы компьютерного зрения позволяют это делать без вмешательства в нее. Этим целям служат разработанные теория, методы и средства мониторинга количественного анализа и качества развития клеточной популяции на микроскопических изображениях и видео. Исследование клеточной популяции как системы динамических объектов включает 4 основ-

ные стадии: нахождение области расположения клеток, выделение отдельных, определение трехмерных характеристик, изучение поведения клетки в популяции и ее развития. Разработанная методика анализа развития клеточной популяции состоит из нескольких этапов (рис 15).

Автоматизация мониторинга и количественного анализа развития клеточных культур позволяет выполнить оценку происходящих в них динамических изменений в результате различных внешних воздействий, определение гетерогенности и жизнеспособности популяции. Разработанный комплекс алгоритмов может быть использован для оценки гетерогенности клеточных популяций (отслеживание событий митоза, апоптоза и клеточной дифференциации), определения скорости деления или агрегации клеток. Систему можно совмещать с математическими моделями, описывающими развитие популяции, или с методами машинного обучения.

Разработана методика анализа роста клеток в пролиферации путем реконструкции динамических изменений, где автоматически исследуется последовательность изображений конгломератов клеток, снятых в определенные интервалы времени. Используя модель, построенную на основе роста клеток,

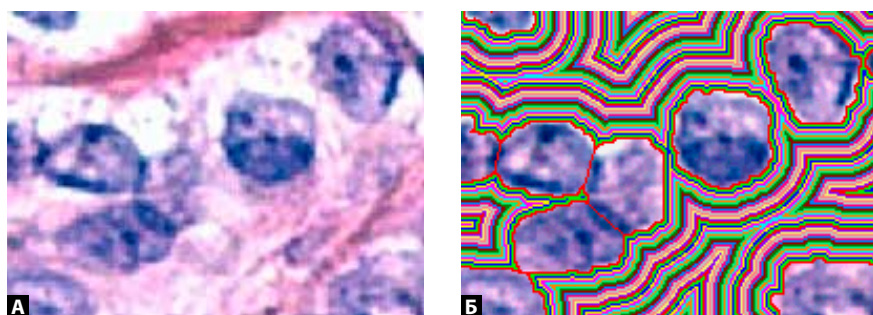


Рис. 16. Выделенные зоны влияния для каждой группы клеток

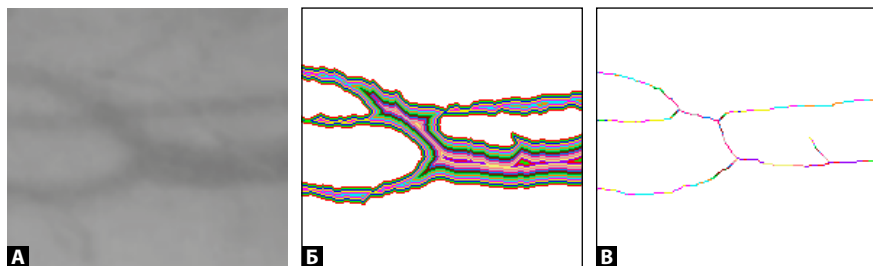


Рис. 17. Этапы построения карты распределения скоростей внутри сосудов
А – исходное изображение; Б – карта расстояний; В – скелет сосуда со значениями ширины для каждой точки центральной линии



Рис. 18. Мониторинг заживления раны: А – исходное изображение; Б – цветное изображение оптического потока; В – область интенсивной эпителизации

рассчитываются динамические характеристики как объемные величины и области «влияния» клетки (рис. 16).

Решение задачи определения динамических характеристик кровотока в сосудах глазного дна по видеопоследовательности реализовано в виде алгоритма на основе вычисления оптического потока, сегментации на базе сверточной нейронной сети и дистанционной карты расстояния (рис. 17).

Данный алгоритм позволяет оценить площадь поперечного сечения и относительную скорость кровотока в сосудах в норме и при патологиях, выявить его изменения в микроциркуляторном русле и, соответственно, в сосудах мозга, почек и коронарных сосудах.

Автоматизированный способ анализа скорости эпителизации ран по видео основан на вычислении интегрального оптического потока, скорости и равномерности воздействия на различных участках ткани. Алгоритм может применяться для определения характера заживления ран и воздействия лечебных факторов на его скорость (рис. 18), а также контроля роста клеток в биологических материалах, таких как пластырь из стволовых клеток, ускоряющий восстановление мышц и других тканей, или для обеспечения эффективности

медицинской процедуры путем ее моделирования.

Особый интерес представляют предложенные алгоритмы выделения органов на КТ-изображениях, направленные на решение практических задач обработки и распознавания изображений компьютерной томографии, определения плотных структур и поиска органов, состоящих из мягких тканей, что играет важную роль в диагностике онкологических заболеваний, особенно на первичной стадии, мониторинга остаточной

опухоли, выбора тактики ее лечения на основании оценки объема и жизнеспособности.

Объединение результатов отдельных алгоритмов производится на основе вычисления характеристик областей. Для каждой ее точки находят первую и вторую производные с использованием соответствующих фильтров. На их основе формируется цветное изображение (рис. 19), в котором полутоновое изображение заносится в красный канал, а псевдоизображения 1 и 2 производной – в зеленый и синий соответственно.

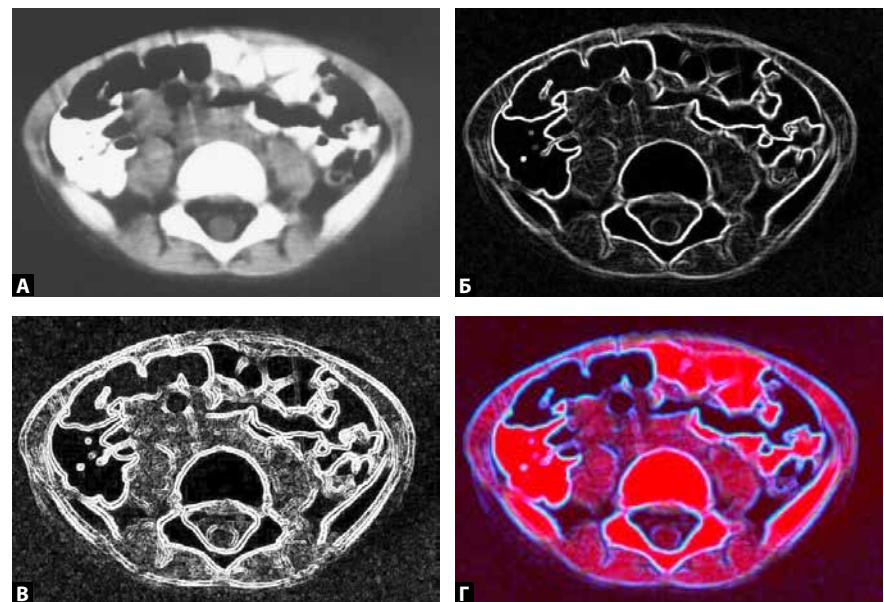


Рис. 19. Формирование псевдоцветного изображения на основе глобально-локальной информации: А – исходное полутоновое изображение; Б – первая производная; В – вторая производная; Г – комбинированное псевдоцветное изображение с глобально-локальными свойствами

Исследования в Беларуси

Разработка теоретических основ и практическая реализация устройств и систем, предназначенных для идентификации объектов, явлений и процессов, началась в середине 1950-х гг. Новое направление получило название «Распознавание образов». Первые приложения были ориентированы на решение задач астрономии, ядерной физики, биофизики и трактовку символов.

В Советском Союзе исследования в этой области стали интенсивно развиваться с начала 1960-х гг. в Вычислительном центре АН СССР под руководством Ю.И. Журавлева, ставшего впоследствии создателем алгебраического подхода к проблеме синтеза корректных алгоритмов и общей теории локальных алгоритмов. Его работы, опубликованные в 1976–1978 гг., внесли значительный вклад в формирование и современное состояние в целом всего научного направления и многих смежных областей прикладной математики и информатики.

Практически в это же время в Институте математики и Институте технической кибернетики (ИТК) АН БССР, Белорусском государственном университете начались теоретические исследования в области распознавания образов и обработки сигналов и изображений. Их практическими приложениями стали программы по идентификации отпечатков пальцев, графиков и др. Уже к концу 1980-х гг. белорусские ученые (В.В. Краснопрошин, С.В. Абламейко) наряду с российскими и украинскими коллегами занимали ведущие позиции в СССР в этих областях.

В 1986 г. в ИТК была образована лаборатория проблем обработки изображений, которой 26 лет руководил академик С.В. Абламейко. Одной из ее основных задач была разработка математических и программных средств для распознавания картографических изображений и снимков земной поверхности.

Знаком признания результатов белорусской школы в этой области стала Всесоюзная конференция «Распознавание обра-

зов и анализ изображений», которая состоялась в 1991 г. в Минске. В дальнейшем она была преобразована в PRIP (Pattern Recognition and Information Processing) и сегодня остается единственной на территории СНГ конференцией, проводимой под эгидой Международной ассоциации по распознаванию образов (IAPR), куда входит и Белорусская ассоциация по анализу и распознаванию изображений (БААРИ), созданная в 1992 г.

Стоит подчеркнуть, что по данному направлению в настоящее время сформировались сильные научные коллективы, возглавляемые в ОИПИ НАН Беларуси известными исследователями А.В. Тузиковым, Б.А. Залесским, В.А. Ковалевым, В.В. Старовойтовым; в БГУИР – М.М. Татуром, В.Ю. Цветковым, М.М. Лукашевич; в БГУ – С.В. Абламейко, В.В. Краснопрошиным, А.М. Недзьведем и Ю.С. Хариным.

Примеры наиболее значимых коллективных разработок, выполненных авторами данной статьи с коллегами.

Системы для анализа микро- и наноскопических изображений

В Объединенном институте проблем информатики НАН Беларуси разработан комплекс Contour, который предназначен для анализа цветных медицинских изображений и дифференциальной диагностики заболеваний щитовидной железы. Он осуществляет морфометрический анализ ядер, агрегатов, лимфоидных клеток тканей органа и дифференциальную диагностику основных форм тиреоидных заболеваний, которые могут выполняться в 3

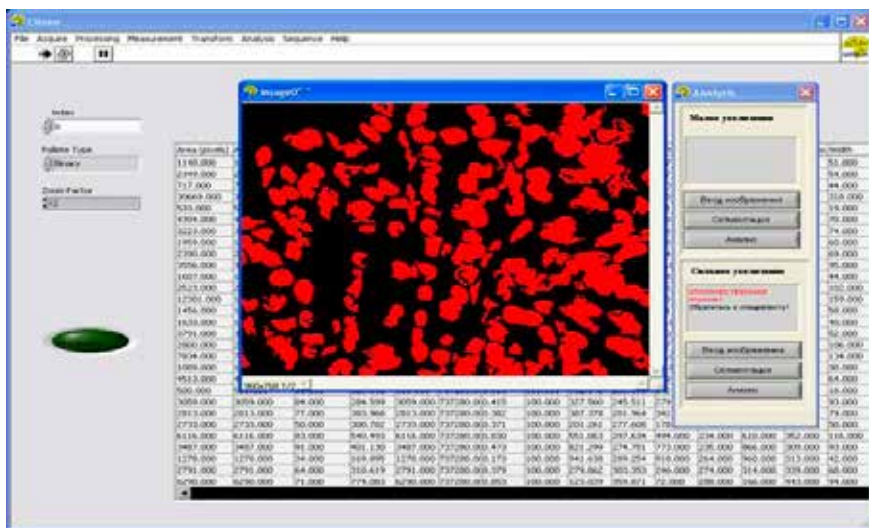


Рис. 20. Результат обработки изображения клеток с выводом характеристик объектов и диагноза

режимах: ручном, полуавтоматическом и автоматическом. Комплекс содержит средства для редактирования выделенных объектов, базу данных и базируется на оптических и электронных микроскопах, имеет стандартный набор функций и позволяет рассчитывать различные морфометрические параметры (рис. 20).

Исследователями Белорусского государственного медицинского университета и ОИПИ НАН БЕЛАРУСИ разработана система «Биоскан-CV», предназначенная для обработки микроскопических, гистологических, цитологических и других изображений. Программное обеспечение системы содержит более 260 различных функций и алгоритмов, начиная с оцифровки телевизионного кадра и заканчивая получением числовых параметров, характеризующих изображение, и их интерпретацию. Управление программным пакетом может реализовываться через пункты меню и команды, описанные в небольших подпрограммах встроенного языка интерпретатора (рис. 21). Все функции доступны из подпрограмм интерпретатора и меню.

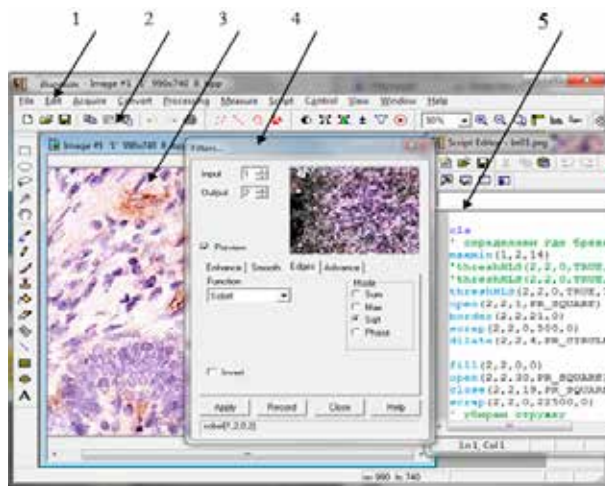


Рис. 21. Рабочая панель системы «Биоскан-IW»: 1 – меню; 2 – панель инструментов; 3 – окно с изображением; 4 – динамическое окно вызова функций; 5 – редактор подпрограмм интерпретатора

Для исследования магнитооптических изображений учеными ОИПИ НАН Беларуси разработана система ZUBR. Она включает инструменты интерактивного и автоматического исследования одного статического изображения и связанной последовательности. В ней реализован механизм топологического анализа для определения типа и характеристик наноструктур, а также методы сегментации и вычисления.

Система автоматизации диагностики и мониторинга злокачественных новообразований органов средостения и забрюшинного пространства STLook разработана в лаборатории обработки и распознавания изображений ОИПИ НАН Беларуси с участием Республикан-

ского научно-практического центра детской онкологии, гематологии и иммунологии. Она предназначена для исследования очагов онкологического заболевания, определения степени их развития, а также проведения мониторинга с целью контроля за лечебным процессом (рис. 22).

Система обработки изображений QTIP представляет собой программную среду, способную функционировать в разных режимах решения частных задач анализа изображений клеток и клеточных популяций для получения максимально широкого спектра количественных и качественных параметров, описывающих геометрические, топологические, структурные, денситометрические

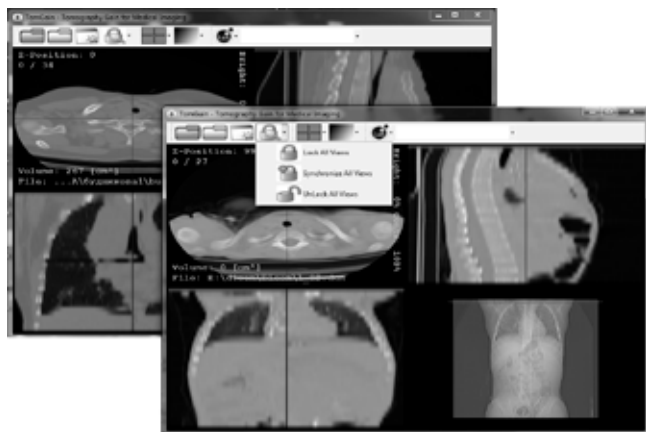


Рис. 22. Системы STLook в режиме сравнения разных DICOM-файлов

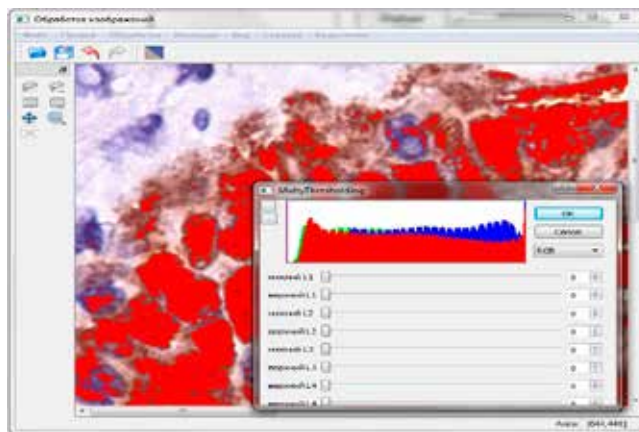


Рис. 23. Программное обеспечение QTIP в сборке для гистологических задач

особенности отдельных клеточных структур, а также для количественного, пространственного и градиентного анализа пролиферативной активности клеточных конгломератов (рис. 23).

Практическое использование разработок в области компьютерного зрения

Разработка новых методик, подходов компьютерного зрения для различных сфер жизнедеятельности общества ускоряется, но в этом процессе важна не сама скорость, а востребованность, темпы и масштабы использования полученных результатов. К тому же работа эта коллективная, с высоким уровнем кооперации. Так, результаты, полученные учеными ОИПИ НАН Беларуси, БГУ, БГУИР, ПГУ, были достигнуты в сотрудничестве с IT-компанией и ведущими учеными из России, Китая, Германии. Они были представлены в международных рейтинговых журналах как нашей страны, так и России, США, Южной Кореи, Китая, Вьетнама, Польши, Украины и др. Большая часть полученных результатов реализована при создании систем, использующих анализ видеоданных для решения различных прикладных задач. К примеру, программный модуль обнаружения и сопровождения людей внедрен белорусским предприятием «Hi-Tech Nation», программное обеспечение для распознавания данных цифровых измерительных приборов на видеопоследовательностях запущен в Проектном институте реконструкции и строительства Полоцкого государственного университета, программное обеспечение для анализа изображений микроструктуры металлов

активно применяет компания «Нафтан» (Новополоцк), ПО для распознавания реквизитов банковских карт на основе анализа видеоданных для мобильных устройств под управлением iOS освоено резидентом Парка высоких технологий компанией «ТэксоДТехнолоджис», программный модуль поиска объектов при анализе рекламных блоков на видеопоследовательностях большого разрешения в социальных сетях для системы Niveanalytic внедрен предприятием «Веб Драйвер» (Москва).

Разработки в области обработки медицинских изображений используются в научных и исследовательских целях в Белорусском государственном медицинском университете, Республиканском научно-практическом центре травматологии и ортопедии Минздрава Республики Беларусь, Городском клиническом патологоанатомическом бюро, Городском онкологическом диспансере, Республиканском научно-практическом центре детской онкологии, гематологии и иммунологии, в Белорусской медицинской академии последипломного образования. Они задействованы в учебном процессе при преподавании профильных дисциплин на кафедрах информационных систем управления БГУ, информационных технологий ГГТУ им. П.О. Сухого, электронных вычислительных машин БрГТУ, вычислительных систем и сетей ПГУ, Белорусском государственном медицинском университете, а также были использованы при выполнении международного проекта по программе ЭРАЗМУС+ «Совершенствование программы второй ступени получения высшего образования в области информационных и компьютерных технологий для

повышения профессиональной востребованности магистрантов» в 2019–2022 гг. совместно с коллегами из Дании, Германии, Польши, Финляндии. Перечень разработок и список предприятий, их использующих, обширен, как и задач, стоящих перед учеными, занимающимися компьютерным зрением.

Таким образом, за прошедшие 30 лет создана сильная белорусская школа в области распознавания и обработки изображений, которая получила признание мировой научной общественности. За эти годы защищено около 10 докторских и 30 кандидатских диссертаций, опубликовано более 30 монографий и более тысячи статей. Получены глубокие фундаментальные результаты, имеющие одновременно и прикладное значение, созданы высокоэффективные компьютерные системы, используемые в промышленности, медицине, экономике, безопасности для решения важнейших прикладных задач обработки информации, распознавания и анализа цифровых изображений.

Так как список научных публикаций авторов статьи за несколько десятилетий весьма внушителен, то мы приводим только три монографии, изданные за последние годы. С остальными публикациями авторов можно ознакомиться в их научных портфолио. ■

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОПУБЛИКОВАННЫХ КНИГ

1. Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине / С.В. Абламейко, А.М. Недзьведь; НАН Беларуси, Объединенный ин-т проблем информатики. – Минск, 2005.
2. Обработка сигналов и изображений средствами векторно-матричных вычислений / С.В. Мальцев, С.В. Абламейко, Р.П. Богуш. – Новополоцк: Полоцкий государственный ун-т, 2011.
3. Анализ изображений для решения задач медицинской диагностики / А.М. Недзьведь, С.В. Абламейко; НАН Беларуси, Объединенный ин-т проблем информатики. – Минск, 2012.