

ПЕРСПЕКТИВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕДИЦИНЕ (обзорно-методическое исследование)

А. С. Аврунин, О. В. Демеш, М. К. Касумова, В. А. Павлова

Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р. Р. Вредена, директор — профессор, засл. деятель науки РФ Н. В. Корнилов; лаборатория систем специального назначения ВНЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова», зав. — к. т. н. В. А. Павлова

внедрение в практику рентгеновских денситометров, автоматизированных рабочих мест рентгенологов и гистологов служит немаловажным стимулом для развития методов обработки медицинских изображений. Использование автоматизированных систем обработки изображений (АСОИЗ) открывает новые перспективы анализа макро- и микроизображений, позволяет получать дополнительные характеристики биологических объектов, тканей и т. п. [1]. Это объясняется возможностью количественной характеристики различных параметров, которые ранее оценивались качественно, в первую очередь в рентгенологии и гистологии. Однако для эффективного использования систем обработки изображений в практической медицине обязательным условием является сочетание опыта и интеллекта врача со знанием их средств и возможностей. Исходя из этого, цель настоящей работы — ознакомить специалистов с возможностями АСОИЗ.

При гистологических исследованиях дополнительной информацией, предоставляемой средствами обработки изображений, являются характеристики оптических свойств клеток, ядер, межклеточного вещества, геометрических параметров клеток и их органелл, специфические особенности распределения окраски и т. п. [4]. Многие из этих данных не могут быть определены обычными методами или их получение влечет за собой значительные трудности (сканирование и измерение вручную большого числа объектов в препарате).

Оценка рентгенограмм дает денситометрические и текстурные характеристики различных участков рентгеновского изображения (интегральная оптическая плотность, дисперсия оптической плотности, спектральные признаки, яркостные профили и т. д.).

АСОИЗ можно условно разбить на две группы: — специальные комплексы, аппаратура и про-

граммное обеспечение которых ориентировано на обработку изображений, — использующие универсальные ЭВМ и укомплектованные средствами ввода и визуализации изображений, в частности, персональные ЭВМ со специальным комплексом программ. Достоинством комплексов первой группы является высокий вычислительный потенциал, оснащенность специализированными средствами обработки, ввода, вывода и визуализации изображений [4]. В качестве примеров таких систем можно привести IBAS 2000 (Orton), Pericolor 1000 (Numelec), Magiscan (Jouyce-Loebl). Однако работа с ними не свободна от недостатков. Программное обеспечение, предназначенное для работы только с конкретным комплексом, создает для пользователя неудобства на этапе освоения системы обработки изображений, при этом отсутствует возможность развития программного обеспечения, расширения методов и алгоритмов обработки изображений, учитывающих специфику решаемых задач. Ориентированность на аппаратуру фирмы-производителя увеличивает сто-

Анализатор медицинских изображений на основе ПЭВМ

Аппаратная часть анализатора изображений (стандартной конфигурации) состоит из устройства ввода оптической информации (телевизионной (ТВ) камеры или сканера) и персональной ЭВМ, снабженной программно-управляемой платой ввода для записи изображения в ЭВМ (рис.). Для работы с гистологическими препаратами необходимы также микроскоп и специальная насадка, обеспечивающая связь микроскоп—камера.

При описании функциональных возможностей современного анализатора изображений в дальнейшем будем использовать систему обработки изображений «Нейронное зрение», разработанную как стандартное приложение операционной среды Windows, привычной для большинства современных пользователей. Взаимодействие последних с системой обеспечивается при помощи меню, в котором представлены функции анализа изображений и данных. В «Нейронном зрении» предусмотрена возможность составления из предложенных функций собственных методик обработки изображений. Средства системы включают следующий перечень основных операций:

1. **Функции ввода—вывода изображений.** Изображение может быть введено в систему при помощи ТВ, сканера или прочитано с какого-либо носителя информации (диска, дискеты, ленты). Форма его представления в ЭВМ будет описана ниже. Изображение после обработки сохраняется на одном из перечисленных носителей информации.

2. **Калибровка по оптической плотности.** Существует ряд методов анализа, позволяющих проводить калибровку оптических характеристик объектов, принадлежащих разным изображениям, для приведения их к одному «масштабу» по оптической плотности. Выполнение операции калибровки дает возможность корректно сопостав-

имость комплекса и сужает круг потенциальных потребителей.

АСОИЗ второй группы базируются на использовании стандартных ПЭВМ со специальным комплексом программ и сравнительно недорогих средств ввода изображений. Современное программное обеспечение по обработке последних функционирует в стандартной среде Windows, привычной для большинства пользователей персональных ЭВМ. Такие комплексы программ обычно учитывают специфику решаемых задач, в них могут быть внесены соответствующие изменения для привлечения новых аппаратных средств. Вычислительные возможности отечественных пакетов программ по обработке изображений весьма разнообразны. Некоторые из них не уступают по функциональным свойствам специализированным комплексам, о которых упоминалось выше, и более того включают в себя собственные оригинальные алгоритмы и методы обработки изображений [4]. В настоящей работе мы остановимся на возможностях систем второй группы.

лять оптические характеристики различных объектов (например рентгенограмм, гистологических препаратов).

3. **Геометрическое масштабирование.** Эта операция необходима для измерения геометрических характеристик объектов в одном и том же заданном масштабе. Задание единого масштаба позволяет сравнивать между собой объекты различных изображений.

4. **Измерение денситометрических характеристик изображений.** Эта группа операций дает возможность определять оптическую плотность областей и объектов. При помощи системы «Нейронное зрение» можно также измерять следующие характеристики (для объяснения некоторых из них требуется приведение сложных матема-

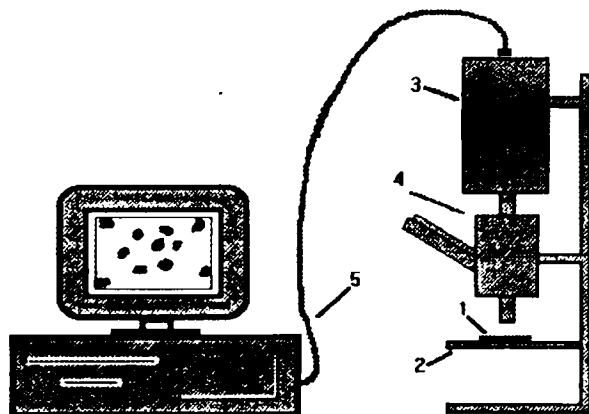


Рис.

Система обработки изображений: 1 — исследуемый препарат; 2 — предметный столик; 3 — телекамера; 4 — микроскоп с насадкой; 5 — ПЭВМ со специальной платой «захвата» изображения.

тических формул, которые в настоящей работе мы опустим); **координаты центра массы объекта (области) по оптической плотности**; **сдвиг центра оптической массы (области) относительно геометрического центра** (расстояние между геометрическим центром и центром массы объекта определяет значение параметра «сдвиг центра массы», последний позволяет оценить неравномерность распределения оптической плотности внутри объекта; для проведения такой оценки можно также использовать измерения второго и третьего моментов оптической плотности); **второй момент оптической плотности** (математическая характеристика для оценки неравномерности распределения оптической плотности внутри объекта); **третий момент оптической плотности** (математическая характеристика для оценки неравномерности распределения оптической плотности внутри объекта); **средняя яркость области** (сумма значений яркостей всех точек области, нормированная на ее площадь); **интегральная оптическая плотность** (сумма значений оптических плотностей всех точек области); **средняя оптическая плотность** (величина, полученная в результате суммирования значений оптических плотностей всех точек области с нормированием на площадь области); **среднеквадратическое отклонение оптической плотности** (характеризует неравномерность распределения оптической плотности в области исследования).

5. **Измерение текстурных характеристик изображения** (область изображения обладает признаками текстуры в том случае, если в изменении оптической плотности внутри этой области наблюдается периодичность). Текстурные признаки могут уникально охарактеризовать область изображения даже в тех случаях, если денситометрические показатели не отличаются от аналогичных характеристик других областей. Примерами текстурных изображений естественного происхождения служат изображения структур костной ткани, мышечных волокон и некоторые другие, а искусственных — изображения рисунков ткани, паркета. К текстурным признакам областей, которые измеряются в системе «Нейронное зрение», относятся следующие: **фрактальная размерность и три коэффициента лакунарности** [10];

4 **инвариантных текстурных момента** (раскрывают частотные характеристики области [3]).

6. **Измерение геометрических свойств объектов**. К ним относятся следующие характеристики объекта: **площадь**; **периметр**; **коэффициент формы** (характеризует степень «вытянутости» объекта); **координаты геометрического центра объекта**; **диаметр эквивалентного круга** (значение диаметра круга, эквивалентного по площади исследуемому объекту); **7 инвариантных моментов формы** (совокупность из 7 инвариантных моментов формы является полной характеристикой

формы объекта, учитывающей спектральные характеристики границы объекта: от низкочастотной составляющей, оценивающей «сглаженную» границу, до высокочастотной составляющей, характеризующей «изрезанность» границы [8]); **отношение максимального диаметра объекта к минимальному** (характеризует форму через отношение максимального диаметра исследуемой зоны к минимальному).

7. **Построение и анализ гистограммы изображения** (статистическое распределение точек изображения по яркости).

8. **Коррекция резкости и контраста** (повышает контрастность и улучшает резкость как всего изображения, так и его отдельных фрагментов).

9. **Медианная фильтрация** (удаляет с изображения зернистый шум и царапины без потери резкости [6]).

10. **Высокочастотная и низкочастотная фильтрация** (выделяют на изображении высокочастотные и низкочастотные составляющие).

11. **Сегментация объектов** (отделяет объекты исследования от фона).

12. **Морфологические операции** (позволяют скорректировать форму и выделить неразделившиеся объекты, восстановить границы, построить линию их «скелета», заполнить «дыры» внутри объекта и т. д.).

13. **Логические операции** (обеспечивают логические поточечные операции над изображениями: логическое «И», «ИЛИ» и т. д.).

14. **Арифметические операции** (позволяют проводить арифметические поточечные операции над изображениями: сложение, вычитание, умножение, деление и т. д.).

15. **Автоматическая сегментация объектов на изображении**. В системе «Нейронное зрение» предлагается способ использования принципа нейронных сетей для решения задач автоматического выделения объектов на изображении [9]. Это означает, что систему можно «научить» отличать объекты изображения от фона по денситометрическим и текстурным признакам, после чего она будет анализировать объекты в автоматическом режиме.

16. **Автоматическое распознавание объектов**. Систему «Нейронное зрение» можно «научить» отличать объекты изображения друг от друга по геометрическим признакам.

17. **Редактирование изображения** (построение яркостных профилей, отрисовка и заполнение областей и т. п.).

18. **Создание пользователем собственных методик обработки серий изображений** (составление из имеющихся функций системы новых алгоритмов обработки изображений, которые потом служат для анализа серий изображений в автоматическом режиме).

Средства ввода изображения в ЭВМ

К наиболее распространенным устройствам ввода изображения в ЭВМ относятся телевизионная камера и сканер. ТВ камера может быть использована как для ввода микроизображений (например, формируемых микроскопом (рис.),

так и изображений, полученных на рентгеновской пленке, фотографий и т. п. Для ввода в ЭВМ гистологического изображения исследуемый препарат помещается на предметный столик микроскопа. Изображение выбранного поля зре-

ния проецируется на мишень приемной трубки телевизионной камеры, установленной на микроскопе. Для ввода в ЭВМ рентгенологического изображения рентгенограмма помещается на просветный столик, а телевизионная камера крепится на специальном штативе таким образом, чтобы исследуемое изображение проецировалось на мишень приемной трубки телевизионной камеры, соединенной с ЭВМ.

Изображение, которое «видит» ТВ камера, отображается на экране монитора. ТВ камера соединена с персональной ЭВМ через специальную плату ввода, которая преобразует ТВ сигнал и записывает изображение в виде матрицы чисел. Значение кода каждого элемента матрицы пропорционально его яркости. Количество элементов

матрицы изображения, введенного в компьютер, определяется характеристиками ТВ камеры. Устройство типа «сканер» позволяет вводить изображение, полученное на твердой копии (рентгеновский снимок, фотография). Этот прибор является более удобным устройством по сравнению с ТВ камерой, поскольку гарантирует равномерность освещения изображения и не требует процедуры настройки при вводе. Современные сканеры обеспечивают точность ввода изображения, значительно превышающую точность, необходимую при анализе рентгенограмм. При выборе типа сканера для ввода последних необходимо помнить о том, что максимальные размеры вводимого изображения ограничены размерами сканера.

Представление изображения в ЭВМ

Преобразование изображения в цифровой сигнал называют кодированием изображения [7]. Как было сказано выше, значение кода каждого элемента матрицы изображения пропорционально яркости соответствующего элемента оптического изображения. Считается, что для качественного кодирования достаточно 256 градаций. Яркость связана с оптической плотностью обратной логарифмической зависимостью. Код яркости 255 соответствует минимальной оптической плотности (эталон прозрачного), а код яркости 0 — максимальной оптической плотности (эталон наиболее плотного). Операция масштабирования (калибровка) обеспечивает привязку кодов яркости к известным оптическим плот-

ностям эталонов на изображении. Таким образом, изображение в ЭВМ представляется в виде матрицы чисел или отсчетов изображения. Величина отсчета характеризует яркость соответствующей точки изображения. Размеры матрицы задаются размерами исследуемого изображения и параметрами ввода. К последним относится «разрешение устройства ввода», которое определяет количество отсчетов цифровой матрицы изображения, приходящееся на заданную единицу исходного изображения. Например, для качественного ввода рентгенограммы вполне годится прибор с разрешающей способностью 300 мн на точку изображения.

Пример стандартной последовательности действий при обработке изображения

Стандартная последовательность может включать в себя: а) устранение шумов, повышение резкости, контраста и т. п. (выбор функций предварительной обработки определяется главным образом качеством исходного изображения и способом сегментации (выделения) объектов, который будет применен в дальнейшем); б) сегментация объектов (выделение на полутоновом изображении областей, обладающих одинаковыми денситометрическими или текстурными признаками); в) обработка выделенных объектов, такая как коррекция формы, разделение слившихся объектов, слияние нескольких кусков

одного объекта в целое и т. п.; г) измерение денситометрических, текстурных и геометрических параметров выделенных объектов; д) обработка результатов измерений.

Стандартная последовательность действий, выбранная для решения конкретной задачи, может быть сохранена в памяти компьютера как одна из методик обработки изображений. Методики используются для унифицированной потоковой обработки изображений. Для выполнения такой работы уже не требуется специалист высокой квалификации, ее может делать специально обученный лаборант.

Заключение

Системы обработки изображений представляют математический аппарат для количественного описания исследуемого материала и позволяют не только выявить скрытые зависимости между объектами изучаемых структур, но и автоматизировать процесс обработки изображений. Наш

опыт работы на подобных системах показывает, что для обучения специалиста требуется всего 3—4 месяца, а наличие такого оборудования в лабораториях поднимает уровень исследований на качественно новую ступень.

Литература

1. Беликова Т. П., Ярославский Л. П. Препарирование изображений в диалоговом режиме в задачах медицинской

диагностики и исследования природных ресурсов // Автоматика. — 1980. — № 4. — С. 9—11.

2. **Гуров А. А.** и др. Пакет прикладных программ по обработке изображений / А. А. Гуров, М. К. Касумова, Л. Б. Лалыко и др. — Л.: ДОО им. С. И. Вавилова, 1990. — Вып. 8.
3. **Павлова В. А., Тетерин В. В.** Анализ двумерной информации с использованием интегральных инвариантов // Оптико-механич. пром. — 1984. — № 7. — С. 10—12.
4. Проспект фирмы Numeles Sein «Pericolor-2000E».
5. **Прочуханов Р. А.** и др. Автоматизированный анализ изображений в клинической онкоморфологии / Р. А. Прочуханов, О. В. Демеш, В. А. Ухин и др. // Успехи современной биологии. — 1994. — № 12. — С. 39—44.
6. **Прэрт У.** Цифровая обработка изображений / Перевод с англ. Т. 1. — М.: Мир, 1982. — 176 с.
7. **Ярославский Л. П.** Цифровая обработка сигналов в оптике и голографии: Введение в цифровую оптику. — М.: Радио и связь, 1987. — 120 с.
8. **He Ying Zhou.** Generalized invariant moment theory and image recognition // SPIE Image Processing II. — 1988. — Vol. 1027. — P. 198—203.
9. **Kasumova M. K.** A backpropagation neural network applied to image segmentation and recognition // Pattern recognition and image analysis. — 1992. — Vol. 2, N 4. — P. 438—441.
10. **Mandelbrot B. B.** The fractal geometry of nature. — San Francisco, 1982. — 265 p.