

5. Boyle D., Carson P., Hamer D. High Frequency Electrocardiography in Ischemic Heart Disease // Brit. Heart J. 1966. Vol. 28. PP. 539-545.
6. Langner P.H. Jr. The value of high fidelity electrocardiography using the cathode ray oscillograph and an expanded time scale // Circulation. 1952. Vol. 5. PP. 249-253.
7. Abboud S., Cohen J., Selwyn A. et al. Detection of transient myocardial ischemia by computer analysis of standard and signal-averaged high-frequency electrocardiograms in patients undergoing percutaneous transluminal coronary angioplasty // Circulation. 1987. Vol. 76. PP. 585-596.
8. Abboud S. High-frequency electrocardiogram analysis of the entire QRS in the diagnosis and assessment of coronary artery disease // Prog. Cardiovasc. Dis. 1993. Vol. 35. PP. 311-328.
9. Сонин Д.Л., Енукашвили Н.И., Королев Д.В., Галагудза М.М. Кратковременная вентиляция ксеноном в первые минуты реперфузии не защищает миокард крысы от ишемически-реперфузионного повреждения // Бюллетень Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова. Декабрь 2013. С. 54-60.
10. Программное обеспечение ZETLAB. Руководство оператора / ЗАО «Электронные технологии и метрологические системы», 2019.

Кирилл Вадимович Зайченко,
д-р техн. наук, профессор, директор,
Научно-образовательный центр
«Биомедицинская радиоэлектроника и информатика»,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»,
Борис Симхович Гуревич,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра медицинской радиоэлектроники,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»,
Анна Алексеевна Жмылева,
мл. научный сотрудник,
Алексей Андреевич Князев,
мл. научный сотрудник,
Евгений Павлович Логачев,
мл. научный сотрудник,
ФГБУН «Институт аналитического
приборостроения» РАН,
г. С.-Петербург,
e-mail: kvz24@mail.ru

В.Г. Никитаев, А.Н. Проничев, О.Б. Тамразова, В.Ю. Сергеев, Ю.Ю. Сергеев,
А.В. Козырева, Е.В. Поляков, Е.А. Дружинина

Автоматизированный анализ пигментной сети на дерматоскопических изображениях меланоцитарных новообразований кожи

Аннотация

Представлен метод, позволяющий на дерматоскопических изображениях новообразований кожи выделять линии пигментной сети, рассчитывать их характеристики, визуализировать результаты. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности предложенного метода показывают перспективность его использования в системах распознавания меланомы.

Введение

Меланома кожи – одна из наиболее опасных злокачественных опухолей человека, часто метастазирующая почти во все органы. В России наблюдается рост диагностируемых меланом, возможно указывающий на существующие недостатки в диагностике этого опасного заболевания [1]-[3]. Первичная диагностика меланомы основана на рутинном осмотре и проведении дерматоскопии, но во многих случаях интерпретация наблюдаемой картины неоднозначна и для правильной постановки диагноза требуется экспертная оценка. В целом результат анализа субъективен и в значительной мере зависит от опыта врача.

О практической значимости этой проблемы и возможности решения задачи повышения точности диагностики новообразований кожи методами машинного обучения говорят данные мировой литературы [4], [5].

В связи с этим актуально создание автоматизированных систем анализа изображений для диагностики меланомы, которые выступали бы средством поддержки принятия врачебных решений [6]-[9]. Структура такой системы представлена на рис. 1. Система освещения дерматоскопа обеспечивает воспроизводимые условия освещения новообразования на коже независимо от внешнего освещения, что является необходимым условием для автоматизированного анализа изображений новообразований. Объектив камеры обеспечивает необходимое увеличение изображения для регистрации существенных струк-

турных элементов новообразования на коже; цифровая камера формирует цифровое изображение новообразования, которое передается в компьютер, где выполняется его цифровой анализ. Одним из возможных структурных элементов новообразований кожи является пигментная сеть, характер которой различается при доброкачественных и злокачественных новообразованиях кожи. Целью рассматриваемой работы является

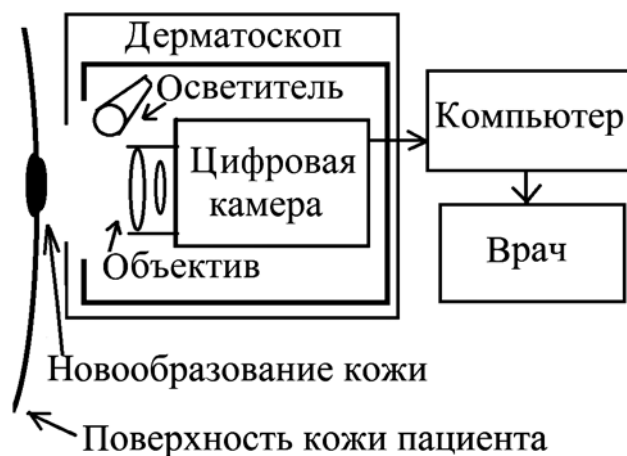


Рис. 1. Структура автоматизированной системы анализа изображений для диагностики меланомы

ся создание метода измерения параметров пигментной сети на цифровых изображениях новообразований кожи для последующего их применения в системе распознавания меланомы.

Материалы и методы

На вход системы распознавания меланомы подается цифровое изображение новообразования на коже. Примеры доброкачественного новообразования и меланомы представлены на рис. 2.

Выделение линий пигментной сети производится в несколько этапов, последовательность которых представлена на рис. 3.

Перед основной обработкой изображения применяется билатеральный фильтр для устранения имеющихся на нем шумов. Такой фильтр сглаживает изображение, но при этом оставляет объект четким. Далее применяются согласованные фильтры, подчеркивающие линии пигментной сети. Задача, решаемая с применением данных фильтров, это выделение на изображении протяженных объектов, которыми и являются искомые линии пигментной сети. Затем полученное изображение бинаризуется. Поскольку нельзя подобрать единый порог бинаризации для всех изображений, необходимо использовать алгоритмы адаптивной бинаризации, которые подбирают оптимальный порог исходя из характеристик изображения. В предлагаемом методе применяется бинаризация по алгоритму Отсу [10]. После бинаризации выполняется выделение скелета линий пигментной сети с применением алгоритма Зонга-Суня [11]. Это необходимо для дальнейшего удаления небольших шумовых объектов и сегментации линий. В результате проведенных шагов на изображении выделяются помехи, которые

не являются частью линий пигментной сети, и они удаляются из анализируемого изображения.

После выделения линий пигментной сети решается задача расчета их характеристик. Поскольку для оценки злокачественности новообразования имеют значение не усредненные характеристики пигментной сети, а то, как меняются характеристики участков сети в пределах новообразования, необходимо сначала выполнить сегментацию полученных линий пигментной сети, а затем для каждого сегмента производить расчет значений признаков. Линии пигментной сети разделяются на сегменты, ограниченные концами линий и точками пересечения. Для каждого полученного сегмента рассчитываются цветовые и морфологические характеристики. Для визуального отображения распределения значений признаков по изображению применяются гистограммы.

Результаты

Экспериментальное исследование проводилось с использованием 90 дерматоскопических изображений меланоцитарных новообразований кожи. В результате эксперимента 86 из 90 изображений были успешно обработаны с использованием параметров обработки, установленных по умолчанию (выделено не менее 75 % линий пигментной сети), причем для многих из этих изображений результат может быть улучшен путем изменения одной из настроек программы. В качестве примера результатов применения предложенного метода на рис. 4 представлены гистограммы распределения средней яркости цветовой компоненты B для сегментов пигментной сети на дерматоскопических изображениях доброкачественного меланоцитарного новообразования кожи (а) и меланомы (б), изобра-

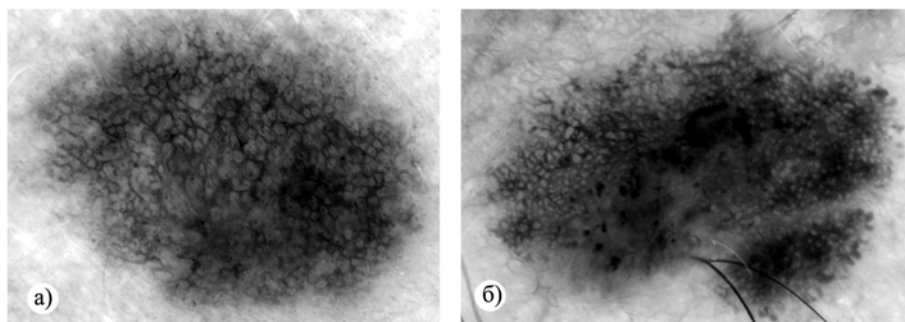


Рис. 2. Примеры дерматоскопических изображений доброкачественного меланоцитарного новообразования кожи (а) и меланомы (б)

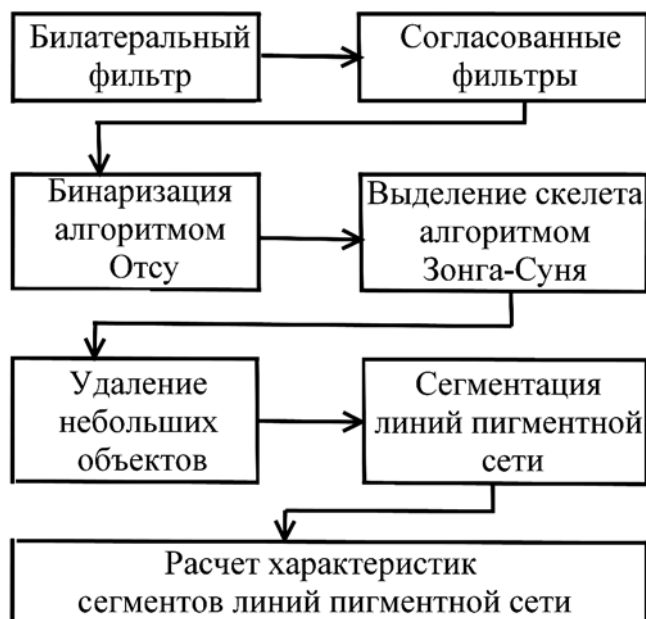


Рис. 3. Последовательность применения алгоритмов обработки изображения для расчета характеристик линий пигментной сети на изображениях новообразований кожи

жения которых представлены на рис. 2. При описании цвета пикселей изображений используется цветовая модель RGB. Как видно из представленных гистограмм, диапазон значений средней яркости цветовой компоненты B для сегментов пигментной сети на изображениях меланомы практически в два раза превышает соответствующий диапазон яркостей для изображений доброкачественного новообразования кожи. Таким образом, это различие может быть использовано в качестве одного из признаков в системе распознавания меланомы. Для подтверждения информативности указанного признака необходимо провести дополнительное исследование на выборке изображений с референтной оценкой изображений доброкачественных новообразований кожи и меланомы.

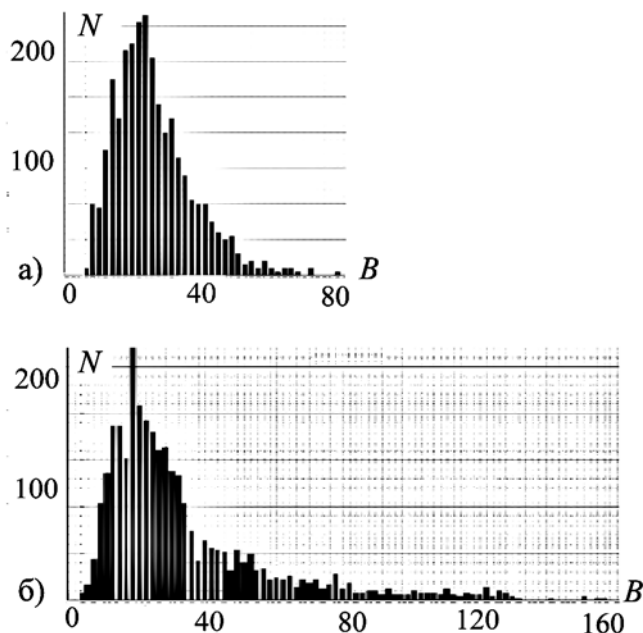


Рис. 4. Гистограммы распределения средней яркости цветовой компоненты B для сегментов пигментной сети на изображениях доброкачественного новообразования кожи (а) и меланомы (б), соответствующих рис. 2

Касаясь развития данной работы, отметим, что исследуемые изображения можно разделить на два типа: «чистые» изображения, на которых присутствуют минимальные помехи, и изображения с посторонними объектами и факторами, мешающими анализу (волосы, пузыри, дефекты съемки). На изображениях первой группы линии пигментной сети выделяются без ошибок в автоматическом или автоматизированном режиме. На изображениях второй группы помимо линий пигментной сети выделяются лишние сегменты, соответствующие волосам или другим побочным элементам. В связи с этим актуальна разработка методов и средств удаления волос на изображениях пигментной сети, что, в свою очередь, может стать отдельной темой научных исследований.

Заключение

В результате исследования разработан метод выделения линий пигментной сети на меланоцитарных новообразованиях кожи и расчета характеристик выделенных линий. По результатам расчетов могут быть построены гистограммы распределений характеристик по сегментам пигментной сети. В дальнейшем указанную разработку можно будет использовать в качестве инструмента для системы распознавания меланомы.

Работа выполнена при поддержке РНФ по проекту № 19-11-00176.

Список литературы:

1. Гордиенко В.П., Товбик Н.А., Клименко Е.В. Рак и меланома кожи в Амурском регионе Дальневосточного федерального округа // Сибирский онкологический журнал. 2016. Т. 15. № 4. С. 14-20.
2. Малишевская Н.П., Соколова А.В., Петкау В.В., Пазина М.В. Заболеваемость меланомой кожи населения Уральского федерального округа // Уральский медицинский журнал. 2018. № 1 (156). С. 90-94.
3. Канева П.Л., Мильчаков Д.Е. Сравнительная характеристика заболеваемости меланомой в некоторых субъектах Приволжского федерального округа // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 2-4 (33). С. 38-39.
4. Harangi B. Skin lesion classification with ensembles of deep convolutional neural networks // J. Biomed. Inform. 2018. Vol. 86. PP. 25-32.
5. Selchuk V.Y., Rodionova O.V., Sukhova O.G., Polyakov E.V., Grebennikova O.P., Burov D.A., Emelianova G.S. Methods of formation of the knowledge base in the diagnosis of melanoma // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 798. № 1. P. 012137.
6. Nikitaev V.G. Experimental High-Technology Information-Measuring Complexes of Cancer Diagnosis: Problems and Key Points of the Construction Methodology // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 2. PP. 214-218.
7. Nikitaev V.G. Expert Systems in Information Measuring Complexes of Oncological Diagnoses // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 6. PP. 719-723.
8. Nikitaev V.G. Modern measurement principles in intellectual systems for a histological diagnosis of oncological illnesses // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 4. PP. 467-470.
9. Nikitaev V.G. Methods and means of diagnostics of oncological diseases on the basis of pattern recognition: Intelligent morphological systems – Problems and solutions // Journal of Physics: Conference Series. 2017. Vol. 798. № 1. P. 012131.
10. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms // IEEE Trans. Sys. Man. Cyber. 1979. Vol. 9. PP. 62-66.
11. Zhang T.Y., Suen C.Y. A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns // Communications of the ACM. 1984. Vol. 27. № 3. PP. 236-239.

Валентин Григорьевич Никитаев,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра компьютерных медицинских систем,
Александр Николаевич Проничев,
канд. техн. наук, доцент,
Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ»,
Ольга Борисовна Тамразова,
д-р мед. наук, профессор,
Российский университет дружбы народов,
Василий Юрьевич Сергеев,
канд. мед. наук, доцент, директор,
Научно-исследовательский центр дерматологии,
Юрий Юрьевич Сергеев,
председатель правления,
Общество дерматоскопии
и оптической диагностики кожи,
Александра Вячеславовна Козырева,
лаборант,
Евгений Валерьевич Поляков,
ассистент,
Екатерина Александровна Дружинина,
лаборант,
Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва,
e-mail: vgnikitayev@mephi.ru