

УДК 004.932.2

СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АКТИВНЫХ КОНТУРОВ

© 2023 г. А. Е. Воронин^а, А. Н. Проничев^а, В. Г. Никитаев^{а, *}, М. А. Соломатин^а, Т. П. Занегина^а,
И. В. Архангельская^а, А. И. Петухова^а, П. Ю. Багнова^а, А. В. Сошнина^а, О. Б. Тамразова^б,
В. Ю. Сергеев^с, Ю. Ю. Сергеев^с

^аНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, 115409 Россия

^бРоссийский университет дружбы народов (РУДН), Москва, 117198 Россия

^сЦентральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации,
Москва, 121359 Россия

*E-mail: VGNikitayev@mephi.ru

Поступила в редакцию 02.07.2022 г.

После доработки 02.07.2022 г.

Принята к публикации 11.07.2022 г.

Технологии компьютерного зрения активно внедряются в современную жизнь, в том числе в медицинскую практику. Развитие таких технологий привело к появлению компьютерных систем, позволяющих осуществлять детектирование и классификацию кожных заболеваний с качеством, сопоставимым и в некоторых случаях превышающим возможности человека. В статье раскрывается метод автоматической сегментации, на базе предоставленных врачами дерматоскопических изображений, полученных с применением цифрового оптического прибора — дерматоскопа. Главной целью разрабатываемой модели является выявление зоны новообразования и областей гиперпигментации на изображениях новообразований кожи для дальнейшей интеграции в системы поддержки принятия врачебных решений при диагностике меланомы. В результате проведенной работы был создан программный комплекс, позволяющий проводить сегментацию новообразования. В качестве демонстрации метода приведены экспериментальные исследования обнаружения границ меланомы и зон областей признаков на изображениях новообразований кожи. Разработанная система может применяться в диагностических научно-исследовательских и образовательных целях.

Ключевые слова: структуры новообразования, сегментация, гиперпигментация, цифровая обработка, дерматоскопия, меланома кожи

DOI: 10.56304/S2079562922030563

ВВЕДЕНИЕ

Меланома — разновидность рака кожи. Меланомы являются злокачественными новообразованиями, развивающимися из меланоцитов — клеток кожи, производящих темный пигмент меланин.

Заболеваемость меланомой кожи значительно возросла за последние 50 лет. При этом количество смертельных случаев, связанных с меланомой, достигает порядка 46 тыс. в год. Точные причины интенсивного распространения заболеваемости пока неизвестны, однако, по мнению авторов [1], важно учитывать генетические факторы и внешнее влияние окружающей среды. Диагностика и терапия заболевания развивается, но прогноз меланомы кожи остается неблагоприятным, а инновационные методы лечения дорогостоящие и недоступны в ряде стран.

Эпидемиологическая картина меланомы кожи крайне неоднородна, что отражает сложность и гетерогенность данного заболевания. На сегодняшний день снижать показатели заболеваемости эффективнее всего с помощью ранней диагностики, что позволяет обнаружить заболевание и осуществить терапию на ранних стадиях развития.

Визуальная оценка новообразования кожи — первостепенная задача диагностики меланомы кожи [2]. Эффективность такой диагностики определяется в первую очередь опытом врача (специфичность и чувствительность врача общего профиля составляет от 30 до 50%, для эксперта-дерматолога — около 90%), следовательно при постановке диагноза присутствует высокая вероятность ошибки субъективного характера [3]. В связи с этим одной из актуальных задач онкодерматологии является

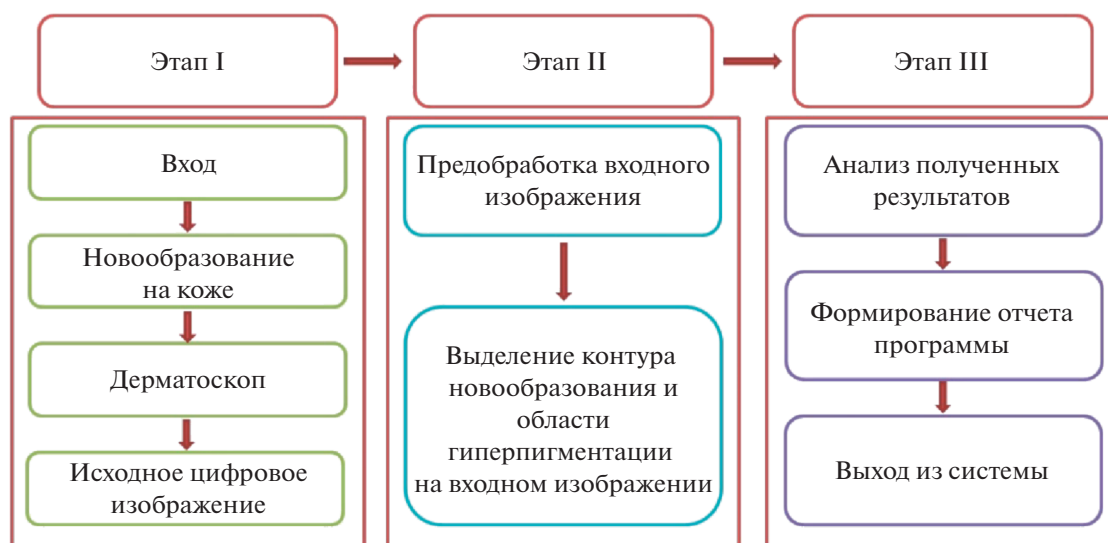


Рис. 1. Концептуальная модель системы обнаружения границ новообразований.

совершенствование диагностических критериев и методов раннего выявления меланомы кожи.

В настоящее время в области разработки компьютеризированных систем диагностики новообразований кожи наблюдается существенный прогресс. Упомянутые системы обработки нацелены на повышение точности клинической диагностики меланомы и уменьшение нагрузки на специалистов [4].

Актуальность этого направления в медицине бесспорна, ввиду быстрого развития диагностической техники с применением цифровых технологий, включая искусственный интеллект. Преимуществами компьютерной диагностики меланомы являются возможность цифрового анализа изображения пигментных новообразований, стандартизация, создание архива для динамического наблюдения и высокая точность воспроизведения. Важно отметить, что в основе большей части таких систем лежат сложные многоступенчатые процедуры анализа дерматоскопических снимков, включающие в себя алгоритмы предобработки изображений, сегментации новообразования, вычисления различных текстурных, цветовых, геометрических характеристик и определенных дерматологических критериев и т.д. [5, 6]

Обзор литературы по данной теме показал недостаточную исследованность вопросов распознавания контуров на изображениях новообразований кожи. Врачи заинтересованы в автоматизации этапов диагностики меланомы, а именно выделении границ новообразований. Этот метод значительно ускоряет постановку диагноза.

Цель работы – разработка программного обеспечения, позволяющего автоматически выделять границы новообразований, а также областей гиперпигментации на изображениях новообразований кожи, полученных с помощью дерматоскопа.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАНИЦ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Концептуальная модель системы выделения границ новообразований, а также областей гиперпигментации представлена на рис. 1. Посредством дерматоскопа формируется цифровое изображение кожи с новообразованием. Это изображение передается в память компьютера.

Непосредственно после загрузки изображения и запуска на выполнение программного модуля “выделения границ” пользователь получает размеченное изображение, т.е. в области новообразования отмечены их границы и, при наличии, области гиперпигментации.

Стоит отметить, что разрабатываемая система обнаружения границ новообразований представляет собой лишь часть программного комплекса, предназначенного для автоматизированного анализа дерматоскопических изображений с целью выделения особенностей, позволяющих упростить анализ границ, ассиметрии пигментного пятна, цвета и других первичных признаков меланомы.

Дальнейшая методика постановки диагноза основывается как на сочетании признаков, так и на признаках в отдельности [7]. Так, например, наличие неровных границ новообразования является самым частым признаком меланомы. Далее врач формулирует заключение о диагнозе.

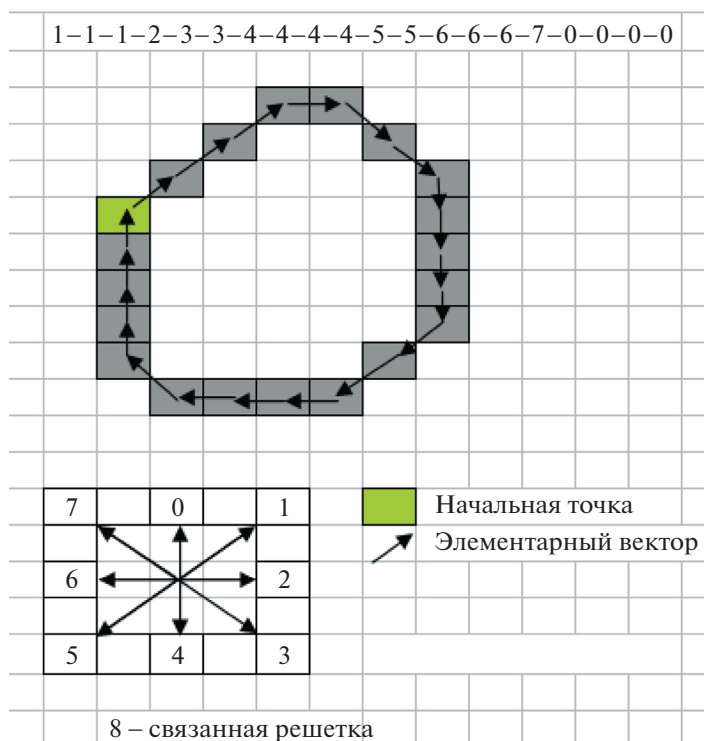


Рис. 2. Цепной код Фримена (Фридмана) (Freeman Chain Code).

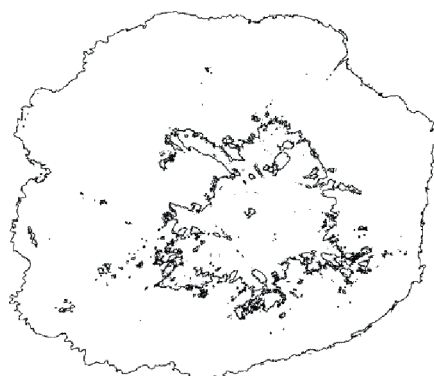
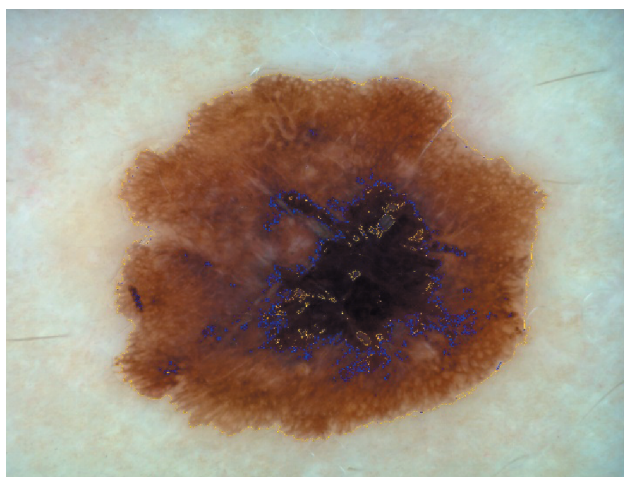


Рис. 3. Результат применения метода активных контуров для сегментации изображения.

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАНИЦ НОВООБРАЗОВАНИЙ НА ДЕРМАТОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОЖИ

В практике автоматизированного анализа изображений довольно часто встречаются методы контурного анализа. Контурный анализ — это совокупность инструментов для описания, хране-

ния, распознавания, сравнения и поиска графических образов/объектов. Под контуром понимаются внешние очертания объекта.

Операции распознавания на изображениях определенных объектов, как правило, предваряются обработкой изображений для создания условий, повышающих эффективность и качество выделения и распознавания искомых или изучаемых объектов.

При проведении контурного анализа мы полагаем, что контур содержит достаточную информацию о форме объекта, а также внутренние точки объекта во внимание не принимаются.

В ходе работы существуют некоторые ограничения ввиду учтенных выше параметров: из-за одинаковой яркости с фоном объект может не иметь четкой границы, или может быть зашумлен помехами, что приводит к невозможности выделения контура; перекрытие объектов или их группировка приводит к тому, что контур выделяется неправильно и не соответствует границе объекта. Тем не менее, эти обстоятельства довольно редко могут помешать обработке дерматоскопических изображений, так как пигментные пятна имеют контрастный, по сравнению с кожей, коричневый, светло-коричневый или темно-коричневый цвет.

Активные контуры широко применяются в задачах выделения контуров, границ и сегментации изображений [8]. Для обнаружения контуров на изображении здесь используются кривые минимальной энергии, или змейки. Алгоритм, следующий: сначала контур инициализируется как простая линия, а затем он деформируется для создания области объекта. Точки в контуре стремятся к границе объекта при минимизации энергии контура. Для каждой точки ϑ_i энергия:

$$E_i = \alpha E_{\text{int}}(\vartheta_i) + \beta E_{\text{ext}}(\vartheta_i), \quad (1)$$

где α , β — константы, обеспечивающие относительную коррекцию энергии, $E_{\text{int}}(\vartheta_i)$ — функция энергии, зависящая от формы контура, $E_{\text{ext}}(\vartheta_i)$ — функция энергии, зависящая от свойств изображения и типа градиента в окрестности точки ϑ_i . Величины E_i , $E_{\text{int}}(\vartheta_i)$, $E_{\text{ext}}(\vartheta_i)$ являются квадратными матрицами. Значение в центре каждой матрицы соответствует энергии контура в отметке ϑ_i . Каждая вершина ϑ_i потенциально может перейти в любую точку ϑ'_i соответствующую минимальной энергии E_i .

Чтобы оперировать контуром, его необходимо как-то представить (закодировать). Например, указывать вершины отрезков, составляющих контур. Другой известный способ кодирования контура — это цепной код Фримена.

Цепные коды применяются для представления границы в виде последовательности отрезков прямых линий определенной длины и направления. В основе этого представления лежит 4- или 8-связная решетка. Длина каждого отрезка определяется разрешением решетки, а направления задаются выбранным кодом.

(для представления всех направлений в 4-связной решетке достаточно 2-х бит, а для 8-связной решетки цепного кода требуется 3 бита).

Система сегментации изображения на основе цепного кода имеет следующие основные операции:

- 1) загрузка исходного изображения форматов *.png, *.xpm, *.jpg, *.bmp в главное окно программы;
- 2) выделение границ новообразования (сегментация);
- 3) определение внешних зон на изображении;
- 4) определение внутренних зон бесструктурных областей;
- 5) вывод результатов работы алгоритмов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Цель эксперимента — оценка работоспособности разработанной системы позволяющего автоматически выделять границы новообразований, а также областей гиперпигментации на изображениях новообразований кожи, полученных с помощью дерматоскопа.

В качестве исходных данных были взяты изображения из медицинской базы изображений, предоставленных врачами.

Выборка дерматоскопических изображений формируется с целью проверки адекватности регистрации сегментации областей. Часто области новообразования имеют нечеткую размытую границу или тонкие ответвления. Все это может как быть зоной новообразования, помехами при создании изображения, либо другими особенностями кожи, которые повлияют на конечный результат работы программы.

Таким образом, контрольная выборка формируется из изображений, содержащих новообразования с четкой структурой границ, а также новообразования имеющие явные признаки отклонения и размытость границ с целью демонстрации возможностей более точного определения сегментации областей.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Была взята выборка из 371 одного изображения из медицинской базы данных. Каждое изображение было загружено в созданный программный комплекс и обработано с применением всех основных этапов работы алгоритма.

По результатам работы каждое изображение анализировалось на выделение границ новообразования, зон гиперпигментации. Успешность работы алгоритма оценивалась по тому сколько “ложных” зон выделяет данная программа. Основной признак правильности выделения зон —

резкий перепад по цветовым и яркостным характеристикам изображения. Для дополнительного контролирования зон новообразования приведено бинаризованное изображение с более ярко выделенными контрастными границами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена созданию программной системы сегментации новообразований и зон гиперпигментации на изображениях новообразований кожи для диагностики меланомы с применением оптического прибора — дерматоскопа. Разработаны: обобщенная структура системы поиска зон на изображениях новообразований при диагностике меланомы, метод сегментации на дерматоскопических изображениях новообразований кожи. Создана программная система, состоящая из пяти подсистем. В системе реализован метод выделения кругов, основанный на развитии метода активных контуров.

Разработанная компьютерная система поиска границ новообразования и зон гиперпигментации новообразований на изображениях в комплексном анализе способствует улучшению результатов дерматоскопического анализа и повышению эффективности дифференциальной диагностики меланомы кожи и других пигментных новообразований. Для формирования полноценного комплекса диагностики меланомы необходима дальнейшая реализация аналогичных модулей для распознавания структурных элементов с соответствующими их характеристиками, а также расчет статистических параметров для полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Магомедова А.А., Евлоева Л.А. // Уральский медицинский журнал. 2020. № 12 (195). С. 116–120. <https://www.elibrary.ru/uahdbjn>
2. Ларина В.Н., Гайдина Т.А., Дворников А.С., Назимкин К.Е. // Архивъ внутренней медицины. 2022. Т. 12 (2). С. 85–92. <https://doi.org/10.20514/2226-6704-2021-12-2-85-92>.
3. Римская Е.Н., Щадько А.О., Аполлонова И.А. и др. // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 126 (5). С. 584–595. <https://doi.org/10.21883/OS.2019.05.47657.6-19>
4. Сергеев В.Ю., Сергеев Ю.Ю., Тамразова О.Б. и др. // Российский журнал кожных и венерических болезней. 2020. Т. 23 (5). С. 288–292. <https://doi.org/10.17816/dv52794>
5. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Kozyreva A.V., et al. // Biomed. Engin. 2019. V. 53 (4). P. 254–257. <https://doi.org/10.1007/s10527-019-09920-1>
6. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Lim A.O., et al. // Math. Models Comput. Simul. 2022. V. 14 (3). P. 411–418. <https://doi.org/10.20948/mm-2021-10-06>
7. Жучков М.В., Булиньска А.К., Куттлер Г. // Дерматология. Приложение к журналу Consilium Medicum. 2017. № 2. С. 5–13. <https://www.elibrary.ru/zmjcsd>.
8. Колесникова А.С., Бессонов Л.В., Лунева А.Д. и др. // Врач и информационные технологии. 2018. № 3. С. 61–72. <https://www.elibrary.ru/xztyup>.

Segmentation of Images of Skin Neoplasms Using the Active Contour Method

A. E. Voronin¹, A. N. Pronichev¹, V. G. Nikitaev^{1, *}, M. A. Solomatin¹, T. P. Zanegina¹, I. V. Arkhangelskaya¹, A. V. Soshnina¹, A. I. Petukhova¹, P. Yu. Bagnova¹, O. B. Tamrazova², V. Yu. Sergeev³, and Yu. Yu. Sergeev³

¹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

²Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, 117198 Russia

³Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow, 121359 Russia

*e-mail: VGNikitaev@mephi.ru

Received July 2, 2022; revised July 2, 2022; accepted July 11, 2022

Abstract—Computer vision technologies are being actively introduced into modern life, including medical practice. The development of such technologies has led to the emergence of computer systems that allow the detection and classification of skin diseases with a quality comparable and in some cases exceeding human capabilities. The article reveals the method of automatic segmentation, based on dermoscopic images provided by doctors, obtained using a digital optical device — a dermatoscope. The main goal of the developed model is to identify the neoplasm zone and hyperpigmentation areas in the images of skin neoplasms for further integration into medical decision support systems for the diagnosis of melanoma. As a result of the work carried out, a software package was created that allows segmentation of the neoplasm. As a demonstration of the method, experimental studies of the detection of melanoma boundaries and zones of feature areas in images of skin neoplasms are presented. The developed system can be used for diagnostic research and educational purposes.

Keywords: neoplasm structures, segmentation, hyperpigmentation, digital processing, dermatoscopy, skin melanoma