

Автор выражает благодарность А.И. Львову за консультации по проведению испытаний электронного тракта СКОО и падовых камер на ускорителе «Пахра» и за поддержку работы.

Список литературы:

1. Сиксин В.В. Пути совершенствования детектора ДТет // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2018. Т. 45. № 12. С. 78-82.
2. Сиксин В.В. Измерение профилей пиков Брэгга детектором ДТет // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2019. Т. 46. № 2. С. 47-52.
3. Сиксин В.В. Пилотная установка по очистке «теплой жидкости» тетраметилсилана и проведения «неускорительных экспериментов» // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2019. Т. 22. № 2. С. 118-127.
4. Сиксин В.В. Способ измерения энерговыделения от ионизирующих излучений / Патент РФ № 2654838 С1, 2018. Опубликовано: 22.05.2018. Бюл. № 15.
5. Гринкевич А.В., Сиксин В.В. Телевизионный детектор ионизирующих излучений / Патент на полезную модель РФ № 179244У1. Опубликовано: 07.05.2018. Бюл. № 13.
6. Серия технических докладов № 398. Международные практические рекомендации по дозиметрии, основанные на эталонах единицы поглощенной дозы в воде. При поддержке IAEA, WHO, PAHO и ESTRO. МАГАТЭ. Вена, 2004 / https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS398r_web.pdf (дата доступа 12.11.2020).
7. Дамаскинский Е.А., Карлин Д.Л., Прокофьев О.Е., Самсонов В.С. Способ контроля параметров пучка в процессе протонной терапии / Изобретение SU № 1338154 А. 1988. Бюл. № 19.
8. Сиксин В.В., Ендовин Ю.П. Создание микродозиметров для лучевой терапии на основе сверхчистого тетраметилсилана и проверка его электропроводности // Краткие сообщения по физике ФИАН. 2018. Т. 45. № 6. С. 42-49.
9. Benitez E.M. et al. Evaluation of a liquid ionization chamber for relative dosimetry in small and large fields of radiotherapy photon beams // Radiation Measurements. 2013. Vol. 58. PP. 79-86.

*Виктор Валентинович Сиксин,
канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник,
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
г. Москва,
e-mail: antktech@yandex.ru*

*В.Г. Никитаев, А.Н. Проничев, О.Б. Тамразова, В.Ю. Сергеев,
О.А. Медведева, В.С. Козлов, М.А. Соломатин*

Выделение структурных элементов «кругов» на дерматоскопических изображениях новообразований кожи при диагностике меланомы

Аннотация

Предложен метод распознавания значимых структурных элементов новообразований кожи – «кругов». Использовались изображения, полученные с применением цифрового оптического прибора – дерматоскопа РДС-2. На основе предложенного метода разработана программа, реализующая процедуру распознавания кругов. Приведены результаты экспериментов по обнаружению исследуемых объектов. Метод применим в программно-аппаратных системах диагностики опасного онкологического заболевания – меланомы кожи.

Введение

В течение нескольких последних десятилетий число ежегодно регистрируемых случаев рака кожи, в том числе меланомы, непрерывно растет. Составляя структурно менее 5 % всех форм злокачественных заболеваний кожи, меланома является причиной более 80 % смертей [1]. Первичная диагностика меланомы кожи основана на визуальной оценке новообразований [2]. Эффективность такой диагностики определяется опытом врача. Чувствительность и специфичность визуального метода диагностики меланомы кожи в случае врача общего профиля находятся в диапазоне от 30 до 50 %, эксперта-дерматолога – около 90 % [3]. В связи с этим одной из актуальных задач онкодерматологии является совершенствование методов раннего выявления меланомы кожи с применением цифровых технологий распознавания образов.

Одним из используемых врачами-дерматологами перспективных алгоритмов в диагностике меланомы кожи является предложенный в 2007 году Н. Kittler модифицированный анализ структур [4]. Алгоритм основан на описании пигментного новообразования кожи посредством терминов «линия», «точка», «глыбка», «псевдоподия», «круг», «бесструктурная область», с учетом цветовых характеристик и взаимного расположения этих признаков на дерматоскопическом изображении.

Для повышения точности клинической диагностики меланомы, создания архива для динамических наблюдений, стандартизации аналитических исследований разрабатываются

компьютерные системы диагностики меланомы. Следует отметить, что в основе большей части таких систем лежат сложные многошаговые процедуры анализа снимков, включающие в себя алгоритмы распознавания изображений (предобработка, сегментация новообразования, вычисление текстурных, цветовых, геометрических характеристик, диагностических критериев, классификация объектов исследования) [5]. При этом цифровая обработка изображений в значительной части работ направлена на анализ общих характеристик новообразования: асимметрии, степени резкости и изрезанности границ, цветового разнообразия, размеров. Цифровому анализу изображений отдельных структурных элементов новообразований кожи уделяется весьма незначительное внимание. И, как следствие, успехи в данной области являются достаточно скромными.

Одним из признаков меланомы кожи является наличие пигментированных кругов в области лица [6] и пигментированных кругов серого цвета на коже туловища [7].

Одной из нерешенных проблем компьютерного анализа дерматоскопических изображений меланомы кожи является выделение структурных элементов – «кругов».

Цель работы – разработка метода выделения структурных элементов «кругов» на цифровых изображениях новообразований кожи в интеллектуальных системах диагностики меланомы. Кругом в дерматоскопической картине новообразования называют область, ограниченную изогнутой в кольцо или полукольцо линией, имеющей примерно равное удаление от центра этого круга [4].

Для достижения поставленной цели необходимо сформировать обобщенную структуру аппаратно-программной системы диагностики меланомы с выделением кругов, рассмотреть альтернативные подходы к методам выделения кругов на изображениях новообразований кожи, разработать модель цифровой обработки изображения, обеспечивающей обнаружение искомым структурных элементов новообразования (кругов), реализовать соответствующую программную систему и провести экспериментальное исследование.

Исходными данными для разрабатываемой системы являются дерматоскопические изображения, которые получены при помощи дерматоскопа РДС-2.

Концептуальная модель интеллектуальной системы диагностики меланомы с выделением структурных элементов – кругов

Стратегия проектирования нового класса высокотехнологичных диагностических комплексов с применением искусственного интеллекта должна быть основана на объединении на одной аппаратно-программной платформе систем – клинической, научно-исследовательской, обучающей, телемедицинской, информационной, организационной [8]-[10]. В основу архитектуры таких систем должны быть заложены междисциплинарные знания экспертов.

Концептуальная модель интеллектуальной системы диагностики меланомы с выделением кругов описывается следующим кортежем:

$$Mconc = \langle I_{in}, V_k, V_s, R_n, T_p, F_s, Z_v \rangle,$$

где I_{in} – исходное цифровое изображение новообразования кожи, формируемое дерматоскопом; V_k – выделение кругов с разметкой искомым структурных элементов – кругов; V_s – выделение прочих структурных элементов новообразования кожи; R_n – расчет характеристик выделенных структурных элементов; T_p – поиск в базе данных экспертных заключений, схожих с исследуемым случаем; F_s – формирование системой рейтингового списка вероятных диагнозов; Z_v – врачебное диагностическое заключение.

Анализ подходов к выделению кругов на изображениях новообразований кожи

Широко используемым методом для детектирования кругов на изображениях в системах компьютерного зрения является метод Кэнни для обнаружения границ изображения с последующим нахождением круговых структур путем проверки замкнутости найденных контуров [11].

При этом возникает проблема в случае работы с изображениями новообразований кожи: линии кругов новообразования необязательно замкнуты, кроме того не наблюдается явная граница, которую позволяет описать метод Кэнни. Соответственно данный подход не всегда будет работать корректно.

В практике автоматизированного анализа изображений, содержащих простые геометрические фигуры – прямые и окружности, успешно применяется преобразование Хафа [12].

Достоинством метода Хафа является возможность обнаружения объектов, заданных параметрическим уравнением. При этом метод слабо чувствителен к шуму. Стоит отметить, что метод способен обнаружить несколько объектов одного типа

за одно сканирование исходного изображения, что определяет временную эффективность метода.

Поэтому в качестве основы для разрабатываемого метода выделения кругов на изображениях новообразований кожи был выбран метод Хафа.

Модель выделения кругов на дерматоскопических изображениях новообразований кожи

На входе разрабатываемой системы имеется цифровое изображение новообразования кожи. Операции распознавания на изображениях определенных объектов, как правило, предваряются обработкой изображений для создания условий, повышающих эффективность и качество выделения и распознавания искомым объектов.

В результате предварительного экспериментального исследования было принято решение о необходимости на этапе предобработки выделить границы области новообразования и удалить фон, после чего выполнить фильтрацию шумов и удалить шум в области новообразования кожи. Для фильтрации шума было предложено использовать фильтр, построенный на принципе локального усреднения, используемый с целью подавления аддитивного гауссового шума [13]. Данное решение принято по двум причинам: с одной стороны, данный фильтр обладает достаточно высокой вычислительной эффективностью, а с другой стороны, учитывая особенности метода, применяемого при сегментации изображения, он достаточно уменьшает локальные колебания яркости на изображении.

Изображения новообразований кожи сложны и вариативны по своей природе. Наличие комбинаций структур, перепадов яркостей, отсутствие четких контуров и границ усложняют процесс распознавания анализируемых объектов.

В ходе предварительных исследований возможностей применения метода Хафа для выделения дерматоскопических структурных элементов кругов было выявлено, что выделяется значительное число «ложных» кругов. Поэтому после обработки отфильтрованного изображения методом Хафа необходимо провести дополнительный анализ выделенных объектов.

Характерной чертой структурных элементов кругов на изображениях новообразований кожи является наличие темного ободка, опоясывающего искомым элемент. На этом основании был предложен метод анализа выделенных кругов на основе поиска контрольных точек на линиях-радиусах, построенных из центра каждого круга, найденного методом Хафа. Контрольные точки формировались путем оценки перепада яркости при движении от центра к периферии выделенного круга. Если из контрольных точек не формируется круговая область, то выделенный круг отмечается как «ложный» и исключается из набора найденных кругов. Подводя итог анализу подходов к выделению кругов на изображениях новообразований кожи, предлагаемый метод обработки изображения можно представить в обобщенном виде теоретико-множественным представлением:

$$\langle I_{in}, G, F, H, T, D, I_{out} \rangle,$$

где I_{in} – исходное цифровое изображение; G – выделение границ новообразования и удаление фона; F – фильтрация шумов в области новообразования; H – выделение кругов с приме-

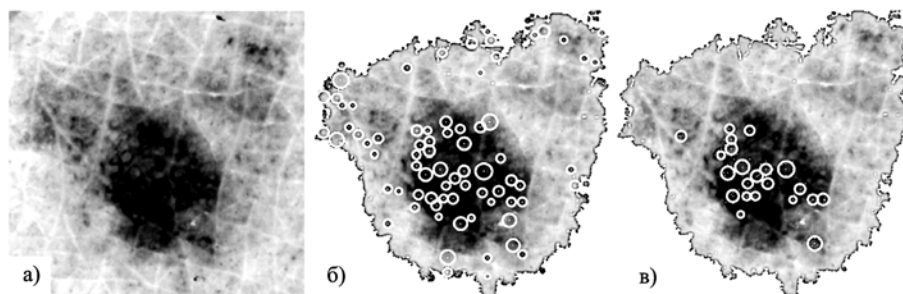


Рис. 1. Пример применения метода поиска кругов на изображении новообразования кожи: а) исходное изображение; б) круги, выделенные с применением преобразования Хафа; в) результат удаления ложных кругов

нием преобразования Хафа; T – разметка контрольных точек на радиусах рассматриваемого круга в области предполагаемой границы круга; D – анализ положения контрольных точек и удаление ложных кругов; I_{out} – выходное изображение с выделенными кругами.

Экспериментальное исследование

Цель эксперимента – проверка эффективности предложенного метода. Была разработана программа на языке C++ в среде разработки Qt, реализующая указанный метод. При формировании выборки изображений для проведения эксперимента рассматривали 2 995 изображений кругов на новообразованиях кожи (сайт telederm.ru). Из базы изображений были отобраны те, в которых имеются разные виды признака «круг». Кроме того, в выборку были включены изображения новообразований кожи, в которых присутствуют другие структурные элементы: «точки», «глубьки», «линии», бесструктурные области.

Применение предложенного метода выделения кругов иллюстрируется *рис. 1*.

Анализ результатов эксперимента

Метод Хафа, применяемый в отдельности (*рис. 1б*), дает избыточное количество найденных кругов. Размещение контрольных точек в области границ круга с последующим анализом их пространственного расположения обеспечивает выявление и удаление «ложных» кругов. Результат удаления «ложных» кругов отражен на *рис. 1в*.

Проведенный эксперимент показал, что применение предложенного метода позволяет правильно выделить около 85 % кругов, что подтверждает адекватность предложенной модели.

Заключение

Представлена концептуальная модель интеллектуальной системы диагностики меланомы с распознаванием кругов. Предложен новый метод выделения кругов – значимых структурных элементов на дерматоскопических изображениях новообразований кожи для диагностики меланомы с применением оптического прибора – дерматоскопа. Создана программа, реализующая указанный метод. Эксперименты на выборке изображений 2 995 кругов показали, что доля правильно выделенных кругов составила 85 %.

Разработанная система распознавания кругов направлена на повышение эффективности дифференциальной диагностики пигментных новообразований кожи и ориентирована на уменьшение субъективизма диагностики.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ по проекту 19-11-00176.

Список литературы:

1. Эркенова Ф.Д., Пузин С.Н. Статистика меланомы в России и странах Европы // Медико-социальная экспертиза и реабилитация. 2020. Т. 23. № 1. С. 44-52.
2. Кудрин К.Г., Римская Е.Н., Павлюкова О.Ю., Давыдов Д.В., Решетов И.В. Погрешности измерения параметров размеров, формы и цвета при автоматизированном скрининге пигментных новообразований кожи // Журнал радиоэлектроники. 2020. № 12. С. 1-20.
3. Римская Е.Н., Щадько А.О., Аполлонова И.А., Николаев А.П., Брико А.Н., Дешин И.А., Бережной П.Ю., Кудрин К.Г., Зайцев К.И., Тучин В.В., Решетов И.В. Дифференциация пигментных новообразований кожи на основе цифровой обработки оптических изображений // Оптика и спектроскопия. 2019. Т. 126. № 5. С. 584-595.
4. Торшина И., Розендаль К., Булиньска А., Радион Е. Дерматоскопия как метод ранней диагностики злокачественных новообразований кожи // Врач. 2016. № 4. С. 16-20.
5. Левчук В.А., Ковалев В.А., Баркалин В.В., Лозовский В.Э. Компьютеризированная диагностика меланомы на базе поиска похожих дерматоскопических изображений в базе

данных // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2016. № 2. С. 86-91.

6. Tschandl P., Rosendahl C., Kittler H. Dermatoscopy of flat pigmented facial lesions // Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology. 2015. Vol. 29. № 1. PP. 120-127.
7. Rosendahl C., Cameron A., McColl I., Wilkinson D. Dermatoscopy in routine practice – «Chaos and Clues» // Aust. Fam. Physician. 2012. Vol. 41. № 7. PP. 482-487.
8. Nikitaev V.G. Expert systems in information measuring complexes of oncological diagnoses // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 6. PP. 719-723.
9. Nikitaev V.G. Medical and biological measurements: 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.
10. Nikitaev V.G. Modern measurement principles in intellectual systems for a histological diagnosis of oncological illnesses // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58. № 4. PP. 68-70.
11. Леонов Е.А., Леонов Ю.А., Аверченков А.В., Казаков Ю.М., Зуева А.С. Метод распознавания на изображениях объектов эллиптических форм // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2019. № 3. С. 4-8.
12. Стенура Л.В., Демин А.Ю. Векторизация растровых изображений с использованием преобразования Хафа / Сб. научн. трудов III Международной научной конференции «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине», 23-26 мая 2016 г., г. Томск. Ч. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. С. 745-747.
13. Калинин Д., Ватолин Д. Проблема подавления шума на изображениях и видео и различные подходы к ее решению // Компьютерная графика и мультимедиа. Сетевой журнал. 2005. Т. 9. № 2 / <http://masters.donntu.org/2011/fknt/galiakberow/library/noise.htm>.

Валентин Григорьевич Никитаев,
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра компьютерных медицинских систем,
Александр Николаевич Прончев,
канд. техн. наук, доцент,
отделение биотехнологий офиса
образовательных программ,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
ядерный университет МИФИ»,
Ольга Борисовна Тамразова,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра дерматовенерологии,
факультет повышения квалификации медработников,
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»,
Василий Юрьевич Сергеев,
канд. мед. наук, доцент,
кафедра дерматовенерологии и косметологии,
ФГБУ ДПО «Центральная государственная
медицинская академия Управления
делами Президента Российской Федерации»,
Ольга Александровна Медведева,
студентка,
Владимир Сергеевич Козлов,
аспирант,
Михаил Андреевич Соломатин,
студент,
кафедра компьютерных медицинских систем,
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
ядерный университет МИФИ»,
г. Москва,
e-mail: vgnikitayev@mephi.ru