

Модель выделения структурных элементов – линий – на цифровых изображениях в онкодерматологии

Валентин Григорьевич Никитаев¹✉, Александр Николаевич Проничев², Ольга Борисовна Тамразова³, Василий Юрьевич Сергеев⁴, Александр Иванович Отченашенко⁵, Екатерина Александровна Дружинина⁶, Александра Вячеславовна Козырева⁷, Михаил Андреевич Соломатин⁸, Владимир Сергеевич Козлов⁹

1, 2, 5, 6, 7, 8, 9 Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

¹vgnikitayev@mephi.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-4349-3023>

²anpronichev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0443-8504>

⁵alot.zte@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8693-5357>

⁶edruzhinin4@yandex.ru, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204121876>

⁷kozyreva.sasha@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2727-3802>

⁸mis4455@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9929-615X>

⁹vskozlov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-6278>

³ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, anait_tamrazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3261-6718>

⁴ Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Россия, vasesergeevu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8487-137X>

Аннотация. Рассмотрена проблема ранней диагностики одного из наиболее опасных злокачественных новообразований кожи – меланомы. Разработана модель выделения структурных элементов (линий) на цифровых изображениях новообразований кожи в онкодерматологии. Модель основана на адаптивной бинаризации исходного цифрового дерматоскопического изображения новообразований кожи и последующих операциях дилатации, эрозии, скелетизации, фильтрации ложных фрагментов линий. Для проведения опыта тестовые дерматоскопические изображения новообразований кожи визуально разделяли на четыре группы. Экспериментально установлены оптимальные параметры обработки изображений четырёх групп для модели выделения структурных элементов – линий. Экспериментально определённая точность выделения линий составила 95 %. Результаты работы являются итогом междисциплинарного взаимодействия врачей-дерматологов Центральной медицинской академии Управления делами Президента Российской Федерации, Медицинского института Российского университета дружбы народов и специалистов в области информационно-измерительных систем Инженерно-физического института биомедицины Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». Предложенная модель может быть востребована при разработке компьютерных систем поддержки принятия врачебных решений при диагностике меланомы кожи – опасного злокачественного новообразования.

Ключевые слова: выделение линий, цифровая обработка изображений, дерматоскопические структуры, меланома кожи

Для цитирования: Никитаев В. Г., Проничев А. Н., Тамразова О. Б., Сергеев В. Ю., Отченашенко А. И., Дружинина Е. А., Козырева А. В., Соломатин М. А., Козлов В. С. Модель выделения структурных элементов – линий – на цифровых изображениях в онкодерматологии // Измерительная техника. 2021. № 6. С. 66–71. <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2021-6-66-71>

A model for the selection of structural elements of lines in digital images in oncodermatology

Valentin G. Nikitaev¹, Alexandr N. Pronichev², Olga B. Tamrazova³, Vasily Yu. Sergeev⁴, Ekaterina A. Druzhinina⁵, Alexandr I. Otchenashenko⁶, Alexandra V. Kozyreva⁷, Mihail A. Solomatin⁸, Vladimir S. Kozlov⁹

1, 2, 5, 6, 7, 8, 9 National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia

¹vgnikitayev@mephi.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-4349-3023>

²anpronichev@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0443-8504>

⁵alot.zte@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8693-5357>

⁶edruzhinin4@yandex.ru, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204121876>

⁷kozyreva.sasha@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2727-3802>

⁸mis4455@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9929-615X>

⁹vskozlov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-6278>

³ Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russia, anait_tamrazova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3261-6718>

⁴ Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation, Moscow, Russia, vasesergeevu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8487-137X>

Abstract. The problem of early diagnosis of one of the most dangerous malignant neoplasms of the skin – melanoma is considered. A model for identifying the structural elements of lines in digital images of skin neoplasms in oncodermatology has been developed. The model is based on adaptive binarization of the original digital dermatoscopic image of skin neoplasms and subsequent operations of dilation, erosion, skeletonization and filtering of false fragments of lines. Test dermatoscopic images of skin neoplasms are visually divided into four groups to conduct the experiment. The optimal parameters of image processing of four groups for the model of selection of structural elements – lines – are experimentally established. The experimentally determined accuracy of the selection of lines was 95 %. The work is the result of interdisciplinary cooperation between dermatologists of the Central Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, the Medical Institute of the Peoples' Friendship University of Russia and specialists in the field of information and measurement systems of the Engineering and Physical Institute of Biomedicine of the National Research Nuclear University "MEPhI". The proposed model can be used in the development of computer systems to support medical decision – making in the diagnosis of skin melanoma – a dangerous malignant neoplasm.

Keywords: line recognition, digital image processing, dermatoscopic structures, skin melanoma

Введение. Меланома считается одним из наиболее опасных злокачественных новообразований кожи, требующих ранней диагностики. Универсального алгоритма диагностики данного заболевания не существует, поэтому применяются различные инструментальные диагностические методы [1–3], например, световой дерматоскопии, неинвазивной эпидермальной геномной детекции и конфокальной сканирующей лазерной микроскопии и др. Повысить качество дерматоскопической диагностики меланомы можно с использованием технологий искусственного интеллекта (базы знаний, алгоритмы распознавания образов и др.) [4, 5]. Компьютерные системы обработки изображений обладают значительным потенциалом для скрининга и раннего обнаружения меланомы [6]. Процесс автоматизированной диагностики состоит из этапов получения данных, их описания, фильтрации, классификации и представления результатов. Пример системы поддержки принятия решений представлен в статье [7], авторы которой разработали приложение для графического отображения характеристик поражения кожи, соответствующие правилу ABCD (асимметрия, нерегулярность границ, цветовые узоры и диаметр). Эффективность применения различных классификаторов – свёрточных нейронных сетей, метода опорных векторов, k ближайших соседей (k -NN) – при диагностике заболеваний кожи по их изображениям рассмотрены в [8–10].

В [1–3, 6–10] проанализированы характеристики, например симметрия, поражения кожи в целом, а не структурные элементы поражения. Важной характеристикой поражения кожи являются структурные элементы различных типов (линии, псевдоподии, круги, комки или глыбки, точки) [11], которым в перечисленных работах не отводится достаточного внимания.

Одними из значимых диагностических признаков в онкодерматологии согласно алгоритму Киттлера являются особые дерматоскопические структуры на коже, которые врачи называют линиями [12]. Линия – не прерывающийся на определённом расстоянии двумерный объект, длина которого намного больше его ширины. Линии могут быть как прямыми, так и изогнутыми, могут пересекаться, образуя

узлы [13], могут образовывать и пигментную сеть. Если радиально расположенные линии занимают не всю площадь краевой зоны изображения, а только его часть, то этот признак учитывается в алгоритме как маркер злокачественности опухоли.

Анализ публикаций по выделению линий на изображениях выявил ряд алгоритмов для обработки изображений объектов, не являющихся новообразованиями кожи [14–16]. Поиск кривых заданного семейства с применением метода Хафа позволяет обнаруживать простые фигуры – прямые, окружности или эллипсы [14]. В работе [15] описан алгоритм формирования контурных представлений на основе методов Робертса, Собеля, Лапласа и Превитта. Результаты экспериментов демонстрируют выделение важных каркасных линий при построении модели зданий и помещений. Отмечено, что эффективным методом формирования контурного представления для поиска линий является метод Собеля. По точности определения искомых линий он превышает остальные методы на 8–30 %. Но его существенным недостатком является то, что вместо одной линии он находит несколько. Методы поиска линий, описанные в [14, 15], применимы для искусственно созданных контрастных, чётких линий и окружностей, однако линии в новообразованиях кожи имеют более сложную форму.

В работе [16] решается задача автоматизированного поиска линий кровеносных сосудов на биомедицинских изображениях с применением метода взвешенного графа и алгоритма оптимизации пути Дийкстры. Выполненный авторами вычислительный эксперимент показал устойчивость метода к различным вариациям изображения (шум, сильное искривление сосудов и др.). Однако работоспособность метода проверена всего на десяти реальных изображениях, что составляет малую выборку, точность распознавания не представлена. Также линии сосудов значительно более чёткие, в отличие от пигментных линий, что может привести к низкой эффективности алгоритма для изображений новообразований кожи.

В ряде исследований анализируются изображения новообразований кожи. Модель диагностики меланомы кожи, основанная на количественной оценке геометрических и цветовых

свойств новообразований, представлена в [17, 18], где для обнаружения границ новообразования применены алгоритмы Собеля и Кэнни, однако внутри новообразования структурные элементы линий не исследованы.

В [19] для выделения пигментной сети использованы выравнивание гистограммы изображения и морфологические операции, а в [20] – дифференциальная геометрия и гессиан функции. Применение методов на основе гессиана показано в [21]. В статье [22] рассмотрен вариант использования энергетических масок и матрицы зависимости соседнего уровня среднего. В исследованиях [23, 24] для выделения линий сети применяется теория графов. Однако в публикациях [19–24] рассматривается выборка, которая ограничена только линиями, складывающимися в пигментную сеть.

Обзор литературы [1–24] показал, что проблема выделения пигментных линий на изображениях новообразований кожи недостаточно освещена, а также отсутствует модель автоматизированного выделения линий различных типов для автоматизированной диагностики новообразований кожи.

Цель настоящей работы – разработка модели выделения структурных элементов – линий – на цифровых изображениях новообразований кожи в онкодерматологии.

Модель выделения структурных элементов – линий.

Авторами настоящей статьи предложена следующая концептуальная модель M системы выделения структурных элементов – линий – на дерматоскопических изображениях кожи:

$$M = \{I, B, D, E, P, S, F, O\},$$

где I – регистрация входного изображения; B – бинаризация по яркости; D – дилатация; E – эрозия; P – повторная дилатация; S – скелетизация; F – фильтрация ложных фрагментов скелета линий; O – выходное изображение – визуализация выделенных скелетов линий на исходном изображении новообразования кожи.

Данная модель структурных элементов линий на изображениях новообразований кожи позволяет построить скелет линий и визуализировать его на фоне исходного изображения (для проверки корректности выделения линий).

Регистрация входного изображения I . На вход системы поступают цветные изображения кожных новообразований, сделанные с помощью дерматоскопа РДС-2 (ООО «НПО Биофотоника», Россия). Размер изображений 2560×1920 пикселей. Для представления цвета используется трёхкомпонентная (R – красный, G – зелёный, B – синий) цветовая модель. Каждый цветовой компонент кодируется 8-битным цифровым кодом, что позволяет зарегистрировать 256 градаций яркости по каждому компоненту. Таким образом, цвет каждого пиксела представляется 24-битным цифровым кодом.

Факторами, искажающими исходные данные, являются шум и неравномерность освещения. Для использованных в эксперименте цифровых изображений измерен уровень шума по каждому RGB-компоненту. Измерения выполняются для пикселей изображения в области однородного фона. Среднее квадратическое отклонение для R - и G -компонентов яркости составляет две градации яркости, для B -компонента – четыре

градации яркости. Неравномерность освещения проявляется в большей освещённости центральной части кадра по сравнению с периферийной – в среднем относительное изменение яркости цветовых компонент составляет около 40 %.

Бинаризация B . До построения скелета линий на фоне кожи необходимо выделить область новообразования, на которой потенциально может находиться линия. Задача решается в два этапа: выделяется область на изображении, относящаяся к области новообразования, далее выделяются локально тёмные области, которые потенциально могут представлять линии. Эта процедура выполняется методом комбинированной бинаризации и состоит из последовательного применения бинаризации с заданным единым для всего изображения порогом и адаптивной бинаризации. Адаптивный порог рассчитывается на основе свёртки двумерной функции Гаусса

$$G(x, y) = A \exp \left[\frac{-(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}{2c^2} \right]$$

с изображением окрестности S пиксела с координатами (x_0, y_0) . Окрестность имеет форму квадрата со стороной W (в пикселах). Длину W пользователь может подбирать исходя из свойств изображения. Параметры функции Гаусса задаются следующим образом:

$$A = \left[\sum_{(x, y) \in S} G(x, y) \right]^{-1};$$

$$c = 0,3[0,5(W-1)-1] + 0,8.$$

Согласно результатам эксперимента точность выделения линий методом адаптивной бинаризации с применением свёртки с функцией Гаусса выше, чем методом с использованием простого усреднения яркости компонентов по окрестности. В результате бинаризации области, соответствующие линиям, окрашиваются в белый цвет, а фон – в чёрный.

Дилатация D . Данная операция применяется для удаления чёрных мелких полостей внутри белых областей для обеспечения целостности линий (чтобы внутренние полости в выделенных областях не приводили к разветвлению линий) [25]. Параметром операции является размер ядра. По результатам эксперимента найдено оптимальное ядро для операции дилатации на изображениях рассматриваемого типа – квадратная область размером 5×5 пикселей.

Эрозия E . Операция выполняется в два этапа [25]. На первом этапе белые области восстанавливаются по их внешнему контуру до операции дилатации D . Для этого в качестве ядра используется квадратная область 5×5 пикселей. На втором этапе сглаживаются края областей, соответствующих линиям. Как показал эксперимент, для устранения «изломанности» границ выделенных областей достаточно использовать в качестве ядра операции квадрат 3×3 пиксела.

Повторная дилатация P . Эта операция необходима для восстановления незначительных (до двух пикселей)

разрывов белых областей. Здесь в качестве ядра операции применяется квадратная область размером 3×3 пиксела.

Скелетизация S. В основе скелетизации лежит применение алгоритма Зонг-Суня [26] со скользящей уточняющей маской размером 3×3 пиксела. Осуществляется в две последовательные итерации. В результате выполнения операции получается скелет линий.

Фильтрация F. Для устранения ложных ветвей отростков построенного скелета линий дополнительно выполняется фильтрация отростков. Длина отростка скелета линии рассчитывается как корень из суммы квадратов разностей между значениями координат по осям абсцисс и ординат для точек, представляющих начало скелета линии и ближайшую к нему точку ветвления. Если это расстояние меньше заданного порогового значения, то отросток скелета удаляется.

Представление данных O. Для представления результатов выделения структурных элементов – линий – на исходное изображение сверху наносится рисунок построенного скелета после фильтрации. В результате можно сравнить одновременно обработанное изображение и исходное, также можно сохранять обработанное изображение в файл.

Экспериментальное исследование. Исследовали 80 изображений новообразований, полученных от специалистов Российского общества дерматоскопии и оптической диагностики кожи. Цель эксперимента: оценить эффективность цифровой обработки дерматоскопических изображений новообразований кожи с применением предложенной модели выделения структурных элементов – линий.

В ходе эксперимента выбраны четыре ($N=4$) группы визуально различаемых типов изображений: 1 – изображения с преобладанием розового цвета на новообразовании и вокруг него (зачастую краснота обусловлена присутствием линий сосудов); 2 – изображения со «смазанным» рисунком структурных элементов линий; 3 – изображения новообразований, имеющих тёмно-коричневый пигмент в центре, совпадающий с цветом линий (слабоконтрастные линии); 4 – изображения группы новообразований с окраской бежевого оттенка без красноты и контрастными линиями. В ходе эксперимента подбирали параметры модели – размер окрестности адаптивной бинаризации и смещение яркости для адаптивного порога. Для гарантированного выделения линий разной толщины размер окрестности в пикселах выбран как удвоенная толщина самой толстой линии в выборке изображений плюс единица. Для трёх типов рассматриваемых изображений из четырёх смещение яркости оказалось одинаковым и равным трём градациям яркости. Для выделения области новообразования на изображении использован единый порог: пикселы с яркостью меньше этого порога относятся к области новообразования. Результаты приведены в табл. 1.

Точность выделения линий Acc оценена по формуле

$$Acc = TP / (TP + FP + FN) \cdot 100,$$

где TP – число правильно выделенных линий; FP – число ложно выделенных линий; FN – число пропущенных при выделении линий.

Таблица 1

Параметры модели для четырёх групп изображений

Параметр	1	2	3	4
Размер окрестности, пиксела	29	43	27	39
Смещение яркости, градации яркости	3	3	2	3
Единый порог, пиксела	98	148	154	120

Таблица 2

Результаты эксперимента по выделению линий для четырёх групп изображений

N	TP	FN	FP	$Acc, \%$
1	67	6	2	89
2	631	15	12	96
3	715	16	10	96
4	117	12	0	91

Показатели точности для выбранных параметров представителей групп изображений представлены в табл. 2. Для группы 1 характерна высокая точность выделения пигментных линий. В группе 2 точность выделения пигментных линий значительно различается между областями сильной и слабой пигментации. При этом общая точность выделения меньше, чем у других групп изображений, ввиду нечётких линий, слабо контрастирующих с новообразованием. Для изображений из группы 3 характерно выделение линий только на периферии новообразования ввиду их достаточного контраста, поскольку в тёмном центре новообразования линии сливаются с фоном. В группе 4 наблюдается большая (по сравнению с данными для других групп) точность выделения линий, что обусловлено высокой контрастностью как новообразования и фона, так структурных элементов новообразования. Пример изображения группы 4 с наложенным на него скелетом выделенных линий приведён на рисунке.

Точность выделения линий на всех изображениях без разделения их на группы составила 95 %.



Пример изображения из группы 4 с наложенными скелетами линий по завершению работы программы выделения линий на дерматоскопических изображениях новообразований кожи

An example of an image of group 4 with superimposed skeletons of lines at the end of the program for line selection on dermoscopic images of skin neoplasms

Заключение. Предложенная модель для выделения структурных элементов – линий – на дерматоскопических изображениях кожи основана на применении операций бинаризации, дилатации, эрозии, повторной дилатации, скелетизации и фильтрации ложных отростков. Новым в данной модели является сочетание и последовательность применяемых операций. В качестве метода скелетизации использован алгоритм Зонга-Суня. Адекватность модели для выделения линий проверена экспериментально по 80 дерматоскопическим изображениям новообразований кожи, разделённым на четыре группы. Определены оптимальные параметры модели. Итоговая точность выделения линий составила 95 %. В рамках дальнейших исследований необходимо исследовать возможности оценки характеристик выделенных линий с целью диагностики меланомы.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-11-00176).

Список литературы

1. Эберт М. А., Гафтон Г. И., Зиновьев Г. В., Гафтон И. Г. Современный взгляд на диагностику меланомы кожи // Вопросы онкологии. 2019. Т. 65. № 5. С. 638–644. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2019-65-5-638-644>
2. Zhuchkov M. V., Sharova N. M., Bol'shakova E. E., Sonin D. B., *Consilium Medicum*, 2020, vol. 22, no. 7, pp. 38–41.
3. Kudrin K. G., Rimskaya E. N., Apollonova I. A., Nikolaev A. P., Chernomyrdin N., Svyatoslavov D. S., Davydov D. V., Reshetov I. V., *Optics and Spectroscopy*, 2020, vol. 128, no. 6, pp. 820–831. <https://doi.org/10.1134/S0030400X20060132>
4. Kulik S., Shtanko A., *Procedia Computer Science*, 2020, vol. 169, pp. 164–167. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.129>
5. Prilipsky R. E., Zaeva M. A., *Procedia Computer Science*, 2020, vol. 169, pp. 96–99. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.120.19>
6. Marchetti M. A., Liopyris K., Dusza S. W., Codella N. C., Gutman D. A., Helba B., Kalloo A., Halpern A. C., Soyer H. P., Curiel-Lewandrowski C., Caffery L., Malvey J., *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2020, vol. 82, no. 3, pp. 622–627. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2019.07.016>
7. Amelard R., Glaister J., Wong A., Clausi D. A., *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2014, vol. 62, no. 3, pp. 820–831. <https://doi.org/10.1109/TBME.2014.2365518>
8. Oliveira R. B., Papa J. P., Pereira A. S., Tavares J., *Neural Comput. & Applic.*, 2018, vol. 29, no. 3, pp. 613–636. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2482-6>
9. Munir K., Elahi H., Ayub A., Frezza F., Rizzi A., *Cancers*, 2019, vol. 11, no. 9, p. 1235. <https://doi.org/10.3390/cancers11091235>
10. Masood A., Ali Al-Jumaily A., *International journal of bio-medical imaging*, 2013, vol. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/323268>
11. Inskip M., Cameron A., Akay B. N., Gorji M., Clark S. P., Rosendahl N., Coetzer-Botha M., Kittler H., Rosendahl C., *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 2020, vol. 18, no. 9, pp. 969–976. <https://doi.org/10.1111/ddg.14220>
12. Kittler H., Rosendahl C., Cameron A., Tschandl P., *Dermatoscopy. An algorithmic method based on pattern analysis*, Facultas Publishing AG, 2018.

13. Жучков М. В., Булиньска А. К., Кимтлер Г. Применение алгоритма «Хаос и Признаки» в оценке дерматоскопических изображений пигментных новообразований кожи // Дерматология (Приложение к журналу Consilium Medicum). 2017. № 2. С. 5–13.

14. Кудрина М. А. Использование преобразования Хафа для обнаружения прямых линий и окружностей на изображении // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. №. 4 (2). С. 476–478.

15. Зотин А. Г., Борисов Ю. В., Лисица А. С. Сравнительный анализ методов формирования контурных представлений для поиска линий на основе метода Хафа // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнёва. 2013. Т. 47. № 1. С. 24–30.

16. Ильсоева Н. Ю., Корепанов А. О., Чукулаев П. М. Метод выделения центральных линий кровеносных сосудов на диагностических изображениях // Компьютерная оптика. 2006. № 29. С. 146–150.

17. Taouil K., Romdhane N. B., *Proceedings of 2nd International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications*, Penang, Malaysia, 15–17 May 2006, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1109/DFMA.2006.296918>

18. Taouil K., Romdhane N. B., Bouhlef M. S., *Proceedings of 2nd International Conference on Information & Communication Technologies*, Damascus, Syria, 24–28 April 2006, vol. 1, pp. 212–220. <https://doi.org/10.1109/ICTTA.2006.1684373>

19. Fischer S., Schmid P., Guillo J., *Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing*, Lausanne, Switzerland, 19 Sept. 1996, vol. 1, pp. 323–326. <https://doi.org/10.1109/ICIP.1996.559416>

20. Fleming M. G., Steger C., Zhang J., Gao J., Cognetta A. B., Dyer C. R., *Computerized medical imaging and graphics*, 1998, vol. 22, no. 5, pp. 375–389.

21. Grana C., Cucchiara R., Pellacani G., Seidenari S., *Proceedings of 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, Hong Kong, 20–24 Aug., 2006, vol. 2, pp. 275–278. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2006.764>

22. Anantha M., Moss R. H., Stoecker W. V., *Comput. Med. Imaging Graph.*, 2004, vol. 28, no. 5, pp. 225–234.

23. Sadeghi M., Razmara M., Ester M., Lee T. K., Atkins M. S., *Medical Imaging 2010: Image Processing. International Society for Optics and Photonics*, 2010, vol. 7623, pp. 762312.

24. Sadeghi M., Razmara M., Lee T. K., Atkins M. S., *Comput. Med. Imaging Graph.*, 2011, vol. 35, no. 2, pp. 137–143.

25. Гришанов К. М., Белов Ю. С. Морфологические операции для уменьшения шума на изображении // Наука, техника и образование: сетевой журнал. 2016. № 2. С. 90–95. URL: <https://nto-journal.ru/catalog/informacionnye-texnologii/177/> (дата обращения: 10.02.2021).

26. Zhang T. Y., Suen C. Y., *Communications of the ACM*, 1984, vol. 27, no 3, pp. 236–239.

References

1. Ebert M. A., Gafton G. I., Zinovev G. V., Gafton I. G., *Problem in oncology*, 2019, vol. 65, no. 5, pp. 638–644. (In Russ.) <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2019-65-5-638-644>

2. Zhuchkov M. V., Sharova N. M., Bol'shakova E. E., Sonin D. B., *Consilium Medicum*, 2020, vol. 22, no. 7, pp. 38–41.
3. Kudrin K. G., Rimskaya E. N., Apollonova I. A., Nikolaev A. P., Chernomyrdin N., Svyatoslavov D. S., Davydov D. V., Reshetov I. V., *Optics and Spectroscopy*, 2020, vol. 128, no. 6, pp. 820–831. <https://doi.org/10.1134/S0030400X20060132>
4. Kulik S., Shtanko A., *Procedia Computer Science*, 2020, vol. 169, pp. 164–167. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.129>
5. Prilipsky R. E., Zueva M. A., *Procedia Computer Science*, 2020, vol. 169, pp. 96–99. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.02.120.19>
6. Marchetti M. A., Liopyris K., Dusza S. W., Codella N. C., Gutman D. A., Helba B., Kalloo A., Halpern A. C., Soyer H. P., Curiel-Lewandrowski C., Caffery L., Malvey J., *Journal of the American Academy of Dermatology*, 2020, vol. 82, no. 3, pp. 622–627. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2019.07.016>
7. Amelard R., Glaister J., Wong A., Clausi D. A., *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2014, vol. 62, no. 3, pp. 820–831. <https://doi.org/10.1109/TBME.2014.2365518>
8. Oliveira R. B., Papa J. P., Pereira A. S., Tavares J., *Neural Comput. & Applic.*, 2018, vol. 29, no. 3, pp. 613–636. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2482-6>
9. Munir K., Elahi H., Ayub A., Frezza F., Rizzi A., *Cancers*, 2019, vol. 11, no. 9, p. 1235. <https://doi.org/10.3390/cancers11091235>
10. Masood A., Ali Al-Jumaily A., *International journal of biomedical imaging*, 2013, vol. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/323268>
11. Inskip M., Cameron A., Akay B. N., Gorji M., Clark S. P., Rosendahl N., Coetzer-Botha M., Kittler H., Rosendahl C., *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 2020, vol. 18, no. 9, pp. 969–976. <https://doi.org/10.1111/ddg.14220>
12. Kittler H., Rosendahl C., Cameron A., Tschandl P., *Dermatoscopy. An algorithmic method based on pattern analysis*, Facultas Publishing AG, 2018.
13. Zhuchkov M.V., Bulinska A.K., Kittler H., *Dermatoscopy (Suppl. Consilium Medicum)*, 2017, no. 2, pp. 5–13. (In Russ.)
14. Kudrina M. A., *Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 16, no. 4 (2), pp. 476–478. (In Russ.)
15. Zotin A. G., Borisov Yu. V., Lisitsa A. S., *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M. F. Reshetneva*, 2013, vol. 47, no. 1, pp. 24–30. (In Russ.)
16. Ilyasova N. Yu., Korepanov A. O., Chikulaev P. M., *Computer optics*, 2006, no. 29, pp. 146–150. (In Russ.)
17. Taouil K., Romdhane N. B., *Proceedings of 2nd International Conference on Distributed Frameworks for Multimedia Applications*, Penang, Malaysia, 15–17 May 2006, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1109/DFMA.2006.296918>
18. Taouil K., Romdhane N. B., Bouhlef M. S., *Proceedings of 2nd International Conference on Information & Communication Technologies*, Damascus, Syria, 24–28 April 2006, vol. 1, pp. 212–220. <https://doi.org/10.1109/ICTTA.2006.1684373>
19. Fischer S., Schmid P., Guilloid J., *Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing*, Lausanne, Switzerland, 19 Sept. 1996, vol. 1, pp. 323–326. <https://doi.org/10.1109/ICIP.1996.559416>
20. Fleming M. G., Steger C., Zhang J., Gao J., Cognetta A. B., Dyer C. R., *Computerized medical imaging and graphics*, 1998, vol. 22, no. 5, pp. 375–389.
21. Grana C., Cucchiara R., Pellacani G., Seidenari S., *Proceedings of 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, Hong Kong, 20–24 Aug., 2006, vol. 2, pp. 275–278. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2006.764>
22. Anantha M., Moss R. H., Stoecker W. V., *Comput. Med. Imaging Graph.*, 2004, vol. 28, no. 5, pp. 225–234.
23. Sadeghi M., Razmara M., Ester M., Lee T. K., Atkins M. S., *Medical Imaging 2010: Image Processing. International Society for Optics and Photonics*, 2010, vol. 7623, pp. 762312.
24. Sadeghi M., Razmara M., Lee T. K., Atkins M. S., *Comput. Med. Imaging Graph.*, 2011, vol. 35, no. 2, pp. 137–143.
25. Grishanov K. M., Belov Yu. S., *Nauka, tehnika, obrazovanie*, 2016, no. 2, pp. 90–95, available at: URL: <https://nto-journal.ru/catalog/informacionnye-texnologii/177/> (accessed: 10.02.2021). (In Russ.)
26. Zhang T. Y., Suen C. Y., *Communications of the ACM*, 1984, vol. 27, no. 3, pp. 236–239.

Статья поступила в редакцию 20.05.2021; принята к публикации 16.06.2021.