

5. *Moorthy K., Munz Y., Sarker S.K., Darzi A.* Objective assessment of technical skills in surgery // *The BMJ*. 2003. Vol. 327. № 7422. PP. 1032-1037.
6. DataGlove. Project «Internet & Really» / [http://really.ru/index.php?id=57&Itemid=58&option=com\\_content&task=view](http://really.ru/index.php?id=57&Itemid=58&option=com_content&task=view) (дата обращения: 22.07.2015).
7. *Datta V., Chang A., Mackay S., Darzi A.* The relationship between motion analysis and surgical technical assessments // *The American Journal of Surgery*. 2002. Vol. 184. № 1. PP. 70-73.
8. *Smith S.G.T., Torkington J., Brown T.J., Taffinder N.J., Darzi A.* Motion analysis // *Surgical Endoscopy*. 2002. Vol. 16. № 4. PP. 640-645.
9. *Grober E.D., Roberts M., Shin E.J., Mahdi M., Bacal V.* Intraoperative assessment of technical skills on live patients using economy of hand motion: Establishing learning curves of surgical competence // *The American Journal of Surgery*. 2010. Vol. 199. № 1. PP. 81-85.
10. *Groeger M., Arbter K., Hirzinger G.* Motion tracking for minimally invasive robotic surgery // *Medical Robotics*. InTech. 2008. PP. 117-148.
11. *Авербух В.Л., Авербух Н.В., Стародубцев И.С., Тоболин Д.Ю.* Использование жестовых интерфейсов при взаимодействии с объектами // *Научная перспектива*. 2014. № 10. С. 57-66.
12. *Makris A., Kyriazis N., Argyros A.A.* Hierarchical particle filtering for 3d hand tracking / *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 7-12 June 2015. Boston, MA. 2015. PP. 8-17.
13. *Zhang Z., Huang F., Tan L.* Robust Hand Tracker Using Joint Temporal Weighted Histogram Features / *Proceedings of the 4th International Conference on Computer Engineering and Networks*. 19-20 July, 2015. Shanghai, China. Springer, Cham, 2015. PP. 201-208.
14. Student. The probable error of a mean // *Biometrika*. 1908. Vol. 6. № 1. PP. 1-25.
15. *Sharp T. et al.* Accurate, robust, and flexible real-time hand tracking / *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. 18-23 April 2015, Seoul, Korea. ACM, 2015. PP. 3633-3642.
16. *Kuronen T., Eerola T., Lensu L., Takatalo J., Häkkinen J., Kalviainen H.* High-speed hand tracking for studying human-computer interaction / *Proceedings of the 19th Scandinavian Conference, SCIA 2015*. 15-17 June, 2015. Copenhagen, Denmark. Springer, Cham, 2015. PP. 130-141.
17. *Sridhar S., Oulasvirta A., Theobalt C.* Fast tracking of hand and finger articulations using a single depth camera // *Tech. Report MPI-I-2014-4-002*. MPI Informatik. 2014. 14 p.
18. *Wachs J.P., Stern H.I., Edan Y., Gillam M., Handler J., Feied C., Smith M.* A gesture-based tool for sterile browsing of radiology images // *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2008. Vol. 15. № 3. PP. 321-323.
19. *Kang S.K., Nam M.Y., Rhee P.K.* Color based hand and finger detection technology for user interaction / *Proceedings of the ICHIT 2008: International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology*. 28-29 August, 2008. Daejeon, Korea. IEEE, 2008. PP. 229-236.
20. *Саврасов Г.В., Беликов Н.В., Гусаров С.Г., Аверин С.В.* Экспериментальное исследование рабочей зоны при выполнении роботизированных сосудистых операций / *Научный семинар «Медицинские, технические и технологические аспекты фундаментальных проблем роботехнологии»*. 20 декабря 2013 г., Москва. Сборник докладов. – М.: Информ-Право, 2014. С. 84-91.
21. *Шапиро Л., Стокман Дж.* Компьютерное зрение / Пер. с англ. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. 752 с.
22. *Покровский А.В., Саврасов Г.В.* Тенденции развития технологий ультразвуковой хирургии сосудов / В кн.: *Ультразвуковая ангиохирургия*. Сб. научн. работ. – Кострома: ДиАр, 2004. С. 5-22.
23. *Батанов А.Ф., Саврасов Г.В., Башлай А.П., Гусаров С.Г.* Многофункциональный манипулятор-ассистент хирурга // *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2014. № 10. С. 21-29.

*Геннадий Викторович Саврасов,  
д-р техн. наук, профессор,  
Никита Владимирович Беликов,  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра БМТ-1,  
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ)»,  
г. Москва,  
e-mail: belikovnv@bmstu.ru*

*В.Г. Никитаев, А.Н. Проничев, О.Б. Тамразова, В.Ю. Сергеев,  
М.А. Соломатин, Л.С. Круглова, В.С. Козлов, Е.А. Дружинина*

## **Модель распознавания дерматоскопических точек на изображениях новообразований кожи**

### **Аннотация**

Рассмотрены проблемы поиска структурных элементов меланоцитарных новообразований, в том числе меланомы кожи на ранней стадии заболевания, посредством компьютерной диагностики. Рассмотрены также характерные признаки структурных элементов – дерматоскопических точек, и разработан метод их распознавания. Данная разработка, созданная на стыке медицины и технологий компьютерного зрения, носит междисциплинарный характер и может использоваться при диагностике онкологических заболеваний кожного покрова как средство поддержки принятия решений для первичной профилактики злокачественных новообразований.

### **Введение**

Меланома кожи – агрессивное злокачественное образование, развивающееся из меланоцитов. Данные клетки продуцируют пигмент меланин и отвечают за цвет кожи, способность к загару и образование невусов (родинок). В течение последних десятилетий наблюдается неуклонный рост заболеваемости меланомой. Так, по данным авторов обзора [1], средний годовой рост числа заболевших у европеоидной расы составляет 3...7 %.

Из-за особенностей данного новообразования своевременная диагностика крайне важна для успешного лечения. На начальных этапах заболевания можно удалить опухоль, тем самым предотвратив развитие болезни. Плюрализм диагностических подходов среди специалистов порождает проблемы неоднозначности постановки диагноза. Применение информационных технологий позволит кардинальным образом уменьшить субъективные факторы в деятельности врача.

Известны различные медицинские алгоритмы в диагностике меланомы [2]-[7]. Примером классических алгоритмов

является алгоритм ABCD [4], [5], основанный на анализе асимметрии границ, цвета и размеров меланомы кожи. В числе современных алгоритмов диагностики меланомы отметим алгоритм Киттлера [6], [7]. Значимыми структурными элементами в алгоритмах диагностики меланомы, предложенных Аргентиано, Киттлером, Мензисом и другими авторами, являются дерматоскопические точки [4], [6], [7]. Сами точки на цифровых изображениях представляют собой округлую область диаметром до нескольких пикселей, отличающуюся по яркости и цвету от окружающей поверхности. Авторы публикаций [6], [7] выделяют различные типы множественных черных, коричневых, а также сине-серых точек.

Известен ряд примеров систем компьютерной диагностики меланомы, основанных на вышеуказанных диагностических методах и предложенных авторами алгоритмах [8]-[16].

Активно проводятся исследования в области применения искусственных нейронных сетей для диагностики новообразований кожи [8], [9]. В то же время отмечается, что для врачей-диагностов решения, полученные по итогам обработки изображений с применением нейронных сетей, не являются достаточно обоснованными (они «непрозрачны»), что у ряда специалистов вызывает недоверие к полученным результатам.

Обзор литературы по данной теме показал недостаточную исследованность вопросов распознавания дерматоскопических точек на изображениях новообразований кожи. Сведения на этот счет весьма скудны.

**Цель работы** – разработка модели распознавания дерматоскопических точек на изображениях новообразований кожи.

#### Материалы и методы

Концептуальную модель  $M_c$  распознавания дерматоскопических точек на изображениях новообразований кожи в терминах теории множеств задает кортеж

$$M_c = \langle I_{вх}, PR, Seg, Wr, K, I_{вых} \rangle,$$

где  $I_{вх}$  – входное дерматоскопическое изображение новообразования кожи;  $PR$  – предобработка входного изображения;  $Seg$  – сегментация изображений – выделение областей, потенциально относящихся к дерматоскопическим точкам;  $Wr$  – описание выделенных объектов;  $K$  – классификация выделенных объектов (отнесение к дерматоскопическим точкам или к прочим объектам);  $I_{вых}$  – выходное изображение с выделенными дерматоскопическими точками.

#### Входное дерматоскопическое изображение новообразования кожи $I_{вх}$

Получено с цифрового дерматоскопа РДС-2 и содержит область новообразования кожи, которая исследуется на предмет наличия меланомы. Формат изображения  $2560 \times 1920$  пикселей, глубина кодирования 24 бит (8 бит на каждую из компонент цветовой модели RGB). Масштаб изображения – 5,2 мкм/пиксель.

#### Предобработка изображения $PR$

Модель предобработки задается кортежем

$$PR = \langle P, Q, I_{pr} \rangle,$$

где  $P$  – модель подавления помех, имеющихся на входном изображении  $I_{вх}$ ;  $Q$  – модель уменьшения шумов;  $I_{pr}$  – фильтрованное изображение (выходное) в результате предобработки.

Наш опыт в области предобработки изображений в системах медицинской диагностики показал высокую эффективность методов медианной и сглаживающей фильтрации.

#### Модель подавления помех $P$

Под помехами понимаются одиночные резкие изменения сигнала (импульсные помехи). Подавление помех выполняется путем применения медианного фильтра с размером окна  $3 \times 3$  пикселя.

#### Модель уменьшения шума $Q$

Шумом считается случайное изменение сигнала в каждом пикселе изображения. Уменьшение шума выполняется методом сглаживающей фильтрации:

$$V_{pr}(i, j) = \sum_{k=0}^{2n} \sum_{t=0}^{2n} V_m \frac{(i-n+k, j-n+t)}{(2n+1)^2}.$$

Размер маски фильтра определяется параметром  $n$ . В нашем случае  $n = 1$ .

#### Сегментация изображений $Seg$

Представляет собой выделение областей, потенциально соответствующих дерматоскопическим точкам. Выполняется с применением процедуры бинаризации изображений по следующей модели, задаваемой кортежем  $Seg$ :

$$Seg = \langle Scan, Por, Bin, I_{seg} \rangle,$$

где  $Scan$  – сканирование изображения после предобработки;  $Por$  – определение порога бинаризации;  $Bin$  – операция бинаризации;  $I_{seg}$  – сегментированное изображение (выходное).

В результате сегментации изображения каждый пиксель должен быть отнесен к одному из двух типов: фону или объекту. В этой связи применяется алгоритм попиксельного сканирования дерматоскопического изображения.

Для каждого пикселя в процессе указанного просмотра выполняется операция бинаризации. Причем каждому пикселю приписывается новый цвет – черный (фон) либо белый (объект).

Критерий разделения на фон и объект задается порогом яркости, автоматически адаптируемым к яркостям пикселей окрестности рассматриваемого пикселя. Размеры окрестности определяются экспериментально, в нашем случае это  $17 \times 17$  пикселей. Для этих пикселей находится полусумма  $Avg$

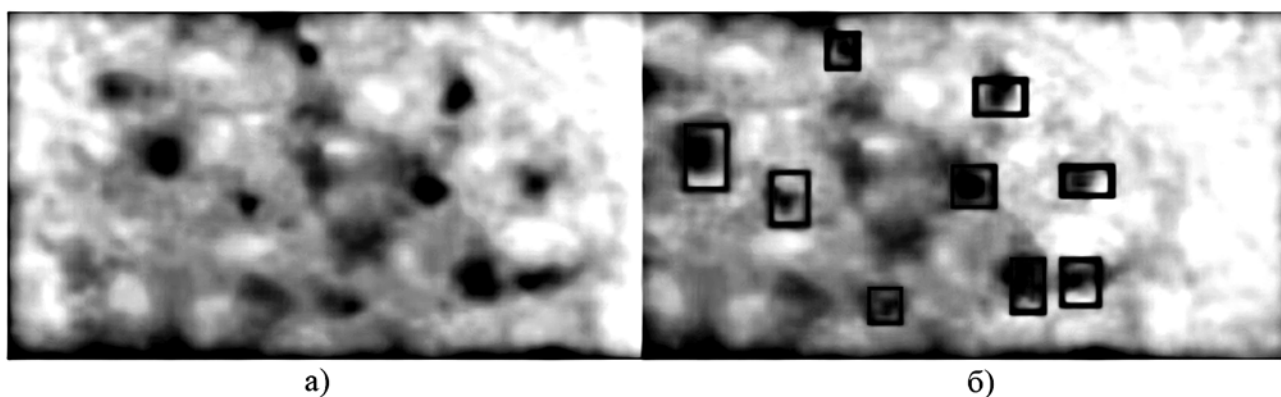


Рис. 1. Область изображения с дерматоскопическими точками: а) до программной обработки (исходное изображение); б) после программной обработки с применением аппарата распознавания

максимальной и минимальной интенсивности компоненты  $V$  цветовой модели HSV. Бинаризация проводится по следующему правилу. Если  $V > Avg - E$ , то пикселю присваивается значение интенсивности фона, в противном случае – интенсивности объекта. Здесь  $V$  соответствует значению пикселя в центре окна,  $E$  – константа, заданная пользователем.

### Описание выделенных объектов $Wr$

Описание сегментированной области выполняется с применением многомерного вектора признаков:

$$X = \{D, ClrR, ClrG, ClrB, Pg, Dif\},$$

где  $D$  – минимальный диаметр круга, полностью закрывающего область;  $ClrR, ClrG, ClrB$  – минимальные значения компонент  $R, G, B$  цветовой модели RGB среди всех пикселей области;  $Pg$  – минимальный из перепадов яркости между граничными пикселями выделенной области;  $Dif$  – разность между максимальной и минимальной яркостью пикселей выделенного объекта.

На изображении определяется местоположение центра масс объекта, относительно которого строится круг с радиусом, равным расстоянию от центра до наиболее удаленной от центра точки контура выделенной области. Диаметр построенного круга принимается за  $D$  в модели признаков.

### Классификация

Отнесение каждого из выделенных объектов к дерматоскопическим точкам или к прочим объектам выполняется по следующему правилу классификации, полученному экспериментально:

если  $D < 15, ClrR < 60, ClrG < 45, ClrB < 45, Pg < 9, Dif < 30$ , то выделенный объект является дерматоскопической точкой.

### Эксперимент

Цель эксперимента – выявление опытным путем дерматоскопических точек на изображениях новообразований кожи и оценка точности их обнаружения. Начальные условия эксперимента: в качестве исходных данных использовался набор из 116 медицинских клинических дерматоскопических изображений с установленным диагнозом. Изображения взяты из архива Научно-исследовательского центра «Клиника дерматологии».

Для проведения эксперимента была разработана программа, реализующая предложенную модель распознавания дерматоскопических точек. Программа написана на языке C++ в среде разработки Qt.

### Методика проведения эксперимента

Эксперимент выполнялся в соответствии со следующими этапами:

- выделение объектов, распознанных программой как дерматоскопические точки;
- сравнение обработанных изображений и экспертных описаний;
- подсчет истинно положительных ( $TP$ ) и ложноотрицательных ( $FN$ ) результатов.

Оценка диагностической эффективности предложенной концептуальной модели распознавания дерматоскопических точек на изображениях новообразований кожи осуществляется с применением критерия «чувствительность диагностического теста». Данный критерий определяется долей правильно выделенных дерматоскопических точек среди общего числа дерматоскопических точек  $Sens = TP / (TP + FN)$ , где  $TP$  – истинно положительный результат теста;  $FN$  – ложноотрицательный результат теста.

### Анализ результатов

На рис. 1а, б представлена область изображения, содержащая дерматоскопические точки, до и после программной обработки с применением аппарата распознавания. В приведен-

ном примере все выделенные программой точки в качестве дерматоскопических отмечены правильно.

Анализ результатов эксперимента показал, что чувствительность теста по выявлению дерматоскопических точек составила 93 %.

### Заключение

Настоящая статья посвящена разработке модели распознавания дерматоскопических точек на изображениях новообразований кожи. Проанализированы современные подходы к поиску и распознаванию точек, являющихся одними из важнейших структурных элементов пигментных новообразований при диагностике меланомы кожи. Предложена новая модель поиска точек, которая, в отличие от популярных нейросетевых моделей, является понятной и «прозрачной» для врачей. Для проверки адекватности предложенной модели была разработана компьютерная программа и проведен эксперимент. В эксперименте было использовано 116 предварительно описанных экспертом-дерматологом изображений. Чувствительность диагностического теста составила 93 %. В дальнейших исследованиях целесообразно рассмотреть дополнительные информативные признаки дерматоскопических точек для повышения чувствительности диагностического теста.

*Работа выполнена при поддержке РФФ 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. Тамразова О.Б., Сергеев В.Ю., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Сергеев Ю.Ю. Невусы у детей (часть 1). Эпидермальные невусы: клиническая картина, диагностика, лечение // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2020. Т. 99. № 3. С. 252-259.
3. Тамразова О.Б., Сергеев В.Ю., Никитаев В.Г., Проничев А.Н., Сергеев Ю.Ю. Невусы у детей (часть 2). Эпидермальные невусы: клиническая картина, диагностика, лечение // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2020. Т. 99. № 3. С. 187-194.
4. Argenziano G., Fabbrocini G., Carli P., De Giorgi V., Sammarco E., Delfino M. Epiluminescence microscopy for the diagnosis of doubtful melanocytic skin lesions: Comparison of the ABCD rule of dermatoscopy and a new 7-point checklist based on pattern analysis // Archives of Dermatology. 1998. Vol. 134. № 12. PP. 1563-1570.
5. Ламоткин И.А. Меланоцитарные и меланиновые поражения кожи. Атлас / Уч. пособие. – М.: Издательство «БИНОМ», 2014. С. 248.
6. Жучков М.В., Булиньска А.К., Кумтлер Г. Применение алгоритма «Хаос и Признаки» в оценке дерматоскопических изображений пигментных новообразований кожи // Дерматология. Приложение к журналу «Consilium Medicum». 2017. № 2. С. 5-13.
7. Kittler H., Guitera P., Riedl E., Avramidis M., Teban L., Fiebiger M., Weger R.A., Dawid M., Menzies S. Identification of clinically featureless incipient melanoma using sequential dermoscopy imaging // Archives of Dermatology. 2006. Vol. 142. № 9. PP. 1113-1119.
8. Alzahrani S., Al-Nuaimy W., Al-Bander B. Seven-Point Checklist with Convolutional Neural Networks for Melanoma Diagnosis / 8th European Workshop on Visual Information Processing (EUVIP) IEEE. 2019. PP. 211-216.
9. Grochowski M., Mikolajczyk A., Kwasigroch A. Diagnosis of malignant melanoma by neural network ensemble-based system utilising hand-crafted skin lesion features // Metrology and Measurement Systems. 2019. Vol. 26. № 1. PP. 65-80.
10. Левчук В.А., Ковалев В.А., Баркалин В.В., Лозовский В.Э. Компьютеризированная диагностика меланомы на базе поиска похожих дерматоскопических изображений в базе дан-

- ных // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2016. № 2. С. 86-91.
11. Кудрин К.Г., Римская Е.Н., Аполлонова И.А., Николаев А.П., Черномырдин Н.В., Святославов Д.С., Давыдов Д.В., Решетов И.В. Ранняя диагностика меланомы кожи с применением нескольких изображающих систем // Оптика и спектроскопия. 2020. Т. 128. № 6. С. 820-831.
  12. Druzhinina E.A., Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Shabalova I.P., Selchuk V.Yu., Dmitrieva V.V., Polyakov E.V., Dzhangirowa T.V., Mozerov S.A. Artificial intelligence systems for doctors training // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing. 2020. Vol. 1439. № 1. P. 012030.
  13. Barata C., Celebi M.E., Marques J.S. Development of a clinically oriented system for melanoma diagnosis // Pattern Recognition. 2017. Vol. 69. PP. 270-285.
  14. Codella I N., Rotemberg V., Tschandl P., Celebi M.E., Dusza S., Gutman D., Helba B., Kalloo A., Liopyris K., Marchetti M., Kittler H., Halpern A. Skin Lesion Analysis Toward Melanoma Detection 2018: A Challenge Hosted by the International Skin Imaging Collaboration (ISIC) // arXiv. 2019. № arXiv: 1902.03368. PP. 1-12.
  15. Nikitaev V.G., Pronichev A.N., Kozyreva A.V., Polyakov E.V., Druzhinina E.A., Tamrazova O.B., Sergeev V.Y., Sergeev Y.Y. Automated Analysis of the Pigment Network in Dermatoscopic Images of Melanocytic Skin Tumors // Biomedical Engineering. 2019. Vol. 53. № 4. PP. 254-257.
  16. Никитаев В.Г., Нагорнов О.В., Проничев А.Н., Поляков Е.В., Дмитриева В.В., Зайцев С.М., Сельчук В.Ю., Тамразова О.Б., Сергеев В.Ю., Кобелев С.А., Козырева А.В., Скрипник А.С. Способ распознавания пигментных новообразований кожи / Патент RU2712919C1. 03.02.2020. Бюл. № 4.

*Валентин Григорьевич Никитаев,*  
д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой,  
кафедра компьютерных медицинских систем,  
*Александр Николаевич Проничев,*  
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»,  
*Михаил Андреевич Соломатин,*  
студент,  
кафедра компьютерных медицинских систем,  
ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский ядерный  
университет МИФИ»,  
*Лариса Сергеевна Круглова,*  
д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой,  
кафедра дерматовенерологии и косметологии,  
ФГБУ ДПО «Центральная государственная  
медицинская академия Управления делами  
Президента Российской Федерации»,  
*Владимир Сергеевич Козлов,*  
аспирант,  
*Екатерина Александровна Дружинина,*  
аспирантка,  
кафедра компьютерных медицинских систем,  
ФГАОУ ВО «Национальный  
исследовательский ядерный  
университет МИФИ»,  
г. Москва,  
e-mail: vgnikitayev@mephi.ru

**ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ,  
РУКОВОДИТЕЛЕЙ СЛУЖБ ИНФОРМАЦИИ И БИБЛИОТЕК!  
ПРЕДЛАГАЕМ ПОДПИСАТЬСЯ НА ИЗДАВАЕМЫЙ НАМИ ЖУРНАЛ  
«ПРИБОРЫ»  
НА 2021 ГОД.**

**Вы можете оформить льготную подписку через редакцию.  
Наши тел.: (495) 695-10-70, 695-10-71.  
Стоимость комплекта (12 номеров) – 14400 руб.**