

Диагностика меланомы с использованием нейронной сети Inception v3

Гаврилов Д.А., Мелерзанов А.В., Щелкунов Н.Н., Закиров Э.И.
gavrilou@gmail.com, m83071@gmail.com, shchelkunov.nn@mipt.ru, bonlimezak@gmail.com
Московский Физико-Технический институт (государственный университет)
Кафедра радиоэлектроники и прикладной информатики
Факультет биомедицинской физики

Меланома — один из самых опасных видов рака. Точность визуальной диагностики данного заболевания напрямую зависит от квалификации и специализации врача. Современное развитие технологий в области обработки изображений и машинного обучения позволяет создать системы на основе искусственных нейронных сверточных сетей, превосходящие человека в задачах классификации объектов, в том числе в случае диагностики злокачественных новообразований кожи. В настоящей работе представлен алгоритм ранней диагностики меланомы, основанный на использовании сверточной нейронной сети с архитектурой Inception.v.3. Предобученная нейронная сеть настраивалась на классификацию кожных заболеваний путем удаления верхних классифицирующих слоев и добавления новых нейронов для определения кожных заболеваний. В результате обеспечивается классификация доброкачественных и злокачественных новообразований кожи с точностью не менее 91% при просмотре дерматоскопических изображений.

Ключевые слова: глубокие сверточные нейросети, диагностика меланомы, техническое зрение, телемедицина.

Melanoma diagnosis by means transfer learning method for Inception v3 CNN

Gavrilov D.A., Melerzanov A.V., Shchelkunov N.N., Zakirov E.I.
gavrilou@gmail.com, m83071@gmail.com, shchelkunov.nn@mipt.ru, bonlimezak@gmail.com
Moscow Institute of Physics and Technology (State University)

Melanoma is one of the most virulent lesions of human's skin. The visual diagnosis accuracy of melanoma directly depends on the doctor's qualification and specialization. State-of-the-art solutions in the field of image processing and machine learning allows to create intelligent systems based on artificial convolutional neural network exceeding human's rates in the field of object classification, including the case of malignant skin lesions. This paper presents an algorithm for the early melanoma diagnosis based on artificial deep convolutional neural networks. The algorithm proposed allows to reach the classification accuracy of melanoma at least 91%.

Key words: deep convolutional neural networks, melanoma diagnosis, computer vision, telemedicine.

1. Введение

Меланома — злокачественная опухоль преимущественно кожной локализации, являющаяся на сегодняшний день одним из самых опасных видов рака. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) частота возникновения этого заболевания неуклонно растет из года в год [12]. Меланома вносит наибольший вклад в смертность от всех типов рака кожи и является одним из наиболее быстро количественно растущих типов рака среди всех видов онкологических заболеваний. Высокий уровень смертности при заболевании меланомой, как правило, объясняется поздней диагностикой заболевания. В то же время, при обнаружении на ранних стадиях, хирургическое лечение дает хорошие прогностические результаты и может обеспечить практически 100 % -ю выживаемость [13].

В борьбе со смертностью от меланомы на первый план выходит вторичная профилактика или превентивная медицина. Своевременные осмотры, терапия и контроль распространения рецидивов. По данным некоторых авторов, своевременное обнаружение и начало лечения

меланомы при регулярном самостоятельном или дерматологическом обследовании снижает смертность пациентов на 63% [1]. Особенно важно, что процент обнаружения меланомы, при использовании современных подходов и методик, зачастую незначительно отличается в случае самостоятельного обследования пациента (33%) от диагностики при осмотре профессиональным врачом в рамках общего обследования (36%) [5]. Таким образом, ответственный подход к самообследованию на предмет появления атипичных пигментных кожных образований может обеспечить высокие результаты первичной диагностики и, в случае необходимости, позволит пациенту своевременно обратиться за медицинской помощью.

Первичная диагностика меланомы, как правило, выполняется врачом визуально, в дальнейшем диагноз уточняется с помощью биопсии и морфологических исследований.

Современное развитие технологий в области обработки изображений и машинного обучения позволяет создавать системы на основе искусственных нейронных сверточных сетей, превосходящие человека в задачах

классификации объектов, в том числе при диагностике злокачественных новообразований кожи [6, 10]. Существуют алгоритмы автоматизированного компьютерного анализа дерматологических изображений, позволяющие определять границу, яркость, диаметр и симметрию пигментации [4] и, тем самым, обеспечивающие помощь врачам для повышения точности диагностики [3]. В последнее время активно ведется разработка систем, основанных на технологиях искусственного интеллекта, в частности сверточных нейросетях, и обеспечивающих возможность самостоятельного обнаружения злокачественных образований на ранней стадии [2]. Исследования показывают высокий потенциал применения нейросетевых технологий для диагностики новообразований кожи [6].

В настоящей работе представлена система ранней диагностики меланомы на основе искусственных глубоких сверточных нейронных сетей, позволяющая автоматически определять с точностью не менее 90% наличие злокачественных поражений кожи с учетом получения фотографий вне лабораторных условий: при различных вариантах освещения, угла съемки и разрешения средства для фотосъемки. При этом точность определения кожной меланомы сравнима с точностью диагностики данного заболевания врачами.

2. Методика

Понятие нейронной сети – математической модели, функционирующей в некоторой степени схожим образом с клетками мозга человека, известно с середины 20 века. Нейронные сети уже находили свое применение при решении различных задач, имели своих сторонников и противников, однако в последние 5 лет данная технология совершила революцию в области задач классификации изображений, превывсив не только результаты классических алгоритмов, но и качество классификации, демонстрируемое человеком.

Идея использования компьютерного зрения для решения задачи определения рака кожи возникла достаточно давно. Технологии компьютерного или технического зрения представляют собой комплекс методов, позволяющих производить обнаружение и классификацию различных объектов. Научные исследования, целью которых было улучшение дифференциальной диагностики меланомы с помощью применения компьютерных технологий и экспертных систем, проводятся во многих крупных центрах Германии, Австрии и других странах начиная с 1987 г. по предложению N. Cascinelli, президента Меланомной Программы ВОЗ (WHO Melanoma Program), в настоящее время преобразованной в World Melanoma Society. Продолжительное время результаты не были достаточно точными для применения на практике.

Основная проблема построения глубоких сверточных нейронных сетей заключается в том, что на данный момент не существует достаточной публичной выборки изображений, которые возможно было бы использовать для обучения системы и настройки моделей. Одним из самых крупных архивов изображений кожных новообразований является International Skin Imaging Collaboration (ISIC) [14]. Однако, представленные в архиве наборы данных содержат недостаточное количество требуемых изображений, представленные изображения получены при проведении реальных клинических исследований, поэтому могут быть частично зашумлены или содержать различные помехи (Рис. 1).

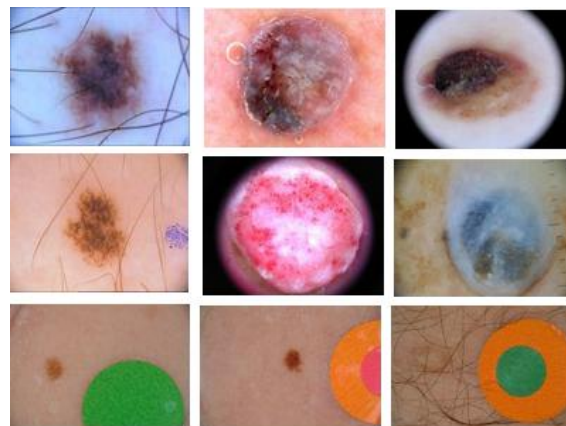


Рис. 1. Примеры помех на изображениях

Авторами были разработаны алгоритмы, позволяющие проводить анализ искаженных помехами изображений в условиях ограниченной выборки, вариабельности освещения и разброса в условиях съемки.

Для решения поставленной задачи использовался подход, известный как «перенос обучения» или transfer learning [11]. В данном случае не предусматривалось решение задачи обучения нейросети классификации кожных заболеваний с нуля.

В качестве модели была выбрана нейронная сеть с архитектурой Inception.v.3 (Рис. 2) [8, 9]. В сети Inception.v.3 использована техника пакетной нормализации Batch normalization. В архитектуре каждый блок из двух свёрток включает слой Batch Normalization между ними. Batch Normalization позволяет существенно ускорить процесс обучения нейронной сети за счет использования более высокого значения параметра скорости обучения (learning rate), а также снизить переобучение.

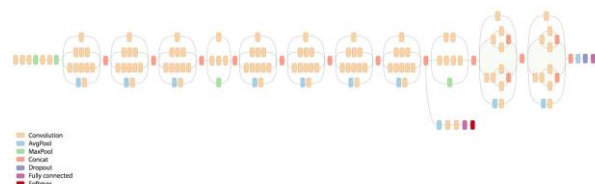


Рис. 2. Архитектура нейронной сети «Inception v.3» [17]

Inception.v.3 демонстрирует высокое качество классификации различных изображений в соревновании ILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge). Выбранная предобученная нейронная сеть обладает возможностью переучивания для последующего ее использования в качестве компонента более крупной сети. С помощью сети Inception.v.3 осуществлялась подготовка модели классификации изображений на данных архива ImageNet Challenge [7, 15].

Предобученная нейронная сеть настраивалась на классификацию кожных заболеваний путем удаления верхних классифицирующих слоев и добавления новых нейронов для определения кожных заболеваний. Использование предобученной на изображениях ImageNet сети обусловлено отсутствием достаточно большой обучающей выборки. Использование «переноса обучения» позволяет сократить объем обучающей выборки и время обучения сети. Обучение с нуля на недостаточно большой выборке могло привести к переобучению и невозможности дальнейшей качественной классификации на новых данных.

Впоследствии производилась перенастройка

полученной модели на обучающей выборке, включающей 10000 фотографий кожных образований, для обеспечения нейронной сети возможности различать тип кожного образования. С целью увеличения объема обучающей выборки количество исходных изображений было искусственно расширено до 1000000 путем аугментации данных с помощью различных искажений. Вносимые искажения включали в себя: случайные повороты в пределах 360° , зеркальные отражения, вырезание лишь части изображения, растяжение и сжатие по осям абсцисс и ординат с коэффициентом 0.1, масштабирование с коэффициентом 0.1, а также варианты изменения освещения.

Зачастую в выборке присутствуют изображения с интерференцией, кроме того искусственные искажения вносимые при аугментации исходных изображений включают, в том числе и интерференцию. Факторы интерференции и прочие искажения оказывают влияние на точность распознавания, однако, данное влияние не всегда имеет отрицательный характер. Следует обратить внимание, что точность работы сети возрастает с ростом обучающей выборки. Таким образом, сеть учится распознавать и искаженные изображения.

Неравномерность яркости изображений, разные расстояния камеры от объекта при съемке, в также различие размеров объектов на изображениях учитывались в обучающей выборке методом наращивания возможных вариаций.

Для контроля обучения использовалась тестовая выборка, изображения из которой не использовались при обучении алгоритма.

В общей сложности, для повышения качества распознавания и классификации, было обучено 5 сетей с одинаковой архитектурой, но имеющих разные веса. В дальнейшем все обученные нейросети были объединены в ансамбль моделей, обеспечивающих принятие решений мажоритарным голосованием.

Исходная выбранная модель Inception v.3 работала исключительно с изображениями разрешением не более 300×300 пикселей, что существенно меньше обычного размера дерматологических снимков. С учетом того, что для достоверной диагностики заболеваний крайне важными являются мелкие детали изображения, неразличимые при таком разрешении, в существующую модель были добавлены сверточные слои, позволяющие осуществлять классификацию на изображениях большего разрешения.

Доработанная модель позволяет проводить исследования дерматоскопических изображений разрешением до 700×700 пикселей.

В итоговой тестовой модели на вход алгоритма поступают изображения новообразований кожи, выполненные с помощью мобильного телефона в условиях дневного света. На выходе система выдает вероятность соответствия полученного изображения одному из 4 классов: меланома, невус, себорейный кератоз или другое заболевание.

3. Результаты

Основными критериями качества результата работы сети являлись площадь под кривой точности-полноты и итоговая вероятность обнаружения. В результате работы обеспечивается точность распознавания меланомы кожи более 91% с AUC-ROC 0.96 (ROC-кривая — график, позволяющий оценить качество бинарной классификации), что сопоставимо с результатами диагностики высококвалифицированных врачей. График AUC-ROC распознавания меланомы-невуса для ансамбля

моделей представлен на Рис. 3.

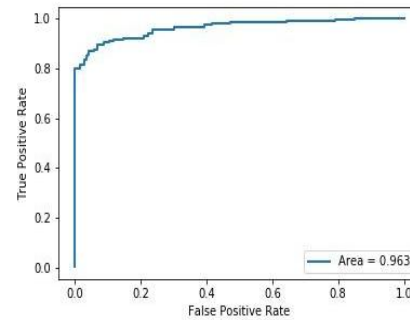


Рис. 3. График AUC-ROC распознавания меланомы-невуса для ансамбля моделей

Многообразие кожных новообразований, сложность их строения, сходство клинической картины различных форм поражений кожи обуславливает трудности визуального осмотра и диагностики даже у специалистов. С учетом того, что точность визуальной диагностики меланомы напрямую зависит от квалификации и специализации врача, а также от частоты встречаемости заболевания в его повседневной практике, в качестве дополнительной задачи разработанная модель позволяет отделять злокачественные новообразования от доброкачественных. Так, например, точность определения такого доброкачественного образования как себорейный кератоз по дерматологической фотографии составляет 97% и AUC-ROC 0.99.

Таким образом, предлагаемый алгоритм позволяет с уверенностью отличить меланому от себорейного кератоза, а также меланому от доброкачественного невуса. Пример классификации представлен на Рис. 4.

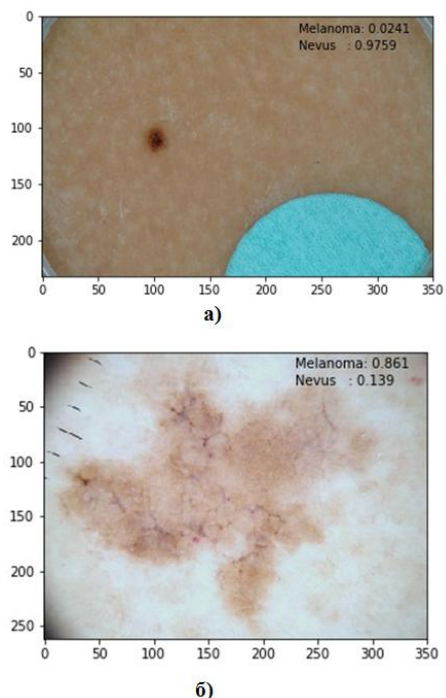


Рис. 4. Пример классификации а) невуса, б) меланомы

4. Заключение

Проведенная работа позволила создать сверточную нейронную сеть глубокого обучения для проведения автоматизированной диагностики кожных новообразований.

В ходе работ сформирована обучающая выборка,

включающая реальные фотоснимки кожных новообразований и изображения, полученные из исходных с помощью различных искажений. Уникальные алгоритмы аугментации вкупе с функциями потерь, являются основной авторской разработкой, позволяющей достичь высокого качества классификации кожных заболеваний при ограниченной обучающей выборке.

Разработанная модель позволяет проводить качественную диагностику меланомы кожи с точностью не менее 91%, что сравнимо с возможностями диагностики высококвалифицированного врача-дерматолога. Использование интеллектуальных систем такого типа для идентификации кожных заболеваний окажет существенную поддержку в постановке диагноза как дерматологам, так и врачам общей практики.

Система доступна в тестовом варианте по адресу **skincheckup.online**. Общедоступность данного проекта позволит широким массам населения осуществлять предварительную самодиагностику с помощью собственных фотоснимков.

Дальнейшее развитие предложенной модели может осуществляться в направлении создания встроенных систем, WEB- и мобильных приложений.

Разработка имеет большие перспективы применения в составе телемедицинских систем комплексного анализа здоровья человека.

Авторы выражают большой интерес к сотрудничеству в области создания прикладных систем технического зрения.

5. Литература

- Berwick M., Begg C.B., Fine J.A., Roush G.C., Barnhill R.L. Screening for cutaneous melanoma by skin self-examination // *J Natl Cancer Inst*. 1996. № 1 (88). С. 17–23.
- Esteva A. [и др.]. Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // *Nature*. 2017. № 7639 (542). С. 115–118.
- Fink C., Jaeger C., Jaeger K., Haenssle H.A. Diagnostic performance of the MelaFind device in a real-life clinical setting // *J Dtsch Dermatol Ges*. 2017. № 4 (15). С. 414–419.
- Gareau D.S., da Rosa J.C., Yagerman S., Carucci J.A., Gulati N., DeFazio J. L., Suárez- Fariñas M., Marghoob A., Krueger J.G. Digital imaging biomarkers feed machine learning for melanoma screening // *Experimental Dermatology*. 2017. (26). С. 615–618.
- Giorgi V., Grazzini M., Rossari S., Gori A., Papi F., Scarfi F. De Is skin self-examination for cutaneous melanoma detection still adequate? A retrospective study // *Dermatology*. 2012. № 1 (225). С. 1–6.
- Haenssle H.A., Fink C., Schneiderbauer R., Toberer F., Buhl T., Blum A., Kallouf A., Hassen A. B. H., Thomas L., Enk A., Uhlmann L. Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists // *Annals of Oncology*. 2018. № 8 (29). С. 1836–1842.
- Russakovsky O., Deng J., Su H., Krause J., Satheesh S., Ma S., Huang Z., Karpathy A., Khosla A., Bernstein M., Berg A.C., Fei-Fei L. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge // *International Journal of Computer Vision*. 2015. № 3 (115). С. 211–252.
- Shlens J. Train your own image classifier with Inception in TensorFlow [Электронный ресурс]. URL: <https://research.googleblog.com/2016/03/train-your-own-image-classifier-with.html> (дата обращения: 24.01.2018).
- Szegedy S. [и др.]. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision [Электронный ресурс]. URL: <http://arxiv.org/abs/1512.00567> (дата обращения: 25.01.2018).

25.01.2018).

- Talha Khan B. Machine learning model in melanoma // *The Lancet Oncology*. 2018. № 7 (19). С. 340.
- Torrey L., Shavlik J. Transfer Learning / L. Torrey, J. Shavlik, IGI Global, 2009. 242–264 с.
- Гидранович А.В., Луд Н.Г., Шляхтунов Е.А., Луд Л.Н., Жуковец А.Г., Прокошин А.В., Кожар В.Л. Перспектива использования экспертных систем в ранней диагностике меланомы кожи // *Вестник ВГМУ*. 2015. № 2 (14). С. 46–55.
- Козлов С.В., Неретин Е.Ю., Куколкина В.В. Перспективы применения «машинного зрения» в цифровой дерматоскопии при подозрении на меланому кожи // *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2014. № 2 (10). С. 6–10.
- ISIS Archiv // Kitware, Inc. [Электронный ресурс]. URL: <https://isic-archive.com/> (дата обращения: 24.01.2018).
- ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition (ILSVRC) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.image-net.org/challenges/LSVRC/> (дата обращения: 13.07.2018).

Об авторах

Гаврилов Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент кафедры радиоэлектроники и прикладной информатики, руководитель лаборатории цифровых систем специального назначения, Московский физико-технический институт (государственный университет), тел. 8-925-642-22-71, gavrilou@gmail.com

Мелерзанов Александр Викторович, к.м.н., Декан факультета биологической и медицинской физики МФТИ, Московский физико-технический институт (государственный университет), m83071@gmail.com

Щелкунов Николай Николаевич, к.т.н., зам. зав. кафедры радиоэлектроники и прикладной информатики МФТИ, Московский физико-технический институт (государственный университет), тел. 8-916-654-42-54, shchelkunov.nn@mipt.ru

Закиров Эмиль Ильдарович, студент, стажер лаборатории цифровых систем специального назначения МФТИ, Московский физико-технический институт (государственный университет), bonlimezak@gmail.com