

M. I. Avilov, Yu. A. Shichkina, M. S. Kupriyanov
Saint Petersburg Electrotechnical University

MONITORING OF AN INFORMATION AND COMMUNICATION COMPUTER NETWORK USING A NEURAL NETWORK MODULE

The problem of rapid response to emerging emergency events at the intersection of proactive and reactive monitoring of the information and communication computer network is considered. Often, the results of proactive monitoring do not allow you to predict, and the results of reactive monitoring do not allow you to correctly react to an event that appears without additional diagnostic information. To solve this problem, we propose an approach to organizing monitoring of an information and communication computer network using the module for additional diagnostics of anomalies and preliminary clustering of these anomalies. The advanced diagnostics module is based on an artificial neural network that identifies the tools needed to eliminate anomalies. Also, according to the results of additional diagnostics, the system engineer is notified about the work done and about the current functioning of the information and communication computer network.

Network monitoring system, computer network, proactive and reactive monitoring, artificial neural network

УДК 612.087.1

Т. В. Гордеева, М. Е. Шурыгина, А. О. Козловский
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Применение цифровой лицевой антропометрии в практических задачах

Лицевая антропометрия нашла широкое применение во многих областях науки и медицины. Статья включает краткую историю антропометрии, начиная от зарождения как науки и заканчивая актуальными алгоритмами. Исследуется использование антропометрических точек в практических задачах – таких, как замена изображений лиц, морфинг изображений лиц, реконструкция лиц из 2D в 3D, распознавание лиц, оценка привлекательности лиц, определение эмоций, а также детектор сонливости. Рассматриваются основные алгоритмы и этапы морфинга, сваппинга и реконструкции изображений лиц из 2D в 3D. Описываются методы реализации алгоритмов с помощью сторонних библиотек OpenCV и Dlib как с использованием пакета и языка программирования MATLAB, так и на языке C++. Приводятся результаты практических исследований алгоритмов морфинга, сваппинга и реконструкции изображений лиц из 2D в 3D на нескольких примерах, а также приводятся некоторые выводы, основанные на этих результатах.

Детекция лиц, лицевая антропометрия, триангуляция Делоне, метод обратных расстояний, сваппинг лиц, морфинг лиц, реконструкция лиц из 2D в 3D, распознавание лиц, привлекательность и красота лица, определение эмоций, детектор сонливости

Появление антропометрии как науки относится к XIII в., когда Марко Поло описал особенности строения и размеры различных частей тела представителей племен, встретившихся ему во время путешествия вокруг света. Однако наиболее активное развитие антропометрии происходило уже в XIX в., когда ее начали использовать в криминалистике. В биометрии, криминалистике, антропологии, лицевой пластической медицине и т. д. особенно важную роль получила лицевая антропометрия, позволяющая наиболее полно характеризовать индивидуальные черты лица человека.

С развитием компьютерных технологий наиболее активно используется цифровая лицевая антропометрия, которая включает [1]: автоматическое определение координат ключевых антропометрических точек (АПТ) на изображениях лиц (ИЛ), томографических сканах головы или черепа; оценку всех базовых (габаритных) размеров лица и его частей по расположению координат АПТ; оценку координат АПТ и границ примитивов лица; вычисление соотношений между выбранными координатами АПТ; составление сводных таблиц по этим соотношениям; проведение

специальных статистических (сравнительных) исследований по ним и поиск закономерностей их изменений (например, для возрастных, половых и расовых групп людей и их популяций).

Настоящая статья дополняет работу [1] примерами сваппинга, морфинга и реконструкции лиц из 2D в 3D, а также примерами распознавания лиц, оценки лицевой привлекательности, эмоций и детектором состояния сонливости.

Общей базой для решения перечисленных задач служат координаты антропометрических точек лиц (КАПТЛ) и морфологические параметры лица, а рассмотренные в статье решения основаны на процедурах триангуляции, методе обратных расстояний, процедурах интерполяции текстуры ИЛ, оценках расстояний между КАПТЛ, отношениях между этими расстояниями и их локальных изменений (изменений КАПТЛ на области интереса).

Новой областью применения цифровой лицевой антропометрии стала сфера развлечений, связанная с изменением морфотипа ИЛ, заменой лиц и моделированием старения (или омоложения) ИЛ на статических и динамических сценах. От простых развлечений посредством технологий замены лиц все это перешло на задачи спуфинга ИЛ, а также на задачи «DeepFake» [2]. И эти две задачи создают большие проблемы для охраны лицевой информации, защиты систем контроля доступа к личным кабинетам, информационным и материальным ресурсам. В связи с изложенным целью статьи является ознакомление широкой аудитории – инженеров, студентов и аспирантов с перечисленными проблемами.

Краткий обзор области применения лицевой антропометрии. Распознавание лиц – наиболее распространенная задача, для решения которой используются КАПТЛ. По данным J'son & Partners Consulting [3] к концу 2018 г. доля технологий распознавания лиц в общем объеме российского биометрического рынка составила почти 50 %, а в течение четырех лет этот сегмент показывал рост на уровне 106.7 % в год. Распознавание лиц может применяться для доступа к объектам либо системам, для выявления правонарушений, контроля сотрудников на работе и т. д. На рис. 1 представлена система автоматического распознавания лиц VOCORD FaceControl [4]. VOCORD FaceControl – одна из крупнейших рос-

сийских систем распознавания лиц, которая применяется многими крупными компаниями – Росатом, Мегафон, Газпромбанк и др. Помогает как в выявлении нарушителей, так и для составления портрета потенциально посетителя (средний возраст, пол).

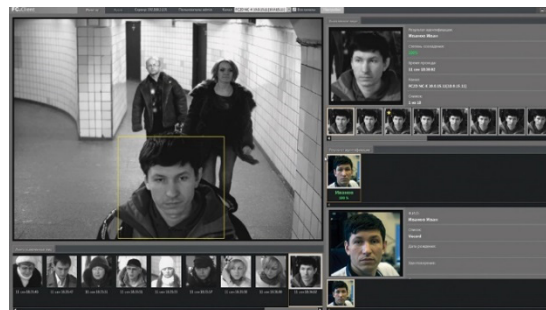


Рис. 1

Сваппинг лиц. Алгоритмы замены лиц используются в основном в сфере развлечений – в приложениях для персонального компьютера и мобильных устройств, а также, например, в фотобудках в кинотеатрах с возможностью замены изображения лица посетителя на лицо актера. Однако потенциально замена лиц может иметь и более серьезное применение – например, при съемках биографических фильмов. Благодаря замене лиц персонаж может получить действительно ту внешность, которую имел его прототип из прошлого. Пример замены лиц из [5] представлен на рис. 2. Здесь лицо со второй фотографии перенесено человеку с первой.

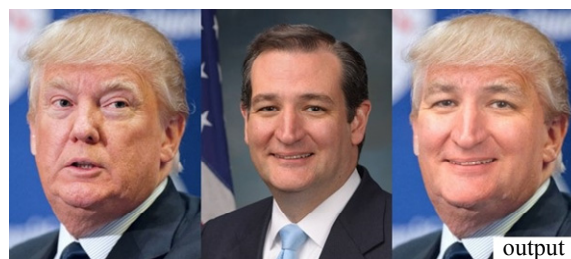


Рис. 2

Морфинг лиц. Здесь реализуется эффект постепенного превращения одного в другое посредством непрерывного преобразования [1], [6]. Морфинг приобрел широкое распространение в кинематографе (например, преобразование лица в звериный облик). Также он применяется в криминалистике для реконструкции старения лица человека, что играет важную роль в системах распознавания и при поиске людей по «молодым фотографиям».

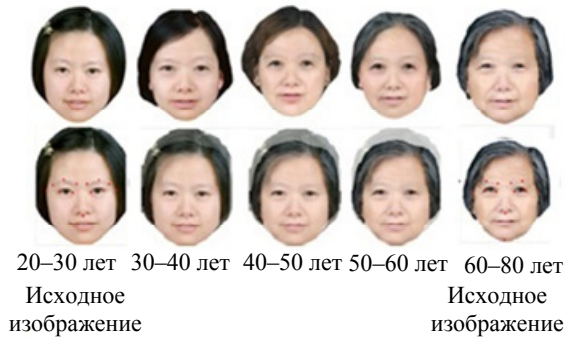


Рис. 3

Примеры реконструкции облика старшего человека от младшего возраста представлены на рис. 3. Верхняя строка представляет реального человека и его возрастные изменения [7]. Нижняя строка представляет результат старения лица, полученный по программе морфинга, моделирующего старение с шагом 10 лет от 20 до 80 лет. Отметим, что в рамках такой реконструкции можно получать промежуточные результаты старения лица человека в случаях острой необходимости, когда требуемая фотографии отсутствуют.

Реконструкция лиц из 2D в 3D. Реконструкция 2D-лиц в 3D строит объемную модель лица по информации, получаемой из входного плоского изображения. Реконструкция активно используется в игровой индустрии, социальных взаимодействиях и анализе биометрических данных. На рис. 4 представлен пример работы программы FaceGen [8] из [9].

В компьютерных играх реконструкция применяется для создания лиц, моделирующих мимические свойства актера, являющегося прототипом требуемого персонажа. В сфере социальных коммуникаций алгоритмы реконструкции уже используют для создания цифровых масок в режиме реального времени. С помощью этих масок можно реализовывать примерку аксессуаров в онлайн-магазинах через камеру компьютера, а также сохранять модель и распечатывать на 3D-принтере [10].



Рис. 4

Оценка привлекательности лиц. В последнее время стали популярны программы, оценивающие привлекательность лица [11]. Основными критериями привлекательности служат симметричность лица, соответствие его пропорций «золотому сечению», а также отличие от усредненного изображения лица. На рис. 5 представлены примеры работы программы Pretty Scale [12] из [13].

Определение эмоций лиц. С помощью антропометрических точек и машинного обучения можно определять эмоции лиц [14]. Это может применяться, например, в сфере продаж, где покупателю будет предложен товар, соответствующий его настроению. Пример оценки эмоций представлен на рис. 6.

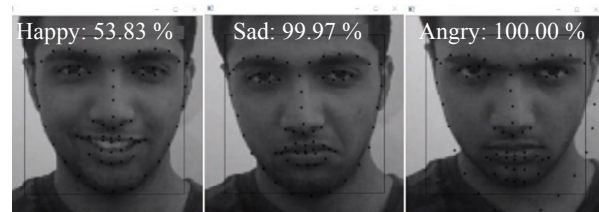


Рис. 6

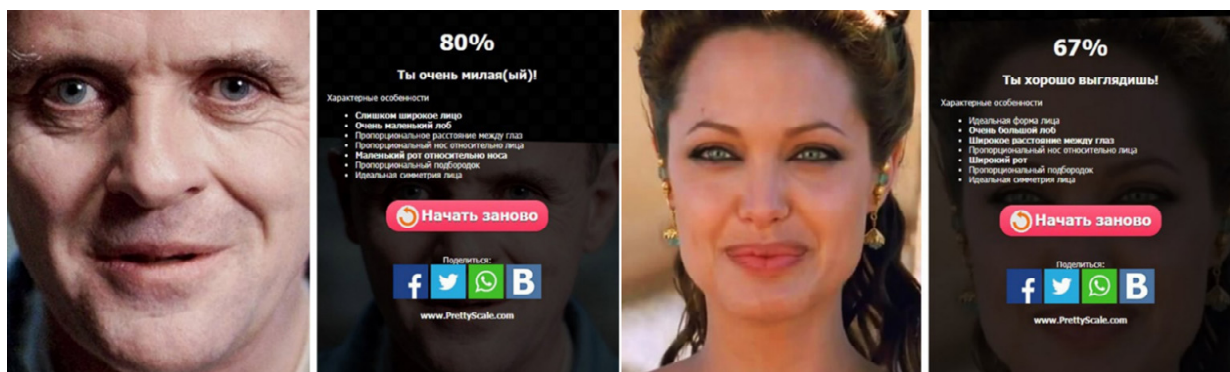


Рис. 5

Детектор состояния сонливости по КАПТЛ. Программа в реальном времени анализирует пропорции глаз [15] водителя, что позволяет определять, закрыты ли глаза (в том числе и при моргании). И если глаза закрыты на протяжении нескольких секунд, программа издает звуковой сигнал, чтобы не дать водителю заснуть. Пример такого алгоритма описан в [16]. На рис. 7 показаны антропометрические точки при моргании и когда глаз открыт.

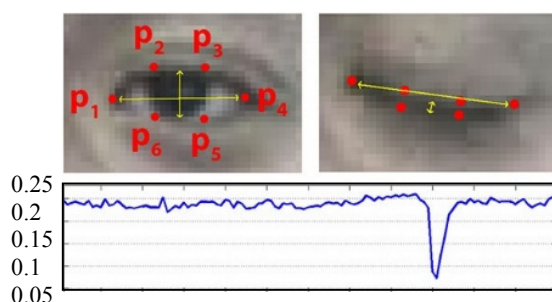


Рис. 7

Замена изображений лиц (Face Swap). Выбор языка разработки. Для реализации замены лиц было решено использовать библиотеки OpenCV и Dlib. Это open-source-библиотеки с исходным кодом на C++, следовательно, будет логичнее делать проект, используя этот язык.

Face Swap реализуется в несколько этапов (процесс работы алгоритма отображен на рис. 8, 9):

1. Обнаружение лица и нахождение ключевых точек на двух изображениях.
2. Построение триангуляции Делоне.
3. Использование аффинных преобразований треугольника и получение маски для переноса копирования лица.
4. Использование смешивания Пауссона для решения проблемы с различием в цвете кожи.

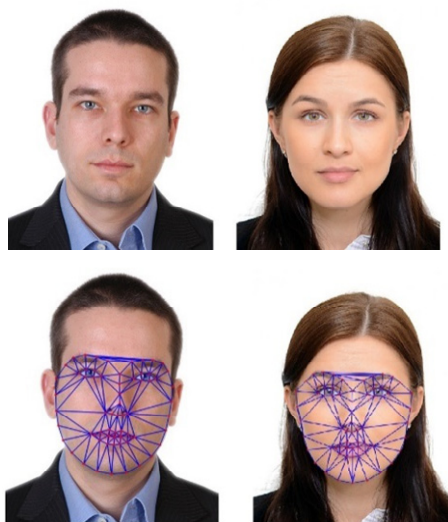


Рис. 8



Рис. 8

Хотя в основном свопинг и применяется для безобидных целей, но бывают и случаи обмана либо введения людей в заблуждение посредством этих технологий. Так, некоторые специалисты в области дипфейков отмечают, что поддельные видео станут неотличимыми от реальности в течение 6–12 мес. [17].

Решение задачи морфинга лиц. Одним из примеров применения морфинга может служить изменение формы головы у двух человек (рис. 10–11). На рис. 10 результат был получен при помощи метода Mesh Warping, на рис. 11 – при помощи Triangulation Based Morphing.

Также рассматривается возможность получения изображений с камеры, что может быть полезно, например, при морфинге изображений лиц одного человека с разными эмоциями. Данный подход существенно уменьшает время загрузки и поиска фотографий и позволяет пользователю программы заменить область лица на одном из изображений на собственное.

Существующие программные реализации морфинга. Наиболее широко известны следующие программы: FantaMorph от Abrosoft [18], Morpheus от Morpheus Software [19], MorphMan от Stoik Imaging [20], Sqirlz Morph [21]. Среди перечисленных программ имеются как платные, так и бесплатные. При этом следует помнить, что платные программы имеют широкий спектр функций автоматической разметки и редактирования ключевых точек лица и функции обработки изображений, а бесплатные программы часто содержат минимальный функционал и требуют ручной разметки ключевых точек.



Рис. 10



Рис. 11

Алгоритмы морфинга характеризуются скоростью вычисления, способом задания ключевых точек или линий, качеством получаемого результата. В рамках перечисленного программного обеспечения реализованы такие алгоритмы, как «Морфинг, основанный на триангуляции» (Triangulation Based Morphing), метод искажения сетки (Mesh Warping), алгоритм Бейера и Нили (Field Morphing) и перемещение наименьшей площади (Moving Least Square). Алгоритмы детально рассмотрены в [22], [23], а далее представлена их краткая характеристика.

Triangulation Based Morphing. В основе метода лежит разбиение исходного и конечного пространств изображения на набор треугольников, построенных по ключевым точкам. Треугольник исходного пространства интерполируется в треугольник конечного пространства в несколько итераций, чем достигается плавный переход от одного изображения к другому.

Mesh Warping. Метод основан на алгоритме деформирования сетки, которая проходит через ключевые точки, отдельно по осям x и y .

Field Morphing. Метод использует пары отрезков (расстояния между ключевыми точками), определенных на двух исходных изображениях, для отображения одного в другое.

Moving Least Square. Метод пользуется набором ключевых точек, с помощью которых происходит преобразование, основанное на функции деформации.

В экспериментах использовались методы Triangulation Based Morphing и Mesh Warping.

Выбор языка разработки. В качестве языка разработки рассматривается среда пакета MATLAB [24], которая работает на большинстве современных операционных систем, проста в изучении и предоставляет пользователю различные функции, покрывающие большую часть всех областей математики.

В дополнение к MATLAB использовалась библиотека OpenCV [25].

Морфинг реализуют в несколько этапов:

1. Выбор алгоритма преобразования множества точек первого изображения в множество точек второго изображения.
2. Предобработка изображений.
3. Выделение ключевых точек на двух изображениях.
4. Реализация алгоритма.
5. Пошаговое преобразование одного изображения в другое.

Предварительная обработка изображений связана с улучшением исходных данных. Данный этап включает в себя выравнивание размера, поворот и нормализацию.

Выделение ключевых точек реализовано с помощью функций библиотеки OpenCV [25].

Решение задачи реконструкции лиц из 2D в 3D. Методы реконструкции основаны на использовании карты глубин (range image) [26]. Карта формируется с помощью специального сканера и алгоритмов, способных свести облако собранных точек в единый каркас (соединяя точки в треугольники) с последующим выравниванием 3D-поверхности.

В последнее время идеи реконструкции лиц 2D в 3D реализуются с помощью нейронных сетей [27].

Алгоритмы. Перенос координат на регулярную сетку наиболее часто осуществляется с помощью процедур на основе триангуляции с линейной интерполяцией или с помощью алгоритма переноса по методу обратных расстояний (MOR) [6]. Метод обратных расстояний, в отличие от триангуляции, способен решать такую проблему, как отсутствие данных в облаке точек из-за ошибок сканирования, повреждения или утери данных и других причин.

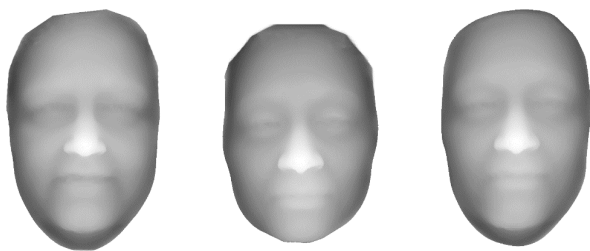


Рис. 12

Оба метода можно использовать при отсутствии реальных измеренных данных о глубинах у конкретного лица/изображения, используя усредненную карту высот. Достичь реалистичности можно, самостоятельно корректируя рельеф лица на основе яркостных характеристик изображения, например в программе Adobe Photoshop. Вариант усреднения карты высот по двум оригинальным картам представлен на рис. 12.

Триангуляция. Координаты X и Y на плоскости связываются с координатами Z , представляющими глубины. Каждые три координаты по оси Z связываются в треугольник, а вершины каждого треугольника соединяются с ближайшими соседями. Результатом работы алгоритма становится полигональная сетка, которая определяет рельеф лица.

МОР. В методе формируется регрессионная модель зависимости Z -координаты от $\{X, Y\}$, что позволяет перенести облако измерений с нерегулярной на регулярную сетку заданного размера.

Далее в статье представлены алгоритмы триангуляции и МОР для изображений, не имеющих карт высот.

Реализация алгоритмов представлена в пакете MATLAB [24] из-за простоты настройки, быстрого получения наглядных результатов и универ-

сальности среды. Карты глубин получены из базы данных Texas [28] и используются для выполнения всех экспериментов.

Этапы реконструкции 2D-изображения в 3D:

1. Выбор и предобработка изображений. Изображение лица анфас нормализуется и выравнивается.

2. Выделение ключевых точек. Осуществляется алгоритмом, определяющим овал лица, глаза, брови, губы и нос. Алгоритм реализован в функции библиотеки OpenCV [25] (рис. 13).

3. Поиск Z -координат. Ключевые точки, найденные на прошлом этапе, по усредненной карте высот будут формировать значения Z -координаты для конкретного изображения.

4. Выбор алгоритма реконструкции 3D-изображения.

5. Реализация алгоритма.

6. Оценка результатов.

Результаты. Примером реконструкции 2D-изображения в 3D методами триангуляции и МОР являются изображения на рис. 14 и 15 соответственно. На рис. 14 восстановление происходит по «родной» карте высот с дополнительным покрытием наиболее объемных зон регулярной сеткой. На рис. 15 показана реконструкция карандашного скетча по усредненной карте высот.

При комбинации количества и размера включаемых в алгоритм областей лица и частоты регулярной сетки выбирается требуемая детализация реконструкции изображения и быстродействие программы. Данный подход позволяет получить объемную модель лица при условии ограниченных входных данных.

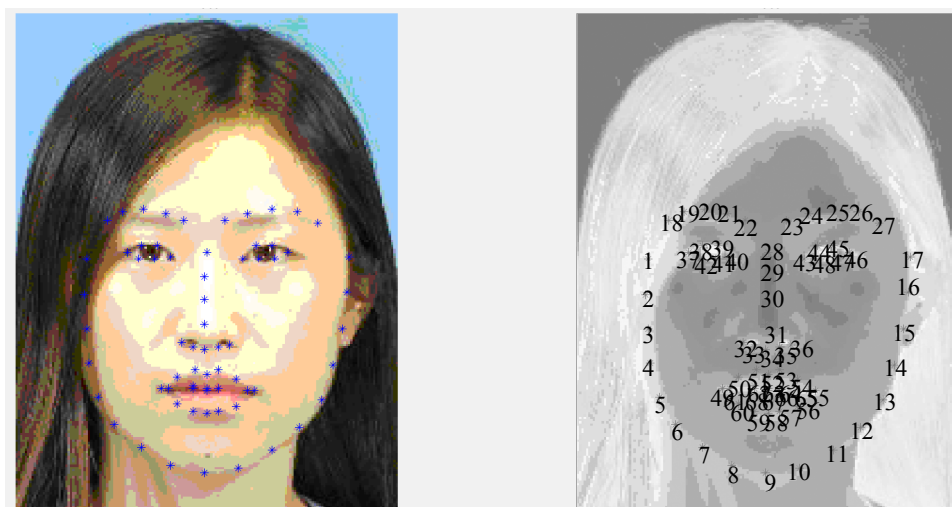


Рис. 13

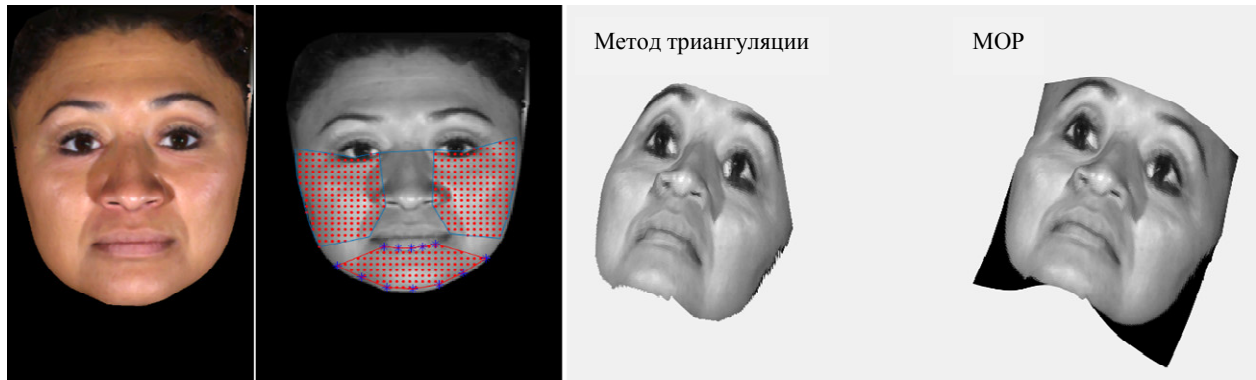


Рис. 14



Рис. 15

Количество областей применения антропометрии растет в связи с развитием цифровых технологий. Рассмотренные алгоритмы нашли широкое применение в криминалистике, сфере развлечений, кинематографе и т. д. В данной статье представлен краткий обзор применения цифровой лицевой антропометрии в практических задачах — замене изображений лиц, морфинге изображений лиц, ре-

конструкции лиц из 2D в 3D, распознавании лиц, оценке привлекательности лиц, определении эмоций, а также детекторе сонливости.

Рассмотрены методы и этапы сваппинга, морфинга и реконструкции лиц из 2D в 3D, а также проведены практические исследования данных алгоритмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухарев Г. А., Казиева Н. Применение цифровой лицевой антропометрии // Науч.-техн. вестн. информационных технологий, механики и оптики. 2019. № 2. Р. 255–270.
2. Westerlund M. The emergence of Deepfake technology: A Review // Technology Innovation Management Review. 2019. Vol. 9. Р. 39–52.
3. Кто и как использует технологии распознавания лиц в России. URL: <https://rb.ru/longread/facial-recognition/> (дата обращения 06.02.2020).
4. VOCORD FaceControl. URL: <http://en.vocord.ru/products/facial-recognition/facial-recognition-2d/vocord-facecontrol/> (дата обращения 06.02.2020).
5. Face Swap using OpenCV. URL: <https://www.learnopencv.com/face-swap-using-opencv-c-python/> (дата обращения 06.02.2020).
6. Методы обработки и распознавания изображений лиц в задачах биометрии / Г. А. Кухарев, Е. И. Каменская, Ю. Н. Матвеев, Н. Л. Щеголева; под ред. Хитрова М. В. СПб.: Политехника, 2013.
7. Compositional and dynamic model for face aging / Jinli Suo, Song-Chun Zhu, Shiguang Shan, Xilin ChenA // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 2010. № 32 (3). Р. 385–401.
8. FaceGen. URL: <https://facegen.com/index.htm> (дата обращения 06.02.2020).
9. Liang S., Shapiro L. G., Kemelmacher-Shlizerman I. Head reconstruction from internet photos. URL: <https://grail.cs.washington.edu/projects/liangshu/0351.pdf> (дата обращения 08.02.2020).
10. 3D-реконструкция лиц по фотографии и их анимация с помощью видео. URL: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/421353/> (дата обращения 07.02.2020).

11. Распознавание красоты лиц. URL: <https://habr.com/ru/post/229549/> (дата обращения 07.02.2020).
12. Pretty Scale. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.prettyscale.PrettyScale&hl=ru> (дата обращения 10.02.2020).
13. Оценка привлекательности лиц. URL: <https://twizz.ru/etot-onlajn-test-ocenivaet-krasotu-lic-s-pomosh-hyu-algoritmov-vot-kakimi-on-vidit-znakovykh-personazh-ej/> (дата обращения 15.02.2020).
14. Emotion detection using facial landmarks and deep learning. URL: <https://medium.com/@rishiswethan.c.r/emotion-detection-using-facial-landmarks-and-deep-learning-b7f54fe551bf> (дата обращения 06.02.2020).
15. Drowsiness detection with OpenC. URL: <https://www.pyimagesearch.com/2017/05/08/drowsiness-detection-opencv/> (дата обращения 08.02.2020).
16. Soukupova T., Cech J. Real-time eye blink detection using facial landmarks. URL: <http://vision.fe.uni-lj.si/cvww2016/proceedings/papers/05.pdf> (дата обращения 29.03.2020).
17. MIT: три главные угрозы дипфейков не устранить технологиями. URL: <https://hightech.plus/2019/10/03/mit-tri-glavnie-ugrozi-dipfeikov-ne-ustranit-tehnologiyami> (дата обращения 15.02.2020).
18. Abrosoft FantaMorph. URL: <http://www.fantamorph.com/> (дата обращения 06.02.2020).
19. Morpheus Photo Morpher. URL: <http://www.morpheussoftware.net/> (дата обращения 09.02.2020).
20. Stoik. URL: <http://www.stoik.com> (дата обращения 06.06.2019).
21. SqirlzMorph. URL: <http://www.xiberpix.net/SqirlzMorph.html> (дата обращения 09.02.2020).
22. Meng M., Liu L. Sketching image morphing using moving least squares, 2007. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/62aa/ab0ed7418d8f9ed3d1d9481d5d349a754f01.pdf> (дата обращения 03.05.2020).
23. Wolberg G. Image morphing: a survey // The Visual Computer. 1998. Vol. 14. P. 360–372.
24. Matlab. URL: <https://matlab.ru/products/matlab> (дата обращения 01.02.2020).
25. OpenCV. URL: <https://opencv.org/> (дата обращения 01.02.2020).
26. Srivastava A., Liu X., Heshner C. Face recognition using optimal linear components of range images // Image and Vision Computing. 2006. Vol. 24, № 3. P. 291–299.
27. Jackson A. S., Bulat. A. Large pose 3D face reconstruction from a single image via direct volumetric CNN regression // 2017 IEEE Intern. Conf. on Computer Vision (ICCV). Venice, 2017. P. 1031–1039.
28. Gupta S., Kenneth R. Texas 3D face recognition database // IEEE Southwest Symp. on Image Analysis & Interpretation (SSIAI). IEEE, 2010. P. 97–100.

T. V. Gordeeva, M. E. Shurygina, A. O. Kozlovskiy
Saint Petersburg Electrotechnical University

APPLICATION OF DIGITAL FACIAL ANTHROPOMETRY IN PRACTICAL TASKS

Facial anthropometry has found wide application in many fields of science and medicine. The article includes a brief history of anthropometry, from its origins as a science to actual algorithms. The use of anthropometric points in practical tasks, such as replacement of facial images, morphing of facial images, reconstruction of faces from 2D to 3D, face recognition, evaluation of attractiveness of faces, identification of emotions, as well as sleepiness detector is studied. The article deals with basic algorithms and stages of morphing, replacement of facial images and facial reconstruction from 2D to 3D. Methods of algorithm implementation with the help of third-party OpenCV and Dlib libraries both using the package and Matlab programming language, and in C++ language are described. The results of practical research of algorithms of morphing, replacement of facial images and reconstruction of images of faces from 2D to 3D on several examples are presented, and some conclusions based on these results are given.

Facial detection, facial anthropometry, Delaunay triangulation, reverse distance method, face swapping, face morphing, face reconstruction from 2D to 3D, facial recognition, facial attraction and beauty, emotional detection, drowsiness detector
