

Применение алгоритма формирования индивидуальной трехмерной модели человеческого лица в системе распознавания личности по изображению лица*

Небаба С.Г., Захарова А.А.

stepan-lfx@mail.ru | zaa@tpu.ru

Россия, Институт Кибернетики, Томский политехнический университет

В статье рассмотрены существующие методы формирования трехмерной модели лица. Предложена модификация метода формирования трехмерной модели лица из одного растрового изображения и набора известных трехмерных моделей. Описан алгоритм формирования трехмерной модели, представлены результаты генерации изображений лица с разными ракурсами на основе этой модели. Получены результаты по тестированию системы распознавания личности со сгенерированными изображениями, проведено сравнение со стандартным подходом формирования биометрических векторов. Показано, что алгоритм формирования трехмерной модели и генерации изображений лица увеличивает точность систем распознавания личности по растровым изображениям лиц.

Ключевые слова: компьютерное зрение, распознавание лиц, особые точки лица, активные модели форм, трехмерная модель лица, деформируемая модель лица, биометрический вектор

1. Введение

Задача распознавания (идентификации) личности с помощью анализа изображений лиц является одной из ключевых задач компьютерного зрения. Работы в этом направлении начались еще в 1980-х годах, в 1990-х стали появляться первые информационно-поисковые системы распознавания [1]. Исследования алгоритмов идентификации активно проводятся и в настоящее время [3], так как задача автоматизированного распознавания лиц является более сложной, чем, к примеру, задача поиска лиц на изображении. Существующие алгоритмы все еще не могут сравниться с человеком по точности и скорости распознавания лиц. Все алгоритмы обладают теми или иными недостатками, такими как чувствительность к качеству изображений, условиям освещения и ракурсу съемки идентифицируемого лица. Из-за этого результаты распознавания могут серьезно варьироваться, от приемлемых до неудовлетворительных. Существуют работы, подробно исследующие методы восстановления качества изображений и нормализации освещения применительно к алгоритмам распознавания личности [8]. Проблема ракурса съемки лица имеет не меньшее влияние на успешность распознавания. Применяемые алгоритмы не позволяют эффективно распознавать лица при отклонении фронтальной плоскости лица по отношению к оптической оси объектива регистрирующей камеры даже не превышающем 15 градусов. Тем не менее, еще не предложено способа решения этой проблемы, применимого в реальных условиях. Одним из возможных решений проблемы различных углов поворота является оценка и нормализация положения лица на изображении [6]. Однако существует и дру-

гой подход повышения эффективности распознавания, лучше сочетающийся с алгоритмами распознавания. Алгоритмы распознавания, основанные как на измерении расстояния между кластерами биометрических векторов, так и на обучении нейронных сетей, требуют, чтобы каждое из лиц в базе было представлено набором из нескольких различных изображений, на основе которых вычисляются элементы кластера, либо строится обучающая выборка. Задача распознавания часто может ставиться и для одного изображения лица (фото на паспорте и т.п.), что делает неприменимым ни один из подходов. Если предположить, что трехмерная модель лица человека известна и соответствует изображению его лица, то набор изображений лица можно получить аффинными преобразованиями исходного изображения [12]. Набор изображений лиц с разными ракурсами, полученный таким образом, подходит для задачи формирования кластера биометрических векторов и задачи формирования обучающей выборки.

В связи с этим становится актуальной задача получения модели лица из его плоского изображения, а также вычисление изображений лица в различных ракурсах на основе этой модели.

2. Выбор метода формирования трехмерной модели лица

Проблема получения трехмерной модели лица решается тремя основными методами:

1. Вычисление третьей координаты по рельефу лица из информации, полученной по уровням освещенности и теням. Для успешного применения этого метода необходимо иметь информацию о характеристиках источника света и светотражающих свойствах поверхности лица, что в общем случае крайне затруднительно [10].

Работа опубликована по гранту РФФИ №16-07-20482.

2. Вычисление третьей координаты по смещению положения объекта в последовательности кадров. Данный метод анализирует кадры в видеопотоке, чувствителен к качеству изображений, освещению, а также зависит от свойств детектора лиц и качества трекинга. Вариации этого метода используются в основном при съемке неподвижных объектов в 3D-моделировании [2].
3. Использование трехмерной модели лица, полученной с помощью сканирования. Этот метод более точный, но очень трудоемкий, а получение модели лица требует специального оборудования. Также существуют модификации, применяемые в системах распознавания с несколькими камерами. Они вычисляют трехмерную модель лица почти мгновенно, но данные по точности этих алгоритмов представлены недостаточно полно [9].

Все рассмотренные методы определения трехмерной модели обладают теми или иными недостатками, но наиболее перспективно выглядит использование предварительно подготовленных моделей для известных лиц. Задача формирования трехмерной модели при условии существования только одного растрового изображения лица человека имеет два возможных решения:

1. Обобщенная трехмерная модель лица. Совмещение обобщенной карты глубины лица с особыми точками конкретного лица на изображении.
2. Деформируемая трехмерная модель лица. Совмещение карты глубины, генерируемой по некоторому правилу из базы трехмерных моделей характерных лиц, и особых точек конкретного лица.

Обобщенная модель требует минимальных вычислений на этапе построения модели, но точность этого решения сомнительна. Деформируемая модель требует сложных вычислений, но полученный результат потенциально может не уступать реальным данным, потому что этот подход является наиболее перспективным.

3. Алгоритм формирования индивидуальной трехмерной модели лица

Набор из 11 трехмерных текстурированных моделей лиц, предоставленный в свободном доступе исследовательской группой Базельского университета [7], выбран в качестве основы для формирования деформируемой модели. Каждая трехмерная модель состоит из облака точек в трехмерном пространстве и текстурной информации, позволяющей получить исходное фронтальное изображение лица (рис. 1). Для начала вычисления искомой модели лица важно иметь хотя бы часть информации о геометрии лица. Эту информацию можно

получить, вычислив особые точки лица на изображении. Практически все существующие алгоритмы автоматической расстановки особых точек лица основаны на активных моделях форм (Active Shape Models), также почти все модификации ASM имеют программную реализацию, поэтому позволяют легко подобрать оптимальный алгоритм [5]. После нахождения особых точек лица задача вычисления индивидуальной трехмерной модели лица сводится к интерполяции каждой точки трехмерной модели из точек эталонных моделей. Этот подход позволяет получить уникальную модель анализируемого лица, которая будет более точной, чем любая из эталонных моделей.

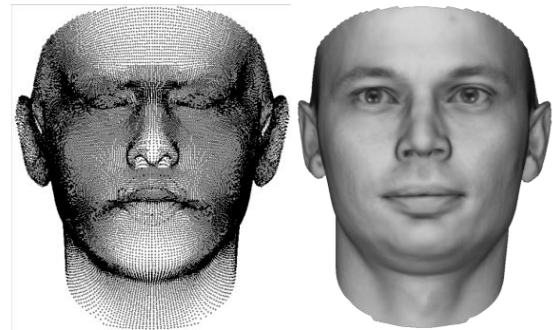


Рис. 1: а) Облако точек лица в трехмерном пространстве; б) пример фронтального ракурса лица, полученного с помощью наложения текстуры на одну из трехмерных моделей

Следовательно, алгоритм построения индивидуальной модели лица можно сформулировать следующим образом:

1. Поиск соответствия между особыми точками известных трехмерных моделей и особыми точками реального лица.
2. Нормирование особых точек и изображения лица по масштабу трехмерных моделей и совмещение центра координат.
3. Вычисление расстояний для каждой особой точки изображения лица и соответствующих особых точек каждой из трехмерных моделей.
4. Вычисление третьей координаты особых точек изображения лица с помощью интерполяции значений координат в особых точках моделей.
5. Определение третьей координаты для всех остальных точек искомого лица последовательным вычислением координат новых точек между известными точками до тех пор, пока трехмерная модель не станет достаточно подробной.

В результате работы этого алгоритма получается индивидуальная трехмерная модель лица, которую можно использовать для алгоритма построения изображения лица, повернутого на заданный угол относительно оптической оси камеры [6].

4. Тестирование алгоритма распознавания лиц с использованием деформируемых моделей

Полученные трехмерные модели могут быть использованы в формировании изображений лица с разными ракурсами, предоставляя дополнительную информацию для механизмов извлечения биометрических векторов в системах распознавания личности.

В качестве системы распознавания выбран набор методов обработки изображений, извлечения векторов признаков, формирования кластеров и сравнения, описанный как наиболее эффективный в работе [8].

Первоначальное тестирование проведено на записанных отрезках видео, всего записано 263 коротких ролика, в записи которых участвовало 12 человек.

Всего на данных видео с помощью стандартного детектора лиц было найдено 21735 изображений лиц в различных ракурсах относительно оптической оси камеры.

Для каждого из 12 фронтальных лиц вычислена деформируемая трехмерная модель лица согласно предложенному алгоритму. С помощью этих моделей получены наборы изображений лиц, повернутых на угол от -20 до +20 градусов по горизонтали относительно оптической оси камеры с шагом 10 градусов и от -15 до +15 градусов по вертикали с шагом 15 градусов, всего 15 изображений каждого лица.

Примеры сформированных изображений представлены на рис. 2.



Рис. 2: а) Исходное фронтальное изображение лица; б) лица, полученные поворотом вдоль горизонтальной оси на 20 градусов влево и вправо

Изображения, представленные на рис. 2, подтверждают, что деформируемая модель лица корректно сопоставляет точки трехмерной модели точкам плоского растрового изображения и путем аффинных преобразований позволяет получить визуально верные изображения лиц в различных ракурсах.

Для оценки эффективности распознавания с применением предложенного алгоритма проведено два тестовых распознавания.

Эффективность алгоритмов распознавания может быть оценена двумя вероятностными характеристиками:

1. FAR (False Accept Rate) – вероятность ложного обнаружения, система принимает одного человека, не имеющего фотографий в базе изображений системы распознавания, за другого, зарегистрированного в базе («обозначились»);
2. FRR (False Reject Rate) – вероятность пропуска цели, система не регистрирует совпадения по фотографии зарегистрированного в ней пользователя («не узнали»).

В системах распознавания эти вероятности всегда являются взаимнообратными величинами, в различных системах более важной считается либо первая, либо вторая характеристика. В качестве усредненной оценки эффективности распознавания обычно берется характеристика EER (Equal Error Rate) – равный уровень ошибок FAR и FRR. Алгоритм с меньшей оценкой EER считается более эффективным [11]. Первое тестирование проводилось на базе, составленной из видео (21 тысяча изображений лиц, 12 уникальных лиц). В таблице 1 представлены результаты тестирования системы распознавания с базой из 12 фронтальных изображений лиц, с базой из 15 изображений для каждого лица (всего 180) и с базой изображений, созданных при помощи деформируемых моделей лиц. Как можно

Таблица 1: Результаты тестирования системы распознавания лиц на видеофайлах

База изображений	EER, %
Одно изображение лица на человека	8,06867
15 изображений на человека	4,81986
15 сгенерированных алгоритмом изображений на человека	2,17865

видеть из таблицы 1, использование сгенерированных изображений в качестве базы изображений лиц для записанных видеофайлов не только не снижает точность распознавания, но и оказывается на 2.6% эффективнее, чем набор из 15 изображений, находящихся в изначальной базе.

Второе тестирование проводилось на базе изображений лиц Caltech Faces [4]. Эта база содержит изображения 26 человек, снятых во фронтальном ракурсе, но с различным качеством и мимикой, общее число изображений 450. Так как число изображений каждого человека в базе разное, при тестировании использовались следующие варианты: 1 изображение на человека, от 3 до 6 изображений на человека и 15 сгенерированных изображений на человека.

Таблица 2: Результаты тестирования системы распознавания лиц на базе изображений лиц Caltech Faces

База изображений	EER, %
Одно изображение лица на человека	5,18519
3-6 изображений на человека	2,34899
15 сгенерированных алгоритмом изображений на человека	3,45679

Как можно видеть из таблицы 2, использование сгенерированных изображений оказывается на 1% менее эффективным для базы, состоящей из фронтальных фотографий, чем использование нескольких изображений для каждого человека, но на 1,7% более эффективным, чем использование одного изображения. Полученные векторы признаков сравнивались с помощью метрики Евклида. Из результатов, представленных в таблицах 1 и 2 можно сделать вывод, что алгоритм генерации изображений лиц с разными ракурсами не только не снижает эффективности распознавания личности, но и в ряде случаев с распознаванием лиц в разных ракурсах улучшает результат.

5. Заключение

В статье проведен анализ существующих методов формирования трехмерной модели лица. Предложена модификация метода формирования трехмерной модели лица из одного растрового изображения и набора известных трехмерных моделей. Описан алгоритм формирования трехмерной модели, представлены результаты генерации изображений лиц на основе этой модели.

Получены результаты по тестированию системы распознавания личности со сгенерированными изображениями, проведено сравнение со стандартным подходом формирования биометрических векторов. На собственной базе изображений алгоритм на 2,6% превзошел стандартный алгоритм формирования биометрических векторов, а на базе Caltech faces оказался на 1% хуже стандартного алгоритма, но превзошел на 1,7% алгоритм формирования векторов из одного изображения. Сравнение результатов распознавания позволяет сделать вывод о том, что предложенные алгоритмы и модель лица положительно влияет на точность идентификации личности человека по изображению его лица.

Разработанный алгоритм генерации изображений лица позволяет увеличить объем данных для биометрических векторов систем распознавания, увеличивая точность распознавания, либо в предельном случае ограничиться одним изображением лица без серьезного ущерба качеству работы системы. Он применим в системах распознавания личности

по растровому изображению лица, использующих набор биометрических векторов, когда важна точность и скорость распознавания.

Литература

- [1] Adini Y. Face recognition: The problem of compensating for changes in illumination direction / Y. Adini, Y. Moses, S. Ullman // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. - 1997. - 19. - pp.721-732
- [2] Agarwal S. Building Rome in a Day / S. Agarwal, Y. Furukawa, N. Snavely, I. Simon, B. Curless, S. M. Seitz, R. Szeliski // Communications of the ACM, Vol. 54 No. 10, pp.105-112
- [3] Bui T. T. T. Face Recognition Based on Combination of Wavelet Transforms and Principal Component Analysis / T. T. T. Bui, N. H. Phan, V. G. Spitsyn // Proceedings of International Forum on Strategic Technology, 2014
- [4] Computational Vision: Archive. Available at: www.vision.caltech.edu/html-files/archive.html (accessed April 15, 2016)
- [5] Davis E. King. Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit // Journal of Machine Learning Research, №10, 2009, P. 1755- 1758
- [6] Nebaba S.G. Automatic estimation of the face angle in the frame and transformation of images into zero rotation angles / S.G. Nebaba, A.A. Zaharova, S.J. Andreev // Scientific Visualization, 7 (4), 2015
- [7] Paysan P. A 3D Face Model for Pose and Illumination Invariant Face Recognition / P. Paysan, R. Knothe, B. Amberg, S. Romdhani, T. Vetter // Sixth IEEE International Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 2-4 Sept. 2009, pp.296-301
- [8] Savitskiy Yu.V. Analysis of methods of features extraction from image of human face for identification / Yu.V. Savitskiy, S.G. Nebaba, V.G. Spitsyn, S.Yu. Andreev, M.A. Makarov // Scientific Visualization, 8 (2), 2016
- [9] Shahriar Hossain M. Inexpensive Construction of a 3D Face Model from Stereo Images / M. Shahriar Hossain, M. Akbar, J. Denbigh Starkey // 10th international conference on Computer and information technology (ICCIT), 27-29 Dec. 2007, P. 1-6.
- [10] Zimmermann J. SilSketch: Automated Sketch-Based Editing of Surface Meshes / J. Zimmermann, A. Nealen, M. Alexa // EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling, 2007, pp.23-30
- [11] Кухарев Г.А., Каменская Е.И., Матвеев Ю.Н., Щеголева Н.Л. Методы обработки и распознавания изображений лиц в задачах биометрии / Под ред. М.В. Хитрова. СПб: Политехника. - 2013. - С.242-251
- [12] Небаба С.Г. Алгоритм формирования индивидуальной трехмерной модели лица человека из растрового изображения лица и набора частных трехмерных моделей лица / С.Г. Небаба, А.А. Захарова, С.Ю. Андреев // Информационное общество, №5, 2015