

УДК 004.93

О.Е.Логачева, В.В.Костюченко  
**АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ**  
*Воронежский институт высоких технологий*  
*Концерн радиостроения "Вега"*

*Основная идея распознавания лица состоит в выделении информативных признаков в изображении лица, кодировании этого изображения и сравнении его с информацией, хранящейся в базе данных. В данной работе проводится анализ алгоритмов, базирующихся на методе главных компонент, линейном дискриминантном анализе, обнаружении локальных признаков, с применением вейвлетов Габора, дискретном косинусном преобразовании, локальных бинарных шаблонах. Отмечается, что для корреляционных методов характерна вычислительная сложность и требуются большие объемы памяти, в этой связи на практике целесообразным является применение соответствующих методов, позволяющих уменьшить размерность признаков. Указаны последние разработки компании "Вокорд", базирующиеся на использовании глубоких нейронных сетей, использующих тестовую базу с миллионом фотографий.*

**Ключевые слова:** распознавание, лицо, алгоритм, компьютерное зрение, безопасность.

Распознавание лиц представляет собой одну из достаточно хорошо изученных задач в таких сферах как проведение цифровой обработки изображений, использование компьютерного зрения, применение биометрии, организация видеоконференций, формирование интеллектуальных систем, связанных с безопасностью и контролем доступа и т. п.

Процессы распознавания лиц, как правило, состоят из двух шагов: проведение поиска области лиц на изображении, и сравнение найденных лиц с теми, которые находятся в базах данных.

В данной работе мы рассмотрим некоторые особенности алгоритмов распознавания лиц.

В некоторых алгоритмах распознавания лиц происходит идентификация поверхности, путем извлечения ориентиров или функций, от изображений поверхностей предметов. Например, алгоритм может проводить анализ относительной позиции, размера или формы глаз, носов, скул и челюстей. Такие функции применяют, чтобы проводить поиск других изображений с соответствующими функциями. В других алгоритмах нормализуется галерея изображений поверхностей и затем происходит сжатие данных поверхностей, только сохраняя данные в изображении, которое будет важным для того, чтобы обнаружить поверхность.

Пусть лицо человека обнаружено при помощи алгоритма детектирования и осуществлена процедура приведения к нормальному виду.

При этом может возникнуть вопрос, связанный с принятием решения о том, кому из существующего набора людей, может принадлежать это лицо.

Когда разрабатываются алгоритмы, связанные с распознаванием лиц, которые предназначаются для того, чтобы решать такую задачу, применяют разные подходы, которые основываются на том, что происходит определение расстояний между ключевыми точками на лицах, происходит вычисление геометрических свойств лиц [1], применяют метод главных компонент (МГК) [2], линейный дискриминантный анализ (ЛДА) [3], обнаруживают локальные признаки на базе вейвлетов Габора [4], применяют дискретное косинусное преобразование [5], локальные бинарные шаблоны и др.

Во многих случаях предполагают, что на вход алгоритма, связанного с распознаванием, идет подача изображения лица, которое является уже нормированным с применением информации по найденным координатам ключевых точек на лицах, например, по координатам центров глаз.

При разработке алгоритмов распознавания, во многих случаях используют признаковое описание изображений лиц.

Основные признаки, которые применяют в процессах распознавания лиц, мы можем поделить на глобальные и локальные [6]. Базовыми методами, которые используют глобальные признаки, можно считать следующие: применение МГК, ЛДА, анализа независимых компонент.

В МГК осуществляют оптимальное линейное преобразование, базируясь на минимуме квадратичной ошибке по пространству признаков изображения для ортогонального пространства собственных векторов, имеющих меньшую размерность [3].

В ЛДА ищут такое линейное преобразование, которое бы давало максимизацию отношения среди внеклассовой и внутриклассовой дисперсиями [4]. Проведение анализа независимых компонент представляет собой обобщение МГК и в нем происходит учет корреляции высокого порядка среди пикселей в изображении [7].

Для локальных признаков, если их сравнивать с глобальными, существуют некоторые преимущества. Они будут более устойчивы к процессам изменения выражений лиц, существованию блокирующих объектов.

Достаточно часто в задачах распознавания лиц в качестве локальных признаков выбирают локальные бинарные шаблоны (ЛБШ) [8–11]. На их основе демонстрируется устойчивость к процессам изменений выражений лиц и изменению освещения.

Для ЛБШ, описывающих изменения среди центральным пикселем и его соседями, отмечают их простоту, но при этом их рассматривают как эффективные способы, позволяющие описывать изображения лиц.

Проведение описания на основе ЛБШ будет устойчиво по отношению к монотонным преобразованиям и в определенной мере к изменениям характеристик освещения [12-14].

Проведение анализа современных литературных источников демонстрирует, что алгоритмы, применяющие ЛБШ, являются высокоэффективными для задач, связанных с распознаванием текстур и лиц людей, а также для их различных модификаций.

Среди подобных модификаций мы можем отметить использование на практике локальных тернарных шаблонов и локальных квантованных шаблонов.

Активным образом применяют также алгоритмы, которые находятся на стыке известных подходов, связанных с распознаванием [15-18]. Один из примеров, когда комбинируются различные подходы – это алгоритм, базирующийся на фильтрах Габора и ЛБШ. Сделаем более подробный анализ основных из применяемых алгоритмов, связанных с распознаванием лиц.

В алгоритме распознавания, применяющем МГК, в качестве наиболее интуитивного подхода к проведению решения задач, связанных с проведением распознавания лиц, можно считать проведение расчета коэффициентов корреляции среди тестовых и эталонных изображений.

Для корреляционных методов характерна вычислительная сложность и требуются большие объемы памяти, в этой связи на практике целесообразным является применение соответствующих методов, позволяющих уменьшить размерность признаков.

В качестве одного из подобных алгоритмов, который применяют для задач, связанных с компьютерным зрением, можно отметить алгоритм, который базируется на МГК.

Основной идеей метода является проведение перехода из пространства с высокой размерностью переменных, которые коррелированы между собой, в пространство, имеющее значительно меньшую размерность, когда переходят к нему, то потери информации об изображениях будут минимальными.

В методе главных компонент определяются направления, по которым дисперсия данных будет иметь наибольшие значения.

Потом определим все собственные значения и собственные векторы в ковариационной матрице.

Для собственных векторов существует размерность, которая равна размеру изображений лиц, в этой связи их мы можем представлять как изображения, имеющие такое же разрешение.

Подобные изображения называют собственными лицами (для англоязычной литературы характерно употребление термина Eigenfaces), а

МГК, который используют в задачах, связанных с распознаванием лиц, во многих случаях называют как метод собственных лиц.

Любое изображение лиц мы можем представлять как вектор признаков для пространства главных компонент с заданной размерностью. На основе алгоритма, применяющего МГК для фазы обучения происходит перевод набора эталонных изображений лиц в пространство главных компонент.

Для этапа работы идет перевод тестовых изображений в пространство главных компонент и, потом, осуществляется поиск по ближайшему соседу среди изображений, которые находятся в тренировочном наборе.

Далее рассмотрим особенности алгоритма распознавания, базирующегося на ЛДА.

В алгоритме на базе МГК для того, чтобы перейти к новому пространству признаков, используют изображения лиц, вне зависимости от того, какой у них класс, вследствие этого может происходить стирание отличий между изображениями лиц, относящихся к разным людям (разным классам).

В ЛДА происходят процессы сокращения размерности пространства при учете того, что происходит разделение на классы [19]. Происходит группирование изображений лиц одного человека в общий кластер для пространства признаков, для изображений же различных людей разделение идет весьма сильное.

Для начальной постановки задачи остается такая же формулировка, как и для алгоритма, применяющего МГК.

Но теперь учитывают, что вектор, который рассматривают в обучающей выборке, будет относиться к одному из классов, в этой связи принцип, связанный с переходом к новому пространству, если сравнивать с МГК, будет меняться.

Потом распознавание тестового лица осуществляется на основе того, что происходит поиск наиболее похожего изображения лиц в обучающем наборе, который представлен как множество векторов для пространства признаков.

Процедура является аналогичной той, которая наблюдается для метода главных компонент, но при этом применяют другую матрицу перехода для пространства признаков [20, 21].

Идея алгоритма, связанного с распознаванием на базе ЛБШ, базируется на том, что в качественных изменениях яркости, которые наблюдаются внутри областей с небольшим размером для полутонного изображения содержится важная информация обо всем изображении. ЛБШ впервые предложил Т. Ojala в 1994 году [8].

Шаблон является эффективным оператором, в котором идет представление каждого пиксель изображения как бинарное число, которое зависит от того, какая интенсивность в соседних пикселях [8–10]. В результате, изменения интенсивности по окрестностям пикселей изображений записывают при помощи двоичного кода.

В базовом операторе ЛБШ, который применяют к пикселю изображения, используют восемь пикселей, которые описывают окрестность, они принимают в качестве порогового значение интенсивности, которое есть в центральном пикселе.

Пиксели, имеющие значение интенсивности, которое больше или равно значению интенсивности в центральном пикселе, будут иметь значения, которые равны «1», остальные принимают значения, которые равны «0». Путем записи полученных значений в ряд, если начинать с левого верхнего пикселя, происходит получение восьмиразрядного бинарного кода, который позволяет описать окрестность для определенного пикселя [11].

Процессы распознавания на основе классических ЛБШ начинают с того, что разбивают изображение лица по определенному числу подобластей. В каждой из подобластей происходит построение гистограммы, которая состоит из 256 столбцов.

Потом для каждого пикселя, которой лежит в подобласти, происходит вычисление ЛБШ. Затем вычисляют количество пикселей, которые относятся к определенной подобласти при каждом конкретном значении ЛБШ.

Это число записывают как высоту столбца при номере, который совпадает с десятичным значением ЛБШ. Потом происходит объединение гистограммы для каждой подобласти в единую гистограмму признаков, которая имеет большую длину.

Процессы распознавания осуществляются на основе того, что среди эталонных гистограмм находят наиболее близкую к гистограмме анализируемого лица.

По последним данным - российской компанией "Вокорд" или VOCORD был создан самый эффективный алгоритм идентификации лиц в мире [22]. Он базируется на аппарате глубоких нейронных сетей, в тестовую базу MegaFace входит миллион фотографий, которые связаны с более полумиллионом людей, которые находились в разных позах, у них были разные выражения лиц.

Выводы. Анализ разных алгоритмов, связанных с выделением и распознаванием лиц определил выбор двух перспективных алгоритмов: алгоритм Виолы-Джонса для выделения области изображения и применение нейронной сети для осуществления процесса распознавания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Brunelli R., Poggio T. Face recognition through geometrical features / R.Brunelli, T.Poggio // European Conference on Computer Vision (ECCV). 1992. P. 792-800.
2. Turk M. Eigenfaces for recognition/ M.Turk, A.Pentland // Journal of Cognitive Neuroscience. 1991. no. 3. P. 71-86.
3. Belhumeur P.N. Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection / P.N.Belhumeur, J.Hespanha, D.Kriegman // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. V. 19. P. 711-720.
4. Wiskott L. Face recognition by elastic bunch graph matching / L.Wiskott, J.Fellous, N.Kruger, C.Malsburg // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. V. 19. P. 775-779.
5. Messer K. Performance characterization of face recognition algorithms and their sensitivity to severe illumination changes / K.Messer, J.Kittler, J.Short // Proc. of the International Conference on Biometrics (ICB). 2006. P. 1-11.
6. Zhao W. Face recognition: A literature survey / W.Zhao, R.Chellappa, P.Phillips, A.Rosenfeld // ACM Computing Surveys (CSUR). 2003. V. 35, № 4. P. 399-458.
7. Comon P. Independent Component Analysis - A New Concept? / P.Comon // Signal Processing. 1994. V. 36. P. 287-314.
8. Ojala T. Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions / T.Ojala, M.Pietikainen, D.Harwood // Proc. of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition (ICPR). 1994. V. 1. P. 582-585.
9. Ahonen T. Face recognition with local binary patterns / T.Ahonen, A.Hadid, M.Pietikainen // Proc. of the European Conference on Computer Vision (ECCV). 2004. P. 469-481.
10. Huang D. Local binary patterns and its application to facial image analysis: a survey / D.Huang, C.Shan, M.Ardabilian, Y.Wang, L.Chen // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics - part C: applications and reviews. 2011. V. 41, no. 6. P. 765-781.
11. Петрук В.И. Применение локальных бинарных шаблонов к решению задачи распознавания лиц / В.И.Петрук, А.В.Самородов, И.Н. Спиридонов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2011. Спец. вып. Биометрические технологии. С. 58-63.
12. Пеньков П.В. Экспертные методы улучшения систем управления / П.В.Пеньков // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.

13. Головинов С.О. Цифровая обработка сигналов / С.О.Головинов, С.Г.Миронченко, Е.В.Щепилов, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 4. С. 064-065.
14. Преображенский А.П. Исследование возможности определения формы объекта в окрестности восстановления локальных отражателей на поверхности объектов по их диаграммам обратного рассеяния / А.П.Преображенский // Телекоммуникации. 2003. № 4. С. 29-32.
15. Преображенский А.П. Аппроксимация характеристик рассеяния электромагнитных волн элементов, входящих в состав объектов сложной формы / А.П.Преображенский, Ю.П.Хухрянский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 15-16.
16. Преображенский А.П. Алгоритмы прогнозирования радиолокационных характеристик объектов при восстановлении радиолокационных изображений / А.П.Преображенский, О.Н.Чопоров // Системы управления и информационные технологии. 2004. Т. 17. № 5. С. 85-87.
17. Косилов А.Т. Восстановление радиолокационных изображений объектов с использованием методов радиоголографии / А.Т.Косилов, А.П.Преображенский // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2005. Т. 1. № 8. С. 79-81.
18. Чутченко Ю.Е. Исследование возможности улучшения качества изображения / Ю.Е.Чутченко, А.П.Преображенский // Территория науки. 2007. № 3. С. 364-369.
19. Мокеев В.В. Об эффективности анализа и распознавания изображений методом главных компонент и линейным дискриминантным анализом / В.В.Мокеев, С.В. Томилов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2013. Вып. № 3, Т. 13. С. 61-70.
20. Даница А.И. Модели каналов передачи данных / А.И.Даница, В.Н.Кострова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2(17). С. 86-90.
21. Максимова А.А. Методы исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн объектами / А.А.Максимова, А.Г.Юрочкин // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1(16). С. 53-56.
22. <http://www.ixbt.com/news/2016/09/05/algorithm-identifikacii-lic-kompanii-vokord-pokazal-luchshij-rezultat-v-mire-v-teste-megaface.html>

O.E.Logacheva, V.V.Kostyuchenko  
**THE ALGORITHMS FOR FACIAL RECOGNITION**  
*Voronezh Institute of High Technologies*  
*Radio engineering Corporation "VEGA"*

*The basic idea of face recognition is the selection of informative features in the face image, encoding, and comparison of the encoded entity with the database. In this paper the analysis of algorithms based on the method of principal components, linear discriminant analysis, detection of local features, with the application of Gabor wavelets, discrete cosine transform, local binary patterns are given. It is noted that the correlation methods are characterized by computational complexity and require large amounts of memory, in this regard, in practice it is reasonable to use appropriate methods to reduce the dimensionality of the features. Shows the latest developments of the company "Vokord" based on the use of deep neural networks using a test database with a million photos.*

**Keywords:** detection, face, algorithm, machine vision, safety.

#### REFERENCES

1. Brunelli R., Poggio T. Face recognition through geometrical features / R.Brunelli, T.Poggio // European Conference on Computer Vision (ECCV). 1992. pp. 792-800.
2. Turk M. Eigenfaces for recognition/ M.Turk, A.Pentland // Journal of Cognitive Neuroscience. 1991. No. 3. pp. 71-86.
3. Belhumeur P.N. Eigenfaces vs. fisherfaces: recognition using class specific linear projection / P.N.Belhumeur, J.Hespanha, D.Kriegman // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. Vol. 19. pp. 711-720.
4. Wiskott L. Face recognition by elastic bunch graph matching / L.Wiskott, J.Fellous, N.Kruger, C.Malsburg // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1997. Vol. 19. pp. 775-779.
5. Messer K. Performance characterization of face recognition algorithms and their sensitivity to severe illumination changes / K.Messer, J.Kittler, J.Short // Proc. of the International Conference on Biometrics (ICB). 2006. pp. 1-11.
6. Zhao W. Face recognition: A literature survey / W.Zhao, R.Chellappa, P.Phillips, A.Rosenfeld // ACM Computing Surveys (CSUR). 2003. V. 35, No. 4. pp. 399-458.
7. Comon P. Independent Component Analysis - A New Concept? / P.Comon // Signal Processing. 1994. Vol. 36. pp. 287-314.
8. Ojala T. Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions / T.Ojala, M.Pietikainen, D.Harwood // Proc. of the 12th IAPR International Conference on Pattern Recognition (ICPR). 1994. Vol. 1. pp. 582-585.

9. Ahonen T. Face recognition with local binary patterns / T.Ahonen, A.Hadid, M.Pietikainen // Proc. of the European Conference on Computer Vision (ECCV). 2004. pp. 469-481.
10. Huang D. Local binary patterns and its application to facial image analysis: a survey / D.Huang, C.Shan, M.Ardabilian, Y.Wang, L.Chen // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics - part C: applications and reviews. 2011. Vol. 41, no. 6. pp. 765-781.
11. Petruk V.I. Primenenie lokal'nykh binarnykh shablonov k resheniyu zadachi raspoznavaniya lits / V.I.Petruk, A.V.Samorodov, I.N. Spiridonov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie. 2011. Spets. vyp. Biometricheskie tekhnologii. pp. 58-63.
12. Pen'kov P.V. Ekspertnye metody uluchsheniya sistem upravleniya / P.V.Pen'kov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. No. 9. pp. 108-110.
13. Golovinov S.O. Tsifrovaya obrabotka signalov / S.O.Golovinov, S.G.Mironchenko, E.V.Shchepilov, A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2009. No. 4. pp. 064-065.
14. Preobrazhenskiy A.P. Issledovanie vozmozhnosti opredeleniya formy ob"ekta v okrestnosti vosstanovleniya lokal'nykh otrazhateley na poverkhnosti ob"ektov po ikh diagrammam obratnogo rasseyaniya / A.P.Preobrazhenskiy // Telekommunikatsii. 2003. No. 4. pp. 29-32.
15. Preobrazhenskiy A.P. Approksimatsiya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln elementov, vkhodyashchikh v sostav ob"ektov slozhnoy formy / A.P.Preobrazhenskiy, Yu.P.Khukhryanskiy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. Vol. 1. No. 8. pp. 15-16.
16. Preobrazhenskiy A.P. Algoritmy prognozirovaniya radiolokatsionnykh kharakteristik ob"ektov pri vosstanovlenii radiolokatsionnykh izobrazheniy / A.P.Preobrazhenskiy, O.N.Choporov // Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii. 2004. Vol. 17. No. 5. pp. 85-87.
17. Kosilov A.T. Vosstanovlenie radiolokatsionnykh izobrazheniy ob"ektov s ispol'zovaniem metodov radiologografii / A.T.Kosilov, A.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2005. Vol. 1. No. 8. pp. 79-81.
18. Chutchenko Yu.E. Issledovanie vozmozhnosti uluchsheniya kachestva izobrazheniya / Yu.E.Chutchenko, A.P.Preobrazhenskiy // Territoriya nauki. 2007. No. 3. pp. 364-369.
19. Mokeev V.V. Ob effektivnosti analiza i raspoznavaniya izobrazheniy metodom glavnykh komponent i lineynym diskriminantnym analizom / V.V.Mokeev, S.V. Tomilov // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo

- gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika. 2013. Vyp. No. 3, Vol. 13. pp. 61-70.
20. Danitsa A.I. Modeli kanalov peredachi dannykh / A.I.Danitsa, V.N.Kostrova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2(17). pp. 86-90.
  21. Maksimova A.A. Metody issledovaniya kharakteristik rasseyaniya elektromagnitnykh voln ob"ektami / A.A.Maksimova, A.G.Yurochkin // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 1(16). pp. 53-56.
  22. <http://www.ixbt.com/news/2016/09/05/algorithm-identifikacii-lic-kompanii-vokord-pokazal-luchshij-rezultat-v-mire-v-teste-megaface.html>