

УДК 519.68: 681.513.7

С. А. Пучинин, аспирант кафедры «Прикладная математика и информатика»
Ижевский государственный технический университет

ОБЗОР МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛИЦ

Рассматриваются основные этапы распознавания лиц. Приведено описание наиболее известных математических методов, связанных с обработкой изображений, выделением основных признаков и классификацией.

Проблема распознавания лиц имеет давнюю историю и значительную практическую перспективу, чем вызывает большой исследовательский интерес. Несмотря на то, что другие методы идентификации человека (отпечатки пальцев или сканирование радужной оболочки), возможно, более точны, распознавание лиц всегда было в центре внимания ученых в силу своей «неагрессивности» по отношению к пользователям. Этот метод опознавания личности для человека естественен и реализуется на интуитивном уровне.

На сегодняшний день существует уже достаточно много различных подходов к решению этой проблемы. Но несмотря на все разнообразие предложенных методов, можно выделить три общих этапа при решении этой задачи (рис. 1):

1) преобразование исходного изображения в начальное представление (может включать в себя как предобработку, так и математические преобразования, например вычисление главных компонент);

2) выделение ключевых характеристик (например, используются признаки, полученные методом главных компонент или коэффициентов дискретного косинусного преобразования);

3) механизм классификации (моделирования): кластерная модель, метрика, нейронная сеть и т. п.

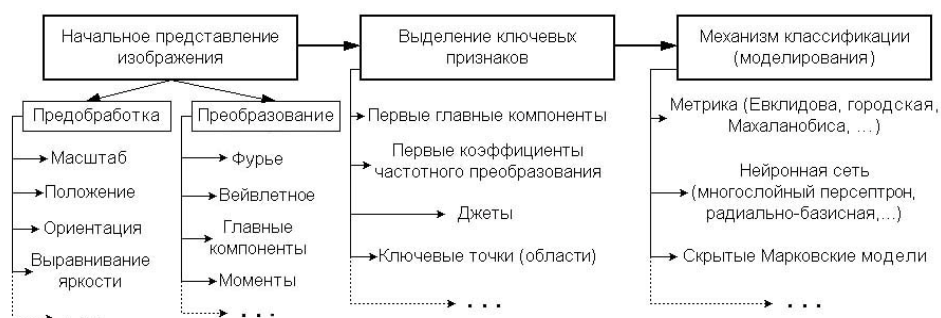


Рис. 1. Общая структура методов распознавания

Антропометрический метод

Одним из самых первых методов стал анализ геометрических характеристик лица. Изначально применялся в криминалистике и был там детально разработан. Потом появились компьютерные реализации этого метода. Суть метода заключает-

ся в выделении набора ключевых точек (или областей) лица и последующем выделении набора признаков. Каждый признак является либо расстоянием между ключевыми (антропометрическими) точками, либо отношением таких расстояний. Наборы наиболее информативных признаков выделяются экспериментально.

Ключевыми точками могут быть уголки глаз, губ, кончик носа, центр глаза и т. п. (рис. 2). В качестве ключевых областей могут быть прямоугольные области, включающие глаза, нос, рот. В процессе распознавания сравниваются антропометрические характеристики неизвестного лица с характеристиками лиц в базе.

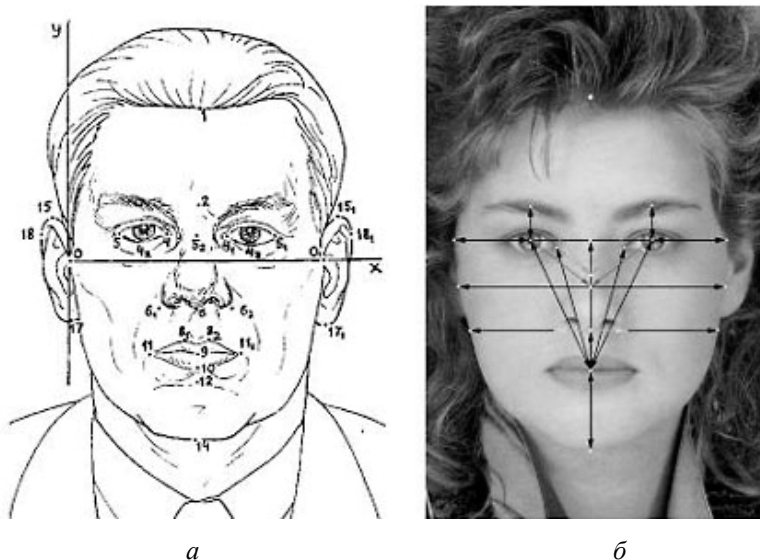


Рис. 2. Антропометрические точки и расстояния:

а – используемые при криминалистической фотоэкспертизе; *б* – наиболее часто применяемые при построении автоматизированных систем идентификации

Успех распознавания во многом определяется выбором системы антропометрических точек и методами их нахождения. Также накладываются значительные требования на ориентацию положения лица и отсутствие помех на изображении.

Метод главных компонент

Одним из наиболее проработанных и популярных является метод главных компонент (иногда его называют методом собственных векторов либо собственных лиц), основанный на преобразовании Карунена – Лоэва [2].

Применение для задачи распознавания человека по изображению лица имеет следующий вид. Входные вектора представляют собой отцентрированные и приведенные к единому масштабу изображения лиц. Собственные вектора, вычисленные для всего набора изображений лиц, называются собственными лицами. Собственные лица имеют полезное свойство, заключающееся в том, что изображение, соответствующее каждому такому вектору, имеет лицеподобную форму. С помощью вычисленных ранее матриц входное изображение разлагается на набор линейных коэффициентов, называемых главными компонентами. Сумма главных компонент, умноженных на соответствующие собственные векторы, является реконструкцией изображения.

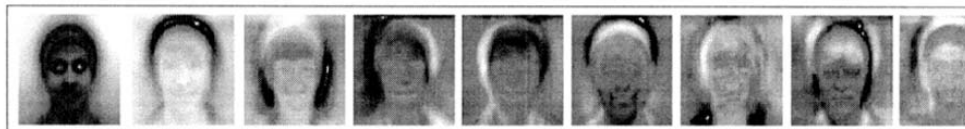


Рис. 3. Девять первых главных компонент лица человека

Для каждого изображения лица вычисляются его главные компоненты. Обычно берется от 5 до 200 главных компонент. Остальные компоненты кодируют мелкие различия между лицами и шум. Процесс распознавания заключается в сравнении главных компонент неизвестного изображения с компонентами всех остальных изображений. Для этого обычно применяют какую-либо метрику.

Исследователями отмечен факт, что при наличии в наборе изображений лиц вариаций, таких как раса, пол, эмоции, освещение, будут появляться компоненты, величина которых в основном определяется этими факторами. Поэтому по значениям соответствующих главных компонент можно определить, например, расу или пол человека. При изменении ракурса изображения наступает момент, когда этот метод при распознавании начинает реагировать больше на ракурс изображения, чем на межклассовые отличия. Классы при этом больше не являются кластерами в собственном пространстве. Эта решается добавлением в обучающую выборку изображений в различных ракурсах. При этом собственные векторы теряют лицеподобную форму.

Основной недостаток – высокие требования к условиям съемки изображений. Изображения должны быть получены в близких условиях освещенности, одинаковом ракурсе, и должна быть проведена качественная предварительная обработка, приводящая изображения к стандартным условиям (масштаб, поворот, центрирование, выравнивание яркости, отсечение фона). Нежелательно наличие таких факторов, как очки, изменения в прическе, выражении лица и прочих внутриклассовых вариаций.

Контурные модели лица

В методах, использующих гибкие контурные модели, распознавание производится на основе сравнения контуров лица. Контуры обычно извлекаются для линий головы, ушей, губ, носа, бровей и глаз. Контуры представлены ключевыми позициями, между которыми положения точек, принадлежащих контуру, вычисляются интерполированием. Для локализации контуров в различных методах используется как априорная информация, так и информация, полученная в результате анализа тренировочного набора. Главной задачей при распознавании по контурам является правильное выделение этих контуров. В общем виде эта задача по сложности сравнима непосредственно с распознаванием изображений. Кроме того использование этого метода самого по себе для задачи распознавания недостаточно.

Сравнение эластичных графов

Сравниваемые объекты изображения лиц описываются в виде графов с взвешенными вершинами и ребрами. При последующем сопоставлении один из графов – эталон – остается неизменным, в то время как другой деформируется с целью наилучшей подгонки к первому. Эталонный граф может представлять собой прямоугольную решетку. Веса вершин соответствуют значениям признаков, характе-

ризующих близлежащие пиксели изображения, в то время как веса ребер – расстояниям между смежными вершинами. Различие между двумя графами $d(Q, R)$ вычисляется при помощи некоторой функции, учитывающей как значения признаков веса вершин, так и степень деформации ребер графа.

Деформация графа происходит путем смещения каждой из его вершин на некоторое расстояние в определенных направлениях относительно ее исходного местоположения и выбора такой ее позиции, при которой разница в весе вершины Q_{vi} деформируемого графа и соответствующей ей вершине R_{vi} эталона будет минимальной. Данная операция выполняется поочередно для всех вершин графа до тех пор, пока не будет достигнуто наименьшее (для данной пары графов) значение $d(Q, R)$.

Процесс распознавания неизвестного лица состоит в сравнении графа изображения лица со всеми остальными графами из набора при помощи функции подобия.

Скрытые марковские модели

Марковские модели являются мощным средством моделирования различных процессов и распознавания образов [1]. По своей природе марковские модели позволяют учитывать непосредственно пространственно-временные характеристики сигналов и поэтому получили широкое применение в распознавании речи, а в последнее время – изображений (в частности изображений лиц).

В распознавании образов скрытые марковские модели применяются следующим образом. Каждому классу i соответствует своя модель λ_i . Распознаваемый образ (речевой сигнал, изображение и т. д.) представляется в виде последовательности наблюдений O . Затем для каждой модели λ_i вычисляется вероятность того, что эта последовательность могла быть сгенерирована именно этой моделью. Модель λ_j , получившая наибольшую вероятность, считается наиболее подходящей, и образ относят к классу j .

Одна из первых работ, применяющая СММ для распознавания изображений лиц, – это диссертация Фердинанда Самарии, которой предшествовали работы по распознаванию изображений других видов скрытыми марковскими моделями. В этой работе распознавание осуществлялось как простейшими одномерными линейными СММ, так и псевдодвумерными.

Суть двумерных марковских моделей заключается в том, что в отличие от одномерных линейных СММ они позволяют моделировать искажения изображения и взаимное расположение участков не отдельно по горизонтали или вертикали, а в обоих направлениях одновременно. Для уменьшения вычислительной сложности применяются псевдодвумерные СММ. Такая модель состоит из нескольких линейных вертикальных моделей нижнего уровня и одной линейной горизонтальной модели верхнего уровня, на вход которой поступают выходы моделей нижнего уровня (рис. 4). Каждое состояние модели верхнего уровня включает в себя последовательность состояний соответствующей модели нижнего уровня. Модели нижнего уровня не связаны между собой.

Как можно видеть, правильный выбор метода классификации (моделирования), начального представления изображения и учет его особенностей в сочетании с применением априорных знаний о предметной области дали успешный результат.

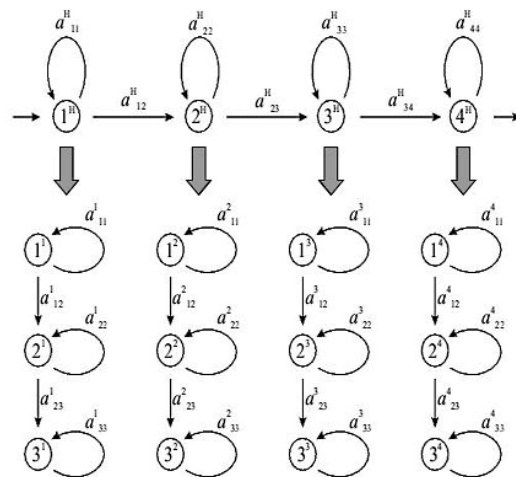


Рис. 4. Псевдодвухмерная скрытая марковская модель

Недостатком СММ является то, что СММ не обладает различающей способностью, т. е. алгоритм обучения только максимизирует отклик каждой модели на свои классы, но не минимизирует отклик на другие классы, и не выделяются ключевые признаки, отличающие один класс от другого.

Список литературы

1. Брилюк, Д. В. Методы распознавания человека по изображению лица. Достоинства и недостатки, сравнение. [Электронный ресурс]. – Код доступа <http://daily.sec.ru/dailypbshow.cfm?rid=45&pid=4425&q=%C1%F0%E8%EB%FE%EA%#4425>
2. Самаль, Д. И. Алгоритмы идентификации человека по фотопортрету на основе геометрических преобразований [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01; Защищена 16.04.02. – Минск, 2002. – 168 с.
3. Ту Дж. Принципы распознавания образов [Текст] / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М. : Мир, 1978. – 411 с.
4. Файн, В. С. Опознавание изображений [Текст] / В. С. Файн. – М. : Наука, 1970. – 299 с.