

О распознавании лиц

Л. Р. Адылова

Изучаются методы геометрического распознавания расовой принадлежности лица человека по фотографии. Находятся геометрические инварианты лица, позволяющие отнести его к одному из трех расовых кластеров: монголоидному, европеоидному, негроидному. Таких инвариантов в виде точек лица при определенном образом заданной системе координат оказалось 11. По этим точкам строился код, к которому затем применялись различные методы для распознавания лиц.

Ключевые слова: распознавание, инварианты, геометрические методы, раса, обучение.

1. Введение

Задача работы состоит в нахождении алгоритма для распознавания принадлежности данного лица к одному из кластеров, выделенных среди человеческих рас. Рассматривается способ распознавания с помощью построения кода лица по выбранным путем эксперимента определенным инвариантам лица. Обработка фотографии производится по следующим пунктам:

- построение координатной сетки, покрывающей лицо,
- нахождение координат инвариантов,
- построение кода по этим координатам,
- нахождение определяющих векторов рас,
- выяснение принадлежности лица кластеру с помощью сравнения кода и определяющего вектора.

В настоящее время база лиц, на которых проводится эксперимент, имеет в себе 189 обработанных фотографий женских лиц, в возрасте от 18 до 50, смотрящих прямо, без закрывающих лицо объектов.

Эксперименты проводятся с различными методами построения определяющих векторов — примитивный по отрезкам и вероятностный метод доверительных интервалов. Выясняется возможность и необходимость использования весов элементов кода и обучения определяющих векторов. Одна из ветвей алгоритма состоит в том, чтобы использовать два вектора кода на каждое лицо — по левой и правой половине лица. Также использовано два альтернативных метода, без построения определяющих векторов — нахождение центра тяжести базовой выборки кодов лиц, где они рассматриваются как точки в многомерном пространстве и нахождение среднего расстояния по расстояниям до каждой из этих точек.

Ответ алгоритма представляет собой трехмерный вектор (или шестимерный в случае двойного кода), каждая координата которого определяет процент принадлежности к определенной расе.

2. Расы

Раса — исторически сложившаяся группа людей, связанная единством происхождения, которое выражается в общих наследственных морфологических и физиологических признаках, варьирующих в определённых пределах.

Исследования классической антропологии показывают, что существует два ствола — восточный и западный, поровну распределяющие шесть рас человечества. Разделение на три расы — «белую», «жёлтую» и «чёрную» — устаревшая позиция. При всей внешней несхожести, расы одного ствола связаны большей общностью генов и ареалов, нежели соседние расы. В настоящее время ученые выделяют около 30 человеческих рас (расово-антропологических типов), объединённых в три группы рас, которые именуются «большими» расами.

а) Европеиды

Морфологические признаки:

1) Цвет кожи

Светлокожие: розоватость кожи благодаря просвечиванию кровеносных сосудов; у одних более светлая окраска кожи, у других более смуглая;

- 2) Окраска и форма волос и глаз
Прямые или волнистые светло-русые или темно-русые мягкие волосы; серые, серо-зеленые или каре-зеленые глаза;
- 3) Форма губ и носа
Узкий, сильно выступающий нос, нетолстые губы; ортогнатизм¹;
- 4) Волосистой покров
Среднее или сильное развитие волос на теле и на лице;
- 5) Форма лица и подбородка
Слабо выступающие вперед челюсти и верхний отдел лица, средне выступающий подбородок; лицо узкое;
- 6) Рост
У большинства рост средний, нередко высокий.

Европеоидная раса — раса, распространённая до эпохи Великих географических открытий в Европе, западной Азии и северной Африке, Индостан; позже — на всех населённых континентах, особенно широко европеоиды расселились в Северной Америке, Австралии, Северной Азии и Дальнем Востоке.

Европеоидная раса подразделена на три главные группы:

- южная — со смуглой кожей, тёмными глазами и волосами;
- северная — со светлой кожей, значительной долей серых и голубых глаз, русых и белокурых волос;
- промежуточная — для которой характерна среднеинтенсивная пигментация.

б) Монголоиды

Морфологические признаки:

- 1) Цвет кожи
Кожа смуглая, желтоватого оттенка, иногда желто-коричневая;
- 2) Окраска и форма волос и глаз
Прямые жесткие иссиня-черные волосы, узкие и слегка раскосые со складкой верхнего века (эпикантус);

¹Ортогнатизм — от греч. orthos — прямой и gnathos — челюсть — отсутствие или незначительность выступания вперёд верхней челюсти по отношению к общей фронтальной плоскости лица.

- 3) Форма губ и носа
Плоский и довольно широкий нос, губы развиты средне;
- 4) Волосистой покров
Третичный волосистой покров развит слабо: борода и усы у мужчин появляются поздно, редко достигают густоты;
- 5) Форма лица и подбородка
Лицо плоское, скулы широкие, подбородок и челюсти слабо выдаются вперед;
- 6) Рост
У большинства рост средний или ниже среднего.

Монголоидная раса — раса коренных обитателей восточной и северной Азии, а также Америки (эскимосы и индейцы). Делится на несколько малых рас:

- североазиатская (8–3 тыс. до н.э.);
- центрально-азиатская (с 3–4 веков, путём смешивания с европеоидами);
- арктическая (туземных обитателей Гренландии и вообще северных полярных стран);
- южно-азиатская (юго-восток Азии);
- дальневосточная;
- американская (протомонголоиды);
- центрально-азиатская (с 3–4 веков, путём смешивания с европеоидами).

Представители

Одним из ярких представителей монголоидной расы являются монголы, с которыми европейцы столкнулись в XIII веке. К классическим монголоидам относятся также буряты и тувинцы. У японцев и китайцев наблюдается примесь австралоидной расы. У жителей Индокитая и Юго-Восточной Азии эта примесь ещё более очевидна. Региональной разновидностью монголоидов является лапоидная раса.

в) Негроиды

Морфологические признаки:

- 1) Цвет кожи
Шоколадно-коричневая или даже почти черная (желтовато-коричневая);
- 2) Окраска и форма волос и глаз
Курчаво-шерстистые темные волосы; карие или черные глаза;
- 3) Форма губ и носа
Довольно плоский и мало выступающий нос с низким переносьем и широкими крыльями; толстые губы; прогнатизм²;
- 4) Волосистой покров
Третичный волосистой покров развит слабо: борода и усы у мужчин появляются поздно, редко достигают густоты;
- 5) Форма лица и подбородка
Лицо узкое и низкое; умеренно развитый подбородок, скулы выступают слабо;
- 6) Рост
У большинства рост высокий или ниже высокого.

Негроидная раса — раса коренных обитателей Африки. В ее состав входят 3 малых расы.

- Негры.
- Негриллы, Пигмеи (греч. *Πυγμαλίοι* — «люди величиной с кулак») — группа низкорослых негроидных народов, обитающих в лесах тропической Африки. Рост от 144 до 150 см для взрослых мужчин, кожа светло-коричневая, волосы курчавые, темные, губы сравнительно тонкие, крупное туловище, руки и ноги короткие. Возможная численность пигмеев может составлять от 40 до 200 тысяч человек.
- Бушмены (англ. Bushman означает «человек (из) кустов») — собирательное название, применяемое к нескольким коренным южноафриканским народам охотников-собирателей, говорящих на койсанских языках и относимых к капоидной расе. Общая численность — около 100 тысяч человек. Антропологически отличаются от негроидов, поскольку имеют более светлую кожу и тонкие губы.

²Прогнатизм — антропологический термин, обозначающий один из типов строения лица человека. Прогнатизм предполагает выступающие вперед челюсти, кроме того, нижняя челюсть лишена подбородочного выступа. Эти черты создают острый лицевой угол.

- Готтентоты (нидерл. hottentot — «заика»; самоназвание кой-койн — «настоящие люди») — этническая общность на юге Африки. Ныне населяют Южную и Центральную Намибию. Общая численность готтентотов около 40 тысяч человек.

В данной работе рассматриваются три кластера, каждый из которых определяет одну из трех больших рас.

Для распознавания принадлежности лица к определенному кластеру были выбраны следующие признаки:

- 1) высота лба от переносицы;
- 2) расстояние между внутренними и внешними уголками глаз;
- 3) расстояние от кончика носа до подбородка;
- 4) ширина носа;
- 5) расстояние от переносицы до кончика носа;
- 6) расстояние до центра губ.

Эти признаки являются определяющими для расовой принадлежности, как видно из многих источников по антропологии [5, 6, 7, 8, 12]. Кроме того, если обратить внимание на человеческий аппарат распознавания лица, то видно, что он пользуется этими же характерными признаками.

3. Алгоритм решения

Уже были выбраны инварианты, из них выделены точки и по точкам строится вектор чисел, являющийся кодом Козлова для данного набора точек. Вот эти инвариантные точки (то есть некая функция именованная для точек сетки):

- 1) левый глаз внешний край;
- 2) левый глаз внутренний край;
- 3) правый глаз внешний край;
- 4) правый глаз внутренний край;
- 5) левое крыло носа;
- 6) правое крыло носа;
- 7) кончик носа;

- 8) центр рта;
- 9) низ подбородка;
- 10) переносица;
- 11) вершина лба.

Подзадача нахождения выбранных точек на лице равнозначна по сложности самой задаче распознавания расовой принадлежности. В данной работе нахождение нужных координат осуществлялось вручную. Для их получения на лицо набрасывается координатная сетка, начало координат располагается внизу подбородка.

Используется приведенная выше функция именованная. Таким образом, при проверке эквивалентности изображений не нужно подбирать функцию нумерации — достаточно проверить эквивалентность множества индексированных чисел. Код хорош в том смысле, что позволяет игнорировать системы координат, величины фотографий и, вообще говоря, единицы измерения. Но для данной задачи единицы измерения принципиально важны в плане точности, поэтому используются только пиксели.

Существует два варианта кода: по левой половине лица, по восьми точкам, которые находятся там, и код из двух частей — по левой половине и по правой. Лицо можно считать симметричным, так как задача находится в пределах точности для распознавания расы. Выбрано 8 точек. Точки вершины лба, переносицы, кончика носа, центра рта и низа подбородка лежат на одной линии (линии, которая разделяет лицо на две симметричные половины) и образуют вырожденные треугольники, поэтому треугольники из этих точек в коде не участвуют. Так получаем $C_8^3 - C_5^3 = 46$ треугольников.

Таким образом, кодируем лицо вектором

$$\left(\frac{\Delta_1}{\Delta_2}, \frac{\Delta_1}{\Delta_3}, \frac{\Delta_1}{\Delta_4} \dots \frac{\Delta_1}{\Delta_{46}}; \frac{\Delta_2}{\Delta_3}, \frac{\Delta_2}{\Delta_4} \dots \frac{\Delta_2}{\Delta_{46}}; \dots; \frac{\Delta_{45}}{\Delta_{46}} \right),$$

длина которого составляет 1035 элементов.

Возможны случаи вырожденного треугольника, например, если внешний уголок глаза лежит на линии, образованной переносицей и внутренним уголком глаза. Выберем базовую выборку (для создания определяющего вектора) так, чтобы таких случаев не было. Если это произойдет на проверяемом лице, то считаем:

- все элементы кода, в знаменателе которых находится площадь вырожденного треугольника, записываются в виде «-1»;
- все элементы кода, в числителе которых находится площадь вырожденного треугольника, проверяются на входжение, считая площадь равной 0.

Так обрабатывается каждая фотография из тестовой выборки. Определяющий вектор строится по базовой выборке. Для каждого лица из этой выборки, принадлежащих одной расе, строится код. Получаем матрицу:

$$\begin{pmatrix} K_1^1 & \dots & K_{23*45}^1 \\ K_1^2 & \dots & K_{23*45}^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ K_1^m & \dots & K_{23*45}^m \end{pmatrix},$$

где m — мощность базовой выборки для монголоидной, европеоидной или негроидной расы.

Определяющий вектор в случае распознавания интервалами состоит из пар чисел, соответственно максимальный и минимальный элементы из всех возможных в базовой выборке.

Проверка принадлежности определенному кластеру проводится очевидная — входит ли каждый элемент кода в допустимый разброс.

В случае распознавания с доверительными интервалами i -тый элемент определяющего вектора является парой (α_i, δ_i) , где α_i — центр доверительного интервала, δ_i — величина доверительного интервала для разброса случайной величины K_j^i для всех $j = 1 \dots m$, $i = 1 \dots 45 * 23$. На тестовой выборке каждый i -тый элемент кода лица проверяется на входжение в доверительный интервал $[\alpha_i - 3 * \delta_i; \alpha_i + 3 * \delta_i]$. δ_i находится по формуле для среднеквадратичного отклонения:

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\bar{x} - x)^2}{m}}.$$

Для распознавания с использованием весов введем функцию веса элемента определяющего вектора.

Если на базовой выборке какой-либо доверительный интервал мал, то есть разброс элемента небольшой, то этот элемент можно считать характеристическим для данной расы. Следовательно, функция веса $\mu = \mu(\delta^{-1})$.

Так как δ может быть очень мало, то δ^{-1} будет неограниченно возрастать. Кроме того, весовые значения могут быть разными на разных определяющих векторах. Поэтому введем $\bar{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_{45*23})$ таким образом:

$$S = \mu_1 + \dots + \mu_{23*45}, \quad (*)$$

где S — некоторая константа. Возьмем $S = 100$.

Доля μ_i в S должна быть пропорциональна δ_i^{-1} : $\frac{\mu_i}{\mu_j} = \frac{\delta_i^{-1}}{\delta_j^{-1}}$, для всех $i < j$, $i, j = 1 \dots 45 * 23$. Получим систему уравнений с неизвестными $\mu_1 \dots \mu_{23*45}$. Достаточно выразить все μ_j , $j > 1$, через μ_1 из $\frac{\mu_1}{\mu_j} = \frac{\delta_1^{-1}}{\delta_j^{-1}}$ и подставить это в (*). Найдем μ_1 и все остальные веса.

Таким образом, каждому элементу определяющего вектора соответствует вес.

При поступлении лица, которое проверяется, находим вектора $\bar{\chi}$ для каждого определяющего вектора:

$$\chi_i = \begin{cases} 0, & \text{если } K_i \notin [\alpha_i - 3 * \delta_i; \alpha_i + 3 * \delta_i], \\ 1, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Находим числа $\chi * \mu$. Тот определяющий вектор, для которого это число максимально, является ответом алгоритма, то есть лицо принадлежит этой расе.

Обучение происходит путем изменения весов.

Для каждого кода из обучающей выборки:

- 1) если произошла ошибка, то ничего не меняется;
- 2) если распознано верно, то изменяем веса правильного определяющего вектора.

Изменение весов происходит следующим образом:

Рассмотрим множество $I = i | \chi_i = 0$. Возьмем доверительные интервалы на i -тых позициях в определяющем векторе и расширим их, чтобы χ_i стали 1 для всех $i \in I$. Это приводит к увеличению δ_i . Делается это с помощью добавления кода, который был распознан верно, в определяющую выборку.

Пересчитаем $\bar{\mu}$. Получим, что μ_i для всех $i \in I$ уменьшились, а остальные увеличились. То есть мы увеличиваем веса тех элементов

кода, которые позволили принять правильное решение. Затем проверяем работу на тестовой выборке и делаем вывод о действенности кода.

Альтернативные методы распознавания были построены на идее о том, что, вообще говоря, коды лиц из базовых выборок представляют собой наборы точек в 1035-мерном пространстве и у них можно найти центр тяжести и находить расстояния от проверяемых лиц до этих точек и этого центра тяжести.

4. Проведенные тесты и результаты

С помощью реализованных на С++ алгоритмов были проведены численные эксперименты. База данных состояла из 70 фотографий для европеоидной расы, 62 — для монголоидной и 57 — для негроидной. Соотношение количества фотографий для каждого кластера было основано на примерном распределении общего количества людей в каждом из них.

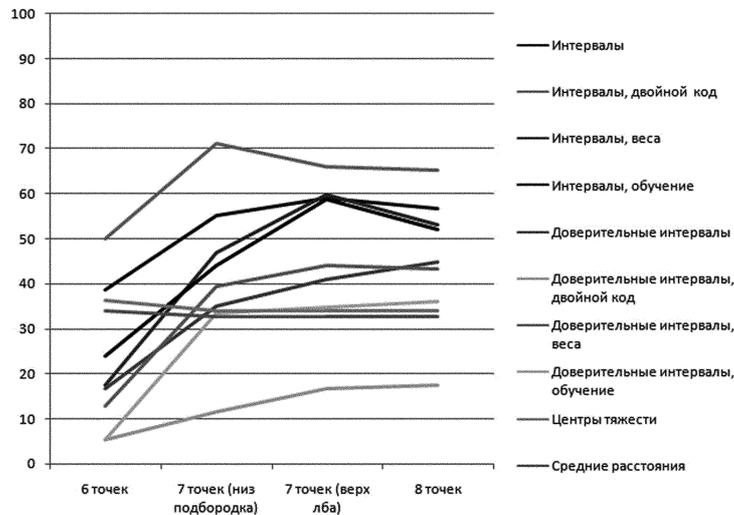


Рис. 1. Зависимость от числа точек-координат при размерах определяющих выборок 21–19–17.

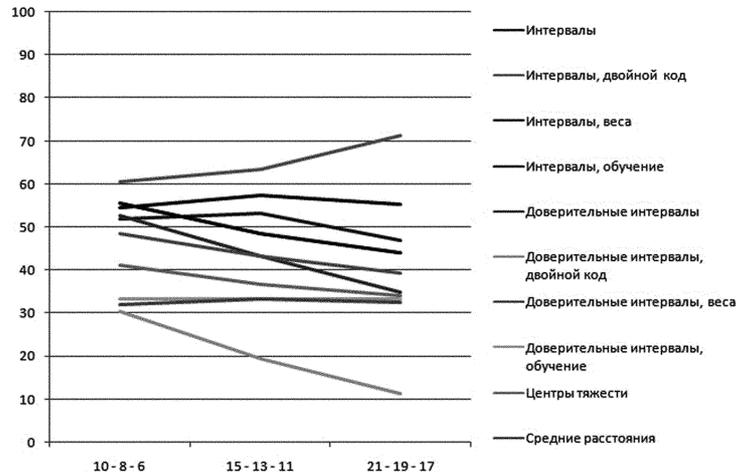


Рис. 2. Зависимость от размеров определяющих выборок при 7 точках (без низа подбородка).

При проведении экспериментов варьировались следующие параметры: количество лиц в определяющей выборке, количество точек используемых для построения кода. В качестве определяющей выборки, для составления определяющего вектора, бралось либо 30% лиц, то есть 21, 19 и 17 соответственно, либо 15, 13, 11, либо 10, 8, 6. В качестве точек для построения кода брались либо все 8, либо отбрасывалась точка верха лба, либо точка низа подбородка, также был проведен эксперимент без обеих этих точек.

При тестировании ветвей алгоритма с обучением выделялась еще и обучающая выборка, которая имела размер 30% от всей базы лиц.

Верно распознанным считался только тот код, который давал на своем кластере строго большее значение, то есть при равном проценте для двух кластеров считалось, что сделана ошибка.

Процент верного распознавания считался как отношение верно распознанных лиц ко всей тестовой выборке (база за вычетом определяющей и обучающей выборки). Процент верного распознавания для каждой расы считался как отношение количества верно распознанных лиц к общему числу лиц отнесенному к этой расе.

Список литературы

- [1] Лифшиц Ю. Методы распознавания лиц / Лекция 8 курса: *Современные задачи теоретической информатики*. Лаборатория мат. логики ПОМИ РАН, ИТМО. Осень 2005.
- [2] Глазунов А. Открытые системы. Безопасность. Компьютерное распознавание человеческих лиц. http://www.osp.ru/os/2000/03/177945/_p1.html
- [3] Брилюк Д. В. Нейросетевые методы распознавания изображений. http://rusnauka.narod.ru/lib/author/briluk_d_b/1/
- [4] Трофимов В. Распознавание образов. <http://teormin.ifmo.ru/education/intro/pattern-recognition.html>
- [5] Расы человека. <http://bannikov.narod.ru/rass.html>
- [6] Расы человека, их происхождение и единство. <http://slovo.ws/urok/biology/11/01/txt/39.html>
- [7] Основные расы человека, причины их возникновения и доказательства единства. <http://sbio.info/page.php?id=65>
- [8] Расы. <http://bse.sci-lib.com/article095673.html>
- [9] Кудрявцев В. Б., Гасанов Э. Э., Подколзин А. С. Введение в теорию интеллектуальных систем. М., 2006.
- [10] Аффинные преобразования. http://ru.wikibooks.org/wiki/Аффинные_преобразования
- [11] Козлов В. Н. К математической теории зрительного восприятия // *Интеллектуальные системы*. Т. 10, вып. 1–4. 2006. С. 141–166.
- [12] Расы, расовые различия. <http://www.birdstory.ru/study-5-1.html>
- [13] Существующие алгоритмы распознавания лиц. <http://daily.sec.ru/dailypblshow.cfm?rid=5&pid=4425&pos=1&stp=50>