

УДК 004.93

А.А.Махкамов¹, О.А.Даминов¹, С.Н.Мирзаева²

¹Институт математики и информационных технологий АН РУз (г. Ташкент, Узбекистан),

²Академический лицей при ТУИТ (г. Ташкент, Узбекистан)

АЛГОРИТМЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИЦА ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В докладе рассматриваются задачи выделения области лица на изображении и его основных элементов. Описаны алгоритмы обнаружения лица на изображении, а также приведены алгоритмы поиска зрачков и определения местонахождений рта и носа на изображении.

Ключевые слова: *выделение области лица, определение координат зрачков, определение местонахождения рта и носа, идентификация личности, выделение геометрических характеристик лица.*

Введение. Анализ литературных источников по проблемам анализа и обработки изображений показывает, что разработки и исследование методов и алгоритмов для решения задач моделирования процессов идентификации личности человека по изображению лица была затронута ещё на самых ранних стадиях развития компьютерных технологий обработки изображений [1, 2]. Эти методы и алгоритмы бурно развиваются, и это послужило причиной появления интеллектуальных систем, основанных на современных информационных технологиях.

В настоящее время широкое распространение получили интеллектуальные системы. Примерами могут служить: осуществление связи между людьми посредством Интернета (видеоконференции, консультации, почта); поиск информации в Интернете и получение доступа к ним; организация электронной коммерции; системы "клиент-банк"; контроль доступа (к базе данных, программной системе, зданиям и т.д.); поиск человека в базе данных по изображению лица.

Все вышеупомянутые задачи имеют одно общее свойство – в них требуется осуществить связь между человеком и системой в диалоговом режиме. И, самое главное, вход в систему имеет право войти только зарегистрированный пользователь, и интеллектуальная система управляет этими процессами. В связи с этим, одним из центральных задач в интеллектуальных системах является задача идентификации пользователя. Эта задача успешно решается с помощью биометрических методов идентификации личности.

Учитывая эти обстоятельства, на сегодняшний день во многих развитых странах активно ведутся исследования в области идентификации личности на основе биометрических параметров [3, 4]. Среди них идентификация личности по изображению лица признана наиболее приемлемой для массового применения [5, 6]. Однако вопросы разработки и применения алгоритмов предварительной обработки изображений лица при идентификации личности являются малоисследованными [7].

Данная работа посвящена вопросам разработки алгоритмов предварительной обработки изображения лица, составляющих основу для создания систем идентификации личности человека по изображению.

Постановка задачи. Рассмотрим множество допустимых изображений лица \mathfrak{S} , которые состоят из l непересекающихся классов K_1, \dots, K_l :

$$\mathfrak{S} = \bigcup_{j=1}^l K_j, \quad K_i \cap K_j \neq \emptyset, \quad i \neq j, \quad i, j \in \{1, \dots, l\}.$$

Пусть дана выборка \tilde{S}^m ($\tilde{S}^m = \{S_1, \dots, S_u, \dots, S_m\}$, $\tilde{S}^m \in \mathfrak{S}$), которая состоит из m изображений лица. Задача заключается в формировании такого пространства геометрических признаков X ($X = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$), которое характеризует исходное изображение лица и обеспечит решение задачи предварительного распознавания личности. При этом требуется, что каждому изображению лица в пространстве геометрических признаков соответствует его

описание $I(S_u)$: $I(S_u) = (a_{u1}, \dots, a_{ui}, \dots, a_{um})$, $S_u \in \tilde{S}^m$. Таких признаков может быть достаточно много. Эти признаки формируются на основе различных расстояний между элементами (антропометрическими точками) лица [5, 7].

Метод решения. Для решения задачи формирования геометрических признаков при идентификации личности человека предложены алгоритмы предварительной обработки изображения лица, которые представляют основного направления при создании систем идентификации личности человека по изображению. В данной работе рассматриваются вопросы определения области лица и местоположения лицевых элементов на изображении, которые представляют неотъемлемую часть создания системы биометрической идентификации.

Алгоритм выделения области лица на изображении и его элементов состоит из следующих основных этапов:

- выделение области лица на изображении;
- определение координат зрачков;
- определение местонахождения рта и носа.

Рассмотрим эти этапы более подробно.

1. Выделения области лица. В этом этапе реализуются две процедуры выделения области лица на изображении. Первая процедура основана на выделении участков изображения по цвету кожи человека на цветном изображении. Во второй процедуре осуществляется поиск маски лица на основе анализа коэффициентов корреляции.

1.1. Метод, основанный на анализе цвета кожи в цветовой модели RGB. Для определения области лица на цветном изображении осуществляется разделение всех пикселей по цвету, которые похожи на цвет кожи и которые не похожи. Известно, что цвет кожи одного и того же человека на изображении меняется в зависимости от загара, освещенности и т.п. условий. Следовательно, понятие «цвет кожи» не может подаваться к точному математическому описанию. Однако в процессе экспериментальных исследований определено, что все пиксели, которые соответствуют области кожи на изображении, имеют цвета определенного диапазона. Этого диапазона в цветовом пространстве RGB можно описать с помощью следующих предикатов [6]:

$$(R > 95) \& (G > 40) \& (B > 20) \& (Z > 15) \& (|R-G| > 15) \& \\ \& (R > G) \& (R > B) \& (Z_R < 57) \& (Z_G < 35) \& (Z_B < 35),$$

где $Z = \max(R, G, B) - \min(R, G, B)$, $Z_R = (R \times 100) / (R + G + B)$, $Z_G = (G \times 100) / (R + G + B)$, $Z_B = (B \times 100) / (R + G + B)$.

После этого определяется такая часть из выделенных областей, которая имеет наибольшее количество связанных пикселей. Выделенная часть преобразуется на бинарное изображение, и эта область описывается эллипсом. Оси эллипса a и b вычисляются по формулам:

$$a = 2 \sqrt{Y_{\text{var}} / n}, \quad b = 2 \sqrt{X_{\text{var}} / n}, \quad X_{\text{var}} = \sum_{(x,y) \in C} (x - \bar{x})^2, \quad Y_{\text{var}} = \sum_{(x,y) \in C} (y - \bar{y})^2,$$

где C – объект на изображении (чёрные пиксели), n – количество пикселей в объекте.

Центр эллипса совпадает с гравитационным центром объекта. Гравитационный центр вычисляется по формуле:

$$\bar{x} = \sum_{i \in C} x_i / n, \quad \bar{y} = \sum_{i \in C} y_i / n.$$

На последнем этапе заполняются дырки, образовавшиеся внутри эллипса, и восстанавливаются пиксели, соответствующие ее координатам на цветном изображении.

1.2. Метод, основанный на корреляционном анализе. Известно, что с применением корреляционного метода можно оценить сходство двух объектов. На основе этого сходства рассмотрим определение области лица на изображении. Для этого выбирается маска (часть лица) и, скользя ею по изображению, вычисляются оценки сходства объектов, заданного в виде изображений, на основе коэффициентов корреляции между маской и соответствующей части на изображении. Если вычисленные оценки сходства превышают некоторый порог q , то соответствующая часть изображения принимается как область лица на изображении. В результате экспериментальных исследований определено, что метод хорошо работает при пороге $q = 0,55$.

В качестве маски выбрана центральная область изображения лица [7]. При создании маски использованы 50 изображений, принадлежащих к разным людям (женщинам, мужчинам, молодым, старым и т.д.). Каждый пиксель этой маски является усреднением значений соответствующих пикселей изображений. При сравнении маски с исходным изображением размер области, в которой расположено лицо, на проверяемом изображении априори не задан. В связи с этим в процессе поиска области лица размер маски постепенно уменьшается после каждой итерации. Для каждого размера маски коэффициент корреляции вычисляется заново. Процесс поиска продолжается до тех пор, пока размер маски не будет меньше, чем заданного размера.

После локализации лица на изображении, можно приступить к определению координаты лицевых элементов.

2. Поиск зрачков. Определение координат зрачков осуществляется с помощью двух алгоритмов.

2.1. Алгоритм поиска зрачков на основе анализа контуров окружности. Этот алгоритм можно применять только к бинарным изображениям. Поэтому, сначала, цветное изображение (определенную область лица) преобразуется в полутоновое, а затем в бинарное. Ведется поиск объектов в форме окружности. Оценка найденных объектов по размеру, относительно полученной на первом шаге маски лица позволяет отбросить самые мелкие из них. Для оставшихся проводится уточнение наиболее вероятного местоположения глаз с помощью преобразований Хафа для поиска окружности. Проведем окружность с радиусом R и центром в точке $P(x,y)$. Если эта окружность подходит для описания граничных точек, то данную точку можно считать центром окружности, который описывается в виде:

$$P(x, y) = 50 L_{border} / pR, P_{center} = \max\{P_1, P_2, \dots, P_n\}, \quad 2 < R < 9.$$

Здесь L_{border} – количество граничных точек, подходящих окружности.

2.2. Алгоритм поиска зрачков на основе анализа яркости окружности. Этот алгоритм предназначен для определения центров зрачков на изображении. Идея этого алгоритма состоит в том, что в рассматриваемой области находятся центр окружности, описанной наиболее темными пикселями изображения. Он состоит из следующих шагов.

На первом шаге приблизительно определяются центры зрачков. Для этой цели используется метод определения области лица на основе анализа корреляционных коэффициентов. Определяются координаты зрачков по маске. Во многих случаях координаты зрачков по маске не совпадают с координатами зрачков на изображении. И следующим шагом уточняются приблизительно найденные координаты зрачков.

На втором шаге вычисляются следующие параметры для проверяемых окружностей:

- минимальные (R_{Min}) и максимальные (R_{Max}) радиусы:

$$R_{Min} = 0,05 \times W_{Mask}, \quad R_{Max} = 0,06 \times W_{Mask},$$

где W_{Mask} - ширина маски;

- определяются границы (LS_x – левая граница, RS_x – правая граница, TS_y – верхняя граница, BS_y – нижняя граница) для области поиска M_{xy} :

$$LS_x = E_x - (k \cdot R_{Max}), \quad RS_x = E_x + (k \cdot R_{Max}), \quad TS_y = E_y - R_{Max}, \quad BS_y = E_y + (k \cdot R_{Max}),$$

где E_x и E_y – координаты зрачков, k – параметр, определяющий область поиска.

На третьем шаге определяется минимальное значение яркости в области поиска по формуле:

$$G_{Min} = \min_{x,y}(M_{xy}), \quad x = \overline{LS_x, RS_x}, \quad y = \overline{LS_y, RS_y}.$$

На четвертом шаге строятся окружности с радиусом R (первоначально $R = R_{Min}$ и $R_{Max} = 0$) в области поиска и вычисляется параметр P для каждой окружности.

$$P = 100 \left(\sum_x \sum_y [255 - G_R(x, y)] \right) / (255 - G_{Min}) \cdot p \cdot R^2,$$

где $G_R(x, y)$ - значение яркости точки с координатами (x, y) , принадлежащей окружности с радиусом R .

На пятом шаге определяются максимальное значение из значений P_i , вычисленных для всех окружностей с радиусом R , и соответствующие координаты зрачков:

$$P_R = \max\{P_1, P_2, \dots, P_n\}.$$

На шестом шаге проверяется выполнение условия $P_R > P_{Max}$. Если она выполняется, то в качестве нового значения P_{Max} берется P_R и определяются соответствующие координаты (E_x, E_y) .

На седьмом шаге значение R увеличивается на единицу. Если выполняется $R \leq R_{Max}$, то осуществляется переход к четвертому шагу. В противном случае процесс поиска завершается.

3. Определение местонахождения рта и носа. Для определения местонахождения рта и носа можно использовать интегральные проекции, однако перед этим требуется произвести нормализацию исходного изображения лица, опираясь на полученные координаты центров зрачков. Если зрачки не находятся на одной горизонтали, то вычисляется угол поворота a :

$$a = \arctg(V/G) \quad (0 < a < p/2),$$

где V – разница между зрачками по вертикали, а G – по горизонтали.

Если угол a близок к нулю, то не требуется поворачивать изображение. В противном случае изображение следует повернуть. Исследование различных алгоритмов поворота цифровых изображений показало целесообразность применения в данном случае алгоритма Оуэна и Македона (поворота сдвигом) [8].

На нормализованном изображении лица (центры зрачков принадлежат одной горизонтали), исследуется прямоугольная область размером $W \times H$, где W – это расстояние по горизонтали между найденными центрами зрачков, а $H = 1,5 * W$.

С помощью вертикальной интегральной проекции вычисленной по полутоновому представлению исходного изображения определяется горизонтальная линия рта – глобальный экстремум в нижней половине исследуемой области.

Абсцисса точки, принимающей за центр рта, вычисляется как середина отрезка между центрами зрачков:

$$X_{mouth} = X_{left_eye} + (X_{right_eye} - X_{left_eye})/2.$$

Область местонахождения кончика носа вычисляется по интегральной проекцию изображения лица. Следует отметить, что указанные пропорции справедливы для не сильно повернутых и наклоненных изображений, относительно осей, проходящих через позвоночник человека, и через центры козелков, соответственно [9].

Ордината кончика носа вычисляется так же с помощью интегральной проекции, абсцисса принимается равной абсциссе точки, соответствующей центру рта - $X_{nose} = X_{mouth}$.

Экспериментальная проверка. Экспериментальная проверка разработанных алгоритмов была осуществлена на наборе из 50 изображений лиц и результаты экспериментов приведены в таблице.

Качество работы алгоритма при нахождении координат элементов лица определялось на основе оценивания разности между фактическими координатами и найденными (оценки R-окрестности). При этом «хорошим» результатом нахождения координат центров зрачков считается случай, когда $R < 0,02L$ (L – фактическое расстояние между зрачками на изображении), «приемлемым» – при $0,02L \leq R < 0,06L$, «ошибочным» – при $R \geq 0,06L$. При определении координат центров бровей, кончика носа и центра рта качество работы алгоритма определено в следующем виде: при $R < 0,03L$ – «хорошо», при $0,03L \leq R < 0,08L$ – «приемлемо», при $R \geq 0,08L$ – «ошибочно».

Результаты экспериментальных исследований при выделении области лица и его основных элементов

Объекты поиска на изображении	Качество работы алгоритмов при поиске объектов (в %)		
	Хорошо	Приемлемо	Ошибочно
Лицо	86	14	0
Зрачки	78	20	2
Нос	70	22	8
Рот	72	20	8

Результаты проведенного исследования показывают, что при использовании рассмотренного алгоритма должны быть наложены следующие ограничения на изображение:

- область лица должна занимать более 35% и менее 70% от площади всего изображения;
- отклонение головы относительно нормального положения не должно превышать 10°.

Заключение. Основными результатами являются алгоритмы выделения геометрических признаков изображению лица. Данные алгоритмы опираются на вычислении координаты различных антропометрических точек для каждого исходного изображения лица. Разработанные алгоритмы могут быть использованы при составлении различных программных комплексов, ориентированных на решение задач распознавания личности.

Полученные результаты могут быть использованы в создании систем идентификации личности, позволяющих решать актуальные на сегодняшний день задачи такие, как: поиск человека в базе данных на основе изображения лица, контроль доступа, управление системы "Клиент-банк", защита информации в компьютерных системах и т.д.

1. Файн В.С. Опознавание изображений. –М.: Наука, 1970. – 299 с.
2. Kanade T. Picture processing by computer complex and recognition of human faces// PhD thesis, Kyoto University, 1973. –P.178.
3. Болл Р.М., Коннел Дж. Х., Панканти Ш. и др. Руководство по биометрии. – М.: Техносфера, 2007. – 368 с.
4. Кухарев Г.А. Биометрические системы: Методы и средства идентификации личности человека. –СПб.: Политехника, 2001. –240 с.
5. Самаль Д.И. Алгоритмы идентификации человека по фотопортрету на основе геометрических преобразований : Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларусь, 2002. – 166 с.
6. Peer P., Solina F. An Automatic Human Face Detection Method, Proceedings of Computer Vision Winter Workshop, Ed. N. Brandle, pp. 122–130, Rastensfeld, Austria, 1999.
7. Тухтасинов М.Т. Алгоритмы предварительной обработки изображений лица при идентификации личности человека : Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Ташкент: Ин-т матем. и информ. технологий, 2007. – 22 с.
8. H.-C. Liu, S.-Y. Hsu, et. al. On the hole effect of image rotation algorithms // Proc. National Science Council, Republic of China, Part A: Physical Science and Engineering, Vol. 24, No. 3, 2000, pp.186-194.
9. Mateos G., Chicote C. A unified approach to face detection segmentation and location using HIT maps // Proc. IX Spanish Symposium on Pattern Recognition and Image Analysis, Benicasim, Castellon, Spain, 2001.