

УДК 004.9

А. Д. ЛОПАТИНА

ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ЛИЦА С ПОМОЩЬЮ КОМБИНАЦИИ МЕТОДОВ ЦВЕТОВОЙ И ЯРКОСТНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

Рассматривается задача выделения области лица на изображении, применение метода планирования для вычисления оптимальных значений параметров алгоритма выделения области интереса, применение комбинации методов. *Распознавание изображений; область интереса; факторное планирование эксперимента; полутоновое изображение; оператор Собеля*

Распознавание лиц – проблема, решение которой становится все чаще необходимым для следующих задач.

Во-первых, распознавание лиц часто применяется для решения вопросов безопасности [1].

Во-вторых, распознавание лиц можно использовать для удобства систем контроля доступа [2–3]. Такие системы не будут требовать от человека запоминания многочисленных паролей, все что нужно – предоставить системе определенные индивидуальные параметры. Несмотря на то, что другие методы идентификации (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 опознания личности для человека естественен и реализуется на интуитивном уровне.

В-третьих, существует возможность использования распознавания лиц для удобства интерфейса компьютера [4–6]. Создателям интерфейсов необходимо разработать новые методы взаимодействия с компьютером без использования клавиатуры или мыши. Чтобы проложить дорогу к широкому потребителю, нужны дружественные и персонализированные способы общения с компьютером. Это значит, что интерфейсы нового поколения должны идентифицировать окружающую человека обстановку и, как минимум, узнавать его самого.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача идентификации (распознавания) лиц состоит в том, что по имеющемуся изображению человека необходимо выбрать данные человека из базы, с которым наиболее схоже идентифицируемое изображение, либо отказаться от классификации.

Решение задачи идентификации лиц состоит из нескольких этапов:

- 1) загрузка изображения;
- 2) предварительная обработка исходного изображения;
- 3) выделение признаков для классификации, т.е. построение подходящего представления исходного изображения для его последующей классификации;
- 4) классификация лица, т. е. идентификация личности.

В свою очередь, предварительная обработка исходного изображения также состоит из нескольких этапов:

- 1) Предобработка исходного изображения, т. е. выравнивание яркостей, приведение к нужному виду и размеру;
- 2) выделение области лица с помощью анализа данной фотографии;
- 3) выделение черт лица (глаза, нос, рот) с помощью анализа области фотографии, выделенной на предыдущем этапе.

В данной статье решается задача выделения области лица.

Выделение области лица на изображении является первым и одним из самых важных шагов в системах распознавания изображений.

2. ВЫДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ЛИЦА

Окончание табл. 1

2.1. Выделение области лица с помощью методов цветовой сегментации

В качестве методов выделения области лица на изображении предлагается использовать методы цветовой сегментации, которые заключаются в выделении цвета кожи на изображении, т. е. в разделении всех точек изображения на 2 класса: точек цвета кожи и остальных точек.

Решение об отнесении точки к классу точек цвета кожи выносится, исходя из информации об ее цвете (R, G, B – интенсивности красной (R), зеленой (G) и синей (B) компонент цвета в системе представления цвета RGB в интервале значений $[0, 255]$) [8]. В табл. 1 представлены различные методы цветовой сегментации (условия для R, G, B компонент цвета точки, при выполнении которых точка относится к классу точек цвета кожи).

Результаты цветовой сегментации 7 различными методами приведены на рис. 1.

Таблица 1
Методы цветовой сегментации

№	Методы цветовой сегментации
1	$((R > 95) \text{ И } (G > 40) \text{ И } (B > 20) \text{ И } (\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\} > 15) \text{ И } (R - G > 15) \text{ И } (R > G) \text{ И } (R > B)) \text{ ИЛИ } ((R > 220) \text{ И } (G > 210) \text{ И } (B > 170) \text{ И } (R - G \leq 15) \text{ И } (R > B) \text{ И } (G > B))$
2	$\left(\frac{R}{G} > 1,185\right) \text{ И } \left(\frac{R \cdot B}{(R + G + B)^2} > 0,107\right) \text{ И } \left(\frac{R \cdot G}{(R + G + B)^2} > 0,112\right)$
3	$\left(\frac{B}{G} > 1,249\right) \text{ И } \left(\frac{R + G + B}{3 \cdot R} > 0,696\right) \text{ И } \left(\frac{1}{3} - \frac{B}{R + G + B} > 0,014\right) \text{ И } \left(\frac{G}{3(R + G + B)} < 0,108\right)$
4	$\left(\frac{G}{B} - \frac{R}{G} \leq -0,0905\right) \text{ И } \left(\frac{G(R + G + B)}{B(R - G)} > 3,4857\right) \text{ И } \left(\frac{(R + G + B)^3}{3GR^2} \leq 7,397\right) \text{ И } \left(\frac{R + G + B}{9R} - \frac{1}{3} > -0,0976\right)$
5	$\left(\frac{R + G^2 - 2B}{3R(R + G + B)} > 0,014\right) \text{ И } \left(\frac{BR^2 - RGB}{(R + G + B)^2} > 0,0075\right) \text{ И } \left(\frac{G(R + G + B)}{B(R - G)} > 3,4857\right) \text{ И } \left(\frac{R + G + B}{9R} - \frac{1}{3} > -0,0976\right) \text{ И } \left(\frac{G + B - 2R}{R + G - 2B} \leq -1,1022\right)$

№	Методы цветовой сегментации
6	$\left(\frac{R + G}{R + G + B} > 0,685\right) \text{ И } \left(\frac{G - R}{R + G + B} \leq -0,049\right) \text{ И } \left(\frac{GB}{(R + G + B)^2} > 0,067\right) \text{ И } \left(\frac{B}{G} < 1,249\right) \text{ И } \left(\frac{G}{R + G + B} \leq 0,324\right)$
7	$\left(\frac{G}{R} \leq 0,839\right) \text{ И } \left(\frac{G - B}{R + G + B} \leq 0,054\right) \text{ И } \left(\frac{GB}{(R + G + B)^2} < 0,098\right) \text{ И } \left(\frac{B}{G} \leq 1,048\right) \text{ И } \left(\frac{G}{3(R + G + B)} \leq 0,108\right)$

Так как результаты работы методов цветовой сегментации не достаточно хороши (ни одним из методов не выделяется большая часть точек, которые определяются экспертом как точки цвета кожи), то было решено применить метод планирования эксперимента для вычисления оптимальных значений параметров, таких, что при использовании этих параметров алгоритм, основанный на методах цветовой сегментации, будет выделять цвет кожи наиболее адекватно.

2.2. Применение метода факторного планирования эксперимента для оптимизации алгоритма выделения области интереса на изображении

Планирование эксперимента – это процедура выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью [7]. Основная цель планирования эксперимента – это поиск оптимальных условий (набора значений факторов), при которых заданный критерий качества (параметр оптимизации) достигает экстремума.

Планирование эксперимента состоит в том, что на каждом шаге ставится небольшая серия опытов, в каждом из которых варьируются по определенным правилам некоторые факторы. Математическая обработка результатов эксперимента позволяет выработать условия проведения следующей серии опытов, направленных к достижению оптимума критерия качества.



Рис. 1. Результаты цветовой сегментации

Пусть $A(M, N, R, G, B)$ и $f(M, N, R, G, B)$ – соответственно, алгоритм и критерий правильного выделения области интереса, зависящие от следующих параметров:

1) M – количество точек-соседей, которое должна иметь точка, чтобы быть занесенной в потенциальную область интереса.

Точками-соседями точки с координатами (x, y) будут являться точки с координатами: $(x - 1, y - 1)$, $(x - 1, y)$, $(x - 1, y + 1)$, $(x, y - 1)$, $(x, y + 1)$, $(x + 1, y - 1)$, $(x + 1, y)$, $(x + 1, y + 1)$.

2) N – для каждой точки (x, y) количество точек в области $((x - 30, x + 30); (y - 30, y + 30))$ вокруг этой точки, входящих в потенциальную область интереса.

3) R – красная составляющая цвета точки.

4) G – зеленая составляющая цвета точки.

5) B – синяя составляющая цвета точки.

Рассмотренный в настоящей работе эксперимент проводился в следующих условиях:

1) в качестве входных изображений выступают цветные фотографии людей;

2) для оценки ошибки опыта (ошибки воспроизводимости), возникающей из-за того, что постановка опытов не дает полностью совпадающих результатов, опыт воспроизводится 6 раз (на 6 различных фотографиях);

3) к критерию f предъявляются следующие требования:

а) значение f должно быть целым числом от 1 до 10;

б) чем больше число, тем лучше оценка.

Используемый далее критерий f основан на выделении области с помощью заранее заготовленных шаблонов правильного выделения области. В качестве примера шаблона правильного выделения области на фотографии (рис. 2, а) может выступать следующее изображение (рис. 2, б).

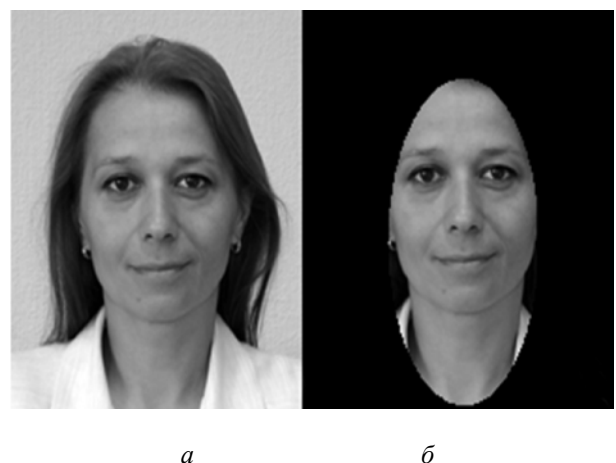


Рис. 2. Выделение области интереса: а – исходное изображение, б – шаблон правильного выделения

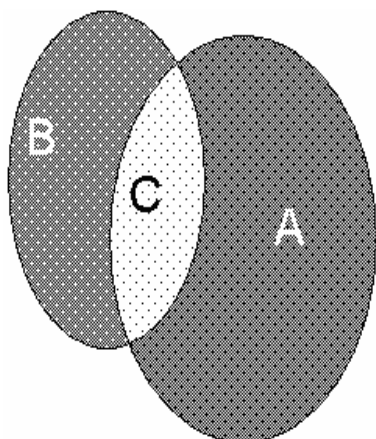


Рис. 3. Результат выделения области с помощью алгоритма и шаблон правильного выделения области

На рис. 3 схематически изображены результат выделения области с помощью алгоритма (меньший эллипс) и шаблон правильного выделения области (большой эллипс).

Пусть число точек, которые в шаблоне правильного выделения области выбраны как точки лица, а в результате опыта не выбраны как точки лица, равно A .

Пусть число точек, которые в шаблоне правильного выделения области не выбраны как точки лица, а в результате опыта выбраны как точки лица, равно B .

Пусть число точек, которые в шаблоне правильного выделения области выбраны как точки лица, и в результате опыта выбраны как точки лица, равно C (правильное выделение).

Тогда сумма $S = \frac{A}{C} + \frac{B}{C}$ будет характеризовать качество выделения области. Критерий f определяется как

$$f(S) = \begin{cases} 10, & 0 \leq S < 0,2 \\ 9, & 0,2 \leq S < 1,33 \\ 8, & 1,33 \leq S < 3,63 \\ 7, & 3,63 \leq S < 8 \\ 6, & 8 \leq S < 9,33 \\ 5, & 9,33 \leq S < 11,6 \\ 4, & 11,6 \leq S < 15 \\ 3, & 15 \leq S < 20,67 \\ 2, & 20,67 \leq S < 42,67 \\ 1, & 42,67 \leq S \end{cases}$$

Можно проводить планирование эксперимента для различных наборов факторов из множества факторов, определенного выше.

Рассмотрим проведение этих экспериментов.

2.3. Планирование эксперимента для 5 факторов

2.3.1. Условия планирования

Наилучшим условиям, определенным из анализа априорной информации, соответствует комбинация (или несколько комбинаций) уровней факторов.

Каждая комбинация является многомерной точкой в факторном пространстве. Ее можно рассматривать как исходную точку для построения плана эксперимента. Эта точка называется основным (нулевым) уровнем.

Интервал варьирования – это число (свое для каждого фактора), прибавление которого к основному уровню дает верхний, а вычитание – нижний уровни фактора.

Условия планирования эксперимента приведены в табл. 2.

Таблица 2
Условия планирования для 5 факторов

Характеристики плана	Факторы				
	X1 (M, кол-во точек)	X2 (N, кол-во точек)	X3 (R, интенсивность)	X4 (G, интенсивность)	X5 (B, интенсивность)
Верхний уровень	8	6990	188	220	181
Нижний уровень	7	769	19	28	26
Интервал варьирования	0,5	3110,5	84,5	96	77,5

Верхний, нижний уровни и интервал варьирования факторов выбраны экспертно.

В результате эксперимента получилось, что дисперсия воспроизводимости $S_y^2 = 0,570833$.

Так как экспериментальное значение критерия Кохрена [7] ($G_{\text{эксп}} = 0,0657$) не превышает табличного значения ($G_{\text{эксп}}(\alpha = 0,05, f_1 = 5, f_2 = 32) = 0,1237$); вероятность ошибки I рода $\alpha = 0,05$, то дисперсии можно считать однородными.

2.3.2. Расчет коэффициентов уравнения регрессии

Уравнением регрессии называется функция отклика в области эксперимента, представленная в виде линейного уравнения по факторам.

После проверки гипотезы об однородности дисперсий и нахождения дисперсии вос-

производимости можно приступить к расчету коэффициентов линейных членов и эффектов взаимодействия. Они находятся по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Y_{\text{среднее}j}, \quad b_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ji} Y_{\text{среднее}j},$$

$$b_{lm} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{jl} X_{jm} Y_{\text{среднее}j},$$

где ($l \neq m$), X_{ij} – элемент матрицы планирования, $Y_{\text{среднее}j}$ – среднееарифметическое значение результатов j -го опыта, вычисленное из n параллельных измерений.

Полученное уравнение регрессии выглядит таким образом:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n.$$

Коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала [7]. Значимые коэффициенты, получившиеся в результате эксперимента ($\Delta b_j = 0,261780$):

$$b_0 = 0, b_1 = 0, b_2 = 0,279, b_3 = -0,387,$$

$$b_4 = -0,387, b_5 = -0,387.$$

Так как экспериментальное значение критерия Фишера [7] ($F_{\text{экс}} = 90,5399$) больше табличного ($F_{\text{табл}}(\alpha = 0,05, k_1 = 5, k_2 = 27) = 2,53$), то полученная модель неадекватно описывает процесс.

2.3.3. Принятие решения по результатам факторного планирования эксперимента

В случае модели с 5 факторами модель неадекватна. Поэтому можно построить неполный полином второго порядка (если в этом случае модель окажется адекватной, то осуществить движение по градиенту):

$$Y = 0,27957x_2 - 0,386719x_3 - 0,386719x_4 - \\ - 0,386719x_5 + 0,387097x_2x_3 + \\ + 0,387097x_2x_4 + 0,387097x_2x_5 - \\ - 0,27957x_3x_4 - 0,27957x_3x_5 - \\ - 0,27957x_4x_5.$$

Но и в этом случае модель неадекватна, так как $F_{\text{экс}} > F_{\text{табл}}$ ($F_{\text{экс}} = 90,57, F_{\text{табл}}(\alpha = 0,05, k_1 = 5, k_2 = 27) = 2,53$).

Причиной неадекватности могут являться:

- ошибки в организации и проведении опытов, например, неконтролируемое изменение неучтенных в модели факторов;
- погрешности в задании исходных данных и в измерении результатов;
- большой размах варьирования факторов.

Чтобы устранить причины неадекватности модели, было предпринято 100 попыток изменить интервалы варьирования факторов и

сдвинуть центр плана, но в результате все равно оказалось, что модель неадекватна.

Было сделано предположение, что в модели не учтены некоторые факторы.

Поэтому решено применить метод планирования эксперимента для 8 факторов.

2.4. Планирование эксперимента для 8 факторов

2.4.1. Условия планирования

Пусть R_1 и R_2 – минимальное и максимальное значение интенсивности красной составляющей цвета точки, G_1 и G_2 – минимальное и максимальное значение интенсивности зеленой составляющей цвета точки, B_1 и B_2 – минимальное и максимальное значение интенсивности синей составляющей цвета точки.

Условия планирования эксперимента для 8 факторов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Условия планирования для 8 факторов

Характеристики плана	Факторы							
	X_1 (M, кол-во точек)	X_2 (N, кол-во точек)	X_3 (R_1 , интенсивность)	X_4 (G_1 , интенсивность)	X_5 (B_1 , интенсивность)	X_6 (R_2 , интенсивность)	X_7 (G_2 , интенсивность)	X_8 (B_2 , интенсивность)
Верхний	8	6000	150	150	150	255	255	255
Нижний	3	1	0	0	0	100	100	100
Интервал варьирования	2,5	2999,5	75	75	75	77,5	77,5	77,5

Верхний, нижний уровни и интервал варьирования факторов выбраны экспертно.

В результате эксперимента получились следующие результаты:

- построчные дисперсии $S_j^2 = 0,566667, j = 1 \dots 256$,

- дисперсия воспроизводимости $S_y^2 = 0,886979$.

Так как экспериментальное значение критерия Кохрена [7] ($G_{\text{экс}} = 0,0039$) не превышает табличного значения ($G_{\text{табл}}(\alpha = 0,05, k_1 = 5, k_2 = 256) = 0,037$; вероятность ошибки I рода $\alpha = 0,05$), то дисперсии можно считать однородными.

Значимые коэффициенты уравнения регрессии, получившиеся в результате эксперимента ($\Delta b_j = 0,115370$):

$$b_0 = 4,498, b_2 = 0,669, b_3 = 0,224, \\ b_4 = 0,336, b_5 = 0,346, b_6 = -0,346, \\ b_7 = -0,309, b_8 = -0,237.$$

Так как экспериментальное значение критерия Фишера для модели с 8 факторами ($F_{\text{эксп}} = 1,0893$) меньше табличного ($F_{\text{табл}} (\alpha = 0,05, k_1 = 5, k_2 = 248) = 2,259$), то можно считать, что такая модель адекватно описывает процесс.

2.4.2 Принятие решения по результатам факторного планирования эксперимента

В случае модели с 8 факторами модель адекватна, но область оптимума не близка, таким образом, для достижения оптимальных условий можно использовать движение по градиенту.

Для продвижения по градиенту выбирается шаг λ , относительно которого рассчитываются значения факторов, которые подставляются в полученное уравнение регрессии, проводятся «мысленные опыты» (табл. 4) [7].

При достижении наилучших значений функции отклика проводится экспериментальная проверка рассчитанных значений.

Таблица 4

«Мысленные опыты»

№ опыта	\tilde{x}_1	\tilde{x}_2	\tilde{x}_3	\tilde{x}_4	\tilde{x}_5	\tilde{x}_6	\tilde{x}_7	\tilde{x}_8	Y
1	5	60	124	129	141	109	125	127	7
2	5	80	60	82	104	142	176	179	9
3	5	100	17	34	68	176	226	231	10

Движение по градиенту оказалось эффективным, и в результате получены такие результаты: $M = 5, N = 100, R_1 = 17, G_1 = 34, B_1 = 68, R_2 = 176, G_2 = 226, B_2 = 231$.

2.4.3. Экспериментальная проверка рассчитанных значений

Результаты применения полученных значений параметров приведены в табл. 5.

После оптимизации среднее значение критерия правильного выделения области интереса увеличилось на 89,19%. При экспериментальной проверке рассчитанных значений методом полного перебора найдена точка в окрестности точки (5,100,17,34,68,176,226,231). В этой точке ($M = 5, N = 100, R_1 = 19, G_1 = 36, B_1 = 66, R_2 = 174, G_2 = 226, B_2 = 233$) среднее значение критерия правильного выделения области интереса равно 8,81 (улучшилось еще

на 0,71%). Так как достигнутое значение критерия правильного выделения области интереса близко к желаемому значению, то можно заканчивать эксперимент.

Таблица 5

Результаты применения полученных значений параметров

№ изображения	Значение критерия			№ изображения	Значение критерия		
	До оптимизации	После оптимизации	Лучший результат в окрестности точки, найденной в ходе «мысленных опытов»		До оптимизации	После оптимизации	Лучший результат в окрестности точки, найденной в ходе «мысленных опытов»
1	5	9	9	9	5	9	9
2	4	8	9	10	4	8	8
3	5	9	9	11	5	9	9
4	5	9	9	12	5	8	8
5	6	9	9	13	5	8	8
6	6	9	9	14	4	9	9
7	1	9	9	15	4	9	9
8	5	9	9	16	5	9	9

Отметим, что даже в этом случае среднее значения критерия правильного выделения области интереса равно 8,81, что меньше желаемого значения 9, поэтому было решено использовать комбинацию методов цветовой и яркостной сегментации для увеличения значения критерия правильного выделения области интереса.

2.5. Выделение области лица с помощью комбинации методов цветовой и яркостной сегментации

Для того чтобы выделить область лица на изображении с помощью комбинации методов, необходимо провести дополнительную предобработку исходного изображения.

2.5.1. Предобработка исходного изображения. Получение полутонового изображения

Для получения полутонового изображения используется формула:

$$g(s, t) = \frac{R(s, t) + G(s, t) + B(s, t)}{3},$$

где $g(s, t)$ – значение яркости пикселя (s, t);

$R(s, t)$ – значение интенсивности красной составляющей цвета точки (s, t);

$G(s, t)$ – значение интенсивности зеленой составляющей цвета точки (s, t);

$B(s, t)$ – значение интенсивности синей составляющей цвета точки (s, t) .

2.5.2. Алгоритм выделения области лица

Алгоритм выделения области лица на изображении с помощью комбинации методов цветовой и яркостной сегментации состоит из следующих этапов:

- 1) выделение границ на изображении;
- 2) выделение границ, имеющих цвет кожи;
- 3) выделение области, которая содержит границы, выделенные на этапе 2.

2.5.2.1. Выделение границ на изображении

Выделение границ на изображении (пространственное дифференцирование) осуществляется таким образом: вычисляется градиент функции яркости в каждой точке изображения и, наконец, подавляются значения, меньшие установленного порога.

За основу пространственного дифференцирования взят метод Собеля [9], использующий для вычисления градиента первого порядка функции яркости специальные ядра, известные как «операторы Собеля»:

$$X\text{-оператор Собеля: } \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Y\text{-оператор Собеля: } \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}.$$

Ядра применяются к каждому пикселю

$$\text{изображения: } \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{pmatrix}.$$

Значения яркости в соседних точках умножаются на соответствующие коэффициенты ядра, после чего полученные значения суммируются:

$$S_x = (g_{13} + 2 * g_{23} + g_{33}) - (g_{11} + 2 * g_{21} + g_{31}),$$

$$S_y = (g_{31} + 2 * g_{32} + g_{33}) - (g_{11} + 2 * g_{12} + g_{13}),$$

где $g_{11}, g_{12}, g_{13}, g_{21}, g_{22}, g_{23}, g_{31}, g_{32}, g_{33}$ – значения яркости пикселей изображения; S_x – горизонтальная составляющая градиента; S_y – вертикальная составляющая градиента.

Коэффициенты ядра выбраны так, чтобы при его применении одновременно выполнялось сглаживание в одном направлении и вычисление пространственной производной – в другом.

Величина градиента определяется как:

$$S = \sqrt{(S_x^2 + S_y^2)}.$$

В результате образуется массив чисел, характеризующих изменения яркости в различных точках изображения. Затем выполняется операция сравнения с порогом и определяется положение элементов изображения с наиболее сильными перепадами яркости. Выбор порога является одним из ключевых вопросов выделения перепадов.

Результат выделения границ на изображении с помощью оператора Собеля приведен на рис. 4, а.

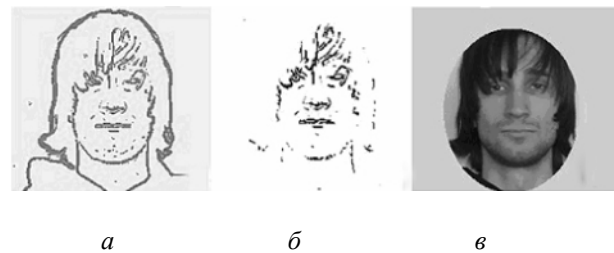


Рис. 4. Выделение области лица: а – изображение после применения оператора Собеля, б – изображение с выделенными границами цвета кожи, в – выделенная область интереса

2.5.2.2. Выделение границ, имеющих цвет кожи

На этом этапе необходимо выделить все границы между перепадами яркости, которые на исходном изображении имели цвет кожи.

В качестве параметров метода определения цвета кожи используются параметры, полученные в ходе оптимизации алгоритма выделения области интереса на изображении:

$$R_1 = 19, G_1 = 36, B_1 = 66, R_2 = 174, G_2 = 226, B_2 = 233.$$

В результате получается изображение, показанное на рис. 4, б.

Затем с помощью эллипса ограничивается такая область изображения, которая содержит все границы, выделенные на предыдущем этапе алгоритма. В результате получается изображение, показанное на рис. 4, в.

Выделенная область является областью интереса (областью лица).

Результаты применения комбинации методов цветовой и яркостной сегментации приведены в табл. 6.

Таблица 6
Результаты применения комбинации методов

№	Результат применения комбинации методов	№	Результат применения комбинации методов
1	10	9	9
2	9	10	9
3	9	11	10
4	10	12	10
5	9	13	9
6	9	14	10
7	10	15	10
8	9	16	10

Среднее значение критерия правильного выделения области интереса равно 9,5 (улучшилось на 7,26%) по сравнению с применением метода цветовой сегментации с параметрами $M = 5$, $N = 100$, $R_1 = 19$, $G_1 = 36$, $B_1 = 66$, $R_2 = 174$, $G_2 = 226$, $B_2 = 233$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе решения задачи выделения области интереса на изображении:

1) предложен критерий правильного выделения области интереса, который определяет, насколько хороша выделенная область интереса;

2) поставлена задача отыскания оптимального, с точки зрения предложенного критерия, набора значений параметров алгоритма и предложен подход к ее решению на основе использования методов планирования эксперимента;

3) найден достаточно хороший набор значений параметров, при котором область лица выделяется наиболее адекватно с помощью метода факторного планирования эксперимента в сочетании с методом полного перебора (на 90,54% лучше, чем при первоначальном наборе факторов);

4) предложено применение комбинации методов цветовой и яркостной сегментации для решения задачи выделения области лица на изображении, что дает улучшение значения критерия правильного выделения области интереса на 7,26%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Burton A. M., Wilson S., Cowan M.** Face recognition in poor-quality video: Evidence From Security Surveillance // *Psychological Science*. Vol. 10. P. 243–248. [Электронный ресурс] (<http://www.face-rec.org/interesting-papers/Other/bwcb99.pdf>)

2. **Bryliuk D., Starovoitov V.** Access Control by Face Recognition Using Neural Networks // *The 2nd Intern. Conf. on Artificial Intelligence, Crimea, Ukraine, 2002*. P. 428–436. [Электронный ресурс] (<http://handysolution.com/science/AccessControl.pdf>)

3. A novel approach to access control based on face recognition / A. Hadid [et al] // *Workshop on Processing Sensory Information for Proactive Systems, Oulu, Finland, 2004*. P. 68–74. [Электронный ресурс] (http://www.ee.oulu.fi/research/imag/proact/publications/show_pdf.php?ID=538)

4. **Vezhnevets V.** Face and facial feature tracking for natural Human-Computer Interface // *Proc. Graphicon, Nizhny Novgorod, Russia, 2002*. P. 86–90. [Электронный ресурс] (<http://graphics.cs.msu.ru/en/publications/text/gc2002vvezh.pdf>)

5. **Kitajima K., Sato Y., Koike H.** Vision-Based Face Tracking System for Window Interface: Prototype Application and Empirical Studies // *SIGGRAPH, 2001*. P. 359–360. [Электронный ресурс] (<http://www.vogue.is.uec.ac.jp/~koike/papers/chi2001/chi2001-kitajima.pdf>)

6. **Kim K., Ramakrishna R.** Vision-Based Eye-Gaze Tracking for Human Computer Interface // *Systems, Man, and Cybernetics, 1999. IEEE SMC '99 Conf. Proc. 1999. Vol. 2*. P. 324–329 [Электронный ресурс] (http://www.cs.umd.edu/~knkim/paper/ieee_smc99_hci-eyegaze.pdf)

7. **Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М: Наука, 1976. 279 с.

8. **Peer P., Kovac J., Solina F.** Human skin colour clustering for face detection // *International Conference on Computer, 2003*.

9. **Sobel I.** An isotropic image gradient operator // *Machine Vision for Three-Dimensional Scenes: Academic Press, 1990*. P. 376–379.

ОБ АВТОРЕ



Лопатина Анастасия Дмитриевна, асп. каф. вычисл. матем. и кибернетики. Дипл. матем.-прогр. по матем. обесп. и администрив. ИС (УГАТУ, 2006). Готовит дисс. по идентификации личности по изображению.