

ВЫДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ИНТЕРЕСА НА ПЕРЕМЕННОМ ФОНЕ

© 2022 А. В. Лихачев✉

*Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
просп. Академика Коптюга, 1, 630090 Новосибирск, Российская Федерация*

Аннотация. Разработан метод выделения границы объекта интереса на переменном фоне, ориентированный на автоматический анализ выражения лица человека. Из полутонового фотографического изображения извлекаются контуры бровей, глаз и губ. На первом этапе проводится классификация пикселей по трём уровням яркости. Полагается, что пиксели одного из них, соответствуют коже, другого — волосам, третий же уровень составляют остальные пиксели. Для определения яркостей этих уровней применяется разработанный автором ранее алгоритм, суть которого состоит в следующем. Изображение делится на прямоугольные фрагменты. Для каждого из них проверяется гипотеза о том, что яркости его пикселей являются выборкой из распределения, которым описывается случайный шум, присутствующий на изображении (формулы были получены для нормального распределения шума). В предположении, что все пиксели любого фрагмента, для которого подтвердилась гипотеза, входят только в одну из указанных групп, яркости уровней определяются путём арифметического усреднения гипотетических математических ожиданий яркостей пикселей, принадлежащих каждой группе. Далее в процессе построчной обработки определяются границы областей, имеющих постоянную яркость. Метод был опробован на фотографиях из открытой базы, созданной в университете штата Джорджия (США). Результаты показали, что извлечённые контуры визуально хорошо соответствуют границам объектов интереса, и есть основания полагать, что они могут быть использованы для решения задачи автоматического определения эмоционального состояния человека по его портретной фотографии. Кроме того, была продемонстрирована устойчивость алгоритма по отношению к случайному шуму, величина стандартного отклонения которого не превышает 25 % от средней величины полезного сигнала.

Ключевые слова: выделение контуров на изображении, классификация пикселей по яркости, автоматическое распознавание эмоций.

ВВЕДЕНИЕ

Выделение контуров является одной из важнейших задач анализа изображений. К настоящему времени разработано несколько достаточно эффективных подходов к её решению. Среди них идейно наиболее простым для полутоновых изображений является анализ перепадов яркости [1–3]. Другой распространённый подход основывается на предположениях о форме контуров [4–6]. Несмотря

на то, что, исходя из представляемых результатов, ни одному из подходов нельзя дать безоговорочного предпочтения, автор считает наиболее перспективным именно первый. Его мнение основывается на том, что яркость является первичным, непосредственно регистрируемым параметром. Контур же по отношению к ней вторичен: он существует благодаря наличию её изменений. Следует также иметь в виду, что методы контрастирования [1, 7], по сути, являются преобразованием функции яркости изображения.

Существуют факторы, препятствующие корректному применению алгоритмов выде-

✉ Лихачев Алексей Валерьевич
e-mail: ipm1@iae.nsk.su



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ления контуров во многих практически важных случаях. Наиболее типичными являются случайный шум и фон. Первый из них интенсивно изучается: разработано большое количество процедур, уменьшающих его негативное влияние на точность и устойчивость решения [1, 8–11]. Случай наличия фона менее исследован. Успех предлагаемых здесь методов во многом зависит от наличия нетривиальной априорной информации, которой часто оказывается недостаточно [12]. Поэтому разработка универсальных подходов, не использующих специальные свойства фона, представляется весьма актуальной.

Имеются востребованные прикладные задачи, где с большой точностью требуется найти контур изображения объекта интереса. Одна из них — это автоматическое определение эмоционального состояния человека по фотографическим кадрам его лица. Первым этапом её решения является поиск на изображении характерных признаков той или иной эмоции. Ими могут служить изгиб бровей, положение век глаз, очертание губ. Формализация перечисленных признаков возможна, если найдены контуры изображений соответствующих органов. На первый взгляд кажется, что такая же задача решается при распознавании лиц. Однако это не так. Во многих алгоритмах идентификация проводится по реперным точкам, при этом контуры либо являются лишь средством для уточнения их месторасположения, либо вовсе не используются [13–15]. Напротив, при распознавании эмоций эта информация является основой для принятия решения.

Учитывая вышесказанное, сформулируем цель настоящей статьи: разработать высокоточный алгоритм поиска контуров бровей, глаз и губ на полутоновом изображении лица, основанный исключительно на анализе функции распределения яркости. Дополнительно требуется, чтобы найденные кривые легко можно было автоматически идентифицировать, т. е. без участия оператора определить, какая из них ограничивает заданный орган. Последняя задача облегчается тем больше, чем меньше точек, не принадлежащих интересующим контурам, будет отмечено алго-

ритмом. Иллюстрацию можно видеть, например, сравнивая рис. 2а и рис. 2с. На последнем границы объектов непрерывны, чётко выражены и отделены друг от друга. В то же время анализ первого из этих рисунков представляется затруднительным из-за большого числа артефактов, вызванных различной яркостью изображений участков лица, причиной чего является его рельеф. Это и есть переменный фон, препятствующий решению поставленной задачи. Для его устранения в разработанный алгоритм включена процедура классификации пикселей по трём уровням яркости.

1. ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Предположим, что имеется портретная полутоновая фотография человека, причём его лицо располагается по центру; примеры представлены на рис. 1а, рис. 3а,с. Изображение оцифровано на размер $N \times M$ квадратных пикселей. На каждом из них определена неотрицательная функция $B(i, j)$, $1 \leq i \leq N$, $1 \leq j \leq M$, называемая яркостью (первый индекс нумерует строку, второй — столбец). Объект интереса представлен совокупностью пикселей, покрывающих на изображении область D_{ob} , которая может быть как односвязной, так и многосвязной. Возьмём область $D \supset D_{ob}$. Пусть D_{bk} — это дополнение D_{ob} до D . Сужение $B(i, j)$ на D_{bk} обозначим как $B_{bk}(i, j)$. Будем называть функцию $B_{bk}(i, j)$ *фоном*. Заметим, что D задаётся, исходя из конкретных условий, в частности, ей может быть само изображение. Если имеет место $(\max B_{bk}(i, j) - \min B_{bk}(i, j)) / \overline{B_{bk}(i, j)} \ll 1$, то фон считается постоянным. В противном случае он *переменный*. Здесь и далее черта сверху обозначает среднее арифметическое. Под *контуром* объекта $C(i, j)$ будем подразумевать множество пикселей, области D_{ob} , которые имеют хотя бы одно общее ребро с пикселем из D_{bk} .

Простейшая реализация используемой идеи состоит в следующем. Рассмотрим профиль яркости вдоль строки, с номером i_0 , см. рис. 1а (здесь $i_0 = 253$). На рис. 1б он показан сплошной линией. Определим функцию $\Delta_{i_0}(j) = |B(i_0, j+1) - B(i_0, j)|$, при

$1 \leq j \leq (M-1)$. Её график представлен на рис. 1с. Установим порог ε . Пиксели, для которых $\Delta_{i_0}(j) > \varepsilon$ (и только их) будем считать принадлежащими границе объекта. Тогда при правильном выборе ε , перебрав все строки, мы получим оценку контура $C(i, j)$.

Очевидно, что описанная процедура может оказаться неэффективной. В первую очередь, это связано с определением величины ε . С одной стороны, она должна быть достаточно высокой, чтобы метод был устойчив к случайным шумам. С другой, — её завышение приводит к тому, что некоторые части контура окажутся необнаруженными. Представляется маловероятным, что существует порог, одновременно удовлетворяющий этим двум требованиям, особенно когда амплитуды объекта и перепадов фона имеют сравнимые значения. Отметим на выбранной строке точки A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 . На рис. 1а видно, что

A_1 и A_5 указывают внешнюю границу причёски, а A_2 и A_4 — внутреннюю; A_3 является точкой пересечения строки с бровью, таким образом, она принадлежит искомой границе. Но, как следует из рис. 1с, в её окрестности $\Delta_{i_0}(j)$ имеет несколько пиков приблизительно одинаковой амплитуды. Это означает, что вместе с A_3 алгоритмом также будут указаны близкие к ней точки, что затруднит определение истинной формы кривой $C(i, j)$. По той же причине невозможно найти точное положение маркеров A_1, A_2, A_4, A_5 , которые, хотя и не принадлежат $C(i, j)$, однако важны для его анализа.

В общем случае ситуация не может быть исправлена путём применения низкочастотной фильтрации, поскольку вместе с ложными пиками функции $\Delta_{i_0}(j)$ будут уничтожены и те, которые несут полезную информацию. Поэтому здесь предлагается иной под-

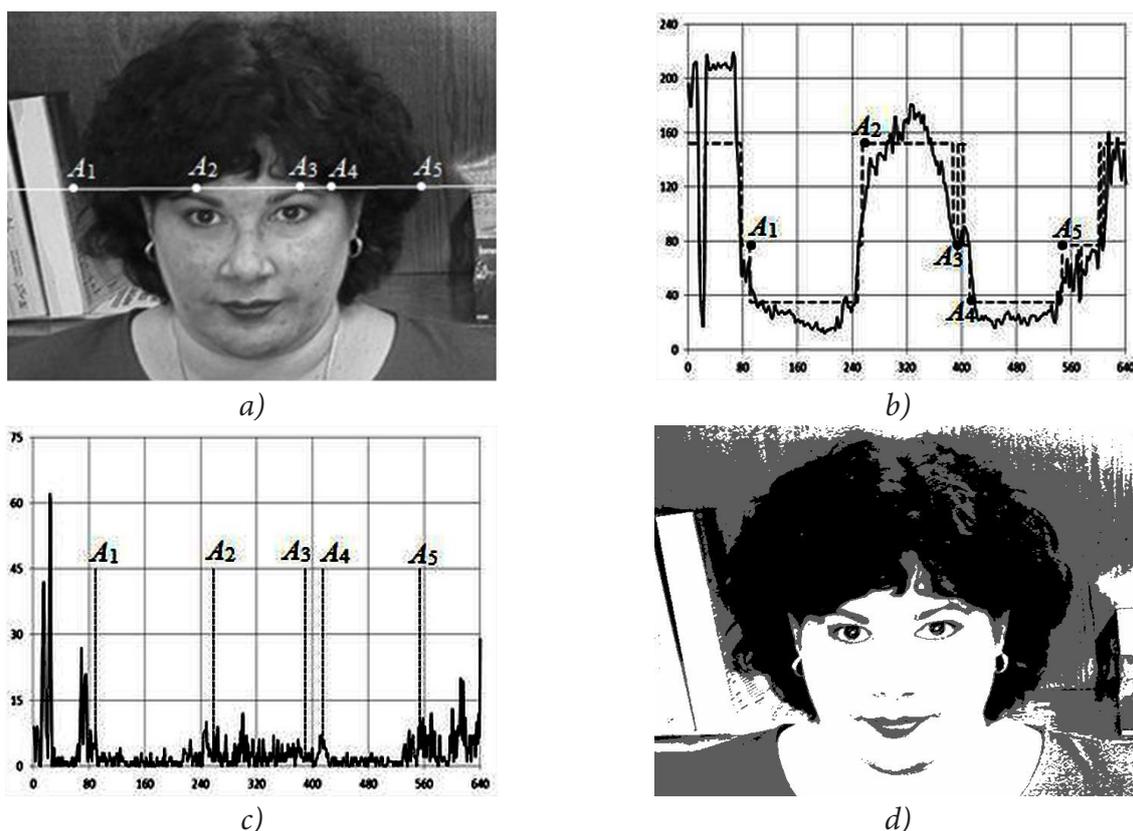


Рис. 1. К методу определения контура по скачку яркости: а) анализируемое изображение; б) профили яркости вдоль 253-й строки; в) функция $\Delta_{253}(j)$; г) изображение с тремя уровнями яркости, полученное из исходного при помощи разработанного алгоритма
 [Fig. 1. To the method of determining the contour from the brightness gap: a) the analyzed image; б) brightness profiles along the 253rd line; в) function $\Delta_{253}(j)$; г) an image with three brightness levels obtained from the original using the developed algorithm]

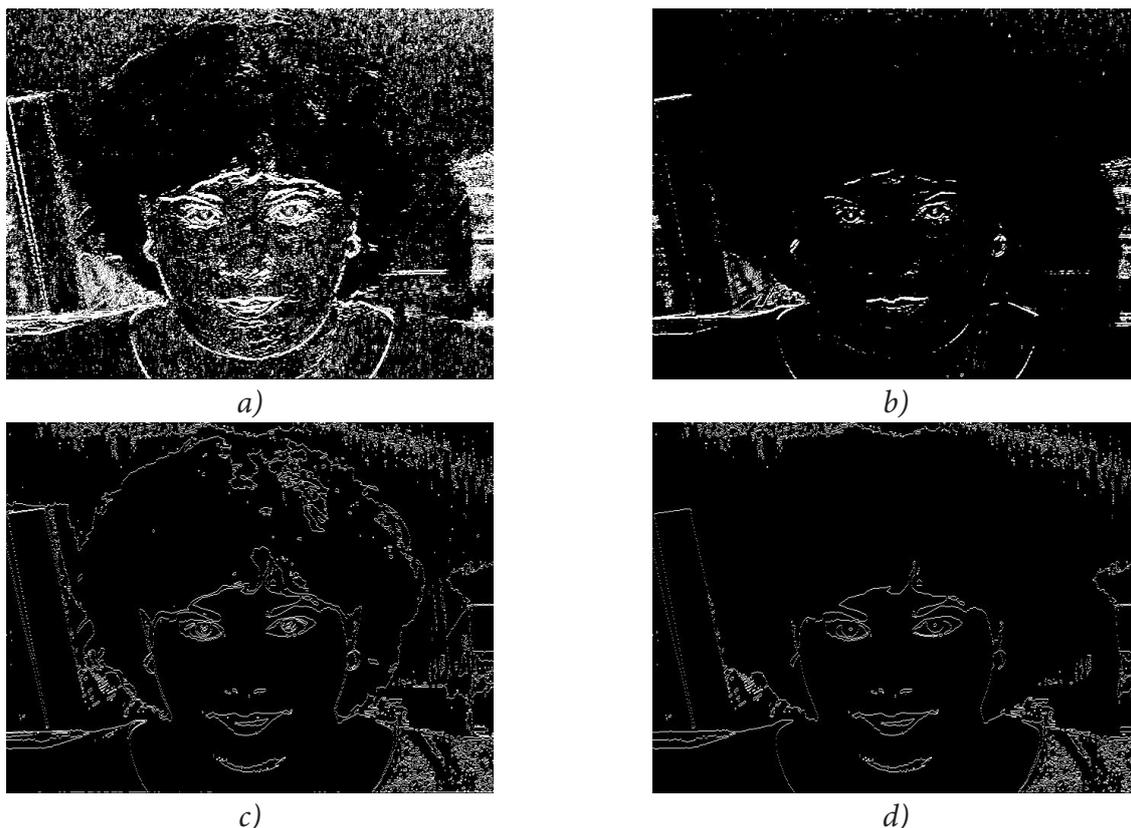


Рис. 2. Контурь: (a), (b) извлечённые из рис. 1a; (c), (d) извлечённые из рис. 1d
 [Fig. 2. Contours: (a), (b) extracted from Fig. 1a; (c), (d) extracted from Fig. 1d]

ход, основанный на более ранней работе автора [16]. В портретных фотографиях, подобных приведённой на рис. 1a, пиксели можно разделить на три сравнимых по количеству группы, которые будем обозначать как G_1 , G_2 и G_3 . К первым двум отнесём пиксели, принадлежащие областям изображения, соответствующим коже и волосам, к третьей — все остальные. Предположим, что средние яркости этих групп \bar{B}_1 , \bar{B}_2 , \bar{B}_3 существенно различаются. Разработанный в [16] подход был использован для определения этих яркостей. Суть его состоит в следующем. Изображение делится на фрагменты. Для каждого из них проверяется гипотеза о том, что яркости его пикселей являются выборкой из нормального распределения с неизвестными математическим ожиданием и дисперсией. Предполагая, что все пиксели любого фрагмента, для которого подтвердилась гипотеза, входят только в одну из указанных групп, найдём множества Ω_1 , Ω_2 и Ω_3 фрагментов, состоящих из пикселей, принадлежащих G_1 , G_2 и G_3 . Подроб-

ности даны в [16]. Значения \bar{B}_1 , \bar{B}_2 , \bar{B}_3 определяются усреднением гипотетических средних яркостей элементов множеств Ω_1 , Ω_2 , Ω_3 соответственно. Далее производится преобразование функции $B(i, j)$:

$$B^*(i, j) = \begin{cases} \bar{B}_1, & B(i, j) \leq th_1 \\ \bar{B}_2, & th_1 < B(i, j) \leq th_2. \\ \bar{B}_3, & th_2 < B(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

Пороги th_1 и th_2 вычисляются по формулам:

$$th_1 = \frac{\bar{\sigma}^2}{\mu_{med} - \mu_{min}} \ln \left(\frac{1 - P_{med}}{P_{med}} \right) + \frac{1}{2} (\mu_{med} + \mu_{min}), \quad (2)$$

$$th_2 = \frac{\bar{\sigma}^2}{\mu_{max} - \mu_{med}} \ln \left(\frac{1 - P_{max}}{P_{max}} \right) + \frac{1}{2} (\mu_{max} + \mu_{med}). \quad (3)$$

В (2), (3) через μ_{min} и μ_{max} обозначены минимальное и максимальное из чисел \bar{B}_1 , \bar{B}_2 , \bar{B}_3 ;

через μ_{med} — их медиана; P_{med} и P_{max} — оценки вероятностей того, что произвольно взятый пиксель принадлежит группе характеризующейся яркостью μ_{med} и μ_{max} соответственно; $\bar{\sigma}^2$ — результат усреднения оценок дисперсии по всем фрагментам, в которых подтверждена гипотеза о распределении. Преобразование (1) имеет смысл, если $0 < th_1 < th_2$. Выполнение этого неравенства зависит от соотношения параметров, фигурирующих в (2), (3). Путём прямых подсчётов было показано, что оно справедливо для рассматриваемых здесь фотографий.

Согласно (1) изображение, соответствующее функции $B^*(i, j)$ имеет три уровня яркости: \bar{B}_1 , \bar{B}_2 и \bar{B}_3 . Примером является, рис. 1d, полученный из рис. 1a. Его профиль вдоль 253-й строки приведён на рис. 1b (пунктирная линия). Контурами на таком изображении будут границы областей с разными яркостями. Чтобы их найти, достаточно взять ε меньше, чем наименьшее из чисел $|\bar{B}_1 - \bar{B}_2|$, $|\bar{B}_1 - \bar{B}_3|$ и $|\bar{B}_2 - \bar{B}_3|$. Более того, упрощается поиск нужных контуров. Действительно, обозначим через D_s область, соответствующую коже. Интересующие нас объекты находятся на лице. Поэтому их контурами являются только границы области D_s , которую легко идентифицировать, либо по яркости: как правило, у европеоидов кожа отображается на более светлыми пикселями; либо по её положению в центре.

2. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Для тестирования разработанного алгоритма использовалась база «Georgia Tech face database», находящаяся в свободном доступе в глобальной сети Internet по адресу http://www.anefian.com/research/face_reco.htm. Содержащиеся в ней цветные изображения преобразовывались в полутоновые и приводились к размеру 640×490 пикселей. Яркости кодировались одним байтом, поэтому функция $B(i, j)$ принимает целочисленные значения от 0 до 255. Примеры приведены на рис. 1a, рис. 3a,с. Это портретные фотографии девушки с различными выражениями лица.

На рис. 2a,b представлены контуры, извлечённые из изображения на рис. 1a, при различных значениях параметра ε . Он равен 5 для рис. 2a, а для рис. 2b — в три раза больше. Очевидно, что в первом случае величина порога занижена, на рис. 2a нанесено множество точек, не принадлежащих $C(i, j)$, что делает его практически непригодным для автоматизированного анализа. Значение $\varepsilon = 15$ представляется более приемлемым, но некоторые элементы контура оказались не прорисованы, в том числе, часть кривой, ограничивающей губы. Это затрудняет определение выражения лица.

Подчеркнём, что приведённые результаты нельзя существенно улучшить путём подбора ε . Их причина заключается в неоднородности фона, на котором определяются границы объекта интереса. Здесь имеет место ситуация, аналогичная той, которая упоминалась в предыдущем разделе в связи с возможностью применения фильтров низких частот. Как видно из фотографий, яркость кожи лица заметно варьируется. При этом её изменения сравнимы с перепадами на границах губ, бровей и глаз и, следовательно, детектируются одной и той же величиной ε .

Контуры на рис. 2c, d извлечены из рис. 1d, полученного из рис. 1a преобразованием (1). Пиксели разделены по трём уровням яркости $\bar{B}_1 = 34$, $\bar{B}_2 = 77$, $\bar{B}_3 = 154$. Величины порогов, th_1 и th_2 вычисленных по формулам (2), (3), равны 55 и 104 соответственно. Различие между рис. 2c и рис. 2d состоит в том, что на первом из них обозначены границы всех трёх областей D_1 , D_2 и D_3 , на втором же — только границы области D_3 , которая в этом случае соответствует коже. Как было отмечено выше, именно они представляют интерес в рамках данной работы.

Примеры контуров, извлечённых из фотографий, запечатлевших другие выражения лица девушки, приведены на рис. 3. Они были получены таким же способом, что и представленный на рис. 2d (т. е. сначала изображение было приведено к трём уровням яркости, а затем по нему построена граница области D_3). Качество контуров позволяет по ним визуально легко идентифицировать эмоции ис-

пытуемой и отличить их друг от друга. Глядя на рис. 2*d*, рис. 3*b*, *d*, можно предположить, что они могут использоваться для автоматического распознавания эмоций. Действительно, брови, глаза и губы очерчены непрерывными замкнутыми кривыми, не имеющими взаимных пересечений. Обратим внимание на то, что точное определение формы губ также нужно для решения задачи восстановления смыслового содержания речи по артикуляции [17, 18].

К достоинству полученных результатов можно отнести и то, что на контурных рисунках хорошо видны границы радужной оболочки глаз. Это объясняется тем, что для используемых фотоснимков яркости кожи и белков глаз имеют близкие значения, поэтому в процессе классификации они относятся к одному уровню. Положение радужной оболочки важно для распознавания аномальных состояний человека, в частности, его опья-

нения. В связи с этим активно разрабатываются методы её локализации на фотографиях [19, 20]. Кроме того, на рис. 1*d*, рис. 2*b*, *d*, различаются объекты, которые можно принять за контуры зрачков. Однако из сопоставления с фотографиями следует, что они обусловлены бликами. Это обстоятельство следует учитывать в случае, если целью автоматизированной обработки является определение направления взгляда.

Исследования, проведённые в работах [1, 4, 9–11], показали, что многие алгоритмы выделения контуров неустойчивы по отношению к случайному шуму. Здесь в рамках вычислительного эксперимента также рассматривается вопрос устойчивости. Для моделирования шума к функции $B(i, j)$ в каждой точке добавлялась некоррелированная случайная величина ξ , имеющая нормальное распределение с равным нулю математическим ожиданием и дисперсией σ^2 . Некото-

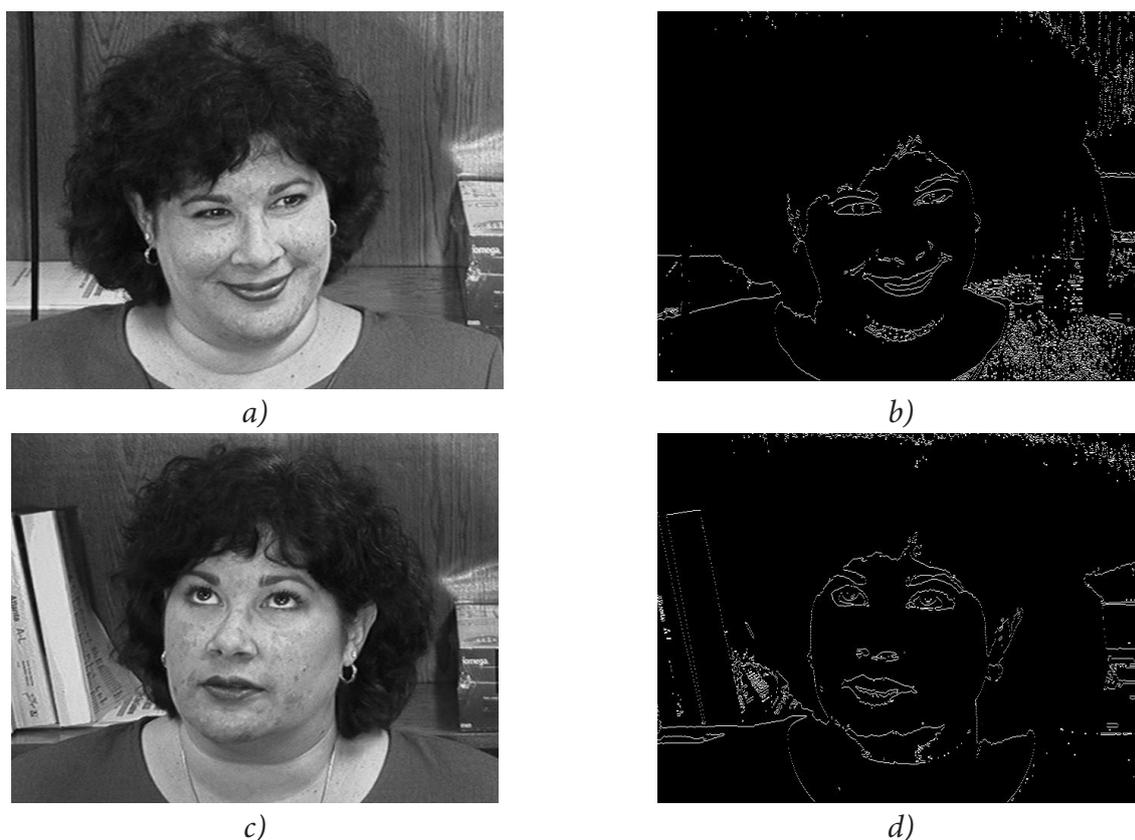


Рис. 3. Фотографии испытуемой, выражающей различные эмоциональные состояния и полученные по ним контуры лица

[Fig. 3. Photographs of the subject expressing various emotional states and facial contours obtained from them]

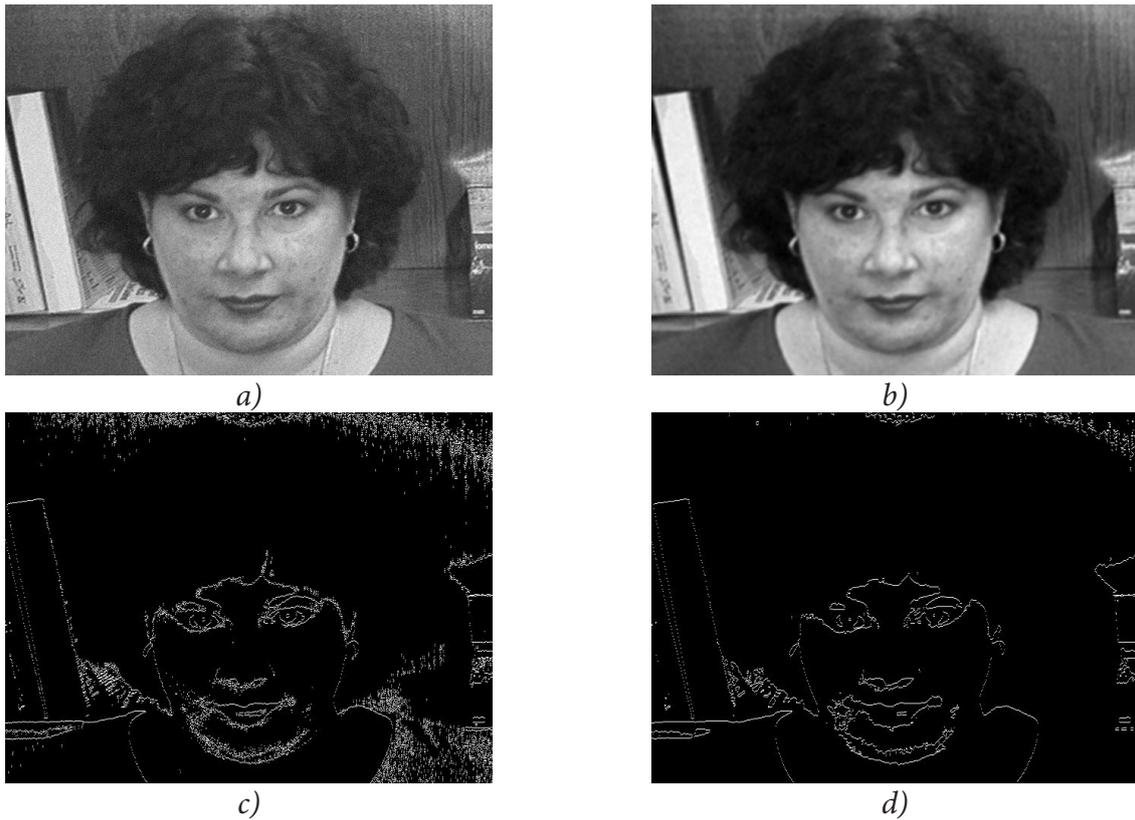


Рис. 4. Результаты, полученные по зашумлённому изображению; шум $\sigma = 0.1\bar{B}$
[Fig. 4. Results obtained from a noisy image; noise $\sigma = 0.1\bar{B}$]

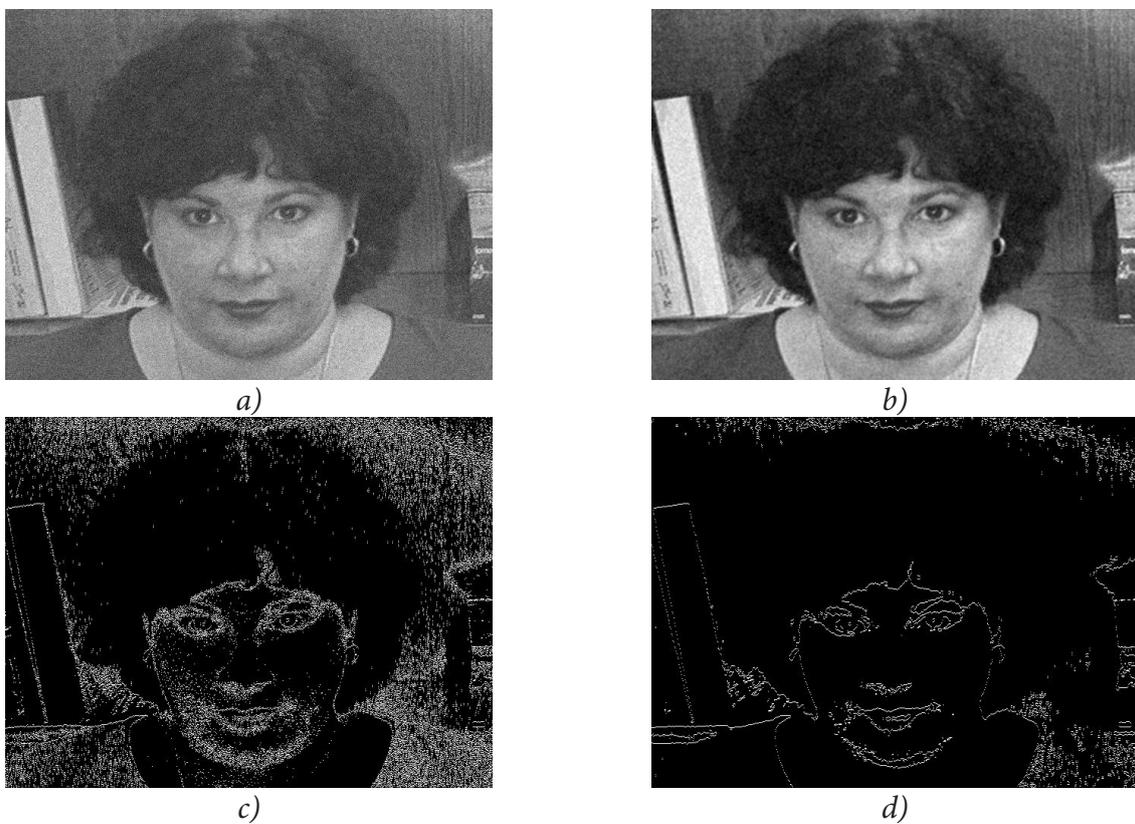


Рис. 5. Результаты, полученные по зашумлённому изображению; шум $\sigma = 0.25\bar{B}$
[Fig. 5. Results obtained from a noisy image; noise $\sigma = 0.25\bar{B}$]

рые результаты представлены на рис. 4, 5. Для первого стандартное отклонение σ величины ξ составляет $0.1\bar{B}$, а для второго $\sigma = 0.25\bar{B}$. Через \bar{B} обозначена средняя яркость изображения на рис. 1а. Заметим, что ξ суммируется с функцией $B(i, j)$, которая, как и любой результат измерений, уже содержит случайную составляющую; в частности, это видно по профилю на рис. 1б.

На рис. 4, 5а представлены зашумлённые изображения, полученные из рис. 1а. Извлечённые из них контуры приведены на рис. 4, 5с. Видно, что наличие шума существенно ухудшило их качество. Появилось множество точек, группирующихся вблизи объектов интереса и, тем самым, затрудняющих определение их истинных границ. Причём число таких точек увеличивается с ростом дисперсии шума. Применение фильтра скользящего среднего значительно улучшило ситуацию. Изображения на рис. 4, 5б получены из рис. 4, 5а при размере окна фильтра 3×3 пикселя. Соответствующие контуры показаны на рис. 4, 5д. На них почти отсутствуют артефакты, имеющиеся на рис. 4, 5с. Однако исказилась форма границ объектов. Вычисления показали, что эта тенденция нарастает при увеличении размеров окна фильтра. Из сравнения рис. 4д и рис. 5д видно, что, несмотря на то, что уровень шума в исходных изображениях существенно отличается, контуры, полученные после их обработки, имеют примерно одинаковое качество. Это свидетельствует о том, что при предварительной обработке изображений фильтром низких частот метод устойчив по отношению к случайному шуму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод выделения границ объекта интереса на переменном фоне, изменения которого имеют такой же порядок величины, что и амплитуда самого объекта. В его основе лежит разработанный ранее алгоритм классификации пикселей по трём уровням яркости, ориентированный на полутоновые изображения, основную часть которых занимают три текстуры, покрывающие примерно одинаковые площади. При определённых условиях такими свойствами обладает портретная фотография челове-

ка. Метод был опробован на изображениях из открытой базы «Georgia Tech face database». На извлечённых контурах хорошо различимы границы бровей, глаз и губ, а также радужной оболочки, и по ним визуально можно определить выражение лица. Вычисления, проведённые в присутствии некоррелированного шума, показали, что при применении фильтра скользящего среднего, процедура выделения контуров является устойчивой, пока стандартное отклонение шума не превосходит 25 % в пересчёте на среднюю яркость изображения. Предположительно, устойчивость также возможна и при более интенсивном шуме, однако для того, чтобы её добиться следует использовать другие фильтры низких частот. Полученные результаты, по мнению автора, свидетельствуют о том, что метод имеет перспективы для решения задачи автоматического распознавания эмоционального состояния человека.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект 121022000116).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я. А. Фурман [и др.]; под ред. Я. А. Фурмана – Москва : Физматлит, 2003. – 592 с.
2. Сирота, А. А. Обнаружение и оценка параметров перепада яркости в задаче контурного анализа объектов / А. А. Сирота, А. И. Соломатин // Автометрия. – 2009. – Т. 45, № 5. – С. 59–69.
3. Болотов, Ю. Ф. Новая технология выделения разрывов пространственного распределения уровней яркости цифровых изображений на основе функции Грина / Ю. Ф. Болотов, М. В. Буйневич // Информация и связь. – 2016. – № 2. – С. 88–93.

4. Местецкий, Л. М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры / Л. М. Местецкий. – Москва : Физматлит, 2009. – 288 с.
5. Wu, T. Y. A method for extracting suspected parotid lesions in CT images using feature-based segmentation and active contours based on stationary wavelet transform / T. Y. Wu, S. F. Lin // Measurement science review. – 2013. – V. 13, № 5. – P. 237–247. DOI: 10.2478/msr-2013-0036.
6. Mapping thermokarst lakes on the Qinghai-Tibet plateau using nonlocal active contours in Chinese GAOFEN-2 multispectral imagery / B. Tian [et al.] // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2017. – V. 10, № 5. – P. 1687–1700. DOI: 10.1109/JSTARS.2017.2666787.
7. Yu, Z. Optimized self-adapted contrast enhancement algorithm for wafer contour extraction / Z. Yu, J. Wang, G. Lu // Multimedia Tools and Applications. – 2019. – V. 78, № 22. – P. 32087–32108. DOI: doi.org/10.1007/s11042-019-08019-9.
8. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва : Техносфера, 2005. – 1072 с.
9. Способ пространственной адаптации градиентных масок для оконтуривания объектов на зашумленных изображениях / М. А. Пантюхин [и др.] // Радиотехника. – 2016. – № 8. – С. 26–31.
10. Самойлин, Е. А. Программная модель для исследования эффективности процедур выделения контуров зашумлённых изображений / Е. А. Самойлин, С. А. Карпов // Программные продукты и системы. – 2018. – № 4. – С. 734–739.
11. Дудка, Н. А. Исследование возможностей применения непараметрического критерия в задаче обнаружения контуров на изображениях, искажённых импульсной помехой / Н. А. Дудка, А. Р. Фатрахманов, М. Р. Кашапов // Теория и практика современной науки. – 2020. – № 4. – С. 209–214.
12. Безуглов, Д. А. Алгоритмические методы вейвлет-анализа изображений в условиях априорной неопределённости на случайном фоне / Д. А. Безуглов, А. П. Кузин, С. А. Швидченко // Научное обозрение. Технические науки. – 2015. – № 1. – С. 71–72.
13. Daugman, J. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence / J. Daugman // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1993. – V. 15, № 11. – P. 1148–1161. DOI: doi.org/10.1109/34.244676.
14. Moghaddam, B. Face recognition using view based and modular eigenspaces / B. Moghaddam, A. Pentland // Automatic Systems for the identification and inspection of humans, SPIE. – 1994. – V. 2257. – P. 357–384.
15. Gutta, S. Face recognition using hybrid classifiers / S. Gutta, H. Wechsler // Pattern Recognition. – 1997. – V. 30, № 4. – P. 539–553.
16. Лихачев, А. В. Выделение трех уровней яркости на зашумленном изображении / А. В. Лихачев // Вычислительные методы и программирование. – 2020. – Т. 21, № 2. – С. 180–186. DOI: 10.26089/NumMet.v21r216.
17. Ковшов, Е. Е. Система обработки движения губ человека для речевого ввода информации / Е. Е. Ковшов, Т. А. Завистовская // Cloud of Science. – 2014. – Т. 1, № 2. – С. 279–291.
18. Хафизов, Р. Г. Система распознавания речи по контурам изображения губ / Р. Г. Хафизов, Т. В. Яранцева, С. А. Охотников // Проектирование и технология электронных средств. – 2016. – № 2. – С. 13–17.
19. Wildes, R. P. Iris recognition: an emerging biometric technology / R. P. Wildes // Proceedings of the IEEE. – 1997. – V. 85, № 9. – P. 1348–1363. DOI: 10.1109/5.628669.
20. Юсупов, О. Р. Эффективный метод локализации радужной оболочки глаз, основанный на сегментации текстуры / О. Р. Юсупов // Научный вестник СамГУ. – 2017. – Т. 101, № 1. – С. 53–58.

Лихачев Алексей Валерьевич — д-р техн. наук, руководитель тематической группы информатики и прикладной математики Института автоматизации и электрометрии СО РАН.

E-mail: ipm1@iae.nsk.su

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4200-5518>

SELECTING OBJECT OF INTEREST CONTOURS ON VARIABLE BACKGROUND

© 2022 A. V. Likhachev✉

*Institute of Automation and Electrometry SB RAS
1, Academician Koptyug Avenue, 630090 Novosibirsk, Russian Federation*

Annotation. A method of selecting the boundary of the object of interest on a variable background, focused on the automatic analysis of human facial expressions, has been developed. The contours of brows, eyes and lips are extracted from the halftone photographic image. At the first stage, the image pixels are classified according to three brightness levels. It is assumed that the pixels belonging to one of them correspond to the skin, the other to the hair, while the remaining pixels make up the third level. To determine the brightness of these levels, an algorithm developed by the author earlier is used, the essence of which is as follows. The image is divided into rectangular fragments. For each of them, the hypothesis is tested that the brightness of its pixels is a sample from the distribution that describes the random noise present in the image (formulas were obtained for the normal noise distribution). Assuming that all pixels of any fragment for which the hypothesis was confirmed are included in only one of the specified groups, the brightness is determined by arithmetic averaging of the hypothetical mathematical expectations of the brightness of pixels belonging to each group. Then, the boundaries of areas with constant brightness are determined by means of line-by-line processing. The method was tested on images from an open database created at the University of Georgia (USA). The results showed that the extracted contours visually correspond well to the boundaries of the objects of interest and there is reason to believe that they can be used to solve the problem of automatic determination of the emotional state of a person from his portrait photo. In addition, the stability of the algorithm with respect to random noise was demonstrated, the value of the standard deviation of which does not exceed 25 % of the average value of the useful signal.

Keywords: selecting contours on an image, classification of pixels by brightness, automatic emotion recognition.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCE

1. *Bezugulov D. A., Kuzin A. P. and Shyvchenko S. A.* (2015) Algoritmicheskie metody veivlet-analiza izobrazhenii v usloviyakh apriornoj neopredelennosti na sluchainom fone [Algorithmic Methods of Wavelet Analysis of Images under Conditions of a Priori Uncertainty on a Random Background]. *Nauchnoe obozrenie. Tekhnicheskie nauki.* (1). P. 71–72. (in Russian)

2. *Bolotov Yu. F. and Buinevich M. V.* (2016) *Novaya tekhnologiya vydeleniya razryvov prostanstvennogo raspredeleniya urovnei yarkosti tsifrovyykh izobrazhenii na osnove funktsii Grina* [A New Technology for Detecting Discontinuities in the Spatial Distribution of Brightness Levels of Digital Images Based on the Green Function]. *Informatsiya i svyaz.* (2). P. 88–93. (in Russian)

3. *Daugman J.* (1993) High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence.* 15 (11). P. 1148–1161. Available at: [doi: doi.org/10.1109/34.244676](https://doi.org/10.1109/34.244676).

4. *Dudka N. A., Fatrakhmanov A. R. and Kashapov M. R.* (2020) *Issledovanie vozmozhnostei primeneniya neparametricheskogo kriteriya v zadache obnaruzheniya konturov na izobrazheniyakh, iskazhennykh impul'snoi pomekhoi* [Investigation of the Possibilities of Using a

✉ Likhachev Alexey V.
e-mail: ipm1@iae.nsk.su

Nonparametric Criterion in the Problem of Detecting Contours in Images Distorted by Pulse Interference]. *Teoriya i praktika sovremennoi nauki*. (4). P. 209–214. (in Russian)

5. *Furman Ya. A.* (ed.) (2003) *Vvedenie v konturnyi analiz; prilozheniya k obrabotke izobrazhenii i signalov* [Introduction to Contour Analysis; Applications to Image and Signal Processing]. Moscow, Fizmatlit. (in Russian)

6. *Gonzalez R. C. and Woods R. E.* (2008) *Digital image processing*. 3rd ed. New York, Prentice-Hall.

7. *Gutta S.* (1997) Face Recognition Using Hybrid Classifiers. *Pattern Recognition*. 30 (4). P. 539–553.

8. *Khafizov R. G., Yarantseva T. V. and Okhotnikov S. A.* (2016) Sistema raspoznavaniya rechi po konturam izobrazheniya gub [Speech Recognition System Based on Lip Image Contours]. *Proektirovanie i tekhnologiya elektronnykh sredstv*. (2). P. 13–17. (in Russian)

9. *Kovshov E. E. and Zavistovskaya T. A.* (2014) Sistema obrabotki dvizheniya gub cheloveka dlya rechevogo vvoda informatsii [Human Lip Movement Processing System for Speech Input of Information]. *Cloud of Science*. 1 (2). P. 279–291. (in Russian)

10. *Likhachev A. V.* (2020) Allocation of Three Brightness Levels on a Noisy Image. *Numerical Methods and Programming*. 21 (2). P. 180–186. Available at: doi: 10.26089/NumMet.v21r216. (in Russian)

11. *Mestetskii L. M.* (2009) *Nepreryvnaya morfologiya binarnykh izobrazhenii: figury, skelety, tsirkulyary* [Continuous Morphology of Binary Images: Figures, Skeletons, Circularity]. Moscow, Fizmatlit. (in Russian)

12. *Moghaddam B. and Pentland A.* (1994) Face recognition using view based and modular eigenspaces. *Automatic Systems for the identification and inspection of humans*, SPIE. 2257. P. 357–384.

13. *Pantuyukhin M. A., Samoilin E. A., Belyaev R. V. and Nagalin A. V.* (2016) Sposob prostanstvennoi adaptatsii gradientnykh masok dlya okonturivaniya ob'ektov na zashumlennykh izobrazheniyakh [Spatial Adaptation Method of

Gradient Masks to Segment Countours of Objects on the Noised Images]. *Radiotekhnika*. (8). P. 26–31. (in Russian)

14. *Samoilin E. A. and Karpov S. A.* (2018) Programmnyaya model' dlya issledovaniya effektivnosti protsedur vydeleniya konturov zashumlennykh izobrazhenii [A software model for investigating the effectiveness of procedures for isolating the contours of noisy images]. *Programmnye produkty i sistemy*. (4). (in Russian)

15. *Sirota A. A. and Solomatin A. I.* (2009) Detection and Estimation of Brightness Difference Parameters in Object Boundary Analysis. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 45 (5). P. 428–436. Available at: doi: 10.3103/S8756699009050100.

16. *Tian B., Li Zhen, Zhang Meimei, Huang Lei, Qiu Y., Li Zhixian and Tang P.* (2017) Mapping Thermokarst Lakes on the Qinghai-Tibet Plateau Using Nonlocal Active Contours in Chinese GAOFEN-2 Multispectral Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing*. 10 (5). P. 1687–1700. Available at: doi: 10.1109/JSTARS.2017.2666787.

17. *Wildes R. P.* (1997) Iris Recognition: an Emerging Biometric Technology. *Proceedings of the IEEE*. 85 (9). P. 1348–1363. Available at: doi: 10.1109/5.628669.

18. *Wu T. Y. and Lin S. F.* (2013) A Method for Extracting Suspected Parotid Lesions in CT Images Using Feature-based Segmentation and Active Contours Based on Stationary Wavelet Transform. *Measurement Science Review*. 13(5). P. 237–247. Available at: doi: 10.2478/msr-2013-0036.

19. *Yu Z., Wang J. and Lu G.* (2019) Optimized self-adapted contrast enhancement algorithm for wafer contour extraction. *Multimedia Tools and Applications*. 78(22). P. 32087–32108. Available at: doi: doi.org/10.1007/s11042-019-08019-9.

20. *Yusupov O. R.* (2017) Effektivnyi metod lokalizatsii raduzhnoi obolochki glaz, osnovannyi na segmentatsii tekstury [An effective method of localization of the iris based on texture segmentation]. *Nauchnyi vestnik SamGU*. 101(1). P. 53–58. (in Russian)

Likhachev Alexey V. — Doctor of technical sciences, Head of the thematic group of Computer Science and Applied Mathematics, Institute of Automation and Electrometry SB RAS. E-mail: ipm1@iae.nsk.su ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4200-5518>