

УДК 004.932. 001.57

*О.Ю. Бабилунга, С.Г. Антощук*

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина  
milit@milit.tm.odessa.ua

## Определение геометрических идентификационных характеристик в системе компьютерного распознавания лиц

Рассмотрен метод определения геометрических характеристик изображения лица человека. Предложенный метод основан на гиперболическом вейвлет-преобразовании (ГВП) и позволяет контролировать уровень детализации, имеет высокую помехоустойчивость и точность выделения контура по сравнению с существующими дифференциальными методами, повышает эффективность анализа изображений.

Одной из задач, решаемых в современных системах биометрической идентификации, является установление личности человека по изображению лица. Практические потребности в компьютерном распознавании лиц возникают в системах охраны и верификации кредитных карточек, при криминалистической экспертизе, проведении телеконференций и других приложениях. Существующие методы решения задачи распознавания лиц развиваются в двух направлениях: одно из них базируется на анализе информации об обобщенных признаках лица (разложение Карунена – Лоэва, метод главных компонент, аппроксимация собственных векторов матрицы автокорреляции изображения и др.), второе – на автоматическом выделении элементов лица на его различных изображениях (фас, профиль и произвольный ракурс) и их анализе (применяются марковские модели, контурный анализ и др). Второй подход учитывает психофизические аспекты восприятия лица человеком, и в частности тот факт, что при рассматривании человеком некоторого объекта, детали, привлекающие внимание поочередно проецируются на центральную зону сетчатки глаза [1]. При этом наиболее важными для анализа зрительного образа оказываются форма и местоположение объекта на изображении, которые применительно к задаче распознавания могут быть описаны геометрическими характеристиками. Для получения этих геометрических характеристик представляется целесообразным при решении задачи компьютерного распознавания лиц перейти к контурному описанию лица, что значительно упростит процедуры его дальнейшего анализа. Несмотря на значительное количество работ, посвященных выделению контуров объектов на изображении, представляется актуальным поиск метода контурной обработки, который учитывал бы следующие особенности изображений лиц:

а) полутоновое изображение лица человека обычно является малоконтрастным, т.е. реальный диапазон яркости оказывается намного меньше допустимого (шкалы яркости) – такие элементы лица, как нос, рот, подбородок, состоят практически из равных по яркости точек;

б) перепады яркости отдельных элементов лица не соответствуют перепадам идеальной формы и являются «размытыми» или наклонными;

в) оптические ограничения и несовершенство элементов системы регистрации изображений приводят к тому, что процесс их формирования сопровождается добавлением к исходному изображению шумовой составляющей.

С учетом вышесказанного, метод контурной обработки лица должен эффективно контрастировать малоконтрастные изображения, показывать хорошие результаты при обработке наклонных перепадов, быть достаточно помехоустойчивым. Таким требованиям отвечает метод выделения контуров с использованием гиперболического вейвлет-преобразования (ГВП), в основе которого лежит преобразование Гильберта [2]. Прямое и обратное ГВП может быть реализовано аппроксимируемыми фильтрами

$$\tilde{f}_n = \frac{1}{\pi} \sum_{k=-N}^{+N} f_{n-k} \cdot g_k$$

$$f'_n = -\frac{1}{\pi} \sum_{k=-N}^{+N} \tilde{f}_{n-k} \cdot g_k,$$

где  $g_k = \frac{1}{k} G(t)$  – коэффициенты фильтра;

$G(t)$  – адаптирующая функция ( $t$  – некоторый параметр, определяющий свойства преобразования);

$k$  – текущее значение;

$N$  – порядок фильтра (количество коэффициентов). Возможны два варианта задания коэффициентов: при нечетном:  $N - k = 0, \dots, N$  (при  $k = 0$  принимаем  $g_0 = 0$  (центральная точка является «фовеальной»)); при четном:  $N - k = 1, \dots, N$ .

Следует отметить, что для выделения контуров объектов с использованием вейвлет-преобразования суммирующую составляющую приближения (по вертикали) самого мелкого масштаба ( $a_1$ ) дискретного вейвлет-преобразования удаляют путем обращения в нуль ее значений. Вычисление обратного преобразования по детализирующей составляющей ( $d_1$ ) приводит к выделению контуров (по горизонтали) на восстановленном таким образом изображении. Аналогичным образом можно добиться выделения вертикальной границы объекта.

Методика выделения контуров с использованием вейвлет-преобразования может быть представлена схемой:

$$f_0 \rightarrow a_1 \rightarrow 0$$

$$\downarrow$$

$$d_1 \rightarrow f' \rightarrow K(f'),$$

где  $f$  – строка (столбец) исходного изображения;

$a_1$  – суммирующая составляющая вейвлет-преобразования;

$d_1$  – детализирующая составляющая вейвлет-преобразования;

$f'$  – строка (столбец) изображения после обратного преобразования;

$K$  – оператор получения контурного препарата.

Обработка изображения ведется по строкам и по столбцам одномерным ГВП. На базе этой методики разработаны пороговые и корреляционно-экстремальный методы выделения контуров [3]. Проведенные исследования показали, что разработанные методы при масштабах больше 3 превышают по помехоустойчивости (по критерию Прэтта [4]) известные операторы выделения контуров в 1,5 – 3,2 раза в диапазоне отношений сигнал/помеха 1 – 20.

Проводилось исследование разработанных методов для выделения контуров на наклонных перепадах интенсивности (рис. 1). Обработка наклонного перепада с использованием ГВП (при высоких порядках фильтра  $N$ ) позволяет получить

контурный препарат, на котором выделены границы наклонного перепада (рис. 1). Исследование эффективности обработки профиля интенсивности наклонного перепада ГВП при наличии помех показало его преимущества перед известными методами.

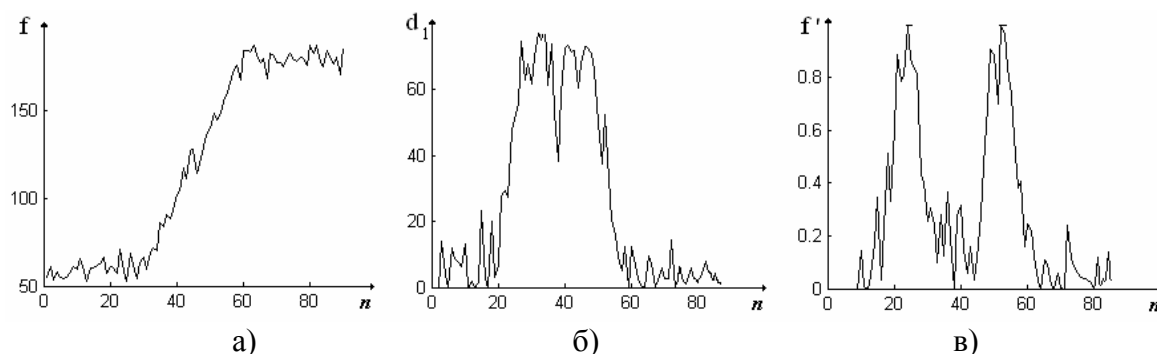


Рисунок 1 – Профиль интенсивности наклонного перепада, искаженный аддитивным гауссовым шумом (а); после обработки прямым ГВП (б) и обратным ГВП (в)

Проведено исследование зависимости полученной интенсивности объектов изображения после преобразования ГВП от размеров объекта на исходном изображении (рис. 2).

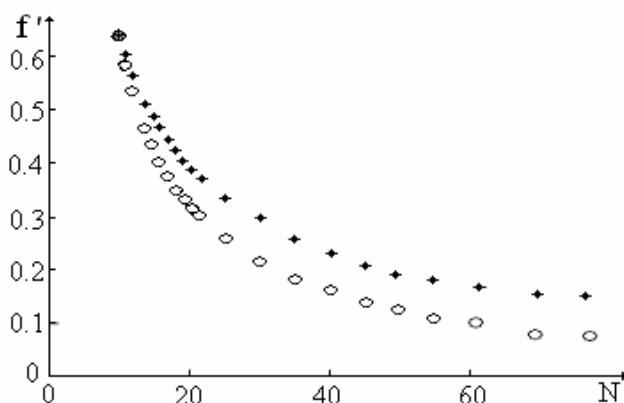


Рисунок 2 – Зависимость отношения интенсивности контуров при разных порядках фильтра ГВП (отношение размеров объектов = 1/5 (\*); отношение размеров объектов = 1/3(o))

В силу частотно-избирательных свойств ГВП отношение интенсивности контура объекта, имеющего меньший размер, к интенсивности контура, имеющего больший размер, уменьшается при увеличении порядка фильтра  $N$ . Эта закономерность делает данную методику малочувствительной к изменению интенсивности объекта и позволяет учитывать его размеры (регулировать детализацию).

Таким образом, предлагаемая методика учитывает сформулированные выше особенности изображений лиц и может быть применена для получения контурного препарата для последующего выделения информативных признаков изображения лица.

Проведен сравнительный анализ различных методов контурной обработки (рис. 3). Результаты выделения контурного препарата изображения лица с использованием метода ГВП (при малых значениях порядка фильтра  $N < 3$ ) и других известных методов контурной обработки (пространственное дифференцирование, метод Превита и др.) соизмеримы по качеству. При увеличении порядка фильтра ГВП удается получить более четкий контур не только овала лица, но и отдельных его элементов (подбородка, губ, носа) (рис. 3в).

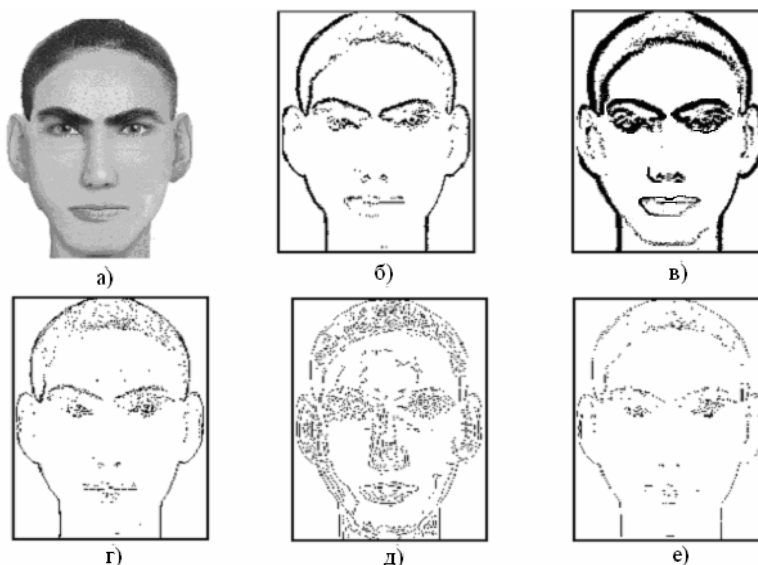


Рисунок 3 – Исходное изображение лица (а) и результаты его контурной обработки различными методами: ГВП,  $N = 5$  (б); ГВП,  $N = 10$  (в); пространственное дифференцирование (г); фильтр Канни (д); фильтр Превита (е)

В качестве геометрических идентификационных характеристик в системе компьютерного распознавания лиц выбраны расстояния между соответствующими характерными точками [5], найденными на контурном изображении лица (рис. 4а). Перечень исследуемых характеристик приведен в табл. 1.

Таблица 1

Геометрические размеры изображения лица			
по горизонтали		по вертикали	
R1	CC <sub>1</sub>	R6	AC <sub>1</sub>
R2	FF <sub>1</sub>	R7	JC <sub>1</sub>
R3	IG	R8	F <sub>1</sub> J
R4	I <sub>1</sub> G <sub>1</sub>	R9	I <sub>1</sub> J
R5	I I <sub>1</sub>	R11	I <sub>1</sub> G <sub>1</sub>
R10	HH <sub>1</sub>	R12	IG
R13	KK <sub>1</sub>	R17	LI
R14	OO <sub>1</sub>	R18	L <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
R15	MO	R19	MI
R16	O <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	R20	I <sub>1</sub> M <sub>1</sub>
R25	ML	R21	OI
R26	M <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	R22	O <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
R27	NM	R23	NI
R28	N <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	R24	N <sub>1</sub> I <sub>1</sub>
R29	EE <sub>1</sub>	R32	DC
R30	DD <sub>1</sub>	R33	CB
R31	BB <sub>1</sub>		

Алгоритм определения этих точек следующий:

а) находятся границы контурного препарата лица человека на изображении ( $i_{\min}, i_{\max}, j_{\min}, j_{\max}$ ) (рис. 4б);

б) вычисляются координаты средней точки контурного изображения лица ( $i_{cp}, j_{cp}$ ). Обычно эта точка для различных форм лица находится в области носа, чуть ниже глаз;

в) последовательно определяются координаты верхней и нижней границ области подбородка, губ, носа, глаз.

Для этого на вертикальной оси симметрии, в направлении снизу – вверх, начиная со строки  $i = i_{max}$ , находим относительно длинный отрезок, не принадлежащий контуру. Под относительно длинным отрезком здесь и далее понимается отрезок, длина которого в точках, больше заданного порогового значения. Пороговое значение определяется исходя из размера исходного изображения и стандартных пропорций лица человека. Нижняя и верхняя характерные точки, ограничивающие найденный отрезок, принадлежат верхней границе контура одного из элементов лица и нижней границе контура другого соответственно (подбородка – губ, губ – носа, носа – глаз);

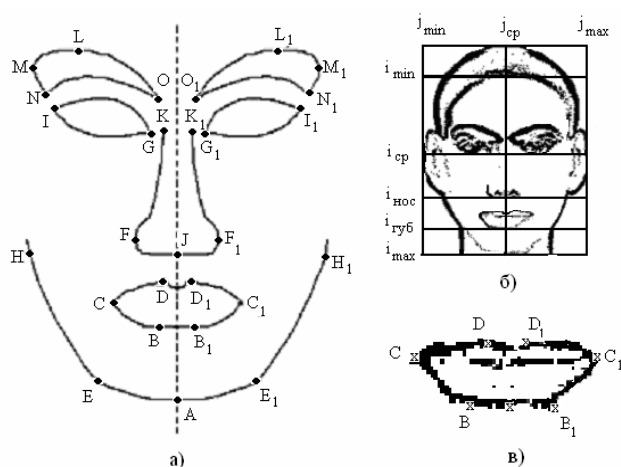


Рисунок 4 – Разметка изображения лица характерными точками (а), координаты граничных точек элементов лица (б) и выделенные характерные точки контура губ (в)

г) определяются координаты характерных точек контура губ  $B, B_1, C, C_1, D, D_1$  (рис. 4в). В качестве начальной выбирается точка с координатами  $(i_{губ}, j_{cp})$ . В соответствии с разработанным алгоритмом поиска, на каждом шаге для текущей точки проверяется наличие связанных (четырёх- и восьмисвязных) точек в заданных направлениях согласно их приоритету. Найденная связанная точка в направлении с наибольшим приоритетом становится текущей. Поиск заканчивается, когда в заданных направлениях не остается связанных точек;

е) определяются координаты нижней границы контура носа точки  $J$  и характерных точек  $F, F_1, K, K_1$ ;

ж) определяются координаты нижних границ контуров левого и правого глаз и характерных точек  $I, G, I_1, G_1$ ;

з) определяются координаты характерных точек бровей  $O, L, M, N, O_1, L_1, M_1, N_1$ .

Если координаты одной из точек не определены (контур отсутствует), то в качестве ее координат принимаются координаты точки, симметричной найденной относительно оси, проходящей через точку  $J$ .

Тестирование разработанной системы компьютерного распознавания лиц, использующей описанную выше методику получения геометрических идентификационных характеристик, проводилось на базе, содержащей 100 изображений. Векторы значений геометрических характеристик подавались на вход вероятностной нейронной сети.

Вероятностная нейронная сеть имела три слоя: входной, радиальный и выходной. Радиальные элементы брались по одному на каждое обучающее измерение. Каждый из них представляет гауссову функцию с центром в этом измерении. Каждому классу соответствовал один выходной элемент. Каждый такой элемент соединен со всеми радиальными элементами, относящимися к его классу, а со всеми остальными радиальными элементами он имеет нулевое соединение. Таким образом, выходной элемент просто складывает отклики всех элементов, принадлежащих его классу. Значения выходных сигналов пропорциональны оценкам вероятности принадлежности изображений лиц соответствующим классам. Вероятность правильного распознавания на контрольной выборке составила 85 - 87 %.

Проведенные исследования показали эффективность использования ГВП для выделения контуров объектов малоcontrastных изображений и объектов с наклонными перепадами интенсивности. Предложенный подход обладает хорошей помехоустойчивостью и при необходимости позволяет обеспечить регулируемую детализацию при выделении контурного препарата. Это позволяет рекомендовать его для выделения геометрических идентификационных характеристик в системах компьютерного распознавания различного прикладного назначения.

## Литература

1. Методы компьютерной обработки изображений / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
2. Antoshchuk S.G., Krylov V.N. Hyperbolic wavelet domain image processing // Матеріали Міжнар. конф. «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії». – Львів: Львівська політехніка. – 2004. – С. 219-220.
3. Антошук С.Г., Бабилунга О.Ю., Николенко А.А. Выделение контуров объектов методом двукратного гиперболического преобразования // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2005. – Вип. 65. – С. 65-69.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982. – Т. 2. – 480 с.
5. Глазунов А.С. Компьютерное распознавание человеческих лиц // Зарубежная радиоэлектроника. – 1997. – № 8. – С. 3-14.

**О.Ю. Бабилунга, С.Г. Антошук**

**Визначення геометричних ідентифікаційних характеристик у системі комп'ютерного розпізнавання обличч**

Розглянуто метод визначення геометричних характеристик зображення обличчя людини. Запропонований метод заснований на гіперболічному вейвлет-перетворенні (ГВП) і дозволяє контролювати рівень деталізації, має високу перешкодостійкість і точність виділення контуру в порівнянні з існуючими диференціальними методами, підвищує ефективність аналізу зображень.

**O.Yu. Babilunga, S.G. Antoshchuk**

**Determination Geometrical Identification Characteristics in the Computer Face Recognition System**

The method of determination geometrical characteristics human face image at the computer recognition system is considered. The offered method is based on Hyperbolic wavelet transformation (HWT) and allow to control the level of detailing and increase noise-immunity and accuracy of edge selections in comparison with existing differential methods, increase efficiency of images analysis.

*Статья поступила в редакцию 27.06.2006.*