

УДК 617.721

Н.Н. Минакова, И.В. Петров

Параметризация структуры радужной оболочки глаза с использованием вейвлет-преобразования

N.N. Minakova, I.V. Petrov

Parametrization of Iris Structure Using Wavelet Transformation

Представлена математическая модель параметризации структуры радужной оболочки глаза с использованием непрерывного вейвлет-преобразования, ее численная реализация с учетом теоремы о свертке. Приводятся экспериментальные результаты, показывающие эффективность предложенной параметризации.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, радужная оболочка глаза, идентификация личности.

В современных условиях большое распространение получили биометрические технологии. Главным преимуществом биометрических технологий идентификации личности является то, что в качестве идентификатора выступает биометрический признак человека, который, в отличие от паролей, PIN-кодов, магнитных карт, невозможно забыть или потерять.

Одним из надежных биометрических признаков считается структура радужной оболочки глаза. Ключевую роль в системах идентификации личности по радужной оболочке глаза играют методы параметризации, которые позволяют выявить локальные и частотные характеристики структуры. От них зависит размер вектора признаков, определяющий скорость работы системы идентификации, величина ошибок первого и второго рода и т.д.

Известны различные методы параметризации: фильтры Габора, пирамида лапласианов, преобразование Эрмита и т.д. [1]. Их использование позволяет решать задачи идентификации личности, несмотря на потерю некоторой информации о структуре радужной оболочки глаза. Однако актуальной остается задача поиска новых математических моделей параметризации структуры радужной оболочки глаза, способных наиболее полно выделить ее особенности.

В статье представлены результаты разработки математической модели параметризации структуры радужной оболочки глаза и ее численной реализации с целью повышения скорости обработки данных при увеличении выделенной структурной информации.

Структуру радужной оболочки глаза можно представить в виде двумерного нестационарного сигнала. Для изучения таких сигналов применен

The article describes the mathematical model of parameterization of the iris structure using continuous wavelet transformation, its numerical implementation taking into account convolution theorem. Experimental results show the effectiveness of the proposed parameterization.

Key words: wavelet transform, iris, personal identification.

вейвлет-анализ. Сигнал раскладывается по некоторому базису, образованному сдвигами и кратномасштабными копиями вейвлетной функции. Свертка сигнала с вейвлетами позволяет выделить характерные особенности сигнала в области локализации вейвлетов. В зависимости от масштаба вейвлета на результат свертки будет оказывать влияние область сигнала различной протяженности. В работе применено непрерывное вейвлет-преобразование – вейвлеты на основе производных функций Гаусса [2]. В качестве материнского вейвлета была взята вторая производная от функции Гаусса. Непрерывное вейвлет-преобразование обладает большей информативностью по сравнению с дискретным. Главным недостатком непрерывного вейвлет-преобразования является высокая вычислительная сложность. Поэтому решалась задача ускорения процесса вычислений непрерывных вейвлет-преобразований.

Для двумерного вейвлет-преобразования можно записать [3]:

$$W_{\psi}(a, b_1, b_2) = \frac{1}{\sqrt{a}} \iint f(x, y) \psi\left(\frac{x-b_1}{a}, \frac{y-b_2}{a}\right) dx dy, \quad (1)$$

где $f(x, y)$ – преобразуемая функция; ψ – базисная функция, получающаяся из материнского вейвлета в результате сдвига по параметрам $b_1, b_2 \in R$ и масштабирования по параметру $a \in R^+$.

При фиксированном масштабе a выражение (1) является сверткой функции $f(x, y)$ с вейвлет-функцией ψ масштаба a по параметрам сдвига b_1 и b_2 . Свертка в пространственной области – в соответствии с теоремой о свертке эквивалентна умножению в частотной области.

Тогда свертка (1) может быть представлена следующим образом:

$$W_{\omega}(a, \omega_1, \omega_2) = \sqrt{|a|} F(\omega_1, \omega_2) \Phi(a\omega_1, a\omega_2), \quad (2)$$

где

$$F(\omega_1, \omega_2) = \iint f(x, y) \exp[-i(\omega_1 x + \omega_2 y)] dx dy; \quad (3)$$

$$\Phi(a\omega_1, a\omega_2) = \iint \psi\left(\frac{x}{a}, \frac{y}{a}\right) \exp[-i(\omega_1 x + \omega_2 y)] dx dy \quad (4)$$

соответственно Фурье-образы функций сигнала и вейвлета.

Применение к вейвлет-преобразованию теоремы о свертке позволило численно реализовать математическую модель на основе непрерывного вейвлет-преобразования. Зная спектр структуры сигнала и спектр непрерывных вейвлетов, можно заменить трудоемкую свертку простым умножением. С вычислительной точки зрения преимущество заключается в том, что для численного преобразования Фурье существует алгоритм, называемый быстрое преобразование Фурье, который выполняет одномерное преобразование N элементов за $\log_2(N)$ операций. В таблице 1 показана зависимость числа необходимых операций от количества масштабов при традиционном и предложенном подходах.

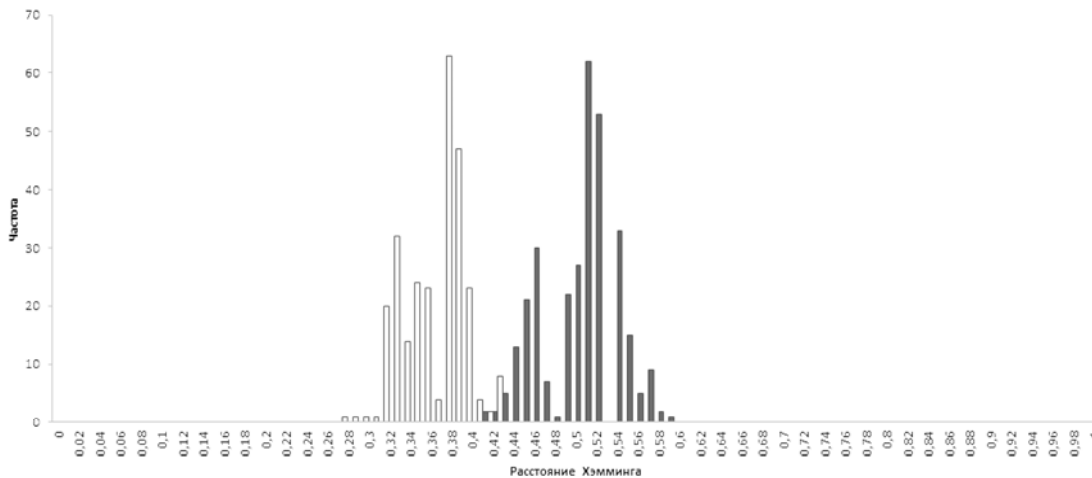
Таблица 1

Зависимость числа операций от числа масштабов (изображение размером 256×64 пиксела)

Число масштабов	Число операций (традиционная реализация непрерывного вейвлет-преобразования)	Число операций (предложенный подход)
1	268435456	138098
2	536870912	207147
3	805306368	276196
4	1073741824	345245

По предложенному алгоритму численной реализации непрерывного вейвлет-преобразования была разработана программа ЭВМ. Эффективность параметризации проверялась на снимках из публично доступных баз данных CASIA Iris Image Database (version 1.0), CASIA-IrisV3-Interval и CASIA-IrisV3-Lamp.

Для апробации предложенного алгоритма с использованием непрерывного вейвлет-преобразования выполнено 578 испытаний (268 – испытания между снимками одинаковых структур, 310 – испытания между снимками различных структур). Полученные результаты представлены на рисунке.



Распределение расстояния Хэмминга для снимков радужной оболочки глаза (одна структура – штриховка светлая, разные структуры – темная)

Была проанализирована зависимость ошибок первого и второго рода от расстояния Хэмминга (табл. 2). По результатам эксперимента оптимальным порогом допуска было признано расстояние Хэмминга 0,42.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что предложенная математическая модель на основе непрерывного вейвлет-преобразования может быть применена для параметризации структуры радужной оболочки глаза. Ее численная реализация позволяет повысить скорость обработки данных, по сравнению с традиционным подходом.

Таблица 2

Зависимость числа ложных недопусков и ложных допусков от расстояния Хэмминга

Расстояние Хэмминга	Число ложных недопусков	Число ложных допусков	Процент ложных недопусков	Процент ложных допусков
0,40	37	0	6,4	0
0,41	14	0	2,4	0
0,42	10	2	1,7	0,3
0,43	8	4	1,3	0,6
0,44	0	9	0	1,5
0,45	0	22	0	3,8
0,46	0	43	0	7,4

Библиографический список

1. Кухарев Г.А. Биометрические системы: методы и средства идентификации личности человека. – СПб., 2001.
2. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск, 2001.
3. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М., 2005.