

Н. Н. Минакова, И. В. Петров, Н. В. Недопекин

Фрактальный анализ структуры радужной оболочки глаза для задач идентификации личности

N. N. Minakova, I. V. Petrov, N. V. Nedopekin

Fractal Analysis of the Iris Structure for the Problems of Person Identification

Представлен метод классификации структуры радужной оболочки глаза по трем иридогенетическим типам, использующий в качестве признака фрактальную характеристику структуры радужной оболочки глаза. Показана эффективность данного метода при поиске по базе данных в задачах идентификации личности.

Ключевые слова: фрактальная размерность, классификация, радужная оболочка глаза.

DOI 10.14258/izvasu(2013)1.2-34

Фрактальный анализ объектов позволяет решать самые разные задачи, например, устанавливать взаимосвязи «структура — свойства» [1]. Это необходимо для решения широкого спектра задач, в том числе в информационной безопасности для решения проблемы пресечения несанкционированного доступа к информационной системе.

Цель данной работы — оценка возможности применения фрактального анализа структуры радужной оболочки глаза (РОГ) для задач идентификации личности в информационной безопасности.

The article describes classification of the iris in three types, which uses as a feature fractal characteristic of the iris structure. The efficiency of this method is demonstrated when searching for person identification by database.

Key words: fractal dimension, classification, iris.

Фрактальный характер структуры радужной оболочки глаза показан в [2]. Однако существуют некоторые отличия от классического понимания фрактальной структуры.

При изучении структуры радужной оболочки глаза изображение размером $M \times M$ можно представить как трехмерную поверхность, где координаты x и y соответствуют координатам изображения, а координата z отвечает за его уровень яркости (рис. 1).

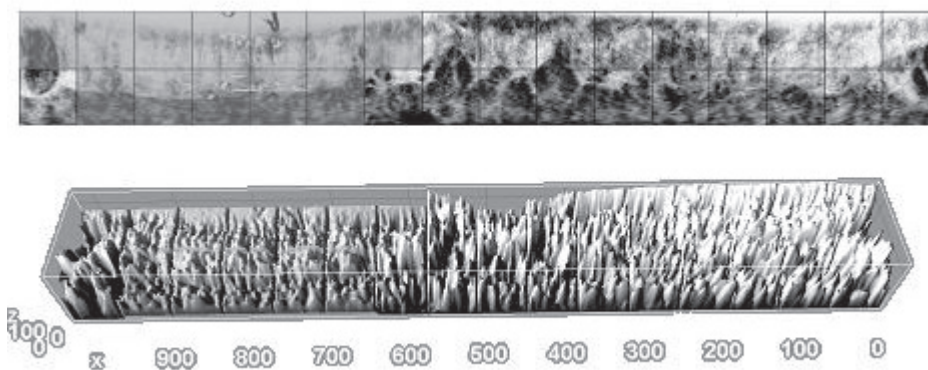


Рис. 1. Представление полутонового изображения нормализованного рисунка радужной оболочки глаза в качестве трехмерной поверхности, разбитой на блоки по 32x32 пикселя (блоки, поврежденные наложением век, выделены другим оттенком)

Адаптация для полутоновых изображений радужной оболочки глаза выполнялась с помощью «блочного» метода расчета. Плоскость oxy разбивается на непересекающиеся блоки размером $s \times s$. Масштаб каждого блока $r = s$, где $M/2 > s > 1$, а s является целым числом. N_r подсчитывается в данном алгоритме с использованием следующей процедуры. На каждом блоке есть «колонка коро-

бок» размером $s \times s \times s$, где S является высотой каждой коробки $G/s' = M/s$, где G общее число уровней серого в изображении. Например, на рисунке 2 $s = s' = 3$. Каждой коробке присвоен номер (рис. 2).

Допустим минимум и максимум уровня серого в (i,j) -м блоке падает на k -ю и l -ю коробку соответственно.

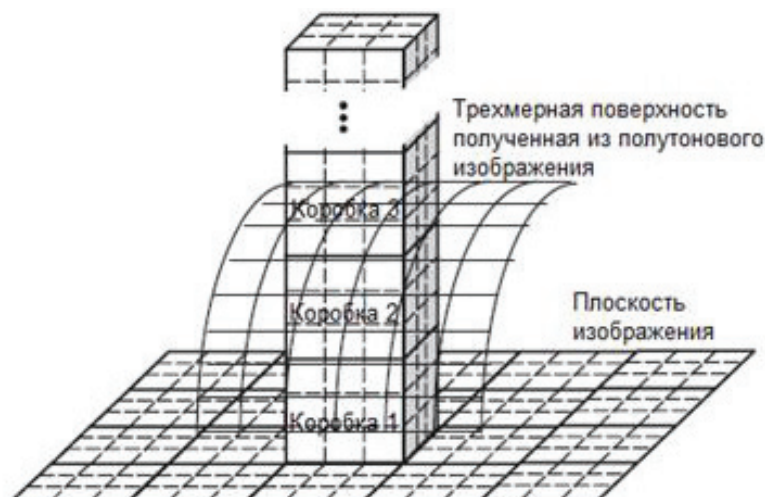


Рис. 2. Разбиение изображения на ячейки

В соответствии с [3]

$$n_r(i, j) = l - k + 1, \quad (1)$$

где l — номер коробки, в которой находится максимум уровня интенсивности; k — номер коробки, в которой находится минимум уровня интенсивности; индекс r указывает на то, что результат подсчитан для масштаба r .

Например, иллюстрация, представленная на рисунке 2, соответствует $n_r(i, j) = 3 - 1 + 1$. Для учета вклада от всех блоков Nr расчет выполняется для различных значений r :

$$N_r = \sum_{r=1}^{M/2} n_r(i, j), \quad (2)$$

где r — размер ячейки; Nr — число ячеек сетки, покрывающих объект при заданном r .

Таким образом, на изображение объекта накладывается сетка с ячейками размера r ($r = s$). В каждой ячейке проверяется наличие объекта. Если объект присутствует, то число N_r , для текущего значения r увеличивается на 1. После проверки всех ячеек умень-

шается масштаб сетки и размер ячейки r . Далее процедура подсчета N_r повторяется, до того момента, когда r достигнет минимального значения. Полученная зависимость N_r от r описывается уравнением

$$\text{Log}(N_r) = \text{Log}(K) + D \log(1/r), \quad (3)$$

где K является некоторой константой; D — искомая фрактальная размерность.

Тогда оценка фрактальной размерности D в рамках боксового метода выливается в нахождение коэффициента наклона уравнения (3) путем аппроксимации по методу наименьших квадратов.

Была разработана программа расчета фрактальной размерности структур по «боксовому методу». Для оценки точности численного метода использовались фрактальные и геометрические фигуры с известной фрактальной размерностью (размер изображений 512x512 пикселей). Результаты оценки точности представлены в таблице 1. Полученные результаты показали высокую точность оценки фрактальной размерности.

Таблица 1

Оценка точности определения фрактальной размерности «боксовым» методом

Используемые фигуры	Расчетное значение фрактальной размерности \underline{D}	Теоретическое значение фрактальной размерности \underline{D}
Треугольник Серпинского	1.569	1.585
Квадрат Серпинского	1.904	1.893
Снежинка Коха	1.289	1.262
Закрашенный квадрат	2	2
Прямая линия	1	1

В процессе исследования было высказано предположение о возможности использования фрактальной оценки для предварительной классификации структур, позволяющей ускорить расчеты при идентификации личности.

В основу классификации положен известный факт зависимости цвета радужной оболочки глаза от концентрации пигмента в переднем слое и плотности трабекулярных нитей в строме [4]. Плотность, как известно, отражает меру заполнения определенного про-

странства. Цвет в данной задаче определяет спектр градаций серого. Эти факторы влияют на величину фрактальной размерности как меры заполненности пространства.

Анализ представленных в литературе офтальмологических снимков показал, что представляет интерес классификация по Е. С. Вельхверу на три иридогенетических типа: радиальную, радиально-гомогенную, радиально-лакунарную [4]. Эти структуры наряду с другими признаками отличаются по плотности трабекулярных нитей и концентрации пигмента в переднем слое.

Для классификации структур радужной оболочки глаза по трем иридогенетическим типам были использованы значения фрактальной размерности, определяемой описанным выше «боксовым методом». Применялась база офтальмологических снимков глаз.

Этапы разработанного алгоритма классификации структур радужной оболочки глаза на три «иридогенетических» типа:

- Локализованное изображение радужной оболочки глаза нормализуется в прямоугольную область размером 1024x128;
- Нормализованная текстура разбивается на 16 блоков (в 2 ряда по 8);
- Блоки, содержащие веки, маскируются;
- Рассчитывается фрактальная размерность D для неповрежденных блоков;
- Усредняется D для значений в верхнем и нижнем ряду, получается два значения;
- Выполняется классификация на три «иридогенетических» типа.

Классификация была реализована с помощью специально обученной нейронной сети, получающей на вход два значения фрактальной размерности — для верхней и нижней половины нормализованной текстуры радужной оболочки глаза. На выходе нейронной сети — три значения, отвечающие за каждый иридогенетический тип. С целью получения более точного результата классификации были испытаны различные конфигурации нейронной сети. Для обучения и настройки сети использовалась свободно распространяемая программа «Neural Network Wizard» [5].

На первом этапе была испытана сеть со стандартной конфигурацией. В качестве активационной функции была взята сигмоидальная функция. Параметр сигмоиды: 1, число входов: 2, количество скрытых слоев: 1, число нейронов в скрытом слое: 10, число выходов: 3. Размер тестовой выборки: 24 снимка. Результат обучения сети: точность распознавания из обучающей выборки 100%, точность распознавания из тестовой выборки 100%. Для увеличения производительности сети была испытана адаптированная конфигурация с меньшим числом нейронов в скрытой сети. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2
Выбор числа нейронов в структуре нейронной сети

Число нейронов в скрытом слое	Обучающая выборка	Тестовая выборка
	Распознано %	Распознано %
4	76,2	50
5	100	100
6	100	100
7	95,2	95,2
8	95,2	95,2
9	95,2	95,2

На основании полученных результатов была выбрана конфигурация с пятью нейронами в скрытом слое.

Для оценки работоспособности описанного метода был проведен численный эксперимент. В качестве исходных данных выступали снимки из базы данных офтальмологических снимков. Результаты эксперимента представлены в таблице 3. Точность классификации составила 97,3%.

Основные причины ошибок классификации заключаются в наличии градиентных отражений и бликов, закрывающих изображение структуры радужной оболочки глаза.

Численные эксперименты показали, что предложенный метод позволяет ускорить поиск по базе данных за счет предварительной отбраковки записей, не принадлежащих к одному классу искомой радужной оболочки глаза. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.

Полученные результаты позволяют сделать следующий вывод. Описанный в работе фрактальный анализ структуры радужной оболочки глаза может использоваться для ускорения поиска по базе данных в задачах идентификации личности.

Таблица 3
Оценка точности метода классификации изображений радужной оболочки глаза из базы данных офтальмологических снимков

Корректно классифицированных	Некорректно классифицированных	Точность классификации (%)
146	4	97,3

Таблица 4
Время поиска по базе данных

Без классификации (мс)	Используя классификацию (мс)
104	31

Библиографический список

1. Федер Е. Фракталы. — М., 1991.
2. Маргышевский Ю. В. Применение фракталов для обработки изображений в телевизионных автоматических системах // Доклады ТУСУРа. — 2006. — № 6.
3. Jian Li, QianDu, CaixinSun. An improved box-counting method for image fractal dimension estimation // Pattern Recognition. — 2009. — № 42.
4. Хебайши М. А. Обработка изображения радужной оболочки глаза в системе идентификации личности: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Владимир, 2003.
5. Neural Network Wizard [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.basegroup.ru/download/demoprg/nnw/2>.