

## Телевизионные системы, передача и обработка изображений

УДК 621.396.969

### Метод идентификации личности по цифровым изображениям отпечатков пальцев

#### **Никитин Олег Рафаилович**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и радиосистем ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

*E-mail:* olnikitin@mail.ru.

*Адрес:* 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87.

#### **Кисляков Алексей Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации. Владимирский филиал».

*E-mail:* ankislyakov@mail.ru.

*Адрес:* 600017, г. Владимир, ул. Горького, 59а.

*Аннотация:* В статье рассматривается возможность использования фрактальной размерности отпечатков пальцев в качестве уникального идентификатора при распознавании личности. Для расчёта числового значения размерности Минковского предложено использовать алгоритм box-counting, в основе которого лежит имитация вычисления фрактальной размерности объектов на изображении при изменении размера ячеек квадратной формы. Представлены результаты оценки фрактальной размерности для различных вариантов изображений отпечатков пальцев, а также характеристики устойчивости предложенного алгоритма в зависимости от количества итераций вычисления и среднего отклонения числового значения фрактальной размерности при регистрации. Рассмотрен метод идентификации и аутентификации с использованием показателя фрактальной размерности в качестве основы построения биометрических систем контроля и управления доступом. Приведено описание метода, его отличительные особенности, преимущества и недостатки.

*Ключевые слова:* фрактальная размерность, цифровая обработка изображений, идентификация и аутентификация личности.

#### **Введение**

Вопросы повышения уровня безопасности в современном обществе предполагают развитие биометрических методов идентификации личности и являются одним из актуальных направлений проведения исследований как при проектировании информационных систем контроля и управления доступом, так и в качестве прикладных инструментов в области криминалистики. Преимуществом биометрических методов идентификации и аутентификации бесспорно является тот факт, что идентифицируется не внешний предмет, принадлежащий человеку, а сам человек [1].

Наибольшее распространение получили устройства и методы идентификации по отпечаткам пальцев, которые являются наиболее удобным идентификатором человеческого тела в силу уникальности и слабой изменчивости в зависимости от различных факторов: возраста, состояния здоровья и т.д. Традиционно выполняется сравнение отпечатков пальцев по их уникальным элементам – точкам ветвления и слияния линий папиллярных узоров, ширине этих линий и др.

Методы цифровой обработки изображений открывают новые перспективы идентификации личности по двумерным изображениям отпе-

чатков пальцев с применением разнообразных вычислительных алгоритмов для описания характеристик папиллярных узоров. В большинстве случаев в основу таких алгоритмов ложится принцип сравнения рабочего изображения с эталонным образцом в автоматическом режиме – корреляционное сравнение, сравнение с использованием морфологических методов, описывающих форму узора, особые точки. Однако все эти методы требуют достаточно больших объёмов хранения для базы эталонных изображений отпечатков пальцев, а также вычислительных ресурсов, например, для выделения морфологических классов и их описания [6, 8].

Гораздо более выгодными с этой точки зрения видятся алгоритмы, которые позволяют выделить уникальную числовую характеристику отпечатка пальца для того чтобы во время процедуры идентификации сравнивать эти характеристики.

Свойства фрактальной геометрии наиболее адекватно описывают модель формирования папиллярных узоров пальцев человека, поэтому в работе рассматривается возможность использования фрактальной размерности в качестве числовой характеристики двумерного изображения отпечатков пальцев.

### Фрактальная размерность цифровых изображений

Размерность Минковского – это один из способов задания фрактальной размерности ограниченного множества в метрическом пространстве, определяемая следующим образом [3, 7]:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{\log(1/\varepsilon)} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\log N(\varepsilon)}{-\log \varepsilon}, \quad (1)$$

где  $N(\varepsilon)$  – минимальное число подмножеств размера  $\varepsilon$ , которыми можно покрыть исходное множество.

Если представить полное покрытие множества  $X$  определённой формы шарами радиуса не более чем  $\varepsilon$ , обозначив количество этих шаров  $N(\varepsilon)$ , то значение  $N(\varepsilon)$  будет расти при

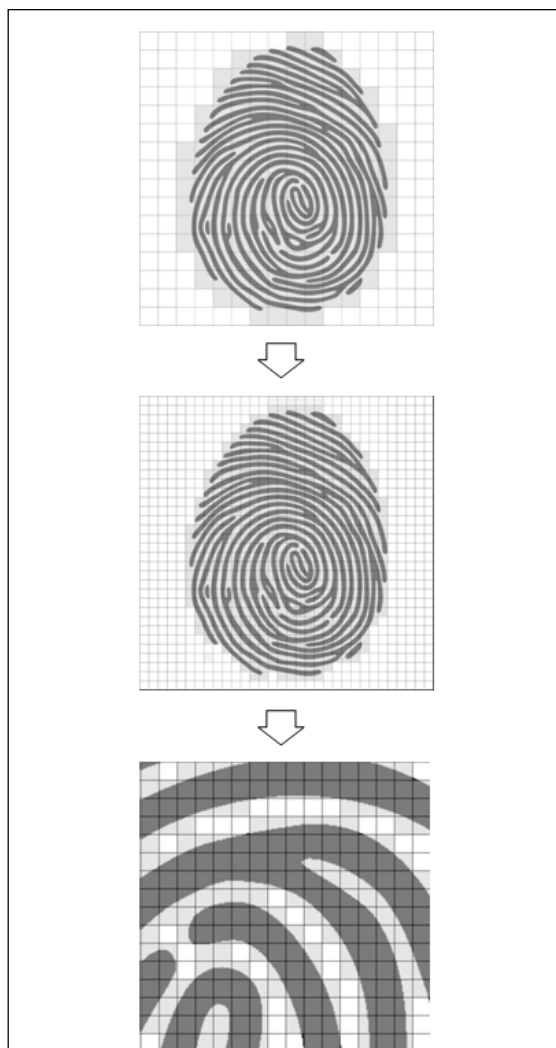
уменьшении  $\varepsilon$  (для полного покрытия будет требоваться всё больше шаров, при этом описание границы множества  $X$  будет точнее). Размерностью Минковского некоторого множества будет являться такое уникальное число  $D$ , что  $N(\varepsilon)$  будет расти как  $(1/\varepsilon)^D$  при стремлении  $\varepsilon$  к нулю. Это справедливо не только для двумерного, но и для  $n$ -мерного случая [2, 4].

Для разных сцен фрактальная размерность  $D$  принимает различные значения, лежащие в пределах от 0 до 2. Прямая линия имеет размерность равную 1. Фрактальная размерность кривой равна 2, если эта кривая заполняет всю плоскость.

Следовательно, изломанная линия на плоскости которая представлена в виде папиллярных узоров с геометрической точки зрения уже не одномерный объект, но ещё не двумерный, поэтому её размерность лежит в пределах от 1 до 2. Если же изображение представляет собой множество мелких объектов с однородной яркостью, то при выполнении расчётов объекты приближённо рассматриваются как точки и их размерность лежит в пределах от 0 до 1. Поэтому, анализируя числовое значение фрактальной размерности можно сделать вывод не только о сложности структуры объектов, но и о наличии шумов и других артефактов на изображении [4].

В работе для определения приближенного значения фрактальной размерности Минковского  $D_{bc}$  используется итеративный алгоритм box-counting, в основе которого лежит имитация вычисления фрактальной размерности объектов (или определённой области) на изображении при изменении размера ячеек квадратной формы [1, 3].

Возьмём некоторое ограниченное множество в метрическом пространстве, например, черно-белую картинку, нарисуем на ней равномерную сетку с шагом  $\varepsilon$ , и закрасим те ячейки сетки, которые содержат хотя бы один элемент искомого множества чёрного цвета (рис. 1). Далее начнём уменьшать размер ячеек, т.е.  $\varepsilon$ , тогда размерность Минковского будет вычисляться по формуле (1).



**Рис. 1.** Покрытие исходного множества отпечатка пальца подмножествами размера  $\epsilon$

Предлагаемый метод можно представить в виде последовательности шагов:

1. Входное изображение отпечатка пальца предварительно обрабатывается и нормализуется с применением методов цифровой обработки изображений, также выполняется его бинаризация [5, 8].

2. Для полученного бинарного изображения, условно разбитого на ячейки квадратной формы, вычисляется фрактальная размерность (2). Цикл повторяется для различных размеров ячеек. От количества ячеек с ненулевой фрактальной размерностью зависит фрактальная размерность всего снимка.

$$D_{bc} = \frac{\log N(\epsilon)}{\log(1/\epsilon)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_{bc} \cdot \log(1/\epsilon) = \log N(\epsilon) \Rightarrow , \quad (2)$$

$$\Rightarrow D_{bc} \cdot \log(1/\epsilon) - \log N(\epsilon) = 0$$

Если зафиксировать размеры ячеек  $\epsilon$  и рассматривать  $D_{bc}$  как неизвестное, то легко заметить, что приведённое выражение (2) является уравнением прямой. Соответственно, если вычислять фрактальную размерность для различных значений размеров ячеек  $\epsilon$  и построить регрессионную модель (рис. 2) для полученного массива данных (например, для изображения 600x600 пикселей), то угол наклона аппроксимирующей прямой будет являться значением фрактальной размерности Минковского [3].



**Рис. 2.** Регрессионная модель фрактальной размерности снимка

3. В результате получена числовая характеристика изображения отпечатка пальца, которая приемлема для процедуры идентификации. Однако следует учесть, что при регистрации пользователя необходимо сформировать шаблон (т.е. эталон) его биометрической характеристики, поэтому для повышения точности оценки фрактальной размерности необходимо выполнить несколько снимков отпечатка пальца. Ниже на рис. 3 приведены фрактальные размерности различных вариантов отпечатков пальца одного человека. Очевидно, что чем больше вариантов  $n$  одного и того же отпечатка пальца сделано, тем точнее будет среднее арифметическое значение фрактальной раз-

мерности  $D_{cp}$ , и точнее оценивается среднее отклонение  $\Delta D_{cp}$

$$D_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n D_i,$$

$$\Delta D_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |D_i - D_{cp}|, \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, n.$

№	1	2	3	4
$D$	1,790494	1,78287	1,789288	1,824927
№	5	6	7	8
$D$	1,784728	1,776063	1,7928798	1,7852873
$D_{cp}$	1,790817			
$\Delta D_{cp}$	0,009043 (0,5%)			

**Рис. 3.** Результаты оценки фрактальной размерности различных вариантов отпечатков пальца одного человека

Приведённые значения показывают, что для восьми изображений одного отпечатка точность оценки фрактальной размерности составила 0,5%. Этот показатель можно уменьшить как увеличив разрешение снимков, так и увеличив количество вариантов.

4. Рассмотрим теперь процедуру аутентификации в результате которой происходит распознавание отпечатков пальцев различных людей (например в системе управления доступом).

Для этого возьмём реальные наборы из восьми изображений отпечатков пальцев нескольких людей (размер 300x300 пикселей) и выясним, возможно ли по приведённому алгоритму задать их характеристики.

На рис. 4 представлена гистограмма значений фрактальной размерности для отпечатков пальцев десяти различных людей. Если задаться точностью оценки фрактальной размерности 0,5%, то мы можем наблюдать, что только наборы №3, 5, 8 и 9 удовлетворяют этому требованию. Для остальных требуется более точная регистрация.

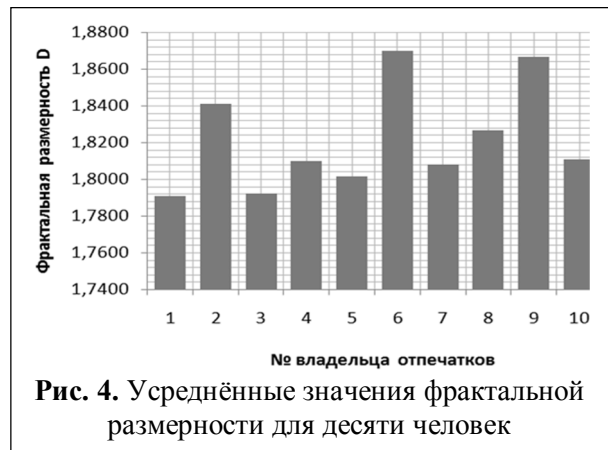


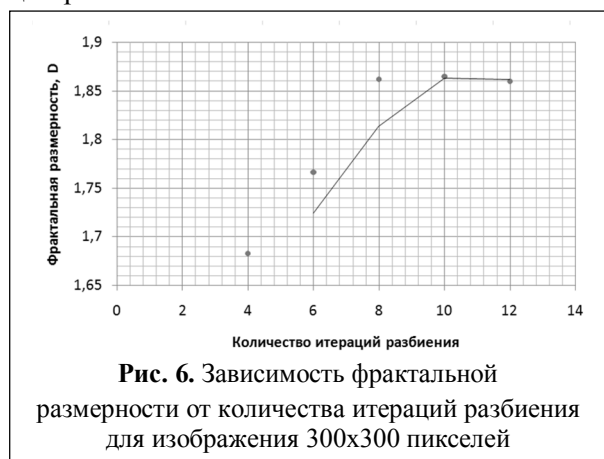
Таблица 1. Результаты определения фрактальной размерности для десяти человек по наборам из восьми изображений.

№ владельца отпечатков	$D_{cp}$	$\Delta D_{cp}$	$\Delta D_{cp}, \%$
1	1,7908	0,0090	<b>0,5050</b>
2	1,8410	0,0127	0,6923
3	1,7919	0,0079	<b>0,4391</b>
4	1,8097	0,0185	1,0249
5	1,8013	0,0061	<b>0,3367</b>
6	1,8698	0,0113	0,6037
7	1,8080	0,0167	0,9231
8	1,8263	0,0046	<b>0,2529</b>
9	1,8664	0,0079	<b>0,4229</b>
10	1,8106	0,0129	0,7104

Также важной характеристикой является порог различимости снимков между собой, который также зависит от среднего отклонения  $\Delta D_{cp}$ . Так, например, области допустимых значений для наборов №1 и №3 (рис. 4) перекрываются, поэтому также необходимо уточнение при оценке фрактальных размерностей этих наборов. Если взглянуть визуально на снимки из этих наборов, то мы можем увидеть, что отпечатки пальцев визуально имеют схожие характеристики (рис. 5.)



Кроме того, количество итераций разбиения при работе алгоритма позволяет более точно вычислить фрактальную размерность для снимков одинакового разрешения. Поэтому для изображений высокого разрешения необходимо выбирать большее количество итераций разбиения.



**Рис. 6.** Зависимость фрактальной размерности от количества итераций разбиения для изображения 300x300 пикселей

Таким образом, если в системе будут установлены слишком строгие правила политики безопасности, то отказ в доступе может получить как злоумышленник, так и легальный пользователь (ошибка первого рода). Если, напротив, установить низкий уровень среднего отклонения  $\Delta D_{cp}$ , то может произойти ложная или ошибочная аутентификация (ошибка второго рода).

### Заключение

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что фрактальная размерность, вычисленная по алгоритму box-counting позволяет определить уникальную числовую характеристику отпечатков пальцев человека с регулируемыми уровнями точности и вероятности распознавания.

Кроме того, использование фрактальной размерности повышает безопасность системы и является одним из методов обезличивания персональных данных в соответствии с 152-ФЗ «О персональных данных», так как по фрактальной размерности нельзя обратно восстано-

вить структуру и узор отпечатка пальца. Также важным преимуществом использования данного алгоритма является малый размер хранимых данных, так как в базе данных регистрируется не сам отпечаток пальца или целый набор отпечатков в виде цифровых изображений и даже не его контрольные точки, а только числовые характеристики. Однако для получения уникальной числовой характеристики необходимо задать порог различимости, который определяет политику безопасности в системе контроля и управления доступом.

### Литература

1. Трифонов Д.И. Идентификация личности двумерным оптическим образом отпечатков пальцев / Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Т. 12, №4, 2010, С. 122-125.
2. Имамвердиев Я.Н. Метод обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев на основе фрактальных характеристик / Информационные технологии, №9, 2012, С. 11-16.
3. Шуплецов Ю.В., Ампилова Н.Б. Алгоритм вычисления размерности Минковского для полутоновых изображений / Известия Российского государственного педагогического университета им. Герцена, №165, 2014, С. 99-106.
4. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Анализ информационного содержания цифровых многоспектральных изображений земной поверхности / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №2(22), 2016, С. 64-69.
5. Жуковский В.В., Сай С.В. Способ улучшения качества изображения отпечатка пальца / Вестник ТОГУ, №4(15) 2009, С. 31-38.
6. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Морфологическое комплексирование многоспектральных изображений земной поверхности / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №2, 2012, С. 36-39.
7. Чумак О.В. Энтропии и фракталы в анализе данных – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. - 164 с.
8. Никитин О.Р., Кисляков А.Н. Комплексирование многоспектральных изображений с использованием методов морфологического анализа и цветового кодирования / Радиотехнические и телекоммуникационные системы. №4, 2012, С. 52-57.

Поступила 20 апреля 2017 г.

English

### Personal identification method by digital images fingerprints

**Oleg Rafailovich Nikitin** – Doctor of Engineering, Professor Department Head of Radio Engineering and Radio Systems Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletovs".

*E-mail:* olnikitin@mail.ru.

*Address:* 600000, Vladimir, Gorky St., 87.

**Alexey Nikolaevich Kislyakov** – Candidate of Technical Sciences Associate Professor Department of Information Technologies Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration.

*E-mail:* ankislyakov@mail.ru.

*Address:* 600017, Vladimir, Gorky St., 59a.

*Abstract:* The article is dedicated to investigating the possibility to use fingerprint fractal dimension as a unique identifier for personal recognition and also to apply the developed method for the identification and authentication procedure. The subject of this article is vital as there are a lot of problems related to the personal identification and authentication in case of engineering access control data systems as well as application tools in the area of criminal investigation. The most promising solution of this problem is using the algorithms, which enable to single out the fingerprint unique numerical characteristic so as to compare these characteristics during the identification procedure. The fractal geometry properties most adequately describe formation model of human finger edge patterns and therefore the work examines the possibility to use fractal dimension as the fingerprint two-dimensional image numerical characteristic. Fractal dimension calculation enables to obtain the numerical characteristic, by which a conclusion can be made about complexity of separate objects in the image that affected the presented results of fractal dimension assessment for fingerprint image different versions. The box-counting algorithm is applied in this work as the fractal dimension assessment algorithm based on calculation simulation of object fractal dimension in the image when resizing square-shape cells. The authors of the article carried out the work researching the stability characteristics of the suggested algorithm depending on the number of iterative calculations and numerical value average deviation of fractal dimension when recorded. The method description, its distinctive features, advantages and shortcomings are provided, and mathematical computer simulation using Matlab is also performed.

*Key words:* fractal dimension, digital image processing, personal identification and authentication.

#### **References**

1. Trifonov D.I. Personal Identification by fingerprint two-dimensional optical images. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossyskoy akademii nauk*, v. 12, No. 4, 2010, P. 122-125.
2. Imamverdiyev Ya.N. Artificially altered fingerprint detection method based on fractal characteristics / *Informatsionnye tekhnologii*, No. 9, 2012, P. 11-16.
3. Shupletsov Yu.V., Ampilova N.B. Minkowski dimension calculation algorithm for half-tone images. *Izvestiya Rossyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. Gertsena*, No. 165, 2014, P. 99-106.
4. Nikitin O.R., Kislyakov A.N. The data content analysis of digital multispectral images of the ground surface. *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy*, No. 2 (22), 2016, P. 64-69.
5. Zhukovsky V.V., Sai S.V. Quality improvement method of the fingerprint image. - *Vestnik TOGU*, No. 4(15) 2009, P. 31-38.
6. Nikitin O.R., Kislyakov A.N. Morphological integration of the ground surface multispectral images. *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy*, No. 2., 2012, P. 36-39.
7. Chumak O.V. Entropy and fractals in data analysis - M.: Izhevsk: NITs «Regulyarnaya i khaoticheskaya dinamika», 2011, 164 p.
8. Nikitin O.R., Kislyakov A.N. Multispectral images integration using morphological analysis and color coding methods. *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnye sistemy*, No. 4, 2012, P. 52-57.