

УДК 004:351

**Имамвердиев Я.Н.**

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан

[yadigar@lan.ab.az](mailto:yadigar@lan.ab.az)

## МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ОТПЕЧАТКОВ ПАЛЬЦЕВ НА ОСНОВЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

*Рассмотрена возможность использования концепций теории фракталов для описания свойств отпечатков пальцев. Разработан метод определения фрактальной размерности отпечатков пальцев, и на его основе предложен эффективный подход для обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев. Результаты экспериментов показывают, что метод хорошо отличает изображения реальных отпечатков пальцев от искусственно измененных. Предложенный метод не требует дополнительного оборудования и легко встраивается в существующие системы распознавания отпечатков пальцев.*

**Ключевые слова:** искусственно измененный отпечаток пальца, фрактал, фрактальная размерность, мультифрактальный спектр, машина опорных векторов.

### Введение

В связи с широким применением биометрических технологий вопросы их безопасности становятся более актуальными. Хотя в последние годы различные вопросы безопасности биометрических технологий исследовались достаточно широко, включая методы обнаружения фальшивых биометрических образцов и методы защиты биометрических данных, некоторые вопросы остались без должного внимания, например, вопросы обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев рассматривались в научной литературе впервые только в 2009 году [1]. Искусственное изменение отпечатков пальцев означает умышленное изменение узоров отпечатков пальцев с целью маскировки личности. Использование искусственно измененных отпечатков пальцев имеет давнюю историю [2] и неоднократно встречалось в практике миграционных и правоохранительных органов, о нескольких таких случаях сообщалось в прессе [1].

Следует отметить, что искусственно измененные отпечатки пальцев отличаются от фальшивых (муляжей) отпечатков пальцев. Фальшивые отпечатки пальцев, изготовленные из желатина, латекса, силикона и т.д., обычно используются с целью выдачи себя за другую личность. Искусственно измененные отпечатки являются реальными отпечатками и используются для маскировки собственной личности с целью уклонения от идентификации со стороны биометрической системы.

Для обнаружения фальшивых отпечатков пальцев существуют различные методы на основе программного или аппаратного обеспечения [3], в [4] проводится обзор этих методов. Методы обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев пока широко не изучались [1,5–7]. Программное обеспечение по оценке качества изображения отпечатков пальцев (например, NFIQ [8]) не всегда может обнаружить искусственно измененные отпечатки, так как качество изображений отпечатков может не измениться в результате искусственного изменения.

Попытки использования искусственно измененных отпечатков пальцев входят в более широкую категорию атак, известную как биометрическая обфускация [5]. Биометрическую обфускацию можно определить как умышленную попытку индивидуумов маскировать свою личность от биометрической системы путем искусственного изменения своей биометрической характеристики. Примерами биометрической обфускации являются изменения узоров отпечатков пальцев, нарушение радужной оболочки глаза с помощью театральных линз, изменение лица с помощью пластических операций. Было сообщено, что

пластические операции могут значительно деградировать производительность систем распознавания лиц [9], и операции катаракты могут уменьшить точность систем распознавания радужной оболочки глаза [10].

Распознавание по отпечаткам пальцев является самой распространенной биометрической технологией. Системы автоматического распознавания отпечатков пальцев (Automated Fingerprint Identification System, AFIS) занимают почти половину международного рынка биометрических систем [11]. Эти системы базируются на предположениях, что отпечатки пальцев уникальны и не изменяются на протяжении всей жизни взрослого человека. Использование искусственно измененных отпечатков пальцев подрывает эти предположения и представляет угрозу для надежности и безопасности AFIS. Кроме того, в сравнении с радужной оболочкой глаза или лица, где требуются хирургические операции, отпечатки пальцев относительно легко искусственно изменить, используя, например, абразивные или химические материалы.

Учитывая вышеприведенное, целью настоящей работы является разработка метода обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев на основе фрактальных характеристик. В результате искусственного изменения отпечатков пальцев образуются новые структурные элементы: шрамы, области разрушения папиллярных узоров, зоны разрывного изменения поля ориентаций отпечатков пальцев и т.д. Гипотеза исследования основывается на этом наблюдении и исходит из способности фрактального анализа [12] детально описывать локальную и глобальную пространственные структуры сложных систем.

#### Типы искусственно измененных отпечатков пальцев

В работе [5] искусственно измененные отпечатки пальцев разделены на три класса на основе искусственного изменения гребневого узора: в стертые отпечатки пальцев, искаженные отпечатки пальцев и имитированные отпечатки пальцев. Самым популярным методом искусственного изменения отпечатков пальцев является стирание узоров отпечатков с помощью трения, выжигания, резания, применения химикатов и трансплантации гладкой кожи. Кожные болезни (проказа) и побочные эффекты лекарств против рака могут также стирать отпечатки пальцев. Гребневая структура узоров едва видна в стертой области.

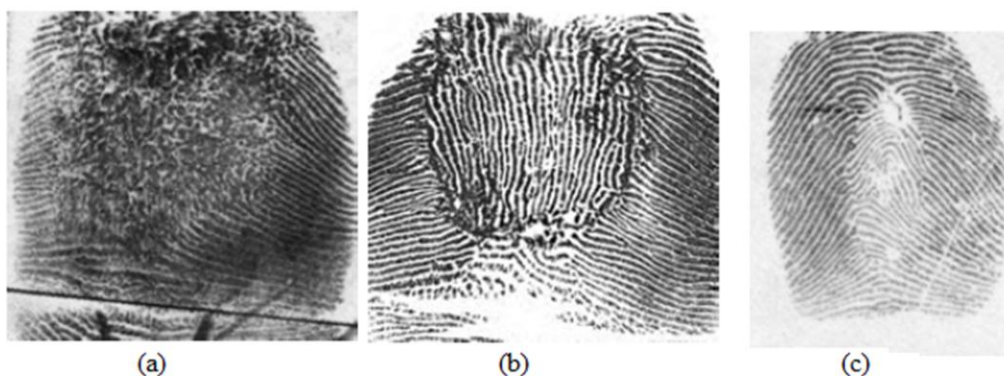


Рис. 1. Образцы искусственно измененных отпечатков пальцев [5]: (а) искажение; (б) трансплантация кожи из ладони; (с) изысканная трансплантация из другой гребневой кожи

Искаженные отпечатки пальцев получают удалением части кожи на пальце и заменой ее кожей с ладони или подошвы, или пересадкой ее в другом положении. Искаженные отпечатки пальцев имеют необычные образы гребней, которые не встречаются в реальных отпечатках пальцев. Эти особенности включают аномальное пространственное распределение сингулярных точек (точки дельта и ядро) или резкие изменения поля

ориентаций вдоль шрамов. Заметим, что разрывы поля ориентаций в естественных отпечатках наблюдаются только в сингулярных точках.

Гребневый узор может сохранить свою схожесть на узор отпечатков пальцев после искусно сделанной процедуры искусственного изменения отпечатков. Например, часть кожи удаляется и остальные части натягиваются и зашиваются вместе, или трансплантируется весь отпечаток пальца. Гребневая кожа из других частей используется для заполнения удаленной кожи на пальце с сохранением согласованности узоров. Например, в [5] сообщается, что просто обменом кожи пальцев на правой и левой руках удалось обмануть AFIS.

Имитированные отпечатки пальцев не только успешно проходят проверки программного обеспечения по оценке качества изображения, они могут заспутать даже экспертов по отпечаткам пальцев.

Искусственно измененный отпечаток пальца на рис. 1(с) имеет очень гладкое поле ориентаций и единственным свидетельством возможного искусственного изменения является тонкий шрам. Этот отпечаток получился в результате изысканной хирургической процедуры, он имеет естественное течение гребней даже вдоль хирургических шрамов.

### **Обзор работ по обнаружению искусственно измененных отпечатков пальцев**

Как уже отмечалось, имеется всего несколько работ по обнаружению искусственно измененных отпечатков пальцев. Предложенный в [5, 6] метод автоматического обнаружения искусственно измененных отпечатков использует два признака. Первый признак основан на анализе поля ориентаций отпечатков пальцев. Отпечатки пальцев хорошего качества имеют гладкое поле ориентаций, кроме окрестностей сингулярных точек. Основываясь на этом факте, были разработаны многочисленные модели поля ориентаций отпечатков пальцев [13-15], которые комбинируют модель глобального поля ориентаций для непрерывного поля и локального поля ориентаций в окрестностях сингулярных точек. Если для аппроксимации поля ориентаций использовать только глобальную модель, то разность между наблюдаемым и вычисленным по глобальной модели полем ориентаций будет отлична от нуля только вокруг сингулярных точек.

Для искусственно измененных отпечатков пальцев ошибка подгонки модели также наблюдается в искусственно измененных областях, поэтому разность между полем ориентаций, извлеченным из изображения пальца, и полем, аппроксимированным глобальной моделью, можно использовать, как вектор признаков для классификации отпечатков пальцев, оригинальных или искусственно измененных.

Второй вектор признаков основан на наблюдении, что распределение минуций в искусственно измененных отпечатках пальцев часто отличается от распределения на естественных пальцах.

В работе [7] для обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев предлагается метод на основе надежности поля ориентаций. Карта надежности поля ориентаций отпечатков пальцев имеет пики в сингулярных точках. Эти пики используются для анализа искусственно измененных пальцев, так как в результате искусственного изменения появляются другие сингулярные точки – пики с малой амплитудой.

Предложенные в работах [5, 6] методы основываются на нахождении сингулярных точек, но эта задача сама является достаточно сложной, а отпечатки пальцев дугового типа не имеют сингулярных точек. Кроме того, в отпечатках пальцев, полученных от сканеров, могут отсутствовать точки дельта из-за малой площади сенсора. Метод, предложенный в работе [7], также опирается на сингулярные точки.

### **Фракталы и методы оценки фрактальной размерности**

Теория фракталов и ее приложения к различным объектам в науке, технике и технологиях получили в последние годы широкое распространение [16-20]. Понятие о фракталах (лат. fractus – дроблённый, сломанный, разбитый) ввел Б.Мандельброт в 1960-70-е годы, с выходом его книги *The Fractal Geometry of Nature* [16] принято связывать рождение фрактальной геометрии. Мандельброту удалось объединить в единую систему научные результаты других ученых, работавших в той же области ранее (Пуанкаре, Фату, Жюлиа, Кантор, Хаусдорф).

Сам Мандельброт давал в своих работах разные определения фракталам, определяя их как объекты, которые [16,17]:

- имеют очень фрагментарную или нерегулярную форму;
- обладают самоподобием или самоаффинностью;
- обладают масштабной инвариантностью.

Масштабная инвариантность предполагает неизменность основных геометрических особенностей фракталов при масштабных переходах. Самоподобие является простейшим примером масштабной инвариантности. Самоподобие означает, что структура фрактала в одном масштабе подобна его структуре в другом масштабе. Отметим, что это свойство приводит к степенным зависимостям. Самоаффинность является обобщением самоподобия и является более сложной формой масштабной инвариантности. Часть аффинносамоподобного объекта подобна целому объекту после аффинного преобразования.

Существует множество классификаций фракталов, их можно разделить на два основных класса: регулярные (детерминистические) и нерегулярные (случайные) фракталы. Регулярные фракталы являются математическими абстракциями, они точно конструируются на основе некоторых базовых геометрических или алгебраических преобразований. Например, для построения фрактальных структур широко используется метод системы итерированных функций (*Iterated Functions System, IFS*). Фракталы IFS строятся на основе простых преобразований плоскости: масштабирования, перемещения и вращения осей плоскости. Типичными примерами регулярных фракталов являются множество Кантора, кривая Коха, ковер Серпинского и др. Наиболее важными свойствами регулярных фракталов являются возможность точного расчета их фрактальной размерности и свойство точного самоподобия в любых масштабах.

Нерегулярные (случайные) фракталы в отличие от регулярных имеют способность к самоподобию в ограниченных пределах, определяемых реальными размерами системы. При этом увеличенная часть фрактала неточно идентична исходному фрагменту, однако их статистические характеристики совпадают. Случайные фракталы можно получить, если вместо детерминированного способа построения фракталов включить в алгоритм их создания некоторый элемент случайности.

Основным параметром, характеризующим фрактал, является фрактальная размерность, описывающая сохраняемость статистических характеристик при изменении масштаба. В качестве фрактальной размерности используется размерность, введенная Ф.Хаусдорфом еще в 1918 г. для компактных множеств в метрических пространствах:

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

где  $N(\delta)$  – минимальное количество шаров радиуса  $\delta$ , покрывающих изучаемое множество. В евклидовых пространствах, помимо шаров для покрытия, можно использовать другие элементы с характерными линейными размерами  $\delta$ .

В настоящее время для вычисления значений фрактальной размерности используется множество методов, в том числе метод считывания блоков (*box-counting method, ВС-метод*), методы Херста (*R/S method* – метод нормированного размаха), Фурье-анализ профилей, метод вертикальных сечений и т.д.

ВС-метод (в русскоязычной литературе также используется название метод покрытия квадратами) используется наиболее часто. Данный метод покрывает множество  $d$ -мерными блоками с длиной ребра  $\delta$ , подсчитывает их числа  $N(\delta)$ , строит график в логарифмических координатах  $(\log(N(\delta)), \log(\delta))$  и определяет по углу наклона величину фрактальной размерности:

$$D = -\Delta \log(N(\delta)) / \log(\delta) \quad (2)$$

Существуют разные варианты ВС-метода, они различаются параметрами (например, в быстром алгоритме считывания блоков длина стороны блока варьируется как  $2^k, 1 \leq k \leq K$ , где  $N = 2^k, N$  – размер изображения) и моделями изображения (например, без интерполяции между точками данных и т.д.).

Многие естественные текстурные поверхности можно описывать как фрактальные поверхности. Фрактальная размерность является полезным признаком для сегментации текстур, классификации форм и графического анализа во многих областях. Как показало исследование в [21], фрактальная размерность очень хорошо коррелирует с оценкой человеком неровности поверхности.

В работе [22] была исследована возможность использования фрактальной размерности для анализа отпечатков пальцев. В [23] используется не одиночная оценка фрактальной размерности, а вектор признаков на основе фрактальной размерности для биометрической идентификации. Высказывается предположение, что мультифракталы являются более подходящими для описания сложных текстурных изображений, в том числе изображений отпечатков пальцев [12, 24].

Мультифракталы являются обобщением фракталов, они отличаются от обычных фракталов наличием зависимости геометрических свойств от масштабного уровня. Эта зависимость может быть детерминированной или стохастической и приводит к тому, что метрические свойства мультифрактала характеризуются не одиночной фрактальной размерностью, а спектром фрактальных размерностей (Multifractal Spectrum, MFS). Фактически, мультифрактальный подход означает, что изучаемый объект каким-то образом можно разделить на вложенные фрагменты (подмножества), для каждого из которых наблюдаются свои свойства самоподобия [12].

### **Метод обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев на основе фрактальных характеристик**

В этом разделе описывается метод обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев на основе фрактальных характеристик. Предлагаемый метод можно представить в виде следующей последовательности шагов:

1. Входное изображение отпечатка пальца  $I$  предварительно обрабатывается и нормализуется с применением методов, предложенных в [25].
2. Вычисляется фрактальная характеристика, и на ее основе формируется вектор признаков.
3. Вектор признаков классифицируется с помощью SVM-классификатора.

В качестве фрактальных характеристик для обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев предлагается использовать вектор признаков на основе:

- фрактальной размерности, вычисленной модифицированным методом Катца;
- локальной экспоненты масштабирования;
- мультифрактального спектра.

**Вычисление вектора признаков на основе фрактальной размерности.** В изображении отпечатков пальцев гребни и впадины в локальном соседстве формируют плоскую синусоидальную волну. Для вычисления фрактальной размерности волнообразных

сигналов предложены различные алгоритмы (Katz, Higuchi, Sevcik и др.) [27-28], в [29] приводится их сравнительный анализ. В этой работе используется вариант метода Katz для изображений отпечатков пальцев [23].

Пусть изображение отпечатков пальцев размера  $N \times N$  бинаризовано (размер изображения  $256 \times 256$ , разрешение 500 dpi) и разбито на  $N$  строк и  $N$  столбцов. Можно считать, что в каждой строке встречается бинарное значение 1 (в бинаризованном изображении пиксели гребня задаются значением 1, а пиксели впадин – значением 0).

Для каждой строки вычисляется фрактальная размерность по следующей формуле:

$$d_n = \frac{\log_{10}(N)}{\log_{10}(M_n)},$$

где  $M_n$  – общее число бинарных значений 1 в строке  $n$ .

Вектор признаков для всего изображения отпечатков пальцев можно построить как:

$$\Phi = \bigcup_{n=1}^N (n', d_n),$$

$$n' = \left[ \frac{(d_n - 1)}{(n + 1) - n} \right] \cdot n = (d_n - 1)n,$$

где  $n'$  – горизонтальный коэффициент масштабирования,  $0 < n' < N$ .

**Вычисление вектора признаков на основе локальных экспонент Гёльдера.** Некоторые исследования показали, что одиночная фрактальная размерность не захватывает все текстурные свойства изображений [24]. Можно ожидать, что из-за значительных изменений структуры искусственно измененных отпечатков пальцев фрактальная размерность, вычисленная методом считывания блоков, будет изменяться в зависимости от размера блока. Если множество имеет некоторое фрактальное свойство при ограниченном интервале масштабирования, то это свойство оценивают с помощью локальной экспоненты масштабирования. Отметим, что локальную экспоненту масштабирования часто называют локальной экспонентой Гёльдера, она характеризует локальную регулярность изображения [12].

Для вычисления локальных экспонент Гёльдера существуют различные методы, в этой работе используется ВС-метод. В случае чистой фрактальной размерности  $D$  число блоков  $N(\delta)$ , необходимых для покрытия, следует степенному закону  $N(\delta) = \delta^{-D}$ , а в реальных системах это отношение сохраняется только в ограниченном интервале масштабов. Если определить локальную экспоненту масштабирования как логарифмический наклон

$$D(\delta) = -\frac{\ln N(\delta)}{\ln \delta},$$

то интервалом фрактальности будет множество масштабов, где этот наклон является приблизительно постоянным.

**Вычисление вектора признаков на основе мультифрактального спектра.** Фрактальное свойство можно описывать более детально мультифрактальным спектром (спектром сингулярностей) или распределением вероятностей локальных экспонент Гёльдера. Для вычисления мультифрактальных спектров часто используют вейвлет-преобразования. Известно, что все вейвлеты данного семейства  $\psi_{j,k}(x)$  подобны своему базисному вейвлету  $\psi(x)$  и получаются из него с помощью сжатий и сдвигов. Вейвлет-анализ изучает поведение сигналов на разных масштабах путем вычисления скалярного произведения, анализирующего вейвлета на исследуемый сигнал, поэтому он очень хорошо подходит для исследования фрактального поведения. В терминах вейвлет-коэффициентов это подразумевает степенное поведение их высших моментов при изменении масштаба [30].

В этой работе используются двумерные дискретные вейвлет-преобразования (Discrete Wavelet Transform, DWT) [31]. DWT декомпозирует входное изображение  $I$  в одну низкочастотную компоненту  $D_J(I)$  и несколько высокочастотных компонент под несколькими масштабами:  $W_{k,j}(I), k=1,2,3; j=1,2,\dots,J$ , где  $J$  – число масштабов (в этой работе используется  $J=3$ ). Таким образом, имеем три высокочастотных компоненты ( $k=1,2,3$ ) на каждом уровне масштаба, которые описывают разрывы изображения вдоль горизонтального, вертикального и диагонального направлений. При реализации предложенного метода были использованы вейвлеты Добеши ‘DB2’.

Для вычисления мультифрактальных спектров предлагается использовать следующую пирамиду вейвлетов [32,33]: низкочастотные вейвлеты  $D(I)$ , высокочастотные вейвлеты  $W(I)$  и вейвлет-лидеры  $L(I)$ :

$$\{D_J, W_{k,j}, L_j\} \quad (3)$$

Для каждого компонента пирамиды вейвлетов вычисляется MFS-спектр BC-методом:

$$\{MFS(D), MFS(W_k), MFS(L)\} \quad (4)$$

Вейвлет-лидер определяется как максимальный отклик всех вейвлет-коэффициентов в пространственном и скейлинг-соседствах в более малых масштабах. Иными словами, для вейвлет-коэффициента  $W_{k,j_0}(\vec{r}_0)$  в пикселе  $\vec{r}_0$  соответствующий вейвлет-лидер определяется следующим образом:

$$L_{j_0}(\vec{r}_0) = \max_{1 \leq j \leq j_0} \max_{\leq 1 \leq k \leq 3} \max_{\vec{r} \in \Omega(\vec{r}_0)} |W_{k,j}(\vec{r}_0)|, \quad (5)$$

где  $\Omega(\vec{r}_0)$  – квадратное соседство с центром в  $\vec{r}_0$ .

Для каждой матрицы вейвлет-коэффициентов, используя алгоритм в [33], получается 26-мерный MFS-спектр. Так как используются 3 масштаба ( $J=3$ ) и имеются 13 матриц вейвлет-коэффициентов, включая низкочастотные, высокочастотные компоненты и вейвлет-лидеры, в результате получается  $26 \times 13 = 338$ -мерный вектор признаков. В этой работе, используя алгоритм выбора признаков для SVM [34], получается 103-мерный вектор признаков для представления отпечатков пальцев.

### Вычислительные эксперименты

Отметим, что отсутствие доступных открытых баз данных по искусственно измененным отпечаткам пальцев ставит в трудное положение исследователей в этой области. Эксперименты в работах [1] были проведены на базе данных синтетически созданных отпечатков пальцев. В работе [5] использована база данных по искусственно измененным отпечаткам пальцев, но пока эта база данных недоступна для широкого круга исследователей.

Для экспериментальной проверки предложенного метода был создан набор синтетических отпечатков пальцев на основе изображений отпечатков пальцев размером  $640 \times 480$  из базы данных FVC2002-DB1, полученных на оптическом сканере при разрешении 500 dpi.

Были имитированы два типа искусственного изменения [1, 7]:

- 1) Z-вырезка (получается вырезанием в форме Z, пересоединением двух треугольников и зашиванием их обратно);
- 2) центральное вращение (получается вырезанием круглой области в центре изображения и ее вращением).

Предложенный метод был реализован на Matlab R2008b, использовался процессор Intel ® Core (TM)2 Quad CPU Q6600 @ 2.4 GHz с оперативной памятью 2 GB RAM. Все шаги алгоритма выполнялись примерно за 3 секунды.

Для вычисления мультифрактальных спектров были использованы свободно распространяемое программное обеспечение Fraclab [35] и Matlab-коды для ВС-метода [36].

Для SVM-классификации с 10-кратной кросс-валидацией была использована программа LIBSVM [37] с радиальной базисной ядерной функцией. Результаты LIBSVM были линейно масштабированы к интервалу [0, 1]. Когда нормализованное значение для входного отпечатка пальца меньше предопределенного порогового значения, то выдается сигнал о том, что, возможно, изображение является искусственно измененным отпечатком.

Результаты вычислительных экспериментов для разных значений приведены в таблице 1. Для оценки качества классификации в таблице приведены значения частоты верных положительных классификаций (True Positive Rate) при заданной частоте ложных положительных классификаций (False Positive Rate) [38].

Таблица 1

Частота верных положительных классификаций искусственно измененных отпечатков пальцев

Метод вычисления вектора признаков	Частота ложных положительных классификаций						
	0.1	0.2	0.3	0.5	1	2	3
Фрактальная размерность (метод Каца)	38	42	44	50	60	76	79
Локальные экспоненты Гёльдера	45	57	60	64	75	85	88
Мультифрактальный спектр	54	65	68	73	81	90	93

## Заклучение

Предложен метод для обнаружения искусственно измененных отпечатков пальцев на основе фрактальных характеристик. Впервые опробован мультифрактальный анализ для количественной параметризации отпечатков пальцев и установлено, что использование мультифрактальных спектров эффективно отражает изменения структуры отпечатков пальцев, происходящие в результате искусственного изменения. Результаты экспериментов подтверждают эффективность предложенного метода, который можно достаточно легко встраивать в существующие системы распознавания отпечатков пальцев, не ухудшая их производительность.

## Литература

1. Feng J., Jain A. K., Ross A. Fingerprint alteration // MSUTechnicalReport. MSU-CSE-09-30. Dec. 2009.
2. Cummins H. Attempts to Alter and Obliterate Fingerprints // Journal of American Institute of Criminal Law and Criminology, 1935, v.25, pp.982–991.
3. Imamverdiyev Y.N., Kerimova L.E., Musayev V.Y. Method of detection of real fingerprints on the basis of the Radon transform // Automatic Control and Computer Sciences, 2009, v.43, №5, pp.270–275.
4. Алгулиев Р.М., Имамвердиев Я.Н., Мусаев В.Я. Методы обнаружения живучести в биометрических системах // Вопросы защиты информации, 2009, №3 (86), с.16–21.
5. Yoon S., Feng J., Jain A.K. Altered fingerprints: analysis and detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011.
6. Feng J., Jain A.K., Ross A. Detecting Altered Fingerprints // Proc. 20th International Conference on Pattern Recognition, August 23-26, 2010, Istanbul, Turkey, pp. 1622–1625.



7. Petrovici A., Lazar C. Identifying Fingerprint Alteration Using the Reliability Map of the Orientation Field // *The Annals of the Univeristy of Craiova, Series Automation, Computers, Electronics and Mechatronics*, 2010, v.7(34). №1, pp.45–52.
8. Tabassi E., Wilson C., Watson C. Fingerprint Image Quality, NISTIR 7151, August 2004, [http://fingerprint.nist.gov/NFIS/ir\\_7151.pdf](http://fingerprint.nist.gov/NFIS/ir_7151.pdf).
9. Singh R., Vatsa M., Bhatt H.S., Bharadwaj S., Noore A., Nooreydzan S.S. Plastic Surgery: A New Dimension to Face Recognition // *IEEE Trans. Information Forensics and Security*, 2010, v.5, №3, pp.441–448.
10. Roizenblatt R., Schor P., Dante F., Roizenblatt J., Belfort R. Iris Recognition As a Biometric Method after Cataract Surgery // *American Journal of Ophthalmology*, 2005, v.140, №5, pp.969–979.
11. Maltoni D., Maio D., Jain A. K., Prabhakar S. *Handbook of Fingerprint Recognition (Second Edition)*. Springer-Verlag. 2009.
12. Павлов А.Н., Анищенко В.С. Мультифрактальный анализ сложных сигналов // *Успехи физических наук*, 2007, т. 177, №8, с.859–876.
13. Bazen A.M., Gerez S.H. Systematic Methods for the Computation of the Directional Fields and Singular Points of Fingerprints // *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2002, v.24, №7, pp.905–919.
14. Zhou J., Gu J. A Model-Based Method for the Computation of Fingerprints' Orientation Field // *IEEE Trans. Image Processing*, 2004, v.13, №6, pp.821–835.
15. Wang Y., Hu J. Global Ridge Orientation Modeling for Partial Fingerprint Identification // *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, v.33, №1, pp.72–87.
16. Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. San-Francisco: W.H. Freeman and Comp. 1982, 459 p.
17. Mandelbrot B.B. A Multifractal Walk down Wall Street // *Scientific American*, Feb. 1999, pp.70–73.
18. Кроновер Д. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000, 352 с.
19. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991, 260 с.
20. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике. М.: Интернет-трейдинг, 2004, 304 с.
21. Pentland A. Fractal-Based Description of Natural Scenes // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Recognition*, 1984, v.6, №6, pp.661–674.
22. Polikarpova N. On the Fractal Features in Fingerprint Analysis / *Proc. of the 13th Int. Conf. on Pattern Recognition*, 1996, v.3, pp. 591–595.
23. Lin C.-H., Chen J.-L., Gaing Z.-L. Combining Biometric Fractal Pattern and Particle Swarm Optimization-Based Classifier for Fingerprint Recognition // *Hindawi Publishing Corporation. Mathematical Problems in Engineering*, 2010, v.2010, Article ID 328676. 14 p.
24. Lopes R., Betrouni N. Fractal and multifractal analysis: A review // *Medical Image Analysis*, 2009, v.13, pp.634–649.
25. Hong L., Wan Y., Jain A. Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation // *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intelligence*, 1998, v.20, №8, pp.777–89.
26. Katz M.J. Fractals and the analysis of waveforms // *Computers in Biology and Medicine*, 1988, v.18, №3, pp.145–156.
27. Higuchi T. Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory // *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 1988, v.31, №2, pp.277–283.
28. Sevcik C. On fractal dimension of waveforms // *Chaos, Solitons and Fractals*, 2006, v.28, №2, pp.579–580.

29. Esteller R., Vachtsevanos G., Echauz J., Litt B. A Comparison of Waveform Fractal Dimension Algorithms // IEEE Trans. Circuits Syst.–I: Fundam. Theory Appl. 2001, v.48, №2, pp.177–183.
30. Struzik Z.R. Determining local singularity strengths and their spectra with the wavelet transform // Fractals. 2000, v.82, pp.163–179.
31. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук, 2001, т.171, №5, с.465–501.
32. Xu Y., Ji H., Fermuller C. Viewpoint Invariant Texture Description Using Fractal Analysis // Int. Journal of Computer Vision, 2009, v.83, №1, pp.85–100.
33. Wendt H., Abry P., Jaffard S., Ji H., Shen Z. Wavelet Leader Multifractal Analysis for Texture Classification / Proc. of the 16th IEEE Int. Conference on Image Processing (ICIP), 2009, pp.3785–3788.
34. Chen Y.W., Lin C.J. Combining SVMs with various feature selection strategies // Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2006, v.207, pp.315–324.
35. FracLab 2.0. A fractal analysis toolbox for signal and image processing. <http://fraclab.saclay.inria.fr/>
36. Moisy F. Computing a fractal dimension with Matlab: 1D, 2D and 3D Box-counting. <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13063-boxcount/content/boxcount/html/demo.html>
37. Chang C.-C., and Lin C.-J., LIBSVM: a library for support vector machines, 2001. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.
38. Fawcett T. An introduction to ROC analysis // Pattern Recognition Letters, 2006, v.27, №8, pp.861–874.

#### UOT 004.351

##### İmamverdiyev Yadigar N.

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

[yadigar@lan.ab.az](mailto:yadigar@lan.ab.az)

##### **Fraktal xarakteristikalar əsasında süni dəyişdirilmiş barmaq izlərinin aşkarlanması metodu**

Fraktal nəzəriyyə konsepsiyalarının barmaq izlərinin xassələrinin təsvir edilməsi üçün istifadəsi imkanı öyrənilmişdir. Barmaq izinin fraktal ölçüsünün müəyyən edilməsi metodu təklif edilmiş və onun əsasında süni dəyişdirilmiş barmaq izlərinin aşkarlanması üçün effektiv yanaşma işlənmişdir. Eksperimentlər göstərir ki, təklif edilmiş metod süni dəyişdirilmiş barmaq izlərini kifayət qədər yaxşı aşkarlayır. Təklif edilmiş yanaşma əlavə aparat təminatı tələb etmir və asanlıqla mövcud barmaq izini tanıma sistemlərinə inteqrasiya edilə bilər.

**Açar sözlər:** *süni dəyişdirilmiş barmaq izi, fraktal, fraktal ölçü, multifraktal spektr, dayaq vektorları metodu.*

##### Yadigar N. Imamverdiyev

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan

[yadigar@lan.ab.az](mailto:yadigar@lan.ab.az)

##### **An altered fingerprint detection method based on fractal characteristics**

The possibility of using concepts of fractal theory to describe the properties of fingerprints is studied. A method for determining the fractal dimensions of fingerprints and on this basis an effective approach for detecting altered fingerprints is proposed. Results of experiments show that the method distinguishes well images of altered fingerprints. The proposed method requires no additional hardware and can be easily integrated into existing fingerprint recognition systems.

**Key words:** *altered fingerprint detection, fractal, fractal dimension, multifractal spectr, support vector machine.*