

ГЕНЕРАЦИЯ ПОЛЯ НАПРАВЛЕНИЙ ПАПИЛЛЯРНЫХ УЗОРОВ С УЧЕТОМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК

GENERATION OF FIELDS OF DIRECTIONS OF PAPILLARY PATTERNS WITH REGISTRATION OF SPECIAL POINTS

**R. Minkhanov
V. Gudkov**

Summary. Artificial fingerprints imitate the images that are obtained with the help of electronic scanners. A potential alternative to the collection of large fingerprint databases is the synthesis of a fingerprint. The article poses the problem of considering the existing methods and stages of generation of artificial fingerprints. As a result of the analysis, the authors identify the main stages, give a description of the methods. The authors propose their own algorithm for generating the direction field of papillary patterns.

Keywords: papillary patterns; Mathematical models; synthetic.

Минханов Рамиль Фаильевич

Аспирант, преподаватель, «Южно-Уральский
государственный университет (НИУ)»
digerfight@gmail.com

Гудков Владимир Юльевич

Д.ф.-м.н., профессор, «Южно-Уральский
государственный университет (НИУ)»

Аннотация. Искусственные отпечатки пальцев подражают изображениям, которые получены при помощи электронных сканеров. Потенциальной альтернативой сбора больших баз данных отпечатков пальцев является синтез отпечатка пальца. В статье ставится задача рассмотрения существующих методов и этапов генерации искусственных отпечатков пальцев. В результате анализа авторы выделяют основные этапы, дают описание методов. Авторы предлагают свой алгоритм генерации поля направлений папиллярных узоров.

Ключевые слова: папиллярные узоры; математические модели; синтетический.

Введение

Биометрические технологии входят в состав широко распространенных технологий и средств информационной защиты. Самой известной биометрической особенностью человека, применяемой для его идентификации, являются отпечатки пальцев. При создании точных систем распознавания существует потребность в проведение качественного тестирования, что в свою очередь порождает потребность в базах данных с огромным числом моделей отпечатков пальцев. В данный момент времени эта проблема отчасти решена исследованиями и работами по созданию реалистично выглядящих отпечатков пальцев, которые в дальнейшем могут быть применены для всевозможных целей.

Проведенные исследования в различных научных областях, таких как эмбриология, антропология, статистика (закономерности папиллярных узоров), генетика, криминалистика и биометрия, не оказали практически никакого влияния на применявшиеся методы, технологии и механизмы, при применении которых не брался в расчет процесс образования форм папиллярных узоров. Отсутствие общей единой теории об образовании папиллярных узоров несет явные последствия для такой научной дисциплины как криминалистика. На сегодняшний день модели распределения значимых характеристик папиллярного узора и их выявления в большинстве своем построены на статистическом анализе, вслед-

ствие того, что на данный момент адекватной математической модели формирования таких особенностей не представлено.

Проведенные исследования по созданию искусственного отпечатка пальца можно условно разделить на две основные категории: те, которые основаны на физических моделях и те, которые основаны на статистических моделях [4].

В работе Шертинского и Пикарда [8] представлен комплексный метод, который использует динамичную нелинейную систему, называемую «M-lattice», эта модель может быть использована в качестве основы для генерации синтетического отпечатка пальца.

В работах Пенроза [6] допускалось, что папиллярные узоры, такие как петли, завитки и т.д., были сформированы хребтами, соответствующими линиям кривизны кожи эмбриона в то время, когда формировались хребты. Основываясь на этой работе Марди, Ли, и Хейнсворт [5] показали, что узоры отпечатка пальца могут быть смоделированы дифференциальными уравнениями, у которых есть точное решение.

Кюккеном и Ньюэллом [3] предложили свою модель, основанную на следующих гипотезах:

- ◆ папиллярные узоры создаются силами, которые вызваны дифференциальным ростом базального слоя эпидермиса;

- ◆ неоднородный рост базального слоя эпидермиса приводит к сжимающему напряжению, которое приводит к кривизне, создавая первоначальные хребты.

Почти периодические узоры, очень похожие на человеческие отпечатки пальцев, могут быть получены путем применения модели Кюккена [4,7]: три основных класса отпечатков пальцев могут быть смоделированы и проявляют минущии в областях.

Цель данной работы — описать метод генерации поля направлений папиллярных узоров основанной на математической модели. Основное внимание в этой работе уделяется модели, основанной на физических механизмах формирования. Тем не менее, также рассматриваются следующие вопросы:

- ◆ Как определяется направление хребтов с учетом расположения особых точек?
- ◆ Формирование различных типов узоров (виток, петля, арки).

В первой части рассматривается модель формирования зоны отпечатка. Во второй части предлагается модель формирования поля направлений папиллярных узоров.

Генерация зоны отпечатка пальца

В работах Каппелли, Майо и Мальтони [1] выделяются четыре основных этапа формирования синтетического отпечатка пальца:

1. Генерация области отпечатков пальцев;
2. Генерация поля направлений папиллярных линий;
3. Генерация частотного изображения;
4. Генерация рисунка папиллярных линий;

Типичный алгоритм распознавания отпечатков пальцев обрабатывает отпечатки пальцев следующим образом: отпечаток пальца изначально сегментируется от фона, оцениваются локальная частота и поле направлений, и эта информация используется для того, чтобы выделить контуры рисунка хребта и найти минущии [4]. В целях получения изображений отпечатков пальцев необходимо «перевернуть» некоторые из вышеописанных операций: область отпечатка пальца, поле направлений и частотное изображение, созданные независимо друг от друга и являющиеся входными параметрами по отношению к процессу генерации папиллярного узора.

В данной работе рассматриваются первые два этапа генерации. За основу первого этапа берется модель, предложенная Каппелли и др. [1].

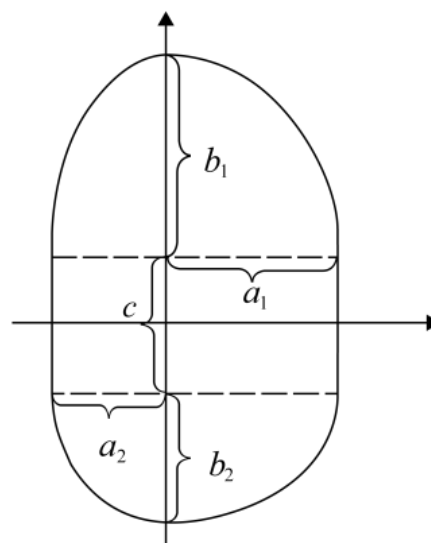


Рис. 1. Модель формирования формы отпечатка пальца (a_1, a_2, b_1, b_2, c — скалярные величины)

На первом этапе генерации, строится основная форма отпечатка пальца в соответствии с моделью, базирующейся на эллиптических сегментах, и которая представлена на рисунке 1.

Модель генерации поля направлений

Модель направления, предложенная Шерлоком и Монро, позволяет построить поле направлений из знания позиции особых точек отпечатка пальца (петли и дельты). В этой модели изображение находится в комплексной плоскости, и направление локального хребта вычисляется фазой квадратного корня сложной рациональной функции, чьи особенности находятся в том же самом месте, как и особые точки отпечатков пальцев (петли и дельты).

К сожалению, генерация изображений поля ориентации для видов папиллярных узоров арочного типа, которые не содержат никаких особых точек, не поддерживаются этой моделью.

Таким образом, несмотря на то, что модель Шерлока и Монро [7] является хорошей отправной точкой, она не подходит для генерации поля направлений.

Визская и Герхардт [9] предложили вариант модели Шерлока и Монро, который предоставляет больше углов свободы, для того чтобы справиться с направлением изменчивости, которая может охарактеризовать поле направлений хребтов с соответствующими особыми точками.

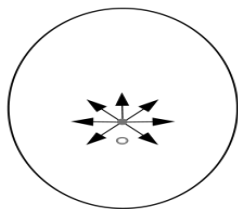
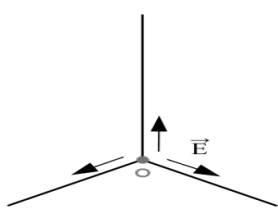


Рис. 2. Модели напряжённости двух классов особых точек. Сила напряженности задается в точке O , сила напряженности в любой точке в пределах поля рассчитывается обратно квадрату расстояния

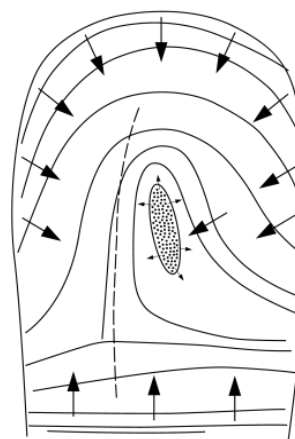


Рис. 3. Модель формирования направлений папиллярных линий

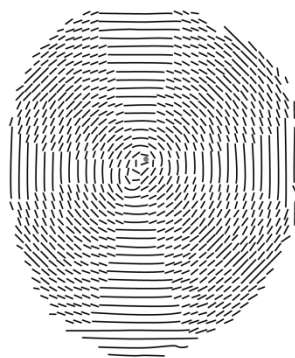


Рис. 4. Результат работы математической модели.

Целью работы Визская и Герхардта является получение наиболее приближенного к реальному поля направления, полученного от конкретного отпечатка пальца.

Модель Визская и Герхардта основана на статистических методах и не учитывает физические основы формирования папиллярного узора.

Интересная модель была предложена Кюккеном и Ньюэллом [3] которая основывается на гипотезах физического формирования папиллярного узора и позволяет построить три основных вида папиллярных узоров.

Авторы работы предлагают начинать второй этап генерации с определения положения особых точек (ядро, дельта), затем, используя математическую модель, осно-

ванную на теории Кюккена и Ньюэлла [2], генерируется поле направлений папиллярных узоров.

Гипотеза складок была предложена впервые в 1883 году А. Колльманом. [10] К. Бонневи в 1924 году в своей работе описала процесс образования первичных хребтов. Согласно Бонневи [11] узоры отпечатков пальцев создаются усилиями, которые вызваны дифференциальным ростом базального слоя эпидермиса; неоднородный рост базального слоя эпидермиса приводит к сжимающему напряжению, которое приводит к кривизне, создавая первоначальные хребты.

Математическая модель, предлагаемая авторами, опирается на теорию формирования папиллярных узоров, вследствие дифференциального роста базального слоя эпидермиса. На данном этапе, так же учитываются

аспекты напряжённости на особых точках. При формировании поля направлений модели параметрически задается поле напряжения в особой точке, согласно рисунку 2.

Стоит отметить, что напряжение изменяется обратно квадрату расстояния от центра поля напряжения особой точки. Вычисляется по формуле:

$$\vec{E}(x, y) = \sum_{i=0}^n a \frac{b_{x,y} t_i \vec{L}_i}{L_i^2 L_i}$$

Где $\vec{E}(x, y)$ — перпендикулярный вектор к направлению хребта в точке (x, y) ; n — количество значимых точек в папиллярном узоре; $b_{x,y}$, t_i и a — коэффициенты влияющие на рисунок поля направления; L_i — расстояние от i -ой значащей точки до точки (x, y) .

Направление хребта \vec{E} в точке — это вектор, перпендикулярный суммарному вектору напряжения в этой

точке. Схематически работа модели представлена на рисунке 3.

Проведённые компьютерные симуляции дали результаты, представленные на рисунке 4. Опыты показали, что два основных класса поля направлений папиллярных линий могут быть смоделированы.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о применимости предложенной авторами модели формирования поля направлений папиллярных узоров. Результаты, полученные в ходе симуляции, дают наглядное представление об изменении направления хребтов в зависимости от особых точек. Успешно применив модель, авторам удалось подтвердить гипотезу формирования папиллярных узоров, предложенную Кюккеном и Ньюэллом. Однако стоит заметить, что предложенная модель не дает ясного понимания процесса формирования хребта и основных типов узоров, но дает основу генерации синтетического папиллярного узора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cappelli, R., Maio, D., & Maltoni, D. (2004). SFinGe: an approach to synthetic fingerprint generation. *International Workshop on Biometric Technologies (BT2004)*, (стр. 147–154).
2. Kücken, M. (2007). Models for fingerprint pattern formation. *Forensic science international*, 171, 85–96.
3. Kücken, M., & Newell, A. C. (2004). A model for fingerprint formation. *Europhysics Letters (EPL)*, 68, 141–146.
4. Maltoni, D. (2009). *Handbook of fingerprint recognition* (изд. 2nd. ed.). London: Springer.
5. MARDIA, K. V., Q., L. I., & HAINSWORTH, T. J. (1992). On the Penrose hypothesis on fingerprint patterns. *Mathematical Medicine and Biology*, 9, 289–294.
6. PENROSE, L. S. (1965). Dermatoglyphic Topology. *Nature*, 205, 544–546.
7. Sherlock, B. G., & Monro, D. M. (1993). A model for interpreting fingerprint topology. *Pattern Recognition*, 26, 1047–1055.
8. Sherstinsky, A., & Picard, R. W. (9–13 Oct. 1994). Restoration and enhancement of fingerprint images using M-lattice—a novel nonlinear dynamical system. *12th International Conference on Pattern Recognition*, (стр. 195–200).
9. Vizcaya, P. R., & Gerhardt, L. A. (1996). A nonlinear orientation model for global description of fingerprints. *Pattern Recognition*, 29, 1221–1231.
10. Тегакко, Л., & Кобылянский, Е. (2017). Дерматоглифика в современном научном познании человека. ЛитРес.
11. Хить, Г. Л., Ширококов, И. Г., & Славолубова, И. А. (2013). Дерматоглифика в антропологии. СПб.: Нестор-История.

© Минханов Рамиль Фаильевич (digerfight@gmail.com), Гудков Владимир Юльевич.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

