

**Искусственная генерация папиллярных линий,  
создание  
синтетического отпечатка пальца.**

**Минханов Рамиль Фаильевич**

Научный руководитель:  
ГУДКОВ Владимир Юльевич,  
доктор тех. наук, профессор

# **ЦЕЛЬ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

---

**Цель работы:** теоретическое обоснование новых и совершенствование существующих методов генерации синтетических отпечатков пальцев

# ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ

---

1. Рассмотреть физическо-биологические механизмы формирования папиллярных узоров.
2. Произвести анализ существующих методов генерации папиллярных узоров.
3. Разработать метод получения синтетического отпечатка пальца.
4. Произвести декомпозицию и составить поэтапный алгоритм генерации синтетического отпечатка пальца.
5. Разработать программное обеспечение.

# **АКТУАЛЬНОСТЬ**

---

- 1. Расширение базиса моделей распознавания.**
- 2. Доказательство основных гипотез для отпечатков пальцев.**
- 3. Улучшение программного обеспечение распознавания отпечатков пальцев.**
- 4. Поиск количественных мер сравнения.**

## **НАУЧНАЯ НОВИЗНА**

---

**В данной работе предлагается метод и математическая модель получения синтетического отпечатка пальца с учетом физических механизмов формирования естественных папиллярных узоров.**

**Разработан метод и алгоритм создания естественного шумового фона искусственного отпечатка пальца.**

# **ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ**

---

- 1. Теоретическое обоснование алгоритма формирования искусственного отпечатка пальца.**
- 2. Разработан алгоритм и программное обеспечение на ЭВМ для синтеза искусственного отпечатка пальца.**
- 3. Разработанное программное обеспечение может быть использовано при тестировании алгоритмов распознавания отпечатков пальцев.**

# МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ПАПИЛЛЯРНЫХ УЗОРОВ

---

- Реакционно—диффузионная модель предложенная Аланом Тьюрингом.
- M—lattice комплексный метод предложенный Шерстинским и пикардом.
- Системы дифференциальных уравнений раскрытые в работах Пенроуза и улучшенные в исследованиях Марди, Ли, и Хейнсворт.

# МЕТОДЫ ГЕНЕРАЦИИ ПАПИЛЛЯРНЫХ УЗОРОВ

---

- Модель механического взаимодействия предложенная Кюккеном и Ньюэллом.
- Модели SFinge.

# РЕАКЦИОННО—ДИФФУЗИОННАЯ МОДЕЛЬ

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi_{A,S}(k_x, t)}{\partial t} = \psi_{A,S}(k_x, t) \left[ r_{11} - 4D_A \sin^2 \left( \frac{\pi k_x}{N_x} \right) \right] + r_{12} \psi_{I,S}(k_x, t) \\ \frac{\partial \psi_{I,S}(k_x, t)}{\partial t} = \psi_{I,S}(k_x, t) \left[ r_{22} - 4D_I \sin^2 \left( \frac{\pi k_x}{N_x} \right) \right] + r_{21} \psi_{A,S}(k_x, t) \end{cases}$$

$\psi_{A,S}(k_x, t)$  и  $\psi_{I,S}(k_x, t)$  – концентрации

$D_A$  и  $D_I$  - скорости диффузии активатора и ингибиторных морфогенов

$r_{mn}$  - предельные скорости реакции

## M—LATTICE

---

$$\frac{d\psi(\vec{n}, t)}{dt} = a(\vec{n}) \cdot \psi(\vec{n}, t) + s(\vec{n}) - h(\vec{n}) \cdot \chi(\vec{n}, t)$$

$\vec{n} \in Z^2$ ,  $a(\vec{n})$  и  $h(\vec{n})$  – КИХ-фильтры, соответствующие соответственно А и Н (блочнo-циркулирующие симметричные матрицы),  $s(\vec{n}) \in [-1, 1]$  - исходное мелко квантованное изображение.

# M-LATTICE

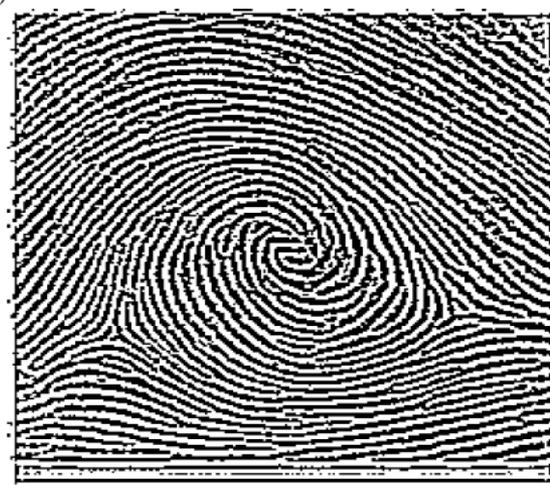
---



(a)

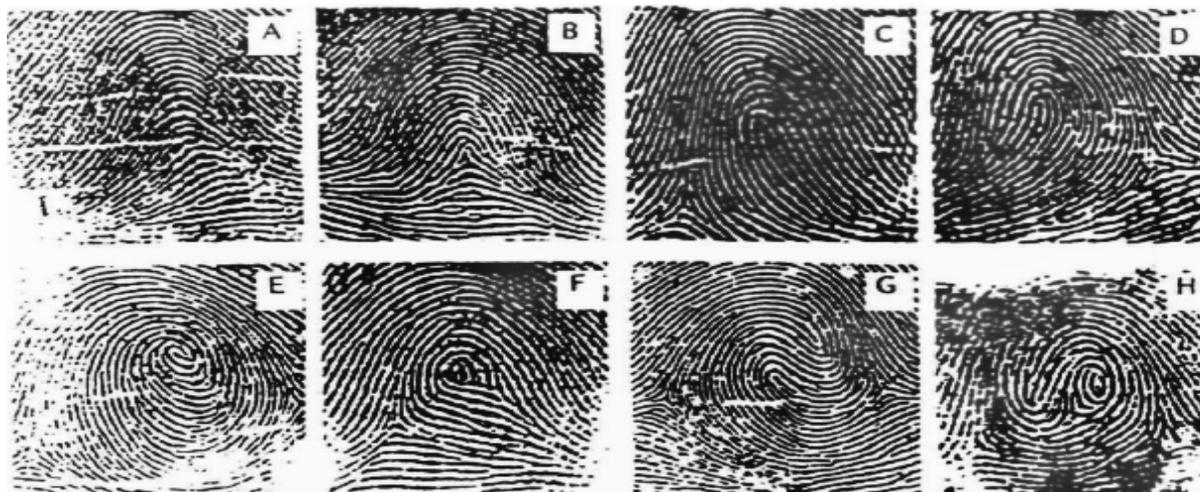


(b)

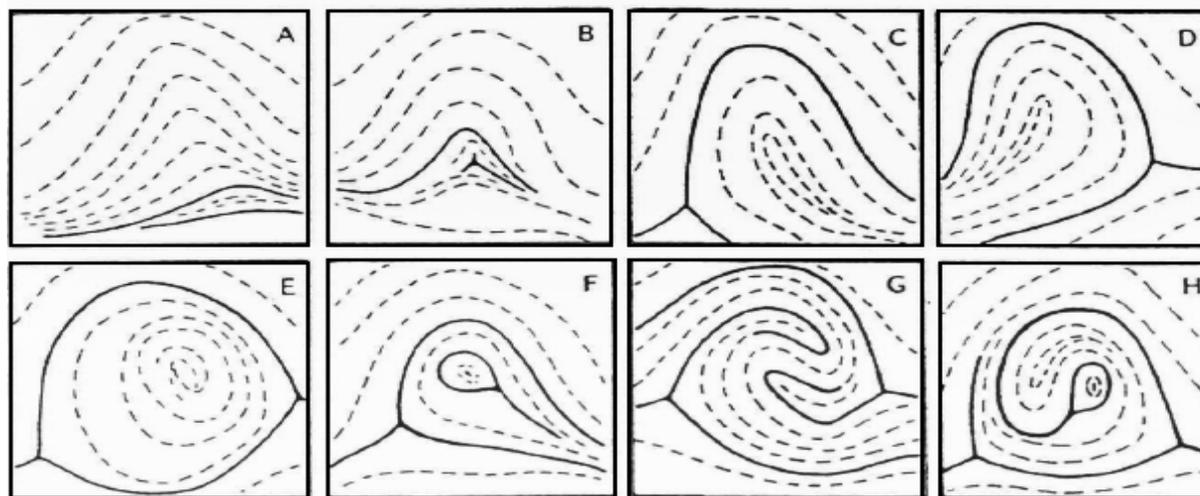


(c)

# СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

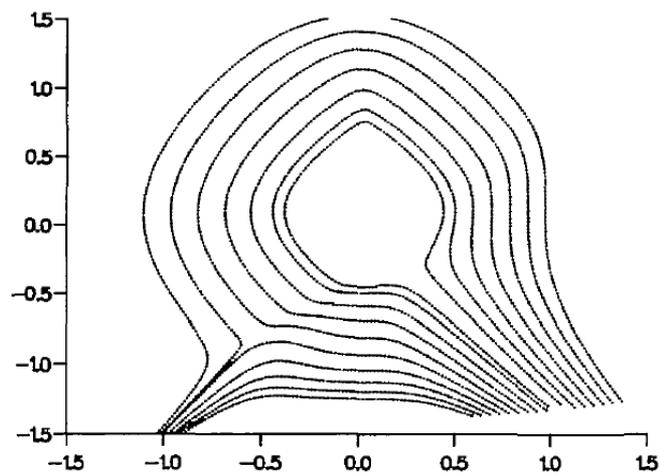
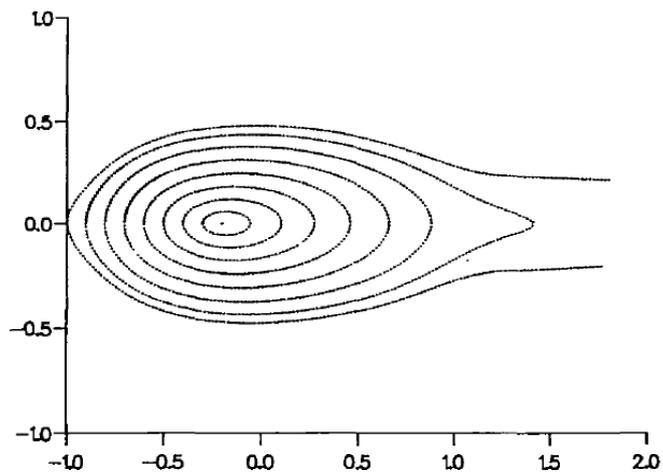
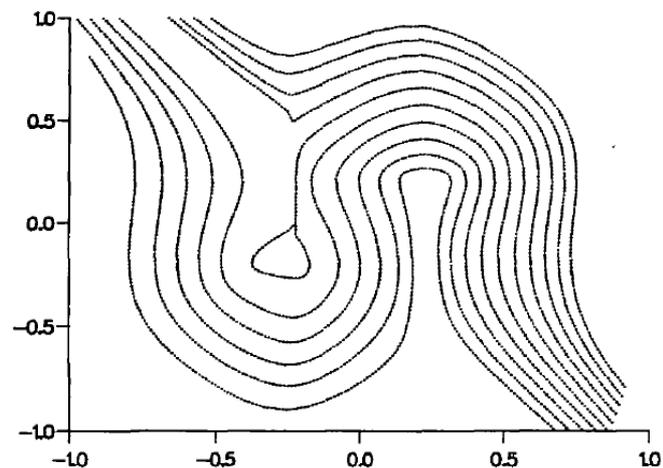
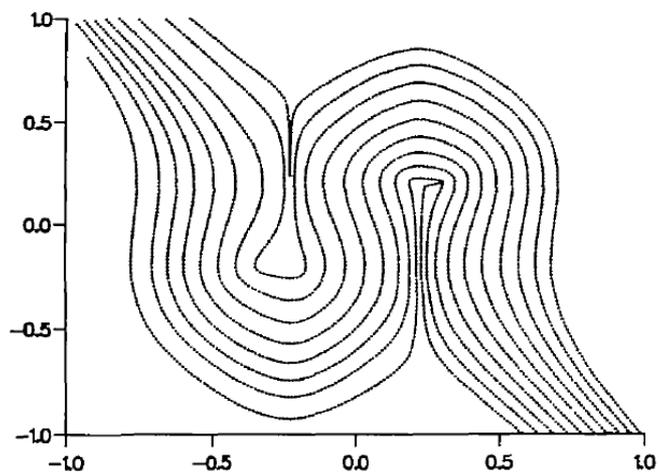


(a)

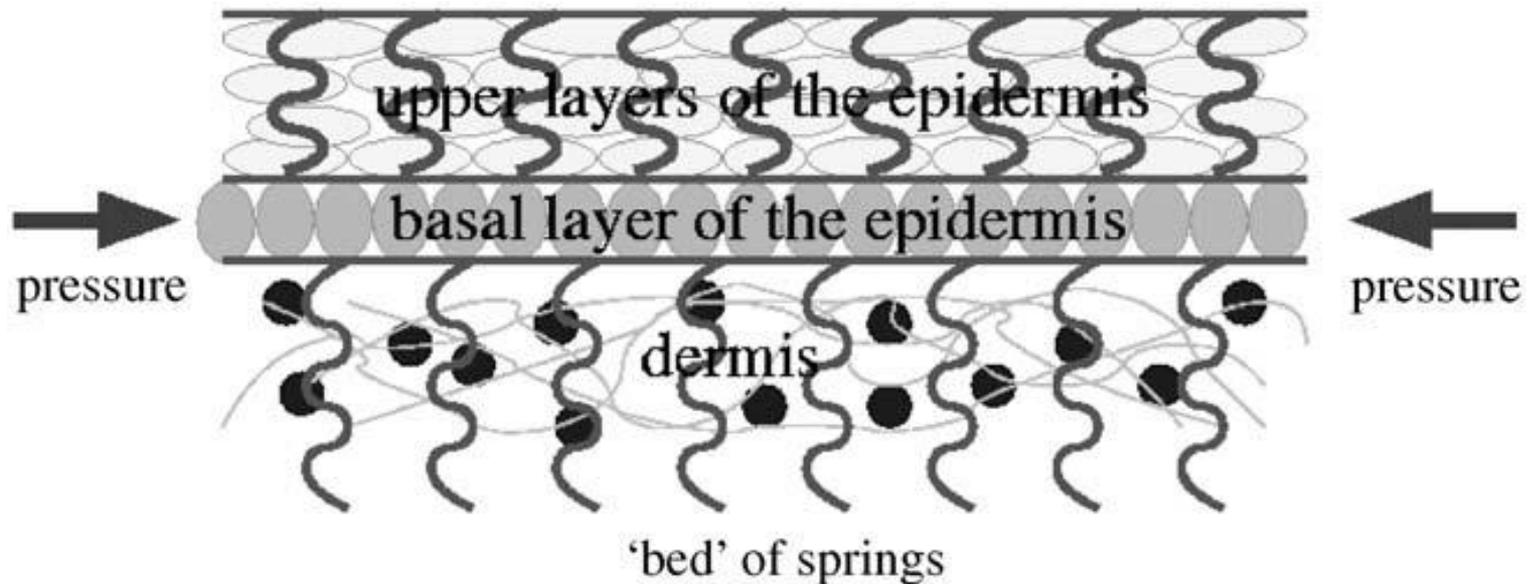


(b)

# МОДИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ СМИТА



# МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



# МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

$$\varepsilon = \int_A \left( \frac{D}{2} (\nabla^2 w)^2 - \frac{1}{2Eh} (\nabla^2 F)^2 + \frac{F_{yy}w}{R_x} + \frac{F_{xx}w}{R_y} - w[F, w] + V(w) \right) dx dy$$

$F_{yy}$  – вторая частная производная  $F$  по  $y$

$\nabla^2$  – лапласиан, переменная

$w$  – нормальное отклонение листа

$F$  – функция напряжения Эйри

$E$  и  $D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}$  – модуль Юнга и модуль изгиба соответственно

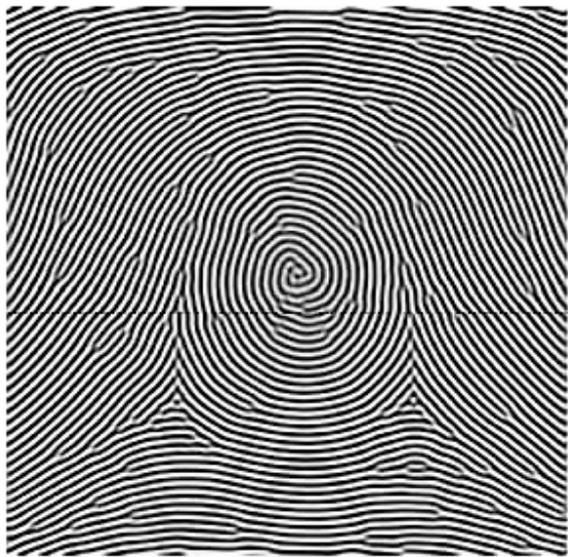
$\mu$  – коэффициент Пуассона

$h$  – толщина оболочки

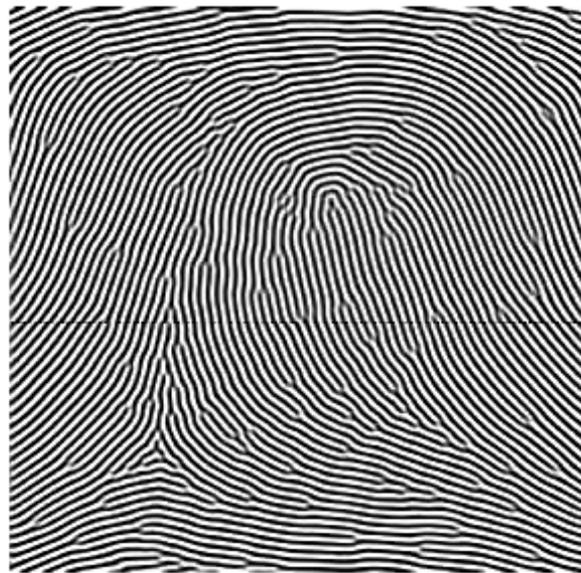
$R_x$  и  $R_y$  – главные радиусы кривизны.

$$[F, w] = F_{xx}w_{yy} - 2F_{xy}w_{xy}$$

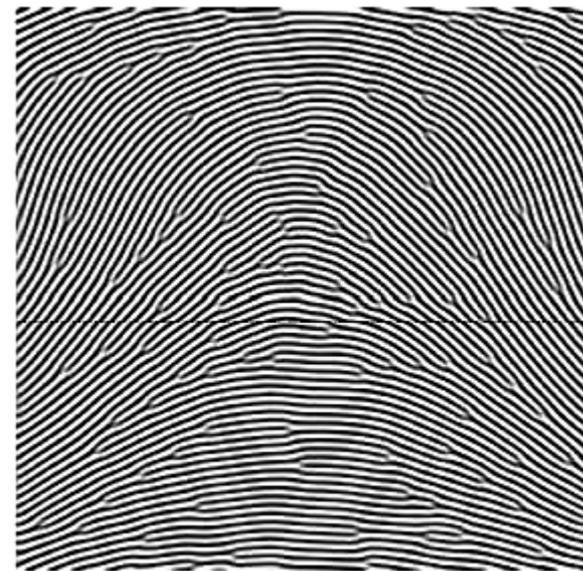
# МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



(a)

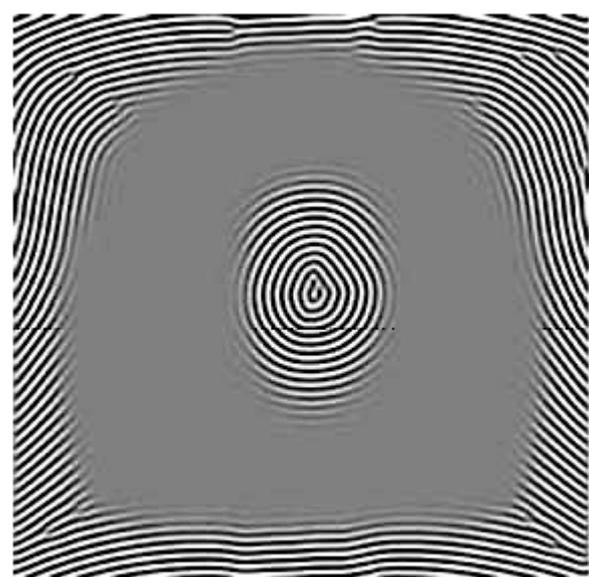


(b)

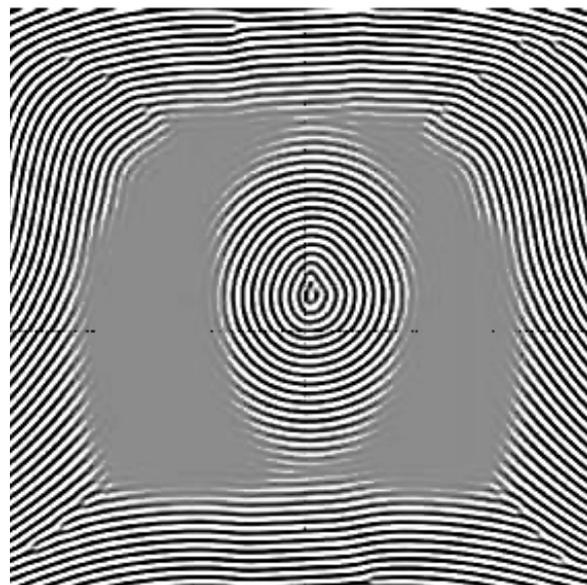


(c)

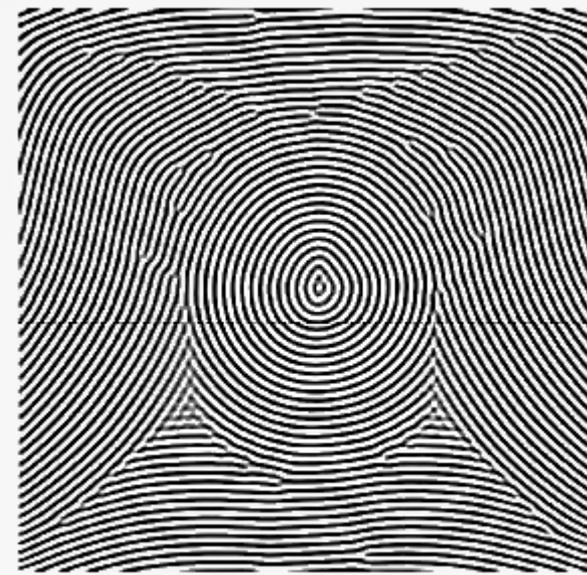
# МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



(a)



(b)



(c)

# МОДЕЛЬ SFINGE

---

**Создание синтетического отпечатка пальца в SFinGe выполняется последовательно в несколько этапов**

- 1. определение формы отпечатка пальца;**
- 2. формирование поля направлений;**
- 3. формирование поля плотности;**
- 4. генерация папиллярного узора.**

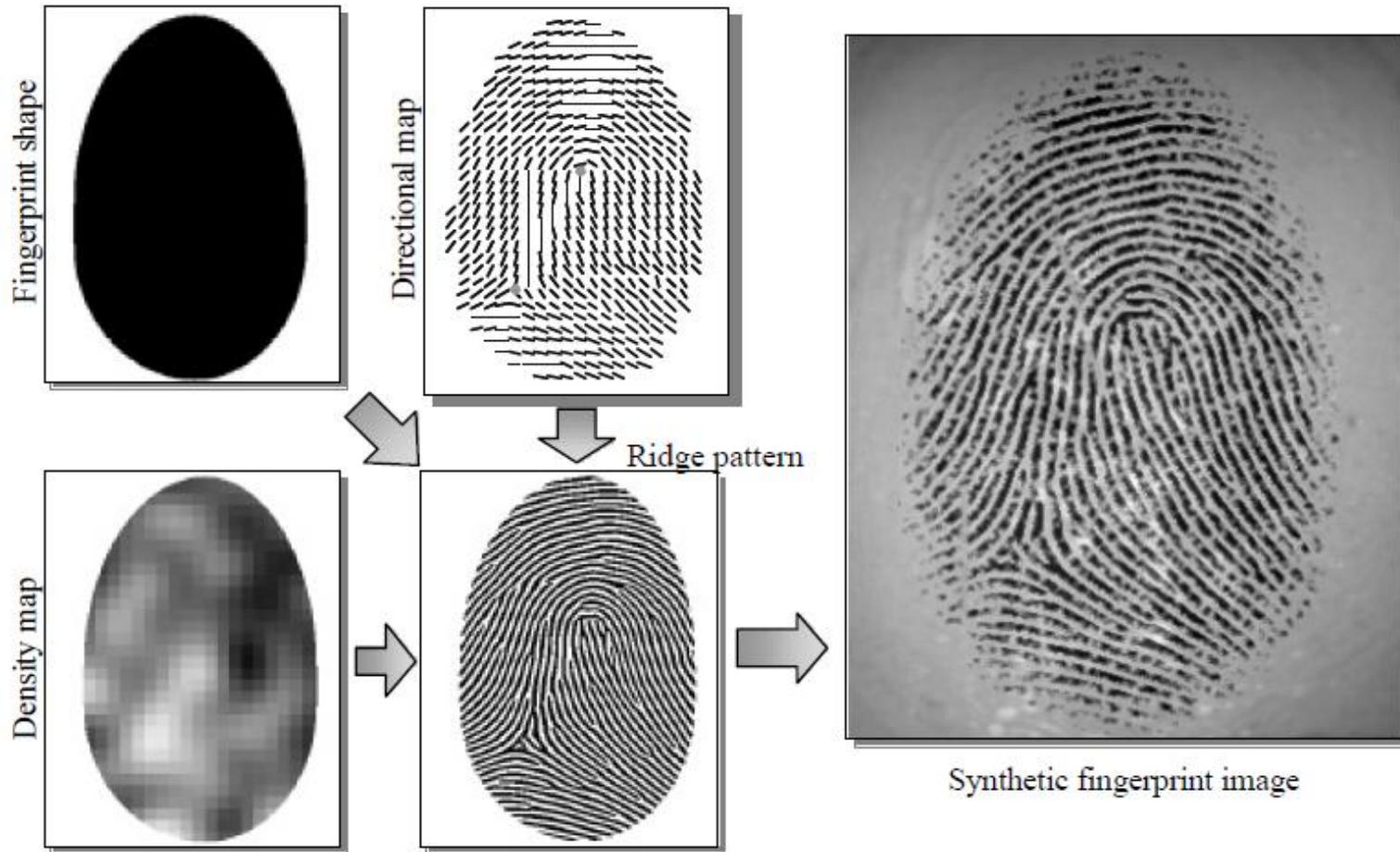
# МОДЕЛЬ SFINGE

---

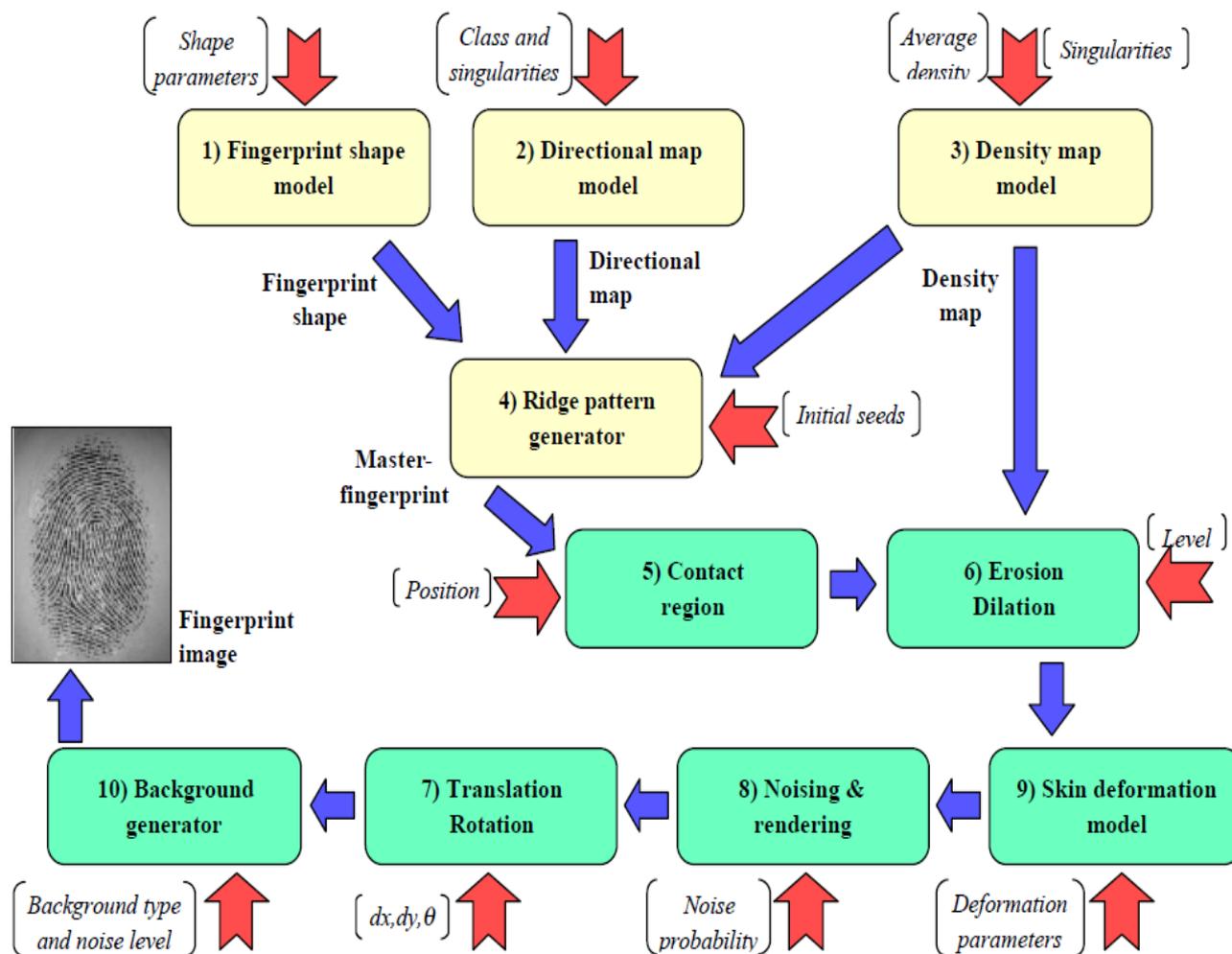
Полностью весь процесс создания синтетического отпечатка пальца в SFinGe выполняется в 10 этапов.

5. выбор области контакта;
6. эрозия / дилатация (изменение усредненности гребня);
7. искажение отпечатка пальца;
8. шумоналожение и рендеринг;
9. вращение/ротация;
10. генерация реалистического фона.

# МОДЕЛЬ SFINGE



# МОДЕЛЬ SFINGE



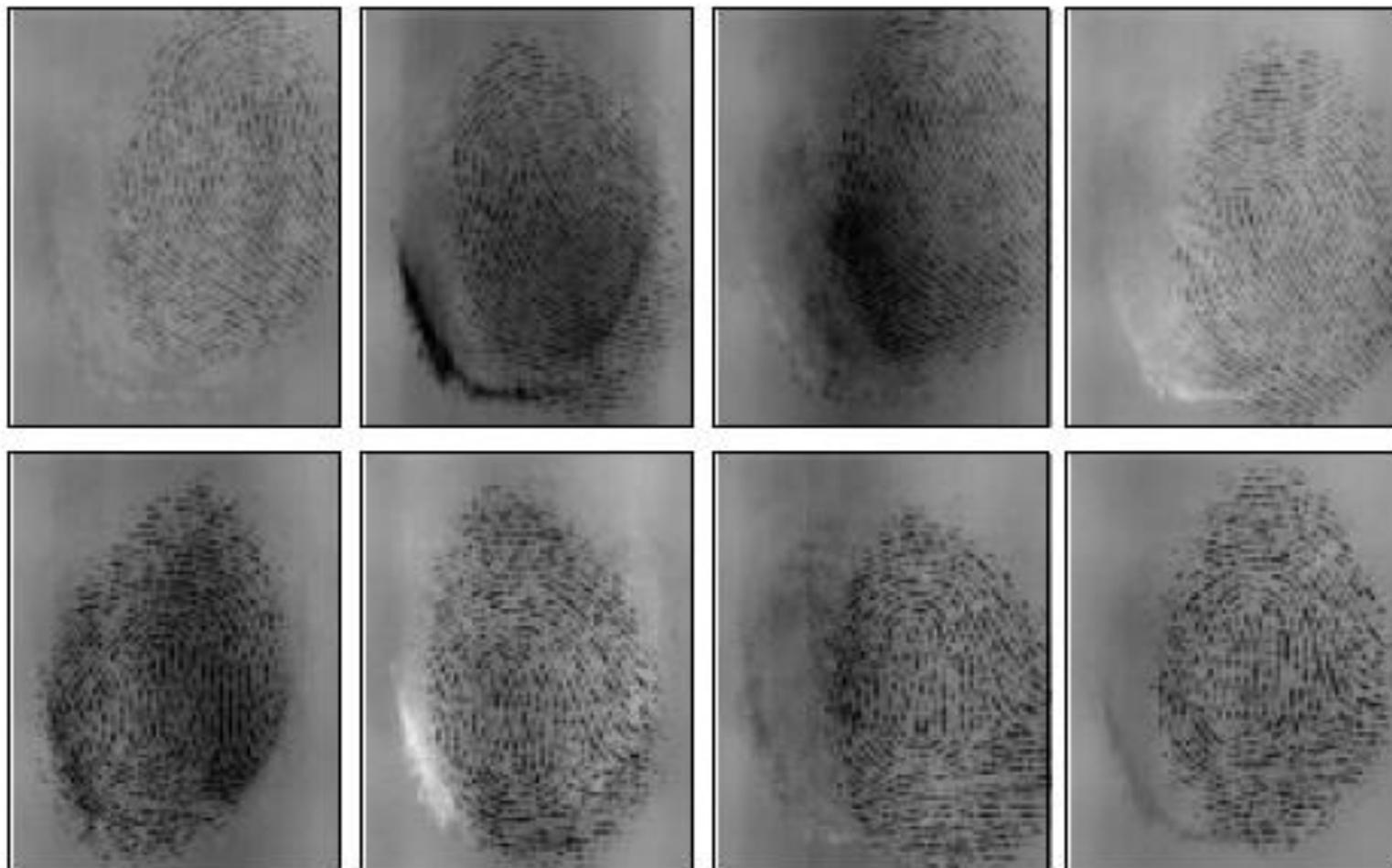
# МОДЕЛЬ SFINGE

---



# МОДЕЛЬ SFINGE

---



# **АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ОТПЕЧАТКА**

---

**Этап 1: Синтез базового (эталонного) отпечатка пальца. Первый этап включает 4 подэтапа:**

**Шаг 1 – Определение геометрической формы отпечатка пальца;**

**Шаг 2 – Создание поля ориентаций папиллярных линий на основе выбранного шаблона, позиций ядер и дельт;**

**Шаг 3 – Создание поля плотности папиллярных линий на основе некоторых эвристических критериев;**

**Шаг 4 – Создание узора папиллярных линий;**

# **АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ОТПЕЧАТКА**

---

**Этап 2: Применение к базовому отпечатку методов обработки изображения с целью придания ему реалистичного вида. Второй этап включает 6 подэтапов:**

**Шаг 5 – генерация поля плотности шумов на основе эвристических критериев;**

**Шаг 6 – наложение на изображение шумового фона;**

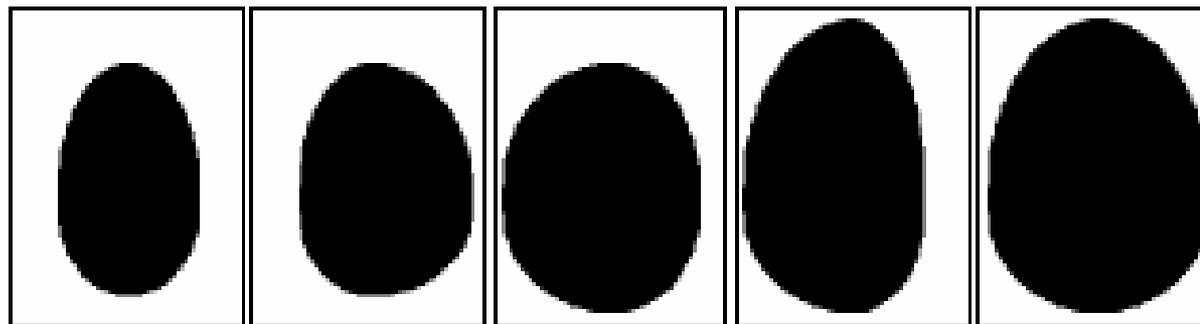
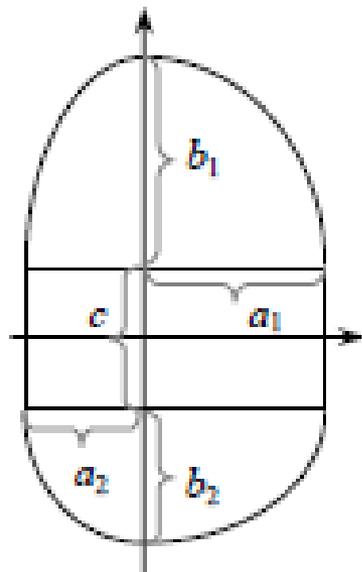
**Шаг 7 – имитация степени влажности кожи путем применения к нормальному изображению операторов эрозии/дилатации.**

**Шаг 8 – применение к изображению модели нелинейных искажений с целью случайного генерирования реалистичного оттиска;**

**Шаг 9 – случайное вращение изображения с целью имитации различных ориентаций пальца над датчиком.**

**Шаг 10 – случайное смещение отпечатка пальца без изменения формы и ориентации с целью имитации различного размещения пальца над датчиком изображения.**

# ГЕНЕРАЦИЯ ОБЛАСТИ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА

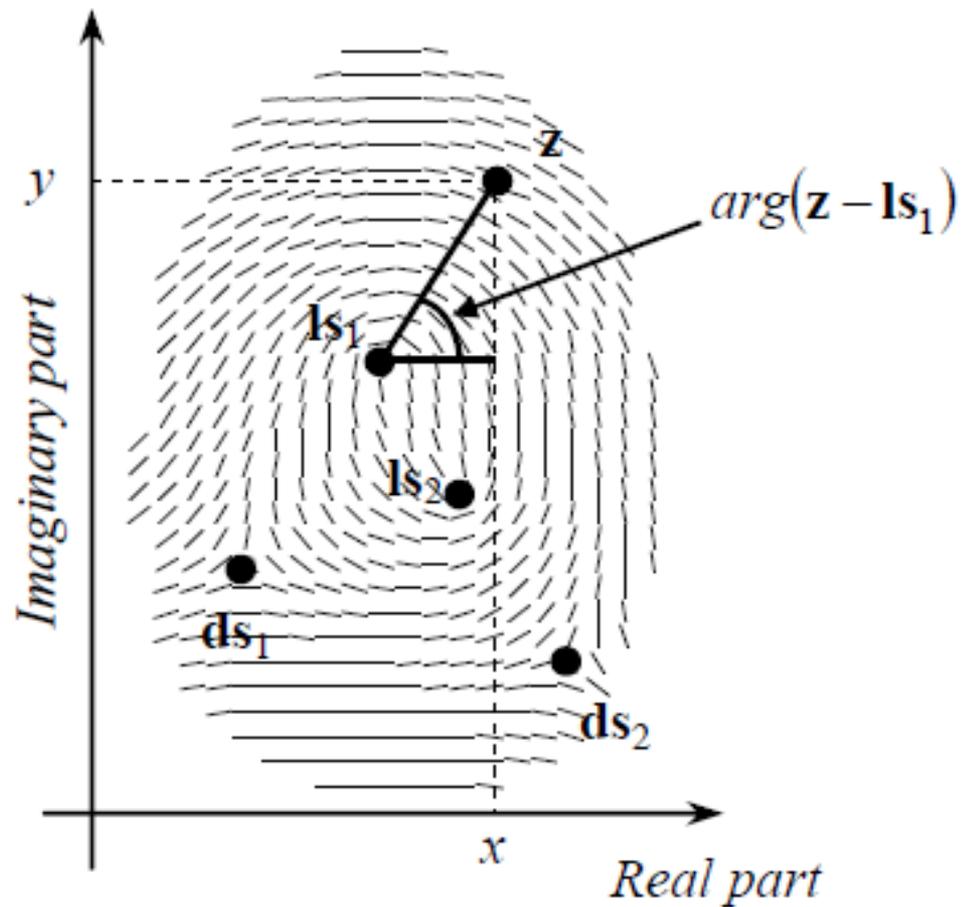


# ГЕНЕРАЦИЯ ПОЛЯ ОРИЕНТАЦИЙ

$$\theta(z) = \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^{n_d} (g_{ds_i}(\arg(z - ds_i))) - \sum_{j=1}^{n_c} (g_{cs_j}(\arg(z - ls_j))) \right]$$

- $g_k(\alpha)$  - функции определенные для различных дельт и ядер
- $k \in \{ls_1, ls_2, \dots, ls_{n_c}, ds_1, ds_2, \dots, ds_{n_d}\}$
- $ls_j$  -  $j$ -е ядро, а  $ds_i$  -  $i$ -я дельта в комплексной плоскости
- $g_k(\alpha) = \bar{g}_k(\alpha_i) + \frac{\alpha - \alpha_i}{2\pi/L} (\bar{g}_k(\alpha_{i+1}) - \bar{g}_k(\alpha_i))$
- $\alpha_i \leq \alpha \leq \alpha_{i+1}, \alpha_i = -\pi + \frac{2\pi i}{L}$

# ГЕНЕРАЦИЯ ПОЛЯ ОРИЕНТАЦИЙ



# ГЕНЕРАЦИЯ ПОЛЯ ПЛОТНОСТИ

---

1. Возможная общая частота выбирается случайным образом в соответствии с распределением частоты линий гребня в реальных отпечатках пальцев; Используется средний период хребта / впадины в девять пикселей. Это имитирует датчик с разрешением 500 точек на дюйм.
2. Частота в вышеописанных областях слегка уменьшается в зависимости от положения особенностей.
3. Частотное изображение случайно возмущается, чтобы улучшить его внешний вид.
4. Выполняется локальное сглаживание с помощью фильтра квадратов  $3 \times 3$ .

# ГЕНЕРАЦИЯ ПОЛЯ ПЛОТНОСТИ

---



# ГЕНЕРАЦИЯ УЗОРА ХРЕБТА

---

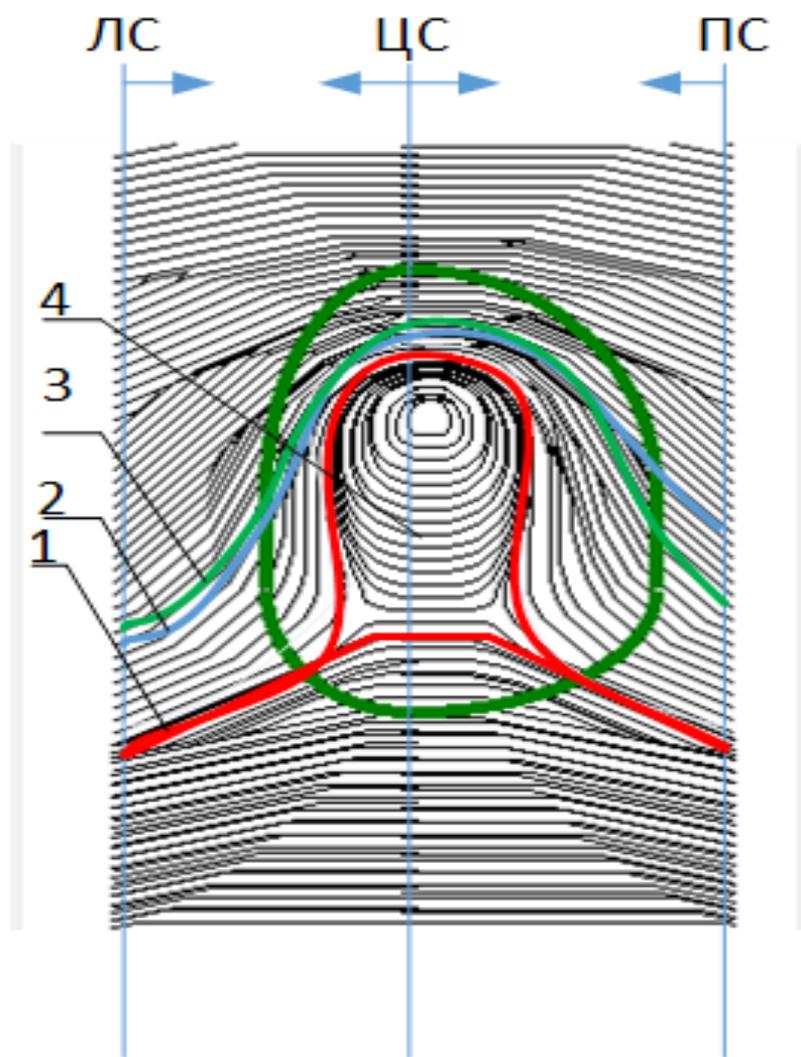
Разработанный метод основан на построении папиллярного узора отпечатка пальца последовательно линия за линией.

Выбирается начальная точка отсчета, затем на основании данных ориентационного поля вычисляется следующая за ней точка.

Этот процесс продолжается до тех пор, пока вычисляемая линия не выйдет за пределы ориентационного поля либо за пределы установленного поля построения.

Следующим шагом является определение новой начальной точки с которой продолжится процесс вычисления, при этом естественным представляется установить разность координат начальных точек построения не менее периодичности папиллярных линий.

# ГЕНЕРАЦИЯ УЗОРА ХРЕБТА



# **ЗАШУМЛЕНИЕ**

---

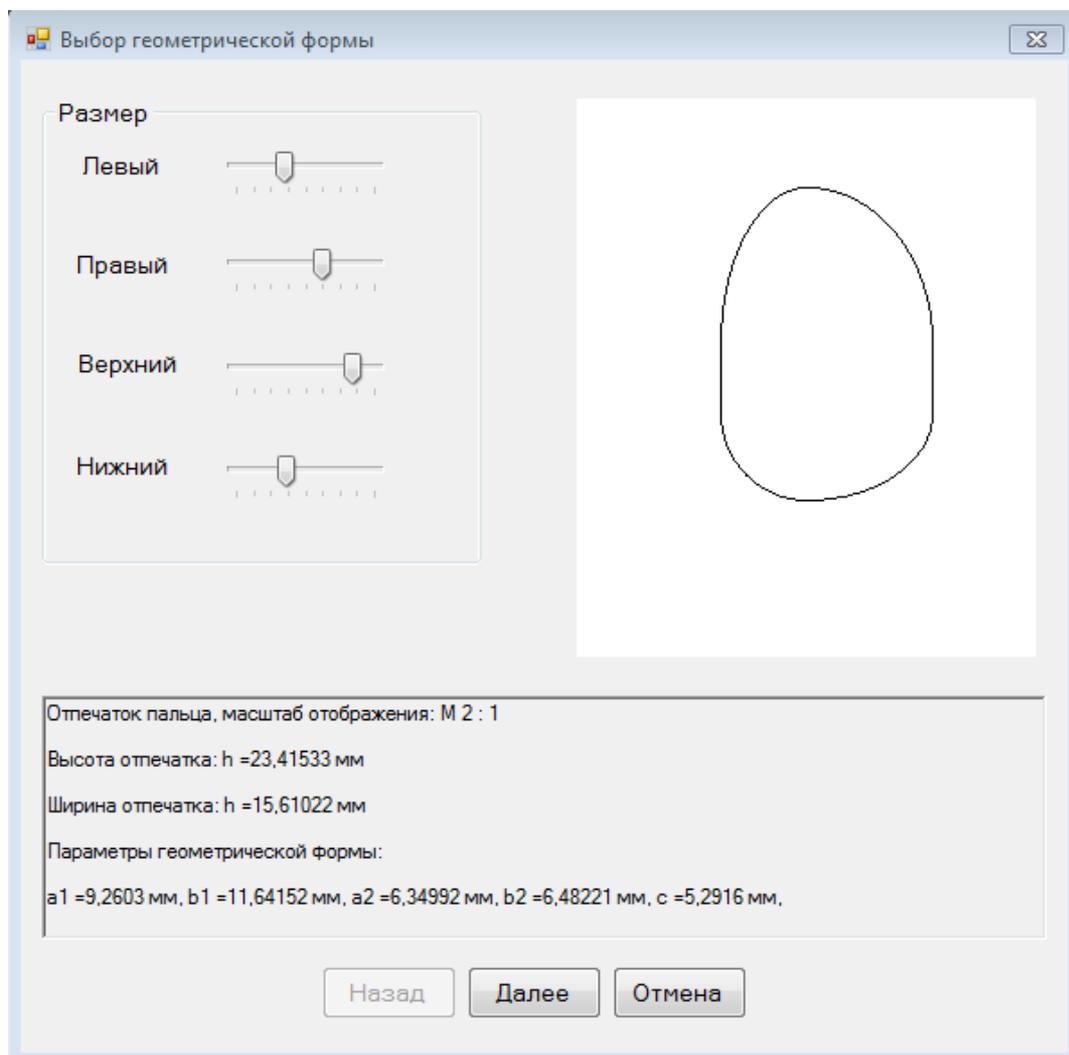
**Шумовой фон отпечатка пальца состоит из:**

- **Нормального шума.**
- **Случайного шума.**

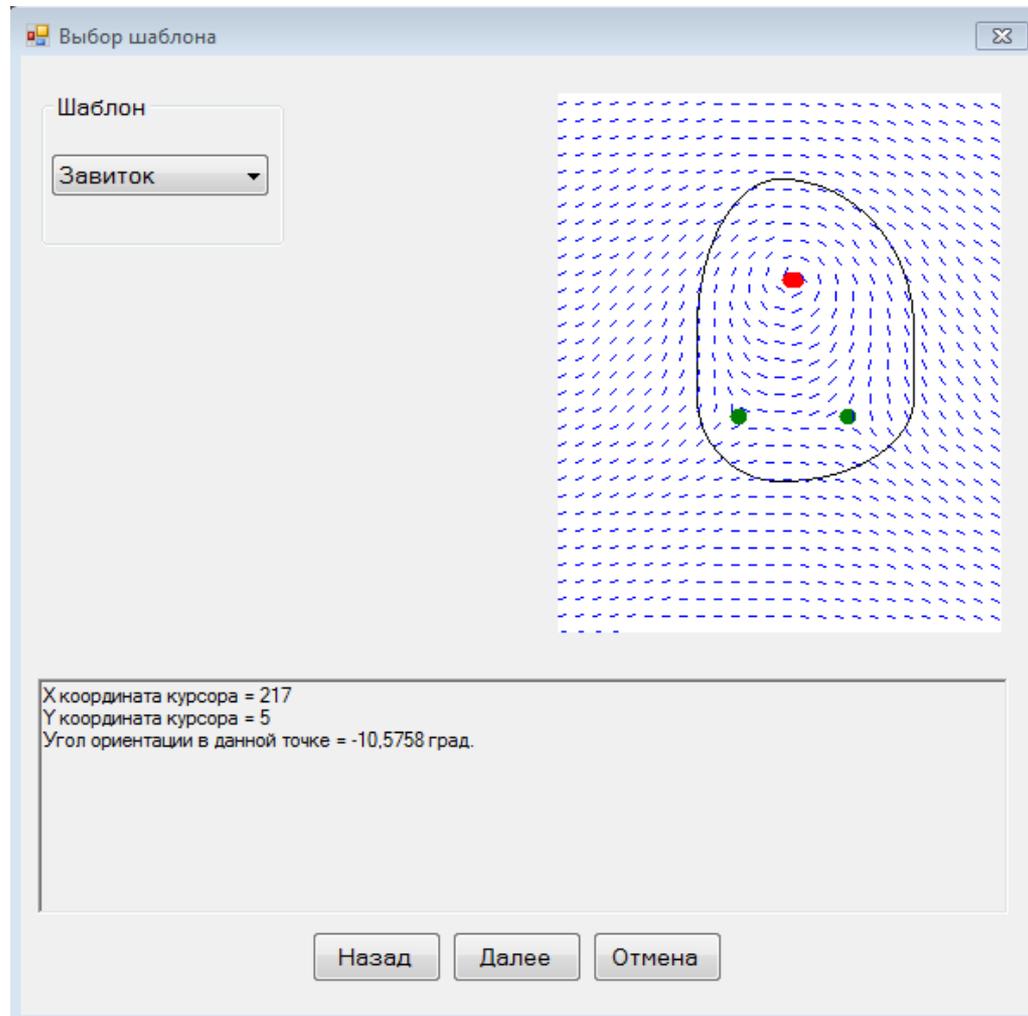
**Создание и наложение шумового делиться на следующие подэтапы:**

- 1. генерация поля плотности шумов на основе эвристических критериев;**
- 2. изоляция белых пикселей в отдельный слой;**
- 3. добавление шума в виде маленьких белых капель переменного размера и формы;**
- 4. сглаживание изображения в окне  $3 \times 3$ ;**
- 5. наложение шумового слоя на полученное изображение;**

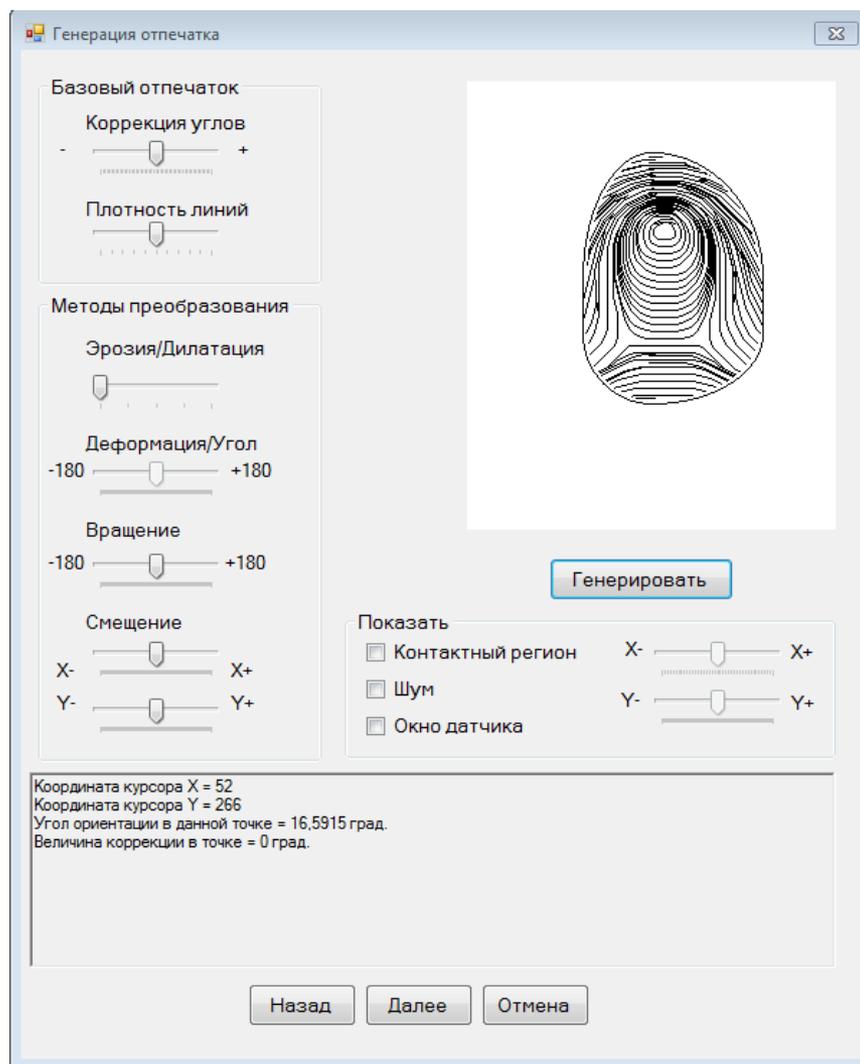
# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СОЗДАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОТПЕЧАТКА



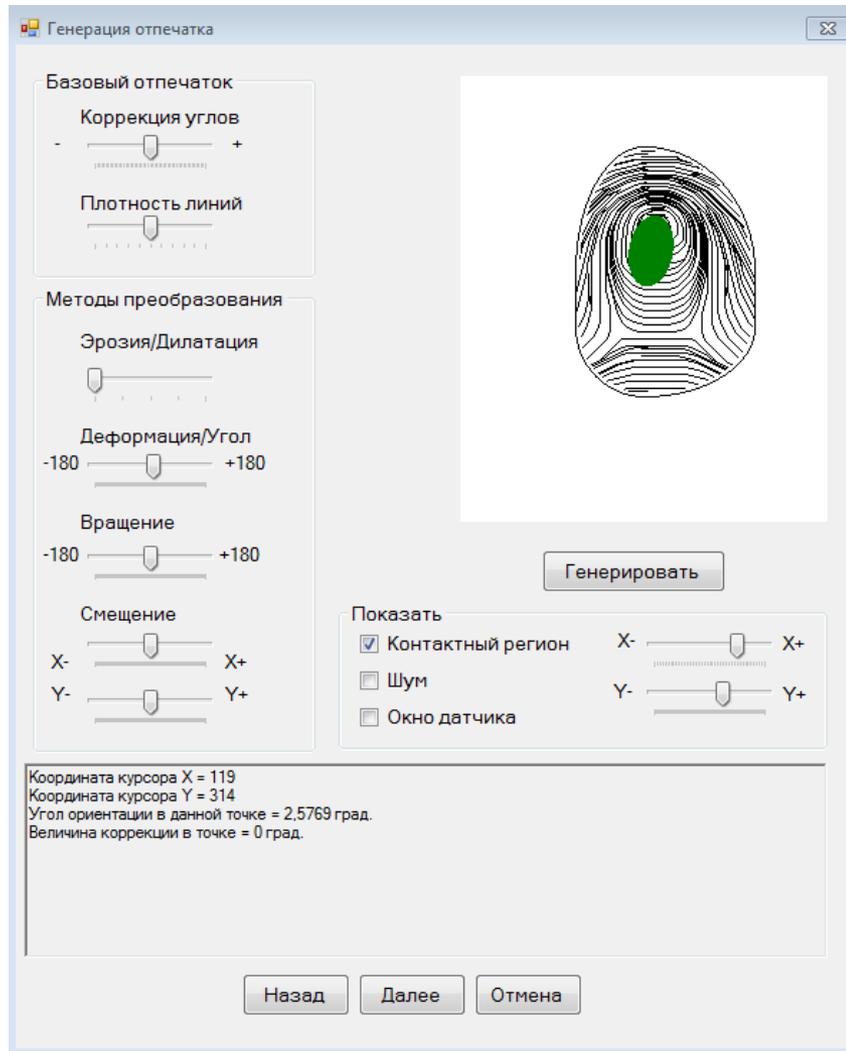
# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЕ ПОЛЯ НАПРАВЛЕНИЙ



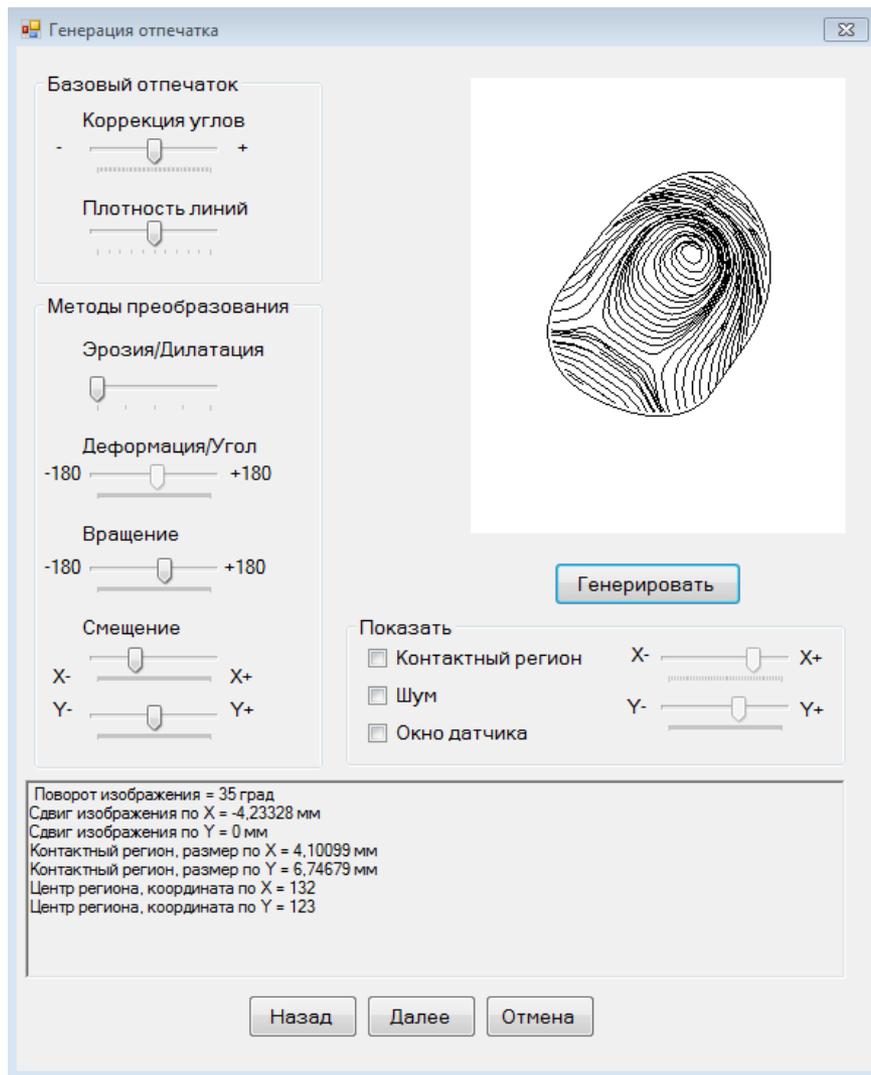
# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕРАЦИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА В СООТВЕТСТВИИ С МОДЕЛЬЮ ШЕРЛОКА И МОНРО



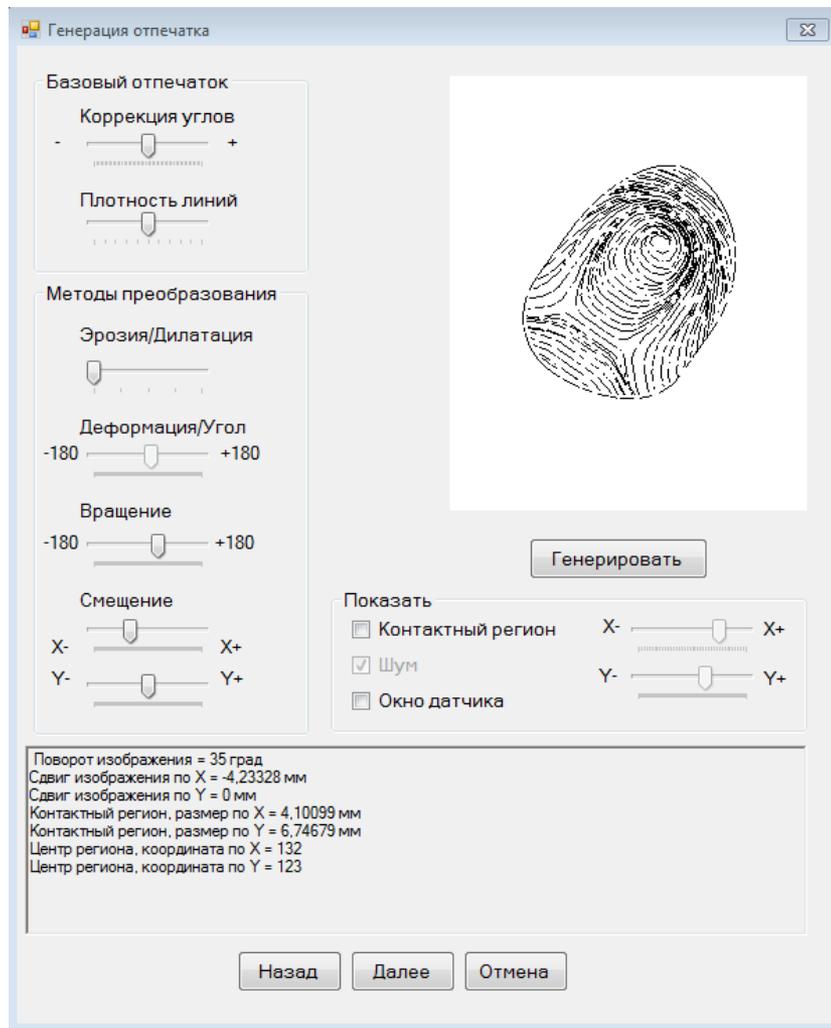
# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ОБЛАСТИ КОНТАКТНОГО РЕГИОНА



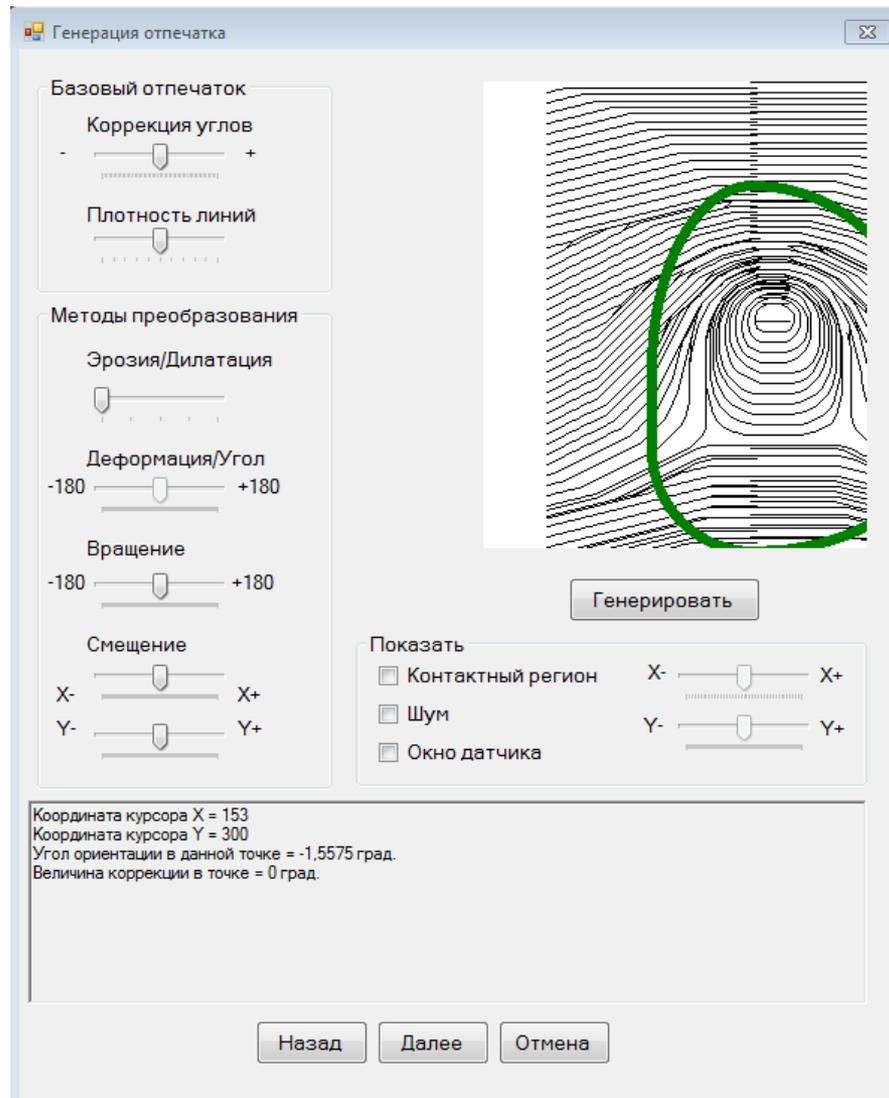
# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВРАЩЕНИЕ И СМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА



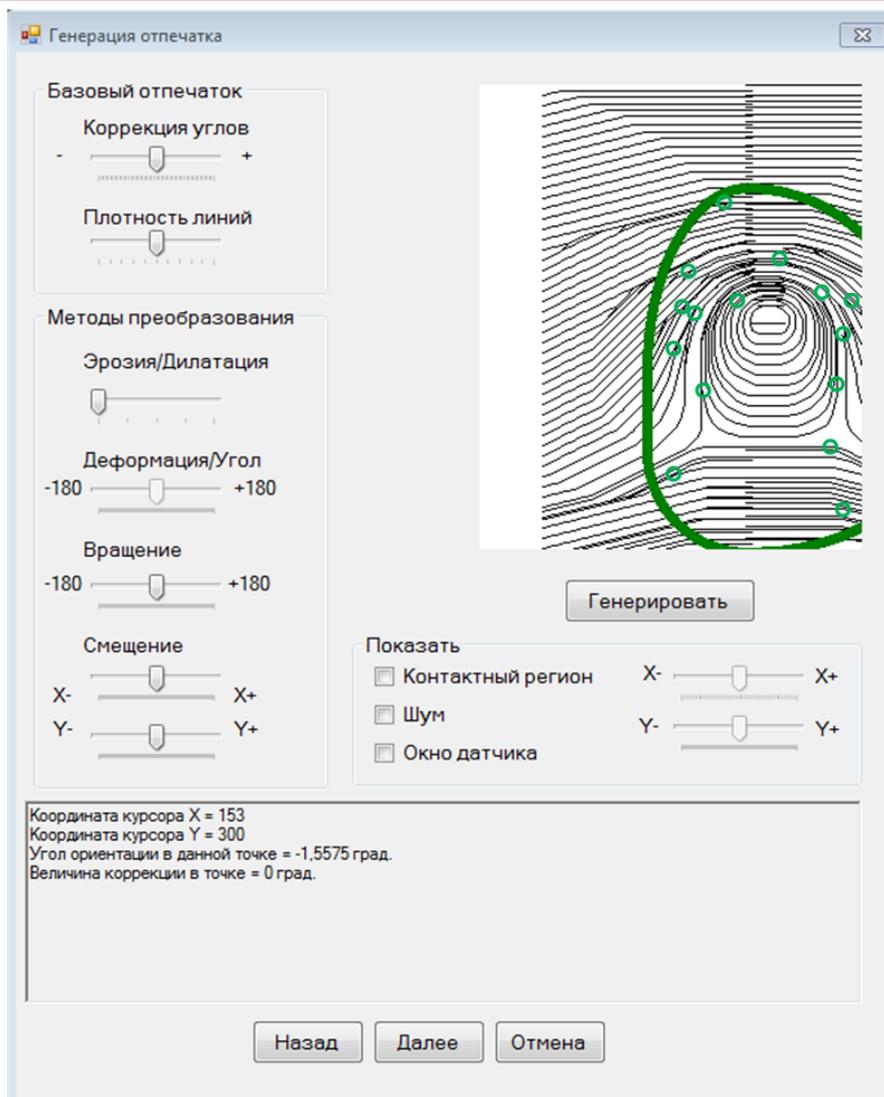
# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВРАЩЕНИЕ И СМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА



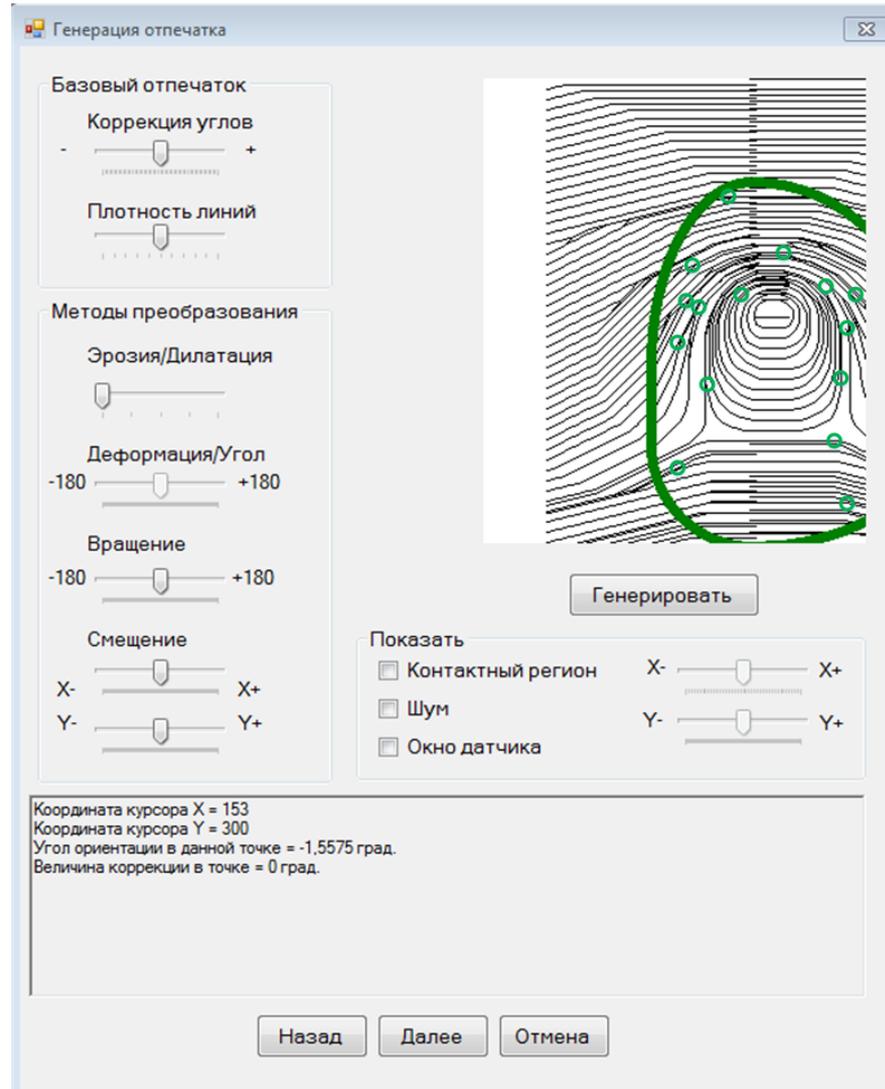
# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВРАЩЕНИЕ И СМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА



# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВРАЩЕНИЕ И СМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА



# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВРАЩЕНИЕ И СМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА



# ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВРАЩЕНИЕ И СМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА

Функциональный параметр/ПО	SFinGe	Fingerprint_Creator
Создание синтетического образа ОП из шаблонов: 1. Арка 2. Петля 3. Завиток	+ + +	+ + +
Пространственно-угловая коррекция синтетического образа ОП	+	+
Методы преобразования синтетического образа ОП: 1. Деформация контактной зоны 2. Имитация влажности/давления 3. Пространственный сдвиг ОП 4. Центральное вращение ОП 5. Создание шумового фона	+ + + + +	+ + + + +

# **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

---

- 1. Разработан алгоритм и математическая модель генерации синтетического отпечатка пальца. Дано теоретическое обоснование данного алгоритма.**
- 2. Разработан метод формирования основного отпечатка.**
- 3. Разработано программное обеспечение позволяющее создавать синтетические отпечатки всех основных шаблонов.**
- 4. Проведен анализ структуры синтетического папиллярного узора, полученного в программной реализации данного исследования.**

# ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

---

1. **Минханов Р.Ф., Гудков В.Ю. ГЕНЕРАЦИЯ ПОЛЯ НАПРАВЛЕНИЙ ПАПИЛЛЯРНЫХ УЗОРОВ С УЧЕТОМ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2017. № 3-4. С. 64-67.. 2005. Том 6, №2. С. 103-115.**
2. **Минханов Р.Ф. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ПАПИЛЛЯРНЫХ УЗОРОВ. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ (МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ) // Перспективы науки. 2015. № 9 (72). С. 73-78.**
3. **Минханов Р.Ф. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ПАПИЛЛЯРНЫХ УЗОРОВ. ПОЭТАПНЫЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКОГО ОТПЕЧАТКА ПАЛЬЦА // Глобальный научный потенциал. 2015. № 10 (55). С. 43-47.**
4. **Минханов Р.Ф. Метод генерации синтетических папиллярных узоров на основе модели Шерлока и Монро // \*В печати\***

# АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

---

**Выступления на международных и всероссийских конференциях по результатам диссертационной работы (не менее трех). Указать полное название конференции, даты и место проведения.**

- 1. XI Международная научнопрактическая конференция «EurasiaScience» (Москва, 31 октября 2017 г.)**
- 2. XIV Международная научно-практическая конференция «WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS» (Пенза, 30 октября 2017 г.)**