

# **Разработка алгоритма создания изображения в технике стринг-арта**

Студент: Лучина Елена Даниловна (ИУ7-81Б)  
Руководитель: Романова Татьяна Николаевна

# Актуальность

Стринг-арт (string art) — вид искусства, который заключается в рисовании нитями по определенной схеме (натягивании их на гвоздики, вбитые в твердую поверхность). Оно же струнное искусство, изонить, нитяная графика.

- как медитативное хобби
- имеет педагогический эффект
- украшают помещения
- проводят выставки
- продают свои готовые работы, а также заготовки и схемы

Классификация работ стринг-арта по признаку используемых технологий. В данной работе будет рассмотрен только первый вид.



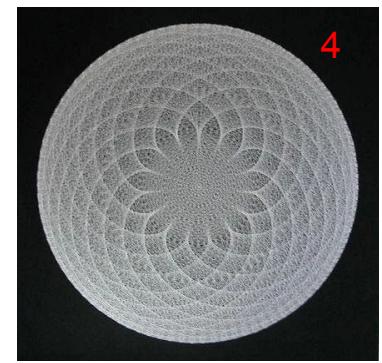
1



2



3



4

# Цель и задачи работы

**Практическая значимость** — повышение эффективности труда художников стринг-арта. Создание картины выбранного вида невозможно без компьютерного расчета схемы. Подбор параметров для удовлетворительного результата - долгий, трудоемкий процесс. Программный продукт должен предусматривать возможность ввода различных параметров и предоставлять качественные и количественные оценки результата.

**Цель** — разработать алгоритм генерации схемы для плетения картины стринг-арта, реализовать его и отладить созданную программу.

**Задачи**, решаемые в ходе работы:

1. Провести аналитическое исследование предметной области и обзор существующих методов
2. Разработать алгоритм автоматической генерации схемы для создания стринг-арта
3. Реализовать разработанный алгоритм
4. Подготовить тестовые данные для отладки и численных экспериментов, провести тестирование программного продукта
5. Оценить качество получаемых результатов. Проанализировать влияние входных параметров на результат

# Анализ предметной области

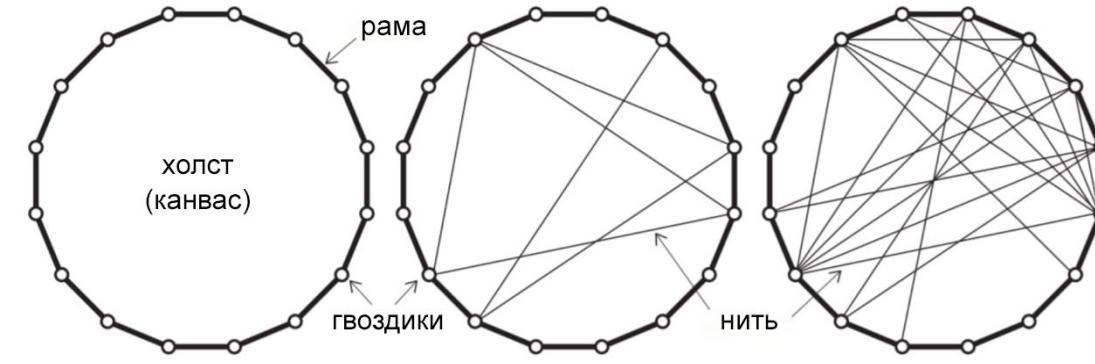


Схема плетения генерируется с помощью компьютерных вычислений из входного цифрового изображения. На качество картины и количество вычислений влияют размер холста, тип нити, количество гвоздиков.

Совместно с толщиной нити радиус холста определяет разрешение, дискретность изображения. Цвет, прозрачность и пушистость нити влияют на цветовую палитру. От количества гвоздиков зависит геометрический рисунок.

# Обзор существующих методов

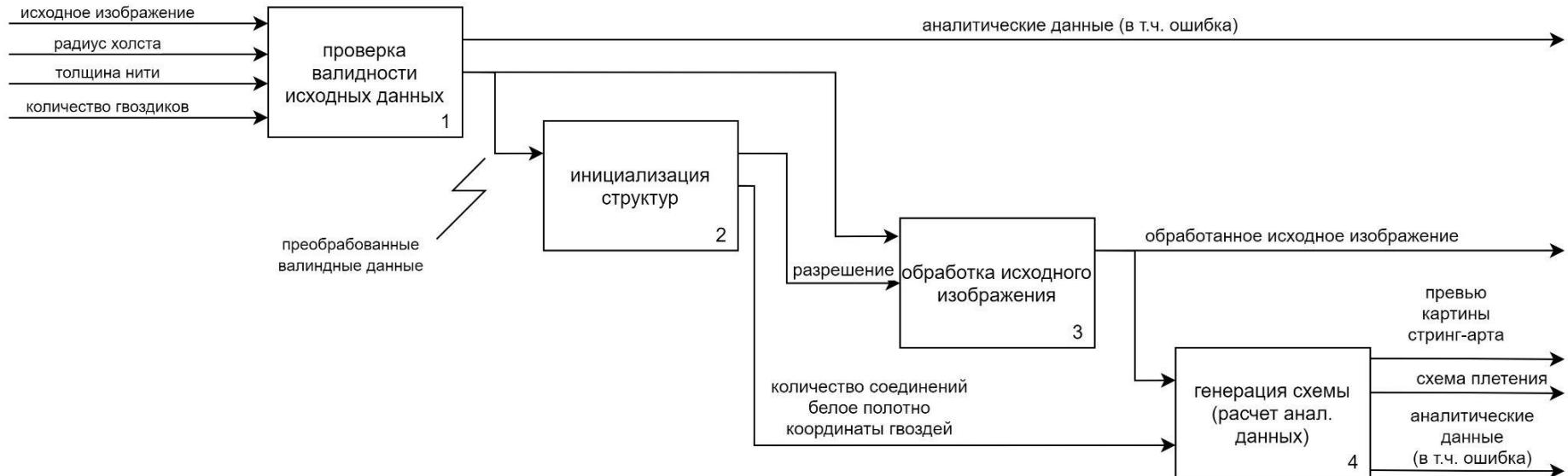
Авторы	Доступность кода	Удалось запустить	Документация	Качество изображения (визуальная оценка приложенных изображений)
Петрос Врелис	-	-	Личная веб-страница и интервью.	хорошее
Ани и Андрей Абакумовы	-	-	Инстаграм аккаунт с результатами и процессом, интервью.	хорошее
Бартон с youtube	+ (matlab + python)	-	Видео об автоматическом плетении. Документации и пояснений к коду нет.	хорошее
Рафаэль с hackaday	+ (исполняемые exe файлы)	+	Комментарии к статье.	Хорошее при подобранных параметрах
Шлонкин с hackaday	+ (processing + arduino)	-	Описывающая скорее интерфейс и результат статья. Документации нет.	Сгенерированное изображение хорошее, но реальная картина плохого качества
Веб реализация с github	+ (html, css, js)	+	Описание метода и алгоритма нет.	Хорошее при подобранных параметрах

# Постановка задачи



Задача, решаемая алгоритмом, - нахождение такого способа соединения гвоздей, который бы минимизировал отличие полученной картины от исходного изображения (так называемую ошибку). Результат плетения можно представить компьютерно как пиксельное изображение проведенных соединений методами отрисовки отрезков. Этот факт позволяет сравнивать исходное и полученное на выходе изображения как разницу интенсивностей пикселей.

# Функциональная модель программы



# Проверка валидности, инициализация структур

$$R > 0; \quad t > 0; \quad R \gg t; \quad m > 1;$$

$$0 < skip < m/2$$

$$Z = 2 \times R / t$$

$$N = m \times (m - 1 - 2 \times (skip - 1)) / 2$$

*pins[m][2]* - координаты гвоздей

*result[Z][Z]* - результат отрисовки соединений

*result[i][j] = 255* - инициализируется белым

$$c = \sqrt{2R^2 - 2R^2 * \cos(a)} = R\sqrt{2 - 2\cos(a)}$$

*R* - радиус холста (см)

*t* - толщина нити (см)

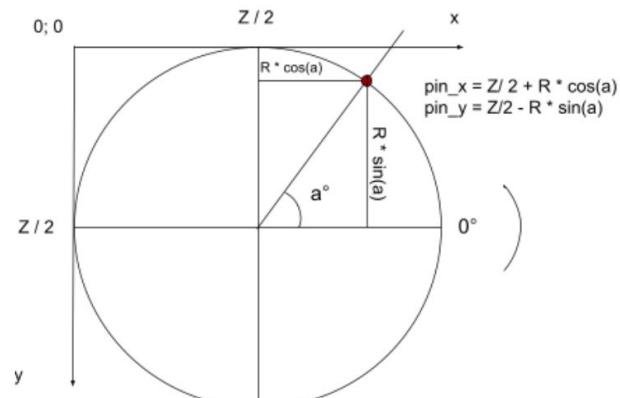
*m* - количество гвоздей (шт)

*Z* - разрешение изображения (пиксели)

*N* - количество всех возможных соединений (шт)

*c* - расстояние между гвоздями (см)

*skip* - количество пропущенных гвоздей в минимальном соединении (по умолчанию = 1) (шт)

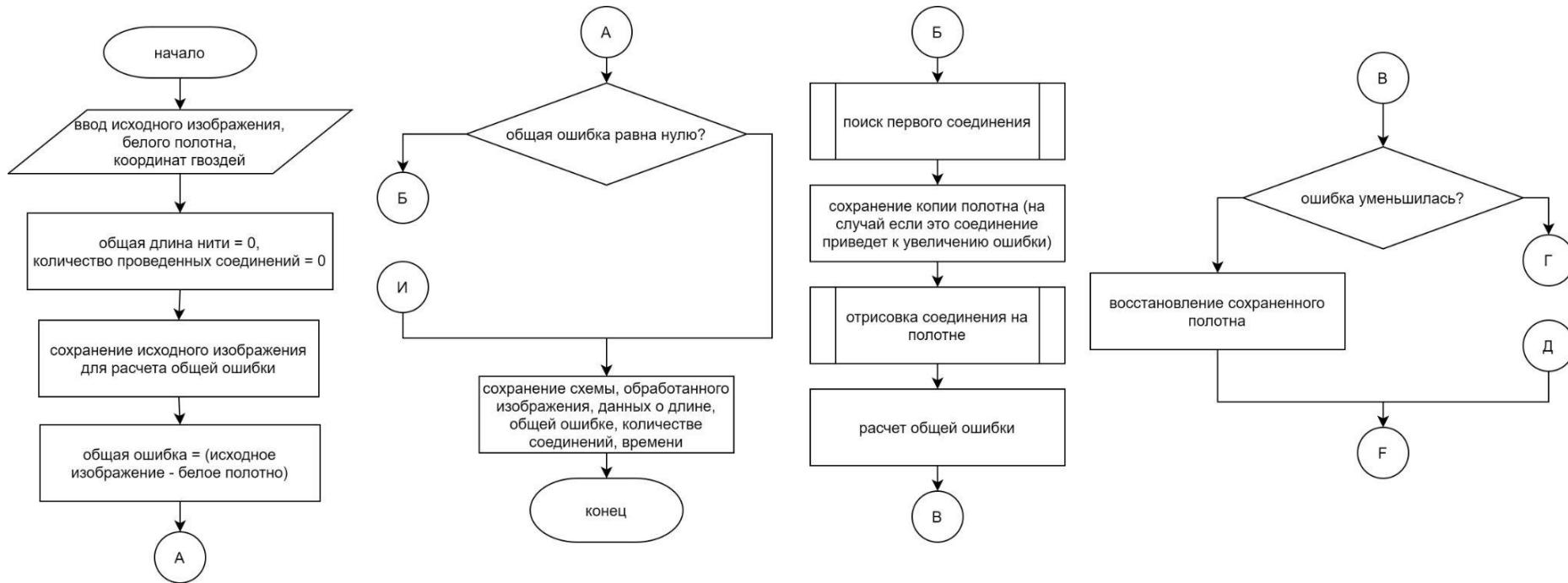


# Обработка входного изображения

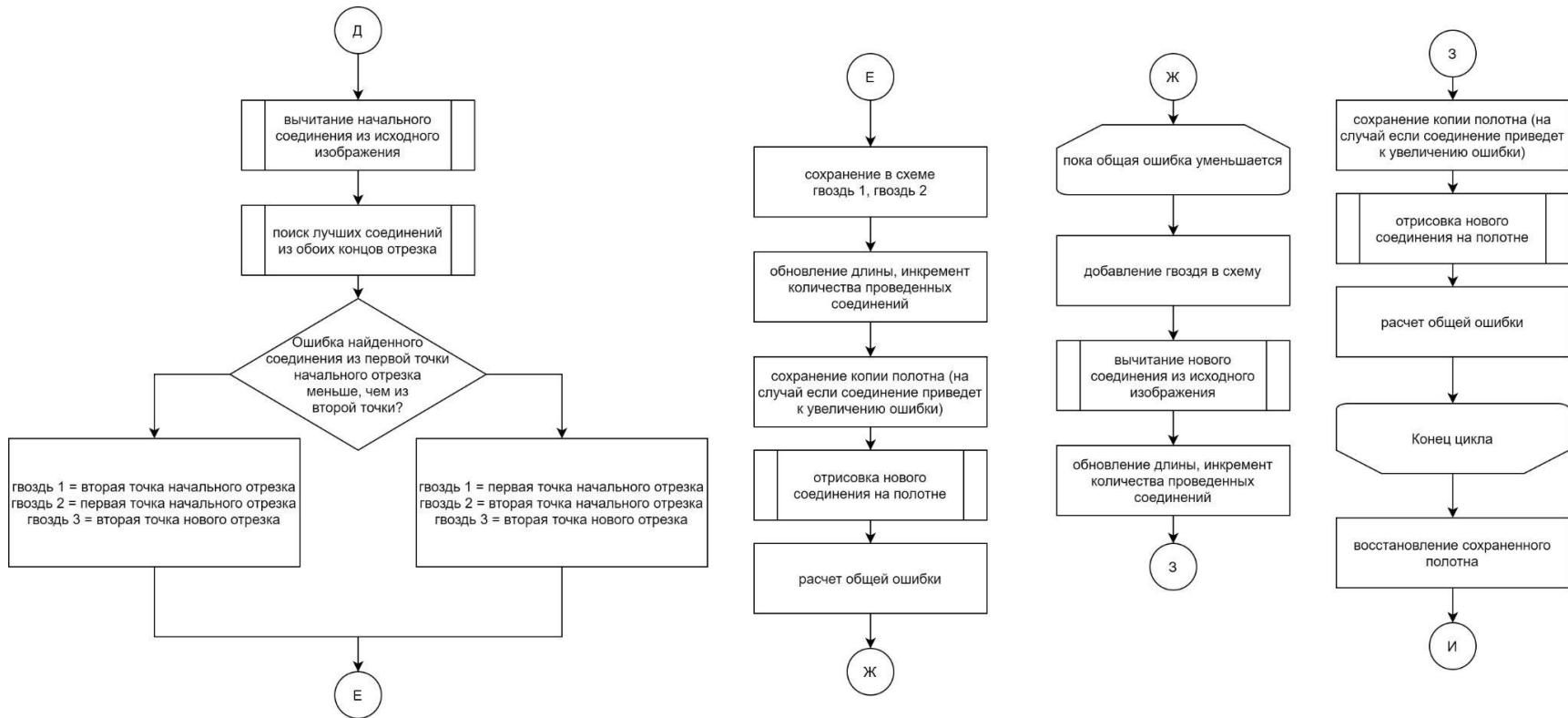
1. Обрезание изображения по форме квадрата, а далее по форме круга. Центром выбирается центр заданного изображения, а стороной или диаметром - меньшая из сторон входного изображения.
2. Изменение разрешение фотографии до разрешения картины стринг-арта  $Z$ , которое обусловлено физическими параметрами.
3. Перевод в градации серого.
4. Представление в виде двумерного массива  $\text{img}[Z][Z]$ , где элемент обозначает интенсивность высвечивания пикселя.



# Алгоритм генерации схемы плетения



# Алгоритм генерации схемы плетения



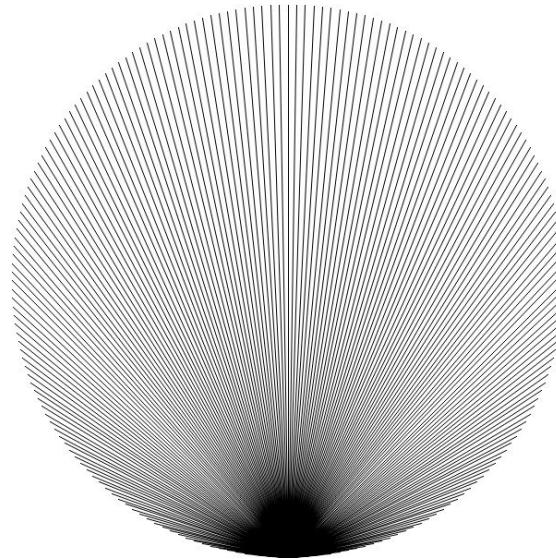
# Методы отрисовки и поиска ошибки

Алгоритм Ву [14] используется для отрисовки выбранных соединений. Имеет 256 уровней интенсивности - является сглаживающим. Представляет реальную нить. При отрисовке из интенсивности пикселей холста вычитаются значения интенсивностей пикселей проводимого соединения. Соединение как бы перекрывает фоновый задний свет, затемняя участок изображения.



Общая ошибка рассчитывается после такой отрисовки по формуле

$$whole\_error = \sum_i^Z \sum_j^Z |img[i][j] - res[i][j]| / Z^2$$



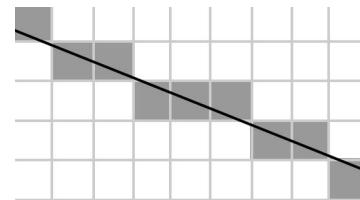
# Методы отрисовки и поиска ошибки

Для поиска следующего соединения из возможных используется не сглаживающий целочисленный алгоритм Брезенхема разложения отрезка в растр [14]. Его преимущество в скорости. Два уровня интенсивности достаточно, чтобы определить, какое из соединений лучше. Отрисовка происходит путем высвечивания белым пикселей под отрезком. Это обеспечивает бинарность соединений - попытка проведения соединения повторно дает максимальную ошибку = 255.

Ошибка соединения вычисляется по формуле

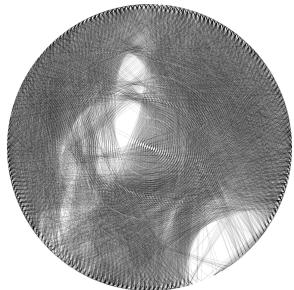
$$conn\_error = \sum_k^{pixel\_count} img[i][j] / pixel\_count$$

Где  $img[i][j]$  - пиксель исходного изображения под отрезком  
 $pixel\_count$  - количество высвеченных пикселей



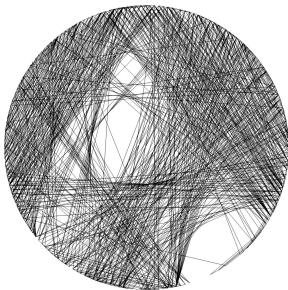
# Влияние основных параметров на результат

Варьирование  
толщины нити



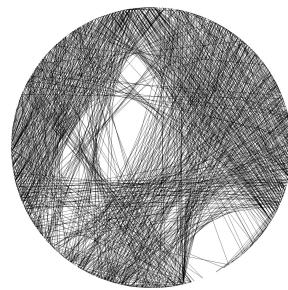
$t = 0.01, R = 30, m = 200$

Варьирование  
радиуса холста



$t = 0.1, R = 50, m = 200$

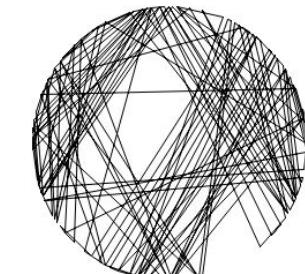
Варьирование  
количество гвоздей



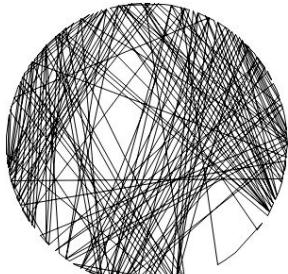
$t = 0.05, R = 30, m = 300$



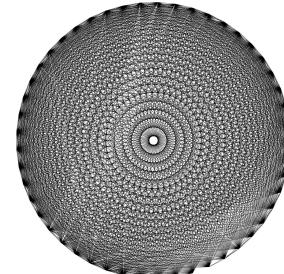
Исходное изображение



$t = 0.25, R = 30, m = 200$

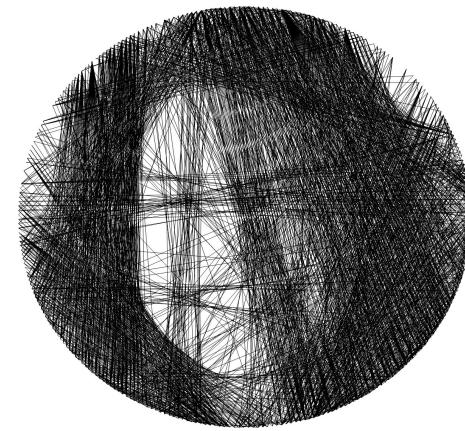


$t = 0.1, R = 15, m = 200$



$t = 0.05, R = 30, m = 50$

# Пример работы



Радиус холста - 30 см, количество гвоздей - 300, толщина нити - 0.05. Параметр минимальной хорды для ускорения генерации выбран равным 15. Разрешение получается 1200x1200 пикселей. Сделано было 1550 соединений из 40650 возможных. Для плетения этой картины потребуется 672.7 метров нити одноцветной непрозрачной нити. Общая ошибка полученного изображения равно 56.5808 (77.8% точности). Генерация, логирование и отрисовка заняли 8.9 минут.

# Заключение

Решены все поставленные задачи. Получены следующие результаты:

- Разработан алгоритм генерации схемы.
- Построен программный продукт, позволяющий по входному изображению получить схему плетения картины.
- Определены наиболее существенные и понятные пользователю параметры, и в рамках тестирования исследовано их влияние на итоговую картину стринг-арта. Приведены наиболее удачные их сочетания.
- Созданные программные средства повышают надежность, позволяют сократить время непрерывной работы, сохраняя промежуточные результаты.
- Программа сохраняет превью картины стринг-арта высокого качества, позволяет качественно и количественно оценить полученное изображение.

Перспективы развития:

- Разработка автоматического плетения
- Адаптация алгоритма для цветного плетения