Целью данной работы являлась разработка технологии автоматизации живописного процесса и элементов математического, программного обеспечения системы машинной живописи. Система предназначена для нанесения изображения на основу с помощью художественных красок и кистей, имитируя как способ, так и результат работы человека-живописца. Она может использоваться при изготовлении картин и их репродукций, при декоративном оформлении технических объектов, предметов быта, и т.д.

Процесс автоматизации живописи можно разделить на две независимые задачи:

1. Разработка программного обеспечения для управления роботом-манипулятором с целью нанесения изображения на поверхность кистью, мастихином или другим аппликатором.

2. Разработка автоматической палитры – программно-аппаратного комплекса смешения малых объемов красок перед непосредственным нанесением на холст.

Первая задача требует преобразования фотографии в карту мазков, а затем – в движения робота-манипулятора; существующие подходы позволяют решать ее на требуемом уровне.

Предлагаемый в данной работе эвристический алгоритм также основан на принципах классической живописи. Идея, лежащая в его основе – разбиение изображения на небольшие однородные области и отождествление этих областей с мазками.

Алгоритм состоит из четырех ключевых этапов:

* Фильтрация;
* Кластеризация;
* Сегментация;
* Аппроксимация и векторизация.

На этапе фильтрации осуществляется подготовка изображения к последующей обработке с помощью медианного фильтра. Медианный фильтр убирает из исходного изображения высокочастотные шумы, которые негативно сказываются на результатах дальнейших этапов.

На этапе кластеризации изображения разбивается на однородные по цвету кластеры. Кластеризация цветов основана на алгоритме k-means, минимизирующем суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров. Идея алгоритма заключается в том, что на каждой итерации находится центр масс каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем исходные данные вновь разбиваются на кластеры в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на очередной итерации изменения центра масс кластеров не происходит.

На этапе сегментации выполняется контурная сегментация кластеризованного изображения. Для этого ищутся контуры сегментов с дальнейшей рекурсивной закраской сегмента. Этот подход дает возможность искать вложенные сегменты. Для того чтобы избежать «зацикливания» алгоритма, приоритетным направлением поиска следующей точки контура является направление по часовой стрелке, как показано на рис. 1(а). При этом новое направление поиска выбирается в зависимости от предыдущего направления вектора в соответствии с диаграммой приоритетов, представленной на рис. 1(б). Еще одной особенностью алгоритма является возможность возврата поиска на предыдущий шаг в случае, если из текущей точки нет ни одного продуктивного шага. Алгоритм завершается, когда поиск приходит в начальную точку.

На этапе аппроксимации и векторизации осуществляется преобразование сегментов изображения в карту колористических примитивов (мазков). Шаги этого этапа иллюстрируются рис. 1 (в). На первом шаге находится центр масс *m* мазка. Затем определяется *L* – наибольшее расстояние между центром масс и всеми точками контура, и принимается за половину длины мазка. За ширину *H* мазка принимается максимальное расстояние между точками контура, лежащими перпендикулярно отрезку, соединяющему центр масс с самой дальней точкой. После этого определяется угол наклона мазка. Для этого находится среднее арифметическое углов всех элементарных векторов, составляющих контур сегмента. Углы находятся с помощью вычисления арктангенсов. Чтобы повернуть мазок, используется формула поворота относительно центра масс:



Результатом работы алгоритма является векторная карта мазков. На рис. 2 демонстрируется результат работы алгоритма. На рис. 2 слева представлены исходные изображения, справа – разбитые на мазки в соответствии с разработанным алгоритмом.

Тесты алгоритма показывают высокую точность воспроизведения исходного изображения с помощью колористических примитивов. Недостаток алгоритма – неточное воспроизведение контуров изображения, связанное с их зашумлением фрагментами прямоугольных мазков.

При струйной печати точки, расположенные близко друг к другу, сливаются, и создаётся ощущение, что цвета накладываются друг на друга. Глаз смешивает их и таким образом получает необходимый оттенок. При физическом смешивании краски такая реализация палитры нам не подходит, поэтому в системе машинной живописи исходный цвет целесообразно представить в цветовой модели HSV (Hue – оттенок, Saturation – насыщенность, Value – светлота), применяемой в дизайне и полиграфии.

Одна из полученных зависимостей, а именно зависимость чистого цвета от соотношения компонент {С, M, Y}, представлена на слайде. Видно, что вся ось по оттенку Hue покрыта непрерывно, что свидетельствует о потенциальной пригодности выбранных красок для использования без дополнительных пигментов. При смешивании красок физически зависимость результирующего цвета смеси от массовых долей сильно нелинейная и не имеет аналитической формы, поэтому используется не аналитические зависимости, а калибровочный массив точек и специальный алгоритм поиска компонент требуемого цвета на основе линейной интерполяции.

В ходе работы был создан алгоритм разбиения изображения на колористические примитивы и написана программа, реализующая данный алгоритм.

Разработаны алгоритмы смешения красок и калибровки автоматической палитры.

Собран экспериментальный стенд для отработки системы машинной живописи