

## МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ХАФА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ШТРИХОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Д. М. Талапина

*Белорусский государственный технологический университет,  
ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Беларусь, taladarmi@mail.ru  
Научный руководитель: О. А. Новосельская, кандидат технических наук, доцент*

В работе представлена разработка алгоритма распознавания штриховых изображений, нацеленного на анализ, интерпретацию и классификацию штриховых изображений и графических примитивов. Разработанный алгоритм основывается на модифицированном алгоритме Хафа, адаптированном для распознавания штриховых и штрихпунктирных линий. В статье описаны основные этапы алгоритма, включая предварительную обработку изображений, определение и классификацию графических примитивов, а также методы постобработки.

**Ключевые слова:** распознавание изображений; штриховое изображение; графические примитивы; алгоритм Хафа; предварительная обработка изображений; постобработка изображений.

Разработка алгоритма распознавания штрихового изображения ставит своей целью создание эффективного инструмента, способного анализировать, интерпретировать и классифицировать графические примитивы на штриховых изображениях. На сегодняшний день существует множество методов распознавания штриховых изображений, но не все они применимы для задачи распознавания изображений на физических носителях. Это связано с тем, что изображения могут варьироваться по своим геометрическим и яркостным характеристикам, а также могут подвергаться нетривиальным деформациям носителя, что затрудняет их классификацию.

Целью данной работы является разработка координат алгоритма, позволяющего проводить анализ изображения с целью нахождения и классификации графических примитивов и осуществлении сбора информации о характеристиках графических примитивов (ширина, длина, тип линии и т.д.) для последующего декодирования.

Под графическим примитивом понимается простейший геометрический объект, отображаемый на экране дисплея. Описание графического примитива обычно содержит метрическую и атрибутивную части. Метрическая часть позволяет сопоставить те величины, в которых задан графический примитив для отображения его на дисплее и те величины, которые характеризуют его физическое или логическое представление. Атрибутивная часть передает геометрические параметры, характеризующие форму и расположение графического примитива.

Точка – наиболее простой графический примитив нулевой размерности. Точка определяется своими координатами на плоскости. Линия – совокупность точек, через которые проходит геометрический отрезок с заданными конечными точками. Характеризуется начальной и конечной точками, или начальной точкой и приращениями координат, или длиной и углом наклона. В зависимости от стиля различают: Сплошная линия – непрерывная линия, которая соединяет две точки без разрывов. Пунктирная линия – линия, состоящая из коротких отрезков или точек с промежутками между ними.

В распознавании штрихового изображения можно выделить два этапа: идентификация контуров (границ) распознаваемого изображения и распознавание элементов самого изображения, состоящего из примитивов, описанных ранее. Контур в контексте обработки изображений представляет собой кривую линию, обозначающую границу между объектами или областями различных свойств на изображении. Контур отображает переходы интенсивности

пикселей и позволяет выделить форму и структуру объектов. Контурные представлены ключевыми позициями, между которыми положение точек, принадлежащих контуру вычисляются интерполированием.

Одним из основных подходов к обнаружению контуров является использование операторов градиентов, таких как оператор Собеля или оператор Превитта [1]. Они позволяют выделить разности яркости в изображении и определить места наибольших изменений интенсивности, что указывает на границы объектов. Для идентификации примитивов можно использовать метод, основанный на геометрических характеристиках объекта. Суть метода заключается в выделении набора ключевых точек (или областей) объекта с последующим выделением набора признаков. Каждый признак является либо расстоянием между ключевыми точками, либо отношением таких расстояний. Данный метод предъявляет строгие требования к условиям съёмки, нуждается в надёжном механизме нахождения ключевых точек для общего случая.

Алгоритм Хафа – это популярный метод обнаружения простых геометрических форм, таких как прямые, окружности, эллипсы и т.д., на изображениях. Основная идея алгоритма заключается в преобразовании из координатного пространства изображения в параметрическое пространство, в котором каждая геометрическая форма представляется точкой или кривой [2].

Далее будут рассмотрены этапы алгоритма Хафа для обнаружения прямых линий. Предварительная обработка изображения: первым шагом является преобразование исходного изображения в градации серого. Вторым шагом примется пороговый фильтр для сглаживания изображения и уменьшения шума, для этого могут использоваться различные варианты фильтрации и обнаружения границ объектов на изображении. Свертка с использованием оператора градиента облегчит распознавание как контуров, так и графических примитивов. Свертка с маской (фильтры Собеля, Превитта) применяет операторы градиента к изображению для выделения краев путем вычисления приближенного градиента яркости изображения. Выявляет направление наибольшего изменения интенсивности и выделяет края, но чувствителен к шуму и имеют невысокий порог распознавания при малой разнице яркостей [3].

Следующим этапом алгоритма является инициализация пространства Хафа: для каждой точки границы на изображении рассматриваются все возможные прямые линии, проходящие через эту точку. В случае прямых линий используется параметрическое представление линии. Для каждой такой линии в пространстве параметров инкрементируется соответствующая ячейка. После заполнения пространства Хафа, пики в этом пространстве соответствуют прямым линиям на изображении. Таким образом, выбираются ячейки с наибольшим количеством голосов (инкрементов), и соответствующие им параметры используются для построения линии на исходном изображении.

Стандартный алгоритм Хафа не определяет штриховые и штрихпунктирные линии, поэтому адаптация алгоритма может содержать следующие шаги и особенности адаптации базового алгоритма. Усиленный шаг предварительной обработки: перед применением алгоритма Хафа требуется более сложная предварительная обработка, чтобы выделить штриховые и штрихпунктирные линии, особенно если они нерегулярны или имеют переменные интервалы.

Модификация алгоритма для учета разрывов в штриховых и штрихпунктирных линиях: традиционный алгоритм Хафа не обнаруживает линии, состоящие из отдельных сегментов, так как разрывы между сегментами приводят к тому, что голоса в пространстве Хафа распределяются менее плотно. Алгоритм для штриховых и штрихпунктирных линий адаптируется алгоритмом для учёта разрывов, например, путём введения дополнительных шагов, которые идентифицируют и соединяют разрозненные сегменты линий воедино (дополнительная переменная отвечающая за порог, связанный с длиной промежутка между отрезками).

Анализ паттернов голосования: для детектирования штрихпунктирных линий требуется анализ не только пиков в пространстве Хафа, но и характерные паттерны голосования, соответствующие периодическим прерываниям в линиях.

Постобработка: после применения алгоритма Хафа для определения штриховых и штрихпунктирных линий потребуется дополнительная постобработка для соединения отдельных сегментов в единую линию, а также для удаления ложных срабатываний. Для типизации штриховых и штрихпунктирных линий необходимо определить длины штрихов и интервалов, учитывая вариабельность форм штриховых и штрихпунктирных линий. Рассмотрим результат работы улучшенного алгоритма на примере исходного штрихового изображения (рис. 1).



*Рис. 1.* Исходное изображение

Для наглядности работы алгоритма все распознанные линии дублируются контрастной сплошной линией с прозрачностью поверх исходного изображения (рис. 2). Улучшенный алгоритм работает как с черно-белыми, так и цветными изображениями, а также линиями различной толщины и стиля начертания.



*Рис. 2.* Линии, распознанные улучшенным алгоритмом Хафа

В данной работе исследованы и предложены шаги адаптации существующего базового алгоритма для эффективного обнаружения контура распознаваемого изображения и графических примитивов, составляющих изображение. Путем модификаций классического алгоритма Хафа предложенный вариант алгоритма распознает не только сплошные, но и штриховых, а также штрихпунктирные линии.

#### **Библиографические ссылки**

1. Doermann D. Document Analysis Systems: Theory and Practice / Liang Cheng. New York : World Scientific Publishing Co. Inc., 2016. 400 с.
2. Doermann D. Handbook of Document Image Processing and Recognition / Naforita Florica. New York : Springer, 2014. 666 с.
3. Sonka M., Hlavac V., Boyle R. Image processing, analysis, and machine vision. New York : Cengage Learning, 2014. 520 с.