

2. Афанасьев А.П., Евтушенко Ю.Г., Посыпкин М.А. Грид-системы из персональных компьютеров как резерв вычислительной мощности для решения оптимизационных и комбинаторных задач большой размерности. URL: http://2014.nscf.ru/TesisAll/0_NSCF_Plenar/13_156_PosypkinMA.pdf (дата обращения: 25.02.2016).
3. World Community Grid: сеть распределенных вычислений. URL: <http://habrahabr.ru/company/ibm/blog/156687/> (дата обращения: 25.02.2016).
4. World Community Grid. URL: <http://www.worldcommunitygrid.org/> (дата обращения: 25.02.2016).
5. Андреев А.Л, Посыпкин М.А., Заикин О.С. Гонку за терафлопсами пора заканчивать. URL: <http://trv-science.ru/2015/02/10/gonku-za-teraflopsami-pora-zakanchivat/> (дата обращения: 25.02.2016).
6. Афанасьев А.П., Бычков И.В., Заикин О.С., Манзюк М.О., Посыпкин М.А., Семенов А.А. Концепция многозадачной грид-системы с гибким распределением свободных вычислительных ресурсов суперкомпьютеров. URL: http://2014.nscf.ru/TesisAll/0_NSCF_Plenar/12_189_BichkovIV.pdf (дата обращения: 25.02.2016).
7. Мищенко П.В., Губарев В.В. Распределенная вычислительная система для подготовки специалистов в области высокопроизводительных вычислений. URL: http://2014.nscf.ru/TesisAll/5_Gridi_iz_rabochix_stanciy_i_kombinirovannie_gridi/04_185_MisheikoPV.pdf (дата обращения: 25.02.2016).

ВЕКТОРИЗАЦИЯ РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАФА

Л.В. Стенура., А.Ю.Дёмин

*Научный руководитель: А.Ю. Дёмин, к.т.н., доцент кафедры ИПС ИК ТПУ
(г. Томск, Томский политехнический университет)
e-mail:blueberry7251@gmail.com*

This article describes Hough algorithms for detecting lines and circles in pictures and gives basic definitions of such area. There is a detailed overview of the algorithm

Keywords: vectorization of image, Hough transform, Hough space, recognition of lines, recognition of circumferences.

Под векторизацией изображения понимается процесс преобразования из растрового вида информации в векторную модель представления. Векторное представление, в данном случае предполагается набор кривых – векторов и совокупность различных набора кривых, которые однозначно описывают изображение.

На преобразовании Хафа, которое было разработано в 1962 году, основываются множество методов распознавания объектов на растре. Важнейшими плюсами данного метода являются простота и наглядность. Распознавание сложных или простых геометрических объектов, таких как прямые, эллипсы, круги и прочее, на изображении – наиболее распространенная задача векторизации. Например, поиск прямолинейных сегментов изображений может использоваться в задаче навигации робота в незнакомой окружающей среде на основе видеоинформации от молекулярного источника. Также идентификация геометрических объектов может использоваться для решения задач распознавания рукописных символов или выделения границ металлических проводников на изображениях слоев цифровых интегральных микросхем и их технологических шаблонов[2].

Данный метод основывается на выделения на изображении группы точек, которые образуют различные геометрические фигуры, такие как прямые, окружности и прочее, и нахождение параметров этих объектов. Кроме этого, преобразование Хафа дает возможность указать необходимые параметры кривых и обеспечивает поиск данных кривых одного семейства.

Традиционный алгоритм преобразования Хафа работает с распознаванием прямых, кругов, эллипсов, а позднее, и произвольных фигур на изображении[1].

Применение метода Хафа для поиска линий.

Прямая на плоскости описывается уравнением прямой $y = kx + b$ и может быть задана парой несовпадающих точек. Здесь важно учесть параметры прямой не в качестве точек раstra, а в классификации ее параметров. Это значит, найти k – коэффициент наклона и точку пересечения прямой с осью ординат – b . Исходя из данного факта, прямая может быть представлена в виде точки с координатами точки пересечения прямой с осью ординат и коэффициентом наклона. Но тогда возникает трудность в описании вертикальных прямых, так как для них параметры b и k бесконечны. Следовательно, прямую целесообразно представить с помощью иных параметров задания прямой ρ и θ . Параметр ρ – длина перпендикуляра, опущенного из начала координат на прямую, а θ – угол между осью абсцисс и данным перпендикуляром.

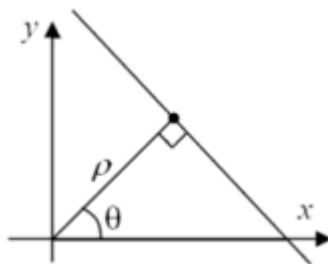


Рис. 1. Задание прямой на плоскости параметрами ρ и θ

Плоскость ρ и θ иногда называют пространством Хафа для набора прямых в двумерном случае или фазовым пространством [1].

Через одну точку декартовой плоскости можно провести бесконечно много прямых. Если на изображении точка имеет координаты (x_0, y_0) , то прямые, которые проходят через данную точку описываются уравнением: $\rho(\theta) = x_0 * \cos \theta + y_0 * \sin \theta$. Что отвечает параметрам синусоидальной кривой в пространстве. Кроме этого, каждой точке данного пространства отвечает набор точек на растре, который образует прямую.

Если синусоиды, которые отвечают двум точкам данной плоскости, наложить друг на друга, то в пространстве Хафа точка их пересечения соответствует параметрам прямой, которая проходит через две эти точки. Поэтому, ряд точек, формирующие прямую линию, определяют синусоиды, которые пересекаются в точке параметров (ρ_0, θ_0) для данной линии.

Каждой точке (ρ_0, θ_0) пространства (ρ, θ) можно сопоставить счетчик, который соответствует количеству лежащих на прямой точек (x, y) . Уравнение данной прямой имеет вид: $\rho_0 = x * \cos \theta_0 + y * \sin \theta_0$.

Таким образом, из-за дискретности изображения, каждой прямой будет соответствовать не одна точка, а семейство точек. Вследствие этого, необходимо будет выбрать на изображении, самые «жирные пятна» и для этих центров произвести преобразование в полярные координаты, получив тем самым характеристики данной прямой.

Применение метода Хафа для поиска окружностей.

Точки окружности можно представить формулой: $(x - a)^2 + (y - b)^2 = R^2$, где (a, b) – координаты центра окружности, R – радиус окружности.

Для того чтобы однозначно задать окружность необходимо три параметра – радиус окружности и координаты центра. Проблема данного алгоритма упрощается, если радиус искомой окружности известен. Следовательно, задача становится тривиальной, так как необходимо находить только координаты центров окружностей.

Образованию радиуса вокруг точки способствует набор всевозможных центров окружностей радиуса R , которые проходят через каждую конкретную точку. Наиболее выгодное решение относительно положения центра «наиболее вероятной» присутствующей в конкретном точечном множестве окружности соответствует точке пересечения максимального числа голосующих окружностей[3].

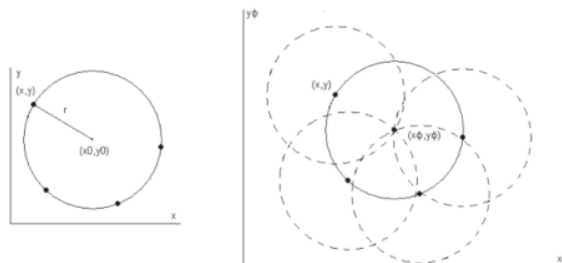


Рис. 2. Распознавание окружностей методом Хафа

Следовательно, данный алгоритм сводится к «рисованию» в пространстве окружностей с центрами во всех непустых точках и последующему поиску локальных максимумов пространства Хафа. Так же могут использоваться другие алгоритмы анализа пространства характеристик, например, поэтапный исключающий поиск глобального максимума аккумуляторной функции [2].

Важно понимать, что преобразование Хафа обнаруживает прямые, а не отрезки. На практике необходимо отслеживать концы отрезков по пикселям растра. Возможно существование двух отрезков, лежащих на одной прямой. Векторизация при помощи преобразования Хафа состоит из следующих шагов:

- 1) обнаружение прямых на растре.
- 2) обнаружение отрезков на найденных прямых.
- 3) «сшивание» отрезков в ломаные.
- 4) оценивание толщины линий.

В целом можно заметить, что алгоритмы, основанные на преобразовании Хафа просты в реализации и достаточно устойчивы к дефектам растра. С другой стороны, они имеют высокую трудоёмкость и ёмкостную сложность. Преобразование Хафа нельзя использовать для изображений, не раскладывающихся на ломаные, то есть для изображений с кривыми линиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анна Дегтярева, Владимир Вежневцев. Преобразование Хафа (Hough transform). Компьютерная графика и мультимедиа. Выпуск №1(1) / 2003ю [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/36>
2. Вершок Д.А. алгоритмические средства обработки и анализа изображений на основе преобразования Хафа: Автореф. дис. канд. техн. Наук / БГУ информатики и радиоэлектроники. – минск, 2002. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://neuroface.narod.ru/files/vershok_autoref.pdf
3. Лидке М.Б. исследование и разработка метода распознавания кривых на плоскости. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/2012/iii/lidke/diss/index.htm>
4. Джесси Рассел, Рональд Кохн. Преобразование Хафа. Пер. с англ. М.:VSD, 2013. 60 с.