

主要内容：

1、Hough变换的算法思想

2、直线检测

3、圆、椭圆检测

4、程序实现

一、Hough变换简介

Hough变换是图像处理中从图像中识别几何形状的基本方法之一。Hough变换的基本原理在于利用点与线的对偶性，将原始图像空间的给定的曲线通过曲线表达形式变为参数空间的一个点。这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转化为寻找参数空间中的峰值问题。也即把检测整体特性转化为检测局部特性。比如直线、椭圆、圆、弧线等。

霍夫变换于1962年由Paul Hough 首次提出[53]，后于1972年由Richard Duda和Peter Hart推广使用[54]，经典霍夫变换用来检测图像中的直线，后来霍夫变换扩展到任意形状物体的识别，多为圆和椭圆。

1.1 直线检测

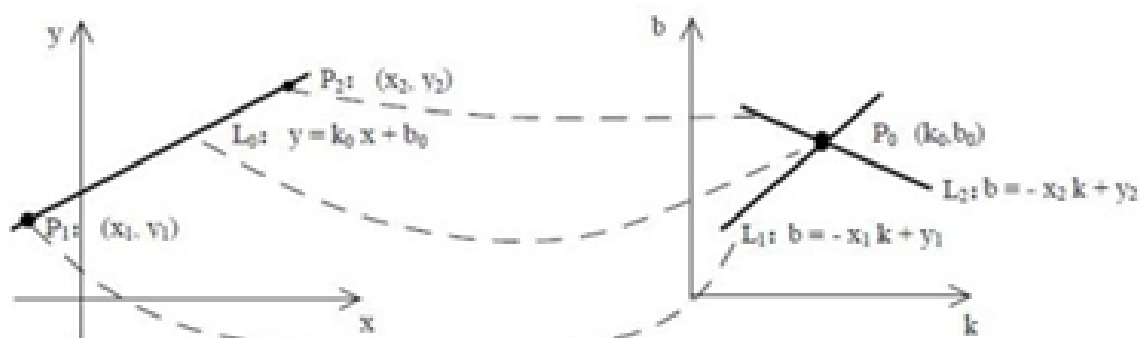


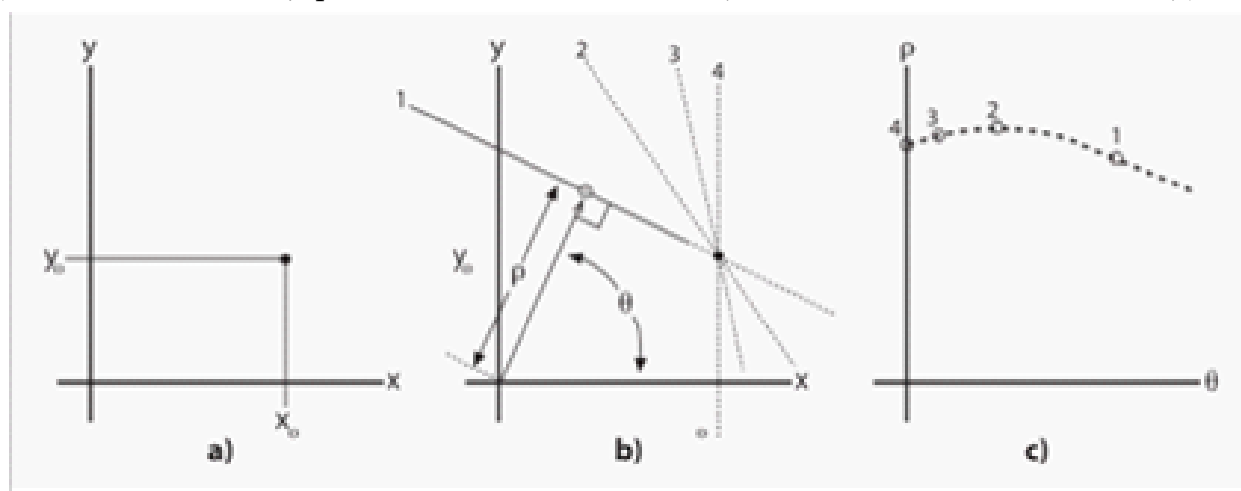
图1 点—线的对偶性

设已知一黑白图像上画了一条直线，要求出这条直线所在的位置。我们知道，直线的方程可以用 $y=k*x+b$ 来表示，其中 k 和 b 是参数，分别是斜率和截距。过某一点 (x_0, y_0) 的所有直线的参数都会满足方程 $y_0=kx_0+b$ 。即点 (x_0, y_0) 确定了一族直线。方程 $y_0=kx_0+b$ 在参数 k -- b 平面上是一条直线，（你也可以是方程 $b=-x_0*k+y_0$ 对应的直线）。这样，图像 x -- y 平面上的一个前景像素点就对应到参数平面上的的一条直线。我们举个例子说明解决前面那个问题的原理。设图像上的直线是

$y=x$ ，我们先取上面的三个点：A(0, 0)，B(1, 1)，C(2, 2)。可以求出，过A点的直线的参数要满足方程 $b=0$ ，过B点的直线的参数要满足方程 $1=k+b$ ，过C点的直线的参数要满足方程 $2=2k+b$ ，这三个方程就对应着参数平面上的三条直线，而这三条直线会相交于一点($k=1, b=0$)。同理，原图像上直线 $y=x$ 上的其它点(如(3, 3), (4, 4)等) 对应参数平面上的直线也会通过点($k=1, b=0$)。这个性质就为我们解决问题提供了方法，就是把图像平面上的点对应到参数平面上的线，最后通过统计特性来解决问题。假如图像平面上有两条直线，那么最终在参数平面上就会看到两个峰值点，依此类推。

简而言之，Hough变换思想为：在原始图像坐标系下的一个点对应了参数坐标系中的一条直线，同样参数坐标系的一条直线对应了原始坐标系下的一个点，然后，原始坐标系下呈现直线的所有点，它们的斜率和截距是相同的，所以它们在参数坐标系下对应于同一个点。这样在将原始坐标系下的各个点投影到参数坐标系下之后，看参数坐标系下有没有聚集点，这样的聚集点就对应了原始坐标系下的直线。

在实际应用中， $y=k*x+b$ 形式的直线方程没有办法表示 $x=c$ 形式的直线(这时候，直线的斜率为无穷大)。所以实际应用中，是采用参数方程 $p=x*\cos(\theta)+y*\sin(\theta)$ 。这样，图像平面上的一个点就对应到参数 $p-\theta$ 平面上的一条曲线上，其它的还是一样。



上图(a)所示为原始的图像空间中一个点；(b)所示为直角坐标系中为过同一四点的直线；(c)所示为这四条直线在极坐标参数空间可以表示为四个点

为了检测出直角坐标X-Y中由点所构成的直线，可以将极坐标 α - ρ 量化成许多小格。根据直角坐标中每个点的坐标 (x, y) ，在 $\alpha = 0-180^\circ$ 内以小格的步长计算各个 ρ 值，所得值落在某个小格内，便使该小格的累加计数器加1。当直角坐标中全部的点都变换后，对小格进行检验，计数值最大的小格，其 (α, ρ) 值对应于直角坐标中所求直线。

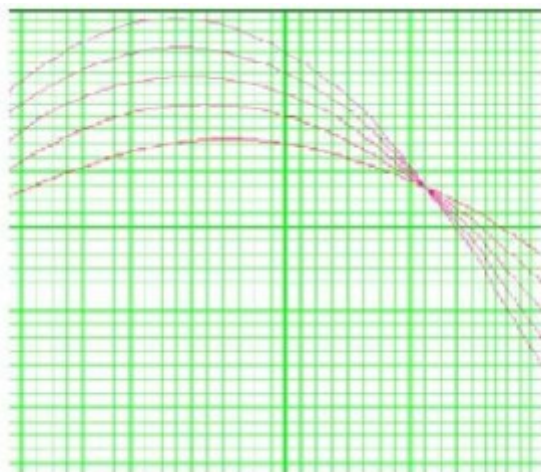


图2 直线 $y=x+20$ 上的5个点对应在极坐标 α - ρ 中的5条正弦曲线

思路解析：

- 1) 读取一幅带处理二值图像，最好背景为黑色；
- 2) 获取图像空间的源像素数据；
- 3) 通过量化霍夫参数空间为有限个值间隔等分或者累加格子，即 ρ, θ ；
- 4) 霍夫变换算法开始，每个像素坐标点 $P(x, y)$ 被转换到 (r, θ) 的曲线点上面，并累加到对应的格子数据点；
- 5) 寻找最大霍夫值，设置阈值，反变换到图像空间；

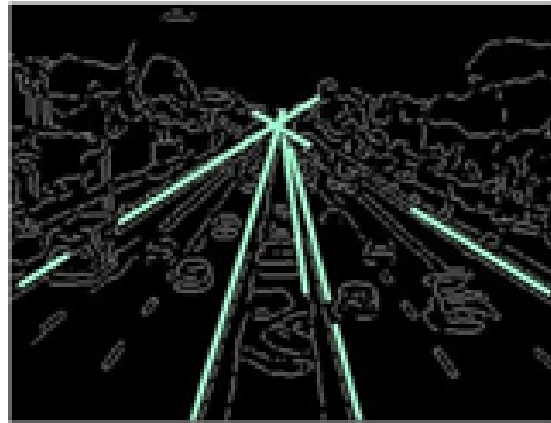
实际应用例子: 车道检测



(a) 原图像



(a) Canny 算子进行边缘检测结果



(b) Hough 变换检测直线

1.2 已知半径的圆

其实Hough变换可以检测任意的已知表达形式的曲线，关键是看其参数空间的选择，参数空间的选择可以根据它的表达形式而定。比如圆的表达形式为 $x^2 + y^2 = r^2$ ，所以当检测某一半径的圆的时候，可以选择与原图像空间同样的空间作为参数空间。那么圆图像空间中的一个圆对应了参数空间中的一个点，参数空间中的一个点对应了图像空间中的一个圆，圆图像空间中在同一个圆上的点，它们的参数相同即 a, b 相同，那么它们在参数空间中的对应的圆就会过同一个点 (a, b) ，所以，将原图像空间中的所有点变换到参数空间后，根据参数空间中点的聚集程度就可以判断出图像空间中有没有近似于圆的图形。如果有的话，这个参数就是圆的参数。

1.3 未知半径的圆

对于圆的半径未知的情况下，可以看作是有三个参数的圆的检测，中心和半径。这个时候原理仍然相同，只是参数空间的维数升高，计算量增大。图像空间中的任意一个点都对应了参数空间中的一

簇圆曲线。 ，其实是一个圆锥型。参数空间中的任意一个点对应了图像空间中的一个圆。

1.4 椭圆

椭圆有5个自由参数，所以它的参数空间是5维的，因此他的计算量非常大，所以提出了许多的改进算法。

二、程序实现

对于处理一般图像，需要对图像进行边缘检测和二值化处理, Hough变换的输入是黑白二值图像。

matlab:

<http://www.mathworks.cn/cn/help/images/ref/hough.html>

openCV:

<http://blog.csdn.net/ccxcau/article/details/7816588>

三、总结

图像空间中的在同一个圆，直线，椭圆上的点，每一个点都对应了参数空间中的一个图形，在图像空间中这些点都满足它们的方程这一个条件，所以这些点，每个投影后得到的图像都会经过这个参数空间中的点。也就是在参数空间中它们会相交于一点。所以，当参数空间中的这个相交点的越大的话，那么说明元图像空间中满足这个参数的图形越饱满。越象我们要检测的东西。

Hough变换能够查找任意的曲线，只要你给定它的方程。Hough变换在检验已知形状的目标方面具有受曲线间断影响小和不受图形旋转的影响的优点，即使目标有稍许缺损或污染也能被正确识别。

四、参考文献:

http://blog.csdn.net/icerain_3321/article/details/1665280

<http://blog.csdn.net/abcjennifer/article/details/7448513>

<http://blog.csdn.net/carson2005/article/details/6568414>

<http://blog.csdn.net/ccxcau/article/details/7816588>

<http://hi.baidu.com/tangsu2009/item/88475289bb40035a840fabda>