

Hough 变换在几何特征检测中的应用

赵书安^{1,2}, 冯少彤², 聂守平²

(1 宿迁学院 基础部, 江苏 宿迁 223800;

2 南京师范大学 物理科学与技术学院, 江苏 南京 210097)

[摘要] 介绍了 Hough 变换原理, 研究了 Hough 变换的点线对偶特性, 分析了应用 Hough 变换检测平行线段的角度及平行线段之间距离的原理, 提出了应用 Hough 变换检测三角形、菱形孔径及椭圆长短轴长度的方法. 计算机模拟检测结果表明, Hough 变换在由直线段组成的目标检测方面具有独特的性能, 它将检测目标从目标空间转换到参数空间, 避免了在目标空间检测时的目标分类、目标编码等复杂运算, 使得被测参数的测量变得简单易行. 这一研究结果可广泛应用于纤维、孔径等自动测量中.

[关键词] 模式识别, Hough 变换, 几何特征检测, 计算机模拟

[中图分类号] TP391.41 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2006)04-0066-05

Application about the Hough Transform in Geometrical Property Measurement

ZHAO Shuan^{1,2}, FENG Shaotong², NIE Shouping²

(1. Department of Basic Science, Suqian College, Suqian 223800, China

2. School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China)

Abstract The paper introduces the principle of the Hough transformation and studies the point-line duality of the Hough transformation. It also analyzed the theory of detecting the angle and distance of parallel pieces and put forward a method to measure the aperture of triangle and diamond as well as the axial length of ellipse based on the Hough transformation. The computer simulation measurement results indicate that Hough transformation has peculiarity in detecting the target which is composed of the straight pieces, it can transform the detection target to the parameter space from the target space, and it will avoid the complex arithmetic on the target classification and encoding in object space detection, therefore it makes the parameter measurement become simpler and easier to solve. The findings can be widely applied to the automatic survey of fibre aperture and so on.

Key words model identification, Hough transform, geometrical property measurement, computer simulation

0 引言

模式识别是在一组目标中识别出特定的目标, 它包括目标分割、目标测量和目标分类几个部分, 整个过程可以在目标空间进行, 也可以将目标变换到其它空间进行. 若已知待检测目标的特征, 可以设计相应的滤波函数^[1], 利用电学或光学方法检测目标与滤波函数之间的相关强度, 从而判定目标是否为待检测的目标. 另外一种方法是设计相应的结构元素, 利用数学形态学^[2]的方法来检测. 在模式识别中常常先得到目标的边界, 然后根据边界的特性来判定目标. 而目标边界的数字图像实际上是由一系列的直线段或曲线组成的, 同时在一些几何孔径的自动测量中也涉及直线和曲线的检测, 对这些直线和曲线参数的测量有助于对目标的识别, 如果目标图像中, 只包含单个的直线或曲线, 可以通过曲线拟合的方法来进行. 若同时存在一组直线或曲线, 就涉及到相互之间的分割问题. 这里我们引入 Hough 变换^[3,4]的方法, 来实现直线和一些几何图形的测量, 使问题得以简化. Hough 变换最先是由 Pau Hough 在 1962 年提出的, 它所实现的

收稿日期: 2006-03-09

作者简介: 赵书安(1972-), 讲师, 硕士研究生, 主要从事光信息处理的学习与研究. E-mail: zsa168@sqc.edu.cn

是一种从图像空间到参数空间的映射关系. Hough 变换将图像空间中复杂的边缘特征信息映射为参数空间中的聚类检测问题. 因此, 这使 Hough 变换方法具有明了的几何解析性、一定的抗干扰能力和易于实现并行处理等优点. Hough 变换是从图像中识别几何形状的基本方法之一, 其主要优点就是检测几何形状的能力较少受到几何形状中断点的干扰, 而且不需要预先组合或连接边缘点, 可以广泛应用于纤维、孔径等自动检测中.

1 Hough 变换

假设目标空间用 $A(x, y)$ 表示, 在此空间的直线 $y = mx + b$ 可以用极坐标表示为:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (1)$$

其中 (ρ, θ) 定义了一个从原点到直线上最近点的向量, 这个向量与该直线垂直 (如图 1 所示).

从图 1 可知直线与 x 轴夹角 ϕ 和直线的法向量与 x 轴夹角 θ 两者之间的关系为

$$\phi = \begin{cases} \theta + 90^\circ, & \theta \leq 90^\circ \\ \theta - 90^\circ, & \theta > 90^\circ \end{cases} \quad (2)$$

由 (ρ, θ) 组成的空间称为 Hough 变换的参数空间, 用 $B(\rho, \theta)$ 表示. 对于目标空间 $A(x, y)$ 中任一点 (x, y) , 在 (1) 式中 θ 从 0° 到 180° 变化, 步长为 1° , 计算对应的 ρ 值, 建立的累加数组 $B(\rho, \theta)$ 就是目标图像的 Hough 变换图像. 设目标图像的高度和宽度分别为 H 和 W , 则 Hough 变换后图像的宽度为 180 像素, 高度近似为 $(W^2 + H^2)^{1/2}$ 像素. 若希望提高 Hough 变化的精度, θ 变化的步长可以设置为 0.5° , 则变换后图像宽度相应增加一倍.

可见 Hough 变换就是一个逐点计算逐次累加的过程, 很长时间以来影响 Hough 变换应用的因素是计算速度和存储容量, 但随着计算机性能的大幅提高和快速算法的出现, 这一问题已变得不再重要. 下面我们重点研究其变换特性及其应用.

1.1 点线对偶性

对于目标空间 $A(x, y)$ 中一个特定的点 (x_p, y_p) , 过该点可以作无数条直线, 每一条直线都对应了 $B(\rho, \theta)$ 空间的一个点, 这些点必须满足以 (x_p, y_p) 作为常量时的等式 (1), 因此在 $A(x, y)$ 空间中所有过 (x_p, y_p) 的直线在 $B(\rho, \theta)$ 空间对应的点的轨迹是一条正弦曲线, 这就是 Hough 变换的点线对偶性.

1.2 直线检测

图像空间中任一条直线有惟一的法向量, 即有确定的 (ρ, θ) , 因此在 $A(x, y)$ 平面上的任一条直线 Hough 变换后为 $B(\rho, \theta)$ 空间的一个点, 这样就将在图像空间中直线的检测转换成参数空间对应点的检测, 避免了在图像空间的直线拟合, 使问题得以简化. 如图 2(b) 所示, 为直线的 Hough 变换图像.

1.3 线段长度检测

线段的长度也就是线段上所包含的像素点的个数, 由于图像空间中的直线对应参数空间中的一点, 累加数组 $B(\rho, \theta)$ 的值就表示图像空间中该线段的像素个数, 根据这个原理可以通过检测参数空间中的最大灰度点, 来检测最长的线段.

1.4 平行线检测

对于一组相互平行的直线段, 其法向量与 x 轴夹角 θ 都相等 (如图 3 所示), 因此反映在参数空间中对应的点都位于角度为 θ 的方向上, 这样通过在参数空间检测特定角度的点, 就可以检测图像空间中相应的平行线段的角度的, 以及平行线段之间的距离 d , 即:

$$d = \rho_2 - \rho_1 \quad (3)$$

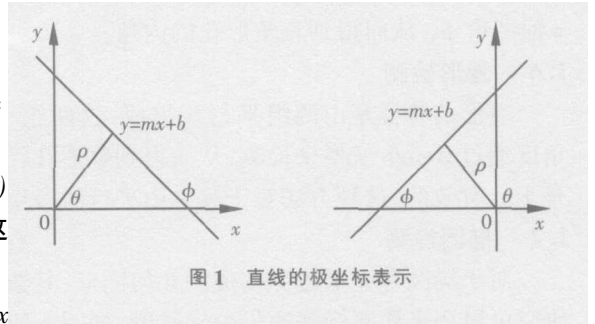


图 1 直线的极坐标表示

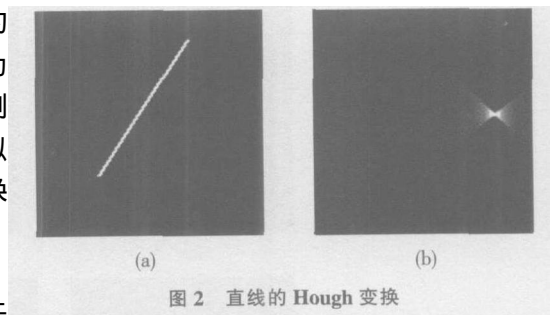


图 2 直线的 Hough 变换

1.5 三角形检测

对于由直线段构成的几何图形,直线的角度可以利用 Hough 变换来进行检测. 三角形由 3 条边组成, 其对应的参数空间 3 个中心点的横坐标分别表示三角形 3 条边的法向量与 x 轴夹角 θ 根据 (2) 式可以计算出 3 条边与 x 轴夹角 ϕ , 从而得到三角形孔的内角.

1.6 菱形检测

菱形的特征是由两组平行线组成, 这两组平行线的角度通过 Hough 变换来检测, 从而得到菱形孔径的内部各个角度, 这对于孔径参数尤其是角度的自动测量是十分有效的. 这种方法对于其它由平行线段组成的多边形也是适用的.

1.7 椭圆检测

对于椭圆等光滑边界构成的几何图形, 其数字化图像是由一系列切线组成的, 因此对其 Hough 变换的研究可以用来检测椭圆的长短轴长度. 如图 4 所示, 椭圆长轴的方向与其切线的法线方向相同, 长轴的大小 A 为:

$$A = \rho_2 - \rho_1$$

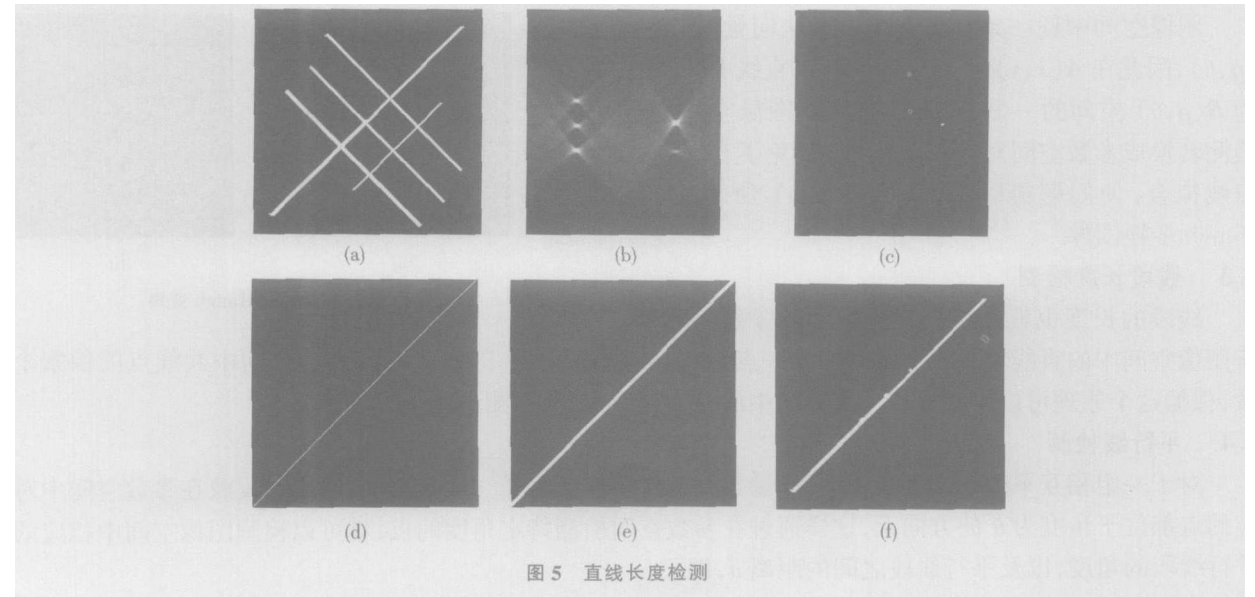
(4)

2 计算机模拟

为了直观地说明 Hough 变换在几何特征检测中的应用, 本文进行了相关的计算机模拟. 对于图像空间中的孔径图像, 先经过边缘算子运算得到其梯度图像——由直线或曲线组成的边界, 再对梯度图像进行 Hough 变换, 得到待测直线的法向量与 x 轴夹角 θ (Hough 变换图中的横坐标, 坐标原点在左上角, 从左向右为正方向) 以及 ρ 值 (Hough 变换图中的纵坐标, 自上而下为正方向). 然后, 根据 (2) 式可算出直线与 x 轴夹角 ϕ , 相应地算出孔径内角; 根据 (3) 式可算出孔径之间的距离 d .

2.1 直线检测

如图 5(a) 所示为由一组相互交叉的直线组成, 为了检测其中最长的直线段, 对图 5(a) 进行 Hough 变换, 结果如图 5(b) 所示, 可以清楚的看到图中包含 5 个亮点, 表明图像空间是由 5 条直线组成, 图 5(b) 中每一点的灰度值表示图像空间中对应该直线共线点的数目, 即线段的长度. 对图 5(b) 进行二值化处理结果, 如图 5(c) 所示, 对其进行逆 Hough 变换如图 5(d) 所示, 它表示图像空间中最长线段的方位. 为了将对应的线段检测出来, 对图 5(d) 进行数学形态学的扩张运算, 结果如图 5(e) 所示, 由图 5(e) 和图 5(a) 进行逻辑与运算, 即可检测出一组交叉直线中最长的直线, 如图 5(f) 所示.



对于如图 5(a) 及其 Hough 变换 5(b), 从中检测出图像空间中的一组平行线段. 由于一组平行线段的

法向量与 x 轴夹角 θ 相同, 为此在参数空间中建立对应 θ 角的二值图像如图 6(a), 由图 6(a)和图 5(b)进行逻辑与运算, 结果如图 6(b)所示, 即取出了一组平行线对应的法向量, 进行 Hough 逆变换如图 6(c)所示, 然后和图 5(a)进行逻辑与运算即可得到一组平行线如图 6(d) 所示。

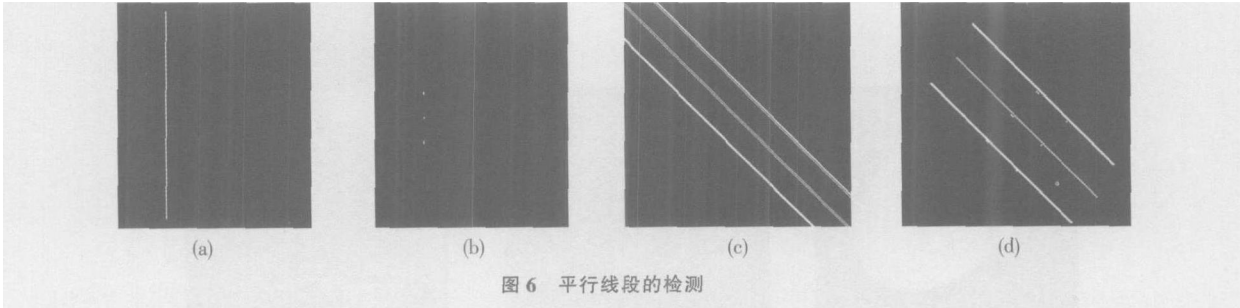


图 6 平行线段的检测

2 2 三角形和菱形检测

如图 7(a)所示为三角形孔径, 其梯度图像如图 7(b) 所示由 3 条边组成, 对应的 Hough 变换如图 7(c)所示, 3 个点对应图像空间中的 3 条直线, 根据 3 个中心点的横坐标 (见图中标注) 26°、90°和 154°, 可以得到 3 条边与 x 轴的夹角 ϕ 分别为 116°、0°和 64°, 从而可以计算出三角形孔的内角分别为 64°、64°和 52°。

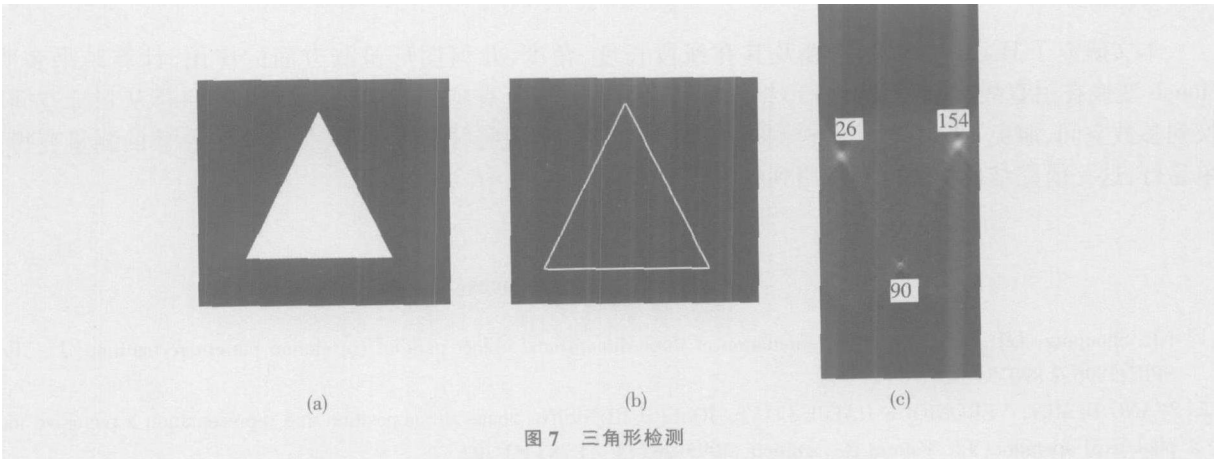


图 7 三角形检测

如图 8(a)所示为菱形孔径, 其梯度图像如图 8(b) 所示, 由两组平行线组成, 对应的 Hough 变换如图 8(c)所示, 4 个点对应图像空间中的 4 条直线, 4 个点所在的横坐标 (见图中标注) 分别为 31°、31°、151°和 151°, 表示两组平行线的法线方向, 从而可以得到两组平行线与 x 轴的夹角分别为 121°和 61°, 菱形的内角分别为 60°和 120°。

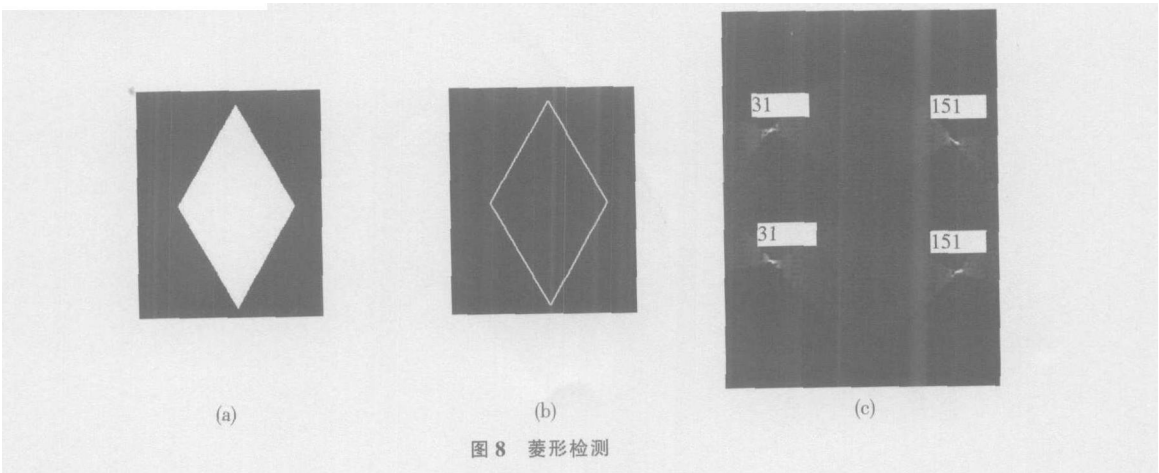


图 8 菱形检测

2 3 椭圆的检测

如图 9(a)所示为椭圆型孔径, 其梯度图像如图 9(b) 所示, 对应的 Hough 变换如图 9(c)所示, 由一组

对称的包罗线组成, 包罗线中最低点的坐标 ρ 分别为 97 和 211, 它们之间的距离对应椭圆的短轴的长度为 114 像素, 包罗线中最高点的坐标 ρ 分别为 67 和 238 它们之间的距离对应椭圆的长轴的长度为 171 像素.

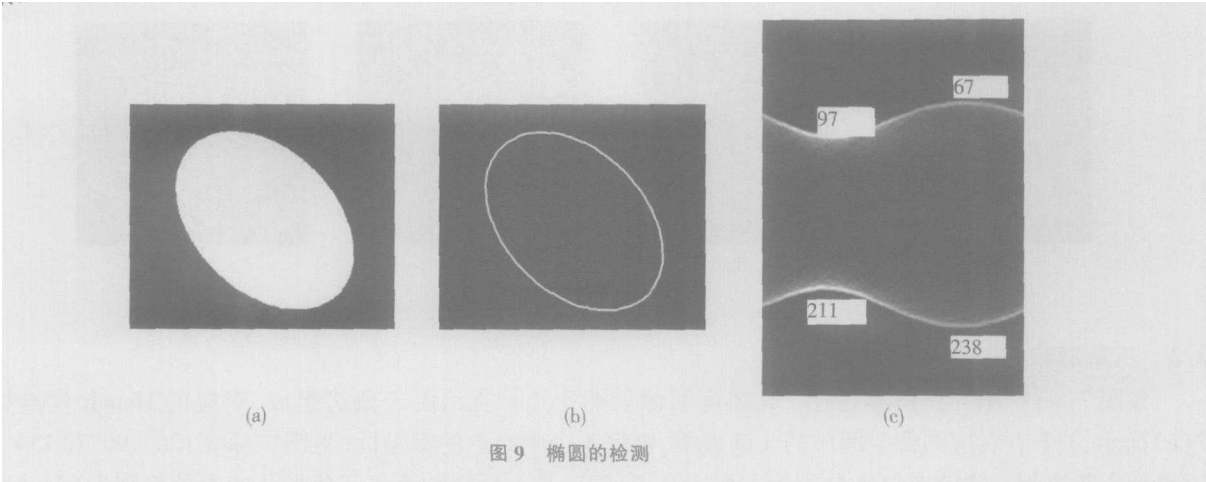


图 9 椭圆的检测

3 结论

本文研究了 Hough 变换的特性及其在线段长度、角度、几何图形检测方面的应用, 计算结果表明, Hough 变换在由直线段 (包括切线段) 组成的目标检测方面具有独特的性能, 将待检测目标从目标空间转换到参数空间, 避免了在目标空间检测时的目标分类、目标编码等复杂运算, 使得被测参数的测量变得简单易行, 这一研究结果可以广泛应用到纤维、孔径等自动检测中.

[参考文献] (References)

[1] N E Shouping LIU Feng Computer simulation of three-dimensional object parallel correlation pattern recognition[J]. Proc SPIE, 1996, 2 890: 54- 57.

[2] WANG DEM IN, VERONIQUE HAESE-COAT, JOSEPH RONISN. Shape decomposition and representation a recursive morphological operation[J]. Pattern Recognition, 1995, 28(11): 1 783- 1 792

[3] ILLINGWORTH J KITTLER J A survey of the Hough transform [J]. Computer Vision Graphics Image Process, 1988, 44(1): 87- 116

[4] KENNETH R. Castleman Digital Image Processing[M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1996. 460- 468

[责任编辑: 丁蓉]