

# 一种光电实时 Hough 变换方法

宋建中

**摘要:** 本文叙述一种光电混合式的实时 Hough 变换方法。它采用旋转棱镜、柱面镜、码盘和 CCD 线阵摄像机构成一个实时采集 Hough 空间数据的系统。是一个实时建立特征空间的一个可行办法。

## 一、前 言

边缘检测在图像处理技术中占有十分重要的地位, 因为图像的边缘包含着丰富的图像信息。在边缘检测技术中 Hough 变换是一种十分引人注目的方法, 因为它对被噪声掩盖的图像和残缺不全的图像边缘进行检测中, 显示出明显的优越性。

Hough 变换是一种基于统计模式的参数估值方法。它基于目标本身的特征进行目标识别, 所以不受假目标和背景的影响, 在目标图像严重劣化的情况下, 也有很强的识别能力。

最早的 Hough 变换是由 Hough 在 1962 年提出的<sup>[1]</sup>。它介绍如何来检测直线。设有一条直线  $A$ , 其方程为:

$$y = mx + b \quad (1)$$

直线  $A$  上的任意一点  $(x, y)$  都能满足方程 (1),  $m$  为直线的斜率,  $b$  是截距。若以  $m$  和  $b$  为变量, 形成一个参数空间  $[M, B]$ , 测方程 (1) 变为:

$$b = y - mx \quad (2)$$

则对于  $x-y$  空间任意一点  $(x, y)$  都有一条  $M-B$  空间的一条直线  $b$  与之对应。 $x-y$  空间直线  $A$  上的每一点都在  $M-B$  参数空间对应一条直线, 而且它们都相交于一点  $(m, b)$ 。也就是说, 在 Hough 空间的每一个点, 都对应着图像空间的一条直线段。

如果 Hough 空间的每条直线都有一定的灰度值, 它们交点的灰度值就是这些直线的灰度值之和。所以 Hough 空间点越亮, 它对应着图像空间的直线越长。如果选定一个合适的阈值, 就可以检测出 Hough 空间某些点, 从而推断出图像空间中那些对应的直线。

Hough 变换经过不断推广, 1979 年 Ballard 提出一种广义的 Hough 变换<sup>[2]</sup>, 可以检测任意形状的曲线。

近年来, Hough 变换已逐渐应用于工程中, 用 Hough 变换检测图像中的直线段和圆<sup>[3]</sup>。

目前, 各种快速 Hough 变换的计算机算法正在研究中, 用硬件来实现直线检测的 Hough 变换也已经实现<sup>[4]</sup>, 但迄今为止, 还没有一种能以视频速率来实时处理图像的 Hough 变换方法。

本文提出一种光电混合式的实时 Hough 变换方法, 它能以视频速率对输入图像进行 Hough 变换, 它可以构成一种实时目标识别系统, 实时判断目标的存在, 目标在图像空间的位置。

## 二、实时 Hough 变换系统

根据 Hough 变换的想法，定义如下参数变换：

$$\begin{aligned} P &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ \theta &= 0 \sim 2\pi \end{aligned} \quad (3)$$

这个变换把  $x-y$  平面中的一点，变换成  $P-\theta$  平面中的一条正弦曲线，它又把  $P-\theta$  平面的一点变成  $x-y$  平面的一条直线：

$$y = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} x - \frac{P}{\sin \theta} \quad (4)$$

因此，它也能检测图像中的直线，把  $x-y$  平面做图像空间， $P-\theta$  平面做 Hough 空间。

根据上面的数学模型，可以设计一个光电混合式的 Hough 变换系统如图 1 所示：

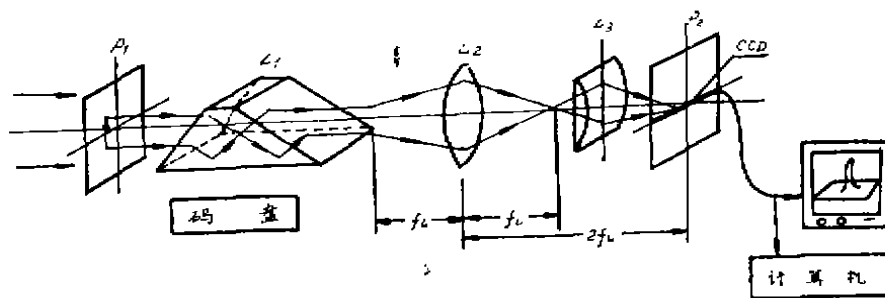


图 1 实时 Hough 变换系统

$P_1$  面放置输入图像，在实时系统中它应该是一个光调制器，可以视频速率更新图像。 $L_1$  是个棱镜，它能将输入图像按原来的大小在输出面上成一个随意旋转的倒像。 $L_1$  的旋转角度可由码盘实时输出。 $L_2$  是个凸透镜，用来将图像以适当比例成在  $L_3$  的主面上。 $L_3$  是个柱面镜，它把其输入的图像在垂直方向进行压缩，实现图像在垂直方向的一维积分。如果输入图像是一条竖直的线段（如图 1 所示），当棱镜  $L_1$  旋转到适当角度（如图 1 情况，棱镜底面应处于水平）时，在系统输出面  $P_2$  上就被压缩成一个点。在  $P_2$  面适当位置上放置一个探测器，比如一个线阵 CCD 传感器，就可以探测到代表这个线段的脉冲信号。

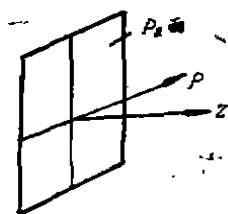


图 2

在  $P_2$  面上如图 2 设置坐标系，水平方向为  $P$ ，垂直于  $P_2$  面的方向为  $z$ 。那么  $P$  就表示图像中直线段在与其垂直的轴线上的位置。 $z$  表示线段的长短。棱镜  $L_1$  的旋转角度  $\theta$  表示图像中线段的倾斜角度。全部的  $(P, \theta)$  值就构成一个 Hough 空间。将  $P, z, \theta$  值输给计算机，就可以实时算出图像中线段的位置和大小。

## 三、实验结果

为了进一步说明系统的工作原理和验证系统进行实时 Hough 变换的效果，我们进行了

如下初步实验。

用如图 3 所示的两个底片做输入图像放在图 1 所示系统的  $P_1$  面上。在  $P_2$  面上水平放置一个 1024 象元的线阵 CCD 摄像机, 其输出信号送到一个三维显示器上。以平行光入射  $P_1$  面, 旋转透镜  $L_1$  在适当角度时 (如图 1 情况透镜底面处水平) 在显示器上得到如图 4 所示的结果。

图 3 是经过处理后的插线卡子的横断面图像, (3a) 是正常的卡子图像, 图中  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$  是六条近似的直线段, 其中  $a$ 、 $b$  很靠近,  $c$ 、 $d$  很靠近,  $b$ 、 $e$  离得稍远,  $f$ 、 $c$  也离得稍远,  $e$ 、 $f$  离得最远。如果把图 (3a) 作图像空间, 取坐标系  $x-y$ , 那么这六条线段的位置如图 5 所示。

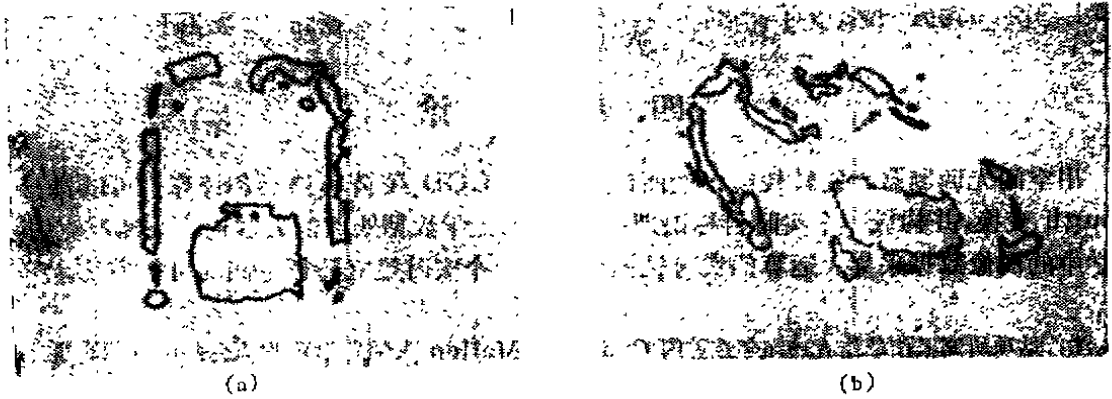


图 3 a、正常的插线卡子横断面图像, 有六条平行的线段  
b、压扁的插线卡子横断面图像, 没有直线段

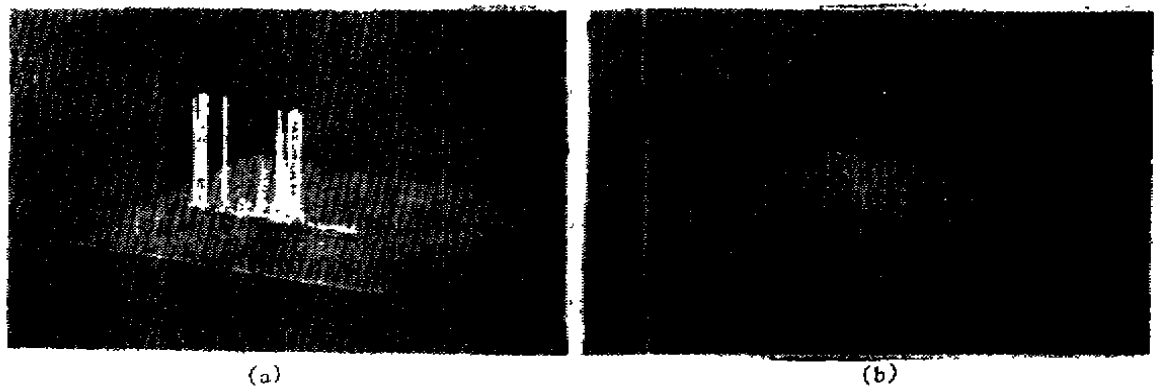


图 4 a、图 3a 的 Hough 变换结果, 有六个交点  
b、图 3b 的 Hough 变换结果, 没有交点

图 (3b) 是压扁的卡子的图像, 在任何方向上都没有直线段存在。图 4a 是 (3a) 经过 Hough 变换后的结果, 图中有六个脉冲, 代表 Hough 空间的六个点, 它们对应图像空间的六个线段, 其对应关系如图 5 所示。

而图 (4b) 是图 (3b) 经过 Hough 变换的结果, 无论  $L_1$  旋转到任何方向上, 都测不到足够幅度的脉冲。即在 Hough 空间不存在满足某阈值的点, 这说明在图像空间不存在超过一定大小的线段。

通过这个简化的初步实验, 证明了我们设计的系统确实能实时进行 Hough 变换, 识别图像中的直线段。原理是正确的, 方法可行。

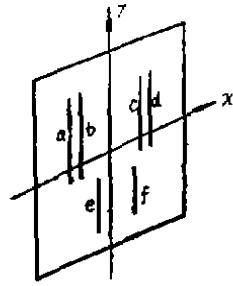


图5a 图像空间

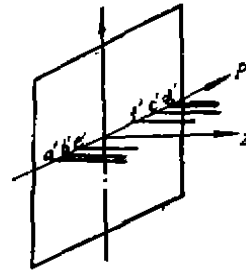


图5b 参数空间

#### 四、结 论

用空间光调制器、旋转棱镜、柱面镜、码盘、CCD 线阵传感器和计算机可以进行实时 Hough 变换, 并构成一个实时目标识别系统。它以光学数据处理的大容量、高速度克服了电子学中的图像数据采集、运算的实时性困难。是一个实时建立特征空间的可行方法。

注: 这项研究工作是作者1986年在美国 Carnegie-Mellon 大学光学数据处理中心开始进行的, 曾得到D. Carasent教授的指导和支持, 作者表示感谢。

#### A Real-time Photoelectric Processor for the Hough Transform

Song Jianzhong

#### Abstract

This paper described a photoelectric hybrid approach of the real-time Hough transform with a real-time data-collecting system used. The system consists of a rotary prism, a cylinder mirror, a codeboard and a CCD linear-array camera. It is a feasible approach to setup characteristic space.