

100-104

第4卷第5期  
1996年10月光学 精密工程  
OPTICS AND PRECISION ENGINEERINGVol. 4, No. 5  
October, 1996

# 利用 Hough 变换在序列图像中 检测多个运动点目标

成丹烈

TN 941.1

(中国科学院光电技术研究所, 成都 610209)

**摘要** 针对在图像序列中检测多个运动点目标的需要, 研究了一种“树型结构—SLHT 修枝”的目标检测算法。从分析运动点的目标及 Hough 变换的特点出发, 对直线 Hough 变换进行了研究, 并提出了获得适合 Hough 变换处理的图像的预处理的方法; 根据实际情况对“树型结构”的形成和“SLHT”修枝算法进行了详细的理论推导, 对“树型结构—SLHT 修枝”算法进行了详细的描述, 并设计了该算法的仿真程序, 作了大量的仿真实验, 给出了仿真结果, 证明了该算法是一个有效的运动点目标检测算法, 能够检测出多于 35 个作直线运动的点目标, 而且计算量较小, 运算时间短, 实时性较好。

**关键词:** 点目标; 图像序列; 直线 Hough 变换; 树型结构; 软件仿真

## 1 引言

图像处理 H-变换

在整个图像处理领域中, 如何在低信噪比的图像中有效地检测出多个运动点目标, 一直是一个值得研究的问题。例如, 自 1989 年以来, SPIE 就连续出版了 6 卷关于小目标处理的文集, 说明在国际范围内, 该问题的研究是一个热点。

在低信噪比的情况下, 检测运动点目标的难点有<sup>[1,2]</sup>: (1) 由于被检测的是点目标, 相对面目标而言, 可供算法利用的形状、大小等方面的信息较少; (2) 在单帧图像中, 点目标容易被噪声淹没; (3) 信噪比低且目标运动时, 关键问题是如何在目标运动轨迹上进行目标能量的积累, 但是, 通常情况下, 目标的位置、运动方向、速度大小等参数是未知的 (或者其中有些是未知的)。

针对上面所述的难点, 国内外学者作了大量的研究, 得出了不少解决方法, 总结起来, 这此方法可以归为<sup>[3]</sup>: (1) 匹配滤波法 (2) 匹配滤波器组法 (3) 动态规划法 (4) Hough 变换法 (5) 最优投影法 (6) 其它方法如序贯假设检验法, 神经网络法等。

在作者从事的课题中, 待检测的目标有 3 个特点: 一是成像面积小; 二是亮度成高斯函数分布; 三是作直线运动。

本文中采用“树型结构—SLHT 修枝”算法, 主要就是针对这些问题, 提出的利用 Hough

收稿日期: 1996 年 8 月 2 日

变换检测直线的高效性的解决方法。

## 2 直线 Hough 变换的研究

类似傅立叶变换, Hough 变换也是一种变换域方法<sup>[4]</sup>。它把在空域图像中检测曲线的问题, 变换成在描述曲线的参数形成的参数域中检测多条曲线的公共交点的问题。

空域图像中的一条直线被描述为

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

其中,  $\rho$  是该直线到图像原点的距离,  $\theta$  则是该直线的法线与  $X$  轴(空域图像的下边)。

把一个在空域  $(x, y)$  中的图像变换成在  $(\rho, \theta)$  参数域中的直线 Hough 图像, 有下列性质:

- [性质 1]  $(x, y)$  域中图像上的一个点, 在  $(\rho, \theta)$  参数域中对应一条正弦曲线;
- [性质 2]  $(\rho, \theta)$  参数域中的一个点, 在  $(x, y)$  域的图像中对应一条直线;
- [性质 3]  $(x, y)$  域图像中的共直线的点, 在  $(\rho, \theta)$  参数域中对应的多条正弦曲线相交于一点;
- [性质 4]  $(\rho, \theta)$  参数域中一条正弦曲线上的点, 在  $(x, y)$  域的图像中对应多条直线相交于一点;

Hough 图像用二维数组表示, 在图像的形成时采用累加计数的方法, 因此, 在 Hough 图像中检测  $N$  条曲线的公共交点的问题就变换成了在二维数组中搜索值为  $N$  的峰值元素的问题。

由此可以看出导致 Hough 变换检测直线的高效性的原因: 一是便于目标能量的累积, 利于在序列图像中检测运动目标; 二是在二维数组中检测峰值元素的计算简单快速, 可以使检测算法的易于实现, 且实时性好。

## 3 适合 SLHT 的图像预处理

因为直线 Hough 变换适用于点、线目标的检出, 因此, 适合直线 Hough 变换处理的图像应该具有两个特点: 一是图像应该是二值化图像, 二是图像中目标像斑应该只是一个像素点。

但是在实际工作中, 给出的图像都是灰值图像, 而且目标虽然具有点目标的性质, 但由于它的亮度近似符合高斯分布, 因此成像虽小, 但不是一个像素点, 而是一个小的面积。

所以, 要想利用 SLHT 进行点运动目标的检出, 就应该对原始的灰度图像进行适当的预处理, 形成像素点目标二值图像。

对原始图像的预处理过程框图如图 1。

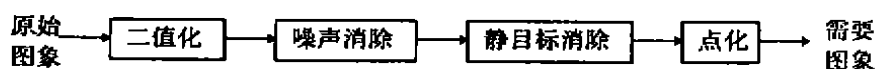


图 1 图像预处理流程图

### 3.1 灰值图像的二值化

在此环节中, 主要的任务是将背景成分的部分噪声从图像中分离出来。

现有的阈值选取方法归纳起来, 可以被划分为十个大类<sup>[5]</sup>, 分别是: (1)直方图法及直方图变换法; (2)最大类间方差法; (3)最小误差法及均匀化误差法; (4)共生矩阵法; (5)矩量保持法; (6)最大熵法; (7)简单统计法与局部特性法; (8)概率松弛法; (9)模糊集方法; (10)其它方法, 如局部阈值分割法、动态自适应阈值法等。

不失一般性,本文采用简单统计法作为阈值选取方法。

### 3.2 二值化图像的噪声消除

根据目标与噪声所成的连通区域的面积大小的不同,即可将目标与大部分噪声区分开来。

### 3.3 运动目标与静止目标的分离

根据运动目标、静止目标的一动一静的特性,可以在图像序列中利用“差分算法”<sup>[6]</sup>把它们分离开来。

所谓“差分算法”,就是把运动图像系列中相邻的两帧或几帧图像相比较,将它们的相同部分去掉,则得到一个差分图像。然后再将差分图像作一定的处理(滤波),最后根据经过处理的差分图像在原图像中消除掉静止目标。

### 3.4 二值化图像中运动目标的点化

因为点目标的亮度近似符合高斯正态函数分布,所以,可发用目标区域的形心来代表这一目标,即可以采用“形心法”来进行目标的点化。

## 4 “树型结构—SLHT 修枝”算法

### 4.1 树型结构

图像序列中的一个运动目标所有可能的运动轨迹呈一个树型结构<sup>[7]</sup>,如图 2 所示。

在此树型结构中,每条从根结点到叶子结点的路径代表一条可能的目标运动轨迹,但其中只有一条符合目标运动的规律。通过把树中不符合目标运动规律的路径去除掉,也就求得了真实的目标运动轨迹。

影响树型结构复杂程度的主要因素,一是树每层中的结点数,二是树的层次。

如果  $i$  帧图像中所有的点都可以成为树型结构的第  $i$  层结点,这样的树显然十分庞杂,等待算法判断的候选轨迹也很多。

利用一些先验知识可以对树的结点进行限定。利用最大速度信息可以得到一种称为  $G_A$  门限法的方法;进一步利用(假定的)运动方向信息可以得到一种称为  $G_B$  门限法的方法。这两种方法构成的树型结构的例子如图 3 所示。在此例中,候选轨迹树下降了 75%。

要能够检测出运动目标,参与处理的图像序列的图像帧数应满足  $3 \leq N \leq K$ 。  $K$  为:

$$K = [\Phi^{-1}(C_0\alpha) + \Phi^{-1}C_1(1 - \beta)]^2(\alpha/\mu_1 - \mu_0)^2$$

其中,  $\alpha$  为虚警率;  $\beta$  为探测概率;  $\mu_1, \mu_0$  为阶矩在  $\lambda = 0, 1$  时的值;  $C_0, C_1$  为加权因子;  $\delta$  为方差的均方根。

但是,假设每帧图像中有  $X$  个待测像素点,如果把  $N(3 \leq N \leq K)$  帧图像用一个  $N$  层树来表示,那么,候选轨迹最多就有  $X^{N-1}$  条,显然,对于大多数的  $X$  和  $N$  的取值来说,这个树非常大。

可以把  $N$  层树用  $N - 2$  组 3 层来代替,这样的候选轨迹最多为  $(N - 2)X^2$  条。

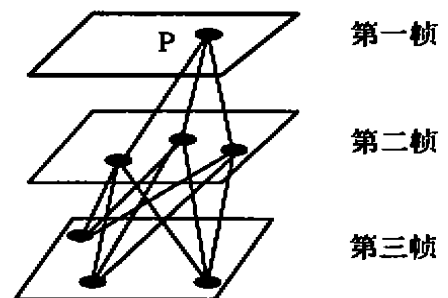


图 2 树型结构

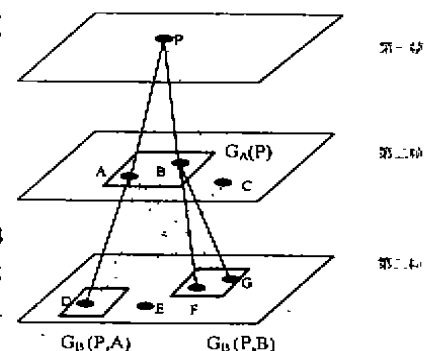


图 3 由  $G_A, G_B$  门限法确定树型结构的结点

#### 4.2 SLHT 修枝算法

Hough 变换是一种快速的、有效的直线检测方法,因此,当目标是作直线运动时,对相应的树型结构的修枝法,就可以采用直线 Hough 变换方法。

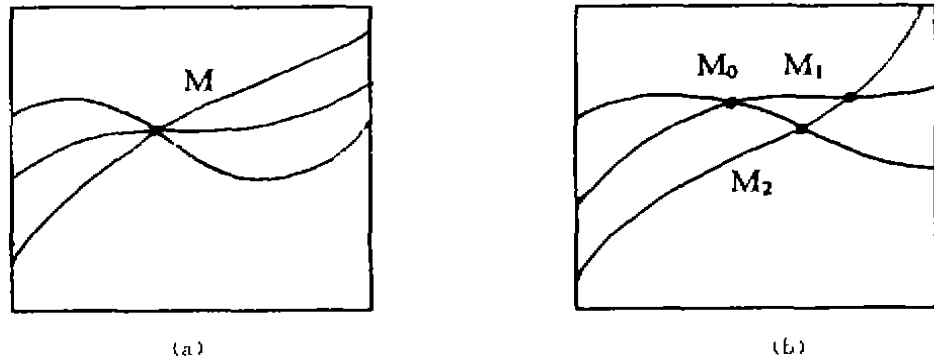


图 4 三点的 SLHT 曲线的交点情况

假定有一棵 3 层树需要处理,根结点为  $(X_0, Y_0)$ ,  $(X_1, Y_1)$  是第二层次上的一个结点,  $(X_2, Y_2)$  是这棵树第三层次止的一个结点,且  $(X_2, Y_2)$  是  $(X_1, Y_1)$  的子结点。

考查在 Hough 图像中  $(X_0, Y_0)$ 、 $(X_1, Y_1)$ 、 $(X_2, Y_2)$  对应三条 Hough 曲线的交点的两种情况。第一种情况是三条 Hough 曲线能够相交于同一点,如图 4(a)所示;第二种情况是三条 Hough 曲线两两相交,形成三个不同的交点,如图 4(b)所示。

对于第一种情况,判定三点共线。对于第二种情况,如果三个交点距离很近,在设定的范围内,判定三点近似共线,否则判定不共线,把这三点所成的候选轨迹去除掉,即修枝。

#### 4.3 “树型结构—SLHT 修枝”算法流程图(略)

### 5 仿真实验及结论

算法的仿真环境为:

[1]硬件平台为 AST Premium P/75,配置为 Pentium-75CPU、16 MB 内存、850 M 硬盘等;

[2]软件平台为 Turbo C++1.0。结论:

(1)本文中提出的“树型结构—SLHT 修枝”算法,能够在序列图像中检测出多至 35 个作直线运动的点目标,运算量较小,实时性较好;

(2)本算法能够有效抑制虚警率;

(3)能够检测出作近似于直线运动的点目标;

(4)根据具体的工作情况对程序进行优化,可以获得更好的性能;

(5)易于用 TMS320 系列 DSP 及如 FPGA 等更低一级但更快速的系统和硬件实现本算法,可以获得更好的实时性能<sup>[6]</sup>。

## 参 考 文 献

- [1] Steven D. Blostein & Thomas S. Huang, Detecting Small Moving Objects in Image Sequences Using Sequential Hypothesis Testing. IEEE, Transactions on Signal Processing, 1991, **39**, 1611-1629
- [2] Y. Barniv, Dynamic programming Solution for Detecting Dim Moving Targets. IEEE Trans. Aerospace and Electronics System. , 1985, AES-21:144-156
- [3] 刘波等, 低信噪比图像中运动点目标的检测方法. 系统工程与电子技术, 1883. 7
- [4] J. Illingworth & J. Kittler, A Survey of the Hough Transform, Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1988, **44**:87-116
- [5] 吴一全, 朱兆达, 图像处理中阈值选取方法 30 年(1962-1992)的进展. 数据采集与处理. 1993. 9
- [6] 钟玉琢等, 机器人视技术. 北京: 国防工业出版社, 1994
- [7] 李像霖, 三维运动分析. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1994
- [8] F. M. Rhodes, A monolithic HT processor based on restructurable VLSI. IEEE T-PAMI 10(1):106-110

### Multiple Point Targets Detecting in Sequential Images by Means of Hough Transform

Cheng Danlie

(Institute of Optics & Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610209)

#### Abstract

A method of detecting multiple moving point targets in a image sequence is studied in this paper. Both moving target characteristics and Straight Line Hough Transform (SLHT) are analysed, a series of processes on getting images fitted to SLHT-based approach is presented. According to practical conditions, the method of constructing Tree Structure and the SLHT-based operating on cutting off the unfit branches are described in detail. The 'Tree Structure-SLHT branch-cutting' method is proved efficient and less-time-costed to detect more than 35 moving point targets in low SNR images through lots of software simulating practices.

**Key words:** Point Targets, Images Sequence, Hough Transform, Straight Line Hough Transform (SLHT), Tree Structure

**成丹烈** 男, 1969 年 6 月生, 1991 年四川大学计算机科学系计算机专业本科毕业, 1996 年中国科学院光电技术研究所光学仪器专业硕士研究生毕业, 主要从事光学精密跟踪及测量技术的研究。