

# 基于改进 Hough 变换的建筑目标搜索与识别

汪哲慎 李翠华

(厦门大学计算机科学系, 厦门 361005)

**摘要** 结合建筑物搜索与识别的实例, 运用改进的 Hough 变换算法, 对经过预处理的图像进行检测, 提出了优化、合并、分组的线条分析策略和针对目标的排伪策略以确定目标可能出现的区域, 进而排除虚假目标, 最终获得目标准确的定位区域。实验结果表明, 改进的 Hough 算法以及线条分析和排伪策略应用在实际的检测识别系统中时, 对不同比例、不同视角、不同拍摄时间和条件、目标被部分遮挡的情况以及出现马赛克现象的各种实验图像都具有较好的识别效果。

**关键词** Hough 变换 线条分析 形状检测 建筑物识别

**中图分类号**: TP391 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)04-0463-05

## Improved Classical Hough Transform Applied to Building Detection and Recognition

WANG Zhe-shen, LI Cui-hua

(Computer Science Department, Xiamen University, Xiamen 361005)

**Abstract** In this paper, taking building detection and recognition as an instance, by using improved Hough transform, several line analysis strategies and measures to remove the inveroacious targets are presented. The experimental results show that the approach with these methods can get acceptable results when image processing with scaling, different angles of view, various conditions of sunlight and mosaic phenomenon involved.

**Keywords** Hough transform, line analysis, shape detection, building recognition

## 1 引言

机器视觉<sup>[1]</sup>的研究是从 20 世纪 60 年代开始的。由于机器比人类更能适应于一些恶劣环境下工作, 再加上计算机高速运算、海量存储和无休止工作的能力, 机器视觉广泛地运用在工农业生产、医疗、航空航天等各个领域, 尤其在军事领域的运用十分活跃。

常用作目标识别的特征量主要有图像的灰度特征、几何特征, 还有一些具有空间不变性(旋转不变性和缩放不变性)的特征, 如分形维数特征<sup>[2]</sup>等。在实际应用中, 也有通过信息融合技术<sup>[3]</sup>综合几种特征进行识别的, 更复杂的有通过 3 维重建的方法进行识

别。由于识别的对象在拍摄角度、时间、光照条件和拍摄设备方面有很大的差异, 因此选取灰度特征进行识别显然是行不通的。考虑到所识别的目标是几何特征明显且较规则的建筑物, 而且几何特征与其他具有空间不变性的特征相比计算更简单, 能更好地满足实时性的要求。因此, 选择目标的几何特征作为搜索与识别方案的线索。系统的实现方案如图 1 所示。

由于实现方案是围绕目标的几何特征进行的, 因此先利用平滑技术和边缘检测技术对原始图像(图版 I 图 1)进行预处理, 得到如图版 I 图 2 所示图像中物体的边缘信息, 接下来将进行目标定位和识别。由于本方案是基于目标几何特征的, 因此, 目标定位和识别的实质就是对图像的边缘信息进行线

**基金项目**: 国家创新研究群体项目(60024301); 国家自然科学基金项目(60175008); 福建省自然科学基金项目(A0110004)

**收稿日期**: 2003-11-17; **改回日期**: 2004-07-26

**第一作者简介**: 汪哲慎(1981 ~ ), 女, 厦门大学计算机科学系硕士研究生。研究方向为计算机视觉、图像处理。

E-mail: zheshenw@xmu.edu.cn

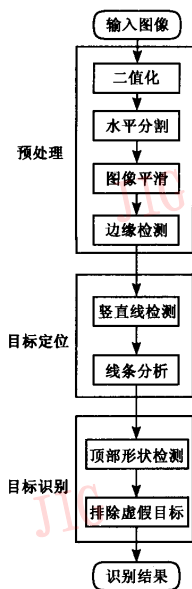


图 1 实现方案流程

Fig. 1 Flow chart

条和形状的分析。用于形状分析方法有很多,如傅里叶描述符法、用基元表示轮廓的方法、矩和主轴计算法、光学密度侧面图、形状的结构表示方法、Hough 变换法<sup>[4]</sup>等等。

本文针对建筑目标进行自动搜索和识别研究,其总体思路是先利用改进的 Hough 变换算法以及相应的线条分析策略和排伪策略,对经过预处理的图像进行检测和分析,以确定目标可能出现的区域,然后再排除虚假目标,最终获得目标的定位区域。

## 2 改进的 Hough 变换算法

Hough 变换法是利用图像空间与参数空间的对应关系,将图像空间的检测问题转化到参数空间,通过在参数空间进行统计来完成检测。它是图像处理中识别几何形状的基本方法之一,从理论上来说,用 Hough 变换可以检测出任意满足解析式  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  的曲线  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  为唯一确定某一曲线的一组参数。但是,它的计算量和存储量随参数的个数  $n$  呈指数增加,因此,在实际应用中 Hough 变换最适合检测较简单(即参数较少)的曲线。

Hough 变换的形状检测建立在统计的基础上,

抗噪声干扰的能力强,并且不受图像间隙干扰,在实际应用中使用时十分广泛,如用于图像中的文本检测<sup>[5]</sup>(检测矩形)、字符识别(OCR)前图像的方向检测和倾斜校正(检测直线)、医学 X 线成像的识别(检测圆)、检测卫星的子部件<sup>[6]</sup>(检测多边形)等。标准的 Hough 变换(SHT, standard Hough transform)在实际运用中也有许多变形和改进算法,如用于跟踪运动圆周物体(如乒乓球)的 DVHT(dynamic velocity Hough transform)<sup>[7]</sup>等。为了减少计算量,在实际应用中也常常采用随机 Hough 变换(RHT)<sup>[8]</sup>。

由于待识别的图像经过预处理得到的物体边缘信息并不十分理想(如图版 I 图 2 所示),仍存在许多干扰噪声,而且边缘也不是光滑和闭合的。因此,在这里使用基于统计的 Hough 变换法是比较合适的。考虑到本文应用实例的特点以及 Hough 变换的计算复杂度和存储量随参数的增加呈指数增长的特性,在实际的系统对 Hough 变换算法做以下几点改进。

### (1) 只记录离散化的参数

按照经典 Hough 变换的理论,在计算之前首先要定义参数空间。参数空间是图像空间通过图形解析式映射而得到的一个域,必须先确定参数空间的范围,并对参数空间进行离散化。如图 2 所示,相当于给参数空间画上“网格”(“网格”上的每个结点设置一个计数器),参数空间的范围以及“网格”设定的疏密决定了参数的分辨率。如果“网格”设得太疏,参数点落在空白处的几率很高,检测的精度就很低;如果提高“网格”密度,又势必大大增加存储空间。然而,对于有些参数,如直线参数方程  $\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$  中的  $\rho$ ,如果不计算,是无法预测它的范围的,只能认为它的范围是  $(-\infty, +\infty)$ ,这对实际计算和存储来说都是不可行的。另外,“网格”的疏密应如何设置才合适也是事先无法预知和控制的,而且如果参数有 3 个或 3 个以上,将涉及多维空间的定义和离散化问题,十分复杂。

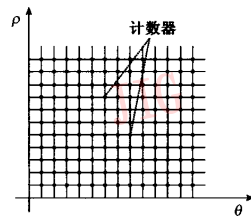


图 2 参数空间示意图

Fig. 2 Parameter plane

由于检测的图形是已知的,如果检测成功的话,计算得到的参数值在参数空间的分布一定是相对集中的(因为一定会出现若干峰值点),所以在实际计算时只要记录参数值,并为每组参数设置计数器就可以了,而不必对参数空间的所有结点都计数。这样,参数的精度只取决于存储时所使用的数据类型,它可以根据实际需要进行控制,参数的分辨率在理论上不受限制。另一方面,也大量节省了存储空间。

在本文讨论的实例中,需要检测的直线的倾斜角是已知的,考虑到图像采集时的偏差,可略放宽检测范围,并且参数都只取整数。

### (2) 用欧氏距离进行近似

如图版I图2所示,预处理后,图像中的直线不是完整的、光滑的理想直线,而且除了直线信息外,周围还有许多干扰信息。如果直接采用原始的 Hough 变换方法,计算量和存储量非常大,而且结果几乎检测不出图像中的有效信息(如图3(a)所示,如果不用欧氏距离检测,即使把保留的直线参数  $N_{\text{line}}$ (即参数空间上计数最多的  $N_{\text{line}}$  个点在图像空间所对应的直线)增加到 600 也几乎检测不出有效的信息)。

用欧氏距离对参数进行近似,即计算两组参数之间欧氏距离的平方,小于给定值的参数组认为是相同的。如参数组  $(\rho_1, \theta_1)$ , 搜索参数空间的每个点  $(\rho_i, \theta_i)$ , 如果  $D_{\text{line}} = (\rho_1 - \rho_i)^2 + (\theta_1 - \theta_i)^2 < D_{\text{max}}$ , 则给参数平面上点  $(\rho_i, \theta_i)$  的计数增 1, 而不再记录点  $(\rho_i, \theta_i)$ ; 否则在参数空间添加新的计数点

$(\rho_i, \theta_i)$ , 并将计数值初始化为 1。

这样做将大大减少计算量和存储量,提高计算速度,并且能够取得较好的检测效果,并可以根据实际需要调整  $D_{\text{max}}$  的大小以控制检测结果的精度。

## 3 改进的 Hough 变换在建筑目标识别中的应用

### 3.1 竖直线检测

人眼观察“嘉庚主楼”(图版 I 图 1), 首先的印象是它的高, 把它抽象为近似长度的密集的竖直线, 并以此作为确定目标可能出现区域的依据——目标定位。其次是, 发现了它类似梯形的富有“嘉庚式”建筑特色的屋顶。它是一个近似对称的四棱台, 从各个角度看都是近似的底角为  $45^\circ$  的等腰梯形(远景图像中近似为三角形), 满足空间不变性, 而且附近没有类似形状屋顶的建筑物。以此作为识别的依据进行目标识别。

在目标定位和识别中, 分别使用改进的 Hough 变换算法进行直线检测。为了方便计算和存储, 算法中采用的是直线的参数方程  $\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$ <sup>[9]</sup>。结果如图 3(b) 所示。参数  $D_{\text{max}}$  和  $N_{\text{line}}$  对于不同目标目前尚无法自适应取得最佳值, 但对于特定目标, 这两个参数的最佳值选取是大致稳定的, 可以先选择小部分代表性图像进行实验, 确定参数值后即可推广至其他图像。



(a) 不用欧氏距离近似的检测结果



(b) 用改进 Hough 变换算法检测竖直线的结果



(c) 线条优化、合并后的结果

图3 各步骤处理结果 I

Fig.3 Results of each step I

### 3.2 线条分析

从图3(b)中可以看出,检测出的竖直线是不连续的线段,为了便于判断,必须对它们进行优化,即重画不连贯的线段。另外,在改进的 Hough 变换算法中保留的直线数的多少直接关系到以后对直线进行分组、淘汰的准确性。如果线数太多,会留下较多的干扰线,造成分组错误;如果线数太少,则可能将

有用的目标边缘线段丢失,造成目标定位精度不够。由于线段是否保留,是以线上的点数多少为依据的,而关键的边缘线段通常不是点数最多的线段,因此这些关键的边缘线段常常会在干扰线段之前被抛弃。观察图3(b)可以发现,关键的边缘线总是出现在密集线区,而干扰线总是较为孤立的。基于这一特性,可以对优化后的竖直线段进行合并,然后按照

点数的多少重新排序,再淘汰点数少的线段,这样关键的边缘线段会比干扰线更优先被保留下来,从而解决了有效目标边缘线丢失的问题。“优化”、“合并”后的结果如图 3(c) 所示。“分组”后的结果如图版 I 图 3(a) 所示(保留各组两侧边线并分别连接上下端点形成方框后,将它们叠加到原图像中)。

### 3.3 顶部形状检测

分组后就得到了图像中目标可能出现的几个区域的上下左右边界。从图版 I 图 3(a) 中可以看出,对真实目标的区域划定是比较准确的,因此,根据已知的顶部高度和宽度的比例(0.35)就得到了可能的顶部区域。这样就大大缩小了检测的范围,使检测更有针对性,效率更高。

在这里仍用 Hough 变换的方法进行梯形检测,但是考虑到在实际的图像中,“等腰梯形”屋顶的两腰并不是直线;拍摄角度不同的时候梯形的两腰是不对称的;远景照片中,梯形已近似为三角形。另一方面,在平面中确定一个等腰梯形至少需要 6 个参数,用 Hough 变换进行检测的计算量和存储量是相当大的。因此,在这里针对目标的特征进行简化检测,只检测梯形的两腰,即检测与竖直向上方向夹角分别近似为  $45^\circ$  和  $135^\circ$  的直线。

检测原理和算法与 3.1 节用 Hough 变换检测竖直线中的相同,只是  $\theta$  的范围和参数  $D_{\max}$ 、 $N_{\text{Line}}$  有所不同。与检测竖直线类似,检测出的梯形两腰直线是不连续的线段,为了便于判断,必须对它们进行优化,即重画不连贯的线段,得到如图版 I 图 3(b) 的结果。

### 3.4 排除虚假目标

由图版 I 图 3(b) 可以看出,某些虚假目标区域的顶部也能检测出与竖直向上方向夹角分别近似为  $45^\circ$  和  $135^\circ$  的直线段,但都是不符合真实目标顶部几何特性的,故可以排除。另外,某些目标区域的顶部和整体高度的比例显然是不符合目标实际情况的,也可以加以排除。

满足以下条件之一的区域被作为虚假目标排除:

- (1) 如果顶部区域内检测不出两腰;
- (2) 梯形下底的两端点在顶部区域垂直中分线的同一侧。因为顶部区域的范围是比较准确的,所以,不可能出现屋顶偏在顶部区域一边的情况;
- (3) 梯形两腰下端点有一个没有达到顶部区域的水平中分线。因为顶部区域的范围是比较准确

的,所以不可能出现屋顶偏在顶部区域上半部分的情况;

(4) 两腰线段的交点低于顶部区域的水平中分线,如果交点在水平中分线以下,那么屋顶就出现在顶部区域下半部分,这是不可能的;

(5) 顶部区域的高度大于目标区域高度的  $2/5$  或不到目标区域高度的  $1/5$ 。否则不符合真实目标的实际比例。

最终结果如图版 I 图 3(c) 所示,图中右侧几幢与目标近似的建筑物,由于顶部形状不合要求而被排除,没有出现“误认”的情况。

### 3.5 其他实验图像的搜索与识别结果

图版 I 图 4 中显示了各种条件下目标的检测与识别结果,在图版 I 图 4(a)、(b)、(c)、(d)、(f) 中存在目标的情况下,没有出现“漏认”;在图版 I 图 4(e) 中存在非目标近似建筑的情况下,也没有发生“误认”。从图版 I 图 4 的结果来看,目标在图像中的位置和区域的确定是比较准确的。

## 4 结 论

本文结合建筑物目标搜索与识别的实例,采用改进的 Hough 变换算法,只记录离散参数值,缩小检测角度的范围,并用欧氏距离进行近似,大大地节省了存储量和运算量,增强了检测抗噪声的鲁棒性。并且提出了优化、合并、分组的线条分析策略和针对目标的排伪策略。从图版 I 图 3(c) 和图 4 的实验最终结果可以看出,改进算法和各种分析策略在实例中是行之有效的,对不同比例、不同视角、不同拍摄时间和条件,以及目标被部分遮挡的情况下获取的图像、出现马赛克现象的图像都有较好的识别效果。

由于建筑物大多竖直而立、形状规则,因此本文实现方案中的各种改进算法和策略的思想对于大多数建筑目标都是适用的。但方案的实质是对目标 2 维形状的检测与识别,是有局限性的,不适用于以下两种情况:目标在所在区域的相对高度太低,即目标“淹没”在复杂的背景中;目标的形状随观察角度的变化有很大的差异,即目标的几何特征不满足空间不变性。在这两种情况下需要对目标提取更复杂的综合特征信息(关于目标的“知识”),并进行进一步深层次的融合与分析。另外,算法中的具体参数和判据仍然依赖于对目标的先验知识。对于未知,或只知“大概”的目标,则需通过人机交互的半自动

方式或引入其他空间定位机制才能较好地完成检测与识别的任务。

### 参考文献 (References)

- 1 Ballard D H, Brown C M. Computer Vision[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc. , 1982.
- 2 Wang Li-jun, Yang Yi-he, Zhao Yi-gong, *et al.* Application of fractal theory to air-target recognition[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 1996, 15(4): 267 ~ 270. [王丽君, 杨宜禾, 赵亦工等. 分形理论在空中目标识别中的应用[J]. 红外与毫米波学报, 1996, 15(4): 267 ~ 270.]
- 3 Zhang Xin-hua, Lin Liang-ji, Wang Ji-cheng. Criteria and approaches of information fusion in target recognition[J]. Journal of Software, 1997, 8(4): 303 ~ 307. [章新华, 林良骥, 王驥程. 目标识别中信息融合的准则和方法[J]. 软件学报, 1997, 8(4): 303 ~ 307.]
- 4 Hough P V C. Machine analysis of bubble chamber pictures[A]. In: International Conference on High Energy Accelerators and Instrumentation[C], Geneva, Switzerland, 1959.
- 5 Clark P, Mirmehdi M. Location and recovery of text on oriented surfaces[A]. In: Proceedings of SPIE conference on Document Recognition and Retrieval VII [C], San Jose, California, USA, 2000, 3967: 267 ~ 277.
- 6 Du Xun, Ahalt Stanley C, Stribling Bruce. 3-D orientation vector estimation for sub-components of space object imagery [A]. In: Proceedings of the 1997 Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition Conference[C], Orlando, FLA, 1997: 395 ~ 405.
- 7 Lappas Pelopidas, Carter John N, Damper Robert I. Object tracking via the dynamic velocity Hough transform[A]. In: Proceedings IEEE International Conference on Image Processing [C], Thessaloniki, Greece, 2001: 371 ~ 374.
- 8 Kalviäinen H, Hirvonen P, Xu L, *et al.* Probabilistic and non-probabilistic Hough transforms: overview and comparisons[J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(4): 239 ~ 252.
- 9 Castleman K R. Digital Image Processing[M]. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall Inc. , 1996.



图1 原始图像

Fig.1 Original image



图2 预处理后的结果

Fig.2 Result of preprocessing



(a) 线条分组结果

(图中方框代表目标可能出现的区域)



(b) 顶部检测结果



(c) 排除虚假目标后的最终结果

图3 各步骤处理结果 II

Fig.3 Results of each step II



(a) 低照度景



(b) 侧面半遮挡景



(c) 夜景



(d) 侧面远景



(e) 图像中不存在目标



(f) 马赛克现象(单元格=4)

图4 各种条件下目标的检测与识别结果

Fig.4 Results of other image with different conditions