

文章编号 1004-924X(2009)09-2336-06

提取直线特征实现机场跑道实时检测

邸 男^{1,2}, 朱 明¹, 王毅楠³

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 10039; 3. 长春轨道客车股份有限公司, 吉林 长春 130062)

摘要:考虑基于链码跟踪和霍夫变换的传统直线检测方法对噪声敏感且计算量大的缺点,提出了将改进的链码跟踪与分层霍夫变换相结合的方法来提取直线,成功实现了航拍图像中机场跑道的实时高精度检测。采用改进的链码跟踪剔除短的和弯曲的线段,减少霍夫变换处理的点数,同时确定直线的近似方向,缩小霍夫变换的角度搜索范围。对霍夫变换进行金字塔分层计算,减小计算量。在程序设计方面,为图像建立链表结构数组,固定内存空间大小,避免了动态分配内存方式生成链表产生的越界问题。该算法已经成功嵌入 TMS320C6416 硬件平台。实验结果表明,本算法比传统霍夫变换算法运算量减少了约 29 倍,与单纯的链码跟踪直线检测相比,能够克服图像的模糊、遮挡等干扰,成功实现了机场跑道的实时精确检测。

关键词:直线检测;链码跟踪;霍夫变换;机场跑道

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A

Real-time detection of airport runway by extracting line feature

DI Nan^{1,2}, ZHU Ming¹, WANG Yi-nan³

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China*; 2. *Graduate University of Chinese*

Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. *CNR Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., Changchun 130062, China*)

Abstract: A novel method combing an Improved Chain Code Based Edge Tracking (ICCBET) with Pyramid Hough Transform (PHT) is proposed to detect the airport runway in real time successfully, for the traditional line detection method by using chain code based edge tracking and Hough transform is sensitive to the noise and hard to satisfy the real time applications. The ICCBET is used to remove short and curving lines, reduce pixels, confirm approximate orientation and to shorten the angle range of PHT processes. Then, the computation cost is reduced considerably by using the stage of pyramid HT. Finally, a chain list array for the image is designed to fix the memory to avoid the overflow which arises from building chain list with memory dynamic allocation. The algorithm has been applied in the TMS320C6416 hardware system. The experiments on various images show that the computation cost by proposed method has decreased by 29 times as compared with that of traditional Hough method and

收稿日期:2009-01-02;修订日期:2009-02-04.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2005AA778032)

it overcomes the blur and occlusion compared with the original chain code based edge tracking for line detection.

Key words: line detection; chain codes based edge tracking; Hough transform; airport runway

1 引言

航拍图像中的目标检测^[1-2]是国内外普遍关注的热点问题。机场作为重要的运输场地,是一类特殊的目标,对机场跑道的检测无论从民用还是军用角度都具有重要的意义。观察来自互联网的高空航拍机场图像可以看到,机场航拍图像的背景比较复杂,把机场从背景中分离出来具有一定的难度,并且实际应用需要满足实时性要求。但从图像中亦可以看到机场跑道在机场的航拍图像中具有较明显的特征:机场跑道的长宽具有一定的范围,跑道本身的灰度较为平稳且跑道呈长方形状。这一特征决定机场跑道图像经过处理以后表现出来的跑道骨架特征为边缘直线,于是跑道检测问题转化为如何在经过边缘提取^[3]的图像中检测直线。目前,常用的直线检测算法主要有两大类:(1)通过边缘检测算法处理得到目标的边界点集合,然后利用霍夫变换^[4-5]提取目标边界上的直线;(2)对目标边缘进行链码跟踪,在得到的链码串集中进行直线段提取。

方法1是最经典的直线检测算法,1962年由Paul Hough设计提出,不久被IBM申请了专利。该方法的优点是对图像中的噪声不敏感,个别非边界像素点不影响直线检测结果。缺点是它是一种穷举式的搜索,因而其计算复杂度和空间复杂度都很高,不能满足实时系统的要求。方法2一般是先对目标边界进行编码跟踪,然后在得到的链码串集中进行直线段提取^[6-7]。该方法的优点是计算量小,并且能同时得到直线段的位置、长度、方向等信息。不足之处是算法性能受目标边界检测算法制约,对噪声比较敏感。

文献[8]采用扩展的Freeman链码表示法^[9]初步提取直线,然后用霍夫变换精确定位直线,识别时间不超过30 ms,基本满足SAR图像识别系统的实时性要求,但无法满足识别时间小于20 ms的视频图像处理系统。本文采用改进的链码跟踪与分层霍夫变换相结合的方法实现机场跑道直线检测。将链码跟踪运算快的优点与霍夫变换精度高的优点相结合,不仅能够克服图像的模糊

干扰,精确检测出目标,而且运算速度大幅提高,实现了航拍图像中机场跑道的实时高精度检测。目前,算法已经成功嵌入视频图像处理平台,实现了其在工程方面的应用。

2 跑道检测

2.1 图像预处理

首先对图像做 3×3 均值滤波剔除噪声干扰,然后使用Sobel算子对图像进行边缘提取,通过设定适当的阈值将图像二值化。

2.2 改进的链码跟踪

传统的链码跟踪对于每个像素点搜索8邻域建立链表,需要很大的计算量和存储空间。本文的链码跟踪方法改进了搜索策略和存储模式大大削减了计算量,同时避免了内存溢出问题。

2.2.1 方向编码

本文采用Freeman链码表示法,它不是逐点记录像素坐标,而是记录相邻像素之间连接方向的方法。这种编码能够压缩数据并且为后续处理提供方便。图1显示了像素P邻域的编码方向,按逆时针顺序编码为 $0, 1, 2, \dots, 7$ 。边缘跟踪的结果使用链码表示,目的是用很少的数据信息量来完整反映物体边缘的整个信息。

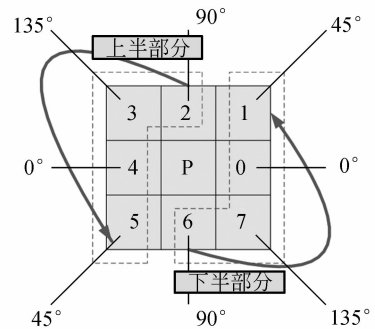


图1 像素P邻域的编码及编码表示的方向
Fig. 1 Code and the direction of the center pixel P

为了不必每次都搜索邻域的8个像素点,将编码以1、5为对角线分成上下两个部分,上半部分由2、3、4、5组成,搜索方向取为+1,下半部分由6、7、0、1组成,搜索方向取为-1,当在下半部

分搜索过程中未找到不为零并且未被标记的像素点,则将搜索方向改为 1,继续进行上半部分搜索,否则将该点记入链表,继续在其邻域内保持原有的搜索方向搜索下一个节点;同样如果在上半部分搜索未找到不为零并且未被标记的像素点,则将搜索方向改为 -1,继续进行下半部分搜索,如果 8 个像素点均不满足条件则链表结束。

2.2.2 存储设计

在边缘跟踪时,为了便于记录边缘点的信息(如图像坐标、搜索标记等等),采用链表的方式来存储边缘点信息。由于数字信号处理器(DSPs)中存储空间非常小,如果以动态分配内存方式生成链表,无法控制越界问题。本文为读入 DSPs 的图像建立链表结构数组,在读入图像后就固定了需要的内存空间大小,每个像素点有了确定的内存地址,链表的生成仅仅通过指针连接,从而有效控制了越界问题。图 2 为链表数组存储图,链表结构为

```

struct node{
    unsigned short x;
    unsigned short y;

```

```

    unsigned char flag;
    unsigned char gray;
    struct node * next;
};

```

其中, x, y 为当前点的坐标值; $flag = 0, 1, 2, \dots, 7$ 分别代表对应的编码方向; $flag = 8$ 表示当前点未被标记过, $flag = 9$ 表示当前点已经标记; $gray$ 代表当前点的灰度值。 $next$ 是指向 $node$ 类型结构的指针变量。设置 $flag$ 初值为 8, $next$ 初值为 NULL。

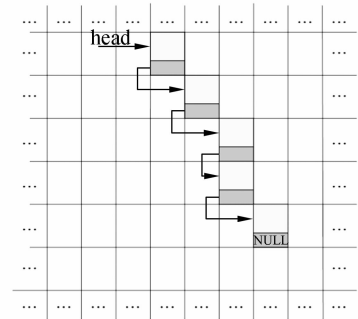


图 2 链表数组存储图, head 为链表头指针

Fig. 2 Storage design of the chain list, head is the head pointer

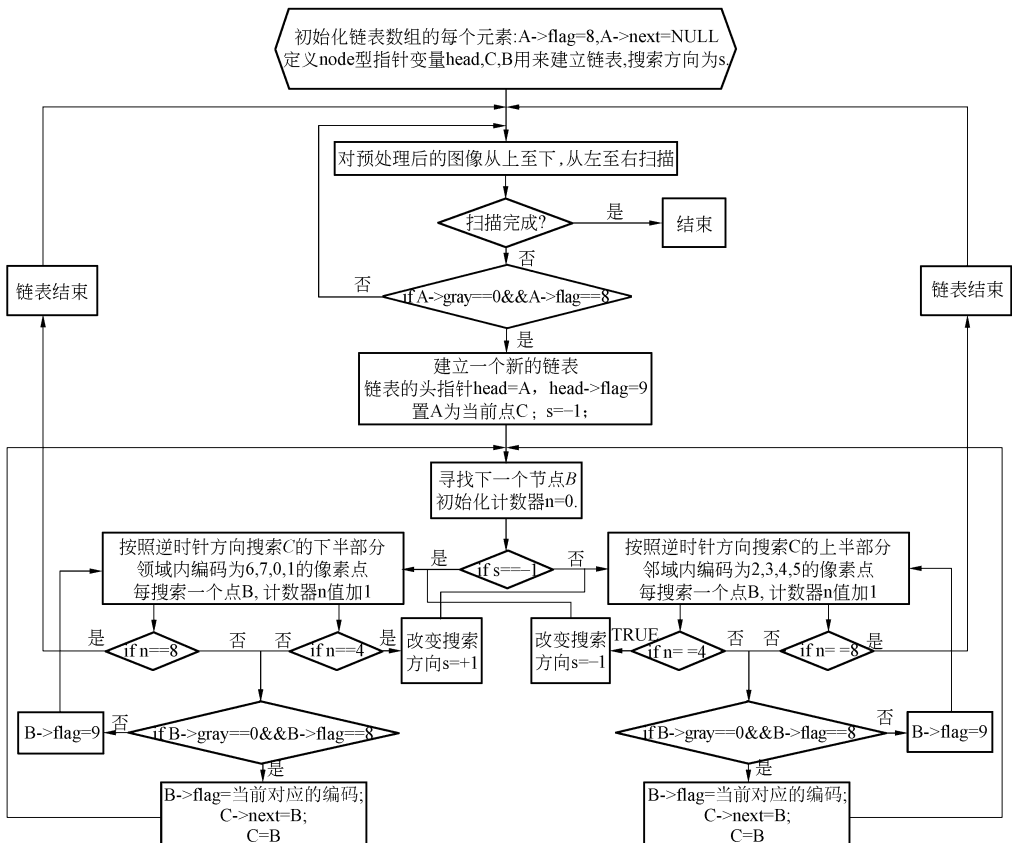


图 3 边缘跟踪算法流程图

Fig. 3 Flow chart of the edge tracking algorithm

2.2.3 跟踪方法

详细的跟踪算法如图3所示,假设图像大小为 $M \times N$,则链表数组为 $M \times N$ 维,每个数组元素为一个 structure node 变量定义为A。

2.3 确定跑道的粗略方向

对于2.2节中得到的链表集合,首先剔除长度小于一定阈值的链表,在剩余的链表中,统计每条链表中的出现次数最多的编码,则为该链表的主方向。如果与链表主方向相同的像素点数小于链表总点数的一半,则认为该链表为弯曲线段,予以剔除。统计所有链表的主方向中出现次数最多的方向作为跑道的粗略方向 θ 。 θ 与编码值code的关系式如下,%表示取余运算。

$$\theta = (\text{code} \% 4) \times 45^\circ .$$

2.4 在粗略方向 θ 邻域内使用霍夫变换检测直线

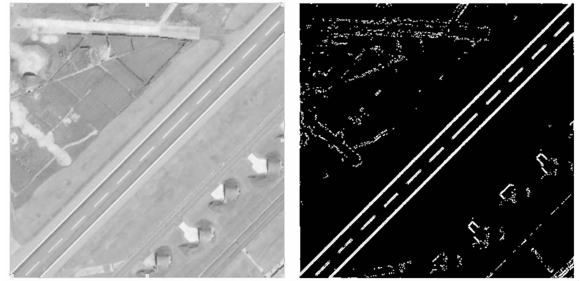
霍夫变换提取直线的原理是在二维坐标平面中,所有经过点 (x, y) 的直线可以由 ρ 和 θ 参数来描述, ρ 表示坐标原点到直线的距离, θ 表示该直线的垂线与X轴的夹角,它的参数方程为 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 。

图像空间的一条直线上的点,对应着一个参数空间 (ρ, θ) 累加器 $H(\rho, \theta)$, $H(\rho, \theta)$ 事实上就是某方向上目标点的数目。传统的霍夫变换方法对每个像素点均做从 0 到 179° 的坐标空间变换,计算量非常大。本文仅在 $[\theta - 30^\circ, \theta + 30^\circ]$ 区间内进行直线的精确定位。同时采用分层思想,先每隔 10° 计算 $H(\rho, \theta)$ 值,选择最大的 $H(\rho, \theta)$ 值对应的方向,然后在该方向的 $\pm 10^\circ$ 区间内每隔 1° 计算 $H(\rho, \theta)$ 值精确定位直线,大大降低了直接检测的计算量。在定位一条直线之后,将该直线对应的 ρ 的 ± 9 邻域内, θ 的 ± 2 邻域内的 $H(\rho, \theta)$ 值置为 0 ,选择最大的 $H(\rho, \theta)$ 值精确定位第二条直线。

3 机场跑道检测实例

为了验证该算法的有效性和实时性,本文进行了大量实验,图像大小为 256×256 。下面给出实验结果。

从图4(b)可以看出预处理后的图像有9 315

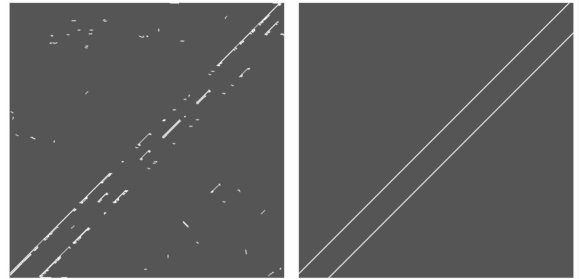


(a) 原始灰度图像

(b) 预处理后的图像

(a) Original gray level image

(b) Preprocessed image



(c) 链码跟踪后的二值图像 (d) 分层霍夫变换定位的直线

(c) Result of ICCBET

(d) Parallel lines localized by IHT

图4 跑道检测的实验结果

Fig. 4 Result of runway detection

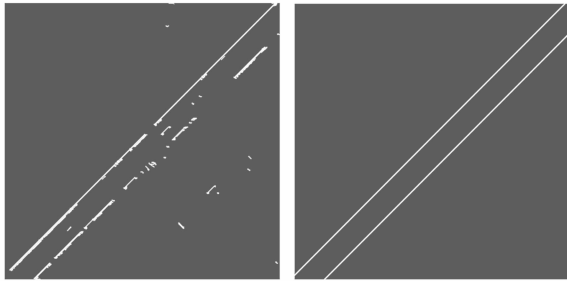
个边缘像素点。改进的链码跟踪剔除了大部分短线段、弯曲线段等干扰信息,处理后的图像仅剩2 165个边缘像素点,同时确定直线粗略方向为 $\theta = 45^\circ$ (见图4(c))。图4(d)精确定位的直线方向为 $\theta = 45^\circ$ 。

从图5(c)可以看出,遮挡并不会影响方向编码后跑道的主要方向,通过分层霍夫变换可以精确定位跑道的位置,因此本文的方法可以克服局部遮挡的干扰。

图6(a)的模糊干扰图像,通过相机采集得到,采集过程中对相机进行震动干扰,并变化焦距。可见本文方法可以准确检测出直线,并没有受到模糊干扰的影响。图6(c)确定直线粗略方向为 $\theta = 90^\circ$ 。图6(d)精确定位的直线方向为 $\theta = 111^\circ$ 。而原始单纯使用链码跟踪提取直线的方法,由于受到相机运动和噪声的干扰,图6(c)中的斜纹短直线将影响直线的定位,从而无法准确检测出直线信息。



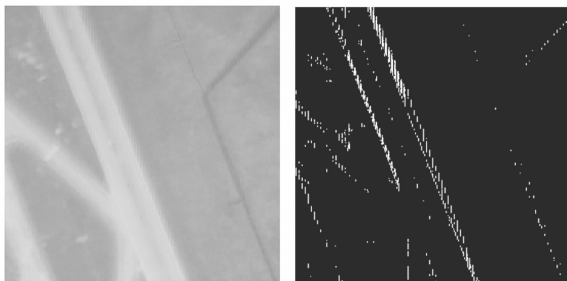
(a) 加遮挡的灰度图像
(a) Gray level image with occlusion
(b) 预处理后的图像
(b) Preprocessed image



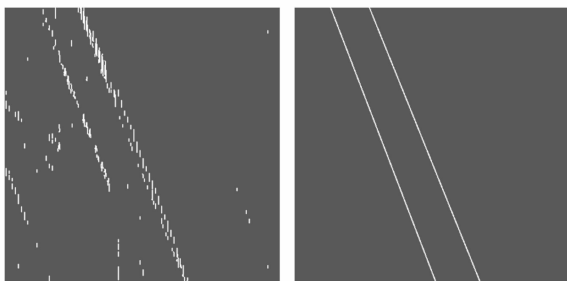
(c) 链码跟踪后的二值图像
(c) Result of ICCBET
(d) 分层霍夫变换定位的直线
(d) Parallel lines localized by IHT

图 5 跑道上存在遮挡的实验结果

Fig. 5 Result of occlusive runway detection



(a) 模糊干扰图像
(a) Blur image
(b) 预处理后的图像
(b) Preprocessed image



(c) 链码跟踪后的二值图像
(c) Result of ICCBET
(d) 分层霍夫变换定位的直线
(d) Parallel lines localized by IHT

图 6 显示了模糊图像的实验结果

Fig. 6 Result of runway detection in the blur image

4 时间性能分析

以图 4 为例,比较传统霍夫变换算法与本文算法的复杂性,列于表 1 中。

表 1 传统霍夫变换算法与本文算法的复杂性比较

Tab. 1 Comparison of the algorithms' complexity

	霍夫变换处理点数	霍夫变换的循环次数
本文算法	2 165	$60/10+20=26$
传统霍夫变换算法	9 135	180

传统的霍夫变换方法需要对所有的边缘像素点进行统计,即 9 135 个点(见 4 图(b)),同时由于没有先验信息,需要在 $0\sim 179^\circ$ 范围内搜索。本文改进的霍夫变换在链码跟踪后进行,仅处理 2 165 个边缘像素点(见图 4(c)),处理的点减少了约 $9\ 135/2\ 165=4.2$ 倍,同时根据得出直线粗略方向,在 $[\theta-30^\circ, \theta+30^\circ]$ 区间内先每隔 10° 搜索,仅需要 $60/10=6$ 次循环,在 $\pm 10^\circ$ 区间内每隔 1° 搜索,仅需 20 次循环,共 26 次循环,与传统霍夫变换相比减少了约 $180/26=6.9$ 倍。因此总的计算量减少了 $4.2\times 6.9=29$ 倍。

目前算法已经嵌入 32 bit 定点,1 GHz 时钟的 TMS320C6416 定点数字信号处理器硬件平台,实验得出在链码跟踪阶段,本文改进的链码跟踪方法运算时间不超过 5 ms,比文献[8]的扩展搜索算法节约了近 6 倍时间;在霍夫变换阶段,本文的分层思想,大大降低了霍夫变换的运算时间,保证精确确定直线的的时间不超过 10 ms,比文献[8]的传统霍夫变换方法节约了近 6.9 倍时间。因此总的算法实现时间不超过 $5+10=15$ ms,对于 25 frame/s 的图像采样速率,能够满足运算时间小于 20 ms 的工程实际要求。

5 结 论

本文采用改进的链码跟踪与分层霍夫变换相结合的方法检测航拍机场跑道,通过链码跟踪剔除短线段和没有统一方向的干扰线段,通过统计所有直线段的主要方向,确定跑道的粗略方向,然后在该方向的邻域内进行霍夫变换,从而大大

缩小了霍夫变换的搜索范围,将链码跟踪运算快的优点与霍夫变换精度高的优点相结合,实现了机场跑道的实时高精度检测。实验表明,本算法比传统霍夫变换算法运算量减少了约29倍,与单纯的链码跟踪相比,能够克服图像的模糊、遮挡等

干扰,精确检测出目标。在程序设计方面,为图像建立链表结构数组,固定了内存空间大小,避免了动态分配内存方式生成链表产生的越界问题。目前算法已经应用于工程硬件平台,可以满足实时处理要求。

参考文献:

- [1] 陈晓钟,孙华燕.一种自然纹理背景下的图像目标检测方法[J].光学精密工程,2000,8(5):421-424.
CHEN X ZH, SUN H Y. Targets detection method for image under nature texture background [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2000,8(5):421-424. (in Chinese)
- [2] 赖作镁,王敬儒,张启衡.背景运动补偿和假设检验的目标检测算法[J].光学精密工程,2007,15(1):112-117.
LAI Z M, WANG J R, ZHANG Q H. Object detection algorithm based on background motion compensation and hypothesis test [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007,15(1):112-117. (in Chinese)
- [3] 林玉池,崔彦平,黄银国.复杂背景下边缘提取与目标识别方法研究[J].光学精密工程,2006,14(3):509-514.
LIN Y CH, CUI Y P, HUANG Y G. Study on edge detection and target recognition in complex background [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006, 14(3):509-514. (in Chinese)
- [4] BERLALMIO M, SAPIEO G, CASELLES V. Image inpainting [J]. *SIGGRAPH*, 2000(1):417-424.
- [5] CHAN T F, SHEN J. Mathematical models for local non-texture inpaintings [J]. *Journal on Applied Mathematics*, 2002,62(3):1019-1043.
- [6] OSHER S, SETHIAN J. Fronts propagating with curvature dependent speed: algorithms based on the Hamilton-Jacobi formulation [J]. *Journal of Communication Physics*, 1988,79(1):12-49.
- [7] SETHIAN J A. Fast marching methods [J]. *SIAM Review*, 1999,41:199-235.
- [8] 杨顺辽,卢凌,杜宗岗,等. SAR 图像中机场跑道的自动识别研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2006,30(1):56-59.
YANG SH L, LU L, DU Z G, et al.. Automatic recognition of airport runways in SAR images [J]. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)*, 2006,30(1):56-59. (in Chinese)
- [9] FREEMAN H. *Boundary Encoding and Processing* [M]. New York:Acad. Press, 1970:241-266.

作者简介:



邸男(1981—),女,吉林长春人,助理研究员,博士研究生,2003年于天津大学获学士学位,2005年于天津大学获硕士学位,主要从事图像匹配、自动目标识别等方面的研究。E-mail: di-nan0620@yahoo.com.cn



王毅楠(1980—),男,吉林长春人,助理工程师,2004年于吉林大学获学士学位,主要从事企业信息化等方面的研究。E-mail: dangdangdi@eyou.com



朱明(1964—),男,江西南昌人,研究员,1985年于南京航空航天大学获得学士学位,1991年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事视频图像处理、自动目标识别技术及成像目标跟踪等方面的研究。E-mail: zhu_mingca@163.com