

文章编号: 1001- 2486(2009) 02- 0020- 05

机载视觉自主着陆过程中的跑道提取方法^{*}

朱宪伟, 李 由, 于起峰

(国防科技大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 跑道直线参数的准确提取, 是机载视觉完成自主着陆过程的重要条件。首先在边缘图像的基础上利用相位编组算法, 得到当前边缘图像中大量的线段, 根据线段之间的角度, 端点距离, 以及线段两边的灰度均值, 设计了一套规则来定量描述线段之间的亲近性, 根据亲近值, 将处于同一直线上的短线段首尾连接成长线段。取最长的若干条线段待选, 再利用跑道区域的先验知识, 主要是跑道内外的灰度对比信息, 将位于同一条跑道的两条边缘上的线段识别出来。大量的实际图像结果验证了算法的有效性。

关键词: 边缘检测; 跑道提取; 相位编组; 线段亲近性

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

A Method to Extract the Runway for Airborne Vision Based Auto-landing

ZHU Xian-wei, LI You, YU Qi-feng

(College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Extracting the linear parameters of the runway is the precondition for airborne vision based auto-landing. Firstly it is required to obtain a lot of short lines by gradient direction grouping on the edge map. Secondly according to the angle between two lines and the distance between the ends of two lines, and the gray average on both sides of lines, a rule to quantitatively characterize the affinity between two short lines is advanced, then the short lines on the same line end-to-end by the value of affinity will be linked. Finally the longest lines are left to choose, and priori knowledge, namely the contrast information of shades between the internal and external runway is applied to distinguish the two lines lying on the two edges of the same runway. The method has been tested valid by many actual images.

Key words: edge detect; runway extracting; gradient direction grouping; affinity between lines

在机载视觉导航的末阶段, 也就是飞行器自主着陆的过程中, 机场跑道是视场中最显著的目标。并且着陆的目的也是保证飞行器降落在跑道上, 因此跑道目标的准确实时提取是确保着陆成功的关键因素之一。目前已有的跑道目标的提取算法非常多, 大部分的应用是面向卫片或航片中机场目标的识别^[1], 此时机场目标基本是下视的, 表现为两条跑道边缘在图像中是平行的, 应用环境相对简单一些。文献[2]利用下视图像中跑道的两条边缘是平行的特性, 采用 Hough 变换的方法提取平行的“直线对”。而在自主着陆过程中, 机场跑道在图像中可能表现为由“细长条”转变为明显的“八字型”, 应用环境较为复杂。在此应用背景之下, 本文在图像边缘检测的基础上, 基于当前应用, 调整了 Canny 算子中的非最大值抑制范围, 得到了更为“干净”的边缘图像。统计了边缘两侧的灰度信息, 设计规则来连接短线段, 形成新的长线段。同时结合跑道内部区域特性, 将位于跑道边缘上的线段选择出来, 从而得到跑道的直线参数, 大量的实际图像实验证明了本文算法的鲁棒性。

下面两图是机载相机在不同状态拍摄的图像。其中图 1 是距离机场地面较高, 下视时成的像, 此时跑道的两条边缘几近平行。而图 2 是在飞行器降落的末阶段, 此时跑道较宽, 并且由于前下视的影响, 跑道的两条边缘呈“八字型”。从这两幅图中可以看出机场内有很多直线特征的目标, 因此除去跑道的直线边缘之外, 还包括很多干扰直线, 这些直线的存在给最后的跑道定位带来了干扰。

^{*} 收稿日期: 2008- 11- 10

作者简介: 朱宪伟(1979—), 男, 博士生。

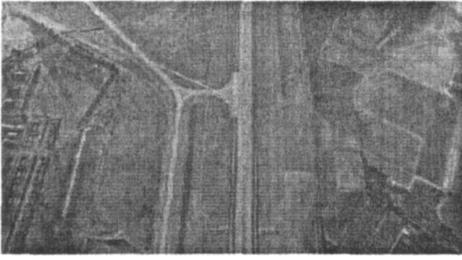


图 1 下视图像
Fig. 1 Downward view image



图 2 前下视图像
Fig. 2 Front-downward view image

1 边缘检测与直线提取

直线特征是视觉感知中的重要线索。提取直线的算法也一直是图像处理算法中的基本问题, 各类算法非常多。Hough 变换是提取直线特征目标中最经典的一类算法^[2,6]。它的优点是抗噪性能比较强, 能够连接共线的短直线, 而缺点是运算量较大, 同时不能确定直线的起始端点。

Burns 等提出了用相位编组算法来提取直线, 它将具有相似相位且相互连通的边缘点编为一组^[3-4], 通过最小二乘拟和得到一条线段。因此相位编组算法得到的是线段, 具有起始端点。本文的算法就是利用相位编组算法, 得到大量的线段, 然后根据线段的属性, 主要是线段两边的灰度信息及线段之间的相对关系, 包括它们的方向以及线段端点之间的距离等信息建立线段之间的亲近性矩阵, 将亲近性较强的短线段连接成长线段, 从而得到一定数量的长线段。

相位编组算法要求首先检测出边缘, 在边缘检测中, 公认比较好的算子是 Canny 算子, 它是在灰度梯度图的基础上进行的^[7]。Berkeley 大学的 Malik 等提出的 Pb 算法^[8], 融合了亮度信息, 颜色信息以及纹理信息, 是目前最好的边缘算子。该算子的运算量太大, 不适应于实时应用。

本文算法用到的边缘算子是在 Canny 算子的基础上进行的, 只是在非最大值抑制时有所改动, 原来的 Canny 算子只是沿着梯度在正负方向各搜索一个像素, 如果该点的梯度模是极大值, 则保留该像素作为边缘点。本文将搜索半径扩大, 沿正负方向各搜索 3 个像素, 如果该点的梯度模仍为极大值, 才保留该像素。经过这种改动可以保留更稳健的边缘点, 同时克服双阶跃型边缘的双响应。单阶跃边缘和双阶跃边缘分别对应了图像中的边 (edge) 和线 (line), 如图 3、图 4 所示。

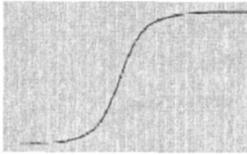


图 3 单阶跃
Fig. 3 Single step edge

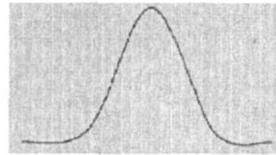


图 4 双阶跃
Fig. 4 Double step edge

从图 2 的跑道图像上可以看出, 在图像下方的跑道边缘处存在着很多线, 也就是存在很多双阶跃边缘。通过扩大非最大值抑制的范围, 可以部分抑制双阶跃边缘, 这样做也是因为双阶跃边缘肯定不是跑道的边缘。图 5 和图 6 两幅结果图像即是在其它参数完全相同, 只在非最大值抑制作了调整后得到的边缘图像。经过这种简单的改动, 得到的图像更为“干净”一些。

2 建立线段亲近值矩阵

在边缘图像的基础上进行相位编组, 也就是将相互连通, 且梯度方向一致的边缘点编为一组, 采用最小二乘的方法将其拟和成具有首尾端点的线段。但由于相位量化以及噪声的影响, 使得原来的完整跑道边缘可能断裂成若干条边缘, 拟和之后, 完整的直线可能由若干条短的线段组成。如何把属于同一



图5 边缘图像
Fig. 5 Edge map



图6 边缘图像
Fig. 6 Edge map

条直线的线段彼此首尾连接起来,这实际上是一个知觉组织的问题。格式塔心理学给出了几条准则,包括位置接近性,光滑性,相似性,平行性等。在此基础上可以建立多种边缘的亲近性描述规则。

Mumford 等将边缘之间的亲近性用概率描述,它假定一个粒子从一个边缘的端点做布朗运动,即以一定的速度沿原方向前进,同时以一定的概率被其它粒子相撞而改变运动方向,同时还以一定的概率衰减掉。通过采样的方法可以得到该粒子到达另外一条边缘的概率。Willmas 和 Jacobi 利用这一概念给出了一种解析的方法求取边缘之间的亲近性^[9]。

Zucker 等根据格式塔心理学的规则建立了另外一套规则来描述边缘之间的亲近性,它综合利用了边缘的对比度,以及端点距离和边缘之间的角度等信息。文献[5]认为边缘的两个端点由圆弧连接,给出了另外一套规则来计算边缘之间的亲近性。本文需要将原属于同一条直线的线段组织起来,因此认定端点之间是由直线相连。如图7所示,本文描述两条线段的亲近性主要由以下参数组成:端点之间的连线与线段之间的夹角 θ_1 和 θ_2 ,端点之间的距离 R ,以及两条线段两边的灰度均值, gH_1 , gL_1 和 gH_2 , gL_2 。其中灰度均值是从线段出发,沿垂直于线段的方向,一定邻域内的灰度平均值。

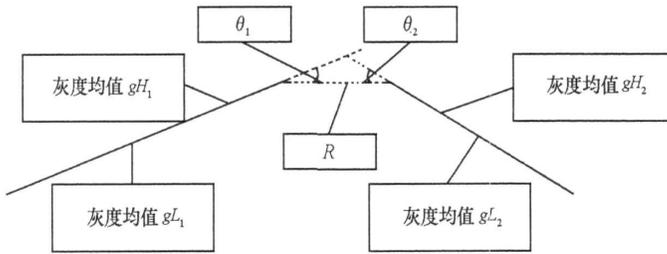


图7 线段相对关系
Fig. 7 Relationship between segments

两条线段之间的亲近值由以下公式计算:

$$P_A = P_R P_0 P_g \quad (1)$$

其中 P_R 描述了端点之间距离的亲近性,计算公式如下:

$$P_R = \exp\left[-\frac{R^2}{2\sigma_R^2}\right] \quad (2)$$

P_0 描述了两条线段在同一条直线上的亲近性,计算公式如下:

$$P_0 = \exp\left[-\frac{\theta_1^2}{2\sigma_\theta^2}\right] \exp\left[-\frac{\theta_2^2}{2\sigma_\theta^2}\right] \quad (3)$$

P_g 描述了两条线段的灰度属性的亲近性,考虑到原长直线被断开的很大一部分原因是断开的地方灰度对比度下降,比如与跑道垂直的辅道的存在会使得跑道的外边缘在此处断裂,此时线段两边的灰度均值可能只有跑道内部才是接近的。因此定义灰度的亲近值公式如下:

$$P_g = \max\left[\exp\left[-\frac{(gH_1 - gH_2)^2}{2\sigma_g^2}\right], \exp\left[-\frac{(gL_1 - gL_2)^2}{2\sigma_g^2}\right]\right] \quad (4)$$

求取任意两条线段之间的亲近值, 建立线段间的亲近值矩阵。搜索亲近值矩阵, 将亲近性较强的两条线段的边缘点重新拟和成新的长线段。

3 结合区域属性判断“线段对”

在下视的情况下, 跑道的边缘基本上是图像中最长的两条线段了, 但是在前视的情况下, 最长的线段可能是天地交界线。为了提高算法的鲁棒性, 本文再结合跑道区域的先验知识从众多的线段中提取属于跑道两条边缘的“线段对”。在经过线段连接之后, 取最长的多条线段作为待选, 选择 20 条线段待选。从这些线段中任意选择两条线段, 定义一个参数来反映这两条线段作为跑道两条边缘的可能性。判断规则主要包括:

(1) 如果两条线段延长直线的交点位于其中一条线段的内部, 则这两条线段不可能属于跑道的两条边缘。如图 8, 其中虚线是线段的延长部分。

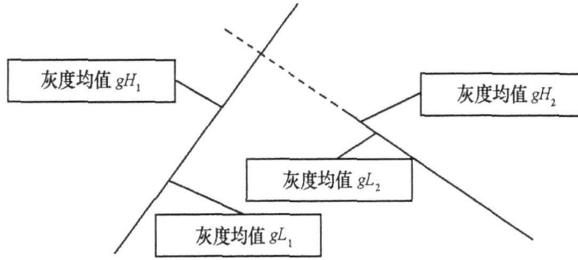


图 8 “线段对”

Fig. 8 Pair of segments

(2) 假设跑道是亮的, 则两条线段内部的灰度均值应该是相近的, 且较大的。线段外部的灰度均值应该是接近的, 且较小的。

(3) 两条线段的长度应该是较大的。

经过规则 1 的排除之后, 利用规则 2 和规则 3 设计一个公式, 用来计算每一个“线段对”为跑道两条边缘的可能性。假设已知跑道内部是亮区域:

定义线段内部的灰度均值为两条线段中间的灰度均值的最小值:

$$L_{ave} = \min(gL_1, gL_2) \quad (5)$$

定义线段外部的灰度均值为

$$H_{ave} = \max(gH_1, gH_2) \quad (6)$$

定义“线段对”为跑道两条边缘的可能性为:

$$P_{like} = (Len1 + Len2)L_{ave}/H_{ave} \quad (7)$$

其中 $Len1$ 和 $Len2$ 分别为两条线段的长度。

若已知跑道为暗的(SAR 图像中的跑道), 则公式(6)作如下修正:

$$H_{ave} = \min(gH_1, gH_2) \quad (8)$$

公式(7)作如下修正:

$$P_{like} = (Len1 + Len2)H_{ave}/L_{ave} \quad (9)$$

根据实际情况, 通过上述公式求取任意两条待选直线的 P_{like} , 具有最大值的“线段对”被认为是跑道的两条边缘。

4 实验结果与讨论

本文在相位编组算法的基础上, 通过建立线段之间的亲近值, 将处于同一直线上的线段重新连接成长线段, 再根据少量的跑道先验知识将位于同一条跑道上的两条长线段识别出来。

本文算法中在描述线段亲近值时的参数数目比较多, 经过实验发现, 参数的不同对结果的影响不是

很大。这是因为线段之间的亲近值采用指数的方式计算,因此其两极分化非常严重,不相关的线段之间的亲近值很小,接近零,只在线段之间确实相关的时候,亲近值才存在。因此在更改参数时,其两极分化的现象仍然存在,线段之间的亲近趋势并不会改变。最后判断两条线段是否连接的阈值,可以通过自适应的方式给出。假设需要连接线段总数为10%的线段,则可以通过统计亲近值矩阵中的各个元素值,给出阈值来保证亲近值矩阵中的元素有10%的数量在该阈值之上。在最后确定“线段对”的时候,保留了20条最长的线段,完全可以保证位于跑道边缘的线段包含在其中,经过最后的区域验证,可以将属于跑道边缘的“线段对”提取出来。上述原因使得参数的不同设置对本文算法的影响不大。

采用上述算法对一个序列的飞机降落时的机载图像,以及卫星图像和雷达图像进行了实验,取得的效果非常不错,给出两组实验结果图像如图9、图10所示。为了方便观察,图中在跑道边缘处画出的结果是将检测到的“线段对”延长,贯穿整幅图像的结果。

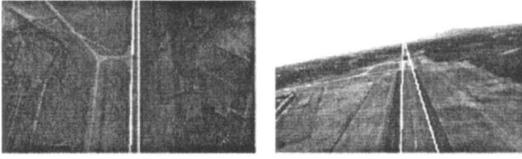


图9 机载图像
Fig. 9 Airborne image

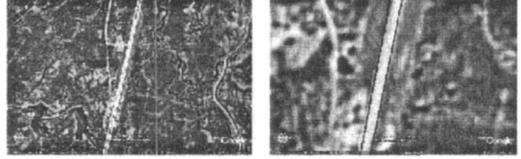


图10 卫星图像
Fig. 10 Satellite image

参考文献:

- [1] 应龙, 栾悉道, 吴玲达. 高分辨率遥感图像中机场跑道快速检测方法[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(2): 282-286.
- [2] 朱宪伟, 孙祥一. 红外图像中机场跑道的自动跟踪[J]. 光学技术, 2005, 31(5): 773-775.
- [3] 王程, 文贡坚, 王润生. SAR图像直线提取[J]. 电子学报, 2003, 31(6): 816-820.
- [4] Bums B. Extracting straight lines[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(4): 425-455.
- [5] Prasad V S N, Davis L S, Tran S D. Edge Affinity for Pose-cont our Matching[J]. Computer Vison and Image Understanding, 2006, 104: 36-47.
- [6] NVillalba Q, JZapata E L. A Fast Hough Transform for Segment Detection[J]. Image Processing, IEEE Transactions on 1057-7149, Nov. 1995, 1541-1548.
- [7] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Transactions on PAMI, 1986, 8(6): 679-698.
- [8] Malik M F. Learning to Detect Natural Image Boundaries Using Local Brightness, Color and Texture Cues[J]. IEEE Transactions on PAMI, 2004, 26(5): 530-549.
- [9] Williams T L. Stochastic Completion Fields[J]. Biological Cybernetics, 1996, 75: 141-151.