

基于直线提取的机场跑道识别方法

张学峰, 李丽娟, 刘珂
(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要:针对红外机场跑道图像的结构特点,提出了一种机场跑道识别和提取跑道中心点的算法。首先对红外图像进行空域滤波;然后采用 Sobel 算子提取边缘图像;接着提取所有可能的直线段,并计算它们的参数;接着对找到的直线段进行连接性测试,得到最终的直线提取结果;最后从找到的所有直线中搜索平行直线对,从中识别出机场主跑道的边缘,计算出跑道中心点。大量的仿真实验证明这种方法可以在红外图像中准确、快速地识别出机场跑道和提取跑道中心点。

关键词:目标识别;机场跑道;直线提取;边缘跟踪;直线拟合
中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

Automatic Airfield Runway Recognition Algorithm Based on Line Extraction

ZHANG Xue-feng, LI Li-juan, LIU Ke
(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: Aiming for the structure feature of the airfield runway, a new airfield runway recognition and center spot extraction algorithm is proposed. Firstly, median filter is used to remove pulse noise. Secondly, the edge image is extracted with sobel operator. Thirdly, all possible line sect are extracted and their parameters are calculated. Fourthly, line extraction result are got by implementing line sect connect test. Finally, parallel lines are searched from all lines, and edges of main runway are recognised, and center spot of runway are calculated. Many experiments show that this method can recognize airfield runway and extract center spot exactly and quickly in the infrared images.

Key words: target recognition; airfield runway; line extraction; edge trace; straight line fitting

1 引言

机场跑道识别对于制导武器正确命中敌方飞机跑道具有非常重要的意义^[1], 机场特征提取、识别与理解也一直是研究的热点。制导武器如果能够识别敌方的机场跑道,则在控制系统的作用下,就可以准确命中敌方飞机跑道的中央处,给敌方飞机的起降造成严重影响。

军用机场一般都有一个主跑道和一个辅助跑道^[2],它们是相互平行的,主、辅跑道两端通过停机坪连接起来构成封闭的矩形结构。在这两个跑道中间又有若干条联络道将它们联系起来,供飞机在主、辅助跑道之间运动和地勤人员对飞机的维护。就交通网而言,军用机场一般具有“目”、“日”等几何形状。另外,在辅助跑道的一侧一般有数个环状的混凝土防弹机库掩体群以及与外界相连的公路。这些

构成了军用机场的大的几何结构。在这些大结构中,主、辅跑道的平行直线边缘特征是最明显的,最有利于进行自动目标识别。所以为了识别机场跑道,我们的任务就是提取和识别主跑道的两条长的平行的边缘线,也就是从图像中提取直线并进一步判定是否为跑道边缘。

目前已经有许多提取直线的方法,文献[3]对这些方法进行了比较。Hough 变换及其变形算法的抗噪性能较好,能连接共线短直线,但参数难于选择且计算复杂,提取直线的分辨率较低,缺乏局部特性。启发式连接算法对边缘检测的结果比较敏感且

基金项目:国防预研项目资助。

作者简介:张学峰(1984-),男,助理工程师,主要从事红外目标检测与跟踪方面的研究工作。Email: xuefeng_26@163.com

收稿日期:2008-06-04

容易产生断裂的短直线。层次记号编组法速度快,能连接短直线,但也存在参数难于选择和分辨率低的缺点。基于假设检验策略的直线提取方法可消除短直线之间的间隔,有较好的局部特征,但计算复杂。相位编组法利用方向信息进行直线的识别确认,在对边缘作局部决策之前,先作支持边缘上下文关系的全局组织,能够从复杂的图像中抽出相当低对比度的直线,但容易产生断裂的短直线。

考虑到各种直线提取算法的优缺点和弹载软件应该具有简单、有效、速度快、便于弹载硬件实现的特点,本文采用的直线提取方法为:首先对边缘图像进行有方向约束的边缘跟踪,找出所有可能的直线段;然后对这些直线段进行连接性测试,将满足一定条件的直线段合并成一条连接链,作为最终的直线提取结果。

2 算法描述

算法分为5步,具体的流程如图1所示。

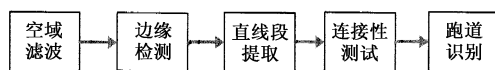


图1 跑道识别算法流程图

2.1 图像预处理

在阵列扫描成像或者焦平面成像系统中,由于各个传感器单元之间固有的不均匀性和盲元的影响,实际获取的红外图像中通常包含大量的噪声,这些噪声对正确提取边缘有较大的影响,因而必须对图像进行空域滤波以抑制噪声。考虑到算法的简单和便于硬件实现,本文采用中值滤波法来进行噪声抑制。由于大模板会使边缘过分平滑,而小模板对噪声较为敏感,本文采用水平5点模板进行中值滤波,实验证明它可以滤除图像中的脉冲噪声,使图像满足后续处理的要求。

2.2 边缘提取与细化

本文应用实验效果较好,且运算简单的 Sobel 算子来进行边缘检测,采用基于噪声的均方根估计作为自适应阈值:

$$Th = \frac{4 \times bsum}{M \times N};$$

其中, bsum 为图像梯度幅值平方和; M, N 分别为图像的长和宽。它的计算过程如下:首先用 Sobel 算子的水平方向和垂直方向两个模板和图像卷积,得到梯度幅值图像和边缘方向图;然后按上述公式计算对梯度幅值图像进行分割的阈值;最后对梯度幅值图像进行非最大值抑制和分割,得到细化的边缘图。算法的具体过程参见文献[4]。此边缘检测算法具有如下优点:计算简单,便于实现,定位精度较高,且能够提供边缘点的相位信息。

2.3 直线段提取

直线段提取算法的思想为:对边缘图像从上到下、从左到右进行搜索,如果当前像素为边缘点,而且它的八邻域内存在另外一个边缘点,就认为找到了一条新的直线段的起点,并且当前像素点为直线段上的第一个点,它的邻域内的那个边缘点为直线段上的第二个边缘点,将边缘跟踪方向规定为第二个边缘点对应的当前边缘点的8个邻域点的标记方向,将两个边缘点标记为已扫描过,并将第二个边缘点作为当前边缘点。在找到一条直线段的起点后,就在当前边缘点的以跟踪方向为基准的一个角度偏差范围内的邻域内搜索下一个边缘点,如果搜索得到了下一个边缘点,就以下一个边缘点为当前边缘点继续搜索过程,并将这个边缘点标记为已扫描过。如果直线段的长度(直线段上包含的像素个数)超过了规定的最大长度阈值或者当前边缘点的邻域内没能找到下一个边缘点,就结束这条直线段的搜索过程,如果这条直线段的长度大于最小长度阈值,就接受这条直线段,并用最小二乘法拟合得到直线的参数。继续搜索下一条直线段,直到所有的边缘点都已经扫描过,或者找不到下一条新的直线段的起点。

当前点的8邻域内8个邻域点的标记方向如下,其中 P 为当前点:

3	2	1
4	P	0
5	6	7

直线段搜索时允许的角度偏差为 $\pm 90^\circ$, 直线段的最大长度阈值取为100个像素,最小长度阈值为15。需要注意的是,在当前边缘点的邻域内搜索下一个边缘点时,邻域内的不同方向的像素有不同的搜索优先级:在当前边缘点的跟踪方向上的边缘点优先级最高,与跟踪方向的偏差越大优先级越低。

具体的直线段提取算法描述如下:

1) 对边缘图像从上到下、从左到右进行扫描,搜索直线段的起点;

2) 如果没有找到直线段的起点,算法结束,否则转到下面的步骤3);

3) 保存直线段的起点上的两个边缘点的坐标,设置跟踪方向为第二个边缘点对应的第一个边缘点的8个邻域点的标记方向,以第二个边缘点为当前边缘点;

4) 在当前边缘点的以跟踪方向为基准的一个角度偏差范围内的邻域内按一定的优先级搜索下一个边缘点;

5) 如果搜索得到了下一个边缘点, 将其坐标加入当前直线段的坐标数组, 更新当前直线段的长度, 设置其为当前边缘点, 否则转到步骤 7);

6) 如果当前直线段的长度小于规定的最大长度阈值, 转步骤 4), 否则转到下面的步骤 7);

7) 如果这条直线段的长度大于最小长度阈值, 就用最小二乘法拟合得到直线参数, 否则舍去这条直线段;

8) 转步骤 1) 继续搜索下一条直线段。

2.4 连接性测试

由于噪声和机场跑道的结构特征本身的影响, 在上面的直线段搜索过程中, 可能将一条直线分成许多独立的直线段, 为了避免这种情况, 引入连接性测试过程来将属于同一条直线的所有直线段组成一条连接链, 作为一个整体来进行后面的目标识别过程。

2.4.1 连接矩阵的建立^[5]

设直线段搜索阶段共找到了 N 条直线段, 连接矩阵 C_{NN} 为 N 行 N 列的方阵, 矩阵元素 C_{ij} 等于 1 时表示直线段 i 与直线段 j 相连, 等于 0 时表示直线段 i 与直线段 j 不相连。显然 C_{NN} 为对称矩阵, 在实际处理中仅考虑 C_{NN} 的上三角矩阵。连接矩阵的建立过程如下:

1) 初始化 C_{NN} 的对角线元素为全 1, 其他元素为全 0。

2) 对任意两条直线段进行连接选取测试、共线性测试和断裂测试, 如果测试条件满足, 就将对应的矩阵中的元素置为 1。

2.4.2 连接链的生成

文献[5]提到了使用递归算法的连接链生成方法, 考虑到在嵌入式软件编程中, 由于存储资源有限, 递归算法很容易造成堆栈越界, 引发致命的错误。为了是算法更适合于嵌入式软件编程, 本文给出了一种新的连接链生成方法, 它通过移动连接矩阵内的连接标志来获取连接链, 具体算法如下:

1) $i=0$;

2) 如果 $C_{ii}=0$ 转步骤 6), 否则转到下面的步骤 3);

3) $j=i+1$;

4) 如果 $C_{ij}=1$ 并且 $C_{ji}=1$, 就将第 j 行的所有为 1 的连接标志移动到第 i 行的相同列, 同时将第 j 行的连接标志置为 0;

5) j 加 1, 如果 $j < N$ 转步骤 4), 否则转到下面的步骤 6);

6) i 加 1, 如果 $i < N$ 转步骤 2), 否则转到下面的步骤 7);

7) $j=0$;

8) 从第 0 行开始搜索连接矩阵的上三角矩阵 C_{NN} 的第 j 列中第一次出现 1 的行, 记为 r 。

9) 从 $(r+1)$ 行开始继续搜索连接矩阵 C_{NN} 的上三角矩阵的第 j 列, 如果第 i 行出现了 1 元素, 就将第 r 行中所有为 1 的连接标志移动到第 i 行的相同列。

10) j 加 1, 如果 $j < N$ 转步骤 8)。

2.4.3 直线参数的获取

结合直线段搜索过程和连接链生成过程, 可以很容易获取连接链含有的边缘像素个数、含有直线段的条数、连接链的起点、连接链的终点等参数。通过对连接链中所有边缘像素的坐标进行最小二乘拟合, 可以获得直线方程。为了减少后面跑道识别过程的计算量, 可以根据一定的准则来去除那些明显不可能为跑道边缘的连接链, 本文中去除了那些含像素个数小于 80 的连接链。

2.5 跑道识别

上述图像处理步骤获取的连接链中, 必定包含机场跑道的两条直线边缘, 可以根据跑道的先验知识来识别跑道的边缘, 确定中心点。机场跑道这样的目标最明显的特征就是主跑道边缘形成的两条平行直线, 所以可以采用如下方法来识别跑道: 首先在图像中扫描得到所有的平行线组; 然后综合考虑平行线间距、平行线长度、平行线的长宽比、平行线的两侧和平行线内部的灰度变化情况等信息从获取的平行线对中识别出机场跑道边缘; 最后将识别出的跑道边缘上的所有边缘点的坐标取平均值, 作为跑道的中心点。

3 实验结果

通过在 Visual C++ 平台下编程实现文中算法, 并对大量红外图像进行了仿真实验, 结果证明算法确实可行, 并且有较快的运算速度, 采用的直线提取算法的抗噪性能较好, 能连接共线短直线, 计算简单, 提取直线的分辨率较高, 有较好的局部特性。用实际拍摄的某机场跑道作为实验对象, 实验中间结果如图 2 ~ 图 7 所示。

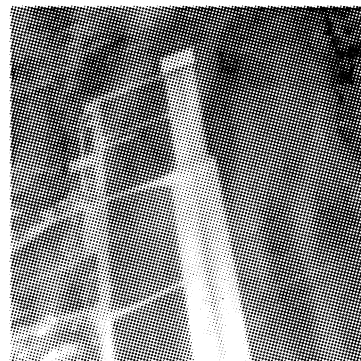


图 2 机场跑道原始图像

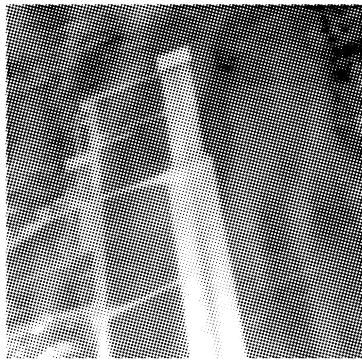


图3 中值滤波结果

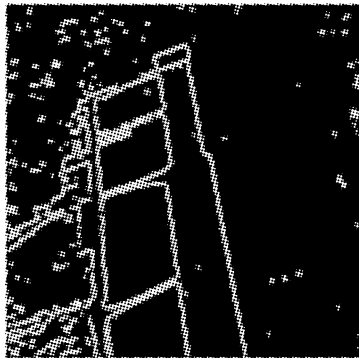


图4 边缘检测结果

图2为机场跑道的原始红外图像;图3为中值滤波后的结果,可以看出水平5点中值滤波算法较好的滤除了原始图像中的脉冲噪声;图4为Sobel算子边缘检测的结果,跑道边缘基本上可以检测出来,但存在一些断裂,特别是联络道和辅助跑道断裂更为严重;图5为直线段提取的结果,它去除了孤立的边缘点和较短的边缘段,得到了大量的直线段,并为直线段连接性测试过程获取了它们的长度、起始点坐标、终止点坐标和直线方程参数;图6为连接性测试的结果,在本帧图像中共得到了6条符合要求的直线,在图中分别标记为1~6,这6条直线可以形成6对平行线,平行线对提取的结果为(1,2)、(1,3)、(2,3)、(4,5)、(4,6)、(5,6);图7为跑道识别和要害点选择结果,白色直线为识别出的跑道边缘,图中用“+”号标出了识别出的跑道中心点,可见本文算法能够准确地将机场跑道的中心点提取出来,且算法具有简单和抗干扰性强的特点。

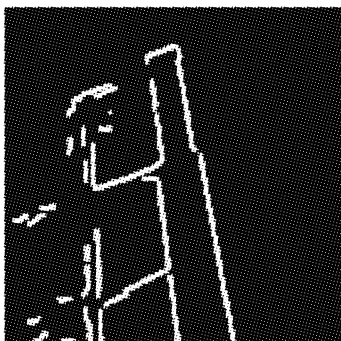


图5 直线段提取结果

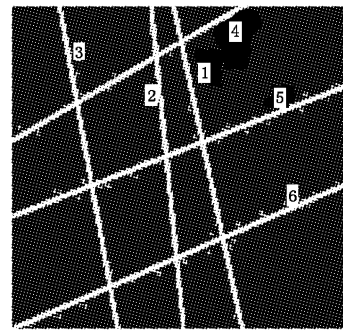


图6 连接性测试结果

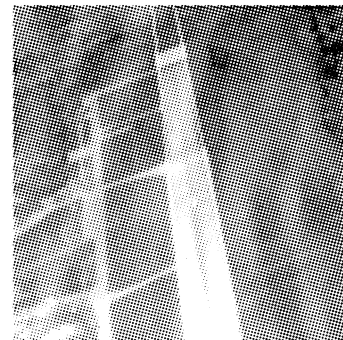


图7 跑道识别结果

4 结论

本文针对机场跑道的特点,分析了各种直线提取算法的特点,给出了一种提取、识别机场主跑道的算法,通过实验,证明该算法具有良好的性能,且算法可以实时实现,可以满足某些特殊场合应用的要求。但本文未对基于先验知识的机场跑道识别方法进行深入研究,在以后的工作中,需要更加充分地利用本文算法所能获取的机场跑道边缘的大量信息,更好的利用机场跑道目标的先验知识和结构信息,充分利用机场主跑道、辅助跑道和联络道之间的几何关系、结构关系及其上像素的灰度关系来提高机场跑道识别的精确性,同时也将近一步考虑将此方法进一步应用到除机场跑道以外的其他由线性特征构成的目标的识别过程中去,比如桥梁目标、典型建筑目标等等。另外为了更加准确的提取边缘图像中的直线段,可以对边缘跟踪得到的直线段进行可信度判定和加入直线段分裂过程。

参考文献:

- [1] 罗军,杨卫平,沈振康. 红外图像中机场跑道的自动目标识别[J]. 红外技术,2003,25(3):13-17.
- [2] 叶斌,彭嘉雄. 基于结构特征的军用机场识别与理解[J]. 华中科技大学学报,2001,29(3):39-42.
- [3] 文贡坚,王润生. 一种稳健的直线提取算法[J]. 软件学报,2001,12(11):1660-1666.
- [4] 吴健新,李翠华,吴晓旭,等. 航拍图像中机场跑道的快速检测[J]. 模式识别与人工智能,2006,19(2):262-265.
- [5] 张祖勋,吴军,张剑清. 一种基于线空间的直线抽取算法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2004,29(3):189-194.