

基于数学形态学的机场跑道快速识别方法

王昭莲, 吴乐华

(重庆通信学院 信号与信息处理实验室, 重庆 400035)

摘要:提出了一种航拍机场跑道的快速识别方法。采用二维最大熵阈值方法分割出目标区域, 利用 Kirsch 算子提取主要物体的边界轮廓, 然后基于数学形态学的开、闭运算消减云层等物对目标边界的干扰, 断开细线连接, 削弱狭窄的部分, 再应用细化剪枝剔除毛刺和各段孤立的短骨架线; 利用 Hough 变换搜索出平行直线对作为机场跑道的候选区域; 利用跑道区域的灰度特征对候选区域进行验证, 去除虚假目标。实验结果表明: 该方法具有较高的目标识别率和计算实时性, 抗噪性强, 能够消除背景中诸如云朵等物体的干扰。

关键词:二维最大熵阈值; 数学形态学; 细化剪枝; 机场检测

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)07-0193-04

A Fast Method of Airport Runway Detection Based on Mathematical Morphology

WANG Zhao-lian, WU Le-hua

(Signal and Information Processing Lab., Chongqing Communication Institute, Chongqing 400035, China)

Abstract: Presented a fast method to detect airport in aerial image. First, the two-dimensional maximum entropy threshold method was adopted to segment the object area, and Kirsch operator was used to detect the main edges of the objects in the image. Then the disturbance of some background objects such as cloud was eliminated. Also thread linking and the narrow part were disconnected and weakened accordingly, which were based on the mathematical morphology of the opening and closing operation. Further the burr and every isolated short skeleton were removed by thinning and pruning. And then, the parallel straight lines detected by Hough transform were considered as candidate regions. At last, the candidate regions were verified by the gray characters of runway area so as to wipe off the false targets. Experiments indicate that the method has a high recognition rate and calculation of real-time, and it is robust to the background interference.

Key words: 2-D maximum entropy threshold; mathematical morphology; thinning and pruning; airport detection

0 引言

自动目标识别(ATR)在当今国防军事以及民用领域的作用日益显著。机场作为重要的基础设施, 是作战双方侦察和打击的重要目标之一。机场跑道的检测识别一直是国内外学者研究的热点。机场具有明显的线状结构特征, 对它的研究多集中于此。文献[1]对机场的整体结构作了较详细的分析, 并通过分割、细化、断线自动修补等处理, 提取几何特征。文献[2]针对红外机场跑道图像特点, 采用边缘搜索、直线拟合, 直线修正提取跑道中心。然而, 确定直线端点, 进行断线修

补都比较复杂且耗时, 并具有一定难度。

一般情况下, 机场航拍图像因为目标跨度太大背景比较复杂, 当存在公路和桥梁, 以及机场周围的海岸线, 或拍摄的图像上有云朵存在时, 把机场从背景中分离出来具有一定的难度。D. H. Liu^[3]等人利用纹理分割和形状检测相结合的方法在大幅(约 6500×7500 像素)航拍图像中检测机场跑道, 他们先利用事先训练好的分类器先从图像中分割出感兴趣区域(ROI), 进行边缘检测后再检测矩形形状, 针对南加利福利亚州机场的实验取得了较好的效果。但因分类器的训练是个比较困难的问题, 此方法不适合推广。

文中提出的基于数学形态学^[4]的算法能够实现机场跑道快速、准确的识别, 减少直线搜索拟合连接等冗繁的过程, 保证了实时性。尤其对于目标物不能完整地出现在图像中时, 仍然可以将其检测出来, 避免漏检。

收稿日期: 2007-10-03

基金项目: 重庆自然科学基金项目(CSTC, 2005BB2207)

作者简介: 王昭莲(1983-), 女, 湖北宜昌人, 硕士研究生, 研究方向为图像处理、模式识别; 吴乐华, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为图像通信、信息处理、网络安全等。

1 数学形态学原理

数学形态学是一门新兴的图像处理与分析学科,其应用几乎覆盖了图像处理的所有领域。它的基本思想是用具有一定形态的结构元素去量度和提取图像中的对应形状以达到对图像分析和识别的目的。数学形态学的数学基础和所用语言是集合论,它的基本运算有 4 个:膨胀、腐蚀、开启和闭合。基于这些基本运算还可推导和组合成各种数学形态学实用算法,用它们可以进行图像形状和结构的分析及处理,包括图像分割、特征抽取、边界检测、图像滤波、图像增强和恢复等。

设 A 为输入图像, B 为结构元素, A 和 B 是 Z^2 中的集合, A 被 B 膨胀定义为:

$$A \oplus B = \{z \mid (B)_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

使用 B 对 A 进行腐蚀,用 $A \ominus B$ 表示,并定义为:

$$A \ominus B = \{z \mid (B)_z \subseteq A\} \quad (2)$$

将膨胀与腐蚀运算结合起来,可构成开运算和闭运算,其中开运算用 $A \circ B$ 表示,其定义为:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

闭运算用 $A \cdot B$ 表示,其定义为:

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

开运算一般使对象的轮廓变得光滑,断开狭窄的间断和消除细的突出物。闭操作同样使轮廓线更为光滑,但与开操作相反的是,它通常消除狭窄的间断和长细的鸿沟,消除小的孔洞,并填补轮廓线中的断裂。

形态学上的击中(Hit)或击不中(Miss)变换是形状检测的基本工具。设集合 A 包含三个部分(子集) X 、 Y 、 Z ,且 X 被包围在一个小窗口 W 中。与 W 有关的 X 的局部背景定义为集合的差($W - X$), B 表示由 X 和 X 的背景构成的集合,则在 A 中对 B 进行的匹配表示为:

$$A \odot B = (A \odot X) \cap [A^c \odot (W - X)] \quad (5)$$

一个图像的“骨架”,是指图像中央的骨骼部分。是描述图像几何及拓扑性质的重要特征之一。求一图像骨架的过程通常称为对图像“细化”的过程,其有助于突出形状特点和减少冗余的信息量。集合 A 使用结构元素 B 进行细化用 $A \otimes B$ 表示,根据击中或击不中变换定义:

$$A \otimes B = A - (A \odot B) \quad (6)$$

2 机场跑道识别

根据先验知识,一般认为航拍图像中机场跑道这一类线状目标是一些空间上连续、几何上光滑的矩形目标,平行的长条线状是其最明显的特征。目标中心在图像上表现的灰度是大致均匀或缓慢变化的。而其

背景却由于目标的跨度太大而错综复杂,目标对应的边缘特征为局部对应平行的。通过对此类目标中边缘信息的提取,可以得到目标的轮廓信息,然后对其进行形态滤波、细化剪枝、去除噪声和消减云层遮挡的影响,接着利用 Hough 变换^[5]获取满足条件的平行线对,结合目标呈现的区域特征,完成跑道的识别定位。图 1 给出机场跑道识别流程图。

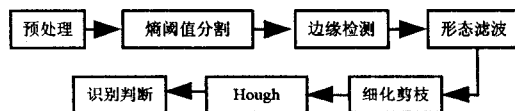


图 1 机场跑道识别流程图

2.1 预处理

图 2 是一幅航拍的原始机场图片。因为高空拍摄受到时间、天气情况、云层等的限制,图像成像质量不高,目标物淹没在复杂的背景中。预处理的目的是将彩色图像转换为 256 级灰度图,通过去噪,灰度增强,突出目标区域。

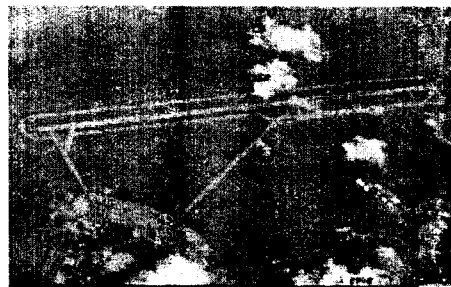


图 2 原图

2.2 阈值分割

对于目标物已被云层遮挡覆盖的情况,直接采用边缘检测,目标物的轮廓几乎全部被淹没在噪声中。因此,在进行边缘提取之前,首先要将图像二值化,将目标与背景分离。文中基于跑道点灰度和区域灰度相结合的方法,采用二维最大熵阈值^[6]来分割目标区域。

利用此方法分割出的目标二值图像如图 3 所示,最后收敛的阈值 $T = 209$ 。此方法鲁棒性强,无论图像的直方图有无明显双峰,均能得到比较满意的结果。

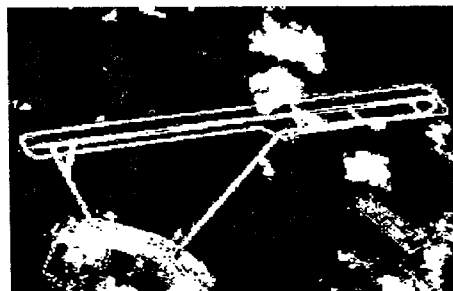


图 3 熵阈值分割二值化图

2.3 边缘检测

跑道区域与背景的灰度有明显的差异,可以利用

边缘检测得到跑道的边界点。通过对 Sobel, Roberts, Prewitt, LOG, Kirsch 等一些算子检测的实验结果比较发现:前四种算子检测到的边缘在连通性、抗噪性,以及定位精度上整体不及 Kirsch 算子,会对后续的处理造成很大的干扰。因此,采用 8 个卷积核组成的 Kirsch 算子,所有 8 个方向的最大值作为边缘幅度图像的输出,结果如图 4 所示。可见,检测到的边缘连通性好、断点少,且定位精度较高,特别是目标与海岸之间的桥梁以及云朵等干扰物,检测出的边缘为单像素宽,便于后续处理。



图 4 Kirsch 算子边缘检测图

2.4 形态滤波

在形态算法设计中,结构元的选择十分重要,其形状、尺寸的选择是能否有效地提取信息的关键。根据先验知识,机场跑道多呈现长条形线状,且考虑到图中目标区域大致成东西走向,可选择水平结构元进行形态运算。对于图 4,利用二次腐蚀运算即可断开目标区域和海岸之间的连接,消减云层的干扰,而又不破坏跑道本身的连通性。然后交替使用开闭运算,强化目标区域轮廓直线尽量突现出来。

2.5 细化剪枝

细化就是基于 HMT 变换把输入的具有一定宽度的图像轮廓最终变为单像素的骨架。抽骨架的优点在于其良好的连通性并且保持骨架中轴没有位移,并且可以减少后续 Hough 变换的运算量。因为噪声的影响,细化后的图像在边界处会留下毛刺,需要通过形态学剪枝运算去除。剪枝处理就是选用结构元素进行形态变换去除各段孤立的短骨架线,再通过开操作以得到完整闭合的曲线。经以上两步处理后的结果如图 5 所示。

2.6 Hough 变换

上述处理后得到的边缘图像中去除了大量的噪声和干扰线条,保留了跑道的边缘,机场跑道一般呈长方形,在边缘检测后得到的图像中有两条长的平行边缘。可以利用 Hough 变换来检测图像中最长的两条平行直线。在去除了短线和曲线段的边缘图像中,剩下的边缘点只占整幅图像的很小一部分,使得在用 Hough

变换检测直线时大大减少了计算量。

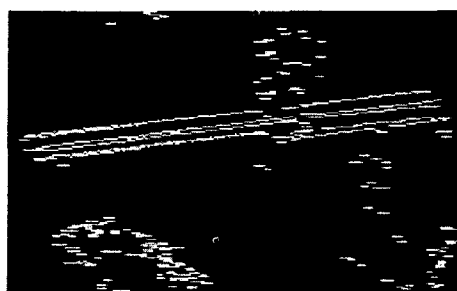


图 5 形态滤波细化剪枝图

2.7 判断识别

Hough 变换虽然不能确定直线的端点,但是将 Hough 变换的结果与原始灰度图像相与,并且由熵阈值分割得到的收敛阈值,可以在原始灰度图像中定位出矩形目标区域。接下来,将在原始灰度图像中对该假设区域进行验证。

检验条件如下:

(1) 区域灰度一致性:要求该区域 95% 的点的灰度值大致相同且大于一个较大的阈值。

(2) 区域与背景的差别:要求该区域内 95% 的点灰度值均与背景灰度值差别较大。

上述 2 个条件均满足,接受假设,否则拒绝假设。图 6 是经过判断,接受假设后,在原始图像中提取跑道的结果。

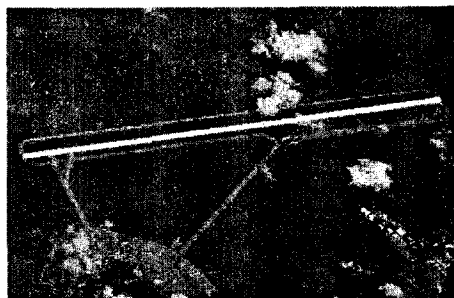


图 6 跑道识别结果

3 实验结果与结论

算法用 VC++ 6.0 来仿真实现,图 7 给出另一幅航拍机场图像的识别结果,运算时间均不到 1 秒,体现了算法的快速性和准确性。

结合实例给出了一种用于在航拍图像中自动识别机场跑道的方法。它使用了数学形态学的方法对机场航拍图像进行处理,大部分操作都在边缘检测之后,只对边缘点和感兴趣区域内的像素点进行,因此整个处理过程只消耗较少的时间,实时性强。并且基于数学形态学的算法实现简单,结构元的选取灵活,易于用并行处理方法实现,且硬件实现容易。因此,该方法用于

航拍机场跑道这样一类特定目标的识别之上,是非常有效的。



图 7 定位出另一跑道位置

参考文献:

- [1] 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.

(上接第 189 页)

7890 ABCDEFG”,第三行为“23 - 68614584 68627404”。打印效果如图 4 所示。

3 结束语

对便携式工业气动标记打印机的硬件组成、移植于 ARM7 上的 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 操作系统进行分析,在此基础上完成了打印机软件方案的确定、软件模块的设计、软件模块编程和软件的调试,完全符合开发便携式打印机的性能要求。

参考文献:

- [1] 周立功. ARM 嵌入式系统软件开发实例[M]. 北京:北京

(上接第 192 页)

4 结束语

目前在传统的几种利用人工神经网络进行空气质量预测的方法中,被广泛采用的灰色系统对波动性较强的序列预测效果较差;多层前向网络 BP 算法有收敛速度慢,网络容错能力差,易陷入局部最小的缺点。文中则运用了人工神经网络中的覆盖算法,对从宣城市及周边地区三年的大气环境监测资料、气象资料中得到的数据进行训练学习,建立四季神经计算数据模型,并利用此模型对空气质量进行短期的预测。并将预测结果与实际结果进行比较。实验结果表明:将覆盖算法应用于空气质量预测,效果良好,学习速度快,识别率高,具有较强的实用价值,为实现大气质量预测提供了一种准确高效的方法。

- [2] LUO Jun, YANG Wei-ping, SHEN Zhen-kang. Automatic target recognition of airfield runway in infrared images[J]. Infrared Technology,2003,25(3):13-17.
- [3] Liu Dehong, He Lihan, Carin L. Airport detection in large aerial optical imagery[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004 (ICASSP'04). Montreal, Quebec, Canada: [s. n.], 2004:761-764.
- [4] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing[M]. Second Edition. Beijing: Publishing House of Electronics Industry,2003:420-440.
- [5] YANG Si-hai, CHENG Duan-sheng, XIE Wei-bo. Characteristics of Hough Transform: a Global View[J]. Journal of Computer-aided Design and Computer Graphics, 2006, 18(8):1197-1204.
- [6] 周得芳,张 健. 二维最大熵阈值分割的一种快速递推算方法及应用[J]. 现代电子技术, 2003(24):85-87.

航空航天大学出版社,2004.

- [2] 胥 静. 嵌入式系统设计与开发实例详解[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2004.
- [3] 江卫华. 基于 PC 计算机并行口气动标记系统的设计[J]. 电气传动自动化,2002(1):44-46.
- [4] 李恩林. 插补原理[M]. 北京:机械工业出版社,1984:36-45,112-118.
- [5] 林 方. C 语言的汉字处理与图文数据库技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,1995.
- [6] 黄健青,王 平. Turbo C 矢量字库的分析和应用[J]. 海南大学学报,1995(2):152-154.
- [7] 卢有杰. C 语言常用算法与子程序[M]. 北京:清华大学出版社,1991.

参考文献:

- [1] 周志华,曹存根. 神经网络及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [2] 刘慧婷,倪志伟,李建洋,等. 基于交叉覆盖算法的时间序列匹配[J]. 计算机应用,2007,27(2):425-427.
- [3] 张 铃,张 钺. M-P 神经元模型的几何意义及其应用[J]. 软件学报,1998,9(5):334-338.
- [4] 张 铃,张 钺,殷海风. 多层前向网络的交叉覆盖设计算法[J]. 软件学报,1999,10(7):737-742.
- [5] 赵 姝,张燕平,张 媛,等. 基于交叉覆盖算法的入侵检测[J]. 计算机工程与应用,2005(3):141-143.
- [6] 胡光杰,张燕平,陈 洁. 基于覆盖算法的煤炭供应商评测模型[J]. 计算机技术与发展,2007,17(1):6-8.
- [7] 张晨希,张迎春,万 忠,等. 基于交叉覆盖算法的股票预测[J]. 微机发展,2005,15(12):35-37.