

遥感图像中的机场跑道检测算法

艾淑芳¹, 闫钧华^{1,2}, 李大雷¹, 许俊峰², 沈静²

(1. 光电控制技术重点实验室, 河南 洛阳 471000; 2. 南京航空航天大学航天学院, 南京 210016)

摘要: 利用机场跑道的高灰度特征和整体性检测遥感图像中的机场跑道。首先, 利用模糊增强方法进行图像预处理; 接着, 对图像进行阈值分割获得二值图像, 用像素标记法进行连通域提取, 定位4个面积最大的区域作为疑似机场区域; 然后, 在疑似机场区域内, 对图像进行Canny边缘检测, 用Hough变换提取出直线段; 最后, 把含有最长平行直线的区域作为机场区域。实验结果表明, 机场跑道检测算法能在遥感图像中准确地检测出机场跑道。

关键词: 机场跑道检测; 遥感图像; 模糊增强; 图像处理; Hough变换; Canny边缘检测

中图分类号: TP753 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2017)02-0043-04

An Algorithm for Detecting the Airport Runway in Remote Sensing Image

AI Shu-fang¹, YAN Jun-hua^{1,2}, LI Da-lei¹, XU Jun-feng², SHEN Jing²

(1. Science and Technology on Electro-Optic Control Laboratory, Luoyang 471000, China;

2. College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: The characteristics of high grey-scale and integrality of the airport runways are used for detecting them in remote sensing image. Firstly, the image was pre-processed by using fuzzy enhancement. Secondly, binary image was obtained through threshold segmentation, and pixel labeling method was used for connected area extraction, thus the largest four areas were chosen as suspected airport areas, which were then located. Then, within these four suspected airport areas, edges were detected on the image by using Canny edge detection operator, and straight line segments were extracted by using Hough transform. Finally, the area with the longest parallel lines was recognized as the airport area. Experimental results show that by using the airport runway detection algorithm, the airport runways in remote sensing image can be detected efficiently and accurately.

Key words: airport runway detection; remote sensing image; fuzzy enhancement; image processing; Hough transform; Canny edge detection

0 引言

利用遥感图像来获取地面的目标, 是空间技术获取地面信息的关键手段。利用计算机技术自动检测遥感图像中的机场跑道^[1-2], 具有很大的实用价值, 其军用价值尤为突出。因为机场跑道往往是由一定灰度范围内的像素点组成的有较大面积的区域^[3], 所以本文主要利用机场跑道的高灰度特征和整体性将其从遥感

图像中检测出来^[4]。

1 面向机场跑道检测的图像预处理

为了使不同时相不同地区的遥感图像适用于机场跑道检测, 使目标提取更加精确, 需要将图像转换为灰度图像并进行增强。

1.1 模糊增强

把原来对灰度进行的映射变换转变为对隶属度函数的映射变换, 先把灰度值映射为隶属度函数, 再通过逆映射把隶属度函数映射为灰度值。

$$P_{mn} = \beta(X_{mn}) = \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{L - X_{mn}}{D}\right)\right] \quad (1)$$

式中: L 为图像各像素灰度值的最大值; X_{mn} 为像素点

收稿日期: 2015-09-12

修回日期: 2016-03-31

基金项目: 光电控制技术重点实验室和航空科学基金联合资助 (20135152049)

作者简介: 艾淑芳 (1983 —), 女, 河南辉县人, 硕士, 工程师, 研究方向为红外图像处理。

(m, n) 的灰度值; P_{mn} 为像素点 (m, n) 相对于最大灰度值 L 的隶属度。

取 $D=L$, 可使 P_{mn} 的取值范围为 $[0, 1]$, 且能满足其单调递增

$$P_{mn} = \beta(X_{mn}) = \sin\left(\frac{\pi X_{mn}}{2L}\right) \quad (2)$$

通过式(2)把灰度值映射到模糊域上, 在模糊域上进行增强, 通过增强函数 int 在模糊域上把 P_{mn} 映射为 P'_{mn} , 增强函数 int 为

$$P'_{mn} = \text{int}(P_{mn}) = \begin{cases} 2P_{mn}^2 & 0 \leq P_{mn} < 0.5 \\ 1 - 2(1 - P_{mn})^2 & 0.5 \leq P_{mn} \leq 1 \end{cases} \quad (3)$$

在模糊域完成式(3)的增强之后, 用式(2)的逆变换就可以从模糊域上映射到灰度值上。模糊增强的具体步骤如下:

- 1) 通过式(2)的 β 变换, 把图像各个像素点从灰度值映射到隶属度上;
- 2) 用式(3)的 int 函数在模糊域上进行增强;
- 3) 利用 β 的逆变换, 再把隶属度映射到灰度值上, 得到模糊增强后图像各个像素点的灰度值。

图1所示为模糊增强效果, 图像像素为 339×294 。

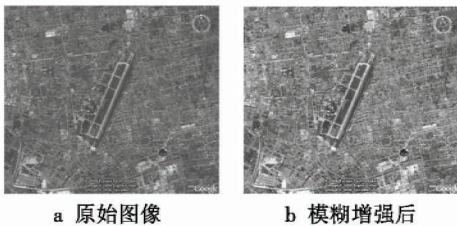


图1 模糊增强效果图

Fig.1 Fuzzy enhancement effect

1.2 图像质量评价

图像模糊增强后, 利用熵、图像方差、平均梯度对图1中模糊增强前后的图像进行质量评价^[5], 如表1所示。

表1 模糊增强前后图像质量评价

Table 1 Image quality evaluation before and after fuzzy enhancement

	增强前	增强后
熵	6.369 2	6.357 4
图像方差	483.056 5	1 085.5
平均梯度	9.481 7	14.943 5

表中数据表明: 增强后图像的熵基本保持不变, 图像方差和平均梯度变大了很多, 有利于在增强后的图像上检测机场跑道。

2 疑似机场区域检出

根据机场跑道灰度值较大且通常是面积较大区域这个特征把疑似机场区域从背景中提取出来。

2.1 阈值分割

利用机场跑道区域具有较高灰度值的特点, 从背景中将其提取, 产生一个二值图像。若原图为 $X(m, n)$, 阈值分割后的图像为 $Y(m, n)$, t 为选取的阈值, 则

$$Y(m, n) = \begin{cases} 255 & X(m, n) \geq t \\ 0 & X(m, n) < t \end{cases} \quad (4)$$

采用最大类间方差分割法 OTSU 确定 t 。利用 OTSU 法对图1b进行阈值分割得到的结果如图2所示。



图2 OTSU 法阈值分割结果

Fig.2 OTSU threshold segmentation result

用 OTSU 法计算出的最佳阈值为 137, 图像正中的跑道区域已被提取出来, 但周围存在着较多的小区域。

2.2 连通域提取

将机场跑道作为一个整体区域出现且区域的面积较大, 对图2进行连通域提取^[6], 以进一步提取出机场跑道区域, 并减小一些小面积区域的干扰。采用像素标记法进行连通域提取^[7]。

像素标记法要对图像进行两次扫描, 第1次扫描从左到右、从上到下, 当扫描的像素点 T 灰度值为 255 时, 检查其左、左上、上和右上这4个像素点(因为是顺序扫描, 其余4个像素点肯定还没被标记, 而上面的4个像素点如果存在灰度值为 255 的点的话, 肯定已经被标记了), 根据4个像素点被标记的不同情况对 T 进行标记。

1) 若4个像素点均未被标记过, 那么给 T 分配1个新的标记符。

2) 若4个像素点中只有1个被标记过, 那么 T 的标记符与之相同。

3) 当有多个像素被标记时, 如果这些标记符都相同, 那么也给 T 同样的标记符; 如果这些标记符不同, 则记下这些标记符等价, 并从中选1个标记符作为 T 的标记符。

经过第1次扫描后, 所有灰度值为 255 的像素点均被标记出, 然后再进行第2次扫描。第2次扫描的主要目的是把所有等价标记符均标记为其中最小的一个标记符。

为了减小小面积区域的干扰, 可以选出4个面积较大的区域作为疑似机场区域, 并把其余区域的像素值置为0。对各个不同的标记符所含的像素点数进行累计, 选取累计数中最大的4个, 并记下这4个标记

符。连通域提取的效果如图 3 所示,经过阈值分割和连通域提取后,不仅把机场跑道区域从背景中提取出来,还确定了 4 个较大的区域作为疑似机场区域。

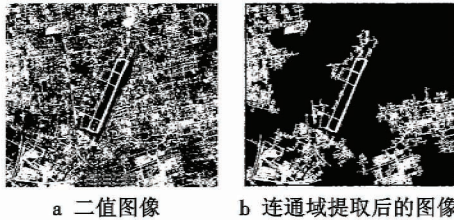


图 3 连通域提取效果

Fig.3 Connectivity area abstraction effect

2.3 机场区域定位

分别对疑似机场区域进行定位,扫描每个区域的像素点,找到所有像素点横、纵坐标的最大、最小值即可确定该区域的位置。定位后用红色矩形框在图像上标识出来,该区域所有的像素点均被包含在该矩形框中,效果如图 4 所示。由于各个区域的位置关系,各个矩形框有所重叠。

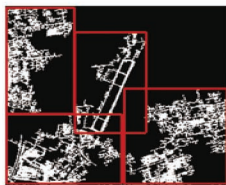


图 4 机场区域定位

Fig.4 Airport area locating

3 机场跑道检测

利用机场跑道的边缘是平行直线的特征在疑似机场区域中检测机场跑道,在原始图像上标出。

3.1 边缘检测

对 Robert,Sobel,Prewitt,LoG 和 Canny 等边缘检测算子进行实验筛选,以找到一个最适合机场跑道边缘检测的算子。各边缘检测算子检测效果如图 5 所示。

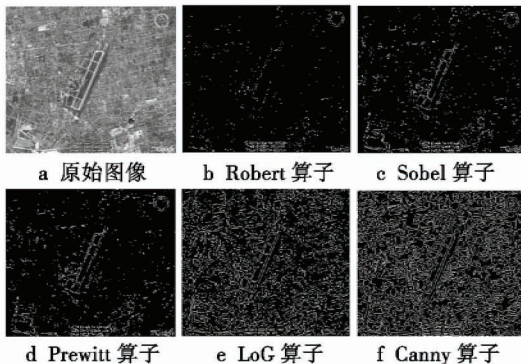


图 5 各边缘检测算子效果图

Fig.5 Edge detection effect of each edge detection operator

图 5 表明:Sobel 和 Prewitt 算子对边缘的定位不是很精确,边缘的宽度往往有多个像素;而 Robert 算子对噪声异常敏感;LoG 算子在灰度值变化不大的区域内会检测出假边缘;Canny 算子在这些算子里提取出边缘的完整性和连续性都非常好,因此采用 Canny 算子进行边缘检测。在 4 个疑似机场区域内进行边缘检测,结果如图 6 所示。

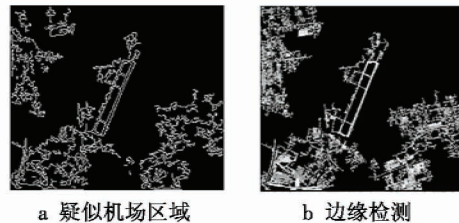


图 6 对疑似机场区域边缘检测

Fig.6 Edge detection of suspected airport area

3.2 机场跑道特征检测

机场跑道的边缘常常是直线,采用 Hough 变换把直线检测出来^[8-9]。使用的是 OpenCV 库的 Hough 变换函数:cvSeq * cvHoughLines2(CvArr * image, void * line_storage, int method, double rho, double theta, int threshold, double param1 = 0, double param2 = 0)。其中: image 是输入的二值图像;line_storage 是检测到的线段存储仓。利用概率 Hough 变换不仅能舍弃检测到的较短的直线,而且还能进行碎线段的连接。对概率 Hough 变换,method 的值设置为 CV_HOUGH_PROBABILISTIC。其余参数的意义是:rho 和 theta 分别为距离精度和角度精度;threshold 表示若某线段的累计值大于 threshold,则函数返回这条线段;param1 表示最小线段的长度;param2 为在同一直线上进行碎线段连接的最大间隔值。参数设置为:cvHoughLines2(img, storage, CV_HOUGH_PROBABILISTIC, 1, CV_PI/180, 50, 30, 2)。得到的检测直线的效果如图 7 所示。

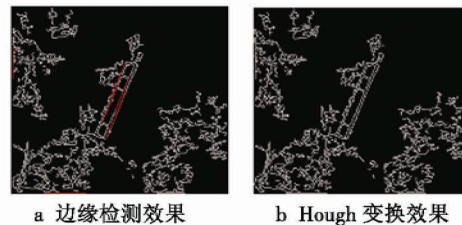


图 7 直线检测

Fig.7 Straight line detection

从图 7b 可以看出,在图像边界处检测出了一条伪直线,这是由于该区域位于图像边界处造成的,但接下来的处理是对各区域的平行直线累计长度^[10],把含有直线长度最长的区域作为机场区域,因此对结果不造成任何影响,最终结果如图 8 所示。



图 8 机场区域的最终检出
Fig. 8 Final detection of airport area

4 实验结果及分析

本文利用 C++ 进行编程实现,实验环境为 Windows 7,64 位系统,Visual Studio 2010 + OpenCV2.4.6。对 5 幅遥感图像中的机场跑道进行检测,结果如图 9 所示。实验结果表明,机场跑道检测算法能在遥感图像中准确有效地检测出机场跑道。

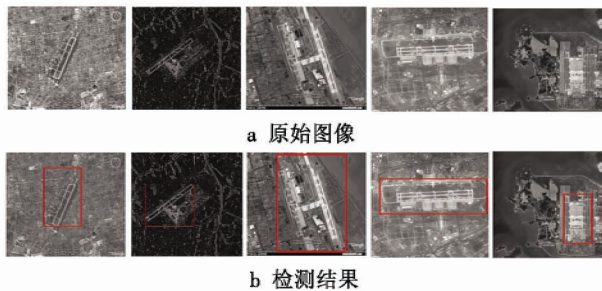


图 9 遥感图像中的机场跑道检测结果

Fig. 9 Airport runway detection result in remote sensing image

5 结束语

本文主要利用了机场跑道的高灰度特征和整体性从遥感图像中检测机场跑道。然而算法只利用了机场跑道的少数几个特征,若周围存在类似的目标,很可能检测出错误的目标,对此将在后续工作中展开深入研究。

参考文献

(上接第 42 页)

- [6] U. S. Department of Defense. Global positioning system standard positioning service performance standard [S]. United States, 2001.
- [7] U. S. Department of Defense. Global positioning system standard positioning service performance standard [S]. United States, 2008.
- [8] OCHENG W Y, SHERIDAN K F, SAUER K, et al. An assessment of the RAIM performance of a combined Galileo/

- [1] MENA J B, MALPICA J A. An automatic method for road extraction in rural and semi-urban areas starting from high resolution satellite imagery [J]. Pattern Recognition Letter, 2005, 26(9):1201-1220.
- [2] POPESCU D, DOBRESCU R, MEREZEANU D. Road analysis based on texture similarity evaluation [C]//Proceedings of the 7th WSEAS International Conference on Signal Processing, 2008:47-51.
- [3] 闫钧华,许俊峰,艾淑芳,等. 基于局部多特征的机场跑道检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(8):1714-1720.
- [4] QU Y, LI C, ZHENG N. Airport detection base on support vector machine from a single image [C]//The 5th International Conference on Information, Communications and Signal Processing, IEEE, 2005:546-549.
- [5] 李金宗,穆立胜,李冬冬,等. 大尺度高分辨率遥感图像机场目标的快速识别[J]. 光电子·激光, 2010, 21(7):1083-1088.
- [6] 陈旭光,林卉. 遥感图像中机场目标的识别方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(25):194-197.
- [7] 徐正光,鲍东来,张利欣. 基于递归的二值图像连通域像素标记算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(24):186-188.
- [8] LIU D, HE L, CARIN L. Airport detection in large aerial optical imagery [C]//IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2004. doi: 10.1109/ICASSP.2004.1327222.
- [9] KOU Z, SHI Z, LIU L. Airport detection based on line segment detector [C]//International Conference on Computer Vision in Remote Sensing (CVRS), IEEE, 2012:72-77.
- [10] 张学峰,李丽娟,刘珂. 基于直线提取的机场跑道识别方法[J]. 激光与红外, 2008, 38(12):1277-1280.

GPS navigation system using the Marginally Detectable Errors (MDE) algorithm [J]. GPS Solutions, 2002, 5(3):42-51.

- [9] 曹晋华,程佩. 可靠性数学引论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006:182-222.
- [10] 郑桓,李海生,杨卓鹏. 卫星导航系统星座可用性分析 [J]. 航天控制, 2011, 29(3):87-94.
- [11] 龚佩佩,郑桓,苏牡丹. 空间信号性能理论计算与测试评估方法研究 [C]//中国卫星导航学术年会, 2015: 1-6.