

文章编号:1002-2082(2011)01-0049-05

# SAR 图像中机场跑道自动检测方法研究

李 壮, 杨 夏, 于起峰

(国防科学技术大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘 要:**跑道检测通常由边缘检测和霍夫变换2个步骤组成。由于SAR图像中存在大量斑点噪声,使得边缘检测中存在大量虚假边缘,增加了霍夫变换的时间,降低了跑道检测的准确度,提出一种基于区域分割和距离变换的SAR图像中机场跑道自动检测的新方法。采用基于统计信息的方法增强跑道-背景的对比度,然后用二维直方图阈值分割方法分割图像,再通过距离变换对跑道-背景二值图进行处理,得到跑道中心线的大致分布,最后采用局部空间霍夫变换得到跑道参数。实验结果表明:该方法能够可靠检测出跑道,运算速度满足实时性要求。

**关键词:**合成孔径雷达; 机场跑道; 目标检测; 图像分割; 距离变换

**中图分类号:** TN911.73; TP391

**文献标志码:** A

## Automatic detection of airfield runways in SAR images

LI Zhuang, YANG Xia, YU Qi-feng

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

**Abstract:** To detect airport runway in SAR image automatically, a new algorithm is proposed based on region segmentation and distance transform. The statistic information is used to enhance the contrast between runways and background, and 2-D histogram method is used to segment the image. Then, distance transform and partial space Hough transform is utilized to detect the center line of runways. Experimental results show that the algorithm can extract runways in large complex SAR images with good real-time performance.

**Key words:** synthetic aperture radar; airfield runway; target detection; image segmentation; distance transform

## 引言

合成孔径雷达(SAR)可以全天候和全天时成像,且具有高分辨率和穿透性的优势,在军事和民用方面发挥越来越大的作用。在SAR的军事应用中,机场作为重要的目标,对其进行自动识别研究具有重要的意义。传统的跑道识别方法通常分为边缘提取和直线检测2个步骤,通常用sobel算子实现边缘提取<sup>[1]</sup>,用hough实现直线检测。这种方法存在2个问题:一方面,SAR图像中相干斑噪声使

得提取跑道边缘变得困难,进而降低了利用边缘提取跑道的可靠性;另一方面,传统的直线检测需要对大量的边缘像素进行霍夫变换,难以达到实时性要求。针对SAR图像的特性,研究人员提出几种改进的跑道检测方法:文献[2]提出链码和霍夫变换组合的跑道检测方法,文献[3]提出基于A/G系数的跑道边缘检测方法,然后用霍夫变换检测跑道;文献[4]用相位编组和最小二乘的方法在边缘图中检测跑道;文献[5]通过迭代分割和形态滤波

收稿日期:2010-04-08; 修回日期:2010-04-19

基金项目:863项目(2007AA12Z121)

作者简介:李壮(1982—),男,吉林人,博士研究生,主要从事图像匹配和目标识别方面的研究。

E-mail:lizhuang2007@hotmail.com

增强跑道,用霍夫变换在检测跑道,最后根据存在两条平行跑道的假设对结果做检验;文献[6]提出了通过跑道两侧的灯光识别跑道的方法,但该方法仅适于夜间跑道识别;文献[7]提出一种利用线基元并嵌入置信度的机场跑道的方法。

上述方法在光学图像跑道检测传统方法的基础上,针对SAR图像成像特点,改进了边缘提取或者改进了直线检测,因此,跑道提取结果要好于传统方法。但是,这些算法都是基于边缘检测的方法,依旧会遇到SAR图像边缘难以提取准确的问题。为了可靠和快速地检测跑道,我们提出一种基于区域分割和距离变换的跑道自动检测方法。方法主要分为4个步骤,分别是图像增强,图像分割,距离变换,直线检测。首先将图像增强,再分割为跑道-背景二值图,然后采用距离变换得到跑道中心线,最后采用局部空间霍夫变换实现快速跑道检测。

### 1 机场跑道的自动检测算法

算法流程图如图1所示。首先对图像进行预处理,采用基于统计信息的方法增强跑道-背景对比度,在增强后的图像上用二维最大熵方法进行区域分割,然后采用距离变换对跑道-背景二值图处理,保留距离变换的鞍值点,去除部分干扰目标,最后对鞍值点进行局部空间霍夫变换,得到跑道参数。

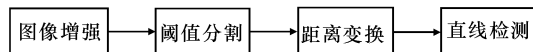


图1 算法流程图

Fig.1 Algorithm flow chart

#### 1.1 图像增强

利用传统的直方图均衡化和灰度线性变换的方法增强图像,本质上是扩大了灰度级量化间隔<sup>[8]</sup>,难以实现SAR图像中跑道-背景增强。SAR图像噪声包括通常的系统噪声和相干斑噪声,其中相干斑噪声对图像影响最大。Goodman指出,当图像系统分辨单元比目标的空间细节小,图像中像素的退化彼此独立时,斑点噪声可以被建模为乘性噪声。完全发育的斑点噪声乘性模型为

$$I(x, y) = \omega(x, y) \times n(x, y)$$

式中:  $I(x, y)$ 是观察到的图像强度;  $\omega(x, y)$ 是随机地面目标散射特性;  $n(x, y)$ 是和信号不相关的斑点噪声。根据经典的SAR成像理论,图像强度的条件分布为<sup>[9]</sup>

$$P_I(I/\omega) = \frac{1}{\omega} \exp(-\frac{I}{\omega}) \quad (I \geq 0) \quad (1)$$

噪声  $n(x, y)$ 服从均值为1的负指数分布:

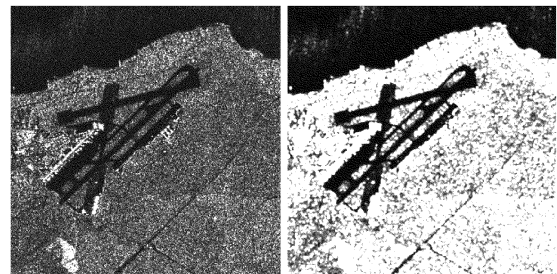
$$P_n(n) = \exp(-n) \quad (n \geq 0) \quad (2)$$

在SAR图像中,跑道材质为大面积的均质水泥或者沥青,散射系数较大,在图像中表现为低灰度区域。令灰度偏移量  $\Delta = |I - \omega| = |(n - 1)\omega|$ 。则  $\Delta_r < \Delta_b$ ,其中  $\Delta_r$ 为跑道区域的灰度偏移量,  $\Delta_b$ 为背景区域的灰度偏移量。理论上利用  $\Delta$ 为权值对图像进行增强,能够较好的区分增加跑道-背景对比度。但是,  $\Delta$ 是一个随机变量,无法从图像中直接通过密度估计得到  $P(\Delta|I)$ 。一种替代的方法是采用其他统计量近似。在SAR图像同质区域中,可以近似认为  $E(\omega) = E(I)$ ,从而使下式成立:

$$E(\Delta^2) = E((I - \omega)^2) \approx E((I - E(I))^2) = Var(I) \quad (3)$$

可以看出,图像一点处的灰度方差近似反映了该点灰度偏移量。用式(4)对原图像处理,相当于跑道区域乘以较小的权值,跑道周围区域乘以较大的权值,从而增加了跑道-背景对比度。增强结果如图2所示。

$$I_g(x, y) = I(x, y) = Var(x, y) \quad (4)$$



(a) 原始图像 (b) 跑道-背景增强结果

图2 基于统计信息图像增强结果

Fig.2 Image enhancement based on statistic information

#### 1.2 图像分割

传统的一维灰度直方图只是像点灰度的统计,没有反映像素间的空间关系和邻域灰度分布的情况。而采用灰度-平均灰度二维直方图能够表示出像素邻域灰度分布信息。每个像素点有2个特征,自身灰度和邻域平均灰度分别用  $i$ 和  $j$ 表示。图3给出了二维直方图所在的坐标平面。采用类似Abutaleb提出的二维最大熵方法<sup>[10]</sup>得到分割门限  $(s, t)$ ,所得区域A和B中的点分别是目标点和背景点。大多数情况下,远离直方图对角线的概率非常小,故区域C和D中的点被认为是噪声。对于噪声



$O\rho\theta$  空间内的对应点应该在附近的一个带状范围内, 而无需将图像变换到  $O\rho\theta$  全空间进行搜索。局部空间霍夫变换针对感兴趣角度范围的直线进行变换搜索, 只检测感兴趣角度范围内的直线。针对图 6 的距离变换结果, 将霍夫变换感兴趣角度范围设定为  $(\theta_0 - 15^\circ, \theta_0 + 15^\circ)$ , 则计算量约为标准霍夫变换的  $1/6$ 。采用局部空间霍夫变换可以大大减少算法的计算量。

## 2 实验结果及分析

对 16 幅包含机场的 SAR 图像用本文算法进行跑道自动检测。计算平台为主频 600 MHz 的 TMS320C6414 高性能 DSP, 图像大小  $300 \times 300$  像素, 其中霍夫变换搜索参数空间。

16 幅图像检测结果全部正确。平均处理时间为 89 ms, 最长时间为 121 ms, 最短时间为 56 ms, 能够满足实时性要求。

图 7 和图 8 是其中两幅图像的检测结果。图 7 中跑道斑点噪声较大, 且存在 2 条干扰道路, 用本算法能够可靠检测出 3 条平行跑道, 由于在部分空间霍夫变换中设定了跑道角度, 因此可以不受 2 条干扰道路的影响。图 8 中跑道宽度差别较大, 程序中根据机场先验知识和飞行规划参数, 预先设定 2 个跑道

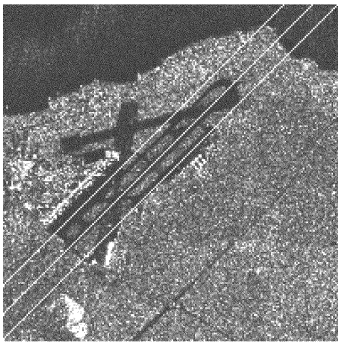


图 7 跑道检测结果

Fig. 7 Runways detection result

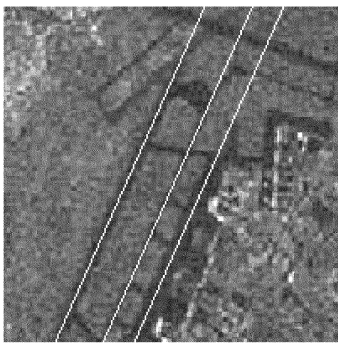


图 8 跑道检测结果

Fig. 8 Runways detection result

宽度估计值, 分别用于提取不同宽度的跑道。

## 3 结论

本文提出了一种基于区域分割和距离变换的 SAR 图像中机场跑道自动检测新方法。与基于边缘的跑道检测方法相比, 该方法有两大优点: 区域分割受 SAR 斑点噪声影响较小, 比边缘检测有更高的可靠性; 距离变换提取出的跑道中心线上的点比边缘检测得到的点要少得多, 极大地减少了霍夫变换的计算量。实验结果表明, 该方法能够适应背景复杂, 跑道边缘不平整, 跑道宽度不一致等情况, 可靠检测出跑道中心线, 算法速度可以满足实时性要求。

### 参考文献:

- [1] 靳鹏飞. 一种改进的 Sobel 图像边缘检测算法[J]. 应用光学, 2008, 29(4): 625-628.  
JIN Peng-fei. Improved algorithm for sobel edge detection of image[J]. Journal of Applied Optics, 2008, 29(4): 625-628. (in Chinese with an English abstract)
- [2] 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, 2006, 30(1): 56-59.  
YANG Shun-liao, LU Ling, DU Zhong-gang, et al. Automatic recognition of airport runways in SAR images [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2006, 30(1): 56-59. (in Chinese with an English abstract)
- [3] 何勇, 徐新, 孙洪, 等. 机载 SAR 图像中机场跑道的检测[J]. 武汉大学学报, 2004, 50(3): 393-396.  
HE Yong, XU Xin, SUN Hong, et al. Detection of airport runways in airborne SAR images[J]. Journal of Wuhan University, 2004, 50(3): 393-396. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 贾承丽, 周晓光, 计科峰, 等. 复杂 SAR 场景中机场跑道的提取[J]. 信号处理, 2007, 23(3): 374-378.  
JIA Cheng-li, ZHOU Xiao-guang, JI Ke-feng, et al. Extraction of runways in complex synthetic aperture radar images [J]. Signal Processing, 2007, 23(3): 374-378. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 杨卫东, 左峥嵘, 张天序. 基于假设检验的 SAR 图像机场跑道自动识别[J]. 华中科技大学学报, 2006, 34(2): 11-13.  
YANG Wei-dong, ZUO Zheng-rong, ZHANG Tian-xu. Automatic recognition of airfield runways based on hypothesis testing in SAR images [J]. Journal of

- Huazhong University of Science and Technology, 2006, 34(2): 11-13. (in Chinese with an English abstract)
- [6] FINCH I, ANTONACOPOULOS A. Identification of airfield runways in synthetic aperture radar images [C] // Process of 14th international conference on pattern recognition. USA: IEEE-CS Press, 1998:1633-1636.
- [7] 应龙,宋海娜,粟毅. 一种快速检测遥感图像中机场跑道的方法[J]. 计算机应用与软件, 2006, 23(3): 94-97.
- YING Long, SONG Hai-na, SU Yi. A fast algorithm to detecting runway from remote sensing images [J]. Computer Applications and Software, 2006, 23(3): 94-97. (in Chinese with an English abstract)
- [8] 郭佳,秦文罡,刘卫国. 自适应红外目标特征增强算法[J]. 应用光学, 2009, 30(2): 357-360.
- GUO Jia, QIN Wen-gang, LIU Wei-guo. Adaptive algorithm for infrared target enhancement [J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(2): 357-360. (in Chinese with an English abstract)
- [9] 焦李成. 智能SAR图像处理与解译[J]. 北京: 科学出版社, 2008.
- JIAO Li-cheng. Intelligent SAR image processing and interpretation [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [10] ABUTALEB A. An automatic thresholding of gray-level picture using two-dimensional entropies [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1989, 47: 22-32.
- [11] 孙即祥. 图像分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- SUN Ji-xiang. Image Analyse [M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)