

多尺度线状目标的机场跑道识别*

李小毛^{1,2}, 唐延东¹, 肖颖杰¹

(1.中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:特定目标的检测与识别是自动目标识别的关键技术之一。作为典型地面目标,机场跑道的识别,一直是自动目标识别领域人们感兴趣的研究课题。针对机场的跑道成像是线状结构和高灰度值的特征,提出了一种基于多尺度线状目标强化的机场跑道识别算法。实验结果表明,在复杂背景下,此方法在将机场跑道目标强化出来的同时,能够很好地抑制其他非线性特征目标,起到真正的强化作用。因此,在复杂背景下,此方法较基于边缘的机场跑道识别算法具有更好的识别性能。

关键词:跑道识别; 线状目标强化; 多尺度分析

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)06-0733-04

Automatic airport runway recognition based on multi-scale linear object enhancement*

LI Xiao-mao^{1,2}, TANG Yan-dong¹, XIAO Ying-jie¹

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The detection and recognition of specific targets is one of key techniques of ATR. The recognition of a runway, as a specific ground target, is still an interesting research subject in the ATR. An algorithm of automatic runway recognition based on multi-scale linear object enhancement is presented according to runway characters of linear structure and high intensity. Experimental results show that the algorithm can enhance runway while restraining other objects of nonlinear structure and has better performance than the algorithm based on edge detection in the complicated background.

Key words: Runway recognition; Linear object enhancement; Multi-scale analysis

0 引言

自动目标识别(ATR)是提高识别精度的关键技术之一,机场跑道的自动识别方法的研究对于正确命中

机场跑道具有重要的意义。机场跑道作为地面目标,如何对其进行高概率的精确识别和跟踪一直是 ATR 研究领域人们感兴趣的课题^[1-4]。

目前发表的有关机场跑道自动识别文章中,其识

收稿日期:2005-02-10; 修订日期:2005-04-18

* 基金项目:中国科学院科技创新基金项目(A01046)

作者简介:李小毛(1981-),男,江西永丰人,硕士,研究方向为图像强化与分割,自动目标识别。

别方法主要是通过提取跑道的边缘信息,然后对其进行搜索、连接、合并等处理^[1-3],在此基础上对处理结果进行判断和识别。参考文献[1]主要是先通过 Sobel 算子的边缘提取、细化和跟踪,然后进行直线拟合与修正,最后提取满足跑道条件的直线对;参考文献[2]也是通过 Sobel 算子进行边缘提取、细化后进行一系列的曲线搜索、连接,直线搜索、判断、合并、连接和平行直线对的获取之后进行判断识别;而参考文献[3]是通过一系列的前处理之后又回到边缘的提取、细化和平行直线对的获取。因此参考文献[1~3]的本质是一样的,都是通过边缘提取获取平行直线对来进行机场跑道的识别。由于机场的隐蔽性、周围环境的复杂性、成像条件恶劣等因素的影响,图像中跑道的边缘不是很明显^[2],另外加上噪声的干扰,提取的边缘信息不是很可靠,而且还包涵很多冗余的边缘信息,给后续判断和识别跑道带来了很大困难。基于边缘提取的一些缺陷,应该用一种能尽可能增强跑道特征目标,抑制其他目标和背景的方法来对原始图像进行强化处理。

本文介绍的方法基于机场跑道是亮线状目标的特征,利用多尺度线状目标强化方法对目标进行强化,对机场跑道进行区域处理,无须考虑边缘。此方法能够在复杂的背景环境下强化机场跑道目标的同时抑制其他非亮线状特征的目标,起到真正的强化作用,为后续处理提供方便。实验表明,此方法的强化效果优于基于边缘的方法。

1 机场跑道自动识别算法描述

本文方法的流程:输入图像→滤波→线性目标强化→二值化→检测与识别→输出。下面分别加以介绍。

1.1 滤波

由于实际图像中包含大量的噪声,对后面的图像处理会造成很大的影响,因此必须先对图像进行滤波处理。本文采用非线性扩散滤波,因为他在保存图像的重要特征(边缘和线等)方面具有优良的性能^[5]。

设一幅图像为 $L_0(x, y)$, 则非线性扩散滤波为:

$$\frac{\partial}{\partial t} L(x, y, t) = \nabla (c(x, y, t) \nabla (L(x, y, t))) \quad (1)$$

$$L(x, y, 0) = L_0(x, y)$$

式中 $c(x, y, t) = \exp(-|\nabla(L(x, y, t))|^2 / 2k^2)$, k 为常数, 可选为图像梯度的平均值。

对于上述方程进行差分求解, 既可去除图像噪声又保持了其边缘特性。

1.2 线状目标强化

设一幅图像为 L , 考虑其局部结构。对于图像中的某一点 x_0 , 其邻域的二阶泰勒展开式为:

$$L(x_0 + \delta x_0, s) \approx L(x_0, s) + \delta x_0^T \nabla_{0,s} + \delta x_0^T \mathbf{H}_{0,s} \delta x_0 \quad (2)$$

式中 s 为尺度, 即模板大小; $\nabla_{0,s} = \begin{pmatrix} L_x(x_0) \\ L_y(x_0) \end{pmatrix}$; $\mathbf{H}_{0,s} =$

$\begin{pmatrix} L_{xx}(x_0) & L_{xy}(x_0) \\ L_{xy}(x_0) & L_{yy}(x_0) \end{pmatrix}$ 。求 Hessian 矩阵 $\mathbf{H}_{0,s}$ 的特征值:

$$\hat{\mathbf{U}}_{s,k}^T \mathbf{H}_{0,s} \hat{\mathbf{U}}_{s,k} = \lambda_{s,k} \quad (k=1, 2)$$

对于某一个固定的尺度 s , Hessian 矩阵的特征值为 λ_1, λ_2 , 设 $|\lambda_1| \leq |\lambda_2|$ 。对于线状目标 $|\lambda_1| \approx 0, |\lambda_1| \ll |\lambda_2|$ 。若背景暗, 目标亮, 则 $\lambda_2 < 0$; 若背景亮, 目标暗, 则 $\lambda_2 > 0$ 。由于跑道是线状亮目标, 根据上述线状目标 Hessian 矩阵特征值的特点, 定义下面的响应函数:

$$v_0(s) = \begin{cases} 0 & \text{如果 } \lambda_2 > 0 \\ \exp\left(-\frac{R_\beta^2}{2\beta^2}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{S^2}{2C^2}\right)\right) & \end{cases} \quad (3)$$

式中 $\beta=0.5; C=0.5; R_\beta = \lambda_1 / \lambda_2; S = \|H\|_F = \sqrt{\sum_{j=1}^2 \lambda_j^2}$ 在尺度范围 $[s_{\min}, s_{\max}]$ 内, 求出响应最大值作为输出^[6]:

$$v_0 = \max_{s_{\min} \leq s \leq s_{\max}} v_0(s)$$

根据实验结果, 尺度空间应选择跑道成像宽度范围的两倍, 强化结果最好。图 1(d) 和图 2(b) 示出了图像中线状目标的强化结果。从图中可以看出, 在强化图像中机场跑道的几何线状结构得到强化, 同时也将一复杂背景下的目标识别变为较为简单背景下的目标识别。

1.3 二值化

本文采用的二值化方法是一维直方图模糊均值

聚类算法,用到的快速算法是图像分割的快速模糊 c 均值聚类算法(FFCM)^[7]。设有一幅 $M \times N$ 的图像 $f(m, n)$, 其灰度直方图 $h_k (k=0, 1, \dots, L-1)$, h_k 表示灰度 k 在这幅图像中出现的概率, L 表示灰度级数。如果用 FFCM 算法和直方图相结合对其进行图像分割, 那么聚类目标函数可定义为:

$$J_m(\mathbf{U}, \mathbf{V}, \mathbf{X}) = \sum_{k=0}^{L-1} \sum_{i=0}^c (\mu_{ik})^m h_k \|(k-v_i)\|^p \quad (5)$$

式中 $\mathbf{X}=\{0, 1, \dots, L-1\}$ 为由灰度级表示的一维向量样本集; \mathbf{U} 为模糊划分矩阵; $\mathbf{V}=\{v_1, v_2, \dots, v_c\}$ 为各类模式的聚类中心; $\|(k-v_i)\|^p$ 为某种范数表示灰度级 k 与 v_i 的距离, 它度量的是数据点和聚类原型的相似性; m 为模糊加权指数。此算法中 $c=2, m=4, p=2, \varepsilon=0.001$ 。通过迭代, 反复计算 \mathbf{U} 和 \mathbf{V} 来极小化代价函数 J_m 。计算步骤如下:

(1) 计算 $U^{(b)}$

$$\mu_{ik}^{(b)} = \frac{\left(\|k-v_i^{(b)}\| \right)^{\frac{-p}{m-1}}}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{1}{\|k-v_j^{(b)}\|} \right)^{\frac{p}{m-1}}} \quad (6)$$

(2) 计算 $v^{(b+1)}$

$$v_i^{(b+1)} = \frac{\sum_{k=0}^{L-1} h_k (\mu_{ik}^{(b)})^m k}{\sum_{k=0}^{L-1} h_k (\mu_{ik}^{(b)})^m} \quad (7)$$

(3) 若 $\|v^{(b+1)} - v^{(b)}\| < \varepsilon$, 停止; 否则令 $b=b+1$, 转到步骤(1)。

具体的快速算法程序请参考文献[7]。

1.4 检测与识别

由于机场跑道有些重要的固有特征, 如宽度、长度、直线目标、灰度值可以作为识别跑道的特性。这样就可以在二值化的基础上, 利用这些特性实现机场跑道的自动目标识别。步骤如下:

(1) 首先在原图上进行亮线状目标的强化过程, 在这个过程中要选定尺度的范围, 尺度空间一般是估计的机场跑道宽度成像像素范围的 2 倍大小。即设跑道的像素宽度为 $[w_{\min}, w_{\max}]$, 则尺度的范围为 $[1/2w_{\min}, 2w_{\max}]$ 。这一步很重要, 因为如果尺度范围区域的值太

小, 则提取不出跑道; 如果太大, 则强化效果不是很好, 会引入很多不必要的目标。

(2) 对强化图用快速模糊 c 均值聚类算法进行二值化。

(3) 由于跑道是较长的直线目标, 在上一步的基础上利用 Hough 变换检测直线。在检测直线的时候, 如果知道跑道成像的大概方向, 则可以在用 Hough 变换时缩小检测的角度范围。然而, 这样检测的直线有很多条, 所以要排除的不是机场跑道的直线。因为主跑道实际宽度至少有 40 m, 所以在成像中像素宽度肯定比其他的直线状目标要宽, 其次, 跑道的灰度值一般比较大。这一个过程可将机场跑道的主跑道检测出来。

(4) 上一步确定了主跑道和机场跑道的方向, 接着按这个方向检测出与主跑道平行的副跑道。在此过程中, 副跑道不能与主跑道的距离相隔太远。设主跑道的长度为 L , 则主副跑道的距离不能超过 $L/3$ 。

(5) 跑道在成像中会出现断点的情况, 解决方法是用跑道这个方向的直线状结构进行膨胀。膨胀之后再用该结构元素进行腐蚀, 去除小的连通区域, 得出最后的识别结果。

2 试验结果

首先给出的一组是边缘提取强化图和本文方法强化图的对比, 边缘的提取算法有广泛采用的 Canny 和 Sobel^[1,2]算子。图 1(a) 为原图, 图 1(b) 为用参考文献[1]中的方法提取的边缘图; 图 1(c) 为用 Canny 算子提取的边缘图, 取 $\delta=1$; 而图 1(d) 为用本文方法得到的强化图。从图中可以看出, 本文方法效果明显要好于边缘的提取。

跑道的完整识别过程图像如图 2 所示。另外两个试验结果, 如图 3 所示。

试验结果说明此方法能够正确地识别出机场跑道, 特别是线状目标强化这一过程, 比边缘提取的方法效果好。

3 结论

本文提出的多尺度线状目标的强化算法是基于区域结构的方法。在强化机场跑道的过程中, 既考虑了跑道是线状目标, 又考虑了其灰度值比背景的灰

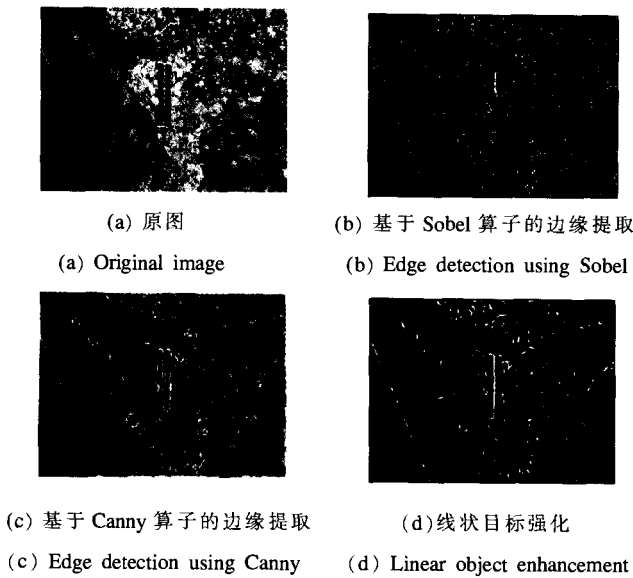


图 1 本文方法与基于边缘提取方法的比较

Fig.1 Comparison between method in this paper and edge detection

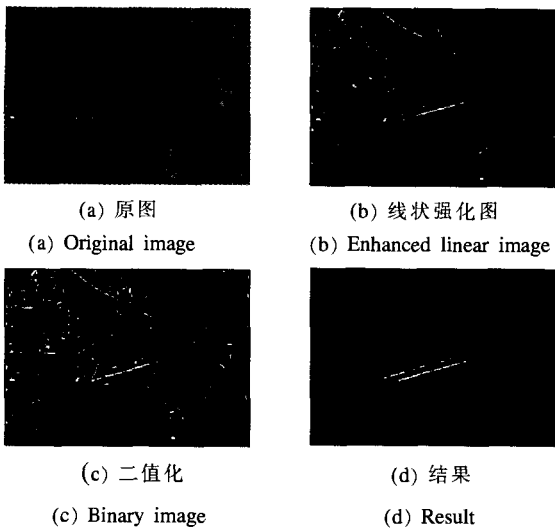


图 2 跑道的完整识别过程

Fig.2 Whole process of runway recognition

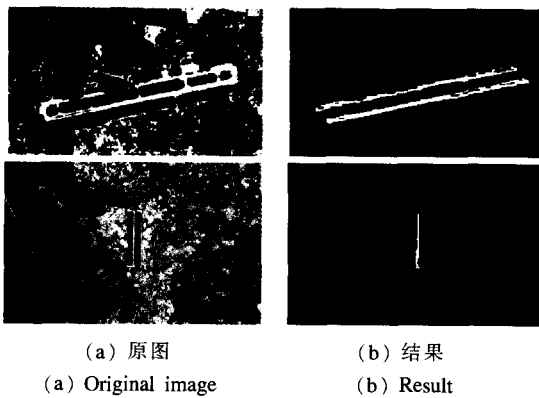


图 3 两个实验结果

Fig.3 Two experimental results

度值要大, 相当于在此过程中加入的约束条件很强。因此在强化跑道的同时也抑制了很多不满足约束条件的目标, 为后续处理提供了方便。这是本方法最主要的特点, 与很多文献中基于边缘算法^[1-3]有本质上的区别, 而且效果更好。虽然从理论上讲尺度 s 可设较大的区间, 但对机场跑道宽度的预先估计将提高算法的实时性和识别的准确率。如何准确地估计跑道宽度在成像中的像素数以及自适应确定算法中一些参数将是今后的工作重点。

参考文献:

[1] LUO Jun, YANG Wei-ping, SHEN Zhen-kang. Automatic target recognition of airfield runway in infrared images[J]. Infrared Technology (罗军, 杨卫平, 沈振康. 红外图像机场跑道的自动识别. 红外技术), 2003, 25(3): 13-17.

[2] SHU Hai-yan. Research and application of recognition technique for image target[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University (舒海燕. 图像目标识别技术的研究与应用. 西安: 西北工业大学), 2002.

[3] GUI Xin-guang. Extraction of linear target characteristic and its application in airport [D]. Zhengzhou: Information Engineering University of PLA (桂新光. 线状目标特征提取及其在机场识别中的应用. 郑州: 解放军信息工程大学), 2002.

[4] WU Wei-ren, ZHANG Tian-xu, PENG Hui. Investigation of air-drome runway based on detection of region of interest[J]. Computer Measurement & Control (吴伟仁, 张天序, 彭辉. 基于兴趣区检测的远距离机场目标识别研究. 计算机测量与控制), 2004, 12(4): 319-321.

[5] YUAN Ze-jian, ZHENG Nan-ning, ZHANG Yuan-lin, et al. A design method for nonlinear diffusion filter and its application [J]. Chinese Journal of Computers (袁泽剑, 郑南宁, 张元林, 等. 一种非线性扩散滤波器的设计方法及其应用. 计算机学报), 2002, 25(10): 1072-1076.

[6] Frangi A F, Niessen W j, Vincken K L, et al. Multiscale vessel enhancement filtering [A]. In Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI'98[C]. Lecture Notes in Computer Science, 1998, 1496. 130-137.

[7] ZHOU Li-ping, GAO Xin-bo. A fast C-means clustering algorithm for image segmentation[J]. Computer Engineering and Applications (周礼平, 高新波. 图像分割的快速模糊C均值聚类算法. 计算机工程与应用), 2004, 8: 68-70.