

文章编号: 1001-5078 (2006) 09-0897-03

基于分形理论的红外图像机场跑道自动目标识别

闫晓珂^{1,2}, 史彩成¹, 赵保军¹, 何佩琨¹

(1. 北京理工大学信息科学技术学院电子工程系, 北京 100081; 2. 中国人民解放军 92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125001)

摘要:针对红外机场跑道航空图像特点,提出一种新的基于纹理结构的机场目标自动识别方法。根据红外图像中机场目标的灰度和分形几何特征,利用先假设后检验方法对感兴趣区域进行分割;然后利用形态学滤波完成机场跑道潜在目标的进一步分割;最后,根据机场跑道的几何特征,连接图像边缘点寻找机场跑道的两条平行直线;根据纹理图像直方图统计特征完成机场目标的自动识别。实验结果证明:该方法有较高的自动目标识别率和计算实时性。

关键词:红外图像;机场;自动目标识别;分形;数学形态学

中图分类号: TP751 **文献标识码:** A

Automatic Target Recognition of Airfield Runway in Infrared Images Based-on Fractal Theory

YAN Xiao-ke^{1,2}, SHI Cai-cheng¹, ZHAO Bao-jun¹, HE Pei-kun¹

(1. Department of Electronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Navy Unit 92941, Liaoning, 125001, China)

Abstract: Aiming for the feature of the airfield runway in long range aerial photography infrared images, a novel three-step recognition strategy based on fractal theory was presented. First, regions of interest (ROI), are segmented based on fractal texture features according to supposition before verification. Then, latent airfield targets are performed over all sub-images with morphological filters. Finally, the airfield target is recognized automatically according to the geometric characters and histogram statistic matching based on texture features. Experimental results on the real images demonstrated that the approach performs well in automatic recognition accuracy and computational efficiency.

Key words: infrared image; airfield; automatic target recognition (ATR); fractal; mathematical morphological

1 引言

远距离前视红外目标识别的主要任务是确定所摄图像中是否存在感兴趣的目标,并精确定位。目前,由于红外成像条件的变化和噪声的干扰,导致机场成为复杂背景中的弱目标,特别在远距离前视观察条件下^[1]。文献[2]提出了一种基于几何结构的机场图像理解方法,由于利用 Hough 变换找出两条最长的直线费时,且寻找到的直线并不能判定机场的存在,还需进一步识别。文献[1]和[3]分别提出

了一种利用边缘线段群特征和利用分形几何特征检测感兴趣机场目标区域,但对机场缺乏进一步的识别和理解。

分形几何是一个研究和处理自然与工程中不规则图形的强有力的理论工具,分形几何已在许多科学领域中得到了广泛的应用。在图像处理中,分数

作者简介:闫晓珂,女,博士生,主要研究方向为图像处理和识别。

收稿日期:2006-03-07

维是描述分形特征的定量参数,它反映了一块图像纹理和灰度分布的规则性与复杂程度。在反映自然景物的灰度图像中,多类具有不同分形性质的观察目标所有不同的分数维,因而分数维也就是对观察图像进行分割的可依据的特征。在图像识别方面,人们常计算图像纹理的统计特征,根据提取的不同纹理的统计特征向量,设计分类器来识别不同纹理的图像。通过研究发现,公路与机场在几何形状上相似,但纹理统计特征上存在较大的差异,因此本文从机场的分形几何结构特征分析入手,通过提取不同纹理的统计特征向量,来识别复杂背景中的兴趣区域,进而精确定位机场目标。

2 红外图像的纹理特征

维数是空间和物体集合参数的度量。吸引子的维数则刻画该吸引子的信息量。一个分形集有形、机遇和维数三个要素。分形维是关于集合复杂度和不规则的度量。基于分形理论的图像分维值可以作为图像纹理特征的指标之一^[3]。自然界中不同的物体一般具有不同的分形维数,不同的分维值,对应的图像将属于不同的纹理类型。分形维有 Hausdorff 维、自相似维、盒子维、容量维、填充维、Lyapunov 维和相关维等多种定义。本文用盒子维计算红外图像的分形维。

将灰度图像转换为三维空间的分形曲面,在每个像素点周围给定 $M \times M$ 区域内计算分形维^[3]。在填充 $r \times r \times r (r = \frac{M}{2^0}, \frac{M}{2^1}, \dots, \frac{M}{2^k}, \dots, \frac{M}{2^N})$ 立方体的条件下,设 M 为一个单位长度,分形维 D_k 由下式计算:

$$D_k = \ln N(M/2^k) / \ln 2^k \quad (1)$$

式中, $N(M/2^k)$ 为 $r \times r$ 面积上的曲面填充 $r \times r \times r$ 立方体个数。则在 $M \times M$ 区域内每一不相交的 $r \times r$ 面积上曲面填充 $r \times r \times r$ 的立方体个数为:

$$n_k(r) = \text{int}[\max I_i - \min I_i] + 1 \quad (2)$$

式中, I_i 表示 $r \times r$ 区域内对应点灰度。求 $M \times M$ 的填充单位立方体总数 $N(r)$ 有:

$$N(r) = n_k(r) \quad (3)$$

由上式计算得到该点填充 $r \times r \times r$ 立方体的分形维。该点的分形维数 D 为:

$$D = \frac{1}{M/2 - 1} \frac{M/2}{r} D_r \quad (4)$$

盒子维能有效地表示图像中物体表面的复杂度和不规则度。

3 机场目标的检测

兴趣区的成功提取可以简化特征抽取、目标识别等后续处理,进而提高 ATR 系统的整体性能。因此,兴趣区检测是否有效极为关键。机场跑道的像素灰度值分布在一定范围之内,且跑道具有较大的面积,在处理上采用先假设后检验的目标的分割方法,目的是得到机场的完整图像以便进行搜索识别。具体方案是,先进行粗分割,即对原图像分别进行直方图动态阈值化分割和分形阈值分割,分别得到保留目标区域的灰度特征和纹理特征的中间图像。综合这两种特征可进一步突出目标,减小噪声。粗分割过程如(5)式所示。然后根据它的几何特征通过形态学滤波实现图像的细分割。则:

$$f(i, j) = \begin{cases} \text{Yes, if } T_{th} \leq f(i, j) \leq T_{th} \text{ and } D_1 \leq d(i, j) \leq D_2 \\ \text{No ROI, else} \end{cases} \quad (5)$$

4 机场目标的识别

4.1 形状特征

由于分割出的兴趣区可能包含机场目标和公路等人造物背景。为了能够正确识别、理解机场目标,提出了基于几何结构特征的识别方法。目标最显著的特征是形状,只有当待检测目标的形状与目标库中的目标形状匹配成功,此目标才可能是需要进一步识别的潜在目标。分割后目标经过区域合并增长,机场目标的几何结构主要由线段组成,通过八邻域中有且仅有一个目标像素的端点,求出跑道两个边的长度及斜率。如果四个顶点在图像边缘上,并且存在相对平行的一对直线,则可初步判定为机场跑道。

4.2 直方图统计特征

计算分割后潜在目标的分形灰度图。设其灰度图的一阶概率分布 $P(b)$ 为:

$$P(b) = \frac{N(b)}{M} \quad (6)$$

式中, b 为灰度值; M 为像素点总数; $N(b)$ 是灰度为 b 的数。

一阶特征参数:

$$\text{方差 } \sigma_b^2 = \frac{1}{b} \sum_{b=0}^{255} (b - \bar{b})^2 P(b) \quad (7)$$

$$\text{歪斜度 } b_n = \frac{1}{b^3} \sum_{b=0}^{255} (b - \bar{b})^3 P(b) \quad (8)$$

$$\text{峭度 } b_k = \frac{1}{b^4} \sum_{b=0}^{255} (b - \bar{b})^4 P(b) - 3 \quad (9)$$

$$\text{能量 } b_N = \sum_{b=0}^{255} P(b)^2 \quad (10)$$

在本算法中,根据被检目标的特性,用图像的纹理统计特性代替灰度直方图统计特性完成机场目标的自动识别。

4.3 机场目标的识别

如果待检测目标与库小指定机场目标的形状匹配成功后,再通过纹理统计判别进一步识别目标。判别函数为:

$$H_s = a_1 |b_n - \bar{b}_n| + a_2 |b_k - \bar{b}_k| + a_3 |b_N - \bar{b}_N| \quad (11)$$

式中, \bar{b}_n , \bar{b}_k , \bar{b}_N 为库中指定机场目标分形值直方图统计量; b_n , b_k , b_N 为待检测目标直方图统计量; a_1 , a_2 , a_3 为加权系数。当 $H_s < T_s$ (T_s 为纹理统计判别阈值) 时,匹配成功,否则剔除该目标。

5 实验结果

为了核验该算法在红外图像中水上桥梁检测识别的有效性和准确性,我们选择了同时存在机场和公路的连续图像,进行基于 Visual C++ 平台的算法仿真与基于 FPGA、DSP 跟踪板的实验。实验中,取 $H_s < 1$,通过 100 帧红外图像实时检测,即有限次迭代后,可以收敛得到一个加权矢量解, $a_1 = 0.184258$, $a_2 = 0.199233$, $a_3 = -0.0285976$ 。图 1 为 768 × 576 大小、256 级灰度的航拍原始红外图像,图像是包括指定机场、公路、建筑物、树木等的白天景物;图 2 是基于分形维的目标分割结果;图 3 是经过形态学滤波后机场目标的检测结果;图 4 是与目标库中的机场在形状与纹理直方图统计上的匹配结果。

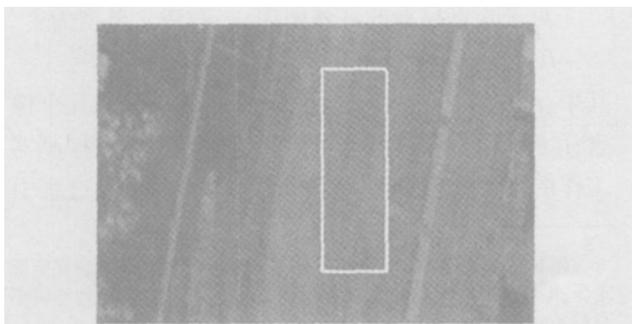


图 1 航拍机场的原始红外图像 (框内为机场)

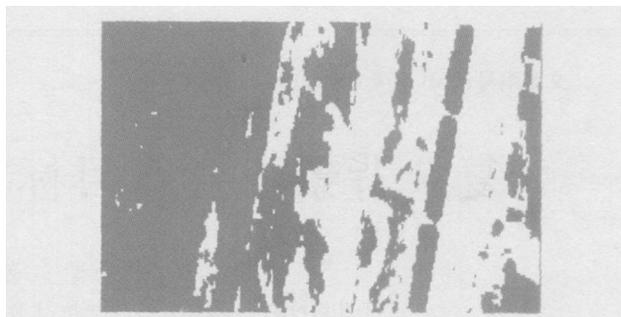


图 2 基于分形理论的图像分割结果

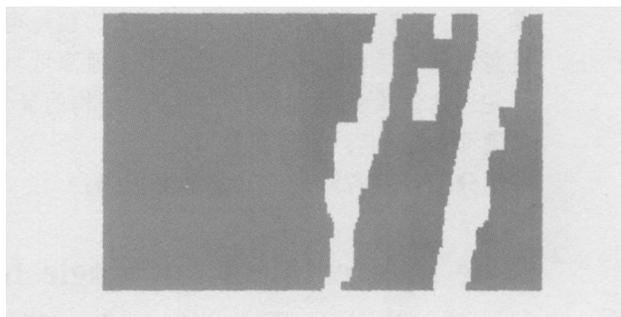


图 3 形态学滤波后机场目标的检测结果

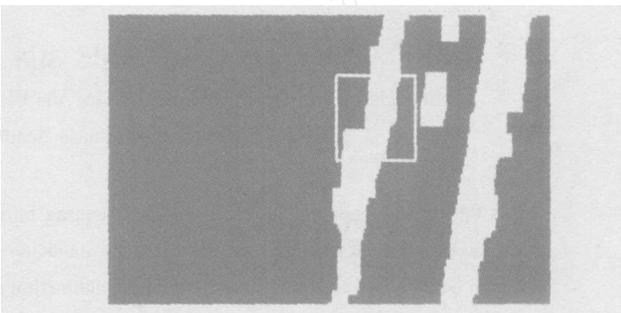


图 4 基于几何特征和直方图统计判别机场目标识别结果

6 结论

提出基于分形和背景知识挖掘的红外图像水上桥梁目标检测新方法。将目标的灰度特征及纹理特性有效结合,在背景知识框架的控制下,完成复杂背景下红外图像水上桥梁目标检测,利用多特征融合将桥梁目标准确识别出来。基于 FPGA 和 TMS320C6416 图像跟踪器的实验结果证明:该方法能有效地抑制背景,并有较高的自动目标识别率和计算实时性。

参考文献:

- [1] 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 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (4): 319 - 321.
- [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 - 41.
- [3] 朱梦宇,杨裕亮. 基于分形特征的机场跑道识别算法的研究 [J]. 红外技术, 2005, 27 (2): 151 - 153.