

文章编号: 1672-8785(2012)08-0027-05

基于分形理论的改进型二维最大熵红外图像分割算法

陈洪科 杨晓玲

(闽南理工学院电子与电气工程系, 福建石狮 362700)

摘要: 提出了一种基于分形理论的改进型二维最大熵红外图像阈值分割算法。该算法利用图像分形维数挖掘像素的空间分布信息, 然后将原图像灰度及其分形维数映射图像灰度相结合组成二维随机向量, 并构造出联合离散概率分布。在此基础上, 以二维最大熵原则来确定一个最佳二维分割阈值, 进而取得分割结果。实验结果表明, 该算法在分割效果上优于传统的二维最大熵分割算法。

关键词: 分形维数; 二维最大熵; 红外图像; 目标分割

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2012.08.005

Improved Two-dimensional Maximum Entropy Segmentation Algorithm for Infrared Images Based on Fractal Theory

CHEN Hong-ke, YANG Xiao-ling

(Dept of Electrical and Electronic Engineering, Minnan University of
Science and Technology, Shishi 362700, China)

Abstract: An improved two-dimensional maximum entropy segmentation algorithm for infrared images based on fractal theory was proposed. The algorithm uses the image fractal dimension to excavate the spatial distribution information in image pixels. Then, it combines the original image grayscale with the mapped image grayscale from the fractal dimension to form a two-dimensional random vector and construct its joint probability distribution. On that basis, the two-dimensional maximum entropy principle is used to determine an optimal two-dimensional segmentation threshold and hence to obtain the final segmentation result. The experimental result shows that the improved algorithm is better than the traditional two-dimensional maximum entropy segmentation algorithm in segmentation effectiveness.

Key words: fractal dimension; two-dimensional maximum entropy; infrared image; object segmentation

0 引言

红外图像分割是红外目标检测与识别的基础, 也是一直备受国内外学术界关注的经典课题。阈值分割法是图像分割中应用最为广泛的

一项技术, 它具有概念直观、实现简单以及性能较稳定的特点, 然而分割阈值的确定是其关键之处。根据信息论中熵的概念, Kapur J N 等人^[1]提出了一维最大熵阈值分割法。然后, Abutaleb A S^[2]将其推广到二维情形, 即二维最大熵阈

收稿日期: 2012-07-05

基金项目: 福建省教育厅 A 类资助项目 (JA11281)

作者简介: 陈洪科 (1986-), 男, 江西万载人, 助教, 硕士, 主要研究方向为图像处理及嵌入式系统。

E-mail: andy_chenhongke@sina.com

值分割法。国内研究人员从不同的侧面对这一方法进行了改进。金立左等人^[3]基于图像模糊性引入了模糊划分的概念,提出了二维模糊划分最大熵分割法,使分割性能得到了进一步提升;杜峰等人^[4]利用微粒群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法对二维最大熵阈值进行了寻优,大大提升了运算速度,增强了二维最大熵法的实用性;刘羿彤等人^[5]结合PSO算法,对二维熵目标函数进行了等价简化,使算法变得更为高效;赵娜等人^[6]则将动态蚁群算法应用于红外图像的二维熵分割,并以小窗口为对象实施算法,大大减少了计算量。上述这些改进算法均可提升二维最大熵阈值分割法的性能。

分形理论是研究现实世界中具有不光滑、不规则、精细结构或具有自相似性特征的几何形体的学科分支,它主要利用分形维数(Fractal Dimension, FD)这一定量特征来度量复杂形体的集合复杂度与不规则度。基于分形理论的图像分形维数可以作为图像纹理特征的指标之一,因此分形理论近年来在自然景物生成、图像分割、纹理特征提取、目标识别、纹理分类和图像编码压缩等方面取得了成功应用。在图像分割方面,胡春燕等人^[7]结合分形特征和Kohonen神经网络的特点,提出了一种可有效实现红外序列中人造目标分割的基于分形技术的红外图像分割算法。陈琳等人^[8]结合分水岭分割算法与图像分形维数,对自然背景下的人造目标进行了提取。该方法能够有效抑制自然背景,并能提取出人造目标的轮廓。康怀祺等人^[9]根据分形维特征来去除红外图像中的大部分背景信息,然后在潜在目标区域内采用Otsu算法进行分割,由此提出了基于分形的改进型Otsu阈值分割;肖鹏^[10]则专门研究了基于分形维数的纹理图像分割问题。

本文结合分形理论与二维最大熵阈值分割法,通过引入图像分形维数构造反映红外图像本身像素灰度分布与像素空间分布信息的二维联合概率分布,进而以二维最大熵原则来确定最佳分割阈值向量并取得分割结果。实验结果

表明,本文提出的算法在分割效果上优于传统的二维最大熵分割算法。

1 二维最大熵阈值分割法

二维最大熵阈值分割法^[2]的基础是二维随机向量(I, J)所服从的联合离散概率分布(二维直方图)。其中,随机变量 I 表示图像的像素灰度, J 则表示像素邻域均值(一般为8邻域)。该联合分布由式(1)给出。

$$p_{ij} = \frac{n_{ij}}{N} \quad (1)$$

式中, n_{ij} 表示图像中像素灰度为 i 、邻域均值为 j 的像素点总数, N 为图像的像素总数, p_{ij} 则表示随机向量(I, J)取值为(i, j)的概率。

设一幅图像的灰度等级为 L ,则其二维直方图的 $I-J$ 平面见图1。其中,区域A与区域B分别表示背景与目标(或目标与背景)像素,区域C与区域D通常表示边界与噪声像素。区域A和区域B出现的概率 P_A 和 P_B 见式(2)。

$$P_A = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t p_{ij}, \quad P_B = \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} p_{ij} \quad (2)$$

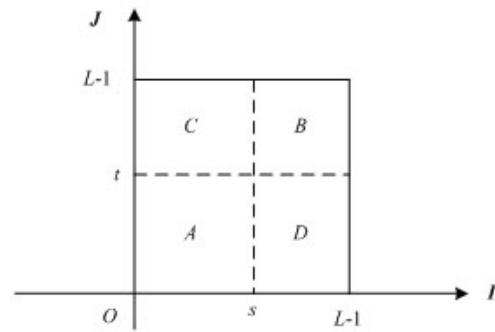


图1 图像二维直方图的 $I-J$ 平面

根据二维离散熵的定义,区域A和区域B的熵分别为

$$H_A = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t (p_{ij}/P_A) \ln(p_{ij}/P_A) \quad (3)$$

$$H_B = - \sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} (p_{ij}/P_B) \ln(p_{ij}/P_B) \quad (4)$$

因此,图像中背景与目标熵的和函数为

$$\phi(s, t) = H_A + H_B = - \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^t (p_{ij}/P_A) \ln(p_{ij}/P_A)$$

$$-\sum_{i=s+1}^{L-1} \sum_{j=t+1}^{L-1} (p_{ij}/P_B) \ln(p_{ij}/P_B) \quad (5)$$

二维最大熵分割阈值 (s^*, t^*) 则满足

$$\phi(s^*, t^*) = \max\{0 \leq (s, t) \leq L-1 \mid \phi(s, t)\} \quad (6)$$

2 基于分形的改进型二维最大熵分割算法

2.1 图像分形模型及分形维数计算

Pentland A P [11] 证明自然界中的大多数纹理表面在一定尺度范围内是满足各向同性的分形表面，而且它们所映射的灰度图像表面也是各向同性的分形，可以用分数布朗运动场 (Fraction Brownian Motion, FBM) 模型来描述。其定义如下：设 $B_H(t)$ 为一个随机场，对于 $0 < H < 1$ ，若满足

$$P_r \left[\frac{B_H(t + \Delta t) - B_H(t)}{\|t\|^2} < y \right] = G(y) \quad (7)$$

则称 $B_H(t)$ 为分数布朗运动场。其中， H 为 Hurst 指数， P_r 为概率测度， $G(y)$ 为高斯分布函数。在此模型下，图像的分形维数为 $FD = 2 - H$ 。

图像分形维数可以通过已被广泛使用的差分盒维数法 (Differential Box Counting, DBC) [12] 估算得到。根据像素灰度大小的不同，可以将一幅图像想象成三维空间的曲面。分形维数的计算在每个像素的 $M \times M$ 邻域内进行。将 $M \times M$ 邻域分解为一个个 $s \times s$ 的网格， s 取值为 $2 \sim M/2$ 之间的整数，对应的分解尺度为 $r = s/M$ 。向每个 $s \times s$ 网格填充体积为 $s \times s \times s$ 的立方体。假设第 i 个网格中灰度最大值与最小值分别落在第 l 个和第 k 个盒子中，则覆盖该网格所需的立方体个数为

$$n_i(r) = l - k + 1 \quad (8)$$

而整个 $M \times M$ 区域内填充的立方体总数为

$$N(r) = \sum_i n_i(r) \quad (9)$$

对于图像中的每个像素点，在不同的分解尺度 r 下可算得一组数据 $(-\ln r, \ln N(r))$ 。利用

最小二乘法拟合这组数据，所得斜率即为该像素点的分形维数。

2.2 二维最大熵分割算法的改进

熵是平均信息量的表征。以最大熵原则确定图像分割阈值，意味着在此阈值下分割所得的结果包含最大的平均信息量。传统的二维最大熵分割法所运用的二维直方图，不仅能够反映图像的灰度分布信息，而且还能反映其空间邻域信息。因此，对于信噪比低的红外图像，二维最大熵法的分割效果明显优于一维最大熵法 [5]。尽管如此，邻域均值仍然局限于像素本身，没有充分挖掘图像的空间信息。对于对比度低、边缘模糊、信噪比低的红外图像，其效果仍然不理想。

前面已经指出，Pentland A P 证明了自然界中的大多数自然纹理表面所映射的灰度图像表面是各向同性的分形。Pentland A P [11] 还证明这些灰度图像的分形维数与人类视觉系统对图像粗糙度的感知是一致的：分形维数越大，图像表面越粗糙；分形维数越小，图像表面越光滑。这意味着分形维数可以很好地表征图像纹理的粗糙程度，而且能够反映出图像边缘、细节或噪声。因此，针对红外图像目标分割，本文提出以图像的分形维数分布取代图像空间邻域均值分布，并将其与图像像素分布一起构成新的二维联合分布，进而以最大熵原则来确定分割阈值向量，最后实现改进型二维最大熵阈值分割算法。该算法的具体实现步骤如下：

(1) 假设一幅红外图像的灰度等级为 L ，利用差分盒维数法计算红外图像的分形维数，并将其映射成灰度值取 $0 \sim L-1$ 之间的灰度图像；

(2) 取图像像素与其分形维数映射所得灰度图像像素组成新的二维随机向量 (I, J) ，并根据式(1)构造其二维联合离散概率分布；

(3) 根据式(2)~式(6)，以最大二维熵原则确定一个最佳分割阈值向量，进而得到图像分割结果。

为了解决传统的二维最大熵分割法因穷举搜索最佳阈值而带来的耗时长和实用性低的问

题，可以考虑用 PSO 算法实现最佳阈值的启发式搜索，以缩短算法执行时间。PSO 算法的原理及步骤可参考文献 [4]、[5]。

3 仿真结果及分析

为了验证本文算法的有效性，我们选取两组红外图像进行分割仿真：一组为坦克与人的红外图像，另一组为马与森林及人的红外图像。图 2(a)~图 5(a) 所示为这两组图像的原图像。其中，坦克与人的图像的目标区域较大，而马与森林及人的图像的目标区域较小。这两组图像都混入了一定的噪声。利用本文提出的分割算法得到的结果如下：图 2(b)~图 5(b) 给出了原图像的分形维数映射图；图 2(c)~图 5(c) 给出了分割结果；图 2(d)~图 5(d) 则是采用传统的二维最大熵阈值分割法得到的分割结果。

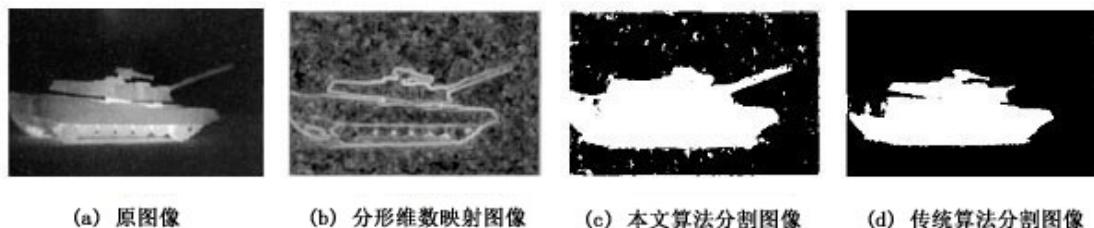


图 2 坦克的红外图像

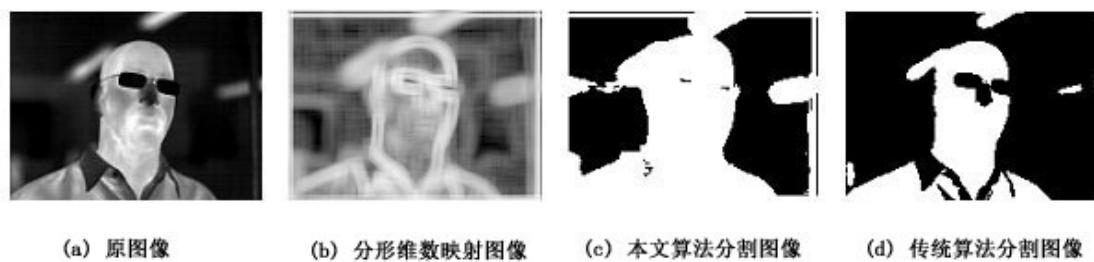


图 3 人的红外图像

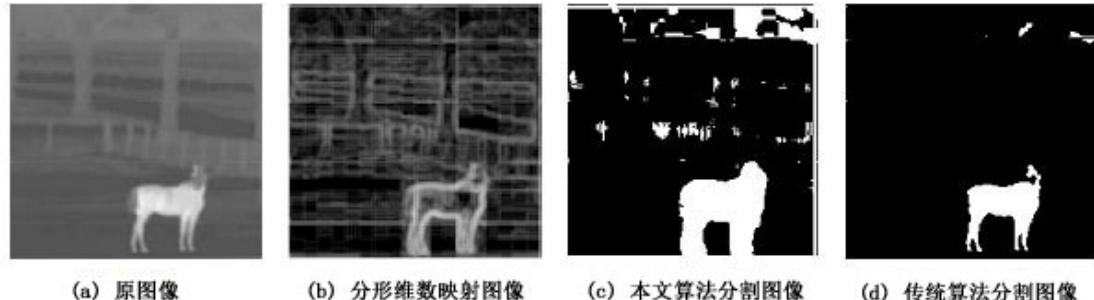


图 4 马的红外图像

在上述红外图像的分形维数映射图像中，灰度值大的像素对应于大的分形维数，其相应的位置都是原图像的边缘、细节或噪声（噪声在原图像上难以直接看出，但是在分形维数映射图像上能够清楚地显现，如森林与人的图像中的四条横线）。因此，分形维数可以反映图像纹理的粗糙程度。与像素邻域均值相比，它更能刻画图像像素的空间分布信息。

本文算法对于较大或较小的图像目标均能分割出轮廓，而传统的二维最大熵法对于目标较小的情形则可能会失效。另外，本文算法所得到的分割结果能够屏蔽目标的内部细节，因而可得到整体外部轮廓，其完整性明显优于传统算法。但也应注意到，由于分形维数对图像细节与噪声的刻画能力突出，分割结果在一定程度上还保留了图像背景的细节与噪声，导致背景与噪声残留。

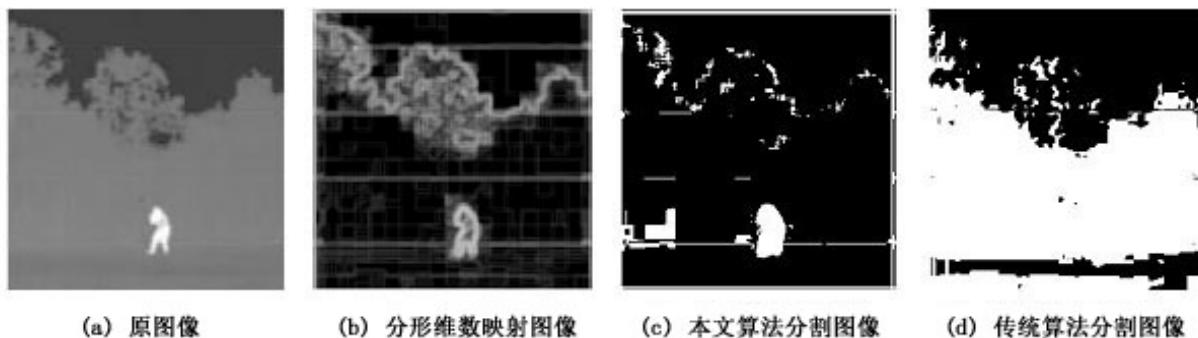


图5 森林与人的红外图像

4 结束语

本文提出了一种基于分形理论的改进型二维最大熵红外图像阈值分割算法。该算法通过引入图像的分形维数将其映射图像灰度与原图像灰度组成二维随机向量，并构造出其联合概率分布。然后在此基础上，依据二维最大熵原则确定一个最佳二维分割阈值，进而取得分割结果。将本文算法及传统的二维最大熵分割法运用在了混有噪声的红外图像上。实验结果表明，与传统算法相比，本文算法对于目标较大及较小的红外图像均能分割出目标轮廓，而且其分割结果的完整性明显优于传统算法。但是，本文算法的分割结果还存在一定的残留背景及噪声，抗噪能力不足，这将有待于进一步研究。

参考文献

- [1] Kapur J N, Sahoo P K, Wong A K C. A New Method for Gray-level Picture Thresholding Using the Entropy of the Histogram [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1985, **29**(3): 273-285.
- [2] Abutaleb A S. Automatic Thresholding of Gray-level Picture Using Two-dimension Entropy [J]. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1989, **47**(1): 22-32.
- [3] 金立左, 袁晓辉, 赵一凡, 等. 二维模糊划分最大熵图像分割算法 [J]. *电子与信息学报*, 2002, **24**(8): 1040-1048.
- [4] 杜峰, 施文康, 邓勇, 等. 一种快速红外图像分割方法 [J]. *红外与毫米波学报*, 2005, **24**(3): 370-373.
- [5] 刘羿彤, 付梦印. 基于快速二维熵与PSO算法的红外图像分割 [J]. *模式识别与人工智能*, 2008, **21**(2): 155-159.
- [6] 赵娜, 王希常, 刘江. 自适应蚁群算法优化红外图像分割 [J]. *计算机应用研究*, 2009, **26**(11): 4375-4381.
- [7] 胡春燕, 赵保军, 何佩琨. 基于分形理论和神经网络的红外图像分割算法 [J]. *系统工程与电子技术*, 2007, **29**(5): 720-722.
- [8] 陈琳, 刘文奇, 蔡光程. 基于分形和分水岭的图像分割方法 [J]. *计算机应用与软件*, 2008, **25**(8): 227-228.
- [9] 康怀祺, 陈宝国. 基于分形的改进 Otsu 红外图像分割算法 [J]. *红外技术*, 2009, **31**(6): 359-361.
- [10] 肖鹏. 基于分形维数的纹理图像分割 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [11] Pentland A P. Fractal-based Description of Natural Scenes [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1984, **6**(6): 661-674.
- [12] 孙纪达, 程英蕾, 蒋华. 基于布朗曲面模型的图像分形维计算方法 [J]. *计算机工程与设计*, 2011, **32**(7): 2424-2427.