

文章编号:1001-9081(2010)02-0367-03

## 基于山峰聚类的复杂背景下红外弱目标分割方法

李涛<sup>1</sup>, 雷开彬<sup>1</sup>, 柳健<sup>2</sup>, 陈建英<sup>1</sup>

(1. 西南民族大学 计算机科学与技术学院, 成都 610041; 2. 华中科技大学 图像识别与人工智能研究所, 武汉 430074)

(litaocd@126.com)

**摘要:**在分析目标红外图像特征的基础上,利用山峰聚类对密度大样本的快速聚类特点,提出了一种基于山峰聚类的弱目标区域生长分割方法。该方法首先将二维图像在 $x$ 和 $y$ 方向分别进行投影并以此作为样本构造数据网格,再采用改进的山峰聚类算法进行聚类,将求出的聚类中心作为种子点进行区域生长得到分割结果。实验结果表明,与传统方法比较,所提方法能自动选取种子点,投影后数据作为样本可有效提高运算速度,并能取得良好的分割效果。

**关键词:**红外图像;目标分割;山峰聚类;投影;区域生长

**中图分类号:** TP911.72; TP391.41 **文献标志码:** A

### Infrared weak target segmentation under complicated background based on mountain clustering

LI Tao<sup>1</sup>, LEI Kai-bin<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>2</sup>, CHEN Jian-ying<sup>1</sup>

(1. College of Computer Science and Technology, Southwest University for Nationalities, Chengdu Sichuan 610041, China;

2. Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China)

**Abstract:** With the analysis of the features of infrared image, an infrared weak target segmentation method based on mountain clustering was presented. First, the original image was projected to  $x$  and  $y$  coordination to construct dataset and used as sample to cluster. Then based on the datasets, the improved mountain clustering algorithm was implemented, and the clustering centers were employed as the seeds in region growth, and at last the final segmentation was acquired. Experimental results show that the proposed method outperforms the traditional approach and it can provide satisfactory segmentation result.

**Key words:** infrared image; target segmentation; mountain clustering; projection; region growing

由于红外图像中背景与目标的复杂性和多样性,以及成像过程中受到噪声、目标运动等影响,使图像的信噪比很低、目标检测困难。对于红外弱目标的分割,到目前为止还没有一种普遍适用的最优方法,因而寻求有效的目标分割方法依然是该领域一个热点问题。传统的图像分割技术中边缘检测、区域生长是最具代表性的,随着相关理论的发展,模糊理论、小波理论、形态学理论、统计理论、聚类分割算法<sup>[1]</sup>等已应用于目标分割,对于红外图像的背景中存在大量与目标相近灰度值的弱目标检测,如果采用灰度相似性和不连续性两个基本特性出发的边缘检测技术及阈值分割、最大类间方差等都难以取得理想的效果。本文根据红外目标在图像中占据相对集中的特征,利用山峰聚类算法对密度大样本快速聚类的特点,将山峰聚类算法引入到红外目标分割中,以期获得较好的效果。

### 1 山峰聚类方法

山峰聚类算法(Mountain Clustering, MC)<sup>[2]</sup>是一种可以大致估计聚类中心的方法,可用于获取其他聚类算法(如C均值聚类和模糊C均值聚类)的初始聚类中心,也可作为一种独立的近似聚类方法。陈晓云等人<sup>[3]</sup>为避免山峰聚类的维数大和样本数太大的问题,采用P-tree数据结构对样本进行划分后再进行山峰聚类,减少了山峰聚类的运算量并提高聚

类速度。王俊年等人<sup>[4]</sup>提出小生境微粒群算法求解山峰函数的每一个山峰使计算量大为降低,克服了普通山峰聚类在多维数据聚类的应用中的一些缺点。Guldemr等人<sup>[5]</sup>将山峰聚类用于未知信号的调制方式的识别,对模拟调制信号进行分类取得比较好的效果,Zhao等人<sup>[6]</sup>将改进的MC法用于桥梁故障诊断中也获得较为理想的结果。

山峰聚类算法是根据人类视觉的数据集成原理进行聚类的,主要分三步进行:首先在数据空间上构造网格,网格线的交叉部分构成待聚类的中心,记为 $V$ ;其次以各个样本点为中心构造表示数据密度指标的山峰函数,点 $v_i \in V$ 处山峰函数的高度由式(1)得到:

$$m(v_i) = \sum_{j=1}^N \exp\left(-\frac{\|v_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

式中: $x_j$ 是样本点,方差 $\sigma$ 是由应用场合而定的常数。从式(1)可以看到山峰函数是将所有样本点处的高斯函数相加得到的,每个样本点 $x_j$ 对山峰函数的高度 $m(v_i)$ 都有贡献,而且样本点距点 $v_i$ 越远,其贡献越小。当聚类中心附近分布的样本点越多,山峰突起高度越高。第三步求出山峰函数的最大值 $v^* = \max_i \{m(v_i)\}$ 即第一个聚类中心后;再以稍大的方差 $\beta$ 构造以 $v^*$ 为中心的高斯函数,并从山峰函数中减去这个高斯函数

收稿日期:2009-08-16;修回日期:2009-10-09。

基金项目:西南民族大学自然科学基金项目(2008RC008);四川省应用基础研究项目(2008JY0070-2)。

作者简介:李涛(1971-),女,四川都江堰人,副教授,博士,主要研究方向:图形图像处理、目标检测与识别;雷开彬(1961-),男,重庆人,教授,硕士,主要研究方向:计算机辅助几何设计、计算机图形学;柳健(1939-),男,湖南长沙人,教授,博士生导师,主要研究方向:图像处理、模式识别、人工智能;陈建英(1970-),女,四川西昌人,副教授,博士研究生,主要研究方向:分布式数据库系统、分布式并行处理。

$$m_{\text{next}}(v_i) = m(v_i) - m(v^*) \exp\left(-\frac{\|v_i - v^*\|^2}{2\beta^2}\right) \quad (2)$$

即削去已求出的聚类中心;对  $m_{\text{next}}(v_i)$  求新山峰函数的最大值点,即为第二个聚类中心,不断重复削减聚类中心和求下一个聚类中心,直到求出所有的聚类中心。

山峰聚类算法在计算山峰函数的高度和削减山峰确定下一个聚类中心过程中构造新山峰函数时,都必须计算所有格点上的山峰函数,因此计算量会随样本数的增加而增加,随问题的维数增加呈指数增长。在计算某网格点的山峰函数时,距网格点越远的样本,其贡献越小。在距网格点  $4\sigma$  处,该样本对山峰函数的贡献仅在 0.034% 以内,因此为减少计算量,本文采用文献[7]提出的仅计算该点  $4\sigma$  以内的样本。这样在大样本集条件下可减少计算工作量,当然在对计算精度要求高的场合,可计算至  $5\sigma$  或  $6\sigma$  处。研究中发现,  $\sigma$  越小,产生的山峰越多,聚类中心也就越多。因此在山峰聚类中  $\sigma$  的选取需要针对实际应用来设定。Velthuisen 等人<sup>[8]</sup>将山峰聚类用于 MR (Magnetic Resonance) 图像中脑部组织的分割,为降低样本维数,减少运算量,他们将图像的直方图作为样本进行山峰聚类,但直方图统计的一个明显的缺点是它失去了图像中目标的位置信息。本文提出的基于山峰聚类的区域生长方法是先对图像进行投影,这样既可降低样本维数,又保留了目标位置信息,在此基础上再利用改进的山峰聚类得到的中心自动确定种子点应用在红外目标分割中。

## 2 基于山峰聚类和区域生长的红外目标分割

将山峰聚类直接用于二维图像时,在样本数量和构造数据网格上,无疑其计算量都很大。本文在使用山峰聚类前,先将图像分别在  $x$  和  $y$  方向进行投影,其好处是既保留了原始图像的灰度信息和空间位置信息;又减少山峰聚类的维数和样本点数,从而降低算法的复杂度。假设图像大小为  $256 \times 256$ ,那么基于图像像素点的山峰聚类的样本点有  $256 \times 256 = 65536$ ,变成  $256 + 256 = 512$  个样本点,样本点数减少了 128 倍,可以大大节约计算时间。由于红外目标具有大面积的相近灰度值,本文是利用山峰聚类确定种子点,故在用山峰聚类法进行聚类时,只需要求最大的聚类中心,不用对山峰进行多次的削峰操作选择聚类中心,也就不涉及削峰时参数  $\beta$  的选择和新山峰函数的构造问题,从而大大简化了算法。

区域生长法是区域分割的基本方法<sup>[9]</sup>,其基本思想是将具有相似性质的像素集合起来构成区域。在每个需要分割的区域中找一个种子像素作为生长的起点,然后将种子点所在邻域中有相同或相似的像素合并到种子点所在的区域中,再将新加入的像素作为种子点继续进行合并操作,直到再没有满足条件的像素为止。在实际应用中,种子点常根据具体问题的特点来选取,不少文献采用交互式选取方式,或者基于红外图像中目标小且远比背景温度高而选择图像中最亮的点作为种子点,但这很难满足背景中存在大量与目标温度相近的场合。本文采用含坐标信息的投影数据进行山峰类,以得到的聚类中心作为种子点进行区域生长,大大减少了种子点选取的随机性,使种子点位于目标区域中心,既可提高生长速度又可改善分割效果。

根据以上分析,本文采用山峰聚类的方法对复杂背景下的红外弱目标进行分割,算法描述如下:

### 1) 初始化;

2) 对输入图像  $f(x, y)$  进行边缘检测得到  $g(x, y)$ , 以备区域生长时用。

3) 对输入图像  $f(x, y)$  分别用式(3)和(4)进行  $x, y$  方向的投影,

$$\text{第 } x \text{ 行的投影 } p_x = \max_y f(x, y) \quad (3)$$

$$\text{第 } y \text{ 列的投影 } p_y = \max_x f(x, y) \quad (4)$$

4) 将两个方向的投影作为样本点,以灰度值和坐标构造数据网格,由式(1)分别进行山峰聚类,得到  $m_x(v_i)$ ,  $m_y(v_i)$ ;

5) 对得到的两个山峰聚类结果分别求取最大聚类中心  $c_x = \max\{m_x(v_i)\}$ ,  $c_y = \max\{m_y(v_i)\}$ ;

6) 求出聚类中心在原图中的对应坐标位置,以此为种子点在原图进行区域生长。

## 3 实验结果及分析

为验证本文提出的算法,本研究采用大量图像进行实验,均取得了较好分割效果。这里选择应用较为广泛的二维最大熵方法和 OTSU 方法与本文所提方法进行对比实验,图 1 和图 3 分别是两组对比实验结果,图 1(a) 为实验数据 1,是野外复杂背景下的红外图像,图中感兴趣的目标是坦克,背景中碾压过的道路是分割的最大干扰。图 3(a) 为实验数据 2,是室内复杂环境的红外图像,待分割目标是人。图 1(d) 和图 3(d) 是本文算法所得结果,图 1(e)、(f) 和图 3(e)、(f) 分别是应用二维最大熵和 OTSU 分割的结果。实验结果说明无论是二维最大熵方法还是 OTSU 都没能较好地提取出目标,而本文的方法则能将目标较好地分割出来。

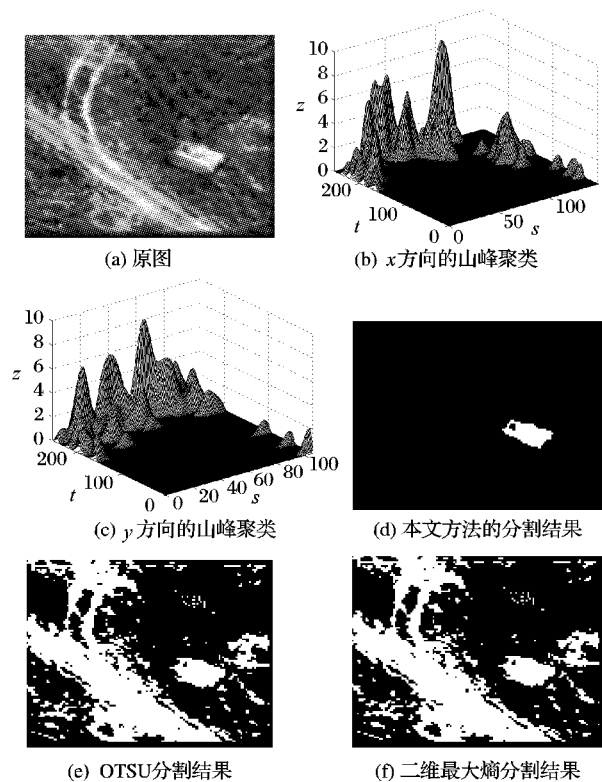
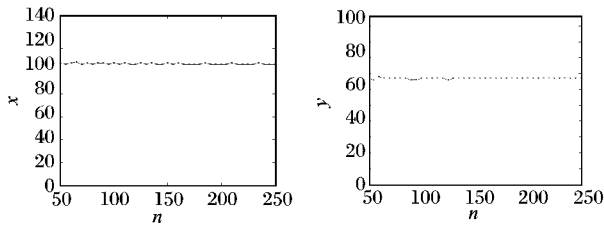


图1 实验数据1

图 1(b)、(c) 和图 3(b)、(c) 是应用本文所提算法进行山峰聚类的结果,实验中网格点数取  $200 \times 200$ , 高斯函数的  $\sigma$  取 4, 图中  $s$  是投影的坐标值,  $t$  是投影的灰度值,  $z$  方向是山峰函数高度值。从图中可以看到, 同一个灰度级的像素点越多

其聚类的峰值越高,在图1(a)中尽管碾过的道路有着与坦克相近的灰度级,但投影后山峰聚类中心落到坦克所在区域,图3的聚类中心则落在人的腰部偏下的中间位置。



(a) 网格点数与聚类中心的  $x$  坐标 (b) 网格点数与聚类中心的  $y$  坐标  
图2 数据1的网格点数与聚类中心的坐标值关系

针对本文的山峰聚类参数设置与实验数据见表1、表2、图2和图4,其中表1、表2是不同 $\sigma$ 值进行实验得到的聚类中心,从表中可以看到, $\sigma$ 值不同所得到的聚类中心点的坐标略有偏移,但是其变化幅度仅1、2个像素,这对于面目标来讲在可接受范围内。表中同时给出不同 $\sigma$ 值得到聚类中心的所需时间,总趋势是 $\sigma$ 值越小所需时间越长。不同网格点数与聚类的结果的关系如图2和图4所示,网格点数从50变到250,无论 $x$ 坐标还是 $y$ 坐标,其值都在3个像素左右跳动,这对于面目标来讲,对后续的区域生长没有多大的影响。

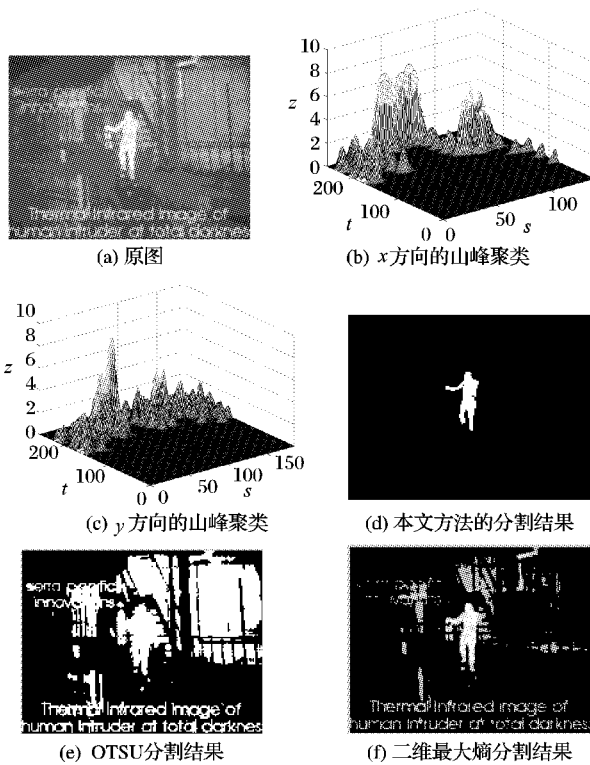
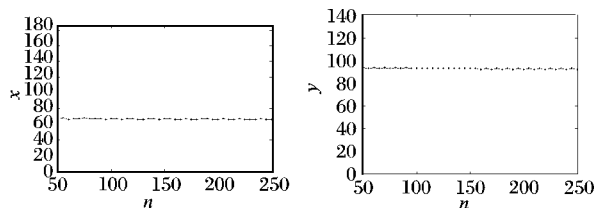


图3 实验数据2



(a) 网格点数与聚类中心的  $x$  坐标 (b) 网格点数与聚类中心的  $y$  坐标  
图4 数据2的网格点数与聚类中心的坐标值关系

## 4 结语

为对复杂背景下红外目标的有效分割,本文提出了

基于山峰聚类的区域生长算法。该文利用山峰聚类对样本数据集中的情况能快速聚类的特点,将原图进行投影减少样本维数和样本数,同时保留了目标的灰度信息和位置信息,以投影后的数据为样本进行山峰聚类,再由获取的聚类中心为种子点进行区域生长得到目标分割图像。实验证明,所提出的方法对复杂背景下的红外目标具有良好的检测效果。本文对山峰聚类的参数 $\sigma$ 和网格点数在不同取值情况下进行了实验,实验结果证明所选择参数对目标分割影响不大,但是,这两个参数选取的正确性只是在实验条件下给予了证明,在此类应用中这两个参数选取的自适应分析及其理论证明是下一步的研究目标。

表1 实验数据1在不同 $\sigma$ 值下获得的聚类中心

$\sigma$ 值	$x$ 坐标	$y$ 坐标	运行时间/s
2	65	105	0.0895
3	65	105	0.0939
4	66	106	0.0843
5	66	106	0.0926
6	66	107	0.0911
7	66	107	0.0872
8	67	106	0.0770

表2 实验数据2在不同 $\sigma$ 值下获得的聚类中心

$\sigma$ 值	$x$ 坐标	$y$ 坐标	运行时间/s
2	66	93	0.0995
3	66	93	0.0888
4	67	93	0.0846
5	67	92	0.0810
6	67	92	0.0781
7	66	92	0.0732
8	65	91	0.0695

## 参考文献:

- [1] ZHANG D Q, CHEN S C, PAN Z S, *et al.* Kernel-based fuzzy clustering incorporating spatial constraints for image segmentation [C]// Proceedings of International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Beijing: IEEE, 2003, 4: 2189-2192.
- [2] YAGER R R, FILEV D P. Approximate clustering via the mountain method[J]. IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, 1994, 24(8): 1279-1284.
- [3] 陈晓云, 敏玉芳, 郑良仁, 等. 一种快速山峰聚类算法[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(7): 2043-2045.
- [4] 王俊年, 申群太, 沈洪远. 基于小生境微粒群算法的山峰聚类[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(17): 4-8.
- [5] GULDEMIR H, SENGUR A. Comparison of clustering algorithms for analog modulation classification[J]. Expert Systems with Applications, 2006, 30(4): 642-649.
- [6] ZHAO ZHIYE, CHEN CHUANYU. A fuzzy system for concrete bridge damage diagnosis[J]. Computers & Structures, 2002, 80(7): 629-641.
- [7] 沈洪远, 彭小奇, 王俊年, 等. 基于改进微粒群算法的快速山峰聚类法[J]. 系统工程学报, 2006, 21(3): 333-336.
- [8] VELTHUIZEN R P, HALL, LAURENCE L O, CLARKE P, *et al.* An investigation of mountain method clustering for large data sets [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(7): 1121-1135.
- [9] 朱庆, 李逢春, 张叶廷. 一种改进的三维点集表面重建的区域生长算法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(8): 667-670.