

基于空间约束的模糊核聚类红外图像分割

孙清伟, 闫继涛

(平顶山工学院计算机系, 河南 平顶山 467064)

摘要:提出了一种基于空间约束的模糊核聚类红外图像分割算法。首先将图像映射到特征空间,在特征空间内进行模糊聚类,针对红外图像中存在的噪声点和野值等干扰问题引入了像素点的八邻域局部空间约束信息,并定义了像素分类可靠性指数修正隶属度函数在整个图像范围内分析像素分类的合理性,其中像素分类可靠性指数包括像素分类灰度可靠性指数和像素分类距离可靠性指数。实验结果表明,这种考虑局部空间约束和整体空间约束的模糊核聚类算法可更有效地对红外图像进行分割。

关键词:红外图像分割;模糊核聚类;局部邻域信息;全局空间约束信息;像素分类可靠性指数
中图分类号:TP391 文献标识码:A

Infrared Image Segmentation Based on Fuzzy Kernel Clustering Using Spatial Constrained

SUN Qing-wei, YAN Ji-tao

(Department of Computer, Pingdingshan Institute of Technology, Pingdingshan 467064, China)

Abstract: A method for infrared image segmentation based on fuzzy kernel clustering using spatial relation was proposed. Firstly, the image was mapped into feature space. The fuzzy clustering was performed in this space. In order to suppress the noise, the part spatial information was introduced. And the classification reliability of pixel which was improved the degree of membership function, was used to analysis the classification rationality in the whole image. The classification reliability of pixel gray and the classification reliability of pixel distance were included in the the classification reliability of pixel. The experimental results show the infrared image can be segment well by fuzzy kernek clustering using the part spatial information and the whole spatial information.

Key words: infrared images segment; fuzzy kernel clustering; the part spatial information; the whole spatial information; classification reliability of pixel

1 引言

目前红外成像技术已广泛应用于导弹制导和遥感等军事和民用领域,红外图像反映目标及其周围背景的温度分布情况,红外图像分割是从较复杂的背景中将目标与背景区别开,并尽量保持其原始轮廓信息,是目标检测、识别和跟踪的基础,在整个图像处理中具有重要的地位。

由于红外目标与周围的背景存在热交换以及大气对热辐射的散射和吸收作用,使得红外图像中标和背景的对比度低,边缘模糊,并且红外图像包含的纹理信息较少且噪声较大,传统的分割方法如阈

作者简介:孙清伟(1957-),男,高级工程师,研究方向为计算机应用,图像处理。E-mail:sqingw@163.com
收稿日期:2008-07-02

值法,难以得到理想的分割结果。考虑到红外图像特点,采用模糊聚类^[1-3]对红外图像进行分割较其他方法有更大的优越性。模糊聚类没有将像素点硬分,而是根据隶属度的大小进行分类,根据聚类效果对红外图像进行分割。但是模糊聚类要求样本数据在特征空间呈球形或椭球形分布影响了模糊聚类算法的抗噪能力。为提高模糊聚类算法的抗噪性能,将像素点的局部空间邻域约束作为惩罚函数修改聚类目标函数图像中相邻的像元趋向于相同或相近的类别,即相邻像元间存在着统计意义上的相互依赖关系^[4],充分利用相邻信息,就可以在在一定程度上提高模糊聚类的结果精度,但是并没有在整个图像范围内分析该像素属于某类的合理性。本文采用能有效抑制噪声影响的基于空间约束模糊核聚类算法^[5]对红外图像进行分割,在聚类的迭代过程中根据相邻像元的隶属度,确定邻域内的优势类别,引入反映空间相邻关系的加权系数修正中心像元的隶属度,实现了红外图像的较准确分割。

2 模糊 C 均值聚类 (FCM)

FCM 所考虑的问题如下,把 n 个样本 $x_k (k = 1, 2, \dots, n)$ 分为 c 个类别, $v_i (i = 1, 2, \dots, c)$ 为每个类别的聚类中心,获得的聚类结果使得如下目标函数 J 达到最小:

$$J(U, v_1, \dots, v_c) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m d_{ik}^2 \quad (1)$$

其中, $u_{ik} (i = 1, 2, \dots, c; k = 1, 2, \dots, n)$ 为第 k 个样本对第 i 类的隶属度函数; $d_{ik} = \|x_k - v_i\|$ 为聚类中心 v_i 与样本 x_k 的欧几里德距离; $m \in [1, \infty)$ 是一个模糊加权指数,隶属度满足归一化,即 $\sum_{i=1}^c u_{ik} = 1, \forall k = 1, \dots, n$,在隶属度归一化条件下最小化目标函数 J ,可以得到如下迭代公式:

$$\begin{cases} u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}}\right)^{2/(m-1)}} \\ v_i = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m} \end{cases} \quad (2)$$

可以看出模糊 C 均值聚类算法是一个简单的迭代过程,但是仅适用于球状或椭球状数据聚类,且对噪声及其野值极为敏感。

3 模糊核聚类 (KFCM)

为了克服 FCM 对噪声及野值的敏感,在 FCM 中引入核方法,得到一种模糊核聚类算法。模糊核聚类是将输入空间的 $x_k (k = 1, 2, \dots, n)$ 映射为 $\phi(x_k)$ 进行聚类。通过映射加大了各类样本的特征差别,样本特征被很好地分辨、提取并放大后,实现聚类。定义模糊核聚类目标函数为:

$$J_m(U, v) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m \|\Phi(x_k) - \Phi(v_i)\|^2 \quad (3)$$

根据内积定义并取高斯核 $K(x_k, v_i) = \exp(-\frac{\|x_k - v_i\|^2}{2\sigma^2})$, σ 为高斯核参数。有: $\|\phi(x_k) - \phi(v_i)\|^2 = K(x_k, x_k) + K(v_i, v_i) - 2K(x_k, v_i) = 2 - 2K(x_k, v_i)$

将上式展开并代入到式(2),在隶属度归一化约束下有:

$$\begin{cases} u_{ik} = \frac{(1 - K(x_k, v_i))^{-1/(m-1)}}{\sum_{j=1}^c (1 - K(x_k, v_j))^{-1/(m-1)}} \\ v_i = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m K(x_k, v_i) x_k}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m K(x_k, v_i)} \end{cases} \quad (4)$$

由此将 FCM 在欧氏距离下推广到了核空间中的聚类,该算法具有较好的鲁棒性,即能容忍噪声和野值。

4 基于空间约束的模糊核聚类 (SKFCM)

4.1 基于局部邻域空间约束的模糊核聚类

在红外图像中相邻像元间存在着统计意义上的相互依赖关系,若能充分利用相邻信息,可以在一定程度上提高分割的结果精度,而且像素间的空间近邻关系^[2,6-7]能够维持目标的完整性,克服噪声及野值带来的影响,我们在 KFCM 目标函数中引入局部邻域惩罚函数,增加空间约束项。这样式(1)变为如下的目标函数:

$$J = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m (1 - K(x_k, v_i)) + \frac{\alpha}{N_R} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ik}^m \left(\sum_{k \in N_k} (1 - K(x_k, v_i)) \right) \quad (5)$$

其中, N_k 表示像素 x_k 的局部邻域(不包括 x_k 本身,我们采用八邻域); N_R 表示邻域大小; α 是正则化系数,其大小控制着空间约束的影响程度。在隶属度归一化约束下最小化代价函数 J 有:

$$u_{ik} = \frac{\left((1 - K(x_k, v_i)) + \frac{\alpha}{N_R} \left(\sum_{k \in N_k} (1 - K(x_k, v_i)) \right) \right)^{-1/(m-1)}}{\sum_{j=1}^c \left((1 - K(x_k, v_j)) + \frac{\alpha}{N_R} \left(\sum_{k \in N_k} (1 - K(x_k, v_j)) \right) \right)^{-1/(m-1)}}$$

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m \left(K(x_k, v_i) x_k + \frac{\alpha}{N_R} \sum_{k \in N_k} K(x_k, v_i) x_k \right)}{\sum_{k=1}^n u_{ik}^m \left(K(x_k, v_i) + \frac{\alpha}{N_R} \sum_{k \in N_k} K(x_k, v_i) \right)} \quad (6)$$

4.2 改进的空间约束模糊核聚类

像素点的周围局部空间信息,可有效抑制红外图像中由于环境和仪器因素产生的野值,但是并没有在整个图像范围内分析该像素属于某类的合理性,尤其对于一些处于边缘的像素点,单纯地依靠隶属度进行划分可能产生一些错误的结果。这里我们定义一个像素分类可靠性指数,用来修正式(6)得到的隶属度 u_{ik} ,将像素点对各个类代表样本的灰度和距离通过像素分类可靠性指数体现在红外图像分割问题中。像素分类可靠性指数包括像素分类灰度可靠性指数和像素分类距离可靠性指数。

定义像素分类灰度可靠性指数如下:

$$S_{ik} = \exp \left(- \frac{|x_k - \text{med}(x_j)_{x_j \in v_i}|}{|\max_j(x_j)_{x_j \in v_i} - \min_j(x_j)_{x_j \in v_i}|} \right) \quad (7)$$

其中, $x_j \in v_i$ 表示属于类 i 的像素点 x_j ; $\text{med}(x_j)_{x_j \in v_i}$ 表示属于类 i 所有像素点灰度的中值; $\max_j(x_j)_{x_j \in v_i}$ 表示属于类 i 所有像素点灰度的最大值; $\min_j(x_j)_{x_j \in v_i}$ 表示属于类 i 所有像素点灰度的最小值。如果一个像素点与某类所有像素点灰度的中值与该类内所有像素点灰度的变化范围相比相差越大,则该像素点属于这一类的可能性越小。

定义像素分类距离可靠性指数如下:

$$d_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} |x_k - x_j|_{x_j \in v_i}}{N_i} \quad (8)$$

式中, N_i 是属于类 i 的像素点数。该式表示了像素点 k 属于类 i 的平均距离,平均距离越小表明该像素点更可能属于该类。这里我们可以得到像素点的全局空间约束因子,即像素分类可靠性指数: $I_{ik} = \frac{S_{ik}}{d_{ik}}$ 。 I_{ik} 越大则像素点 k 属于类 i 的可能性越大。归

一化权重因子为 $u_{ik}^* = \frac{I_{ik}}{\sum_{i=1}^c I_{ik}}$ 。获得权重因子矩阵为

$U^* = \{u_{ik}^*\}_{k \in N}$,将该权重因子矩阵约束到式(6)中:

$$u_{ik}^{\text{new}} = (1 - \beta) \cdot u_{ik} + \beta \cdot u_{ik}^* \quad (0 \leq \beta \leq 1) \quad (9)$$

其中,参数 β 可以人为指定,当 $\beta = 0$ 时,即为式(6)中定义的 u_{ik} 。一般可以取 $\beta = \frac{1}{c}$ 。基于改进的空间约束模糊核聚类算法描述如下:

Step 1: 设定聚类数目 c ;

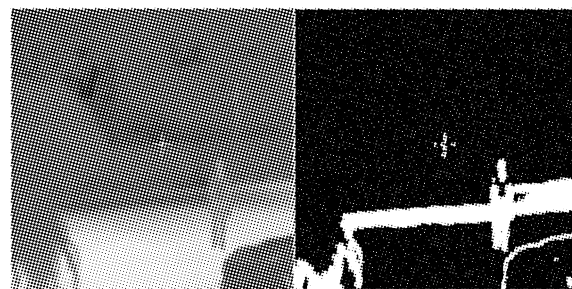
Step 2: 设定参数 m (一般取 2),初始化各个聚类中心 v ,并确定选取一个小的正数 ε 为迭代终止阈值;

Step 3: 按式(6)更新隶属度、聚类中心,并由式(9)更新隶属度;

Step 4: 重复 Step 2,直到满足 $\|v_i^{\text{new}} - v_i^{\text{old}}\| < \varepsilon$ 。

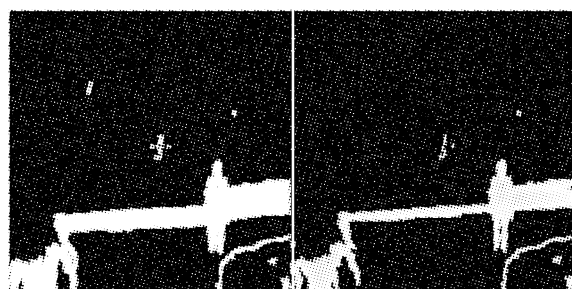
5 仿真结果

我们利用本文提出的分割算法,对不同背景中以人为目标的两组红外图像进行了仿真实验,原始红外图像如图 1(a) 和图 2(a) 所示;作为对比采用传统的模糊核聚类算法仿真结果如图 1(b) 图 2(b) 所示,加入局部邻域空间约束的模糊核聚类的分割结果如图 1(c) 和图 2(c) 所示,采用改进的空间约束模糊核聚类红外图像分割结果如图 1(d) 和图 2(d) 所示。未知目标和复杂环境的红外图像分割的效果一般无法进行定量评价,一个广泛采用的评价原则就是看能否分割出期望的或者重要的区域,好的分割结果通常具有简单的、一致性的区域和简单的、无锯齿的空间轮廓,并且尽量区分背景区域和目标区域。



(a) 原红外图像

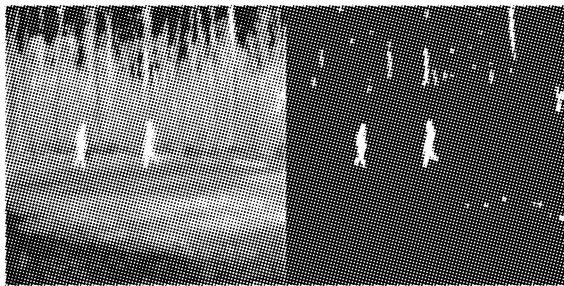
(b) FCM 分割结果



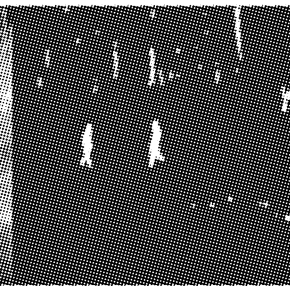
(c) 局部邻域空间约束 FCM (d) 改进的空间约束 FCM

图 1 图像分割仿真结果

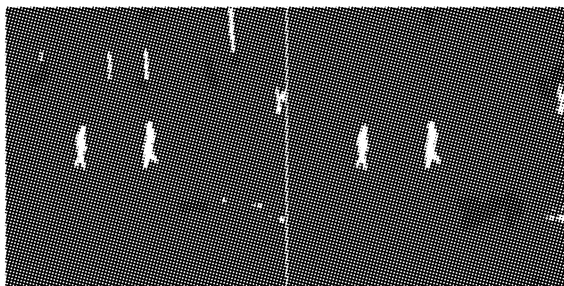
从图 1 可以看出,改进的空间约束模糊核聚类红外图像分割算法能够较好地完成对目标的分割相对来说较好地提取了目标(人)的轮廓信息(比如可以明显区分人的两腿信息),易于对目标做出合理判断,并且很大程度上减少了将背景错分为目标的数量。



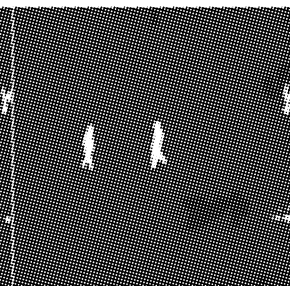
(a)原红外图像



(b)KFCM 分割结果



(c)局部邻域空间约束 KFCM



(d)改进的空间约束 KFCM

图2 图像分割仿真结果

图 2 所示红外图像背景比较复杂,并且背景中还存在着温度较高的干扰点,给准确分割带来了较大的困难。从 KFCM、局部邻域空间约束 KFCM 和改进的空间约束 KFCM 的分割仿真结果对比中可以看出,目标(人)被较好地分割出来,并且几乎没有留下了背景像素,同时分割出的目标信息也较为完整。

6 结论

本文在传统 KFCM 算法的基础上,充分利用目标红外图像的特点,通过考虑图像的局部空间特性和全局空间特性,对模糊核聚类算法进行改进,减小了噪声和野值被错误分类的可能性。与传统的分割

结果相比,该算法准确完整地分割出了目标,而且很大程度上减少了背景像素的干扰,达到了令人满意的结果,为后续的目标识别以及跟踪处理提供了良好的基础。但是复杂环境下的红外图像分割仍然是一个具有挑战性的难题,该算法也存在一些亟待解决的问题,如控制局部邻域和全局空间约束权重的参数 β 的选择等,都是今后需要进一步研究的方向。

参考文献:

- [1] 朱煜,江林佳.基于遗传模糊 C-均值与概率松弛法的图像分割研究[J].激光与红外,2008,38(4):392-395.
- [2] Jin Wu,Juan Li,Jian Liu,et al. Infrared image segmentation via fast fuzzy C-means with spatial information[C]//International Conference on Robotics and Biomimetics, 2004:742-745.
- [3] 卢晓东,周军,周凤岐.基于可能性 FMRF 的红外图像分割算法及其参数估计[J].红外与激光工程,2007,36(5):733-737.
- [4] 刘华军,任明武,杨静宇.一种改进的基于模糊聚类的图像分割方法[J].中国图像图形学报,2006,11(9):1312-1316.
- [5] Liang Liao,Tu Sheng Lin. A fast spatial constrained fuzzy kernel clustering algorithm for MRI brain image segmentation[C]//International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition,2007:82-87.
- [6] Chen Songcan,Zhang Daoqiang. Robust image segmentation using FCM with spatial constraints based on new kernel-induced distance measure[J]. IEEE Trans. systems, man and cybernetics, 2004, 34(4): 1907-1916.
- [7] 余锦华,汪源源,施心陵.基于空间邻域信息的二维模糊聚类图像分割[J].光电工程,2007,34(4):114-119.