

文章编号:1001-9014(2007)01-0061-04

# 基于均值漂移滤波及谱分类的海面舰船红外目标分割

陶文兵<sup>1,2</sup>, 金海<sup>1,2</sup>

- (1. 华中科技大学 计算机学院集群与网格计算湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430074;  
2. 华中科技大学 服务计算技术与系统教育部重点实验室, 湖北 武汉 430074)

**摘要:**提出了一种有效的海面舰船红外目标分割方法. 利用均值漂移方法的不连续保持性滤波特性, 滤除海面的强杂波干扰, 同时又不损失舰船目标的信息. 根据滤波得到的区域构建区域邻接图, 采用基于最大最小 SST 图划分算法对区域邻接图的节点进行划分. 划分结果最终将图像分为天空背景、海面背景以及舰船目标 3 个部分. 由于采用区域节点来表征图像, 较之采用原始图像像素节点表示, 其节点个数大大减少, 从而使算法的计算效率得到很大提高. 实验结果也表明提出两步算法具有优越的性能, 能够在海面强杂波干扰的情况下有效提取舰船红外目标.

**关键词:**舰船红外目标; 分割; 均值漂移; 区域合成; 最大最小 SST 算法  
**中图分类号:** TP391.4 **文献标识码:** A

## SHIP INFRARED OBJECT SEGMENTATION BASED ON MEAN SHIFT FILTERING AND GRAPH SPECTRAL CLUSTERING

TAO Wen-Bing<sup>1,2</sup>, JIN Hai<sup>1,2</sup>

- (1. Cluster and Grid Computing Laboratory, School of Computer,  
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;  
2. Service Computing Technology and System Laboratory of Ministry of Education,  
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** A novel thresholding algorithm was presented to achieve an improved ship infrared object segmentation performance. The proposed algorithm uses discontinuity preserving smoothing algorithm based on mean shift procedure to filter the powerful noise without the loss of the ship object information. The regions produced by mean shift filtering can be represented by a planar weighted region adjacency graphs that incorporates topological information of the image structure and region connectivity. Under the graph representation, region merging algorithm based on SST-minimax was applied to partition the regions into different class, such as sky background, sea background and ship object. Due to the less nodes produced by the regions of filtered image than the original image, the region merging based on SST-minimax algorithms has much less computational complexity. A large number of examples are presented to show the superior performance of the proposed ship infrared object segmentation algorithm.

**Key words:** ship infrared object; segmentation; mean shift; region synthesis; SST-minimax.

### 引言

图像分割是将一幅图像分成不同的区域从而使每一区域的内部具有一定的特征相似性, 而不同的区域则存在较大的不同. 这一特征可以是颜色、纹理以及其他的统计特征. 图像分割是图像分析以及模式识别的关键技术, 也是目标识别、跟踪以及其它计算机视觉相关应用的基础. 通常在图像分割中, 颜色

(彩色图像)及灰度特征(灰度图像)起着相当重要的作用, 也是目前图像分割方法中用得比较广泛的一种特征. 本文主要研究红外目标, 尤其是海面舰船红外目标的分割, 因而主要研究利用图像的灰度特征进行目标的分割<sup>[1, 2]</sup>.

舰船红外成像主要是基于目标的红外辐射特性, 其红外辐射源包括太阳、天空、海洋及舰船等. 天空的辐射主要是自身辐射和散射太阳光, 在成像中,

天空背景从高到低逐渐变亮,在接近海天天线时最亮,总的来说,除了细小的云层干扰以外,天空背景的灰度分布基本比较均匀.从整体来看,海面的辐射比天空小得多,表现为成像的灰度较小,但海面背景由于海浪的起伏,使得所成的红外图像灰度起伏较大,因而存在较大的杂波,对舰船目标的提取存在严重的干扰.

传统提取舰船目标的方法是首先提取海天天线<sup>[3]</sup>,确定感兴趣的工作区域,然后再在兴趣区内完成舰船目标的提取.这种方法基于两个假设:1)图像中一定存在海天天线;2)舰船目标一定在海天线附近.在一定程度上这种原则是可行的,但如果图像中不存在海天天线,即便存在,如果目标本身距离海天天线较远的话,提前海天天线的意义也不大.而且在天空背景和海面背景的对比度较低时,准确的提取海天天线也会比较困难.另一方面,虽然海天天线的提前可以帮助滤除图像中的天空背景,但是要从强烈的海面杂波干扰中提取舰船目标仍然是非常困难的.单纯的阈值分割方法显然不可行,很难将海面杂波与舰船目标区分开,主要原因在于海面杂波的灰度变化起伏较大.而传统的滤波方法(如中值滤波或高斯滤波等)虽然能有效地去除杂波干扰,但同时也会对舰船目标的信息造成较大地损失,不利于目标的提取.

均值漂移模型<sup>[4]</sup>是一种有效的特征空间分析方法,它可以实现图像的不连续保持性滤波,不仅可以滤除图像中的噪声信息,而且能够自适应地减小局部结构中显著边缘信息的平滑.由于均值漂移模型具有以上优点,因而能够有效滤除海面杂波的干扰同时不损失舰船目标的信息.本文首先采用均值漂移滤波算法对图像进行处理,滤除杂波干扰.然后将滤波得到的图像看作一个区域邻接图,图像中每个区域看作图中的一个节点,节点间的权值表示相邻区域的相似程度,最后采用基于图理论的划分策略得到最终的目标分割结果.文章第2部分介绍基于均值漂移的图像滤波方法,第3部分介绍基于图划分的区域合并策略,第4部分是实验结果及分析,最后是结论.

## 1 基于均值漂移的图像滤波

基于均值漂移的计算模型<sup>[4]</sup>是特征空间分析的有效工具,在很多计算机视觉中均有广泛的应用.在核密度估计中,核函数一般满足条件  $K(x) = c_{k,d}k(\|x\|^2)$ ,其中  $k(x)(x \geq 0)$  称为核  $k(x)$  的剖

面函数,归一化常数  $c_{k,d}$  为一保证  $K(x)$  的积分为1的正数.两种常用的核函数分别为放射对称核函数和多元正态核函数,令  $g(x) = -k'(x)$ ,核函数  $G(x)$  定义为  $G(x) = c_{g,d}g(\|x\|^2)$ .则均值漂移矢量定义如下:

$$m_{h,c}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left|\frac{x-x_i}{h}\right|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left|\frac{x-x_i}{h}\right|^2\right)} - x \quad (1)$$

均值漂移过程分为两个步骤:1)计算均值漂移矢量  $m_{h,c}(x)$ ;2)根据  $m_{h,c}(x)$  的值转移核的位置.这一过程可保证收敛到其邻域中梯度为0的点<sup>[4]</sup>.令  $\{y_j\}_{j=1,2,\dots}$  为核  $G$  在均值漂移过程中的位置序列,由式(1)可得

$$y_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left|\frac{x-x_i}{h}\right|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left|\frac{x-x_i}{h}\right|^2\right)} \quad j=1,2,\dots \quad (2)$$

式(2)为在位置  $y_j$  处由核  $G$  计算得到的带权均值,其中  $y_j$  是核的初始中心位置.则基于均值漂移的图像滤波算法可描述为:首先,一幅图像可表示为一个  $p$  维矢量的二维网格, $p=1$  表示灰度图像, $p=3$  为彩色图像, $p>3$  为多谱图像.本文主要讨论灰度图像的处理,因而  $p=1$ .我们将网格空间称为空间域,灰度值空间成为值域.令  $x_i$  和  $z_i, i=1, \dots, n$ , 分别为输入矢量以及滤波输出的结果.对每一个象素均进行如下3个步骤的处理:

- 初始化  $j=1$  和  $y_{i,1} = x_i$ ,
- 根据式(5)计算  $y_{i,j+1}$  直到收敛,令  $y = y_{i,c}$ ,
- 令  $z_i = (x_i^s, y_{i,c}^r)$ .

上标  $s$  和  $r$  分别表示输入矢量的空域和值域部分,第3步将空间位置  $x_i^s$  的滤波象素的灰度值均赋以收敛点  $y_{i,c}^r$  的值.对图像中所有的象素均采用以上3个步骤处理后的结果即是滤波得到的最终结果.采用均值漂移滤波方法需设置带宽矢量  $\mathbf{h} = \{h_s, h_r\}$  的值,本文通过实验取  $\mathbf{h} = \{6, 4\}$ .

## 2 基于谱分类的区域合并

### 2.1 区域邻接图的建立

由均值漂移滤波得到的图像区域可以表示为一个融合了图像结构的拓扑信息以及区域连续性的区域邻接图  $\mathbf{G} = (\mathbf{V}, \mathbf{E}, \mathbf{W})$ ,图中节点  $\mathbf{V} = \{1, 2, \dots, N\}$  对应图像中的区域,  $\mathbf{E}$  为所有连接两节点的边的集合,连接两节点  $u$  和  $v$  的边  $w(u, v)$  表示这两个区

域的不相似程度,对称矩阵  $W$  为区域邻接权值矩阵,其中的元素为  $w(u, v)$ .

区域合并算法需在一个适当的特征空间内定义相邻区域的不相似性度量,因而需首先确定一个合适的特征空间.从图像区域中可以提取的特征包括颜色、纹理、统计特征以及二维形状等,其中颜色特征在很多图像分割任务中都是最通用也是最显著的特征,因而本文考虑采用图像区域的灰度特征.我们取每个区域所有像素的平均灰度值作为此区域的特征值.

定义了特征空间以后,就可以根据所有区域的特征来计算其权值矩阵.需注意的是,在带权图中,仅仅相邻的区域具有连接的带权边.给定两个区域  $u$  和  $v$ ,权值  $w(u, v)$  定义如下:

$$w(u, v) = \begin{cases} - \left[ \frac{\|F(u) - F(v)\|_2^2}{d_i} \right] & \text{if } u \text{ and } v \text{ is adjacent,} \\ e & \text{otherwise.} \\ 0 & \end{cases} \quad (3)$$

其中是  $F(u)$  为区域  $u$  的颜色矢量,本文即为区域的平均灰度值,  $\|\cdot\|_2$  为矢量的二范数,  $d_i$  是正的尺度因子,决定  $w(u, v)$  对灰度值的敏感程度.

## 2.2 谱图分类

定义了区域邻接图及权值矩阵,就可以对图进行划分从而得到最终的分割结果.采用节点间的不相似程度而非节点的坐标来表示的图结构的划分问题是一个 NP 难的组合优化问题,只能通过一些有效的优化算法来得到划分的近似最优解.有两种比较流行的方法来解决这一问题,一种是 SST 方法,也称为最小生成树方法 (MST)<sup>[5]</sup>,其原理是将空间的一个连接松开,由此得到的最小生成树来代替整个图结构.另一种计算复杂性更高的方法是基于谱图割集的方法<sup>[6]</sup>,其基本思想是通过求解 Laplacian 矩阵的广义特征值问题来对图进行划分, Laplacian 矩阵由特征权值矩阵生成.

为了使算法具有更好的效率,本文采用非递归的 SST 算法来实现图的划分.值得注意的是,将均值漂移滤波得到的区域作为节点来构建带权图,其节点的个数比采用原始图像的像素为节点构建带权图大大减少了,由最初的超过  $10^5$  减少到了  $10^3$  以内,从而使表达图像的带权图的复杂度及划分图所需的计算复杂性大大降低了.

SST 结构可表示为  $R(V, T)$ ,  $T \subseteq E$ , 是从图  $G(V, E)$ , 也即是区域邻接图得到的,其中  $V$  为顶点集合,  $T$  为边的集合.  $R(V, T)$  是一个可以生成图  $G$  并

且具有无环最小代价连接的树.这一结构对图中的所有节点提供一个连接,它不仅要保持图的连通性,也要保证总的边缘代价最小,它通过删除代价最大的边来形成对应分割区域的孤立点集.这种非递归的 SST 方法计算复杂性较小,是一种自底向上的划分过程,但是由于缺乏分割过程的全局信息,可能会产生虚假的合并操作.最小最大 SST<sup>[5]</sup> 是一种启发式的自顶向下的图划分算法,其操作是基于 SST 的固有特性,通过删除父树  $R(V, T)$  的一个图连接得到两个子树  $R_1(V_1, T_1)$  和  $R_2(V_2, T_2)$ .最小最大 SST 的核心思想是寻找一个图连接,它使得删除它所生成的两个子树内的距离最小,而子树间的距离最大.子树  $R_1$  和  $R_2$  间的代价定义为所有节点对组合的均值,子树  $R_1$  和  $R_2$  内的代价分别定义为其内部所有节点对的均值,描述如下:

$$C(R_1) = \frac{\sum_{i,j \in R_1} w(i, j)}{N_{T_1 \times T_1}} \quad C(R_2) = \frac{\sum_{i,j \in R_2} w(i, j)}{N_{T_2 \times T_2}} \quad (4)$$

$$C(R_1, R_2) = \frac{\sum_{i \in R_1, j \in R_2} w(i, j)}{N_{T_1 \times T_2}} \quad (5)$$

其中  $w_{i,j}$  由式(3)计算得到,  $N_{T_1 \times T_2}$  是  $T_1 \times T_2$  的基.

## 3 实验结果及分析

为了验证算法的效果,本文采用一个实际的红外舰船目标图像序列进行实验,图像大小均为  $352 \times 288$ .限于篇幅的原因,我们从序列中仅选取几幅图像进行说明,选取的图像分别为序列中的第 14 帧、第 310 帧以及第 751 帧图像.图 1 为实验的结果,其中第一行为序列中第 14 帧图像的实验结果,第二行为序列中第 310 帧图像的实验结果,第三行为序列中第 751 帧图像的实验结果.每一行中从左至右分别为原始图像,均值漂移滤波的结果,采用图谱聚类得到的合并结果的边界轮廓以及最终分割结果的边界轮廓与原始图像叠加显示的结果.从实验结果中可以看出,采用均值漂移滤波算法能够有效地滤除舰船红外目标图像中的海面杂波信息,而舰船目标的信息基本没有什么损失.经过滤波处理后,图像由很多独立的区域组成,第 14 帧图像得到 316 个区域,第 310 帧图像得到 524 个区域,第 751 帧图像得到 208 个区域.这些区域构成一个区域邻接图结构对原始图像进行有效的表示.最后经过 SST 分类算法得到 3 类:天空背景、海面背景以及舰船目标.实验结果表明,本文的算法能够比较准确的提取舰船红外目标.从算法的时间效率来看,均值漂移滤

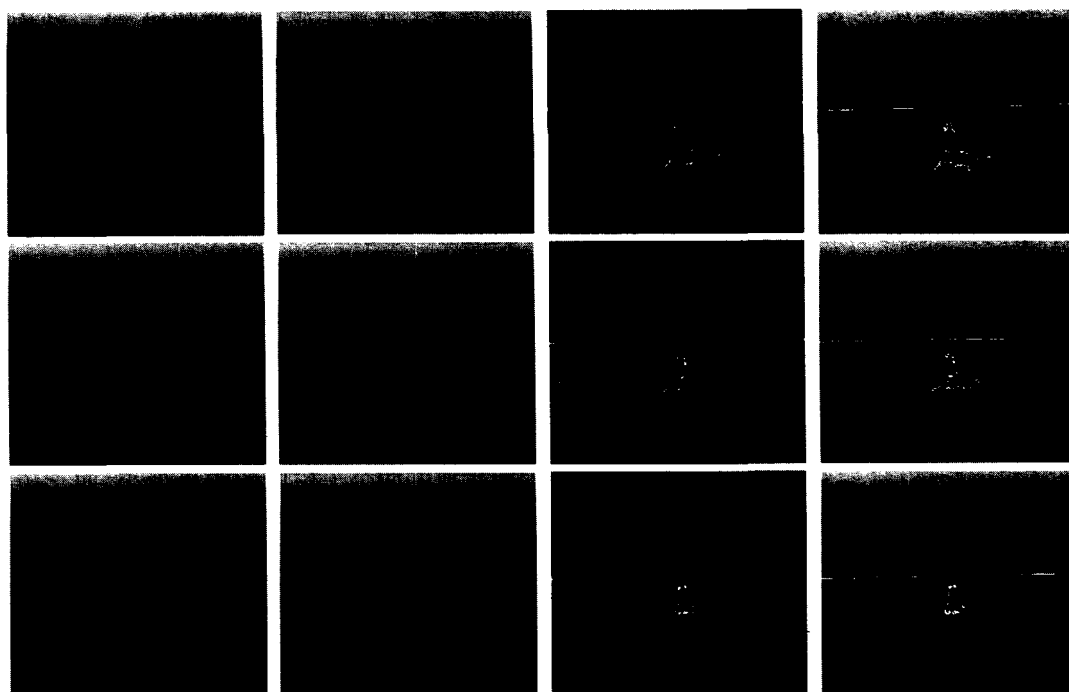


图1 从上至下的三行分别为第14帧、第310帧及第751帧图像的实验结果,每行的第一列为原始图像,第二列为均值漂移滤波的结果,第三列为采用SST合并算法得到的最终分割结果的边界轮廓,第四列为边界轮廓与原始图像叠加显示的结果  
Fig.1 The test results of frames 14310 and 751 (from top to down). Columns (from left to right): the original ship infrared object images, the filtering images based on mean shift algorithm, the contour images of the final region merging results using SST-minmax, the overlapped images of the original images and the contour of the final region partitioning results

波算法与带宽参数及图像大小有关,在带宽一定的情况下,与图像大小接近成正比.在本文中,图像大小为 $352 \times 288$ ,在1.7GHz CPU的Pentium PC微机上对算法执行的时间进行实验,采用均值漂移滤波处理的时间约为150ms左右,SST分类算法所需的具体时间与图像中区域的个数有关,一般不超过80ms.因而算法基本满足实时性的要求.

#### 4 结论

本文基于均值漂移滤波及图谱分类方法提出了一种有效的海面舰船红外目标分割算法.首先采用均值漂移滤波算法对图像进行预处理.然后根据均值漂移滤波得到的结果建立区域连接图,最后采用最小最大SST算法能够快速得到分类结果.由于图谱划分方法具有良好的分类性能,因而能够得到较为理想的舰船目标分割结果,实验结果也有效证明了本文提出的两步目标分割算法具有优越的性能,能够在海面强杂波干扰的情况下有效的提取舰船红外目标.

#### REFERENCES

- [1] DU Feng, SHI Wen-Kang, DENG Yong, *et al.* Fast infrared image segmentation method [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (杜峰,施文康,邓勇,等.一种快速红外图像分割方法, *红外与毫米波学报*), 2005, 24(6): 370—373.
- [2] SHEN Jian-Hua, LIU Shang-Qian, MA Yan-Xuan. Fast infrared image segmentation method [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (申建华,刘上乾,麻彦轩,快速的红外图像分割算法, *红外与毫米波学报*), 2005, 24(6): 224—226.
- [3] PEI Ji-Hong, XIE Wei-Xin, YANG Yi-He, *et al.* Study of fuzzy segmenting algorithm of ship imaging target by forward-looking infrared technique [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (裴继红,谢维信,杨宜禾,等.前视红外舰船图像模糊分割算法研究, *红外与毫米波学报*), 1995, 14(4): 327—334.
- [4] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis [J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2002, 24(5): 603—619.
- [5] Morris O J, Lee J, Constantinides A G. Graph theory for image analysis: An approach based on the shortest spanning tree [J]. *Proc. Instit. Elect. Eng., Part F, Communications Radar Signal Processing*, 1986, 133(2): 146—152.
- [6] Shi J Malik J. Normalized cuts and image segmentation [J]. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 2000, 22(8): 888—905.