

无源毫米波海岸线图像的边缘提取方法研究

张光锋, 李兴国, 娄国伟

ZHANG Guang-feng, LI Xing-guo, LOU Guo-wei

南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 南京 210094

School of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China

E-mail: zgfdese@163.net

ZHANG Guang-feng, LI Xing-guo, LOU Guo-wei. Research on coastal line edge extraction method from passive radiometric image. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(32): 200-202.

Abstract: On basis of analyzing radiometric image outline characteristic and introducing the image segmentation approaches, this paper presents a coastal line extraction approach from 3 mm radiometric image. First it marks the typical objects according to the millimeter-wave radiation characteristic of different objects. Then it realizes image segmentation by the self-adapting threshold. Finally it adopts a sub-zone and multiple structural element morphological processing method. The result shows the method has higher precision and comprehensive applicability by contrasting to LOG processing result.

Key words: coastal line; radiometric image; antenna temperature; edge extraction; morphological

摘要: 分析了无源毫米波辐射图像轮廓特征, 讨论了基于二阶微分算子与形态学的图像边缘检测的方法, 根据海岸线的无源毫米波辐射特性和成像特点对图像区域标识, 然后利用自适应阈值操作实现多目标区域的细分, 最后采用形态学边缘检测海岸线特征方法。实验结果表明: 对比传统的微分算子处理结果, 形态学算法具有较高的检测精度, 适用于提取无源毫米波辐射图像边缘。
关键词: 海岸线; 辐射图像; 天线温度; 边缘提取; 形态学

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.32.060 文章编号: 1002-8331(2008)32-0200-03 文献标识码: A 中图分类号: TN911

1 引言

毫米波辐射成像就是利用微辐射计来探测、接收被测目标、背景在毫米波波段的电磁辐射, 并把接收到的辐射信号按比例用灰度或伪彩色直观地显现出来。毫米波辐射计具有全天时全天候的工作能力, 可以穿过烟雾霏得到可见光、红外探测器不能获取的特殊信息, 因而在遥感和制导上获得了广泛的应用^[1]。在利用遥感数据进行海洋监测、海事救援、海洋污染监控等应用时, 往往需要首先确定图像的海岸线特征, 也就是说, 需要对图像中海岸线进行分割提取^[2]。但是毫米波辐射图像分辨率较低, 目标边缘的模糊区域大, 特别是在测量海岸线工作中, 不能很好地确定图像中地物目标的边缘轮廓, 大大影响了测量的准确性。传统的基于阈值的二阶微分算子是一种简洁而有效的图像边缘检测方法, 虽然可以用于检测遥感图像中的海岸线特征, 然而在毫米波辐射图像的弱信号中包含了大量的噪声, 检测出的结果包含许多毛刺而缺乏足够的区别辨识能力。根据目标毫米波辐射特性和成像的特点, 本文采用一种自动选取阈值分割和形态学的方法分区检测和提取海岸线特征的算法。

2 基本原理

2.1 毫米波辐射图像轮廓特征分析

如图1所示, 待测场景在 AB 段内, 间距为 d , AB 的中心点为 O , 在连线正上距离 h 处有一天线 (C 处), OO' 是平面内 AB 的垂线, 它与 OC 的夹角为 α , 天线在这个平面内作俯仰扫描, 其波束最大辐射量沿着 CE , 与 OC 的夹角为 θ , θ_1 和 θ_2 分别是 OC 与 CA 和 CB 的夹角。根据 Holmes 推导^[3]:

$$T_A(\theta) = \int_{-\theta_1}^{\theta_2} T_B(\theta' + \theta + \alpha) \cdot G(\theta') d\theta' \quad (1)$$

其中, T_B 是目标视在温度, G 为天线增益函数。

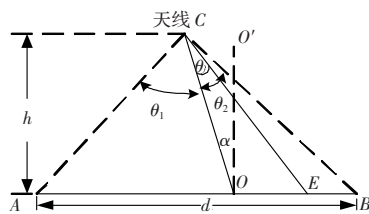


图1 地面目标与天线位置的几何关系

基金项目: 中国博士后科学基金(the Postdoctor Science Foundation of China under Grant No.2005038579)。

作者简介: 张光锋(1975-), 男, 博士后, 主要研究领域为被动毫米波成像技术; 李兴国(1940-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为亚毫米波、毫米波特性、系统与探测技术等; 娄国伟(1952-), 女, 研究员, 主要研究领域为亚毫米波、毫米波系统与探测技术等。

收稿日期: 2008-05-15

修回日期: 2008-07-25

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{d}{2h} - \text{tg}\alpha \right) + \alpha \quad (2)$$

$$\theta_2 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{d}{2h} + \text{tg}\alpha \right) - \alpha \quad (3)$$

由于 α 是常数,由上式可知, $T_B(\theta)$ 和 $G(\theta)$ 是相关的。又因为 $G(\theta)$ 是实偶函数,根据卷积定理有:

$$T_A(\theta) = T_B(\theta) * G(\theta) \quad (4)$$

设天线归一化方向图为 $F = e^{-k_1 \theta^2}$, 由于无耗天线

$$G(\theta) = \frac{4\pi F_n(\theta)}{\int_{-\pi}^{\pi} F_n(\theta) d\Omega} = k_1 F_n(\theta) \quad (5)$$

将式(5)代入式(4),得

$$T_A(\theta) = k_1 \cdot T_B(\theta) * F_n(\theta) \quad (6)$$

$$\frac{dT_A(\theta)}{d\theta} = k_1 \cdot \frac{dT_B(\theta)}{d\theta} * F_n(\theta) \quad (7)$$

由于 $\frac{dT_B(\theta)}{d\theta} = \delta(\theta)$, 得

$$\frac{dT_A(\theta)}{d\theta} = k_1 \cdot \delta(\theta) * F_n(\theta) = k_1 F_n(\theta) \quad (8)$$

上式说明了天线温度曲线的导数即为天线归一化方向图,同时导数曲线的极大值点所处的位置即为两目标的分界点,或者说天线温度曲线的二阶导数的零点即为图像的边缘点。

2.2 二阶微分算子边缘检测方法

图像分割的主要作用是将图像表示为物理上有意义的连通区域的集合,这些区域的灰度大致相同,或者反照率、纹理等属性相近似。在进行图像检索之前,为了提取物体的形状特征,需要对图像进行分割操作。在图像的分割过程中,主要关心的是物体外部特征和颜色突变,而忽略物体内部的细节信息和颜色渐变,通过图像分割,将一幅图像分为不同的区域从而获得物体的轮廓边缘。边缘的种类可以分为两种:(1)阶跃性边缘,它两边的像素的灰度值有显著的不同;(2)屋顶状边缘,它位于灰度值从增加到减少的变化转折点。对于阶跃性边缘,二阶导数在边缘处呈零交叉;对于屋顶状边缘,二阶导数在边缘处取极值^[4]。

LOG 算子是一个二阶算子,将在边缘处产生一个陡峭的零交叉。拉普拉斯算子是一个线性的、移不变的算子,它的传递函数在频域空间的原点是零,因此经拉普拉斯滤波过的图像具有零平均灰度。LOG 算子先用高斯低通滤波器将图像进行预先平滑,然后用拉普拉斯算子找出图像中的陡峭边缘,最后用零灰度值进行二值化产生闭合的、连通的轮廓,消除了所有内部点。

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = f(i-1, j) + f(i+1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j) \quad (9)$$

2.3 形态学提取边缘

用形态学检测方法所得到的图像,在边缘的连续性及各向同性方面都优于传统方法。对图像细节和边缘定位也有很好的效果,所检测出的边缘宽度与所使用的结构元素形状和大小密切相关,当结构元素的尺寸增大时,检测出的边缘宽度也随之增大。因此合理地调节结构元素的尺寸将能有效地去除噪声并能很好地保护细节。

形态学是基于形状的操作,主要是图像的膨胀与腐蚀^[5]。设图像为 F , 结构元素为 B 。膨胀的定义为:

$$F \oplus B = \{x | [(B)_x \cap F] \subseteq F\} \quad (10)$$

即先对 B 做关于中心像素的映像,再将其映像平移 x , 使 F 与 B 映像的交集非空。

$$F \ominus B = \{x | (B)_x \cap F\} \quad (11)$$

即 B 完全包括在 F 中时 B 的原点位置的集合。

任何一种复杂的形态变换都可以由上述两种基本运算通过并操作与补操作来表示。对图像进行处理中一个重要的任务就是区分图像中不同的物体,如果图像中两个区域有像素相邻,就说这两个区域最有可能属于一个物体,而如果两个区域没有任何像素相邻,则极可能属于不同物体。判断两个像素是否相邻通常有两个标准:4 连通和 8 连通标准,如图 2 所示。根据一个像素的邻域是 4 连通还是 8 连通的,就可以得到图像的边缘界。

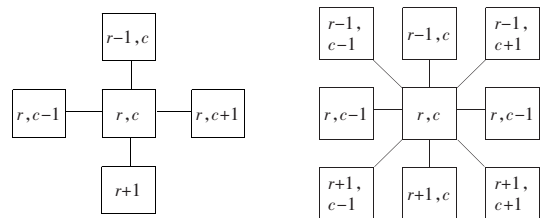


图 2 4 连通与 8 连通边缘标准

3 实验结果与分析

提取方法和步骤如下:

(1)毫米波辐射图像的解读(粗分):在海岸线辐射图像中,典型的为目标为天空、海水、海岸。因此首先需要根据目标辐射特性,标记图像中各典型目标的区域(海、天、岸),消除模糊的过渡区域。

(2)目标多阈值自适应分割(细分):设一个已标记区域的灰度图像 $F = f(m, n)$, $m, n \in N$, 图像中只有一条模糊的边界,用小尺度滤波器处理图像得到边缘检测结果为 $E = e(i, j)$, $1 \leq i \leq M$, $1 \leq j \leq N$ (文中取 $M = N = 3$), 其中 $e(i, j)$ 的定义为^[6]:

$$e(i, j) = \begin{cases} 1 & f(i, j) \text{ 是边缘点} \\ 0 & f(i, j) \text{ 是非边缘点} \end{cases} \quad (12)$$

$$T = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j) e(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N e(i, j)} \quad (13)$$

可知阈值 T 等于滤波后得到的边缘点灰度平均值。

(3)形态学预处理:采用形态学的高帽(Top-hat)变换与低帽(Bot-hat)变换相结合的方法对图像进行预处理,增强图像的对比度,从而使分水岭线的定位更为准确。

(4)特征提取:利用 8 连通标准来提取海岸的边缘。

(5)比较与分析:如图 3 所示, (a) 是一幅 3 mm 波段的辐射图像, (d) 为同一地点的光学实验场景(青岛某地)。其成像参数如下,工作频率 94 GHz, 前端噪声系数约 9 dB, 3 dB 波束宽度为 0.5° , 积分时间 60 ms, 扫描速度 40%/s, 水平极化模式。图 3 (b) 为阈值自适应分割后辐射图像; (e) 为直接利用 LOG 算子对 (c) 边缘提取的结果, 上面含有很多毛刺; (c) 为形态学预处理后的结果; (f) 为形态学海岸线特征提取的结果, 比较准确地反映了观测角度的海岸线走向与特征。需要指出的是图中的半岛的形状之所以与光学图像不符, 是因为采用地基观测方式再加上毫米波辐射分辨率的限制, 从成像角度无法区分右侧陆

地与海湾的区域。由于无源毫米波图像成像过程中受到机内和外界各类噪声的干扰,成像质量较差,形态学处理算法是进行辐射图像预处理和特征分析的有效方法。

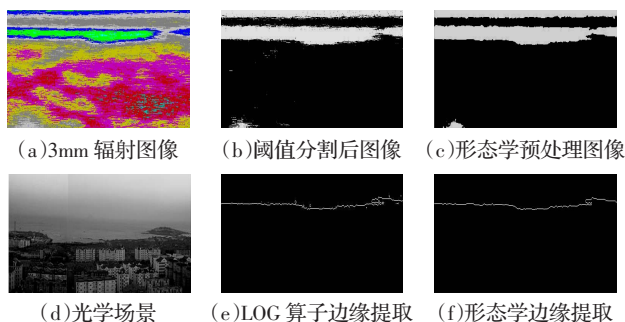


图3 实验结果

4 结束语

对比传统的二阶微分算子,形态学边缘检测方法可有效地除去毛刺与散点的影响,明显地改善了海岸线特征的提取效果。但受天线孔径的限制,毫米波辐射图像的分辨率较低,而光

学与红外遥感图像又受天气等诸多条件的限制,因此需要充分利用多源探测器数据的优点。总之在烟雾、黑夜等能见度较差的背景下,毫米波辐射图像可作为多传感器数据融合的重要来源之一。

参考文献:

- [1] Ulaby F T, Morre R K, Fung A K. Micro remote sensing[M]. [S.L.]: Addison-Wesley Publishing Company, 1981.
- [2] Liu A K, Peng C Y, Chang S Y. S-Wavelet analysis of satellite images for coastal watch[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1997, 22(1): 9-17.
- [3] Holmes J, Balanis C, Truman W. Application of Fourier transforms for microwave radiometric inversions[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1975, 23(6): 797-806.
- [4] 谢红梅, 俞卞章. 基于小波变换数据融合的图像边缘检测算法[J]. 电路与系统学报, 2004, 9(4): 118-121.
- [5] 瞿继双, 王超, 王正志. 一种基于多阈值的形态学提取遥感图像海岸线特征方法[J]. 中国图象图形学报, 2003, 18(A)(7): 805-809.
- [6] 周德龙, 潘泉, 张洪才. 自动图像边缘检测方法的研究[J]. 计算机工程与科学, 2001, 23(4): 11-14.

(上接 190 页)

表1 图像融合效果评价

	D_r	D_g	D_b	H	$PSNR$
本文	4.009	3.219	4.297	7.287	1 797
清晰度	5.177	4.282	4.989	7.282	835.7
能量	5.176	4.290	4.990	7.281	834.0

实验结果如图 2 和表 1。从图 2 中可以看出,本文的融合算法能够得到较好的融合效果,与理想图像比较接近。对于用清晰度最大和能量最大的融合算子右边有点模糊。如表 1 所示, D_r 、 D_g 、 D_b 分别表示 R 、 G 、 B 三分量的颜色偏差; H 、 $HSNR$ 分别表示融合图像的熵和峰值信噪比。从表 1 中可看出,本文融合算子在 R 、 G 、 B 三分量的颜色偏差最小,说明融合后图像颜色失真较小,具有较好的视觉效果;熵(H)较大,说明融合图像包含较为丰富的图像信息;峰值信噪比($PSNR$)较大,说明融合图像效果较好。

7 结论

本文介绍了一种基于小波变换的彩色图像融合方法,对于

小波变换后的低频和高频系数采用不同的融合方法。在选择高频系数时,将高频系数分为边缘部分和非边缘部分,对于边缘采用绝对值较大的方法有利于提高图像的边缘信息,对于非边缘部分采用基于标准偏差的融合方法。低频的融合算法采用加权平均,有利于提高算法的运行速度。实验结果表明,该方法能够得到较好的融合图像,是一种有效可行的融合方法。

参考文献:

- [1] 付朝霞, 韩焱, 刘晓利. 一种新的多聚焦彩色图像融合方法[J]. 中国体视学与图像分析, 2006, 11(3): 222-225.
- [2] Zhang Z, Blum R S. A categorization of multiscale-decomposition-based image fusion schemes with a performance study for a digital camera application[J]. Proc of IEEE, 1999, 87(8): 1315-1326.
- [3] 曹杰, 龚声蓉, 刘纯平. 一种新的基于小波变换的多聚焦图像融合算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(24): 47-50.
- [4] 那彦, 史林, 杨万海. 基于成像机理的多小波多聚焦图像融合[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(11): 1549-1551.
- [5] 李伟, 朱学峰. 基于第二代小波变换的图像融合方法及性能评价[J]. 自动化学报, 2007, 33(8): 817-821.

(上接 199 页)

对最优个体进行检验,发现所有的产品几乎都是在加工时间最短的机器上生产,也就是说,每一个机器都在最大能力生产。这说明本文方法的计算结果满足此双目标调度的要求,适合企业实际需求的需要。

5 结束语

本文针对非等同并行多机受特殊工艺约束的双目标调度问题,构造了一个基于向量组编码的并行遗传算法。从实验结果可以看出,本文建议模型比较实用,并且算法具有编码简单,收敛速度快,并行度好的特点,能有效地解决此类双目标调度问题,并能较好地适应解大规模的这类企业调度问题的需要。下一步将研究其他的多目标调度问题。

参考文献:

- [1] 刘民, 吴澄, 戴元顺. 最小化拖期任务数并行多机调度问题的一种基于知识的遗传算法[J]. 电子学报, 2004, 27(9): 129-131.
- [2] Liaw C F, Chen C Y, Chen M. Scheduling two-machine no-wait open shops to minimize makespan[J]. Computers & Operations Research, 2005, 32: 901-917.
- [3] Valente J M S, Goncalvs J F A. A hybrid genetic algorithm for the early/tardy scheduling problem[J]. Asia-Pacific Journal of Operational Research, 2006, 23(3): 393-405.
- [4] 高家全, 方蕾. 解非等同并行多机调度问题的并行遗传算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(1): 198-199.
- [5] 高家全, 赵端阳, 何桂霞, 等. 解特殊工艺约束拖后调度问题的并行遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(27): 184-186.
- [6] Eiben A E, Smith J E. Introduction to evolutionary computing[M]. [S.L.]: Springer, 2003: 54-57, 62-63.