一种基于海陆边界跟踪的快速海陆分割方法

李超鹏 杨 光
(北京航空航天大学计算机学院数字媒体北京市重点实验室 北京 100191)

摘 要 海陆分割是进行船舶检测、海岸线提取的基本前提之一。当前海陆分割方法需要对图像进行逐像素处理,因此计算量大。提出一种只需处理海陆边界区域图像的分割方法,用以快速准确地获取海陆边界。首先提取图像4个边缘的基于边缘信息的EBT纹理特征,获取海陆边界种子块。然后从该种子块出发,利用EBT纹理特征进行边界块跟踪,实现快速海陆分割。实验结果表明,所提方法具有较好的分割效果,与目前主流的分割方法比较,时间花费大幅减少。

关键词 海陆分割,EBT纹理特征,边界跟踪
中图法分类号 TP391.4 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.10.019

Fast Sea-Land Segmentation Method Based on Maritime Boundary Tracking

LI Chao-peng YANG Guang
(Beijing Key Laboratory of Digital Media, School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract Sea-land segmentation is a key issue for marine target detection and coastline extraction. Based on the traditional sea-land segmentation method which processes the image by pixels, this paper presented a method which processes the maritime boundary region efficiently by blocks. This method first investigates four edges of the image and extracts texture features based on edge information named Edge Based Texture (EBT) feature. Then maritime boundary seed block can be captured by EBT feature. From this seed block, maritime boundary is traversed and detected efficiently by EBT feature. Experimental results show that the proposed method is of high accuracy. Compared with the state-of-the-art methods, the computational burden is greatly reduced.

Keywords Sea-land segmentation, EBT, Boundary tracking

1 引言

随着光学遥感技术的快速发展,利用卫星光学遥感图像监视海洋、检测海洋目标越来越受到人们的关注,而海陆分割是开展海洋监视、实现海洋目标检测的一个重要步骤。海陆分割可以排除陆地上各种地物对海洋目标检测的干扰,减少海洋目标检测的复杂度和误判率,有效地提高检测的效率。

海陆分割是图像分割的一个应用分支,自20世纪70年代以来,已经有上千种图像分割方法,但目前尚没有一种通用的图像分割方法。当前主流的图像分割方法主要分为基于阈值分割法、基于边缘的分割方法、基于区域分割方法以及结合特定理论的分割方法4类。目前常用的海陆分割方法主要有基于阈值分割法和基于边缘的分割方法。Shi[10]等提出一种图像分割方法,该方法通过提取图像的整体信息,提出一种新的分割图像的全局标准,该标准既衡量区域间差异,同时也考虑区域内相似性,实现图像分割,该方法应用于静态图像和运动序列图像分割,并取得了较好的结果,但是其计算量较大,时间效率较低。基于灰度特征的分割方法[1,2]对于陆地与海面灰度差别比较大的图像,能够准确地选取分割阈值,分割效果较好,但是当海陆交界处的陆地和海面灰度比较接近时,分割效果较差;此外,当图像存在噪声干扰时,分割效果也会受到很大影响。基于纹理特征的海陆分割方法[3]的分割效果远优于只依靠灰度特征的分割方法,但是传统的利用纹理的图像分割方法的抗噪声能力较差,而且在海岸线的连续性和准确性上效果不好。陈琪等人[6]提出一种改进的二维otsu图像快速分割方法,该方法在Gong等人[7]提出的二维otsu图像快速分割方法的基础上,通过单独计算二维直方图主对角区域概率,来准确估计主对角区域中目标和背景的概率,并重新计算二维otsu,得到分割结果,与一维otsu方法相比,该方法同时考虑了图像的灰度特征和空间信息,分割效果有了显著提高,但对复杂海陆状况的分割效果一般;与传统的二维otsu方法比较,该方法在时间效率和分割准确性上都有了较大提升。艾国红[8]提出一种基于特征融合模型的海陆分割算法,该算法通过动态融合模型提取多种图像特征,生成综合特征图,并对综合特征图进行分割,该方法克服了单一特征的分割方法的缺陷,具有较好的分割效果,但是该方法的时间花费较大。

到稿日期:2013-05-16 返修日期:2013-08-15 本文受国家重点基础研究发展计划项目(2010CB327900),国家杰出青年科学基金项目(61125206)资助。

李超鹏(1984-),男,硕士生,主要研究方向为图像处理、模式识别,E-mail:chaopeng8866@gmail.com;杨 光(1984-),女,博士生,主要研究方向为图像处理、模式识别。

综合以上方法的优点和不足，本文提出了一种基于边缘信息的纹理特征快速海陆分割算法，该方法克服了基于单一特征的分割算法的缺陷，具有更好的鲁棒性，同时使用边界快跟踪的策略，提高了海陆分割的时间效率。

2 基于边缘信息的纹理特征

纹理是一种普遍存在的视觉现象，是按一定规则对元素(elements)或基元(primitives)进行排列所形成的一种重复模式[5]。

全色遥感图像包含丰富的细节信息，纹理特征明显。观察全色遥感图像中的海洋图像，如图1所示，海水部分在图像中表现为纹理特征明显的区域，具有很好的重复性、规则性、周期性和方向性。

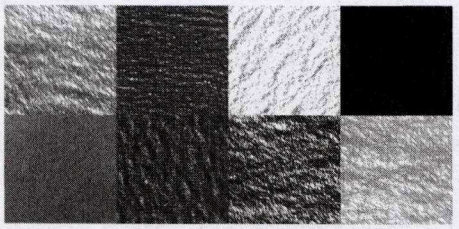


图1 海面纹理图像

为了定量描述纹理，人们建立了许多纹理分析方法来测量纹理特性。这些方法可分为统计方法(Statistical Methods)、几何方法(Geomatric Methods，或为结构方法)、基于模型的方法(Model based Methods)和信号处理的方法(Signal-Processing Methods)[5]。传统的纹理特征描述多建立在图像的逐像素特征计算或图像特征建模的基础之上，目前尚没有比较好的模型来较好地描述遥感图像中大面积海域的纹理特征；而且遥感图像数据量大，传统的方法采用逐像素的统计图像特征，计算复杂，时间消耗大，无法适应卫星遥感图像快速处理的要求。

在对遥感图像海洋区域纹理特征分析的基础上，本文提出了基于边缘信息的图像纹理特征描述方法EBT(Edge Based Texture)。该特征由3个分量组成，分别是图像局部区域灰度均值LM、局部图像区域灰度方差LV和图像局部区域边缘纹理统计量V，其中边缘纹理统计量V包含两个分量，分别是边缘走向T和边缘走向强度E。边缘走向及走向强度定义如下：

边缘走向：图像的边缘走向指边缘图像中边缘纹理的方向性，通常分为水平、垂直、45°、135°和无特定方向5种。计算时通过特征统计的方向卷积模板(见图2)进行图像卷积后得到5个图像块，其中的灰度均值最大的图像块所对应的方向卷积模板表示的方向即为图像边缘走向。

$$\begin{bmatrix}1 & 1\\ -1 & -1\end{bmatrix}\quad \begin{bmatrix}1 & -1\\ 1 & -1\end{bmatrix}\quad \begin{bmatrix}0 & \sqrt{2}\\ -\sqrt{2} & 0\end{bmatrix}\quad \begin{bmatrix}\sqrt{2} & 0\\ 0 & -\sqrt{2}\end{bmatrix}\quad \begin{bmatrix}2 & -2\\ -2 & 2\end{bmatrix}$$

0° 90° 45° 135° 无特定方向

图2 边缘纹理特征统计的卷积模板

边缘走向强度：边缘走向强度表示图像边缘信息中当前方向频率强度的大小，即图像边缘信息中对当前方向表现的增益数量。

计算边缘纹理统计特征步骤：

(1)对子图像块依次用图2中的5个模板进行卷积运算，并计算卷积后图像块内的像素均值LM，据此均值计算出图像块内方差LV；

(2)由步骤1得到像素均值：$mean_1$、$mean_2$、$mean_3$、$mean_4$和$mean_5$，此5个数据项分别表示图像块中边缘信息在水平、垂直、45°、135°和无特定方向5种方向中的频率强度；

(3)边缘纹理统计量V由边缘走向T和走向强度E组成，T为方向频率强度最大的方向，E描述该方向上边缘的走向强度：

$$T=\{i\mid mean_i\geqslant mean_j\},\ i,j\in\{0,1,2,3,4\} \tag{1}$$

$$E_i=\frac{mean_i}{\sum_{j=0}^{j=4}mean_j} \tag{2}$$

$$V=\{T,E\} \tag{3}$$

其中，方向T表示0—4五个方向：0表示无特定方向；1表示水平方向；2表示45°方向；3表示垂直方向；4表示135°方向。

最终基于边缘信息的图像纹理特征EBT表示为：

$$EBT=\{LM,LV,V\} \tag{4}$$

图3所示的边缘图像为图1的边缘图像，其中边缘图像很好地保存了源图像的纹理特征，而且冗余数据少。边缘信息自身很好地反映了全色图像丰富的边缘细节信息，而且弥补了全色图像灰度变化范围大、易受外界干扰的不足。此外，边缘信息具有很好的结构特征信息，相对于原始图像其剔除了大量的冗余数据。通过提取边缘信息中边缘走向和走向强度两个统计量，能进一步描述出纹理信息的方向性和规律性。特别是对于全色遥感图像的海洋区域的纹理描述，其适应性较强。

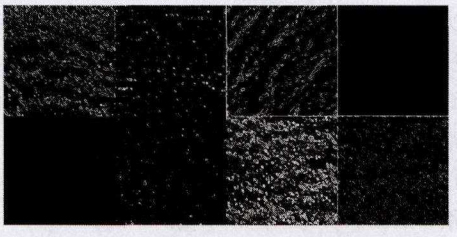


图3 遥感图像海洋区域边缘信息提取结果

3 快速海陆分割算法

本文与传统海陆分割的主要差别在于利用边界块跟踪快速定位海水边界。传统的边界跟踪算法，通常是基于四邻域或八邻域方向，按固定顺时针或逆时针方向逐邻域地寻找符合边界要求的像素点[4]。这样的搜索过程一方面效率较低，特别是在进行图像块跟踪需要统计图像块统计特征时；另一方面，这样的跟踪常会出现漏跟踪、重复跟踪等情况，避免这种情况常用的方式是进行像素点标记(图像块标记)，但这会增加算法的时间复杂度。本文采用的是种子块边界跟踪方法，该方法的优点是种子块只沿着海域与陆地的边界生长，只需要计算图像中很小的一部分，有效减小了计算量，提高了算法的时间效率。

本文提出的海陆分割算法有3个步骤：第一步先选取边界种子图像块，通过遍历图像的4个边查找海域种子图像块；

第二步为海陆边界图像块跟踪，从种子块出发，跟踪海陆边界块，获取海陆边界；第三步根据获取的海陆边界信息，完成海陆分割，得到分割结果。

3.1 海陆边界种子块选取

根据大量的实验分析，本文对图像中海陆边界图像块定义如下：海陆边界图像块为海水区域，且该图像块或者其邻接图像块中含陆地区域或者其一边为图像的边沿。本文方法选取满足上述定义的海陆边界图像块中的一块作为边界种子图像块。

具体过程是：首先，利用 Prewitt 算子从原始图像的左上角开始沿图像最上、最右、最下、最左边沿依次提取大小为 $m\times m$像素的图像块的边缘。然后，在边缘图像块上提取 EBT 纹理特征。最后，计算相邻图像块间 EBT 纹理特征的欧氏距离，找出距离小于经验阈值 dt 且连续长度最长的图像块序列，确定序列中的首个图像块为初始的种子图像块。dt 为利用 Boser 等人在文献[9]中提出的 SVM 方法对大量图像进行监督训练所得，取值为 23.37。图像块 i,j 间的特征距离函数表达为：

$$Energy(i,j)=$$

$$\begin{cases}\dfrac{|T_i-T_j|\cdot|LV_i-LV_j|\cdot|LM_i-LM_j|}{|E_i-E_j|}, & \text{if } |T_i-T_j|<2\\ |T_i-T_j|\cdot|E_i-E_j|\cdot|LV_i-LV_j|\cdot & \text{if } |T_i-T_j|\geqslant 2\\ |LM_i-LM_j|, & \end{cases} \tag{5}$$

3.2 海陆边界种子块跟踪

本文提出一种只需要遍历图像中海陆边界区域的海陆边界图像快速跟踪方法。该方法在边界跟踪过程中，规定从上一图像块到当前图像块的移动方向为当前方向，以当前方向顺时针旋转 90°为优先方向，以种子块存在的序列中相邻图像块间的距离均值作为初始阈值。主要步骤如下：

(1)从优先方向上的图像块开始，逆时针依次计算与当前种子块相邻的图像块与当前种子块的距离；

(2)若某一图像块与当前种子块距离小于阈值，则将该图像块作为当前种子块，转步骤(3)，若各图像块与当前种子块距离都大于阈值，则转步骤(4)；

(3)将满足阈值的图像块作为当前种子块，将前一种子块到当前种子块的方向定义为当前方向，判断是否满足结束条件，若满足则结束查找过程，否则转步骤(1)；

(4)从当前种子块回退，将前一种子块作为当前种子块，从回退种子块逆时针旋转 90 度的图像块开始，逆时针依次计算当前种子块和与其相邻的图像块的距离，转步骤(2)。

该方法克服了上述的传统跟踪算法在进行边界图像块跟踪时存在的缺点，既保证不存在漏检、重复检查的现象，又能快速完成边界图像块的跟踪，保证了时间效率。

3.3 海陆边界的确定及分割实现

边界跟踪算法得到的直接结果为海洋区域边界图像块顺序首尾相连形成的队列，存储了各图像块的位置信息。结合本文应用的需求，本文选择每个边界图像块的中心点作为节点，并用直线将这些节点依次连接，形成封闭的集合来表示海洋区域的边界，集合以外的区域就为陆地区域。

4 实验结果与分析

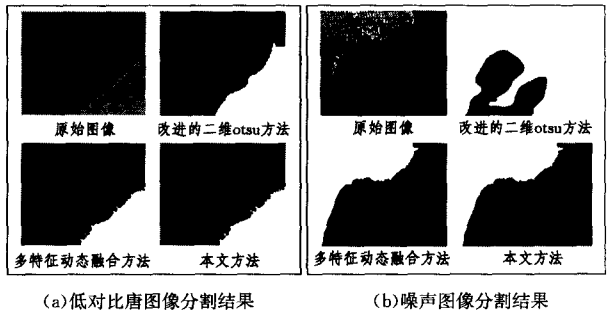
为了验证本文提出的基于边缘检测的快速海陆分割算法的有效性，选取了不同拍摄环境下的 46 幅 QuickBird 全色可见光遥感图像来构造测试数据集，将其与文献[6]提出的改进的二维 otus 方法和文献[8]提出的基于多特征动态融合的海陆分割算法进行了对比实验。测试数据集中包括海滩、人工建筑等多种海陆边界状况，含有对比度低、噪声干扰多以及拼接痕迹明显的多种图像数据，图像大小范围为 3000×3000 至 5000×5000。实验的硬件平台为 Inter(R) Core(2)Duo 处理器，2G 内存，操作系统为 Microsoft Windows XP Professional Pack-2，实验开发环境为 VC6.0。

表 1 显示了上述 3 种方法对测试数据集中的图像进行海陆分割的时间对比结果。分割准确率定义为：分割正确的像素数目与图像像素数目的比值。从表中可以看出，本文提出的海陆分割方法平均处理时间为 0.92 秒，准确率达到了 91.81%，与改进的二维 otsu 方法相比准确率提高了 9.05%，处理时间减少了 6.66 秒；与基于多特征动态融合的分割方法相比准确率略有降低，但处理时间大幅度地降低了 46.51 倍。本文提出的方法提高了海陆分割的准确率，降低了海陆分割的处理时间。

表 1 分割时间结果对比

分割方法	准确率	最大分割时间/s	最小分割时间/s	平均分割时间/s
改进的二维 otsu 方法	83.73%	10.33	4.64	7.58
多特征动态融合方法	93.24%	53.45	25.62	42.79
本文方法	92.78%	1.29	0.68	0.92

图 4 是实验中两幅具有代表性的图像的分割结果对比，其中白色区域为陆地，黑色区域为海洋。图 4(a)所示为低对比度、同时存在浅水区域和深水区域的光学遥感图像的分割结果。从图中可以看出，改进的二维 otsu 方法将与陆地灰度、纹理相近的浅水区域划分为了陆地区域，分割结果不准确，主要原因是采用的判定特征单一。基于多特征融合的方法和本文方法能够准确分割海洋和陆地，划分浅水区域，并且陆地区域完整、连续。图 4(b)为噪声图像对比结果，由于噪声的干扰，改进的二维 otsu 方法将大面积的水域错划分为陆地，而本文方法和多特征动态融合方法均取得了较好的分割结果。



(a)低对比唐图像分割结果　　(b)噪声图像分割结果

图 4 分割结果对比图

(下转第 100 页)

结束语 本文提出了一种基于视频序列进行平面提取的新方法。首先对视频序列进行特征点跟踪以提取轨迹；然后在相邻帧之间构建射影变换模型，利用平面诱导的单应与空间平面一一对应这一原理，引入重投影误差作为衡量平面模型与轨迹相合程度的标准，对轨迹进行聚类，提取出视频中的平面结构以及所诱导的单应，最后根据平面诱导的单应使用Graph Cuts算法得到平面提取结果。多种环境下的视频序列实验结果表明，本文算法可以得到较好的效果，且具有稳定性。

但是本文算法也存在着一些缺陷，即对于缺乏纹理信息的区域，往往难以提取到足够多的特征点，可能会造成部分平面提取失败或者出现平面分割错误等情况。以后的工作方向是，考虑加入线匹配等其他特征信息，以适应更多更复杂的情况。

参 考 文 献

[1] Ogundana O O, Coggrave C R, Burguete R L, et al. Automated detection of planes in 3-D point clouds using fast Hough transforms[J]. Optical Engineering, 2011, 50(5)

[2] Zhou Z, Jin H, Ma Y. Plane-Based Content-Preserving Warps for Video Stabilization[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2013

[3] Toldo R, Fusiello A. Robust multiple structures estimation with j-linkage[M]. Computer Vision-ECCV 2008. Springer Berlin Heidelberg, 2008: 537-547

[4] Fischler M A, Bolles R C. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395

[5] Choi O, Kim H, Kweon I S. Simultaneous plane extraction and 2D homography estimation using local feature transformations [M]. Computer Vision-ACCV 2007. Springer Berlin Heidelberg, 2007: 269-278

[6] Bouchafa S, Patri A, Zavidovique B. Efficient plane detection from a single moving camera[C]// 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE, 2009: 3493-3496

[7] Fouhey D F, Scharstein D, Briggs A J. Multiple plane detection in image pairs using j-linkage[C]// 2010 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR). IEEE, 2010: 336-339

[8] Kim H, Lee S. Multiple planar region extraction based on the coplanar line pairs[C]// 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2011: 2059-2064

[9] Hartley R, Zisserman A. Multiple view geometry in computer vision[M]. Cambridge, 2000

[10] Ma Y, Košecká J, Soatto S, et al. An invitation to 3-d vision: from images to geometric models[M]. springer, 2004

[11] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International journal of computer vision, 2004, 60(2): 91-110

[12] Shi J, Tomasi C. Good features to track[C]// 1994 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1994. Proceedings CVPR'94. IEEE, 1994: 593-600

[13] Narayanan P J, Vineet V, Stich T. Fast Graph Cuts for Computer[M]// GPU Computing Gems Emerald Edition, 2011: 439

(上接第 86 页)

实验结果表明，本文提出的基于海陆边界跟踪的海陆分割方法与改进的二维 otsu 方法相比，在处理效率和准确率上都有一定的提高。与基于多特征融合的方法相比，在准确率相当的情况下，时间效率大幅度提高。因此，本文提出的海陆分割方法能够快速、准确地分割海水和陆地区域。

结束语 本文提出的基于海陆边界跟踪的快速海陆分割方法，充分利用了海水区域边缘纹理特性，构造了 EBT 纹理特征，能够准确区分海水与陆地区域的纹理差异。同时，分割过程只需要对海陆边界的图像区域进行处理，避免了传统分割方法需要逐像素地对全图像进行处理的劣势。实验证明本文方法有较好的分割效果，有效减少了时间花费。

虽然本文方法取得了较好的效果，但是对于过于复杂的状况，如陆地和海面的灰度、纹理过于接近，就不能很好地实现分割；此外，本文方法是对区域图像块进行处理，因此对海陆边界的界定无法精确到像素，存在陆地和海洋边界划分粗糙的现象。我们将在今后的研究中努力解决这些问题。

参 考 文 献

[1] 高晓亮，王志良，刘冀伟，等. 基于灰度统计特征的可变区域图像分割算法[J]. 光学学报，2011，31(1)：1-5

[2] 王茜蒨，彭中，刘莉. 一种基于自适应阈值的图像分割算法[J]. 北京理工大学学报，2003，23(4)：521-524

[3] Zhang Xian-feng, Wang Zhi-yong. Coastline extraction from remote sensing image based on improved minimum filter [C]// 2nd IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing. 2010, 2: 44-47

[4] Gonzalez R C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 阮秋奇，阮宇智，译. 北京：电子工业出版社，2003

[5] Roger T, Stamon G, Jean L. Using Color, Texture, and Hierarchial Segmentation for High-Resolution Remote Sensing[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2008, 63(2): 156-168

[6] 陈琪，熊博莅，陆军，等. 改进的二维 Otsu 图像分割方法及其快速实现[J]. 电子与信息学报，2010，32(5)：1100-1104

[7] Gong Jian, Li Li-yuan, Chen Wei-nan. Fast recursive algorithm for two-dimensional thresholding [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(3): 295-300

[8] 艾国红. 基于多特征动态融合的图像分割研究[D]. 合肥：中国科技大学，2011

[9] Boser B E, Guyon I M, Vapnik V N. A training algorithm for optimal margin classifiers[C]// Proceedings of the Fifth Annual ACM Workshop on Computational Learning Theory. 1992: 144-152

[10] Shi Jian-bo, Malik J. Normalized Cuts and Image Segmentation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(8): 888-905