

# 基于区域增长的遥感影像视觉显著目标快速检测

张立保<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>北京师范大学信息科学与技术学院, 北京 100875)  
(<sup>2</sup>北京师范大学遥感科学国家重点实验室, 北京 100875)

**摘要** 针对传统视觉注意模型在遥感影像视觉显著区域检测中存在的计算复杂度高、检测精度低等缺点, 提出了一种新的视觉显著区域快速检测算法。首先利用整数小波变换降低遥感影像的空间分辨率, 从而降低视觉注意焦点检测的计算复杂度; 然后在视觉特征融合中引入二维离散矩变换, 生成边缘与纹理信息更为丰富的遥感影像显著图; 最后在显著图分析中提出区域增长策略来获得视觉显著区域的精确轮廓。实验结果表明, 新算法不仅有效降低了遥感影像视觉显著区域检测的计算复杂度, 而且能够精确描述视觉显著区域的轮廓信息, 同时避免了对整幅遥感影像的分割与特征提取, 为今后的遥感影像目标检测提供了一定地参考价值。

**关键词** 图像处理; 遥感影像处理; 视觉显著区域; 整数小波变换; 离散矩变换; 区域增长

**中图分类号** TN919.8 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.1114001

## Fast Detection of Visual Saliency Regions in Remote Sensing Image based on Region Growing

Zhang Libao<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>College of Information Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)  
(<sup>2</sup>State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract** The traditional visual attention model for the detection of visual saliency regions in the remote sensing image can lead to high computational complexity and low precision of detection. A new fast detection algorithm of visual saliency regions is proposed. The new algorithm firstly decreases the spatial resolution by integer wavelet transform, which can reduce the computational complexity of detection of the visual focus of attention. Then, the new algorithm proposes the two-dimensional discrete moment transform for visual feature fusion, which can generate the saliency map of the remote sensing image which has more abundant information of edge and texture. Finally, the region growing strategy based on the visual focus of attention is proposed in the saliency map analysis to acquire the precise contours of the visual saliency regions. The experimental results show that the new algorithm can not only effectively reduce the computational complexity of the detection of visual saliency regions in the remote sensing image, but also be able to accurately describe the contour information of visual saliency regions. In addition, it can avoid image segmentation and feature extraction for the whole image. The new algorithm provides a certain reference for the target detection of the remote sensing image in the future.

**Key words** image processing; remote sensing image processing; visual saliency region; integer wavelet transform; discrete moment transform; region growing

**OCIS codes** 100.2000; 100.3008; 280.0280

## 1 引言

近年来,随着遥感数据获取技术的飞速发展,人

们得到了大量高质量遥感影像,但是影像数据的快速增加与人工解译遥感影像的低效形成尖锐矛盾。

**收稿日期**: 2012-05-29; **收到修改稿日期**: 2012-07-09

**基金项目**: 国家自然科学基金(60602035,61071103)和中国科学院遥感应用研究所、北京师范大学遥感科学国家重点实验室开放基金(OFSLRSS201001)资助课题。

**作者简介**: 张立保(1977—),男,博士,副教授,主要从事遥感影像压缩与目标识别等方面的研究。

E-mail: libaozhang@163.com

为此人们尝试将自然景物图像处理中的分割与识别技术引入遥感影像分析中,从而实现遥感目标的自动识别<sup>[1~3]</sup>。但是,由于遥感影像数据量庞大、地物结构复杂、目标种类繁多,直接对全图分割或利用先验知识库对遥感影像进行全局搜索都将使计算复杂度迅速上升,基于人眼视觉系统(HVS)的影像显著性分析模型为解决上述问题提供了新思路<sup>[3,4]</sup>。

影像的视觉显著性分析模型是从人眼视觉注意理论中提炼出来的。该理论认为面对复杂场景,HVS总会帮助人们快速、准确地选择少数视觉显著区域优先处理,显著区域中心称为注意焦点(FOA)。区域的显著性分析过程是HVS根据影像特性及场景进行目标选择及定位的过程。基于上述思想,Itti等<sup>[5~7]</sup>提出自底向上的视觉显著性分析模型并受到广泛关注。Itti模型采用高斯差分滤波器与Gabor滤波器组提取影像特征,构建多幅特征图,合并出显著图,通过搜索FOA并利用尺寸固定的圆形区域得到视觉显著区域。

遥感影像中令观察者高度注意的地物信息像元集合往往具有较高视觉显著特征,对于这些目标或区域,采用Itti的视觉显著性分析模型能够获得较好的目标检测效果。文献[8]直接对Itti模型进行空间降维并成功应用到高分辨率遥感影像感兴趣区域(ROI)的快速检测中。文献[9]针对巨幅遥感图像的目标检测问题,通过将区域分割与视觉显著性分析相结合,高效检测出了巨幅遥感图像中的重要目标。文献[10]将图像显著性检测引入到遥感影像的控制点自动抽取中,快速高效地实现了可见光遥感影像与激光雷达影像配准。

Itti模型很好地利用了遥感影像多个尺度上的特征差异,能够实现视觉显著区域的快速检测。但是,Itti模型也存在三个缺陷:1) Itti模型中包含大量卷积与浮点数乘法运算,在针对高空间分辨率遥

感影像时,具有较高计算复杂度;2) Itti模型的特征图获取环节没有考虑影像的纹理与边缘特征,而遥感影像的显著区域往往包含大量边缘与纹理信息;3) Itti模型采用固定尺寸的圆来描述显著区域,无法准确表达显著对象的外形轮廓。

针对上述问题,本文提出了基于区域增长的遥感影像视觉显著区域快速检测算法,通过整数小波变换降维、离散矩变换以及基于FOA的区域增长策略,有效降低了高空间分辨率遥感影像中视觉显著区域检测的计算复杂度,同时获得了视觉显著区域轮廓信息的精确描述,最终实现了对遥感影像视觉显著区域的自动、准确、快速检测。

## 2 基于整数小波变换的遥感影像降维

基于提升框架的整数小波变换是具有极低计算复杂度的多分辨率滤波器,目前主要应用于图像压缩与编码中<sup>[11,12]</sup>。其实质是将多相矩阵分解为若干个交替的上三角阵、下三角阵与常数对角阵的乘积形式<sup>[12]</sup>,即

$$\mathbf{P}(z) = \prod_{i=1}^m \begin{bmatrix} 1 & s_i(z) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ t_i(z) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & 1/K \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中 $\mathbf{P}(z)$ 为分析滤波器, $s_i(z)$ 与 $t_i(z)$ 为Laurent多项式, $K$ 为缩放因子。利用提升框架并通过插值可以构造一族仅包含两个提升步骤的整数小波变换,称为内插双正交整数小波变换(IB-IWT),即

$$\mathbf{P}(z) = \begin{bmatrix} 1 & s(z) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ t(z) & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Itti模型含有大量浮点数乘法,尽管无需对全图进行分割,但是当遥感影像的空间分辨率较高时所需计算量仍很大。采用IB-IWT对遥感影像做降维处理具有三个优点:

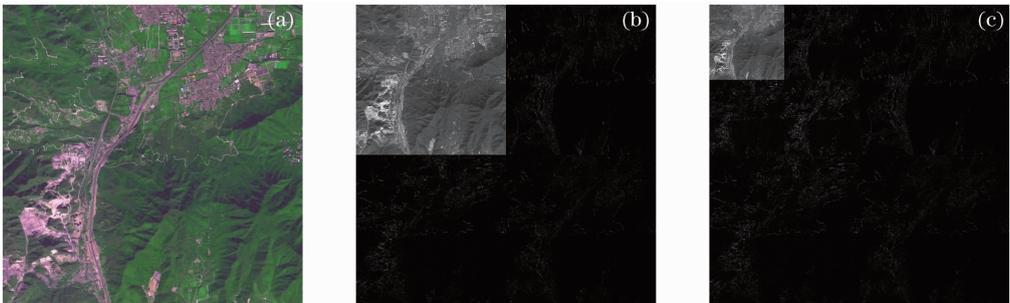


图1 基于(5,3)内插双正交整数小波变换的PA-1遥感影像分解结果。(a)原始PA-1;(b)一层变换;(c)二层变换

Fig. 1 Decomposition results of remote sensing image PA-1 using (5,3) IB-IWT. (a) Original PA-1;

(b) one level transform; (c) two level transform

1) 用 IB-IWT 构造的尺度函数是性能优良的半带低通滤波器,能够很好地保留遥感影像的重要地物信息,为降低遥感影像显著区域检测的计算复杂度提供了重要保障。

2) IB-IWT 通常只有两个提升步骤,缩放因子为 1,多项矩阵中的 Laurent 多项式的系数均为 2 的整数幂,可以用加法与移位操作代替所有的浮点数乘法运算,因此该滤波器具有变换过程简单、计算复杂度低、非线性误差小以及便于硬件实现等优点。

3) IB-IWT 能够对遥感影像进行多尺度分解,用户可以根据需要选择在任意尺度上进行视觉显著区域检测,具有很高灵活性。

图 1 给出了利用(5,3)整数小波分解 2048 pixel × 2048 pixel 遥感影像 PA-1 的结果。表 1 给出了利用(5,3)内插双正交整数小波变换对四幅 2048 pixel × 2048 pixel 遥感影像 PA-1、PA-2、PA-3 与 PA-4 做分解所需的时间。

表 1 对遥感影像进行(5,3)内插双正交整数小波变换所消耗的时间

Table 1 Spending time of (5, 3) IB-IWT for remote sensing images

High spatial resolution remote sensing images / 2048 pixel × 2048 pixel	Spending time /s	
	One level	Two level
PA-1	0.214	0.285
PA-2	0.206	0.277
PA-3	0.232	0.311
PA-4	0.209	0.281

表 2 为空间分辨率降低前后视觉显著区域检测所消耗时间的对比。其中,右边一列数据是应用 IB-IWT 对遥感影像进行了二层小波变换后,对低频影像数据完成视觉显著区域检测所消耗的时间。从表 2 可知,直接将 Itti 模型分别应用于四幅 2048 pixel × 2048 pixel 的遥感影像视觉显著区域检测

表 2 Itti 模型与应用 IB-IWT 的 Itti 模型在遥感影像视觉显著区域检测中所消耗时间的比较

Table 2 Spending time comparison of detection of visual saliency regions between Itti's model without IB-IWT and Itti's model with IB-IWT for remote sensing images

High spatial resolution remote sensing images / 2048 pixel × 2048 pixel	Spending time /s	
	Itti's model without IB-IWT	Itti's model with IB-IWT
PA-1	1272.5	33.4
PA-2	1256.9	32.8
PA-3	1378.6	39.2
PA-4	1258.6	32.7

测所需平均时间超过 1200 s,这个计算复杂度是非常巨大的,无法满足遥感影像视觉显著区域实时检测的要求。对比表 1 与表 2 可知,对遥感影像做两层整数小波变换所消耗的时间还不到 Itti 模型直接检测视觉显著区域的 0.04%,即使与采用 IB-IWT 降低空间分辨率后的视觉显著区域检测时间相比,也不到后者的 1%,因此可以忽略不计。

### 3 离散矩变换

离散矩变换(DMT)计算的是每个像素周围的局部中心矩。DMT 的计算方法为

$$D_{p,q}(i,j) = \sum_{r=-k}^{+k} \sum_{s=-k}^{+k} I(i-r,j-s) \times (i-r)^p (j-s)^q, \quad (3)$$

其中,  $2k+1$  为模板的尺寸,  $p, q = 0, 1, 2, \dots$ 。对于不同的  $p, q$  组合(偶-偶, 奇-偶, 偶-奇, 奇-奇), DMT 有着不同的响应。对于偶-奇的组合, DMT 对于垂直方向亮度分布变化较大的区域有较强的响应;对于奇-偶的组合,则对水平方向亮度分布变化较大的区域有较强的响应;对于奇-奇的组合,则会得到比较平滑的变换结果。因此, DMT 反映了影像局部的亮度分布情况,在亮度分布变化较大的部分具有更强的响应,一般来说,影像中的边缘部分以及纹理较为丰富的部分在亮度分布上比较剧烈,在这些部分 DMT 能够得到比较强的响应。

从影像特征的角度来看, DMT 首先是一种结构性特征,能够对特定的结构(边缘、纹理)产生较强的响应,这一点是符合人类的视觉习惯的,而且, DMT 计算简便,复杂度较低,是一种简单影像特征。根据  $p$  和  $q$  的不同奇偶组合,结合合适的尺度  $k$  对影像进行 DMT 变换,将变换值赋给中心像素得到 DMT 特征,而后通过高斯金字塔形成多尺度特征图并进行后续的显著度计算和特征显著图的生成。

图 2 为将 DMT 特征图与亮度、方向以及颜色特征图共同融合为显著图的例子。由图 2 可知,原始影像中的边缘部分在 DMT 特征显著图中得到了很好的体现,同时,值得注意的是,相比于水平或者垂直的边缘,倾斜边缘在途中的显著性有明显增强。

### 4 区域增长策略

针对传统 Itti 模型在标识视觉显著区域时,采用固定半径的圆形导致检测精度较低的问题,提出

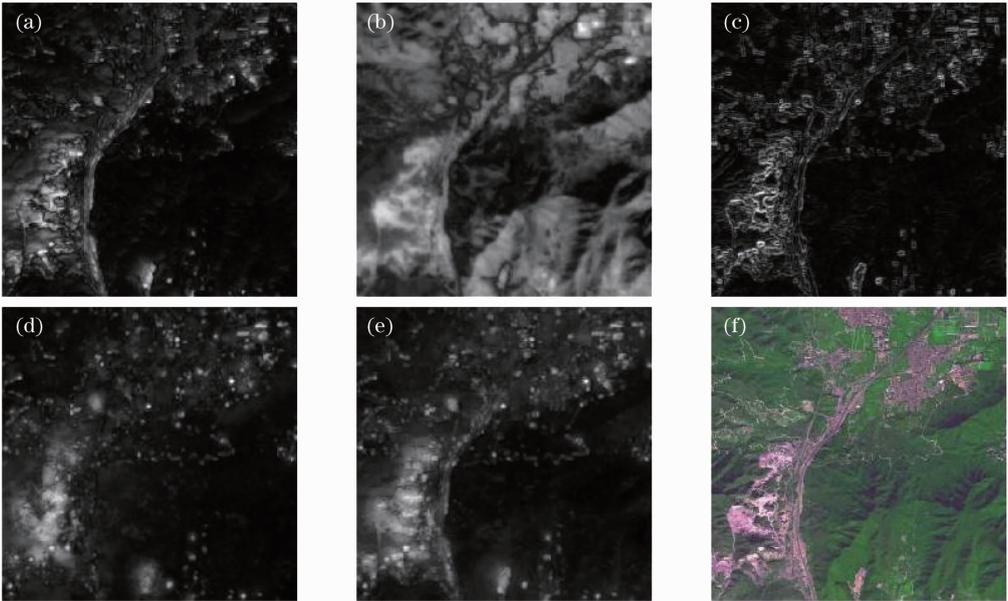


图 2 遥感影像 PA-1 的亮度、颜色、DMT、方向特征图与合成的显著图。(a)高度特征图;(b)颜色特征图;  
(c) DMT 特征图;(d)方向特征图;(e)显著图;(f)原始图

Fig. 2 Conspicuity maps of intensity, color, DMT and orientation and saliency maps for PA-1. (a) Intensity map;  
(b) color map; (c) DMT map; (d) orientation map; (e) saliency map; (f) original map

了采用区域增长和阈值分割的算法对检测结果进行标识,极大地提高了检测的精度。

本文提出的区域增长策略属于基于像素的分类方法,依据预先定义的标准,将像素或子区域聚合为

较大的区块,从而达到将一组或几组像素或者区域聚集形成更大的区块的目的。从作为种子的像素或区域起始,将属性与种子点相似的相邻像素通过迭代的过程合并到相同区域,属性包括强度、灰度和纹

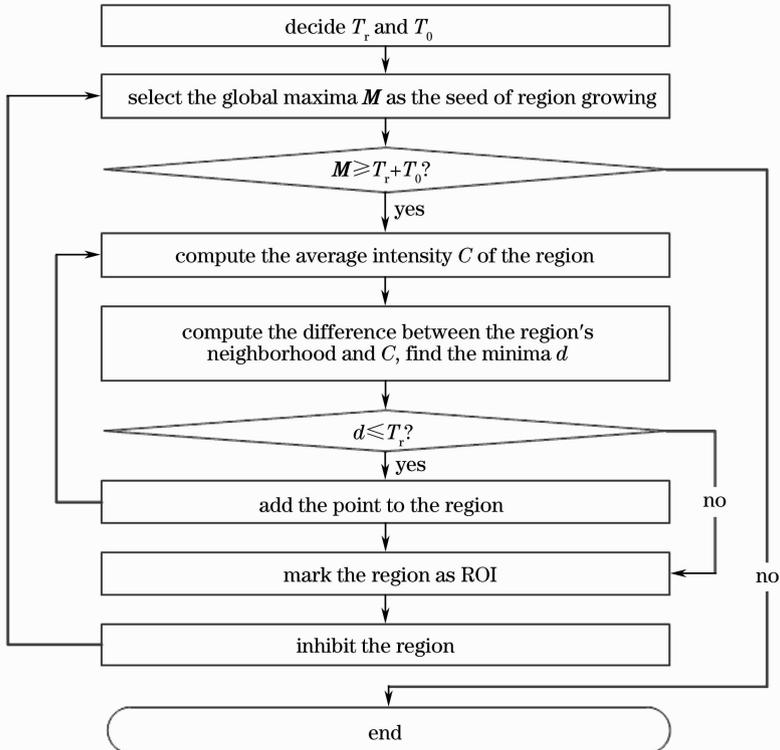


图 3 区域增长策略的流程图

Fig. 3 Flow diagram of region growing strategy

理、颜色等。每个作为种子的像素点或区域都参与到遍历影像中所有像素的迭代运算中,生长形成以各自为中心的闭合边界区域,包含以下3个关键问题:1) 生长点(即起始的种子点)的选择;2) 确定判定区域相似的准则,即区域合并生长的准则。需要注意的是,并非所有的影像属性都适于作为像素生长的标准,像素的连通性及邻接信息等属性都不应当应用于区域生长算法;3) 确定生长停止条件,当没有像素或区域满足合并入生长区域的标准时,区域生长停止。区域增长算法能有效地将具有相同性质的影像区块划分在一起,使影像具有清晰的边界。图3给出了区域增长策略的程序流程图,具体步骤为:1) 取全局最大点为原始区域;2) 搜寻邻近区域,找出与本区域的平均值差异最小的点。如果差值小于预先设定的阈值  $T$ ,就将此像素点合并入本区域;3) 重复第2步直到差值超出阈值。

图3将最大极值点作为初始种子点,并在区域生成后将其置零以便进行下一轮搜索。搜索过程的结束取决于预先设置的阈值。探测结果以二值模板的形式表征检测区域中的像素点。

## 5 实验结果与分析

图4为基于区域增长的遥感影像视觉显著区域快速检测算法的流程图。其中,灰色框所标出的文本是新算法的创新。图4中WTA是胜者为王算法。图5~8分别比较了Itti模型与本文提出的基于区域增长快速视觉显著区域检测模型针对  $2048 \text{ pixel} \times 2048 \text{ pixel}$  的遥感影像 PA-1~4 的视觉显著区域检测结果。其中,固定大小的圆形区域所圈出的区域是利用传统 Itti 模型检测出的视觉显著区域,精确度远低于本文提出的区域增长策略。

结合表2与图5~8可知,对于具有较高空间分辨率的遥感影像,利用整数小波变换可以很好地降低视觉显著区域检测的计算复杂度,同时利用 DMT 特征与区域增长策略,可以获得遥感影像视觉显著区域的精确轮廓,为后续的压缩、目标识别以及信息检索提供了更为可靠的数据。

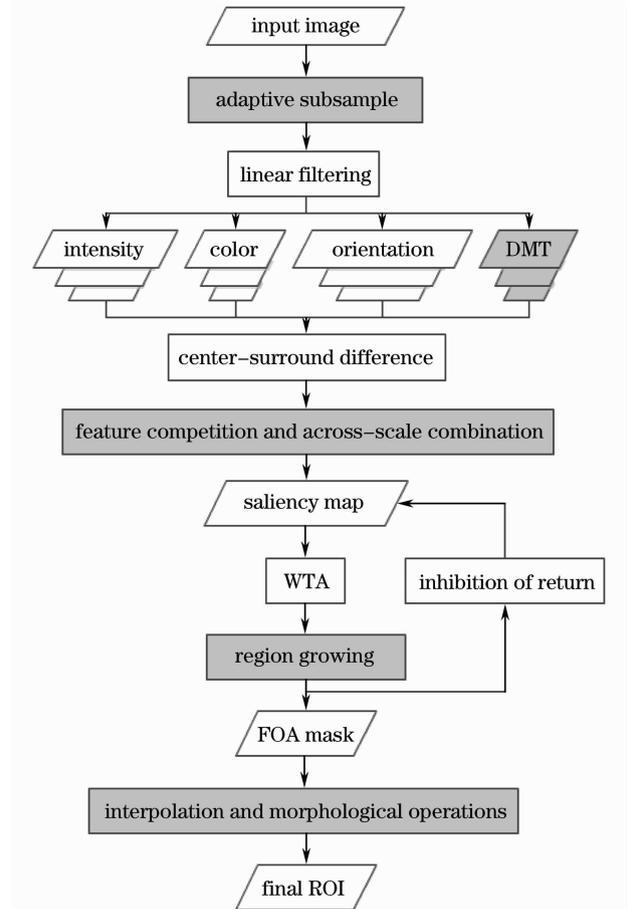


图4 基于区域增长的遥感影像视觉显著区域快速检测算法框架

Fig. 4 Framework of fast detection of visual saliency regions in remote sensing image based on region growing

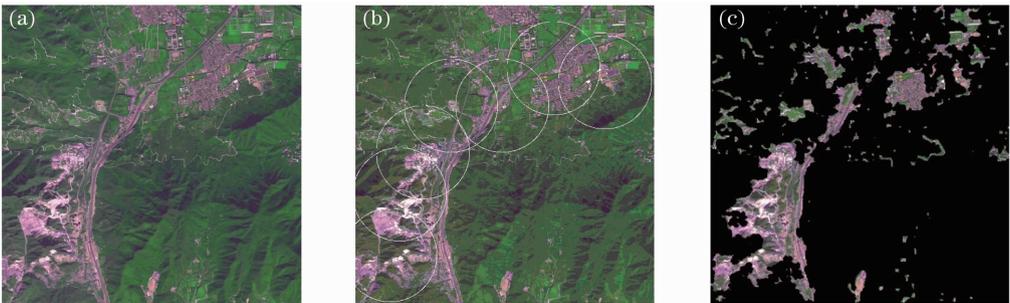


图5 Itti模型与基于区域增长的新模型针对遥感影像 PA-1 的视觉显著区域检测结果比较。(a)原始 PA-1; (b) Itti's 模型; (c)基于区域增长的新模型

Fig. 5 Comparison of detection results of visual saliency regions for remote sensing image PA-1 between Itti's model and the new model based on region growing. (a) Original PA-1; (b) Itti's model; (c) new model based on region growing

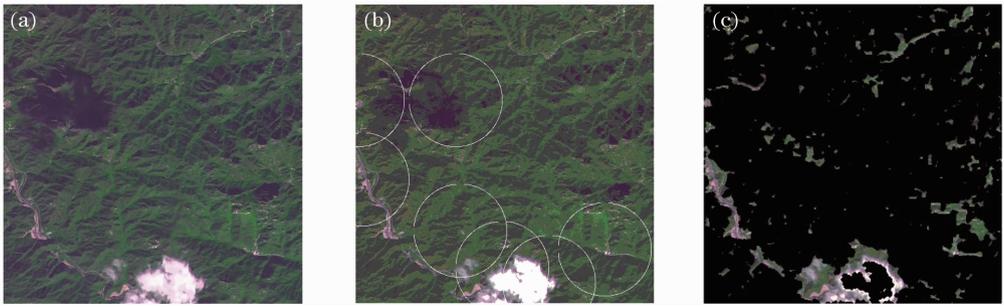


图 6 Itti 模型与基于区域增长的新模型针对遥感影像 PA-2 的视觉显著区域检测结果比较。(a)原始 PA-2; (b) Itti's 模型; (c)基于区域增长的新模型

Fig. 6 Comparison of detection results of visual saliency regions for remote sensing image PA-2 between Itti's model and new model based on region growing. (a) Original PA-2; (b) Itti's model; (c) new model based on region growing



图 7 Itti 模型与基于区域增长的新模型针对遥感影像 PA-3 的视觉显著区域检测结果比较。(a)原始 PA-3; (b) Itti's 模型; (c)基于区域增长的新模型

Fig. 7 Comparison of detection results of visual saliency regions for remote sensing image PA-3 between Itti's model and the new model based on region growing. (a) Original PA-3; (b) Itti's model; (c) new model based on region growing

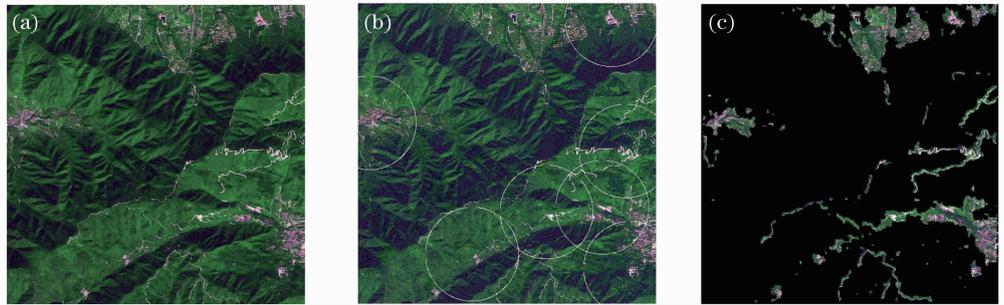


图 8 Itti 模型与基于区域增长的新模型针对遥感影像 PA-4 的视觉显著区域检测结果比较。(a)原始 PA-4; (b) Itti's 模型; (c)基于区域增长的新模型

Fig. 8 Comparison of detection results of visual saliency regions for remote sensing image PA-4 between Itti's model and the new model based on region growing. (a) Original PA-4; (b) Itti's model; (c) new model based on region growing

## 6 结 论

针对 Itti 模型为代表的传统视觉注意模型在遥感影像视觉显著区域检测中存在的计算复杂度高、检测精度低等缺点,提出了一种基于区域增长的遥感影像视觉显著区域快速检测算法,利用整数小波变换降低遥感影像分辨率,从而使新算法的视觉显著区域检测时间仅为 Itti 模型的 2%~4%。引入二维 DMT 变换获得了更多的纹理与边缘信息;最后

通过区域增长策略实现了视觉显著区域的精确检测。实验结果证明了算法的有效性,并为今后高分辨率遥感影像的分析与处理提供了一定的理论与实际应用价值。

## 参 考 文 献

- 1 D. Dai, W. Yang. Satellite image classification via two-layer sparse coding with biased image representation [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2011, 8(1): 173~176
- 2 Wang Wenfeng, Zhu Shuhua, Feng Yihao *et al.*. Parallel edges

- detection from remote sensing image using local orientation coding [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, **32**(3): 0315001
- 王文峰, 朱书华, 冯以浩等. 基于局部方向编码的遥感影像平行边缘识别[J]. *光学学报*, 2012, **32**(3): 0315001
- 3 C. Tao, Y. H. Tan, H. J. Cai. Airport detection from large IKONOS images using clustered SIFT keypoints and region information[J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2011, **8**(1): 128~132
- 4 M. Bouziani, K. Goita, D. He. Rule-based classification of a very high resolution image in an urban environment using multispectral segmentation guided by cartographic data[J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, **48**(8): 3198~3211
- 5 L. Itti, C. Koch. Computational modeling of visual attention [J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, **2**(3): 194~202
- 6 D. Lee, L. Itti, C. Koch. Attention activates winner-take-all competition among visual filters[J]. *Nature Neuroscience*, 1999, **2**(4): 375~381
- 7 V. Navalpakkam, L. Itti. Modeling the influence of task on attention[J]. *Visual Research*, 2005, **45**(2): 205~231
- 8 Zhang Libao, Wang Pengfei. Fast detection of regions of interest in high resolution remote sensing image[J]. *Chinese J. Lasers*, 2012, **39**(7): 0714001
- 张立保, 王鹏飞. 高分辨率遥感影像感兴趣区域快速检测[J]. *中国激光*, 2012, **39**(7): 0714001
- 9 Li Zhicheng, Qin Shiyin, Itti L. Extraction of saliency-gist features and target detection for remote sensing images [J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics*, 2010, **36**(6): 659~662
- 李志成, 秦世引, Itti L. 遥感图像的显著-概要特征提取与目标检测[J]. *北京航空航天大学学报*, 2010, **36**(6): 659~662
- 10 R. Palenichka, M. Zaremba. Automatic extraction of control points for the registration of optical satellite and LiDAR images [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2010, **48**(7): 2864~2879
- 11 M. Grangetto, E. Magli, M. Martina *et al.*. Optimization and implementation of the integer wavelet transform for image coding [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2002, **11**(6): 596~604
- 12 Zhang Libao, Huang Ying. Image coding algorithm using optimal scaling scheme and quadtree partitioning[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(12): 3460~3463
- 张立保, 黄颖. 一种结合最优缩放框架与四叉树分割的图像编码算法[J]. *光学学报*, 2010, **30**(12): 3460~3463

栏目编辑:李文喆