

基于多尺度频域分析的遥感图像视觉显著区域检测

杨绪业 李雪薇 张立保*

(北京师范大学信息科学与技术学院, 北京 100875)

摘要 频域分析在遥感图像显著区域检测时可以很好地检测到显著区域的边缘部分,但是,往往在显著区域的内部产生误检测。提出了一种基于图像高频信息多尺度融合的视觉显著区域检测算法,将遥感图像进行多尺度的高斯金字塔分解,对分解后的每一级图像进行傅里叶变换,提取变换后的高频信息进行多尺度融合,获得最终显著图。结合该显著图提取遥感影像视觉显著区域不仅能够有效排除显著区域内部误检测问题,而且获得了更为精确的显著区域细节。此外,该算法较 Itti 模型具有更低计算复杂度。

关键词 遥感;图像处理;显著区域检测;频域分析;多级融合

中图分类号 TN919.8 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS201434.s110002

Saliency Region Detection of Remote Sensing Image Based on Multi-Scale Frequency Analyses

Yang Xuyue Li Xuwei Zhang Libao

(College of Information Science and Engineering, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Frequency domain analysis can well detect the edge of the salient region in the remote sensing imagery detecting. But it may mistakenly regard the inner parts of the saliency region as the background. A new algorithm based on multi-scale fusion techniques of the image high frequency information is proposed. First, the new algorithm creates several spatial scales of remote sensing images by using Gaussian pyramid. Then, for each scale, the new algorithm can get the high frequency information by the Fourier transform. Finally, the new algorithm gets the final saliency map by fusing the high frequency information on one scale. The new algorithm can not only well extract details of the salient region, but also effectively get rid of mistaken detection of the inner parts of the saliency region. Comparing with Itti model, the new algorithm has lower computation complexity.

Key words remote sensing; image processing; saliency region detection; frequency domain analysis; multilevel fusion

OCIS codes 100.2000; 100.3008; 280.0280

1 引 言

随着遥感技术的飞速发展,获取遥感图像已经不再是困扰大家的主要难题。但是,由于遥感影像数据量比较大、图像内部包含地质信息较多、搜寻目标种类繁多,直接对全图分割或利用已有知识库对遥感图像进行全局搜索都将使计算复杂度大大提高。针对这一问题采用提取显著区域的方法可以大大减小需要处理的图像面积,从而降低计算复杂度。

人眼视觉系统(HVS)的图像显著性分析模型为解决上述问题提供了思路^[1-2]。面对复杂场景时,HVS会帮助人们选择视觉显著区域进行优先处理。基于上述思想,Itti等^[3]模拟HVS的视觉注意体系结构构建适用于图像分析的自底部向上的视觉注意模型。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,最后合并出显著图。由此计算过程可知Itti模型拥有较高的

收稿日期: 2013-10-23; 收到修改稿日期: 2013-12-06

基金项目: 国家自然科学基金(61071103)、中央高校基本科研业务费专项资金(2012LYB50)

作者简介: 杨绪业(1960—),男,工程师,主要从事遥感图像显著区域检测方面的研究。E-mail: yangxuyue@sohu.com

* 通信联系人。E-mail: libaozhang@163.com

计算复杂度。针对遥感图像分析时,也有人做出了其他改进,如参考文献[4-6]中所提到的方法。此外,Jiang等^[7]提出差异化区域特征整合策略,该方法基于文献[8]提出的基于图形的图像分割策略,通过图形本身的性质(颜色亮度等)把分割后的图像再次进行融合,得到前景和背景的最佳分割效果。

图像的实质是一种二维随机信号,基于此思想,Hou等^[9]通过把图像变换到频域,对图像频谱进行均值滤波,进而获得图像的谱残差来提取图像的显著区域。虽然该方法可以很好地提取显著区域的边缘部分,但是显著区域的内部却很容易被错误地判断为背景。针对这个问题,Achanta等^[10]中提出一种基于高斯查分滤波器的检测方式,根据图片的性质(亮度,颜色等)改变滤波参数来达到对整个显著区域的覆盖。这是一种较为简单的从频率角度来进行显著区域检测的方法。

综上所述,为了更加适合遥感图像细节繁杂、信息量巨大的特点,本文提出了一种基于多尺度频域

分析的显著区域检测算法,将图像进行多尺度的高斯金字塔分解,再对分解后的每一级图像用高通滤波器进行特征图提取,最后将多级特征图像叠加得到最终显著图,结合该显著图提取遥感影像视觉显著区域。

2 基于多尺度高频提取的检测方法

2.1 谱残差存在的问题

在图1(a)中,单级高通滤波后的显著区域边缘明显[多级高通滤波(MHF)],但内部却有明显杂质。为了改善这种内部杂质,缩小原图为原来的1/4,再次进行高通滤波,随后将其放大到原图大小并与单级高通滤波后的结果相加,结果如1(d)所示。由图1看起来差别不大,但把图片放大后,结果有明显差别,如图2所示(因为位置有限,只显示原图中灰色部分)。

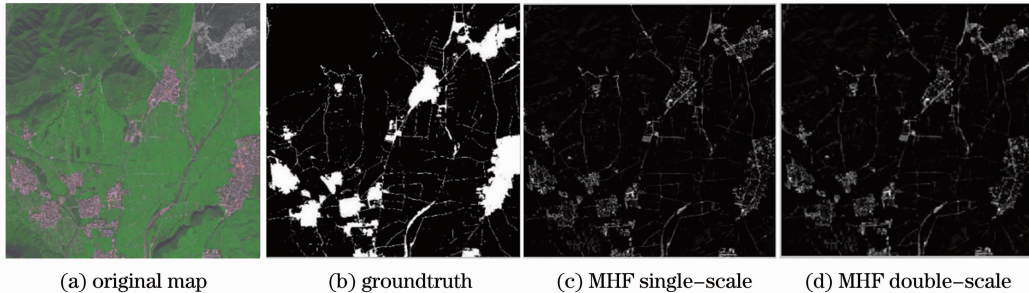


图1 遥感图像MY1的显著图

Fig. 1 Saliency map for remote sensing image MY1

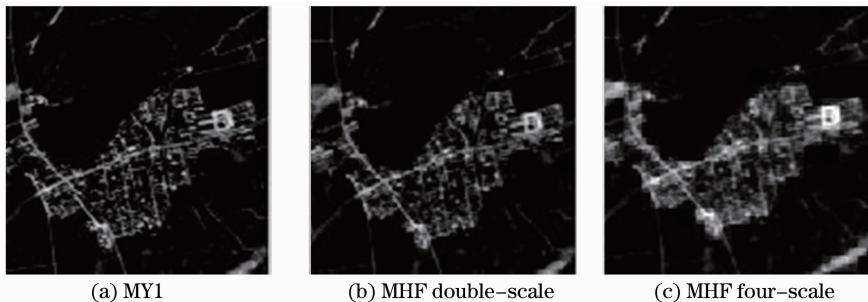


图2 MY1局部图

Fig. 2 Part of MY1

对比图2(a)、(b),显著区域内部已经被改善,但这种改善还不够明显。现在把原图分为四级,分级滤波叠加,结果如图2(c)所示。这时改善已经非常明显。

2.2 多尺度频域分析

在遥感图像中,需要提取的显著区域通常都是

村庄道路等地区,而这些地区与山地相比的特点是区域内部的变化度较高。并且这些地区与山地相接的地区轮廓比较复杂,图像像素值在此处变化明显。所以用高通滤波器可以完成对显著区域检测。但在显著区域内部也难免会有变化较为平缓的地方,这些区域是无法检测出来的。这时就需要用多

级融合的方法进行调整。

首先利用下式

$$A(I) = \frac{A(r) + A(g) + A(b)}{3}, \quad (1)$$

将图像 A 由彩色图像转换为灰度图像。A(r) 为红色分量, A(g) 为绿色分量, A(b) 为蓝色分量, A(I) 为最终灰度图像。因为色彩的对比主要出现于显著区域与山地的边缘, 而所提出的方法则注重对于显著区域内部的检测的加强, 如果加入色彩对比, 则会强化显著区域的边缘效果, 不利于改善内部杂质。

利用公式

$$A_k^i(i, j) = \sum_{n=-p}^p \sum_{m=-p}^p W(m, n) A_k^{i-1}(2i + m, 2j + n), \quad (2)$$

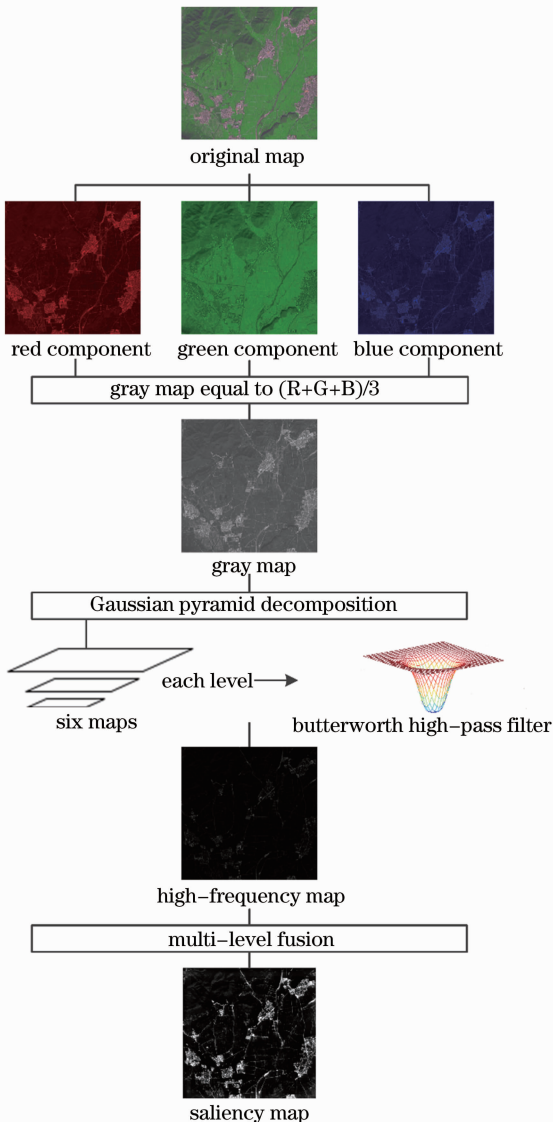


图 3 流程图

Fig. 3 Flow chart

对图像用高斯金字塔进行分级, 其中 $W(m, n)$ 为 3×3 的高斯低通滤波器 ($\sigma = 8$)。图像计算后被分为 k 级。当图像缩小时, 显著区域的内部面积减小, 但通过高通滤波(巴特沃兹)

$$M_1(i, j) = \frac{M(i, j)}{\left[\frac{b}{(i - i_0)^2 + (j - j_0)^2} \right]^{a \times 2} + 1}, \quad (3)$$

依旧可以检测到显著区的轮廓以及内部变化。

采用最近邻残差放大图像过程中, 轮廓的像素会被复制到周边, 再与原图相加, 原图中显著区内部的亮度就可以被提高。模型流程如图 3 所示。

2.3 处理步骤

- 1) 把图像转换为灰度图像;
- 2) 采用高斯图像金字塔将图像分级, 分为 7 级;
- 3) 对每级图像做 butterworth 高通滤波, 实验中选取阶数为 2, 半径为 5 最佳;
- 4) 将滤波后的图像采用最近邻差值的方法统一放大到同一个尺寸;
- 5) 把经过步骤四处理的多级图像相加, 把 6 级 (出于对于时间复杂度的考虑, 计算中不加入第一级图像) 图像融合到合适的一级 (文中 7 级图像均融合到第三级 512×512)。

3 实验结果及分析

为了验证在频域中多级融合的方法是否有效, 将会用以下的 5 种方法进行比较: 1) 多级高频滤波 (HMF); 2) 单级高频滤波; 3) 多级谱残差; 4) 单级谱残差; 5) Itti 算法。

为了全面地比较显著图的优劣, 评价标准选为受试者工作特征曲线 (ROC) 曲线^[11]和精确度-召回率曲线^[12]。实验图像为 $2048 \text{ pixel} \times 2048 \text{ pixel}$ 的遥感影像。

3.1 实验结果

在图 4~6 中, 令 MO 表示原图; GT 表示 Ground truth; IT 表示 Itti 模型; HF 表示单级高通滤波; RS 表示单级谱残差; M-RS 表示多级谱残差; MHF 表示多级高通滤波。

3.2 实验时间

表 1 为 5 种方法对于 $2048 \text{ pixel} \times 2048 \text{ pixel}$ 的 16 张遥感图像试验的平均时间。可以看出时间由快到慢的排序为 SR, HF, MHF, IT, M-SR。MHF 算法时间处于平均水平, 但速度要明显优于 Itti 算法。综合检测效果, MHF 算法是一种检测准确率高, 时间复杂度较低的算法。

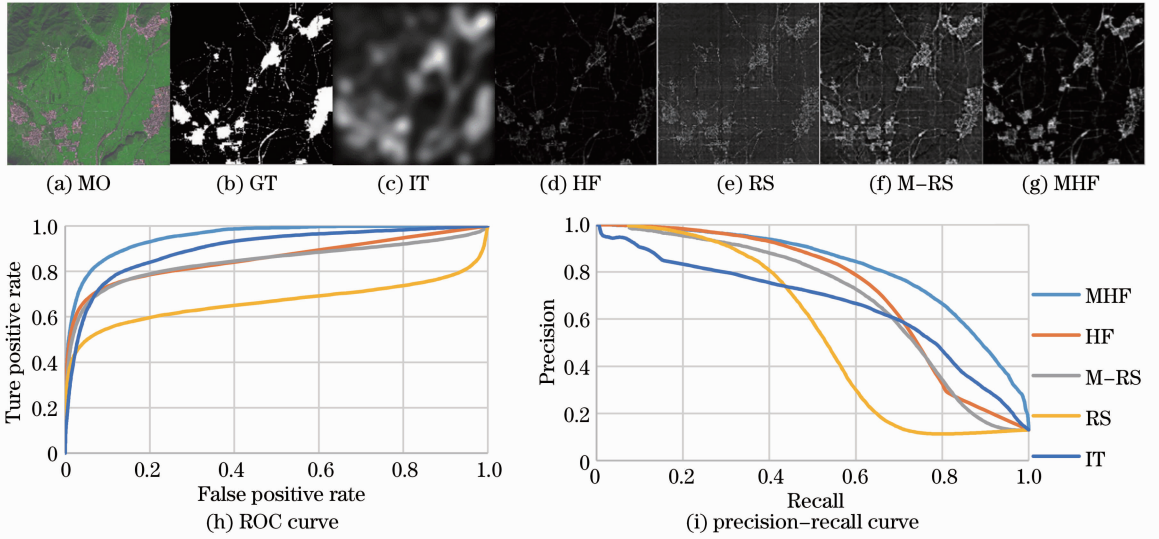


图 4 实验结果 1

Fig. 4 Experimental results 1

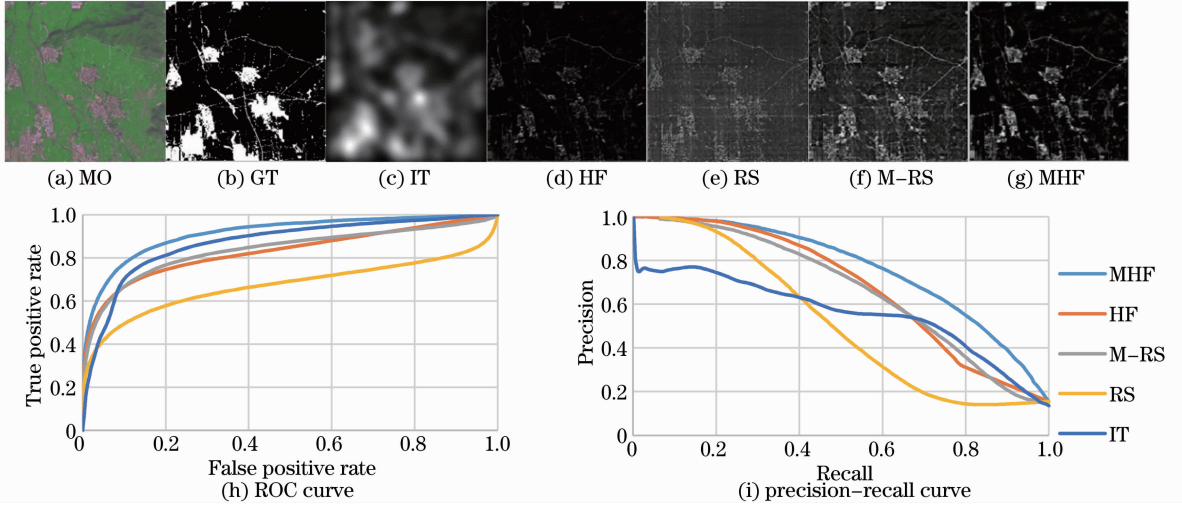


图 5 实验结果 2

Fig. 5 Experimental results 2

表 1 不同模型下显著图的计算时间

Table 1 Time for computing saliency map of different models

Method	MHF	IT	HF	SR	M-SR
Time	0.56608	1.2038	0.44402	0.16652	1.1227

3.3 结果分析

由以上实验结果可以看出,单级高通滤波与单级谱残差效果类似,都可以检测出显著区域边缘,但显著区域内部相对平缓地带无法被检测出来。多级叠加后显著图效果要明显好于单级处理的显著图效果(对于谱残差和高通滤波都是如此)。Itti 的模型是基于人眼的关注机制的,其方法生成的显著图多为大块区域,边缘地带并无明显界限,对细节的检测有明显的缺陷,所以无法很好地应用于遥感图像的

显著区域检测。由于遥感图像内部细节较多,显著区域内变化较为复杂,在检测显著区域是多级高通滤波的效果要好于多级谱残差。由图 4~6 的对比可以看出图 4~5 显著区域比较大且内部较为复杂,图 6 显著区域较为细小。对比图 4~6 ROC 和 Precision-recall 曲线可知,MHF 在显著区域内部较大且内部较为复杂时相对于前 4 种方法有更为明显的优势。

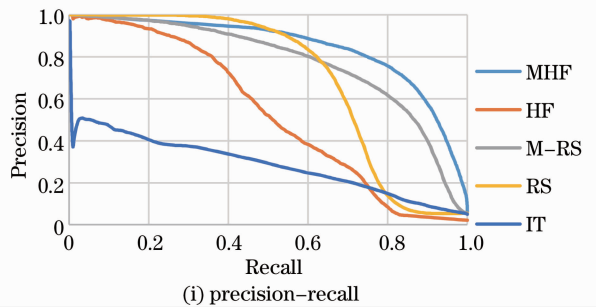
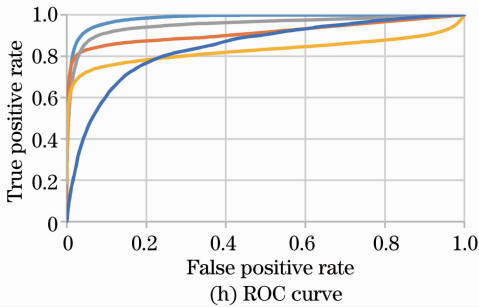
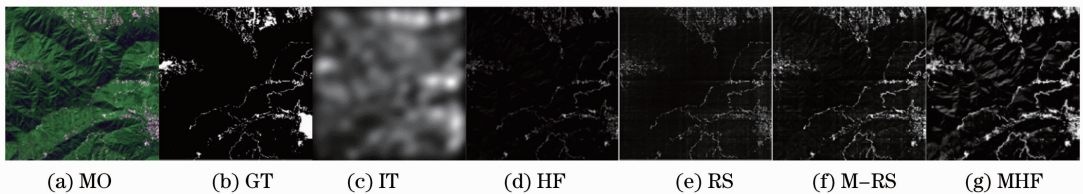


图 6 实验结果 3

Fig. 6 Experimental results 3

4 结 论

以谱残差为代表的基于频域分析的图像显著区域提取具有显著区域内部不完整的缺点。提出一种基于高频成分提取的算法,利用多级图像融合的方法,整合各级图像高频成分,改善显著区域内部的杂质。此外,多级融合的算法不仅可以与高通滤波相结合,与谱残差结合时,依然有效。实验结果充分证明了该算法的有效性,对今后高分辨率遥感影像的分析与处理具有重要的理论与实际应用价值。

参 考 文 献

- 1 Fan Jianchao, Han Min, Wang Jun. Single point iterative weighted fuzzy c-means clustering algorithm for remote sensing image segmentation [J]. *Pattern Recognition*, 2009, 42 (11): 2527-2540.
- 2 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.
- 3 L Itti, C Koch, E Niebur. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, 20 (11): 1254-1259.

- 4 Zhang Peng, Wang Runsheng. An approach to the remote sensing image analysis based on visual attention [J]. 2005, 27 (12): 1855-1860.
- 张 鹏, 王润生. 基于视觉注意的遥感图像分析方法 [J]. *电子与信息学报*, 2005, 27(12): 1855-1860.
- 5 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.
- 6 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.
- 7 Huaizu Jiang, Jingdong Wang, Zejian Yuan, *et al.*. Salient object detection; a discriminative regional feature integration approach [C]. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2013. 1-8.
- 8 P F Felzenszwalb, D P Huttenlocher. Efficient graph-based image segmentation [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 59(2): 167-181.
- 9 Xiaodi Hou, Liqiang Zhang. Saliency detection: a spectral residual approach [C]. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2007. 1-8.
- 10 Radhakrishna Achanta, Sheila Hemami, Francisco Estrada, *et al.*. Frequency-tuned salient region detection [C]. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009. 1597-1604.
- 11 Tom Fawcett. An introduction to ROC analysis [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27(8): 861-874.
- 12 R Ma, X Tu, J Ding. To evaluate salience map towards popping out visual objects [J]. *Acta Automatica Sinica*, 2012, 38(5): 870-876.

栏目编辑: 何卓铭