

高分辨率遥感影像感兴趣区域快速检测

张立保^{1,2} 王鹏飞¹

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

摘要 传统高分辨率遥感影像感兴趣区域的检测方法通常要利用先验知识库对整幅影像进行全局分析与搜索, 具有很高计算复杂度。从人眼视觉特性出发, 提出一种新的高分辨率遥感影像感兴趣区域快速检测算法。基于视觉关注模型对高分辨率遥感影像进行空间降维, 确定视觉关注焦点; 根据关注焦点位置在原始遥感影像中描述出相应的感兴趣区域。实验结果表明, 新方法不仅具有较低计算复杂度, 而且有效避免了影像分割、特征检测等计算复杂度较高的全图搜索方法, 提高了高分辨率遥感影像感兴趣区域的检测效率。

关键词 图像处理; 感兴趣区域检测; 视觉关注模型; 空间降维

中图分类号 TN919.8 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201239.0714001

Fast Detection of Regions of Interest in High Resolution Remote Sensing Image

Zhang Libao^{1,2} Wang Pengfei¹

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

Abstract The traditional detection methods for these regions of interest in high resolution remote sensing image generally search the whole image on the basis of prior knowledge, which leads to high computational complexity. A new fast detection algorithm based on human visual characteristic for these regions of interest in high resolution remote sensing image is proposed. The new algorithm based on visual attention model applies spatial dimension reduction strategy to confirm these focuses of visual attention. According to the positions of focuses of visual attention, the new algorithm describes these relevant regions of interest in the original remote sensing image. The experimental results show that the new algorithm could not only have the lower computational complexity, but also avoid image segmentation and feature detection for the whole image and improve the detection efficiency of regions of interest in high resolution remote sensing image.

Key words image processing; detection of region of interest; visual attention model; spatial dimension reduction

OCIS codes 100.2000; 100.3008; 280.0280

1 引言

高分辨率遥感影像中的像元混合程度明显低于中低分辨率影像, 能够提供更为清晰可靠的地物信息, 但是却存在数据量庞大、地物几何结构复杂以及目标种类繁多等特点, 为快速高效的地物目标识别及编码压缩带来了巨大障碍。近年来, 高分辨率遥感影像的感兴趣区域检测与识别一直是图像处理领域的热点、难点问题^[1,2]。

遥感影像中的感兴趣区域通常是指一幅遥感影像中的一个或多个令观察者高度注意的地物信息像元集合体, 主要由大小与形状两个参数决定其边界,

例如水体、沙地、林地等。传统的遥感影像感兴趣区域检测算法大部分是基于分类策略进行的, 因此需要建立先验知识库, 先验知识库的好坏对于感兴趣区域检测的成败具有决定意义^[3,4]。然而, 先验知识库的正确建立却是一个十分复杂的问题, 一般需要综合考虑各种专家知识库、多种区域目标特征模型、背景区域特点等。文献[5]对遥感影像感兴趣目标的检测与分类主要借助了同区域的数字地图。文献[6]通过预先建立港口先验知识库, 提出一种在遥感图像中基于知识的快速港口识别方法, 根据港口目标的知识, 详细分析其分布特征和固有特征, 利用

收稿日期: 2011-12-27; **收到修改稿日期**: 2012-03-02

基金项目: 国家自然科学基金(61071103, 60602035)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, 主要从事遥感影像处理与分析等方面的研究。E-mail: libaozhang@163.com

港口的半封闭区域固有特性进行港口识别。文献[7]提出了一种基于知识的光学卫星遥感影像桥梁目标识别方法,根据光学卫星影像特点,运用分割和形态学算子检测河流,沿着河流中心线对桥梁进行检测。这些方法有两个共同点:利用先验知识库和具有较高的计算复杂度。

相对于中、低分辨率的遥感影像,高分辨率遥感影像的图幅更为庞大、目标更多且结构更为复杂,如果直接利用传统的先验知识库对整幅影像进行感兴趣区域识别将极大加重分析难度。本文将视觉关注模型与空间降维策略引入高分辨率遥感影像的感兴趣区域检测中,大幅提高了高分辨率遥感影像的感兴趣区域检测速度。

2 视觉关注模型

2.1 视觉关注理论

视觉关注作为一项人类非常重要的心理调节机制,文献[8]指出,选择性视觉关注是视觉关注中最根本的一条,它通过选择一部分信息,有效地调节与控制处理重要信息。具体地说,面对一个场景时,我们总是有选择地将注意力集中在场景中的某些最具吸引力的内容上。按照不同的角度,可以将选择性视觉关注过程分为两类:视觉选择性与视觉显著性。前者是站在人的立场来看,认为该过程是一个从场景中选择观察的过程;后者是从场景的角度出发,相比较于其他内容,某些内容本身比其他内容更显著,更能引起观察者的注意。在引起我们注意视觉观察的过程中,场景的内容被定义为注意焦点(FOA)。

在影像目标检测中,传统方法大都是对整幅影像进行全面搜索处理。然而,影像中最能反映内容的目标往往只占据一小部分区域,因此,传统方法的全局处理不仅增加了处理分析难度,还造成了严重的时间浪费。自底向上的选择性注意机制恰恰很好地解决了这个问题,它能根据视觉刺激很好地分配计算资源,并根据刺激的强弱对各 FOA 进行优先级排序。文献[9]指出,自底向上的 FOA 检测实际上是一种完全数据驱动型的目标自动检测方法,可以分为 3 个过程:

- 1) 候选对象的划分:从图像中划分出候选对象;
- 2) 视觉显著性的度量:度量各候选对象的视觉显著性,并将此作为 FOA 检测依据;
- 3) FOA 的选择与转移:提取出 FOA,并实现转移,形成一系列的 FOA。

2.2 Itti 视觉关注模型

在所有自底向上的图像视觉关注模型中,Itti 等^[10]提出的视觉关注模型由于能够获得较好的 FOA 检测结果,得到了广泛研究与应用。依据自底向上 FOA 检测的 3 个过程,Itti 模型利用 4 个步骤完成视觉关注区域检测:1) 使用高斯金字塔对输入图像进行线性滤波;2) 分别提取亮度、颜色、方向等简单的视觉信息,利用中心-周边差异与跨尺度组合策略生成亮度、颜色与方向信息的特征图;3) 将含有不同信息的各特征图合成一幅显著图;4) 运用胜者为王(Winner-take-all, WTA)机制和返回抑制机制实现 FOA 的转移和提取^[10,11]。

高斯金字塔分解过程将影像与一组高斯窗函数进行卷积运算。设 G_0 表示高斯金字塔的第 0 层, G_l 即为第 l 层。第 l 层影像的像元灰度值可以通过高斯窗口函数 ω 对第 $l-1$ 层影像像元灰度值进行加权平均而得到。设 i, j 为影像的横坐标与纵坐标,则有

$$G_l(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m, n) G_{l-1}(2i+m, 2j+n), \quad (1)$$

式中 $0 < l \leq L, 0 < i < R_l, 0 \leq j < C_l, L$ 为高斯金字塔的总层数, R_l, C_l 分别为第 l 层影像的水平宽度与垂直高度, $\omega(m, n)$ 为 5×5 的高斯窗口函数。高斯金字塔分解算法贯穿整个 Itti 模型,它构建了多尺度分析模型,是整个计算模型的核心部分。

Itti 模型利用 Gabor 滤波器组来检测影像的方向信息。Gabor 滤波器组的数学模型表示为

$$h(x, y, \theta, u) = g(x', y') \exp[2\pi/(ux')], \quad (2)$$

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta, \quad (4)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta, \quad (5)$$

式中 θ 为主频方向, u 为径向频率, $g(x, y)$ 为 Gauss 函数。Gabor 滤波器组实质上是先由 Gauss 函数对三角函数进行调制生成,并由这些 Gabor 函数组成滤波器组。由于 θ, u 是任意的,所以它会产生各种频率各种方向 Gabor 滤波器组。要想得到一组正交的 Gabor 滤波器,只要在满足一定的约束条件下确定 θ, u 即可。

中央-周边差异算子就是表征候选对象与周边范围的差异性,并利用这种差异性来描述显著性。类似于上文提到的视网膜感受野的中央-周边反应的差异。中央-差异算子是一种非常重要的算子,简称 CSD 算子。设 c 为当前图像所处的中央阶层,相

对应的周边阶层为 s , 定义为

$$s = c + \delta, \quad (6)$$

式中 $c \in \{1, 2, 3\}$, $\delta \in \{2, 3\}$ 。该算子应用到图像运算中的具体算法是: 在已经得到经过高斯金字塔分解的各层图像结果的基础上, 将第 s 层图像进行插值得到 s_1 , 使其大小等同于第 c 层图像大小, 并将插值后图像 s_1 各像元与 c 层图像各像元对应相减, 即 $D_{CS} = s_1 - c$ 。中央-周边差异算子在 Itti 模型中占据着非常重要的地位, 是多尺度图像间显著性描述的重要方法。

Itti 模型通过跨尺度合并与多特征合并以及进行各尺度间像元邻域的多种显著性特征合并, 最终生成一幅显著图, 然后根据胜者全取和返回抑制策略依次得到一组显著性特征逐渐降低的 FOA。

3 空间降维算法

3.1 Itti 模型用于高分辨率遥感影像的缺点

Itti 模型中的高斯滤波器与 Gabor 滤波器组均采用了卷积运算, 同时, 在这些运算中又有大量浮点数乘法操作, 此外, 高分辨率遥感影像的图幅巨大, 地物信息丰富并且目标庞杂, 因此直接利用 Itti 模型完成感兴趣区域检测存在计算复杂度高、存储浪费严重的缺点。从 SPOT5 卫星获取的高分辨率遥感影像中截取了 3 幅 2048×2048 的影像作为实验数据, 分别记为 SP-1、SP-2 与 SP-3。表 1 给出了直接将 Itti 模型应用于 2 幅遥感影像完成感兴趣区域检测的时间消耗。从表 1 可以看出, 完成一幅 2048×2048 大小的高分辨率遥感影像感兴趣区域检测的时间开销非常巨大, 无法满足高分辨率遥感影像实时处理的要求。

表 1 Itti 模型在高分辨率遥感影像感兴趣区检测中所消耗的时间

Table 1 Spending time of Itti's model for high spatial resolution remote sensing images

High spatial resolution remote sensing images (2048×2048)	Spending time / s
SP-1	1698.9
SP-2	1071.3
SP-3	1287.3

3.2 空间降维

空间降维的核心思想是: 根据影像分辨率大小调整降维阶数, 对降维后的影像进行特征检测、显著图合成以及显著焦点检测, 最后完成感兴趣区域的检测。模型如(7)式与(8)式所示:

$$p = \text{lb } M - \text{lb } N, \quad (7)$$

式中 p 为降维的阶数, M 为原影像的空间分辨率, N 为最终进行特征检测影像的分辨率, 要求 $M \geq 2N$ 。由(7)式可以得出, p 的值自动根据原图的长度或宽度唯一确定。

$$G_l(i, j) = 4 \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 \omega(m, n) G_{l-1} \left(\frac{i+m}{2}, \frac{j+n}{2} \right), \quad (8)$$

式中 $\omega(m, n)$ 为一个 5×5 模板, $l = p$, $G_l(i, j)$ 为进行 p 阶降维后的结果影像。由(7)式、(8)式可以看出, 对原始图像进行降维处理, 实质上是通过高斯金字塔分解思想得到各尺度下的结果图像, 分解的层数即为(7)式定义的 p 。若原图大小为 $M \times M$, 进行 p 阶降维后的结果图大小为 $\frac{M}{2^p} \times \frac{M}{2^p}$ 。

3.3 基于空间降维的高分辨率遥感影像感兴趣区域快速检测

图 1 给出了引入自适应空间降维策略后的 Itti

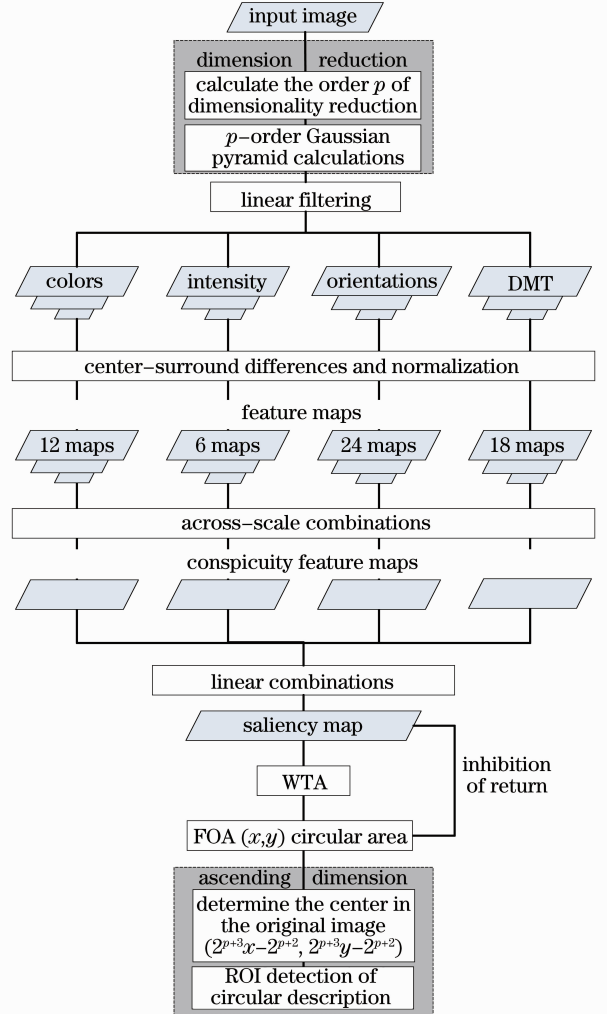


图 1 基于空间降维的视觉关注模型

Fig. 1 Visual attention model based on spatial dimension reduction

模型流程图。根据图 1 可得到基于空间降维策略的高分辨率遥感影像感兴趣区域快速检测算法步骤。

1) 获得高分辨率遥感影像的空间分辨率, 设定最终进行特征检测影像的分辨率, 根据(7)式计算降维阶数 p ;

2) 利用高斯金字塔算法对原始高分辨率遥感影像进行 p 阶分解, 获得影像 $G_p(i, j)$;

3) 将 $G_p(i, j)$ 作为 Itti 模型输入影像, 检测颜色、亮度、方向、高散矩变换 (discrete moment transform, DMT) 特征并合成显著图;

4) 进行 FOA 的选择与转移;

5) 以所有检测到的 FOA 为圆心, 适当定义半径大小, 在原始高分辨率遥感影像中用圆形标注检测到的相应感兴趣区域。

4 实验结果与分析

利用不同的降维阶数 p 分别对 3.1 节中提到的 3 幅 2048×2048 的高分辨率遥感影像进行了感兴趣区检测, 检测过程所消耗的时间如表 2 所示。

表 2 中, $p=0$ 表示对原影像不进行降维, $p=1$ 表示将原影像降维至 1024×1024 大小, $p=2$ 表示将原影像降维至 512×512 大小。从表中数据可以

得出, 随着 p 的降低, 所消耗的时间呈指数增长, 如果对原始影像进行 2 阶降维处理, 所消耗的时间可以减少为传统方法的 $1\% \sim 2\%$ 。

表 2 应用空间降维后高分辨率遥感影像感兴趣区域检测所消耗的时间

Table 2 Spending time of detection of regions of interest for high spatial resolution remote sensing images using spatial dimension reduction

High spatial resolution remote sensing images (2048×2048)	Number of dimension reduction p	Spending time /s
SP-1	0	1698.9
	1	141.3
	2	20.2
SP-2	0	1071.3
	1	94.3
	2	19.3
SP-3	0	1287.3
	1	109.6
	2	19.4

图 2~4 分别给出了不同降维阶数时, 提出的空间降维策略在高分辨率遥感影像 SP-1、SP-2 以及 SP-3 中搜索到的感兴趣区结果比较。

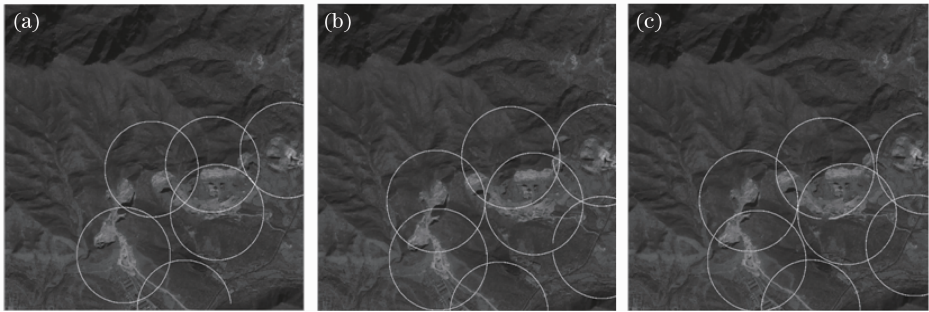


图 2 应用不同阶数的降维策略后获得的 SP-1 影像感兴趣区域检测效果比较。(a) $p=2$; (b) $p=1$; (c) $p=0$
Fig. 2 Comparison of detection results of regions of interest based on different numbers of dimension reduction for SP-1. (a) $p=2$; (b) $p=1$; (c) $p=0$

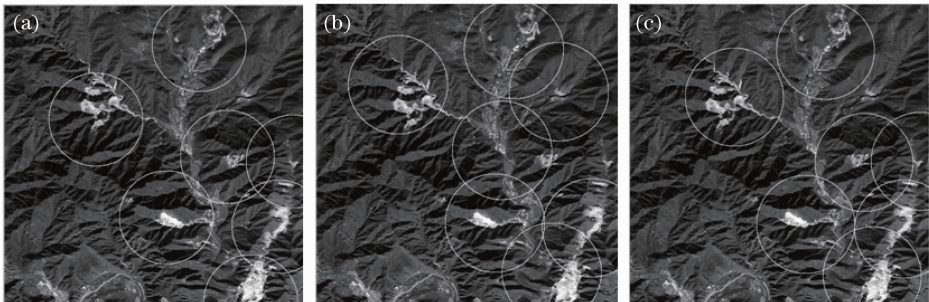


图 3 应用不同阶数的降维策略后获得的 SP-2 影像感兴趣区域检测效果比较。(a) $p=2$; (b) $p=1$; (c) $p=0$
Fig. 3 Comparison of detection results of regions of interest based on different numbers of dimension reduction for SP-2. (a) $p=2$; (b) $p=1$; (c) $p=0$

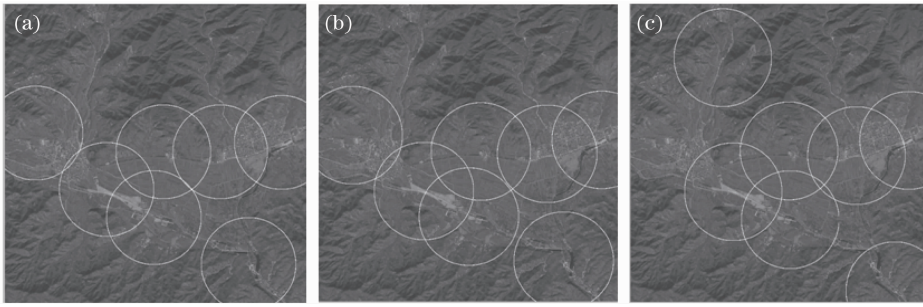


图 4 应用不同阶数的降维策略后获得的 SP-3 影像感兴趣区域检测效果比较。(a) $p=2$;(b) $p=1$;(c) $p=0$

Fig. 4 Comparison of detection results of regions of interest based on different numbers of dimension reduction for SP-3. (a) $p=2$;(b) $p=1$;(c) $p=0$

从图 2~4 中所显示的结果不难发现,针对高分辨率遥感影像,提出的感兴趣区域检测算法对较大感兴趣区的检测效果与没有降维处理前基本一致,这说明了在一定的误差范围内,经过空间降维后的感兴趣区域检测结果是完全可以接受的。

5 结 论

传统高分辨率遥感影像感兴趣区域检测方法通常利用先验知识库对整幅影像进行全局分析与搜索,存在计算复杂度高、存储开销大等缺点。将 Itti 提出的视觉关注模型引入高分辨率遥感影像的感兴趣区检测,设计了一种新的基于视觉关注与空间降维的高分辨率遥感影像感兴趣区域检测算法。实验结果表明,新方法在保证显著焦点检测精度的条件下,通过空间降维策略,使感兴趣区检测所消耗的时间仅为传统视觉关注模型的 1%~2%,充分证明了提出算法的有效性,对今后高分辨率遥感影像的分析与处理具有理论意义与实用价值。

参 考 文 献

- 1 Mei Jianxin. Study on Object Detection for High Resolution Remote Sensing Images Based on Support Vector Machines[D]. Wuhan: Wuhan University, 2004. 10~35
梅建新. 基于支持向量机的高分辨率遥感影像的目标检测研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2004. 10~35
- 2 Libao Zhang, Ke Wang. New region of interest image coding and its applications for remote sensing image[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(2): 76~79

- 3 J. R. Jenson. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (3rd edition)[M]. New Jersey: Prentice Hall, 2004
- 4 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
- 5 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
- 6 B. Zhu, J. Li, A. Chen. Knowledge based recognition of harbor target[J]. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 2006, **17**(4): 755~759
- 7 Wu Fan, Wang Chao, Zhang Hong *et al.*. Knowledge-based bridge recognition in high resolution optical imagery[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2006, **28**(4): 587~591
吴 樊, 王 超, 张 红 等. 基于知识的中高分辨率光学卫星遥感影像桥梁目标识别研究[J]. *电子与信息学报*, 2006, **28**(4): 587~591
- 8 J. M. Wolfe, T. S. Horowitz. What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it[J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2004, **5**(6): 495~501
- 9 Zhang Peng. Research for the Selective Attention Mechanism in the Image Information Processing [D]. Hunan: National University of Defense Technology, 2004
张 鹏. 影像信息处理中的选择性注意机制研究[D]. 湖南: 国防科学技术大学, 2004
- 10 L. Itti, C. Koch. Computational modeling of visual attention [J]. *Nature Reviews Neuroscience*, 2001, **2**(3): 194~203
- 11 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

栏目编辑: 王晓球