

用于高分辨率SAR 影像建筑物提取的对象级高亮特征描述方法

吴维¹ 胡涛¹ 廖明生¹ 陈呈辉¹

¹ 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉, 430079

摘要: 合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)影像分辨率的不断提高为建筑物提取提供了有效的数据支持, 而传统像素级方法, 提取建筑物的效果较差, 精度较低。通过分形网络演化分割算法(fractal net evolution approach, FNEA)获取分析单元, 利用对象级分析单元与邻近环境之间的上下文特征, 提出了高亮邻接强度特征(highlight adjacent intensity, HAI)与亮点散射密度特征(shining point distribute density, SDD)的概念, 然后结合上述两种特征进行对象级建筑物的提取。最后通过几组实验验证了基于面向对象特征方法比面向像素特征方法对高分辨率SAR 建筑物提取具有更好的效果、更高的精度。

关键词: 对象级; 高分辨率; SAR 影像; 建筑物提取; 叠掩

中图分类号: P237.9

文献标志码: A

合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)作为一种主动式微波遥感设备, 其应用遍及多个领域^[1], 其中, 国内外学者对SAR 影像中提取建筑物的问题已展开了一系列研究。2000年, Bøtter 提出了结合干涉高度数据和多视向阴影信息的建筑物提取方法^[2]。德国 Soergel、Brenner 等人对高分辨率SAR 数据中建筑物的重建展开了研究^[3-7], 其突出工作是提出了基于 Perceptual Grouping 的建筑物细节结构提取方法, 为特殊大型建筑物的识别提供依据。在国内, 对SAR 影像建筑物提取的工作目前较少, 文献^[8-9]提出了利用多视高分辨率SAR 影像进行城区信息获取与重建方法; 朱俊杰等人对叠掩信息利用以及SAR 与光学影像联合检测建筑物进行了研究^[10-12]。

然而, 上述SAR 影像的建筑物提取方法主要基于像元为基本单位, 具有很大的局限性, 分类与提取精度达不到要求^[13]。与此同时, 基于对象级的高分辨率影像目标提取能够较好地解决该问题, 具有强抗噪、多元性、多尺度特性。针对该问题, 本文利用FNEA 算法获取分析单元, 充分利用对象级分析单元的高亮特征, 进行对象级建筑物的提取, 并验证其精度。

1 对象级高亮特征

1.1 高亮邻接强度特征

较大建筑物(如工业厂房)的屋顶由于材质的不同, 完全凭借屋顶色调进行提取非常困难。与此同时, 高亮区是由建筑物与地表之间的多次反射或叠掩形成, 一般呈现亮色调特点, 较容易检测, 可作为建筑物提取指示特征。但由于同一建筑物屋顶一般较为均质, 可采用FNEA 分割算法形成更利于提取的对象斑块。高亮邻接强度特征即是基于对象斑块的高亮特征。根据SAR 影像特有的成像特点, 高亮区与屋顶像存在如图1所示的关系。

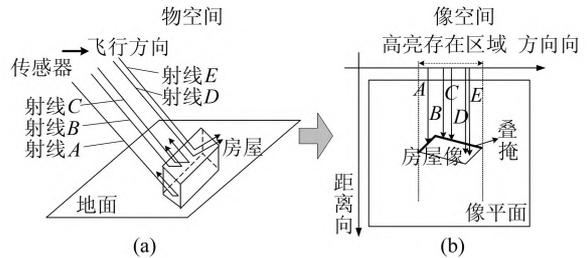


图1 高亮区与屋顶像之间的关系图

Fig.1 Relationship of Highlight Region and Roof

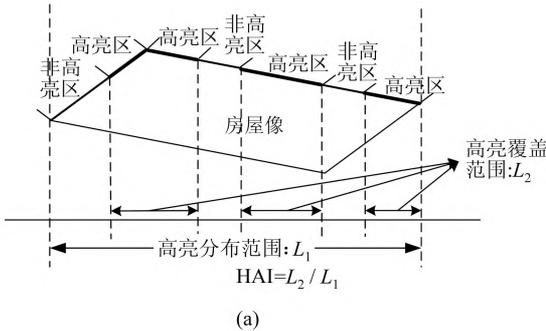
收稿日期: 2013-04-11

项目来源: 国家教育部博士点基金资助项目(20120141120041); 国家自然科学基金资助项目(41301517)。

第一作者: 吴维, 讲师, 主要从事遥感影像解译研究。E-mail: guowei98032@gmail.com

通讯作者: 胡涛, 博士生。E-mail: htlvcc@hotmail.com

图1 中射线A、B、C 为传感器发射到地表, 然后经墙面折射返回, 而形成高亮像; 射线D、E 为传感器发射到房顶, 由于房顶光滑, 其反射电磁波未被传感器接收, 而形成暗黑区。由于高亮区是面向传感器的墙面与地表相互作用的结果, 因此



其距离像必大于相同方位向的屋顶像。基于上述规律, 高亮邻接强度特征可定义为: $HAI = L_2 / L_1$; 其中, L_2 为高亮覆盖范围, L_1 为高亮分布范围, 参见图2。

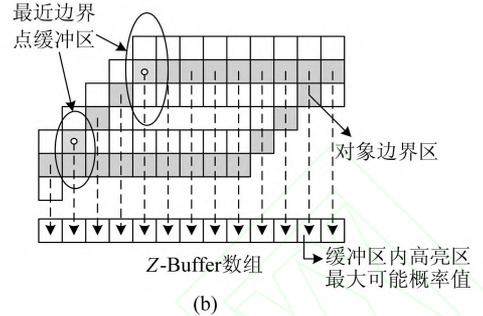


图2 高亮邻接强度示意图

Fig.2 HAI Schematic Diagram

基于上述定义, 高亮邻接强度特征的具体计算流程如下: 首先, 利用分割算法将SAR 影像形成对象图斑, 然后利用高亮像素的辐射特性, 采用神经网络方法实现像素级提取, 获得每个像素作为高亮区的概率; 然后, 将对象边界投影到与方位向平行的直线上, 为获取相同方位向坐标下的具有最小距离像素点P, 本文采用图2 中的Z-Buffer 机制; 对每个P 点, 获取其距离向上, 与P 点距离小于 T_{dis} 的点集合C, 根据每个像素的高亮概率, 得到集合C 中的概率最大值; 将所有最小距离像的概率最大值相加, 得到概率型的高亮覆盖范围 L_2 ; 并根据对象的最小外接矩形, 计算得到高亮分布范围长度 L_1 (单位为像素); 利用公式 $HAI = L_2 / L_1$, 计算 HAI, 其取值范围在0 到1 之间, 理想状态下, 建筑物的 HAI 等于1, 实际由于高亮提取精度和分割误差, HAI 小于1。

1.2 亮点散射密度特征

高亮邻接强度主要针对大型建筑物的成像特点, 而并不针对建筑物、地表、树木之间相互交杂的密集居民区。为描述密集居民区这种空间分布特点, 本文提出了亮点散布密度特征 (shining point distribute density, SDD), $SDD = \text{亮点缓存覆盖总面积} / \text{对象面积}$, 参见图3。

亮点代表叠掩和多次反射区域, 而缓存覆盖面积代表了其距离小于一定阈值的邻近相关区域。从图3 中可以看到, 亮点散布密度主要通过统计亮点的邻近区域面积来计算亮点的分布密度。如果亮点密度大且分布均匀, SDD 较大, 另外, 由于SDD 并不重复计算亮点邻接重叠区域面积, 因此, 如果亮点只集中分布在某个小区域,

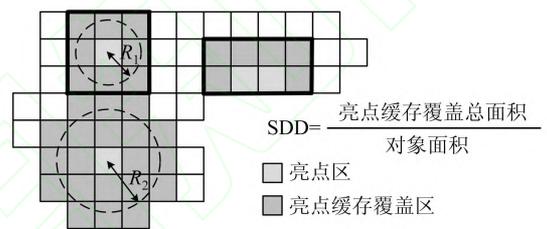


图3 亮点散布密度示意图

Fig.3 SDD Schematic Diagram

SDD 依然较小。理想密集居民地的SDD 应等于1。亮点的邻近覆盖总面积是通过每个亮点进行缓存区扩展得到的, 本文采用随亮度似然率自适应变化的缓存区半径计算公式:

$$r = R \times (V_{\text{bright}} - T_{\text{bright}})$$

式中, V_{bright} 为亮点的高亮似然率; T_{bright} 为高亮似然率阈值; R 为最大邻接半径。计算亮点散射密度特征, 首先进行分割与像素级高亮区提取; 然后, 根据计算每个对象像素点的缓冲区半径, 并覆盖对象内的临近区域的像素点, 统计所有被对象点缓冲覆盖的总面积, 继而计算出亮点散布密度。

1.3 建筑物提取流程

利用 HAI 与 SDD 特征进行建筑物提取步骤如下:

1) 首先, 进行图像分割与高亮区检测。采用 FNEA 分割算法与神经网络分类器获取图斑与高亮点。

2) HAI 特征检测与识别 HAI 特征主要针对大型建筑物, 需要综合面积特征; 另外, 建筑物的屋顶区主要为体散射, HV 亮度较大, 可联合判断是否为建筑物。

3) SDD 特征检测与识别;SDD 特征一般用于检测小型建筑物,通过设置合理的概率阈值和最大邻接半径可以有效提高小型建筑物与其他类型地物的反差;

4) 将步骤2)与步骤3)提取结果合并形成最终建筑物提取结果。

上述流程以建筑物与环境的上下文关系为识别核心,更符合SAR 成像特点。

2 实验结果与分析

试验数据为E-SAR 机载全极化数据,试验区位于常用于SAR 影像分类算法验证的德国Oberpfaffenhofen 地区DLG 机场附近,影像距离向像素间隔为1.49 m,方位向像素间隔0.23 m,L 波段,拍摄于2002-08。用于提取的影像为大小为934 像素×565 像素,采用HH-HV-VV (红-绿-蓝)的LOG 拉升量化的影像作为分割底图,参见图4。



图4 机载全极化SAR 影像

Fig.4 SDD Schematic Diagram

2.1 对象级高亮特征计算

图5 是通过计算采用FNEA 分割算法得到的HAI 特征图。色调越亮,说明HAI 特征值越高。

从图5 中可以看出,独立建筑物区的HAI 特征均较高,并且对于色调相似的区域,其HAI 特征并不一定相同,为建筑物提取提供了新的特征。不过森林边缘由于也存在高亮区,HAI 也较高,需要联合其他特征。

图6 是计算获取的SDD 特征图,概率阈值取0.5,最大邻接半径取6,色调越亮,说明HAI 特征值越高。可以看出,SDD 特征对HAI 特征表现较差的密集居民区具有较好的提取效果,另外,也可将中型建筑物与亮树林和草地等相区别。对于大型建筑物,其特征表现并不明显。

2.2 提取结果与分析

图7 是采取§1.3 流程的提取结果图,绿色代表建筑物区。绝大部分建筑物被提取,只有少数区域发生遗漏和误分。

从图7 中可以看到,总体分类效果较好,精度达90.6%,误分主要有以下两个方面:一方面是

由于实验选用的异质性参数较大,因此分割算法将某些面积较小且分布独立的小型建筑物(如G 区)与四周环境相混合,出现遗漏;另一方面,某些草坪(如H 区)和树林(如I 区),由于杂草与大型建筑物色调相似,且边缘处较亮,被判定为高亮区,故HAI 特征较大,因此被误分。混淆矩阵如表1 所示。

表1 对象级特征提取结果混淆矩阵

Tab.1 Confusion Matrix of Object-level Layover Results

	建筑物	其他	用户精度/%
建筑物	45 751	2 552	94.7
其他	6 619	41 784	86.3
总计	52 370	44 336	
生产精度	87.3	94.2	
总体分类精度=90.6%,Kappa=0.812			

本文以上下文模板特征输入、以BP (back propagation)神经网络为分类器的面向像素分类方法作为比较。实验采用如图8 左上角所示模板,模板中心对应着某个待分类像素,四周网格代表像素邻域,分类特征为蓝色网格所代表的像素强度。

图8 是提取结果,绿色代表建筑物区,表2 是对应的混淆矩阵。



图5 HAI 特征图

Fig.5 HAI Character Graphs



图6 SDD 特征图

Fig.6 SDD Character Graphs



图7 对象级高亮特征提取结果

Fig.7 Results Based Object-Level Highlight Features

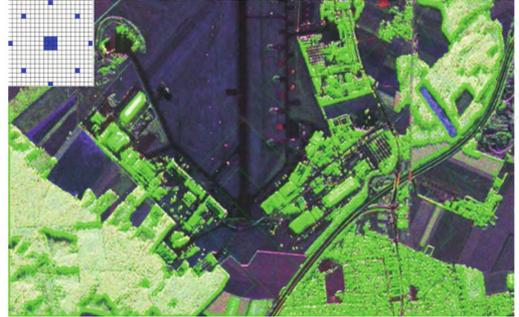


图8 像素级高亮特征提取结果

Fig.8 Results Based Pixel-Level Highlight Features

从面向对象和面向像素的混淆矩阵可以看出,面向对象方法精度(90%)要远高于面向像素(70%),验证了本文提出的两种对象级高亮特征的有效性,也说明了面向对象比面向像素方法具有更大优越性。

表2 像素级提取结果混淆矩阵

Tab 2 Confusion Matrix of Pixel-Level Layover Results

	建筑物	其他	用户精度/%
建筑物	32 841	8 743	79.0
其他	19 529	35 593	64.6
总计	52 370	44 336	
生产精度	62.7	80.3	
总体分类精度=70.8%,Kappa=0.422			

参 考 文 献

[1] Zhao Lingjun. Building Extraction from High Resolution SAR Imagery [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2009:1-3 (赵凌君. 高分辨率SAR 图像建筑物提取方法研究[D]. 长沙:国防科技大学,2009:1-3)

[2] Bolter R. Buildings from SAR: Detection and Reconstruction of Buildings from Multiple View High Resolution Interferometric SAR Data [D]. Graz, Austria: University of Graz, 2001

[3] Michaelsen E, Soergel U, Stilla U. Grouping Salient Scatterers in InSAR Data for Recognition of Industrial Buildings [A]. The 16th International Confer-

ence on Pattern Recognition, Quebec, Canada, 2002

[4] Michaelsen E, Soergel U, Thoennessen U. Perceptual Grouping for Automatic Detection of Man-made Structures in High-resolution SAR Data [J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27 (4): 218-225

[5] Soergel U, Michaelsen E, Thiele A. Radar Grammatic Extraction of Building Features from High-resolution Multi-aspect SAR Data [C]. The 2006 IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium, Denver, CO, USA, 2006

[6] Soergel U, Thoennessen U, Brenner A, et al. High-resolution SAR Data: New Opportunities and Challenges for the Analysis of Urban Areas [J]. IEEE Proc Radar Sonar Navig, 2006, 153 (3): 294-300

[7] Stilla U, Michaelsen E, Soergel U, et al. Perceptual Grouping of Regular Structures for Automatic Detection of Man-made Objects [C]. 2003 IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, France, 2003

[8] Xu F, Jin Y Q. Automatic Reconstruction of Building Objects from Multi-aspect Meter-Resolution SAR Images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45 (7): 2 336-2 353

[9] Xu Feng, Jin Yajun. Information Retrieval and Re-

- construction Based on High-resolution SAR Observation over Urban Area [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, 22 (2):287-290 (徐丰, 金亚秋. 城区高分辨率 SAR 图像的信息获取与重建[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22 (2):287-290)
- [10] Zhu Junjie, Ding Chibiao, You Hongjian, et al. Extraction of Building Height from High-resolution SAR Image [J]. *Modern Radar*, 2006, 28 (12):76-79 (朱俊杰, 丁赤彪, 尤红建, 等. 基于高分辨率 SAR 图像的建筑物高度提取[J]. 现代雷达, 2006, 28 (12):76-79)
- [11] Zhu Junjie, Fan Xiangtao, Shao Yun. Buildings Roof Extraction by Fusing High-Resolution SAR with Optical Images [J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2006, 23 (2):178-185 (朱俊杰, 范湘涛, 邵芸. 高分辨率 SAR 与光学图像融合用于建筑物屋顶提取[J]. 中国科学院研究生院学报, 2006, 23 (2):178-185)
- [12] Zhu Junjie, Guo Huadong, Fan Xiangtao, et al. 3D reconstruction based on High-Resolution SAR and Optical Image [J]. *Chinese High Technology Letters*, 2005, 15 (12):68-74 (朱俊杰, 郭华东, 范湘涛, 等. 高分辨率 SAR 与光学图像融合的建筑物三维重建研究[J]. 高技术通讯, 2005, 15 (12):68-74)
- [13] Qiao Cheng, Luo Jiancheng, Wu Quanyuan, et al. Object-Oriented Method Based Urban Building Extraction from High Resolution Remote Sensing Image [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2008, 24 (5):36-39 (乔程, 骆剑承, 吴泉源, 等. 面向对象的高分辨率影像城市建筑物提取[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24 (5):36-39)

Object-Level Highlight Features For High-resolution SAR Building Extraction

GUO Wei¹ HU Tao¹ LIAO Mingsheng¹ CHEN Chenghui¹

¹ State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: With the improvement of SAR image resolution, it is now increasingly used as an effective data support for building extraction. However, the traditional pixel-based method is not practicable in building extraction. Not only are the result not amiable, but also the accuracy is very poor. So in this paper we will firstly apply FNEA algorithm (fractal net evolution approach) on SAR image to obtain analysis units. Then contextual feature of those object-level units will be utilized to propose the conception of highlight adjacent intensity (HAL) and shining point distribute density (SDD). After that these two features will be combined to be used in the process of object-level building extraction. Finally, a couple of experiments are conducted show that an object-oriented method outperforms pixel-based methods in building extraction from high-resolution SAR images.

Key words: object-level; high resolution; SAR image; building extraction; layover

First author: GUO Wei, Lecturer, majors in remote-sensing imagery interpretation. E-mail: guowei98032@gmail.com

Corresponding author: HU Tao, PhD candidate. E-mail: ht1vcc@hotmail.com

Foundation support: The PhD programs Foundation of Ministry of Education of China, No.20120141120041; the National Natural Science Foundation of China, No.41301517.