

DOI: 10.3969/j.issn.1673-6141.2019.06.006

基于高分二号卫星遥感数据的建筑物高度提取

赵强^{1,2}, 杨志¹, 苏红超¹, 杨世植³

(1 安徽建筑大学环境与能源工程学院, 安徽 合肥 230601;

2 安徽省智慧城市工程技术研究中心, 安徽 合肥 230601;

3 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 建筑高度信息提取是高分辨率卫星遥感获取城市空间信息的热点问题之一。为了实现建筑物高度信息的高精度提取, 提出了一种基于规则信息的面向对象的建筑物高度反演方法。首先根据建筑物阴影几何、纹理、和光谱特征建立基于规则信息的建筑物阴影提取算法, 进行建筑物阴影信息提取, 再通过计算像元平均值算出阴影长度, 构建卫星、太阳、建筑物和其阴影的空间模型反演建筑物高度。采用扬州市两个实验区(佳家花园和杉湾小区)的高分二号卫星遥感数据进行高度反演试验, 通过对反演小区的105栋建筑物实际高度测量, 对反演结果验证, 总体精度为96.5%。表明该方法在城市建筑物高度信息提取方面具有较高的精度。

关键词: 高分二号卫星; 规则信息; 阴影长度; 建筑物高度

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 1673-6141(2019)06-0455-08

Building Height Extraction Based on GF-2 Satellite Remote Sensing Data

ZHAO Qiang^{1,2}, YANG Zhi¹, SU Hongchao¹, YANG Shizhi³

(1 School of Environment and Energy Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China;

2 Anhui Engineering and Technology Research Center of Smart City, Hefei 230601, China;

3 Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: Building height information extraction is one of the hot issues in urban spatial information acquisition by high-resolution satellite remote sensing. An object-oriented building height retrieval method based on the rules of the information is proposed in this work in order to extract building height information accurately. Firstly, the building shadow extraction algorithm based on rule information was established according to the building shadow geometry, texture and spectral characteristics, and building shadow information was

基金项目: Supported by Natural Science Research Major Project of Anhui Educational Committee (安徽省教育厅自然科学基金重大项目, KJ2017ZD41), Major Projects of Science and Technology in Anhui (安徽省科技重大专项项目, 16030801118), First Phase Project of Urban Fine Management Remote Sensing Application Demonstration System (高分城市精细化管理遥感应用示范系统(一期)项目, 06-Y30B04-9002-13/15)

作者简介: 赵强(1981-), 男, 安徽合肥人, 博士, 副教授, 主要从事城市空间信息技术和光学遥感应用研究。

E-mail: rommel99@163.com

收稿日期: 2019-09-09; **修改日期:** 2019-10-10

extracted. Then the length of the shadow was calculated by computing the average value of pixels, and the building height was inverted by using the spatial model of satellite, the sun, the building and its shadow. Two building height retrieval experiments was carried out based on GF-2 satellite remote sensing data of the two experimental area of Yangzhou (Jiajia garden and Shanwan community). Through the actual height measurement of 105 buildings, the retrieval results are verified and the overall accuracy is 96.5%. It shows that the method has high precision in the aspect of city building height information extraction.

Key words: GF-2 satellite; rule-based information; shadow length; building height

1 引言

近年来,通过卫星遥感获取建筑物信息的能力随着卫星图像分辨率的提高越来越强。而城市建筑高度信息作为建筑物的本征信息,对城市三维建模、建筑物建设过程监管和违章建筑监测等方面有着至关重要的作用,如何利用卫星遥感图像获取建筑物高度信息是当前高分辨率卫星遥感解译的一个热点问题。获取建筑物高度信息的传统方法主要有:利用专业的激光测距仪来进行激光测高、利用地形图结合地理信息系统(Geographic Information System, GIS)数据库和立体像对法。Cheng、Thiel^[1]等用阈值法实现了 SPOT 影像的阴影分割,通过结合高精度地形图消除了高程的影响,取得了较好的高度提取效果;曹治国^[2]等通过用立体像对法针对 IKONOS 卫星图像建立几何光学成像模型,实现了计算上的优化,提高了获取坐标的精度。这些方法虽然有的在技术上已经相对成熟,但是在获取数据以及处理上费时费力,需要较高的成本,并不太适合应用于范围广泛的建筑物高度信息的提取^[3]。随着遥感影像中所含的阴影信息越来越丰富,通过提取阴影计算阴影长度从而反演出建筑物高度的方法逐渐成为主流^[4],但是这种方法所面临的主要问题是建筑物阴影提取和阴影长度的计算精度决定建筑物高度反演的精度^[5]。

国产高分辨率二号(GF-2)遥感卫星所搭载的2台分辨率为1m的全色波段和分辨率为4m的多光谱相机,具有大幅度、强侧摆及快重返的能力,为城市建筑物高度信息获取提供了新的遥感途径,便于城市建筑物信息以及城市变化的同期快速监测^[6]。本文使用扬州市高分二号卫星影像数据,通过基于规则信息提取建筑物阴影,以此算出建筑物阴影长度,根据卫星成像的几何特性建立建筑物高度反演模型,得到建筑物高度信息,最后进行精度试验验证。

2 技术路线

如图1所示,技术构成主要包括遥感影像图像预处理,基于规则的面向对象建筑物阴影信息提取,基于卫星、太阳、建筑物和其阴影的空间模型的建筑物高度反演以及精度验证四个部分。

3 实验区简介和遥感图像预处理

研究区选取扬州市城区的佳家花园以及杉湾六期小区,选用的数据为2015年2月11日获取的1m全色和4m的多光谱影像,数据的获取时间为当地上午10:00,卫星图像含云量低于5%,数据获取时太阳高度角为 50.8° ,方位角为 153° ,卫星侧摆角为 13.5° 。

因原始图像已经过绝对定标处理,所以不需要辐射校正,直接运用 FLAASH 大气校正工具完成大气校正;之后采用 NNDiffuse Pan Sharpening 图像融合方法将所获得的多光谱数据与全色数据进行融合;最后采用不规则图像裁剪方法裁剪出需要的研究区域,如图2所示。

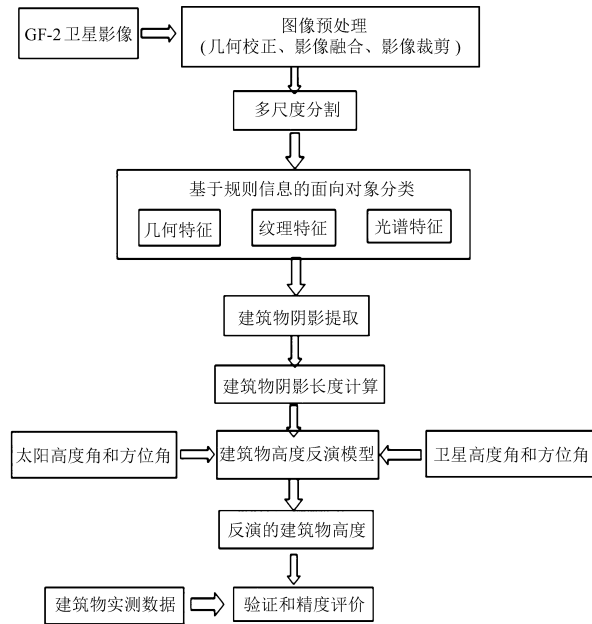


图 1 建筑物高度提取技术流程图

Fig.1 Flow chart of building height extraction technology

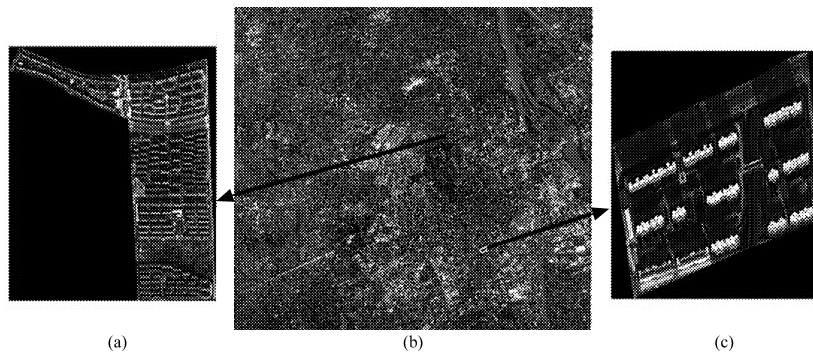


图 2 经过预处理后的高分二号卫星图。(a) 佳家花园; (b) 扬州市; (c) 杉湾小区

Fig.2 Pre-processed remote sensing image from GF-2. (a) Jiajia garden;(b) Yangzhou city;(c) Shanwan community

4 建筑物阴影信息提取

4.1 基于规则的面向对象信息提取

利用基于规则信息的面向对象进行高分辨率遥感影像的建筑物阴影信息提取, 分为两个步骤: 1) 影像分割, 2) 基于规则的分类提取。

1) 影像分割: 为了将影像分割成内部同质性较好、局部异质性较大的影像对象, 使用多尺度分割算法对遥感影像进行最优尺度分割, 根据像元对象的几何、光谱差异来进行合并, 直到超过所给定的阈值来结束分割, 经过反复验证将阈值定为 50, 其分割效果最好 [7-8]。

2) 基于规则信息的分类提取: 根据几何、纹理和光谱信息特征建立规则数据库来进行阴影特征提取, 采用基于决策树的建筑物提取算法来进行分类, 通过分析归一化植被指数 (Normalized difference vegetation

index, NDVI)、归一化水体指数 (Normalized difference water index, NDWI) 和阴影光谱特征提取出阴影信息。首先根据 NDVI 来排除植被影响, 通过反复试验将阈值定为 0.3, 即小于 0.3 的为非植被; 再在非植被中根据 NDWI 排除掉水体的影响, 认为大于 0 的为水体, 剩下的即是建筑物与阴影, 最后利用阴影

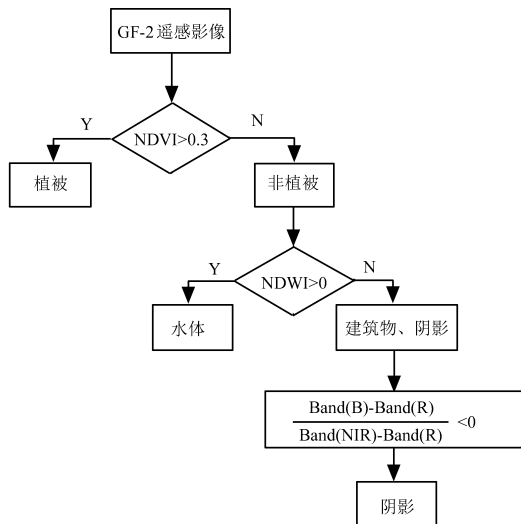


图 3 基于规则信息的阴影提取

Fig.3 Shadow extraction based on rule information

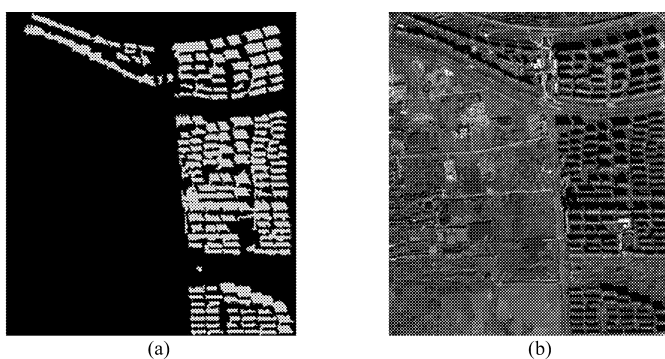


图 4 提取的佳家花园小区房屋阴影二值化图 (a) 和矢量叠合图 (b)

Fig.4 Extracted binarization map (a) and vector superposition map (b) of building shadow in Jiajia garden

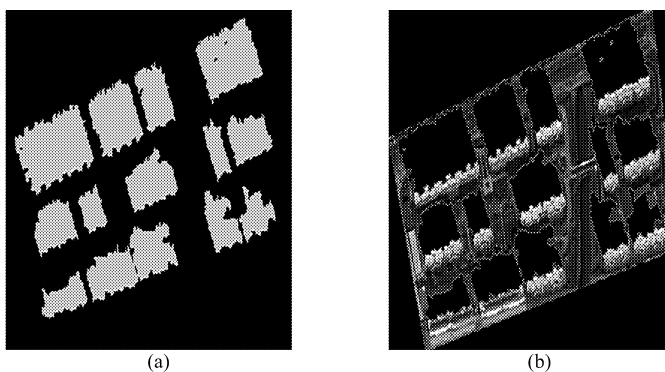


图 5 提取的杉湾小区房屋阴影二值化图 (a) 和矢量叠合图 (b)

Fig.5 Extracted binarization map (a) and vector superposition map (b) of building shadow in Shanwan community

的光谱较建筑物而言比较特殊, 根据条件 $\frac{\text{Band}(B)-\text{Band}(R)}{\text{Band}(\text{NIR})-\text{Band}(R)} < 0$ 提取出阴影, 其中 Band(B) 表示影像中的蓝波段 DN 值; Band(R) 表示影像中的红波段 DN 值; Band(NIR) 表示影像中近红外波段 DN 值。分类流程图如图 3 所示。图 4、5 给出提取的扬州佳家花园和杉湾小区阴影图斑。

4.2 阴影长度计算

阴影长度的计算是实现建筑物高度高精度提取的关键, 关于阴影长度的计算是用像元个数乘以影像分辨率^[9], 像元个数的确定方法流程如图 6 所示。

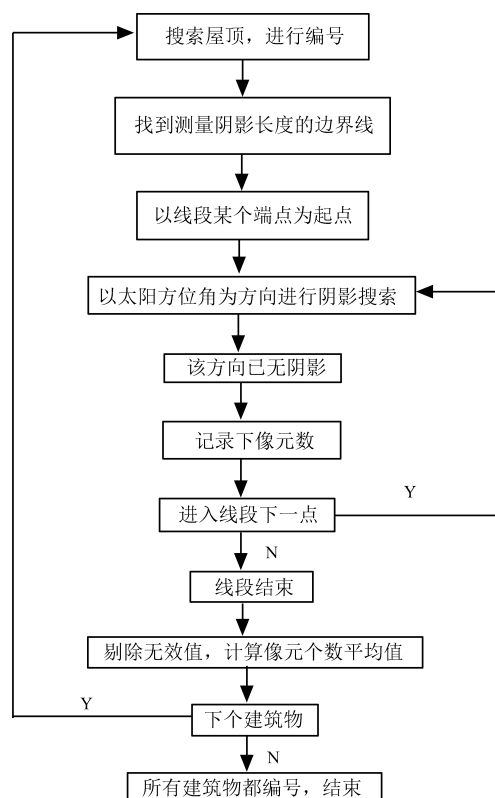


图 6 阴影长度计算流程

Fig.6 Flowchart of shadow length calculation

1) 在高分二号影像中搜寻到建筑物屋顶, 并对其进行编号; 2) 找到测量所需的边界线, 在边界线上选取一点为端点, 再以太阳方位角的方向来进行阴影搜索, 直到确定此方向无阴影为止, 记录下像元数; 3) 在线段下一点重复上述过程, 直到线段结束为止; 4) 找出每个阴影像元个数的众数, 剔除掉跟众数偏离过大的无效值, 计算出像元个数的平均值; 5) 进行下一个建筑物屋顶编号, 重复上面 1)~4) 的过程, 直到搜寻建筑物编号结束。

5 建筑物高度反演

根据计算所得到的阴影长度, 结合太阳与卫星的方位角、高度角以及建筑物所在的位置, 构建建筑物高度反演模型, 分为太阳与卫星在建筑物同侧和异侧两种情况。当卫星与太阳在同侧时, 立体几何关系如图 7 所示。

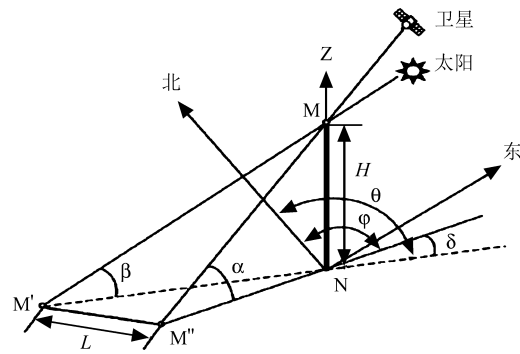


图7 卫星、太阳、建筑物及阴影的立体几何关系

Fig.7 Three-dimensional geometry of satellite, sun, building and shadow

根据如图7所示,由各对象之间的几何关系可得到建筑物高度 H 为^[10]

$$H = L(\tan^{-2} \beta + \tan^{-2} \alpha - 2 \tan^{-1} \beta \tan^{-1} \alpha \cos \gamma)^{1/2}, \quad (1)$$

其中, L 为上述所计算出的阴影长度(图中为 $M'M''$), α, β 分别为卫星与太阳的高度角, γ 为太阳和卫星方位角的交角。当在异侧时,可认为 M'' 与 O 点完全重合,此时可忽略点 M'' 对建筑物阴影的影响。建筑物高度 H 可进一步简化为

$$H = L \tan \beta. \quad (2)$$

因此,只要知道阴影长度以及太阳和卫星的高度角、方位角,根据上述公式可计算出建筑物高度。

6 验证与精度评价

根据建立建筑物高度反演模型对扬州市佳家花园和杉湾小区 105 栋建筑物进行了高度反演,并与用激光测距仪实地测量的房屋高度信息作为验证比较,如图8所示,反演得到的建筑物高度与实际测量高度的相关性为 0.98。

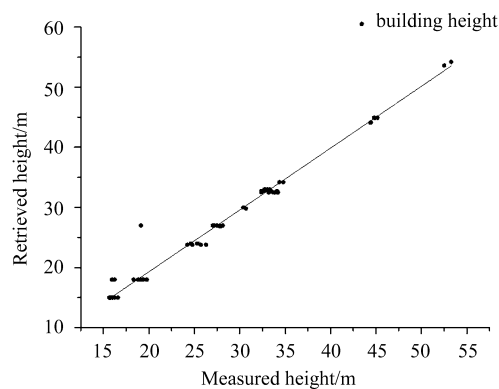


图8 建筑物高度反演值与实际测量值比较

Fig.8 Comparison of retrieved building height with measured height

表1给出了对于105栋建筑物高度反演的精度和反演误差统计,可以看出,误差最大值为7.87 m,误差最小值0.01 m,误差分布在0~2 m之间的房屋数由102栋,对于样本数为105栋建筑物高度反演平均误

差为 0.82 m, 平均相对误差为 2.35%。反演得到的所有建筑物高度总和除以所有建筑物实际高度总和, 得到总体精度为 96.5%。

表 1 建筑物高度提取精度和提取误差统计

Table 1 Precision and error statistics of building height extraction

Project	Research area buildings	Error absolute value/m	Number of buildings
Sample number	105	<0.5	39
Average error/m	0.82	[0.5,1)	33
Minimum error/m	0.01	[1, 2)	30
Maximum error/m	7.87	>2	3
Average relative error/%	2.35		
Overall accuracy/%	96.5		

7 结 论

基于 GF-2 卫星影像进行城市建筑物高度提取, 提出利用基于规则信息的面向对象分割技术对建筑物阴影提取, 并计算出阴影长度, 通过建立建筑物高度反演模型反演建筑物高度。该方法具有较高的可靠性和提取精度。该研究对大范围的城市建筑物高度遥感反演提供了思路与参考, 对于城市精细化管理业务具有较好的应用价值。

参考文献:

- [1] Hartl P, Cheng F. Delimiting the building heights in a city from the shadow on a panchromatic SPOT-image: Part 2: Test of a complete city [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1995, **16**(15): 2829-2842.
- [2] Cao Zhiguo, Chen Hua. Fast three dimensional scene reconstruction of IKONOS satellite images [J]. *Computer and Digital Engineering*, 2006, **34**(11): 9-11, 15 (in Chinese).
曹治国, 陈 华. IKONOS 卫星图像的快速三维场景重建 [J]. *计算机与数字工程*, 2006, **34**(11): 9-11,15.
- [3] Wang Jingwei, Guo Qiuying, Zheng Guoqiang. Study on urban building height extraction based on single remote sensing image [J]. *Surveying and Mapping Circular*, 2012(4): 15-17(in Chinese).
王京卫, 郭秋英, 郑国强. 基于单张遥感影像的城市建筑物高度提取研究 [J]. *测绘通报*, 2012(4): 15-17.
- [4] Dahiya S, Garg P K, Jat M K. Object oriented approach for building extraction from high resolution satellite images [C]// *Advance Computing Conference (IACC), 2013 IEEE 3rd International. IEEE*, 2013.
- [5] Licciardi G A, Villa A, Dalla Mura M, et al. Retrieval of the Height of Buildings From WorldView-2 Multi-Angular Imagery Using Attribute Filters and Geometric Invariant Moments [J]. *IEEE Journal of Selected Topics In Applied Earth Observations And Remote Sensing*, 2012, **5**(1): 71-79.
- [6] Pan T. Technical Features of Gao-2 Satellite [J]. *China Aerospace*, 2015(01): 3-9(in Chinese).
潘腾. 高分二号卫星的技术特点 [J]. *中国航天*, 2015(01): 3-9.
- [7] Luan Q, Ye C, Long J. Review of buildings information extraction based on single high-resolution remote sensing images [C]// *International Congress on Image & Signal Processing. IEEE*, 2010.

- [8] Benarchid O, Raissouni N, Adib S E, *et al.* Building extraction using object-based classification and shadow information in very high resolution multispectral images [J]. *Canadian Journal on Image Processing and Computer Vision*, 2013, 4(1): 1-8.
- [9] Tian X G, Zhang J X, Zhang Y H. Extraction of heights of buildings in city from shadows in QuickBird image [J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2008, 33(2): 88-89, 77(in Chinese).
田新光, 张继贤, 张永红. 利用 QuickBird 影像的阴影提取建筑物高度 [J]. 测绘科学, 2008, 33(2): 88-89, 77.
- [10] Zhao Zhiming, Zhou Xiaocheng, Fu Qiankun, *et al.* Method for extraction of building height information based on ZY-3 image [J]. *Remote Sensing of Land and Resources*, 2015, 27(03): 19-24(in Chinese).
赵志明, 周小成, 付乾坤, 等. 基于资源三号影像的建筑物高度信息提取方法 [J]. 国土资源遥感, 2015, 27(03): 19-24.