

一种快速提取建筑物高度的方法研究

刘龙飞¹, 王锐君², 董卫平³, 冉琼⁴, 陈世荣¹, 黄健熙⁵, 牟伶俐⁶

(1. 民政部国家减灾中心, 北京 100053; 2. 甘肃省基础地理信息中心, 甘肃兰州 730000;
3. 河北省第二测绘院, 河北石家庄 050031; 4. 北京宇视蓝图信息技术有限公司, 北京 100096;
5. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 6. 中国科学院国家天文台, 北京 100083)

摘要:目前有多种利用单张高分辨率卫星影像计算建筑物高度的模型,但是其适用条件限制了建筑物高度提取的速度和精度。为了解决这一难题,提出利用建筑物投影同名点线段长度估算高度方法,并结合高分辨率影像数据和实测建筑物高度数据对估算结果进行分析。结果表明计算模型正确、精度较高(绝对误差在2.04 m以内)、使用参数较少、普适性强,在城市灾害评估与预测方面具有较大的实用潜质。

关键词:高度; 高分辨率; 灾害; 阴影; 建筑物

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2009)05-0631-04

1 引言

对于城市灾害风险预警及灾情评估工作涉及到的灾害特征信息提取、受灾人口评估均需要利用建筑物高度的信息。由于城市区域,特别是中心城区,楼层较高,密度较大,很难利用设备进行快速大面积测量。自上个世纪末高分辨率民用卫星投入使用以来,利用民用卫星影像进行建筑物高度测量得到较大的发展,并建立了多种模型和算法,如 Cheng 和 Thiel^[1], Shettigara 和 Sumerling^[2]利用高分辨卫星进行建筑物高度的提取,取得了较好的计算结果。目前利用高分辨率数据进行建筑物高度提取的通用方法有两种:①利用高分辨率遥感立体影像实现对高度的计算^[3-7];②利用阴影长度监测建筑物高度^[8-11]。由于减灾防灾过程中的时间紧迫性,决定了建筑物高度的提取很难实现立体成像,一般只能采取后者基于单张影像分析。本世纪初何国金^[4]、田新光^[5]、谢军飞^[6]、张桂芳^[9]、冉琼^[10]等利用阴影长度、卫星和太阳的高度角、方位角以及与建筑物相关的几何参数等建立模型进行计算。但是相关研究^[8-11]表明,部分模型缺乏普适性,计算结果精度达不到对灾害预测和评估的需求,或需要提取建筑诸

如方位角、垂直投影长度等信息,导致在实际的应用过程中增加了工作量,不利于快速计算高度。因此需要综合考虑影像信息,采取利用参数少、速度更快的新方法。

本文在借鉴当前利用单张影像提取建筑物高度的前提下,充分考虑到卫星和太阳的高度角、方位角在高分辨率成像机理中的关系,提出利用投影同名点线段长度和成像参数,重新设计一种快速计算建筑物高度的模型。在实测数据的基础上,本文对模型计算结果精度进行了分析比较。结果表明,模型参数需求较少、精度较好、效率较高、普适性强,为建筑物高度计算提供了新的捷径,具有较好的应用前景。

2 模型原理

目前高分辨率卫星影像主要有 SPOT、Quick-Bird、IKONOS、ORBITVIEW、GEOEYE 等数据,均采用 CCD 线阵推扫成像模式,因此在本文中设计的模型均适合以上数据。

2.1 成像原理分析

在线阵 CCD 成像时,传感器进行逐行逐像元扫描成像,如图 1 所示。 ω 为卫星的高度角, θ 是太阳的高度角, a 为卫星方位角, Y 为太阳方位角。

收稿日期:2009-04-15;修订日期:2009-09-15

基金项目:科技支撑项目(2008BAK52B05);国家“863”计划课题(2007AA120205)。

作者简介:刘龙飞(1977-),女,硕士研究生,现主要从事空间技术减灾工作。E-mail:wangrj@gsc.h.gov.cn.

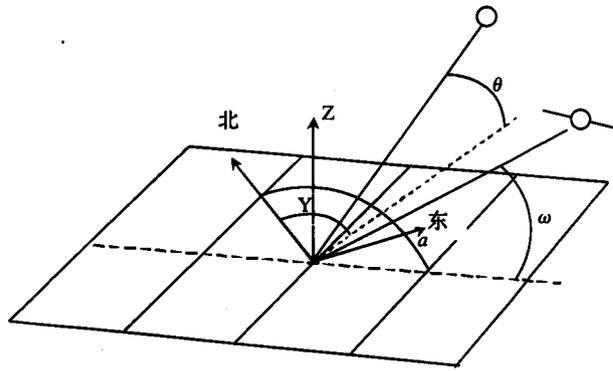


图1 相机、太阳和建筑物成像几何关系

Fig. 1 Imaging geometrical relationship among sensor, sun and building

在整个推扫成像过程中,每景影像的范围很小,成像时间很短。我国处于中低纬度,可以认为每个像元的以上角度与影像中心像元的一致。如果是在高纬度或极区成像,由于轨道倾角与纬线交角变化很快,需要逐像元计算卫星和太阳的方位角。

2.2 高度计算模型

在本文中假设建筑物的墙面垂直于地面,阴影为墙面在图像上的影子,角点为房顶的拐点,房顶为平的,如图2所示。其中 AA_0 是实际的建筑物高度 H ,太阳高度角 $\theta = \angle AA''A_0$,卫星高度角为 $\omega = \angle AA'A_0$,墙面 ABB_0A_0 的投影为 $A'B'B_0A_0$,地面阴影为 $A''B''B_0A_0$ 。卫星和太阳的方位角交角是 $\angle A'A_0A''$ 。图中 $A''A_0$ 为 AA_0 地面实际影子的长度, $A''A''$ 为影像上可见的地面阴影长度; A'' 是角点 A 的阴影在影像上的位置, A' 是角点在影像上成像的位置,并称 A'' 和 A' 是角点 A 的同名点。

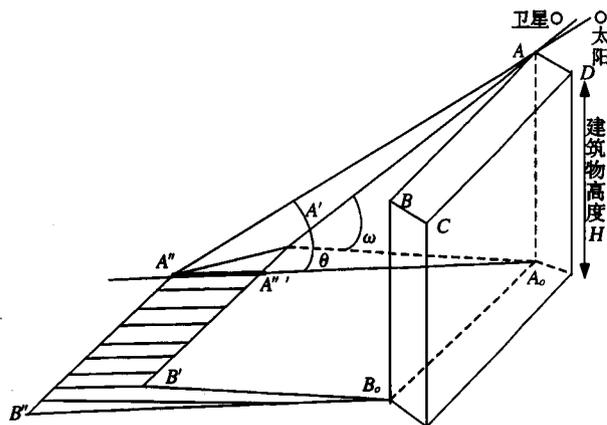


图2 卫星成像示意图

Fig. 2 Sketch map of satellite imaging

利用成像三角关系可以得到以下计算公式:

$$A''A_0 = H \tan \angle AA''A_0 = H \tan \theta \quad (1)$$

$$A'A_0 = H \tan \angle AA'A_0 = H \tan \omega \quad (2)$$

$$\angle A'A_0A'' = \gamma - \alpha \quad (3)$$

由三角关系可以推导同名角点连线 $A'A''$ 与 $A''A_0$ 和 $A'A_0$ 的关系:

$$\begin{aligned} A'A''^2 &= A''A_0^2 + A'A_0^2 - 2 \cos \angle A'A_0A'' \times \\ &A''A_0 \times A'A_0 = H^2 \times (\tan^2 \theta + \\ &\tan^2 \omega - 2 \cos(\gamma - \alpha) \tan \theta \tan \omega) \end{aligned} \quad (4)$$

建筑物的高度 AA_0 可以表示为:

$$H = A'A'' / (\tan^2 \theta + \tan^2 \omega - 2 \cos(\gamma - \alpha) \tan \theta \tan \omega)^{0.5} \quad (5)$$

当太阳方位角和卫星方位角相等时,公式(5)

可以表示为:

$$H = A'A'' / (\tan \theta - \tan \omega) \quad (6)$$

当太阳方位角和卫星方位角相差 180° 时,公式

(5)可以表示为:

$$H = A'A'' / (\tan \theta + \tan \omega) \quad (7)$$

因此在知道太阳和卫星的高度角、方位角以及角点同名点连线长度的情况下,可以计算出建筑物的高度。

在已有的算法中^[8-11],均需要地面上阴影长度的量算和计算房屋与阴影的夹角^[10,11]。实际上当卫星和太阳在建筑物的两侧时,影像上的阴影不仅包括地面上的阴影,还包括由于没有太阳照射导致灰度很小的墙面。在这种情况下,利用现有的阴影提取算法很难提取地面的阴影。本方法只需要找到阴影中的任意角点和与之匹配的屋顶角点,相对于地面阴影的提取要方便快捷,精度较高,仅利用其长度和公式(5)就可以计算出对应建筑物的高度。因此相对已有的算法,需要的参数较少,可以应用到任意成像条件,普适性较强。

3 模型应用

为了验证上述算法的准确性,本文作者利用实际的建筑物高度测量数据和高分辨率卫星影像数据对模型进行计算。

3.1 研究区说明

试验区为北京万柳小区、望京小区的建筑物,楼层分布为7~20层之间。研究区地处平原地带,地形较为平整,楼间距较大,房顶多为平顶,以上条件有利于减少地形引起的影像位置误差。

3.2 数据说明

本文采用的影像数据为高分辨率(0.62 m)卫星全色影像数据。其中望京地区的太阳方位角为 134.642° ,太阳高度角为 67.614° ,卫星方位角为

318.744°, 卫星高度角为 76.6521°。万柳小区的太阳方位角为 150.096°, 太阳高度角为 50.993°, 卫星方位角为 39.261°, 卫星高度角为 72.993°。万柳与望京区的建筑物高度利用激光测距仪 TruePulse200 进行测量, 实测精度为 0.3 m。望京区测量 WJ1~w14 共计 14 个有效数据点, 万柳区测量 WL1~WL9 共计 9 个有效数据点, 测量结果见表 1。

表 1 建筑物高度测量结果与分析表

Table 1 Measurement result and analysis of the building height

楼号	测量值 (m)	计算值 (m)	绝对误差 (m)	相对误差 (%)
Wan1	51.70	51.21	0.49	0.95
Wan2	18.50	17.47	1.03	5.57
Wan3	17.90	18.78	0.88	4.92
Wan4	17.90	17.46	0.44	2.46
Wan5	17.90	17.46	0.44	2.46
Wan6	52.60	51.77	0.83	1.58
Wan7	52.60	50.78	1.82	3.46
Wan8	45.00	45.76	0.76	1.69
Wan9	45.30	46.03	0.73	1.61
wang1	63.90	63.18	0.72	1.13
wang2	30.40	32.44	2.04	6.73
wang3	16.00	15.62	0.38	2.36
wang4	16.00	14.23	1.77	11.09
wang5	83.80	82.74	1.06	1.26
wang6	18.60	17.01	1.59	8.53
wang7	18.60	17.35	1.25	6.75
wang8	69.60	68.02	1.58	2.27
wang9	79.10	78.51	0.59	0.74
wang10	79.10	79.91	0.81	1.02
wang11	79.10	80.61	1.51	1.91
wang12	19.30	17.76	1.54	7.99
wang13	51.80	51.96	0.16	0.30
wang14	12.00	12.11	0.11	0.90

3.3 数据采集

目前利用软件进行建筑物阴影以及顶部角点提取还存在很大的配准问题, 利用手工选取同名点, 可以尽量减少同名点连线误差, 便于分析模型计算的准确性。本文中的同名点连线利用 ENVI 软件中的线形 ROI 工具实现。在影像中选择被分析建筑物顶部角点清楚、阴影落在地上的同名点, 并连线。将以上连线结果保存为 .shp 文件。

3.4 高度计算

对于一个地区可以将公式(5)简化为:

$$H=L/k \quad (8)$$

根据卫星的姿态参数可以分别确定望京区和万柳区的 K 值分别为: 1.541 和 1.039。将阴影长度代入公式, 建筑物测量结果见表 1。

4 结果分析

经过模型计算, 结果如表 1 所示。

其中绝对误差范围: 0.11~2.04 m, 相对误差范围: 0.3%~11.1%, 标准差: 0.56 m, 平均误差: 0.98 m。从结果中可以看出一般相对误差大的出现在高度较低的建筑物, 但其对应的绝对误差并不明显。因此比较绝对误差才具有代表性。

在城市灾害预测和评估工作中, 考虑到一般的建筑物楼层均不低于 2 m, 因此, 以上测量结果能够满足实际的需要。在实际的计算过程中, 由于高分辨率影像在成像时存在邻边效应^[12], 以及阴影的边界还包括其它地物的信息, 即阴影边缘的像素是混合像元。本文在阴影提取时并没有对以上现象进行分离, 导致计算误差可以达到 2 个像元^[12], 对应实际高度误差为: 3.1 m 和 2.1 m。如果剔除以上误差, 通过本方法的量算可以进一步提高测量精度。

5 结论与展望

本文提出一种通过对高分辨率卫星影像投影同名点连线计算建筑物高度的新算法, 相对于已有的算法模型, 仅需要卫星和太阳的方位角、高度角等有限参数, 普适性较强。通过对实测数据和模型计算结果数据的分析表明, 本文提出的模型精度较高, 能够满足实际的城市灾害预测和评估工作需要。但是本文并没有对由于邻近效应以及混合像元在高分辨率卫星影像中引起的误差进行分析, 其计算精度还可以有很大的提升潜力。在今后的工作中, 需要考虑以上因素引起的误差, 以及开发自动提取卫星影像投影角点同名点连线的算法, 进一步提高建筑物高度计算的速度。

参考文献:

- [1] Cheng F, Thiel K H. Delimiting the Building Heights in a City from the Shadow in Panchromatic SPOT-image-part 1-test of Forty Two Buildings[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(3): 409-415.
- [2] Chen T E, Shibasaki R. 3D Modeling and Visualization of Building in Area by Linear Photogrammetry[C]. Proceeding of UM3, Japan, 1998.
- [3] Cao Zhiguo, Chen Hua. Quick 3D Reconstruction of the IKONOS Satellite Stereo Images[J]. Computer and Digital Engi-

- neering, 2006, 11(34):9-15. [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, 11(34):9-15.]
- [4] Liu Fengde, Qiu Yi. 3D Measurement Based on Ortho-image Pair[J]. Science of Surveying and Mapping, 2004, 7(29):47-49. [刘凤德, 邱懿. 基于左右正射影像的三维量测方法的研究[J]. 测绘科学, 2004, 7(29):47-49.]
- [5] He Guojin, Chen Gang, He Xiaoyun, *et al.* Extracting Buildings Distribution Information of Different Heights in a City from the Shadows in a Panchromatic SPOT Image[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(5):426-428. [何国金, 陈刚, 何晓云, 等. 利用 SPOT 图像阴影提取城市建筑物高度及其分布信息[J]. 中国图像图形学报, 2001, 6(5):426-428.]
- [6] Tian Xinguang, Zhang Jixian, Zhang Yonghong. Extraction of Heights of Buildings in City from Shadows in QuickBird Image[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 32(2):88-89. [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, 32(2):88-89.]
- [7] Xie Junfei, Li Yanming. The Extraction of Building Distribution Information of Different Heights in a City from the Shadows in a IKONOS Image[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2004, (4):4-6. [谢军飞, 李延明. 利用 IKONOS 卫星图像阴影提取城市建筑物高度信息[J]. 国土资源遥感, 2004, (4):4-6.]
- [8] Zhang Guifang, Shan Xinjian, Yin Jingyuan, *et al.* The Method to Extract Urban Building's Height and Location from Single High Resolution Aerial Imagery[J]. Seismology and Geology, 2007, 9(1):180-187. [张桂芳, 单新建, 尹京苑, 等. 单幅高空分辨率卫星图像提取建筑物三维信息的方法研究[J]. 地震地质, 2007, 9(1):180-187.]
- [9] Ran Qiong, Chi Yaobin, Wang Zhiyong, *et al.* Research on Building Height Estimation Using Shadow Information Using Beijing-1 Small Satellite Images[J]. Remote Sensing Information, 2008, 4:18-21. [冉琼, 迟耀斌, 王智勇, 等. 基于“北京一号”小卫星影像阴影的建筑物高度测算研究[J]. 遥感信息, 2008, 4:18-21.]
- [10] Liang Shunlin. Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces [M]. Beijing: Science Press, 2009, 150-155. [梁顺林. 定量遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2009, 150-155.]

A Fast Method Extracting Building Height Using High Resolution Satellite Image

LIU Long-fei¹, WANG Rui-jun², DONG Wei-ping³, RAN Qiong⁴,
CHEN Shi-rong¹, HUANG Jian-xi⁵, MU Ling-li⁶

(1. National Disaster Reduction Center, Ministry of Civil Affairs of China, Beijing 100053, China;

2. Gansu Geomatic Center, Lanzhou 730000, China;

3. The Second Surveying and Mapping Institute of Hebei Province, Shijiazhuang 050031, China;

4. Beijing Landview Mapping Information Technology Co. Ltd., Beijing 100096, China;

5. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

6. National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: Height of a building is an important element in the city disaster evaluation and prediction. Up to now, several methods have been developed to estimate the height of a building using single satellite image with a high resolution. However, the accuracy and calculation speed are not ideal for application. To solve this problem, this paper developed a new fast method. In this method, the distance between a pair of matched points was used. The result showed that the accuracy of this new method was higher (less than 2.04 meters) and it could be widely used in prediction and assessment of city disaster.

Key words: Height; High resolution; Disaster; Building