

利用 SPOT 图象阴影提取城市建筑物高度及其分布信息

何国金 陈刚 何晓云 王威 刘定生

(中国科学院遥感卫星地面站, 北京 100086)

摘要 在分析 SPOT 卫星图象阴影与建筑物实际高度关系的基础上, 阐述了依据图象建筑阴影物来估算城市建筑物高度的原理和方法, 进而探讨了以数据融合为手段的, 从 SPOT 全色图象中准确界定阴影范围的方法, 并以此为基础, 研究出了一种基于图象阴影特征的城市建筑物高度分级及其分布信息自动生成技术. 在以北京市为例的试验中, 建筑物高度分级结果的抽样验证准确率达 80% 以上, 显示出卫星遥感在城市应用方面的巨大潜力.

关键词 遥感 SPOT 全色图象 图象阴影 建筑物高度

中图法分类号: TP751 TP79; Tu984. 113 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2001)05-0425-04

Extracting Buildings Distribution Information of Different Heights in a City from the Shadows in a Panchromatic SPOT Image

HE Guo-jin, CHEN Gang, HE Xiao-yun, WANG Wei, LIU Ding-sheng

(China Remote Sensing Satellite Ground Station, CAS, P. O. Box 2434, Beijing 100086)

Abstract This paper shows one of the demonstrating results of remote sensing information processing researches in China Remote Sensing Satellite Ground Station, CAS. Based on the analysis of the relationship between the building heights and the shadows in panchromatic SPOT image, the paper presents the principle and the method for building heights estimation in a city from the shadows of an image. And works out a feasible approach for determining shadow zones in a panchromatic SPOT image. It has also contributed an automatic technique for extracting buildings' distribution information of different heights in a city from the shadows in a panchromatic SPOT image. Different from the previous studies mentioned in published articles, of which they focused on height estimation of single object or several buildings. The most important challenge of this paper is how to extract buildings' distribution information of different heights in a city from the shadows in a panchromatic SPOT image automatically. Although the basic law for height calculating addressed in this paper is similar to what the used. A result with above 80% accuracy has been achieved while applying this technique to Beijing City, which has demonstrated prospecting applications of satellite remote sensing for urban purposes.

Keywords Remote sensing, Panchromatic SPOT image, Shadows in an image, Building height

0 引言

在过去的 20 年中, 民用卫星图象的处理技术及其应用得到了长足发展. 怎样从遥感图象中获取高度信息也是人们一直关注的课题之一. 测量学家最早从航空像片的立体像对中提取物体高度信息; 后

来, 遥感图象中物体的阴影也被用于物体高度量测; 接着, 基于阴影及其相关处理技术, 粗分辨率的合成孔径雷达又被运用于地形的高程制图, 并由此扩展到光学卫星图象的应用研究^[1,2].

近年来随着一些高分辨率民用卫星(如 SPOT)的发射升空, 有关利用民用卫星图象进行建筑物高度估算的研究报道也开始见诸报端, 如 Cheng 和

Thiel 利用 SPOT 全色图象中建筑物的阴影直接进行建筑物的高度估算,并在 42 座建筑物高度测量的应用中获得 3.69m 的均方根误差^[3];Hartl 和 Cheng 的工作是 Cheng 和 Thiel 工作的延伸^[4],他们的试验涉及 77 座建筑物,报道的均方根误差为 6.19m;Shettigara 和 Sumerling 又提出了一种在子像元级确定阴影边界的方法,并发展了基于最佳阈值选择的阴影信息提取程序,该方法是通过选定(合适的)阈值,来完成对整个图象阴影轮廓的分割^[5],这对于提高估算精度是十分有意义的。

本文的研究是为蜂窝式电话网站的布点与建设而进行的,因为信号的顺利传播是蜂窝式电话网站建设时要考虑的最主要问题之一,由于城市的建筑布局如建筑物的高低及其分布对信号传播有很大影响,因此,本研究的主要目的是从卫星图象中获取城市建筑物的高度及其布局信息,虽然在建筑物高度计算方面与现有技术有共同之处,但并不专注于利用 SPOT 图象上的阴影进行单个城市建筑物实际高度的测算,而是更注重源于影像阴影特征的城市建筑物的高矮、形状、密集程度及其空间分布信息,从而为蜂窝电信网站的建设提供决策依据。

1 城市建筑物高度估算原理和方法

1.1 太阳、卫星、图象阴影与物体高度的几何关系及其计算方程

由太阳照射形成的地物阴影是图象的独特组成部分。由于它在各多光谱波段图象中都表现为低亮度值,因而容易识别,并且阴影在图象的数理统计中扮演了重要角色,因为它影响着图象增强和模式识别。另外,阴影还包含了物体的三维信息,并被用于目标识别、地形分类和地质制图。通过阴影的特性分析还可确定建筑物模型。

图 1 是 SPOT 图象上物体阴影和太阳-卫星相对几何关系示意图(用 2D 简化 3D 几何显示)。

假定:(1)物体垂直于地球的表面;(2)物体的影子直接投影在地面上;(3)影子从物体的底部开始

由图 1 可知,物体阴影长 $S = h_i / \tan\beta$; $L = h_i / \tan\theta$,阴影的可视长度 $M = S - L$ 。

如果卫星传感器扫描方向与太阳照射方向相反,则可看到影子的全部,即 $L = 0$,则有

$$M = S = h_i / \tan\beta; \Rightarrow h_i = S \times \tan\beta \quad (1)$$

其中, β 为太阳高度角, θ 为卫星高度角。

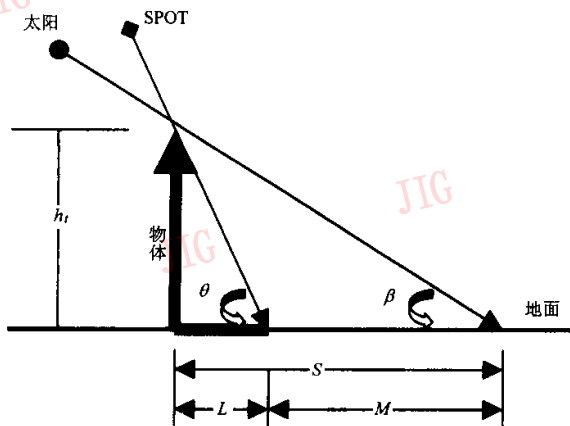


图 1 太阳、卫星和地面物体阴影关系示意图

因此,理论上讲,只要从卫星图象中获得某个建筑物的阴影长度,然后根据太阳和卫星传感器的几何参数,就能很容易地计算出该建筑物的实际高度,然而,由于受图象空间分辨率的限制,实际应用时,物体高度的测量精度仍受到一定的影响。

1.2 物体阴影长度的计算

如图 2 所示,假定卫星图象的列方向为北,行方向为东, δ 为卫星过境时的太阳方位角,某一建筑物在太阳的照射下形成的阴影长度为 M ,则

$$|M| = |Y / \cos(180 - \delta)| \quad \text{或} \quad |M| = |X / \sin(180 - \delta)| \quad (2)$$

其中, X, Y 分别为卫星图象中的阴影在行、列方向上的投影长度,且

$$X = m \times k, Y = n \times k \quad (3)$$

k 为图象的空间分辨率, m 为行方向的象元数, n 为列方向上的象元数。

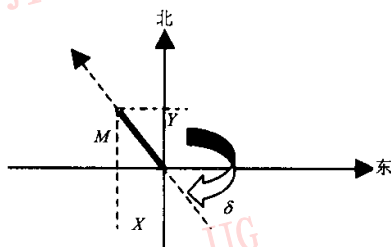


图 2 阴影与实际图象象元坐标关系示意图

2 城市建筑物高度分级及其分布信息自动生成技术

2.1 建立试验区图象上建筑物阴影长度与建筑物高度的数值关系

选择北京地区为试验区, SPOT 卫星的过境时间为 1998-10-22. 这时太阳高度角(SUN ELEVATION) $\beta=39^\circ$, 太阳方位角(SUN AZIMUTH) $\delta=166^\circ$, 卫星轨道偏角(ORIENTATION)为 -11.38° , 图象的空间分辨率为 10m. 由(1)式可知

$$h_t = S \times \tan\beta = S \times \tan 39^\circ \approx 0.81 S \quad (4)$$

即 SPOT 全色图象中 1 个 pixel(10m)的阴影长度相当于 8.1m 建筑物高度. 这一数值关系是生成建筑物高度信息的基础.

2.2 卫星图象中阴影信息提取

由上述可知, 只要界定了图象上阴影的位置和范围, 根据式(1)和式(2)即可很容易计算出物体的实际高度. 另外, 从式(3)不难看出, 对于恒定的阴影长度, 遥感图象的空间分辨率越高, 即 k 的数值越小, 则对阴影的描述越精确, 但在原始分辨率下, $k=10\text{m}$ 的 SPOT-PAN 数据, 其理论精度应为 10m. 考虑到子象元分解技术带来的效应, 这种精度有望达到 5m 或更高. 式(1)还表明, 阴影的测量精度直接影响建筑物高度的计算精度. 就本试验而言, 由式(4)得出的建筑物高度的计算精度应为 8.1m.

在 SPOT 全色图象中阴影一般表现为低辐射亮度, 如果物体的影子投影在背景地物为高亮度的地区, 则阴影信息很容易被提取; 然而, 由于异物同谱现象的存在, 如植被、水体等信息与阴影信息非常相似, 因此仅靠 SPOT 全色图象难以排除这些因素的干扰. 故在实际应用时, 本文可采用 SPOT 全色图象与 TM5, 4, 3 波段数据进行数据融合的方法, 从而比较好地解决了这一问题^[6]. 融合所用的 TM 图象的过境时间为 1998-8-10. 其步骤如下:

(1) 进行 TM 与 SPOT 图象之间的几何配准、融合运算, 形成融合图象;

(2) 对融合图象进行分类, 生成阴影信息图, 并使得阴影信息的灰度值为 0, 其他信息的灰度值为 255. 虽然该阴影图中也包含其他一些伪信息, 但已基本剔除了植被、水体等干扰因子;

(3) 对 SPOT-PAN 图象进行密度分割, 以获取另一幅阴影信息图象, 再把图中阴影信息的灰度值赋为 255, 其余信息的灰度值赋成 0.

(4) 把步骤(2)、步骤(3)中分别获得的阴影信息图象进行“与”运算, 以得到更准确的阴影信息分布图.

2.3 北京市建筑物高度分级及其分布信息自动生成方法

建立了阴影长度与建筑物实际高度的关系, 就可以很容易进行单个城市建筑物高度的测算. 本文不同于现有技术针对单个或多个建筑高度的估算研究, 它是希望从卫星图象中获取城市建筑物的高矮、形状、密集程度和空间分布信息以满足电信布网要求. 为此目的, 本文以北京市为例, 开发了一种城市建筑物高度分级及其分布信息的自动生成技术, 其步骤如下:

(1) 从 SPOT 图象中提取建筑物的总体信息;

(2) 用本文提出的 SPOT 全色图象与 TM4, 4, 3 数据融合的方法来生成阴影信息分布图. 通过对图象地物阴影和建筑物的总体信息进行“与”、“或”运算来定位建筑物的位置和检测建筑物的形状, 并利用关系式(4)对建筑物进行高度分级.

(3) 对不同高度层次的建筑物进行赋色, 并与 SPOT 全色图象或融合图象叠加, 形成北京市建筑物高度分级及其分布图(图版 I 图 1 所示为城区东北部). 根据通信网站建设的行业要求, 此次试验把北京市的建筑群按高度分为 3 级, 即 48.6m 以上的特高层建筑、32.4m~48.6m 次高层的建筑群以及 16.2m~32.4m 之间的高层建筑物, 其在图 3 中分别以红色、绿色、土黄色表示. 16.2m 以下的建筑用地则以原始 SPOT 全色图象信息表征. 其中呈平行状展布的居民住宅多为 6~7 层, 高度在 20m 左右, 图象上显示属于 16.2m~32.4m 的高层建筑群(土黄色), 非常醒目.

经随机抽样验证, 试验结果所表征的北京市建筑高度及其分布信息与实际情况比较吻合(表 1), 已达到预期效果. 根据该结果图可以很清楚地了解北京市城市建筑物高矮的布局状况, 并以此进行了建筑物分布密度分区.

表 1 各高度层次建筑群抽样验证结果表

建筑群	抽查结果		
	抽查楼群数(栋)	符合高度的楼群数(栋)	正确率(%)
特高层建筑群 (>48.6m)	16	15	93.8
次高层建筑群 (32.4~48.6m)	15	12	80
高层建筑群 (16.2~32.4m)	20	18	90

注: 大基座小尖顶的建筑物以及楼群间距是影响正确率的主要因素.

3 结论及讨论

对于城市遥感研究者来说,人们总希望能最大限度地从遥感图象中获取包括城市基础设施、建筑类别等在内的各种信息,以间接了解某一城市的社会经济特性,从而为城市的建设规划提供可靠资料,以促进资源、人口与环境的可持续发展。

本文针对北京市蜂窝电话网的布点建站要求,尝试性地根据 SPOT 全色图象建筑物的阴影进行建筑物高度分级,并生成北京市建筑物高度分布图,取得了令人满意的结果,基本实现了方法的自动、半自动化。尽管由于图象分辨率等方面的原因,还有一些问题有待解决(如怎样满足更高精度的需求等),但利用 SPOT 等卫星图象进行城市制图的潜力已无可置疑。

区分城区与非城区的土地覆盖类型虽然仍是城市遥感研究的一个重要方面,但人们也希望通过遥感手段来绘制出体现城市功能的某些特殊信息,如建筑模式结构、高低、分布密度和土地使用的其他类型等,以此来进行城市功能分区,分析、评价城市的社会经济特征等方面的发展状况。应该说,在分类层次较广的情况下,虽然可以先假设建筑物的高度与建筑群落的类别有关,以之作为定义城市功能的一项指标,然而,由于历史和文化等方面的原因,与西方发达国家有一定区别,即城市商业用地、工业用地、娱乐用地与居民住宅地之间往往有较明确的界限,中国的商业区或娱乐中心却常常分布于居民密集区,因此如何排除这些类别之间的混淆有待研究。

鉴于国内这方面的研究还很少,此文的工作旨在抛石问路,希望也能给同行们提供一点借鉴。相信,随着 SPOT-5 等卫星系统的日益增多,空间分辨率的提高以及多光谱、多极化数据类型的出现,面向城市的遥感应用将有着更广阔的前景。

参 考 文 献

- 1 Huertas A, Nevatia R. Detecting buildings in aerial images. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 1988, 41(1): 131~152.
- 2 Irvin R B, Mckeown D M. Methods for exploiting the relationship between buildings and their shadows in aerial imagery. *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, 1989, 19(6):1564~1575.

- 3 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, *Int. J. Remote Sensing*, 1995, 16(3): 409~415.
- 4 Hartl Ph, Cheng F. Delimiting the building heights in a city from the shadow in panchromatic SPOT-Image-Part 1-Test of a Complete City, *Int. J. Remote Sensing*, 1995, 16(15):2829~2842.
- 5 Shettigara V K, Sumerling G M. Height determination of extended objects using shadows in SPOT images. *PE & RS*, 1998, 64(1):35~44.
- 6 何国金等. 多卫星遥感信息融合技术:理论、方法与实践. *中国图象图形学报*, 1999, 4A(9):744~751.

何国金 1968年生,博士,中国科学院地质所副研究员.主要从事卫星遥感信息处理、信息分析和典型示范应用等方面的研究.已发表学术论文20余篇.

陈刚 1969年生,1990年毕业于武汉测绘科技大学获航测与遥感专业学士学位.现留学美国.

何晓云 1953年生,1982年毕业于东北大学计算机专业,工学学士,现为中国科学院遥感卫星地面站副研究员.主要从事遥感信息处理及其软件研制工作.

王威 1974年生,1997年获浙江大学获遥感专业学士学位,现在中国科学院遥感卫星地面站信息处理技术研究室工作.主要从事卫星遥感信息处理与应用以及软件开发等方面的研究.

刘定生 中科院遥感卫星地面站研究员,遥感信息处理技术研究室主任.主要研究方向为图象处理、遥感信息提取、遥感数据并行处理及大型遥感图象快速处理系统等.



图 1