

卫星影像空间分辨率与成图比例尺的适应性分析

初艳锋^{1,2}, 李二森¹, 卢俊¹, 张魁珂²

(1. 解放军信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052; 2. 65015 部队, 辽宁 大连 116023)

摘要: 对卫星影像空间分辨率与成图比例尺的相关问题进行了探讨, 并结合案例分析, 在确定制图比例尺的情况下, 如何选取适当空间分辨率的卫星影像, 为制图提供帮助, 最后指出了卫星遥感影像目前存在的一些问题。

关键词: 卫星影像; 空间分辨率; 成图比例尺

中图分类号: P231.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1671-3044 (2007) 04-0047-04

1 引言

随着信息技术和传感器技术的飞速发展, 遥感影像的空间分辨率有了很大提高。卫星影像的空间分辨率已从原来的 30m、10m, 提高到今天的 1m、0.61m (以 IKONOS、QuickBird 为代表), 侦察卫星影像甚至达到 0.1m, 卫星影像空间分辨率形成嵌套层次体系, 而且向着越来越高的方向发展。原来只有航空影像能够达到的精度, 如今卫星影像也能够满足需要。层次化的卫星影像可以满足多种比例尺制图的应用需求, 卫星影像空间分辨率越低, 反映的空间内容就越宏观, 相应的影像成图比例尺就越小; 空间分辨率越高, 反映的空间内容就越精细, 相应的影像成图比例尺就越大。卫星影像是平面几何精度与地物类别精度的统一, 影像空间分辨率是决定影像精度的一个重要指标, 影像精度要满足相应比例尺地图更新对于影像识别能力和成图精度要求, 同时又要考虑地图更新成本。冗余的分辨率会增加影像购买成本和加重内业处理的负担; 而若分辨率达不到一定要求, 细小的地物就无法判读、影像控制点精度得不到保证, 满足不了成图精度。本文查阅大量资料, 对卫星影像空间分辨率与成图比例尺的关系进行了分析整理, 以供探讨。

2 借鉴航空摄影测量中影像分辨率与成图比例尺的关系

航空摄影测量的实践可以用来指导分析卫星影像与成图比例尺的选择。二者的成图原理相似, 而且航空摄影测量具有大量的实践经验和实验数据, 是非常成熟的。航空摄影测量中没有直接给出对影像分辨率的要求, 但可以通过对摄影仪物镜分辨率

的要求和摄影比例尺来推断。航摄中航摄仪镜头分辨率表示通过航空摄影后在影像上能够分辨的线条的最小宽度 (这里没有考虑软片和像纸的分辨率)。在航摄规范 (GB/T 15661-1995) 中规定航摄仪有效使用面积内镜头分辨率“每毫米内不少于 25 线对”。根据物镜分辨率和摄影比例尺可以估算出航摄影像上相应的地面分辨率 D , 即 $D = M/R$ (其中 M 为摄影比例尺分母, R 为镜头分辨率)。根据航摄规范中“航摄比例尺的选择”的规定和以上公式, 可得表 1。

表 1 成图比例尺、航摄比例尺及影像地面分辨率

| 成图比例尺 | 航摄比例尺 (规范规定) | 影像地面 分辨率 (m) |
|----------|---------------------|-----------------|
| 1 5 000 | 1 10 000 ~ 1 20 000 | 0.4 ~ 0.8 |
| 1 10 000 | 1 20 000 ~ 1 40 000 | 0.8 ~ 1.6 |
| 1 25 000 | 1 25 000 ~ 1 60 000 | 1.0 ~ 2.4 |
| 1 50 000 | 1 35 000 ~ 1 80 000 | 1.4 ~ 3.2 |

表 1 可以作为选择卫星影像空间分辨率的参考。从表中可以看出, 虽然成图比例尺愈大, 所需的影像空间分辨率愈高, 但两者并不是成线性正比关系, 而是非线性的。

3 利用控制点的图像坐标和地图坐标的对应关系进行校正与点位精度分析

卫星遥感影像空间分辨率 R (单位为 m) 与可制作的合理成图比例尺 (M 为比例尺分母) 以及图件要求的误差范围 e (单位为 mm) 存在以下关系:

$$e \times M \times 10^{-3} = C \times R \tag{1}$$

式中, C 为影像几何校正系数, 即: 经几何校正以后的像元位置均方根差 RMS, 以像元为单位; e 为人眼的分辨率, 通常采用 0.2mm。式 (1) 的左边是一般

收稿日期: 2006-11-30; 修回日期: 2007-03-19

作者简介: 初艳锋 (1979-), 男, 吉林德惠人, 硕士研究生, 主要从事数字摄影测量、数字图像处理等研究。

图件允许的实地误差 (以 m 为单位),而右边是遥感影像校正后存在的实地误差,这两个误差在遥感制图中应当相等,也是 (1)式成立的基础^[1]。

几何校正系数 C 是一个待定变量。以 RTK GPS 测量值作为真值,求出精校正遥感影像与真值的误差,计算得到误差的均方根差,就可以求出精校正遥感影像均方根差的像元个数,即 C 的值。C 值确定后,利用 (1)式可以计算出此遥感影像可以制作的合理成图比例尺。遥感影像空间分辨率越低,几何校正系数 C 就应设置越大,这是因为空间分辨率越低,影像边缘几何变形就越大,几何校正的效果就越差^[1]。

通常,遥感影像空间分辨率愈高,可以制作的成图比例尺愈大。采用 (1)式,不仅得到成图比例尺与遥感影像空间分辨率有关,而且只要遥感影像空间分辨率一经确定,就可以计算其合理的成图比例尺,也可以得到对遥感影像进行纠正的地形图应当选取多大比例尺,为遥感制图提供参考。

将地形图进行扫描,然后选择控制点,根据所选控制点的坐标与扫描地形图图像的像元坐标拟合多项式,用拟合多项式对地形图进行地理编码。地形图像素点坐标 (X, Y) 和编码后的地理坐标 (x, y) 采用以下的二元二次多项式表示:

$$\begin{cases} x_i = a_0 + a_1 X_i + a_2 Y_i + a_3 X_i^2 + a_4 X_i Y_i + a_5 Y_i^2 \\ y_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 Y_i + b_3 X_i^2 + b_4 X_i Y_i + b_5 Y_i^2 \end{cases} \quad (2)$$

式中, X_i, Y_i 为第 i 个控制点的图像坐标 (行列号); x_i, y_i 为第 i 个控制点对应的地面坐标; a_i, b_i ($i=0, 1, \dots, 5$) 为二次多项式系数。进行地理编码时,每幅地形图选择一定的控制点,用最小二乘法计算出最佳待定系数。根据比例尺和扫描精度的关系将每个控制点的均方根差控制在 1 个像元之内。

遥感影像采用地形图为标准坐标空间,采取同名点对遥感影像进行几何精校正,选择地形图上不变的明显地物标志 (如线状地物交叉点) 作为控制点,首先在遥感影像的四个角选取控制点,然后均匀加密,以确保均方根差小于 1 个像元,每标准分幅选取 25 个左右的控制点,然后采用式 (2) 的二元二次多项式进行空间几何位置变换,最后采用三次卷积方法对原始影像进行灰度重采样,得到带有标准地理坐标的遥感影像。

$$RMS = \sqrt{(M_x - N_x)^2 + (M_y - N_y)^2} \quad (3)$$

选取控制点,分别测算它们在精校正后遥感影像上的坐标和 RTK GPS 实地测量坐标值,并根据公

式 (3) 计算对应的均方根差。式中, M_x, M_y 分别为精校正遥感影像的纵坐标和横坐标; N_x, N_y 分别为 RTK GPS 实地测量的纵坐标和横坐标。

4 实例分析

实例 1: 用实测方法对 IKONOS, QuickBird 影像数据研究。

中国农业大学采用苏家坨地区的 2002 年 QuickBird 分辨率为 0.61m 全色波段影像和 2.44m 多光谱融合影像,及其 1:500 比例尺扫描地形图;中国农业大学地区的 2001 年 4 月的 IKONOS 分辨率为 1m 全色波段影像和 4m 多光谱融合影像,及其 1:2000 比例尺扫描地形图;通过实验方法,用高精度的全球定位系统仪器经实地测量,对 IKONOS, QuickBird 卫星遥感数据进行研究,建立了数学关系式,选择地形图上不变的明显地物标志 (如线状地物交叉点) 作为控制点,采取同名点对遥感影像进行几何精校正,并进行了点位精度分析和面误差分析和验证^[1]。

实验资料显示 1m 空间分辨率 IKONOS 遥感影像可以制作比例尺为 1:5000 的影像图,0.61m 空间分辨率 QuickBird 遥感影像基本上可以制作比例尺为 1:2500 的影像图。对于这两种影像可以分别使用 1:2500 与 1:1000 比例尺的地形图,获取同名点坐标数据,进行几何校正,校正后影像可以达到对应几何精度的要求^[1]。空间分辨率为 1m 的遥感影像可以制作的成图比例尺为 1:4430,按国家标准分幅,成图比例尺可达 1:5000。空间分辨率为 0.61m 的遥感影像可以制作的成图比例尺为 1:2721,按国家标准分幅,成图比例尺基本可达 1:2500^[2]。

实例 2: 利用 SPOT-4 卫星遥感影像更新 1:5 万地形图。

2000 年 9 月 ~ 2001 年 4 月,陕西工程测绘院对江苏省 13 市面积约 $10.26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的区域,以 20 世纪 70 ~ 80 年代中期施测的 1:5 万地形图为基础。用 10m 分辨率的 SPOT 和 TM 卫星遥感数据对辖区内的地物要素进行了更新。实践表明,利用 10m 分辨率的 SPOT 和 TM 卫星遥感数据结合原版 1:5 万地形图及 GPS 定位技术,对 1:5 万地形图框架要素的更新是可行的^[2]。与传统方法相比,在工作时间和资金投入上具有明显地优越性。另据四川省遥感信息测绘院利用 10m 分辨率的 SPOT 卫星遥感数据,在山区进行 1:5 万地形图测图的试验资料显示,SPOT 卫星遥感资料基本可满足山地、高山地 1:5 万地形图的测绘要求^[3]。

实例 3:航天影像与卫星影像的比较分析。

航天摄影测量是航空摄影测量的继承和发展,它们都是根据所摄地面的影像测制地图。从航天摄影的角度来看,各类传感器中,侧视雷达属于主动式传感器,其图像不同于中心投影像片的几何特性,既无内方位元素,又无像主点、焦距,几何关系复杂,图像的判读能力较差;全景摄影机的影像虽然分辨率较高但是几何关系很复杂,测量处理时较困难,主要应用于侦察判读;缝隙摄影属于动态摄影,传感器的外方位元素在飞行过程中不断变化;多光谱扫描仪成像的缺点是分辨率低(220m),采用光学机械扫描,可靠性差,图像几何畸变复杂;而画幅式摄影机是最理想的,其主要优点是图像几何关系严密,影像分辨率高,图像畸变小,测图容易,其缺点是工作寿命短,难以获取目标区覆盖的理想像片。例如:美国天空实验室的侦察画幅式像机(S-190B)的影像分辨率为17~30m,但是当以60%的重叠摄影时,基高比仅为0.1,经过实际检验测量的高程精度特别低,只能满足1:15万~1:20万比例尺测图需要^[4]。

5 卫星遥感影像空间分辨率的选择

卫星影像空间分辨率的选择除了考虑不同比例尺成图对影像空间分辨率要求,还要考虑现有可获取的卫星影像产品的规格,因为卫星摄影与航空摄影不同,其摄影高度(即摄影比例尺)是固定的。表2列出几种商用卫星影像的空间分辨率。

| 表 2 卫星影像的空间分辨率 | | | | | |
|----------------|-------------|----------|---------|---------|-----------|
| 卫 星 | QuickBird-2 | IKONOS-2 | SPO T-3 | SPO T-4 | Landsat-7 |
| 最高分辨率 (m) | 0.61 | 1 | 2.5 | 10 | 15 |

人眼的分辨率一般为0.2mm,据此可以计算出纸质各比例尺地形图的地面分辨率(0.2mm乘以地图比例尺的分母),在测绘成图时,凡大于地形图地面分辨率的地物或地貌必须测绘到地形图上。这一要求反映在利用卫星遥感图像进行测绘成图时,对卫星遥感图像空间分辨率的最低要求可以比照为相应比例尺地图的地面分辨率;同理,据此可估算出制作各比例尺专题图所需卫星遥感图像的空间分辨率大小。

空间分辨率选择的最主要依据是制图比例尺的大小,一般来说,为了保持地表细节的清晰度,比例尺越大,要求影像的空间分辨率也就越高^[5]。对于一个给定分辨率的遥感影像来说,若空间分辨率过高则存在信息和数据的冗余,空间分辨率过低,不适合进行该比例尺的制图。空间分辨率或比例尺的选

择同时也要考虑影像所包含的地物内容和纹理特征,如果制图内容是以大面积的流域、海域和植被为主,可以适当降低分辨率,或提高比例尺的大小。各比例尺地图对卫星遥感图像空间分辨率的需求如图1和表3。图中白色部分表示最佳的制图比例尺范围,黑点填充部分表示该分辨率过高,虚线部分表示分辨率低,不适合进行该比例尺的制图。

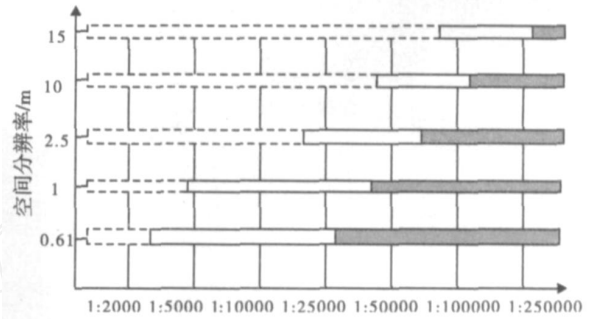


图 1 成图比例尺对卫星遥感图像空间分辨率的需求

表 3 成图比例尺对卫星遥感图像空间分辨率的需求

| 成图比例尺 | 空间分辨率 /m |
|-----------|---|
| 1:250 000 | Landsat-7 (15) |
| 1:100 000 | Landsat-7 (15) SPOT-4 (10) |
| 1:50 000 | SPOT-4 (10) SPOT-5 (2.5m) |
| 1:25 000 | SPOT-5 (2.5m) IKONOS-2 (1m) QuickBird-2 (0.61m) |
| 1:10 000 | IKONOS-2 (1m) QuickBird-2 (0.61m) |
| 1:5 000 | IKONOS-2 (1m) QuickBird-2 (0.61m) |

6 问题及建议

- (1)遥感影像获取相对困难。由于目前高分辨率遥感卫星多为可见光遥感,受制于气候条件的影响,获取一幅质量清晰的遥感影像往往周期相对较长,不能满足实际生产的要求,而航片相对获取成本昂贵。因此,需要充分利用航片和卫片的互补优势,开展高分辨率遥感影像的利用。
- (2)由于目前大面积采用卫星影像更新大比例尺地形图的试验尚缺乏权威的认定,试验的规模仍不够足以模拟生产条件。
- (3)目前市场上所能提供的卫星影像其空间分辨率仍低于航摄像片的分辨率,卫星影像的质量指标及评定尚需有规范制约;商用高分辨率卫星数量

有限,预订卫星影像要受到订单市场的影响。

(4)就目前阶段,在未取得大量可靠的综合统计数据时,暂不宜过度夸大用卫星影像完全取代航摄资料的作用。在进行利用卫星影像更新地形图试验时,应扩大试验区域,并应模拟规模生产条件,忠实记录各种实验数据,包括工时、成本和测绘精度,积累经验,得出科学的、可靠的卫星影像精度与成图精度的关系、效益关系,使卫星影像更广泛地用于基础测绘更新^[6]。

参考文献:

[1] 潘家文,朱德海,严泰来,等. 遥感影像空间分辨率与

成图比例尺的关系应用研究[J]. 农业工程学报, 2005, (9): 124 ~ 128

[2] 王小龙,童亚妮. 利用遥感数据和 GPS 观测数据更新 1:5 万地形图的作业方法[J]. 地矿测绘, 2002, 18 (2): 12 ~ 15.

[3] 蒋红兵. 利用 SPOT 卫星遥感影像测绘 1:5 万地形图的探讨[J]. 四川测绘, 2001, 24 (3): 115 ~ 116

[4] 钱曾波,刘静宇,肖国超. 航天摄影测量[M]. 北京:解放军出版社, 1992

[5] 郭仕德,林旭东. 高空间分辨率遥感环境制图的几个关键技术研究[J]. 北京大学学报·自然科学版, 2004, (1): 116 ~ 120

[6] 徐 韬. 卫星影像与基础测绘数据更新[J]. 应用技术, 2004, (3): 26 ~ 29

The Adaptability Analysis to the Satellite Image Spatial Resolution and Mapping Scale

CHU Yan-feng^{1,2}, LI Er-sen¹, LU Jun¹, ZHANG Kui-ke²

(1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou, Henan, 450052;

2. 65015 Troops, Dalian, Liaoning, 116023)

Abstract: This paper combines the case example to carried on the analysis to the satellite image space resolution and graphics scale adaptability, under the condition of certain graphics scale, how to select by examinations the satellite image of the appropriate space resolution, and how to provide the help for the graphics. At last, the text points out some problems that the satellite remote sensing technique exists currently.

Key words: satellite image; spatial resolution; mapping scale

(上接第 46 页)

A New Thought of Disposing Abnormal Points of Surveying Line

WU Xue-wen, GAO Jin-yao, BAO Geng-sheng

(Key Lab of Submarine Geosciences, Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou, Zhejiang, 310012)

Abstract: Abnormal points are common to see in surveying line such as gravity, magnetic force, GPS, depth and so on. In this paper, a new thought is put forward, which disposes abnormal points by two steps, firstly, eliminating the abnormal points in large scale by improved arithmetic; secondly, eliminating abnormal points in small scale by signal disposal method. Furthermore, the method of using wavelet transform and then spline fitting to approach the real value is given, which harmonizes the comparability and the smoothness, and enhances the elimination effects.

Key words: abnormal point; robust regression; wavelet transform; spline fitting