

# 基于遥感影像生成 DEM 的质量检查

雷 蓉<sup>1</sup>,邱振戈<sup>1</sup>,张士涛<sup>2</sup>

(1. 信息工程大学 测绘学院,河南 郑州 450052; 2. 总参测绘局,北京 100088)

## Quality Check of DEM Derived from Remote Sensing Images

LEI Rong, QIU Zhen-ge, ZHANG Shi-tao

**摘要:**数字高程模型(DEM)是数字摄影测量的重要产品之一,有着非常广泛的应用领域。DEM 数据质量的好坏,直接影响 DEM 应用分析结果的可靠性及应用目标的真正实现。针对用数字摄影测量手段从遥感影像中提取的 DEM,详细探讨多种实用的 DEM 质量检查方法。实验证明,用提供的综合检查方法能快速、准确地发现并定位 DEM 中存在的问题。

**关键词:**DEM;等高线;OpenGL;质量检查

### 一、引言

数字高程模型简称 DEM,是区域地形表面简单的、离散的数字表示模型,它由规则水平间隔处地面点的抽样高程矩阵组成,一般以栅格数据的形式表示。DEM 数据通过一定的算法,能转换为等高线图、透视图、3 维立体景观图、坡度图、断面图、晕渲图以及与其他数字产品复合形成各种专题图产品。对 DEM 数据进行质量评估、质量检验和质量控制已成为测量数据处理的一个十分重要的研究方向和基础理论研究问题之一。DEM 数据质量的好坏,直接影响 DEM 应用分析结果的可靠性及应用目标的真正实现,所以对 DEM 数据进行质量控制是 DEM 可用性的保障。

获取 DEM 的主要手段有多种:传统的地面测量法,基于数字线划地图的内插法,数字摄影测量法,激光法,雷达法等。全数字摄影测量法具有直观性强、可靠性好、精度高等优点,因而它是经常采用的方法。本文研究的就是采用数字摄影测量手段从遥感影像中提取 DEM 的质量检查问题。

### 二、DEM 质量检查内容

不同的 DEM 生产工艺流程导致 DEM 质量检查方法有很大差异,但 DEM 的质量检查均应包括以下基本内容<sup>[1]</sup>:

1. 检查 DEM 原始的数学基础;
2. 检查 DEM 数据起止点坐标的正确性;
3. 检查 DEM 原始数据的质量;
4. 检查 DEM 高程值有效范围区是否正确;

5. 检查生成 DEM 的内插模型;
6. 检查生成 DEM 产品的质量;
7. 检查 DEM 元数据文件是否正确。

这些内容中,对于 DEM 原始的数学基础、DEM 数据起止点坐标的正确性、DEM 高程值有效范围区的正确性、DEM 元数据文件的正确性等问题的检查一般比较容易,而对 DEM 原始数据的质量、生成 DEM 的内插模型及生成 DEM 产品的质量检查则比较困难,也是比较关键。

对 DEM 原始数据质量进行检查的实质是检查数据中是否含有误差(包括系统误差、偶然误差和粗差)。对生成 DEM 产品的质量检查主要是检查 DEM 产品是否含有误差、整体精度如何、是否准确反映地形等。对 DEM 内插模型的检查则要复杂一些,从数学角度而言,可从逼近程度、外推能力、平滑效果、惟一性、计算时间等方面进行比较检查和评价。但在实际应用中,无法对内插模型的这些特性进行检查。更为主要的是,实践表明,影响 DEM 精度的主要因素取决于原始数据的质量和顾及地形特征与否,而与内插并无明显关系。

### 三、DEM 质量检查方法

DEM 质量检查一般有 3 种方法,即目视检查法、半自动检查法和自动检查法。

#### 1. 目视检查法

主要是由计算机生成 DEM 数据的可视化形式,由人工进行判断与检查。比如将 DEM 按高程分层设色,与等高线和扫描影像叠加显示或绘图输出检查,或将 DEM 生成的 3 维晕渲图与等高线叠

加检查,或用 DEM 内插与原始等高线相同等高距的等高线进行套合检查,即所谓等高线回放法。也可将 DEM 生成的等高线与正射影像进行叠加,目视等高线是否有突变情况,或与地形图比较。当地貌形态、同名点(近似)高程差异较大时说明可能有问题。

(1) 基于立体影像的 DEM 检查法

这是一种最基本的检测方法。对 DEM 的局部检查最简单有效的方法是恢复立体像对,将 DEM 格网点显示至立体像对,通过立体观察检查格网点和立体模型的套合情况。目前,全数字摄影测量系统均提供立体目视检查 DEM 的功能。基本过程如下:

1. 依据像对的控制点确定显示范围;
2. 选取落在范围内的格网点;
3. 将 DEM 反算至立体像对并进行显示,如图 1。

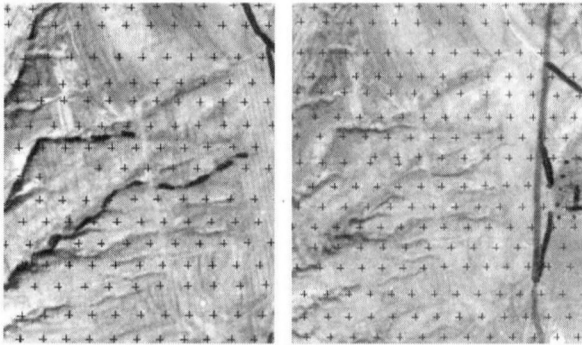


图 1 DEM 在立体像对中显示

(2) 分层设色显示

首先求出 DEM 中高程的最大和最小值,然后将高程分为 10 个等级,按高程由低到高每组赋予由浅到深的颜色进行显示,如图 2 所示。分色显示可从整体上反映地貌的变化趋势,配合水平和垂直方向的断面图显示,对高程异常变化的地方有一定检查效果。

(3) 3 维方式检查

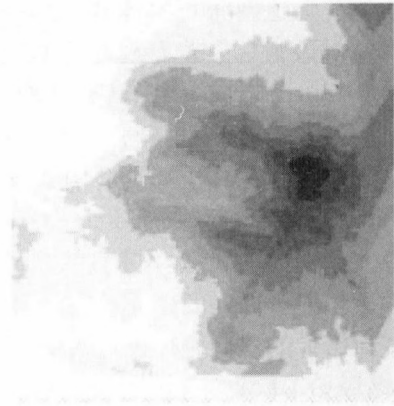
等高线可以是 DEM 应用的产物,利用 OpenGL 3 维显示功能显示 DEM 数据,并将等高线叠加在 DEM 上,这样能清晰直观地看到等高线和 DEM 的总貌与细部,便于用户发现问题,如图 3 所示。

为适应用户从不同角度动态观察 3 维灰度图和等高线的需要,用 OpenGL 函数对生成的 DEM 和等高线进行变换,以实现从对等高线进行不同方位、不同远近、不同角度和放大缩小的显示。

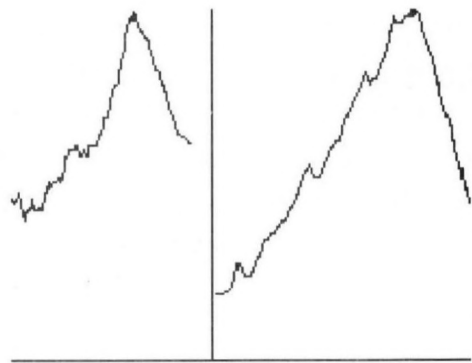
(4) 等高线检查法

等高线可以是 DEM 应用的产物,也可作为生

产 DEM 的原始数据。DEM 和等高线是表示地貌信息的不同产品,因此可用直观的等高线来检查 DEM 的质量。用 DEM 内插的等高线与旧图上的等高线进行套合检查,或将等高线与立体模型套合检查,也可把等高线与正射影像进行叠加,目视检查等高线是否有较大突变。



(a) 分色图片片段



(b) 山头点水平、垂直方向断面

图 2 分色显示

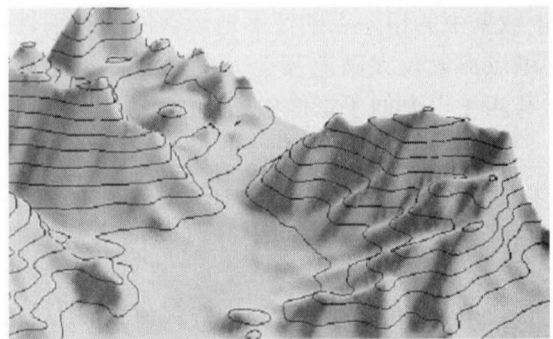


图 3 DEM 等高线 3 维方式检查

2. 半自动检查法(交互式检查)

在全数字摄影测量及交互式摄影测量生产 DEM 的方法中,使用左、右正射影像零立体对 DEM 的检测手段也属于这类方法。一般地,在较成熟的

生产 DEM 的软件中,这种人工交互法是很多的。

使用左、右正射影像零立体效果检查数字正射影像产品的同时,也能说明对应 DEM 的数据精度。根据原始左、右片影像和影像匹配提供的待查 DEM,对由左、右片制作的两个正射影像进行匹配。若待查 DEM 正确,且地面无高程障碍物(房屋、树木和垂直断裂),则这两张正射像片应构成零立体,即其左右视差应该为零。若有视差存在,则可能由于如下两种原因:① 定向参数有错,从而导致左右正射影像不一致,或利用正射影像对的再匹配过程本身有错;② 用以生成正射影像的 DEM 有错。

如果排除第一种可能,那么此时在正射影像对上出现的视差就是 DEM 错误的直接反映。因此,采用基于立体正射影像对的零立体方法可以作为对仅仅利用正射影像的立体叠加进行质量控制过程的补充,以提高原始 DEM 数据的完整性和可靠性。

### 3. 自动检查法(影像分析法)

最常用 DEM 通常是一组用矩阵形式表示的高程数组,实际上为栅格数据。和其他栅格数据一样,可用影像来表达和检查 DEM 高程误差。用影像检查 DEM 的手段主要有两种,即灰度和彩色影像。两种方法均采用色彩对照表建立各高程值和灰度或彩色之间的对应关系,对 DEM 的局部进行详细检测,进而计算出局部区域 DEM 的误差。实际上将 DEM 作为影像时,许多对影像的操作都可用于对 DEM 的检测。

本文先用影像分析算法进行粗差点初步检查,然后再用拟合法或影像相关法进一步检查。

#### (1) 粗差点初步检测

格网 DEM 数据在形式上类似于栅格影像,DEM 数据中的粗差点破坏了地形表面的连续性,与其周围点形成较大高差甚至完全违背常识的高差,而这些粗差点类似于影像中的特征点。因此可采用数字影像中特征点检测法来探测 DEM 的粗差点<sup>[5]</sup>。

本文提出用各个方向单独判断的方法进行检测。

1. 如果有相关的测区分析资料(分析资料信息可预先输入),就利用测区的相关分析资料,确定图幅中大致的高程范围。假设通过分析得出的图幅中最大高程为  $Z_{\max}$ 、最小高程为  $Z_{\min}$ ,检查时可将高程值在  $[Z_{\min} - 5dz, Z_{\max} + 5dz]$  之外的格网点高程都作为粗差值( $dz$  为基本等高距)。

2. 由于地形起伏变化有一定的连续性,大部分情况下即使在陡崖、冲沟等断裂地貌处,在某一方向

上的变化仍是连续的。利用这一地形特征,可分别求取待查点高程与周围邻近 8 个格网点高程的较差  $\Delta Z_i, i = 1, 2, \dots, 8$ ,边界点只利用与其相邻的点。当较差在所有方向上都满足  $\Delta Z_i > 2dz, i = 1, 2, \dots, 8$  时,将格网点定为粗差点。其他点利用下面的拟合法继续检测。

#### (2) 拟合法检查

本文利用待检查点周围的格网点高程内插出该点的拟合高程,将待查格网点的高程和拟合高程相互进行比较,当较差大于一定值时,该点被定为怀疑点。检查所选择内插范围为  $7 \times 7$ ,如图 4 所示。对每一待查点先用距离加权法进行初步判定,如有怀疑则进一步用移动曲面内插法进行检查。

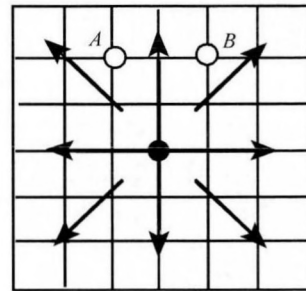


图 4 判别方向

1. 距离加权法。考虑到方向因素对内插点的影响,分别在相对内插点的 8 个方向域(图 4 箭头方向)选取参考点,每个方向单独内插求得拟合高程。各方向高程内插值  $\bar{z}$  由下式求出

$$\bar{z}_i = \frac{\sum_{k=1}^8 W_k Z_{ik}}{\sum_{k=1}^8 W_k}$$

式中,  $Z_{ik}$  为邻近格网点高程,  $W_k$  为权函数,  $W_k$  采用较有普遍性的计算方法

$$W_k = 1.0/d_k^2$$

设格网间距为 1,则  $W_k$  的值在水平、垂直方向由近至远依次为:  $1, \frac{1}{4}, \frac{1}{9}$ ,而在对角方向依次为  $\frac{1}{2}, \frac{1}{8}, \frac{1}{18}$ 。当内插值  $\bar{z}$  与检查点高程较差在 4 个以上的方向超过等高距时作为待查点,进行一步用移动曲面法来检查。

2. 移动曲面法。以待查点周围相邻的 24 个格网点,采用完整的二次曲面方程进行拟合。相应的误差方程为

$$v_i = ax_i^2 + bx_i y_i + cy_i^2 + dx_i + ey_i + f - z_i$$

格网点的权为

$$p_i = \frac{1}{d_i^2}$$

如果内插值与待查点高程值大于基本等高距,该点则定为怀疑点。保留内插值作为编辑或影像相关检查的基础。

### (3) 影像相关检查

利用垂直线迹法(VLL)进行影像相关检查。按照立体像对同名像点的投影线相交的原理,在地面格网点平面坐标已给定的条件下,与此地面点相对应的左右图像的投影线一定相交于 $(X, Y)$ 点的铅垂线上。由于立体像对的内外方位元素已知,利用已知的格网点高程,可按共线条件方程式求左右图像上的像点 $(x, y), (x', y')$ 。如果 $Z$ 带有一定误差,所求像点并不是真正的同名点。 $Z$ 误差越大则像点相关性越差。通过求解相关系数,检查格网点高程是否正确。具体做法是采用相关测度为相关系数,高程初始值为格网高程或拟合高程,高程变化间距为 $1/4$ 基本等高距。在 $[Z - 5dz, Z + 5dz]$ 范围内求取最大相关系数点作为匹配结果。 $Z$ 为初始高程, $dz$ 为等高距。

图5为利用上述方法进行DEM检查的结果显示。图中绿色点代表检查正确的点,黄色点代表怀疑点,红色点代表错误点。

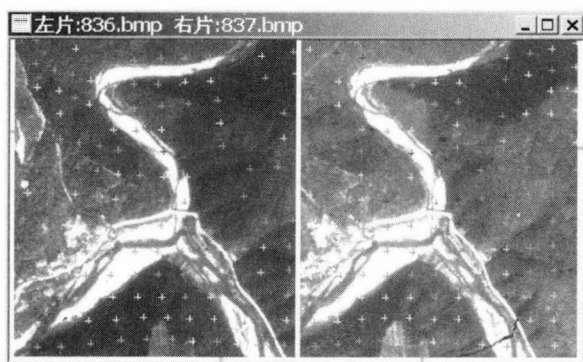


图5 影像相关检查结果显示

## 四、结束语

对DEM数据进行质量检查是DEM生产中的重要环节。本文针对用数字摄影测量手段从遥感影像中提取的DEM,讨论了多种DEM质量检查方法。上述方法中,目视检查法作业量大,而且只能发现那些较明显的粗差点;零立体正射影像检查法用于较特殊的场合,即必须有正射影像对。自动检查法效率高,可靠性较高,但对粗差点的定义值得进一步讨论。另外,自动检查得到的怀疑点位较多,需要多种方法的综合使用,相互检验,才能得到令人满意的结果。

结合前期研制的基于遥感影像的DEM自动生成软件,开发了DEM的质量检查软件。该软件实现了本文提到的所有方法,目前软件正在部分生产单位试用。

## 参考文献:

- [1] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.
- [2] 张祖勋,张剑清. 数字摄影测量学[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1995.
- [3] 范大昭. 数字地图矢量数据检查的研究与实践[D]. 郑州:信息工程大学,2001.
- [4] 徐建达. 航测地貌数据的质量控制[D]. 郑州:信息工程大学,2002.
- [5] 单杰. 一种交互式DEM粗差检测方法[J]. 解放军测绘学院学报,1993,(2).

(上接第32页)

- [2] 董绪荣,张守信,华仲春. GPS/INS组合导航定位及其应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1998.
- [3] 总参谋部测绘局. 摄影测量与遥感[M]. 北京:解放军出版社,2001.
- [4] 徐卫明. 姿态测量与定位在高空间分辨率航空遥感和摄影中的应用[J]. 红外月刊,2002,(9):7-15.
- [5] 张守信. GPS卫星测量定位理论与应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,1996.

- [6] 袁建平,方群,郑谔. GPS在飞行器定位导航中的应用[M]. 西安:西北工业大学出版社,2000.
- [7] 钱增波. 解析空中三角测量基础[M]. 北京:测绘出版社,1980.
- [8] 尤红建,江月松,李树楷. 机载遥感直接对地定位的误差分析和精度估计[J]. 测绘学报,1998,27(1):88-91.
- [9] SKALLOUD J. Optimizing Georeferencing of Airborne Survey System by INS/DGPS[D]. [s.l.]: Calgary University, 1999.