

# ASTER-GDEM 与 SRTM3 数据质量精度对比分析

郭笑怡,张洪岩,张正祥,侯光雷,赵建军

(东北师范大学城市与环境科学学院,吉林 长春 130024)

**摘要:** ASTER-GDEM 是最新的全球数字高程模型,具有较高的分辨率;SRTM3 是目前研究人员广泛应用的地形数据。结合实测数据、矢量化地形图,从高程精度、位置精度和坡度因子 3 方面对比分析两种数据精度。结果表明:ASTER-GDEM 数据高程精度低于 SRTM3 数据,而水平位置精度较高,二者各级坡度百分率近似,与国家 1:5 万数字地形图生成的 DEM 差异较大。

**关键词:** ASTER-GDEM;SRTM3;精度

**中图分类号:** TP 79      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2011)03-0334-06

## 1 引言

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是针对地形的数字建模过程,它利用有限的高程数据实现对复杂地球表面的近似模拟,大区域、高精度、高分辨率是其未来的发展趋势。地形是众多地表过程发生的基础,经常用于地貌、地质、生态、水文等方面的分析。地理信息系统技术的普及使得 DEM 应用领域日益扩大,并且已经成为遥感与 GIS 中进行三维空间数据处理、仿真模拟和地形分析的核心数据<sup>[1]</sup>。从 GTOPO30 到 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission),再到最新发布的 ASTER-GDEM(Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model),研究者们一直在全球尺度上不断创新,追求精度更高、覆盖更广的数字高程模型。

1986 年法国发射了 SPOT 卫星,这是全球第一颗可以提供立体相对的卫星,并且能够用于提取 DEM 高程数据,这是科学界首次利用影像提取大范围的三维地形数据<sup>[2]</sup>。近年来,许多卫星传感器都载有立体成像系统,如:IKONOS、QuickBird 和 ALOS 等。应用立体相对提取 DEM 已成为国际遥感研究的重要内容,并发展了很多新算法,相关的分析、评价已经见诸报道<sup>[3-4]</sup>。另一种常用方法是利

用干涉雷达提取高程信息,它的优点是可以全天候观测,并具有一定的穿透性<sup>[5]</sup>。卫星和雷达技术的进步,使得 DEM 数据获取更为简单方便。ASTER-GDEM 和 SRTM 数据就是这两种技术的典型代表。

上文中提到的两种 DEM 都是遥感技术在地形测量应用中的成功典范,打破了国界给地形数据获取和应用带来的不便。两种地形数据在不同地区、不同地貌类型下,其适用性是有差异的。本文选择吉林省蛟河市为典型实验区,以 GPS 实测数据和 1:5 万数字化地形图作为参考,结合 GIS 空间分析技术对 ASTER-GDEM 和 SRTM3 两种 DEM 数据进行分析,并评价其数据质量,以期今后的实际应用提供依据。

## 2 实验区与数据

### 2.1 实验区概况

本文选择吉林省蛟河市为两种数据精度对比的实验区。蛟河市位于吉林省中东部,地理位置在 126°45′~126°56′E,43°52′~44°09′N 之间,地处松花湖上游,长白山西麓,为松辽平原向长白山地过渡带。该区地势起伏较为明显,东北高,西南低;地貌类型复杂,多是中低山脉和丘陵地带,有少量的河谷平原。最高峰是老爷岭的五指峰,海拔为 1 284 m。区内居民点较少,植被覆盖以林地、耕地为主。

收稿日期:2010-12-14;修订日期:2011-03-23

基金项目:国家 973 项目(2009CB426305),东北师范大学“十一五”科技创新平台建设计划项目(106111065202)资助。

作者简介:郭笑怡(1985—),男,吉林省吉林市人,硕士研究生,主要从事 GIS 和遥感应用方面的研究。E-mail:guoxy914@nenu.edu.cn。

通讯作者:张洪岩(1963—),男,吉林安图人,博士,教授,博士生导师,主要从事地理信息系统和环境遥感研究。E-mail:zhy@nenu.edu.cn。

2.2 数据与数据处理

实验区的 ASTER-GDEM 数据和 SRTM3 数据分别获取于 NASA 和 马里兰大学网站。野外 GPS 实测数据是 2010 年 8 月 28 日通过手持 GPS 采集,经 ArcPad 软件处理。研究区内共 273 个采样点,图 1 为 GPS 采样点路线,断开处为隧道,无 GPS 卫星信号。此外,实验区范围内的地形图等资料比较齐全,适合检查高程数据的精度。精度验证数据通过对 1:5 万地形图进行扫描矢量化,并依据我国 1:5 万 DEM 生产标准,在 ArcGIS 软件中生成分辨率为 25 m 的 DEM(下文中记作 TINDEM)。ASTER-GDEM、SRTM3 以及 GPS 实测点数据都采用 WGS-84 参考椭球体的经纬度坐标。为了方便与 TINDEM 数据进行比较,将 WGS-84 坐标转换为高斯-克吕格投影下的西安 1980 平面坐标系。



图 1 研究区和 GPS 采样路线示意图

Fig. 1 Study area and route of GPS points

3 数据对比与分析

3.1 数据参数对比

SRTM 数据于 2000 年 2 月 11~22 日美国“奋进号”航天飞机干涉雷达测绘而成,是较完整的全球区域高分辨率数字地形数据。它包括 SRTM1 和 SRTM3 两种,空间分辨率分别是 1"和 3",大约为 30 m 和 90 m,每个 90 m 的像是 9 个 30 m 像元的算术平均值。目前,除美国本土外,其他地区仅公开 SRTM3 数据,因此本文对 SRTM3 数据进行对比分析。另外,许多地区的 SRTM3 还存在数据空洞。尽管如此,SRTM3 在全球范围内仍有广泛的应用和科研价值。

ASTER 是美国航天局(NASA)与日本经济产业省(METI)合作发射的高分辨率卫星成像设备,在可见近红外波段(VNIR)可以对地面进行立体观测。2009 年 6 月 30 日由美日共同发布了 ASTER-GDEM 数据,由大约 130 万个 ASTER-L1B 数据立

体像对制作完成,空间分辨率为 1",这在一定程度上弥补了 SRTM3 数据在空间分辨率以及数据空洞方面的不足。在其公布之前,国内外许多学者都曾尝试应用 ASTER 影像的立体像对建立 DEM,但精度通常较差<sup>[6-7]</sup>。

从表 1 看出,ASTER-GDEM 数据的现势性优于 SRTM3;两者都采用了地理信息系统和遥感数据中常用的 GeoTIFF 格式,为使用者提供了方便;前者的覆盖范围远大于后者,ASTER-GDEM 数据覆盖程度达全球陆地面积的 99%,而 SRTM3 仅有 80%。

表 1 ASTER-GDEM 与 SRTM3 数据参数对比

Table 1 The parameters contrast between ASTER-GDEM and SRTM3

|                           | ASTER-GDEM | SRTM3     |
|---------------------------|------------|-----------|
| 数据来源                      | ASTER 影像   | 干涉合成孔径雷达  |
| 发布时间                      | 2009 年     | 2003 年    |
| 数据格式                      | GeoTIFF    | GeoTIFF   |
| 空间分辨率/rad·s <sup>-1</sup> | 1(约 30 m)  | 3(约 90 m) |
| 垂直精度(标准差)/m               | 7~14       | 10        |
| 水平精度/m                    | 30         | 20        |
| 覆盖范围                      | 83°N~83°S  | 60°N~56°S |

3.2 高程精度评价

DEM 中的高程信息是其应用的主要价值体现,高程误差是评价 DEM 数据质量最重要的一个方面。常用的高程精度评价方法有检查点法、剖面法和等高线回放法。本文采用检查点法,以野外 GPS 实测高程作为检查点的真值,在 ASTER-GDEM 和 SRTM3 数据上提取对应点进行比较,并且建立高程中误差模型,对 ASTER-GDEM 和 SRTM3 的高程精度进行评价。其公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H_i - H'_i)^2}$$

(1)

其中: $H_i$  为 GPS 实测高程, $H'_i$  为对应点在 DEM 上的高程, $n$  为采样点的个数。RMSE 是一种广泛应用的 DEM 高程精度评价模型,在美国 USGS 各尺度 DEM 中都以 RMSE 作为其垂直精度的衡量标准,它并不反映单个点位误差的大小,而是从整体意义上描述地形参数和其真值的离散程度<sup>[8]</sup>。

将采样点对应的 ASTER-GDEM 和 SRTM3 数据高程值分别与野外 GPS 实测数据进行线性回归分析。结果表明,在研究区内,两种 DEM 数据高程值与实测结果有显著的相关性,趋势线的斜率均接近 1,SRTM3 数据与 GPS 值的相关系数大于 ASTER-GDEM 与 GPS 的相关系数。

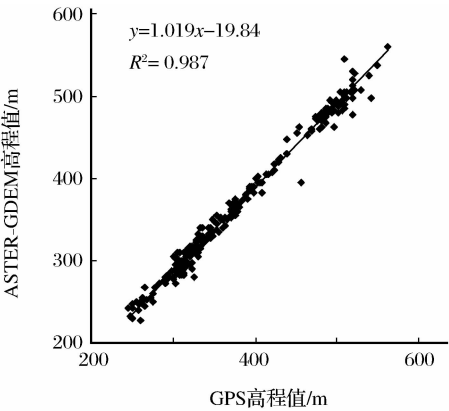


图 2 ASTER-GDEM 与 GPS 线性回归分析

Fig. 2 Correlation between ASTER-GDEM and GPS points

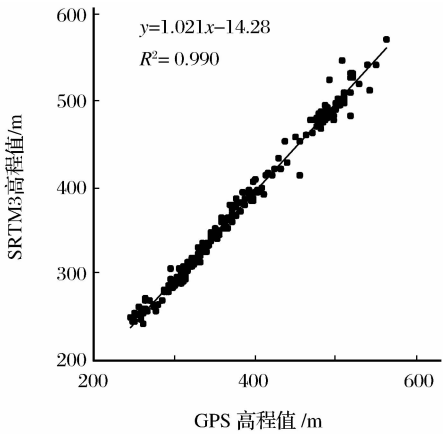


图 3 SRTM3 与 GPS 线性回归分析

Fig. 3 Correlation between SRTM and GPS points

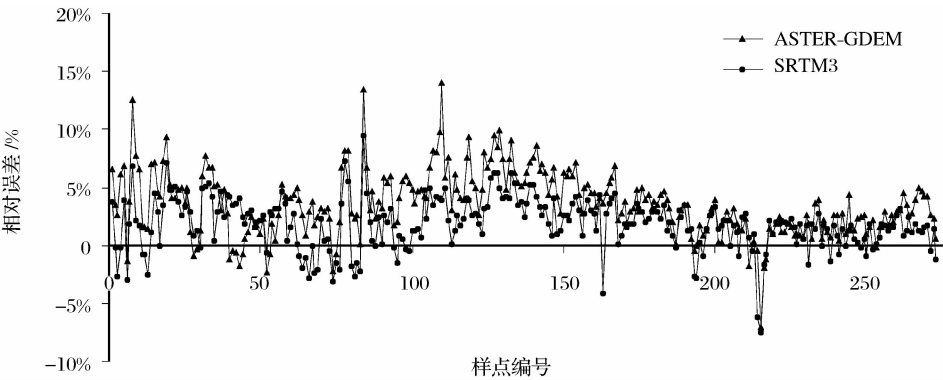


图 4 ASTER-GDEM 和 SRTM3 与 GPS 高程采样线上对应点相对误差百分率

Fig. 4 Percentage errors in elevation from GPS points for ASTER-GDEM and SRTM3

从以上 3 个方面的分析中可以看出,在本研究的实验区内,ASTER-GDEM 的高程精度低于 SRTM3。如果在地形起伏平缓、高程变化不大的平原地区可以优先考虑使用 SRTM3 数据,尽管其分辨率较低,但是高程精度与实际差异较小。而在山区丘陵地带,局部地形复杂,ASTER-GDEM 可以真

应用 ArcGIS 软件提取采样点在 DEM 中的高程值,并且计算两种 DEM 数据的高程中误差。结果如表 2 所示:在 273 个采样点中,ASTER-GDEM 和 SRTM3 数据的高程中误差分别是 15.68 m、10.39 m。在 ASTER-GDEM 数据中对应点高程值小于 15 m 的有 178 个,而 SRTM3 数据则有 249 个。可见在山区和丘陵地带,ASTER-GDEM 数据和 SRTM3 数据的垂直精度都没达到官方提供的参考数值,但是后者垂直精度明显优于前者。

表 2 ASTER-GDEM 和 SRTM3 采样点数据对比分析

Table 2 Analysis of sampling points between ASTER-GDEM and SRTM3 data

|            | RMSE/m | 绝对误差<br>平均值/m | 高程均<br>值/m | <15 m  |
|------------|--------|---------------|------------|--------|
| ASTER-GDEM | 15.68  | 13.29         | 363        | 65.20% |
| SRTM3      | 10.39  | 8.58          | 369        | 91.21% |

从图 4 可以看出,ASTER-GDEM 的高程误差与 SRTM3 数据相比波动较大,误差值不稳定。此外,DEM 高程值大多数要大于 GPS 实测值,ASTER-GDEM 中相对误差率大于 0 的有 254 个,SRTM3 有 224 个。这是由于 ASTER-GDEM 是利用遥感影像立体像对建立,不能消除建筑物和植被覆盖的高度影响;而 SRTM3 是干涉雷达进行地形测绘,可以穿过某些植被覆盖度较低的区域到达地面,所以 SRTM3 误差率大于 0 的采样点个数少于 ASTER-GDEM。

实地反映地表起伏形态。

3.3 位置精度评价

通常对 DEM 精度质量进行评价多是基于垂直精度的分析,极少考虑水平位置精度,但其平面位置精度仍然存在很多不确定性,影响数据使用。DEM 都是单波段的灰度图像,建立解译标志困难,不能对

DEM 影像进行纠正。为了验证两种 DEM 产品数据的水平位置精度,选择由 1 : 5 万地形图生成的 DEM 为参照,首先将两种低分辨率的 DEM 数据重采样,生成像元大小为 25 m 的 DEM,这样可以保证高程精度没有损失。然后在 DEM 上做南北、东西方向的剖面线,比较 ASTER-GDEM、SRTM3 与地形图生成的 DEM 3 种数据剖面线高程极值的位置,依此判定数据的水平位置精度(图 5)。

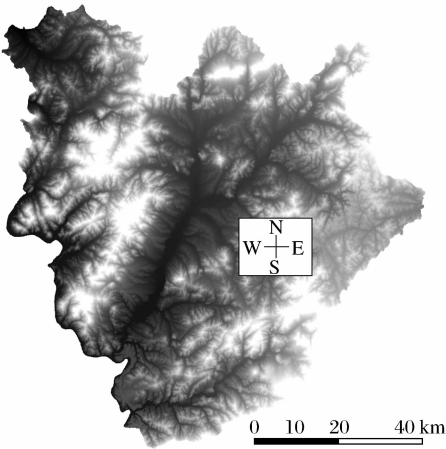


图 5 剖面线位置示意图  
Fig. 5 The location of elevation profile

比较不同 DEM 的剖面曲线,由于数据本身配准误差,图 6 中 GDEM、SRTM3 与 TINDEM 剖面线上的高程曲线都不完全吻合,但是曲线的趋势相似,ASTER-GDEM 剖面曲线更接近 TINDEM,相似度较高。图 6(b)、(c)、(d) 3 幅图中可以看出,ASTER-GDEM 和 SRTM3 数据剖面曲线都要滞后于 TINDEM,可以判定 DEM 数据的偏移方向一致,产生这种偏移效应的原因与卫星和航天飞机的飞行轨道方向有关。比较图 6 中的 4 幅图,在南北方向 ASTER-GDEM 与 TINDEM 的极值点几乎在同一位置,误差微小,东西方向上误差约为 100 m,整体向东偏移;SRTM3 在两个方向上的误差都约为 100 m,整体向西南方向偏移。在南北方向上 ASTER-GDEM 与 TINDEM 吻合,SRTM3 相差大约 1 个像元;在东西方向上,ASTER-GDEM 与 TINDEM 相差约为 3 个像元,SRTM3 相差大约 1 个像元。两种 DEM 数据在南北方向上的精度都要高于东西方向,整体上 ASTER-GDEM 位置精度优于 SRTM3 数据。

3.4 坡度因子评价

DEM 数据应用分为两个方面,一是作为地理信息高程数据的基础直接应用,二是将 DEM 进行变

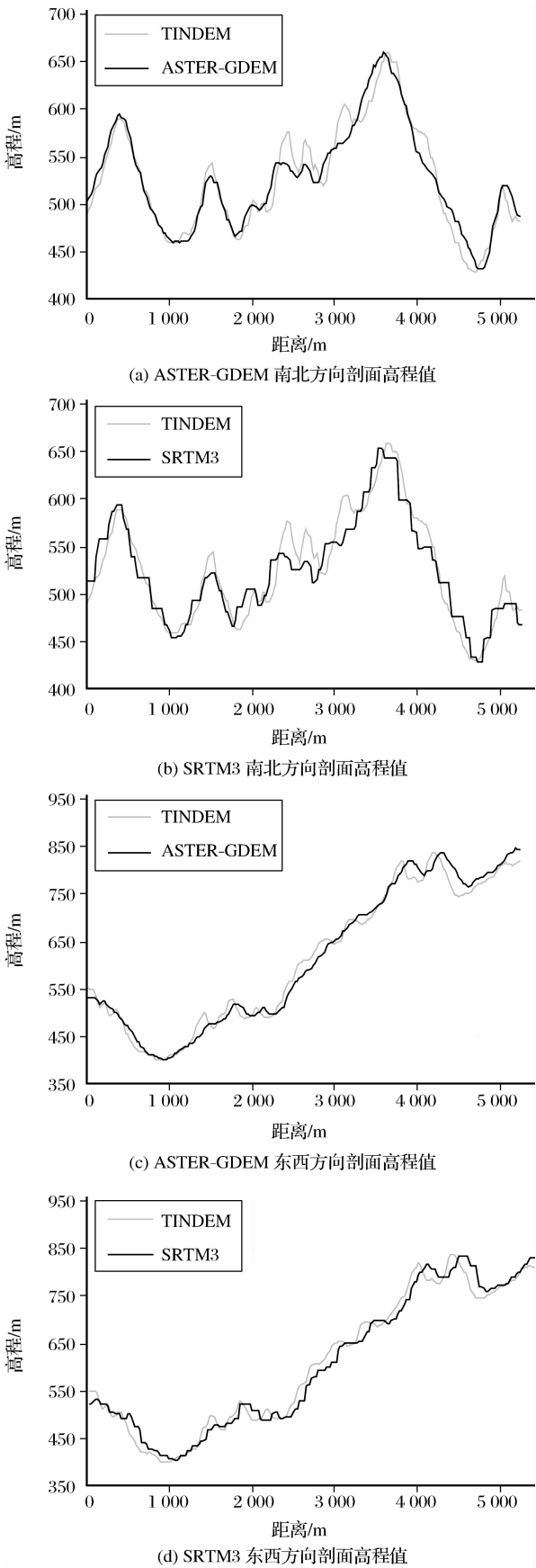


图 6 南北、东西方向剖面高程

Fig. 6 North-south and east-west elevation profile

换,派生出其他形式的数据,这是面向用户的间接应用<sup>[9]</sup>,坡度、坡向就属于这一类,它们的精度对基于 DEM 的地学分析有重要意义。坡度反映地表形态变化,是决定地表物质与能量再分配的关键地形因

子,不同类型的 DEM 其信息容量和精度都有区别<sup>[10]</sup>。本研究依据第二次全国土地调查耕地坡度分级体系,对研究区内各级别的坡度栅格进行统计,如表 3 所示。

表 3 3 种 DEM 不同坡度等级栅格比例  
Table 3 Percentage slope of the three DEMs

| DEM 类型     | ≤2°/% | 2~6°/% | 6~15°/% | 15~25°/% | ≥25°/% |
|------------|-------|--------|---------|----------|--------|
| TINDEM     | 19.86 | 15.25  | 33.05   | 26.41    | 5.43   |
| ASTER-GDEM | 9.50  | 28.22  | 41.20   | 18.71    | 2.36   |
| SRTM3      | 15.58 | 26.03  | 39.73   | 15.61    | 1.08   |

通过比较可以发现,TINDEM、ASTER-GDEM 和 SRTM3 的最大坡度分别为 60.06°、60.50°和 43.05°,平均坡度为 10.76°、9.36°和 8.50°,分辨率越高其最大坡度值和平均坡度值越大。分辨率高的 DEM 对地形描述精确。

与 TINDEM 相比,ASTER-GDEM 和 SRTM3 在 2~6°和 6~15°两个等级范围内的栅格比例都大于 TINDEM,其他 3 个等级则相反;3 种数据的栅格比例最多的都在 6~15°;在研究区内 ASTER-GDEM、SRTM3 各级的坡度栅格所占比例接近,它们与 TINDEM 对这一地区的坡度描述有明显差异;TINDEM 各个坡度等级的分布相对平均。

4 结 语

ASTER-GDEM 和 SRTM3 都是具有较高空间分辨率、大尺度、地理信息系统通用的数据格式,并且免费向用户开放,具有较高的科研价值和应用前景。本文以 GPS 实测数据和 1:5 万数字化地形图生成的 DEM 为参考,对 ASTER-GDEM 和 SRTM3 两种 DEM 数据,从高程精度、平面位置精度和坡度因子 3 方面进行了对比分析。实验结果表明:两种 DEM 数据与 GPS 实测数据具有较强的相关性,SRTM3 数据的高程精度优于 ASTER-GDEM,且二者的高程值较实测数据偏大;ASTER-GDEM 整体向东偏移约为 3 个像元,SRTM3 向南和西偏移 1 个像元,ASTER-GDEM 水平位置精度数据稍好;ASTER-GDEM 和 SRTM3 各级坡度百分率近似,与 TINDEM 相比地形描述差异较大。

在不同地区每种数据的适用性不同,低海拔平原地区应选用精度较好的 SRTM3 数据;地形复杂的中低山区丘陵地带要优先考虑分辨率高的 ASTER-GDEM 数据;地形起伏剧烈的高山地区(如青藏高原),由于镜面反射、回波后置等原因,

SRTM3 数据存在大范围的空洞,此时,对 SRTM3 数据进行优化处理,利用 ASTER-GDEM 对其进行填充。两种数据具有很好的互补性,既可以得到应用区域完整的数字高程模型,又能够保证数据精度。因此在今后的实际应用中可根据不同情况进行选择。

参考文献(References):

[1] Tang Guo'an,Gong Jianya,Chen Zhengjiang,et al. A Simulation on the Accuracy of DEM Terrain Representation[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2001,30(4):361-365. [汤国安,龚建雅,陈正江,等. 数字高程模型地形描述精度量化模拟研究[J]. 测绘学报,2001,30(4):361-365.]

[2] Nikolakopoulos K G,Kamaratakis E K,Chrysoulaks N. SRTM vs ASTER Elevation Products. Comparison for Two Regions in Crete,Greece[J]. International Journal of Remote Sensing,2006,27(21):4819-4838.

[3] Lee H Y,Kim T,Lee H Y. Extraction of Digital Elevation Models from Satellite Stereo Images Through Stereo Matching based on Epipolarity and Scene Geometry[J]. Image and Vision Computing,2003,21:789-796.

[4] Toutin T H. Elevation Modelling from Satellite VIR Data:a Review[J]. International Journal of Remote Sensing,2001,22(6):1097-1125.

[5] Hu Deyong,Li Jing,Chen Yunhao,et al. Radargrammetry DEM from Different Beam Model Radarsat Imageries and Accuracy Comparison[J]. Remote Sensing Technology and Application,2006,21(6):541-546. [胡德勇,李京,陈云浩,等. 不同模式 Radarsat 影像 DEM 提取及精度比较[J]. 遥感技术与应用,2006,21(6):541-546.]

[6] Hui Fengming,Tian Qingjiu,Li Yingcheng. Production and Accuracy Assessment of DEM from ASTER Stereo Image Data[J]. Remote Sensing Information,2004,1:14-18. [惠凤鸣,田庆久,李应成. ASTER 数据的 DEM 生产及精度评价[J]. 遥感信息,2004,1:14-18.]

[7] Xia Tao,Yang Wunian,Liu Hanhu,et al. Automatic Digital Elevation Model (DEM) and Orthoimage Generation from

ASTER Image[J]. Science of Surveying and Mapping, 2007, 32(3):144-145. [夏涛, 杨武年, 刘汉湖, 等. 利用 ASTER 立体像对提取相对 DEM 及正射影像地图制作[J]. 测绘科学, 2007, 32(3):144-145. ]

[8] Tang Guo'an, Liu Xuejun, Lv Guonian. DEM and Method and Theory of Geographical Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2005. [汤国安, 刘学军, 闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005. ]

[9] Li Zhilin, Zhu Qing. Digital Elevation Model[M]. Wuhan: Wuhan Surveying and Mapping Technology University Press, 2000. [李志林, 朱庆. 数字高程模型[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000. ]

[10] Yan Yechao, Zhang Shuwen, Yue Shuping. Evaluation of SRTM Data Quality in Area of Undulating Hills of Northeast China [J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Science, 2008, 25(1):41-46. [闫业超, 张树文, 岳书平. 东北川岗地区 SRTM 数据质量评价[J]. 中国科学院研究生院学报, 2008, 25(1):41-46. ]

Comparative Analysis of the Quality and Accuracy  
between ASTER-GDEM and SRTM3

GUO Xiao-yi, ZHANG Hong-yan, ZHANG Zheng-xiang,  
HOU Guang-lei, ZHAO Jian-jun

(Northeast Normal University School of Urban and Environment Sciences, Changchun 130024, China)

**Abstract:** ASTER-GDEM was a kind of data for global DEM and jointly developed by Japan and America. It was up-to-date with high resolution; SRTM3 was one kind of terrain data widely used by researchers. This paper describes assessment carried out over the ASTER-GDEM and SRTM3 data. The study area was located in Jilin, China. First, the data parameters were analyzed in the ASTER-GDEM and SRTM3. Then the vertical accuracy of the data was assessed by using GPS points data. Comparison between ASTER-GDEM and SRTM3 allowed a qualitative assessment of the horizontal component of the error, while statistical measures were used to estimate their accuracy. At last, slope percentages were calculated for different data. In the case, the accuracy of ASTER-GDEM was lower than SRTM3 at elevation, but higher at horizontal position, at the same time, it was rather different from the slope percentages of DEM made by digitize terrain map. The following conclusions were drawn from this study: ASTER-GDEM was appropriate for mountainous regions, and SRTM3 was suitable in plain area.

**Key words:** ASTER-GDEM; SRTM3; Accuracy