

# 控制点数量与 DEM 分辨率对海岸带遥感影像正射校正精度影响分析

刘善伟<sup>1,2,3</sup>, 张 杰<sup>4,5</sup>, 马 毅<sup>4,5</sup>

(1. 中国科学院 烟台海岸带与可持续发展研究所, 山东 烟台 264003; 2. 中国科学院 南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 4. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061; 5. 海洋环境科学与数值模拟国家海洋局重点实验室, 山东 青岛 266061)

**摘要:**在保证海岸带区域控制点均匀分布的基础上,对 3 景 SPOT-5 影像分别使用 1 5 万 DEM 和 SRTM90m 数据,开展 6 个、9 个、12 个控制点的影像正射校正。结果表明:在海岸带区域,基于传感器物理模型的 1 景 SPOT-5 影像正射校正,6 个控制点即可保证较高的精度,控制点数量的增多对精度的提高并不显著;1 5 万 DEM 比 SRTM90m 数据对影像的正射校正精度略高,但并不明显,在缺少 1 5 万 DEM 时,用 SRTM90m 数据代替亦能满足 908 课题的精度要求,进一步验证了 SRTM90m 数据在高分辨率遥感影像正射校正中的可用性。

**关键词:**海岛海岸带;控制点数量;DEM 分辨率;SPOT-5 影像

**中图分类号:** TP751

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3096(2009)04-0009-05

我国 908 海岛海岸带卫星遥感调查课题以高分辨率的 SPOT-5 卫星遥感影像为基础,由于原始影像存在一定的几何变形,需利用一定数量的地面控制点进行影像精校正。研究区域的海岛海岸带,大部分为山地和丘陵,地形起伏较大,常用的多项式校正方法难以消除地形因素对影像局部变形的影响,其校正结果不能满足项目规程中 2 个像素的校正误差要求<sup>[1]</sup>,必须进行正射校正,而控制点数量以及 DEM(Digital Elevation Model,数字高程模型)分辨率是影响校正精度的主要因素。

控制点采集过程耗费时间相对较长,动用人力物力较多,最佳的控制点数量对于提高工作效率、节省采集成本非常重要;课题组现有的 1 5 万 DEM 不能覆盖研究区域,在未覆盖区域,其他数据能否代替 1 5 万 DEM 需要进一步验证。

目前,SPOT-5 影像正射校正方法的相关研究比较多,其中比较典型的有:代华兵<sup>[2]</sup>在地形复杂的林区,使用星基差分 GPS 测量控制点,并利用 1 1 万地形图制作的 DEM 和 SPOT-5 物理模型对 SPOT-5 影像进行正射校正,控制点总数 14 个,所有控制点总的点位误差 1.337 个像元,最大 RMS 误差为 2.046 个像元;刘云峰<sup>[3]</sup>在不同 DEM 数据对卫星遥感影像校正精度影响试验中得出:利用 1 25 万地形图上所有等高线、高程点生成的 50 m 分辨率

DEM 数据与利用 1 5 万地形图上所有等高线、高程点生成的 25 m 分辨率 DEM 数据对校正精度影响不可以忽略,中误差最大相差达到 0.5 个像元。综述相关研究,未对不同控制点数量对正射校正精度的影响做具体的比较分析,此外,所使用的 DEM 多以地形图上矢量化等高线制作而成,其精度与航摄获取的 DEM 亦会有所区别。

作者针对海岸带影像特征进行控制点设计与采集,并在 6 个、9 个和 12 个控制点的情形下分别基于两种 DEM 数据对 3 景 SPOT-5 影像进行多次正射校正试验,分析控制点数量与 DEM 分辨率对遥感影像正射校正精度的影响,为选取合适分辨率的 DEM 以及最佳的控制点数量提供依据。

## 1 数据

### 1.1 遥感影像

选用轨道号为 292-274,290-274 和 292-279 (以下仅称轨道号)3 景 SPOT-5 卫星 2003 年以后拍摄

收稿日期:2008-12-12;修回日期:2009-02-18

基金项目:国家海洋局 908 专项项目(908-01-WY02,908-01-WY06)

作者简介:刘善伟(1982-),男,山东青岛人,博士研究生,主要研究方向为海洋地理信息系统与遥感应用,E-mail:shanweiliu@163.com

的 1A 级影像数据作为试验对象,其覆盖地区多为山地丘陵,具有正射校正的必要性。影像的空间分辨率为全色 2.5 m、多光谱 10 m,云覆盖不超过 10%,影像层次丰富、清晰。用全色影像配准多光谱影像,并采用主成分分析法融合得到 2.5 m 分辨率的彩色影像。

## 1.2 DEM 数据

1:5 万 DEM 数据:1:5 万标准分幅 DEM 数据,航摄生产,分辨率为 25 m,采用西安 1980 坐标系,经坐标转换为 WGS84 坐标系,以 ARC/INFO GRID 格式存储。

SR TM90m 数据:中国地球系统科学数据共享网提供的 SR TM90m 数据,由美国航空航天局(NASA)、美国图像测绘局(NIMA)、德国及意大利航天局共同实施的航天飞机雷达地形测量任务获取,分辨率为 90 m,采用 WGS84 坐标系统,以 TIFF 格式存储。

## 2 方法

### 2.1 控制点设计

地面控制点是一个在影像上可以分辨并能在地图上精确定位的地表位置,包括:影像坐标(第  $i$  行,第  $j$  列)和地图坐标(以经纬度为单位的地理坐标或以 m 为单位的投影坐标)。地面控制点的质量、数量和分布等指标直接影响了影像校正的精确性和可靠性,选取标准如下:(1) 地面控制点应选择在影像中纹理清晰、特征明显的地方,如线状地物的交角或地物拐角上,交角必须良好( $30^\circ \sim 150^\circ$ )。推荐选择等级公路附近的细小土路交叉口(靠近等级公路的目的是提高踏勘效率,选择土路是因为其影像上的亮度普遍较高);(2) 地面控制点所在位置应空间开阔、易于定位,保证 GPS 接收到有效信号和仪器安全。由于研究区域范围大,且海岸带呈条带状,常规的控制点设计方法并不适用,作者提出如下方法。

#### 2.1.1 分布原则

调查所采用的遥感影像皆含水、陆两部分,在海域中无法布设控制点,不能像内陆影像一样实现控制点在整景影像内的均匀分布;以海岸线为基准向陆缓冲 5 km 为研究区域(红线向海一侧),该区域呈不规则条带状,约占整景影像面积的 1/10,若对影像的整个陆地部分采集控制点不但费时费力,而且没有必要。

作者以岸线为基准,把向陆缓冲 10 km 的边线作为控制点布设的边界,一方面实现了对研究区域的完全控制,另一方面也可以提高踏勘效率,降低数据采集成本。在 10 km 宽的条带内,要沿海边和边界以内均匀布设控制点。岸线相对平滑的区域,控制点可稀疏一些,如图 1a;岸线比较曲折的区域,可根据岸线的弯曲情况在凹凸处布设控制点,从而控制整个不规则区域,如图 1b;对于有海岛的影像,不能够登岛的,则在距离海岛最近处要有控制点,能够登岛的,尽量在岛上布设控制点,以提高海岛的定位精度,如图 1b;对于相邻两景影像,应在其重叠区域选取公共控制点,以保证影像校正后顺利接边。

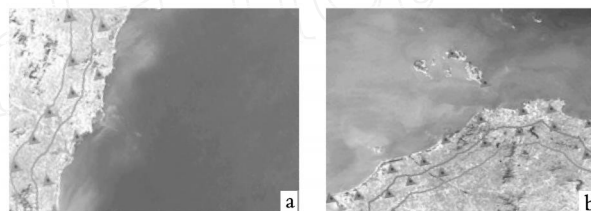


图 1 调查区域与控制点设计

Fig. 1 Survey area and GCP design

#### 2.1.2 数量要求

控制点数量刚能满足校正模型的解算要求时,一般无法达到校正精度要求,适当增加可以提高校正精度,但是过多地增加控制点的数量,不仅不会显著提高校正精度,反而会增大选择地面控制点的工作量,降低工作效率。除控制点外,还要布设一定数量的检查点,用于检查模型的校正精度。

为保证校正精度以及避免测量错误带来的返工问题,每景影像设计 15 组以上地面控制点,每组控制点包括两个距离较近的点,如果因为测量错误导致校正误差过大,可更换另一个点作为控制点。在正常情况下,另一个点作为检查点使用。

### 2.2 控制点采集仪器选择

中国沿海广泛使用 RBN/DGPS 系统,可实现单机快速定位,定位精度与用户到信标台站的距离相关,离台站越近,定位精度越高,距离增加,定位精度降低。在比较典型的区域:距离海岸线 300~400 km(海上)和 200~300 km(陆上)之内,亚米级接收机实时定位精度优于 5 m<sup>[4]</sup>。

研究区域距离信标台站较近,在精度测试中,美国天宝公司生产的亚米级接收机——DSM232 DGPS 定位精度优于 2 m,中误差在 1 m 以内,完全满足控制点的精度要求,且具有携带方便、价格便宜、测量速度快等优点。因此,选择 DSM232 DGPS 接收机作为地面控制点采集仪器。

### 2.3 影像正射校正

正射校正就是将中心投影的影像通过数字校正形成正射投影的过程,其原理是将影像化为很多微小的区域,根据有关的参数利用相应的构像方程式或按一定的数学模型用控制点解算,求得解算模型,然

后利用 DEM 对原始影像进行校正,使其转换为正射影像。由于充分利用了 DEM 数据,故能够改正因地形起伏而引起的像点位移。

试验影像的海岸带地区以山地丘陵居多,地形起伏较大,具有正射校正的必要性。在保证控制点均匀分布的基础上,试验使用 1 5 万 DEM 和 SRTM90m 数据并分别基于 6 个、9 个、12 个控制点进行正射校正,控制点、检查点分布情况如图 2 中 290-279,290-274,292-274 所示,其中黑点表示控制点,十字圆框表示检查点,文字表示点号。校正结果如表 1。

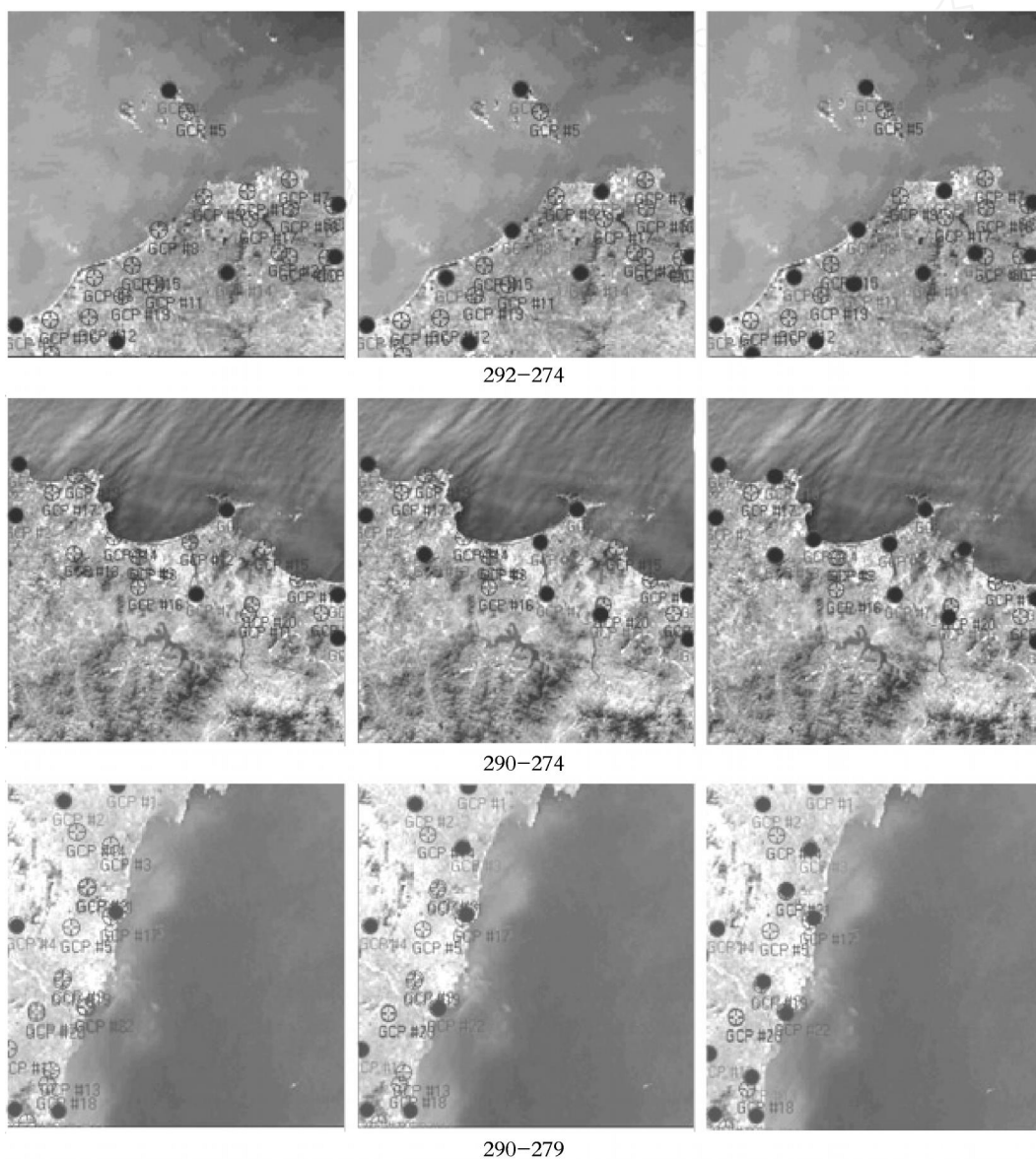


图 2 不同控制点数量情形下的控制点与检查点分布

Fig. 2 Distribution chart of GCPs and check points when using different quantities of GCPs

表 1 校正误差表

Tab. 1 Correction error

轨道号	DEM 分辨率 (m)	控制点			检查点		
		数量 (像元)	最大误差 (像元)	中误差 (像元)	数量 (像元)	最大误差 (像元)	中误差 (像元)
290-279	25	6	0.78	0.54	16	1.32	0.82
	90		1.12	0.71		1.63	0.91
	25	9	0.97	0.59	13	1.16	0.76
	90		1.02	0.73		1.24	0.79
	25	12	0.92	0.53	10	1.18	0.85
	90		1.41	0.69		1.20	0.85
290-274	25	6	0.76	0.59	18	1.32	0.89
	90		1.29	0.80		1.25	0.89
	25	9	0.94	0.65	15	1.07	0.75
	90		1.26	0.84		1.13	0.75
	25	12	0.98	0.71	12	1.12	0.78
	90		1.39	0.82		1.23	0.78
292-274	25	6	0.37	0.31	13	1.13	0.74
	90		0.33	0.28		1.17	0.74
	25	9	0.88	0.51	10	1.01	0.61
	90		0.85	0.49		1.04	0.61
	25	12	0.79	0.46	7	1.03	0.68
	90		0.75	0.46		1.06	0.68

### 3 结果分析

本文分别利用 1/5 万 DEM 和 SRTM90m 以及 6 个、9 个和 12 个控制点对 3 景 SPOT-5 影像进行正射校正, 共计 18 次试验。从试验结果(表 1) 看出, 控制点和检查点的中误差皆小于 1 个像元, 且最大误差都控制在 2 个像元以内, 完全满足 908 课题的精度要求。

#### 3.1 控制点数量对校正精度的影响

总体来看, 控制点数量的增加降低了控制点的中误差, 但增大了检查点的中误差, 其增大值和降低值皆在 0.3 个像元以内, 可以近似忽略不计。因此, 对于基于传感器物理模型的影像校正, 地面控制点数量的增加对校正精度的提高并不显著, 使用 6 个控制点即能保证较高的校正精度, 平均误差小于 1 个像元, 最大误差小于 2 个像元。

一般情况下, 选择较多的控制点可以达到更高的校正精度, 但是控制点数量的增多也会造成作业时间的浪费, 需要根据成图精度的要求选择控制点的个数。在较少控制点情形下, 一定要辅以一定数目的检查点, 以保证校正精度。

#### 3.2 DEM 分辨率对校正精度的影响

就前两景影像而言, 从控制点的最大误差和中误差上看, 1/5 万 DEM 比 SRTM90m 数据校正精度略高, 但最大差别远小于 0.25 个像元; 从检查点的最大误差和中误差上看, 1/5 万 DEM 亦好于 SRTM90m 数据。

就第 3 景影像而言, 从控制点的最大误差和中误差上看, 1/5 万 DEM 比 SRTM90m 数据校正精度稍差, 但最大差别小于 0.05 个像元; 从检查点的最大误差和中误差上看, 1/5 万 DEM 亦无明显优势。

综上, 1/5 万 DEM 比 SRTM90m 数据对影像的校正精度略高, 就完成 908 课题来看, 在缺少 1/5 万 DEM 时, 可用 SRTM90m 数据代替。

### 4 结语

作者在不同 DEM 分辨率、不同控制点数量的情形下, 对 3 景 SPOT-5 影像进行正射校正, 并对比分析了控制点数量和 DEM 分辨率对校正精度的影响, 进一步验证了 SRTM90m 数据在高分辨率遥感影像正射校正中的可用性。

通过试验得出:在海岸带区域,基于 SPOT-5 物理模型进行正射校正,6 个控制点即能满足 908 课题的精度要求,在此基础上增加控制点的数量并不能显著提高精度,但是对于整景影像,6 个控制点能否满足精度要求有待进一步验证;1 5 万 DEM 比 SRTM90m 数据对影像的校正精度略高,但并不明显,就 908 课题而言,在缺少 1 5 万 DEM 时,用 SRTM90m 数据代替亦能满足精度要求。以上结论对今后开展遥感调查以及遥感影像图生产具有指导意义。

参考文献:

- [1] 国家海洋局 908 专项办公室. 海岛海岸带卫星遥感调查规程 [M]. 北京: 海洋出版社, 2005. 1-2.
- [2] 代华兵, 李春干, 李政国. 基于星站差分 GPS 及 DEM 的林区 SPOT-5 数据正射校正 [J]. 林业资源管理, 2006, 6: 68-71.
- [3] 刘云峰, 李若. 不同 DEM 数据对卫星遥感影像校正精度的影响 [J]. 测绘通报, 2002, 7: 26-28.
- [4] 桑金, 张铁军. 中国沿海 RBN-DGPS 系统的建立及性能评定 [J]. 测绘通报, 2002, 11: 11.

## Influence of GCP quantity and DEM resolution on orthorectification precision of remote sensing image

LIU Shan-wei<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Jie<sup>4,5</sup>, MA Yi<sup>4,5</sup>

(1. Institute of Yantai Coastal Zone and Sustainable Development, the Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. South China Sea Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China; 3. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 4. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China; 5. Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Dec. , 12, 2008

Key words: island and costal zone; ground control points(GCP) quantity; DEM resolution; SPOT-5 image

**Abstract:** According to the characteristic of island and costal zone, choosing standard, quantity and distribution of GCPs (ground control points) are designed based on measuring demand and image character. RBN/DGPs is chosen for measuring GCPs, and then the images are corrected based on different DEMs and different quantities of GCPs. There is a conclusion by analyzing the results of correction. Using SPOT-5 physical model, 6 GCPs can get a high correction precision and more controls can not get a notable improvement of precision. DEM of 1 50 000 is little better than SRTM90m for image correction, but it is not obvious, and when there is no DEM of 1 50 000, SRTM90m can replace it. The conclusions above provide the basis of choosing optimal quantity of GCPs and appropriate resolution of DEM for image correction.

(本文编辑:刘珊珊)