

GeoEye-1 立体像对定位精度及其应用分析

王薇^{①,②}, 赵利平^③

(^① 民政部国家减灾中心, 北京 100124;

^② 民政部减灾与应急工程重点实验室, 北京 100124;

^③ 国家测绘局卫星测绘应用中心, 北京 100830)

摘要:探讨了基于有理函数模型的 GeoEye-1 立体定位方法, 并使用澳大利亚 Hobart 地区立体像对进行了有关试验研究, 结果表明, GeoEye-1 立体影像无地面控制点的平面精度在 3.0m 之内(CE90), 高程精度约为 10.1m (LE90); 在良好的地面控制点的支持下, 平面和高程精度均优于 0.5m(RMSE), 基本可满足国家 1:5000 基本比例尺地形图测图要求。

关键词:GeoEye-1; 立体像对; 有理函数模型; 定位精度

doi:10.3969/j.issn.1000-3177.2012.01.010

中图分类号:TP751 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3177(2012)119-0048-04

Analysis of Mapping Accuracy of GeoEye-1 Stereopair and Its Application

WANG Wei^{①,②}, ZHAO Li-ping^③

(^① National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100124;

^② Key Laboratory of Disaster Reduction and Emergency Response, Ministry of Civil Affairs, Beijing 100124;

^③ Satellite Surveying and Mapping Application Center, State Bureau of Surveying and Mapping, Beijing 100830)

Abstract: In this paper, the stereo location method of GeoEye-1 stereopair using rational function model was analyzed and experiment was carried out by using stereopair of Hobart area, Australia. The results show that plane accuracy of GeoEye-1 stereo image pair is better than 3m (CE90) and height accuracy 10.1m (LE90); in case with high accurate ground control points the plane and elevation accuracy of GeoEye-1 stereopair are better than RMSE 0.5m and meet the accuracy requirements of 1:5000 topographic map.

Key words: GeoEye-1; stereo pair; rational function model; geolocation accuracy

1 引言

GeoEye 公司最新的高分辨率成像卫星 GeoEye-1 是迄今为止世界上分辨率和精度最高的商业对地成像卫星, 不仅能以 0.41m 全色分辨率和 1.65m 多光谱分辨率采集影像, 而且还能以 6m 的定位精度精确确定目标位置^[1~2]。一般情况下, GeoEye 公司提供通用的有理函数模型(RFM)恢复

摄影时的物像关系, 用户则通常把它作为影像的几何成像模型, 来对数据进行摄影测量处理, 如正射影像纠正、立体测图、DEM 提取等。

本文针对高差较大的澳大利亚 Hobart 地区同轨立体影像数据, 利用多种 RFM 多项式平差模型, 改善 GeoEye-1 立体像对的定位精度, 并采用 94 个高精度控制点数据进行误差统计分析, 结果表明, 在无地面控制点情况下, 其平面精度在 3.0m 之内

收稿日期: 2011-06-17

基金项目: 国家自然科学基金(40901178)和国家基础测绘项目(200913)资助了本项目的研究。

作者简介: 王薇(1974~), 女, 博士, 主要从事灾害遥感、空间技术减灾理论和应用研究。

E-mail: ww416@hotmail.com

(CE90),高程精度约为 10.1m(LE90);当有地面控制点时,其平面和高程定位精度均优于 0.5m(RMSE),基本能够满足国家 1:5000 比例尺地形图测图规范要求。

2 GeoEye-1 立体定位原理与方法

通常认为,对于 IKONOS、QuickBird、WorldView-1 等影像数据,无地面控制点时 RFM 所能达到的定位精度不能满足大部分应用需求,应该利用地面控制点,在像方或物方使用多项式来改正 RFM 的系统误差,以提高 RFM 计算结果的精度。这种方法简单有效,所需控制点数量较少,许多文献给出了试验结果^[3~5]。根据以往实践经验,一般可用 RFM 零阶多项式平差模型改正 IKONOS、World-

View-1 影像数据,使用 RFM 一阶多项式平差模型改正 QuickBird 影像数据^[6~9]。

本文针对 GeoEye-1 立体影像数据及其附带的 RPC 参数,首先研究了无地面控制点立体定位精度,然后分别研究了多种 RFM 平差模型精度,选取的几种典型模型分别为像方平移变换、相似变换、仿射变换平差模型,物方空间平移变换与空间相似变换平差模型。表 1 列出了这些多项式平差模型公式,其中, (r, c) 与 (r', c') 分别为改正前后的影像坐标, a_0, a_1, a_2 与 b_0, b_1, b_2 分别为像方平差模型系数; (X, Y, Z) 与 (X', Y', Z') 分别为改正前后的地面坐标, (X_0, Y_0, Z_0) 为物方平差模型的平移系数, R 是包含 3 个旋转量 Φ, Ω, K 的旋转矩阵, λ 为比例尺系数。

表 1 像方与物方平差模型

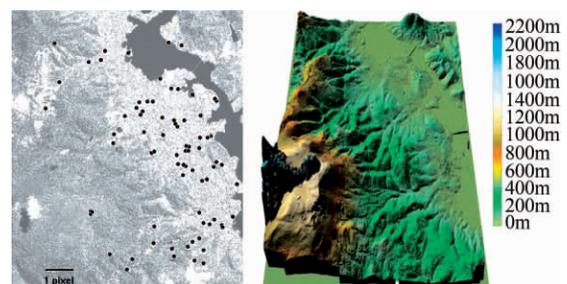
序号	平差模型		模型公式	需要的最少点数
1.	像方平差模型	像方平移变换	$\begin{aligned} r' &= r + a_0 \\ c' &= c + b_0 \end{aligned}$	1
2.		像方相似变换	$\begin{aligned} r' &= r + a_0 + a_1 r - a_2 c \\ c' &= c + b_0 + a_2 r + a_1 c \end{aligned}$	2
3.		像方仿射变换	$\begin{aligned} r' &= r + a_0 + a_1 r + a_2 c \\ c' &= c + b_0 + b_1 r + b_2 c \end{aligned}$	3
4.	物方平差模型	空间平移变换	$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$	1
5.		空间相似变换	$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \lambda R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$	3

3 试验数据

本研究选择了 2009 年 02 月 05 日获取的澳大利亚 Hobart 地区东经 147.3°,南纬 42.9°的一个 GeoEye-1 同轨立体像对,地面覆盖范围约为 200km²,主要地形地貌为城区和丘陵。立体影像的 GSD 均为 0.5m,前视影像采集方位角和高度角分别为 53.5°和 63.9°,后视影像采集方位角和高度角分别为 139.7°和 70.1°,它们所构成的立体像对的基高比约为 0.62,有利于进行立体测图和 DEM 提取。

试验中使用了 94 个地面点,这些点在平面与高程上分布较好,其中高程范围约为 0~1260m,图 1 显示了这些点在试验区的分布情况和试验区的

DEM 数据。其中,地面坐标采用 GPS 量测,精度在厘米级,像点坐标使用 JX4 DPS 数字摄影测量工作站在立体观测环境下放大量测,精度可达子像素等级。试验中,按照不同的测试方案,它们分别作为控制点和检查点。



(a) 控制点分布图

(b) 试验区 DEM^[7]

图 1 Hobart 地区试验数据

4 无地面控制点定位精度

按照 GeoEye-1 产品规格说明^[2], 立体像对无地面控制点平面与高程精度分别为 4m CE90 和 6m LE90。为了验证无地面控制点时 GeoEye-1 的定位精度, 本文利用 GeoEye-1 影像附带的 RPC 参数恢复摄影时刻的三维成像几何模型, 然后获得同名像点三维模型坐标, 并将 94 个点全部用作检查点计算平面与高程定位精度, 精度评估流程如图 2 所示。

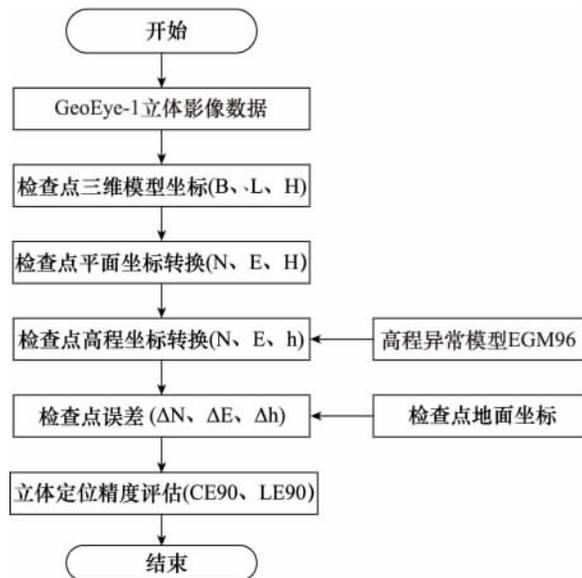


图 2 GeoEye-1 立体像对无地面控制点定位精度评估流程图

一般情况下, 使用 GeoEye-1 立体像对获得的三维坐标是 WGS84 坐标系的经纬度与大地高程, 而检查点的平面坐标为 WGS84 UTM 投影坐标, 高程坐标为 WGS84 正常高。这样在进行精度评估之前需要先统一坐标系, 本文平面系采用了 WGS84 UTM 坐标系, 高程系为 WGS84 大地高程系统。

当转换并统一检查点高程坐标系后, 利用检查点的地面实测坐标与立体模型量测坐标, 进行精度评估。表 2 列出了检查点的误差统计数据, ΔN 和

ΔE 分别为北坐标与东坐标误差, Δr 和 Δh 分别为平面坐标与高程坐标误差。图 3 是所有检查点在平面与高程方向误差分布统计图, 由此可以得到在无地面控制点情况下, GeoEye-1 立体像对平面精度约为 2.9m CE90, 高程精度约为 10.1m LE90。

表 2 无地面控制点定位精度(单位:m)

	ΔN	ΔE	Δr	Δh
均值	-0.399	2.523	2.566	9.591
标准差	0.246	0.242	0.243	0.415
最大值	0.357	3.170	3.185	10.439
最小值	-1.155	1.807	1.858	8.744

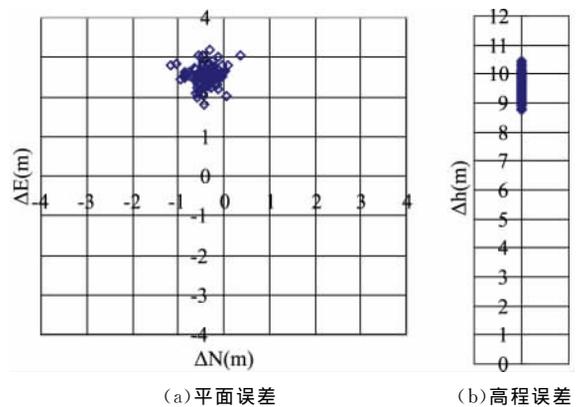


图 3 检查点误差统计图

5 有地面控制点定位精度

5.1 试验方案

为了验证 GeoEye-1 立体像对有控制点时定位精度, 本文分别在物方与像方采用了 5 种平差模型改善基于 RFM 的 GeoEye-1 立体像对成像几何模型精度, 并按照控制点与检查点在平面和高程上的分布状况分组, 设计了两类控制点与检查点组合试验方案(表 3)。这些测试方案用于分析评价不同平差模型在不同控制条件下对 RFM 精度改善的适用性, 为实际应用提供依据。

表 3 控制点与检查点组合方案

序号	方法	控制点	检查点	说明
1	5C-89K	5 个均匀分布的控制点	其余 89 个点	四角四点加中心点作为控制点; 其余 89 个点作为检查点
2	94C-0K	全部 94 个点	无	94 个点全部作为控制点

5.2 精度分析

按照上述试验方案, 本文分别使用物方与像方平差模型对两类控制点与检查点组合进行测试, 表

4 列出了这些试验方案中不同平差模型的误差, 该误差由公式(1)计算得出。图 4 是表 4 中检查点的平面与高程精度统计数据, 直观地显示了 5 种平差模

型的精度。

$$m = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n-1}} \quad (1)$$

式中, V 是最或是值与观测值之差, n 为控制点或检查点个数, m 为中误差。

分析表 4 和图 4 数据发现: 当使用 5C-89K 和 94C-0K 方案时, 不论采取哪种平差模型, 其平面和

高程精度均优于 0.5m(RMSE), 能够达到子像素精度; 在平面精度方面, 5 种平差模型非常接近; 在高程精度上, 像方平移模型与物方平移模型稍差一些, 大约低 3cm~4cm, 相对于 0.5m 的影像分辨率, 不到 1/10 个像素, 可以近似地认为基本一致; 另外, 总体上两类“控制点—检查点”组合方案使用各种平差模型的精度基本相当, 且平面精度稍高于高程精度。

表 4 不同平差方案中误差(单位:m)

平差模型	控制点与检查点组合方案	控制点				检查点				
		北	东	平面	高	北	东	平面	高	
物方平差	平移变换	5C-89K	0.151	0.221	0.268	0.416	0.291	0.243	0.379	0.430
		94C-0K	0.242	0.240	0.341	0.422				
	相似变换	5C-89K	0.130	0.229	0.263	0.273	0.293	0.243	0.381	0.398
		94C-0K	0.240	0.238	0.338	0.352				
像方平差	平移变换	5C-89K	0.231	0.218	0.318	0.443	0.290	0.245	0.380	0.442
		94C-0K	0.247	0.241	0.345	0.429				
	相似变换	5C-89K	0.156	0.242	0.288	0.364	0.299	0.252	0.391	0.421
		94C-0K	0.247	0.240	0.344	0.395				
	仿射变换	5C-89K	0.138	0.222	0.261	0.272	0.293	0.244	0.381	0.399
		94C-0K	0.241	0.238	0.339	0.352				

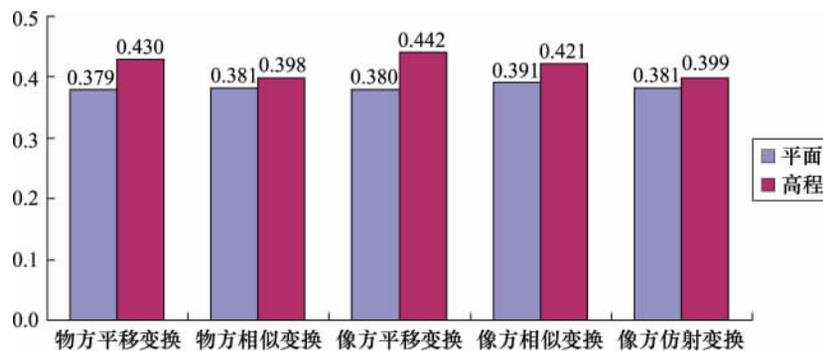


图 4 5 种平差模型精度(RMSE)

5.3 应用分析

按照《GB/T 17278-2009 数字地形图产品基本要求》的规定, 国家 1:5000 基本比例尺地形图测图平面和高程精度要求如表 5 所示。其中, 平面位置精度要求为地物点对最近野外检查点的图上点位中误差不大于表 5 的规定; 高程注记点对最近野外检查点的高程中误差不得大于表 5 的规定。

从 GeoEye-1 立体像对在较大高差的 Hobart 地区的试验分析来看, 其平面和高程中误差均优于 0.5m 的精度基本达到了 1:5000 测图规范要求。

此外, 对于 GeoEye-1 立体像对数据, 如采用基于像方平移变换与物方平移变换的 RFM 平差模型

简单、适应性好, 一个像对只需要少量的高精度控制点, 易于生产作业, 特别适合困难地区立体测图与 DEM 提取。

表 5 1:5000 基本比例尺地形图精度要求

	平面位置精度 (单位:mm)	高程注记点 (单位:m)
平地	0.5	0.35
丘陵地	0.5	1.2
山地	0.75	2.5
高山地	0.75	3.0

(下转第 115 页)

- [18] Martonchik, J. V. , Diner, D. J. , Crean, K. A. , Bull, M. A. . Regional aerosol retrieval results from MISR[J]. IEEE Transactions Geosciences Remote Sensing, 2002(40):1520—1531.
- [19] Martonchik, J. V. , Diner, D. J. , Kahn, R. , Gaitley, B. , Holben. Comparison of MISR and AERONET aerosol optical depths over desert sites[J]. Geophysical Research Letters, 2004(31).
- [20] Peter R. J. North. Estimation of aerosol opacity and land surface bidirectional reflectance from ATSR-2 dual-angle imagery: Operational method and validation[J]. Journal of Geophysical Research, 2002(107).
- [21] Peter R. J. North, Stephen A. Briggs. Retrieval of land surface bidirectional reflectance and aerosol opacity from ATSR-2 multiangle imagery[J]. IEEE Transactions Geosciences Remote Sensing, 1999(37).
- [22] R. J. Flowerdew, J. D. Haigh. Retrieval of aerosol optical thickness over land using the ATSR-2 dual look radiometer[J]. Geophysical Research Letters, 1996(23):351—354.
- [23] Robles Gonzalez. Retrieval of aerosol properties using ATSR-2 observations and their interpretation[D]. University of Utrecht, Netherlands, 2003.
- [24] ROBLES GONZALEZ, et al. . Aerosol properties over the Indian Ocean Experiment (INDOEX) campaign area retrieved from ATSR-2[J]. Journal of Geophysical Research, 2006(111).
- [25] Veefkind, J. P. , de Leeuw, et al. . Regional distribution of aerosol over land, derived from ATSR-2 and GOME[J]. IEEE Transactions Geosciences Remote Sensing, 2000(74):386—577.
- [26] W. Wanner, A. H. Strahler, B. Hu, P. Lewis, J. —P. Muller, X. Li, C. L. Barker Schaaf, M. J. Barnsley. Global retrieval of bidirectional reflectance and albedo over land from EOS MODIS and MISR data: Theory and algorithm[J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(17).
- [27] Y. M. Govaerts, S. Wagner, et al. . Joint retrieval of surface reflectance and aerosol optical depth from MSG/SEVIRI observations with an optimal estimation approach: 1. Theory[J]. Journal of Geophysical Research, 2010(115).
- [28] IPCC 第四次评估报告(中文版)[R]. 2007.
- [29] 梁顺林. 定量遥感[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 154—156.

(上接第 51 页)

6 结束语

本文使用澳大利亚 Hobart 地区数据, 分别在无地面控制点和有地面控制点情况下, 对 GeoEye-1 立体像对定位能力进行了评估。研究结果表明 GeoEye-1 立体像对的绝对定位精度在平面与高程方向分别可达 2.9m CE90 与 10.1m LE90。当有良

好的地面控制点支持时, 不论采用本文的哪种平差模型, GeoEye-1 立体像对在平面和高程两个方面的定位精度均优于 0.5m (RMSE), 基本满足国家 1:5000 基本比例尺地形图测图规范要求, 且由于对控制点的布设条件要求低, 易于生产作业, 特别适合困难地区立体测图与 DEM 提取。

参考文献

- [1] About GeoEye-1[EB/OL]. <http://launch.geoeye.com/LaunchSite/about/> (accessed 10 January, 2010).
- [2] GeoEye-1 Fact Sheet[EB/OL]. http://www.geoeye.com/CorpSite/assets/docs/brochures/GeoEye-1_Fact_Sheet.pdf (accessed 10 January, 2010).
- [3] Fraser, C. S. , Hanley, H. B. Bias compensation in rational functions for Ikonos satellite imagery[J]. PE&RS, 2003, 69(1): 53—57.
- [4] 刘凤德, 赵利平, 李健. JX4C DPS 中 IKONOS 立体像对的一体化处理[J]. 遥感信息, 2007(3).
- [5] Jacek Grodecki, Gene Dial. Block adjustment of high-resolution satellite images described by rational functions[J]. PE&RS, 2003, 69(1): 59—68.
- [6] Fraser, C. S. , Dial, G. , Grodecki, J. . Sensor orientation via RPCs[J]. ISPRS J. Photogramm. & Rem. Sens. , 2006(60): 182—194.
- [7] Fraser, C. S. & Ravanbakhsh M. . Georeferencing from GeoEye-1 imagery: Early indications of metric Performance[Z]. ISPRS Hannover Workshop, 2009: 6.
- [8] Philip Cheng, Chuck Chaapel. Increased image collection opportunities—digitalGlobe's WorldView-1 satellite[J]. GEOInfomatics, 2008, 11(3): 16—21.
- [9] Zhao Liping, Wang Wei, et al. . Accuracy analysis of polynomial RFM adjustment models for WorldView-1 imagery[C]// ISIDF2011.