

基于有理函数模型和多项式模型的天绘一号影像几何校正精度评估

朱倩¹, 李霞¹, 李少峰²

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西西安 710054; 2. 国家测绘地理信息局第一大地测量队, 陕西西安 710054)

摘要:研究了不同地貌特征的 TH-1 影像基于多项式模型和有理函数模型的几何校正精度, 以及在每种模型下不同控制点个数与几何校正精度的关系. 实验结果表明, TH-1 影像因光学投影产生的比如扭曲变形等误差较大, 有理函数模型中只需较少控制点便可明显提高其几何校正精度; 多项式模型中, 控制点的数量越多对精度提高越有好处, 2 阶多项式校正精度最高; 在没有参数模型的情况下, 高阶有理函数模型是 TH-1 影像几何校正的最佳选择.

关键词:有理函数模型; 几何校正; 多项式模型; 天绘一号 (TH-1); 精度

中图分类号: TP75; P627 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2013.02.004

引用格式: Zhu Qian, Li Xia Li Shaofeng. Accuracy assessment of TH-1 satellite image geometric correction using rational function model and polynomial model[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2013, 43(2): 110-114.

朱倩, 李霞, 李少峰. 基于有理函数模型和多项式模型的天绘一号影像几何校正精度评估[J]. 中国科学技术大学学报, 2013, 43(2): 110-114.

Accuracy assessment of TH-1 satellite image geometric correction using rational function model and polynomial model

ZHU Qian¹, LI Xia¹, LI Shaofeng²

(1. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Geodetic First Team, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Xi'an 710054, China)

Abstract: Based on RFM (rational function model) and the polynomial model, the geometric correction precision of TH-1 satellite images was studied on different landforms, and the relationship between the number of GCPs (ground control points) and geometric correction precision was also studied. Experimental results show that TH-1 images have a magnitude distortion caused by optical projection; RFM can obviously improve TH-1 geometric correction precision with only a few GCPs; in the polynomial model, more GCPs can achieve higher correction precision, and 2 order can get the highest correction precision; without a parameter model, high order RFM is the best choice for TH-1 image geometric correction.

Key words: RFM; geometric correction; polynomial model; TH-1 satellite; accuracy

收稿日期: 2012-11-01; 修回日期: 2012-12-28

基金项目: 国家自然科学基金(41101445)资助.

作者简介: 朱倩(通讯作者), 女, 1983年生, 博士生. 研究方向: 遥感技术、地理信息技术等. E-mail: qian15086@st.chd.edu.cn

0 引言

空间数据的获取方式主要有两类,一是地面测量方法,一是遥感影像方法^[1]。地面测量具有精确性高的优点,然而更新时间长、成本高、获取困难。因而,遥感影像以其动态、快速、准确及多手段提供的优势受到越来越多学者的青睐。遥感影像在获取过程中存在一定的几何畸变,如何将影像校正为几何精度较高的数字产品一直是遥感研究者感兴趣的热门问题。几何校正包括将地理坐标赋予图像数据的一般几何校正和加上地理坐标的同时再通过一些测量高程点和 DEM(digital elevation model)来消除地形起伏引起的图像变形的正射校正。一般几何校正通常使用多项式模型,正射校正通常分为参数模型和非参数模型。参数模型又叫严格传感器模型(rigorous sensor model, RSM),是根据卫星轨道、传感器类型等参数建立起共线方程,从而推算出成像关系式,再将影像进行地面坐标转换计算,具有校正精度高的优点,但因参数信息极难获取导致其不具有普遍性。非参数模型,又称为有理函数模型(rational function model, RFM),是用纯粹的数学方法直接模拟影像坐标和地面坐标之间的关系,跟物理成像过程不存在对应关系,使用控制点和 DEM 可将基于 RFM 的校正精度提高到与基于 RSM 校正相当的水平。

国内外许多学者进行了 SPOT-5, QuickBird, IKONOS 等高分辨率卫星影像的几何校正实验,得到了较高精度的实验结果。Wolniewicz^[2]实验探索了高分辨率影像的几何机制和校正方法。基于 RFM 模型和相机模型两种校正模型,利用控制点对 QuickBird 和 IKONOS 影像进行平地 and 山区的正射校正实验,为不同应用的最佳几何校正方案提供了参考。Fraser 等^[3]研究了基于 RFM 模型和依赖于控制点而不依赖相机模型的传感器定位模型的 IKONOS 影像的二维和三维地理定位精度,实验证明定位精度达到分米级。Erdogan 等^[4]研究了在校正过程中使用相同约束条件下获得的 SPOT 影像为参考影像时所需控制点的数量和可达到的精度。实验证明相比控制点在单幅影像上的校正而言,该方法可大为提高精度,大约可减少 2 倍误差,且使用更少控制点便可达到较好的精度,既节省了生产成本也减少了时间花费。向冬梅^[5]基于二次多项式模型、三次多项式模型、TIN 格网校正模型、RFM 模

型进行了对 SPOT 影像的几何校正,实验证明,RFM 模型为 4 种模型中最理想的几何校正模型。刘云峰和李若^[6]基于多项式模型和共线方程模型,利用 DEM 对 SPOT 影像进行了几何校正精度的评估,得出共线方程校正精度高于多项式校正精度的结论。

针对我国摄影测量遥感卫星天绘一号(TH-1)几何变形误差校正的研究只有少数报道。王任享等^[7]通过在 TH-1 光束法平差系统中建立增加消除星敏感器低频误差以及长期飞行中出现的“慢漂”误差影响的数学模型,使无地面控制点目标几何变形误差从 1 000 m 量级改善到 11~22 m。然而,对于 TH-1 几何变形误差校正的研究主要体现在减少由于传感器自身的性能、技术指标偏离标准数值等引起的内部畸变,而未对因地形起伏等因素引起的外部畸变的校正精度进行探讨。本文在国内外学者研究的基础上,通过使用控制点和 DEM,基于 RFM 模型和多项式模型对高差各不相同的 3 个地区的 3 景 TH-1 影像进行几何校正实验及精度分析,重点研究了不同校正模型、不同控制点数量对影像校正精度的影响,为 TH-1 影像的几何校正选取适合的校正模型以及最佳的控制点数量提供依据。

1 RFM 模型与多项式模型定位原理

1.1 RFM 模型定位原理

RFM 将地面点大地坐标 D (经度 P , 纬度 L , 高程 H) 与其对应的像点坐标 d (行 l , 列 s) 用比值多项式关联起来。为了增强参数求解的稳定性,将地面坐标和影像坐标标准化到 $-1 \sim 1$ 之间。对于一个遥感影像,可定义为比值多项式:

$$\left. \begin{aligned} Y &= \frac{N_l(P, L, H)}{D_l(P, L, H)} \\ X &= \frac{N_s(P, L, H)}{D_s(P, L, H)} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, $N_l(P, L, H)$, $D_l(P, L, H)$, $N_s(P, L, H)$, $D_s(P, L, H)$ 为 P, L, H 的三次多项式; (P, L, H) 为正则化的大地坐标经度、纬度、高程; (X, Y) 为正则化的影像像素坐标。

研究表明,在 RFM 中,光学投影系统产生的误差可以用有理多项式中的一次项表示,地球曲率、大气折射和镜头畸变等产生的误差能用有理多项式中的二次项进行模型化,其他一些未知的具有高阶分量的误差如相机振动等,可以用有理多项式中的三

次项表示.

1.2 多项式模型定位原理

多项式校正不考虑空间成像的几何过程,直接对图像变形的本身进行数字模拟.遥感图像的几何变形由多种因素引起,其变化规律十分复杂.为此把遥感图像的总体变形看作平移、缩放、旋转、仿射、偏扭、弯曲以及更高次的基本变形的综合作用结果,难以用一个严格的数学表达式来描述,而是用一个适当的多项式来描述纠正前后图像相应点之间的坐标关系.利用地面控制点的图像坐标和其同名点的地面坐标通过平差原理计算多项式中的系数,然后用该多项式对图像进行校正.多项式校正变换公式为

$$\left. \begin{aligned} x &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 X^2 + a_4 XY + a_5 Y^2 + \\ &\quad a_6 X^3 + a_7 X^2 Y + a_8 XY^2 + a_9 Y^3 + \dots \\ y &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 X^2 + b_4 XY + b_5 Y^2 + \\ &\quad b_6 X^3 + b_7 X^2 Y + b_8 XY^2 + b_9 Y^3 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中, x, y 为某像素原始图像坐标; X, Y 为同名像素的地面(或地图)坐标.多项式的项数(即系数个数) N 与其阶数 n 有着固定的关系: $N = (n+1)(n+2)/2$; 多项式的系数 $a_i, b_j (i, j = 0, 1, 2, \dots, (N-1))$ 一般可由两种办法求得:其一,用可预测的图像变形参数构成;其二,利用已知控制点的坐标值按最小二乘法原理求解.

研究表明,根据纠正图像要求的不同选用不同的阶数.当选用一次项纠正时,可以纠正图像因平移、旋转、比例尺变化和仿射变形等引起的线性变形.当选用二次项纠正时,则在改正一次项各种变形的基础上,还改正二次非线性变形.如选用三次项纠正则改正更高次的非线性变形.

2 TH-1 影像几何校正实验

TH-1 卫星是国家测绘局于 2010 年 8 月 24 日发射的遥感制图卫星.校正实验采用 3 景 TH-1 卫星全色影像,地面分辨率为 2 m.为了较全面地评估在不同条件下两种模型的校正精度,本实验选择 3 景不同地貌的 TH-1 影像,其中 15-136 图幅内平均海拔约 400 m,高差约为 100 m,主要为平地;13-127 图幅内平均海拔约为 1 000 m,高差约为 200 m,主要为高原丘陵;16-126 图幅内平均海拔为 1 000 ~ 1 200 m,高差约 300 m,主要为山地.

实验控制点来源于 GeoEye 正射影像,采用

WGS84 坐标系,地面分辨率为 1.6 m.实验所用的 20 个控制点和 20 个检查点布局及对应区域的 DEM 数据如图 1 所示. DEM 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站,分辨率为 30 m,采用 WGS84 坐标系统.

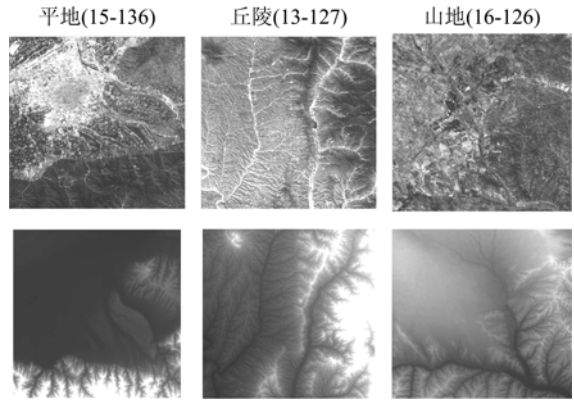


图 1 TH-1 原始影像及控制点、检查点布局(上)及 DEM 数据(下)

Fig. 1 Original TH-1 image, GCPs, check points(above) and DEM data (below)

实验操作流程如图 2 所示.

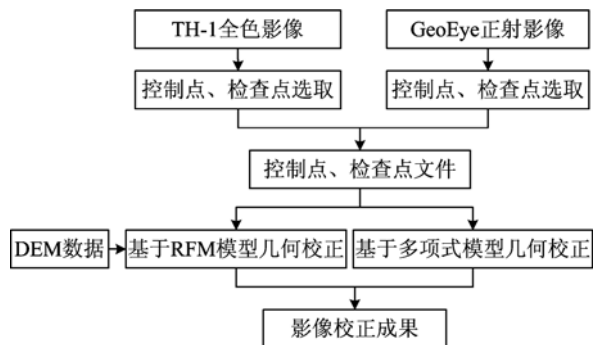


图 2 操作流程

Fig. 2 Flow diagram

2.1 无控制点的 RFM 校正实验

不使用控制点,选择 20 个明显地物点为检查点,统计检查点残差得到如表 1 所示的精度值.

2.2 使用多个控制点的多阶 RFM 校正实验

分别采用 0, 1, 2, 3 阶 RFM 模型,依次加入 1 ~ 20 个控制点,计算控制点和检查点残差,得到检查点中误差均值的精度曲线如图 3(a).

2.3 多阶多项式校正实验

分别采用 1, 2, 3 阶多项式模型,依次加入 1 ~ 20 个控制点,计算控制点和检查点残差,得到检查点中误差均值的精度曲线如图 3(b).

表 1 无控制点的 RFM 校正精度

Tab. 1 Correction accuracy of RFM without GCP

影像统计方式	X 方向残差/m	Y 方向残差/m	中误差/m
平地 最大值	608.746 233 1	4 420.201 846	4 461.131 672
平地 最小值	579.307 021 6	4 380.135 025	4 421.666 853
平地 平均值	601.403 197 4	4 409.280 174	4 450.110 345
丘陵 最大值	252.217 128 8	26.098 564 65	252.344 728 4
丘陵 最小值	212.335 416 7	-13.242 719 71	212.484 899 6
丘陵 平均值	233.535 383 8	5.664 446 416	233.895 891 5
山地 最大值	413.478 530 9	-462.511 788 4	626.133 069 7
山地 最小值	198.946 545 6	-565.158 206 9	516.830 756
山地 平均值	284.966 561 9	-510.911 110 2	586.591 855 5

3 结果分析

首先对两种模型的几何校正精度随地形高差、控制点个数、阶数的变化特征分别进行分析后,再从校正机理和应用效果对两个模型进行对比分析。

3.1 RFM 模型校正精度分析

随地形高差的升高,校正精度表现为平地最高、

丘陵次之、山地最低.无控制点的情况下,校正误差较大,但仅加入 1 个控制点即可将校正精度从几百数千米的精度提高到几十米的量级,可见用控制点可大幅消除 RFM 模型的系统误差.当控制点数增加到 3 个时,平地、丘陵校正精度提高到 15 m 左右,山地校正精度无明显变化;继续增加控制点到 9 个时,平地校正精度达到 6 m 左右,丘陵校正精度达到 10 m 左右,山地校正精度无明显变化;之后便不再随控制点数的增加而明显提高.在控制点较少时,随着阶数的升高,高阶 RFM 模型的精度改进较快,当控制点增加到 9 个以上后,校正精度不随阶数的升高发生明显变化。

3.2 多项式模型校正精度分析

随地形高差的升高,校正精度仍表现为平地最高、丘陵次之、山地最低;随控制点数量的增加,一、二阶多项式校正精度变化不明显,三阶多项式校正精度起伏较大,总体精度呈缓慢提高趋势;随多项式阶数的升高,一阶校正精度最低(平地 20 m 左右,丘陵 25 m 左右,山地 75 m 左右),二阶校正精度最

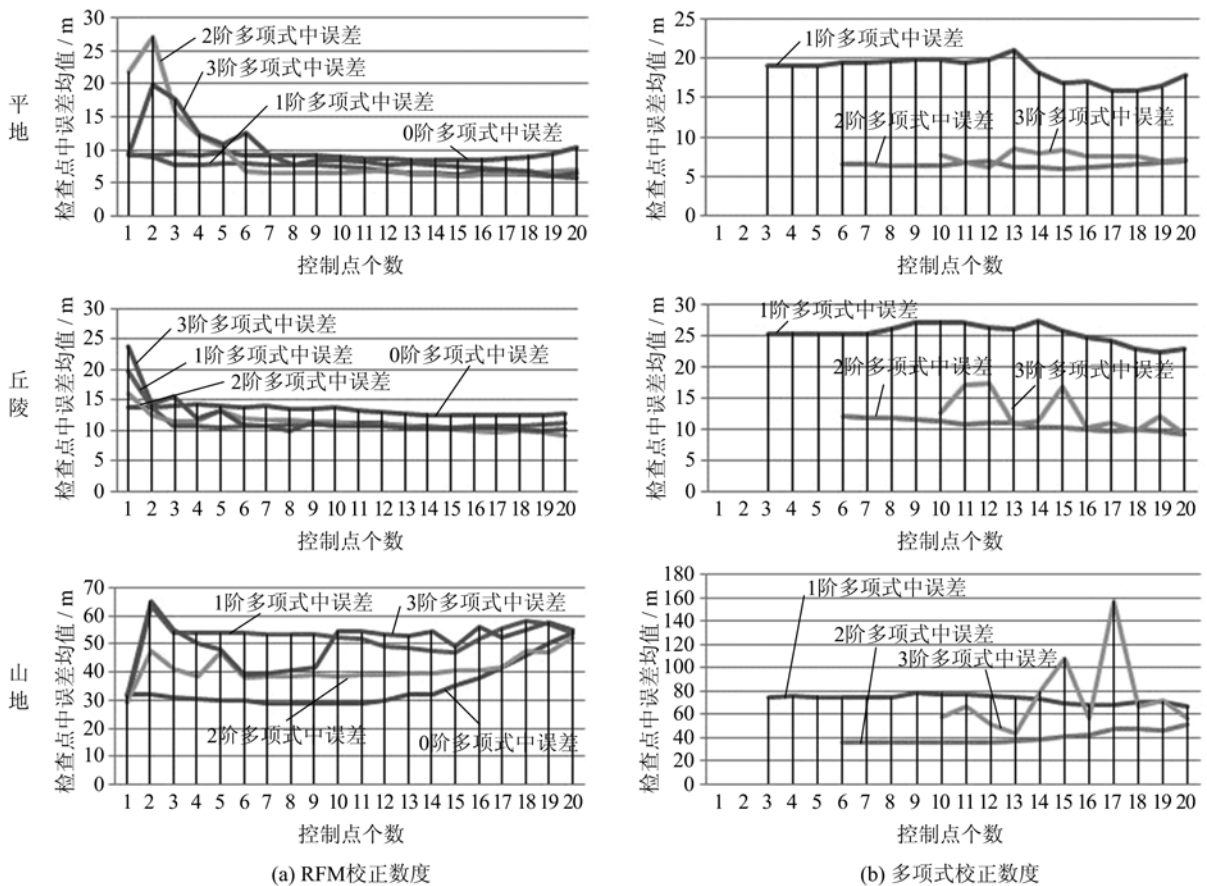


图 3 有控制点 RFM 校正(a)与多项式校正(b)精度曲线

Fig. 3 Correction accuracy curve of RFM (a) and Polynomial (b) with GCPs

高(比一阶高 15 m 左右),三阶校正精度介于一、二阶之间。

3.3 多项式模型与 RFM 模型校正精度对比分析

从校正机理来看,两者都只能纠正控制点处的误差,但 RFM 采用了多项式转换系数,考虑了高程信息.从不同地形地貌的校正结果来看,两者均对高差较小的地区有较好的校正效果,而对于高差较大的山地精度较差,但 RFM 模型对 3 种地貌的校正精度均更高。

4 结论

基于两种模型的 TH-1 影像几何校正机理及上述实验结果可以得出:

(I) RFM 模型校正中,在控制点较少的情况下,使用高阶 RFM 模型对 TH-1 进行几何校正可在一定程度上取代严格传感器模型,只需较少控制点便可得到大、中比例尺测图的精度。

(II) RFM 模型校正中,多项式阶数取 0 时,随控制点增加精度提高不明显,而阶数取 1 时校正精度提高明显,之后便不再随阶数增加而明显提高.该现象证明:TH-1 影像因光学投影产生的譬如扭曲变形等误差较大,而因地球曲率、大气折射等变形误差较小。

(III) 多项式模型校正中,控制点数量越多校正精度越高,二阶校正精度最高。

(IV) 比较来看,两种模型均为地形高差越大校正精度越差,然而,在没有参数模型可用的情况下,RFM 模型是最佳选择。

参考文献(References)

[1] Wim H B, Karl A G, Gerrit C H, et al. Principles of

Remote Sensing [M]//ITC Educational Textbook Series, the Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, 2004: 250.

- [2] Wolniewicz W. Assessment of geometric accuracy of VHR satellite images [C/OL]//The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2004. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm1/papers/4.pdf>.
- [3] Fraser C S, Hanley H B, Yamakawa T. Sub-metre geopositioning with IKONOS geo imagery [C]//Hanover: ISPRS Joint Workshop "High Resolution Mapping from Space 2001". 2001.
- [4] Erdogan M, Eker O, Yilmaz A, et al. Orthorectification of SPOT images with the same-pass constraints [C]//Istanbul: XXth ISPRS Congress, 2004.
- [5] Xiang Dongmei. SPOT image geometric precise correction with DEM auxiliary [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2009:1-66.
向冬梅. 基于 DEM 数据的 SPOT 影像几何精校正 [D]. 北京:中国地质大学(北京),2009:1-66.
- [6] Liu Yunfeng, Li Ruo. Impact of different DEM data on rectification accuracy of satellite RS imagery [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2002,(7): 26-28.
刘云峰,李若. 不同 DEM 数据对卫星遥感影像纠正精度的影响[J]. 测绘通报,2002,(7): 26-28.
- [7] Wang Renxiang, Wang Jianrong, Hu Xin. Photogrammetry of in-flight satellite without ground control point[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011,36(11): 1 261-1 264.
王任享,王建荣,胡莘. 在轨卫星地面控制点摄影测量探讨[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2011,36(11): 1 261-1 264.