

doi:10.3799/dqkx.2010.061

# 基于RPC模型的IRS-P5影像正射校正

王红平<sup>1,2</sup>, 刘修国<sup>1,2</sup>, 罗红霞<sup>1,2</sup>, 成晓英<sup>1,2</sup>

1. 中国地质大学信息工程学院, 湖北武汉 430074

2. 地理信息系统软件及其应用教育部工程中心, 湖北武汉 430074

**摘要:** 为了提高有理函数(rational polynomial coefficient, RPC)模型校正模型的定位精度, 以 IRS-P5 为例, 通过控制点及补偿模型的添加, 比较分析了影像正射校正的精度变化. 发现使用 1 个控制点比不使用控制点, 其校正精度从 55.80 m 提高到 5.80 m; 当控制点数达到 6 个时, 其定位精度接近于 5.0 m, 之后影像定位精度便不会再随控制点数的增加而提高; 使用 1 个控制点和补偿模型, 可将定位精度提高到 4.0 m 左右. 实验表明, 可通过添加少量控制点提高 RPC 模型的正射校正精度, 在缺少控制点的情况下, 使用补偿模型亦能使 RPC 模型达到相当的影像校正精度.

**关键词:** 正射校正; RPC 模型; IRS-P5; 卫星影像.

中图分类号: TP79

文章编号: 1000-2383(2010)03-0485-05

收稿日期: 2010-01-15

## IRS-P5 Satellite Image Ortho Corrections Using RPC Model

WANG Hong-ping<sup>1,2</sup>, LIU Xiu-guo<sup>1,2</sup>, LUO Hong-xia<sup>1,2</sup>, CHENG Xiao-ying<sup>1,2</sup>

1. Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. Engineering Research Center for GIS Software and Applications, Ministry of Education, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Optimizing the RPC (Rational Polynomial Coefficient) model can improve the positioning accuracy of the RPC correction model. Tacking an IRS-P5 image for example, in the cases of using 0-9 control points or using compensation model, we analyze the accuracy change of the image ortho correction. The results show that the accuracy can be improved from 55.80 m to 5.80 m when we increase the control points from 0 to 1; while the accuracy is close to 5.0 m when the number of control points is more than 5; In addition, the accuracy reach 4.0 m when we use 1 control point and compensation model. It indicates that the accuracy of ortho correction of RPC modal can substantially increase by adding control points, also can reach high correction accuracy using compensation model in the cases of missing control point.

**Key words:** ortho correction; RPC model; IRS-P5; satellite image.

## 0 引言

卫星影像以其能够动态、快速、准确及多手段提供(高伟, 2006)对地观测的特点受到越来越多学者的青睐, 随着计算机的日益普及, 卫星影像地图化及地图遥感影像化都可以便捷地实现(刘修国和花卫华, 2002). 由于影像获取过程中产生的影像畸变, 使得卫星影像的几何校正成为国内外学者探讨的重要问题. 校正模型通常分为严格几何模型和广义传感器模型两大类. 作为摄影测量学首选的严格几何模

型尽管校正精度高, 但是解算复杂, 需要姿态信息等数据. 而且因为某些商业原因, 传感器的核心信息和卫星轨道参数并未公开, 传统的严格几何模型不再适用, 这就意味着必须寻找其他可替换的模型来解决实际问题. 其中发展最快、应用最广和最具有代表性的便是有理函数(rational polynomial coefficient, RPC)模型.

尽管有理函数模型的理论很早就已提出, 但是在近几年才受到普遍关注, 而且 RPC 精度研究也受到众多国内外学者的青睐. 国内外许多学者采用

RPC 模型进行了 SPOT-5、QuickBird、IKONOS 等高分辨率卫星影像的正射校正实验,得到了较高精度的实验结果. Tao and Hu(2000)分析了不同的控制点数目与分布对有理函数模型定位精度的影响. Yang(2000)采用了正解和反解两种数学形式,进行了 SPOT 和 NAPP 影像的 RPC 定位实验,认为对于 SPOT 影像,三阶甚至二阶带不同分母的 RPC 模型能够取代严格成像模型;而对于航空影像,一阶 RPC 模型可达足够精度. Hu and Tao(2001)等提出了基于物方空间和像方空间采用控制点来提高 RPC 模型的精度. 张永生和刘军(2004)给出了补偿 RPC 模型系统误差的物方方案和像方方案,并通过 IKONOS 卫星数据的实验验证了补偿模型的可用性. 秦绪文等(2005)提出基于全球数字高程模型(digital elevation model, DEM)无需初值的 RPC 模型参数求解算法,使用 SPOT-5 卫星影像实验得出了采用控制点的格网大小为 20 像素×20 像素、高程分层数为 3 时,可以达到精度和效率平衡的结论. 李德仁等(2006)根据 RPC 模型和像面的仿射变换模型建立了卫星遥感影像区域网平差的数学模型,对两个地区 SPOT-5 HRS 影像进行直接空间前方交会和缺少控制点的区域网平差处理. 实验结果证明了缺少控制点的 SPOT-5 HRS 影像 RPC 模型区域网平差的可行性.

针对印度测图卫星 IRS-P5(Cartosat-1 号卫星)的校正实验国内只有少数报道. 赵利平等(2007)进行了印度测图卫星 IRS-P5 定位精度初步研究,论述了 IRS-P5 使用有理函数模型的定位方法,并使用中国北京的立体像对数据进行了有关实验研究. 虞继进和黄健(2007)利用 LPS 软件,根据数字正射影像(digital orthophoto map, DOM)和 DEM 上选取 9 个点得到三维坐标作为地面控制点,对 IRS-P5 卫星影像进行匹配和纠正. 本文在国内外学者研究的基础上,通过使用少量控制点或使用补偿模型,基于 RPC 模型对陕西某地区 IRS-P5 影像进行正射校正精度分析,通过对比分析不同情况下的正射校正精度变化,发现使用 1 个控制点相比不使用控制点,校正精度从 55.80 m 提高到 5.80 m;使用 6 个及以上控制点,定位精度接近于 5.0 m;不使用控制点而采用补偿模型,可将定位精度提高到 4.0 m 左右. 通过添加少量控制点,或在无控制点情况下使用补偿模型,可大大提高基于 RPC 模型的卫星影像正射校正精度.

## 1 RPC 模型定位原理

RPC 模型的实质是将地面点大地坐标  $D$ (latitude, longitude, height) 与其对应的像点坐标  $d$ (line, sample)用比值多项式关联起来. 为了增强参数求解的稳定性,一般将地面坐标和影像坐标正则化到 -1 至 1 之间. RPC 模型表达式如下:

$$\begin{aligned} X &= \frac{\text{Num}_x(P, L, H)}{\text{Den}_x(P, L, H)}, \\ Y &= \frac{\text{Num}_y(P, L, H)}{\text{Den}_y(P, L, H)}, \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中,  $(P, L, H)$  是正则化后的地面点空间坐标(纬度  $\varphi$ 、经度  $\lambda$ 、高程  $h$ ),  $(X, Y)$  是正则化后的像点坐标  $(S, L)$ .

研究表明,在 RPC 模型中,光学投影系统产生的误差用有理多项式中的一次项来表示;地球曲率、大气折射和镜头畸变等产生的误差能很好地用有理多项式中二次项来模型化;其他一些未知的具有高阶分量的误差如相机震动等,用有理多项式中的三次项来表示. RPC 模型有 9 种不同的形式,如表 1 所示.

表 1 给出了 9 种情况下求解 RPC 模型参数的形式和所需的最少控制点数. 当  $P_x = P_y = 1$  时, RPC 模型退化为一般的三维多项式模型,当  $P_x = P_y \neq 1$  并且在一阶多项式的情况下, RPC 模型退化为直接线性变换模型(direct linear transformation, DLT). 常用的 RPC 模型的补偿方案有线性变换模型和仿射变换模型. 线性变换模型的表达式为:

$$\begin{aligned} x' &= a1 \times x + a0, \\ y' &= b1 \times y + b0, \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中,  $a0, a1, b0, b1$  分别为列和行向上的偏移和缩放比例因子. 仿射变换模型的表达式为:

表 1 RPC 模型参数形式

Table 1 Format of RPC model paramter

形式	分母	阶数	RPC 参数数目	最小控制点数
1	$P_x \neq P_y$	1	14	7
2		2	38	19
3		3	78	39
4	$P_x = P_y \neq 1$	1	11	6
5		2	29	15
6		3	59	30
7	$P_x = P_y = 1$	1	8	4
8		2	20	10
9		3	40	20

$$\begin{aligned} x' &= a \times x + b \times y + c, \\ y' &= d \times x + e \times y + f, \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中,  $a, b, c, d, e, f$  为 6 个仿射变换系数. 通过变换系数对像点坐标进行改正, 然后再进行 RPC 模型计算地面点坐标, 可达到补偿像方坐标点的系统误差, 进而提高 RPC 校正模型的精度.

## 2 IRS-P5 影像校正试验

印度 Cartosat-1 号卫星, 又名 IRS-P5 卫星, 是印度政府于 2005 年 5 月 5 日发射的遥感制图卫星. 校正实验采用中国陕西某地区的 IRS-P5 卫星全色影像, 地面分辨率为 2.5 m.

实验控制点来源于一景融合后的 SPOT-5 正射影像, 采用中国西安 80 高斯-克吕格投影平面坐标系, 地面分辨率为 2.5 m. 实验所用的 9 个地面控制点和 7 个检查点布局如图 1 所示; 高程采用覆盖该区域的 DEM 数据, 投影与参考影像投影相同, 格网间距为 10.0 m. 高程数据如图 2 所示.

### 2.1 不使用控制点的 RPC 校正实验

采用 3 阶 RPC 模型. 选择 18 个均匀分布的明显地物点作为检查点. 统计这 18 个检查点残差的统

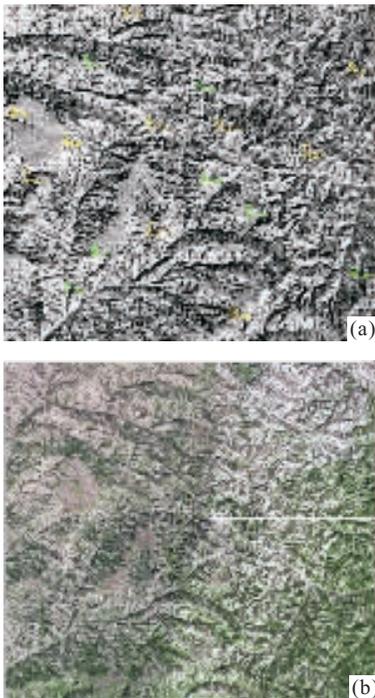


图 1 (a) IRS-P5 原始影像和 (b) SPOT-5 参考影像  
Fig. 1 (a) original IRS-P5 image and (b) reference SPOT-5 image

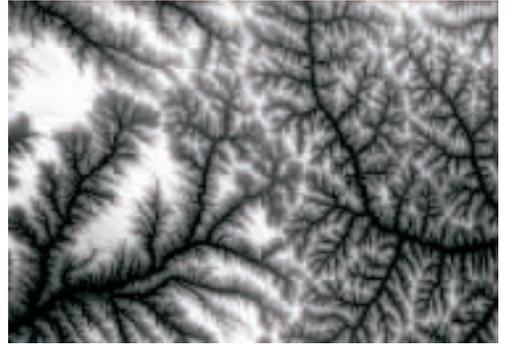


图 2 DEM 数据  
Fig. 2 DEM data

表 2 无控制点的正射校正地面精度 (m)

Table 2 Ground accuracy of ortho correction without control point

	X 方向	Y 方向	Z 方向
最大残差	-53.60	-27.52	60.25
最小残差	-39.56	-29.90	49.59
中误差	46.00	31.60	55.80

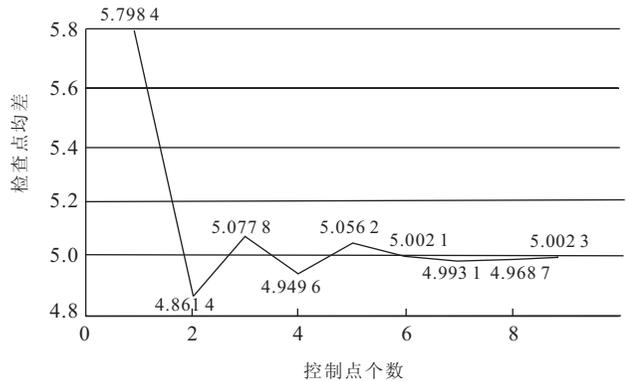


图 3 检查点 (利用控制点实验) 均差精度曲线

Fig. 3 Equal error accuracy curve of check points (using control points)

表 3 仿射变换模型的正射校正地面精度 (m)

Table 3 Ground accuracy of ortho correction with affine transformation model

	X 方向	Y 方向	Z 方向
最大残差	-7.60	4.07	8.62
最小残差	-0.92	-0.35	0.98
中误差	3.53	2.06	4.09

计得到如表 2 所列的精度值.

### 2.2 使用多个控制点的 RPC 校正实验

在没有使用改进模型的情况下, 依次加入 1~9 个控制点, 计算控制点和检查点残差, 得到检查点均

差的精度曲线如图 3 所示。

### 2.3 带补偿模型的 RPC 校正实验

实验利用仿射变换模型来提高 RPC 模型的校正精度,仿射变换模型的参数来源于实验 1,检查点的残差结果。将补偿模型参数  $c$  设置为 45.997,  $f$  设置为 -31.596,  $a$  和  $d$  设置为 1,  $b$  和  $e$  设置为 0。经仿射变换补偿后,使用 18 个检查点对正射校正精度进行统计,精度统计结果如表 3 所示:有 14 个点精度均在平均值以下,包括 6 个 1.6 m 以下、5 个 2.0~2.8 m,3 个 3.3~4.1 m。另外 4 个点误差较大。

## 3 结论

基于 RPC 模型的 IRS-P5 影像正射校正,由上述 3 个实验结果可以看出:

(1) 直接利用 RPC 模型误差较大,但是加入 1 个控制点便可将纠正精度从 55.80 m(因为数据限制,该纠正精度中可能含有因为投影转换而带来的误差)大幅度提高到 6.0 m 左右。可见利用 1 个控制点就可以消除 RPC 模型的系统性误差,提高 IRS-P5 影像对地定位的精度。当控制点个数增加到 2 个时,精度提高了 1.0 m,继续增加控制点到 6 个时,模型的定位精度将会达到 5.0 m 左右,之后便不会再随控制点数的增加而提高。这样的精度完全可以证明:在缺少控制点信息(控制点很少)的情况下,可在一定程度上用 RPC 模型取代严格几何模型,只要很少的控制点便可达到大、中比例尺测图的精度要求。

(2) 利用仿射变换模型对 RPC 模型进行补偿后,精度甚至可达到 4.0 m。可见仿射变换模型也可以很好地消除 RPC 模型的系统性误差。只是软件的模型参数需要手动设置,给模型纠正结果带来很大的不确定性。

(3) 3 个实验证明,利用 RPC 模型进行正射纠正具有很大的精度潜力。相比严格几何模型,RPC 模型形式和过程更为简单,实现上也比严格几何模型容易,完全可以在一定的精度要求下取代严格几何模型。这一点对于我国的沙漠、海洋、西部无人区等困难地区的遥感影像几何处理具有十分重要的意义。

(4) RPC 模型也存在一定的缺陷,它的各个参数不具有物理意义,对这些参数的作用和影响无法

做出定性的解释和判断,参数中隐含了一些系统性误差。同时,RPC 模型的定位精度也具有一定的局限性,实验中检查点平均精度最高只能达到 4 m,如果想进一步提高则比较困难。原因是定位精度受 RPC 模型参数的影响,而参数又依赖于严格几何模型解算得到,所以 RPC 模型的精度会受到严格几何模型的限制。

## References

- Gao, W., 2006. Image fusion based on trous wavelet transform. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 31 (Suppl.): 132—135 (in Chinese with English abstract).
- Hu, Y., Tao, C. V., 2001. Updating solutions of the rational function model using additional control points for enhanced photogrammetric processing. Proceedings of ISPRS joint workshop “high resolution mapping from space”. Hanover, Germany.
- Li, D. R., Zhang, G., Jian, W. S., et al., 2006. SPOT-5 HRS satellite imagery block adjustment without GCPs or with single GCP. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 31 (5): 377—381 (in Chinese with English abstract).
- Liu, X. G., Hua, W. H., 2002. Analysis of GeoTag fields in GeoTiff. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 27 (3): 246—249 (in Chinese with English abstract).
- Qin, X. W., Tian, S. F., Hong, Y. T., et al., 2005. The algorithm for parameters of RPC model without initial value. *Remote Sensing for Land & Resources*, 4: 7—10 (in Chinese with English abstract).
- Tao, C. V., Hu, Y., 2000. Investigation on the rational function model. Proceedings of ASPRS Annual Convention, Washington, D. C., 359—366.
- Yang, X., 2000. Accuracy of rational function approximation in photogrammetry. Proceeding of ASPRS Annual Convention, Washington, D. C., 22—26.
- Yu, J. J., Huang, J., 2007. Remote sensing research and accuracy analysis based on IRS-P5. Jiangsu Province Society of Geodesy Photogrammetry and Cartography, Nanjing, 237 (in Chinese).
- Zhang, Y. S., Liu, J., 2004. The positioning algorithm based on RPC model and its optimizing of stereo images from high resolution remote sensing satellites. *Engineer of Surveying and Mapping*, 13 (1): 1—4 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, L. P., Liu, F. D., Li, J., et al., 2007. Preliminary re-

search on position accuracy of IRS-P5. *Remote Sensing Information*, 2: 28-32 (in Chinese with English abstract).

刘修国,花卫华,2002. GeoTiff 中 GeoTag 域解析. *地球科学——中国地质大学学报*, 27(3): 246-249.

秦绪文,田淑芳,洪友堂,等,2005. 无需初值的 RPC 模型参数求解算法研究. *国土资源遥感*, 4: 7-10.

虞继进,黄健,2007. 基于 IRS-P5 遥感影像的实验与精度分析. *华东地区第十次测绘学术交流大会论文集*, 南京, 237.

张永生,刘军,2004. 高分辨率遥感卫星立体影像 RPC 模型定位的算法及其优化. *测绘工程*, 13(1): 1-4.

赵利平,刘凤德,李健,等,2007. 印度测图卫星 IRS-P5 定位精度初步研究. *遥感信息*, 2: 28-32.

附中文参考文献

高伟,2006. IKONOS 影像融合技术及其在土地监测中的应用. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(增刊): 132-135.

李德仁,张过,江万寿,等,2006. 缺少控制点的 SPOT-5 HRS 影像 RPC 模型区域网平差. *武汉大学学报(信息科学版)*, 31(5): 377-381.

\*\*\*\*\*

(上接 430 页)

黄序鑫,聂瑞华,罗辉琼,等,2009. 基于 SOA 的数据同步技术研究及实现. *计算机工程与设计*, 30(14): 3338-3340, 3435.

同步方案的设计和实现. *解放军理工大学学报(自然科学版)*, 6(4): 330-333.

李超岭,李丰丹,罗显刚,等,2006. 国家地质空间信息网格节点计算池构架及其实现. *国土资源信息化*, 5: 2-8.

王婉菲,张志浩,2003. 分布式数据库系统的复制机制及应用. *计算机工程与科学*, 25(1): 88-91.

刘晓华,2002. .Net Web 服务开发指南. 北京: 电子工业出版社.

吴信才,2009. 数据中心集成开发技术: 新一代 GIS 架构技术与开发模式. *地球科学——中国地质大学学报*, 34(3): 540-546.

沈敏,徐华虎,季永华,等,2005. 基于 XML 的分布式异构数据库数据同步系统的研究. *计算机工程与应用*, 5: 184-186.

吴信才,吴亮,2006. 面向服务的分布式空间信息支撑平台. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(5): 585-589.

时俊苓,叶丹,2008. 一个数据同步系统的设计及实现. *计算机系统应用*, 9: 12-14, 97.

徐世武,谢忠,黄志超,2006. 分布式异构多级空间数据中心的 研究与设计. *地球科学——中国地质大学学报*, 31(5): 624-630.

谈永奇,齐望东,刁兴春,2005. 一种跨越不同安全域的数据