

基于 RPC 模型的 QuickBird 影像正射纠正研究

王海侠, 高 飞, 胡小华

(¹ 合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009; ² 合肥市国土资源局信息中心, 安徽 合肥 230001)

摘 要 出于技术保密的考虑, 高分辨率卫星一般不提供严格的传感器物理模型, 而通用传感器模型由于与具体的传感器无关, 因而更能适应传感器成像方式多样化的发展要求, 成为人们研究的一个热点问题。采用基于有理函数模型的方法来生成 QuickBird 的正射影像, 提出了基于有理函数模型的相关算法, 分析了生成影像的定位精度, 指出了采用该模型还需进一步要研究的问题。

关键词 RPC 模型 DEM 正射影像 定位精度 精度分析

中图分类号: P237

文献标识码: A

文章编号: 1672-4097(2010)06-0013-04

1 引言

高分辨率遥感卫星 IKONOS、SPOT - 5、QuickBird 等的出现, 使其在城市规划、资源调查、地籍管理、灾害预警和疾病防治等领域得到快速利用。QuickBird 卫星由数字地球公司 (Digital Globe) 运营, 是目前空间分辨率最高的商业卫星之一。它有三个处理级别: 基础级产品、标准级产品和正射纠正产品。

由预备正射标准产品来生产正射产品, 可有两种方式: 基于严格物理传感器模型和基于通用传感器模型。由于物理传感器模型是与传感器密切相关的, 不同的传感器具有不同的传感器模型, 因此这种模型会给用户带来诸多不便; 处于技术保密考虑, 一些高性能传感器的镜头构造、成像方式及卫星轨道信息并未公开, 因而用户不可能建立传感器的严格模型, 进一步地影响了其普遍性应用。而通用传感器模型, 器模型的目标空间和影像空间之间的转换关系可以通过一定的数学函数来描述, 这些函数的建立不需要传感器成像的物理模型信息, 具有与传感器无关的特性, 也更能适应传感器成像方式多样化的发展需求, 因此通用传感器模型便成为人们研究的一个重要方向。由于有理函数模型 (RFM 或 RPC) 与其他通用传感器模型相比, 具有更高的定位精度和更好的实用性, 因而成为国内外学者研究的一个热点问题。

本文结合 QuickBird 卫星影像提供的 RPC 文件, 对利用有理函数模型进行正射纠正的原理进行分析研究; 通过实验分析了经正射纠正后影像点的定位精度, 验证了利用有理函数模型进行正射纠正的可行性, 指出了利用该模型的优缺点和进一步需要解决的问题。

2 利用 RPC 模型进行正射纠正的原理

2.1 RPC 模型的定义

RPC 模型是通用传感器模型的一种, 是将像点坐标 (r, c) 表示为以相应地面点空间坐标 (X, Y, Z) 为自变量的多项式的比值:

$$\begin{cases} r_n = \frac{P_1(X_n, Y_n, Z_n)}{P_2(X_n, Y_n, Z_n)} \\ c_n = \frac{P_3(X_n, Y_n, Z_n)}{P_4(X_n, Y_n, Z_n)} \end{cases} \quad (1)$$

式中, (r_n, c_n) 和 (X_n, Y_n, Z_n) 分别表示像素坐标 (r, c) 和地面点坐标 (X, Y, Z) 经平移和缩放后的标准化坐标, 取值在 $(-1, 1)$ 之间, 其变换关系为:

$$\begin{cases} X_n = \frac{X - X_0}{X_s} \\ Y_n = \frac{Y - Y_0}{Y_s} \\ Z_n = \frac{Z - Z_0}{Z_s} \\ r_n = \frac{r - r_0}{r_s} \\ c_n = \frac{c - c_0}{c_s} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $(X_0, Y_0, Z_0, r_0, c_0)$ 为标准化的平移参数, $(X_s, Y_s, Z_s, r_s, c_s)$ 为标准化的比例参数。RPC 模型采用标准化的坐标的目的是减少计算过程中由于数据量级差过大引入的舍入误差。

多项式中每一项的各个坐标分量 X, Y, Z 的幂最大不超过 3, 每一项各个坐标分量的幂的总和也不超过 3 (通常有 1, 2, 3 三种取值)。RPC 模型每个多项式的表示形如下:

$$\begin{aligned} P(X, Y, Z) = & a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XY + a_5XZ + a_6YZ \\ & + a_7X^2 + a_8Y^2 + a_9Z^2 + a_{10}XYZ + a_{11}X^2Y + a_{12}X^2Z \\ & + a_{13}Y^2X + a_{14}Y^2Z + a_{15}XZ^2 + a_{16}YZ^2 + a_{17}X^3 \\ & + a_{18}Y^3 + a_{19}Z^3 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, a_0, a_1, \dots, a_{19} 为有理函数的系数。

2.2 RPC 模型的正射纠正原理

由(2)式, 令

$$X_n = f_x(X) = \frac{X - X_0}{X_s}, Y_n = f_y(Y) = \frac{Y - Y_0}{Y_s}, Z_n = f_z(Z) = \frac{Z - Z_0}{Z_s}, \text{ 则有, } \frac{dX_n}{dX} = \frac{1}{X_s}, \frac{dY_n}{dY} = \frac{1}{Y_s}, \frac{dZ_n}{dZ} = \frac{1}{Z_s},$$

将 $r_n = \frac{r - r_0}{r_s}, c_n = \frac{c - c_0}{c_s}$, 带入公式(1)得:

$$\begin{aligned} r &= r_s \frac{P_1(X_n, Y_n, Z_n)}{P_2(X_n, Y_n, Z_n)} + r_0 \\ c &= c_s \frac{P_3(X_n, Y_n, Z_n)}{P_4(X_n, Y_n, Z_n)} + c_0 \end{aligned} \quad (4)$$

令, $F(X_n, Y_n, Z_n) = \frac{P_1(X_n, Y_n, Z_n)}{P_2(X_n, Y_n, Z_n)}, G(X_n, Y_n, Z_n) = \frac{P_3(X_n, Y_n, Z_n)}{P_4(X_n, Y_n, Z_n)}$ 则(4)式变为:

$$\begin{cases} r = r_s F(X_n, Y_n, Z_n) + r_0 \\ c = c_s G(X_n, Y_n, Z_n) + c_0 \end{cases} \quad (5)$$

将上式的两个方程用泰勒公式展开至一次项, 得:

$$\begin{cases} r = \hat{r} + \frac{\partial}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial}{\partial Z} \Delta Z + r_0 \\ c = \hat{c} + \frac{\partial}{\partial X} \Delta X + \frac{\partial}{\partial Y} \Delta Y + \frac{\partial}{\partial Z} \Delta Z + c_0 \end{cases} \quad (6)$$

误差方程为:

$$\begin{cases} v_r = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} & \frac{\partial}{\partial Y} & \frac{\partial}{\partial Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (r - \hat{r}) \\ v_c = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} & \frac{\partial}{\partial Y} & \frac{\partial}{\partial Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (c - \hat{c}) \end{cases} \quad (7)$$

(7)式的误差方程也可写为:

$$\begin{bmatrix} v_r \\ v_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} & \frac{\partial}{\partial Y} & \frac{\partial}{\partial Z} \\ \frac{\partial}{\partial X} & \frac{\partial}{\partial Y} & \frac{\partial}{\partial Z} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r - \hat{r} \\ c - \hat{c} \end{bmatrix} \quad (8)$$

令 $V = \begin{bmatrix} v_r \\ v_c \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial X} & \frac{\partial}{\partial Y} & \frac{\partial}{\partial Z} \\ \frac{\partial}{\partial X} & \frac{\partial}{\partial Y} & \frac{\partial}{\partial Z} \end{bmatrix}, \Delta = \begin{bmatrix} \hat{r} - r \\ \hat{c} - c \end{bmatrix}$, 则(8)

式变为:

$$V = A\Delta - l \quad (9)$$

由(9)式, 根据法方程, 可求得坐标改正数的最小二乘解为:

$$\Delta = [\Delta X \quad \Delta Y \quad \Delta Z]^T = (A^T A)^{-1} A^T l \quad (10)$$

将(10)式回代到(6)式, 即可以求得经过纠正后的像点坐标 (r, c) 。由于(6)式为线性化后的模型, 为了获得最

优解需进行迭代求解, 迭代后即求出像点坐标 (r, c) 。

上述即为利用 RPC 进行正射纠正的基本原理。

3 实验及分析

3.1 基于 RPC 模型的正射纠正的实验

本实验采用的影像为合肥市的一 QuickBird 原始影像, 影像地形包含山区和平地, 西部以平地为主, 东南部以山区为主, 影像自带有 RPC 文件。采用的实验平台为 ERDAS Image 9.2。以分幅的 1:10000 地形图作为参考采集地面控制点, DEM 采用的是和地形图分幅相一致的 DEM 文件, DEM 的格式为 NSDTF-DEM 格式。

实验的流程图如图 1 所示:

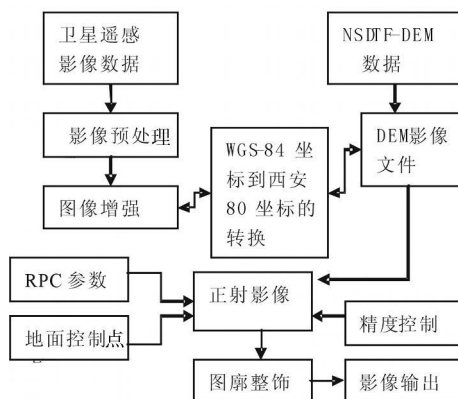


图 1 生成正射影像的流程图

利用 RPC 模型进行正射纠正的主要步骤:

① 影像镶嵌: 将一景影像中包含的各分块影像由 TIFF 格式转变为 IMG 格式, 并进行影像拼接, 形成一景完整的影像。

② 色彩增强: 对影像进行色彩增强处理, 使原始影像变为自然色彩。

③ 坐标转换: 利用合肥市均匀选取的 31 个(至少 3 个)GPS 点, 根据布尔萨模型, 解算合肥地区西安 80 坐标相对于 WGS-84 坐标的七参数, 并在 ERDAS 中根据七参数定义 IAG 75 参考椭球, 将原始影像 WGS-84 坐标转换为我国目前常用的西安 80 坐标。

④ DEM 的生成: 利用覆盖该测区的 NSDTF 格式 DEM, 在 ArcMap 中将其转换为格网 DEM, 再在 ERDAS 中将其转换为符合 ERDAS 处理要求的 DEM。

⑤ DEM 坐标的投影转换: 在 ERDAS 9.2 中将该 DEM 坐标系定义为和影像相同的坐标。

⑥ 正射影像的生成: 在 ERDAS 9.2 中, 利用影像自带的 RPC 模型, 以 1:10 000 地形图作为参考, 采集该测区的地面控制点, 加载覆盖测区的 DEM, 进行

重采样,生成该景影像的正射影像图。生成的 DEM (图 2)和正射影像图(图 3)如下图所示:

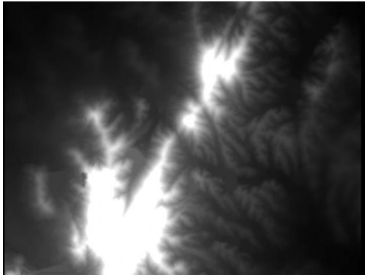


图 2 DEM 的生成

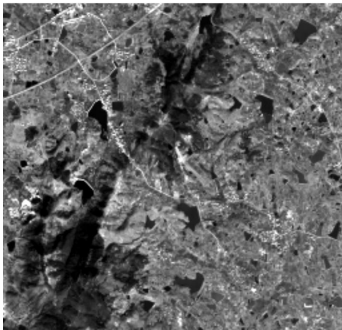


图 3 正射纠正后的影像

3.2 利用 RPC 模型采集地面控制点的定位精度及精度分析

本实验从参考图形上采集了 12 个 GCP,控制点定位精度如下表(表 1):

表 1 GCP 定位精度成果表

点号	X 方向的 残差(m)	Y 方向的 残差(m)	平均误差 (m)	贡献率
GCP1	0.778	-1.133	1.374	0.4977
GCP2	-1.810	3.883	4.284	1.549
GCP3	-0.275	1.932	1.922	0.695
GCP4	0.442	-2.611	2.648	0.957
GCP5	1.425	-2.782	3.125	1.130
GCP6	0.312	-1.271	1.308	0.473
GCP7	-0.458	0.232	0.514	0.186
GCP8	-1.819	4.284	4.654	1.683
GCP9	1.897	2.975	3.528	1.275
GCP10	-1.163	-2.000	2.314	0.836
GCP11	1.423	-1.029	1.756	0.635
GCP12	-0.752	-2.451	2.564	0.927

从表中可以看出采集的地面控制点 X 坐标方向的最小值为 0.275 m,最大值为 1.837 m;Y 坐标方向的最小值为 0.232 m,最大值为 4.285 m;均方差最小值为 0.5 m,最大值为 4.654 m,最大值不超

过 5 m;满足 1 : 10 000 影像成图定位精度要求。

对采集的 GCP 的定位精度的分析:

① GCP 选取是进行影像正射校正和有理函数模型优化的重要步骤,它的数量、质量和分布等指标直接影响成图的精度和质量。选取合适 GCP 数量,控制 GCP 的来源的精度,采取合理的 GCP 分布形式对 GCP 的定位精度都有重要的影响。

② GCP 数量可以根据影响校正所采用的数学模型、GCP 的采集方式或来源、影像区域的地形条件、影像的处理级别、成图精度要求和所采用的软件平台综合分析决定。

③ GCP 应满足一定的位置和分布。GCP 的分布要均匀,影像四角附近均至少要有有一个 GCP。当地形高差较大时,GCP 的垂直分布也非常重要,在最高和最低点或其附近要有 GCP。

④ GCP 位置选取一般应选择在可以精确定位的点,最好选择在道路交叉口的直角转弯处。

⑤ 采用 RPC 模型时,采用一阶有理函数模型定位精度较二阶和三阶有理函数模型低,特别是在地形起伏较大区域定位精度较差。采用二阶和三阶有理函数模型时定位精度相差不大,但采用三阶有理函数模型需要采集更多的地面控制点,所以一般有理函数模型应选择为二阶。

4 结束语

高分辨率遥感卫星在城市规划、资源调查、地籍管理、灾害预警和疾病防治等领域得到大量利用。但出于技术和商业保密的考虑,大多数不提供严格的传感器物理成像模型,因此研究如何利用通用传感器模型来替代严格传感器物理模型,并且使其不大量损失精度成为一个研究重点,利用 RPC 模型来生成正射影像正是 RPC 模型的一个重要应用。采用 RPC 模型进行正射纠正对于精度要求不是很高的影像数据,其高效性和实用性为其应用展现了一幅广阔的图景,值得人们去深入研究利用。当然,如何用更好的方法来提高其定位精度以及如何用更好的方法来检核和评定其定位精度仍是人们需要进一步解决的问题。相信 RPC 模型作为一种重要的通用传感器模型必将得到进一步的深入研究和应用。

参考文献

1 张永生,巩丹超,等著. 高分辨率遥感卫星应用—成像模型、处理算法及应用技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004

2 关元秀,程晓阳, 编著. 高分辨率卫星影像处理指南 [M]. 北京: 科学出版社, 2008 (下转第 24 页)

6 结束语

三维动态地图无论是在直观性、美观性、简便性还是在操作性和信息量方面都大大超过了传统地图。本文主要研讨运用 Creator/Vega 的三维建模、场景参数与特效设置等技术,开发实现淮海工学院苍梧校区三维动态仿真系统,为将来智慧校园系统的全面构建和发展做了一个尝试,相信科技的进步必将带来智慧校园三维漫游的明天。

参考文献

1 郑亮. 基于 Creator 和 CAD 的三维数字小区建模[J]. 四

川测绘, 2007(6): 6 - 16
2 韦波. 基于 MultiGen Creator 的地形建模方法[J]. 大众科技, 2008(4): 80 - 81
3 徐岚. 三维虚拟场景建模技术[J]. 湖北第二师范学院学报, 2009(4): 222 - 224
4 谷正气, 容哲, 杨易等. 三维虚拟场景在车辆导航系统中的应用[J]. 计算机仿真, 2007(8): 22 - 23
5 李伟. 虚拟现实技术在道路交通领域中的应用和探讨[J]. 交通科技与经济, 2006(4): 4 - 5
6 胡建平, 董春华, 陈亚东等. 虚拟现实技术在城市三维地学模拟中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2009(8): 74 - 76

The Design and Implementation of Three-dimensional Map of
Campus Based on Creator / Vega

SHI Zheng-hai, JI Ying-chun, HONG Peng-yu

(Huaihai Institute of Technology, Jiangsu Lianyungang 222005)

Abstract This paper based on the principle of Creator/ Vega, combing the Huaihai Institute of Technology campus geographic information with other information and data through making full use of geographic information technologies, virtual reality technology, remote sensing technology and other high-tech. The realization of the campus landscape, campus information browsing, query and statistics which based on three-dimensional visual interface and virtual reality scenes Interface allows the system users gain comprehensive data and information from multiple angles.

Key words Creator / Vega; 3D campus; virtual reality; dynamic roaming

(上接第 15 页)

3 党安荣, 王晓栋, 陈晓峰, 张建宝, 编著. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003
4 刘军, 张永生, 王冬红. 基于 RPC 模型的高分辨率影像的精确定位[J]. 测绘学报, 2006, 35(1)
5 陈静波, 宋伟东. 基于有理函数模型 IKONOS 单片正射方法研究[J]. 测绘工程, 2008(5)
6 高炳浩. 高分辨率遥感影像纠正处理[J]. 测绘与空间地理信息, 2009(1)

The Research About QuickBird Images Ortho-rectification Based On RPC Models

WANG Hai-xia, GAO Fei, HU Xiao-hua

¹ School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Anhui Hefei 230009, China;

² The Information Center of Hefei Land Resource Bureau, Anhui Hefei 230001, China)

Abstract The high-resolution satellites usually do not supply the strict physical sensors models for technology confidential consideration. However, because of the general sensors models have no relation on the specific sensors, it can be more adaptable to the sensors imaging models' diversification requirements, thus, it becomes to be a hit point for people research. This paper use RPC model to generate QuickBird ortho-images and proposes some relevant algorithms based on RPC models, then, it analyses the precision of ortho-images' positioning and gives some questions which need to be further research.

Key words RPC model; DEM; ortho-images; precision of positioning; precision analysis.