

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2011.08.012

困难地区公路卫星影像测量的控制点布设方法

明 洋, 陈楚江, 余绍淮, 张 霄

(中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要: 针对高分辨率卫星影像的特点, 以及地面控制点难以实测的实际问题, 提出一种沿路线不大于 10 km 布设一个地面控制点基于有理函数模型 (RFM) 区域网平差, 实现高精度卫星测量的方法。通过对我国青海西宁地区 WorldView 卫星影像进行试验, 验证了本文方法的有效性。工程应用结果表明, WorldView 卫星影像可满足 1:2 000 比例尺地形图精度要求, 用于公路初步设计阶段。

关键词: 道路工程; 公路勘察设计; 卫星影像测量; 控制点布设; WorldView 卫星影像; 困难地区

中图分类号: U412.24

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2011) 08-0063-04

Layout Method of Control Points of Satellite Image Measurement for Highways in Difficult Area

MING Yang, CHEN Chujiang, YU Shaohuai, ZHANG Xiao

(CCCC Second Highway Survey and Design Institute Co., Ltd., Wuhan Hubei 430056, China)

Abstract: In view of the characteristics of high-resolution satellite images and the practical problems of difficulty in measuring at ground control points, a method of lying each ground control point along the route within interval less than 10 km was proposed to achieve high-precision satellite positioning using Rational Function Model (RFM) based block adjustment. Through the experiment on the WorldView satellite images of Xining area in Qinghai Province, the method was verified. The application results show that WorldView satellite images can meet the accuracy requirements of 1:2 000 scale topographic map, which can be used for road preliminary design stage.

Key words: road engineering; highway survey and design; satellite image measurement; control point layout; WorldView satellite image; difficult area

0 引言

随着西部大开发国家战略的实施, 公路建设重心呈现出向中西部、边远、荒漠等困难地区延伸的趋势。这些地区, 或交通不便、人迹罕至, 或崇山峻岭、地势险峻, 或是有争议的边界地带等, 建设环境异常恶劣。快速、精确、低成本的获取大范围满足公路设计需要的路线走廊带地形资料已成为公路勘察设计成败的关键。

传统的公路测设通常采用航空摄影测量方

法^[1-2], 由于中西部困难复杂的地形地质条件及其他因素, 航空摄影困难的问题越来越凸显。利用高分辨率卫星, 如 WorldView、Geoeye 等, 进行公路勘察设计逐渐被人们所青睐。在摄影测量领域, 相关学者对基于 RFM 模型的卫星影像定位及应用进行了深入的研究, 涵盖的方面有 RPC 参数的精确求解^[3-4]、RFM 模型的优化^[5-6]、目标的三维定位^[7-8]等, 但是对 WorldView 卫星影像定位缺乏比较全面系统的分析。此外, 公路路线长度可能长达几百公里, 对如此狭长区域的卫星影像进行定位和如

何布设控制点研究较少。

为此,本文针对困难复杂地区公路勘察设计地面控制点难以获取的实际问题,提出了一种沿路线布设地面控制点的方案。利用我国青海某公路工程项目中的实际 WorldView 影像资料,分别采用不同控制点布设间隔和位置进行了试验,得到 WorldView 卫星影像用于公路勘察设计的技术指标和技术参数。

1 基于 RFM 模型的卫星影像区域网平差

卫星影像的几何定位,其主要有两种传感器模型:一是严格成像几何模型,二是有理多项式函数模型(RFM模型)。RFM模型不仅具有与传感器无关、形式简单、便于计算的优点,而且可以达到与严格几何模型相当的精度^[9]。

RFM模型形式如下:

$$\begin{cases} r = \frac{Num_L(P, L, H)}{Den_L(P, L, H)} \\ c = \frac{Num_s(P, L, H)}{Den_s(P, L, H)} \end{cases}, \quad (1)$$

式中, $Num_L(P, L, H)$ 、 $Den_L(P, L, H)$ 、 $Num_s(P, L, H)$ 和 $Den_s(P, L, H)$ 均为 (P, L, H) 的三次有理多项式,但系数不同; (r, c) 、 (P, L, H) 分别为规则化的影像坐标和地面坐标,计算公式如下:

$$\begin{cases} P = \frac{Lat - LAT_OFF}{LAT_SCALE} \\ L = \frac{Lon - LONG_OFF}{LONG_SCALE} \\ H = \frac{Height - HEIGHT_OFF}{HEIGHT_SCALE} \\ r = \frac{sample - SAMP_OFF}{SAMP_SCALE} \\ c = \frac{line - LINE_OFF}{LINE_SCALE} \end{cases}, \quad (2)$$

式中, LAT_OFF 、 LAT_SCALE 、 $LONG_OFF$ 、 $LONG_SCALE$ 、 $HEIGHT_OFF$ 和 $HEIGHT_SCALE$ 为地面坐标的正则化参数; $SAMP_OFF$ 、 $SAMP_SCALE$ 、 $LINE_OFF$ 和 $LINE_SCALE$ 为影像坐标的正则化参数; Lat 、 Lon 和 $Height$ 表示地面点的空间坐标; $sample$ 和 $line$ 代表地面点对应的像点坐标。

利用地面控制点,可以消除影像自带 RPC 参数中的系统误差,实现卫星影像的精确几何定位。通常,在像方定义一个仿射变换模型对其进行改正^[10],即:

$$\begin{cases} F_x = px_0 + px_1 \cdot sample + px_2 \cdot line + sample - x = 0 \\ F_y = py_0 + py_1 \cdot sample + py_2 \cdot line + line - y = 0 \end{cases}, \quad (3)$$

式中, (x, y) 为地面控制点在影像上量测坐标的列号和行号; $(sample, line)$ 为地面控制点利用 RPC 参数投影到影像上的坐标列号和行号; (px_i, py_i) ($i=0, 1, 2$) 是待求的仿射变换系数。

对于每个连接点和地面控制点,以仿射变换系数和其对应的物方坐标为未知数,对公式(3)线性化,得到其对应的误差方程:

$$\begin{cases} v_x = \frac{\partial F_x}{\partial px_0} dpx_0 + \frac{\partial F_x}{\partial px_1} dpx_1 + \frac{\partial F_x}{\partial px_2} dpx_2 + \frac{\partial F_x}{\partial py_0} dpy_0 + \\ \frac{\partial F_x}{\partial py_1} dpy_1 + \frac{\partial F_x}{\partial py_2} dpy_2 + \frac{\partial F_x}{\partial Lat} dLat + \frac{\partial F_x}{\partial Lon} dLon + \\ \frac{\partial F_x}{\partial Height} dHeight - (-F_{x0}) \\ v_y = \frac{\partial F_y}{\partial px_0} dpx_0 + \frac{\partial F_y}{\partial px_1} dpx_1 + \frac{\partial F_y}{\partial px_2} dpx_2 + \frac{\partial F_y}{\partial py_0} dpy_0 + \\ \frac{\partial F_y}{\partial py_1} dpy_1 + \frac{\partial F_y}{\partial py_2} dpy_2 + \frac{\partial F_y}{\partial Lat} dLat + \frac{\partial F_y}{\partial Lon} dLon + \\ \frac{\partial F_y}{\partial Height} dHeight - (-F_{y0}) \end{cases}, \quad (4)$$

式中, v_x 、 v_y 为 F_x 、 F_y 虚拟观测值的改正数; dpx_i 、 dpy_i 为影像仿射变换系数的改正数; $dLat$ 、 $dLon$ 、 $dHeight$ 为连接点或者控制点物方坐标的改正数; $\frac{\partial F_x}{\partial px_i}$ 、 $\frac{\partial F_x}{\partial py_i}$ 、 $\frac{\partial F_y}{\partial px_i}$ 、 $\frac{\partial F_y}{\partial py_i}$ ($i=0, 1, 2$) 分别为 F_x 、 F_y 对仿射变换系数的偏导数; $\frac{\partial F_x}{\partial Lat}$ 、 $\frac{\partial F_x}{\partial Lon}$ 、 $\frac{\partial F_x}{\partial Height}$ 、 $\frac{\partial F_y}{\partial Lat}$ 、 $\frac{\partial F_y}{\partial Lon}$ 、 $\frac{\partial F_y}{\partial Height}$ 分别为 F_x 、 F_y 对物方坐标的偏导数; F_{x0} 、 F_{y0} 为未知参数取近似值时 F_x 、 F_y 的计算值。

此外,对地面控制点的物方坐标,将其视为带权观测值进行处理,列立如下的误差方程:

$$\begin{bmatrix} v_{Lat} \\ v_{Lon} \\ v_{Height} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} dLat \\ dLon \\ dHeight \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Lat - Lat^0 \\ Lon - Lon^0 \\ Height - Height^0 \end{bmatrix} \text{权} Pc \quad (5)$$

联立公式(4)和公式(5),采用最小二乘平差计算方法,可解算出每张影像的仿射变换系数。

2 试验及结果分析

2.1 试验数据介绍

本文选取青海西宁至武威高速公路、西宁至张

按高速公路相交地段作为试验区, 东西向长约 40 km、南北向长约 30 km, 宽约 10 km, 呈 7 字状。试验区的影像主要由 4 条 Worldview 扫描条带影像构成, 条带号分别为 41410、41331、41041 和 40948, 每扫描条带影像按景大小分割为若干幅, 共 22 幅影像。其中, 条带 41041 和条带 40948 的影像在南北向构成立体, 条带 41410 和条带 41331 的影像在东西向构成立体, 并在东西向尾部和南北向条带影像具有一定重叠。

区域地貌宏观上属于高山峡谷地貌, 峡谷、盆地相间。7 字状区域的東西横向主要包括门源县县城, 属于大通河谷地, 地形相对平坦。但 7 字状区域的南北纵向, 山地丘陵较多, 高拔陡峻的大阪山自西向东横向穿过。

为了有效的评价 Worldview 卫星测量的定位精度, 在试验区范围内尽可能多的布置了影像控制点。在试验区范围内, 沿路线前行方向, 按照相邻点对间距 3~5 km 的密度进行布设四等基础控制点, 共布设了 15 对, 每对点之间保持通视, 间隔介于 500~1 000 m。影像控制点的布设是在四等基础控制的基础上, 每隔 3~5 km 距离布设一排平高影像控制点。对于每排影像控制点, 在影像像幅的约 10 km 宽范围内, 每间隔约 3 km 左右布设一个影像控制点。试验区内共均匀分布了 52 个影像控制点。

2.2 试验结果与分析

本课题分别沿路线取不同的间隔布设地面控制点进行了试验, 并与四角布设地面控制点的方案进行结果比对和联合处理, 对方案进行分析。此外, 在方案 2 和方案 3 的基础上, 变换选取控制点的位置, 构成方案 7、方案 8、方案 9 和方案 10。具体布点方案如下:

方案 1: 区域四角布设地面控制;

方案 2: 沿路线每 4 km 布设一个地面控制点;

方案 3: 沿路线每 8 km 布设一个地面控制点;

方案 4: 沿路线每 10 km 布设一个地面控制点;

方案 5: 沿路线每 14 km 布设一个地面控制点;

方案 6: 区域四角并沿线 8 km 布设一个地面控制点;

方案 7: 沿路线每 4 km 下部布设一个地面控制点;

方案 8: 沿路线每 4 km 按 Z 形布设一个地面控制点;

方案 9: 沿路线每 8 km 下部布设一个地面控制点;

方案 10: 沿路线每 8 km 按 Z 形布设一个地面控

制点。

地面控制点布设方案的示意图如图 1 所示, 其中, 方案 1 控制点点号为 73、82、97、104、125 和 128; 方案 2 控制点点号为 75、80、86、90、93、98、99、103、111、117、119、122、123、126 和 128; 方案 3 控制点点号为 75、86、93、98、102、111、117、122、126 和 128; 方案 4 控制点点号为 75、90、98、111、122 和 126; 方案 5 控制点点号为 75、93、98、117 和 126; 方案 6 控制点点号为 73、75、76、86、93、98、102、104、109、111、117、122、125 和 128; 方案 7 控制点点号为 76、81、87、91、93、97、114、115、121、123 和 125; 方案 8 控制点点号为 74、80、87、90、93、95、101、106、109、117、120、122、123 和 126; 方案 9 控制点点号为 76、82、91、93、97、114、121、123 和 125; 方案 10 控制点点号为 73、80、91、93、98、106、109、120、123 和 127。不同地面控制点布设方案的平差结果如表 1 所示。

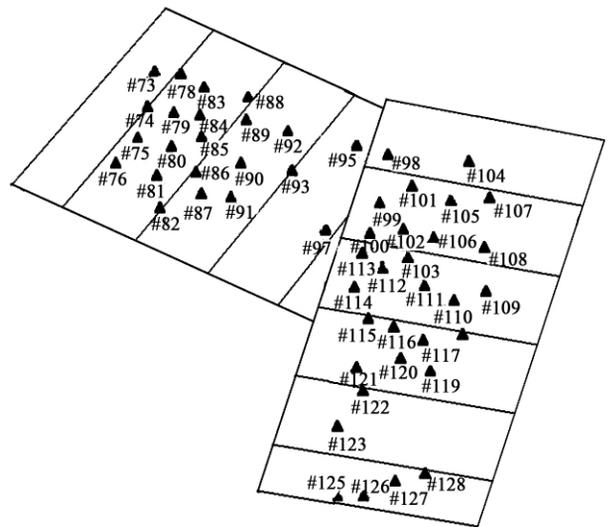


图 1 控制点分布图

Fig. 1 Schematic diagram of different layouts of ground control points

分析表 1 中数据, 可以得出如下结论:

(1) 当沿路线每 4 km 布设一个地面控制点时, 获得了比四角布设地面控制点更优的定位精度, 这也从侧面表明了沿路线布设地面控制点的有效性。相比四角布设控制点的方案, 虽然沿线布设控制点方案利用了较多的地面控制点, 但是由于沿路线方向, 通常交通比较便利, 且其对控制点位置要求比较灵活, 地面控制点的外业测量更加容易实施。

(2) WorldView 卫星影像定位精度非常稳定, 各种方案最终定位精度相差不大, 且当控制点间隔相

表1 不同地面控制点布设方案的卫星影像区域网平差精度

Tab. 1 Block adjustment accuracies of different layouts of ground control points

方案	中误差/pixel	控制点精度/m				检查点精度/m			
		X	Y	Z	点位	X	Y	Z	点位
1	0.26	0.355	0.402	0.485	0.723	0.529	0.675	0.560	1.024
2	0.28	0.558	0.540	0.296	0.831	0.542	0.554	0.504	0.924
3	0.28	0.504	0.500	0.333	0.784	0.563	0.578	0.468	0.933
4	0.28	0.609	0.603	0.436	0.962	0.549	0.587	0.515	0.955
5	0.28	0.486	0.452	0.722	0.981	0.661	0.634	0.880	1.270
6	0.27	0.522	0.472	0.366	0.793	0.561	0.610	0.411	0.925
7	0.29	0.492	0.619	0.434	0.902	0.524	0.536	0.520	0.912
8	0.30	0.536	0.567	0.365	0.861	0.487	0.536	0.428	0.841
9	0.28	0.379	0.586	0.407	0.808	0.586	0.653	0.537	1.029
10	0.29	0.530	0.622	0.421	0.919	0.616	0.619	0.413	0.966

当时,变换地面控制点的位置,定位精度所受影响亦较小,表明卫星测量的控制点布设方案具有很好的灵活性。

(3)沿路线不大于10 km布设一个地面控制点,不仅可保证地面控制点测量的顺利实施,而且其定位结果可满足规范对于1:2 000比例尺地形测图的精度要求,可用于公路初步设计阶段。

3 结语

针对困难复杂地区公路勘察设计地形资料难以获取的实际情况,本文对当前全球分辨率最高的WorldView影像的定位精度和控制点布设方式进行了研究,并根据公路勘察设计的特点,提出了一种沿路线布设地面控制的方案。通过对青海西宁地区影像进行试验,结果表明沿路线不大于10 km布设一个地面控制点,不仅可保证地面控制点测量的顺利实施,而且其定位结果可满足规范对于1:2 000比例尺地形测图的精度要求,可用于公路初步设计阶段。本文方案能有效解决西部困难地区控制点难以测量的实际问题,具有显著的经济和社会效益。

参考文献:

References:

- [1] 符锌砂. 航测数模技术在公路路线施工图设计中的应用[J]. 中国公路学报, 1997, 10(1): 21-26.
FU Xinsha. The Application of Aerial Photogrammetry and Digital Terrain Model in Highway Route Design [J]. China Journal of Highway and Transport, 1997, 10(1): 21-26.
- [2] 陈楚江. 摄影测量与遥感技术同GPS、公路CAD的集成[J]. 遥感信息, 2000(4): 53-56.
CHEN Chujiang. The Integration of Photogrammetry and

Remote Sensing with GPS and Road CAD [J]. Remote Sensing, 2000(4): 53-56.

- [3] TAO C V, YONG H. A Comprehensive Study on the Rational Function Model for Photogrammetric Processing [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67(12): 1347-1357.
- [4] 余俊鹏. 高分辨率卫星遥感影像的精确几何定位[D]. 武汉: 武汉大学, 2009.
YU Junpeng. Accurate Geometric Positioning of High Resolution Satellite Remote Sensing Imagery [D]. Wuhan: Wuhan University, 2009.
- [5] FRACER C, DIAL G, GRODECKI J. Sensor Orientation via RPCs [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2006, 60(3): 182-194.
- [6] FRACER C, YAMAKAWA T. Bias Compensation in Rational Functions for Ikonos Satellite Imagery [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2003, 69(1): 53-57.
- [7] GRODECKI J, DIAL G. Block Adjustment of High-resolution Images Described by Rational Functions [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2003, 69(1): 59-69.
- [8] TAO C V, YONG H. Image Rectification Using a Generic Sensor Model - rational Function Model [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, XIX(B4): 874-881.
- [9] DIAL G, GRODECKI J. Block Adjustment With Rational Polynomial Camera Models [C] // Proceedings of ACSM-ASPRS Annual Conference. Washington, D. C. USA: [s. n.], 2002.
- [10] DOWMAN I, DOLLOFF F. An Evaluation of Rational Functions for Photogrammetric Restitution [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33: 254-266.