

文章编号:1001-1595(2009)02-0125-06

# 多源卫星遥感影像的光束法区域网平差

邢 帅, 徐 青, 刘 军, 李建胜

信息工程大学 测绘学院, 河南 郑州 450052

## Bundle Block Adjustment with Multi-source Satellite Remote Sensing Images

XING Shuai, XU Qing, LIU Jun, LI Jian-sheng

Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China

**Abstract :** The source data of bundle block adjustment has been extended from single-source to multi-source in this paper. A composite bundle block adjustment model and corresponding weight matrix have been constructed based on imaging models of linear CCD and SAR remote sensing images. It has been used to achieve exterior orientation elements of each image and ground coordinates of pass points by integral solution. The spatiotriangulation experiment was applied to 3 images in one block (panchromatic SPOT-5 HRV, panchromatic SPOT-4 HRV and RADARSAT-1) acquired over the same area from different viewing/look angles. Experiment results proved our model was correct, and then the factors influencing the accuracy of bundle block adjustment were analyzed.

**Key words :** bundle block adjustment; multi-source satellite remote sensing images; weight; accuracy

**摘 要 :** 尝试将光束法区域网平差模型从单一数据扩展到多源数据,以线阵 CCD 和 SAR 两种遥感影像构像模型为例,建立一种“复合式”光束法区域网平差模型,并定义相应的权矩阵,通过整体答解获得像片的外方位元素和加密点的大地坐标。利用一组由三幅不同卫星影像构成的区域网进行平差试验,试验结果证明该平差模型的正确性,并分析影响平差精度的因素。

**关键词 :** 光束法区域网平差; 多源卫星遥感影像; 权; 精度

中图分类号: P237

文献标识码: A

区域网空中三角测量是摄影测量过程中的一个重要步骤,是利用计算方法以及少量控制点和加密点的像点坐标,获得区域网内所有像片的外方位元素以及加密点的地面坐标的过程。随着人们对测量精度的要求越来越高,光束法已经是目前进行区域网空中三角测量的首选方法<sup>[1]\*</sup>,不仅平差模型因为 GPS, IMU 等辅助数据的出现发生了变化,而且应用范围也从画幅式像片扩展到线阵 CCD 和 SAR 影像,从航空像片扩展到航天影像<sup>[2~6]</sup>。

但是当前的光束法平差模型还只是针对在一定时间段内由同一传感器获取的影像,而多种传感器在不同时间获取的影像进行区域网平差则并未得到注意,袁修孝等在 2005 年利用 3 组不同时期、不同比例尺的航片进行了自检校光束法区域网平差的实验<sup>[7]</sup>,实验结果证实了对同一地区的多时相航摄影像,将不同时相的航空影像进行联合平差是可行的。本文将这一思路扩展至多源卫星遥感影

像,对一组同一地区不同时相、不同传感器的卫星遥感影像建立光束法区域网平差模型,通过整体答解获得所有影像的外方位元素及加密点大地坐标。

### 1 2 种卫星遥感影像构像模型

#### 1.1 线阵 CCD 构像模型

线阵 CCD 影像是由线性阵列传感器沿飞行方向推扫而成的,每一扫描行图像与被摄物体之间具有严格的中心投影关系,每一扫描行都具有各自的外方位元素。在垂直成像的情况下, $i$  行上的中心投影关系式为<sup>[8]</sup>

$$\left. \begin{aligned} x_i &= -f \frac{a_1(X-X_{si})+b_1(Y-Y_{si})+c_1(Z-Z_{si})}{a_3(X-X_{si})+b_3(Y-Y_{si})+c_3(Z-Z_{si})} \\ 0 &= -f \frac{a_2(X-X_{si})+b_2(Y-Y_{si})+c_2(Z-Z_{si})}{a_3(X-X_{si})+b_3(Y-Y_{si})+c_3(Z-Z_{si})} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, $a_i, b_i, c_i (i=1, 2, 3)$  是由第  $i$  扫描行的外方位扫描角元素  $\varphi_i, \omega_i, \kappa_i$  所确定的旋转矩阵。

将式(1)进行线性化后得到

\* 江延川. 解析摄影测量学,信息工程大学测绘学院教材,1991. 232-246.

$$\left. \begin{aligned} & A_{11}^L d\varphi_0 + A_{12}^L d\omega_0 + A_{13}^L d\kappa_0 + A_{14}^L dX_{s0} + A_{15}^L dY_{s0} + \\ & A_{16}^L dZ_{s0} + A_{17}^L yd\dot{\varphi} + A_{12}^L yd\dot{\omega} + A_{13}^L yd\dot{\kappa} + A_{14}^L yd\dot{X}_s + \\ & A_{15}^L yd\dot{Y}_s + A_{16}^L yd\dot{Z}_s + B_{11}^L dX + B_{12}^L dY + B_{13}^L dZ - l_x^L = v_x^L \\ & A_{21}^L d\varphi_0 + A_{22}^L d\omega_0 + A_{23}^L d\kappa_0 + A_{24}^L dX_{s0} + A_{25}^L dY_{s0} + \\ & A_{26}^L dZ_{s0} + A_{21}^L yd\dot{\varphi} + A_{22}^L yd\dot{\omega} + A_{23}^L yd\dot{\kappa} + A_{24}^L yd\dot{X}_s + \\ & A_{25}^L yd\dot{Y}_s + A_{26}^L yd\dot{Z}_s + B_{21}^L dX + B_{22}^L dY + B_{23}^L dZ - l_y^L = v_y^L \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

其中,  $d\varphi_0, \dots, dZ_s$  为各外方位元素的改正数,  $dX, dY, dZ$  为地面点坐标改正数,  $A_{ij}^L$  为各外方位元素改正数的系数,  $B_{ij}^L$  为各地面点坐标改正数的系数,  $l_x^L, l_y^L$  为常数项,  $v_x^L, v_y^L$  为像坐标改正数。式(2)写成矩阵形式为

$$A^L \cdot \Delta^L + B^L \cdot X^L - L^L = V^L \quad (3)$$

### 1.2 SAR 构像模型

F. Leberl 模型是根据雷达图像像点的距离公式和多普勒公式来表达雷达图像瞬间构像的数学模型<sup>[9]</sup>。其表达式如下:

距离公式(斜距图像)为

$$\begin{aligned} (X - X_s)^2 + (Y - Y_s)^2 + (Z - Z_s)^2 = \\ (y_s M_y + D_{s0})^2 \end{aligned} \quad (4a)$$

多普勒公式为

$$\begin{aligned} X_v(X - X_s) + Y_v(Y - Y_s) + \\ Z_v(Z - Z_s) = -\frac{\lambda R_s}{2} f_{DC} \end{aligned} \quad (4b)$$

其中,  $D_{s0}$  为扫描延迟,  $y_s$  为地面点  $P$  在斜距显示图像上的距离向像坐标,  $M_y$  为斜距图像的距离向像比例尺,  $(X, Y, Z)$  为地面点  $P$  的物方空间坐标,  $(X_s, Y_s, Z_s)$  为天线中心瞬时位置  $S$  的物方空间坐标,  $(X_v, Y_v, Z_v)$  为天线中心瞬时位置  $S$  的速度,  $R_s$  为地面点  $P$  的斜距,  $\lambda$  为雷达波长,  $f_{DC}$  为多普勒频率(通常为 0)。

将式(4)进行线性化后得到

$$\left. \begin{aligned} & A_{11}^S dX_{s0} + A_{12}^S dY_{s0} + A_{13}^S dZ_{s0} + A_{14}^S dX_{v0} + A_{15}^S dY_{v0} + \\ & A_{16}^S dZ_{v0} + A_{17}^S dX_{a0} + A_{18}^S dY_{a0} + A_{19}^S dZ_{a0} + \\ & B_{11}^S dX + B_{12}^S dY + B_{13}^S dZ - l_x^S = C_{11} v_x^S + C_{12} v_y^S \\ & A_{21}^S dX_{s0} + A_{22}^S dY_{s0} + A_{23}^S dZ_{s0} + A_{24}^S dX_{v0} + A_{25}^S dY_{v0} + \\ & A_{26}^S dZ_{v0} + A_{27}^S dX_{a0} + A_{28}^S dY_{a0} + A_{29}^S dZ_{a0} + \\ & B_{21}^S dX + B_{22}^S dY + B_{23}^S dZ - l_y^S = C_{21} v_x^S + C_{22} v_y^S \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

其中  $dX_{s0}, \dots, dZ_{a0}$  为各外方位元素的改正数,  $C_{ij}$  为像坐标改正数的系数, 其他各项与式(2)中意义相同。式(5)写成矩阵形式为

$$A^S \cdot \Delta^S + B^S \cdot X^S - L^S = C \cdot V^S = V^S \quad (6)$$

## 2 光束法平差模型

这里以一幅线阵 CCD 影像和一幅 SAR 影像为例来推导本文的平差模型。

根据式(3)和式(6), 对重叠范围内的加密点可列出下面一组误差方程

$$\left. \begin{aligned} & A_P^L \cdot \Delta^L + B_P^L \cdot X_P - L_P^L = V_P^L \quad P_P^L \\ & A_P^S \cdot \Delta^S + B_P^S \cdot X_P - L_P^S = V_P^S \quad P_P^S \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

写成矩阵形式为

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} A_P^L & 0 & B_P^L \\ 0 & A_P^S & B_P^S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta^L \\ \Delta^S \\ X_P \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} L_P^L \\ L_P^S \end{pmatrix} = \\ \begin{pmatrix} V_P^L \\ V_P^S \end{pmatrix} \quad \text{权阵} \begin{pmatrix} P_P^L & 0 \\ 0 & P_P^S \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

对地面控制点也可得到形如式(8)的误差方程:

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} A_G^L & 0 & B_G^L \\ 0 & A_G^S & B_G^S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta^L \\ \Delta^S \\ X_G \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} L_G^L \\ L_G^S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_G^L \\ V_G^S \end{pmatrix} \quad \text{权阵} \begin{pmatrix} P_G^L & 0 \\ 0 & P_G^S \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

式(9)中, 如果认为控制点坐标准确, 则  $X_G$  为零; 若考虑到控制点有误差时, 则  $X_G$  为非零矩阵, 且要增加一组控制点观测误差方程为

$$E \cdot X_G - L_G^X = V_G^X \quad \text{权阵} \quad P_G^X \quad (10)$$

此外, 对于线阵 CCD 影像, 为保证在定向参数高度相关的情况下解的稳定性, 对定向参数有必要引进如下“伪观测值”误差方程<sup>[4]</sup>:

$$E \cdot \Delta^L - L_A^L = V_A^L \quad \text{权阵} \quad P_A^L \quad (11)$$

其中,  $L_A^L$  通常为零。

将式(8)~式(11)联立可构成如式(12)的误差方程组。

误差方程可总体表示为

$$A \cdot \Delta - L = V \quad \text{权} \quad P \quad (13)$$

经法化答解后得

$$\Delta = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} A_P^L & & B_P^L \\ & A_P^S & B_P^S \\ A_G^L & & B_G^L \\ & A_G^S & B_G^S \\ & & E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta^L \\ \Delta^S \\ X_P \\ X_G \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} L_P^L \\ L_P^S \\ L_G^L \\ L_G^S \\ L_A^L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_P^L \\ V_P^S \\ V_G^L \\ V_G^S \\ V_A^L \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} \mathbf{V}_P^L \\ \mathbf{V}_P^S \\ \mathbf{V}_G^L \\ \mathbf{V}_G^S \\ \mathbf{V}_G^X \\ \mathbf{V}_\Delta^L \end{pmatrix} \text{权阵} \begin{pmatrix} \mathbf{P}_P^L \\ & \mathbf{P}_P^S \\ & & \mathbf{P}_G^L \\ & & & \mathbf{P}_G^S \\ & & & & \mathbf{P}_G^X \\ & & & & & \mathbf{P}_\Delta^L \end{pmatrix} \quad (12)$$

### 3 权矩阵的确定

由式(12)可知, 误差方程组中包含六类方程, 其对应的权分别为: 线阵 CCD 影像上加密点的权  $\mathbf{P}_P^L$  和控制点的权  $\mathbf{P}_G^L$ , SAR 影像上加密点的权  $\mathbf{P}_P^S$  和控制点的权  $\mathbf{P}_G^S$ , 控制点观测值的权  $\mathbf{P}_G^X$  以及线阵 CCD 影像“伪观测值”的权  $\mathbf{P}_\Delta^L$ 。下面分别介绍各个权值的确定方法。

1.  $\mathbf{P}_P^L$ 。  $\mathbf{P}_P^L$  主要由线阵 CCD 影像的地面分辨率来决定。如果参加平差的影像的地面分辨率相同, 则权值相同, 可赋为 1。 否则的话, 根据权的定义, 影像  $j$  的权值  $P_j$  可按式(14)确定:

$$P_j = \left( \frac{r_{\max x}}{r_{jx}} \cdot \frac{r_{\max y}}{r_{jy}} \right) \cdot P_{\max} \quad (14)$$

其中,  $P_{\max}, r_{\max x}, r_{\max y}$  分别为区域网中所有线阵 CCD 影像中分辨率最高的影像的权值(设为 1)及其  $x$  方向和  $y$  方向分辨率,  $r_{jx}, r_{jy}$  分别为影像  $j$  的  $x$  方向和  $y$  方向分辨率。

2.  $\mathbf{P}_G^L$ 。  $\mathbf{P}_G^L$  由如下公式确定:

$$\mathbf{P}_G^L = k^L \cdot \mathbf{P}_P^L \quad (15)$$

其中,  $k^L$  为放大系数, 通常大于 1, 以保证控制点发挥控制作用。

3.  $\mathbf{P}_P^S$ 。 由式(6)可知,  $\mathbf{V}^S$  并非像点观测值的直接改正数, 而是间接改正数, 因此其权值  $\mathbf{P}_P^S$  必须由像点观测值的权值计算得到。按照文献[10]中定义的权与协方差的关系, 可以得到

$$\mathbf{P}_P^S = (\mathbf{Q}_P^S)^{-1} = \left( \frac{1}{\sigma_0^2} \sum \mathbf{V}^S \right)^{-1} \quad (16)$$

根据  $\mathbf{C} \cdot \mathbf{v}_S^S = \mathbf{V}^S$  以及协方差的传播规律[11]可得

$$\begin{aligned} \sum \mathbf{V}^S &= \mathbf{C} \cdot \sum \mathbf{v}_S^S \cdot \mathbf{C}^T = \\ \mathbf{C} \cdot (\sigma_0^2 \mathbf{E}) \cdot \mathbf{C}^T &= \sigma_0^2 \cdot \mathbf{C} \mathbf{C}^T \end{aligned} \quad (17)$$

将式(17)代入式(16)得

$$\mathbf{P}_P^S = (\mathbf{C} \mathbf{C}^T)^{-1} \quad (18)$$

4.  $\mathbf{P}_G^S$ 。

$$\mathbf{P}_G^S = k^S \cdot \mathbf{P}_P^S \quad (19)$$

其中,  $k^S$  为放大系数, 通常大于 1, 以保证控制点发挥控制作用。

5.  $\mathbf{P}_G^X$ 。 该值可根据控制点的测量精度与像点量测精度的比例来确定, 通常在  $[0, 1]$  区间内取值。

6.  $\mathbf{P}_\Delta^L$ 。 由于式(2)中的 6 个外方位元素的改正数通常不为 0, 而 6 个外方位元素变化率的改正数则非常接近 0, 因此  $\mathbf{P}_\Delta^L$  中 6 个外方位元素改正数的权值可取接近于 0 的小值或直接设为 0, 6 个外方位元素变化率改正数的权值则取接近于 1 的值。

### 4 试验与分析

#### 4.1 试验数据

本文选择 3 颗卫星在不同时间获取的北京地区的遥感影像, 其具体参数见表 1。 图 1 显示了 3 幅影像的覆盖区域, 其中虚线四边形和点状线四边形分别对应 SPOT-4 和 SPOT-5 影像的覆盖区域, 实线四边形对应 Radarsat-1 影像的覆盖区域。 由图 1 可以看出, SPOT-4 和 SPOT-5 影像约有 50% 的部分重叠, 且两者的并集构成了整个试验区域。 Radarsat-1 影像的覆盖区域在试验区域内, 且与 SPOT-5 影像有约 90% 的重叠。

表 1 试验影像的参数统计

Tab. 1 Statistics of three space-borne images

卫星	获取时间	入射角/(°)	分辨率/m	投影方式
SPOT-5	2002-2-10	2.76	5	线阵列 中心投影
SPOT-4	2005-4-27	15	10	线阵列 中心投影
Radarsat-1	2002-11-6	44.3	方位向 8.82 距离向 5.56	斜距投影

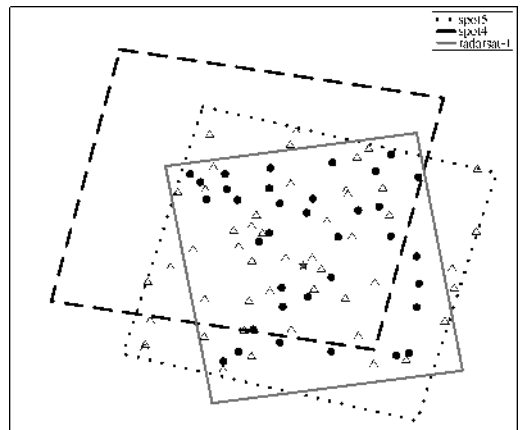


图 1 3 幅卫星影像对应区域及控制点、加密点分布示意图  
Fig. 1 Distribution of three space-borne images and ground control points and pass points

图 1 中还显示了试验所选地面控制点和加密点的分布情况,其中空心三角形表示的是控制点,共 50 个,实心圆形表示的是加密点,共 35 个,均是从 1:25 000 的栅格地形图上人工选取的,五角星代表天安门所处的位置。所有控制点均为平高控制点,且保证在重叠区域的周边有一定的分布。加密点均为三度或二度重叠,且地面坐标已知,在本文中作为检查点使用。

#### 4.2 试验

首先我们将 3 张像片构成一区域网进行整体平差,采用密集控制方案,即所有控制点和加密点均用来组成误差方程,通过整体解算得到各个像

片的外方位元素以及加密点的地面坐标,控制点和加密点的精度统计结果见表 2 和表 3。然后,根据影像的分布还尝试了稀疏控制方案,即仅使用 SPOT-5 和 SPOT-4 上具有两度重叠的控制点参与平差,这样做是考虑到 SAR 影像上噪声较多使得控制点的选取精度不高,放弃 SAR 影像的控制可避免将控制点量测误差带入平差中,且 SAR 影像也包含有大部分的三度重叠区域。图 1 显示这些参与平差的控制点基本分布在 Radarsat-1 影像的四周,基本具备了稀疏控制的条件,其平差结果见表 3。

表 2 控制点精度检查统计结果

Tab. 2 Statistics of RMS of ground control points

/pixel

影 像	单片定向						光束法平差							
	RMS <sub>x</sub>		RMS <sub>y</sub>		RMS <sub>xy</sub>		RMS <sub>x</sub>		RMS <sub>y</sub>		RMS <sub>xy</sub>			
	绝对值 最小值	绝对值 最大值	绝对值 中误差	绝对值 最小值	绝对值 最大值	绝对值 中误差	绝对值 最小值	绝对值 最大值	绝对值 中误差	绝对值 最小值	绝对值 最大值	绝对值 中误差		
SPOT-5	0.083	3.702	0.845	0.018	1.722	0.841	1.192	0.107	2.716	0.992	0.129	2.481	1.062	1.454
SPOT-4	0.005	1.666	0.546	0.015	1.235	0.782	0.954	0.066	1.858	0.522	0.218	1.941	0.792	0.948
Radarsat-1	0.073	5.127	2.954	0.155	4.660	2.005	3.571	0.270	8.225	2.954	0.153	4.662	2.005	3.571

表 3 加密点精度检查统计结果

Tab. 3 Statistics of RMS of pass points

/m

立体像对	RMS <sub>X</sub>			RMS <sub>Y</sub>			RMS <sub>Z</sub>		
	绝对值 最小值	绝对值 最大值	绝对值 中误差	绝对值 最小值	绝对值 最大值	绝对值 中误差	绝对值 最小值	绝对值 最大值	绝对值 中误差
SPOT-5—SPOT-4	1.233	23.906	10.737	1.296	35.742	13.028	0.035	64.341	28.243
SPOT-5—Radarsat-1	0.089	25.677	10.677	0.767	29.495	12.377	0.858	40.886	21.266
SPOT-4—Radarsat-1	1.483	23.839	12.596	0.078	46.548	15.219	0.628	39.853	20.918
区域网平差(密集控制)	0.063	22.997	10.225	0.002	38.683	18.580	1.693	40.550	21.653
区域网平差(稀疏控制)	0.731	26.868	10.036	1.358	35.188	13.668	1.909	52.063	23.929

为了对平差结果进行比较分析,利用每张影像上的控制点对其进行单片定向,其定向精度见表 2。然后将 3 幅影像两两构成立体像对,通过立体定位得到加密点的坐标,结果见表 3。

由表 2 可以看出,由密集控制方案的光束法平差计算得到的各个影像的定向精度与单幅影像的定向精度是一致的,这说明光束法平差与单片定向计算得到的像片外方位元素是一致的,这证明本文提出的平差模型是正确的。

对比表 3 中各个立体像对的检查点定位结果和平差中加密点的定位结果可以发现,对于密集

控制方案的光束法平差结果,加密点在 X 方向的精度略优于 3 个立体像对,在 Y 方向的精度则略低于 3 个立体像对,在 Z 方向的精度则介于 3 个立体像对之间。通过比较光束法平差结果与立体定位结果中各个方向中误差的绝对值最大值和绝对值最小值不难发现,X 和 Z 方向的结果是比较合理的,符合误差配赋的规律,但 Y 方向的结果显然是不正常的。通过对 Radarsat-1 影像特点的分析发现,地面坐标的 Y 方向与 SAR 影像方位向是一致的,SAR 影像在方位向上的信号压缩使得该方向上像点量测存在一定的误差,这一误

差对平差结果的影响较立体定位更加突出。这一分析结论在稀疏控制方案的光束法平差结果中也有明显体现。

表 3 中稀疏控制方案的光束法平差结果与密集控制方案相比,两者  $X$  方向的精度非常接近,但  $Y$  方向的精度前者则明显优于后者。由于稀疏控制方案中 Radarsat-1 影像没有控制点参与平差,这也就避免了 Radarsat-1 影像上控制点上粗差的影响,使得  $Y$  方向的定位精度提高至合理的水平。

而在  $Z$  方向,由于 Radarsat-1 影像上没有控制点,这也意味着整个平差区域的中间部分控制点数量的减少,根据区域网平差的误差规律,这时会造成平差结果高程精度的下降。这是周边布点方案的特点所决定的,高程精度的提高需要在区域网的中心再增加一定数量的控制点。

## 5 结 论

本文尝试了光束法区域网平差模型从单一数据扩展到多源数据,采用线阵 CCD 和 SAR 两种遥感影像构像模型,构成了 1 组“复合式”误差方程,通过设置合适的权值,可整体答解出所有像片的外方位元素和加密点的大地坐标。经过对 1 组由 3 幅不同卫星影像构成的区域网的平差试验后,得到了以下结论:

1. 联合多源影像进行区域网平差是完全可行的。对于线阵 CCD 和 SAR 两种影像,采用本文提出的光束法模型可以正确答解出像片的外方位元素和加密点的空间坐标,且利用平差方法可减少量测控制点的工作量。

2. 权矩阵对平差计算的结果有较大影响。特别是 SAR 影像误差方程的权值,如果不按照式(18)严格确定,则会出现迭代发散的情况。在试验中还发现,增大控制点的权值会提高控制点的精度,但对加密点的精度影响不大。

3. 控制方案对平差精度有一定的影响,其规律与传统平差基本一致。本文中密集控制下的高程精度明显优于周边稀疏控制,但对平面精度的影响不大,此外控制点分布的不均匀也会导致加密点精度的下降。由于试验数据有限,本文未能按照严格的控制方案进行试验,这是以后需要进行的工作。

4. 粗差对平差精度的影响十分突出。尽管光束法平差模型对粗差的要求非常严格,但多源

数据中一些微小的粗差很难避免,因此如何在本文模型中利用粗差探测算法定位粗差也是下一步需要研究的内容。

## 参考文献:

- [1] WANG Zhi-zhuo. Principles of Photogrammetry [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1979. 93-103. (王之卓. 摄影测量原理[M]. 北京: 测绘出版社, 1979. 93-103.)
- [2] YUAN Xiu-xiao, ZHU Wu, WU Jun-li, WANG Rui-yao. GPS-supported Bundle Block Adjustment without Ground Control Points[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2004, 29(10): 852-857. (袁修孝, 朱武, 武军郦, 王瑞么. 无地面控制 GPS 辅助光束法区域网平差[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2004, 29(10): 852-857.)
- [3] LI De-ren, ZHAO Shuang-ming, LU Yu-hong, HU Wen-yuan. Combined Block Adjustment for Airborne Three-line CCD Scanner Images[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(3): 245-250. (李德仁, 赵双明, 陆宇红, 胡文元. 机载三线阵传感器影像区域网联合平差[J]. 测绘学报, 2007, 36(3): 245-250.)
- [4] LIU Jun. Research on Stereo Location Technology with High Resolution Satellite CCD Images[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2003. 12-13. (刘 军. 高分辨率卫星 CCD 立体影像定位技术研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2003. 12-13.)
- [5] LIU Jun, ZHANG Yong-sheng, WANG Dong-hong. Precise Positioning of High Spatial Resolution Satellite Images Based on RPC Models[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2006, 35(1): 30-34. (刘 军, 张永生, 王冬红. 基于 RPC 模型的高分辨率卫星影像精确定位[J]. 测绘学报, 2006, 35(1): 30-34.)
- [6] HE Yu. SAR Digital Block Triangulation[D]. Zhengzhou: Information Engineering University, 2005. 18-37. (何 钰. SAR 区域网空中三角测量[D]. 郑州: 信息工程大学, 2005. 18-37.)
- [7] YUAN Xiu-xiao, JI Shun-ping, XIE Chou. Bundle Block Adjustment Based on Imagery with Given Orientation Parameter[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(11): 955-959. (袁修孝, 季顺平, 谢酬. 基于已知定向参数影像的光束法区域网平差[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2005, 30(11): 955-959.)
- [8] QIAN Zeng-bo, LIU Jing-yu, XIAO Guo-chao. Space Photogrammetry[M]. Beijing: PLA Press, 1992. 63-66. (钱曾波, 刘静宇, 肖国超. 航天摄影测量[M]. 北京: 解放军出版社, 1992. 63-66.)
- [9] XIAO Guo-chao, ZHU Cai-ying. Radargrammetry [M]. Beijing: Earthquake Press, 2001. 54-56. (肖国超, 朱彩英. 雷达摄影测量[M]. 北京: 地震出版社, 2001. 54-56.)
- [10] HUANG Wei-bin. Theory and Applications of Modern Adjustment [M]. Beijing: PLA Press, 1992. 23-29. (黄维

彬.近代平差理论及其应用[M].北京:解放军出版社,1992.23-29.)

(责任编辑:雷秀丽,郭新新)

向为遥感图像处理、数字摄影测量。

E-mail:xing972403@163.com

First author: XING Shuai(1979-), male, PhD candidate, lecturer, majors in digital photogrammetry and remote sensing image processing. E-mail:xing972403@163.com

收稿日期:2007-12-17

修回日期:2008-09-22

第一作者简介:邢 帅(1979-),男,博士生,讲师,研究方

## 《测绘学报》文后参考文献著录规范

文后参考文献中文文献用双语标注,英文每个实词首字母大写。参考文献著录项目包括:作者、标题、文献出处或电子文献的可获得地址[文献类型及载体类型标识]、出版地、出版者、出版年、文献起止页码。{文献标准编号(标准号、专利号……)}

参考文献类型标识:M——专著,A——析出文献,C——论文集,N——报纸文章,J——期刊,D——学位论文,R——报告,S——标准,P——专利,[DB/OL]——联机网上数据库,[DB/MT]——磁带数据库,[M/CD]——光盘图书,[CP/DK]——磁盘软件,[J/OL]——网上期刊,[EB/OL]——网上电子公告)

例:

- [1] HUANG Yu-xia, CHEN Chang-song, HE Jian-bang. On Implement and Reality of GIS Interoperability[J]. Geographical Research, 1999, 18(1): 105-112. (黄裕霞,陈常松,何建邦. GIS 互操作的实现途径评述[J]. 地理研究, 1999, 18(1): 105-112.)
- [2] CHENG Shu-peng. Earth System Science: Evolvment of China, Prospect in Century[M]. Beijing: Chinese Science Technology Press, 1998. 4-5. (陈述彭. 地球系统科学: 中国进展. 世纪展望[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1998. 4-5.)
- [3] MOTAKIS I, ZANIOLO C. Composite Temporal Events in Active Database; a Formal Semantics [A]. CLIFFORD J, TUZHILIN A. Recent Advances in Temporal Databases[C]. New York: Springer-Verlag, 1995. 332-351. (外国人名按西方惯例, 但是采用全大写)
- [4] SOONG T T, *et al.* Recent Advances in Research on Applications of Passive Energy Dissipations Systems[EB/OL]. <http://www.cajcd.edu.au/pub/wml.txt/980810-2.html>, 1998-08-16.