

CBERS - 02B 星全色影像的平差方法

岳庆兴^{1,3}, 周强², 张春玲⁵, 尤淑撑⁶, 贾永红¹, 邱振戈^{3,4}

(1. 武汉大学遥感信息工程学院, 武汉 430079; 2. 中国国土资源航空物探遥感中心 北京 100083;
3. 中国科学院计算技术研究所 北京 100080; 4. 中国测绘科学研究院 北京 100039;
5. 河南省测绘局, 郑州 450003; 6. 中国土地勘测规划院, 北京 100035)

摘要:介绍了 CBERS - 02B 星全色影像的成像特点, 提出了该影像成像模型的简化替代方法。针对由于 CCD 器件安装方法引起的影像内部几何错位, 提出附加内方位参数解算定位定向元素的方法。对不同外方位元素变化率阶数得到的定位精度进行对比实验, 用一定数目和分布的控制点作平差实验, 消除了大部分系统误差, 得到了较高的点位精度。

关键词: CBERS - 02B 星; 成像模型; 外方位参数; 内方位参数; 变率阶数; 控制点

中图分类号: TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 070X(2009)01 - 0060 - 04

0 引言

随着 CCD 技术的发展, CCD 相机已广泛应用于对地观测卫星。如 SPOT 5 采用单线阵 CCD 推扫式成像, 其成像模型简单; IKONOS 采用 TDI - CCD 器件, 即延迟积分 CCD, 它的结构和成像模型较线阵 CCD 复杂一些。CBERS - 02B 星(以下简称 02B 星)HR 相机同样采用了 TDI - CCD 成像方式, 因此, 其成像模型的建立和定位定向元素的解算就成为不能回避的问题。本文在分析 02B 星 HR 相机成像特点的基础上, 试图将 02B 星的 HR 影像看作普通线阵 CCD 获取的影像, 同时引入内方位参数对系统误差进行补偿, 对模型能够达到的精度作了实验研究。

1 全色相机及影像特点

02B 星全色相机采用的是延迟积分相机, 它的 CCD 器件与其它线阵 CCD 器件不同, 不是由一条 CCD 线阵构成, 而是一个由 m 行 CCD 线阵排成的 CCD 面阵。总的行数 m 即为最大的积分级数。在 m 个积分时刻, 同一列 CCD 依次照准地面上同一点, 最后将同一列不同行 CCD 对同一地面点的电荷累加, 传输计算最后输出影像。延时积分相机的很多优点文献[4]里有说明, 在此不再赘述。02B 星

的 CCD 面阵构成如图 1 所示。



图 1 02B 星 CCD 器件示意图

如图 1 所示, 中间 CCD 面阵与两侧 CCD 面阵有一定的错位。因此, 中间 CCD 与两侧 CCD 对同一地区成像的时间有一定的间隔, 这中间伴随着卫星姿态变化等因素的影响。带来的不利结果就是图 2 所示的中间 CCD 与两侧 CCD 所成影像的拼接错位问题, 这种影像内部的错位将在很大程度上影响影像纠正的精度。

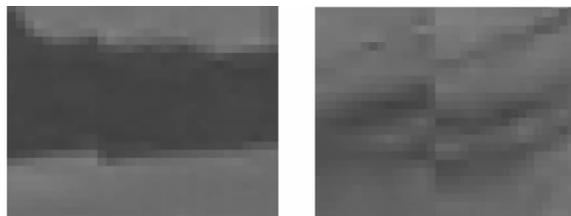


图 2 02B 星影像内部几何错位示意图

2 成像模型建立及定向参数解算

2.1 成像模型的建立

由于 02B 星的全色影像成像是一个多级动态积分过程, 我们不可能通过积分合成的影像反算出

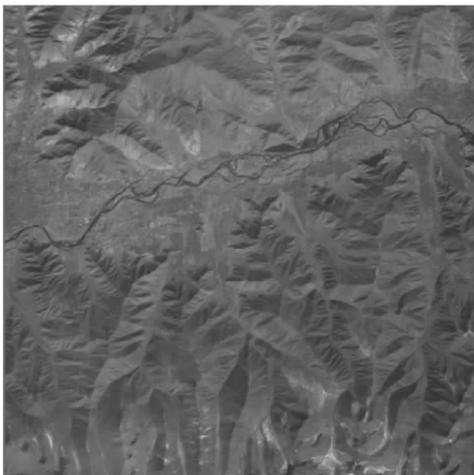
收稿日期: 2008 - 11 - 26; 修订日期: 2008 - 12 - 17

基金项目: 国家科技部国际科技合作项目“高分辨率立体测图卫星的地面几何检校联合试验研究(项目编号: 2006DFA71570)”、“国土资源部百名优秀青年科技人才计划”、“资源一号卫星 02B 星数据模拟与国土资源应用潜力评估”及中国地质调查局“中巴 02B 星遥感数据应用与数据共享”科研项目共同资助。

每一级积分时刻的外方位元素。本文在建立成像模型时,把每一条线影像看作由 CCD 面阵中间行 n (m 为偶数时将中间两行取平均代替) 的成像。量测像点坐标时,把拼接的影像每行都看作是同一时间获取的影像。设中心行影像的外方位元素为 $(X_{s_0}, Y_{s_0}, Z_{s_0}, \varphi_0, \omega_0, \kappa_0)$, x 为某行线影像的行坐标,则该行线影像的外方位元素表示为

$$\begin{aligned} \varphi_i &= \varphi_0 + k_1x + k_7x^2 \\ \omega_i &= \omega_0 + k_2x + k_8x^2 \\ \kappa_i &= \kappa_0 + k_3x + k_9x^2 \\ X_{si} &= X_{s_0} + k_4x + k_{10}x^2 \\ Y_{si} &= Y_{s_0} + k_5x + k_{11}x^2 \\ Z_{si} &= Z_{s_0} + k_6x + k_{12}x^2 \end{aligned} \quad (1)$$

式中, k_i 为外方位元素随时间或行坐标的变化率,以下简称变率,根据需要可取一阶或二阶变率。一般来说,在航线长度一定的情况下,外方位元素变化越平稳,需要的变率阶数越小。相应的,在变率阶数一定的条件下,为满足精度要求,就要对航线的长度作限制。



2.2 定向参数解算实验

本文在一景影像的航线长度条件下,对一阶和两阶变率所达到的拟合精度进行了对比实验。实验采用的数据是 2008 年 2 月 19 日获取的我国西藏拉萨地区的一景 02B 星全色正视影像。测区海拔在 3 600 ~ 5 000m 之间,地形起伏很大,大部分为山地,有一部分城区。地面分辨率为 2.36m; 像幅尺寸为 12 246 s × 12 000 l。附带文件中包含了影像大致范围等粗略信息,没有高精度的辅助数据。另外收集有该地区已做过空三处理的航拍影像。

首先,在航片上量取大量同名像点,用前方交会得到地面坐标,同时量取 02B 影像对应像点。估计大部分控制点的精度在 1 个像元左右,一般不超过 2 个像元,共获取了 94 个控制点。

(1) 实验一。将 02B 星全色影像看作单线阵推扫式影像,将所有控制点都用于求解外方位元素。变率取二阶,平差时用广义岭估计消除线角元素间的强相关性,平差后控制点点位余差分布如图 3 所示。

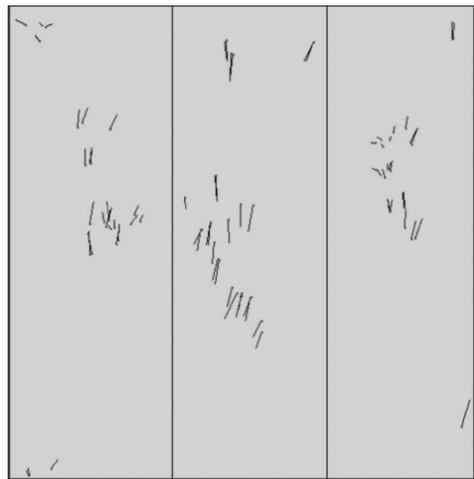


图 3 测区缩略图及实验一控制点点位余差分布

从图 3 可以看出,在影像行方向上有明显的系统误差,列方向上则看不出明显的系统误差。而且中间 CCD 影像的系统误差方向与两侧 CCD 的正好相反(这个规律性有待进一步验证)。我们很自然地想到将 3 个 CCD 的主点坐标作为未知数引入平差系统中。同时,由于系统误差主要集中在行方向上,因此不一定同时求解 3 个像主点坐标。实验二对不同的内方位参数组合方案作了对比实验研究。

(2) 实验二。将 02B 星全色影像看作 3 条单线阵 CCD 所成影像,该实验的参数组合包括以下几种:

①将中 CCD 主点 x_0 作为未知数;

②将中 CCD 主点 x_0 和左 CCD 主点 y_0 作为未知数;

③将中 CCD 主点 x_0, y_0 作为未知数;

④将中 CCD 主点 x_0, y_0 和左 CCD 主点 x_0, y_0 作为未知数;

⑤将左、中、右 3 个 CCD 主点坐标 x_0 作为未知数;

⑥将左、中、右 3 个 CCD 主点坐标 x_0, y_0 作为未知数。

将所有控制点都用于求解外方位元素,变率取二阶,同样利用广义岭估计。平差后控制点点位余差分布如图 4 所示。

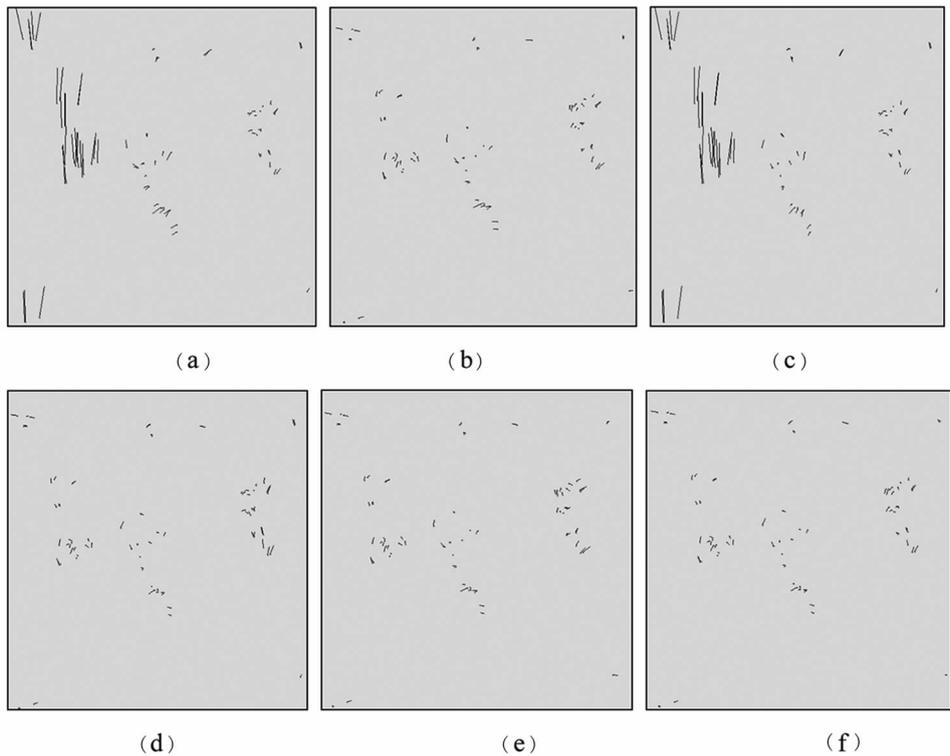


图 4 6 种内方位参数组合的点位误差分布

如表 1 所示,平均余差是将点位余差直接相加取平均,点位余差是余差绝对值加和取平均, L、M、R 分别代表左、中、右 CCD,余差单位为像素。

表 1 不同组合 2 个方向上的平均余差及点位余差平均数

参数组合	CCD 位置	m_x	m_y	m_{xy}	参数组合	CCD 位置	m_x	m_y	m_{xy}
a	L	-10.25	0.09	10.29	d	L	-0.09	0.02	1.17
	M	1.04	-0.94	1.77		M	0.18	0.02	1.01
	R	-0.60	0.08	1.10		R	-1.11	-0.05	1.52
b	L	-0.09	0.30	1.23	e	L	-0.08	0.26	1.20
	M	0.19	-0.62	1.15		M	0.14	-0.33	1.00
	R	-0.10	0.58	1.26		R	-0.06	1.27	1.74
c	L	-10.49	0.04	10.53	f	L	-0.06	0.01	1.15
	M	1.06	-0.03	1.58		M	0.12	-0.03	1.01
	R	-0.60	0.01	1.09		R	-0.05	0.02	1.16

通过图 4 和表 1 可以看出,仅仅将中间 CCD 的主点坐标作为未知数并没有消除所有系统误差,左 CCD 与另外两个 CCD 相比,系统误差非常明显,达到 10 个像素以上;而将其中 2 个以上 CCD 的主点坐标作为未知数的其余 4 种组合都能消除大部分系统误差;将主点坐标 y_0 作为未知数同样对消除系统误差有帮助,平均可将误差减小半个像元左右。在这 4 种组合中,与传统方法相比,从求解参数的数量来看,方法②只需多求解 2 个未知数,需要控制点的数目只需增加一个。从最终达到的拟和效果来看,方法⑥得到的平均余差最小,但要增加 3 个控制点。

前面已经讲到,外元素变率的阶数对模型拟和效果和求解难度都有影响。前面所做的实验都是用二阶变率。我们也作了用一阶变率的实验,将所有的控制点都用于平差,采用精度最高的第⑥种方法,

最终的点位偏差如图 5 所示。

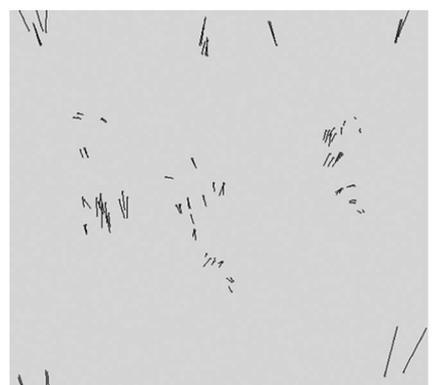


图 5 一阶变率平差点位偏差示意图

从图 5 可以看出,一阶变率条件下只有影像中间的一部分达到了较好的拟合效果,两端部分则存

在明显的系统误差。所以,一阶变率条件下不能拟合一景影像的外方位元素。一景影像最少需要二阶变率才能达到较好的效果。因此,至少需要 9 个分布均匀的控制点。另外,每引入 2 个内方位参数就需要增加一个控制点。如方法⑥最少需要 $9 + 3 = 12$ 个控制点。

3 控制点布设方法及平差精度分析

3.1 控制点布设方法

附加内方位参数的平差方法不仅对控制点总的数目有要求,而且要求每个 CCD 影像上都要有均匀分布的控制点。本文取 12 个控制点,采用方法⑥进行平差。误差方程较传统平差方法增加了内方位参数值等于当前值(初值为 0)的误差方程。平差过程中每次迭代要统计每个 CCD 影像上的平均余差,并加在内方位参数上作为下一次迭代的初值。控制点的分布如图 6 所示。

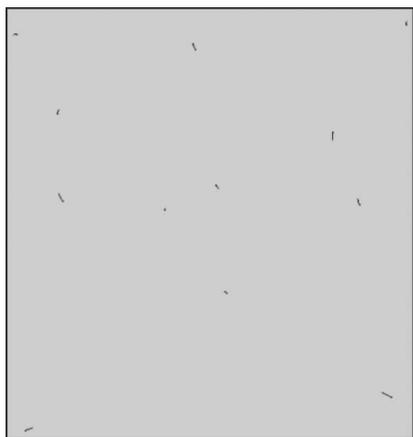


图 6 控制点分布

3.2 平差精度分析

用上述 12 个控制点求得外方位元素,用其余 82 个点作为检查点,点位偏差分布如图 7 所示。



图 7 检查点点位偏差分布

在图 6 和图 7 中,控制点和检查点都看不出明显的系统误差,但在图 8 中可以看出,总体上两个方

向的点位偏差呈现随机误差的特点,大部分点位余差在 2 个像元以内。

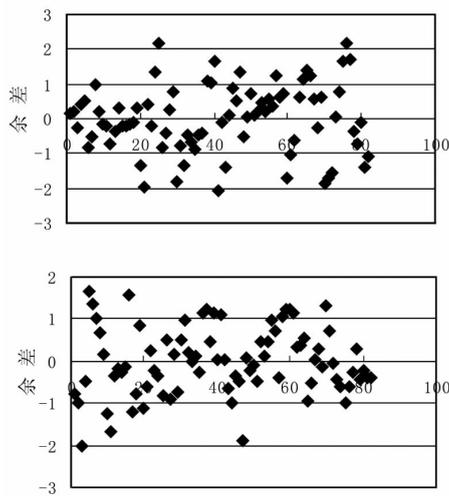


图 8 两个方向上的点位偏差分布

(上:行方向余差;下:列方向余差)

从表 2 可以看出,3 个 CCD 上 2 个方向的余差均值都接近于 0,说明大部分系统误差已经消除,平均点位余差略大于 1 个像元,达到了较高的精度。

表 2 两个方向的平均余差及点位余差均值

CCD	L	M	R
m_x	-0.06	0.12	-0.05
m_y	0.01	-0.03	0.02
m_{xy}	1.157	1.018	1.163

4 结论

通过实验,我们认为可以忽略延迟积分相机复杂的成像机理,而把 02B 星的全色影像看作单 CCD 线阵获取的影像来建立平差模型。在一景影像范围内使用外方位元素的二阶变率可以达到较好的拟合效果。引入内方位参数与外方位元素一并平差解算,可以消除影像内部错位引起的系统误差,获得较高的点位精度。

参考文献:

- [1] 武汉大学测绘学院平差学科组. 误差理论与测量平差基础 [M]. 武汉:武汉大学出版社,2004.
- [2] 燕 琴. 异轨遥感 CCD 影像外方位元素的解求[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2001,26(3):270-273.
- [3] 游扬声. 广义岭估计的直接解法[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2001,26(3):175-178.
- [4] 张鸿禹. 基于线阵 TDI-CCD 器件的扫描成像系统设计[J]. 光学与光电技术,2006,4(3):49-52.
- [5] Kalchang DI. Rational Functions and Potential for Rigorous Sensor Model Recovery [J]. Photogr - ammetric Engineering & Remote Sensing, 2003,69(1):33-41.