

# 基于图像匹配的 CBERS-02B 卫星 HR 相机图像拼接方法

李世威<sup>1,2,3</sup>, 刘团结<sup>1,2</sup>, 王宏琦<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院空间信息处理与应用系统技术重点实验室, 北京 100190;

2. 中国科学院电子学研究所, 北京 100190; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 中巴地球资源卫星(CBERS)02B 星 HR 相机所获得的高分辨率遥感图像, 是由 3 片 TDICCD 影像组成, 由于 TDICCD 空间结构关系, 导致 3 片 TDICCD 的原始影像间存在偏移现象。为此, 在充分考虑 TDICCD 图像的空间几何特征和图像像元间相关性的基础上, 利用基于灰度的匹配算法, 并结合 TDICCD 成像原理的特点, 提出了一种新的高分辨率遥感 CBERS-02B 星 HR 相机的影像拼接方法, 整景拼接精度达到亚像元级。

**关 键 词:** TDICCD; 图像匹配; 图像拼接

**中图分类号:** TP 75      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2009)03-0374-05

## 1 引 言

中巴地球资源卫星(CBERS)02B 星于 2007 年 9 月发射成功, 此卫星所搭载的成像系统为由 TDICCD 作为探测器的相机<sup>[1]</sup>, 焦面由 3 片 TDICCD 构成, 利用视场拼接将 3 片 TDICCD 连成一行 12 288 个有效像元长度的阵列, 每片的有效感光像元为 4 096 个像元。

TDICCD 成像主要优点是: 采用多级延时积分方法增加器件的灵敏度, 信噪比随 TDI 级数增加而增加, 使它具有高灵敏度, 而不影响分辨率。TDICCD 比线阵 CCD 信噪比提高  $\sqrt{M}$  倍,  $M$  是 TDI 的级数,  $M$  有 12~96 分档可以选择。航天遥感器利用 TDICCD 的多级积分的优点, 便可以通过减小 TDICCD 的积分时间, 提高遥感影像的分辨率。

由于 3 片 TDICCD 间的空间结构导致其影像间存在一定的水平和垂直偏移, 这个偏移和设计标称值是有一定误差范围的, 对拼接处理过程有一定影响。

本文根据图像的重叠区域关系, 采用基于灰度相关的匹配算法, 准确计算各片 TDICCD 之间的偏移关系, 再将重叠区域进行线性羽化, 使重叠区域过

渡自然, 并根据卫星相机系统参数, 准确地将 3 片 TDICCD 所成影像拼接为完整高分辨率遥感影像输出。此过程经过了真实数据的检验验证, 拼接效果达到了亚像元级别。

## 2 多 TDICCD 成像带来的问题及现象

3 片 TDICCD 成品字形构造(如图 1), 横向重叠 20 像元, 纵向偏差 26 mm, 像元尺寸  $10 \mu\text{m}$ , 纵向错位 2 600 像元, 称为设计标称值。水平方向上, 卫星受姿态稳定性和偏航控制误差影响; 垂直方向上, 受卫星姿态变化及高程变化的影响, 都会产生一定动态偏移。这样导致 3 片 TDICCD 影像间的重叠像元数是动态变化的, 而 CCD 之间的重叠像元数是影响产品拼接效果的最主要因素。如何准确地计算重叠像元数是拼接的关键。

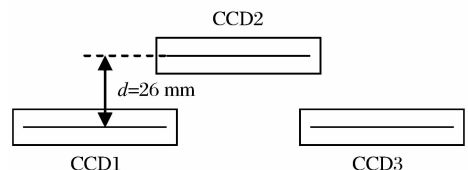


图 1 相机构造图

Fig. 1 Camera structure

下面试验是挑选一批云判级别高,地物丰富、清晰,特征明显易于目视拼接的原始图像,进行手工拼接后得到的统计数据,手工拼接误差一个像元。每景图像记录 CCD1 与 CCD2 的水平重叠度(HorizonInlay-L)、CCD2 与 CCD3 的水平重叠度(HorizonInlay-R)、CCD2 的左端与 CCD1 右端在飞行方向上位移(shifty-L)及 CCD2 的右端与 CCD3 左端在飞行方向上位移(shifty-R)。

表 1 相机目视拼接结果记录

Table 1 Mosaic result based on eye-sight

ImageNo	HorizonInlay-L	HorizonInlay-R	shifty-L	shifty-R
01	7	10	2 595	2 589
02	7	10	2 601	2 596
03	6	11	2 589	2 583
04	6	10	2 590	2 584
05	4	12	2 591	2 585
06	4	12	2 590	2 584
07	6	11	2 584	2 578
08	5	12	2 583	2 578
09	8	11	2 583	2 578
10	6	9	2 586	2 580
11	6	9	2 586	2 580
12	8	9	2 586	2 580
13	7	10	2 585	2 579
14	8	9	2 594	2 588
15	4	12	2 573	2 566
16	5	12	2 573	2 567
17	7	9	2 586	2 576
18	8	9	2 585	2 575
19	8	9	2 591	2 580
20	8	9	2 592	2 581
21	8	9	2 591	2 580
22	7	9	2 588	2 577
23	6	11	2 589	2 578
24	8	8	2 605	2 590
25	7	10	2 606	2 587
26	8	9	2 606	2 587
27	7	10	2 595	2 589

将试验数据绘制成如图 2 和图 3 所示,横轴均表示图像编号,图2纵轴表示 HorizonInlay-L和 HorizonInlay-R 变化情况;图 3 纵轴表示 Shifty-L和Shifty-R的变化情况。从中可以看出图像间水平

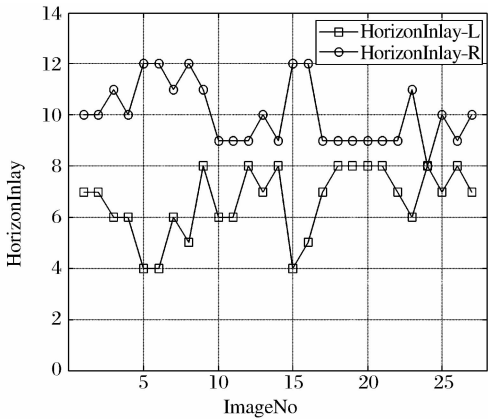


图 2 水平重叠度变化图  
Fig. 2 Horizontal overlap changes

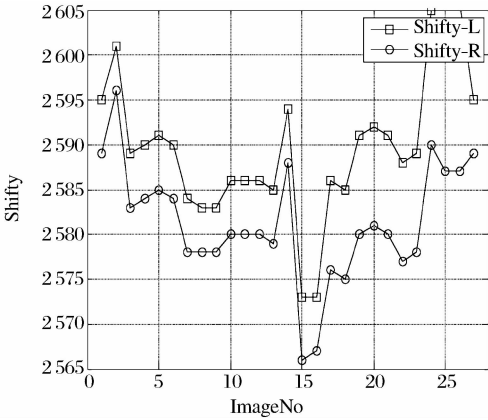


图 3 垂直偏移值变化图  
Fig. 3 Vertical shift changes

重叠和垂直偏移是在一定幅度内波动。这样对每一幅遥感影像进行拼接前都要进行匹配结果的确定,进而将图像拼接输出。

3 解决思路 and 流程

02B 星相邻 TDICCD 间设计重叠 20 个像元,其中 8 个暗像元不成像,但实际上发现都没有达到设计值,经测量确定,两侧重叠度之和固定为 18 个像元。为了确定图像间准确的动态偏移关系,需要采用图像匹配的方法。图像匹配算法很多,实验不同的图像匹配方法,包括基于特征和控制点的方法,在重叠区域 10 个像元左右相对于整幅 12 288 个像元的狭窄范围内,有效性都很差。而根据图像的特点:同源、同时、同地点、同波段,利用基于灰度的匹配方法有着明显的优势。通过模板和待匹配区域的滑动匹配,寻找相关度最大的位置进行匹配,最后根据最佳匹配结果进行配准定位,确定偏移关系。

基于灰度相关的匹配算法是一种对待匹配图像

的像元以一定大小窗口的灰度阵列按某种或几种相似性度量顺次进行搜索匹配的方法。这类算法的性能主要取决于相似性度量及搜索策略的选择上。

$$R(a,b) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X})(Y(a,b)_{ij} - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (Y(a,b)_{ij} - \bar{Y})^2}} \tag{1}$$

其中： $X$  代表模板图像， $Y$  代表待匹配图像，通过比较待匹配图像和模板图像在各个位置的相关系数，相关系数最大的点就是最佳匹配位置，进而，由最佳匹配位置确定相邻 TDICCD 图像间的水平和垂直偏移关系。利用归一化互相关算法进行图像匹配时，可靠性是核心问题。互相关系数接近于 1 时，图像严格匹配，但判断可靠程度取决于相关系数阈值的确定，由于重叠区域是同一地物成像，相关度很高，经大量不同地物特征下的试验，阈值取  $\delta=0.90$  是合适的。此外，模板大小要折衷考虑匹配的速度和可靠性，而考虑到水平重叠像元数可能为几个像元，故模板宽度要小，取 3 个像元，鲁棒性要求通过长度取值来满足，取 200 个像元。对于模板数据方差为零时，地物可能是云、沙地、海洋等灰度一致的情况，此时模板在待匹配图像中有多处相关系数为 1 的匹配位置，无法确定最佳匹配位置，程序中 EPS 就是极小值，用于判断这种情况的产生并做了标记，这样的位置匹配数据后处理环节要将其剔除。

在相邻 TDICCD 水平重叠像元数的处理上，由于 CCD 间重叠度之和为常数，记为 18。利用归一化互相关进行匹配时，由于存在 TDICCD1~2 之间或者 2~3 之间的重叠度小于模板宽度的情况，在这种情况下，首先求得可靠一侧的水平重叠像元数，记为  $H_1$ ，然后另一侧的值即  $H_2=18-H_1$ 。

为了得到可靠的匹配结果，在对一景图像数据进行匹配时，取 22 组（根据一景数据长度确定）数据分别进行匹配，匹配数目可以根据图像行数自动调整，这样可以确保可以定位足够不同地物特征进行匹配。匹配结束后得到匹配值，然后对由匹配值组成的序列进行后处理。

下面是相应的处理流程：总体流程图如图 4 所示，数据准备模块主要是读入图像数据，并进行基本的判断、图像分割工作。匹配拼接是此算法的核心模块。其具体流程图见图 5 及图 6。

需要指出的是，在匹配数据后处理部分，主要是对 22 组匹配结果进行综合处理，首先剔除无效匹配值，然后根据有效值进行加权计算最后的匹配值，这

样通过每景 22 组的图像匹配，既保证可以准确计算图像间动态偏移值，又可以有效避免局部位置不可匹配的问题。在计算过程中如果地面高程的变化较大，CCD 影像间垂直偏移值可能会大于 2 个像元，拼

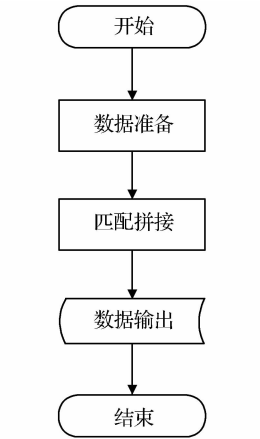


图 4 总体流程图  
Fig. 4 Overall flow chart

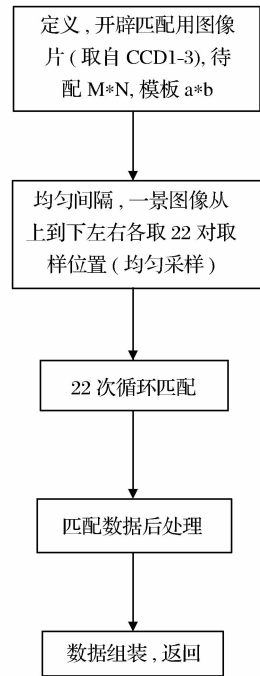


图 5 匹配拼接流程图  
Fig. 5 Match-mosaic flow chart

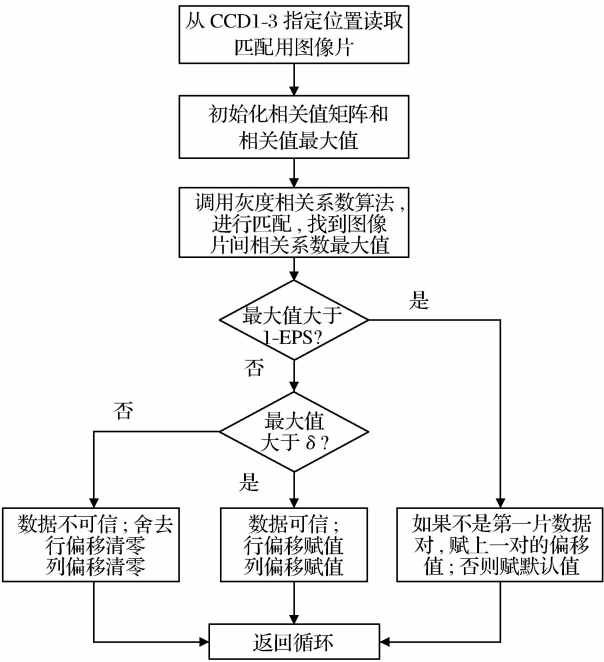


图 6 匹配流程图  
Fig. 6 Match flow chart

接时要加以注意。

确定了重叠区域,在拼接数据之前,将重叠区域数据通过线性方式进行羽化,即设重叠宽度为  $L$ ,左侧重叠数据为  $a$ ,右侧重叠数据为  $b$ ,羽化后的数据为  $c$ ,则: $c(i) = ((L - 1 - i)a(i) + ib(i))/(L - 1), i = 0 \cdots L - 1$  这样重叠区域过渡自然,不会留下拼接灰度反差。

4 试验验证和结果分析

根据以上所叙述的原理和具体的流程结构,在 Linux 环境下,完成算法和流程的 C++ 程序实现任务,并根据 CBERS-02B 星的真实数据进行试验验证,考察自动化拼接处理的效果,鲁棒性和时间消耗情况。

图 7、图 8 以及图 9 和图 10 分别是一景图像数据匹配结果,通过 K 组匹配后,通过加权求得的水平重叠度和垂直偏移值都可以很好的保证拼接效果,而时间消耗见表 2。

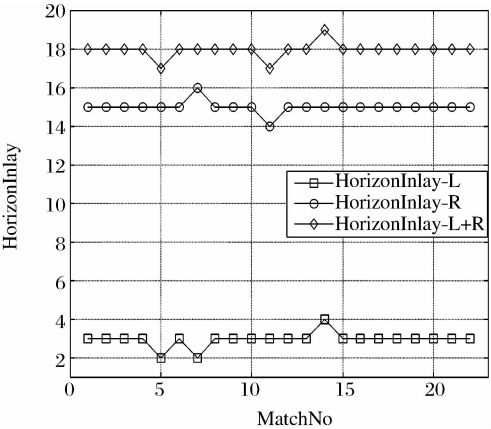


图 7 水平重叠度匹配结果-1  
Fig. 7 Match result of horizontal overlap-1

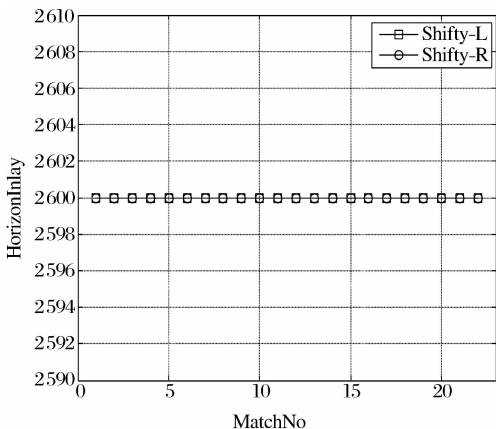


图 8 垂直重叠度匹配结果-1  
Fig. 8 Match result of vertical shift-1

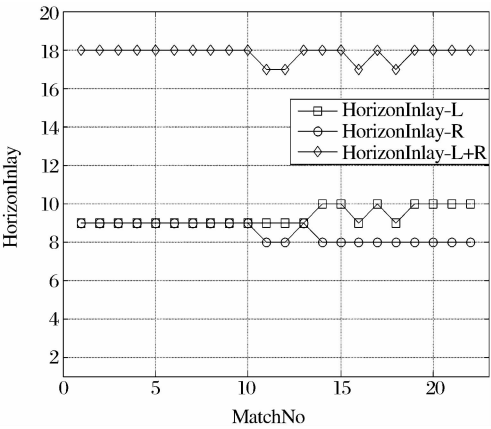


图 9 水平重叠度匹配结果-2  
Fig. 9 Match result of horizontal overlap-2

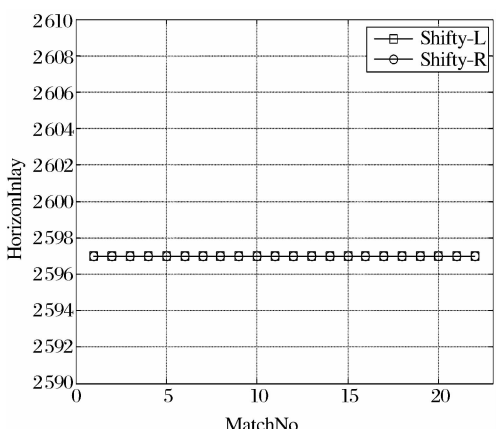


图 10 垂直重叠度匹配结果-2  
Fig. 10 Match result of vertical shift-2

表 2 CCD 自动化拼接时间消耗表

Table 2 Time consumption of automatic mosaic

编号/景	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
时间/s	26	24	27	25	28	29	25	27	28	27

由表格可以看出,时间代价一般在 26 s 上下,时间上可以保证自动化拼接的要求。拼接前如图 11 所示,拼接后效果如图 12 所示。

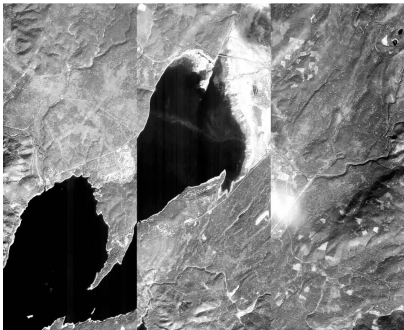


图 11 拼接前影像

Fig. 11 Image before mosaic

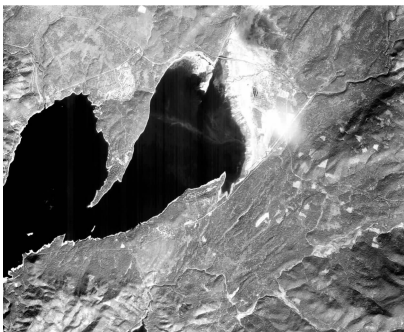


图 12 拼接后影像

Fig. 12 Image after mosaic

5 结 语

通过对 CBERS-02B 星高分辨率遥感影像数据的处理分析,可以得到这样的结论:由于姿态稳定性和偏航误差的影响,3 片 TDICCD 影像的拼接不能采用固定偏移量平移拼接处理。根据重叠图像的相关性以及同源、同时、同地点、同波段的特点,采用基于灰度的匹配算法进行匹配是稳定有效的,进而计算偏移和重叠,其自动化拼接效果优于一个像元。但对于高程变化剧烈的地方匹配效果有待进一步提高。

参考文献:

[1] Wang Xiaoyan, Long Xiaoxiang. Analysis of Relative Radiometric Correction Method of CBERS-02B Camera[J]. Spacecraft Recovery & Remote Sensing, 2008, 29(2): 29-34. [王小燕, 龙小祥. 资源一号 02B 星相机相对辐射校正方法分析[J]. 航天返回与遥感, 2008, 29(2): 29-34. ]

[2] Sun Yuan, Zhou Ganghui, Zhao Lichu, *et al.* Fast Template Matching Algorithm Based on the Projection[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2000, 34(5): 702-704. [孙远, 周刚慧, 赵立初, 等. 灰度图像匹配的快速算法[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(5): 702-704. ]

[3] Wang Changying, Zhou Mingquan. Fast Mosaicing Arithmetic Method for Multi-CCD Image[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2006, 27(2): 206-209. [王长缨, 周明全. 一种多 CCD 图像拼接的快速算法[J]. 半导体光电, 2006, 27(2): 206-209. ]

Image Mosaic for TDICCD Push-broom Camera  
Image Based on Image Matching

LI Shi-wei<sup>1,2,3</sup>, LIU Tuan-jie<sup>1,2</sup>, WANG Hong-qi<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Technology in Geo-spatial Information Processing and Application System, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** High resolution remote sensing image acquired by CBERS-02B consists of 3 chips of TDICCD image. For the space structure of the TDICCD, 3 chips of TDICCD image have overlapped horizontally and shifted vertically. In this paper, a new image mosaic method of processing high resolution remote sensing image based on the space structure of the TDICCD and the pixel relativity is proposed, and scene precision reaches sub-pixel.

**Key words:** TDICCD; Image matching; Image mosaic