

CBERS-1 CCD 星上定标数据在辐射校正中的应用

雷学武, 吴君丽, 刘俊荣

(西安煤航遥感应用研究院, 西安 710054)

摘要: 在 0 级图像中, 由于成像方式、仪器本身及摄取图像时的条件等因素的影响, 往往存在较严重的辐射畸变, 直观表现是图像中明暗差异明显, 搭接部分与其它区域的亮度不均一, 造成明显的条带噪声等问题。文中介绍利用 CBERS-1 卫星 CCD 相机星载定标数据, 去除这些缺陷的辐射校正方法, 方法简单, 便于实现, 实际使用效果良好。

关键词: 遥感; 星载定标; 图像处理; 辐射校正

中图分类号: TP 751; TN 911.4 文献标识码: A

文章编号: 1001-070X(2003)03-0063-04

1 CBERS-1 CCD 星上相对定标机构

为了提高辐射测量性能和改善图像亮度均匀性, CCD 相机通常要进行辐射定标, 以便进行辐射校正, 提高相机获取数据的应用能力。CBERS-1 CCD 相机在实验室用积分球作绝对定标, 用星上定标器在实验室和飞行中进行相对定标。相对定标系数

$$h_i = B_i/b_i \quad (1)$$

式中, b_i 为相机在轨工作时相对定标的输出信号, 而 B_i 为相机初始相对定标的输出信号, 最好它是实验室绝对定标同步测得的输出值。所以定标系数 h_i 反映了相机在轨工作随着时间过程的光电响应度的衰减, 如果称之为衰减定标更直观。

CBERS-1 相对定标机构(图 1)由照明灯和照明光学系统组成, 定期旋转具有不同透过率的滤光片盘, 用 5 档不同亮度稳定光源(包括暗电流档)照射光学系统和 CCD, 检查相机辐射性能的变化。

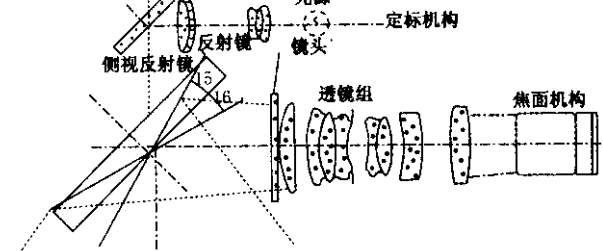


图 1 CBERS-1 CCD 相机定标机构简图

CBERS-1 CCD 相机采用旋转不同透过率的中性滤光片盘的方法改变照明强度。滤光片盘分 5 档, 最

大透过率接近 1, 最低透过率为 0。用 5 档不同亮度光源进行相对定标是为了适应各谱段不同的响应度。有的档次定标会在某谱段上饱和或信号不足, 故每个谱段并不能真正得到 5 档定标, 而只保证得到 3 档(包括暗电流档)良好的相对定标。定标机构主要特性如表 1 所示。

表 1 定标机构主要特性

指 标	参 数				
定标灯色温/K	2 700				
定标灯功率/W	25				
档数	1	2	3	4	5
滤光片盘透过率/%	100	66.7	33.3	17	0

注: 定标光源在全 CCD 线阵上的照度不均匀性优于 10%

光源灯在各谱段上发光强度不一样, 相机各谱段光谱响应度也不同, 因此定标灯在相机各谱段的响应有较大差别。为了各谱段都能有效定标, 即定标时各谱段的输出都在 CCD 的线性工作段上, 定标机构要有多级光强度输出。另一方面, CCD 输出还有低电平, 为了确定输出的线性关系, 每个谱段至少要有 2 个有效定标点。这里仍要指出, 滤光片盘分 5 档是为了充分满足各谱段光电响应动态范围的需要, 对每谱段只保证提供 3 档亮度作有效定标, 中性滤光片盘的透过率与档数不是线性关系。

2 CCD 图像辐射校正的基本数学模型

利用定标数据, CBERS-1 CCD 图像作以下校正:

(1) 去低电平和噪声。相机输出信号 b_i 包含低电平。低电平包括稳定项(主要是暗电流)和 CCD 奇偶差(即所谓时钟噪声)。一般定标资料公式中都有低电平项的处理项,要在原始信号中减掉低电平,即

$$b_i = b_{oi} - n_i \quad (2)$$

式中 b_{oi} 是在轨相对定标的原始输出。 n_i 是低电平,是相机没有光照时的输出信号,在发射前绝对定标、相对定标和发射后相对定标都得到低电平,一般讲这些低电平测试值应该相同。

(2) 图像辐射校正。CCD 相机照相时,如果视场目标的光照均匀,那么理想的图像输出信号也应该均匀。这是利用相对定标数据作图像辐射校正的理论基础。星载定标数据在覆盖所有探测元的一列像元上,定标光源照度的不均匀性优于 10%,其输出 DN 值的标准差小于 2%。这些条件符合统计方法的基本要求。基本方法是,首先计算出每个探测元生成的那些像元(CCD 推扫为一列像元)DN 值的平均值,则该探测元的响应值 G_i 为

$$G_i = Q_i / \left(\sum_{j=1}^N Q_j / N \right) \quad (3)$$

式中, N 为探测元数(不是图像的像元数), Q_i, Q_j 为第 i 或 j 个探测元像元的 DN 平均值。

CBERS-1CCD 星载定标图像(以第 3 波段为例)记录了定标灯分别为 0、1、2 和 3 共 4 档亮度时探测器输出的灰度量化值,将 0 档(即无光照)的输出作为低电平数据,在 1、2、3 档中分别减去低电平数据,再分别计算各档探测元的响应值,计算结果如图 2 所示。

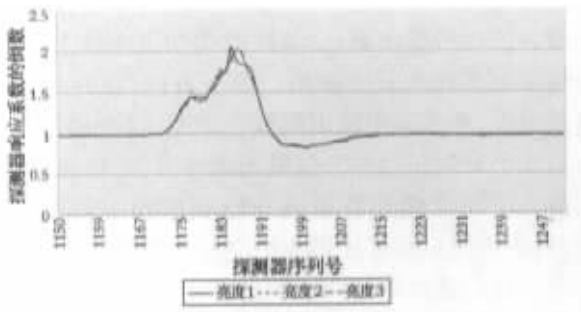


图 2 由星载定标图像计算的探测元响应值的对比

图中 X 轴为探测器序号(1 150 开始),Y 轴为探测元响应值的倒数($1/G_i$)。从图中可以看出,由 3 档数据计算的探测元的响应值几乎相同,这样,一方面通过数据的相互印证,说明了星载定标数据的可信性,另一方面说明不论用任意一档定标数据来计算均可以。本次采用 3 档定标数据的平均值。在计

算出 G_i 后,相对辐射校正公式为

$$DN_{cor} = DN_{uncor} / G_i \quad (4)$$

式中, DN_{cor} 为相对辐射校正后的 DN 值, DN_{uncor} 为相对辐射校正前的 DN 值。

对于采用全反全透 CCD 拼接的相机图像辐射校正更复杂,简单说可以采用先对原始数据去噪声,然后依照专门的数据格式将重叠像元的信号相加形成正常形式的全谱段像元数据,进而可以按照以上过程进行图像辐射校正。具体情况参见以下实例。

3 定标数据在 0 级图像辐射校正中的应用

3.1 使用星载定标数据去掉图像中的时钟噪声

在相对定标数据的各辐亮度级,观察到有相同的时钟噪声(见图 3)。图中, state 1、state 2、state 3

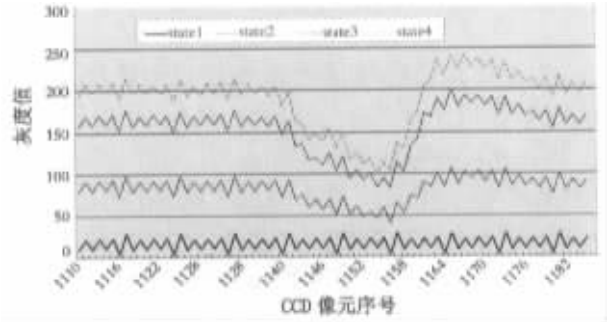


图 3 星载定标图像 4 档原数据比较

和 state 4 代表滤光片盘的透过率分别为 0%、17%、33.3% 和 66.7% 时的探测器输出灰度量化值。其中,1 140~1 165 之间的“U”型区域为 B3 波段中的暗条纹。在 4 条曲线中均有相邻的奇偶像元响应不一致形成的时钟噪声,图中表现为锯齿状曲线。而且时钟噪声不随输入信号(入射光强度)的增强而变化,即相邻像元灰度量化值之差在特定时期内为一恒定值,它不随入射光的增强而增大。此外,在 4 条曲线上还有每 8 个像元一个循环的时钟噪声。与地物均匀景的图像作对比(见图 4),发现地物均匀景只有奇偶噪声而没有 8 个像元循环的时钟噪声,并且星载定标图像与均匀景图像的奇偶噪声幅度相当。因而,要利用星载定标图像数据去除 0 级图像中的时钟噪声,首先必须对星载定标数据作滤波处理,去除 8 个像元循环的噪声影响,保留奇偶噪声。把经过处理没有光照时的星载定标输出信号作为低电平。在 0 级图像灰度量化值中减去低电平,这样,既可以消除时钟噪声,又起到增强图像的目的。

试验中所用的卫星星载定标数据是 1999 年 11

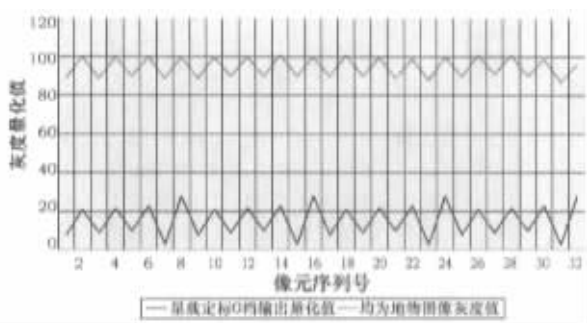


图 4 0 档定标数据与均匀景的图像对比

月 10 日由中国科学院北京密云卫星地面接收站接收原始定标数据。0 级图像为 2000 年 7 月 10 日接收 008-058-3.tif。原始定标图像和 0 级图像如图 5、图 6 所示(图 5 为原图像由 6 160 像元×5 812 像元经重采样的结果,图 6 为原图像的局部经过 4 倍

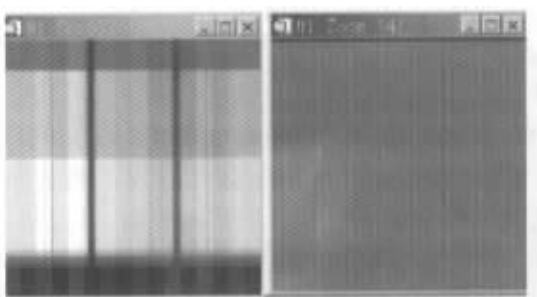


图 5 原始定标图像中的时钟噪声

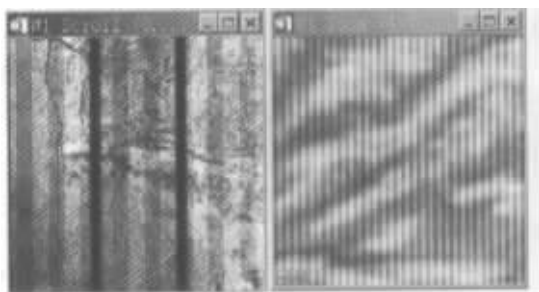


图 6 0 级原始图像的时钟噪声

放大后的图像)。从图中可以看出,0 级图像与星载定标图像至少有两种噪声是相同的,一个是奇偶噪

$$S(x) = 2R \int_0^{2\pi} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{R}\right)^2} \cdot dx = \frac{\pi}{2} \cdot R^2 + R^2 \cdot \left[\left(\frac{x}{R} - 1\right) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{x}{R}\right)^2} + \arcsin\left(\frac{x}{R} - 1\right) \right] \quad (5)$$

式中, R 为反射膜所截光束半径。设 CCD 像元尺寸为 0.013 mm , 则 $x = k \cdot d$ 。从公式不难看出,CCD 探测元的序列数 k 与其上接收的能量 $S(x)$ 不是线性关系。在第 1 个拼缝中,CCD 1 信号由大到小,CCD 2 信号由小到大,两者对应像元相加等于 1。

(3) CCD 拼接图像处理。在 CCD 拼接中,2 块器件像元重叠数是 162 个。由于 CCD 器件前面有 8 个暗参考像元,在数据传输时是以 2 048 为一个数据万方数据

声,一个是规则的、等宽排列的纵条纹。利用星载定标数据对 0 级图像进行处理后的。可以看出奇、偶噪声基本消除。个别的差值,是地物本身的影响,图像得到明显改善(见图 7)。

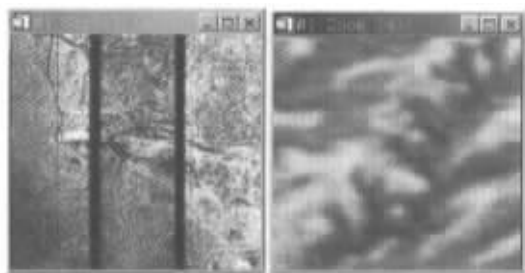


图 7 去除时钟噪声后的图像

3.2 使用星载定标数据对拼接图像进行恢复

CBERS-1 卫星 CCD 相机地面扫描宽度 113 km,要求焦平面上探测器列阵长度为 76 mm。使用 2 048 像元的 CCD 器件(每个像元 0.013 mm),需要将 3 块线阵 CCD 器件拼接起来。这导致在同一谱段内初始图像有 3 块图像数据,3 块图像数据之间有明显的拼接部分(如图 6、7 左部分所示)。

(1) 光学拼接原理。为了提高曝光量,CCD 相机使用全反全透膜层的拼接棱镜,3 块 CCD 拼接,2 块安置在透射光路中,1 块安置在反射光路中,有 2 个拼接缝。在拼接缝处,对于不同方位的入射能量,膜层将入射光线切割成反射光线与透射光线 2 部分,在拼接的局部区域,图像上产生了暗条纹现象。法国 SPOP/HRV 使用半反半透膜层的棱镜,虽然有拼接缝,没有产生暗条纹。为了弥补半反半透膜层带来的曝光量损失,采用了 2 个加倍元为 1 组的形式,这样做的代价是降低了地面分辨率。

(2) 拼接处 CCD 像元的能量分布。经过简单推导得出归一化能量表达式,认为某个 CCD 像元接收到的辐射能量,从 1 到 0 的变化遵循下列规律:

组,从暗像元起,挤掉了每块 CCD 器件的后 8 个有效数据,此时有效重叠像元数为 154,能量损失不大于 5%。0 级图像经过上一步的处理,利用星载定标数据去除低电平后,按设计的数据格式将 3 片 CCD 拼缝部分中的对应像元相加,发现拼接的 154 列像元为非常明显的条带(见图 8)。

这说明,一方面全反全透光学镀膜在工艺设计,或者光电转换过程中可能与设计还有一定距离,未

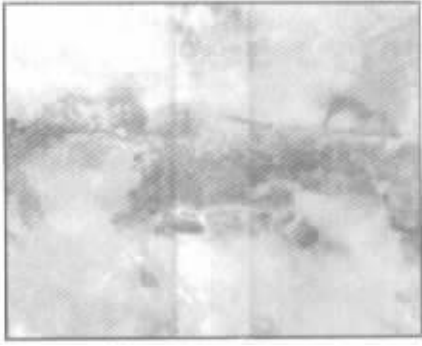


图 8 搭接部分对应像元相加后产生的条带



图 10 利用定标数据进行辐射校正的结果

能达到设计要求。另一方面,在拼缝的两侧分别有 15 个像元的信号下降区,未能得到补偿。对星载定标数据作同样的处理,会发现同样的问题。分别统计各探测元的响应值(或称为均匀性校正系数),发现从星载定标图像和图像(08-056-3.tif)中计算的均匀性校正系数非常相近(见图 9)。从图像上得到的均匀性校正系数,受地物影响很大,不符合这种

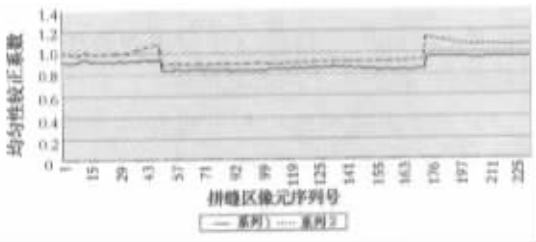


图 9 用叠加后的图像和定标数据计算探测元响应值的比较

统计方法的应用条件(标准差小于 2%),因而由星载定标数据计算来的均匀性校正系数更具有一般性,更能反映探测器的固有特征。用它来处理地物 0 级图像后(08-056-3.tif),图像经过处理,恢复了地面景物实际情况,得到了比较理想的图像(见图 10)。

4 结 论

(1)CBERS-1 CCD 星载定标 0 档数据,经过简单滤波处理后,即去除地物景观图像中所没有的、以 8 列数据为一循环的噪声后,就可以作为探测器的低电平,用作地物景观图像的辐射校正,既可以消除图像中的奇偶噪声,又可以起到增强图像的目的。

(2)CBERS-1 CCD 星载定标 1、2、3 档数据,消除低电平的影响,再作简单的搭接处理,用它来计算的均匀性定标系数(或探测元的响应值),可以直接用于 CBERS-1 CCD 0 级地物景图像的均匀性校正,对探测元响应值的差异和搭接部分出现的条纹处理效果比较理想。

(3)本文中介绍的利用 CBERS-1 CCD 星载定标数据处理 0 级地物景图像的方法简单、实用,通过简单的计算机编程易于实现,方便推广应用。

参 考 文 献

[1] 周胜利. 预处理[J]. 航天返回与遥感, 2001, 19(1): 30-34.

THE APPLICATION OF CBERS-1 CCD ON-STAR CALIBRATION DATA TO THE IMAGE RADIATE RECTIFICATION

LEI Xue-wu, WU Jun-li, LIU Jun-rong

(Remote sensing Application institute of Aerialphotogrammetry and Remote Sensing of China Coal, Xian 710054, China)

Abstract : In the level-0 image, severe radiate distortions often occur due to the influence of such factors as the imaging methods themselves, photographic instruments and photographic conditions. These distortions find expression in phenomena like obvious differences in brightness, uneven brightness between the joining part and other areas, and apparent stripes. This paper puts forward the radiation correction method for eliminating these defects by applying CBERS-1 CCD camera data. The method is very effective and the correction result is satisfactory.

Key words : Remote sensing; Image processing; Satellite-borne calibration; Radiation correction
 第一作者简介: 雷学武(1972-),男,高级工程师,长期从事遥感应用及遥感图像处理研究工作。(责任编辑:肖继春)