

文章编号: 1007-4619 (2004)02-0113-08

中巴地球资源一号卫星 CCD 图像质量评价和交叉定标研究

杨忠东¹, 谷松岩^{1,2}, 邱红^{1,2}, 黄 旻¹, 范天锡¹

(1. 国家卫星气象中心, 北京 100081; 2. 北京大学 物理学院, 北京 100871)

摘 要: 使用定量分析方法评价了中巴地球资源卫星 CCD 相机遥感数据质量, 在此基础上利用 LANDSAT 7 ETM+ 对 CCD 的对应波段进行交叉定标计算, 得到了一组 CCD 的参考定标系数。在遥感数据质量评价研究中, 使用统计分析方法计算得到了 CCD 相机图像数据的条纹强度; 应用结构函数方法计算获得了 CCD 的噪声数据; 通过功率谱计算, 对比分析了 CCD 和 LANDSAT 7 ETM+ 对应波段图像空间纹理特征。该文通过交叉定标计算, 得到了 CCD 相机前 4 个波段的参考定标系数、动态范围和噪声等效反射率等参考指标, 并对这组定标系数进行了验证, 从验证结果中发现 CCD1, 2, 3 和 LANDSAT 7 ETM+ 对应波段反射率最大相差 1.98%, 最小 0.03%, 平均差要低于 1.31%, 而波段 4 最大也仅相差 4.41%, 平均差 3.02%, 证明计算得到的交叉定标系数具有较高的参考价值。

关键词: CCD 数据质量; 噪声分析; 功率谱; 交叉定标

中图分类号: TP732 **文献标识码:** A

1 引 言

中巴地球资源 1 号卫星是中国发射的第一颗自行研制的资源卫星, 它的成功发射具有重要的社会经济意义。本文的主要目的是定量分析中巴地球资源卫星 CCD 相机遥感数据的质量, 并利用 LANDSAT 7 ETM+ 对 CCD 进行交叉定标计算, 获得 CCD 的参考定标系数, 为中国资源卫星遥感数据较为深入的定量应用积累必要的基础数据。由于种种原因, 目前发射前的资源 1 号卫星 CCD 定标系数未能提供使用, 通过本文研究工作得到的参考定标系数可以在一定程度上弥补这一缺憾。

如果从 20 世纪 70 年代初美国第一颗资源卫星发射算起, 航天遥感科学经历近 30 年的发展历程, 现在已经进入了定量遥感时代。成功定量遥感的基本前提是对发射后在轨遥感仪器的灵敏度和定标精度要有较为准确的测试和评价分析。为此, 本研究为更加深入地开展中国资源卫星遥感数据应用做一些基础性工作。

2 CCD 相机数据质量分析

2.1 CCD 数据条纹特征分析

我们使用零级 CCD 相机数据进行数据质量分析。因为零级数据未经过任何校正处理, 从图像中可以很容易分辨出由于各探测器之间相互不一致而造成的图像中各种不均匀现象, 我们称之为图像条纹。图像的条纹分析是我们进一步定量分析的基础。

通过对均匀目标的测量分析, 我们发现零级 CCD 相机数据中的条纹大致可以分为两种取向, 东西取向的横条纹有 1 种。南北取向的竖条纹有 3 种, 其中南北取向的竖条纹中, 第 1 种是因为奇偶探测元间不一致而造成的宽度为一个像元, 灰度记数值相差约为 10-13 个等级的条纹(表 1), CCD 相机 6144 个探测元分成 3 组, 组间有一部分像元重复搭接, 第 2 种条纹就是 3 组探测器彼此搭接时形成的明暗相差悬殊的宽带。第 3 种竖条纹是 CCD 相机

收稿日期: 2002-06-25; 修订日期: 2003-07-23

基金项目: 国防科工委中巴地球资源一号卫星数据评价课题(编号: 27-01PJ200015)

作者简介: 杨忠东(1964—), 男, 研究员。1997 年于国家地震局地质研究所获得理学博士学位。2000 年至 2001 年在美国威斯康星大学

空间科学工程中心(SSEC/CIMSS)从事 Terra-MODIS 数据处理与应用合作研究。现主要从事资源环境遥感应用领域和卫星遥感辐射定标与空间定位领域的研究工作, 已发表论文 10 余篇, 合作出版专著一部。

零级数据图像中 3 组探测器整组平均灰度差异形成的条纹。

横向条纹主要出现在 CCD 相机波段 1 和波段 2 图像中, 条纹与背景之间的灰度差以及条纹之间的间隔分析结果如表 2, 条纹的宽度为 1 行扫描线。在分析过程中已经按奇、偶探元和探测器的组别进行了分离。

表 1 CCD 各波段各组探元间灰度记数值差别

Table 1 Difference analysis between CCD detectors

波段	第 1 组探元	第 2 组探元	第 3 组探元
1	13	11	10
2	12	10	11
3	12	12	11
4	12	11	12
5	12	10	13

表 2 CCD 图像横条纹强度统计

Table 2 Row stripe intensity statistics for CCD image

		第 1 组		第 2 组		第 3 组	
		奇数探元	偶数探元	奇数探元	偶数探元	奇数探元	偶数探元
波段 1	条纹间隔	86	84	87	88	111	111
	背景灰阶差	4	1	4	1	5	3
	条纹强弱	强	弱	强	弱	强	弱
波段 2	条纹间隔	87	87	87	85	111	111
	背景灰阶差	6	2	4	2	5	4
	条纹强弱	强	弱	强	弱	强	弱

2.2 CCD 相机波段噪声分析

任何遥感数据都有误差, 误差包括系统误差和随机误差。CCD 相机各波段的系统误差与定标精度有关, 而随机误差由量化误差、噪声误差和干扰误差等构成。

在遥感数据的应用中, 一般是把公布的仪器性能指标作为该仪器的噪声水平, 这是因为在卫星发

射后, 其发送的数据中没有专门安排测量噪声的数据, 特别是如果噪音水平远小于一个计数值(即一个量化间隔), 则更难测量。因此噪声分析成为图像质量评价中的一个难点。

结构函数分析可用于推断遥感观测数据的噪声水平。最初将结构函数分析用于遥感数据噪声分析的是 Hillger 和 Vonder Haar^[1]。在以往的分析应用中, 以 Hillger 为代表, 主要将结构函数分析用于 NOAA

表 3 结构函数噪声统计

Table 3 Structure function noise statistics

		阵列一		阵列二		阵列三	
		奇探元	偶探元	奇探元	偶探元	奇探元	偶探元
波段 1	平均值	79.17	67.21	106.86	95.27	143.99	132.70
	等效噪声记数值	1.36	1.09	1.05	0.67	1.91	1.45
波段 2	平均值	72.83	61.51	69.88	59.13	91.58	80.30
	等效噪声记数值	1.04	0.89	1.18	0.79	1.44	1.34
波段 3	平均值	94.27	82.07	75.10	63.17	134.71	123.96
	等效噪声记数值	0.62	0.55	0.71	0.66	1.48	1.24
波段 4	平均值	77.43	65.08	46.35	34.00	135.45	124.58
	等效噪声记数值	0.61	0.70	0.59	0.61	1.62	1.15
波段 5	平均值	166.53	154.2	148.56	136.46	243.79	232.15
	等效噪声记数值	1.13	1.12	0.79	0.86	1.0034	1.207

卫星上的 HIRS/2、MSU, 以及 SSM/T 等遥感仪器数据的噪声分析之中。这里我们应用结构函数分析方法对 CCD 相机各波段的噪声水平进行分析计算。

利用二维空间结构函数来分析数据的噪声时, 设行列号 i, j 处的遥感计数值为 $T(i, j)$, 则结构值可按下式计算:

$$S(k) = [T(i, j) - T(i+k, j+l)]^2 / N(k, l) \quad (1)$$

其中 k 为行间增量, l 为列间增量。 $N(k, l)$ 为与给定的 k, l 值相对应的数据对的个数。 $k=1, 2, \dots, M$; $l=1, 2, \dots, N$ 。如果是对 $M \times N$ 个像素组成的分析区进行结构分析, 实际上就是对 $M \times N$ 个元素取 2 的组合, 所得的组合数为 $P = C_{M \times N}^2$, 然后再根据两个元素间的间隔来分类, 分别计算各自的结构值。

一般地, 遥感资料的噪声可表示为

$$T(i, j) = T^*(i, j) + e(i, j) \quad (2)$$

其中 $e(i, j)$ 为观测数据 $T(i, j)$ 中的误差, $T^*(i, j)$ 为无噪声真值^[2]。提出结构值与均方误差间有如下关系,

$$S(d) = S^*(d) + 2\sigma^2 \quad (3)$$

其中, $\sigma^2 = e(i, j)^2$ 。 d 为与 k 对应的距离值。在 $d=0$ 处, $S^*(d=0)=0$, 则 $S(d=0)=2\sigma^2$ 。因此可通过将结构函数外推至 0 处来得到均方误差值, 估计噪声水平。外推结构函数到 0 值可借助多项式拟合来实现, 多项式的最高阶可取到 4 阶。

统计分析 CCD 相机各波段平均值和噪声记数值时, 分析区选取自青海湖一景中的 256×256 子区。结构函数噪声统计分析结果见表 3。从表 3 中的结果我们可以发现波段 2, 3 的平均噪声要低于波段 1, 4, 5。偶探元的噪声大多要低于奇探元。

2.3 CBERS-1 卫星 CCD 与 LANDSAT 7 ETM+ 相关波段数据功率谱对比分析

遥感数据的功率谱综合反映了图像的空间纹理特征^[3]。一般来说, 当图像质量下降, 高频分量丢失时会使图像的空间纹理结构变模糊, 从而导致图像功率谱各分量之和有所下降^[4]。因此可借助图像功率谱进行 CBERS-1 卫星 CCD 相机和 LANDSAT 7 ETM+ 相关波段之间的遥感图像质量对比分析^[5]。

CBERS-1 的 CCD 光学系统可近似看作是线性系统, CCD 成像后, 在像面上形成一弥散斑。此时的光强分布不仅与目标物的位置 (X, Y) 有关, 还与像斑的位置 (ξ, η) 有关。可用点扩散函数 $h(\xi, \eta, X, Y)$ 来描述光强分布。 h 函数综合反映了光学系统因衍射和相差等因素而引起的强度扩散效应。

假设地物辐射强度分布函数为 $O(X, Y)$, 像的辐射强度分布函数为 $I(\xi, \eta)$, 则经过 CCD 光学系统所成的像为物函数与点扩散函数的卷积,

$$I(\xi, \eta) = O(X, Y) * h(\xi, \eta, X, Y) \quad (4)$$

地物经 CCD 成像过程将使目标图像的调制度发生变化, 并且这种变化具有频率选择性。如果地物的亮度分布为简谐振动, 频率为 F , 经 CCD 成像后, 像仍为频率为 F 的简谐振动, 但像的调制度变化了 T 倍, 如下式,

$$MI = T * MI_0 \quad (5)$$

其中 MI_0 为地物图像的调制度, MI 为 CCD 所成图像的调制度。 T 为调制传递函数 (MTF)。

CCD 光学系统成像质量降低后, 会使图像的调制度下降, 图像的高频分量减少, 致使遥感图像功率谱各分量之和下降。

图像功率谱的计算可采用周期图的方法, 计算原理如下。

假设图像函数为 $f(x, y)$, 在离散情况下 $f(x, y)$ 的二维傅里叶变换为

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) * \exp[-j2\pi(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N})] \Delta u \Delta v \quad (6)$$

其中 M 为 x 轴方向上的样点个数; N 为 y 轴方向上的样点个数; $u=0, 1, \dots, M-1$; $v=0, 1, \dots, N-1$ 。图像的功率谱为,

$$|F(u, v)|^2 = F(u, v) F^*(u, v) \quad (7)$$

式中 F^* 为 F 的共扼复数。离散图像功率谱各分量之和为

$$Sum = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} |F(u, v)|^2 \Delta u \Delta v \quad (8)$$

其中 $|F(u, v)|^2$ 为图像的功率谱。遥感图像之间进行质量对比分析时可直接借助图像功率谱各分量之和如式(8)。

这一方法对于线性系统适用, 非线性系统则不适用。模拟计算和实际计算时首先将二维 (128×100 个像素) 图像资料行与行之间首尾相接, 组成序列 $R(n)$ 。用周期图法来完成数字图像的功率谱计算, 其基本算法如下, 假设 Num 为 $R(n)$ 序列的总长度。首先把序列分成长度为 L 的 K 个重叠子序列, 其中重叠部分包括 $L/2$ 个数据点, 则 K 定义如下,

$$K = \frac{Num - L/2}{L/2} \quad (9)$$

第 i 段子序列定义为,

$$R_i(m) = R(I \cdot L / 2 + m) \cdot W(m) \quad (10)$$

m 为数据在第 i 个子序列中的序号, $0 \leq m \leq L-1$, $0 \leq i \leq K-1$ 。其中, $W(m)$ 为 L 个点组成的窗函数。可选择矩形窗或汉明窗进行处理, 经窗处理后, 用快速傅里叶算法实现傅氏变换。

设 j 为功率谱分量序号, 则由修正周期图 $S_i(j) = |R_i|^2$ 可以得到功率谱估计, 如下式,

$$P(j) = \frac{1}{K * U} \sum_{m=0}^{K-1} S_i(j) \quad (11)$$

其中 $U = \sum_{m=0}^{L-1} W^2(m)$, $1 \leq j \leq 129$, j 代表了遥感图像功率谱的谐波次数, $j=1$ 为一次谐波, $j=2$ 为二次谐波, $j=0$ 为遥感图像功率谱的基波。 K 的含义同前, 为重叠序列的总个数。

通过最邻近插值方法, 将 LANDSAT 7 ETM+ 30m 空间分辨率的数据插到和 CCD 的 19.5m 一致的水平, 然后进行功率谱分析。LANDSAT 7 ETM+ 和 CCD 对应波段之间的功率谱对比分析结果见图 1。功率谱对比分析数据内容包括青海湖湖面、湖岸、岸上陆地和河流等不同亮度的目标。计算 CBERS-1/CCD 各波段分析区图像功率谱之前, 对 CCD 图像进行了奇偶探元归一化及去噪声处理。从图中可以发现 CCD 和 LANDSAT 7 ETM+ 对应波段之间功率谱总体趋势一致, 各波段中波段 2 之间的一致性最好。LANDSAT 7 ETM+ 的高频部分的功率谱要略高于 CCD。

3 CCD 和 LANDSAT 7 ETM+ 交叉定标及动态范围分析

CCD 各波段动态范围分析以定标分析为基础, 给出记数值极限状态下物理量的变化范围。与 CBERS-1 的 CCD 各波段进行定标对比分析的最佳遥感仪器是 LANDSAT 系列的 TM, 最新的 LANDSAT 7 ETM+ 通过改变硬件结构设计, 卫星发射前传感器指标的精确标定, 在轨监测和数据定标等措施, 可以在 5 年的设计寿命期内确保它的辐射定标精度保持在 $\pm 5\%$ 的水平。LANDSAT 7 ETM+ 是目前技术最先进的资源系列卫星传感器, 在仪器研制和后续

的应用研究中非常重视仪器辐射定标精度的保持和逐步提高这一问题, 因为这是定量遥感的基础。通过对比分析 CCD 和 LANDSAT 7 ETM+ 的各光谱波段参数, 我们发现这两个传感器的前 4 个波段位置非常接近^[6], 见表 4, 量化等级都是 8 位, 空间分辨率接近, 是进行对比分析和交叉定标的最佳选择。

我们选择了 2000-05-18 青海湖区域的一景 CCD 数据和与之时间上最接近、空间上基本一致的 2000-05-22 晴空 LANDSAT 7 ETM+ 数据进行对比分析, 完成交叉定标和确定动态范围方面的研究工作。这两景资料虽然相差 4 天, 但我们选取的晴空区域地面目标应该是一致的, 而且过境时间基本一致, 假定大气条件也基本一致, 所以完全可以用于对比分析。

图 2 是这两景图像数据前 4 波段的计数值分布直方图, 其中左侧一列是 CCD 波段 1-4, 右侧一列是 LANDSAT 7 ETM+ 的波段 1-4。从图中我们可以发现各波段的大致分布趋势是一致的, 特别是波段 1-3 之间的一致性非常好, 这为我们的交叉定标奠定了基础, 但同时各波段还是有一些程度不同的差异, 如波段 1, 4 的差别较大一些。

使用 LANDSAT 7 ETM+ 给 CCD 对应波段进行交叉定标的具体步骤如下。

第 1 步, 在 LANDSAT 7 ETM+ 和 CCD 两种数据中选择相同目标区域, 以 LANDSAT 7 ETM+ 数据为基准, 选择 GCPs 进行几何配准, 确保两种数据的目标基本一致。

第 2 步, 使用最邻近插值方法, 将 LANDSAT 7 ETM+ 数据 30m 的空间分辨率插到和 CCD 的 19.5m 一致的水平。

第 3 步, 分别在 LANDSAT 7 ETM+ 和 CCD 对应像元位置选择高、低计数值的两块均匀区域 (多于 50 个像元, 均方根差小于 3), 应用两点法, 计算得到 LANDSAT 7 ETM+ 和 CCD 各对应波段计数值之间的一元线性方程如下:

$$DN_{ETM1} = 1.2791 \times DN_{CCD1} - 33.2349 \quad (12)$$

$$DN_{ETM2} = 1.1190 \times DN_{CCD2} + 29.2443 \quad (13)$$

$$DN_{ETM3} = 1.8560 \times DN_{CCD3} - 74.2426 \quad (14)$$

表 4 CCD 和 LANDSAT 7 ETM+ 对应波段的光谱带宽

Table 4 Bandwidth of CCD and LANDSAT 7 ETM+

传感器	波段 1	波段 2	波段 3	波段 4	波段 5	波段 6	波段 7	波段 8
CCD	0.45-0.52	0.52-0.59	0.63-0.69	0.76-0.89	0.91-0.93	N/A	N/A	N/A
LANDSAT 7 ETM+	0.45-0.52	0.53-0.61	0.63-0.69	0.78-0.90	1.55-1.75	10.4-12.5	2.09-2.35	0.52-0.90

/ t_m

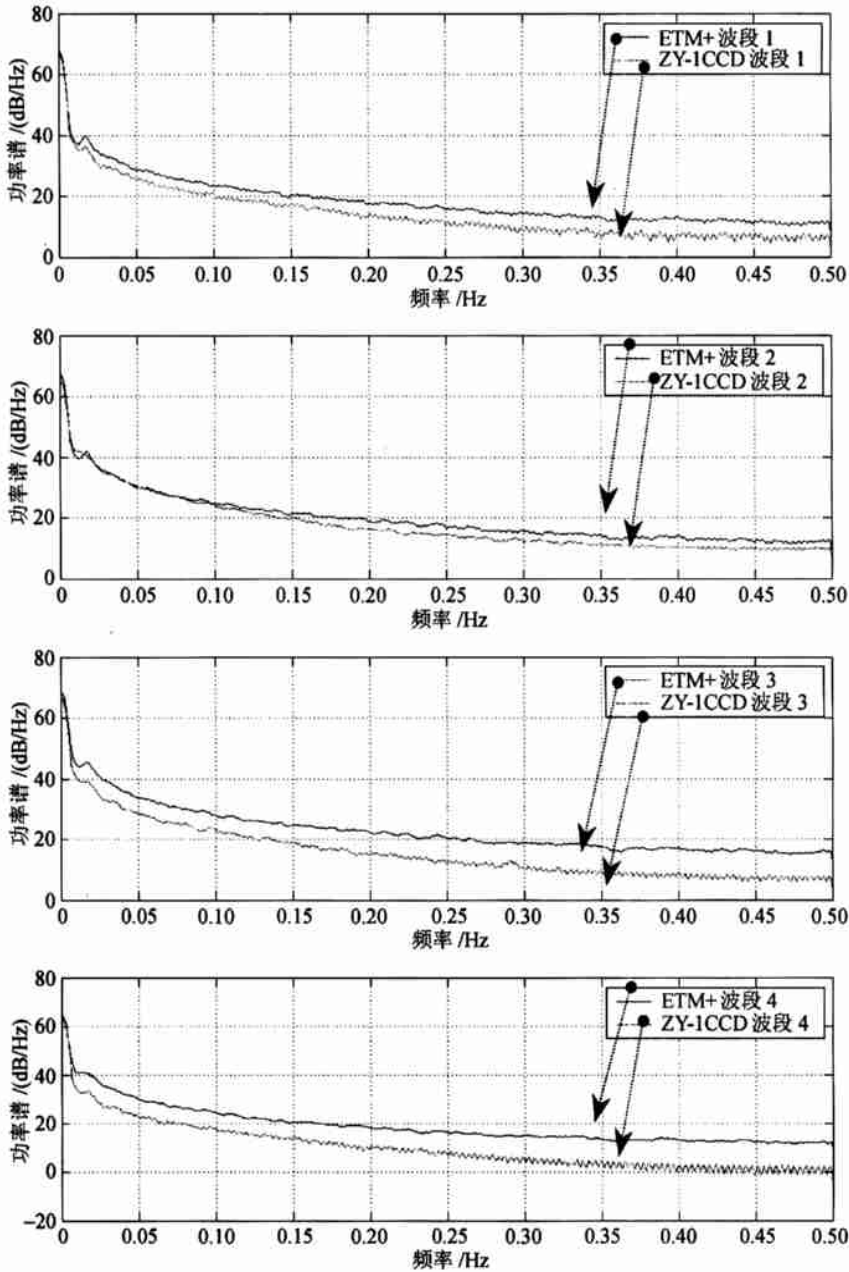


图 1 CCD 波段和 LANDSAT 7 ETM+ 波段功率谱对比分析

Fig.1 Power spectrum comparison between CCD and LANDSAT 7 ETM+

$$DN_{ETM4} = 1.9170 \times DN_{CCD4} - 106.011 \quad (15)$$

第 4 步,从 LANDSAT 7 ETM+ 数据用户手册查阅得到 LANDSAT 7 ETM+ 2000-05-22 陆地目标的定标系数^[6]。其中计数到辐射值的系数见表 5。

应用下面第 6 步的光谱反射率计算公式由表 5 的光谱辐射值定标系数计算得到 LANDSAT 7 ETM+ 数据 2000-05-22 陆地目标的光谱反射率定标系数,见表 6。

第 5 步,综合表 5 的 LANDSAT 7 ETM+ 光谱辐射值定标系数和式 (12), (13), (14), (15) 得到资源卫星 CCD 前 4 个波段的辐射值定标系数,并确定出对应的动态范围数值。其中地球资源 1 号卫星 CCD 的计数到辐射值($W/m^2 \cdot \mu m$)定标系数见表 7。

第 6 步,利用公式 (16) 可以将辐射值转换为反射率^[7]

$$\rho_p = \frac{\pi L_\lambda d^2}{ESUN_\lambda \cos \theta_s} \quad (16)$$

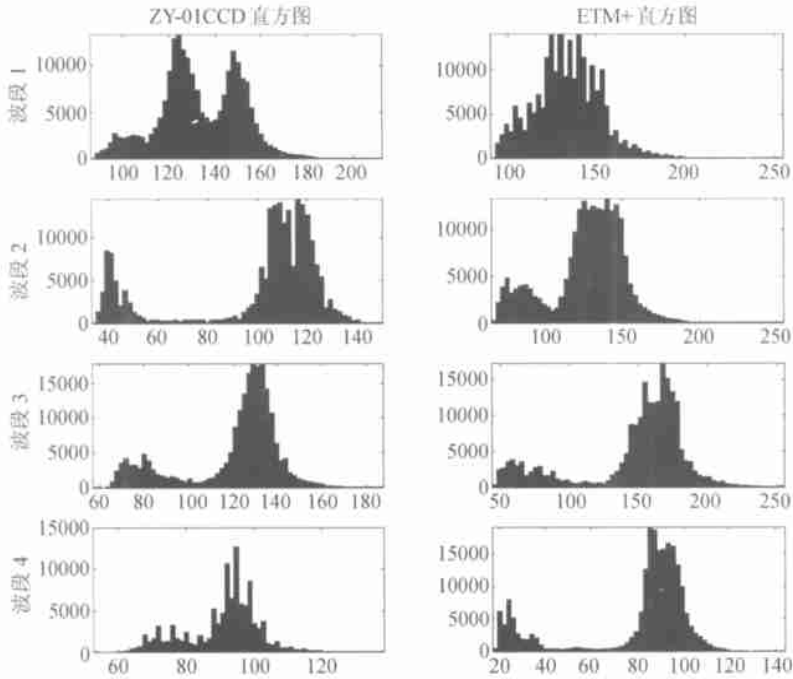


图 2 CCD 和 LANDSAT 7 ETM+ 波段 1-4 计数值分布直方图

Fig.2 Histogram of CCD and LANDSAT 7 ETM+ digital count

其中 ρ_p 为光谱反射率, L_λ 为传感器的光谱辐射值, d 为日地距离(天文单位), $ESUN_\lambda$ 为大气顶部光谱平均太阳辐射量, θ_λ 为太阳高度角。

综合表 7 计算结果和式(16), 以及前述噪声分析结果就可以得到最终需要的资源-1 号 CCD 波段 1-4 的光谱反射率定标系数, 动态范围和噪声等效反射率等数据, 详见表 8。

表 5 LANDSAT 7 ETM+ 波段 1-4 光谱辐射值定标系数

Table 5 LANDSAT 7 ETM+ band 1-4 radiance calibration coefficients

	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4
斜率	0.775687	0.795686	0.619216	0.965490
截距	-6.2	-6.4	-5.0	-5.1

表 6 LANDSAT 7 ETM+ 波段 1-4 光谱反射率定标系数

Table 6 LANDSAT 7 ETM+ band 1-4 reflectance calibration coefficients

	ETM1	ETM2	ETM3	ETM4
斜率	0.001405	0.001542	0.001424	0.003210
截距	0.011285	0.012410	0.011502	0.017429

表 7 CCD 波段 1-4 光谱辐射值定标系数

Table 7 CCD band 1-4 radiance calibration coefficients

	CCD1	CCD2	CCD3	CCD4
斜率	0.992181	0.890373	1.149265	1.850844
截距	-31.97980	16.869280	-50.972206	107.452174

我们在 CCD 和 LANDSAT 7 ETM+ 各对应波段的数据中随机选取了 5 个同名点, 使用上述定标系数计算反射率, 来检验我们得到的 CCD 反射率定标系数的正确性。从表 6 计算的反射率结果中可以发现 CCD1, 2, 3 波段的定标系数和 LANDSAT 7 ETM+ 对应波段的一致性要好于 4 波段, 计算的各对应波段反射率最大相差 1.98%, 最小 0.03%, 平均差要低于 1.31%, 而波段 4 最大也仅相差 4.41%, 平均差 3.02%, 详见表 9, 这一交叉定标结果是比较好的, 具有较高的参考价值。

但是由于我们只进行了这一个实例计算, 而且只选择了高、低两个计数值点进行计算外推, 所以这只是一个初步的结果, 有待于更多的实例计算分析和应用实践检验。另外, 本次计算的数据仅取自第二组 CCD 探测器, 所以对于一、三探测器上述数据仅做参考。

表8 CCD 波段 1-4 交叉定标结果

Table 8 CCD band 1-4 cross calibration parameters from LANDSAT 7 ETM+

波段	斜率	截距	动态范围	噪声等效反射率
1	0.001797	-0.057948	0-0.400287	0.001886
2	0.001726	+0.032711	0-0.472841	0.002036
3	0.002643	-0.117254	0-0.556711	0.001877
4	0.006325	-0.367218	0-1.0	0.003858

表9 CCD 波段 1-4 交叉定标系数检验结果

Table 9 The Validation to CCD band 1-4 cross calibration coefficient

	1	2	3	4	5	最大差	最小差	平均差
CCD1	0.2574	0.2646	0.1361	0.1829	0.1505	0.0185	0.0019	0.0079
ETM1	0.2599	0.2627	0.1265	0.1644	0.1433			
CCD2	0.2654	0.1018	0.2139	0.1069	0.2502	0.0198	0.0052	0.0131
ETM2	0.2852	0.1140	0.2035	0.1248	0.2450			
CCD3	0.2052	0.3294	0.0942	0.2816	0.3321	0.0189	0.0003	0.0119
ETM3	0.1978	0.3117	0.0939	0.2662	0.3132			
CCD4	0.0755	0.2653	0.3983	0.0945	0.3222	0.0441	0.0035	0.0302
ETM4	0.0500	0.2618	0.3549	0.0504	0.2875			

4 结论

根据以上对卫星数据的质量分析和交叉定标研究,可以对中巴地球资源一号卫星 CCD 零级影像数据做如下几点评价:

(1) CCD 相机各波段各探元的噪声水平不一致,波段 1 的随机点噪声要高于其他波段,各波段中偶探元的等效噪声要低于奇探元。应用时应进行必要的归一化处理,否则会影响应用效果。

(2) CCD 相机原始数据中条纹现象比较严重,形成原因比较复杂。经过线性和非线性两种方式的处理,可以有效去条纹,并不影响数据中主要目标物的目标识别和图像解译应用。

(3) CCD 相机与 LANDSAT 7 ETM+ 对应波段的功率谱对比分析表明,各对应波段的功率谱总体对应趋势是一致的,波段 1, 2, 3, 4 的低频部分一致性很好,这也是理所当然的。CCD 的 1, 2, 3, 4 波段高频部分的功率谱要略低于 LANDSAT 7 ETM+, 这表明 CCD 的这 3 个波段的分辨率能力要略低于 LANDSAT 7 ETM+, 同时也说明遥感数据的空间分辨率能力并不是简单地由它的空间分辨率这一个指标单独决定的,而是由空间分辨率,探测器灵敏度,信噪比等多种因素综合决定的。另外两个传感器的 2

波段功率谱最接近。CCD 相机各波段奇、偶探元间的功率谱是基本一致的。

(4) 通过使用 LANDSAT 7 ETM+ 数据对 CCD 波段 1-4 进行交叉定标和动态范围分析研究,得到了 CCD 波段 1-4 的辐射值和反射率的参考定标系数,以及动态范围和噪声等效反射率参考数据。经过随机检验,我们发现其中 CCD 的波段 1, 2, 3 与对应 LANDSAT 7 ETM+ 波段一致性要好于 4 波段。

参考文献 (References)

- [1] Donald W Hillger, Thomas H. Vonder Haar [J], *J. A. O. T.*, 1988, **15**(2), 206-214.
- [2] Gandin L S. Objective Analysis of Meteorological Fields. Translated from Russian. Israel Program for Scientific Translations, 1963.
- [3] Liu Yongwei, He Xuehong. Translated for Japanese. Remote Sensing Manual[M], Beijing: Surveying and Mapping Press, 1993. [刘勇卫, 贺雪鸿. [日]遥感研究会编, 遥感精解[M] 北京: 测绘出版社, 1993.]
- [4] Wu Jiankang. Digital Image Processing [M]. Beijing, Posts and Telecommunications Press, 1998 [吴健康. 数字图像处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1998.]
- [5] Gu Songyan, Fan Tianxi. Power Spectrum Analysis on the Image Quality of FY-2&GMS-5 IR Channels[J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1999, **10**(3), 374-378. [谷松岩, 范天锡. FY-2 和 GMS-5 红外通道遥感图像的功率谱分析[J]. 应用气象学报, 1999, **10**(3), 374-378.]

[6] <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/>.

Landsat 7 ETM+ 数据的增益设置及增益改变[J], 用户简讯,

[7] Feng Zhongkui. The Gains and its Changing for Landsat 7 ETM+ Data[J]. *Landsat User Communication*, 2001/3, 8-9. [冯钟葵,

中国遥感卫星地面站, 2001/3, 总第 47 期 .8-9.]

CBERS-1's CCD Image Quality Evaluating and Cross Calibrating Study

YANG Zhong-dong¹, GU Song-yan^{1,2}, QIU Hong^{1,2}, HUANG Qian¹, FAN Tian-xi¹

(1. *National Satellite Meteorological Center, CMA, Beijing 100081, China;*

2. *Physics Institute of Peking University, Beijing 100871, China*)

Abstract: This paper evaluates the image data quality for CBERS-1's CCD by quantitative method, and provide a group of reference calibration coefficients for its CCD data by cross calibrating method using LANDSAT 7 ETM+ data. The paper obtains the stripe intension information of CCD image by statistical analyzing method, computes the CCD data noise using structure function method, and characterizes the spatial texture of CCD and LANDSAT 7 ETM+ via power spectrum analyzing. The paper calibrates the CCD band 1-4 spectral data, and calculates its dynamic range through corresponding LANDSAT 7 ETM+ data using cross calibration technology. The validation for the cross calibration shows that CCD band 1-3 maximum reflectance error is 1.98% based corresponding LANDSAT 7 ETM+ band, minimum reference error is 0.03%, average value is 1.31%, the maximum error of CCD band 4 is 4.41%, average value is 3.02%. This result indicates that this new cross calibration coefficient is valuable and useful.

Key words: CCD data quality; noise analysis; power spectral; cross calibration