

EO-1 Hyperion 高光谱数据的质量评价

周雨霖, 田庆久

(南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093)

摘要: 本文以影像的客观评价方法对扬州地区一景 Hyperion 影像的 L1R 数据进行质量评价。主要采用辐射精度、信息量、清晰度、信噪比等指标对图像质量进行分析, 经过评价认为, 影像获取时受到成像环境和天气的影响, 可用波段数量可能产生一定范围的浮动。本文的影像存在 44 个未定标波段, 25 个受水汽影响波段, 而 SW IR 130 以后的波段中存在大量噪声。影像信息主要集中于 VNIR 和 SW IR 波长较短范围的约 94 个波段内, 该范围内影像质量较高, 能发挥高光谱分辨率优势, 并为正确还原光谱信息提供可能。影像数据中存在的条带现象和辐射畸变经过一定处理去除后, 在农业调查、监测、管理, 森林覆盖、灾害预警, 地质调查, 找油以及海洋水色研究等领域将有良好的应用前景。

关键词: Hyperion 高光谱; 质量评价; 遥感

1 引言

随着航空航天技术和成像技术的发展, 遥感卫星传感器的空间分辨率和光谱分辨率不断提高, 影像数据的存储量也随之增长。在海量的遥感影像中如何评定影像质量的优劣, 选择相对更优的影像成为一个难点。

在以往的研究中, 国内外研究者进行了不少探讨, 如利用专家打分的办法进行的主观质量评价, 以及用不同参数来表示影像质量的各方面表现优劣的客观质量评价等。如王占宏着重研究信息量、影像质量度量以及空间数据质量评价方法, 并编写了软件^[1]; 张霞等将经过预处理的中巴地球资源一号卫星 RMSS 影像的地面分辨率、清晰度、信噪比、反差、辐射精度等与 TM 影像进行了多指标质量评价对比^[2], 马德敏列举了多光谱数据的质量评价指标, 并针对高光谱数据对这些指标进行了分析和补充^[3], 等等。客观评价方法已应用于 Landsat 7、CBERS 等在轨卫星多光谱数据的质量评价, 以及 OMIS 等机载影像数据的评价等方面, 其优势正在不断被研究者所认识^[2, 4-5]。

EO-1 (Earth Observing-1) 是美国 NASA 为接替 Landsat 7 而研制的新型地球观测卫星, 于 2002 年 11 月 21 日发射升空。其上搭载的 Hyperion 成像光谱仪作为第一个星载民用成像光谱仪,

运行近五年来已向地面发送了大量高光谱遥感数据, 对于 EO-1 Hyperion 传感器的在轨卫星影像质量评价有其实用意义。

Hyperion 影像数据是以推扫方式获取的 180km × 7.5km 条带状影像, 10nm 光谱分辨率, 1~70 波段覆盖 356~1058nm 的可见光和近红外区域, 71~242 波段覆盖 852~2577nm 的短波红外波段。数据产品有 Level 0 (原始数据) 和 Level 1 两种。

本文采用的数据为 2005 年 9 月 7 日扬州地区 L1R 数据 (图 1)。L1R 数据经过美国 USGS 对 L0 数据的初步处理, 已排除 VNIR 和 SW IR 间的空间错位问题^[5], 是数据订购的主要格式。数据获取当天云量小, 成像效果较好。所选的影像包括人工地物、植被、河流等地物, 及地势平缓山丘, 城镇、农田交错分布, 道路网密集的平原地区环境, 能够避免地形阴影影响, 并能在较大程度上集中研究各类地物图像的表现。

2 遥感数据质量评价方法

2.1 遥感数据质量评价方法

对遥感数据质量进行评价的方法大致分为主观评价和客观评价两种。前者主要通过人眼观察图像, 根据主观感受, 在规定的标准测试条件下, 按照规定的评分尺度和妨碍尺度对图像的优劣做



图 1 扬州地区 Hyperion 数据 (第 64 波段)

Fig 1 Hyperion image data of Yangzhou area (the 64th band)

出评定, 最后对多组评定结果进行统计平均得出最终评价结果。后者则以相关物理特征为研究对象得到一系列指标进行定量评价。

主观方法应用范围广泛、方法简单, 具有权威性, 但是人眼在观察图像的同时受到自身生理能力限制, 往往不能完全客观地理解图像的质量信息, 如马赫带效应、同时对比度差异等现象都会导致误判, 观察主体对灰度范围和色彩的辨别能力也各有差异。导致主观评价方法实际操作时存在很大主观性和个别性, 扩大样本空间则会增

加人力消耗。因此, 本文以客观方法为主进行了研究。

客观质量评价方法以图像物理特征为基础, 结果为特定指标的定量评价, 能够避免主观方法存在的一些弊病。高光谱影像波段数量大, Hyperion 数据波段数多达 242 个, 以主观方法逐一评定将消耗大量人力物力和时间, 而采用客观评价方法便于实现批量处理, 且更易于从数值分析图像质量变化规律, 同时通过分析基于图像物理特征的指标结果, 有助于从机理上找出图像存在问题的原因, 对后续的图像还原工作也能起到一定指导作用。

与图像质量相关的物理特征主要有颜色和灰阶、反差、分辨力、可辨性、清晰度等^[1], 常用辐射精度、信息量、清晰度、信噪比、地面分解力、反差、几何精度等参数来反映。对于高光谱遥感影像而言, 主要影响因素为信噪比、图像清晰度、特征光谱等^[3], 对图像几何质量要求不高。

2.2 EO-1 Hyperion 图像的客观质量评价计算参数

针对高光谱影像质量的主要影响因素, 本文选取了以下评价参数进行计算研究。

(1) 辐射精度: 包括均值、方差、偏斜度、陡度、边缘辐射畸变和增益调整畸变六项参数, 表达单幅图像辐射状态的信息, 相关计算方法如表 1。

表 1 辐射精度变量
Tab. 1 The radiation precision variables

序号	指标	意义	公式
1	均值 (m)	反映图像的整体辐射状况	$\sum (i \times p(i))$ (1)
2	方差 (d)	反映图像信息量大小	$\sum ((i - m)^2 p(i))$ (2)
3	偏斜度 (s)	反映图像直方图分布形状偏离平均值周围对称形状的程度	$\sum ((i - m)^3 p(i)) / d^3$ (3)
4	陡度 (k)	表达图像直方图的分布形状	$\sum ((i - m)^4 p(i)) / d^4$ (4)
5	边缘辐射畸变 (R_m / R_d)	反映辐射不均质程度	行方向均值矢量的均值和方差
6	增益调整畸变 (P_m / P_d)	反映辐射不均质程度	列方向均值矢量的均值和方差

注: i 为可能的灰度值; $P(i)$ 为灰度为 i 的像元的出现概率

(2) 信息量: 主要反映图像包含地物信息的详细程度, 一般用熵来表达。熵的定义有多种, 常用的有 shannon-wiener 熵、条件熵、平方熵、立方熵等。目前 Shannon 信息熵的应用范围比较广,

这是将遥感影像视作离散无记忆信源进行计算的方法, 也就是认为影像上每个点都是独立存在的。若考虑影像纹理的影响, 可将遥感影像视作离散有记忆信源, 计算马尔可夫熵来表达影像信息量。

本文为简化问题, 采用 Shannon 信息熵表示:

$$H = - \sum_{i=0}^{M_{ax}} P_i \log_2 P_i \quad (5)$$

其中 i 为可能的灰度值; $P(i)$ 为灰度为 i 的像元的出现概率

(3) 信噪比: 信噪比即表达影像受干扰的程度, 计算方法有方差法、地学统计法、局部方差法、去相关法等^[7], 此处将图像噪声假设为高斯噪声分布, 采用方差法估算进行计算。

$$SNR = m / \sigma \quad (6)$$

其中 m 为影像均值, σ 为均方差

(4) 清晰度: 指图像细节边缘变化的敏锐程度, 能反映图像对微小细节反差表达的能力。方差和熵一定程度上也能表达清晰度情况, 但对清晰度变化不敏感。本文采用由边缘锐度方法改进得到的点锐度算法, 该方法与调制传递函数 (MTF) 的相关性更好^[7]。

$$EAV = \frac{\sum_{i=1}^{M \times N} \sum_{\alpha=1}^8 |df/dx|}{M \times N} \quad (7)$$

其中 M 、 N 分别为影像行列数, α 为相邻的像元号, df/dx 为 i 像元与相邻像元间梯度。

根据以上参数定义, 利用 IDL (Interactive Data Language) 语言编写客观质量评价程序, 对 Hyperion 影像 242 个波段分别进行参数计算, 得到各项参数的计算数值。

3 Hyperion 数据质量评价与结果分析

所得结果中, 有 44 个波段 (1~7, 58~76, 225~242 波段) 的增益调整畸变方差 (Pd) 为 0 这些是未定标波段。受到波段顶部或底部的刈痕影响, 均值 (m) 和边缘辐射畸变方差 (Rd) 没有表现为预期的 0 值。(表 2)

表 2 未定标波段的评价指标表现

Tab. 2 Indicator of the uncalibrated bands

波段号	H	SNR	EAV	m	d	S	K	Rd	Pd
1~7									
58~76	0.0038	-0.0170	2.3614	-9.4402	-3.425E-07	3.62756E-08	309238.5	309239	0
225~242								154584.2	

除未定标波段以外, 有 121~129, 166~181 共 25 个波段的均值和信噪比 (SNR) 为负值, 这些波段的中心波长分布于 SWIR 的 1356.35~1437.04nm 以及 1810.38~1961.66nm 间, 该范围主要集中在大气透射窗口以外, 处在受水汽影响较为严重的范围内, 影像难以辨认, 无法利用 (表 3)。通常认为 Hyperion 数据的水汽影响波段为 121~127, 126~178 和 224, 共 20 个波段^[5]。从实验结果来看, 受影像波段增加到 25 个, 可以看出随着成像当时大气含水量和气候不同, 图像受影响范围有所差异, 具体应排除的波段数量应视实际情况决定。

VNIR 的 56、57 与 SWIR 的 77、78 波段重叠, 覆盖 910~930nm 左右光谱范围, 分别由不同传感器器件获取, 成像质量差异较大。

从表 4 中可以看出, 后者的信噪比、信息熵、清晰度比前者好。目视判断发现, 56、57 波段左侧存在条带现象, 后者在整个图面范围有较多斑

点。56、57 波段的总体方差较 77、78 波段小, 说明前者影像的灰度范围相对较集中, 而后者涉及的灰度跨度较大。边缘辐射畸变两者相差不大, 但增益调整畸变 SWIR 的两个波段数值比 VNIR 大 10 倍以上, 说明 SWIR 波段影像的列间差异更大, 也就是在扫描线方向的辐射形变, 即 smile 效应比 VNIR 更为严重。

表 3 受水汽影响波段的评价指标表现

Tab. 3 Indicator of the vapor affected bands

波段号		SNR	M
	MIN	-0.0487	-27.0681
121~129	AVG	-0.0227	-12.6471
	MAX	-0.0051	-2.8533
	MIN	-0.0275	-15.2957
166~181	AVG	-0.0156	-8.6883
	MAX	-0.0071	-3.9707

表 4 重叠波段的评价指标比较
Tab 4 Comparison of the duplicated bands

波段号	H	SNR	EAV	M	d	S	K	Rd	Pd
56	10.412 0	2.255 0	151.7604	1 551.12	473 153	- 1.10E-07	7.97E-09	363 042	2 285
77	11.751 6	2.940 6	422.1010	3 136.45	1 137 640	- 9.20E-09	2.87E-10	315 206	51 670
57	10.364 0	2.283 9	159.6118	1 569.77	472 402	- 1.11E-07	8.04E-09	363 023	4 961
78	11.629 1	2.920 3	369.2228	2 956.13	1 024 700	- 1.24E-08	4.27E-10	296 164	41 991

经过以上分析,未定标和受水汽影响波段需剔除,剩余 173 个波段表现正常得波段范围分布和评价指标如表 5。为便于观察,本文将数据依波

段范围分成四组,列出组内最小值、平均值和最大值。

表 5 正常波段的评价指标表现
Tab 5 Indicator of the normal bands

波段号		H	SNR	EAV	m	d	S	K	Rd	Pd
8~ 57 (VN R)	M N	9.299 7	1.589 0	69.0284	1 050.84	418 132	- 1.7E-07	5.24E-10	349 863	344
	AVG	10.314 7	2.879 1	156.1406	2 171.26	567 189	- 1E-07	7.51E-09	392 124	9 956
	MAX	11.567 9	3.858 6	310.2277	3 488.63	988 055	- 1.4E-08	1.41E-08	488 096	28 067
77~ 120 (SW R)	M N	7.152 4	0.195 7	24.7750	109.48	312 796	- 3.3E-07	8.53E-11	155 811	292
	AVG	10.655 0	2.361 0	231.5046	2 197.21	778 976	- 9.6E-08	8.14E-09	239 386	29 906
	MAX	11.976 6	3.464 5	424.3810	4 356.63	1 595 880	- 3.9E-09	3.52E-08	379 108	102 928
130~ 165 (SW R)	M N	5.881 6	0.017 1	14.1222	9.53	309 912	- 3.4E-07	2.19E-08	154 795	37
	AVG	8.576 1	0.771 4	60.1723	453.86	337 388	- 2.8E-07	2.77E-08	161 113	1 161
	MAX	9.402 8	1.222 5	87.2168	731.38	357 995	- 2.3E-07	3.61E-08	165 347	2 267
182~ 224 (SW R)	M N	5.975 1	0.010 6	12.3353	5.87	309 779	- 3.4E-07	3.36E-08	154 756	25
	AVG	7.253 0	0.143 4	23.3181	80.34	313 105	- 3.3E-07	3.49E-08	155 824	75
	MAX	7.881 2	0.252 1	44.0539	141.85	316 602	- 3.2E-07	3.61E-08	156 836	198

为了更清晰的表达组间区别,将各指标均值按组以最大值为分母进行归一化,如图 2。由图可以看出第一组 (VN R 8~ 57 波段) 和第二组

(SW R 77~ 120 波段) 各项指标都比第三、四组优。第二组增益调整畸变最为严重。

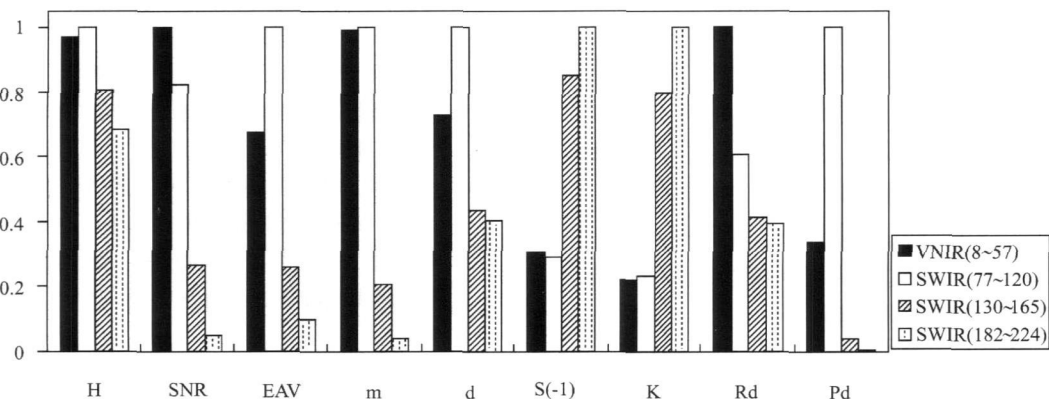


图 2 正常波段评价指标均值归一化柱状图

Fig. 2 Normalized histogram of the mean value of the normal bands

注: 偏斜度 (S) 采用绝对值及其最大值进行归一化运算

由表 5 和图 2 可以看出, 正常波段的偏斜度 (S) 和陡度 (K) 均较小, 各波段直方图分布较为均匀。波长越短, 传感器响应越好, 表现为前两组均值较大, 三四组相对较差。8bit 影像数据信息量取值范围在 0~16 间, Hyperion 数据四组信息量均值在 7.25~10.65 之间, 表现优秀。信噪比第一组最优, 第二组稍弱, 后两组较差, 在 130 波段以后图像噪点分布密集, 值与实际图像相差大, 而 VNIR 波段图像则较平滑。清晰度四组间相差大, 由于 EAV 对于点的清晰度表现更敏感, 在噪点较多的第二组有一定误导, 但结合信噪比相结合则可以看出, 第一组 VNIR 数据在表达地物边缘和图像的平滑表现上更为优秀。

4 结论

从以上 Hyperion L1R 数据的质量评价结果可知:

(1) 该影像数据存在 44 个 0 值波段, 为官方定义的未定标波。

(2) 在 SWIR 波段大气吸收窗口周围存在受水汽影响波段, 这些波段数据完全不包含或者极少包含地面信息, 主要是噪声, 其范围随着成像当时大气含水量和气候不同而有所差异, 应用前应先确定其影响范围并予以剔除。

(3) 在 VNIR 和 SWIR 相接的 56、57 和 77、78 两组重复波段在图像连续性表现和信息量及清晰度上表现各有千秋, 前者图像表现均匀但存在条带, 辐射强度的列间差异较小, 更适合目视解译; 而后者信噪比、信息熵、清晰度表现较好, 并有较大的灰度跨度, 对自动解译更为适宜。

(4) 表现正常的 173 个波段 (包括重复波段) 图像灰度分布均匀, 信息量丰富。VNIR 波段影像质量明显高于 SWIR 波段。在 SWIR 波段中也表现出波长较短的波段质量较好, 波长越长质量下降越多的趋势, 应注意更多地利用 VNIR 和 SWIR 前半段数据, 尽量少用或避开 130 波段以后的波段, 并在使用中注意检验其准确性。

EO-1 Hyperion 图像投入应用的 170 多个波段在 VNIR 波段和 SWIR 77~120 波段的成像质量相对较好, 图像质量优良, 地物清晰, 信息量丰富; 该光谱区间的图像质量能够正确表达地面信息, 为正确还原光谱信息打下基础, 从而发挥其高光

谱分辨率优势; 在农业调查、监测、管理, 森林覆盖、灾害预警, 地质调查等领域有望发挥较好的作用, 同时在高光谱分辨率遥感针对海洋水色和寻找油气藏的应用有一定研究意义。但是在 165 波段以后图像质量下降较大, 噪声严重, 地物光谱和空间信息均受到严重损害, 对应用造成了一定阻碍。

影像所有波段均存在列间辐射差异过大的现象, 为纠正辐射畸变, 应用前的预处理过程则必不可少。

参考文献

- [1] 王占宏. 遥感影像信息量及质量度量模型的研究. 博士论文, 武汉, 2004
- [2] 张霞, 张兵, 赵永超等. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图象质量评价. 中国图象图形学报, 2002, 7(6): 581~586
- [3] 马德敏. 高光谱图像质量评价. 红外月刊, 2004, 7: 18~23
- [4] Robert C W, Don H C, Christine A H. Thematic mapper image quality: Registration, noise and resolution. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1984, 3(GE-22): 263~271
- [5] 谭炳香, 李增元等. EO-1 Hyperion 高光谱数据的预处理. 遥感信息, 2005, (6): 36~41
- [6] 陈秋林, 薛永祺. OMIS 成像光谱数据信噪比的估算. 遥感学报, 2000, 11(4): 284~289
- [7] 王鸿南, 钟文等. 图像清晰度评价方法研究. 中国图象图形学报, 2004, 7: 828~831
- [8] 王先华, 乔延利等. 基于小靶标法的星载 CCD 相机 MTF 在轨检测研究. 量子电子学报, 2005, 2: 55~57
- [9] 王昱. 数字遥感影像构像质量评价方法初探. 遥感信息, 2000, (4): 32~33
- [10] 赵书河, 冯学智, 赵锐等. 中巴资源一号卫星南京幅数据质量与几何纠正评价. 遥感技术与应用, 2000, 9(3): 170~174
- [11] 王钦军, 田庆久. RS-P6 卫星 LISS3 图像数据质量评价. 地理与地理信息科学, 2007, 5(3): 11~14
- [12] 刘建贵, 郑兰芬, 童庆禧等. 遥感图像信噪比的估算. 应用基础与工程科学学报, 1999, 12(4): 360~365
- [13] 何凯, 晏磊, 赵红颖等. 基于人眼视觉分辨力的数字影像质量评价方法研究. 北京邮电大学学报, 2005, (28): 127~131
- [14] 刘建平, 赵英时, 孙淑玲等. 高光谱遥感数据最佳波段选择方法试验研究. 遥感技术与应用, 2001, 16

(1): 7~131.

算法研究. 测绘通报, 2004 (9): 10~12, 39

[15] 李行, 张连蓬. 高光谱遥感图像最佳波段选择的快速

Image Quality Evaluation of EO-1 Hyperion Sensor

ZHOU Yuji TAN Qingji

(International Institute for Earth System Science of Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract This paper conducts the quality evaluation of a Hyperion LIR image of Yangzhou area by the objective image evaluation methods. The main indexes chosen for observation are radiation precision, the amount of information, sharpness, signal to noise ratio (SNR) and so on. It turns out that there are 44 zero bands and 25 water vapor affected bands among the 242 bands of the Hyperion data. The indicators of the remaining 173 bands are relatively moderate, except for those located near the water vapor affected bands, whose SNR are relatively lower. For this reason, it is considered that the environment and atmosphere conditions while acquiring images would affect the exact number of the available bands. As the conclusion, the image quality of the VNIR bands is obviously higher than that of the SWIR bands, and the image quality descends as the wavelength increases generally. The VNIR and SWIR bands before Band 120 possess the optimal image quality while bands after the 130th are of less sense for applications. Real spectral information could be extracted from these bands. After removing the striping noise and the smile effect, Hyperion image data could be used in the fields of agriculture, forestry, geological investigation, petroleum finding, ocean water color research and so on.

Key words hyperion, hyperspectral, quality evaluation, remote sensing