

珠海一号高光谱数据辐射质量评价

张立福^{1,2,4}, 王飒^{1,2}, 颜军³, 张强³, 刘少杰³, 纪婵³,
刘森³, 童庆禧¹

1. 中国科学院空天信息创新研究院 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 珠海欧比特宇航科技股份有限公司, 珠海 519080;

4. 石河子大学 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 石河子 832003

摘要:“珠海一号”02组和03组高光谱卫星分别于2018年4月26日和2019年9月19日发射成功。数据辐射质量评价是遥感数据应用的基础之一, 针对珠海一号高光谱卫星数据, 基于辐射精度、清晰度、信噪比和信息熵4个客观指标, 对珠海高光谱L1B级数据辐射质量进行评价, 并与GF-5高光谱遥感数据相同谱段(440—1000 nm)数据辐射质量进行对比。结果表明: GF-5高光谱数据的辐射精度和清晰度均优于珠海高光谱数据, 并且珠海高光谱数据的清晰度为GF-5数据清晰度的54.5%左右; 在信息熵方面, 两者能力近似, 均在6—10; 在信噪比方面, 珠海高光谱数据的信息熵为GF-5数据信息熵的86.5%左右。因此, 珠海高光谱数据和GF-5高光谱数据在一定程度上可以补充使用, 同时珠海高光谱数据可通过提高量化级数、降低光谱分辨率和优化传感器探元响应提高数据辐射质量。

关键词: 遥感, 珠海一号高光谱, 辐射精度, 清晰度, 信噪比, 信息熵

中图分类号: P2

引用格式: 张立福, 王飒, 颜军, 张强, 刘少杰, 纪婵, 刘森, 童庆禧. 2023. 珠海一号高光谱数据辐射质量评价. 遥感学报, 27(8): 1925–1935

Zhang L F, Wang S, Yan J, Zhang Q, Liu S J, Ji C, Liu S and Tong Q X. 2023. Quality Evaluation of Orbital Hyperspectral Images. National Remote Sensing Bulletin, 27(8): 1925–1935 [DOI: 10.11834/jrs.20230516]

1 引言

“珠海一号”卫星星座, 是中国首个民营企业发射的微纳卫星星座, 共有34颗卫星组成, 包括视频卫星、高光谱卫星等。珠海一号高光谱卫星OHS (Orbital HyperSpectral) 计划共10颗, 目前4颗OHS-2卫星于2018年4月26日发射成功, 4颗OHS-3卫星于2019年9月19日发射成功。OHS采用推扫式扫描成像的方式, 空间分辨率为10 m, 光谱分辨率为2.5 nm, 波长范围为400—1000 nm, 波段32个, 可以通过命令, 重新选择其他波段进行下传, 幅宽为150 km×150 km, 运行轨道为98°太阳同步轨道, 轨道高度为500 km, 同时支持在轨标定, 理想情况下10颗星每2天可覆盖全球一

次(洪韬, 2019; 李先怡等, 2019)。目前, OHS数据已在土壤有机质含量反演、内陆水体范围提取、水体参数反演、农作物精细分类等方面取得成功应用(洪韬, 2019; 孙浩然等, 2020; 尹慧新和樊彦国, 2020; 张信耶和李继旭, 2019)。

遥感数据质量评价是遥感数据应用的基础, 得到了国内外众多专家的关注。遥感数据质量评价的方法分为主观和客观评价方法(何南南等, 2017; 王霄鹏等, 2016; 尹灵芝等, 2014; 周景超等, 2008)。主观评价, 即目视评价, 主要靠人的目视检查, 对影像的质量好坏进行打分评级。主观评价方法主要依靠评价人的主观感受, 但是由于每个人的经验、素质、认知水平和个人背景等不同, 可能会造成不同的评价人对同一幅影像

收稿日期: 2020-11-26; 预印本: 2021-08-04

基金项目: 兵团重大科技项目(编号: 2018AA004); 兵团重点领域创新团队(编号: 2018CB004); 国家自然科学基金(编号: 41830108, 41977154); 国家重点研发计划(编号: 2017YFC1500901)

第一作者简介: 张立福, 研究方向为高光谱数据处理技术。E-mail: zhanglf@radi.ac.cn

的评价结果不同,同时,主观评价方法还受限于人眼的分辨能力(曹春旭,2014;曾彩云,2017;任雪,2008),为了保障主观评价结果的正确性,一般应至少有20名人员参加主观评价(任雪,2008)。目前国际上对多媒体应用和电视图像的主观评价方法已经规定了国际标准:ITU-T Rec. P. 910和ITU-R BT.500-11,但对于高光谱数据质量主观评价还没有统一的标准。客观评价方法则以图像的物理特征为基础,以特定的指标进行定量评价,能够避免主观评价方法存在的主观性问题。

众多学者基于客观评价的方法对高光谱数据质量进行评估:Forster和Best(1994)通过调制传递函数对SPOT影像进行了质量评价分析;Kamal等(2016)通过叶面积指数比较了WorldView-2、ALOS AVNIR-2和Landsat TM的数据质量;张霞等(2002)通过地面分解力、清晰度、信噪比、反差和辐射精度6个指标对中巴地球资源一号卫星数据质量进行了评价。王钦军和田庆久(2007)基于辐射精度、清晰度、信息量、信噪比、几何精度和地面分辨率6个评价指标,对IRS-P6卫星LISS3图像进行数据质量评价,并基于相同区域的TM数据,进行了对比分析。魏宏伟和田庆久(2012)基于辐射精度、信息量、清晰度、信噪比、对比度和地面分辨率6个客观指标对HJ1B-CCD影像进行质量评价。曹春旭(2014)通过主观评价和客观评价相结合的方法,基于数据的信息量、清晰度、灰度范围、噪声等方面对资源一号02C卫星进行数据质量分析和评价。吴兴等(2018)基于辐射精度、信噪比、信息熵和影像清晰度4个客观指标分析SPARK-02星高光谱数据质量。

综上所述,目前尚未有对珠海一号高光谱卫星数据辐射质量评价的系统性研究。珠海一号高光谱数据产品共有32个波段,如果以主观评价方法进行逐一评定将消耗大量人力、物力和时间,因此,本文主要采用客观评价的方法进行辐射质量评价,针对珠海一号的高光谱数据,分别选择了具有代表性地物覆盖的区域,采用客观评价的方法:辐射精度、清晰度、信噪比和信息熵为评价指标,对OHS-2和OHS-3高光谱数据进行辐射质量评价,并对比分析OHS-2和OHS-3不同星的高光谱数据辐射质量指标,为珠海一号高光谱数据在地理国情监测、精准农业、湿地资源保护、灾害监测、海洋环境调查等应用提供数据质量参考。

2 辐射质量评价方法

2.1 辐射精度

辐射精度是反映图像辐射状态的指标,包括均值、方差、偏度、陡度、边缘辐射畸变和增益调整畸变6个指标。其中,均值能够反映图像的整体辐射状况;方差反映的是图像信息量的大小,方差的值越大,则说明图像的信息量越丰富(张霞等,2002);偏度和陡度是反映图像直方图分布的2个指标,偏度反映的是图像直方图分布形状偏离平均值周围对称形状的程度,正负表示不对称边的分布是更趋向于正值还是负值,如果偏度为正值,则为右偏分布,反之,为左偏分布。当偏度绝对值越大,表明偏斜程度越大,直方图分布不均匀,质量较差;陡度则表达图像直方图的分布形状是集中在平均值附近还是向边缘扩展,陡度的值越大,表明越集中在平均值附近,说明图像灰度范围越窄,辐射精度较差;边缘辐射畸变和增益调整畸变是辐射不均质性的2个指标,边缘辐射畸变是行向量均值矢量,增益调整畸变则是列向量均值矢量,矢量的均值和方差的比值能够反映图像边缘辐射畸变和灰度增益变化的情况,值越大说明辐射形变越大。需要注意的是,由于图像的灰度值与地物类型、成像时间和天气等有着密切的联系,辐射精度的6个指标本身没有绝对的意义,可以用于同一数据不同波段的相互比较。其计算公式如下所示:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (1)$$

$$d = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - M)^2 \quad (2)$$

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - M}{\sqrt{d}} \right)^3}{N} \quad (3)$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - M}{\sqrt{d}} \right)^4}{N} \quad (4)$$

$$R = \frac{R_m}{R_d} \quad (5)$$

$$P = \frac{P_m}{P_d} \quad (6)$$

式中, M 表示均值, d 表示方差, S 表示偏度, R 表示边缘辐射畸变, P 表示增益调整畸变, K 表示

陡度, x_i 表示第 i 像元的灰度值, N 表示像元个数, R_m 表示行方向均值矢量的均值, R_d 表示行方向均值矢量的方差, P_m 为列方向上均值矢量的均值, P_d 为列方向上均值矢量的方差。

2.2 清晰度

清晰度是衡量影像细节边缘变化的一个重要指标。当一幅影像的清晰度越高, 意味着影像的边缘细节可区分程度高。本文采用点锐度算法计算清晰度 (王鸿南 等, 2004; 吴兴 等, 2018), 公式如下:

$$EVA = \frac{\sum_{i=1}^N |df/dx|}{N} \quad (7)$$

式中, EVA 表示为影像的清晰度, N 表示像元个数, df 为影像灰度变化幅值, dx 为像元间的距离增量。

2.3 信噪比

信噪比反映了影像中 useful 信息和噪声信息的大小, 它是衡量影像质量的重要指标之一, 定义为图像中有用成分的均值与噪声成分的标准差的比值 (高连如 等, 2007; 梁文秀 等, 2015; 吴兴 等, 2018; 朱博 等, 2010)。影像噪声的标准差计算方法有去相关法、基于高斯波形提取的局部方差法、基于边缘块剔除的局部方差法、局部方差法等 (高连如 等, 2007; 朱博 等, 2010)。本文基于 Canny 算子进行噪声标准差的估算, 它基于高斯滤波和梯度幅值进行边缘检测。计算公式为

$$SNR = 20 \log_{10} \frac{m}{\delta} \quad (8)$$

式中, SNR 表示为影像的信噪比, 单位为分贝 (dB), m 表示为图像的均值, δ 为影像噪声标准差。

2.4 信息熵

信息熵是反映影像所包含信息量大小的一个重要指标, 能够反映影像所包含地物信息的详细程度。一般而言, 信息熵越大, 表明影像所包含的信息量越大, 地物信息越详细。常用熵有: Shannon 熵、条件熵、平方熵、立方熵等。本文采用 Shannon 信息熵来表示 OHS 高光谱的信息量, Shannon 熵的计算公式如下:

$$H = - \sum_{i=\min}^{\max} P_i \log_2 P_i \quad (9)$$

式中, H 表示为影像的信息熵, $\min$ 为图像灰度最小值, $\max$ 为图像灰度最大值, P_i 表示灰度值 i 的像元的概率。

3 实验数据

本文研究区为山东省东营市黄河入海口地区。该地区地势较为平坦, 地表覆盖主要包括: 河流、农田、水产养殖、植被和建筑物等, 地物类型较为丰富。为了较为全面的评价分析珠海一号高光谱数据的辐射质量, 选取了两颗不同的珠海一号高光谱卫星: OHS-2C 和 OHS-3B, 其空间分辨率为 10 m, 光谱分辨率为 2.5 nm, 波长范围 400—1000 nm。分别获取了 2019 年 9 月 28 日 OHS-2C 卫星和 2020 年 10 月 7 日 OHS-3B 卫星在该区域无云的 L1B 级标准数据产品, L1B 级产品经过了几何校正、相对辐射校正和全谱段配准, 包括 RPC、空间范围和元数据文件等, 数据大小为 50 km×50 km。

同时, 为了对珠海一号高光谱数据的辐射质量评价更加客观, 获取相同区域 2019 年 11 月 14 日无云的 GF-5 高光谱 L1 级数据产品, GF-5 高光谱数据空间分辨率为 30 m, 在可见近红外有 150 个波段, 波长范围为 390—1030 nm; 在短波红外有 180 个波段, 波长范围为 1000—2500 nm, 影像的大小为 60 km×60 km, 如图 1 所示。OHS-2C、OHS-3B 和 GF-5 数据各波段信息详见表 1。

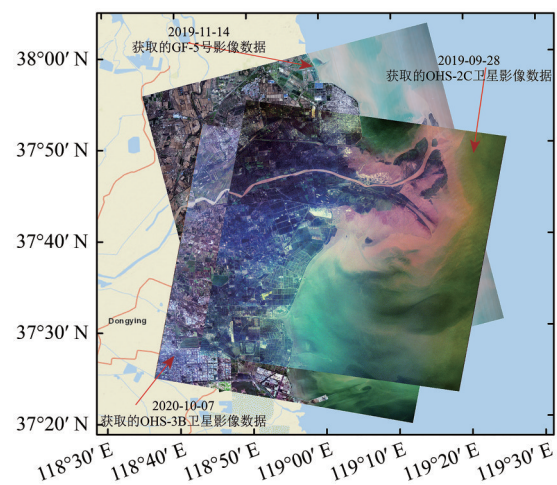


图1 研究区及高光谱数据真彩色合成显示

Fig. 1 True-color display of hyperspectral data in study area

表1 研究区数据详细情况列表
Table 1 Summary of images used in this study

影像获取时间	卫星	传感器	空间分辨率/ 光谱分辨率	影像大小	量化级数	中心波段/nm
2019-09-28	OHS-2C	CMOSMSS	10 m/2.5 nm	5056×5056/ 50 km×50 km	16 bits	Band1-32:466,480,500,520,536,550,566,580,596,610,626,640,656,670,686,700,716,730,746,760,776,790,806,820,836,850,866,880,896,910,926,940
2020-10-07	OHS-3B	CMOSMSS	10 m/2.5 nm	5056×5056/ 50 km×50 km	10 bits	Band1-32:443,466,490,500,510,531,550,560,580,596,620,640,665,670,686,700,709,730,746,760,776,780,806,820,833,850,865,880,896,910,926,940
2019-11-14	GF-5	AHSI	30 m/ VNIR:5 nm; SWIR:10 nm	2008×2083/ 60 km×60 km	12 bits	—

注：由于GF-5 高光谱数据共有330个波段，因此，在这里不一一列出其中心波段。珠海高光谱数据的量化级数是由元文件(meta.xml)中“DataBits”字段获取。

4 数据质量评价与结果分析

4.1 OHS 辐射质量评价结果

由于珠海高光谱数据的波长范围为400—1000 nm，实际起始波段的中心波长为466 nm (OHS-2C) 和443 nm (OHS-3B) (表1)，为了便于分析和对比，仅计算和显示了GF-5数据的可见近红外13—144波段（波长范围441—1002 nm），珠海高光谱和GF-5数据的辐射精度如图2所示。分析各个辐射精度指标发现，珠海OHS-2C和OHS-3B卫星的均值和方差变化趋势基本一致，表明OHS-2C和OHS-3B卫星数据能够反映的地物信息量的能力较为一致；在440—760 nm谱段，GF-5数据的方差比珠海高光谱数据大，表明GF-5数据在该谱段的灰度值变化范围较大，信息量较为丰富。由于获取的影像数据为同一区域，获取时间较为接近（2019年9月28日、2020年10月7日、2019年11月14日），其地物信息量应基本保持一致，即方差没有明显的差别；但是在400—760 nm谱段珠海高光谱数据的均值和方差明显低于珠海高光谱数据。由于GF-5、OHS-2C和OHS-3B的量化级数分别为12 bits，16 bits和10 bits，但是OHS-2C数据量化等级是由10 bit的二进制前补了6个0，其灰度范围仍为0—1023，因此GF-5数据的量化级数最大，量化级数是珠海高光谱数据均值在400—760 nm谱段低于GF-5数据的原因之一；而珠海高光谱的光谱分辨率（2.5 nm）较GF-5数据的光谱分辨率（5 nm）高，导致探测器每个通道接收的

能量较低，可能导致其信息量较低。这种现象是数据的量化级数和光谱分辨率综合影响的结果。同时GF-5数据第88波段（762.487 nm）和128波段（933.604 nm），GF-5数据的均值和方差呈现明显的波谷，这是由于760 nm为氧气吸收通道，940 nm为水体吸收通道，如图3（a）和（b）所示。

针对偏度和陡度指标，GF-5数据保持稳定，保持在-1—1，而两颗珠海卫星的高光谱数据变化趋势基本一致，偏度均表现出先增加（440—656 nm）后减小（656—716 nm），最后在716—926 nm保持稳定的趋势。在716—926 nm谱段，偏度和陡度都表现出稳定的趋势，表明OHS-2C和OHS-3B星直方图的分布基本保持一致。同时在440—940 nm谱段，珠海高光谱数据的偏度绝对值和陡度数值基本上都高于GF-5数据，与其方差较小的现象相符，即表明珠海高光谱数据动态范围较小，且传感器响应比GF-5数据差，需要进行改进和提高。对于边缘辐射畸变而言，在430—1000 nm谱段，GF-5数据和珠海高光谱OHS-2C和OHS-3B的曲线变化呈现一致，且边缘辐射畸变范围在0—1.2，表明行方向上辐射形变大小基本一致。同时，对于增益调整畸变，在440—640 nm谱段，珠海高光谱数据高于GF-5数据，表明珠海高光谱数据在列方向上的辐射形变高于GF-5数据，即珠海高光谱数据传感器在扫描线方向的辐射形变较大，其他谱段曲线变化较为一致，增益调整畸变的范围均在0—9，可能与传感器探元的响应有关。综上，GF-5高光谱数据所包含的信息量较珠海数据高，辐射精度高于珠海高光谱数据，但是在使用时，

需要注意 762.487 nm 和 933.604 nm 谱段的条带问题，OHS-2C 和 OHS-3B 数据的辐射精度变化趋势

基本一致，经过逐一目视检查，没有发现明显的条带问题。

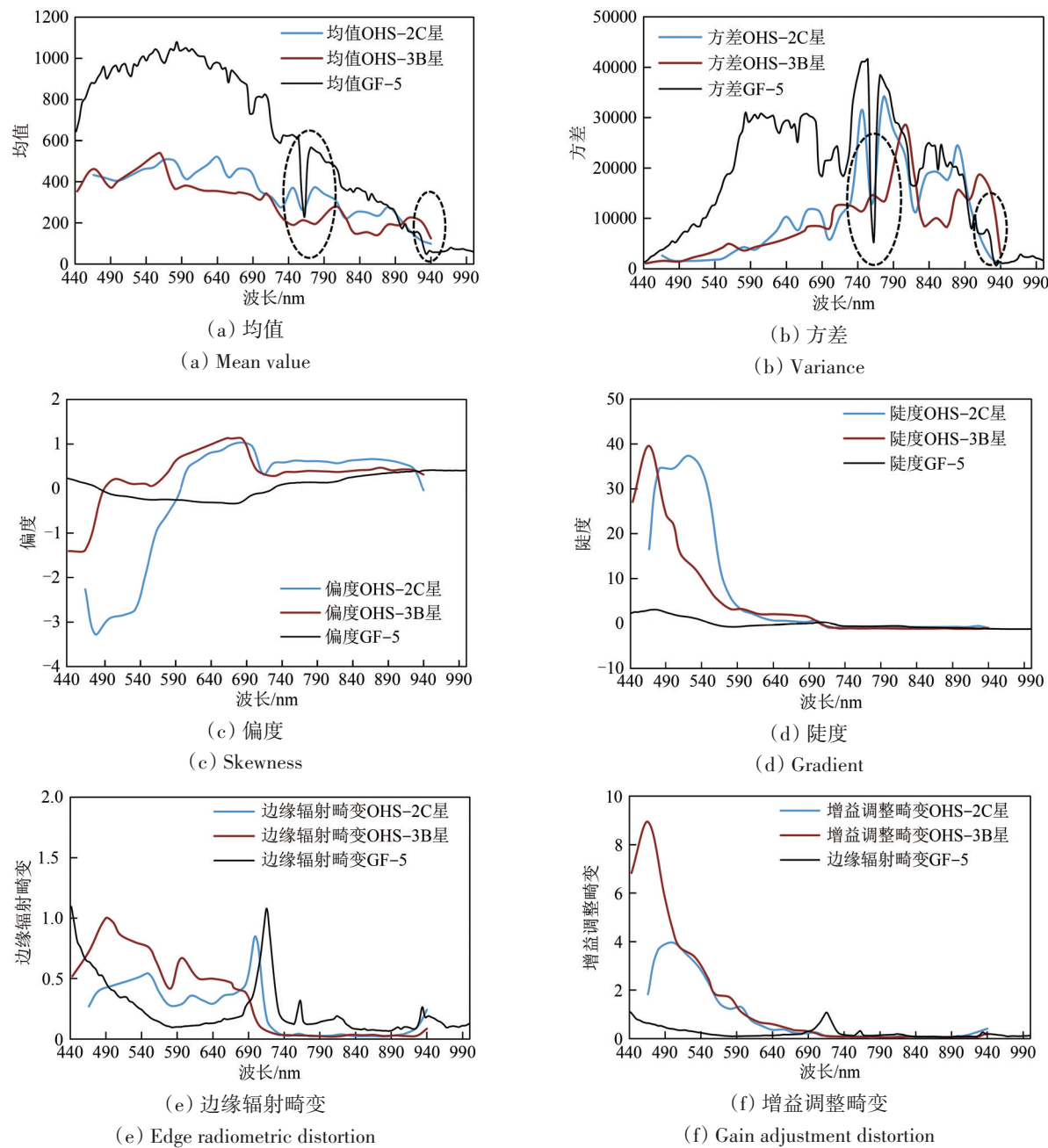


图2 OHS和GF-5辐射精度研究

Fig. 2 Radiation accuracy of OHS and GF-5

清晰度计算结果如图4所示，结果显示，GF-5数据的清晰度明显优于OHS-2C和OHS-3B数据。同时，珠海一号OHS-2C和OHS-3B的清晰度约为GF-5数据清晰度的55%和54%，与GF-5数据的平均值和方差大于珠海高光谱数据相吻合。这种现象可能与空间分辨率、光谱分辨率、传感器的探元响应以及量化级数有关。虽然珠海高光谱数

据的空间分辨率较高，但同时其光谱分辨率较高，量化级数较低，因此造成了珠海高光谱数据的清晰度低于GF-5数据。OHS-2C和OHS-3B数据的清晰度曲线趋势基本一致，清晰度在3—10，在686 nm附近，出现波峰；在红外波段的880—940 nm，表现出明显的降低趋势，因此在应用中，可考虑去掉880—940 nm谱段数据。

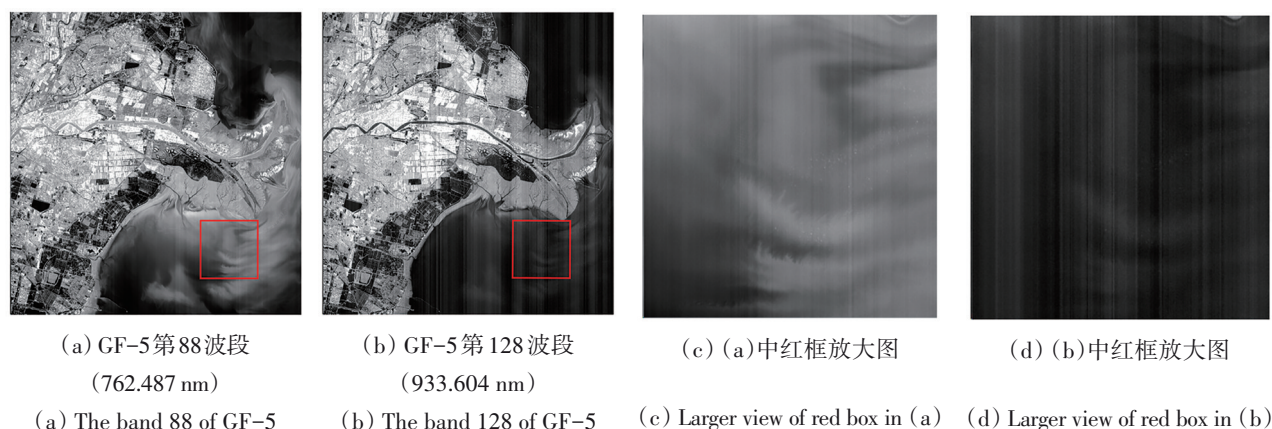


图3 GF-5号影像第88和128波段

Fig. 3 The band 88 and 128 of GF

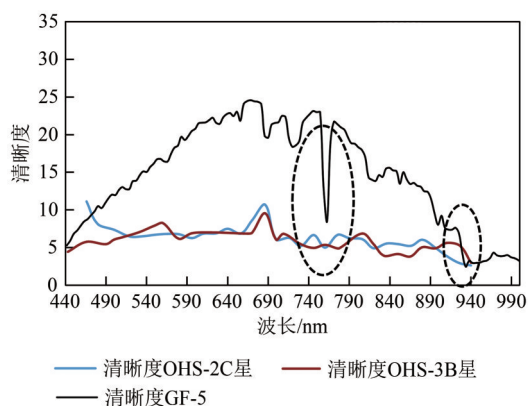


图4 OHS和GF-5影像清晰度

Fig. 4 Image definition of OHS and GF-5

信噪比计算结果如图5所示,虽然,珠海高光谱和GF-5数据的信噪比都保持在30—50 db,且随着波长的增加呈现降低趋势;但是由图5可以看出,珠海高光谱数据信噪比在35—40,而GF-5数据的信噪比在40—45,且珠海高光谱数据的信噪比约为GF-5数据信噪比的86.5%。因此,GF-5数据的信噪比明显优于珠海高光谱数据。对于OHS-2C星和OHS-3B星而言,其信噪比曲线形状基本保持一致,在686 nm附近,出现波谷值。而GF-5数据由于在第88和128波段的条带,造成其信噪比出现波谷值,其条带如图3(a)和3(b)所示。同时,在基于同样信噪比计算方法,Spark高光谱数据的信噪比范围为0—50(吴兴等,2018),表明,珠海高光谱数据和GF-5高光谱数据与Spark高光谱数据具有相同水平的信噪比。

信息熵计算如图6所示,在400—1000 nm谱段,珠海高光谱数据和GF-5数据信息熵都在6以

上,且基本上都保持稳定,在6—10,即所有谱段的信息量基本上都保持一致,同时,珠海高光谱数据的信息熵约为GF-5数据信息熵的91.5%。在440—760 nm谱段,GF-5数据的信息熵高于珠海高光谱数据,与其均值和方差表现一致,表明GF-5数据的信息量高于珠海高光谱数据。同样,由于GF-5数据第88(762.487 nm)和128(933.604 nm)波段的条带问题,造成其信息熵出现波谷。同时,EO-1 Hyperion高光谱数据的Shannon信息熵(周雨霁和田庆久,2008)在5—12, HJ1B数据Shannon信息熵则在1—2(魏宏伟和田庆久,2012), SPARK高光谱数据Shannon信息熵则在3—7(吴兴等,2018),由此可见,珠海高光谱数据和GF-5数据具有较高信息熵,且与EO-1 Hyperion高光谱数据信息熵基本保持一致。

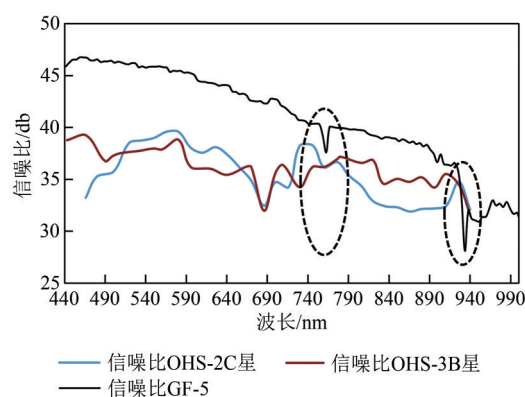


图5 OHS和GF-5信噪比

Fig. 5 Signal to noise ratio of OHS and GF-5

4.2 综合评价分析

为了综合反映OHS数据辐射质量的总体趋

势，结合珠海高光谱数据和 GF-5 数据波范围，将 440—1000 nm 谱段划分为蓝（440—520 nm）、绿（520—617 nm）、红（617—740 nm）和近红外（740—1000 nm）4 组，分别计算各个组指标的最大值、平均值和最小值。

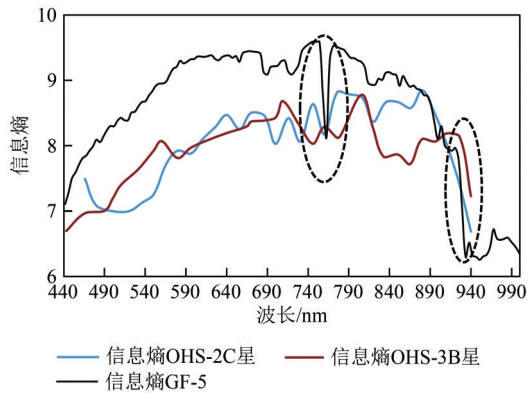
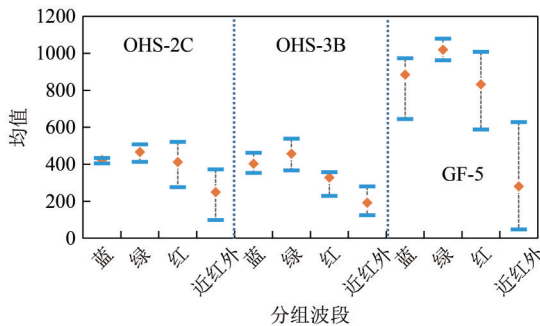


图6 OHS和GF-5信息熵
Fig. 6 Shannon entropy of OHS and GF-5

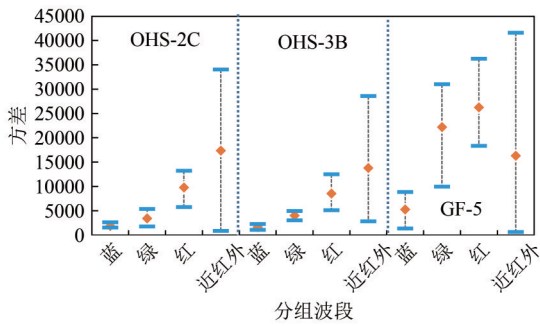
辐射精度综合评价如图7所示。在蓝、绿、红和近红外4个分组中，GF-5数据的灰度值和方差

的主要原因；针对偏度指标，GF-5数据在±0.3之间，而珠海高光谱数据在-3—1；针对陡度指标，GF-5数据都小于珠海数据，说明珠海数据灰度的值集中在均值附近，变化范围较小，与其方差变化相吻合；GF-5和珠海高光谱数据的边缘辐射畸变值基本在0—1，增益辐射畸变值在0—10，说明影像的列间差异更大，即推扫式成像过程中，在扫描线方向的辐射形变较大，可能存在探元在响应不一致的情况。

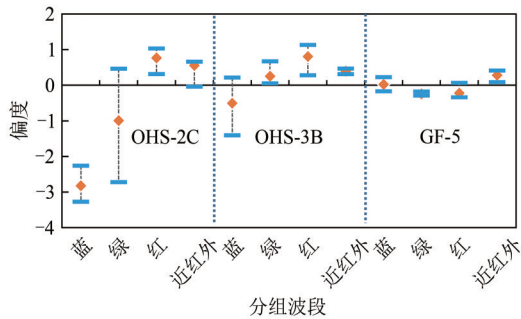
清晰度综合评价如图8所示，GF-5数据的清晰度高于珠海高光谱数据，表明虽然珠海高光谱数据的空间分辨率较高，由于其光谱分辨率和传感器探元响应造成其灰度值和变化范围小于GF-5数据，地物的可区分程度低于GF-5数据。OHS-2C和OHS-3B数据的清晰度稳定在6附近，由于其具有相同光谱分辨率和传感器设置，因此，其成像数据的清晰度基本保持一致；同时由于OHS-2C的运行时间大于OHS-3B，由于传感器衰减等因素，造成OHS-2C数据清晰度随着波长增加而微弱减少，而OHS-3B数据的清晰度基本保持不变。



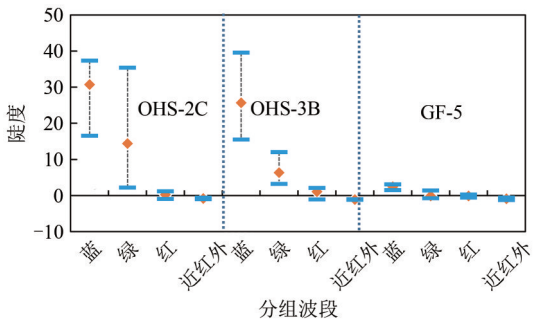
(a) 均值对比
(a) Comparison of mean values



(b) 方差对比
(b) Comparison of variance



(c) 偏度对比
(c) Comparison of skewness



(d) 陡度对比
(d) Comparison of gradient

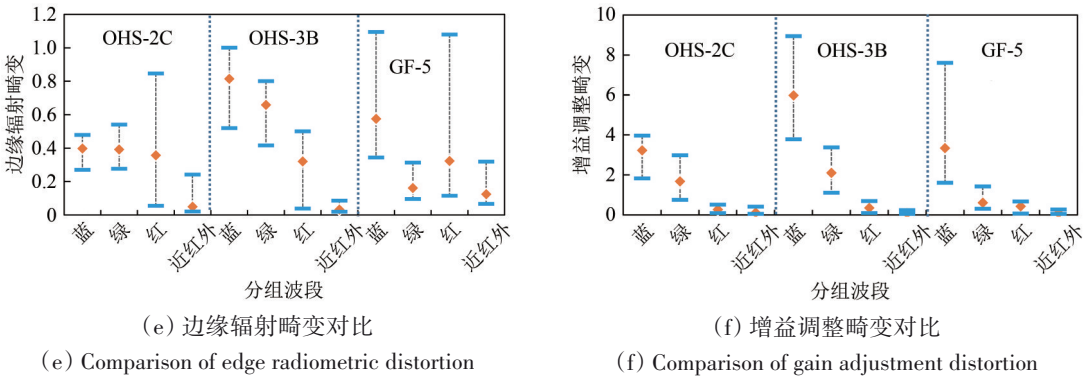


图7 OHS和GF-5辐射精度对比
Fig. 7 Comparison of radiation accuracy between OHS and GF-5

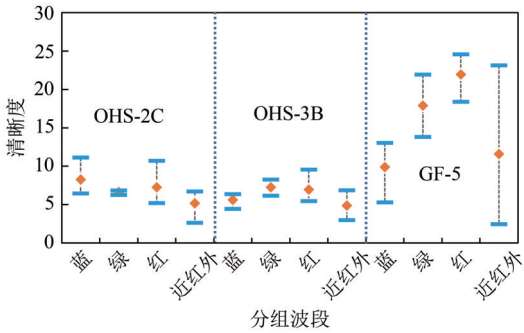


图8 OHS和GF-5清晰度对比
Fig. 8 Comparison of image definition between OHS and GF-5

信噪比综合评价如图9所示, 显而易见, GF-5数据的信噪比高于珠海高光谱数据, 表明GF-5数据所包含的信息量高于珠海高光谱数据, 这与其灰度值和方差所反映的一致。对于GF-5数据, 信噪比随着波长的增加明显降低, 近红外波段信噪比最小; 而OHS-2C与OHS-3B数据的信噪比基本一致, 可能与其传感器的响应有关。

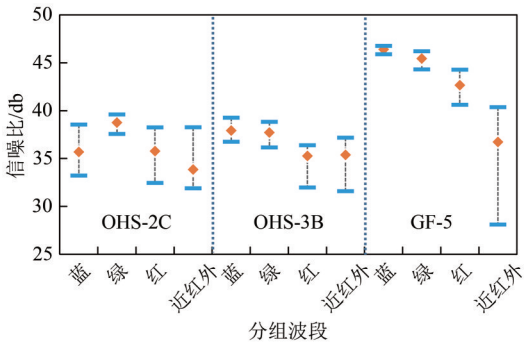


图9 OHS和GF-5信噪比对比
Fig. 9 Comparison of SNR between OHS and GF-5

信息熵综合评价如图10所示, GF-5和珠海高光谱数据的信息熵均值都在6—10, 十分接近。这

可能是由于其光谱分辨率和空间分辨率共同作用的结果: 高光谱分辨率使其波段较窄, 接受到能量的能力较低, 但是高空间分辨率使其信息量增加, 所以其信息含量与GF-5数据基本一致。具体而言, GF-5数据的信息熵稍高于珠海高光谱数据, 而OHS-2C和OHS-3B数据的信息熵则基本一致, 说明光谱分辨率是地物信息量的主导因素。

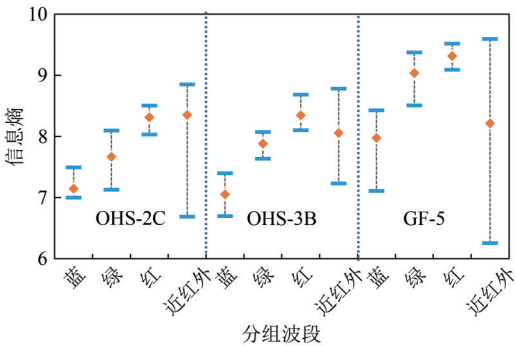


图10 OHS和GF-5信息熵对比
Fig. 10 Comparison of Shannon entropy between OHS and GF-5

以上分析表明, 虽然珠海高光谱数据的空间分辨率优于GF-5数据, 但整体而言, GF-5数据的辐射质量明显优于珠海高光谱数据, 但是其信息熵能力相当, 保持在同一数量级。OHS-2C和OHS-3B数据由于其相同的传感器和光谱分辨率, 其数据辐射质量基本保持一致。

5 结 论

本文针对OHS影像数据, 利用辐射精度、清晰度、信噪比和信息熵四个评价指标, 对OHS-2C、OHS-3B影像数据进行了辐射质量评价, 并与同类

高光谱卫星 GF-5 数据进行了对比分析, 得出以下结论:

(1) 在 400—760 nm 谱段, GF-5 数据的信息量高于珠海高光谱数据, 辐射精度明显高于珠海高光谱数据, 但是需要注意 GF-5 数据在 762.487 nm 和 933.604 nm 谱段的条带问题。

(2) 与 GF-5 数据相比, 珠海高光谱数据的量化级数较低, 且珠海高光谱卫星的光谱分辨率更高, 每个通道接受到的光谱信息量更低, 导致珠海高光谱数据辐射质量低于 GF-5 数据, 其清晰度约为 GF-5 数据清晰度的 54% 左右; 由于光谱分辨率、空间分辨率和传感器设置相同, OHS-2C 和 OHS-3B 数据的辐射质量基本一致。

(3) 与 GF-5 数据相比, 珠海高光谱数据的空间分辨率更高, 其信息熵平均值在 6—10, 约为 GF-5 数据信息熵的 91.5%, 与 GF-5 数据相当, 同时珠海高光谱数据信噪比约为 GF-5 数据的 86.5% 左右。因此, 在土地利用分类、变化检测、目标识别等方面, 可以与 GF-5 数据补充使用。

总体而言, 由于光谱分辨率的制约, 珠海一号高光谱数据辐射质量低于 GF-5 数据, 并且 GF-5 数据的信噪比和清晰度明显优于珠海高光谱数据, 但其信息熵相当 (信息熵位于 6—10), 同时由于珠海高光谱卫星研制成本低, 可实现卫星组网、高光谱数据的高重访周期 (单星 6 天, 4 星组网 2 天) 和高空间分辨率 (10 m) 等优点, 能够获取更多区域更多时相的高光谱卫星影像数据, 为高光谱卫星的深入应用提供数据支撑, 特别是在农业遥感方面具有广阔的应用前景。后续将针对定量遥感及水质监测等方面, 展开珠海一号高光谱数据光谱质量、大气纠正等方面的研究。

参考文献 (References)

- Cao C X. 2014. Data Quality Evaluation of ZY-I-02C Satellite. Beijing: China University of Geosciences (曹春旭. 2014. 资源一号 02C 卫星数据质量评价. 北京: 中国地质大学)
- Forster B C and Best P. 1994. Estimation of SPOT P-mode point spread function and derivation of a deconvolution filter. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 49(6): 32-42 [DOI: 10.1016/0924-2716(94)90013-2]
- Gao L R, Zhang B, Zhang X and Shen Q. 2007. Study on the method for estimating the noise in remote sensing images based on local standard deviations. *Journal of Remote Sensing*, 11(2): 201-208 (高连如, 张兵, 张霞, 申茜. 2007. 基于局部标准差的遥感图像噪声评估方法研究. *遥感学报*, 11(2): 201-208) [DOI: 10.11834/jrs.20070227]
- He N N, Xie K, Li T and Ye Y S. 2017. Overview of image quality assessment. *Journal of Beijing Institute of Graphic Communication*, 25(2): 47-50 (何南南, 解凯, 李桐, 叶宇珊. 2017. 图像质量评价综述. *北京印刷学院学报*, 25(2): 47-50) [DOI: 10.19461/j.cnki.1004-8626.2017.02.012]
- Hong T. 2019. Research on the Inland Lake monitoring based on OHS. *Satellite Application*, (8): 19-22 (洪韬. 2019. 珠海一号高光谱卫星在内陆湖泊监测中的应用. *卫星应用*, (8): 19-22) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2019.08.006]
- Kamal M, Phinn S and Johansen K. 2016. Assessment of multi-resolution image data for mangrove leaf area index mapping. *Remote Sensing of Environment*, 176: 252-254 [DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.013]
- Li X Y, Fan H S, Pan S L, Jiang X H and Wu J Q. 2019. Application of Zhuhai No. 1 hyperspectral satellite data. *Satellite Application*, (8): 12-18 (李先怡, 范海生, 潘申林, 蒋晓华, 吴佳奇. 2019. 珠海一号高光谱卫星数据及应用概况. *卫星应用*, (8): 12-18) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2019.08.005]
- Liang W X, Li J S, Zhou D M, Shen Q and Zhang F F. 2015. Evaluation of GF-1 WFV characteristics in monitoring inland water environment. *Remote Sensing Technology and Application*, 30(4): 810-818 (梁文秀, 李俊生, 周德民, 申茜, 张方方. 2015. 面向内陆水环境监测的 GF-1 卫星 WFV 数据特征评价. *遥感技术与应用*, 30(4): 810-818) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2015.4.0810]
- Ren X. 2008. Research and Implement of Objective Image Quality Evaluation Model. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (任雪. 2008. 图像质量客观评价方法的研究与实现. 南京: 南京航空航天大学)
- Sun H R, Zhao Z G, Zhao J X and Chen W W. 2020. Inversion of Topsoil Organic Matter Content by Hyperspectral Remote Sensing of Zhuhai-1. *Remote Sensing Information*, 35(4): 40-46 (孙浩然, 赵志根, 赵佳星, 陈卫卫. 2020. 珠海一号高光谱遥感的表层土壤有机质含量反演方法. *遥感信息*, 35(4): 40-46) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2020.04.007]
- Wang H N, Zhong W, Wang J and Xia D S. 2004. Research of measurement for digital image definition. *Journal of Image and Graphics*, 9(7): 828-831 (王鸿南, 钟文, 汪静, 夏德深. 2004. 图像清晰度评价方法研究. *中国图象图形学报*, 9(7): 828-831) [DOI: 10.3969/j.issn.1006-8961.2004.07.011]
- Wang Q J and Tian Q J. 2007. Quality evaluation of LISS3 image from IRS-P6 satellite. *Geography and Geo-Information Science*, 23(3): 11-14 (王钦军, 田庆久. 2007. IRS-P6 卫星 LISS3 图像数据质量评价. *地理与地理信息科学*, 23(3): 11-14) [DOI: 10.3969/j.issn.

- 1672-0504.2007.03.003]
- Wang X P, Zhang J, Ma Y and Ren G B. 2016. Image Quality Evaluation for ZY-1 02C Satellite in Coastal Zone Area. *Advances in Marine Science*, 34(1): 129-137 (王霄鹏, 张杰, 马毅, 任广波. 2016. 资源一号 02C 卫星海岸带影像二级产品质量评价. *海洋科学进展*, 34(1): 129-137) [DOI: 10.3969/j.issn.1671-6647.2016.01.013]
- Wei H W and Tian Q J. 2012. Quality evaluation and analysis of HJ1B-CCD images. *Remote sensing information*, 27(5): 31-36 (魏宏伟, 田庆久. 2012. HJ1B-CCD 影像的质量评估及分析. *遥感信息*, 27(5): 31-36) [DOI: 10.3969/j.issn.1000-3177.2012.05.006]
- Wu X, Zhang X, Sun X J, Zhang L F and Qi W C. 2018. Radiation quality evaluation of spark hyperspectral satellite image. *Remote Sensing Technology and Application*, 33(2): 233-240 (吴兴, 张霞, 孙雪剑, 张立福, 戚文超. 2018. SPARK 卫星高光谱数据辐射质量评价. *遥感技术与应用*, 33(2): 233-240) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2018.2.0233]
- Yin H X and Fan Y G. 2020. Research on the extraction method of water in Erhai Lake based on OHS-2A. *Spacecraft Recovery and Remote Sensing*, 41(4): 118-127 (尹慧新, 樊彦国. 2020. 基于“珠海一号”高光谱卫星的洱海水体提取方法研究. *航天返回与遥感*, 41(4): 118-127) [DOI: 10.3969/j.issn.1009-8518.2020.04.014]
- Yin L Z, Zhu J, Cai G L and Wang J H. 2014. Review on quality evaluation methods of remote sensing image. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 37(12): 32-35, 45 (尹灵芝, 朱军, 蔡国林, 王金宏. 2014. 遥感影像质量评价方法综述. *测绘与空间地理信息*, 37(12): 32-35, 45) [DOI: 10.3969/j.issn.1672-5867.2014.12.010]
- Zeng C Y. 2017. *The Quality Assessment and Feature Analysis of Domestic High Resolution Satellite Images*. Chengdu: Chengdu University of Technology (曾彩云. 2017. 国产高分卫星影像质量评价及特征分析. 成都: 成都理工大学)
- Zhang X, Zhang B, Zhao Y C, Tong Q X and Zheng L F. 2002. Image quality assessment for the infrared multi-spectral scanner of the Chinese-Brazil earth resources satellite. *Journal of Image and Graphics*, 7(6): 581-586 (张霞, 张兵, 赵永超, 童庆禧, 郑兰芬. 2002. 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*, 7(6): 581-586) [DOI: 10.3969/j.issn.1006-8961.2002.06.011]
- Zhang X Y and Li J X. 2019. Research on the Crops elaborate classification of Gaomi based on OHS. *Satellite Application*, (8): 29-33 (张信耶, 李继旭. 2019. 珠海一号高光谱卫星在高密市农作物精细分类中的应用. *卫星应用*, (8): 29-33) [DOI: 10.3969/j.issn.1674-9030.2019.08.008]
- Zhou J C, Dai R W and Xiao B H. 2008. Overview of image quality assessment research. *Computer Science*, 35(7): 1-4, 8 (周景超, 戴汝为, 肖柏华. 2008. 图像质量评价研究综述. *计算机科学*, 35(7): 1-4, 8) [DOI: 10.3969/j.issn.1002-137X.2008.07.001]
- Zhou Y J and Tian Q J. 2008. Image quality evaluation of EO-1 Hyperion sensor. *Geo-Information Science*, 10(5): 678-683 (周雨霁, 田庆久. 2008. EO-1 Hyperion 高光谱数据的质量评价. *地球信息科学*, 10(5): 678-683) [DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.2008.05.020]
- Zhu B, Wang X H, Tang L L and Li C R. 2010. Review on methods for SNR estimation of optical remote sensing imagery. *Remote Sensing Technology and Application*, 25(2): 303-309 (朱博, 王新鸿, 唐伶俐, 李传荣. 2010. 光学遥感图像信噪比评估方法研究进展. *遥感技术与应用*, 25(2): 303-309) [DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2010.2.303]

Quality evaluation of Orbita hyperspectral images

ZHANG Lifu^{1,2,4}, WANG Sa^{1,2}, YAN Jun³, ZHANG Qiang³, LIU Shaojie³, JI Chan³,
LIU Sen³, TONG Qingxi¹

1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Zhuhai Orbita Aerospace Technology Co. LTD, Zhuhai 519080, China;

4. Key Laboratory of Oasis Eco-agriculture, Xinjiang Production and Construction Corps, Shihezi University, Shihezi 832003, China

Abstract: Orbita Hyperspectral (OHS)-2 and 3 satellites were successfully launched on April 26, 2018 and September 19, 2019, respectively. While data quality evaluation serves as the basis of remote sensing data applications, no systematic evaluations or studies on the radiation quality evaluation of OHS have been conducted thus far.

OHS products have 32 bands, hence consuming much manpower, material resources, and time when these products are evaluated by using a subjective evaluation method. To address this problem, this study explored the use of an objective evaluation method in assessing the radiation quality of OHS level 1B images. The radiation qualities of OHS-2 and OHS-3 images were evaluated at the same time by applying the objective evaluation method on those regions covered by representative features. On the basis of four objective indexes, namely,

radiation accuracy, image definition (EVA), Signal-to-Noise Ratio (SNR), and entropy, the radiation qualities of OHS level 1B images were evaluated, and the radiation qualities of OHS and GF-5 (440—1000 nm) images were compared.

Results show that the radiation quality and EVA of GF-5 are higher than those of OHS, the EVA of OHS is about 54.5% of that of GF-5, and the entropy of OHS ranges from 6 to 10, which is about 91.5% of that of GF-5. Meanwhile, the SNR of OHS is about 86.5% of that of GF-5. Therefore, OHS and GF-5 data can be supplemented, and the OHS can improve the data radiation quality by improving the quantitative series of spectral resolution, reducing the spectral resolution, and optimizing the sensor response.

This study provides a data quality reference for the applications of OHS images. The radiation qualities of OHS-2C and OHS-3B were evaluated by using four objective indexes, namely, radiation accuracy, EVA, SNR, and entropy. The radiation quality of GF-5 was also compared with that of OHS. Although the radiation quality of OHS is lower than that of GF-5 due to the restriction of spectral resolution and the SNR and EVA of GF-5 are obviously better than those of OHS, the entropies of OHS and GF-5 are very similar. Due to the high revisit cycle of OHS (6 days for a single-star network and 2 days for a 4-star network) and their high spatial resolution (10 m), OHS images can complement GF-5 images to a certain degree in remote sensing applications. In the future, we plan to study the spectral quality and atmospheric correction of OHS in terms of quantitative remote sensing and water quality monitoring.

Key words: remote sensing, Orbita hyper spectral, radiation accuracy, image definition, signal to noise ratio, shannon entropy

Supported by Major Science and Technology Projects of XPCC (No. 2018AA004); Innovation Team of XPCC's Key Area (No. 2018CB004); National Natural Science Foundation of China (No. 41830108, 41977154); National Key Research and Development Program of China (No. 2017YFC1500901)