



王婷, 廖秀英, 程辉. 2015. 高分一号卫星 PMS 传感器湖南攸县幅数据质量评价. 地球物理学进展, 30(5):2082-2088, doi:10.6038/pg20150511.
WANG Ting, LIAO Xiu-ying, CHENG Hui, et al. 2015. Evaluation on data quality of GF-1 PMS sensor data in Youxian, Hunan province. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 30(5):2082-2088, doi:10.6038/pg20150511.

高分一号卫星 PMS 传感器湖南攸县幅数据质量评价 Evaluation on data quality of GF-1 PMS sensor data in Youxian, Hunan province

王婷¹, 廖秀英¹, 程辉²

WANG Ting¹, LIAO Xiu-ying¹, CHENG Hui²

1. 湖南科技大学 建筑与城乡规划学院, 湘潭 411201

2. 湖南科技大学 先进矿山装备教育部工程研究中心, 湘潭 411201

1. School of Architecture and Urban Planning, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China

2. Engineering Research Center of Advanced Mining Equipment, Ministry of Education, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China

摘 要 基于高分一号卫星 PMS 传感器接收的全色(0.45~0.90 μm)和蓝(0.45~0.52 μm)、绿(0.52~0.59 μm)、红(0.63~0.69 μm)波段数据,对其进行图像预处理,分别运用 IHS 变换、Brovey 变换、乘积变换、主成分变换、小波变换和 GS 变换等六种方法进行数据融合,再以 321 波段组合分别彩色合成影像,结合 SPOT5 数据,从几何精度、辐射质量两个方面定量分析了该卫星 PMS 传感器的数据质量.结果表明:1)高分数据采用乘积变换的融合方法进行融合,效果较好;2)高分数据不存在波段错位现象,影像畸变、扭曲现象也极小;3)高分数据的整体辐射精度、波段间相关系数和光谱质量均略差于 SPOT5 数据,但是高分数据所含噪声较少,信息量较丰富.无论是从辐射精度还是信噪比方面来看,高分数据的 1 波段最好,3 波段所含的信息量最多.

关键词 高分一号卫星; SPOT5; 几何精度; 辐射质量; 信噪比; 信息量

中图分类号 P237

文献标识码 A

doi:10.6038/pg20150511

Abstract The GF-1 satellite PMS sensor has four bands, red band (0.63~0.69 μm) (B1), green band (0.52~0.59 μm) (B2), blue band (0.45~0.52 μm) (B3) and pan band (0.45~0.90 μm) (B4). After appropriate data pre-processing, six methods of data fusion (e. g., IHS transform, Brovey transform, Multiplicative transform, Principal Component transform, Wavelet transform and Gram Schmidt transform) have been carried out, and the geometry accuracy and radiance quality of PMS false color composite fused data were quantitatively evaluated by comparing with SPOT5 data. The results showed that 1) PMS data is better by using Multiplicative method than other methods; 2) There is no deviation between the 3 bands of PMS, and the geometric distortion is very small; 3) In comparison with SPOT5, the PMS data have a little worse radiance precision, a bit lower correlation coefficient between bands and somewhat worse spectral quality, but they have less noise, more information. In conclusion, the first band of PMS data is the best, and the third band has the most information both for radiance precision and Signal to Noise Ratio.

Keywords GF-1 satellite; SPOT5; geometric accuracy; radiance; Signal to Noise Ratio; Information content

0 引言

高分一号卫星,简称高分卫星,是一种高分辨率对地观测卫星,于 2013 年 4 月 26 日在酒泉卫星发射中心发射升空,搭载了 4 台多光谱宽幅相机和 2 台全色/多光谱相机,分

辨率分别为 16 m、2 m/8 m.与国内已投入使用的对地观测卫星相比,高分卫星有以下特点:1)因为增加了高分辨率多光谱相机,所以有效地提高了遥感影像的空间分辨率;2)时间分辨率有较大提高.“高分一号”可以 4 天内对同一地区重复拍照,而世界上同类卫星需要 10 余天.可以说,高空间

收稿日期 2014-12-25; 修回日期 2015-06-16.

投稿网址 <http://www.progeophys.cn>

基金项目 地理空间信息技术国家地方联合工程实验室开放基金资助项目(2014GISNELJJ01)和湖南省自然科学基金资助项目(13JJ3088,14JJ6033)联合资助.

作者简介 王婷,女,1989 年生,山西太原人,在读硕士,主要从事遥感图像处理与 GIS 相关的理论研究工作.(E-mail:tt890203@163.com)

* 通讯作者 廖秀英,女,1981 年生,湖南浏阳人,博士,讲师,主要从事遥感图像处理与 GIS 相关的理论研究工作.
(E-mail:liaoxiuying99@163.com)

分辨率和高时间分辨率的结合在“高分一号”卫星上得到了完美体现。

随着遥感数据的广泛应用,遥感数据的质量评价已经成为连接遥感数据技术与更高分辨率传感器研制的重要纽带,也是遥感技术研究领域的重要课题之一。迄今为止,国内外学者在遥感数据质量评价方面开展了诸多研究,对于不同的遥感数据采用不同的评价方法,主要表现为以下三方面:

(1)对于 TM 数据的质量评价有通过计算 TM 数据和地形图上同名控制点及相应线段的坐标差值、差值均值和均方根来定量分析 TM 数据的几何精度(王新民等,1987;王新民和章蕾,1989),还有通过计算图像的信噪比、反差、辐射精度、信息量、清晰度和地面分解力等方面与其他卫星数据进行对比分析(刘建贵等,1999;张霞等,2002;王钦军和田庆久,2007)。

(2)对于中巴资源卫星数据的评价有进行条带现象、几何精度和噪声等方面分析 CCD 图像数据质量(赵书河等,2000;杨忠东等,2004),还有采用 PANSHARP 方法、HIS 变换法、Gram-Schmidt 法、Brovey 变换法、SFIM 法、小波融合法和主成分融合法将中巴资源卫星数据融合结果进行对比分析(薛振山等,2009)。

(3)还有一些对于其他数据精度的分析,如对 Arkon-2 地球观测卫星数据从实际空间分辨率、成像系统等方面分析(Thomson,2005);李浩军等(2010)基于 GNSS 网络利用所估计实时精密钟差特征建立实时精密单点定位的估算模型,并对该模型进行精度分析;陈顺云等(2011)从差值、统计特征和时频三个方面来对比分析通过卫星遥感影像获得的地表温度与实际测量得到的地表温度,两者之间的相关性;对 FY-3 气象卫星上搭载的紫外臭氧总量探测仪 TOU 获得的、经过在轨定标后的数据与 AURA/OMMI 以及地基产品进行了对比分析(江芳等,2012);通过欧洲中尺度天气预报中心(ECMWF)和美国国家环境预报中心(NCEP)资料对 GPS 实测获得的 ZTD 数据进行对比分析(陈钦明等,2012);对于风云卫星数据从太阳 X 射线探测器能谱分辨率、对地球静止轨道空间环境高能带电粒子的探测能力范围等方面进行了分析(韦飞等,2013);宫晓艳等(2013)通过计算 COSMIC 大气掩星与 SABER/TIMED 数据的绝对偏差、平均温度偏差和标准偏差对数据进行比较分析;沈强等(2013)基于 ALOS PRISM 获取的三轨立体像对、ALOS PALSAR 雷达影像和欧空局发布的汶川地震 ENVISAT 雷达影像应用光学遥感立体测图技术、InSAR 技术建立覆盖汶川地震地区的数字高程模型并采用实测 GPS 数据进行精度分析。

总之,他们都是通过不同方法对不同的数据进行对比研究(姚大全等,2014;方中于等,2015),发现不同数据的质量特征,可以在相同空间分辨率的情况下选择数据质量高的遥感数据,为数据的选择提供科学依据,并对卫星传感器的研制起到一定的推动作用,促进了遥感技术的发展。高分一号卫星作为国内首个以高空间分辨率和高时间分辨率完美结合的卫星,数据的应用更是受到各界的关注,因此对于高分数据质量的评价非常重要。

1 数据与研究方法

1.1 高分卫星 PMS 传感器概述

高分一号卫星 PMS 传感器搭载了 8 m 分辨率多光谱和 2 m 分辨率全色相机,具有高空间分辨率、多光谱的特点。高分一号 PMS 传感器设置了全色(0.45~0.90 μm)和蓝(0.45~0.52 μm)、绿(0.52~0.59 μm)、红(0.63~0.69 μm)、近红外(0.77~0.89 μm)4 个波段,分辨率分别为 2 m 和 8 m;SPOT5 传感器设置了全色(0.49~0.69 μm)和绿(0.49~0.61 μm)、红(0.61~0.68 μm)、近红外(0.78~0.89 μm)、短波红外(1.58~1.78 μm)4 个波段,分辨率分别为 2.5 m 和 10 m。高分一号两台相机组合扫描幅宽是 60 km,与 SPOT5 一景宽度是一致的,多光谱相机的重访周期为 4 天,覆盖周期为 41 天,而全色相机的覆盖周期为 4 天,可以将多光谱、高空间分辨率和宽覆盖等遥感技术结合在一起,而地质灾害的勘察与监测也需要高空间分辨率遥感图像。

1.2 研究区域与数据选择

文章所选评价区域为湖南省株洲市攸县,攸县位于湖南省东南部,地理位置介于东经 113°09′09″至 113°51′30″,北纬 26°46′34″至 27°26′30″之间,全县辖 20 个乡镇,总面积 2664 平方公里,地貌以山地为主,其次为岗地,接下来依次为平原、丘陵和水面,全县海拔界于 69 m 至 1404.9 m 之间。攸县属于亚热带季风湿润气候,常年气候较温和,四季分明,雨水充足,地下矿产资源丰富,由自然条件引发的地质灾害与人类活动引发的地质灾害较为突出,主要的地质类型包括:崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、踩空塌陷、土质塌陷、地面沉降、地裂缝。一般地,地质灾害发生会引发严重的经济损失、人员伤亡、交通通讯中断,甚至是在灾害发生区域造成动荡,本数据的评价工作主要应用于后期对该区域地质灾害类型、范围、强度等的判断。实验数据包括高分一号卫星 PMS 数据与 SPOT5 数据的 1~3 波段数据。

1.3 研究方法

1.3.1 图像融合方法

(1)IHS 融合

IHS 融合方法就是首先将多光谱图像从 R(红)G(绿)B(蓝)空间转换至 I(亮度)、H(色调)和 S(饱和度)空间,然后将转换后多光谱图像的 I 分量与全色图像进行直方图匹配,接着将多光谱图像的 I 分量用上一步匹配好的全色图像代替,最后进行 IHS 逆变换即可,IHS 融合方法可以更好的表现多光谱影像关于空间细节方面的信息。

(2)Brovey 变换

Brovey 变换就是首先将多光谱图像的 3 个波段按照以下公式进行计算,计算的值即为融合后各个波段的值,然后进行 Brovey 反变换即可得到融合图像。Brovey 变换融合方法较简单,多光谱图像的信息也最大限度地保留下来。

$$\begin{cases} \text{红色通道} = R/(R+G+B) \times I, \\ \text{绿色通道} = G/(R+G+B) \times I, \\ \text{蓝色通道} = B/(R+G+B) \times I, \end{cases} \quad (1)$$

式中, R 、 G 、 B 分别为多光谱图像 3 个波段影像的像元值, I 为高分辨率全色影像的像元值。

(3)乘积变换

乘积变换就是将多波段遥感影像像元值和高分辨率全色波段影像像元值按照以下公式进行计算, 计算的结果即为融合图像各个波段的像元灰度值, 这样可以得到融合图像, 公式为

$$B_i = P X_i, \quad (2)$$

式中, B_i 、 P 和 X_i 分别表示融合图像的波段像元、高分辨率全色波段影像对应像元和多光谱遥感影像波段对应像元的灰度值。

(4) 主成分变换

主成分分析法, 即 PCA (Principal component analysis), 包含两种方法, 第一种是参与法, 将高分辨率全色波段影像和多光谱波段遥感影像一起进行主成分变换, 然后再进行 PCA 逆变换即可; 另一种是替换法, 首先将多光谱进行主成分变换, 然后将高分辨率全色波段影像与多光谱图像的第一主成分图像进行直方图匹配, 接着将匹配后的高分辨率影像数据代替多光谱遥感影像数据中的第一主成分数据, 最后将它同其他成分数据进行逆主成分变换即可得到融合影像。主成分变换可以使用任意多个波段, 有效的减少了数据的冗余。

(5) 小波变换

小波变换就是首先要将多光谱遥感影像和高空间分辨率全色影像按照以下公式分别进行小波分解得到图像的近似分量和细节分量, 然后再分别进行融合处理, 最后将融合后图像的近似分量和细节分量进行小波逆变换, 即可得到融合图像。分解公式为

$$\begin{cases} C_{m,n}^j = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} C_{k,l}^{j+1} h_{k-2m} h_{l-2n}, \\ d_{m,n}^{j1} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} C_{k,l}^{j+1} h_{k-2m} g_{l-2n}, \\ d_{m,n}^{j2} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} C_{k,l}^{j+1} g_{k-2m} h_{l-2n}, \\ d_{m,n}^{j3} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} C_{k,l}^{j+1} g_{k-2m} g_{l-2n}, \end{cases} \quad (3)$$

式中, m, n 表示像元所在位置, C^j 为图像 C^{j+1} 的低频近似分量 (下标 j 和 $j+1$ 为空间尺度), d^{j1} 、 d^{j2} 、 d^{j3} 分别表示 C^{j+1} 中垂直、水平、对角方向上的细节分量, h 、 g 分别为尺度函数和小波函数对应的滤波器系数矩阵。图像重建公式为

$$C_{m,n}^{j+1} = \frac{1}{2} \sum_{k,l \in \mathbb{Z}} (C_{k,l} \bar{h}_{2k-m} \bar{h}_{2l-n} + d_{k,l}^{j1} \bar{h}_{2k-m} \bar{g}_{2l-n} + d_{k,l}^{j2} \bar{g}_{2k-m} \bar{h}_{2l-n} + d_{k,l}^{j3} \bar{g}_{2k-m} \bar{g}_{2l-n}), \quad (4)$$

式中, \bar{x} 、 \bar{g} 分别表示 h 、 g 的共轭转置矩阵。

(6) Gram Schmidt 变换

Gram Schmidt 变换是一种多维线性正交变换, 首先将高分辨率全色影像进行重采样为低分辨率的模拟的高分辨率全色波段影像, 然后将低分辨率全色波段影像作为第 1 个向量与多光谱图像进行 Gram Schmidt 变换, 接着将高分辨率全色波段影像代替进行上一步变换后得到图像的第 1 个向量, 最后将得到的数据进行反 Gram Schmidt 变换, 即可得到进行融合图像。Gram Schmidt 变换方法可以有效地减少数据冗余, 降低信息过于集中的问题。

1.3.2 辐射质量评价方法

(1) 辐射精度

辐射精度能够反映传感器接收到图像的信息量丰富程度, 这里选取了灰度均值、方差、偏斜和陡度 4 个图像评价参数, 通过计算这些参数, 来定量的分析评价图像的质量, 计算公式为

$$\text{灰度均值: } m = \sum (i \times p(i)), \quad (5)$$

$$\text{方差: } d = \sum ((i-m)^2 p(i)), \quad (6)$$

$$\text{偏斜度: } S = \sum ((i-m)^3 p(i)/d^3), \quad (7)$$

$$\text{陡度: } K = \sum ((i-m)^4 p(i)/d^4), \quad (8)$$

上式中, i 为图像像元灰度值, $p(i)$ 为图像像元灰度值为 i 的概率。

灰度均值是指图像中所有像元灰度值的平均值, 灰度均值越大表明图像的整体辐射状况越好, 图像越亮, 接收到的光能也越大, 反之, 接收到的光能较小, 趋向于黑色, 读不出图像中的信息; 方差值越大, 表明图像的灰度分布范围越广, 所含的信息量越丰富, 反差越大, 反之, 图像灰度分布范围越小, 色调均匀, 反差越小, 所含信息量越少; 偏斜度越大, 表明图像直方图分布偏离平均值程度越大, 反之, 偏离程度较小, 而当偏斜度值大于 0 时, 表示不对称部分的分布趋向正值, 反正, 趋向负值; 陡度越大, 表明图像直方图的动态范围越小, 反之, 直方图动态范围越大。

(2) 图像信噪比

图像信噪比是指图像中信号和噪声的比值, 计算信噪比的方法有多种, 最常见的有分块统计、半方差图等, 研究结果表明根据以上方法计算得到的信噪比能反映图像的整体质量 (Gao, 1993; Curtis *et al.*, 1988a, 1988b)。本文采用了方差法判读 PMS 传感器的信噪比水平, 定量的分析图像的信噪比, 信噪比数值越高, 噪声越小, 图像越好, 公式为

$$\text{SNR} = m/d, \quad (9)$$

式中, m 为图像灰度均值, d 为均方差。

(3) 图像信息量

通过计算信息熵可以用来衡量图像的信息量, 信息熵越大, 表明图像所含的信息量越丰富, 并且在一定程度上决定了影像的不确定性 (王占宏, 2004), 公式为

$$\text{信息熵: } H = - \sum_{i=1}^n p(i) \log_2 p(i), \quad (10)$$

式中, $p(i)$ 为图像像元灰度值为 i 的概率。

各个波段信息量的总和就是多波段遥感影像的信息量, 但是由于影像波段间相关性等因素会影响遥感影像所包含的信息量, 所以在充分考虑波段间的信息冗余的基础上计算多波段遥感影像数据的信息量。计算公式为

$$H = H_i + H_j (1-Q), \quad (11)$$

式中, H_i 表示第 i 波段影像的信息量, H_j 表示 j 波段影像的信息量, Q 表示 2 个波段的互相关系数。根据上述公式以此类推, 计算多波段遥感影像信息量。

(4) 波段之间的参数

各个波段之间的相关性存在于多波段图像中, 协方差和协方差矩阵、相关系数和相关矩阵参数可以用来评价各个波段之间的统计特征公式为

$$\text{协方差: } S_{21}^2 = S_{12}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}, \quad (12)$$

其中, S_{21}^2 、 S_{21}^2 为 x 图像和 y 图像的协方差、 y 图像和 x 图像的协方差, x 为 x 图像的灰度均值, y 为 y 图像的灰度均值. 协方差用来描述两个图像的相关程度, 将 N 个波段相互之间的协方差排成的矩阵就是协方差矩阵. 相关系数是用来衡量不同波段之间的相关程度, 取值范围为 $[-1, 1]$, $[-1, 0]$ 表示负相关, -1 为完全负相关, 0 表示不相关, $[0, 1]$ 表示正相关, 1 为完全正相关, 相关系数越大, 两个波段图像之间的相关程度越强, 图像光谱质量越好. 计算公式为

$$C_{(f,g)} = \frac{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f) \times (g_{i,j} - e_g)]}{\sqrt{\sum_{i,j} [(f_{i,j} - e_f)^2] \sum_{i,j} [(g_{i,j} - e_g)^2]}}, \quad (13)$$

其中, e_f 和 e_g 为两个影像的灰度平均值, $f_{i,j}$ 为 f 影像像元值, $g_{i,j}$ 为 g 影像像元值. 相关系数矩阵是由 N 个波段之间的相关系数排在一个矩阵里构成的.

2 数据处理

本次研究的数据处理流程如下:

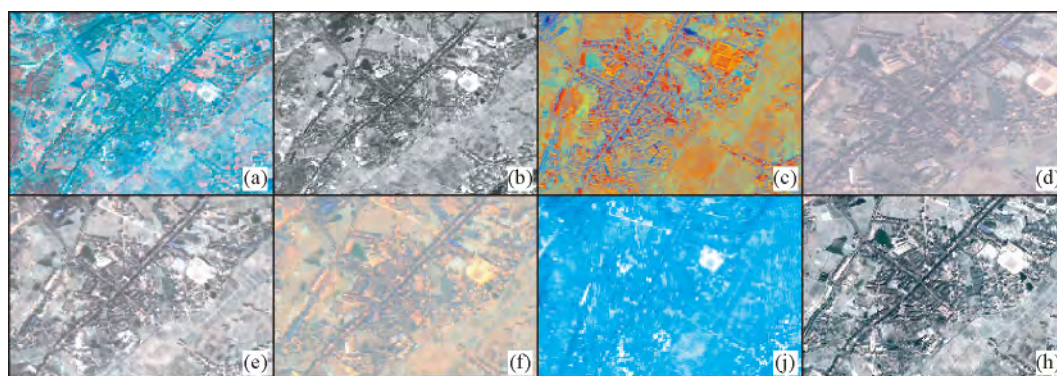


图1 实验区 MSS 和 PAN 影像及其 6 种不同方法融合影像
(RGB321 真彩色合成)

Fig. 1 Raw MSS, PAN image and their six different methods of fused image
(RGB321 True Color Composed)



图2 控制点分布示意图

Fig. 2 Distribution map of control points

(1) 数据收集整理. 首先下载高分一号卫星 2014 年 1 月 31 号扫描覆盖研究区域数据和 SPOT5 卫星 2013 年 12 月 31 日扫描覆盖研究区影像数据, 前人研究的成果资料, 还需要下载 2010 年 USGS 制作的全球陆地测量数据 GLS, 进行几何精度的分析.

(2) 数据前期预处理. 利用 ARCGIS、ENVI 和 ERDAS 的 GIS 软件和遥感软件对各个影像数据进行格式转换、影像数据增强、融合、拼接、裁剪等处理.

3 实验结果与分析

3.1 融合方法分析

为了保证数据的质量, 融合时使用了 B01、B02 和 B03 波段参与, 融合结果也以 321 真彩色波段组合方式进行显示. 实验数据进行了数据格式转换等预处理过程之后, 分别采用了 IHS 融合、Brovey 变换、乘积变换、主成分变换、小波变换和 Gram Schmidt 变换六种方法进行处理得到以下结果 (图 1).

从上图目视效果看, IHS 融合图像色调发生了变化, 纹理较清晰; Brovey 融合影像空间分辨率较低, 色调与真实地物较接近; 主成分方法融合影像分辨率较低, 纹理清晰度较好; 小波融合影像色调发生了较大的变化, 影像纹理较模糊, 空间分辨率不高, 有一定的光谱畸变; GS 融合影像空间分辨率高, 纹理较清晰, 发生了一定程度的光谱畸变; 乘积融合图像能较好的反映真实地物, 在色彩、色调以及影像分辨率、纹理清晰度和地物识别等方面均优于 IHS 融合、Brovey 变换、主成分变换、小波变换和 GS 变换方法. 通过上述比较定性分析, 可以发现乘积变换方法应用于此次数据的保真效果较好, 所以本次研究中采用的是乘积变换方法对数据进行融合.

3.2 高分数据几何精度分析

本文几何精度参考数据采用了 2010 年 USGS 制作的全球陆地测量数据 GLS, 通过对比分析判读高分数据和 SPOT5 数据的几何精度.

选取均匀分布在影像上的 22 个控制点, 其控制点所在的位置如图 2 所示. 通过计算不同波段间的同名控制点的坐

标差值、总差值、均方根误差以及相应线段间的差值来评价影像波段间位移以及内部精度,结果如表 1 和表 2 所示。

由表 1 可知,高分数据在 x, y 方向上的波段间位移总值最大为 3.3 m,均值小于 0.2 m,即不到 0.1 个像元, RMS 小于 1,总 RMS 小于 0.8;而 SPOT5 数据在 x, y 方向上的波段间位移总值最大为 6.3 m,均值小于 0.3 m, RMS 小于 0.9,总 RMS 小于 0.8。由于选取控制点的过程中必然会存在误差,在 1:1000 比例尺下控制点的误差范围控制在 1 m 范围内,因此可认为:1)高分数据与 SPOT5 数据波段间无像元错位现象,图像较清晰,波段间没有明显的位移情况;2)高分数据的波段间位移均值均小于 SPOT5 数据,在一定程度上高分一号卫星影像还比 SPOT5 卫星影像稳定。

从表 2 可以看出,高分数据内部控制点边长与 GLS2010 数据对应边长相比,相对误差均低于 0.35%,且其均值为 0.03%,可以看出高分数据的影像内部没有明显的畸变与扭曲现象,而 SPOT 数据内部对应控制点边长与 GLS2010 数据相比,相对误差均值为 -0.01%,可见高分数据较 SPOT 数据相比,存在畸变和扭曲,但是影响很小。

表 1 波段间位移精度分析/m

Table 1 Analysis of inter-band displacement/m

影像	高分数据				SPOT5 数据			
	1'2		1'3		1'2		1'3	
坐标差	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY
总坐标差	-1.03	-1.19	0.49	-3.27	-1.56	5.44	-6.26	1.26
均值	-0.05	-0.05	0.02	-0.15	-0.07	0.25	-0.28	0.06
RMS	0.59	0.39	0.93	0.60	0.53	0.73	0.88	0.69
总 RMS	0.50		0.79		0.64		0.79	

表 2 影像内部同名控制点连线边长误差/m

Table 2 Comparison of side length error between image control points/m

影像	高分数据		SPOT5 数据	
	绝对误差	相对误差	绝对误差	相对误差
线段				
1	33.83	0.14%	-54.63	-0.23%
2	0.17	0.00%	9.48	0.14%
3	-20.27	-0.11%	-20.86	-0.11%
4	17.25	0.31%	19.73	0.35%
5	-14.35	-0.12%	-28.90	-0.24%
6	20.85	0.19%	10.74	0.10%
7	-3.96	-0.07%	-26.02	-0.47%
8	3.69	0.02%	36.83	0.16%
9	1.86	0.01%	-37.51	-0.13%
10	7.79	0.03%	-5.69	-0.02%
11	-4.60	-0.06%	1.80	0.02%
12	11.57	0.11%	-5.52	-0.05%
13	-4.71	-0.02%	47.75	0.22%
14	-5.41	-0.02%	12.05	0.05%
Σ	43.70	0.40%	-40.74	-0.20%
均值	3.12	0.03%	-2.91	-0.01%
RMS	14.12		27.75	

3.3 高分数据辐射质量分析

本文选用了灰度均值、方差、偏斜、陡度、信噪比和信息熵 6 个评价指标来定量的分析图像的辐射质量。

3.3.1 辐射精度对比分析

辐射精度分析指标计算结果如表 3 所示。从表中数据可以看出高分数据的均值较低,可见高分数据的整体辐射状况稍差于 SPOT5 数据,高分数据与 SPOT5 数据的灰度均值相差 -11.26%(-19.11),方差均值相差 -88.84%(-8129.73),表明高分数据的整体辐射范围小于 SPOT5 数据, SPOT5 数据的图像灰度分布范围更广。在影像的偏斜度与陡度方面,高分数据的偏斜度均值为 0.00002698,而 SPOT5 数据是 -0.00000039,可见高分数据直方图偏离平均值的程度较大,且不对称部分的分布趋向正值, SPOT5 数据恰恰相反,偏离程度较小且趋向负值,高分数据与 SPOT5 数据的陡度均值相差 355%(0.00000355),高分数据比 SPOT5 数据的图像直方图动态范围小。综上, SPOT5 数据的辐射状况较好,灰度分布范围更广,形态更加均匀,直方图的动态范围较大。

从各个波段的角度来看,高分数据与 SPOT5 数据相比,1 波段在 4 个指标的相对误差分别为 -2.03%(-3.59)、-88.69%(-6786.99)、5855.10%(0.00002869)、21550.00%(0.00000431),2 波段在 4 个指标的相对误差分别为 -2.37%(-3.9)、-88.80%(-8939.45)、7985.19%(0.00002156)、25200.00%(0.00000252),3 波段在 4 个指标的相对误差分别为 -29.63%(-49.84)、-88.99%(-8662.75)、7965.00%(0.00003106)、38500.00%(0.00000385),表明高分数据 3 个波段的辐射精度由好到差的排序依次为第一波段、第二波段和第三波段。

表 3 实验影像辐射精度分析

Table 3 Analysis of radiation accuracy

影像	波段	灰度均值	方差	偏斜度	陡度
高分数据	1	173.09	865.15	0.00002820	0.00000433
	2	160.47	1127.10	0.00002129	0.00000253
	3	118.37	1071.50	0.00003146	0.00000386
SPOT5 数据	1	176.68	7652.14	-0.00000049	0.00000002
	2	164.37	10066.55	-0.00000027	0.00000001
	3	168.21	9734.25	-0.00000040	0.00000001

3.3.2 图像信噪比对比分析

高分数据与 SPOT5 数据信噪比的计算结果如表 4 所示,从表中可以看出,高分数据与 SPOT5 数据 3 个波段信噪比均值的差距为 650.00%(0.13),表明高分数据在信噪比方面优于 SPOT5 数据,所含的噪声小于 SPOT5 数据,图像中的信号大于 SPOT5 数据。

从各个波段的角度来看,高分数据的信噪比由大到小依次为波段 1、波段 2 和波段 3,可见高分数据的第一波段所含噪声最小,第三波段所含噪声最大,而 SPOT5 数据波段 1、2、3 的信噪比值相同,所以 SPOT5 波段 1、2、3 数据所含噪声基本相同。高分数据与 SPOT5 数据相比,波段 1 的信噪比的差距为 900.00%(0.18),波段 2 的信噪比的差距为

600.00%(0.12),波段3的信噪比的差距为450.00%(0.09),可见,高分数据的各个波段的信噪比均大于SPOT5数据,所含噪声均小于SPOT5数据。

表4 实验影像信噪比分析

Table 4 Analysis of SNR

影像	高分数据	SPOT5 数据
波段 1	0.20	0.02
波段 2	0.14	0.02
波段 3	0.11	0.02

表5 图像信息量结果

Table 5 Amount of information results

影像	高分数据	SPOT5 数据
波段 1	5.56	4.20
波段 2	5.56	4.15
波段 3	5.57	4.32
总信息量	16.69	12.67
实际信息量	5.65	4.25

3.3.3 图像信息量对比分析

高分数据与SPOT5数据的图像信息量结果如表5所示,从总信息量来看,高分数据为SPOT5数据信息量的

131.73%(4.02),考虑到相邻波段间的相关性,高分数据实际信息量为SPOT5数据实际信息量的132.94%(1.40),可知高分数据所含信息量略多于SPOT5数据。同时,从各个波段来看,高分数据3个波段各自所含信息量分别为SPOT5数据3个波段的132.38%(波段1)、133.98%(波段2)、128.94%(波段3),表明高分数据的各个波段所含信息量均多于SPOT5数据,且高分数据的波段3所含信息量稍多于波段1和2。

3.3.4 波段之间的参数

表6和表7分别是高分数据3个波段间和SPOT5数据3个波段间的相关系数矩阵和协方差矩阵,从3个波段间相关系数可知高分数据三个波段间的相关系数都达到了0.98以上,相关系数均较大,系数均值为0.99232,而SPOT5数据三个波段间的相关系数也比较大,达到了0.99以上,系数的均值为0.99297,表明SPOT5数据三个波段间的相关系数略高于高分数据,光谱质量略好。从图像三个波段的相关系数矩阵来看,高分数据波段2与波段3的相关系数最大,可见高分数据波段2和波段3在光谱信息上有很强的一致性;另外比较波段1与波段2、波段2与波段3的相关系数,高分数据均高于SPOT5数据,由此可知,在波段1与波段2、波段2与波段3的光谱信息一致性方面,高分数据高于SPOT5数据。从协方差矩阵表中可以看出,高分数据的协方差也均高于SPOT5数据,且高分数据的波段2与波段3的协方差最大,表明高分数据各波段之间的独立性不如SPOT5数据。

表6 图像相关系数矩阵

Table 6 Correlation coefficient matrix

相关系数	高分数据			SPOT5 数据		
	波段 1	波段 2	波段 3	波段 1	波段 2	波段 3
波段 1	1.00000	0.99208	0.98644	1.00000	0.99079	0.99462
波段 2	0.99208	1.00000	0.99843	0.99079	1.00000	0.99351
波段 3	0.98644	0.99843	1.00000	0.99462	0.99351	1.00000

表7 图像协方差矩阵

Table 7 Covariance matrix

协方差	高分数据			SPOT5 数据		
	波段 1	波段 2	波段 3	波段 1	波段 2	波段 3
波段 1	261227518.53467	343268820.81149	361719975.33996	9837.92253	8601.85195	9909.48804
波段 2	343268820.81149	458308447.36524	484937892.92968	8601.85195	7661.58442	8735.29940
波段 3	361719975.33996	484937892.92968	514731529.00997	9909.48804	8735.29940	10089.94521

4 结 论

4.1 高分一号卫星PMS数据的各波段间无像元错位现象,在 x 、 y 方向上各波段间总位移均不到0.2个像元,数据内部存在着极小的影像畸变和扭曲现象,对多数应用基本无影响。

4.2 高分数据的灰度均值和方差均小于SPOT5数据,偏斜度和陡度均大于SPOT5数据,说明高分数据的整体辐射状况不如SPOT5数据,整体辐射范围稍差与SPOT5数据,且高分数据的图像灰度分布范围较小,图像直方图动态范围较小。高分数据的信噪比比SPOT5数据的信噪比更大,可见高分数据图像所含噪声小于SPOT5数据,图像的整体质量要

优于 SPOT5 数据,而且信息量较为丰富.不论是从总信息量还是实际信息量方面来看,高分数据均大于 SPOT5 数据,可知高分数据所含信息量略多于 SPOT5 数据.另外高分数据三个波段间的相关系数都达到了 0.98 以上,但系数均值小于 SPOT5 数据,可见高分数据的图像光谱质量较差,其中相关系数最大的为高分数据波段 2 与波段 3 的相关系数,高分数据绿波段和红波段有较强的一致性存在于光谱信息,同时它们之间的协方差最大,表明高分数据各波段之间的独立性不如 SPOT5 数据.

4.3 高分数据的 3 个波段中,从辐射精度方面来看,第一波段最好,其次是第二波段,第三波段差距最大;在信噪比方面,高分数据的第一波段所含噪声最小,图像质量最好,其次为 2 波段和 3 波段,并且高分数据的各个波段所含噪声均小于 SPOT5 数据;从信息量方面来看,高分数据 3 波段要多于 1 波段和 2 波段所含的信息量,并且多于 SPOT5 数据的对应波段所含的信息量.

4.4 高分一号卫星传感器缺少短波、中、远红外等波段,但是它具有高空间分辨率、高时间分辨率和多光谱的特点,信息量较为丰富,高分数据进行 321 波段真彩色合成后的影像数据层次分明、图像清晰,能够较好的反应出河流、水库、坑塘、建筑用地、裸地、植被、地貌等方面的影像特征,其应用前景更为广泛,可为国土资源调查、城市规划、地质灾害调查等领域提供服务.

致 谢 感谢中国资源卫星应用中心和 USGS 给予数据上的大力支持和帮助.

References

- Gao B C. 1993. An operational method for estimating signal to noise ratios from data acquired with imaging spectrometers [J]. Remote Sensing of Environment, 43(1): 23-33.
- Thomson G H. 2005. Evaluation of Russian Arkon-2 Earth observation satellite[J]. The Imaging Science Journal, 53(3): 163-173.
- Woodcock C E, Strahler A H, Jupp D L B. 1988a. The use of variograms in remote sensing: I. Scene models and simulated images[J]. Remote Sensing of Environment, 25(3): 323-348.
- Woodcock C E, Strahler A H, Jupp D L B. 1988b. The use of variograms in remote sensing: II. Real digital images [J]. Remote Sensing of Environment, 25(3): 349-379.

附中文参考文献

- 陈钦明, 宋淑丽, 朱文耀. 2012. 亚洲地区 ECMWF/NCEP 资料计

- 算 ZTD 的精度分析[J]. 地球物理学报, 55(5): 1541-1548, doi: 10.6038/j.issn.0001-5733.2012.05.011.
- 陈顺云, 刘培洵, 刘力强, 等. 2011. 遥感与实测地表温度的对比分析及在地震研究中的意义[J]. 地球物理学报, 54(3): 747-755, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.03.014.
- 方中于, 王培培, 李振春. 2015. 多次波逆时偏移与常规逆时偏移对比分析[J]. 地球物理学进展, 30(1): 178-184, doi: 10.6038/pg20150127.
- 宫晓艳, 胡雄, 吴小成, 等. 2013. COSMIC 大气掩星与 SABER/TIMED 探测温度数据比较[J]. 地球物理学报, 56(7): 2152-2162, doi:10.6038/cjg20130702.
- 江芳, 王维和, 王咏梅, 等. 2012. FY-3 气象卫星紫外臭氧总量探测仪辐亮度在轨定标与反演结果分析[J]. 地球物理学报, 55(3): 760-767, doi: 10.6038/j.issn.0001-5733.2012.03.005.
- 李浩军, 王解先, 陈俊平, 等. 2010. 基于 GNSS 网络的实时精密单点定位及精度分析[J]. 地球物理学报, 53(6): 1302-1307, doi: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.06.008.
- 刘建贵, 郑兰芬, 童庆禧. 1999. 遥感图像信噪比的估算[J]. 应用基础与工程科学学报, 7(4): 360-365.
- 沈强, 乔学军, 王琪, 等. 2013. 多源遥感技术在汶川震后高精度数字高程模型重建中的精度分析[J]. 地球物理学进展, 28(4): 1785-1794, doi: 10.6038/pg20130419.
- 王钦军, 田庆久. 2007. IRS-P6 卫星 LISS3 图像数据质量评价[J]. 地理与地理信息科学, 23(3): 11-14.
- 王新民, 邵贝恩, 戴自圻, 等. 1987. 我国陆地卫星地面站与美国 NOAA 的大地校正 TM 图像产品的精度比较[J]. 环境遥感, 2(1): 73-79.
- 王新民, 章蕾. 1989. 陆地卫星五号 TM 图像系统纠正产品的几何精度分析[J]. 环境遥感, 4(4): 293-299.
- 王占宏. 2004. 遥感影像信息量及质量度量模型的研究[D]. 武汉: 武汉大学.
- 韦飞, 王世金, 梁金宝, 等. 2013. 风云二号 03 批卫星空间环境监测器[J]. 地球物理学报, 56(1): 1-11, doi: 10.6038/cjg20130101.
- 薛振山, 杨晓梅, 苏奋振, 等. 2009. CBERS-02 与 SPOT5 融合数据及其在海岸带土地利用调查中应用能力综合评价[J]. 遥感技术与应用, 24(1): 97-102.
- 杨忠东, 古松岩, 邱红, 等. 2004. 中巴地球资源一号卫星 CCD 图像质量评价和交叉定标研究[J]. 遥感学报, 8(5): 113-120.
- 姚大全, 沈小七, 郑海刚, 等. 2014. 郯庐断裂带苏皖交界段落活动特征对比分析[J]. 地球物理学进展, 29(6): 2587-2591, doi: 10.6038/pg20140617.
- 张霞, 张兵, 赵永超, 等. 2002. 中巴地球资源一号卫星多光谱扫描图像质量评价[J]. 中国图象图形学报, 7(6): 581-586.
- 赵书河, 冯学智, 赵锐. 2000. 中巴资源一号卫星南京幅数据质量与几何纠正评价[J]. 遥感技术与应用, 15(3): 170-174.