

# RapidEye 卫星影像质量分析与彩色合成方案研究

王广亮<sup>①②</sup>, 李英成<sup>①②</sup>, 陈志军<sup>③</sup>, 曾钰<sup>①</sup>, 金澜<sup>①②</sup>

(<sup>①</sup>中国测绘科学研究院, 北京 100039; <sup>②</sup>中测新图(北京)遥感技术有限责任公司, 北京 100039;

<sup>③</sup>中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100094)

**摘要:** RapidEye 卫星是由德国负责运行的 5 颗卫星群, 具有覆盖范围大、重访率高、分辨率适中以及丰富的多光谱信息等特点。本文对该卫星影像的数据质量进行了分析和评价, 同时对其多光谱数据模拟真彩色的彩色合成方案进行了研究, 提出了红波段、新绿波段和蓝波段组合的最佳合成方案。

**关键词:** RapidEye; 数据质量; 彩色合成

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.02.018

**中图分类号:** TP79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2011)114-0098-04

## Quality Analysis and Color Composition Scheme of RapidEye Satellite Image

WANG Guang liang<sup>①②</sup>, LI Ying cheng<sup>①②</sup>, CHEN Zhi jun<sup>③</sup>, ZENG Yu<sup>①</sup>, JIN Lan<sup>①②</sup>

(<sup>①</sup> Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039;

<sup>②</sup> China TopRS Technology Co., Ltd, Beijing 100039;

<sup>③</sup> Center for Earth Observation and Digital Earth Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086)

**Abstract:** RapidEye is a constellation of five satellites run by Germany. It has a wide application prospect due to its advantages of wide coverage, short repetition cycle, moderate resolution and abundant multispectral bands. This paper analyzes and evaluates RapidEye satellite image quality, and makes a thorough study on the scheme of its true color composition. Some valuable and constructive conclusions are drawn in this paper.

**Key words:** RapidEye; data quality; color composition

### 1 引言

RapidEye 卫星由于其强大的数据获取能力和独特的光谱特征正在被国际各类遥感卫星应用机构认可与采用。RapidEye 是商业多光谱遥感卫星星座, 由加拿大 MDA 公司设计实施, 英国 Surrey 卫星技术公司提供卫星平台, 德国 RapidEye AG 公司负责运行, 俄罗斯第聂伯(Dnepr)火箭 2008 年 8 月 29 日从拜科努尔发射场成功发射的。RapidEye 由 5 颗卫星组成, 位于 630km 的高空, 每颗卫星绕地球一圈约 110 分钟, 每颗卫星间隔 18 分钟, 日覆盖范围达 400 万 km<sup>2</sup> 以上。该系统一天内可访问地

球任何一个地方, 5 天内可访问北美和欧洲的整个农业区, 15 天内可访问整个中国。

RapidEye 卫星具有较高的空间分辨率和丰富的多光谱信息, 其空间分辨率为 6.5m(星下点), 包括蓝、绿、红、红边和近红外 5 个光谱波段, 是第一个提供红边波段的商业卫星, 该波段可监测植被变化, 为土地分类和植被生长状态监测提供丰富、有效信息。RapidEye 卫星主要技术参数如表 1 所示。RapidEye 作为一种新型的遥感卫星, 与同类卫星相比具有范围覆盖大、重访率高和光谱信息更丰富等优势, 是土地利用监测、土地分类、环境监测等的重要数据源。本文从影像的空间分辨

收稿日期: 2010-07-05

作者简介: 王广亮(1967~), 男, 高级工程师, 工程硕士, 主要从事遥感应用等方面的工作。

E-mail: tops2007@163.com

率、波段同步性、影像的信息量和波段相关性几个方面对其数据质量进行了客观分析和评价,并对其利用多光谱数据模拟自然真彩色的彩色合成方案进行了研究,得出了客观真实具有一定参考价值的结论。

表 1 RapidEye 主要参数

卫星规格	参数
传感器数量	5
设计寿命	7 年
轨道高度	630km
过赤道时间	11:00am
传感器类型	多光谱推扫式
光谱波段	蓝: 440nm- 510nm 绿: 520nm- 590nm 红: 630nm- 685nm 红边: 690nm- 730nm 近红外: 760nm- 850nm
空间分辨率(星下点)	6.5m
正射影像采样间隔	5m
幅宽	77km
数据存储量	每轨道 1500km 影像存储
重返时间	每天(非垂直拍摄) / 5.5 天 (垂直拍摄)
采集能力	400 万 km <sup>2</sup> / d
动态范围	12 比特

## 2 数据质量分析

### 2.1 影像空间分辨率

卫星传感器标称的影像空间分辨率通常是比较理想状态下的,即没有侧视角的情况。当观测视线倾斜时,即在某一个不等于 0 的扫描角下观测时,其影像空间分辨率将发生变化<sup>[2]</sup>。利用公式(1)可计算出 RapidEye 不同侧视角的影像空间分辨率,见表 2。

$$\alpha = \alpha_0 \times \sec^2\theta \quad (1)$$

其中:  $\alpha$  为待计算的影像空间分辨率,  $\alpha_0$  为星下点影像空间分辨率,  $\theta$  为侧视角。

表 2 RapidEye 不同侧视角影像空间分辨率

侧视角(单位:°)	分辨率(单位:m)
0	6.50
±10	6.70
±15	6.97
±20	7.36
±25	7.91

从表 2 计算结果看,侧视角在  $\pm 15^\circ$  范围内,影像空间分辨率下降不足 0.1 个像元,侧视角在  $\pm 25^\circ$  范围内,影像空间分辨率下降不足 0.22 个像元,因此,为了保证影像整体精度,对地形起伏较大的山区和丘陵地区,侧视角最好控制在  $\pm 15^\circ$  范围内,对平原地区,侧视角可适当放宽至  $\pm 25^\circ$ 。

### 2.2 波段同步性

RapidEye 卫星 5 个波段采用两次成像,首先是近红波段、红边波段、红波段成像,然后是绿波段、蓝波段成像,同次不同波段的成像时间间隔较短,两次成像时间间隔相对较长。由于成像时间和焦距的不一致,导致 RapidEye 波段间存在一定的匹配误差。实验表明:近红波段、红边波段、红波段之间,以及绿波段、蓝波段之间由于成像时间间隔较短,波段匹配精度较高,可以达到 1 个像素以内;近红波段、红边波段、红波段和绿波段、蓝波段之间由于成像时间间隔相对较长,存在较大的波段匹配误差,虽经地面系统几何校正处理,个别地区特别是山区匹配误差仍达到 1 个像素以上。因此,两次成像之间的波段后期必须进行波段匹配,否则对影像质量和平面精度会造成较大影响。

### 2.3 影像信息量

影像信息熵是衡量图像信息丰富程度的一个重要指标,通过对影像信息熵的比较可以对比出影像的细节表现能力。熵越大,影像所含的信息越丰富,影像质量越好<sup>[1]</sup>。根据仙农信息论原理,一幅 8bit 灰度影像的信息熵为:

$$H(x) = - \sum_{i=0}^{255} p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

其中:  $p_i$  为影像上出现灰度值为  $i$  的概率。

对于彩色影像的联合熵为:

$$H(x_1, x_2, x_3) = - \sum_{i_1, i_2, i_3=0}^{255} p_{i_1, i_2, i_3} \log_2 p_{i_1, i_2, i_3} \quad (3)$$

其中:  $p_{i_1, i_2, i_3}$  为彩色影像中不同波段出现灰度值为  $i_1, i_2, i_3$  的联合概率。

根据公式(2)分别计算 RapidEye 影像 5 个波段的信息熵,其中,蓝波段信息熵为 5.817,绿波段信息熵为 6.026,红波段信息熵为 5.877,红边波段信息熵为 6.027,近红外波段信息熵为 5.938。各波段信息熵排序为:红边波段 > 绿波段 > 近红外波段 > 红波段 > 蓝波段。因此,在进行影像波段合成时,应充分考虑各波段信息量,尽量使用信息量大、影像质量佳的波段,提高合成后的影像质量。RapidEye 蓝波段、绿波段、红波段、红边波段和红外波段影像如图 1 所示。

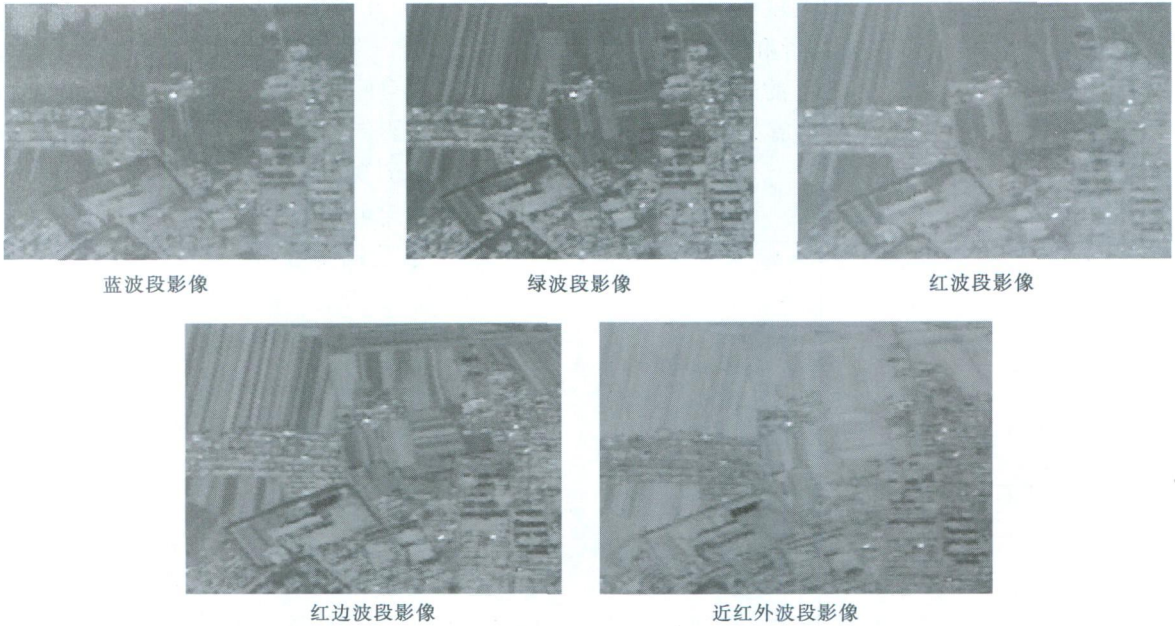


图1 RapidEye 各光谱段影像

2.4 波段相关性

波段之间的相关性通常是用相关系数来评价的。相关系数是描述两个函数间的相互近似程度的一个量值。相关系数越大,表示两个变量函数的相关程度则愈高,反之则越小。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (4)$$

其中:  $X_i$  和  $Y_i$  为两个影像的灰度值,  $\bar{X}$  和  $\bar{Y}$  为灰度均值。

根据公式(4)对 RapidEye 5 个波段影像进行相关性计算,计算结果见表3。

从统计表可见,红外波段与其他波段的相关性最差,红边波段与其他波段的相关性次之;蓝波段与绿波段相关性较强,与红波段相关性次之。在彩色合成过程中,应充分考虑波段之间的相关性以及遥感影像应用的目的,合理选择波段组合。

表3 RapidEye 波段相关性计算统计表

相关系数 波段	蓝波段	绿波段	红波段	红边波段	红外波段
蓝波段	1.000000	0.905313	0.891611	0.577371	-0.237249
绿波段	0.905313	1.000000	0.905397	0.808960	0.015858
红波段	0.891611	0.905397	1.000000	0.737529	-0.178849
红边波段	0.577371	0.808960	0.737529	1.000000	0.413085
红外波段	-0.237249	0.015858	-0.178849	0.413085	1.000000

3 彩色合成方案研究

彩色合成是影像彩色增强应用最为广泛的一种处理技术,随着多光谱遥感和多源数据融合技术的发展,日益显示出其巨大的应用价值<sup>[3]</sup>。彩色合成是有效利用影像信息进行数据解译和分析的重要内容。RapidEye 包含蓝、绿、红、红边、近红外 5 个光谱波段,本文通过不同波段之间的组合生成模拟自然真彩色的影像,通过定性和定量分析相结合的方

法对其彩色合成结果进行评价,从而确定了有利于数据分析和应用的最佳彩色合成方案。

RapidEye 数据模拟自然真彩色的彩色合成通常有 4 种方案,分别为红、绿、蓝波段组合,红、红边、绿波段组合,红、近红外、蓝波段组合,以及本文提出的红、新绿波段、蓝波段组合。从图 2 不同合成方案的目视效果看,利用 4 种彩色合成方案得到的影像各具特点,第一种方案建筑物色彩与实际地物比较接近,但农用地细节不够丰富和突出;第二种方案农用地细

节较丰富,但建筑物色彩与实际地物色彩相差较大;第三种方案则农用地和建筑物与实际地物色彩都存在较大差距;本文提出的第四种方案将原有绿波段与红外波段通过选择不同的权重系数进行几何运算,得到新绿波段,最后采用红、新绿波段和蓝波段进行彩色合成,合成后影像与实际地物的色彩更加接近,纹

理细节更加突出。新绿波段计算公式见公式(5)。

$$DN'_G = W_1 \times DN_G + W_2 \times DN_{INF} \quad (5)$$

其中,  $DN'_G$  表示计算后新绿波段,  $DN_G$  表示原绿波段,  $DN_{INF}$  表示原红外波段,  $W_1, W_2$  表示权重系数。本文  $W_1, W_2$  的权重系数分别为 0.8 和 0.2。



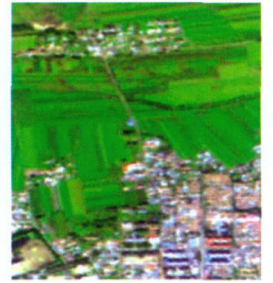
合成方案 1(红、绿、蓝波段合成)



合成方案 2(红、红边、绿波段合成)



合成方案 3(红、红外、蓝波段合成)



合成方案 4(红、新绿波段、蓝波段合成)

图 2 RapidEye 彩色合成方案比较

利用均值、标准偏差、相关系数和信息熵对 4 种彩色合成方案的影像进行定量评价。均值向量反映的是各波段亮度值的总体水平,它将直接影响彩色合成影像的色调。标准偏差或方差反映的是数据的离散程度,偏差越大,数据越离散,就越能反映地面不同目标之间的差别,它将直接影响彩色合成后影像的信息含量。相关系数反映的是两两波段数据的相关程度,即信息的重复量,系数越大,重复的信息量越多;反之,相关性越小的波段组合,其图像信息越丰富,因为这可以避免波段相叠加造成信息的抵消或某些信息的遗漏。所以,相关系数的大小直接影响到信息的总含量。信息熵则反应了影像信息的丰富程度,彩色合成后影像采用影像的联合熵进行评价。通过计算,得出上述 4 种彩色

合成方案影像的均值(见表 4)、标准偏差(见表 4)和相关系数(见表 5),彩色合成后影像的联合熵分别为 14.178、14.540、14.661 和 14.610。

表 4 新绿波段与其他 5 个波段均值标准偏差统计表

统计值 波段	统计项	均值	标准偏差
蓝波段		10.281006	4.460674
绿波段		9.784906	4.216247
红波段		14.601588	5.352107
红边波段		12.638385	4.350781
红外波段		33.346805	8.951611
新绿波段		14.097929	4.853316

表 5 新绿波段与其他 5 个波段相关性计算结果统计表

相关系数 波段	蓝波段	绿波段	红波段	红边波段	红外波段	新绿波段
蓝波段	1.000000	0.905313	0.891611	0.577371	-0.237249	0.681898
绿波段	0.905313	1.000000	0.905397	0.808960	0.015858	0.882364
红波段	0.891611	0.905397	1.000000	0.737529	-0.178849	0.709146
红边波段	0.577371	0.808960	0.737529	1.000000	0.413085	0.899856
红外波段	-0.237249	0.015858	-0.178849	0.413085	1.000000	0.478683
新绿波段	0.681898	0.882364	0.709146	0.899856	0.478683	1.000000

从理论上讲,应该选择 3 个偏差最大,相关系数最小,平均亮度值接近的波段进行彩色合成,且合成

后的影像信息熵最大,其结果信息最为丰富,色彩表现最佳。但从原始像元亮度值统计 (下转第 110 页)

## 4 结 论

ALOS PALSAR 传感器利用 L 波段多模式成像,且提供高精度的轨道状态矢量,极大地丰富了对地观测雷达数据。在今后的全球地形测图、地面沉降、冰川移动、地震以及滑坡监测等 InSAR 应用中,PALSAR 数据将发挥巨大作用。

本文通过分析 ALOS PALSAR 在 InSAR 数学模型中特点,得到如下结论:

(1) 在 InSAR 处理中,PALSAR 数据允许较大的

临界垂直基线距,在 FBS 模式下,可达到 12580m。

(2) 在相同垂直基线距前提下,PALSAR 的距离向频谱偏移远小于 C 波段的 ERS SAR 数据,因而其几何去相干影响更小,容易组合大量干涉像对,提高 SAR 数据的使用率。

(3) 由于较长的波长,PALSAR 的模糊高度较大、对地表形变敏感度较低,不适合小范围高精度的地形测绘和形变反演,但因其较强的地表穿透能力,在相同时间间隔内地物相干性更强,因而对于大范围甚至全球尺度的 InSAR 监测具有巨大的应用潜力。

## 参考文献

- [1] J. Bai, Prinnet, V. . PS InSAR technique and its application in Beijing area[C]// ISPRS. 2005.
- [2] Colesanti, C. , Zan, F. D. , Ferretti, A. , et al. . Generation of DEM with sub metric vertical accuracy from 30' ERS ENVISAT pairs[C]//FRINGE. 2003.
- [3] Colesanti, C. , Ferretti, A. , Prati, C. , Rocca, F. . Monitoring landslides and tectonic motions with the permanent scatterers technique[J]. Engineering Geology, 2003( 68): 3- 14.
- [4] Pepe, A. , Sansosti, E. , Berardino, P. , Lanari, R. . On the generation of ERS/ ENVISAT DInSAR time series via the SBAS technique[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2005, 2( 3): 265- 269.
- [5] Worawattanamatekul, J. , Hoffmann, J. , Adam, N. , et al. . Urban deformation monitoring in BANGKOK metropolitan (Thailand) using permanent scatterer and differential interferometry techniques[C]//FRINGE. 2003.
- [6] Iwashita, M. Kudo, H. Baba, et al. Study of ground surface displacement estimation using ALOS/PALSAR D-InSAR interferometry[C]//IGARSS. 2007.
- [7] D. Raucoules, C. Colesanti, C. Carnec. Use of SAR interferometry for detecting and assessing ground subsidence[J]. C. R. Geoscience, 2007( 339): 289- 302.
- [8] D. Myer, D. Sandwell, B. Brooks, et al. Inflation along Kilauea's Southwest Rift Zone in 2006[J]. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2008( 177): 418- 424.
- [9] Rosenqvist, M. Shimada, N. Ito, et al. ALOS PALSAR: A pathfinder mission for global scale monitoring of the environment[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 2007, 45( 11): 3307- 3316.
- [10] Bamler R. , Just D. . Phase statistics and decorrelation in SAR interferograms[C]//IGARSS. 1993: 980- 984.
- [11] Gatelli, F. , Guarnieri, A. M. , Parizzi, F. , et al. . Wavenumber shift in SAR interferometry[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1994, 32(4): 855- 864.

(上接第 101 页)

结果来看,同时满足这些条件的 3 个波段是不存在的。为此,必须从客观实际出发,兼顾影像目视效果,同时尽量满足理论条件来选择波段组合。

综合考虑彩色合成后影像的目视效果和定量评价结果,RapidEye 数据模拟自然真彩色的最佳彩色合成方案为本文提出的红波段、新绿波段和蓝波段组合。

## 4 结束语

通过对 RapidEye 数据质量进行的较全面分析,得出了科学、合理的结论,提供了使用过程中应注意的问题和建议。另外,通过对该数据彩色合成方案的研究,确定了该数据模拟自然真彩色的最佳波段组合,为该数据的进一步应用提供了借鉴和参考。

## 参考文献

- [1] 赵英时,等.《遥感应用分析原理与方法》[M]北京:科学出版社,2003.
- [2] 孙家柄,舒宁,关泽群.《遥感原理、方法和应用》[M]北京:测绘出版社,1997. 6.
- [3] 戴昌达,姜小光,唐伶俐.《遥感图像应用处理与分析》[M]北京:清华大学出版社,2004. 3.