

# QuickBird 多光谱图像像元分解

陈 春<sup>1</sup>, 刘成玉<sup>1\*</sup>, 张树清<sup>2</sup>

1. 东北师范大学城市与环境科学学院, 吉林 长春 130024  
2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012

**摘要** 以 QuickBird 卫星记录的 DN 值图像为实验数据, 根据 1~4 波段积分辐亮度之和与全色波段积分辐亮度之间的比例关系及能量守恒律构建分解方程, 将 1~4 波段图像每个像元分解成 16(4×4)个像元, 获得了分辨率为 0.61 m 的 1~4 波段辐亮度图像。与原图像比较, 空间分辨率提高到 4 倍, 地物细部特征清晰, 视觉效果明显提高, 图像成图适宜比例尺从 1 : 10 000 提高到 1 : 2 500。

**关键词** QuickBird 图像; 像元分解; 彩色合成

**中图分类号:** O657.6, TP751.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)11-3117-04

## 引 言

QuickBird 卫星传感器成像波段的波长范围为 B<sub>1</sub>(1 波段): 0.45~0.52 μm, B<sub>2</sub>(2 波段): 0.52~0.60 μm, B<sub>3</sub>(3 波段): 0.63~0.69 μm, B<sub>4</sub>(4 波段): 0.76~0.90 μm, P(全色波段): 0.45~0.90 μm。1~4 波段为 4 个多光谱波段, 空间分辨率 2.44 m。全色波段的空间分辨率 0.61 m。

先进行图像辐射定标, 获得积分辐亮度图像(在波谱维上, 下同), 再对 2.44 m 分辨率的 1~4 波段积分辐亮度图像(以下称为 1~4 波段图像)进行 4 倍重采样, 获得 0.61 m 分辨率的 1~4 波段积分辐亮度图像(以下称为 4 倍重采样 1~4 波段图像)。由 1~4 波段图像与全色波段积分辐亮度图像(以下称为全色波段图像)在能量上的关系, 得出 1~4 波段积分辐亮度之和与全色波段积分辐亮度之间的比例关系, 并结合 4 倍重采样 1~4 波段图像与全色波段图像, 构建分解方程, 对 1~4 波段图像进行像元分解, 获取 0.61 m 分辨率的 1~4 波段积分辐亮度图像(以下称为高分辨率 1~4 波段图像)。最后转换成 0.61 m 分辨率的 1~4 波段辐亮度图像(以下称为高分辨 1~4 波段辐亮度图像), 图像空间分辨率提高到 4 倍。

## 1 算法原理

### 1.1 图像辐射定标

用表 1 中的绝对定标因子  $K$  将各个波段的 DN (Digital Number) 值图像换算成积分辐亮度图像<sup>[1]</sup>。计算式为

$$P(x, y) = DN_P(x, y) \times K_P \quad (1)$$

$$B_i(x, y) = DN_i(x, y) \times K_i \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

式中:  $DN_P(x, y)$ ,  $DN_i(x, y)$  为 QuickBird 2A 级 DN 值图像。 $P(x, y)$ ,  $B_i(x, y)$  分别为全色波段图像和 1~4 波段图像, 像元值单位取  $W \cdot (m^2 \cdot sr)^{-1}$ 。 $K_P$ ,  $K_i$  为绝对定标因子  $K$ , 见表 1。 $x, y$  为图像像元的位置坐标。

**Table 1 Parameters for QuickBird images calibration**

Bands	$K/[W \cdot (m^2 \cdot sr \cdot DN)^{-1}]$	$\Delta\lambda/\mu m$
P	$6.447\ 600 \times 10^{-2}$	0.398
B <sub>1</sub>	$1.604\ 120 \times 10^{-2}$	0.068
B <sub>2</sub>	$1.438\ 470 \times 10^{-2}$	0.099
B <sub>3</sub>	$1.267\ 350 \times 10^{-2}$	0.071
B <sub>4</sub>	$1.542\ 420 \times 10^{-2}$	0.114

Notes:  $K$ : AbsCalFactor (Radiometric absolute calibration factor);  
 $\Delta\lambda$ : Valid length

### 1.2 1~4 波段图像 4 倍重采样

用二维线性插值法对(2)式计算的 1~4 波段图像 4 倍重采样, 具体方法为: 将 4 倍重采样 1~4 波段图像像元( $x, y$ )映射到 1~4 波段图像像元( $x/4+0.75, y/4+0.75$ ), 取像元( $x/4+0.75, y/4+0.75$ )周围的 4 个邻近像元( $x, y$ ), ( $x+1, y$ ), ( $x, y+1$ ), ( $x+1, y+1$ ), 在  $y$  方向内插 2 次, 再在  $x$  方向内插 1 次, 得到像元( $x, y$ )的值。计算式为

收稿日期: 2008-11-06, 修订日期: 2009-02-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40871188)和东北师范大学科技创新平台培育项目(106111065202)资助

作者简介: 陈 春, 1956 年生, 东北师范大学城市与环境科学学院副教授 e-mail: ChenC@nenu.edu.cn

\* 通讯联系人 e-mail: liucy777@nenu.edu.cn

$$B_i^4(x,y) = a[bB_i(x+1,y+1) + (1-b)B_i(x+1,y)] + (1-a)[bB_i(x,y+1) + (1-b)B_i(x,y)] \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

式中:  $B_i^4(x,y)$  为 4 倍重采样 1~4 波段图像, 像元值单位取  $W \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$ 。  $x = [x/4 + 0.75]$ ,  $y = [y/4 + 0.75]$ 。  $a = (x/4 + 0.75) - x$ ,  $b = (y/4 + 0.75) - y$ 。

### 1.3 1~4 波段图像像元分解

1~4 波段图像经 4 倍重采样后视觉效果较差, 因此还要融合全色波段图像: (1) 结合 1~4 波段积分辐亮度之和与全色波段积分辐亮度之间的比例关系, 用 4 倍重采样 1~4 波段图像构建模拟全色波段图像; (2) 分别计算 4 幅 4 倍重采样 1~4 波段图像与模拟全色波段图像的比值, 即 1~4 波段比率图像; (3) 按 1~4 波段比率图像的像元值, 逐个像元地将全色波段图像的像元值分配到 1~4 波段上, 得到高分辨率 1~4 波段图像。数学表达式为

$$B'_i(x,y) = P(x,y) \times \frac{B_i^4(x,y)}{P'(x,y)} \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

式中:  $B'_i(x,y)$  为高分辨率 1~4 波段图像, 像元值单位取  $W \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$ 。  $P'(x,y)$  为模拟全色波段图像, 像元值单位取  $W \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$ 。  $B_i^4(x,y)/P'(x,y)$  即为 1~4 波段比率图像。

#### 1.3.1 波段有效宽度

图 1 是 QuickBird 卫星传感器各波段光谱响应效率函数的图形。各波段的光谱响应效率函数在区间  $[0.3, 1.1 \mu\text{m}]$  的各个位置都大于 0, 较大的函数值集中在某个范围内, 每个波段( $P, B_1, B_2, B_3, B_4$ )的波长范围根据光谱响应效率函数确定, 为此, 引入波段有效宽度  $\Delta\lambda$

$$\Delta\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} h(\lambda) d\lambda$$

式中:  $h$  为光谱响应效率函数, 见图 1。  $\Delta\lambda$  的值见表 1。

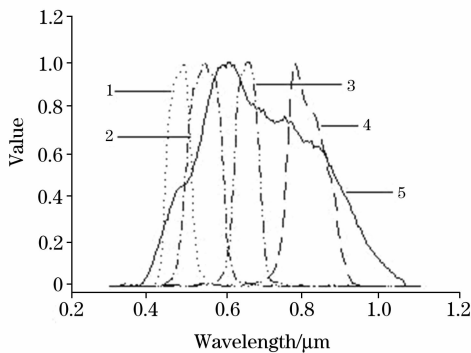


Fig. 1 Spectrum responding efficiency function of QuickBird sensor

1: Function of  $B_1$ ; 2: Function of  $B_2$ ; 3: Function of  $B_3$ ; 4: Function of  $B_4$ ; 5: Function of  $P$

#### 1.3.2 模拟全色波段图像的建立

由 QuickBird 卫星传感器成像波段分割可知, 1~4 波段的波长范围是全色波段的 4 个子区间, 若某像元点的辐亮度在区间  $[0.3, 1.1 \mu\text{m}]$  的各个位置为常数, 则传感器测量的值是图 1 中相应函数积分值的  $L$  倍, 此时, 1~4 波段积分辐

亮度之和与全色波段积分辐亮度之比  $\alpha$  等于 1~4 波段的波段有效宽度之和与全色波段有效宽度之比。然而, 对于大多数像元,  $L$  不是常量, 所以  $\alpha$  也不是常量, 用全图估计  $\alpha$  的值

$$\alpha = \left[ \sum_{i=1}^4 \sum_{(x,y)=(1,1)}^{(M,N)} B_i(x,y) \times 16 \right] / \sum_{(x,y)=(1,1)}^{(4M,4N)} P(x,y) \quad (4)$$

式中:  $M, N$  为 1~4 波段图像像元的列数、行数。多光谱波段像元面积是全色波段像元面积的 16 倍。

模拟全色波段图像  $P'(x,y)$

$$P'(x,y) = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=1}^4 B_i^4(x,y)$$

#### 1.3.3 1~4 波段比率图像的计算

由模拟全色波段图像  $P'(x,y)$  的计算式可得 1~4 波段比率图像的计算式为

$$R_i(x,y) = \frac{B_i^4(x,y)}{P'(x,y)} = \frac{\alpha B_i^4(x,y)}{\sum_{j=1}^4 B_j^4(x,y)} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

式中:  $R_i(x,y)$  为 1~4 波段比率图像。

#### 1.3.4 高分辨率 1~4 波段图像的计算

将全色波段图像  $P(x,y)$  按(5)式计算的  $R_i(x,y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 分配到 1~4 波段上, 计算式为:

$$B'_i(x,y) = P(x,y) \times R_i(x,y) \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

式中:  $B'_i(x,y)$  为与全色波段图像融合后的高分辨率 1~4 波段图像, 像元值单位取  $W \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr})^{-1}$ 。

#### 1.3.5 高分辨率 1~4 波段辐亮度图像的计算

结合表 1 中的波段有效宽度, 将(6)式计算的高分辨率 1~4 波段图像  $B'_i(x,y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 转换为高分辨率 1~4 波段辐亮度图像。计算式为

$$B_i^L(x,y) = \frac{B'_i(x,y)}{\Delta\lambda_i} \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (7)$$

式中:  $B_i^L(x,y)$  为高分辨率 1~4 波段辐亮度图像, 像元值单位取  $W \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})^{-1}$ 。  $\Delta\lambda_i$  为 1~4 波段的波段有效宽度, 单位取  $\mu\text{m}$ , 见表 1。

## 2 实验

实验数据: QuickBird 卫星记录的 DN 值图像。图像级别: 2A 级。成像区域: 黑龙江洪河湿地保护区。成像时间: 2005 年 9 月 4 日。

实验内容: 根据(1)~(7)式, 进行 QuickBird DN 值图像辐射定标, 对 1~4 波段图像 4 倍重采样, 并与全色波段图像融合。用彩色合成法将(2)式、(3)式和(7)式结果合成标准假彩色图像( $R: 4, G: 3, B: 2$ ), ( $R$ 对  $B_1$ ,  $G$ 对  $B_3$ ,  $B$ 对  $B_2$ )。

### 2.1 图像辐射定标

用(1)式计算全色波段图像  $P(x,y)$ , 见图 2。用(2)式计算 1~4 波段图像  $B_i(x,y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), 用 4, 3, 2 波段合成标准假彩色图像, 并用 ENVI(the environment for visualizing images)放大 4 倍, 见图 3。

### 2.2 计算 4 倍重采样 1~4 波段图像

用(3)式计算 4 倍重采样 1~4 波段图像  $B_i^4(x, y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), 用 4, 3, 2 波段合成标准假彩色图像, 见图 4。

### 2.3 计算 1~4 波段比率图像

用(4)式, (5)式计算 1~4 波段比率图像  $R_i(x, y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )。



Fig. 2 Pan image



Fig. 3 Zoomed image of  $B_2 \sim B_4$

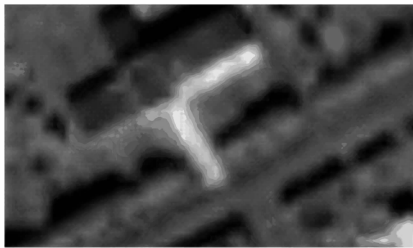


Fig. 4 4 times resampled image of  $B_2 \sim B_4$



Fig. 5 High resolution radiance image of  $B_2 \sim B_4$

### 2.4 计算高分辨率 1~4 波段辐亮度图像

用(6)式计算高分辨率 1~4 波段图像  $B'_i(x, y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ )。用(7)式将  $B'_i(x, y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 转换为高分辨率 1~4 波段辐亮度图像  $B_i^h(x, y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ), 用  $B_i^h$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 的 4, 3, 2 波段合成标准假彩色图像, 见图 5。

## 3 结果与讨论

图 3 与图 4 虽然都把原始的 1~4 波段图像放大了 4 倍, 空间分辨率提高到 0.61 m, 但图 3 锯齿明显, 图 4 模糊。图 5 与图 3 和图 4 比较, 不仅空间分辨率提高到 0.61 m, 而且地物轮廓更加清晰, 色彩更加明亮。图 5 与图 2 比较, 可识别的色彩信息增加。由此可见, 图 5 明显优于图 2、图 3 和图 4。

用高分辨率 1~4 波段图像  $B'_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 与 4 倍重采样 1~4 波段图像  $B_i^4(x, y)$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ) 计算经过像元分解后单个像元的平均相对变化量  $\omega$ , 计算式为:

$$\omega = \frac{1}{4(m \times n)} \sum_{i=1}^4 \sum_{(x,y)=(1,1)}^{(m,n)} \frac{|B'_i(x,y) - B_i^4(x,y)|}{B_i^4(x,y)}$$

式中:  $m, n$  为图像像元的列数、行数。

本文选取了  $2000 \times 2000$  像元范围的图像, 按上式计算了  $\omega$ , 结果为: 0.140 173。该值可以衡量经过像元分解后, 每个像元的平均相对变化量, 即融入的全色波段的信息量<sup>[2,3]</sup>。

## 4 结 论

实验获得了四幅高分辨率 1~4 波段辐亮度图像, 空间分辨率从 2.44 m 提高到 0.61 m, 使 1~4 波段图像放大了 4 倍, 并融入了全色波段图像信息。高分辨率 1~4 波段辐亮度图像无论在视觉效果还是光谱信息方面均明显优于 4 倍重采样 1~4 波段图像和全色波段图像, 充分利用了同一传感器在同一时间, 同一地点所获取的地物光谱信息。成图适宜比例尺由 1:10 000 提高到 1:2 500, 提高了图像的经济价值。

与地物的真实辐亮度比较, 融合的辐亮度图像误差主要来源于以下 3 个方面: (1) 几何配准误差; (2) 卫星传感器在各个波段的光谱响应效率函数不是规则矩形函数和多光谱波段的波长范围不是全色波段的准确分割; (3) 传感器成像误差。如果纠正图像几何配准误差, 则可提高成图精度。

## 参 考 文 献

- [1] ZHANG Guo-kun, CHEN Chun, XING Fu, et al(张国坤, 陈春, 邢福, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(3): 494.
- [2] LIN Hui, LI Ji-ping, MO Deng-kui(林辉, 李际平, 莫登奎). Journal of Image and Graphics(中国图象图形学报), 2005, 10(10): 1504.
- [3] TANG Guo-an, ZHANG You-shun, LIU Yong-mei(汤国安, 张友顺, 刘咏梅). Digital Remote Sensing Data Processing(遥感数字图像处理). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2004.

# Research on Pixel Decomposition of QuickBird Multi-Spectrum Band Images

CHEN Chun<sup>1</sup>, LIU Cheng-yu<sup>1\*</sup>, ZHANG Shu-qing<sup>2</sup>

1. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

**Abstract** In the condition that the DN(Digital Number) value images of ground-atmosphere system recorded by the QuickBird artificial satellite sensor were taken as the experimental datum, the equation of pixel decomposition was structured, abiding by energy conservation law and the proportional relationship between the sum of 1-4 band integral radiance and the panchromatic band (Pan) integral radiance. By using the equation gained above, every pixel of 1-4 band images was decomposed into sixteen pixels. So the high resolution 1-4 band radiance images with the resolution of 0.61 m were finally obtained in this experiment. Compared with the original 1-4 band images, the spatial resolution of the high resolution 1-4 band radiance images was raised by four times. The detailed characteristics of the surface features in the high resolution 1-4 band radiance images were more limpid than the original 1-4 band images. The optesthesia effect was also improved obviously in the high resolution 1-4 band radiance images. Therefore, the map with appropriate scale improved from 1 : 10 000 to 1 : 2 500 can be made based on the high resolution 1-4 band radiance images.

**Keywords** QuickBird images; Pixel decomposition; Color synthesis

(Received Nov. 6, 2008; accepted Feb. 8, 2009)

\* Corresponding author