

# 中巴 02B 卫星多光谱影像中 LBV 数据变换方法研究

张成雯<sup>1,2</sup>, 唐家奎<sup>1,2\*</sup>, 米素娟<sup>1,2</sup>, 胡引翠<sup>3</sup>, 王春磊<sup>1,2</sup>,  
于新菊<sup>1,2</sup>, 李勇志<sup>1,2</sup>, 赵理君<sup>1,2</sup>, 王后茂<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 中国科学院山东省海岸带环境过程重点实验室, 山东 烟台 264003;  
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 河北师范大学, 河北 石家庄 050016)

摘要: 通过对实际获得的多光谱影像的光谱特征分析, 提出了可用于中巴 02B 卫星多光谱影像的 LBV 数据变换公式, 使得 LBV 数据变换方法在国产中巴 02B 卫星数据上的应用成为可能; 运用该变换公式处理得到的中巴 LBV 数据变换图像比中巴原始数据假彩色合成图像颜色更鲜艳, 地物类别更易区分, 具有更好的目视解译效果。将 LBV 变换图像与中巴数据假彩色图像分别用最大似然法进行分类, 分类图像和精度检验结果表明: 用 LBV 变换公式得到的 LBV 结果图像能很好地提高图像计算机分类的精度, 该变换方法在中巴 02B 卫星数据的应用中具有很大潜力。

关键词: 中巴 02B 卫星; LBV 数据变换; 图像分类; 多光谱影像

中图分类号: TP75 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2011)03-0021-05

## 0 引言

LBV 数据变换是曾志远 2007 年根据卫星影像地物光谱特征分析提出的卫星图像数据变换方法<sup>[1]</sup>。该算法利用多光谱图像多个波段的光谱信息, 经过数据变换得到反映地物总辐射水平的  $L$  图像、反映可见光-近红外辐射平衡的  $B$  图像以及反映波段辐射变化矢量(速度和方向)的  $V$  图像。将  $L$ 、 $B$ 、 $V$  图像分别赋予红、蓝、绿色进行彩色合成, 得到色彩鲜艳、层次分明、地物类别易于区分的图像。与传统数据变换方法相比, LBV 变换应用于 TM 数据时可利用 4 个波段信息, 其变换后的图像信息量更加丰富, 并且图像上的颜色与地物存在着明显的逻辑对应关系。该方法近年来在遥感图像增强、图像解译和分类等方面得到了广泛应用。由于该变换建立在大量卫星数据分析基础之上, 不同的卫星数据对应的 LBV 变换公式也不同, 而目前已有的 LBV 变换公式均针对国外常用的卫星(如 SPOT、Landsat、IKONOS、ASTER 等), 迄今尚无针对国产中巴 02B 的 LBV 数据变换公式<sup>[2]</sup>。

中巴资源卫星 02B 星(CBERS-02B)发射于 2007 年 9 月 19 日, 该卫星搭载了 CCD 相机、高分辨率相机(HR)、宽视场成像仪(WFI)3 种传感器, 是我国迄今为止空间分辨率最高的民用资源卫星<sup>[3]</sup>。02B 星高分辨率全光谱段相机(HR)分辨率为 2.36 m、多光谱及

全色 CCD 相机数据的分辨率为 19.5 m。针对 CBERS-02B 数据的处理与应用逐渐成为国产卫星数据研究的热点, 目前大多结合传统的方法处理中巴资源卫星 CCD 数据, 如 PCA<sup>[4]</sup>、HIS<sup>[5-8]</sup>、Brovey Transform(BT)<sup>[9,10]</sup>。因此, 本文将 LBV 数据变换方法运用于 CBERS-02B 数据变换中, 提出针对处理该数据的 LBV 变换公式, 以进一步提高其应用潜力。

## 1 图像分析及 LBV 变换公式推导

### 1.1 数据分析

为了使用 LBV 数据变换方法, 需要检验能否从 CBERS-02B 图像中提取出 3 种基本的遥感属性, 即: 地物总辐射水平、可见光-近红外辐射平衡、波段辐射变化矢量(方向和速度)。因此, 需要对 CBERS-02B 图像的波长-灰度值图像进行分析。

首先, 选取多幅中巴数据, 按照 9 种典型的地物类别对其进行分类, 分别为: 清澈水体、浑浊水体、河岸水、城镇、极茂密植被、茂密的植被、稀疏植被、建筑、采矿场, 并将每种地物的灰度值取平均, 得到能够代表该类地物的灰度值。表 1 列出了每种地物类型及其对应的灰度值, 4 个波段范围分别为 B01(0.45~0.52  $\mu\text{m}$ )、B02(0.52~0.59  $\mu\text{m}$ )、B03(0.63~0.69  $\mu\text{m}$ )、B04(0.77~0.89  $\mu\text{m}$ ), 选择 0.48  $\mu\text{m}$ 、0.56  $\mu\text{m}$ 、0.66  $\mu\text{m}$  和 0.83  $\mu\text{m}$  作为取值点, 建立典型地物的波长-灰度值图像(图 1)。

收稿日期: 2010-12-10; 修订日期: 2011-03-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(40801124); 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-YW-224); 中国科学院信息化项目(INFO-115-COF-SDB4-17); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目; 河北师范大学自然科学基金项目

作者简介: 张成雯(1985-), 女, 硕士研究生, 从事海岸带环境遥感研究。\* 通讯作者 E-mail: jktang@yic.ac.cn

表 1 中国一些区域中 9 种代表性典型地物的灰度值  
Table 1 Grey level values of nine representative and typical ground features in some regions of China

波段灰度值	典型地物								
	1. 清澈水体	2. 浑浊水体	3. 河岸水	4. 城镇	5. 极茂密植被	6. 茂密植被	7. 稀疏植被	8. 建筑	9. 采矿场
B01	30	46	37	36	41	35	49	73	79
B02	29	39	33	40	34	29	37	83	104
B03	21	31	27	27	51	38	61	48	60
B04	10	10	12	34	43	57	67	81	90
像元数	7 856	11 456	5 064	4 899	15 897	13 666	12 587	5 600	4 789

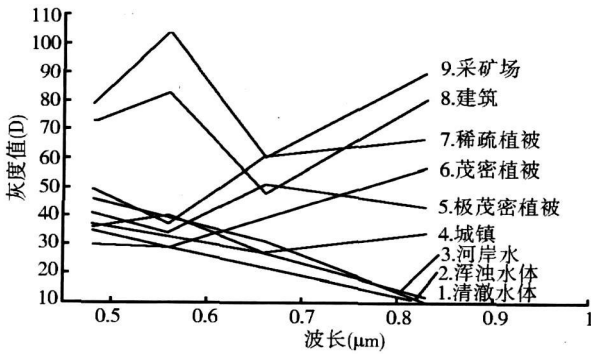


图 1 根据表 1 中的数据做出的 9 种典型地物波长-灰度值折线  
Fig. 1 Grey level curves (broken lines) of nine representative ground features, drawn according to the data in table 1

由图 1 中的地物灰度值曲线可以看出: 1) 曲线 8 和 9 的位置较高, 曲线 1、2、3 的位置较低, 曲线位置的高低反映了地物的亮度水平。因此, 地物的总辐射水平  $L$  能够通过曲线位置的高低反映。2) 曲线 1~3 向右侧下降, 曲线 5~7 向左下降, 其它曲线较平衡。曲线的这一性质可用可见光-近红外辐射平衡  $B$  表示。3) 曲线 8、9 从 B01 到 B02 波段上升, 从 B02 到 B03 波段下降, 从 B03 到 B04 波段再次上升, 而曲线 5 在每一波段的走势与其完全相反。另外, 曲线 9 从 B01 到 B04 波段的上升速度和下降速度都很快, 曲线 8 的变化速度则相对平缓。地物灰度值曲线从一个波段到另一个波段方向变化及其速度异同即可用波段辐射变化矢量(方向和速度)  $V$  表示。因此, CBERS-02 图像具有进行 LBV 变换所必需的 3 种最基本的遥感图像特征, 适宜于用 LBV 数据变换方法进行变换。

1.2 线性和二次回归方程

利用回归方法提取这 3 种基本的地物遥感影像属性, 具体方程为:

$$D = a + b\lambda + c\lambda^2 \quad (1)$$

$$D = a + b\lambda \quad (2)$$

将回归残差  $V_i$  定义为:

$$V_i = D_i - D_i \quad (3)$$

上述公式中,  $D$  表示回归方程求得的估测值,  $\lambda$  表示在该波段范围内选择的波长值,  $a$ 、 $b$  和  $c$  是回

归方程的系数,  $D_i$  表示第  $i$  个波段图像中原始地物的灰度值,  $D_i$  表示原始灰度值对应的回归估测值。笔者分别将  $\lambda = 0.48 \mu\text{m}$ 、 $\lambda = 0.56 \mu\text{m}$ 、 $\lambda = 0.66 \mu\text{m}$ 、 $\lambda = 0.83 \mu\text{m}$  带入上式中, 则系数  $a$ 、 $b$ 、 $c$  的值计算如下:

$$4a + 2.53b + 1.6685c = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 \quad (4)$$

$$2.53a + 1.6685b + 1.1455c = 0.48D_1 + 0.56D_2 + 0.66D_3 + 0.83D_4 \quad (5)$$

$$1.6685a + 1.1455b + 0.8158c = 0.2304D_1 + 0.3136D_2 + 0.4356D_3 + 0.6889D_4 \quad (6)$$

解方程组可得:

$$a = 10.253117D_1 - 3.6350503D_2 - 10.453690D_3 + 4.8356235D_4 \quad (7)$$

$$b = -29.363121D_1 + 13.328764D_2 + 33.401918D_3 - 17.367561D_4 \quad (8)$$

$$c = 20.543140D_1 - 10.896957D_2 - 24.987769D_3 + 15.341586D_4 \quad (9)$$

对于线性方程  $D = a + b\lambda$  只需联立两个方程:

$$D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = 4a + 2.53b \quad (10)$$

$$0.48D_1 + 0.56D_2 + 0.66D_3 + 0.83D_4 = 2.53a + 1.6685b \quad (11)$$

解以上方程组可得:

$$a = 1.662761D_1 + 0.921640D_2 - 0.00476016D_3 - 1.579641D_4 \quad (12)$$

$$b = -2.233614D_1 - 1.061882D_2 + 0.402783D_3 + 2.892713D_4 \quad (13)$$

1.3 CBERS-02B 图像  $L$ 、 $B$ 、 $V$  值的定义及计算

1.3.1  $V$  的定义及其计算公式 利用式(7)~式(9)及式(12)、式(13)得出的二次回归曲线和线性回归方程中的系数公式求解对应的回归方程并做回归曲线(图 2), 在图中显示对应的回归残差。图 3 为稀疏植被、采矿场两种典型地物的二次回归曲线及对应的回归残差  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$ , 可以看出, 裸露的地表(采矿场)与稀疏植被灰度折线的变换方向完全相反, 即稀疏植被从 B01 波段到 B04 波段  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$  的符号分别为 -、+、-、+, 采矿场从 B01 波段到 B04 波段  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 、 $v_4$  的符号则分别为 +、-、+、-。

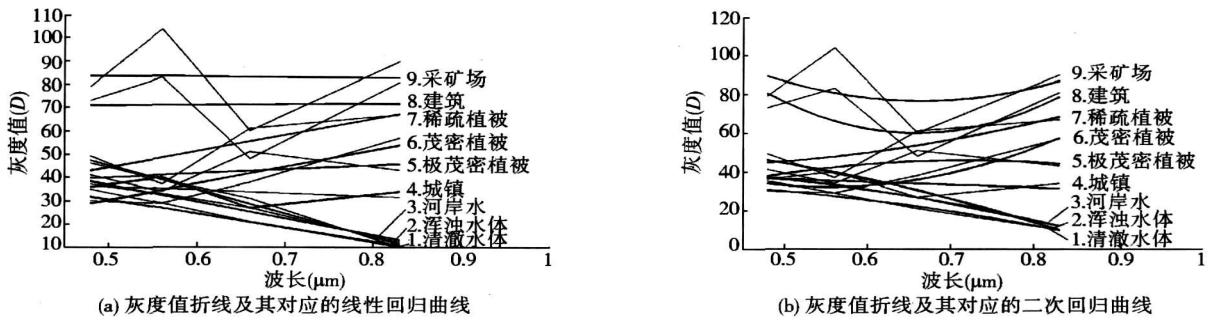


图 2 9 种典型地物的灰度值折线及其对应的回归曲线  
 Fig. 2 Broken lines of grey level values and regression curves of the nine ground features

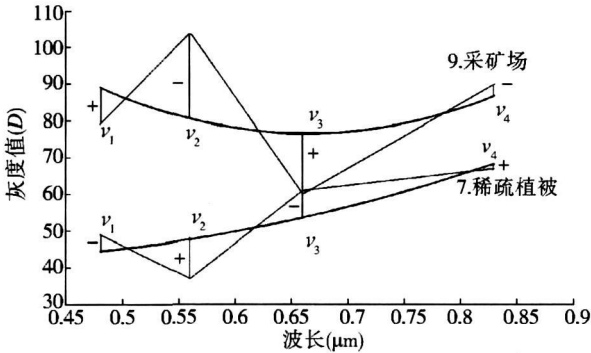


图 3 采矿场与稀疏植被的灰度值折线、对应的二次回归曲线及回归残差  
 Fig. 3 Broken lines, quadratic regression curves and regression residuals of the sparse vegetation and quarry

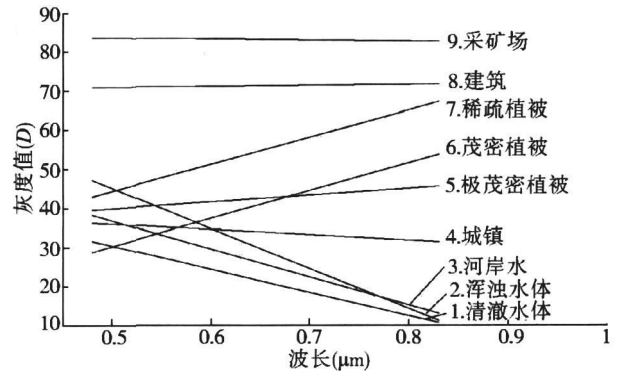


图 4 9 种典型地物的线性回归线  
 Fig. 4 Linear regression curves of nine ground features

此外, 回归残差绝对值的大小反映了辐射变化的速度。采矿场的  $v_1, v_2, v_3, v_4$  的绝对值比稀疏植被大, 因此该地物的灰度曲线从波段 B01 到 B04 的变化也就越快; 相应的, 稀疏植被的  $v_1, v_2, v_3, v_4$  绝对值相对较小, 因此其灰度曲线的变化略为缓慢。显然, 裸露的地表与植被的曲线变化完全相反, 并且回归残差的大小也能区分不同的地物。因此, 回归残差可用来代表反映地物波段辐射变化矢量  $V$ , 并且成为能够突出植被的重要指标。因此, 定义:

$$V = v_1 - v_2 + v_3 - v_4 \quad (14)$$

$$V = -0.57198636D_1 + 1.3346350D_2 - 0.94209524D_3 + 0.17944656D_4 \quad (15)$$

1.3.2  $L$  的定义及其计算公式 通过大量的试验发现, 当 B04 波段乘以 4 时, 在  $\lambda = 0.62 \mu\text{m}$  处对应二次回归曲线的值能够较好地反映地物总辐射水平  $L$ , 是最佳替代变量。因此, 得到:

$$L = D_{0.62} = a + 0.62b + 0.62^2c = -0.055235004D_1 + 0.43999311D_2 + 0.65020076D_3 - 0.13983465D_4 \quad (16)$$

1.3.3  $B$  的定义及其计算公式 从图 4 发现, 水体的斜率都是负值, 而植被的斜率为正值, 裸露地表的斜率则介于水体和植被之间。因此, 将斜率的相反数定义为可见光-近红外辐射平衡  $B$ 。这样, 清澈的水体将拥有最大的  $B$  值, 起到了突出水体的作用。

由公式 (13) 得:

$$B = -b = 2.233614D_1 + 1.061882D_2 - 0.402783D_3 - 2.892713D_4 \quad (17)$$

1.4 CBERS-02B 图像  $L, B, V$  的信息提取公式  
 通过以上分析, 得到关于中巴数据的  $L, B, V$  信息提取公式:

$$L_0 = -0.055235D_1 + 0.439993D_2 + 0.650201D_3 - 0.139835D_4 \quad (18)$$

$$B_0 = 2.233614D_1 + 1.061882D_2 - 0.402783D_3 - 2.892713D_4 \quad (19)$$

$$V_0 = 0.571986D_1 + 1.334635D_2 - 0.942095D_3 + 0.179447D_4 \quad (20)$$

其中, 用  $L_0, B_0, V_0$  取代  $L, B, V$  是为了表示这是初始的通用表达式, 对于任意一幅 CBERS-02B 图像, 运用该公式均能得到效果较好的 LBV 变换图像。对于某一特定的区域, 可根据该公式延伸出特定的  $L, B, V$  公式。

## 2 基于 CBERS-02B 图像的 LBV 数据变换试验

选择山东省海岸带地区的威海市作为试验区域。采用该地区 2009 年 7 月 23 日的中巴数据的 B01 ( $0.45 \sim 0.52 \mu\text{m}$ )、B02 ( $0.52 \sim 0.59 \mu\text{m}$ )、B03

(0.63~0.69 $\mu\text{m}$ ) 和 B04 (0.77~0.89 $\mu\text{m}$ ) 波段,并裁切一部分图像进行研究,该图像左上角的经纬度为 37°4'46"12"N、121°9'49"21"E,右下角的经纬度为 37°1'41.59"N、122°5'44.61"E。

## 2.1 试验结果分析

首先采用式(18)~式(20)对试验区的数据进行变换,得到  $V_0$ 、 $B_0$ 、 $L_0$  结果图像。一般如果用通用的  $V_0$ 、 $B_0$ 、 $L_0$  公式处理图像,得到的结果图像数据分布范围可能偏大或偏小,或者图像灰度的标准偏差偏大或偏小。因此,对于任何一个地区的图像,可以利用式(18)~式(20)使得到的变换图像的标准偏差为 25,平均灰度值为 128,并且具有匀称的数据分布,且其数据范围为 0~255。

为了使变换后的图像标准偏差  $s = 25$ ,平均值  $\mu = 128$ ,对初始变换图像进行统计分析。如:  $L_0$  图像的标准偏差为  $s = 18.0046$ ,令  $k = 25/18.004626 = 1.388532036$ ,使  $L_0$  与  $k$  相乘,得到公式:

$$L_1 = -0.0766959D_1 + 0.610944D_2 + 0.902825D_3 - 0.194165D_4$$

运用上述公式对 4 个波段的图像进行变换,得到  $L_1$  图像,此时该图像的标准偏差  $s_1 = 25.00$ 。该图像的平均值  $\mu_1 = 73.147536$ ,设常数  $A = 128.00 - 73.147536 = 54.852464$ ,令公式  $L_1$  加上该常数,得到最终的变换公式:

$$L = -0.0766956D_1 + 0.610944D_2 + 0.902825D_3 - 0.194165D_4 + 54.852464 \quad (21)$$

同理,得到针对中巴图像的最终  $B$ 、 $V$  的变换公式:

$$B = 0.386834D_1 + 0.183905D_2 - 0.0697569D_3 - 0.500981D_4 + 147.777473 \quad (22)$$

$$V = -1.0179070D_1 + 2.375118D_2 - 1.676553D_3 + 0.319344D_4 + 155.060198 \quad (23)$$

通过式(21)~式(23)对中巴数据的 B01、B02、B03、B04 4 个波段进行数据变换,得到最终  $L$ 、 $B$ 、 $V$  变换图像(图 5)。图 5a 中图像的灰度值反映了地物的总辐射水平  $L$ ,地物的反射能力越强,亮度越高。因此,雪、云及裸露的地表(包括建筑、城镇、道路)等在图像中的颜色很亮,而水体(包括湖泊、河流及含水较多的植被等)在图像中颜色则较暗。图 5b 反映了地物的可见光-近红外辐射平衡  $B$ ,图中水体的颜色很亮,且水体越清澈,在图像中的亮度越大;而植被的颜色很暗,且植被越浓密,在图像上的颜色越暗。图 5c 中灰度值反映了地物波段辐射变化矢量(方向和速度)  $V$ ,可以看出,植被在图像中颜色很亮,

且植被越浓密,颜色越亮。因此,茂密的植被在图像中的颜色最亮,而裸露的地表在图像中颜色较暗。

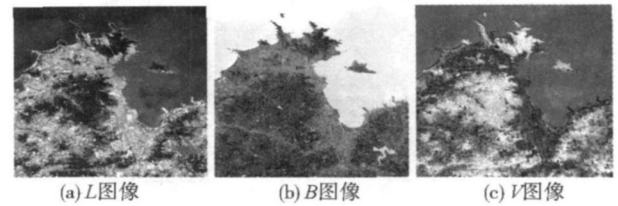


图 5 最终的 LBV 变换图像  
Fig. 5 The final LBV image

将  $L$ 、 $B$ 、 $V$  图像分别赋予红色、蓝色、绿色合成彩色图像(图 6a,见封 3),其中:绿色表示森林,红色表示裸露的地表(包括雪、城镇、沙地)等,蓝色代表水体(包括河流、湖泊等);中巴数据 B02、B03、B04 的 B 波段的假彩色合成数据如图 6b(见封 3)所示。由图 6 可以看出,与只包含 3 个波段光谱信息的假彩色图像相比,经过 LBV 数据变换方法变换后的彩色合成图像色彩更鲜艳,土壤、水体、植被的信息都得到了突出和增强,使得地物类别更易区分,更有利于中巴图像的目视解译和分类。

## 2.2 精度评价

为了能够客观评价变换后的 LBV 图像,利用最大似然法对变换后图像和原始假彩色图像进行分类(图 7,见封 3)。其中,绿色为森林,黄色代表城镇,巧克力色代表裸露的土壤,蓝色表示水体。假彩色图像分类后的总体分类精度为 76.56%,总体 kappa 系数为 0.6804。变换后的 LBV 图像总体分类精度为 89.06%,总体 kappa 系数为 0.8412。显然,经过 LBV 变换后的图像其分类精度明显优于未经变换的假彩色合成图像,使用 LBV 变换方法对中巴图像进行处理能够提高分类精度。

## 3 结论

本文首先通过对大量图像地物光谱特征分析,推导出了针对中巴 02B 卫星多光谱影像的 LBV 数据变换公式。通过具体的变换试验和对比分析表明,得到的 LBV 变换结果图像比原始中巴数据假彩色合成图像颜色更鲜艳、地物类别更易区分,具有更好的目视解译效果。利用最大似然法对变换前后两幅彩色合成图像进行监督分类试验,结果表明,与原始假彩色合成图像的分类结果相比,经过 LBV 数据变换后的结果图像的分类精度得到显著改善,说明应用本文提出的变换方法可以改善中巴 02B 卫星多光谱图像的计算机分类精度,该变换方法在今后的中巴 02B 卫星数据的处理应用中具有潜力。

## 参考文献:

- [1] ZENG Z Y. A new method of data transformation for satellite images: I. Methodology and transformation equations for TM images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(18): 4095–4124.
- [2] ZENG Z Y. A new method of data transformation for satellite images: II. Transformation equations for SPOT, NOAA, IKONOS, Quick Bird, ASTER, MSS and other images and application[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(18): 4125–4155.
- [3] 何宇华, 张荣慧, 韩毅, 等. CBERS-02CCD 数据在土地调查中关键技术应用研究[J]. 中国土地科学, 2007(2): 51–57.
- [4] CHAVEZ P S, KWARTENG A Y. Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principle component analysis [J]. Photogram. Eng. Remote Sens., 1989, 55(3): 339–348.
- [5] CHAVEZ P S, BOWELL J A. Comparison of the spectral information content of Landsat Thematic Mapper and SPOT for three different sites in the Phoenix, Arizona region [J]. Photogram. Eng. Remote Sens., 1988, 54(12): 1699–1708.
- [6] CARPER W J, LILLESAND T M, KIEFER R W. The use of Intensity-Hue-Saturation transform for merging SPOT panchromatic and multispectral image data [J]. Photogram. Eng. Remote Sens., 1990, 56(4): 459–467.
- [7] EDWARDS K, DAVIS P A. The use of Intensity-Hue-Saturation transformation for producing color shaded relief images [J]. Photogram. Eng. Remote Sens., 1994, 60(11): 1369–1374.
- [8] SCHETSELAAR E M. Fusion by the HIS transform: Should we use cylindrical or spherical coordinates? [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4): 759–765.
- [9] GILLESPIE A R, KAHLE A B, WALKER R E. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4): 743–757.
- [10] ZHOU J, CIVCO D L, SILANDER J A. A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4): 743–757.

### Research on New LBV Data Transformation Method for CBERS-02B Multi-spectral Images

ZHANG Cheng-wen<sup>1,2</sup>, TANG Jia-kui<sup>1,2</sup>, MI Su-juan<sup>1,2</sup>, HU Yin-cui<sup>3</sup>,

WANG Chun-lei<sup>1,2</sup>, YU Xin-ju<sup>1,2</sup>, LI Yong-zhi<sup>1,2</sup>, ZHAO Li-jun<sup>1,2</sup>, WANG Hou-mao<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes, CAS; Shandong Provincial Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes; Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China)

**Abstract:** LBV is a new data transformation method which is recently proposed for remote sensing data transformation processing, however, it is can't be directly used to CBERS-02B multi-spectral data since there are relative transformation equations data until now. Based on detailed ground spectral features studies of multi-spectral images from CBERS-02B, new LBV data transformation equations for CBERS-02B multi-spectral image were specially proposed. These new LBV transformation equations made it possible to use the LBV transformation method on the domestic satellites and provided a new method to process CBERS-02B multi-spectral data. Moreover, image transformation and classification experiments were carried out, which results showed that the LBV transformed result images were more vivid and the features of them were more easily to be classified compared with the original false color composite images. Finally, in order to evaluate the performance of this proposed transform method, the maximum likelihood supervised classification method was used to the LBV transformed result images and the original false color composite images, which results demonstrated that the accuracy of the LBV transformed image was obviously better than that of the original false color composite images, which showed that the proposed LBV transform method has good potential for CBERS-02B multi-spectral images processing in the future applications.

**Key words:** CBERS-02B; LBV transformation; image classification; multi-spectral image

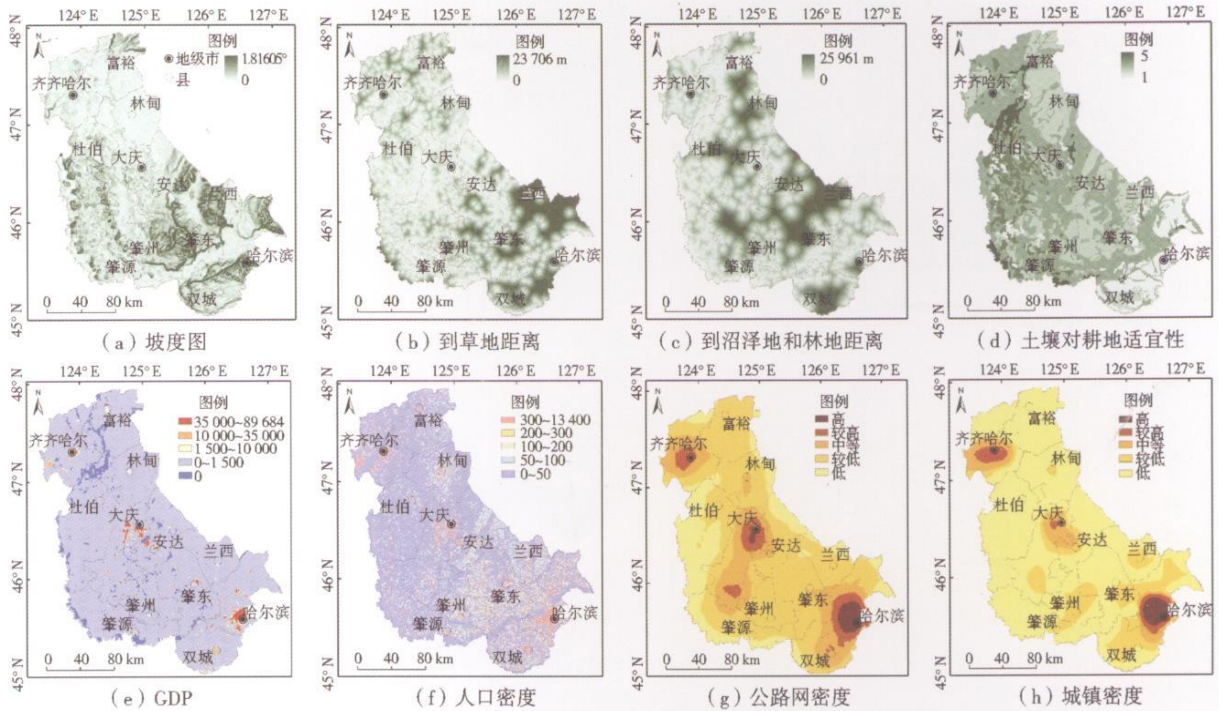


图 1 驱动因子分布  
 Fig. 1 Distribution maps of driving forces

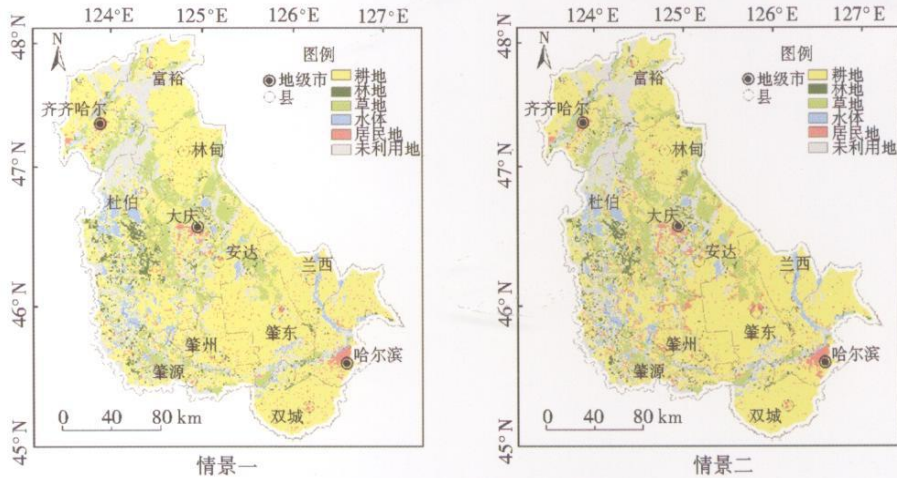


图 2 2020 年土地利用分布预测结果  
 Fig. 2 Simulated results of land use distribution in 2020

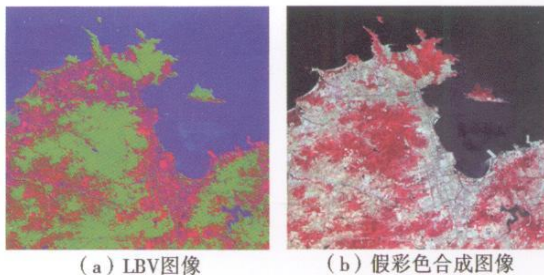


图 6 中巴图像变换后的 LBV 图像及假彩色合成图像  
 Fig. 6 The composite LBV image transformed from original B01, B02, B03 and B04 images and the false color composite image of the B02, B03 and B04 images

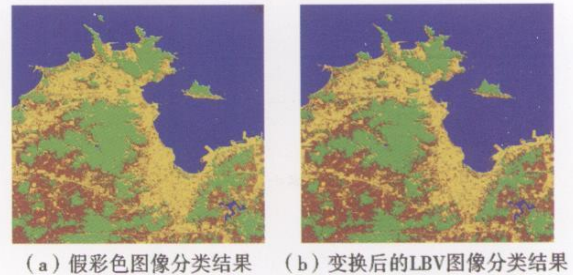


图 7 中巴假彩色图像分类与 LBV 图像分类结果比较  
 Fig. 7 The classification result comparison of false color composite image and transformed LBV image