

DOI: 10.13203/j.whugis20120642

文章编号: 1671-8860(2014)04-0401-05

# 一种面向像斑的高分辨率遥感影像相对辐射校正方法

李亮<sup>1</sup> 舒宁<sup>1</sup> 龚龑<sup>1</sup> 王凯<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉, 430079

**摘要:** 在认为不同类别地物的光谱响应值在不同时期具有不同的线性关系的基础上, 提出了一种基于像斑的高分辨率遥感影像相对辐射校正方法。首先以相关系数为基础将像斑划分为变化像斑和未变化像斑两大类, 再对未变化像斑利用随机数据一致性算法解求增益和偏移参数, 对于变化像斑则将与其最相似的未变化像斑的增益和偏移参数作为该像斑的校正参数, 最后利用各像斑的校正参数进行线性校正。在高分辨率遥感影像上的实验结果验证了本文方法的有效性。

**关键词:** 相对辐射校正; 像斑; 相关系数; RANSAC 算法; 高分辨率遥感影像

中图法分类号:P231.5

文献标志码:A

变化检测是依据不同时间的观测数据确定地物或自然现象状态变化的过程<sup>[1]</sup>。遥感影像以其覆盖面积大、获取周期短的优势, 被广泛应用于变化检测。利用遥感影像进行变化检测已广泛应用于全球变化、土地利用变化<sup>[2-3]</sup>、城市扩张等领域中。遥感影像获取时受太阳高度角、光照强度等因素的影响, 导致不同时期遥感影像上同一地物的光谱响应值相差较大。相对辐射校正方法可以较好地消除不同时期遥感影像上未变化地物的辐射亮度差异。常用方法可分为两大类: 线性方法和非线性方法<sup>[4-6]</sup>。

文献[7]提出了一种基于直方图匹配的相对辐射校正方法。文献[8]利用主成分分析和回归分析方法自动提取伪不变特征法中的特征点。文献[9]提出了一种基于小波变换的遥感影像相对辐射校正方法。文献[10]在相对辐射校正中考虑了瑞利散射的影响。上述方法在中低分辨率的遥感影像处理中均取得了较好的效果, 但在处理高分辨率遥感影像时存在不足。线性的相对辐射校正方法基于以下假设条件: 不同时期的遥感影像之间存在着线性关系, 且不同类别地物的光谱响应值之间存在着相同的线性关系, 因此待校正影像中所有类别像元均采用相同的参数进行校正。该假设在高分辨率遥感影像中较难成立。因为不

同的地物类别受太阳高度角、光照强度等因素的影响是不同的。高分辨率遥感影像包含丰富的地物细节信息, 同物异谱和同谱异物的现象更为严重, 不同时期的高分辨率遥感影像整体上并不满足线性关系。

本研究中, 在理论上认为同一类别地物的光谱响应值在不同时期具有线性关系, 不同类别的地物在不同时期对应的线性关系是不同的<sup>[11]</sup>。依照此理论, 提出一种基于像斑的相对辐射校正方法。

## 1 面向像斑的高分辨率遥感影像相对辐射校正方法

### 1.1 算法流程

本文方法以像斑为单位进行相对辐射校正。首先将 GIS 数据和遥感影像套合获取像斑, 然后计算各像斑在两个时期的相关系数, 设定一定阈值将像斑划分为变化和未变化两大类。对于未变化像斑, 利用 RANSAC 算法计算各像斑对应的增益和偏移参数; 对于变化像斑, 则在未变化像斑中寻找与其最相似的像斑, 并将相似像斑的增益和偏移参数作为该像斑的校正参数, 最后对各像斑利用对应的参数进行线性校正。

收稿日期: 2013-03-10

项目来源: 国家自然科学基金资助项目(41101412); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(3101009, 20102130201000139, CHD2011JC011)。

第一作者: 李亮, 博士生, 主要从事遥感影像的智能化解译理论与方法研究。E-mail: liliang1987wuda@163.com

## 1.2 像斑变化判别

不同时期遥感影像上辐射亮度差异的来源有两种:变化地物和未变化地物。相对辐射校正方法是为了消除未变化地物产生的辐射亮度差异。变化地物在两个时期的地物类别发生了改变,无法直接利用两个时期的像斑求解校正参数。因此相对辐射校正前需要对像斑进行变化和未变化判别,然后优先对未变化像斑进行校正,再对变化像斑进行校正。

不同时期末变化地物受太阳高度角、光照强度等因素的影响造成光谱响应值近似满足线性关系,而变化地物由于人为因素的不确定性,不同时期的光谱响应值不满足近似的线性关系,因此可以通过度量不同时期像斑之间的线性关系来判断像斑是否发生变化。相关系数可以较好地度量两个变量之间的线性相关关系。不同时期,未变化地物的光谱响应值之间相关系数绝对值较大,变化地物的光谱响应值之间相关系数绝对值较小。

令参与相对辐射校正的两个时期分别为 $t_1$ 和 $t_2$ ,影像的波段数为 $B$ ,像斑在波段 $j$ ( $1 \leq j \leq B$ )上的相关系数计算公式如式(1):

$$\rho_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} (x_{ki}^j - \bar{x}_k^j)(y_{ki}^j - \bar{y}_k^j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} (x_{ki}^j - \bar{x}_k^j)^2 \sum_{i=1}^{n_k} (y_{ki}^j - \bar{y}_k^j)^2}} \quad (1)$$

式中, $\rho_k^j$ 表示波段 $j$ 上第 $k$ 个像斑的相关系数; $n_k$ 表示第 $k$ 个像斑包含的像元总数; $\bar{x}_k^j$ 、 $x_{ki}^j$ 表示 $t_1$ 时期波段 $j$ 上第 $k$ 个像斑的亮度均值及其第 $i$ 个像元的亮度值; $\bar{y}_k^j$ 、 $y_{ki}^j$ 分别表示 $t_2$ 时期波段 $j$ 上第 $k$ 个像斑的亮度均值及其第 $i$ 个像元的亮度值。

对于多光谱影像,可以采用各波段对应相关系数的平均值作为像斑在两个时期的相关系数 $\rho_k$ ,计算公式如下:

$$\rho_k = \sum_{j=1}^B \rho_k^j / B \quad (2)$$

式中,| $\rho_k$ |位于[0,1]区间内,可以用来衡量像斑在不同时期的变化程度。 $|\rho_k|$ 越小,变化程度越大,反之则变化程度越小。当| $\rho_k$ |小于阈值 $T$ 时,像斑发生变化,否则未发生变化。

相关系数法是一种较粗糙的变化检测方法,仅考虑了像斑亮度值在不同时期的线性关系,变化检测的精度有限,然而相关系数法公式简单,计算效率高。兼顾精度和效率,在预处理阶段用该方法来进行变化判别。

## 1.3 未变化像斑校正

假设不同时期同一类别地物光谱响应值之间存在着线性关系,因此波段 $j$ 上未变化像斑中像元亮度值在不同时期满足以下线性等式:

$$y_k^j = a_k^j \times x_k^j + b_k^j \quad (3)$$

式中, $x_k^j$ 、 $y_k^j$ 分别表示 $t_1$ 和 $t_2$ 时期波段 $j$ 上第 $k$ 个未变化像斑中像元的亮度值; $a_k^j$ 、 $b_k^j$ 表示波段 $j$ 上对应线性关系中的增益和偏移参数。线性校正的关键在于增益和偏移参数的确定。高分辨率遥感影像在丰富地物细节信息的同时,也包含了大量的噪声,这些因素导致像斑内部也具有一定异质性。将像斑内部所有像元亮度值作为观测值,利用最小二乘方法来求解增益和偏移参数,求解出的参数精度较低。

RANSAC 算法是由 Fischler 和 Bolles 提出的一种鲁棒性较好的参数估计方法<sup>[12]</sup>。该算法在数据错误率较高的情况下仍能获得较为准确的参数估计值。RANSAC 算法将所有观测值分为内点和外点。内点为在正常范围内、满足模型的观测值。外点为偏离正常范围、不满足模型的观测值。与传统回归分析方法的区别在于:前者仅利用内点来估计参数值,而后者利用全部数据来估计参数值。利用 RANSAC 算法求解式(3)的方法如下:①从该像斑中随机抽取两个像元,利用两个像元在不同时期的亮度值求取初始直线。②设置一定阈值 $\lambda$ ,对该像斑中所有的剩余像元进行类别划分:到初始直线距离小于 $\lambda$ 的像元判别为内点,否则判别为外点。记录下像斑中内点的总数。③重复上述两步,直到达到一定迭代次数。④在上述若干次抽样中,找出包含内点数目最多的模型,将该模型中所有内点作为观测值利用最小二乘法解算出增益和偏移参数。

利用模型中所有内点求解参数 $a_k^j$ 和 $b_k^j$ ,可以有效地避免影像中噪声的影响。依据最小二乘方法原理可得 $a_k^j$ 和 $b_k^j$ 的计算公式如下:

$$a_k^j = \frac{\sum_{i=1}^{n_k(j)} (x_{ki}(j) - \bar{x}_k(j))(y_{ki}(j) - \bar{y}_k(j))}{\sum_{i=1}^{n_k(j)} (x_{ki}(j) - \bar{x}_k(j))^2} \quad (4)$$

$$b_k^j = \bar{y}_k(j) - a_k^j \times \bar{x}_k(j) \quad (5)$$

式中, $n_k(j)$ 表示波段 $j$ 上第 $k$ 个未变化像斑包含的内点总数; $\bar{x}_k(j)$ 、 $x_{ki}(j)$ 分别表示 $t_1$ 时期波段 $j$ 上第 $k$ 个未变化像斑中所有内点的亮度均值及其第 $i$ 个内点的亮度值; $\bar{y}_k(j)$ 、 $y_{ki}(j)$ 分别表示 $t_2$ 时期波段 $j$ 上第 $k$ 个未变化像斑中所有内点的亮度均值及其第 $i$ 个内点的亮度值。

像斑在不同波段上对应的增益和偏移参数是不同的。因此对于多光谱影像应按波段进行校正,然后组合成校正后的影像。

#### 1.4 变化像斑校正

变化像斑的辐射亮度差异来源于两大部分:地物类别改变和太阳高度角、光照强度等因素不同。对变化像斑进行相对辐射校正,需要保留前者带来的差异,同时减弱或消除后者带来的差异。由于地物类别发生了改变,因此无法直接利用两个时期像斑中所有像元来求解增益和偏移参数。

对于变化像斑,在参考影像的未变化像斑中寻找与其最相似的像斑,然后将最相似像斑的增益和偏移参数作为该像斑的校正参数。令变化像斑、未变化像斑在参考影像上对应的特征向量分别为  $\mathbf{G}_C = (G_C^1, G_C^2, \dots, G_C^B)^T$ ,  $\mathbf{G}_N = (G_N^1, G_N^2, \dots, G_N^B)^T$ , 其中  $B$  为影像波段数,  $G_C^j, G_N^j (j=1, 2, \dots, B)$  分别表示变化像斑和未变化像斑在参考影像第  $j$  个波段上的亮度均值。则两个像斑之间的相似性测度  $S$  表示如下:

$$S = \sqrt{\frac{1}{B} \sum_{j=1}^B (G_C^j - G_N^j)^2} \quad (6)$$

$S$  值越小,表明两个像斑越相似。两个像斑越相似,则在不同时期由于太阳高度角、光照强度等因素所造成的影响也相似。因此可以将最相似未变化像斑的增益和偏移参数作为变化像斑对应的增益和偏移参数。

## 2 实验及分析

实验影像数据采用 2002 年 3 月和 2005 年 7 月武汉地区的 QuickBird 影像,包含蓝、绿、红、近红外 4 个波段,经过重采样后,影像分辨率为 2 m。GIS 数据是武汉地区 2002 年的土地利用矢量图,包含像斑 533 个,地物类别 11 种。两个时期遥感影像上相同地物在光谱上存在着较大的差异,尤其是水体的前后差异较大。武汉自 2002 年以来城市化建设发展迅速,大量的湖泊和农田被改建为居民地。图 1(a)、1(b) 分别为 2002 年和 2005 年红、绿、蓝三个波段合成的真彩色影像,图 1(c) 为 2002 年武汉地区的土地利用矢量图。

实验一 实验选取 2002 年影像为参考影像,2005 年影像为待校正影像。图 2(a)~2(c) 分别为采用直方图匹配、图像回归及本文方法获取的 2005 年影像校正后结果。本文方法中相关系数阈值设定为 0.17。从图 2 中可以看出,直方图匹配法的校正效果不明显,图像回归法使得整幅影像

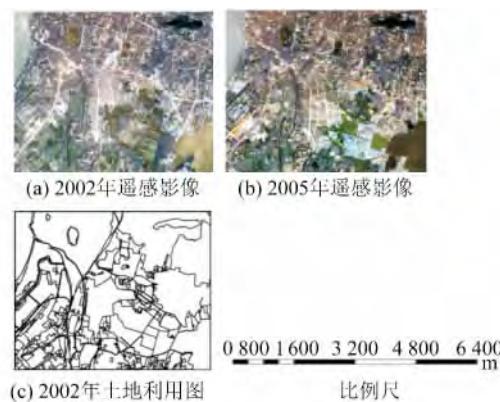


图 1 实验数据

Fig. 1 Data for Relative Radiometric Normalization

变暗,本文方法的校正效果最佳,右下角的南湖和左上角的长江都得到了较好校正,校正后亮度值和 2002 年影像上对应区域较为接近。为了进一步衡量相对辐射校正结果的好坏,利用均方根误差(Root-mean-square Error, RMSE)来描述参考影像和校正后影像之间的差异, RMSE 计算见式(7):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y'_i)^2} \quad (7)$$

式中,  $N$  为影像中包含像元的总数;  $y_i, y'_i$  分别为参考影像和校正后影像第  $i$  个像元的亮度值。RMSE 能在一定程度上衡量校正后影像和参考影像之间的接近程度, RMSE 值越小, 表明校正的效果越好。表 1 比较了不同方法得到的 RMSE 值。

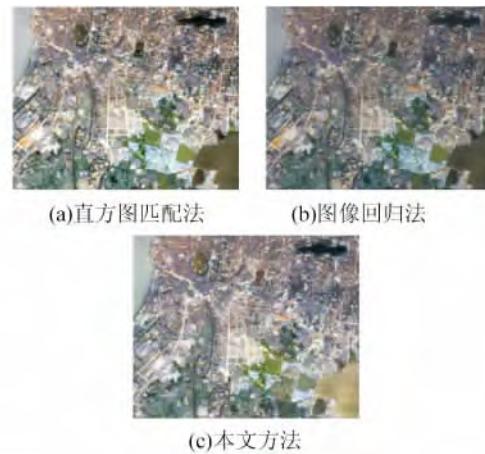


图 2 校正后 2005 年影像

Fig. 2 Images After Correction in 2005

从表 1 中可以看出,直方图匹配和图像回归法对应的均方根误差均较大。分析原因如下:  
① 高分辨率遥感影像中噪声较多,利用整幅影像进行线性或者非线性校正会导致参数解求结果存在较大偏差,从而导致 RMSE 较大。  
② 影像线性校正方法假定前提为不同时期不同类别地物具

有相同的增益和偏移参数,该前提在高分辨率遥感影像中较难成立。本方法以像斑为单位采用RANSAC算法进行辐射校正,有效地克服了上述两点不足,RMSE有所降低。

表1 不同方法的均方根误差

Tab. 1 RMSE of Different Methods

原始数据	直方图匹配法	图像回归法	本文方法
蓝波段	66.42	66.13	65.23
绿波段	67.67	66.75	65.70
红波段	68.39	67.40	65.54
近红外	69.23	69.23	68.03
平均值	67.93	67.38	66.12
			60.44

为了进一步验证本文方法的有效性,以2002年参考影像中各像斑的灰度均值为横坐标,分别以校正前后2005年影像中各像斑的灰度均值为纵坐标,绘制散点图如图3所示。从图3中可以看出,校正后的点较多集中分布在拟合直线的两边,且距离直线较近,而校正前的点大部分距离拟合直线较远,分布较为分散。

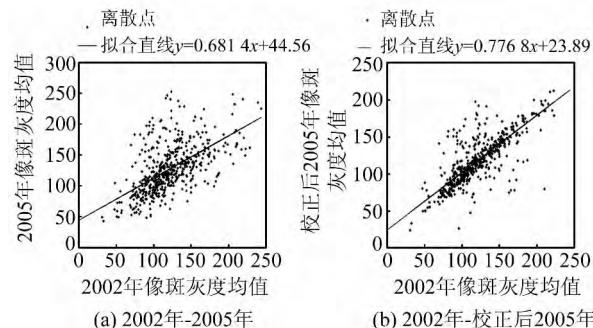


图3 像斑灰度均值关系

Fig. 3 Relationship of the Average Gray Values of Image Objects

实验二 为了比较不同类别地物对应的线性关系,选取了5类典型地物:森林、南湖、长江、居民地、农田,来进行线性关系的比较,比较结果如表2所示。从表2中可以看出,不同类别地物具

表2 不同类别地物对应的增益和偏移参数

Tab. 2 Gain and Offset Parameters of Different Objects

	蓝波段		绿波段		蓝波段		近红外	
	a	b	a	b	a	b	a	b
森林	0.74	-4.42	0.87	-2.44	0.88	-2	0.88	0.59
南湖	1.87	0.77	1.89	0.72	1.86	0.68	2.11	5.98
长江	0.96	0.1	0.97	0.12	0.9	0.1	0.75	0.04
居民地	0.96	4.04	0.96	4.65	0.99	4.47	0.96	5.22
农田	1.23	5.56	1.11	4.51	0.98	5.05	0.98	4.85
整幅影像	0.75	5.22	0.74	6.38	0.72	8.77	0.72	6.68

注:a和b表示线性关系中对应的增益和偏移参数。

有不同的增益和偏移参数,即对应着不同的线性关系。居民地和农田的线性关系较为接近,森林的偏移参数为负值,其他地物的偏移参数均为正值。对整幅影像进行回归分析得到的增益和偏移参数同各个类别对应的增益和偏移参数相差都较大,这表明将所有的地物类别均对应同一个线性关系是不准确的。

### 3 结语

利用高分辨率遥感影像进行动态变化检测,需要消除由非地物变化因素带来的光谱差异,相对辐射校正法可以较好地实现这一目的。本文对相对辐射校正方法进行了研究,提出了基于像斑的相对辐射校正方法,通过实验分析得出以下结论:

1) 不同类别地物的光谱响应值在不同时期遥感影像上存在着不同的线性关系。地物类别不同,受太阳高度角、光照强度等因素的影响也不同,因此对应的线性关系也不同。

2) 基于像斑的相对辐射校正方法优于传统方法。以像斑为单位进行相对辐射校正,各像斑均对应一组校正参数,利用该参数逐像斑地进行校正,各像斑均能取得较好的校正效果,从而提高整体校正效果。传统方法基于整幅影像进行校正,局部区域的校正效果较差。

### 参 考 文 献

- [1] Singh A. Review Article Digital Change Detection Techniques Using Remotely-sensed Data[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10(6): 989-1 003
- [2] Zhang Xiaodong, Li Deren, Gong Jianya, et al. A Change Detection Method of Integrating Remote Sensing and GIS[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(3): 266-269(张晓东,李德仁,龚健雅,等.遥感影像与GIS分析相结合的变化检测方法[J].武汉大学学报·信息科学版,2006,31(3):266-269)
- [3] Jiang Liming, Liao Mingsheng, Zhang Lu. Change Detection in Multitemporal SAR Images Using MRF Models[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2006, 31(4): 312-315(江利明,廖明生,张路.顾及空间邻域关系的多时相SAR影像变化检测[J].武汉大学学报·信息科学版,2006,31(4):312-315)
- [4] Yang X J, Lo C P. Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection From Multidate Satellite Images[J]. *Photogrammetric Engi-*

- neering & Remote Sensing, 2000, 66 (8): 967-980
- [5] Schott J R, Salvaggio C, Volchok W J. Radiometric Scene Normalization Using Pseudo-invariant Features[J]. *Remote Sensing Environment*, 1988, 26: 1-16
- [6] Yuan D, Elvidge C D. Comparison of Radiometric Normalization Techniques [J]. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 1996, 51: 117-126
- [7] Pan Zhiqiang, Gu Xingfa, Liu Guodong, et al. Relative Radiometric Correction of CBERS-01 CCD Data Based on Detector Histogram Matching[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(10): 925-927(潘志强,顾行发,刘国栋,等. 基于探测元直方图匹配的CBERS-01星CCD数据相对辐射校正方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(10): 925-927)
- [8] Zhang Youshui, Feng Xuezhi, Zhou Chenghu. Relative Radiometric Correction for Multitemporal TM Images[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2006, 35(2): 122-127(张友水,冯学智,周成虎. 多时相TM影像相对辐射校正研究[J]. 测绘学报, 2006, 35 (2): 122-127)
- [9] Zhang Pengqiang, Yu Xuchu, Liu Zhi, et al. A Study on Relative Radiometric Correction of Multi-temporal Remote Sensing Images[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 339-344(张鹏强,余旭初,刘智,等. 多时相遥感图像相对辐射校正[J]. 遥感学报, 2006, 10 (3): 339-344)
- [10] Song Conghe, Woodcock C E, Seto K C, et al. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effect[J]. *Remote Sensing Environment*, 2001, 75 (2): 230-244
- [11] Wang Yan, Shu Ning, Gong Yan, et al. Land Use Change Detection Based on Class Spectral Change Rule[J]. *Remote Sensing for Land& Resources*, 2012, 3: 92-96(王琰,舒宁,龚龑,等. 基于类别光谱变化规律的土地利用变化检测[J]. 国土资源遥感, 2012, 3: 92-96)
- [12] Fischler M A, Bolles R C. Random Sample Consensus: a Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography[J]. *Communications ACM*, 1981, 24 (6): 381-395

## An Object-oriented Relative Radiometric Normalization Method Using High Resolution Remote Sensing Images

LI Liang<sup>1</sup> SHU Ning<sup>1</sup> GONG Yan<sup>1</sup> WANG Kai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** The assumption that the spectral responses of different types of objects in different periods have the same linear relationship in traditional relative radiometric normalization is insufficient for the analysis of high resolution remote sensing images. Object-oriented relative radiometric normalization for high resolution remote sensing image change detection is proposed in the paper based on the assumption that the spectral responses of different types of objects in different periods have different linear relationships. Firstly, image objects are divided into two categories: changed and unchanged by correlation coefficients. Secondly, gains and offset parameters are calculated by an analysis of a random sampling consensus based on unchanged image objects. Thirdly, gains and offset parameters of the unchanged image objects which are most similar with the changed image objects are assigned to the changed image objects. Lastly, the image objects are corrected using gain and offset parameters. Experiments on high resolution remote sensing images verify the effectiveness of the proposed method.

**Key words:** relative radiometric normalization; object; correlation coefficient; random sampling consensus

**First author:** LI Liang, PhD candidate, specializes in remote sensing image intelligent interpretation. E-mail: liliang1987wuda@163.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, No. 41101412; the Fundamental Research Funds for the Central Universities, Nos. 3101009, 20102130201000139, CHD2011JC011.