

基于不变像素的遥感数字图像标准化

王宇明,李崇伟,毛健,胡森

(天津师范大学城市与环境科学学院,天津 300384)

摘要:遥感数字图像直方图的标准化常用于不同时相相邻遥感图像的拼接和进行土地利用变化监测的预处理,还可以消除不同成像条件对图像分析的影响,部分纠正由于太阳/传感器位置或大气影响造成的相邻图像的辐射误差,从而达到相同成像条件的效果。由于常用的基于数值统计学的直方图的标准化的方法不能达到理想效果,该文提出了基于无变化像素进行图像标准化的方法,通过多光谱图像差异直方图及每一波段黑灰白像素的相关系数计算,自动选择无变化像素,进而进行直方图的标准化的方法。将该方法应用于 2 期 TM 图像遥感数据,明显减小了成像条件差异,提高了数字图像标准化的有效性。

关键词:不变像素;遥感;数字图像;直方图的标准化的方法

中图分类号:TP75 文献标识码:A 文章编号:1672-0504(2011)01-0021-04

0 引言

遥感图像上可解译出城市在不同时期的动态变化和迅速扩张,不同时相相同地区的遥感图像为土地利用动态变化监测提供了便捷条件。近年来,国内外学者将遥感探测技术用于城市扩张分析和土地变化监测等方面^[1-7],由于自然条件对环境的影响,如太阳辐射、太阳高度角和太阳方位角的变化、大气影响、不同传感器的辐射性能等因素对图像特征的影响,使土地变化监测分析产生了不容忽视的误差。为了减小相同地区不同时相遥感影像的差异,首先要对遥感数字图像进行辐射校正,尤其是直方图的标准化的方法,实质上就是减小同区不同成像条件影像的差异,标准化的方法是将一幅影像作为参考图像,调整另一幅目标影像的辐射特性,使二者互相匹配。常用灰度直方图匹配方法解决辐射标准化的问题^[8],但灰度直方图标准化的技术是以简单的数值统计为基础,它掩盖了不同时相影像之间的真实土地变化情况,由于变换实际上是基于整个图像的统计,当影像差异仅代表少量的像素时,其效果很不理想。

当传感器响应与地物反射/辐射能量呈线性关系时,同区不同时相遥感图像中反射率相同的像素值之间在各波段呈线性关系,因而图像的标准化的方法可以简化为计算每个波段的线性变换系数^[2],其最有效的方法就是确定不同时相的图像中反射率是常数的亮目标和暗目标。不同时相图像中亮目

标和暗目标样本的像素值为求解线性方程提供了基本点,由于样本数量较少,将产生较大的标准化的误差。

本文利用回归分析法,通过多光谱图像差异直方图及每一波段黑灰白像素的相关系数的计算,自动选择无变化像素,解决了样本数量少的问题,实现了比较理想的图像标准化的效果。该方法是基于解译者能够在图像上分辨出像道路、屋顶等人造地物表面,这些表面的反射率几乎不变,实质上是利用明暗目标不变反射率概念的方法,减小同区不同成像条件影像的差异性。

1 基于不变像素的遥感数字图像标准化的方法

1.1 基本思想及特点

假定图像 1 和图像 2 平均反射值相同,通过采集较多的样本数量,利用最小二乘法可以减少反射率发生变化的像素所引起的误差。实际上是利用基于标准化的回归法(即波谱变化检测技术)把像素分成黑、灰、白类别,提取不变像素,并对每个类别分别计算回归系数。利用多波段图像数据选择不变的像素,并考虑不同的大气条件对不同波段的影响,然后将每个波段分为黑、灰、白 3 个类别,并且将计算的回归系数应用到每个波段的相应类别中。根据明暗目标反射率不变的基本思想,通过采集较大的样本量(像回归方法)降低误差。该方法具有如下特点:可精确选择不变像素;充足的样本数

收稿日期:2009-10-30; 修订日期:2010-03-30

基金项目:国家自然科学基金项目(30970505)

作者简介:王宇明(1959-),男,硕士,高级工程师,从事矿床地质、遥感、测量学、GPS 理论与应用的研究与教学。E-mail:yuming5025@163.com

量保障了回归系数计算的可靠性;克服了解译者知识的局限;消除了不同大气条件对不同波段的辐射特征的影响。

1.2 不变像素的自动选取

参照不同图像的多波段直方图,采用阈值定义法提取不变像素。一种土地类型的变化也许能引起一个波段像素值的明显变化,而另一个波段的变化则不明显。因此,多波段差异图像直方图的形态反映了不同时相图像的变化情况。可将多波段差异图像直方图分成 3 部分(图 1):第 I 部分代表土地变化像素集中区,这部分像素数量非常少。显著的土地类型变化使像素值产生较大的正或负的变化,这些像素聚集在差异图像直方图的两端,考虑到受不同成像条件影响产生变化的像素也可能出现在这部分区域,但是比起真正的土地类型变化这种影响微不足道。第 II 部分代表受不同成像条件影响而变化的像素。如果成像条件相同,不变像素将集中在直方图 0 值位置;如果成像条件不同,它们可能位移到非 0 值位置。事实上,不同的成像条件对像素值的影响远远小于真正土地类型变化的影响,因此,不变像素实际上应该聚集在 0 值位置附近。第 III 部分代表那些对土地类型变化不明显或对大的变化不敏感波段的像素。这些像素也受到不同成像条件的影响,但其受土地类型变化的影响更大。多数情况下,区域上 1~5 a 期间真正土地类型变化的数量一般不到整个区域的 10%^[7]。因此,在直方图中,明显的土地类型变化的频数往往小于那些不明显的土地类型变化的频数。另外,如果假定同等变化的像素的频数在差异图像直方图上对称分布,那么差异图像直方图就具有高斯分布形态。

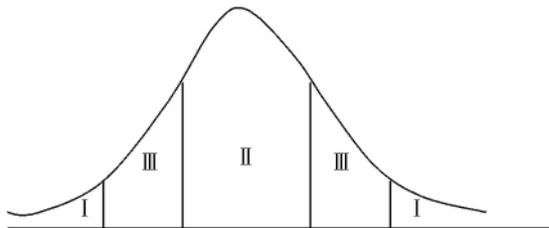


图 1 差异图像直方图分区
Fig. 1 Partitioning of difference image histogram

如果图像上的变化很大,由于不变像素的减少和变化像素的增加,在图 1 中的高斯曲线将趋于平缓。土地类型变化小的不变像素将集中在直方图峰值的周围,因为不同目标同等大小的变化像素具有不相等的频数,聚集的中心不一定在直方图的均值位置,此类不明显的错误匹配常被忽略,为了达到更

高的匹配精度,采用绝对图像差异直方图提取不变像素。通过使用绝对图像差异直方图,并考虑在不同方向上相同大小图像像素的不等频率出现,因此,带有同等正、负频率的像素集聚在直方图的相同位置。如果差异图像在 $[0, \sigma]$ 区间具有正态分布,则绝对差异图像就有 $[0, 2\sigma^2]$ 之间的正态分布^[2]。差异图像在平均值 μ 和变量 σ^2 之间具有正态分布,所有像素值减去 μ ,即得到平均值为 0 的图像。运用绝对函数可获得在平均值 0 和变量 $2\sigma^2$ 之间的图像。在此类直方图中,变化的像素聚集在一边,不变像素聚集在另一边。通过指定 $[0, k\sigma]$ 区间提取各波段的不变像素。在此区间中, k 是回归过程中具有足够像素数的自动定义的系数(注意在定义 k 时,较小的 k 系数有可能获得较大的可信度)。尽管如此,由于参与标准化过程中的像素在所有波段中应该是不变的,在每个波段的不变像素被选择后,用约束条件 k 不仅可以进行不变像素的精确选择,而且也避免了把变化像素当成不变像素的错误。

1.3 光谱分类

将上述选出的不变像素根据灰度值分成 3 类。首先,将每个波段的像素值扩展到 $[0, 255]$,并按照 $[0, 85]$ 为黑、 $[86, 170]$ 为灰、 $[171, 255]$ 为白的像素进行分类,保证每类像素的数量需求;在灰度分类中使用同样的评价标准,对每个波段进行黑、灰、白分类。然后分别计算每个波段的回归系数,将灰度分类中获得的相关系数分别运用到每一类别中。

2 实例分析

研究区为天津市静海县及其周围的农业区,选用 24/11/1988 的 Landsat-4 TM 和 11/11/1998 的 Landsat-5 TM 两幅图像数据进行标准化。对其中一幅图像进行 GPS 采集地面控制点的几何精校正,以该图像为参考,对另一幅图像进行亚像素级精度的几何校正。图 2 是该区两幅 Landsat TM 图像,假彩色合成波段为 5、3、2。

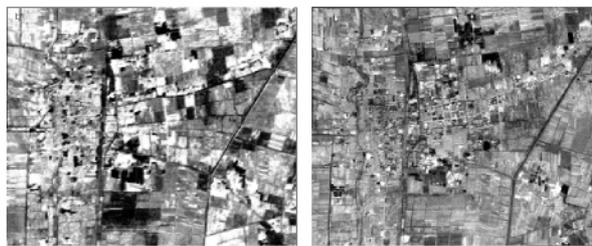


图 2 天津静海区相隔 10 年的两幅 Landsat TM 影像
Fig. 2 TM images of Jinghai area in Tianjin with 10-year interval time
首先,运用减运算得到每个波段的差异波段图

像,建立差异波段直方图(图 3),所有直方图都呈高斯正态分布。然后,计算每个波段差异图像的均值并减去相应差异图像,对差异图像取绝对函数,得到绝对差异直方图(图 4)。在 $[0, k\sigma]$ 像素值之间选择像素(σ 为各差异图像的标准差, k 为常数), k 值由满

足像素数量的回归方程自动确定,在近红外波段为 0.2,可见光波段为 0.3(因为在可见光波段的大气衰减比近红外波段更大)。注意在所有被选择的波段中提取每一波段的不变像素时,这些像素值不变且保证足够的数量。

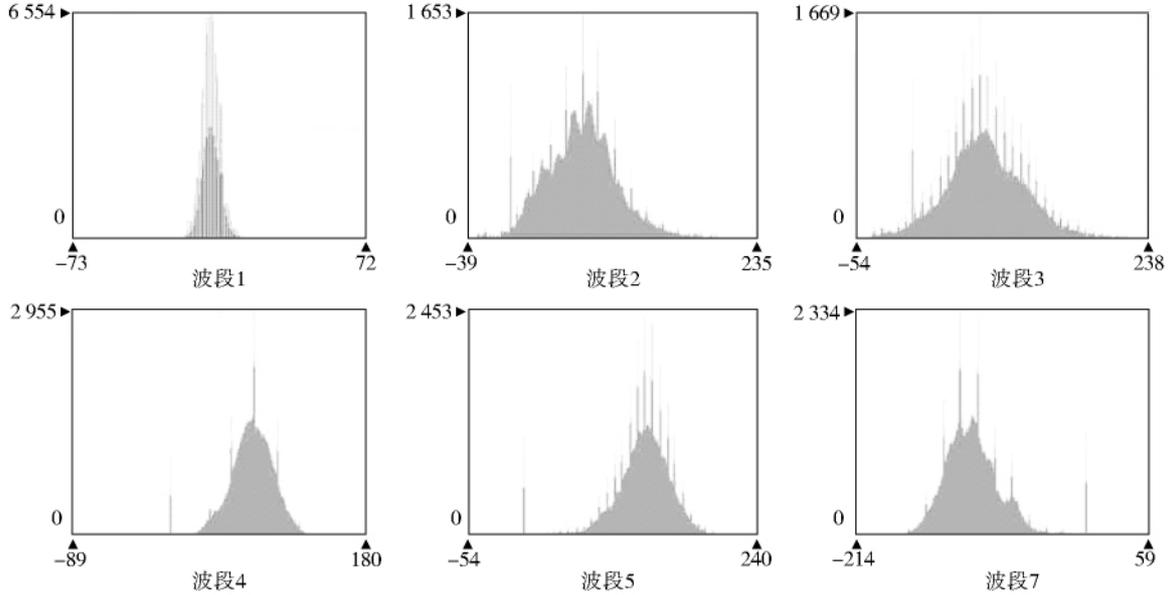


图 3 差异波段直方图
Fig. 3 The difference bands histograms

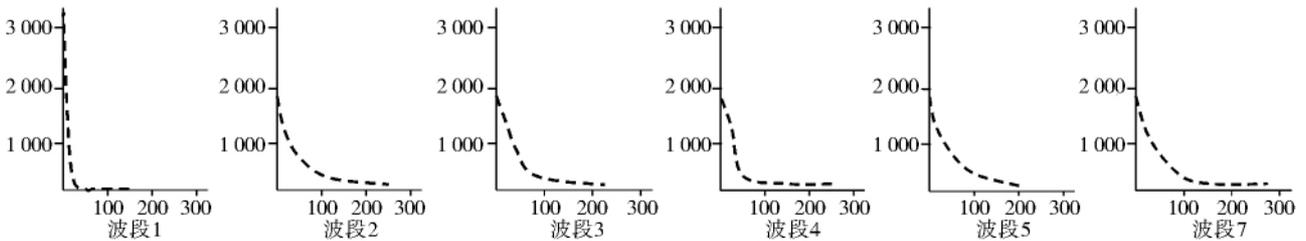


图 4 绝对差异直方图
Fig. 4 The absolute difference bands histograms

为了获得正态图像,建立线性方程:

$$L_{N1} = aL_1 + b \tag{1}$$

其中, L_1 是图像 1 中的像素, L_{N1} 是图像 1 标准化后的像素。考虑到图像 1 和图像 2 中 n 对不变像素,建立 n 个方程,用最小二乘法计算系数 a 和 b :

$$P_{2i} = aP_{1i} + b \quad (i=1,2,3,\dots,n) \tag{2}$$

其中, P_{1i} 和 P_{2i} 分别是图像 1 和图像 2 第 i 个不变像素值,由于方程数量大于未知系数个数,用最小二乘法计算系数。

上述过程用于 a, b 系数的计算。将每个波段分为黑、灰、白 3 个等级,将回归系数用于相应的分类中并将得到的波段作为标准化波段。

表 1 列出了每个波段黑、白、灰级的增值和截距及用以获得结果的像素数量。为便于说明,用图 5 表示波段 1 的黑、白、灰回归直线,用图 6(见封 3)显示图像 1 的波段 1 的差异图像及其标准化,原图像

的标准化效果用不同的颜色表示。负值像素数量通过标准化过程而降低,反之亦然。从图 6 看到,图像 0 值的像素在标准化过程中保持不变。

表 1 各波段黑、灰、白 3 类像素的增值截距及频数
Table 1 The result of implementation to calculate gain, intercept and the number of pixels or frequency for dark, gray and bright categories in each band

波段	黑像素			灰像素			白像素		
	增值	截距	频数	增值	截距	频数	增值	截距	频数
B1	0.982	4.201	462	1.001	0.059	429	0.998	0.543	346
B2	0.973	0.701	368	0.940	3.343	467	1.001	0.462	375
B3	0.991	1.019	429	1.008	0.411	332	1.006	0.645	496
B4	1.002	0.109	569	1.047	-0.73	306	0.991	0.592	365
B5	1.026	-1.109	201	0.953	3.991	576	1.005	0.355	418
B7	1.002	0.701	301	0.971	1.847	559	1.006	0.681	365

3 方法评价

算法评价中,将图像 2 的波段 1 作为参考图像,图像 1 的波段 1 作为标准化图像,得出原始图像两

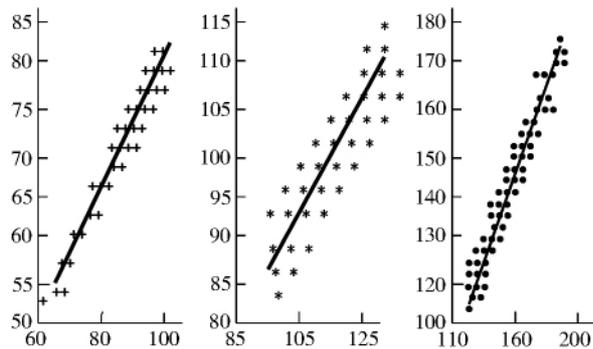


图 5 波段 1 黑、灰、白分类回归直线

Fig. 5 Regression lines for dark, gray and bright partitions of band 1

一个波段 1 的差异图像直方图 h_o , 图像 2 的波段 1 与图像 1 波段 1 的标准化结果差异图像直方图 h_n (图 7)。两个直方图都呈高斯形态, 但 h_n 直方图的峰值比 h_o 更尖锐, 因为 h_n 小值变化比 h_o 更多; 换言之, h_n 图像小值变化像素频数增加了, 这意味着标准化算法减小了差异图像直方图的不变像素的数量。两个直方图峰值的差异说明标准化过程已经明显改变了不变像素。另外, 如前述, 成像条件的变化减小了直方图的差异, 相反, 标准化过程增加了峰值的尖锐度。如图 7 所示, 标准化过程增加了峰值的陡峭度, 说明此算法的适用性。

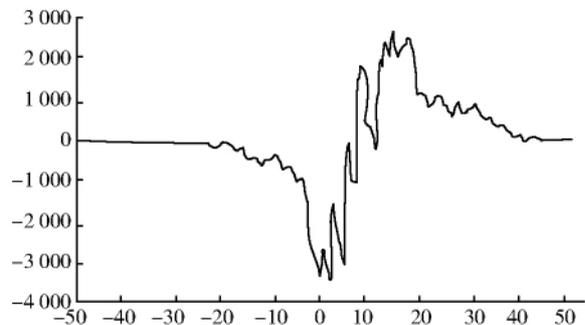


图 7 原图像两个 1 波段差异图像直方图 (h_o) 与图像 2 波段 1、图像 1 波段 1 标准化结果的差异图像直方图 (h_n) 比较

Fig. 7 Comparison of histogram of difference image of original band-1s (h_o) to histogram of difference image of band-1 of image-2 and the normalization output of band-1 of image-1 (h_n)

图 8 显示了对于各种变化值的 h_o 和 h_n 直方图的差异。在 h_o 和 h_n 直方图之间在小差值方面 (如 $-20 \sim 20$ 之间) 的差异比直方图的其他部分要大得多。如果没有辐射影响, 不变像素将聚集在差异图像直方图的零位置附近, 但事实上, 由于受辐射的影响使其偏离了零位置。因为真正的土地类型变化引起的变化值比辐射影响更大, 所期望的不变像素聚集的位置可以在标准化图像直方图中显示出来, 图 8 达到了预期目的。在 0 位置附近像素频率的增加证实了标准化过程的实用性。对于给定差异值的负值是在标准化过程中将其他部分像素值变为给定值所致。正如所料, 负值聚集在 0 周围意味着标准化增

加了小变化值的差异。

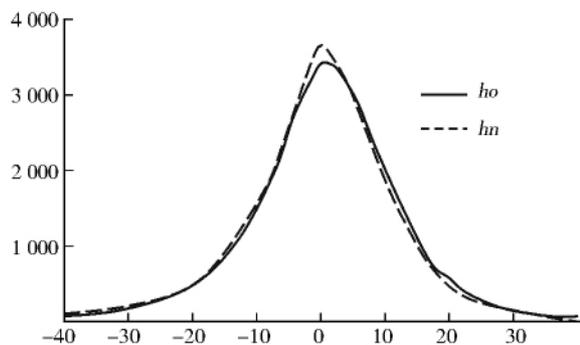


图 8 h_o 与 h_n 不同差值直方图

Fig. 8 The difference between h_o and h_n histograms for various difference values

4 结语

本文提出的标准化方法尽可能使成像条件的影 响最小化, 与常用的直方图规定化相比有很多优点, 如弥补了在识别和选择不 变像素操作方面的人为性、研究区条件及选择不 变像素时数量限制等不足。由于每个波段对相同的大气条件的响应不同, 该研究中每个波段不变像素的选择采用不同的阈值计算。本文研究方法对于研究不同大气条件具有一 定的意义。标准化算法的关键是找到不变像素, 对于采用更适宜的阈值技术提高不变像素选择精度仍 待进一步研究。

参考文献:

- [1] LUNNETTA R S, ELVIDGE C D. Remote Sensing Change Detection[M]. Berlin: Taylor & Francis, 1999. 1-10.
- [2] ROSIN P L. Thresholding for Change Detection[R]. Technical Report ISTR-97-02, Brunel University, 1997.
- [3] SARADJIAN M R, YAALLAH S M. Urban expansion monitoring based on a post-classification comparison change detection [A]. Proc. 3rd Int. Symp. Remote Sensing of Urban Areas[C]. Istanbul, 2002. 521-527.
- [4] 王春峰. 用遥感和单元自动演化方法研究城市扩展问题[M]. 北京: 测绘出版社, 2001.
- [5] 张继贤. 论土地利用与覆盖变化遥感信息提取技术[J]. 中国土地科学, 2003(4): 13-16.
- [6] 汪小钦, 徐涵秋, 陈崇成. 福清市城市时空扩展的遥感监测及其动力机制[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2000, 28(2): 220-224.
- [7] JENSEN J R. Urban/suburban land use analysis[A]. COLWELL R N. Manual of Remote Sensing(Second Edition)[C]. 1983, 2: 1571-1666.
- [8] HALL F G, STREBEL D E, NICKERSON J E, et al. Radiometric rectification: Toward common radiometric response among multi-date, multisensor images[J]. Remote Sens. Environ., 1991(35): 11-27.

(下转第 28 页)

- 漫反射分量的比较研究[J]. 红外与毫米波学报, 2007, 26(4): 284—288.
- [6] 金锡峰, 乔德林, 周素香. 漫反射体三维空间光分布的测量装置 CN96239489. 0[P]. 1998—03—04.
- [7] SANDMEIER S, SANDMEIER W, ITTEN K I, et al. The Swiss Field-Goniometer System (FIGOS); International Geoscience and Remote Sensing symposium, 1995. IGARSS'95. 'Quantitative Remote Sensing for Science and Applications'[Z]. 1995, 3: 2078—2081.
- [8] 叶玉堂, 饶建珍, 肖峻, 等. 光学教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [9] ZHAO H Y, ZHAO H, YAN L, et al. Model of reflection spectra of rock surface in 2π space[J]. ACTA Geologica Sinica, 2004, 78(3): 843—847.
- [10] 吴太夏, 晏磊, 相云, 等. 垂直观测时水平粗糙地表偏振反射作用研究[J]. 红外与毫米波学报, 2009, 28(2): 151—155.
- [11] 郑小兵. 随机表面光散射的数值分析[D]. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 1998.

Spectral Relationship between Bidirectional Reflectance and Degree of Polarization of Polished Granite

XIANG Yun^{1,2}, YAN Lei¹, ZHAO Yun-sheng³, CHEN Wei¹

(1. Beijing Key Lab of Spatial Information Integration & Its Applications, Peking University, Beijing 100871;

2. Hebei Meteorological Institute & Hebei Eco-environmental Monitoring Laboratory, Shijiazhuang 050021;

3. College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: The Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) is used in modern optical engineering to characterize the spectral and geometrical scatter of materials, which is measured popularly on a certain wavelength in microwave band or with laser. Polarization occurs when light is reflected and scattered by surface which contains object characteristics. Bidirectional reflectance and Degree of Polarization (DOP) of polished granite were measured in the reflective solar band between 350 nm and 2 500 nm at 50° incident over a range of scatter angles from about 0° to 50° zenith and from 180° to about 230° azimuth every 10° . It is shown that both bidirectional reflectance and DOP increases with the increase of zenith from 0° to 50° at the certain azimuth angle 180° and decreases when farther away from the specular reflection azimuth (180° azimuth angle) in the forward scatter region at the certain zenith angle 50° . Bidirectional reflectance and DOP are inverse shown in both spectra to some extent, i. e. peak on one spectrum corresponding to valley on the other.

Key words: polished granite; bidirectional reflectance; Degree of Polarization

(上接第 24 页)

Normalization of Digital Satellite Image Histogram Based on Unchanged Pixels

WANG Yu-ming, LI Chong-wei, MAO Jian, HU Miao

(College of Urban & Environment Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Normalization of histogram is often required in image preprocessing stage such as multi temporal remote sensing image matching and land-use change detection. The normalization can also minimize different imaging condition effects in analysis and rectify radiometric differences derived from solar/sensors location, atmospheric effects between adjacent images in such a way as if they have been acquired at the same imaging conditions. Relative radiometric normalization which is normally applied in image preprocessing stage does not remove all unwanted effects. In this paper, a method has been developed based on regression applied on unchanged pixels. The proposed method is based on efficient selection of unchanged pixels through image difference histogram modeling using available spectral bands and calculation of relevant coefficients for dark, gray and bright pixels in each band. The coefficients are applied to produce the normalized image. The idea has been implemented on two TM image datasets. The capability of the approach in taking in to account the imaging condition differences and effectively excluding real land change pixels from the normalization process has shown better performance in the evaluation stage.

Key words: unchanged pixels; remote sensing; digital images; normalization of histogram

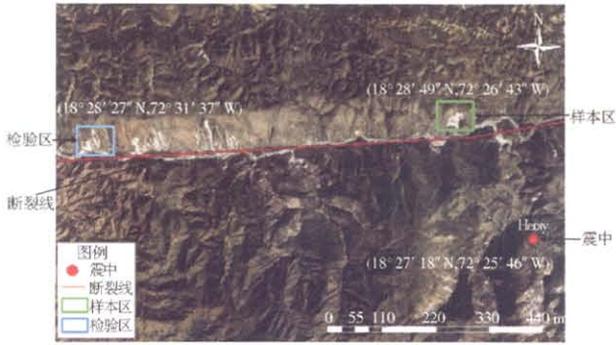


图 1 研究区地理位置
Fig. 1 Geo-location of studied area

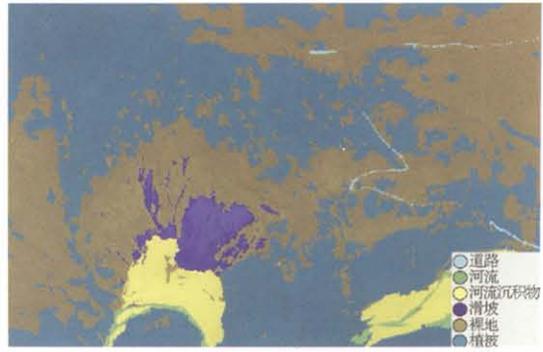


图 4 本文方法分类结果
Fig. 4 Results classified with our method

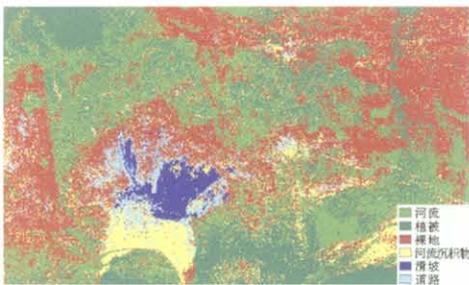
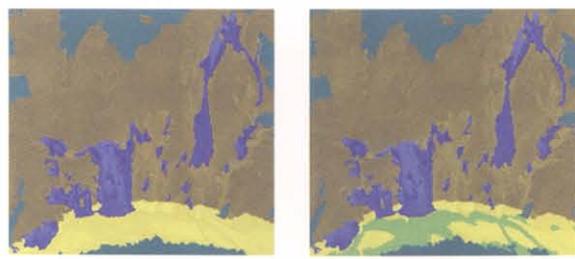


图 5 最大似然分类结果
Fig. 5 Results classified with the maximum likelihood method



(a) 本文特征参数分类结果 (b) 调整特征参数分类结果
图 6 基于不同特征参数阈值的物地分类检验结果
Fig. 6 Classification with different thresholds of feature parameter combination for checking

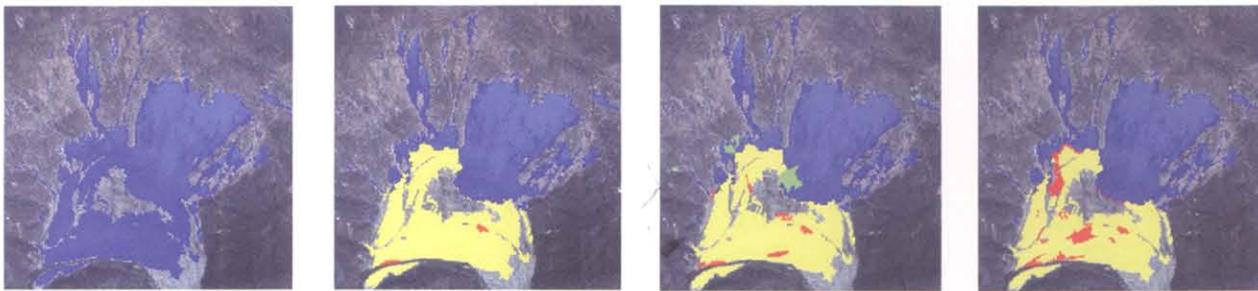


图 7 基于不同特征组合的物地分类结果
Fig. 7 Classification with different feature combinations



图 6 图像 1 波段 1 不同灰度级标准化处理效果
Fig. 6 The effects of normalization process on different gray levels for band 1 of image-1

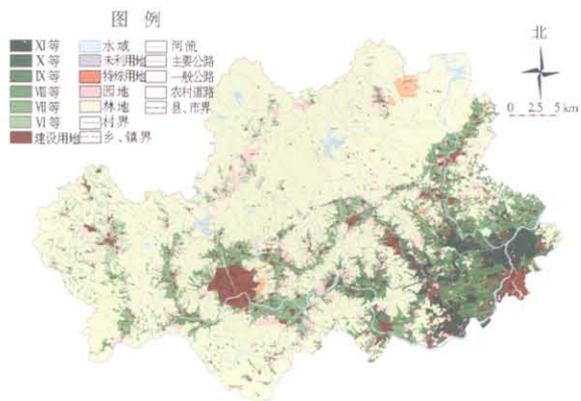


图 3 PSO-BP 农用地分等结果
Fig. 3 The classification of agricultural land based on PSO-BP