

基于最优波段组合的土地利用 覆盖遥感信息提取研究

李谢辉^{1,2}, 郑奕³ (1 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 河南开封 475001; 2 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃兰州 730000; 3 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆乌鲁木齐 830002)

摘要 以渭河下游河流沿线区域为研究区, 通过对 2002 年 ETM+ 影像的各波段光谱特征、相关系数矩阵、最佳指数 OI 修正植被指数 RNDVI 主成分变换进行分析后, 认为第一主成分量 PC1 RNDVI 和 Band4 为最优波段组合。利用非监督的 ISODATA 和监督分类相结合的方法对研究区进行土地利用 覆盖分类后, 得到的总体分类精度为 90.098%, Kappa 系数为 0.8845 说明该方法获得的分类精度较高, 步骤简便且实用性强, 能极大地提取遥感分类信息。

关键词 最佳指数; 修正植被指数; 主成分分析; 非监督分类; 监督分类

中图分类号 F301.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)14-06696-04

Study on the Extraction of Remote Sensing Information of Land Use/Cover Based on Optimum Band Combination

LI Xie-hui et al (Research Center of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng Henan 475001)

Abstract Taking the catchment area along Weihe River in Shaanxi Province as a study area by analyzing spectral characteristics of every band correlation coefficient matrix among bands optimum index revised vegetation index and principal components transformation on ETM+ image in 2002, optimum band combinations were fixed on PC1, RNDVI and Band4. After classified to study area on land use and cover using unsupervised and supervised classification, the total accuracy of classification was 90.098%, and the Kappa coefficient was 0.8845. The results show that the method not only gets higher accuracy, but has simpler steps and stronger practicability, and can extract furthest remotely-sensed classified information.

Key words Optimum index; Revised vegetation index; Principal components analysis; Unsupervised classification; Supervised classification

在土地利用 覆盖研究中, 对卫星遥感影像进行分类是必不可少的一步, 而遥感分类技术提取地学专题信息的主要理论依据是各地物在遥感图像中表现出的光谱特征差异, 往往差异越大, 地物就越容易区分^[1]。由于遥感影像存在大量“同物异谱”、“异物同谱”的现象, 而目前对遥感图像的解译在相当程度上仍依赖于目视判读, 因此如何从影像提供的多光谱数据中快速、准备选取最优波段, 以便于图像的目视解译和信息的有效提取, 是遥感数字图像处理的关键问题之一。为此, 笔者结合研究区特点, 采用基于最优波段组合和非监督与监督分类相结合的方法, 力求能够步骤更简便、精度更高地提取土地利用和覆盖的遥感信息。

1 研究区概况和数据预处理

笔者以渭河下游河流沿线区域为例, 即陕西省咸阳至潼关段, 位于 108°56'~110°42'E, 34°17'~35°03'N, 包括咸阳市城区、西安市城区、高陵县、临潼区、渭南市城区、华县、华阴市、大荔县和潼关县, 土地总面积 8 029.7 km²。地貌类型主要包括渭河平原区和南部的秦岭山地区, 平原区由于悠久的农垦历史, 自然植被已被人工植被代替, 农业植被多以小麦、棉花、玉米等为主; 南部秦岭的山地植被, 由于气候温湿, 地势崎岖, 人为影响较轻。

遥感数据源为 Landsat-7 ETM+ 两景, 轨道号为 p126r36 和 p127r36 接收时间为 2002 年 6 月 3 日。其他辅助资料包括 1:5 万地形图、1:25 万县界图、2000 年 1:25 万土地利用现状图、2006 年陕西省系列地图、GPS 点及实地景观照片库等。

数据预处理主要包括几何校正、镶嵌裁剪、研究区提取等。即主要在 ENV 4.3 软件的支持下, 首先以 1:5 万地形图为准, 选取地面控制点进行配准, 并将配准误差控制在一

个像元以内。然后利用基于地理坐标的镶嵌功能将两景影像进行镶嵌, 镶嵌时为了消除在重叠区域边缘出现的明显衔接线, 使用羽化功能对边缘进行融合, 同时为了平衡两幅镶嵌影像的数据范围, 使用图像颜色平衡功能进行统计匹配。最后利用 1:25 万的县界文件, 对研究区进行所有波段范围的裁剪和提取。

2 最优波段组合分析

一般来说, 选择最优波段的原则有 3 点: ①所选的波段信息量要大; ②波段间的相关性要小; ③波段组合对所研究地物类型的光谱差异要大^[2]。基于此原则, 目前应用比较广泛的选取方法有各波段信息量的比较、各波段间信息的相关性比较、最佳指数法、各波段数据的熵和联合熵等方法。笔者根据研究区的特点, 综合波段光谱特征分析、最佳指数计算、修正植被指数和主成分分析等多种方法综合进行最优波段的组合选取。

2.1 波段光谱特征分析

波段光谱特征分析包括单波段和多波段 2 种。单波段分析主要包括计算各波段的峰值、均值、最大值、最小值、标准差、特征值等。一般图像均值是像素的灰度平均值, 对人眼反映为平均亮度, 如果均值适中, 则视觉效果良好。而标准差主要反映了图像各像元灰度值与平均值总的离散度, 在某种程度上, 标准差也可用来评价图像信息量的大小。若标准差大, 则图像灰度级分布分散, 图像的反差大, 可以看出更多的信息; 标准差小, 图像反差小, 对比度不大, 色调单一均匀, 看不出太多的信息^[3]。

由于遥感影像多数是多波段的, 在多波段影像中, 每个像元点各波段的图像亮度值构成一个多维向量, 即是一个多维随机变量综合值, 因此多波段分析就是计算各波段之间的多元统计, 如协方差、相关系数等。相关系数矩阵是反映多维随机变量各个分量两者之间密切相关程度的一种方式, 其主对角线元素是 1, 其他元素则是 2 个变量之间的相关系数^[4]。波段间的相关系数主要反映 2 个波段间的信息重叠

基金项目 教育部人文社会科学重点研究基地重点项目 (YRCSD08A05); 国家自然科学基金项目 (40501077)。

作者简介 李谢辉 (1977-), 女, 新疆石河子人, 博士, 讲师, 从事 3S 技术应用及风险评估研究。

收稿日期 2009-02-19

度,如果 2个波段间的相关系数大,则说明它们的信息重叠度高,因此可将相关性大的 2个通道合二为一,或者取其中一个^[5]。

由于 ETM+ 遥感数据中的热红外第 6波段主要是用于研究地表热环境变化,而且分辨率低,第 8波段是全色波段,主要用于提高分辨能力,在波段合成中一般不会选择,因此研究只对 Band 1~ 5和 7进行光谱信息统计分析。相应的单波段和多波段统计分析结果见表 1、2。

表 2 各波段间相关系数矩阵

Table 2 Correlation coefficient matrix among all bands

波段号 Band number	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Band 1	1	0.963 691	0.935 977	-0.223 857	0.702 290	0.815 373
Band 2	0.963 691	1	0.975 447	-0.135 536	0.799 887	0.891 790
Band 3	0.935 977	0.975 447	1	-0.216 691	0.808 954	0.915 961
Band 4	-0.223 857	-0.135 536	-0.216 691	1	0.223 048	-0.051 961
Band 5	0.702 290	0.799 887	0.808 954	0.223 048	1	0.940 568
Band 7	0.815 373	0.891 790	0.915 961	-0.051 961	0.940 568	1

由表 1可知,标准差由大到小的排列顺序为 Band7> Band3> Band5> Band4> Band2> Band1,第 7波段图像信息量最丰富,如果对单波段进行处理,选择第 7波段效果最佳,第 3和第 5波段信息量依次有所减少。

由表 2可知: ① 3个可见光波段(即第 1、2、3波段)之间的相关性都很高,分别为 $R_{12} = 0.963 691$, $R_{13} = 0.935 977$, $R_{23} = 0.975 447$,表明这 3个可见光通道取得的信息彼此重叠很多,有相当大的一致性,或称“冗余性”。② 2个中红外波段(即第 5、7波段)之间的相关性也很高,为 $R_{57} = 0.940 568$,说明这 2个波段之间的信息量也有极大相似性。③ 第 4波段相对较为独立,与其他波段的相关系数都较小,分别为 $R_{41} = -0.223 857$, $R_{42} = -0.135 536$, $R_{43} = -0.216 691$, $R_{45} = 0.223 048$, $R_{47} = -0.051 961$ 。根据相关性小的原则,应从 1、2、3波段中选择一个,5和 7波段中选择一个,然后与第 4波段进行假彩色图像合成,效果较好。

2.2 最佳指数(OIF)计算 最佳指数 OIF(Optimum Index

表 1 各波段光谱的一般特征

Table 1 General characteristics of every band spectra

波段	最小值	最大值	均值	标准差	特征值
Band	Minimum	Maximum	Average	Standard error	Eigenvalue
Band 1	34	204	69.426 534	10.182 570	1.025 148 748
Band 2	23	223	57.662 230	10.310 774	230.336 749
Band 3	12	255	60.070 795	17.192 346	47.781 598
Band 4	0	249	78.956 901	13.855 242	7.058 193
Band 5	0	255	71.960 715	16.393 069	5.575 608
Band 7	0	255	51.327 916	18.740 347	1.573 716

Factor)的概念是由美国查维茨提出的,其计算方法简单,易于操作。理论依据是:图像数据的标准差越大,所包含的信息量也越多,而波段的相关系数越小,表明各波段的图像数据独立性也越高,信息的冗余度也就越小。它主要将标准差和相关系数有效地统一起来,进一步提供了判断的依据。数学表达式为:

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i}{\sum_{i=1}^3 |R_{ij}|} \quad (1)$$

式中, S_i 为第 i 个波段的标准差, R_{ij} 为 $i、j$ 两波段的相关系数^[6]。一般对 n 波段图像数据,通过计算其相关系数矩阵,就可以分别求出所有可能三组合波段对应的 OIE、OIF。OIF 越大,则相应组合影像包含的信息量就越大,对 OIF 按照从大到小的顺序进行排列,即可选出最佳组合方案。通过公式计算的 2002年 ETM+ 影像各组合方案 OIF结果见表 3。

由表 3可知,排在前三位的波段组合方案是: B3、4、7,

表 3 最佳指数 OIF 计算结果

Table 3 Calculated results of optimum index OIF

序号 Sequence	组合方案 Combination scheme	OIF	OIF 排序号 OIF sequence	序号 Sequence	组合方案 Combination scheme	OIF	OIF 排序号 OIF sequence
1	1、2、3	13.107 54	20	11	2、3、4	31.150 99	8
2	1、2、4	25.961 00	10	12	2、3、5	16.985 80	16
3	1、2、5	14.958 79	18	13	2、3、7	16.615 23	17
4	1、2、7	14.689 57	19	14	2、4、5	35.010 88	7
5	1、3、4	29.952 35	9	15	2、4、7	39.754 36	3
6	1、3、5	17.884 77	13	16	2、5、7	17.264 42	15
7	1、3、7	17.289 05	14	17	3、4、5	37.992 25	5
8	1、4、5	35.181 92	6	18	3、4、7	42.028 86	1
9	1、4、7	39.203 18	4	19	3、5、7	19.630 87	11
10	1、5、7	18.434 39	12	20	4、5、7	40.300 74	2

B4、5、7、B2、4、7、B1、4、7和 B3、4、5。由于波段选择的目的是为了有效地识别地物,因此不能脱离具体的应用目的去评价,选择波段应该结合欲识别地物的光谱曲线特点,即其吸收、反射峰的特征波长去有针对性地选取,综合考虑各波段之间的相关系数和最佳指数值,在这里确定的 ETM+ 最佳指数波段组合为 7、4、2。

2.3 修正植被指数和主成分分析 考虑到研究区内耕地、园地、林地、草地等植被地类分布较广,为了能够有效地区分这些地类,笔者引入了修正植被指数和主成分分析方法进行最优波段组合的分析。

由于 $NDVI = (B_{nir} - B_{red}) / (B_{nir} + B_{red})$ 的值域为 $[-1, +1]$,为了便于计算机计算以及图像的处理和显示,这里使

用修正植被指数 $RNDVI$ [7], $RNDVI = (NDVI + NDVI(Min)) \times 255 / (NDVI(Max) + NDVI(Min))$, 将植被指数的值域转化为 0~255 计算得到的 $RNDVI$ 结果见图 1。

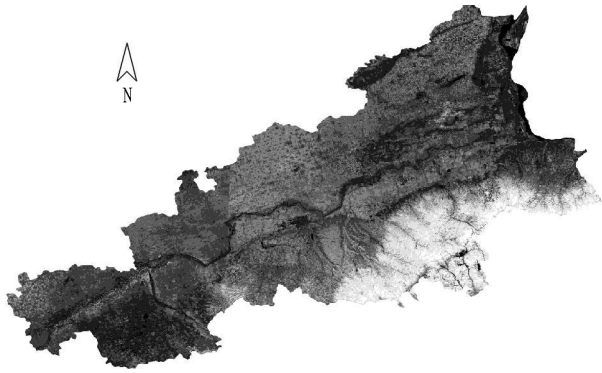


图 1 修正植被指数 $RNDVI$

Fig 1 Map of revised normalized difference vegetation index ($RNDVI$)

主成分分析变换是在统计特征基础上的多维正交线性变换, 是将一组相关变量转化为一组原始变量不相关线性组

合的正交变换。由于多波段数据经常是高度相关的, 主成分变换可以寻找一个原点在数据均值的新坐标系统, 通过坐标轴的旋转来使数据的方差达到最大, 从而生成互不相关的输出波段, 因此利用主成分变换技术, 可进行数据压缩, 隔离噪声和减少数据集的维数, 提取独立的信息 [8]。

主成分波段 (PC) 是原始波段波段的线性合成, 它们之间是互不相关的, 在计算时可以使输出的主成分波段与输入的波段数相同, 而计算得到的第一主成分通常包含最大的数据方差百分比, 第二主成分包含第二大的方差, 依此类推, 最后的主成分波段由于包含很小的方差, 因此显示为噪声 [9]。研究首先对 $EIM +$ 图像的 1~5 和 7 波段进行主成分分析, 然后再将修正植被指数 $RNDVI$ 和经过主成分分析变换的前 3 个主成分分量 (PC1, PC2, PC3), 以及通过最佳指数计算确定的 7, 4, 2 三个波段综合进行波段分量之间的相关性分析 (表 4)。

由表 4 可知, PC1, $RNDVI$ 和 Band4 三波段分量之间的相关性差, 三分量数据分别代表了不同性质, 所含信息量大, 将

表 4 波段分量间相关性分析

Table 4 Relativity analysis among bands

Band	PC1	PC2	PC3	$RNDVI$	$EIM + 7$	$EIM + 4$	$EIM + 2$
PC1	1	0.020111	-0.001628	-0.770218	0.982774	-0.084696	0.952658
PC2	0.020111	1	0.028173	-0.616531	-0.022685	-0.976970	0.128130
PC3	-0.001628	0.028173	1	0.037490	0.037490	0.150430	-0.248813
$RNDVI$	-0.770218	-0.616531	0.037490	1	-0.720079	0.649117	-0.817752
$EIM + 7$	0.982774	-0.022685	0.150430	-0.720079	1	-0.069113	0.892970
$EIM + 4$	-0.084696	-0.976970	-0.215544	0.649117	-0.069113	1	-0.142160
$EIM + 2$	0.952658	0.128130	-0.248813	-0.817752	0.892970	-0.142160	1

这三个波段分别赋予红、绿、蓝后, 认为图像色调明快, 层次清晰, 信息完整丰富, 目视效果较好, 易于图像的判读, 因此最终确定为最优组合波段分量。将这三波段分量数据进行假彩色合成后的结果见图 2 所示, 其中 PC1 赋予红, $RNDVI$ 赋予绿, Band4 赋予蓝。

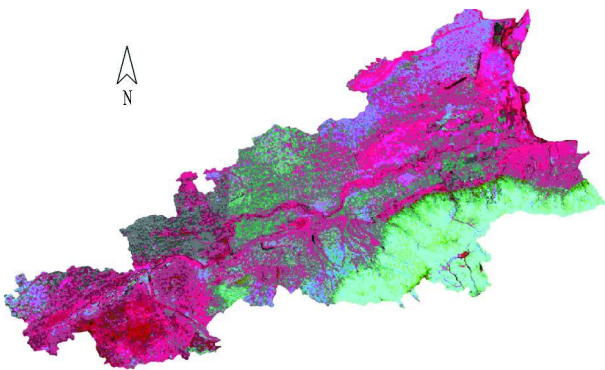


图 2 PC1, $RNDVI$ 和 Band4 假彩色合成

Fig 2 Pseudocolor composition maps using PC1, $RNDVI$ and Band4

3 非监督和监督结合分类

在目前遥感分类应用中, 用得较多的是传统的模式识别分类方法, 包括最小距离法、平行六面体法、最大似然法、分级集群法、混合距离法、动态聚类法等监督与非监督分类方法 [10]。同时, 伴随着遥感应用技术的飞速发展, 神经网络法、基于多源数据融合法、基于专家知识和地学知识分类法、模糊模式法、基于小波分析法和基于 Markov 随机场模型

纹理表述分类法等也都得到了较大的发展和应用 [11]。然而在众多的遥感图像分类算法中, 没有一种算法可以说是最普遍和最佳的, 这主要是因为遥感数据图像本身具有很大的复杂性, 而且每种分类方法也都具有一定的使用条件, 因此在研究中, 最好是结合实际情况和实验目的, 利用各种信息来综合确定合适、恰当的分类算法。根据该研究区特点和研究目的, 主要使用传统的非监督和监督分类相结合的方法进行。

3.1 动态聚类法 (ISODATA) 首先利用非监督分类中的动态聚类法对 2002 年 PC1, $RNDVI$ 和 Band4 假彩色合成图进行非监督分类, 在进行时, 通过对波段光谱信息的分析和反复尝试, 确定非监督分类的参数为: 分类数: $Min35 \sim Max40$, 最大迭代数: 10, 变化阈值: 5, 每类最少像元数: 1, 最大类间标准差: 5, 最小类间距: 4, 最大合并数: 20。

3.2 结合多种相关知识信息资料进行训练结果的监督分类

由于经过 ISODATA 初步分类后, 可以得到训练结果, 因此首先对得到的多类光谱类别中心, 利用散点图和类别间的距离等参数对其进行分析, 然后对距离较近或散点图上基本重叠的类进行合并, 形成新的中心, 并把每一中心与信息建立联系。同时, 利用 2000 年 1:25 万土地利用现状图、2006 年陕西省系列地图, 以及参照 PC1, $RNDVI$, Band4 波段假彩色合成线性增强图像, 对照国土资源部采用的土地资源分类系统建立解译标志, 对训练区样本进行定性监督判别。在判别时, 可以将不同覆被类型合并定性为同一种土地利用类型,

如长庄稼和不长庄稼的耕地,都定性为耕地,但在选择样本时要分别选取。最后将计算机自动分出的 40类合并为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水体、未利用土地 7类。在训练样本的判识中,为了提高分类精度,将多年野外 GPS 样点数据库进行了叠加。

3.3 分类后处理 对分类后的处理主要包括类别集群、筛选、合并、一些错误类的纠正等。在对相同的类进行合并、 2×2 算子进行聚类,4-邻域方式进行筛选后,通过对分类后图像进行细心对比观察,为了提高分类精度,对一些错误分类的类别还进行了人工修正。经过以上步骤得到的 2002 年分类结果见图 3

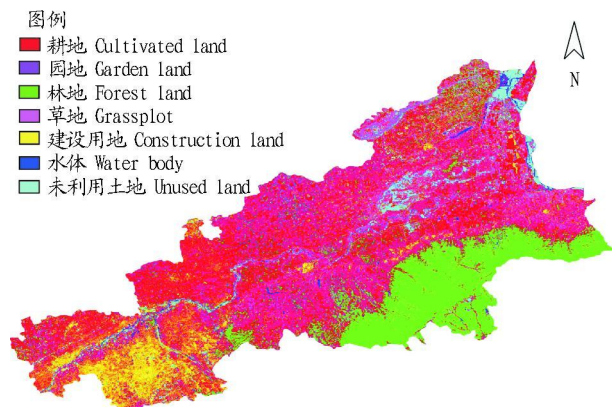


图 3 2002年土地利用/覆盖分类

Fig 3 Classification map of land use/cover in 2002

4 分类精度评价

对分类结果进行精度评价和精度分析是非常必要的,这是检验技术手段可行性的有效方法,同时还可以从精度分析中获取信息,使操作细节更加完善。不同的评价方法得出的评价精度有所不同,常用的方法是通过选取若干地面真实数据,计算其被正确分入相应类别的像元数所占的比例,以及计算混淆矩阵和 Kappa 系数等^[12]。笔者借助已有资料,通过提取各地类样本,采集相应的光谱特征值,在遥感影像上建立作为自动分类精度检验标准的感兴趣区 ROI (Region of Interest),通过计算总体分类精度、Kappa 系数、混淆矩阵(像元数)、错分和漏分误差、制图和用户精度等来进行综合评价。

通过建立 7类 395块多边形 ROI 计算得到的总体分类精度为 90.098%, Kappa 系数为 0.8845 得到的错分漏分误差、制图和用户精度统计见表 5。

由表 5 可知,图像的分类精度较高,完全达到了最低允许判别精度 70% 的要求。在制图精度上水体的分类精度最高,为 97.65%;林地次之,为 89.97%;其他几种地类的分类精度相对较低,但差别不大,都在 87% 以上。由此可见,笔者基于最优波段,并结合非监督和监督分类方法对研究区土地利用/覆盖信息的提取,其所得到的结果和效果是显著和实用的。

5 结论

为了更好地表达地物的类别特征,易于图像判读,

表 5 分类误差和精度统计

Table 5 Statistics on classification error and accuracy

类别	错分误差	漏分误差	制图精度	用户精度
Category	M isclassification error	Leaking classification error	M apping precision	U ser precision
水体 Water body	0.21	2.35	97.65	99.79
草地 Grassplot	9.03	11.05	88.95	90.97
未利用土地 Unused land	7.75	10.08	89.92	92.25
建设用地 Construction land	7.84	10.32	89.68	92.16
园地 Garden land	11.09	12.48	87.52	88.91
林地 Forest land	4.15	10.03	89.97	95.85
耕地 Cultivated land	25.64	12.31	87.69	74.36

在对 2002 年 ETM+ 影像进行基本的几何校正、剪切、镶嵌、增强、研究区提取等预处理后,通过对各波段光谱特征、相关系数矩阵、最佳指数 OI 修正植被指数 RNDVI 主成分变换进行了分析,认为原始 6 个波段分析得到的第一主成分分量 PC1 修正植被指数 RNDVI 和第 4 波段为最优波段组合。在对这 3 个波段分量进行假彩色合成后,利用非监督的 ISO-DATA 和监督分类相结合的方法,通过设定一定的参数,根据研究目的,将研究区的土地利用/覆盖类型分为耕地、园地、林地、草地、建设用地、水体、未利用土地 7 类。在利用野外 GPS 采样点和其他辅助数据资料对分类精度进行评价后,得到总体分类精度为 90.098%, Kappa 系数为 0.8845。说明通过以上处理方法获得的分类精度较高,实用性强,能极大地提取遥感分类信息。

参考文献

- [1] 许榕峰,徐涵秋.多步骤分类法在土地利用/覆盖专题提取中的应用[J].福州大学学报:自然科学版,2003,31(4):408-412
- [2] 张韬,吕洪娟,孙美霞,等.遥感多光谱数据在内蒙古西部湿地监测中

最佳波段选取的应用研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(4):102-106

- [3] 许蕊,燕琴,徐泮林,等.多源遥感影像融合最佳波段选择及质量评价研究[J].测绘科学,2007,32(3):72-76
- [4] 孙华,林辉,熊育久,等. Spot5 影像统计分析及最佳组合波段选择[J].遥感信息,2006(4):57-61
- [5] 杨金红,尹球,顾松山,等.城区高光谱遥感数据假彩色波段组合研究[J].南京气象学院学报,2005,28(3):289-295
- [6] 安琼,杨邦杰,郭琳.面向对象的多光谱图像特征遗传选优方法[J].农业工程学报,2008,24(4):181-185
- [7] 师庆东,吕光辉,潘晓玲,等.遥感影像中分区分类法及其在新疆北部植被分类中的应用[J].干旱区地理,2003,26(3):264-268
- [8] 刘哲,郝重阳,刘晓翔,等.多光谱图像与全色图像的像素级融合研究[J].数据采集与处理,2003(9):296-301
- [9] 李小娟,宫兆宁,刘晓萌,等.ENV I 遥感影像处理教程[M].北京:中国环境科学出版社,2007
- [10] 李石华,王金亮,毕艳,等.遥感图像分类方法研究综述[J].国土资源遥感,2005(2):1-6
- [11] 李石华,王金亮,陈姚,等.多光谱遥感数据波段选择方法试验研究[J].云南地理环境研究,2005,17(6):29-33
- [12] 梁玉喜,胡庭兴,刘波.应用卫星影像数据自动提取川西地区森林面积方法研究[J].四川林业科技,2005,26(1):32-38