

基于光谱特征的森林类型识别研究

严恩萍, 林 辉, 莫登奎, 孙 华

(中南林业科技大学 林业遥感信息工程研究中心, 湖南 长沙 410004)

摘 要: 光谱特征分析是森林类型识别的前提。使用 ALOS 遥感数据, 通过单波段、多波段统计方法分析波段数据特征, 获得对影像的整体认识; 运用归一化植被指数、主成分分析以及最佳指数法, 计算不同森林类型的光谱特征; 通过与最大似然法对比, 结合实地调查数据, 构造出理想的决策树算法, 研究森林类型的识别问题。结果表明: ALOS 数据 4 个波段中, 波段 4 独立性较强, 在遥感信息提取中是必选波段; NDVI 及主成分变换可显著增强地物区分度, 为森林类型识别研究的波段组合提供参考; 同最大似然法相比, 决策树分类精度显著提高, Kappa 系数达 0.878 7; 该算法可降低混合分类现象, 提高森林类型识别精度。

关键词: 遥感; 光谱特征; ALOS; 森林类型

中图分类号: S771.8

文献标志码: A

文章编号: 1673-923X(2011)11-0023-08

Study on recognition of forest type based on spectral feature

YAN En-ping, LIN Hui, MO Deng-kui, SUN Hua

(Research Center of Forest Remote Sensing & Information Engineering, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, Hunan, China)

Abstract: Spectral feature analysis is the first premise of forest type recognition. Band characteristics were analyzed to thoroughly understand ALOS data by single-band and multi-band statistical methods, and spectral characteristics of different forest types were computed by adopting Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Principal Component Analysis (PCA) and Optimum Index Factor (OIF). The ideal decision tree classification algorithm was built to study the forest type recognition of Pingnan County in Guangxi Zhuang Autonomous Region, with association of field survey data and comparison of maximum likelihood method. Results show that among four bands of ALOS data, band 4 had greater independence and should be chosen in further processing phases. NDVI and principal component transform can enhance the distinction among different objects, which provide references for band combination on forest type recognition. Compared with the maximum likelihood, the decision tree algorithm reduced the phenomenon of mixed classification, improved the classification precision significantly with Kappa coefficient 0.878 7 and can provide reference for other object recognition.

Key words: remote sensing; spectral feature; ALOS; forest type

森林是地球上最大的陆地生态系统, 是人类赖以生存和发展的物质基础^[1-2]。据 1983 年美国宇

航局统计得出, 全球 33% 的土地覆盖为森林, 90% 的生物量来自森林, 65% 的净初级生产力也来自森

收稿日期: 2011-09-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30871962); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(200805380001); 国家林业局林业公益项目专题(201104028)

作者简介: 严恩萍(1986-), 女, 湖北鄂州人, 博士研究生, 主要从事林业遥感与地理信息系统应用研究

通讯作者: 林 辉(1965-), 女, 湖北黄冈人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林经理学、遥感技术与地理信息系统的教学和科研工作

林^[3]。因此开展森林资源调查,掌握森林资源现状及变化,对于提高林业生产决策水平,促进林业和社会经济乃至全球环境可持续发展等具有重要的意义。与传统方法相比,遥感技术因其宏观性、短周期性、可重复性等优点,被广泛用于森林资源监测中^[4-6]。

不同森林类型因其光谱特征不同,在影像上表现为灰度值的不同,这使得它们的区分成为可能。近年来,伴随遥感影像分辨率的不断提高,人工神经网络、决策树分类算法等新方法广泛用于各种遥感分类中^[7-8],如全志杰等应用自组织神经树模型进行森林立地分类研究^[9],陈君颖等提出基于光谱信息的植被分类方法^[10]。随着 eCognition 软件的应用,面向对象的方法越来越受到关注,Bernad 等利用特征分析与交互式技术对雷达数据进行识别研究^[11]。

本文以广西平南县的 ALOS 影像为数据源,针对不同森林类型的光谱特征,结合实地采样建立决策树模型,研究适合森林类型识别的波段组合及分类方法,旨在为中低分辨率遥感影像森林信息的快速提取提供技术参考和理论依据。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

研究区选择在广西壮族自治区贵港市平南县城内。平南县位于广西壮族自治区东南部,地处 110°03'54"~110°39'42"E,23°02'19"~24°02'19"N。平南县属亚热带季风气候区,夏长冬短,适宜多种植被生长。平南县植被区系属南亚热带常绿阔叶林区域,植被种类较多,经济价值较高。据 1999 年森林资源调查结果显示,全县森林覆盖率为 53.3%,林地 13.3 万 hm²,丰富的森林资源为本文提供了良好的研究条件。

1.2 数据源及处理

1.2.1 遥感数据

本研究针对平南县的森林资源调查目的,结合数据性价比及实际应用等因素,选用 2007 年 7 月 26 日获取的 ALOS 影像为遥感数据,刈幅为 3 346 * 4 768 像素,全波段空间分辨率 2.5 m,其中多波段空间分辨率为 10 m。

1.2.2 野外实测数据

为了获取研究区覆被分类体系,于 2009 年 10

月 1~7 日在平南县进行为期 7 天的野外调查,参考国家林业局 2003 年 4 月颁发的《森林资源规划设计调查主要技术规定》(林资发[2003]61 号文件),结合野外实际调查情况,最后将研究区地物分为 8 类,即针叶林、阔叶林、竹林、灌木林地、农田、裸土地、水体、城镇建设用地区。

1.2.3 数据处理

基础地理数据采用最新 1:10 000 地形图。利用遥感图像处理软件 ENVI 4.7,对 ALOS 数据进行了几何精校正、反差增强、比值增强和融合等算法处理,处理后的图像效果较好,同时采用了研究区 2009 年森林资源二类清查结果,用于精度评价。

2 研究方法

2.1 波段特征分析

2.1.1 单波段统计分量

波段数据统计常用于反映影像信息量的丰富程度以及待识别地物的可分性^[12-13]。经计算各波段的信息量统计见表 1。

表 1 ALOS 影像各波段信息量统计

Table 1 Information amount statistics of different bands of ALOS image

信息量	Band1	Band2	Band3	Band4
最小值	109	70	85	55
最大值	185	193	209	163
平均值	185.607	168.472	176.492	170.984
亮度差	76	123	124	108
标准差	62.006	77.722	70.826	75.419
熵	3.204	3.648	3.707	3.677

由表 1 可以看出标准差顺序为:Band2>Band4>Band3>Band1。熵值的大小为:Band3>Band4>Band2>Band1。说明第 4 波段在各项指标上都占有优势,第 2 波段和第 3 波段信息量水平相当。

2.1.2 多波段统计分量

遥感影像往往是多波段的,而且信息量最大的 3 个波段组合图像,不一定信息量最大,故最佳波段选择时需考虑波段间的相关性。

(1)协方差:方差可反映影像各变量间的离散程度,而协方差不仅能反映各分量取值间的离散程度,而且能反映各分量取值间的相关密切程度,ALOS 影像各波段协方差如表 2。

表 2 ALOS 影像各波段协方差统计

Table 2 Covariance coefficient statistics to different image bands of ALOS

波段	Band1	Band2	Band3	Band4
Band1	3 844.741			
Band2	4 811.857	6 040.664		
Band3	4 375.173	5 500.513	5 016.313	
Band4	4 613.799	5 769.584	5 240.907	5 688.092

由表 2 可知,第 4 波段与第 2、3 波段的协方差高,即 band4 具有较高的独立性。

(2)相关系数:相关系数描述了图像波段间的相关程度,反映图像波段所包含信息的重叠度,标准差越大,所包含的信息量越大,相关系数越小,表明波段的独立性越高,ALOS 影像各波段相关系数计算结果如表 3。

表 3 ALOS 影像各波段相关系数统计

Table 3 Correlation coefficient statistics of different bands of ALOS image

波段	Band1	Band2	Band3	Band4
Band1	1.000			
Band2	0.998	1.000		
Band3	0.996	0.999	1.000	
Band4	0.987	0.984	0.981	1.000

由表 3 可知,band1、band2、band3 相关程度显著;band4 与其他波段相关系数均在 0.987 以下,相关性不明显。

综上,ALOS 数据 4 波段中,波段 4 信息量最丰富,具有很强的独立性,在进一步研究中是必选波段,其次是 3、2、1 波段。

2.2 光谱特征分析

2.2.1 归一化植被指数

归一化植被指数(NDVI)是近红外波段与可见光波段之差和近红外波段与可见光波段之和的比值。ALOS 数据中,近红外波段、红光波段分别为 Band4、Band3,计算公式为:

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad (1)$$

2.2.2 主成分分析

主成分变换的目的是把多波段信息压缩在少有的几个波段上,即达到压缩数据量,又增强图像信息的作用。如表 4,经主成分变换后,ALOS 原 4

波段信息集中在前三分量。

表 4 ALOS 数据主成分变换

Table 4 Principal component transform of ALOS data

特征向量	PCA1	PCA2	PCA3	PCA4	特征值
PCA1	0.572	0.440	0.504	0.474	12 768.037
PCA2	0.057	0.383	0.388	-0.836	121.380
PCA3	-0.818	0.328	0.385	0.273	30.798
PCA4	-0.007	0.743	-0.669	0.029	2.107

2.2.3 最佳波段合成

通过归一化植被指数、比值植被指数和主成分变换,得到不同意义的新波段。为利用新波段的信息,合成具有 9 个波段的新数据顺序如表 5 所示。

表 5 ALOS 波段合成所形成的新数据

Table 5 New data formed by bands composite of ALOS image

波段顺序	新数据	波段顺序	新数据
1	Band1	6	PCA1
2	Band2	7	PCA2
3	Band3	8	PCA3
4	Band4	9	PCA4
5	NDVI		

为便于遥感信息提取,需进行 3 波段假彩色合成。本文采用最佳指数法(OIF)对最佳假彩色合成方案进行预选。它将相关系数和标准差有效地结合,为遥感影像波段特征分析提供依据。对于 ALOS 影像 4 波段,先分别求出各波段标准差和相关系数,再求出所有 3 波段组合的 OIF,OIF 越大,则其包含的信息量越丰富;反之越少。最后对 OIF 值排序,即可选出最佳组合。新合成的 9 波段数据有 84 种组合,经计算排序选前 20 种组合,结果如表 6。

表 6 ALOS 影像 OIF 指数及排序

Table 6 Index and order of OIF of ALOS image

组合	OIF	排序	组合	OIF	排序
1,3,5	63.497 411 2	1	2,3,5	58.842 465 0	11
1,5,7	62.964 639 1	2	4,5,7	58.486 151 2	12
1,4,5	61.551 495 3	3	2,5,7	58.420 613 3	13
1,2,5	61.110 602 3	4	3,5,6	58.364 215 0	14
3,5,7	60.792 510 5	5	1,2,7	58.305 008 9	15
1,3,7	60.679 123 2	6	1,2,3	58.266 282 0	16
1,5,6	60.534 791 3	7	1,3,6	58.221 923 0	17
1,3,4	59.530 513 6	8	1,6,7	57.857 301 1	18
3,4,5	59.488 190 3	9	5,6,7	57.539 498 1	19
1,4,7	58.988 094 5	10	1,5,8	57.147 882 7	20

由上表可知,最佳波段组合为 1-3-5,其次为 1-5-7、1-4-5。经 RGB 波段合成发现,虽 1-3-5 波段具有最大的 OIF,但其信息量、地类区分度及色彩丰富度均不如 4-3-2 波段。最后确定参与 ALOS 影像监督分类的波段为:Band2、Band3、

Band4、NDVI 和 PCA1 5 个波段。

2.2.4 典型地物光谱特征分析

将已处理好的采样点文件分别叠置到遥感影像上,针对每一地类采样,计算其样本灰度均值,最后得到每种地类在 9 波段上的光谱特征统计,结果如表 7。

表 7 各种地物类型光谱特征统计

Table 7 Spectral characteristic statistics of various vegetation land category types

不同波段	地物类型								
	针叶林	阔叶林	竹林	灌木林	农田	水体	裸土地	城镇建设用地	
Band1	最大值	131	136	139	139	144	153	149	184
	最小值	113	113	126	121	127	126	132	125
	平均值	123.507	122.309	132.568	130.395	137.123	138.090	141.277	141.551
	均方差	2.952	2.862	2.233	3.004	2.412	5.216	2.228	6.392
Band2	最大值	101	102	113	114	120	139	134	162
	最小值	73	72	94	88	100	85	108	97
	平均值	85.486	85.192	103.734	100.261	108.496	110.350	121.882	117.421
	均方差	4.086	4.701	3.330	5.088	3.472	12.931	3.328	7.752
Band3	最大值	111	122	131	127	134	151	156	165
	最小值	88	87	107	100	114	98	126	111
	平均值	97.192	98.465	116.422	111.746	123.386	118.870	139.968	130.712
	均方差	3.618	5.902	3.715	4.702	4.302	11.899	3.359	6.111
Band4	最大值	140	139	126	141	102	102	128	128
	最小值	67	63	93	97	68	54	96	75
	平均值	99.203	110.147	106.692	118.708	84.082	71.564	107.678	94.718
	均方差	15.331	16.816	6.214	7.437	6.681	9.719	4.663	6.739
NDVI	最大值	0.198	0.203	0.038	0.134	-0.121	-0.123	-0.057	-0.061
	最小值	-0.166	-0.250	-0.103	-0.079	-0.257	-0.340	-0.171	-0.242
	平均值	0.005	0.050	-0.044	0.030	-0.191	-0.250	-0.131	-0.160
	均方差	0.075	0.082	0.033	0.037	0.025	0.038	0.017	0.023
PCA1	最大值	168	167	152	166	125	122	148	156
	最小值	101	95	120	124	97	86	117	98
	平均值	128.953	138.414	131.951	144.361	109.924	99.340	127.211	118.730
	均方差	13.723	15.343	6.113	7.027	4.935	6.941	3.907	7.009
PCA2	最大值	123	121	119	129	104	110	129	139
	最小值	61	63	87	89	72	55	100	81
	平均值	89.729	97.747	103.236	111.139	87.303	80.169	110.926	99.648
	均方差	12.404	13.151	5.532	6.834	6.230	12.754	4.182	7.843
PCA3	最大值	137	146	132	141	117	123	150	149
	最小值	71	73	104	104	81	63	112	92
	平均值	102.041	112.782	115.878	124.160	99.201	84.396	127.454	110.416
	均方差	13.945	15.415	5.426	6.538	8.048	12.286	5.329	6.779
PCA4	最大值	177	178	138	171	91	86	130	149
	最小值	50	35	85	93	38	19	79	47
	平均值	103.571	123.042	106.185	129.885	62.326	40.549	96.403	80.603
	均方差	27.147	30.108	10.950	13.073	10.429	12.910	7.777	15.300

2.3 决策树分类

基于上述光谱特征分析,论文 ALOS 影像决策树算法的构建思想如下:首先,利用 NDVI 值将林地

与非林地分开,再结合原始波段、主成分四分量和 NDVI 设定合适的阈值,将研究区典型地物逐级分类。利用 ENVI 4.7 软件建立决策树模型,如图 1。

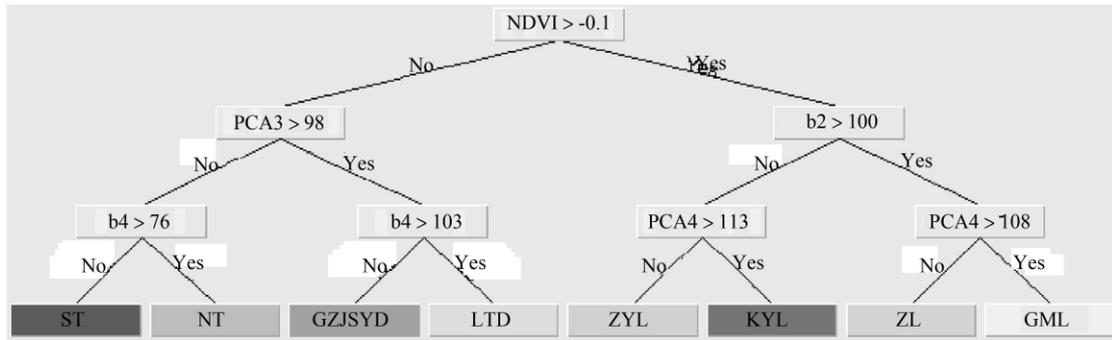


图 1 研究区 ALOS 影像决策树模型

Fig. 1 Decision tree model of ALOS image in study region

模型中，“ST”表示水体，“NT”表示农田，“CZJSYD”表示城镇建设用地，“LTD”表示裸土地，“ZYL”表示针叶林，“KYL”表示阔叶林，“ZL”表示

竹林，“GML”表示灌木林。

根据决策树进行分类，结果见图 2(a)，并同时采用最大似然法进行分类，结果如图 2(b)。

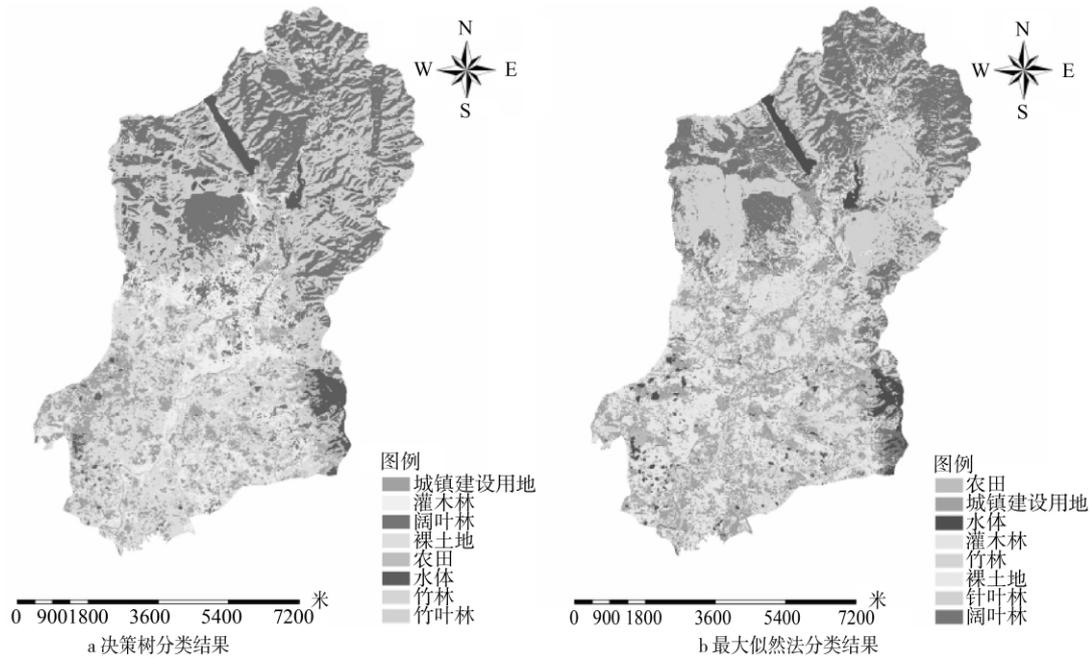


图 2 分类结果比较

Fig. 2 Two classification results of ALOS image in study region

从图 2 可以看出，采用决策树算法的分类效果明显优于最大似然法。

2.4 精度评价

精度评价运用基于混淆矩阵的统计方法，考虑研究区实际情况，采用随机分层抽样方法。在研究

区内，取 497 个地面验证点数据，结合遥感影像、地面调查数据及平南县 2009 年森林资源二类调查结果，确定每一样点真实类别，与分类结果对比，从而建立混淆矩阵对其进行精度评价，结果见表 8、表 9。

表 8 基于 ALOS 数据的决策树分类混淆矩阵

Table 8 Confusion matrix derived from decision tree based on ALOS data

地类	分类数据								行和	制图精度
	ZYL	KYL	ZL	GML	ST	NT	LTD	CZJSYD		
ZYL	113	7	2	3	0	0	0	0	125	90.40%
KYL	4	104	3	7	0	0	0	0	118	88.14%
ZL	1	5	37	2	0	0	0	0	45	82.22%
GML	2	1	3	53	0	4	0	0	63	84.13%
ST	0	0	0	0	16	0	0	0	16	100.0%
NT	0	0	0	2	0	15	0	0	17	88.24%
LTD	0	0	0	0	0	1	61	2	64	95.31%
CZJSYD	0	0	0	0	0	0	1	48	49	97.96%
列和	120	117	45	67	16	20	62	50		
用户精度	94.17%	88.89%	82.22%	79.10%	100.00%	75.00%	98.39%	96.00%		
总体精度:89.94% Kappa 系数:0.8787										

表 9 基于 ALOS 数据的最大似然分类混淆矩阵[†]

Table 9 Confusion matrix derived from maximum likelihood based on ALOS data

地类	分类数据								行和	制图精度 /%
	ZYL	KYL	ZL	GML	ST	NT	LTD	CZJSYD		
ZYL	112	6	2	5	0	0	0	0	125	89.60
KYL	7	99	3	8	1	0	0	0	118	83.90
ZL	1	5	36	3	0	0	0	0	45	80.00
GML	2	5	7	45	0	4	0	0	63	71.43
ST	0	0	0	0	15	1	0	0	16	93.75
NT	0	0	0	4	0	13	0	0	17	76.47
LTD	0	0	0	0	0	0	61	3	64	95.31
CZJSYD	0	0	0	0	0	0	1	48	49	97.96
列和	122	115	48	65	16	18	62	51		
用户精度	91.80%	86.09%	75.00%	69.23%	93.75%	72.22%	98.39%	94.12%		
总体精度:86.32%;Kappa 系数:0.8351										

[†] “ST”表示水体,“NT”表示农田,“CZJSYD”表示城镇建设用地,“LTD”表示裸土地,“ZYL”表示针叶林,“KYL”表示阔叶林,“ZL”表示竹林,“GML”表示灌木林。

决策树法分类精度较监督分类有很大提高,其中阔叶林分类精度达 88.14%,高于最大似然法精度 83.90%。且水体、裸土地、城镇建设用地这三类区分精度较高,制图精度与用户精度均达到 95%以上。森林类型识别精度相对非植被略低,主要是研究区植被分布较破碎,界限不明显,存在一定的植被非植被混交过渡带。

虽然最大似然法阔叶林分类精度达 83.90%,但对竹林、灌木林、农田等分类误差较大,尤其农田和灌木林仅仅是面积和形状的区别,光谱差异较小,故存在错分和漏分现象,两类识别精度较低。而决策树分类法不仅利用了光谱信息,还加入了归一化植被指数和主成分分析,分类效果显著。

3 结 论

本文以广西平南县的 ALOS 影像为数据源,在影像波段和光谱特征分析基础上,通过构造决策树分类算法,开展森林类型识别研究。主要结论如下:

(1) ALOS 数据 4 波段中,波段 1、2、3 相关性显著,而波段 4 与其他波段相关性较低,其具有较大的独立性,在进一步遥感信息提取中是必选波段;

(2) 通过分析 ALOS 影像原始波段发现,各森林类型在部分波段上光谱特征相近,不易区分。但加入 NDVI 及 PCA 后,类间区分度明显增加,从而为构造森林类型遥感识别算法的波段组合提供依据;

(3) ALOS 数据决策树分类算法总体精度达

89.94%, Kappa 系数 0.8787, 与最大似然法相比, 分类精度显著提高, 说明根据 ALOS 影像光谱特征规律, 采用决策树算法选择合适的阈值提取森林信息是可行的;

(4) 最大似然法阔叶林提取精度达 83.90%, 但竹林、灌木林、农田等提取误差较大, 依然存在错分和漏分现象, 而决策树算法可以降低混合分类现象, 提高森林类型识别精度。

参考文献:

- [1] Jazz K. World forest resources assessment [J]. An Overview Unsilver, 1990, 44(174): 1-15.
- [2] Smith W B. Forest inventory and analysis: a national inventory and monitoring program [J]. Environmental Pollution, 2002, 116(1): 233-242.
- [3] 徐冠华, 田国良, 王超, 等. 遥感信息科学的进展与展望 [J]. 地理学报, 1996, 51(5): 385-397.
- [4] Reese H, Nilsson M, Peahen TG, et al. Countrywide estimates of forest variables using satellite data and field data from the national forest inventory [J]. Ambo, 2003, 32(8): 542-548.
- [5] Michael A W, Werner A K, Mark G. National level forest monitoring and modeling in Canada [J]. Progress in Planning,

2004, 5(61): 365-381.

- [6] 舒清态, 唐守正. 国际森林资源监测的现状与发展趋势 [J]. 世界林业研究, 2005, 18(3): 33-37.
- [7] Bingham E, Gallo I, Pope M. A neural adaptive model for feature extraction and recognition in high resolution remote sensing imagery [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(20): 3947-3959.
- [8] 王璐, 刘艳华, 刘振华, 等. 基于基本竞争型神经网络的 TM 影像分类研究 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(8): 154-160.
- [9] 全志杰, 黄林, 毛晓利, 等. 森林立地条件遥感分类自组织神经树模型研究 [J]. 林业资源管理, 1997, (5): 68-71.
- [10] 陈君颖, 田庆久. 高分辨率遥感植被分类研究 [J]. 遥感学报, 2007, 11(2): 221-227.
- [11] Bernad G P, Denise L, Refregier P. Hierarchical feature-based classification approach for fast and user-interactive SAR image interpretation [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2009, 6(1): 117-121.
- [12] Schowengerdt R A. Remote sensing methods for image processing [M]. Academic Press, 1997: 117-125.
- [13] 孙华, 林辉, 莫登奎, 等. 面向对象的决策树分类技术 [J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(3): 44-48.

[本文编校: 吴毅]

(上接第 17 页)

- [6] 梁继, 王建. Hyperion 高光谱影像的分析与处理 [J]. 冰川冻土, 2009, 31(2): 247-253.
- [7] 张秋爽, 祝民强, 刘碧洪. Hyperion 高光谱遥感数据大气校正方法 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(1): 220-222.
- [8] 田丰, 杨苏明, 王润生. EO-1 Hyperion 高光谱数据 FLAASH 模块大气纠正 [J]. 新疆地质, 2010, 28(1): 109-112.
- [9] 聂爱秀, 张立亭, 陈竹安. 大气校正方法及其在高光谱影像 Hyperion 中的应用 [J]. 东华理工学院学报, 2007, 30(2): 157

-160.

- [10] 谭炳香, 李增元, 陈尔学, 等. EO-1 Hyperion 高光谱数据的预处理 [J]. 2005(6): 36-41.
- [11] 沈艳, 牛铮, 陈方, 等. 基于经验线性法的 Hyperion 高光谱图像地表反射率反演研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(1): 27-31.

[本文编校: 谢荣秀]