

文章编号:2095-6134(2015)06-0797-06

基于缨帽变换与匹配滤波的 大熊猫生境影像分类*

杨娅楠^{1,2,3}, 习晓环^{1,2†}, 王 成^{1,2}, 王金亮³, 曾鸿程⁴

(1 中国科学院遥感与数字地球研究所 数字地球重点实验室, 北京 100094;

2 联合国教科文组织国际自然与文化遗产空间技术中心, 北京 100094;

3 云南师范大学旅游与地理科学学院, 昆明 650500; 4 加拿大多伦多大学地理与规划系, 多伦多 M5S 3G3)

(2014 年 12 月 4 日收稿; 2015 年 5 月 20 日收修改稿)

Yang Y N, Xi X H, Wang C, et al. Image classification for giant panda habitat using tasseled cap and matched filtering methods[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2015,32(6):797-802.

摘 要 在卧龙大熊猫自然保护区,难以获取高质量的光学遥感影像,加之地形和植被类型复杂多样,地物分类精度低,对利用遥感技术研究大熊猫生境造成了困难.为此,本工作探究一种提高遥感分类精度的方法.首先分别利用缨帽变换和匹配滤波方法提取影像的亮度、绿度、湿度和丰度等特征,建立基于多特征数据的决策树分类规则进行分类,最后利用野外实测数据对分类结果进行验证.研究表明:绿度特征对提取林地非常有效,湿度分量可以区分草甸与灌丛,亮度特征则提高了雪地的分类精度.匹配滤波可以实现混合像元分解,去除部分噪声并快速探测目标地物的波谱特征.基于多特征数据决策树遥感分类的总体精度达到 83.33%,比传统的最大似然法分类精度提高 8.67%.本文方法在卧龙大熊猫自然保护区等地物分类中取得了较好的应用效果.

关键词 影像分类; 缨帽变换; 匹配滤波; 决策树; 大熊猫生境

中图分类号:TP79 文献标志码:A doi:10.7523/j.issn.2095-6134.2015.06.011

Image classification for giant panda habitat using tasseled cap and matched filtering methods

YANG Yanan^{1,2,3}, XI Xiaohuan^{1,2}, WANG Cheng^{1,2}, WANG Jinliang³, ZENG Hongcheng⁴

(1 Key Laboratory of Digital Earth, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

2 International Centre on Space Technologies for Natural and Cultural Heritage under the Auspices of UNESCO, Beijing 100094, China;

3 School of Tourism and Geographical Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China;

4 Geography and Planning Department, University of Toronto, Toronto M5S 3G3, Canada)

Abstract It is difficult to acquire optical remote sensing images with good quality in Wolong nature reserve because of the weather conditions. Meanwhile, the terrain is very complex and the species are very rich, which leads to poor classification results when using Landsat TM data to study the

* 国家科技部国际科技合作专项(2013DFG21640)和中国科学院百人计划专项(09ZZ06101B)资助

† 通信作者, E-mail: xixh@radi.ac.cn

panda's habitat. In this work, an effective classification method is proposed to improve classification accuracy. First, three features including greenness, brightness, and wetness are extracted from Landsat TM image by tasseled cap transformation. Second, the abundance index is deduced by matched filtering method. Then, the rules for decision tree are established by combining the results of the tasseled cap and matched filtering methods, and used to map the land use classification distribution in the study area. Finally, the classification results are validated by field measurements. The results show that the greenness is an effective measurement for extracting forest, wetness can distinguish between meadow and shrub, and brightness can improve the classification accuracy for snow. A matched filtering method for spectral unmixing removes image noise and effectively detects the spectra of targets. The overall accuracy of the decision tree classifier reaches 83.33%, which is 7.67% higher than that of the maximum likelihood classifier. This method improves the effectiveness and accuracy of image classification in Wolong nature reserve for giant pandas.

Key words image classification; tasseled cap; matched filtering; decision tree; giant panda habitat

目前利用遥感影像进行地物分类已经从利用单一数据源的简单分类器向多源数据融合的专家智能分类器发展,不仅充分利用遥感数据的光谱和纹理信息,而且辅以非遥感等信息来提高分类精度.专家决策智能分类器能够模拟部分人脑结构和功能,依据逻辑推理关系,按照根节点到一系列内部节点、最后到终级节点逐级细分的规则,将数据集划分为多个子集.与最大似然法相比,专家决策分类方法不需要假设先验概率分布即可生成结构清晰且易于理解的规则,便于判断和修正,对处理大数据量遥感影像有优势^[1].因此,从传统单一分类器向专家系统智能分类器发展,可以提高分类的科学性和效率^[2-3].

多源信息以及多种遥感图像特征融入专家决策树分类,可以有效提高分类精度.于菲菲等^[4]基于多特征蚁群智能优化算法将 NDVI 和 DEM 信息加入分类规则,对青海东部平安县土地利用/土地覆盖智能分类,总体精度达到 88.85%.刘娟等^[5]对 TM 数据进行主成分分析、缨帽变换(tasseled cap)等处理,结合高程、坡度、坡向等信息,对青海湖流域进行土地利用分类,总体精度达到 91.76%.Healey 等^[6]将缨帽变换数据运用于华盛顿森林结构的干扰监测,可以很好地保存林地信息.张景奇等^[7]利用缨帽变换技术对黑龙江大庆地区的 TM 影像进行处理,提取高精度的地表水体信息.汪艳和董张玉^[8]在芜湖市地区采用 IKONOS 数据提取植被信息,对比 NDVI 指数与缨帽变换的分类结果,表明基于缨帽变换的分类精度较高.但是这些

分类都是基于一般像元的光谱信息分析,很少考虑混合像元造成的误差.利用光谱分解技术进行光谱分析,分离混合像元可以降低遥感分类误差,目前比较常见的光谱分解模型是线性波谱分解模型.宋慧^[9]对济南市卧虎山水库流域 2002 年 ETM+ 遥感影像进行线性混合像元分解,提取地物覆盖丰度图像,结果与野外验证吻合较好.但是线性光谱分解技术对端元光谱的完整性要求较高,实际中影像很难达到足够的端元光谱数量.匹配滤波技术(matched filtering, MF)则更具科学性,只需选定某些感兴趣的端元,然后将未知端元光谱归为背景光谱^[10].

目前,滤波匹配技术主要用于地质矿产勘查工作^[11-13],遥感分类应用很少.本文以卧龙大熊猫自然保护区为研究对象,结合匹配滤波和缨帽变换方法建立专家决策树,充分利用遥感图像地物的光谱特征、几何结构等多种信息,解决分类过程中地物分类错误以及混合像元对分类结果造成的误分现象,提高遥感影像分类的精度.

1 实验区与数据

1.1 实验区

卧龙自然保护区是我国第三大国家级自然保护区(图 1),地形起伏明显,地势高差较大,最高、低海拔分别为 6 250 m 和 1 150 m^[14],地质构造复杂,多为断裂和褶皱地形,山体坡度普遍较为陡峭.该区域为典型亚热带内陆气候,年均湿度大,终年有积雪覆盖,林地面积范围大,占整个研究区的 77%.

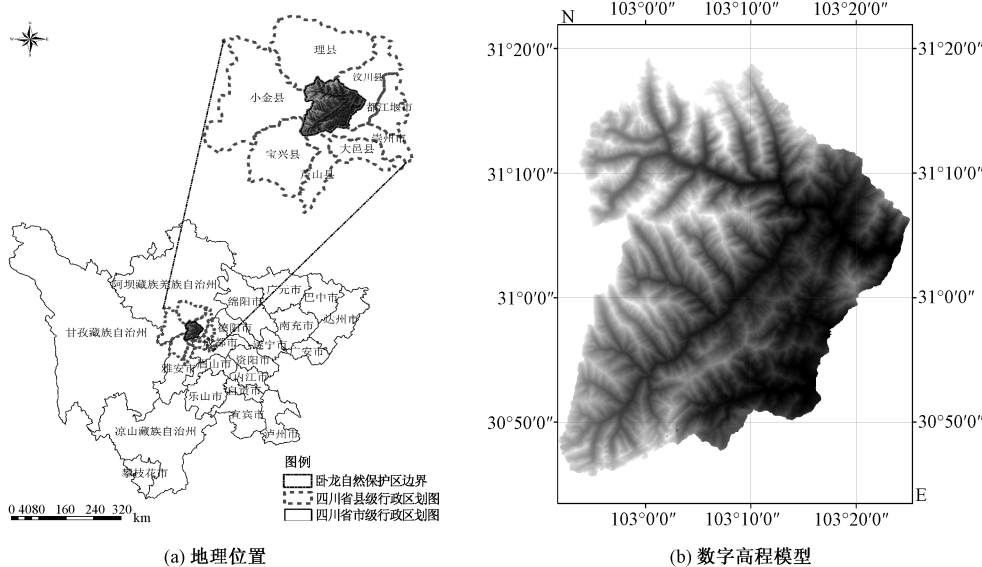


图1 卧龙大熊猫自然保护区地理位置和数字高程模型
Fig.1 Map of Wolong nature reserve location (a) and DEM (b)

1.2 数据

本文采用的两景 Landsat TM 数据来自中国科学院遥感与数字地球研究所的数据共享网站,轨道号分别为 130/38 和 130/39,时间均为 2010 年 3 月 18 日,无云;影像经过辐射定标和几何校正,精度达到研究要求。

1.3 遥感分类体系

参照《中华人民共和国土地利用现状分类国家标准》、卧龙保护区实际情况以及研究目的,将研究区土地覆盖类型分为雪地、林地、草甸、灌丛、流石滩 5 类。

2 研究方法

2.1 缨帽变换

根据多光谱遥感图像中土壤、植被等信息在多维空间中的分布结构,通过对多光谱波段进行线性正交变换、多维空间旋转,消除多光谱图像相

对光谱响应的相关性^[15],将植被和土壤信息投影到多维空间中,且植被信息面垂直于土壤信息面,达到分离植被特征与土壤特征的目的。

缨帽变换的数学表达如下

$$U = R^T x + r,$$
 (1)

式中, U 为变换后的向量, R 为缨帽变换系数, x 为不同波段灰度值, r 为常数偏移量. 缨帽变换是一种特殊的主成分变换且变换系数固定,经过变换得到单独的灰度图像,但由于其转换依赖于传感器,不同传感器转换系数不同^[16]. 因此,研究数据在 ENVI5.0 软件进行缨帽变换时,需要根据 TM 影像的光谱反射率建立波段的相关系数矩阵,其缨帽变换系数^[17]如表 1. 经过缨帽变换得到 6 个波段的灰度特征分量,亮度特征是各个波段亮度值的线性函数,绿度特征是植被信息的分量,湿度特征是对土壤和水分的敏感程度^[18],其他分量为噪音。

表1 TM 图像缨帽变换系数

Table 1 Tasseled cap transformation coefficients of TM image

指数	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
亮度 (brightness)	0.303 7	0.279 3	0.474 3	0.558	0.508 2	0.186 3
绿度 (greenness)	-0.284 8	-0.243 5	-0.543 6	0.724 3	0.084 0	-0.180 0
湿度 (wetness)	0.150 9	0.197 3	0.327 6	0.340 6	-0.711 2	-0.457 2
第 4 分量 (fourth)	-0.824 2	-0.084 9	0.439 2	-0.580	0.201 2	-0.276 8
第 5 分量 (fifth)	-0.328 0	-0.054 9	0.107 5	0.185 5	-0.435 7	0.808 5
第 6 分量 (sixth)	0.108 4	-0.902 2	0.412 0	0.057 3	-0.025 1	0.023 8

2.2 匹配滤波

基于匹配滤波器设计 MF 模型(图 2),通常包括利用先验光谱信息抑制未知信息、提取感兴趣目标信息并消除噪声的信息滤波处理,主要作用有 2 个:一是增强滤波器输出的有用信号;二是抑制信号的外噪声,降低滤波器输出的噪声,减小

对信号判决的影响^[12]. 在成像光谱图像处理中,匹配滤波通过对局部像元光谱分解进而求解端元光谱丰度值,该方法将已知端元波谱的响应最大化并抑制未知背景,最后匹配已知波谱快速探测特定要素,找到物质的“假阳性”^[19].

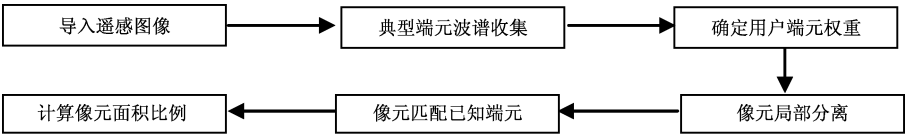


图 2 匹配滤波模型分解混合像元流程
Fig. 2 Flow chart of unmixing pixel using matched filter model

利用 ENVI 5.0 软件选取可分离性较高的训练样本,建立影像自身端元波谱;基于光谱匹配的滤波方法,在计算背景前移除反常像素,设置背景阈值对空间背景的统计,输出图像的协方差以降低背景与噪声的影响^[20],得到匹配滤波对混合像元的分类.

3 结果与分析

将遥感影像基于缨帽变换和匹配滤波的方法进行处理,提取所需特征信息,建立决策树规则,对研究区进行分类.

3.1 分类数据提取

3.1.1 缨帽变换图像分析

从缨帽变换得到的前 3 个分量提取遥感图像信息(图 3(a)). 研究区土地覆盖类型亮度特征

均值范围在 0 到 495 之间,较为明显的雪地,其平均亮度值达到 180 以上,其次为草甸,均值达到 100,而林地的亮度值最低. 湿度特征变化在 -150 到 150 之间,草甸的湿度平均值低于 -50,灌丛和林地湿度平均值都大于 0,雪地湿度较高,平均值大于 50. 绿度特征曲线反映可见光波段绿色植物光合作用吸收对近红外波段植物强反射作用的响应,研究区该特征明显的是林地,均值大于 0,其他土地覆盖类型均值小于 0,因此可明显区别林地.

3.1.2 匹配滤波像元分解

滤波匹配处理输出各端元对应的灰阶图像(图 3(b)),影像 DN 值都在 0~1 之间,像元值越接近于 1,端元组分相对含量越高,像元与端元匹配程度也越高.

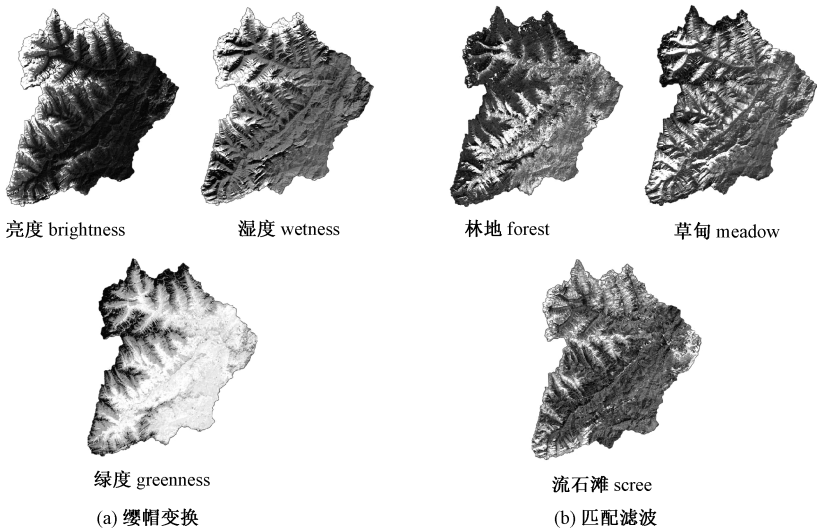


图 3 缨帽变换与匹配滤波处理结果

Fig. 3 Results of tasseled cap transformation (a) and matched filter (b)

3.2 建立决策树分类规则

根据不同地物类型的特征统计值,通过人机交互方式目视解译并反复修改分类节点阈值,对比不同阈值分类结果,不断调整决策树规则来提高分类精度.

首先提取特征较为明显的雪地,雪地亮度、湿度较高,设置决策规则为亮度大于180和湿度大于90,匹配滤波像元丰度值大于0,能够较好提取雪地.依据特征明显的次序首先提取林地,林地绿度和湿度特征均大于0,匹配滤波像元丰度值大

于0.2.草甸在湿度特征上与灌丛和流石滩易于区别,因此设置湿度小于-30,匹配滤波像元丰度大于0.3可提取草甸.灌丛与流石滩仅仅通过缨帽变换阈值的设定很难区分,结合滤波匹配像元丰度值的设定以及人工目视解译的修改,最后达到分类精度的要求.

将人工智能决策树分类方法应用于经过缨帽变换和匹配滤波遥感图像,反复试验得到较高分类精度的决策规则.图4是本文方法与传统最大似然分类方法结果的对比.

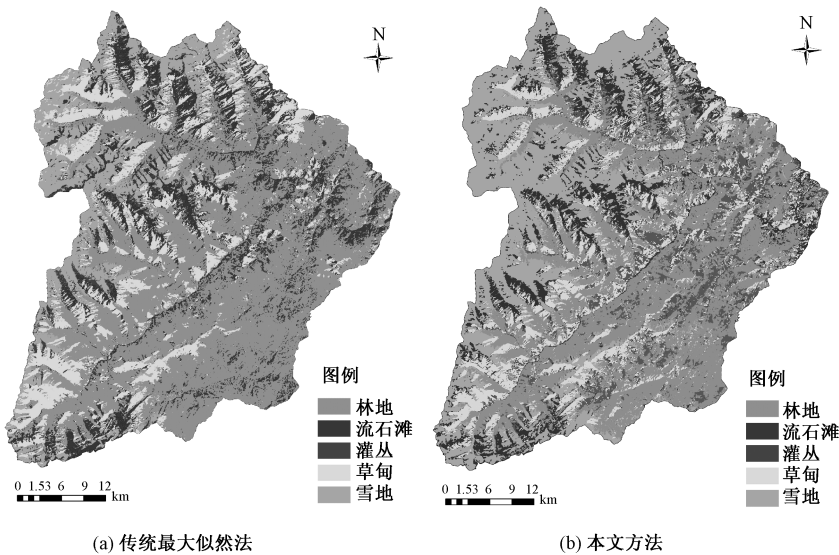


图4 传统最大似然法与本文方法分类结果对比

Fig. 4 Classification result comparison between maximum likelihood classifier (a) and the proposed method in this study (b)

3.3 分类精度评价

利用野外实地考察数据以及 Google earth 高分辨率遥感影像,选取了300个样本点验证本文的分类结果,并与最大似然法分类结果进行混淆矩阵评价(表2).结果显示,基于多特征决策树分类的精度总体高于最大似然法,草甸、灌丛、流石滩和林地正确率明显提高.其原因主要在于最大似然法分类依靠单一的光谱信息进行分类,而草甸与灌丛在光谱特征上差异较小,雪地与流石滩边缘不容易提取,导致地物分类产生一定的误差.多特征决策树利用湿度特征设置阈值,能够很好地区别草甸和灌丛;林地和山体阴影部分的光谱信息区相似,通过最大似然法分类很难确定,而绿度特征能够很好地反映植被的信息,多特征决策树加入绿度特征可以减少草甸和灌丛对林地分类的影响,提高林地

的分类精度;依据光谱值对雪地的分类会混入草甸和灌丛,基于多特征决策树综合利用湿度和亮度特征可以较好区别流石滩和草甸对雪地的影响,提高雪地分类精度.

表2 最大似然法与多特征决策树分类精度对比
Table 2 Classification accuracy comparison between maximum likelihood classifier method and multi-character decision tree method

地物类别	实际样本	最大似然法正确点	正确率/%	多特征决策树分类正确点	正确率/%
草甸	25	13	52.00	21	84.00
灌丛	30	10	33.33	19	63.33
流石滩	22	17	77.27	19	86.36
雪地	12	8	66.67	10	83.33
林地	211	176	83.41	181	85.78
合计/平均	300	224	74.67	250	83.33

4 结论

通过对遥感影像进行缨帽变换处理,提取湿度、绿度和湿度等特征,将灰度值作为决策树分类规则的阈值设定,不仅能提高植被的判别正确率,突出地物纹理特征,而且能有效消除山体阴影对林地、灌丛和草甸分类精度的影响,为建立决策树遥感分类提供参考依据.

利用匹配滤波对混合像元分解处理,抑制背景噪音,统计得到像元与端元的匹配程度,输出局部端元近似 1 的混合像元丰度,避免遥感分类中混合像元带来的误分和错分现象,提高分类精度.因此本文方法对于地形和植被覆盖复杂区域的地物分类有一定的参考价值.

在研究中发现,综合缨帽变换与匹配滤波进行地物分类,不仅突出地物光谱明显的特征分量,而且从像元角度对图像分类方法进行改善,使整个决策树规则更具有科学性和有效性.但是基于多特征数据的决策树阈值的确定受很多因素的影响,不同地形条件的波段信息有所差异,导致缨帽变换结果受到影响,整体阈值设置的统一性有所差异,因此建立多个决策规则很有必要.同时,建立混淆矩阵检验方法验证分类精度需要足够的样本数,本文在处理此类问题时样点数目偏少,导致检验存在一定误差.

本文所用验证数据的野外测量工作得到了中国科学院成都山地研究所的兰立波,中国科学院遥感与数字地球研究所的王心源、刘传胜、甄静、廖凯涛、王硕,以及电子科技大学王景先、成都理工大学的孟庆凯等的大力协助,作者在此表示衷心感谢!

参考文献

[1] 申文明,王文杰,罗海江,等. 基于决策树分类技术的遥感影像分类方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22 (3): 333-337.

[2] 曾珍,罗怀斌,范建容,等. 四川宝兴森林分布及受损特征[J]. 山地学报, 2014, 32(3): 284-292.

[3] 郭航,张晓丽. 基于遥感技术的植被分类研究现状与发展趋势[J]. 世界林业研究, 2007, 20(3): 14-19.

[4] 于菲菲,曾永年,徐艳艳,等. 基于植被分区的多特征遥感智能分类[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(1): 63-70.

[5] 刘娟,蔡演军,王瑾. 青海湖流域土壤遥感分类[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(1): 57-62.

[6] Healey S P, Cohen W B, Yang Z Q, et al. Comparison of tasseled cap-based Landsat data structures for US in forest disturbance detection[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 97(3): 301-310.

[7] 张景奇,关威,孙萍,等. 基于 K-T 变换的地表水体信息遥感自动提取模型[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9 (3): 88-92.

[8] 汪燕,董张玉. 基于缨帽变换影像融合的遥感影像植被信息提取[J]. 地理空间信息, 2013, 11(4): 85-86.

[9] 宋慧. 基于混合像元分解的土地利用分类[D]. 济南: 济南大学, 2013.

[10] 陶秋香. 植被高光谱遥感分类方法研究[J]. 山东科技大学学报, 2007, 26(5): 61-65.

[11] 甘甫平,王润生,马蔼乃,等. 基于光谱匹配滤波的蚀变信息提取[J]. 中国图象图形学报, 2003, 8(2): 147-150.

[12] 刘衍宏,刘少峰,张川,等. 基于 Hyperion 数据的粘土矿物权重信息提取研究;以江西省赣州地区为例[J]. 国土资源遥感, 2010, 22(3): 26-29.

[13] Pour A B, Hashim M, Marghany M. Using spectral mapping techniques on short wave infrared bands of ASTER remote sensing data for alteration mineral mapping in Southeast Iran [J]. International Journal of the Physical Sciences, 2011, 6 (4): 917-929.

[14] 陈利顶,刘雪华,傅伯杰. 卧龙自然保护区大熊猫生境破碎化[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 291-297.

[15] 陈利,林辉. 基于 K-T 变换和主成分变换的植被信息提取[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(6): 81-84.

[16] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 188-189.

[17] 梅安新,彭望录,秦其明,等. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 126.

[18] 戴昌达,姜小光,唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 110-113.

[19] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 356-357.

[20] 王强. Hyperion 高光谱数据进行混合像元分解研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.