

科学出版社
出版
中国地理学会环境遥感分会
中国科学院遥感与数字地球研究所
主办

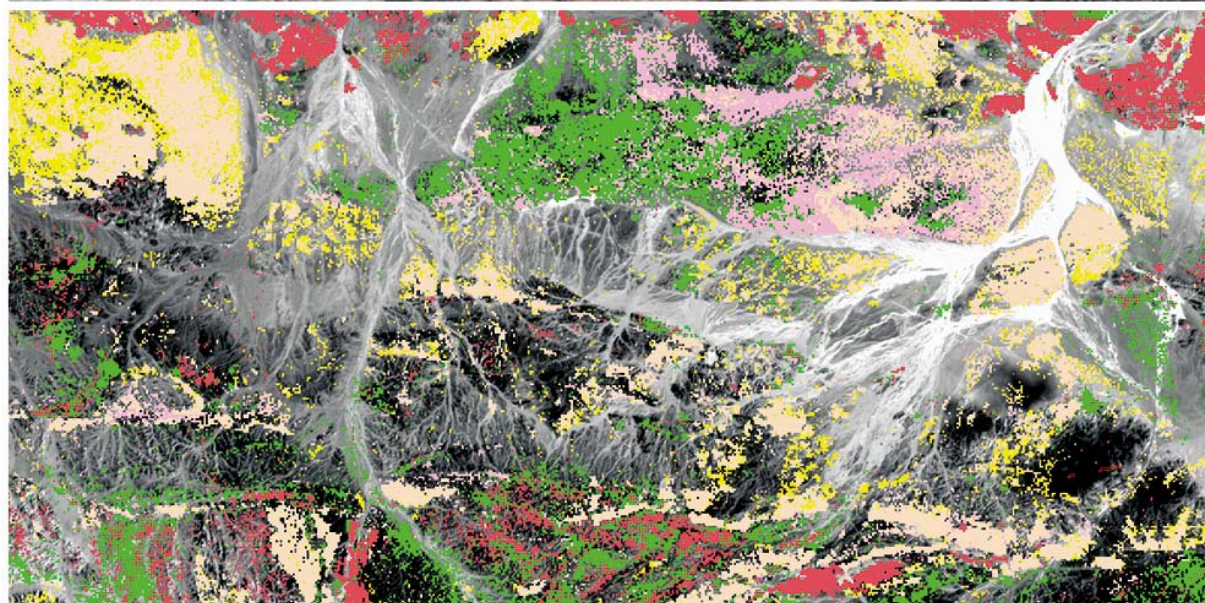
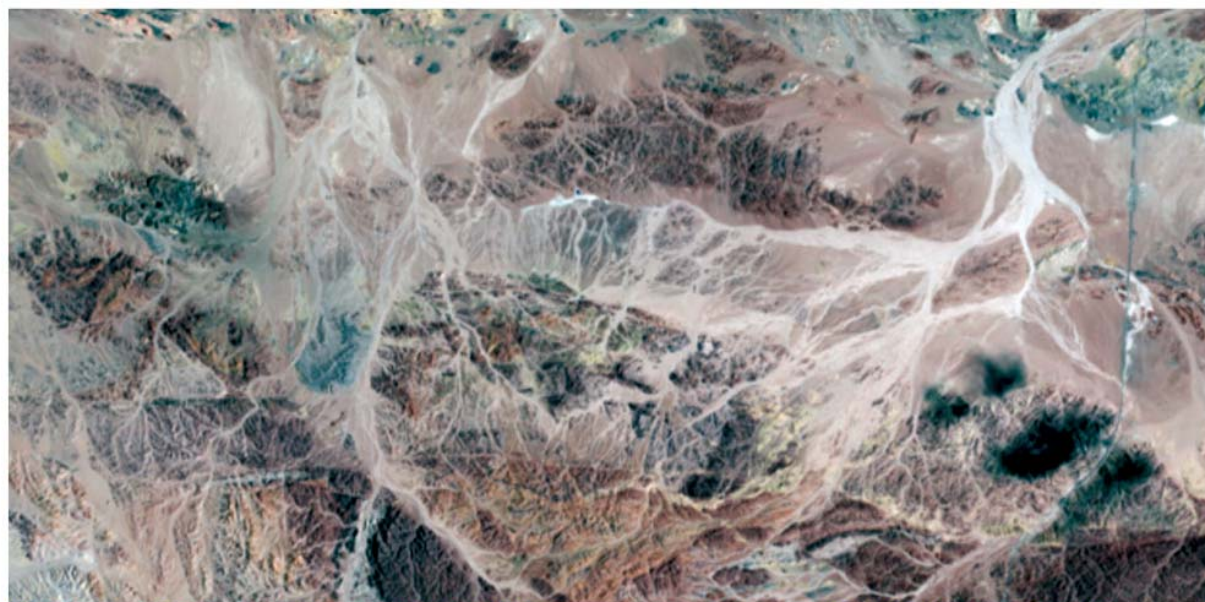
JOURNAL OF REMOTE SENSING

遥感学报

2014年 Vol.18 第18卷 增刊

ISSN 1007-4619 CN11-3841/TP CODEN YXAUAB

“天宫一号” 遥感应用专刊



中铝白云母 贫铝白云母 富铝白云母 白云石 绿泥石

遥感学报

Yaogan Xuebao

第 18 卷 增刊 2014 年

目 次

序言	(1)
综述	
天宫一号高光谱成像仪遥感应用	高铭, 张善从, 李盛阳 (2)
光谱成像技术	
高光谱成像仪发展简况	颜昌翔 (11)
可编程红外焦平面光谱成像技术研究	庄晓琼, 王晟玮, 王跃明 (20)
红外遥感自身引起的背景辐射研究	陈永和, 陈洪达, 傅雨田 (25)
红外焦平面探测器信息获取与预处理电路设计	范文龙, 董峰, 傅雨田 (30)
天宫一号超光谱仪红外谱段的实验室定标	黄小仙, 傅雨田 (35)
地面处理技术	
基于高性能计算平台的天宫一号遥感数据地面预处理系统	张万峰, 赵灵军, 刘志文 (42)
天宫一号高光谱数据辐射校正的 CUDA 并行优化	赵海娜, 吴远峰, 张兵 (49)
天宫一号高光谱成像仪系统光谱辐射校正	张文娟, 吴远峰, 刘良云, 张兵, 李绪志, 张九星 (56)
天宫一号高光谱成像仪严密成像几何模型研究	刘志文, 刘定生, 魏静波 (62)
高光谱红外谱段交叉定标与近海遥感应用试验	邢前国, 娄明静, 张九星, 李绪志, 宁吉才, 高志强 (68)
遥感应用	
面向地质应用的天宫一号成像光谱数据评价	林健, 闫柏琨, 董新丰, 杨苏明, 杨日红, 崔静, 郭鼎, 王润生 (74)
天宫一号高光谱数据相关检测法蚀变信息提取	张艮中, 吴太夏, 刘佳, 张立福, 童庆禧 (84)
天宫一号高光谱数据的船只检测实验	邹亚荣, 赵崑, 阎宇 (92)
利用天宫一号高光谱数据识别植被类型的评估研究	范应龙, 谭炳香, 东启亮 (98)
面向对象规则和支持向量机的天宫一号高光谱影像分类	李雪轲, 王晋年, 张立福, 吴太夏, 杨杭, 刘凯, 姜海玲 (107)
基于天宫一号高光谱数据与 Landsat TM 数据的湿地利用变化监测	胡勇, 刘良云 (116)
利用天宫一号和 Landsat 7 对地观测数据的森林变化检测	庞勇, 张连华, 李增元, 覃先林, 李绪志, 张九星, 刘志文 (121)
利用天宫一号高光谱红外谱段估算青藏高原地表通量与蒸散量	仲雷, 马耀明, 秦军, 傅云飞, 冯璐, 潘晓 (126)
天宫一号数据地表温度反演及其在城市热岛效应中的应用	历华, 杜永明, 柳钦火, 徐大琦, 曹彪, 蒋金雄, 王合顺 (133)
应用天宫一号高光谱红外谱段数据反演地表温度产品及验证	于文凭, 马明国 (144)
天宫一号空间应用推广服务平台介绍	(152)

JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol.18 Sup 2014)

CONTENTS

Overview

Tiangong-1 hyperspectral remote sensing and application
..... GAO Ming, ZHANG Shancong, LI Shengyang (10)

Spectral Imaging Technology

A brief introduction to the development of hyperspectral imager YAN Changxiang (19)

Study on programmable infrared hyperspectral imaging technology
..... ZHUANG Xiaoqiong, WANG Shengwei, WANG Yueming (24)

Study on background of space infrared optical system caused by self-emission
..... CHEN Yonghe, CHEN Hongda, FU Yutian (29)

Information acquisition and pre-processing circuit design of infrared focal plane detector
..... FAN Wenlong, DONG Feng, FU Yutian (34)

Calibration for the thermal band of hyperspectral imager in Tiangong-1 HUANG xiaoxian, FU Yutian (41)

Ground Processing Technology

Tiangong-1 ground-based remote sensing data preprocessing system for high-performance computing platform
..... ZHANG Wanfeng, ZHAO Lingjun, LIU Zhiwen (48)

Parallel computing for Tiangong-1 hyperspectral image radiometric normalization using CUDA
..... ZHAO Haina, WU Yuanfeng, ZHANG Bing (55)

Tiangong-1 hyperspectral imager radiometric and spectral correction
..... ZHANG Wenjuan, WU Yuanfeng, LIU Liangyun, ZHANG Bing, LI Xuzhi, ZHANG Jiuxing (61)

Rigorous geometric model of Tiangong-1 hyperspectral spectrometer
..... LIU Zhiwen, LIU Dingsheng, WEI Jingbo (67)

Radiometric cross-calibration of Tiangong-1 and MODIS infrared bands and applications in monitoring
coastal sea surface temperature
..... XING Qianguo, LOU Mingjing, ZHANG Jiuxing, LI Xuzhi, NING Jicai, GAO Zhiqiang (73)

Application of Remote Sensing

Evaluating of Tiangong-1 imaging spectrometer data oriented to geological applications LIN Jian,
..... YAN Bokun, DONG Xinfeng, YANG Suming, YANG Rihong, CUI Jing, GUO Ding, WANG Runsheng (83)

Alteration information extraction of Tiangong-1 hyperspectral data based on band correlation detection
..... ZHANG Genzhong, WU Taixia, LIU Jia, ZHANG Lifu, TONG Qingxi (91)

Ships detection from the Tiangong-1 hyperspectral data ZOU Yarong, ZHAO Wei, YAN Yu (97)

(to be continued to Inside Back Cover)

(continued from Contents page)

Assessing classification capacity of hyperspectral data of Tiangong-1 based on See5.0	
.....	<i>FAN Yinglong, TAN Bingxiang, DONG Qiliang</i> (106)
A combined object-based segmentation and support vector machines approach for classification of Tiangong-1 hyperspectral image	
.....	<i>LI Xueke, WANG Jinnian, ZHANG Lifu, WU Taixia, YANG Hang, LIU Kai, JIANG Hailing</i> (115)
Monitoring wetlands changes using Tiangong-1 hyperspectral data and landsat TM imagery	
.....	<i>HU Yong, LIU Liangyun</i> (120)
Forest change detection using Tiangong-1 and Landsat 7 earth observation data	
.....	<i>PANG Yong, ZHANG Lianhua, LI Zengyuan, QIN Xianlin, LI Xuzhi, ZHANG Jiuxing, LIU Zhiwen</i> (125)
Estimation of turbulent heat fluxes and evapotranspiration over the Tibetan Plateau from Thermal IR imaging based on Tiangong-1	
.....	<i>ZHONG Lei, MA Yaoming, QIN Jun, FU Yunfei, FENG Lu, PAN Xiao</i> (132)
Land surface temperature retrieval from Tiangong-1 data and its applications in urban heat island effect	
.....	<i>LI Hua, DU Yongming, LIU Qinhua, XU Daqi, CAO Biao, JIANG Jinxiong, WANG Heshun</i> (143)
Retrieving the high-spatial-resolution land surface temperature products from the thermal infrared domain of the Tiangong-1	
.....	<i>YU Wenping, MA Mingguo</i> (151)

面向对象规则和支持向量机的天宫一号 高光谱影像分类

李雪轲^{1,2}, 王晋年¹, 张立福¹, 吴太夏¹,
杨杭¹, 刘凯¹, 姜海玲³

1.中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101;

2.中国科学院大学, 北京 100049;

3.北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871

摘 要:传统的高光谱分类方法通常基于单一像元的光谱或纹理特征,很少考虑地物空间结构信息与空间相关特征。本文将面向对象规则与基于像元的分类进行融合,利用对象的空间结构特征和光谱特征进行混合分类,旨在克服像元层次分类的不足。本文尝试性的提出了两种混合分类方法:(1)基于分形网络演化的多尺度分割支持向量机分类(2)基于多层分水岭分割的 SVM 分类,并将这两种方法应用到天宫一号高光谱数据上。结果表明:基于面向对象规则的混合分类方法有效地提高了分类精度,不仅能够改善同谱异物现象,而且解决分类结果中地物破碎的问题。

关键词:天宫一号,高光谱分类,支持向量机,面向对象

中图分类号:TP75 **文献标志码:**A

引用格式:李雪轲,王晋年,张立福,吴太夏,杨杭,刘凯,姜海玲. 2014. 面向对象规则和支持向量机的天宫一号高光谱影像分类. 遥感学报, 18(增刊): 107-115

Li X K, Wang J N, Zhang L F, Wu T X, Yang H, Liu K and Jiang H L. 2014. A combined object-based segmentation and support vector machines approach for classification of Tiangong-1 hyperspectral image. Journal of Remote Sensing, 18(Sup): 107-115 [DOI: 10.11834/jrs.2014z16]

1 引 言

随着对地观测技术的发展,利用遥感数据获取地物信息已成为一种常用的地物信息提取手段。成像光谱技术可以获得连续电磁波信号,揭示地物丰富的光谱信息,较之全色与多光谱影像,其在地物分类与识别方面具有巨大的优势(Zhang 和 Zhang, 2005)。2011 年 9 月 29 日天宫一号的成功发射,为遥感研究带来丰富数据源,该成像仪在波段范围(覆盖可见-短波红外范围)、波段数目以及空间分辨率等成像基本参数上均具有一定优势。

支持向量机 SVM(Support Vector Machines)是一种基于统计学习理论的机器学习方法,其利用少量

的样本数据寻求最佳的学习能力和最小的模型复杂度,以期获得最优泛化能力。Pal 和 Mather (2003), Astola 等人(1990)认为 SVM 分类器要优于最大似然、单变量决策树和反向传播神经网络分类器,即便是有限数量的训练样本,它几乎不受 Hughes 影响; Melgani 和 Bruzzone(2004)研究了二值 SVM 并用于高光谱数据的多类分类,分析比较了 4 种不同的多类别策略(一对多,一对一,两种分层树形方法)发现无论使用哪种策略, SVM 都是一种有效的替代传统模式识别的方法; 谭琨和杜培军(2008)通过比较各种 SVM 核函数高光谱分类的精度,证明使用径向基核函数的分类精度最高,且优于径向基神经网络分类方法与最小距离分类方法;

收稿日期:2014-01-10;修订日期:2014-04-10

基金项目:国家科技支撑计划(编号:201113AH231301, 2011BAH23B00);载人航天工程天宫一号民用试应用项目

第一作者简介:李雪轲(1989—),女,硕士研究生,主要从事高光谱遥感分类研究。E-mail:shakerlee88@126.com

通信作者简介:吴太夏(1979—),男,副研究员,主要从事高光谱遥感分类研究。E-mail:wutx@irsa.ac.cn

黄昕等(2007)提出基于 SVM 的光谱和形状特征融合分类算法,证明 SVM 能有效利用特征空间中的光谱和空间特征,提高分类精度。但是这些分类方法通常是基于单一像元的光谱或纹理特征进行判别,对地物空间结构信息与空间相关特征的分析很少考虑。然而,地物光谱特性的复杂性以及地表组成的异质性会带来地物“同物异谱”和“异物同谱”现象,仅考虑像元级的遥感分类存在着一定的局限,往往导致大量地物分布呈破碎状。如果将面向对象规则与基于像元的分类进行融合,利用对象的空间结构特征和光谱特征进行混合分类,可以有效地克服基于像元层次分类的不足,获得更高的分类精度。目前已有一些学者进行了混合分类方法研究,Wang 等(2004)采用基于像元的最大似然分类与基于对象的最邻近分类相结合的方法(MLCNN)对 IKONOS 影像进行红树林制图;Li 等(2013)将图像分割与基于像元的最大似然分类器相融合用于 HJ-1 卫星影像土地覆盖类型的分类。因此,本文尝试性的提出了两种基于面向对象规则的混合分类方法:(1)基于分形网络演化的多尺度分割 SVM 分类(2)基于多层分水岭分割的 SVM 分类。前者通过形状、纹理、结构等信息将像元聚合为对象,后者对形态学梯度图像进行分水岭分割,然后将基于面向对象思想的分割结果与逐像元 SVM 分类结果融合,以期得到较为高效实用的高光谱分类算法。本文将这两种方法应用到天宫一号数据上,并对算法的精度和实用性验证。

2 数据与处理流程

本文所采用的数据是天宫一号高光谱 L2 级数据,其产品包括高光谱成像仪全色图像,高光谱可见近红外波段数据、高光谱短波红外波段数据。

本文使用的是 2012 年 3 月 28 日北京通州区可见近红外谱段影像,该影像大小为 385×2800 (图 1)。首先对该数据进行预处理后,利用高分辨率辅助数据获取的典型地物控制点,对研究区的高光谱可见近红外影像进行几何校正,得到各通道的辐射亮度值,然后采用基于统计意义的快速大气校正 QUAC (Quick Atmospheric Correction)模块,反演得到真实地表反射率值。

实验区包含了部分城市区域以及未开发地区

及过渡区,该区域适用于土地利用及土地覆盖分类的研究。用于分类的地物类型包括建筑物、林地、农田、草地、水体及裸土。为了真实评价各类地物,减少误差来源,本文将阴影单独提出作为一类。另外,本文利用同时间段高空间分辨率的天宫一号高光谱成像仪全色图像以及 Google Earth 影像作为辅助数据用于样本点的选取。本文采用分层随机抽样法,得到 14441 个样本像元,按比例随机将样本分为训练集和验证集,保证这两个数集与原始数集具有相同的总体类分布。大约有 1/3 的样本用于训练分类器,剩余的 2/3 用于精度评价分析。需要说明的是机器学习算法中模型的建立及调优参数都仅使用训练样本集,不涉及验证集数据。样本点信息如表 1 所示。

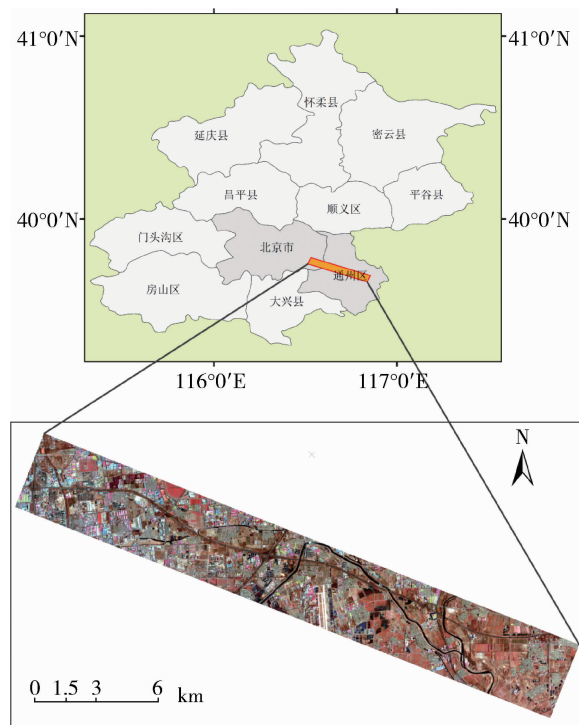


图 1 研究区影像

Fig.1 Study area

本文首先对天宫一号高光谱影像进行预处理,并利用 Minimum Noise Fraction(MNF)变换提取主要成分;然后以一定的规则进行像元级 SVM 分类(PS-VM),并在此基础上提出了两种基于面相对象规则的混合分类方法:基于多尺度分割的 SVM 分类器(MSVM)和基于多波段分水岭分割的 SVM 分类器(WSVM);最后对分类结果进行评价分析。

表 1 样本点信息
Table 1 Information of samples

类别	ID	类别描述	总体样本/像元	训练样本/像元
阴影	1	阴影建筑, 遮荫树, 阴影路面等	613	205
建筑物	2	高密度城区, 低密度城区, 道路, 机场等	2267	756
林地	3	不同种类的树木, 主要分布于道路两侧、水体周围及农作物附近	1038	346
农田	4	分布于农村地区的不同种类农作物, 通常不同作物, 不同生长阶段会呈现特有的模式	6653	2218
草地	5	不同种类天然及人造草地, 主要分布与高尔夫球场, 公园及其他休闲区	1189	397
水体	6	湖泊、溪流、河流、水库等	1512	504
裸土	7	低植被覆盖地区, 主要分布于农村及城市过渡地区	1169	390

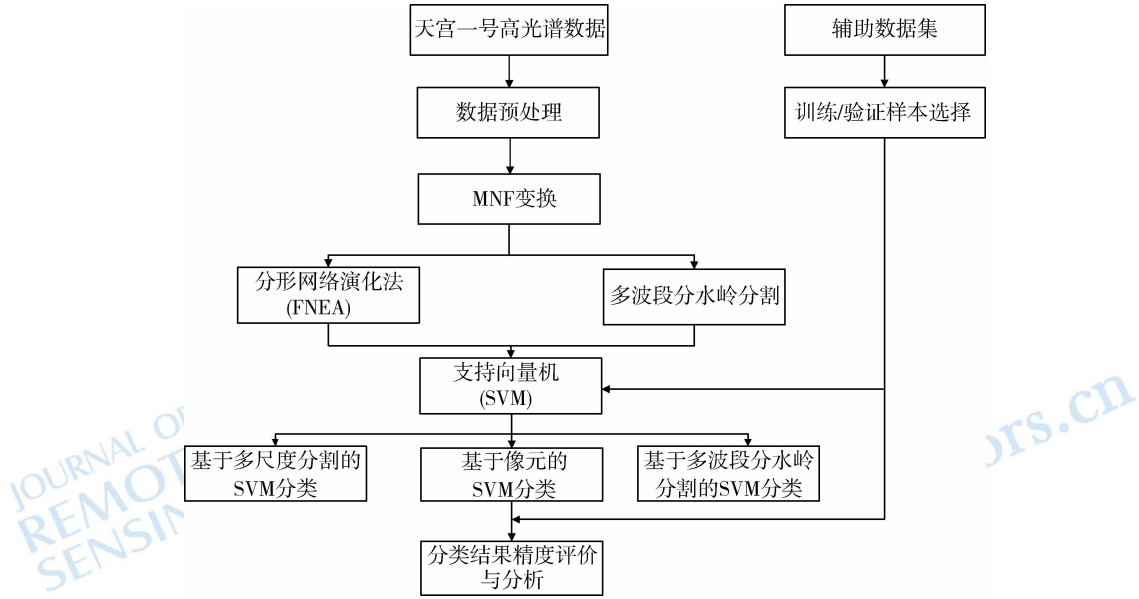


图 2 算法流程图

Fig.2 Flowchart of the algorithm

3 算法原理

3.1 基于分形网络演化的多尺度分割

分形网络演化法 FNEA (Fractal Net Evolution Approach) (Baate 和 Schäpe, 2000) 是一种基于模糊子集理论的多尺度分割算法, 其依据异质性最小原则, 利用区域生长技术不断实现光谱相似的邻域对象之间的合并增长, 从而形成一个多尺度对象网络。在该方法中, 区域异质性可以用对象间的光谱和形状差异准则进行量化, 并用式(1)表示:

$$D = w_{\text{spectral}} \cdot h_{\text{spectral}} + w_{\text{spatial}} \cdot h_{\text{spatial}} \quad 0 \leq w \leq 1 \quad (1)$$

式中, w_{spectral} 、 w_{spatial} 为描述光谱和形状差异度的权重比值; 而 h_{spectral} 、 h_{spatial} 则是光谱和形状的差异性度量值, 其通常由各种相关统计值定义的:

$$h_{\text{spectral}} = \sum_{i=1}^C W_i [N_{\text{Merge}} \sigma_{\text{Merge}} - (N_1 \sigma_1 + N_2 \sigma_2)] \quad (2)$$

式中, C 是影像波段维数, W_i 是波段的权值; $N_1, N_2, N_{\text{Merge}}$ 是子对象及合并后的对象内像元个数; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_{\text{Merge}}$ 为相应的标准差。形状的差异性度量可以由平滑量值 h_{compact} 和紧致量值 h_{smooth} 两个指标以不同的权重线性相加来描述。

$$h_{\text{spatial}} = W_{\text{compact}} \cdot h_{\text{compact}} + W_{\text{smooth}} \cdot h_{\text{smooth}} \quad (3)$$

在基于 FNEA 的多尺度分割处理中, 尺度参数决定了分割对象的大小, 直接影响到后续分类精度 (Duro 等, 2012; Myint 等, 2011)。本文主要通过反复试验并结合 ESP (Estimation of Scale Parameter) 算法来估算最优尺度, ESP 方法 (Drăgut 等, 2010) 遵循标准差一致性原则, 其认为随着分割尺寸的不断增大, 最优参数的标准差 SD (Standard Deviation) 也持续增长, 直至与真实地物趋于一致。另外, 为了直观反映尺度参数从一个对象水平到另一个对象水平的动态变化, 可以定义变化率 ROC (Rate of Change):

$$ROC = \left[\frac{L - (L - 1)}{L - 1} \right] \times 100 \quad (4)$$

式中, L 表示在目标水平处的局部方差 LV , $L-1$ 表示在下一个更低一级水平的 LV 。ROC-LV 曲线的峰值即表示最能反映真实地物的尺度水平。

3.2 基于多层分水岭分割

分水岭算法(Vincent 和 Soile, 1991)是一种基于数学形态学理论的图像分割技术,其对地物表面细微的灰度变化具有良好的响应。该方法利用所构建的分水岭线将图像分割成许多对应局部极小值的集水盆,并将这些集水盆的边界作为分割线,这一方法通常作用于梯度图像,若梯度图像中的峰值线与图像对象边界趋于一致,就确定其为分水岭的位置并将图像分割为若干对象。分水岭算法在处理过程中容易产生过度分割,为了消弱这一影响,本文采用迭代标记方法(Li 等, 2013; Hill 等, 2003; Xiao 等, 2009)使生成的集水盆只响应目标地物。首先计算梯度分割结果的均值和方差,并利用这些统计参数提取最优间隔的二值图,然后将连通闭合区域大于给定最小尺寸阈值的数目记录下来,并认为包含最大数目的连通区域的阈值分割结果为输出影像。该算法的好处在于它不必引入区域个数的先验知识,只需给定合适的最小区域大小即可。由于常规的分水岭算法要求输入数据为单波段影像,不适合高光谱数据,因此本文采用了一种适合多波段数据的多分水岭算法(Tarabalka 等, 2010)。对特征提取后的多波段影像进行向量梯度计算,并结合 Sobel 算子得到各个单波段的梯度,对于每个像元向量 $\mathbf{x}_e$,令 $\chi = [\mathbf{x}_e^1, \mathbf{x}_e^2, \dots, \mathbf{x}_e^L]$ 为结构元素的一个集合,其表示 $\mathbf{x}_e$ 的邻域,则向量间彩色形态学梯度可用如下公式计算:

$$\nabla_{\chi, d}^{CM}(\mathbf{x}_e) = \max_{i, j \in \chi} \{d(\mathbf{x}_e^i, \mathbf{x}_e^j)\} \quad (5)$$

在这里采用了欧氏距离,同时为了除去噪声的影响,本文并没有考虑距离最远的两个像元点集合 REM_p ,因此公式可以转化为:

$$\nabla_{\chi, d}^{RCM}(\mathbf{x}_e) = \max_{i, j \in [\chi^1 - REM_p]} \{\|\mathbf{x}_e^i - \mathbf{x}_e^j\|_2\} \quad (6)$$

4 实验结果

高光谱数据由于光谱维数较高以及波段之间的强相关性,若直接用于分类会增加构建分类器的难度,而且会引入噪声制约分类精度。因此在进行分类处理前,首先采用最小噪声分离变化(MNF)提

取高光谱数据的特征波段,实现光谱数据的降维,实验数据 MNF 前 4 个波段图像质量较好,且前 4 个主成分包含了 95% 以上的数据信息,后面的波段噪声较大,因此选用 MNF 转化后的前 4 个波段作为有效信息进行分类。

4.1 基于像元的 SVM 分类 (PSVM)

本文采用了径向基核函数 RBF (Radial Basis Function)(谭琨和杜培军, 2008; Hsu 等, 2003)进行 SVM 分类,该核函数将样本数据映射到高维子空间,解决了高维数据的类标签与属性成非线性的问题。RBF 中有两个调优参数:“惩罚因子”(C)与“核参数”(γ),γ 决定高斯核的宽度,其影响分类超平面的形状;C 表示离群点对目标函数损失的重视程度;在这里我们采用 LIBSVM(Chang 和 Lin, 2011)中的网格搜索算法来选择具有最佳交叉验证精度的(C, γ),其变化范围被控制在 $[10^{-3}, 200], [10^{-3}, 2]$ 。

图 3 为基于像元的 SVM 分类结果图,表 2 为分类精度评价结果。该方法的分类结果总体精度和 kappa 系数分别为 80.19% 和 0.725,各类别的制图精度从 58% 到 92% 不等,用户精度从 59% 到 91% 不等。农田和水面有着较高的分类精度,但是其余各类的分类结果不是很理想。另外,PSVM 分类存在严重的“椒盐现象”,很多建筑物类别里的道路由于其离散分布被其他类别的“斑块”所淹没。图 3 中错分类别比较明显的有本应属于农田的 A 被划分为阴影,本应属于建筑物类别的 B 被划分为裸土,林地、农田、草地混淆现象也较为严重,许多林地参照样本点被归为农田。由于光照条件受到空间、时间和环境条件变化影响,“同谱异物”和“同谱异物”现象导致基于像元光谱信息的分类处理器在一定程度上难以与真实世界地物相匹配。

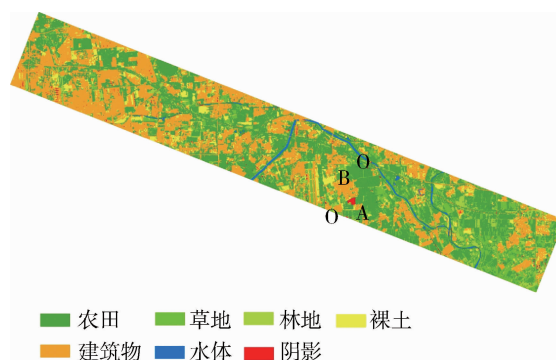


图 3 基于像元的 SVM 分类结果图

Fig 3 The result Pixel based SVM classification

表 2 基于像元的 SVM 分类混淆矩阵

Table 2 Confusion matrix of pixel based SVM classification

类别	参照样本/像元							制图精度/%	用户精度/%
	阴影	建筑物	林地	农田	草地	水体	裸土		
阴影	119	11	0	35	0	6	0	58.05	69.59
建筑物	5	475	0	10	6	4	97	62.83	79.56
林地	1	2	237	97	0	0	0	68.5	70.33
农田	56	141	108	2009	48	30	1	90.58	83.95
草地	0	0	1	46	285	0	19	71.79	81.2
水体	24	1	0	21	0	464	0	92.06	90.98
裸土	0	126	0	0	58	0	273	70.00	59.74
总体精度/%	80.19								
Kappa 系数	0.725								

4.2 基于面向对象规则的混合分类

在对天宫一号高光谱数据进行 FNEA 分割处理前,必须选择合适的分割尺度。本研究采用 ESP 估算尺度参数,取 $ROC-LV$ 曲线上第一个峰值所对应的 $scale$ 作为最优尺度,这里选取 $scale=3$, $shape=0.2$,分割后的影像如图 4 所示。对于多层分水岭分割,经过反复试验,选取 $minsize=2$,图 5 为分水岭分割结果,分水岭变换得到的分水岭线具有双边界,其上的像元没有被划为某个区域,在这里我们使用 Standard Vector Median 将分水岭上的像元归到最接近中值的邻近区域。可以看出,由于分割尺度的选取标准和选取的最佳尺度不同,两种分割结果略有不同,但是两种分割方法均产生了较理想的结果。另外,WSVM 在分割过程中仅需要输入一个最小尺度参数,在获取最优分割对象时充分利用像元的纹理特征和空间拓扑关系,减少了人为干预,而 MSVM 需要同时调用 $scale$ 和 $shape$ 两个参数,增加了人工选取的复杂性。



图 4 FNEA 分割图

Fig.4 Segmentation result based on FNEA method

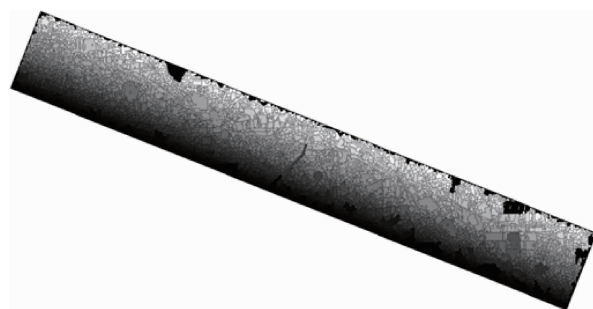


图 5 Watershed 分割图

Fig.5 Segmentation result based on watershed method

对于 FNEA 分割后的结果,采用多数投票规则将其与 SVM 分类图进行融合,结果如图 6 所示。可以看出地物基本上呈面状分布,“椒盐现象”得到很好的解决。表 3 显示了分类精度,不难发现 MSVM 分类的总体精度与 Kappa 系数较 PSVM 分类均有较大幅度提升,分别提高了 11.23%,0.156,达到了 91.42% 和 0.881。各地物的分类效果均有着

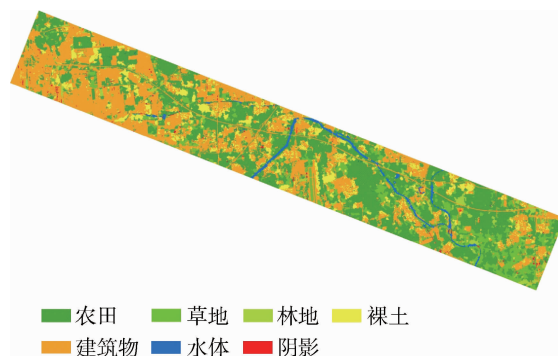


图 6 基于对象的 SVM 分类图

Fig.6 The result of MSVM classification

4.3 算法性能比较和分析

PSVM、MSVM、WSVM 3 种方法总体分类精度如图 8 所示。可以看出,传统的 PSVM 分类精度不高(总体精度 80.19%, Kappa 系数 0.725),不能有效处理光谱相似的类别,容易产生“椒盐现象”,并不适用于复杂地物类型的制图。相对于该方法,MSVM 和 WSVM 在地物精细识别中表现出了明显优势,均有着较高的总体精度(91.42%, 91.55%)和 Kappa 系数(0.881, 0.882),前者将像元光谱的可变性弱化,转化为多尺度对象单元的分类;后者融入地物空间和纹理信息,对分割的同质区域进行分类。这两种分类方法均通过引入面向对象规则有效弥补了基于像元的 SVM 分类的不足,尤其是对建筑物、裸土的识别,精度显著提高;相比之下,林地、草地的精度提高不是很明显,这可能是因为一些林地与草地分布于农田里或农田周围,导致被误分到农田对象里。但是,这些地物都呈面状分布,消弱了地物离散分布的异常性,更加符合实际分布特征,在局部范围内分类精度得到了提升。

为了对算法性能进一步分析,也尝试性的利用最大似然分类 MLC 对这 3 种算法进行验证,其分类图像如图 9。可以看出,相比于 MSVM 和 WSVM,基于面向对象规则的 MLC 混合分类方法在精度上并没有明显的提高,这可能是由于 MLC 算

法本身所引起的,该算法对训练样本也有比较高的要求,严重制约了其分类精度。但是不可否认,无论是采用 SVM 法还是 MLC 法,引入了面向对象规则的混合分类方法均要优于单纯像元级的分类,这种混合分类方法以对象为最小识别单元,将分割后的对象作为影像的另外一个信息,并与像元级分类结果融合,分类精度要远高于单纯依靠光谱或纹理的传统像元级分类。譬如,研究区内的建筑、裸地光谱信息相近,单纯依靠像元级进行分类易造成混淆,但是这些地物在对象尺度上存在着差异,如果辅以对象特征信息,可以有效提高分类精度。

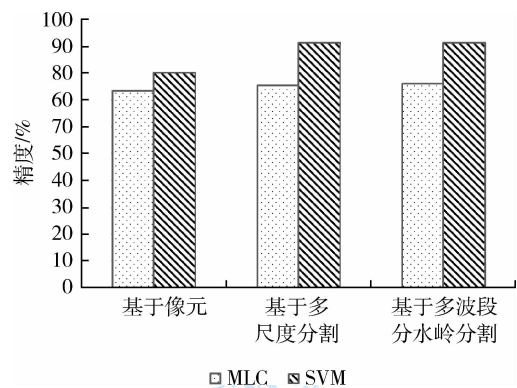


图 8 PSVM、MSVM、WSVM 3 种方法总体分类精度比较
Fig.8 Comparison overall classification accuracy based on PSVM, MSVM and WSVM

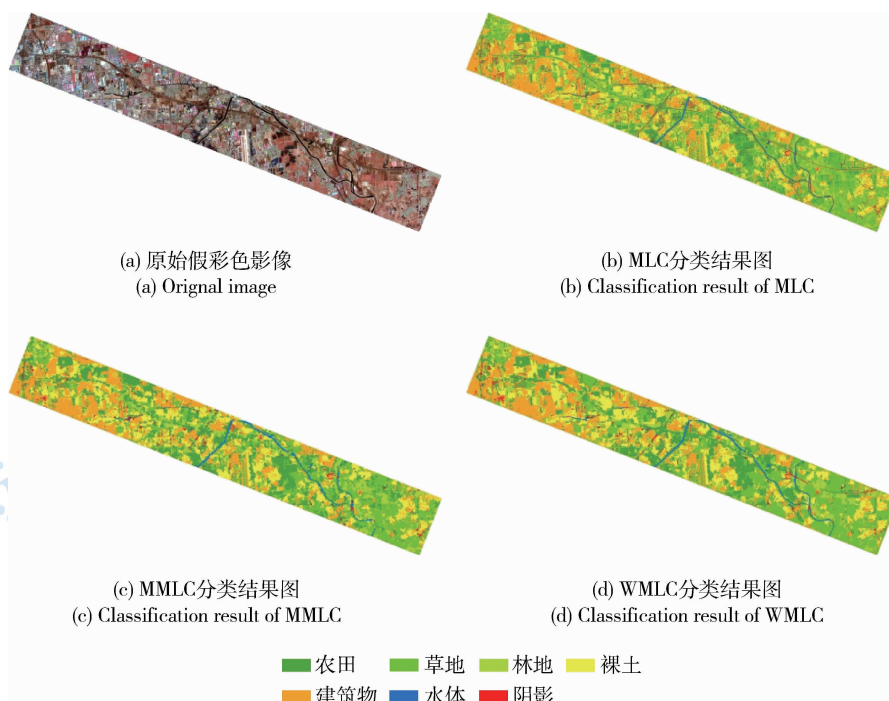


图 9 最大似然分类用于研究区分类结果

Fig.9 Classification result of maximum likelihood method

5 结 论

在传统的像元级 SVM 分类算法的基础上,尝试性的提出了两种基于面向对象规则的混合分类方法,并将其运用到北京通州地区天宫一号高光谱可见近红外影像,在检验天宫一号高光谱可见近红外数据精度的同时,也验证了算法的可行性。

(1)本文将两种基于面向对象规则的混合分类结果与传统的像元级 SVM 分类结果进行比较,结果表明这两种混合分类方法在分类精度上有着较大的提高。基于面向对象规则的混合分类方法结合了面向对象分类和像元级分类的优势,不仅能够改善同谱异物现象,而且还有效地解决分类结果地物破碎的问题。

(2)从分类结果图中可以看出,虽然城市与农村的界限依然存在,但已经变得模糊,这得益于在北京通州推进农村城市化建设的政策,如何能够量化城市土地利用与变化将作为进一步的研究方面。

(3)研究表明利用天宫一号高光谱数据可以有效地将不同地物类型区分开,天宫一号卫星的成功发射和应用,必将为土地利用和城市化研究提供长期、有效的地理空间服务。

志 谢 本论文由载人航天工程天宫一号民用试应用项目支持,感谢中国科学院空间应用工程与技术中心为本文提供天宫一号高光谱成像仪数据产品。

参考文献 (References)

Astola J, Haavisto P and Neuvo Y. 1990. Vector Median Filters. *Proceedings of the IEEE*, 78(4): 678-689 [DOI:10.1109/5.54807]

Baatz M and Schäpe A. 2000. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation // *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*. Heidelberg: Wichmann-Verlag, 12-23

Chang C C and Lin C J. 2011. LIBSVM: a library for support vector machines. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 2(3): 27 [DOI:10.1145/1961189.1961199]

Dragut L, Tiede D and Levick S R. 2010. ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(6): 859-871 [DOI: 10.1080/13658810903174803]

Duro D C, Franklin S E and Dube M G. 2012. A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118: 259-272

Hill P R, Canagarajah C N and Bull D R. 2003. Image segmentation using a texture gradient based watershed transform. *IEEE Transactions on Image Processing*, 12(12): 1618-1633 [DOI: 10.1109/TIP.2003.819311]

Hsu C W, Chang C C and Lin C J. 2003. A practical guide to support vector classification ([2013-01-01] A practical guide to support vector classification)

Huang X, Zhang L P and Li P X. 2007. Classification of High Spatial Resolution Remotely Sensed Imagery Based Upon Fusion of Multiscale Features and SVM. *Journal of Remote Sensing*, 11(1): 48-54 (黄昕, 张良培, 李平湘. 2007. 基于多尺度特征融合和支持向量机的高分辨率遥感影像分类. *遥感学报*, 11(1): 48-54) [DOI: 10.11834/jrs.20070107]

Li X J, Meng Q Y, Gu X F, Jancso T, Yu T, Wang K and Mavromatis S. 2013. A hybrid method combining pixel-based and object-oriented methods and its application in Hungary using Chinese HJ-1 satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 34(13): 4655-4668 [DOI: 10.1080/01431161.2013.780669]

Melgani F and Bruzzone L. 2004. Classification of hyperspectral remote sensing images with support vector machines. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(8): 1778-1790 [DOI:10.1109/TGRS.2004.831865]

Myint S W, Gober P, Brazel A, Grossman-Clarke S and Weng Q. 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 115(5): 1145-1161

Pal M and Mather P M. 2003. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. *Remote Sensing of Environment*, 86(4): 554-65 [DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00132-9]

Tan Q and Du P J. 2008. Hyperspectral Remote Sensing Image Classification Based On Support Vector Machine. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 27(2): 123-128 (谭琨, 杜培军. 2008. 基于支持向量机的高光谱遥感图像分类. *红外与毫米波学报*, 27(2): 123-128) [DOI: 10.3321/j.issn:1001-9014.2008.02.010]

Tarabalka Y, Chanussot J and Benediktsson J A. 2010. Segmentation and classification of hyperspectral images using watershed transformation. *Pattern Recognition*, 43(7): 2367-2379 [DOI:10.1016/j.patcog.2010.01.016]

Vincent L and Soille P. 1991. Watersheds in digital Spaces-an efficient algorithm based on immersion simulations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(6): 583-598 [DOI: 10.1109/34.87344]

Wang L, Sousa W and Gong P. 2004. Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25(24): 5655-5668 [DOI:10.1080/014311602331291215]

Xiao P F, Feng X Z and Li H. 2009. Multispectral remotely sensed imagery segmentation based on first fundamental form. 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, Vols 1-3, 1176-1180 [DOI: 10.1109/URS.2009.5137666]

Zhang L P and Zhang L F. 2005. *Hyperspectral Remote Sensing*. Wuhan: Wuhan University Press

A combined object-based segmentation and support vector machines approach for classification of Tiangong-1 hyperspectral image

LI Xueke^{1,2}, WANG Jinnian¹, ZHANG Lifu¹, WU Taixia¹,
YANG Hang¹, LIU Kai¹, JIANG Hailing³

1. *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3. *College of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*

Abstract: Traditional hyperspectral classification methods based on per-pixel spectral or texture features fail to take account of spatial structure and spatial correlation characteristics. In order to overcome this problem, a mixed classification method is proposed which incorporates spatial information by fusing object-based segmentation with pixel-wise classifier. This paper tentatively examines two mixed classification strategies: (1) Combine multi-resolution segmentation algorithm which based on Fractal Net Evolution Approach with the use of Support Vector Machine (MSVM); (2) Combine multi-scale watershed segmentation with Support Vector Machine (WSVM). The two methods were applied to Tiangong-1 hyperspectral data and the results showed that the proposed methods improved the classification accuracy effectively which not only avoid the spectral confusion to some extent but also mitigate the land fragmentation problem.

Key words: Tiangong-1 hyperspectral classification, Support Vector Machines (SVM), object-based



封面说明

About the Cover

"天宫一号" 卫星高光谱影像数据

The hyper spectral image acquired by "Tiangong-1" satellite

"天宫一号" 高光谱成像仪是中国自主研制的目前空间分辨率和光谱分辨率综合指标最高的高光谱成像仪。封面图片为"天宫一号"卫星获取的内蒙古额济纳旗西部地区的影像数据, 上图为高光谱短波红外谱段影像, 下图为矿物成分信息空间分布图。"天宫一号"高光谱数据可广泛应用于矿物分布调查、森林资源详查、水文生态监测、海岛海岸带环境监测、土地利用和城市环境监测等领域。

"Tiangong-1" hyper spectral imager is a new generation of aerospace remote sensing equipment, which is independently developed by China and has the highest comprehensive index of spatial and spectral resolution. The cover shows the data captured by "Tiangong-1" satellite in the western region of Ejinaqi, Inner Mongolia, northern China. The top image is high spectral shortwave infrared spectral image and the bottom image is the spatial distribution map of mineral composition. These data are also expected to play a significant role in mineral distribution investigation, detailed investigation of forest resources, hydrology ecological monitoring, environmental monitoring coastal islands, land use, urban environmental monitoring and other fields.

遥感学报

JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO (双月刊 1997年创刊)

第18卷 增刊 2014年6月25日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.18 Sup. June 25, 2014

主 管 中国科学院
主 办 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国地理学会环境遥感分会
主 编 顾行发
编 辑 《遥感学报》编委会
北京市安外大屯路中国科学院遥感与数字地球研究所
邮编: 100101 电话: 86-10-64806643
http://www.jors.cn
E-mail: jrs@irsa.ac.cn
出 版 科 学 出 版 社
印刷装订 北京科信印刷有限公司
总 发 行 科 学 出 版 社
北京东黄城根北街16号
邮政编码: 100717
电话: 86-10-64017032
E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国外发行 中国国际图书贸易总公司
北京 399 信箱 邮政编码: 100044

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
The Associate on Environment Remote Sensing of China
Editor-in-Chief GU Xing-fa
Edited by Editorial Board of Journal of Remote Sensing
Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China
Tel: 86-10-64806643
http://www.jors.cn
E-mail: jrs@irsa.ac.cn
Published by Science Press
Printed by Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Tel: 86-10-64017032
E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
Overseas distributed by China International Book Trading Corporation
Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号: ISSN 1007-4619
CN 11-3841/TP
CODEN YXAUAB

国内邮发代号: 82-324
国外发行代号: BM 1002

定价: 70.00元

ISSN 1007-4619

国内外公开发行

