

引用格式:Wu Jiansheng,Lin Qian,Li Weifeng,*et al.* The Dynamic Extraction of Classification Rules for Land Consolidation through Object-oriented Features Space Optimization[J]. Remote Sensing Technology and Application,2013,28(5):799-806. [吴健生,林倩,李卫锋,等. 基于特征选择的土地整理地物识别规则的动态提取[J]. 遥感技术与应用,2013,28(5):799-806.]

基于特征选择的土地整理地物识别规则的动态提取

吴健生^{1,2},林倩¹,李卫锋³,刘建政³,彭建²

(1. 北京大学深圳研究生院城市人居环境科学与技术重点实验室,广东 深圳 518055;

2. 北京大学城市与环境学院地表过程与模拟教育部重点实验室,北京 100871;

3. 香港大学城市规划与设计系,香港)

摘要:高分辨率遥感影像是精确提取土地整理区地表信息的重要数据来源,提出了一种基于面向对象的规则动态提取方法,借鉴生物学中的遗传定理和人工免疫系统理论,使计算机依据样本信息和影像特征自动进行知识挖掘,提取分类规则以供用户修改与分类。最后结合模糊分类得到的分类结果显示:总体精度从传统方法的 40% 提高到基于遗传算法的 86% 与基于人工免疫算法的 90%, Kappa 系数也由传统方法的 0.3 提高到基于遗传算法的 0.82 与基于人工免疫算法的 0.89。结果表明:该方法不仅提高了便捷性与通用性,改变了以往规则提取需要用户大量的试验和先验知识的局面,而且试验结果也表明对于分类精度有显著的提高,对于在土地整理工程中利用高分辨率遥感影像进行地物识别与监测有重要的意义。

关键词:土地整理;特征选择;高分辨率遥感影像;面向对象;遗传算法;人工免疫算法

中图分类号:TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2013)05-0799-08

1 引言

土地是人类生活和生产中必不可少的资源,特别是农用地,承担着粮食安全的重任^[1]。土地整理旨在实现土地资源的合理配置,其中,农地整理是实现耕地总量动态平衡的必由之路,是我国耕地保护的重要举措^[2],也是保障国家粮食安全的一项长期发展战略。

遥感数据以其自身的宏观性、客观性和实时性^[3],为土地整理工程规划、实施与监控等提供了科学合理高效的技术支持^[4-5]。目前,利用现代遥感技术进行土地整理工程地物监测才刚刚起步^[6-8],已有的研究常以 MSS^[9]、TM^[10-14] 在内的中低分辨率遥感影像为主,并且解译方法多以目视解译^[15-16]、屏幕数字化^[9,17-18]。这类方法特点是工作量大、实时性

差,信息提取的智能化和自动化水平不高,遥感监测技术快速、宏观、动态、经济的优势和潜力未能得到充分发挥^[19]。

高分辨率遥感影像是土地整理区地表信息精确提取的重要保障,而面向对象分类法为全面描述地理空间实体的特征提供了基础,成为解决高分辨率遥感影像分析的有效方法^[20-21],但其在应用中还存在一些问题有待解决^[22-23],尤其是由于影像对象的可描述特征较多,如何构建最优特征组合以满足目标地物快速准确识别的需要一直是面向对象影像分析研究的热点,现有的研究多是通过人工选择并经过反复的分类实验来获取最优的特征组合方案,识别效率较低,且这些研究建立的分类规则往往针对特定的研究区,普适性和通用性较差^[24]。

因此本文的重点是以高分辨率遥感影像为研究

收稿日期:2012-10-15;修订日期:2013-07-24

基金项目:国家自然科学基金项目(41271101)资助。

作者简介:吴健生(1965—),男,湖南新化人,教授,主要从事景观生态与 GIS 方面的研究。E-mail:wujjs@pkusz.edu.cn。

通讯作者:林倩(1989—),女,浙江宁波人,硕士研究生,主要从事遥感与景观生态学方面的研究。E-mail:ciaralin@126.com。

对象,寻找相对通用的方法使得计算机能够根据样本信息与影像特征动态提取分类规则,以提高土地整理工程中地物提取的精度和方法的智能化。

2 研究区概况与实验数据

吉林省西部地区是全国最具农业发展潜力的地区之一,但同时位于东北最主要的盐碱土区域内^[25],土壤沙化、盐碱化严重,并且土地资源没有合理有效地开发利用,限制了粮食生产能力增加,影响了当地农业和农村经济发展,因此是开展土地整理工程的重要区域。

吉林省西部土地开发整理重大项目大安项目区

共涉及大安市 10 个乡镇共计 55 个行政村,地理范围为 45° 14′ 23″ ~ 45° 46′ 45″ N, 123° 42′ 02″ ~ 124° 41′ 20″ E,总面积达 755.4 km²。由于大安项目区范围较广,直接处理整个项目区的影像数据所耗费的时间较多,因此本文选取了项目区西北角作为监测土地整理工程进展的试验区,面积约为 25 hm²。

本文所用的 1 m 空间分辨率的 KOMPSAT-2 影像成像于 2010 年 6 月,共有 1 m 分辨率的全色波段和包括红色、蓝色、绿色、近红外波段在内的 4 个 4 m 分辨率的多光谱波段。在进行了一系列的几何校正、图像融合等预处理后,得到 1 m 分辨率的多光谱遥感影像(图 1)。

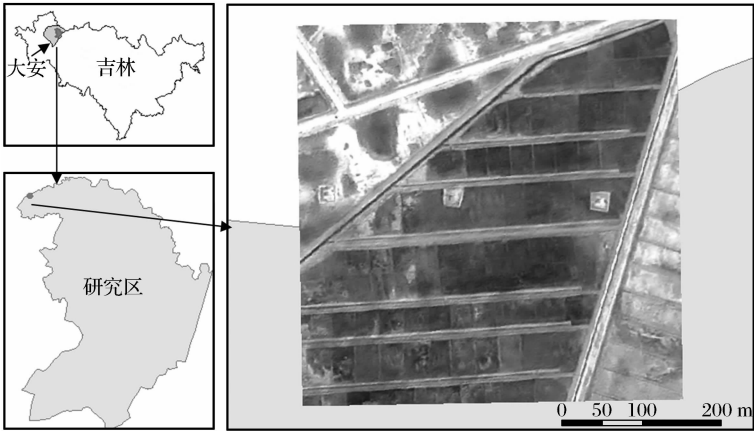


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Location of research area

3 基于特征选择的分类规则提取

特征选择是用于挖掘识别地物所需的关键特征,减少特征维数,进而组成作为地物识别的分类规则。Liu 和 Yu^[26]提出了一个基本的特征选择算法框架(图 2),特征子集的评判和搜索是整个算法最主要的两个部分。

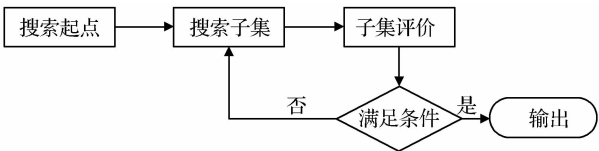


图 2 特征选择算法框架^[27]

Fig. 2 Flowchart of feature selection

3.1 判别依据的选择

评价函数是用于测度特征子集区别各类别的能力。为了使同类样本之间的距离尽可能小,而类间的距离尽可能大,本文基于距离的可分离性,通过归一化将各特征值转换为 0~1 之间,并构建函数分别

对类间离散度 S_b (式(1))与类内离散度 S_w (式(2))进行定性分析。

$$S_b = P_i \times (\overline{m_i} - \overline{m})^T (\overline{m_i} - \overline{m}) \tag{1}$$

$$S_w = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} (X_K^{(i)} - \overline{m_i})^T (X_K^{(i)} - \overline{m_i}) \tag{2}$$

其中: P_i 为该类别的样本频率,通常 $P_i = N_i/N$; $\overline{m_i}$ 为第 i 类的均值向量, N_i 表示该类的样本数, \overline{m} 为所有样本的均值向量, N 表示该类的样本数, $X_K^{(i)}$ 表示该 i 类别中第 k 个样本向量值,它由各特征值组成。

最终,综合类间聚集度与类内离散度,以此(式(3))判别该特征组合的优劣。

$$J(X) = \frac{|S_w + S_b|}{|S_b|} \tag{3}$$

3.2 特征子集的搜索

遗传算法与人工免疫算法都是基于生物繁殖与进化理论发展而来的算法,能自适应地控制搜索过程以求得最优解或近似最优解,因此在全局最优解的选择上具有独特优势^[27]。

3.2.1 染色体编码与初始化

染色体作为遗传物质的载体,决定了个体间的差异。因此要解决的首要问题是将“染色体”编码成整个算法流程中基础的数据结构,具体表现为一串

有序的二进制编码值^[28]。染色体中的基因对应某一特征,该值为 1 或 0,以表征是否选用对应的特征。因此每一个染色体都以全部特征数作为其长度值,代表某一特征组合(图 3)。

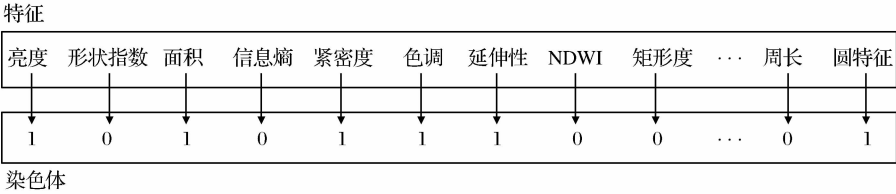


图 3 染色体编码
Fig. 3 Details of Chromosome Coding

3.2.2 基于遗传算法的特征选择

仿效生物进化方式,遗传操作是体现“适者生存”原则、决定个体进化的关键步骤,也是遗传算法的精华所在。遗传操作主要由选择、交叉和变异组成(图 4)。本文遵循适应度较高的个体被选作父代的几率较大的原则,选用适应度比例策略进行父代染色体的随机选择。同时预设交叉繁殖率(本文取 0.8)和随机选择交叉位使得先前随机选择的父代染色体进行信息交换以产生子代。子代在很大程度上继承了父代的某些特征,但可能会造成局部最优解的产生。为了拓展解空间范围又避免遗传算法退化为纯粹的随机搜索算法,通过增设相对较低的变异

率(本文取 0.1),使得染色体能进行随机变异以保持种群内的多样性。最终在符合终止准则后,即多代繁殖后(本文设定 50 代),最优特征组合将会被输出组成分类规则。

3.2.3 基于人工免疫算法的特征选择

人工免疫算法和遗传算法的最大区别在于其是受无性繁殖理论的启发,模拟自然免疫系统功能的一种智能算法。本文选用免疫系统的基本理论之一——克隆选择原理进行高分辨率遥感图像分类规则的提取(图 5)。

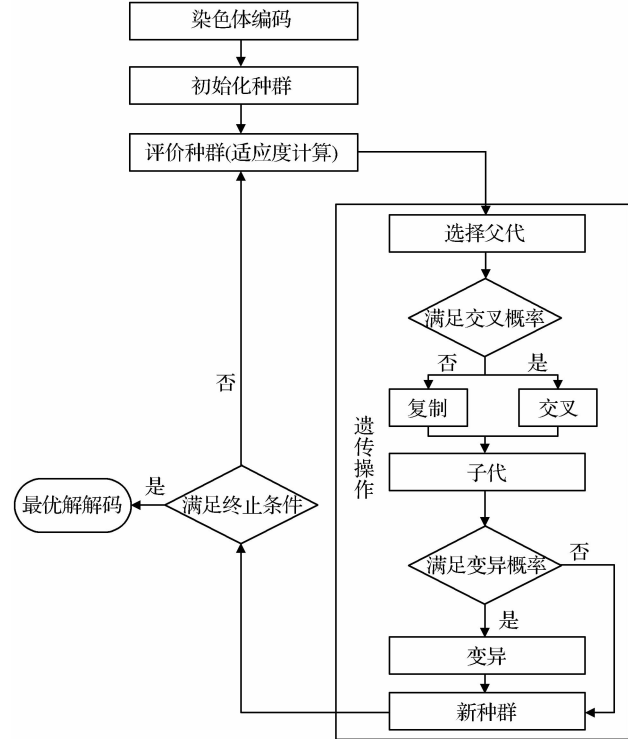


图 4 遗传算法流程图
Fig. 4 Flowchart of Genetic Algorithm

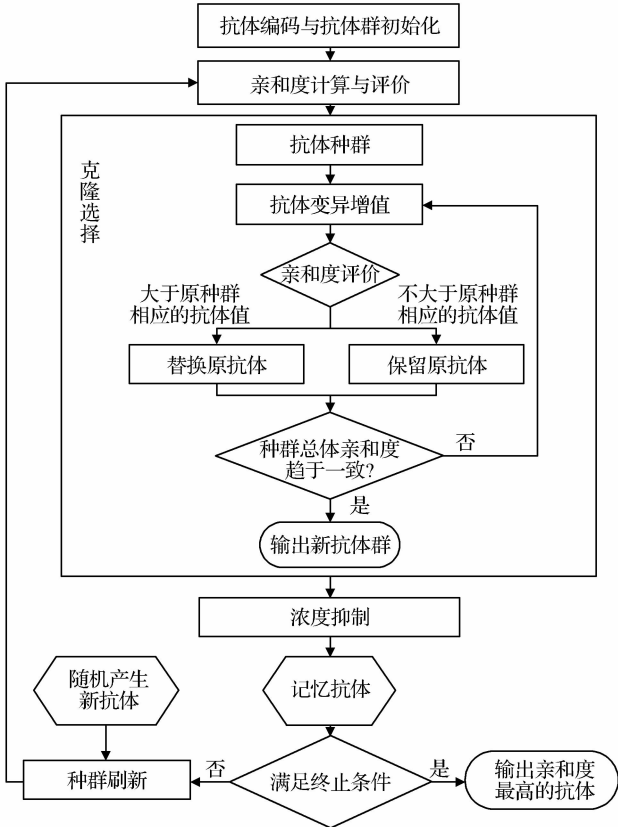


图 5 人工免疫算法流程图
Fig. 5 Flowchart of Artificial Immune Algorithm

在进行抗体编码(图 3)、种群的初始化之后,通过克隆选择,原本亲和力不高的抗体群经过增殖复制和变异后,亲和度逐步增大,表明抗体与抗原之间的匹配程度越高,对抗原能产生更高、更激烈的响应。该过程主要包括细胞增殖与变异,用新个体替换原来亲和度较低的个体。多次克隆选择后,种群总体亲和度趋于一致,抗体库成熟。但过高的浓度表明了抗体之间相似度很高,若不加以限制,很有可能导致最后只能找到局部最优解^[29]。因此,本文通过设定浓度抑制率(本文设 0.8),计算抗体之间的相似性,剔除相似度过高的抗体对。同时,根据预设的种群刷新率(本文设 0.2),每次按比例随机产生新抗体以进一步保证种群的多样性。同理,最后输出的结果通过解码并组成分类规则。

以上各步,计算机自动选取了特征并生成了分类规则。这些规则是分类的依据,同时,它们也可以被存储用于他用,并允许用户基于经验知识进行修改。

4 分类试验与结果分析

4.1 分类实验

本文以高分辨率遥感影像为研究对象,基于面

向对象分类方法,总体包括分割和分类两步。图像的分割使同质的像元组成不同大小的对象,以保证分割对象内部特征相对均一,而相互之间有所差异。同时由于分割对象的特征与影像地物的映射关系^[30],使其成为影像分析与信息提取的主要依据。本文在借助 ENVI 中实现的边缘检测分割方法^[31]进行分割后(图 6),选用光谱特征、形状特征和纹理特征等 39 个特征进行分析与量化计算(表 1)。

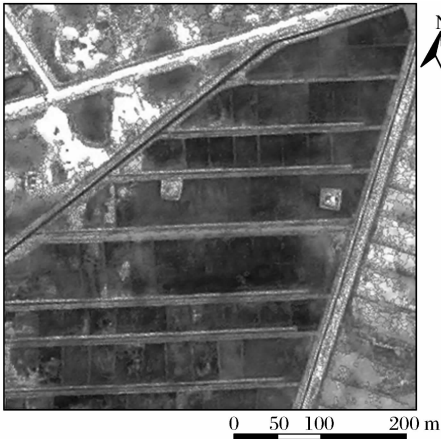


图 6 图像分割结果

Fig. 6 Detail of the KOMPSAT image after segmentation

表 1 特征参数名称及描述

Table 1 Names and description of features

特征类别	具体特征	描述
形状特征 (共 14 个)	AREA	多边形的面积
	LENGTH	多边形外边框周长,包括洞的边框周长
	COMPACT	紧密性,描述多边形紧密性的度量
	CONVEXITY	凸出的状态,没有洞的凸多边形的值为 1,其余的小于 1
	SOLIDITY	坚固性,多边形面积与周围凸出多边形面积比
	ROUNDNESS	描述多边形的圆特征,圆的值为 1,正方形的值为 4/Pi
	FORMFACTOR	形状要素,为多边形面积与相同周长的圆面积之比
	ELONGATION	延伸性,最大直径与最小直径的比值,正方形的值为 1,矩形的值大于 1
	RECT_FIT	矩形形状的度量,矩形的值为 1,非矩形的值小于 1
	MAINDIR	主方向,长轴(最大直径)与 X 轴之间的夹角
	MAJAXISLEN	围绕多边形的有向包围盒对应长轴(最大直径)的长度
	MINAXISLEN	围绕多边形的有向包围盒对应短轴(最小直径)长度
	NUMHOLES	多边形内洞的个数
	HOLESOLRAT	多边形面积和外轮廓面积的比值
光谱特征 (共 19 个)	MINBAND_x	波段 x 的最小灰度值
	MAXBAND_x	波段 x 的最大灰度值
	AVGBAND_x	波段 x 的平均灰度值
	HUE	色调
	SATURATION	饱和度
纹理特征 (共 4 个)	INTENSITY	亮度
	TX_RANGE	卷积核范围内的平均灰度值范围
	TX_MEAN	卷积核范围内的平均灰度值
	TX_VARIANCE	卷积核范围内的平均灰度变化值
	TX_ENTROPY	卷积核范围内的平均灰度信息熵
自定义特征 (共 2 个)	归一化植被指数(NDVI)	最常用的植被指数用于植被信息提取、植被监测和植被物候等研究
	归一化水体差异指数 (NDWI _{G,NIR})	主要用于提取水体信息,同时削弱土壤、陆生植物在图像中的亮度值,勾画水域便捷等

分类主要通过 3 个步骤实现:首先是训练区的选取;其次是运用遗传算法和人工免疫算法对训练区样本进行训练,最终选择合适的特征组合组成分类规则;最后模仿人类解译图像的方式^[31],采用模糊分类方法,就像逻辑中描述“小”、“中”、“大”一样,用可能性来表示类描述的不确定性。本文基于特征空间中的距离来刻画这种可能性,通过隶属度函数将距离转化为隶属度值(式(6)),表明距离越短,属于该类的可能性越高。最终根据最大隶属度原则(式(7)),寻找最大的隶属度值以及对应的类别。同时设定模糊容忍度(本文设定为 0.6),只有最大隶属度值高于该容忍度,才会被归类,依次最终确定类别归属。

$$\mu_{ij}(k) = e^{-r \cdot \log_5^2} \tag{7}$$

$$\mu_{ij}(h) = \max \mu_{ij}(n) \tag{8}$$

其中: $\mu_{ij}(k)$ 第 i 行 j 列的分割对象归属于 k 类的隶属度函数值, r 为特征空间中距离第 k 类的欧氏距离, n 为划分的类别数, h 为最大的隶属度函数值所对应的类别。

4.2 分类结果与精度检验

本文依据实地调研,该土地整理项目以农用地平整工程和排灌工程为主,研究区用地分为 6 类,分别是裸地、草地、田间道、耕地、沟渠和生产路。为了检验本文设计的方法识别地物的精度,通过建立通过计算混淆矩阵,分别用生产者精度(PA)、用户精度(UA)、总体精度(OA)和 Kappa 系数等评价指标

对本文设计的两种方法提取的地物结果精度进行评价,并与常用的分类方法进行对比(图 7~8)。

一般而言,Kappa 值大于 0.8 意味着与地面实际情况保持高度一致,而低于 0.4 则表明一致性较差^[33]。常用的 4 种方法依据光谱特征进行分类,得到的结果图 Kappa 值“椒盐现象”严重,出现“同物异谱、异物同谱”现象,尤其是难以区分该地区同为水泥混凝土浇筑为主的田间道与裸地。

本文设计的遗传算法与人工免疫算法总体精度都高于 85%,Kappa 系数都大于 0.8,显示了分类结果与地面实际地物的吻合度较好,精度更高。相比常用的分类方法,本文的两种方法能很好地将田间道和裸地两类光谱特征相似度极高的两类地物分别提取出来,高于 95%的用户精度与生产者精度显示了极高的精确性。此外,草地、耕地、沟渠 3 类地物总体提取精度都较高,但位于田块之间生产路的提取效果不大理想,易与草地、耕地、沟渠混淆,漏分率较高,有较多的生产路对象被分到其他 3 类。这主要是因为该图像摄于 6 月 30 日,正值当地夏季,也是当地陆生和水生植物生长的繁荣期,生产路宽度较窄,路上杂草多且分布不均,因此图像上易被错分。此外本文基于面向对象,分割后的对象特征不仅包括光谱信息,还有很多形状等特征,导致本文提取的结果精度低于单纯考虑光谱信息的传统方法得到的结果精度。这也是今后要进一步改进和研究的重点问题。

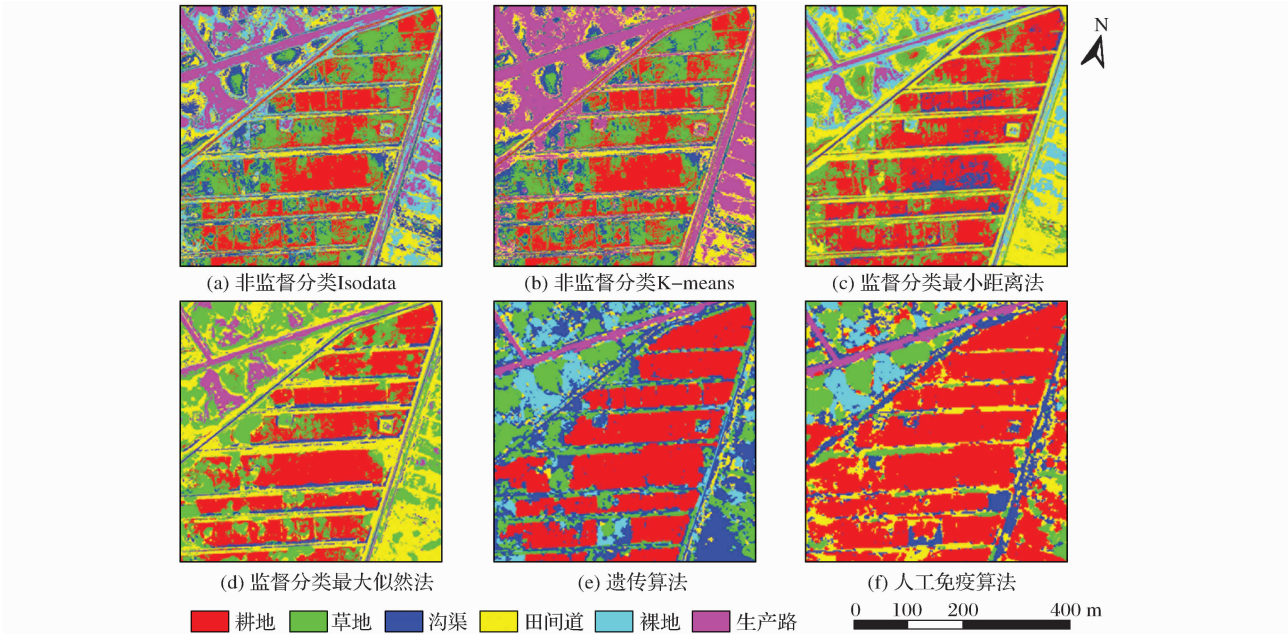


图 7 分类结果图

Fig. 7 Comparison with Other Methods(Results Map)

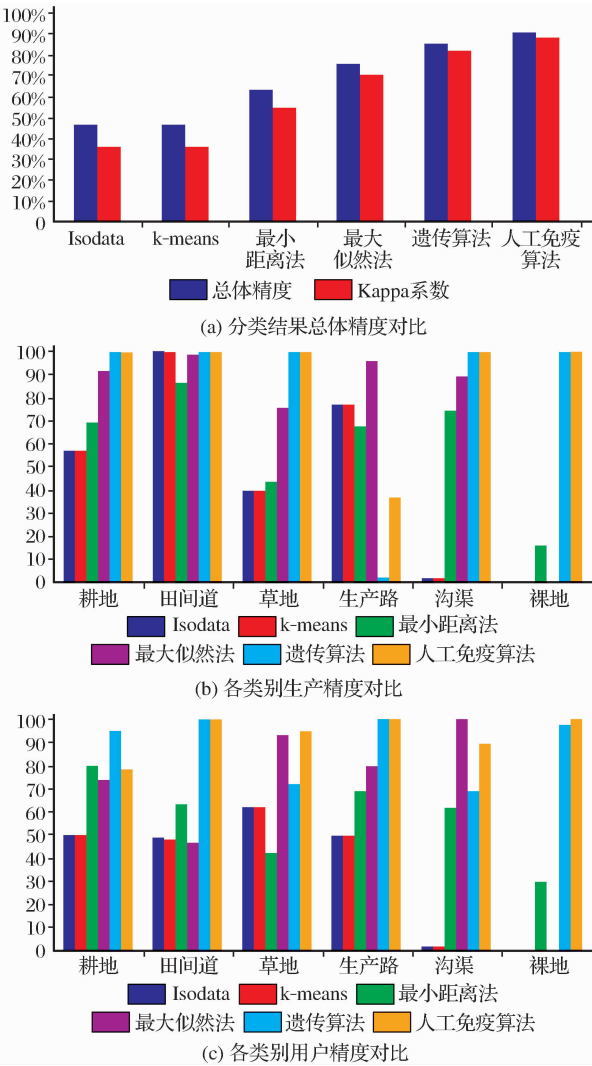


图 8 结果精度比较

Fig. 8 Comparison with Other Methods

5 结 语

土地整理对于提高粮食产量、合理进行村镇改造等都有重要的作用。土地整理过程中,基础数据的及时获取在工程实施与监督方面占有举足轻重的地位。高分辨率遥感影像因其信息量丰富而被广泛应用于包括土地整理在内的各个领域。

本文提出面向对象的规则动态提取方法,使得计算机依据样本自动进行知识挖掘,进而提取分类规则,供用户修改及使用。该方法不仅提高了遥感分类的便捷性与通用性,改变了以往规则提取需要用户大量的试验和先验知识的局面,同时也保证了较高的分类精度。

本文以大安土地整理工程项目区为试验区,分类结果表明常用的分类方法得到的结果出现“椒盐现象”和不同程度的“同物异谱、异物同谱”的错误。

本文方法所得到的结果在总体精度上从传统方法的 40% 提高到基于遗传算法的 86% 与基于人工免疫算法的 90%, Kappa 系数也由传统方法的 0.3, 提高到基于遗传算法的 0.82 与基于人工免疫算法的 0.89。地物提取较准确,尤其是克服了传统方法难以区分同为水泥浇筑的田间道和裸地的弱点。

本文仅对大安土地整理工程中的某一块地区做了试验,进一步的研究应集中于不同地区的试验,使参数和算法设置更合理。

参考文献 (References):

[1] Wang B Q, Li N, Li W, *et al.* Application of 3S Technology to Land Consolidation in Chernozem Region of China[C]//Computer and Computing Technologies in Agriculture II, Volume I. Boston: Springer, 2009.

[2] Wei Danbin, Shang Kai. Land Consolidation——The Important Act to Protect Cultivated Land of Our Country[J]. Henan Geology, 2001, 19(2): 93-100. [魏丹斌, 尚凯. 土地整理——我国耕地保护的重要举措[J]. 河南地质, 2001, 19(2): 93-100.]

[3] Dai Jianqing. The Feasibility Study on Evaluation of Land Consolidation based on RS[J]. Urban Geotechnical Investigation & Surveying, 2007, 2: 47-54. [戴建清. 基于遥感的土地整理评价可行性研究[J]. 城市勘测, 2007, 2: 47-54.]

[4] Guo Yunkai. Study and Application of Remote Sensing Evaluation Method in Land Development Coordinating (Consolidation)[D]. Changsha: Zhongnan University, 2008. [郭云开. 土地开发整理工程的遥感评价方法研究与应用[D]. 长沙: 中南大学, 2008.]

[5] Meng Xiansu, Li Shaoshuai. Application of RS in Supervision over Land Consolidation and Rehabilitation[J]. Resources & Industries, 2009, 11(2): 66-70. [孟宪素, 李少帅. 遥感技术在土地整理复垦开发项目监管工作中的应用实践[J]. 资源与产业, 2009, 11(2): 66-70.]

[6] Yang Qinghua, Li Jinghua, Han Xu, *et al.* The Application of QuickBird Remote Sensing Data to Land Reorganization[J]. Remote Sensing for Land & Resource, 2007, 18(4): 72-75. [杨清华, 李景华, 韩旭, 等. QuickBird 遥感数据在土地整理工作中的应用[J]. 国土资源遥感, 2007, 18(4): 72-75.]

[7] Sun Xiaodan, Xu Hanqiu, Liu Zhengjun. Extracting the River and the Road Using an Object Oriented Technique from IKONOS Panchromatic Imagery [J]. Science of Surveying and Mapping, 2006, 31(1): 62-63. [孙小丹, 徐涵秋, 刘正军. 利用面向对象的分类方法从 IKONOS 全色影像中提取河流和道路[J]. 测绘科学, 2006, 31(1): 62-63.]

[8] Yue Anzhi, Zhang Chao, Su Wei, *et al.* Recognition of Farm Well in Land Consolidation Area Using High Resolution Remote Sensing Image[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(11): 189-193. [岳安志, 张超, 苏伟, 等. 基于高分辨率遥感影像的土地整理区农用井

- 识别[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 189-193.]
- [9] Siddiqui M N, Majid S. Monitoring of Geomorphological Changes for Planning Reclamation Work in Coastal Area of Karachi Pakistan[J]. *Advances in Space Research*, 2004, 33(7): 1200-1205.
- [10] Bonifazi G, Cutaia L, Massacci P, *et al.* Monitoring of Abandoned Quarries by Remote Sensing and In-situ Surveying[J]. *Ecological Modelling*, 2003, 170(2-3): 213-218.
- [11] Abuelgasim A, Chung C J, Champagne C, *et al.* Use of Multi-temporal Remotely Sensed Data for Monitoring Land Reclamation in Sudbury, Ontario (Canada) [C]//International Workshop on the Analysis on Multi-temporal Remote Sensing Images, 2005.
- [12] Singh A K, Singh P K, Lal B, *et al.* Distribution Analysis of Salt Affected Soils Under Canal and Non-canal Command Area in a Part of Etah District, U. P., Using Remote Sensing Technique[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2008, 36(2): 183-188.
- [13] Yadav M S, Yadav P P S, Yaduvanshi M, *et al.* Sustainability Assessment of Sodic Land Reclamation Using Remote Sensing and GIS[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2010, 38(2): 269-278.
- [14] Abd El-Kawy O R, Rod J K, Ismail H A, *et al.* Land Use and Land Cover Change Detection in the Western Nile Delta of Egypt Using Remote Sensing Data[J]. *Applied Geography*, 2011, 31(2): 483-494.
- [15] Feng Xiuli, Wang Ke, Shi Yongjun, *et al.* Land Consolidation Study based on RS[J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2006, 22(2): 258-262, 266. [冯秀丽, 王珂, 施拥军, 等. 基于遥感的土地整理研究[J]. 科技通报, 2006, 22(2): 258-262, 266.]
- [16] Wang Zhiqiang, Yu Lei, Zhang Bai, *et al.* Land Use/Cover Change and Responses of Agricultural Eco-Security in West Jilin Province[J]. *Resources Science*, 2006, 26(4): 58-64. [王志强, 于磊, 张柏, 等. 吉林省西部土地利用变化及其农业生态安全响应[J]. 资源科学, 2006, 28(4): 58-64.]
- [17] Nikolakopoulos K G, Tsombos P I, Vaiopoulos A. D. Monitoring a Quarry Using High Resolution Data and GIS Techniques [C]//Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications, 7831, Toulouse, France, 2010.
- [18] Chen Guoping, Zhao Junsan, Wei Baofeng. Integrated Application of 3S Technologies to Land Development and Consolidation[J]. *Geospatial Information*, 2007, 5(4): 74-75. [陈国平, 赵俊三, 魏保峰. 3S技术在土地开发整理中的集成应用[J]. 地理空间信息, 2007, 5(4): 74-75.]
- [19] Wu Jiansheng, Liu Jianzheng, Huang Xiulan, *et al.* Automatic Identification of Irrigation and Drainage System in Land Reclamation Area based on Object-oriented Classification [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(8): 25-31. [吴健生, 刘建政, 黄秀兰, 等. 基于面向对象分类的土地整理区农田灌排系统自动化识别[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 25-31.]
- [20] Qiu Jiangxiao, Wang Xiaoke. A Comparative Study on Object-based Land Cover Classification in High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery of Urban Areas[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(5): 653-661. [仇江啸, 王效科. 基于高分辨率遥感影像的面向对象城市土地覆被分类比较研究[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(5): 653-661.]
- [21] Wang Huanping, Liu Yong. The Study on Classification of High Resolution Remote Sensing Image in Saline Area based on Window Fourier Transform Power Spectrum Analysis[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(2): 233-238. [王焕萍, 刘勇. 基于窗口傅立叶变换功率谱分析的盐田区高分辨率遥感影像分割分类方法探讨[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(2): 233-238.]
- [22] Chen Jie. Study on Object-based Classification of High-resolution Remote Sensing Imagery[D]. Changsha: Zhongnan University, 2010. [陈杰. 高分辨率遥感影像面向对象分类方法研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.]
- [23] Gao Wei. The Study of Information Extraction Technology for Remote Sensing based on Feature Knowledge [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2010. [高伟. 基于特征知识库的遥感信息提取技术研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2010.]
- [24] Gong Peng, Li Xia, Xu Bing. Interpretation Theory and Application Method Development for Information Extraction from High Resolution Remotely Sensed Data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(1): 1-5. [宫鹏, 黎夏, 徐冰. 高分辨率影像解译理论与应用方法中的一些研究问题[J]. 遥感学报, 2006, 10(1): 1-5.]
- [25] Li Lina, Yao Shanglian, Yuan Ying. On Land Arrangement in the Western Area of Jilin Province [J]. *Journal of Xichang Agricultural of College*, 2003, 4(17): 67-69, 90. [李立娜, 姚尚莲, 袁颖. 试论吉林西部土地整理[J]. 西昌农业高等专科学校学报, 2003, 4(17): 67-69, 90.]
- [26] Liu H, Yu L. Toward Integrating Feature Selection Algorithms for Classification and Clustering[J]. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2005, 17: 1-12.
- [27] Goldberg D E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning[M]. Massachusetts, USA: Addison-Wesley Longman, 1989.
- [28] Holland J H. Adaptation in Natural and Artificial Systems [M]. Cambridge, MA, US: MIT Press, 1992.
- [29] George I B. Mathematical Model of Clonal Selection and Antibody Production[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 1970, 29(2): 191-232.
- [30] Yang Guang, Liu Xiangnan, Zhang Bai, *et al.* An Automatic Extraction Method of Remote Sensing Information based on Multi-characters Space[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2005, 35(2): 257-260. [杨桃, 刘湘南, 张柏, 等. 基于多特征空间的遥感信息自动提取方法[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2005, 35(2): 257-260.]
- [31] Jin X Y, Scott Paswaters. A fuzzy Rule Base System for Object-based Feature Extraction and Classification [C]//Signal

Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XVI, Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, SPIE, 2007.

[32] Li Guangli, Du Peijun, Wang Xiaomei, *et al.* Consistency Evaluation and Integration Application of Land Cover Classification Results from Multi-source Remotely Sensed Images[J]. Geography and Geo-Information Science, 2009, 25(4): 68-71. [李光丽, 杜培军, 王小美, 等. 多源遥感影像土地覆盖分类结果一致性评价与集成应用[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(4): 68-71.]

The Dynamic Extraction of Classification Rules for Land Consolidation through Object-oriented Features Space Optimization

Wu Jiansheng^{1,2}, Lin Qian¹, Li Weifeng³, Liu Jianzhen³, Peng Jian²

(1. Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China;

2. Key Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

3. Department of Urban Planning and Design, The University of Hongkong, Hongkong, China)

Abstract: The high resolution remote sensing image is an important data sources for the accurate extraction of land consolidation area surface information. In this paper, a new object-based method, combining with genetic algorithm and artificial immune algorithm, is used to extract classification rules based on the characteristics of the sample image. After fuzzy classification, the results show that overall accuracy is increasing from 40% by traditional method to 86% corresponding to the genetic algorithm and 90% corresponding to the artificial immune algorithm, and the Kappa coefficient is increasing from 0.3 by traditional methods to 0.82 corresponding to the genetic algorithm and 0.89 corresponding to the artificial immune algorithm. All in all, not only this method can improve the convenience and versatility, changing the previous situation that the rule extraction requires users a large amount of priori knowledge and testing, but also the test results show the significant improvement in classification accuracy. Therefore, it has an important significance for land consolidation, especially using the high-remote sensing images for feature identifying and monitoring.

Key words: Land consolidation; Feature selection; High-resolution remote sensing image; Object-based; Genetic algorithm; Artificial immune algorithm