

文章编号 :1006-7639(2004)-02-0076-06

遥感监测土地覆盖变化的方法及研究进展

韩 涛^{1,2}

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020 2. 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,甘肃 兰州 730020)

摘 要 应用遥感技术进行土地覆盖变化监测研究,是全球环境变化研究的重要组成部分。本文归纳了当前土地覆盖遥感监测的主要方法。从遥感图像处理和变化信息提取两方面,对国内外土地覆盖变化遥感研究的现状和最新趋势进行了总结。并对土地覆盖分类的新进展做了总结和介绍。

关键词 土地覆盖变化 遥感 方法 进展

中图分类号 P407

文献标识码 A

引 言

土地覆盖指地球陆地表面的自然状态,是自然过程和人类活动共同作用的结果,具有特定的时间和空间属性,其形态和状态可在多种时空尺度上变化^[1]。

土地覆盖信息不仅是许多全球及区域气候模型中所需的重要信息,也是描述生态系统的重要基础数据。获取其变化信息,对于揭示地表空间变化规律,探讨变化的驱动因子,分析评价区域生态环境具有重要现实意义。近年来随着研究的深入,人们已逐步认识到土地覆盖变化通过对地气能量平衡的影响而引起地表及大气组分的变化,肯定会对区域及小气候产生影响。具体表现在对地表反射率、地表粗糙度、土壤水分、水分交换及地气系统能量交换平衡的扰动,并已被众多数值模拟和野外观测所证实。

遥感技术因其能提供动态、丰富和廉价的数据源已成为获取土地覆盖信息最为行之有效的手段。从上世纪 90 年代以来,卫星遥感在全球和区域尺度土地覆盖研究与应用方面均取得了突破性进展,同时土地覆盖遥感研究的新方法也不断出现并得以发展。本文先从遥感图像处理和变化信息提取两个方面,总结其主要的处理过程和方法,并介绍一些新的进展,最后阐述土地覆盖遥感分类方面的发展方向和趋势。

1 遥感图像处理方法

将遥感用于土地覆盖变化检测的基本前提是土地覆盖状况的变化导致了光谱反射,辐射值发生变化,并且这种变化必须大于由于其它一些因素(如大气、照度、物候和传感器标度等差异)所引起的反射辐射值变化。因此对遥感图像进行必要的前处理,以增强土地覆盖变化信息并抑制其它“噪声”信息就显得很重要,而遥感图像处理就是为了更明晰准确地提取土地覆盖信息,其处理效果的好坏直接决定了监测的精度,此项工作是遥感监测的基础。图像处理包括图像预处理和图像增强。

1.1 图像预处理

图像预处理主要涉及到图像的辐射恢复、大气校正、几何校正、图像匹配和镶嵌及不同传感器或不同时相之间的图像配准等工作。如刘玉机等^[2]在用中巴地球资源卫星对辽东地区进行区域环境监测时,先对原始影像进行了辐射校正,系统几何校正,几何精校正等处理。王建等^[3]用 ATCOR2 快速大气校正模型进行了 TM 影像的大气校正试验, YuanD 等^[4]提出了像元散点自动控制回归法(AS-CR)来进行多时相 TM 影像的相对辐射归一化(RRN),陈崇成等^[5]用这种方法对多时相的 TM 多波段影像进行了归一化处理。

1.2 图像增强

图像增强方法有多种,如直方图调整,直方图线性扩展,多波段线性组合,滤波及主成分分析等。但需要指出,这些增强方式具有特异性和专门性,对不

同的资料及问题应采用不同的增强方式,不存在一种对所有问题效果都好的增强方法。

1.3 多源影像融合

近年来利用高分辨率图像与多光谱图像进行融合,已成为遥感图像处理新的前沿研究领域。由于融合图像既具有更高分辨率,又具有丰富的地物光谱信息,因此得到了广泛应用。多源遥感信息融合方法主要可归纳为3种:

1.3.1 基于像素的融合。包括加权融合法、Brovey变换法、HIS变换法、主分量分析法等。如王建等^[6]采用 Brovey 图像变换融合法对 SPOT 和 TM 资料进行融合,并将结果应用于引大入秦灌区土地覆盖调查中。

1.3.2 基于特征的融合。这是一种考虑了地物的空间结构和纹理特征的方法。其代表为小波变换融合法。如钟志勇等^[7]采用小波变换方法分别进行了基于光谱特征信息的融合(TM与IKONOS)和基于几何特征的融合(SAR与SPOT)的试验,结果证明,小波变换法对原始图像的光谱特征信息损失较少,又能增加高分辨的影像细节。

1.3.3 基于先验知识和影像理解的融合。它建立在图像概略分类的基础上,依不同类别选择各自的特征影像进行融合。如陈冬林等^[8]采用这种方法对上海地区的 SPOT 影像、ERS-2 雷达影像和 TM 多光谱影像等多源信息进行了成功融合。

2 土地覆盖变化信息提取方法

应用遥感技术进行土地覆盖动态监测,目前主要在两种区域尺度的范围内开展^[9]:一是全球、洲际或全国等大尺度;二是区域级尺度(省、地、县、区等)。两者所选用的信息源不同,近年来的研究在技术方法和精度上都取得了较大进展。

2.1 大尺度研究

大尺度研究以往主要使用 NOAA/AVHRR 资料进行。最有代表性的就是 Loveland 等^[10]研究并完成的全球 1km 分辨率土地覆盖数据库(Pathfinder 数据集中)。研究采取的方法是通过计算 NDVI 等植被指数方式来进行土地覆盖分类进而进行变化信息检测。主要有以下两种方法:

一方面使用主成分分析方法提取主要信息进行土地覆盖研究。如早期 Tucker 使用多时相 AVHRR 的 NDVI 数据,用主成分分析法,对派生的主分量进行非洲大陆的土地覆盖分类研究^[11]。

Townshend^[12]和朱启疆^[13]等也做过类似的工作。李晓兵等^[14]采用了这种主分量法,用前3个主分量对中国大陆的主要植被类型进行了非监督分类。詹志明^[15]也采用此方法,用 NOAA/AVHRR 资料对甘肃陇东地区全年 12 个月的 NDVI 进行了主成分分析,结果发现第 1、2、3、4 主分量分别可以代表此区域 NDVI 的全年累积、春夏变化、冬夏变化和秋冬变化。

另一方面,基于植被的季相节律和物候特征进行土地覆盖研究,通过分析植被类型 NDVI 的年变化曲线,在植被类型季相节律和物候特征的先验知识基础上,对植被类型进行分类。如盛永伟等^[16]用 NOAA 卫星的 NDVI 时间序列并基于植被的生繁衰枯物候节律,对中国全境的植被进行了宏观分类。Lambin 曾采用 NOAA-9 和 NOAA-11 的资料,先对这两个不同传感器的数据进行对比校正,然后从不同年份的 NOAA 影像上比较了植被指数、地表温度、空间结构等的变化^[17]。

近年来,EOS/MODIS 资料以其高光谱分辨率和较高的地面分辨率,已经开始在遥感监测土地覆盖研究领域发挥其综合优势。同时一些以往主要用于区域尺度研究上的变化信息提取方法,如变化向量法等等也被用于大尺度研究中,体现出了相互融合的特点。如 Friedl 等^[18]利用 EOS/MODIS 资料并主要用单变量决策树法进行了全球土地覆盖分类研究。Zhan 等^[19]也基于 MODIS 的 250m 分辨率资料并采用了变化向量分析等方法进行了全球 5 个典型区域的土地覆盖变化遥感监测研究。国内唐俊梅等^[20]用 EOS/MODIS 资料的植被指数和多通道合成法初步进行了松嫩平原的宏观土地覆盖监测研究。陈建军等^[21]进行了基于 MODIS 数据的东北地区土地覆盖分类的精度评价研究。

2.2 区域尺度研究

对区域尺度而言,一般要求应用高精度高分辨率的遥感资料,如 TM、SPOT、CBERS、IKONOS 等以及它们之间的结合。所采用的方法既包括上述大尺度应用中采用的方法,又包括基于高分辨率影像的更加多样的方法。主要可概括为两大类,以像元光谱的直接比较为基础的方法和以分类后比较为基础的方法。前者主要有:

1) 不同时相的波段代数运算法。如差值法、比值法、植被指数法等。如 Yuan 等^[22]用单变量图像差值法对华盛顿地区的土地覆盖变化情况进行了检

测,尚东^[23]也曾使用此方法对广东省中山市的土地覆盖变化情况进行了检测。李本刚等^[24]曾提出了这方面的一种新方法,通过用多时相 TM 资料分别计算 NDVI,再将多时相的 NDVI 进行假彩色合成,最后对 NDVI 合成图进行 HIS 彩色变换,从而定量地分析了敦煌地区绿洲的植被变化。

2) 回归法。回归法是首先假定时相 t_1 的像元值是另一时相 t_2 像元值的一个线性函数,通过最小二乘法进行回归,然后再用回归方程计算出的预测值来减去时相 t_1 的原始像元值,从而获得二时相的回归残差图像。经过回归处理后的遥感数据在一定程度上类似于进行了辐射水准的相对校正,因而能减弱多时相数据中由于大气条件和太阳高度角的不同所带来的不利影响。

3) 主成分分析法。在变化检测研究中,多时相遥感数据的主分量有时是作为图像差值法或回归法中的输入参数,也即每个时相的数据先独立做主分量分析,然后再进行比较,以求出变化信息。另外也可以先将多时相数据强制性地组合成一个单一的遥感数据组,之后再对该数据组进行主分量分析。如黎夏等^[25]通过多时相遥感影像叠置后的主成分分析法,提高了遥感监测的精度。又如 Yey 等^[26]先对多时相 TM 数据的和值(时相 1 + 时相 2)图像进行主成分分析,再通过阈值法来辨识变化信息效果较好。

4) 变化向量分析法(CVA)。由于多时相遥感数据中任一像元矢量都可用多维测量空间中的一个点来表示(空间的维数等于原始波段数),通过对不同时相下的同名像元矢量进行相减所得到的变化矢量就可以用于描述该像元从第一时相(t_1)到第二时相(t_2)期间在多维空间中所发生的位置变化;其中变化矢量的模代表了变化的强度,而方向则指示了发生变化的类型。如陈晋等^[27]用 CVA 方法,并提出了双窗口变步长阈值搜寻方法,采用 TM 资料(543 三个波段)对北京海淀区进行了土地覆盖变化的动态遥感监测。又如 Zhan 等^[19]在用 EOS/MODIS 资料的 250m 数据进行全球 5 个典型地区的土地覆盖变化检测时,也采用了变化向量分析法,并与其它 4 种方法相结合来构造决策树并进行变化检测。

以上 4 种方法的主要优点为得到的土地覆盖变化目标分布明确,变化数量也易确定;主要缺点为对图像的辐射纠正,多时相和季节的光谱统一及几何

配准等方面要求较高;此外决定其精度的关键因素在于变化/未变化阈值的判定和选取,同时也是其难点所在。

后者主要有不同时相数据的分类后比较法和不同时相数据的直接分类比较法两种。如 Yuan 等^[22]给出了各种增强处理和后分类方法的具体处理过程以及各种方法的应用效果比较试验。贾凌等^[28]采用改进的分类后比较法,通过将一个时相 TM 影像的分类结果矢量图套合在另一时相的影像上,通过人机交互解译直接发现变化范围和进行动态变化制图,对海南省的土地利用/覆盖变化情况进行了检测。Bhattacharya 等对后向传播神经网络(BP)分类法进行改进后,用于道路类特征的变化检测^[29]。这两种方法的优点在于克服了不同时相,不同传感器造成的成像差异,确定的土地覆盖变化能够识别变化的因果类型和面积,缺点在于计算和工作量大,变化识别精度受单期影像分类的精度影响等。

此外很多人对基于光谱变化和分类后比较的混合动态监测方法也进行了不少探索。如陈崇成等^[5]以后分类比较法的结果为基础,运用改进的差值法定义的“变化”目标进行修正,将两种方法有机集成,综合地对厦门 10a 间的土地覆盖变化进行了监测与分析。

3 土地覆盖遥感地物分类的新进展

近年来,随着遥感监测土地覆盖变化研究的深入,要求不仅要获得土地覆盖变化信息,而且要获得变化的类型,实质是获得不同监测时期的土地覆盖分类信息。因此分类精度的提高直接决定了土地覆盖变化监测精度的提高。而遥感分类方法的提高一直是遥感技术方法研究的重要领域,近年来这方面有了一定进展,主要表现在下面几个方面。

3.1 人工神经网络分类的广泛应用和系统性研究

许多研究表明神经网络法在处理速度和分类精度上均优于传统监督分类法,且容错能力强。如 Carpenter 等^[30]使用陆地卫星光谱资料和地形资料,用人工神经网络法进行了植被分类,结果表明该方法与最大似然法等方法相比,具有精度高,快速,稳定且可分级的特点。又如梁益同等^[31]用 BP 神经网络法(反向学习算法)基于 NOAA 卫星 1 2 4 三通道资料对洞庭湖及其周边水体进行了识别分类,结果表明比目视解译和阈值法精度更高。肖平

等^[32]采用人工神经网络法(ANN)进行了土地利用/覆盖变化探测,通过分别采用BPNN网络和LVQ网络,将分类和变化发现两步整合成一个过程,直接提供了分类信息和变化信息,结果表明该方法能够克服分类后比较法中误差累积的缺点,变化探测精度有明显提高。

3.2 多源信息分类

将多种传感器获取的数据同时运用并结合非遥感数据,特别是结合GIS进行分类是遥感图像分类的一个发展趋势。GIS的作用主要体现在以下3个方面:一是在遥感分类前,GIS数据用于影像分区;二是在分类中作为一个数据层辅助分类;三是辅助进行分类后处理。Miguel-ayanz等运用GIS结合地形数据进行交互式分类(interstice classification)取得了较好的可信度^[33]。师庆东等^[34]在对新疆北部进行植被分类时,先根据植被分布特点用GIS手段将研究区图像进行了分幅,再将DEM、坡度等GIS数据作为一个数据层辅助分类,使得分类精度得以提高。黎夏^[35]提出了利用GIS技术来提取形状信息和改善分类精度的新方法,从而使一些容易混淆的分类得到纠正。

许多研究将多种信息数据源进行集成来进行分类。如Curtis提出在多光谱数据与高空间分辨率数据融合时,若保证光谱辐射的整体性,可提高分类精度^[36]。Anne等^[37]应用Markov随机过程理论对ERS-1-SAR高光谱图像和TM全色图像相结合进行农作物生长与土地利用的分类决策。Benediktsson等提出了将多种数据和分类方法分别进行并相互组合的混合分类法(Hybrid classification methods)^[38]。田青等^[39]采用基于GOODALL相近指数的遥感影像和其它空间数据集成的综合方法,对意大利北部的森林地区进行了分类,结果表明其它辅助空间数据(DEM、坡度、坡向等)的引入能够显著地改善分类精度。

最后,将同源数据中的各波段用数学模型处理成含有一定地学意义的新的数据层(如植被指数等),并将其作为辅助参与分类,可以更有效地提高精度,减弱各种分类误差的影响。如Conese等^[40]发现利用NDVI指数波段,可以有效地消除山地对遥感图像分类所造成的影响。又如周小成等^[41]用TM资料对河北坝上地区进行土地覆盖动态监测研究时,通过引入正交植被指数(PVI)参与监督分类,有效地改善了水体和山体阴影的混分现象。

3.3 现有分类方法的优化组合和改进

目前在此方面的一个重要方向是:将几十年来积累的一些传统遥感地学分析方法进行数理扩展后,引入分类领域。这其中由层次分析方法引伸出的分层聚类法和决策树法已得到了广泛应用。如Ediriwickrema等^[42]设计的分层像元分类方法(HPC)是一种基于多维特征空间的层次结构的参数化统计分布模型,实验证明,在分类精度上,HPC方法比标准的最大似然方法(MLH)有一定程度的提高。又如Friedl等^[43]应用决策树分类法进行了遥感土地覆盖的分类研究,结果表明比最大似然等传统方法在精度上有明显改善,同时决策树法还具有非参数化、抗干扰、易于地学知识融合等优点。Hansen等^[44]基于EOS/MODIS资料用递归决策树方法进行了全球的树冠覆盖百分率遥感制图(500m分辨率),同样取得了较好的结果。Murthy等^[45]曾设计了一个决策树的算法并开发完成了相应的软件系统。在以前决策树法研究成果的基础上,Friedl等^[18]在比较了决策树法和人工神经网络法的效果后,基于EOS/MODIS资料,采用决策树法进行了全球土地覆盖制图,并生成了NASA的土地覆盖分类产品。Zhan等^[19]也采用了决策树法,基于EOS/MODIS的250m分辨率数据进行了全球5个典型地区的土地覆盖变化检测。Ridd等提出一个新的称为Chi Square转换法用于城市环境动态监测,实践证明该法具有一定的实用性^[46]。

另外,获取并利用地学先验知识,将这些知识用于分类的空间数据挖掘和知识发现的方法也是当前遥感研究领域的热点之一。李德仁等^[47]曾系统论述并分析了空间数据挖掘和知识发现的一些前沿理论和方法。毛克彪等^[48]也曾就空间数据挖掘的技术方法和初步应用做过论述。作为这种知识发现的应用,杨存建等^[49]曾提出了一种基于知识的遥感影像土地利用分类法,认为该法不仅可促进GIS数据更新的自动化,还可得到比常规最大似然法更高的分类精度。

4 总 结

由于遥感具有全球观测的能力,即可以从多波段、多时相和全天候角度获得全球观测数据。在遥感技术的支持下,全球变化研究中的陆地表层空间特征和地表演化现代过程研究,由于得到了时空序列完整的数据支持而进入了科学化、量化、参数化

的研究阶段。如 EOS/MODIS 数据在被美国 NASA 用于推导和反演多种地表覆盖及其生物物理参量(包括地表反射率、植被指数、土地覆盖类型等)时,其中每一个物理参量的计算方法都是经过反复推敲研讨,并总结了到目前为止有关科学文献的结论而确定的。今后随着多颗新型遥感卫星的上天,将会出现种类更多,更丰富的数据源,同时还将出现新的变化检测方法,另外遥感分类的精度也将不断提高。凡此种种,将使遥感监测土地覆盖变化研究从广度、深度和精度上都会得到很大加强和提高。

参考文献:

- [1] 史培军,宫鹏,李晓兵,等. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1-2.
- [2] 刘玉机,胡远满,布仁仓,等. 中巴地球资源卫星在辽东区域环境监测中的应用评价研究[J]. 测绘科学, 2000, 25(2): 30-32.
- [3] 王建,潘竟虎,王丽红. 基于遥感卫星图像的 ATCOR2 快速大气校正模型及应用[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(4): 193-197.
- [4] Yuan D, Elividge C. Comparison of Relative Radiometric Normalization Techniques[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1996, 51: 117-126.
- [5] 陈崇成,汪小钦,王钦敏,等. 应用集成的遥感识别技术进行土地利用变化分析[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 748-752.
- [6] 王建,鲁安新,郭庭天,等. Brovey 图像融合在引大灌区土地覆盖调查中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(3): 173-177.
- [7] 钟志勇,陈鹰. 多源信息融合中小波变换的应用研究[J]. 测绘学报, 2002, 31(增刊): 56-60.
- [8] 陈冬林,李勤爽. 知识型遥感图像光谱特征融合探讨[J]. 遥感信息, 2001, 15(2): 6-8.
- [9] 史培军,宫鹏,李晓兵,等. 土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 5-6.
- [10] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, et al. Development of A Global Land Cover Characteristics Database and IGBP Discover from 1km AVHRR Data[J]. International Journal of Remote Sensing (in review), 1998, 19(6): 228-239.
- [11] Tucker C J, Townshend J R G, Goff T E. African Land Cover Classification Using Satellite Data[J]. Science, 1985, 227: 369-375.
- [12] Townshend J R G, Justice C O, Kalb V T. Characterization and Classification of South America Land Cover Types Using Satellite Data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1987, 8: 1189-1207.
- [13] 朱启疆. 应用气象卫星 NOAA-AVHRR 图像进行植被研究的多时相途径[J]. 环境遥感, 1991, 1(2): 99-104.
- [14] 李晓兵,史培军. 基于 NOAA/AVHRR 数据的中国植被类型 NDVI 变化规律研究[J]. 植物学报, 1999, 41(3): 314-324.
- [15] 詹志明. 陇西黄土高原陆面蒸散发估算的遥感研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2003.
- [16] 盛永伟,陈维英,肖乾广,等. 利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类[J]. 科学通报, 1995, 40(1): 68-71.
- [17] Lambin E F. Change - Vector Analysis in Multitemporal Space: A Tool to Detect and Categorize Land - Cover Change Processes Using High Temporal Resolution Satellite Data[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 48: 231-244.
- [18] Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, et al. Global Land Cover Mapping from MODIS: Algorithms and Early Results[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83: 287-302.
- [19] Zhan X, Sohlberg R A, Townshend J R G, et al. Detection of Land Cover Changes Using MODIS 250 m Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83: 336-350.
- [20] 唐俊梅,张树文. 基于 MODIS 数据的宏观土地利用/土地覆盖监测研究[J]. 遥感技术与应用, 2002, 17(2): 104-107.
- [21] 陈建军,张树文. 基于 MODIS 数据的东北地区土地覆盖分类的精度评价研究[A]. 第十四届全国遥感技术学术交流会论文集[C], 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 2003. 86-92.
- [22] Yuan D, Elividge C. NALC Land Cover Change Detection Pilot Study: Washington D. C. Area Experiments[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66: 166-178.
- [23] 尚东. 利用遥感技术进行中山市土地覆盖变化监测的初步研究[J]. 遥感信息, 1996, 10(2): 12-15.
- [24] 李本纲,陶澍. 一种利用多时相 TM 影像分析地表植被变化的新方法[J]. 遥感学报, 2000, 4(4): 295-298.
- [25] 黎夏,叶嘉安. 利用主成分分析改善土地利用变化的遥感监测精度——以珠江三角洲城市用地扩展为例[J]. 遥感学报, 1997, 1(4): 282-289.
- [26] Yey A G, Li X. An Integrated Remote Sensing and GIS Approach in The Monitoring and Evaluation of Rapid Urban Growth for Sustainable Development in The Pearl River Delta, China[J]. International Planning Studies, 1997, 2(2): 193-210.
- [27] 陈晋,何春阳,史培军,等. 基于变化向量分析的土地利用/覆盖变化动态监测[J]. 遥感学报, 2001, 5(4): 259-265.
- [28] 贾凌,都金康,赵萍,等. 基于 TM 的海南省土地利用/覆盖动态变化的遥感监测和分析[J]. 遥感信息, 2003, 17(1): 22-25.
- [29] Bhattacharya U, Parui S K. An Improved Backpropagation Neural Network for Detection of Road - Like Features in Satellite Imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(16): 3379-3394.
- [30] Carpenter G, Gail A. ART Neural Networks for Remote Sensing Vegetation Classification from Landsat TM and Terrain Data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(2): 308-325.
- [31] 梁益同,胡江林. NOAA 卫星图像水体信息神经网络识别方法的探讨[J]. 应用气象学报, 2001, 12(1): 85-90.
- [32] 肖平,李德仁. 基于人工神经网络技术的土地利用/覆盖变化探测[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2002, 27(6): 586-590.
- [33] Miguel - ayanz San, Biging G S. An Interactive Classification Approach for Mapping Natural Resources from Satellite Imagery

[J]. International Journal of Remote Sensing ,1996 ,17(5) :957 - 981.

[34] 师庆东 ,吕光辉 ,潘晓玲 ,等. 遥感影像中分区分类法及在新疆北部植被分类中的应用[J]. 干旱区地理 ,2003 ,26(3) :264 - 268.

[35] 黎夏. 形状信息的提取与计算机自动分类[J]. 环境遥感 ,1995 ,10(4) :279 - 287.

[36] Curtis K . Resolution Enhancement of Multispectral Image Data to Improve Classification Accuracy[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing ,1993 ,59(1) :67 - 72.

[37] Anne H , Anil K. A Markov Random Field Model for Classification of Multisource Satellite Imagery[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ,1996 ,34(1) :100 - 113.

[38] Benediktsson J A , Sveinsson J R. Hybrid Consensus Theoretic Classification[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ,1997 ,35(4) :833 - 843.

[39] 田青 ,Enrico Feoli. 基于 GOODALL 相近指数的遥感图像和其它空间数据综合分类方法[J]. 遥感学报 ,1999 ,3(3) :187 - 192.

[40] Conese C , Maracchi G , Maracchi M ,et al. Improvement in Maximum Likelihood Classification Performance on Highly Rugged Terrain Using Principal Components Analysis[J]. International Journal of Remote Sensing ,1993 ,14(7) :1371 - 1382.

[41] 周小成 ,武法东 ,田明中 ,等. 基于 RS 和 GIS 技术的坝上地区土地利用/覆盖动态监测研究[A]. 第十四届全国遥感技术学术交流会议论文集[C]. 青岛 :国家海洋局第一海洋研究所 ,2003. 158 - 159.

[42] Ediriwickrema J , Siamak Khorram . Hierarchical Maximum Likelihood Classification for Improved Accuracies[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ,1997 ,35(4) :810 - 816.

[43] Friedl M A , Brodley C E . Decision Tree Classification of Land Cover from Remotely Sensed Data[J]. Remote Sensing of Environment ,1997 ,61(2) :399 - 409.

[44] Hansen M C , DeFries R S , Townshend J R G , et al. Global Percent Tree Cover at A Spatial Resolution of 500 Meters : First Results of The MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm[J]. Earth Interactions ,2003 ,7(10) :1 - 15.

[45] Murthy S K , Kasif S , Salzberg S . A System for Induction of Oblique Decision Trees[J]. Journal of Artificial Intelligence Research ,1994 ,2(2) :1 - 33.

[46] Ridd M K , Liu J. A Comparison of Four Algorithms for Change Detection in An Urban Environment[J]. Remote Sensing of Environment ,1998 ,63 :95 - 100.

[47] 李德仁 ,王树良 ,李德毅 ,等. 论空间数据挖掘和知识发现的理论与方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版) ,2002 ,27(3) :221 - 233.

[48] 毛克彪 ,田庆久. 空间数据挖掘技术方法及应用[J]. 遥感技术与应用 ,2002 ,17(4) :198 - 204.

[49] 杨存建 ,周成虎. 基于知识的遥感图像分类方法的探讨[J]. 地理学与国土研究 ,2001 ,17(1) :72 - 77.

Some Research Advances and Methods on Detecting Land Cover Change by Remote Sensing

HAN Tao^{1 2}

(1. Institute of Arid Meteorology CMA ,Lanzhou 730020 ,China ;
2. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster ,Lanzhou 730020 ,China)

Abstract :The study on land cover change detection by using remote sensing technology is one of the most important components in global environment change research. In this article ,some research methods on it are summarized and some research advances and current situations are discussed from the image process to the change detection. In the meantime ,some research advances on classification methods of land cover based on remote sensing are also introduced.

Key words :land cover change ;remote sensing ;methods ;advance