

基于实物分类统计法的森林变化监测研究*

吴杭艳¹, 方源敏¹, 张述清²

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南省地矿测绘院, 云南 昆明 650218)

摘要:遥感已广泛应用于森林动态监测, 遥感影像实物分类统计法为森林覆盖动态监测提供了可能。基于此, 提出了一种基于实物分类统计法的森林变化监测方法, 该方法综合图像分割技术、图像动态变化分析技术和多光谱随机信号处理技术, 通过统计手段, 可以对地面实物进行区分, 从而达到森林动态监测的目的。

关键词:变化监测; 森林; 图像分割; 遥感影像; 实物

中图分类号: P 237

文献标识码: A

文章编号: 1007-9394(2008)01-0009-03

Monitoring Research of Forest Change Based on Real Object Classification Statistical Method

WU Hang-yan¹, FANG Yuan-min¹, ZHANG Shu-qing²

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunnan 650093, China; 2. Yunnan Institute of Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources, Kunming Yunnan 650218, China)

Abstract: Remote sensing has being applied broadly to forest dynamic monitoring, real object classification statistical method offers the feasibility for forest cover dynamic monitoring. Based on this, this paper brings forward a kind of monitoring method of forest cover based on real object classification statistic. The method colligates image segmentation, image dynamic analytic and multi-spectrum random signal processing technique; it may differentiate the surface to arrive at the goal of forest dynamic monitoring.

Key words: change monitoring; forest; image segmentation; remote sensing image; object

0 引言

森林生态环境的破坏已经得到了全世界的关注。森林监测系统的主要任务是监测和评估森林土地利用变化, 也可评估森林系统含碳量的变化, 这样不仅可以对森林资源数量进行监测, 而且还能加强生态环境信息的动态监测; 在数据更新方面, 能更好地完成监测体系的数据更新。森林监测系统被广泛用于森林地图的更新, 例如森林管理、含碳量预算、栖息地监测等等。

卫星遥感影像被广泛应用在森林变化监测和森林地图更新等方面。基于早期的地球表面观测数据, 很多监测系统已经建立起来, 这些系统大致可以分为3类: 视觉人工解译; 像素区分法; 实物区分法。

视觉人工解译使用单时期或多时期图像, 人们通过自己的经验对实物边界进行划分, 并标识出变化区域。该方法需要人工技能和经验的大量参与, 纹理、外形、尺寸和图像类型等都是该方法用来解译地物地貌的关键因素。

像素区分方法较人工解译可以提供更多的可重复利用的信

息。这类方法中, 发展最快的是多时段和不同类型遥感影像的综合分析方法。每一步只对一种地物进行分类和操作, 避免了每次进行分类时误差的积累。该方法的精确率比较高, 但此类方法的可移植性不是很好, 此外, 它只对几种特定的动态变化较有效, 例如城市扩张、植被死亡变化、植被由冻土地带向森林迁移等方面。该方法只对像素自身进行了变换, 而对与其空间相关, 有密切联系的周围的像素点没有考虑。

实物区分法已经用于森林监测系统, 该方法综合了人工解译分析和像素区分法, 取得了较好的效果, 代替了传统的对像元空间位置的单一分析, 属性相似的临近像元被划归到对应的实物之内。伴随着图像分割技术的出现, 人们运用越来越成熟的实物区分方法对图像进行分割。所谓的图像分割就是把一幅遥感影像分割成许多空间连续、同类的区域, 即“实体”。实物区分方法的主要优点是在动态变化分析中能综合考虑周围实物的相关信息, 而不是仅仅只考虑像素本身。而且, 该方法有利于减小当地光线变化的影响, 更加有利于对相邻地物的区分。由于

* 收稿日期: 2007-10-31

实物中包含的最少像元数的限制,使得少于该像元数的动态变化不能被监测到。

遥感影像数据量大,为了充分利用实物区分方法的动态监测技术,一种是基于矢量分析变换的非监督分析方法,但这种方法没有利用到图像分割技术;另一种可认为是一种加强的 ISO-DATA 分类方法,但这种方法对边界的区分不是很好。这两种方法目前已有了一定的发展,但是效果并不十分明显。

本文旨在通过对图像分割技术、图像差别分析、多光谱随机信号处理的探讨,提出一种新方法来提取地面森林覆盖的动态变化信息。对于高空间分辨率遥感影像来说,该方法非常容易实现,且与所研究的具体地点无关。

1 实物区分法

本研究所采用的动态监测方法是基于实物和统计手段的区分方法。使用该方法得到最后的动态监测地图需要经过 3 个步骤。第一步,将多时段影像中开始的孤立点分割为一个个的实物;第二步,从各个实物当中提取标识实物不同阶段的不同时段属性信息;第三步,根据实物的属性信息,运用统计学手段进行多变量的边界迭代处理。

借助跨越时段的一组遥感影像,动态变化监测旨在区分出“变化实体”,根据相应未变化的实体,由变化实体得到最终需要的变化区域。实物区分方法依赖于 3 个假设:

- 1) 只考虑整个研究区域的一小部分,并且变化范围不大;
- 2) 未变化区域表现出相似的反射系数差异;
- 3) 变化部分引起的大面积反射比变化和非正常的反射比变化系数差异。

如果这些假设成立,实物区分法的运算方法就可以用来衡量不同实物相应表面的反射系数随着时间的变化,而且可以在不同实物之间进行比较。实物随着时间变化表现出的反射系数非正常改变,可以通过统计学进行确认,标识为变化区域。虽然森林的变化状况受监测的时间间隔和地域面积影响很大,但就森林的实际情况来看,这 3 条假设是基本成立的。

1.1 多时段分割

所谓的图像分割就是通过实物与相邻实物的相互比较,对实物的变化范围求最小值,将图像分割成若干空间连续块,性质相似的像元群即“实体”。这种图像分割的运算方法是一种图像融合技术,它将相同性质的像元融合为实物主要是根据一个最优化函数:

$$w_{\text{spectral}} \sum_{nb} w_b \sigma_b + (1 - w_{\text{sp}}) \left[w_{\text{sp}} + \frac{l}{\sqrt{np}} + (1 - w_{\text{sp}}) \frac{l}{lr} \right] \leq h_x \quad (1)$$

式中: nb 代表光谱的波段数; σ_b 是实物中相对于波段 b 的变化量; l 是实体边界长度; np 是实物中像元总数; lr 是包含实物最小矩形的长边值(尽管对于不同的波段 b 都有一个潜在的值 w_b ,但在研究中都取相同值); 参数值 w_{sp} , 这里叫做修剪指数,用来使实物均匀化,边界更平滑。最后,考虑到最初选择的同质区域作为实物,定义了比例参数 h_x ,用来控制选择到的实物尺寸,以便和最小地图单元 MMU 相匹配。

传统方法中,图像分割只针对单波段的遥感影像,在本研究

中,实物的定义和提取是在多波段合成的多光谱遥感影像中进行的。这个过程也就是所谓的多时段图像分割,它的好坏依赖于空间条件、光谱条件、描述实物的现时信息等,只有较好的满足这些条件,才能保证具有相同性质的像素能在多波段的遥感影像空间中被划分到一起。这里的空间指一系列影像中的所有波段空间。

1.2 实物多时段属性

根据 SPOT 遥感数据各波段及其分辨率的分析,各波段分别反映了植被的不同特征: B1 可见光波段对植物的叶绿素和叶绿素浓度敏感; B2 红光波段对植被的覆盖度、植被的生长状况敏感; B3 近红外波段对植被类别、密度、生长力、病虫害等的变化敏感; 经过比较分析发现 SPOT5 的 B321 组合对植被空间几何细节表达清晰。因此,为了比较多时段光谱信号的变化,需要采用连续时段(波段 B1、B2、B3)的反射系数进行相减运算。这样从连续观察的影像中可以得到差值图像,分别是由波段 B2 减波段 B1 和波段 B3 减波段 B2 得到的。对于每个实物而言,通过与前一幅遥感影像的比较,多时段属性表已经记录了实物所发生的变化,其中包括了两个重要参数,即平均值 M 和标准差 S , 它们反映实物表面反射系数的差异和不同。当所有波段遥感影像反射系数的差异都被计算出来以后,对于每个实物的多时段属性值矢量可以定义成为一个 X_{ij} , 则有

$$X_{ij} = (M_{i1}, \dots, M_{ib}, S_{i1}, \dots, S_{ib})' \quad (2)$$

式中: 其中 i 为实物编号; $j(j=1, 2)$ 为图像编号; b 为所利用图像的光谱波段数。

1.3 多变量迭代边界处理

借助前文所定义的矢量,变化实体从非变化实体中的提取主要是通过统计分析以及边界的迭代过程实现的。所谓的边界提取操作就是不需要像元的排除过程,该过程的目的也是为了降低不需要像元对多个估计参数的灵敏度,比如均值和方差等,以达到对边界层的提取。在研究中,边界处理过程采取了多变量方式,同时采用了不同实物出现在矢量 X_{ij} 中的统计数据,多变量的综合考虑和联合分析增强了对边界的处理效果。同时由于使用了遥感影像中有关实物所有波段的反射系数均值和方差,对森林变化的监测能力也大大增强,这些变化对不同的波段也有不同的影响程度。

对于从未受到干扰的森林,其实物的反射系数差异随时间变化是不明显的,这主要是因为通过图像差异的融合过程和图像分割处理,当地森林的不同成分已经被均匀化了。假设观察到的变化差异是由各种非控制因素造成的,则对于未变化实物的多时段属性参数通过高斯分布是可以合理地估计出来的。假定未变化实物 X_{ij} 符合高斯分布,则可以得到协方差矩阵:

$$C_{ij} = (X_{ij} - m_j)' \sum_j^{-1} (X_{ij} - m_j) \quad (3)$$

式中: m_j 为平均向量; C_{ij} 符合自由度为 $2b$ 的 X^2 分布,记为 $C_{ij} \sim X^2(2b)$, 即:

$$P(C_{ij} < X_{1-\alpha}^2(2b)) = 1 - \alpha \quad (4)$$

也就是说,对于 $1 - \alpha$ 置信区间,可以确定 $X_{1-\alpha}^2(2b)$ 超出该区间的可能性仅有 α 。如果 α 被选择得很小,置信区间的范围

就会较大,落到置信区间的 C_i 值就会增多,这样潜在的无关像元有可能被选中,森林变化量的估测就会受到影响。

使用公式(3)前提是要知道 m_i 和 j 值,这两个参数可直接由整个遥感影像的矢量 X_i 获得,但由于图像无关像素的影响,这种方式可能会得到不是很精确的参数估计值,所以可以联合使用公式(3)和(4),进行迭代操作,这样可以得到 m_i 和 j 。第一条边界可以处理出来,而从图像中未变化的实物中,利用同样的方法又可以得到新的 m_i 值和 j 值,新的边界又会得到处理,这个过程会反复进行,直到认为没有实物发生变化为止。这样代替了从单一的参数预测值监测实物变化的方法,在不断的反复迭代过程中,参数预测值准确值不断提高,效果大大改善。

上述过程只是在单一的图像差异分析中进行了使用,对于两幅图像则可先分别进行处理,再把结果进行合并。在整个森林动态监测的过程中,如果某个实物只要在一组统计分析中被认为是变化区域,则将被当作异常像元进行处理。

2 研究场地和试验结果

试验场地覆盖面积达 1 800 km²,森林覆盖面积占 40%,其中包括每年落叶和常年不落叶等松类树种。选择了 3 张跨越的多光谱 SPOT-HRV 影像,以及一些整年的数据用来消除季节性的辐射影响。前两张影像的空间分辨率为 20 m,第三张影像空间分辨率为 10 m,第三张影像经过双线性的采样差值,分辨率已经调整到 20 m。对每幅遥感影像采用了绿光波段、红光波段和近红外波段,这样 3 个不同时期的影像,共 9 个波段,构成了一景综合的遥感影像。

在对多幅遥感影像进行的比较中,有两个步骤是必需的。首先,对 3 幅图像进行高精度的几何校正,避免图像融合处理时造成的误差。并且通过 DEM 数据,对每幅图像进行辐射校正,3 张图片的标准差分别达到 0.51、0.66 和 0.39 个像素。其次,考虑到图像间地物辐射强度的较大差异可能会影响图像多波段绝对辐射强度分析,所以图像中像素所代表实际地物的辐射率要通过 SPOT 影像参数校正为 TOA 反射系数。为了采用 RGB-NDVI 方法,需要对每幅图像使用 TOA 反射系数值计算出 NDVI 值,计算公式为:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (5)$$

这样从原始的 3 幅遥感影像中得到了两种成品图:其一是通过各幅图像的 3 个波段得到的 3 幅 NDVI 图;其二是 9 波段合成的 TOA 反射系数图像。

NDVI 遥感参数专题图的制作是一个复杂的系统工程,得到一幅高质量的图像需要经过几何校正、辐射校正、降噪、锐化、滤波、直方图均衡等多个步骤,此处仅简述波段融合、波段的代数运算,使用工具为 ERDAS 软件。

2.1 遥感影像 B2、B4、B3、PAN 波段融合

每景遥感影像均包含 6 个波段,选择 B243、PAN 波段对每景遥感影像进行融合,之所以选择 B243、PAN 波段,一方面是由于它们的融合能最大限度的突显森林植被信息;另一方面是这 3 个波段融合得到的新数据既具有全色波段数据的高空间分辨

率特征又具有多光谱特征。

2.2 遥感影像针对波段的代数运算

$NDVI = (X_{nir} - X_{red}) / (X_{nir} + X_{red})$,其中 X_{nir} ——近红外波段; X_{red} ——红外波段。对于高分辨率遥感卫星 SPOT 的图像来说, $NDVI = (XS_3 - XS_2) / (XS_3 + XS_2)$,所以对某森林域每景 B2、B4、B3 波段合成图像选择 B2、B3 波段进行代数运算,先对图像上每个点的灰度值求差,再求和,再将差值与和进行比值,即进行除法运算,则可以得到每景遥感影像的 NDVI 参数图。

处理对象为经过 Degrade 降化处理后的 3 个波段的合成图像,其中 Layer:2 对应合成图像的第 4 波段,Layer:1 对应合成图像的第 3 波段,对合成图像的这两个波段进行代数运算。Operator 选择“+”,点击 OK 键即可进行加法运算,减法和除法运算过程相似,不再赘述。

3 结论

通过实物分类统计法对该试验区的森林动态变化监测,与实测数据比较准确率达 90% 以上,较好地解决了图像上同一地物无法区分的问题。

本研究所获得的森林面积的动态信息,为研究区森林资源的经营管理和保护提供依据。利用多期遥感图像对森林资源进行动态监测,提供了前后时期的林地面积和覆盖的变化数据。显而易见,森林资源的变化其驱动力则是人为因素即经济因素的影响。因此,应加强土地特别是林地森林资源的管理,提高林地单位面积的生产力,同时应防止乱开滥垦,合理利用和开发林地资源,严格控制人为因素对森林植被的破坏,形成良好的资源与生态环境,使林地资源的利用走上可持续发展的道路。

【参 考 文 献】

- [1] 常庆瑞,蒋平安,周勇,等. 遥感技术导论[M]. 北京:社会科学出版社,2004.
- [2] 曾志远. 卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [3] 党安荣. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理办法[M]. 北京:清华大学出版社,2002. 1~225,260~338.
- [4] 汤国安,张友顺,等. 遥感数字图像处理[M]. 北京:科学出版社,2004. 1~273.
- [5] 刘盛和,吴传钧,沈洪泉. 基于 GIS 的北京城市土地利用扩展模式[J]. 地理学报,2000,55(4):407~416.
- [6] And reas, Laliberte, Albert Rang. Forest state analysis and change detection by statistical method[J]. Remote Sensing of Environment, 2004,93:198~210.
- [7] Baudouin Desclée. Multi-source object-oriented classification of land-cover very high resolution imagery[J]. Enviroinfo Conference,2004,3(1):21~23.

作者简介:吴杭艳(1979~),女,云南大理人,硕士研究生,主要从事 3S 综合集成的应用研究。