

文章编号: 1000-1964(2004)03-0249-05

工矿区陆面演变动态监测中的遥感信息处理

杜培军^{1,2}, 陈云浩³, 方涛², 郭达志¹

(1. 中国矿业大学 测绘与空间信息工程研究所, 江苏 徐州 221008;

2. 上海交通大学 图像处理与模式识别研究所, 上海 200030;

3. 北京师范大学 资源科学研究所, 北京 100875)

摘要: 以工矿区陆面演变遥感动态监测为研究目标, 建立了包括图像运算、图像变换、分类统计、模型分析 4 个层次的遥感动态监测应用体系, 在分析现有算法的基础上, 提出了综合动态监测方法和基于灰度回归的变化检测算法, 最后通过多时相主成分分析方法进行了实例分析

关键词: 遥感; 陆面演变; 动态监测; 主成分分析

中图分类号: TP 751 **文献标识码:** A

Remote Sensing Information Processing Methods for Dynamic Monitoring of Terrestrial Surface Evolution in Mining Areas

DU Pei-jun^{1,2}, CHEN Yun-hao³, FANG Tao², GUO Da-zhi¹

(1. Institute of Surveying and Spatial Information Engineering, CUMT, Xuzhou, Jiangsu 221008, China;

2. Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030,

China; 3. Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Taking the dynamic monitoring of terrestrial surface evolution (TSE) in mining areas by multi-temporal RS information as studying object, a framework of information processing methods for RS dynamic monitoring was proposed. It consists of four levels: image computation, image transformation, classification and statistics, and model analysis. Based on those available methods two new methods including synthetic dynamic monitoring method and change detection by gray regression were proposed. Finally, an example of multi-temporal PCA was given.

Key words: remote sensing; terrestrial surface evolution (TSE); dynamic monitoring; principal component analysis (PCA)

多源、多时相遥感信息融合是遥感信息处理的重要方面, 集中体现在多源信息融合以提高分类精度和多时相信息融合进行动态监测两个方面^[1-4]。工矿区陆面演变是资源开采原动力影响下的陆地表面空间和属性变化, 其本质特性在于“演变”, 即动态性。近年来国内外在遥感应用于矿区生态环境分析方面已有一些研究, 但主要集中在分类和信息提取方面, 动态监测方面的研究还比较少^[5-7]。本文以工矿区陆面演变遥感动态监测为例, 建立信息处理方法的体系结构, 并结合应用特点发展新的算

法, 以促进遥感动态监测技术在矿区应用的发展

1 遥感动态监测信息处理方法体系结构

卫星遥感信息应用于工矿区陆面演变动态监测的关键在于变化信息检测与提取。目前常用的信息处理方法包括图像运算法、植被指数相减法、变化矢量分析法、主成分分析法、光谱特征变异法、分类结果比较法等^[8-16], 各种方法缺乏一个统一的体系框架。结合工矿区陆面演变动态监测的要求, 综合考虑不同算法的理论基础、算法原理、操作对象

收稿日期: 2002-12-09

基金项目: 教育部博士点基金项目(20010290006); 国家自然科学基金项目(49871069, 40201036)

作者简介: 杜培军(1975-), 男, 山西省五台县人, 中国矿业大学副教授, 工学博士, 博士后, 从事遥感理论与应用方面的研究。

和应用模式, 可以将遥感动态监测的信息处理方法归纳为图像运算、图像变换、分类统计与模型分析 4 个层次, 每一层次都包括一些实用的算法

1.1 图像运算

设 F_i 表示第 i 时相所获取的遥感图像, 则在任意两个时相 i, j 内区域演变的情况 ΔF_{ij} 可以通过图像运算进行探测 即

$$\Delta F_{ij} = F_j - F_i + M \quad (1)$$

式中 F_i 最基本的表达方法为采用像素灰度值, 也可以采用纹理特征 即使对于同样的土地覆被, 由于成像时间、气候条件、太阳高度角等不同, 不同时相的灰度值也不一定相同, 尽管可以通过校正使二者接近, 但精度较低 由于不同时相的遥感图像其灰度值的差异往往具有一定的规律, 因此可以通过阈值来确定变化区域 为了克服灰度的影响, 有些研究中采用了植被指数相减的方法, 这种方法对于植被、农田等动态变化适用, 但对其他的演变则未必适用, 如由乡村用地变为城镇用地、道路交通用地, 并不伴随植被指数的变化, 显然效果不好^[8].

1.2 图像变换

可用于遥感动态监测的变换主要包括主成分分析(KL 变换)、穗帽变换(K-T 变换)、频域变换如快速傅立叶变换(FFT)小波变换、典型成分变换等, 目前应用较多的是主成分分析^[17] 多时相遥感信息主成分分析的基本思想是对不同时相的数据进行变换, 以突出主要信息(特别是变化信息), 包括三种变换模式 差值主成分法对差值图像实施 KL 变换, 变换结果中第一分量集中了差值图像的主要信息, 即变化信息 主成分差值法将不同时相图像 KL 变换的第一主成分进行差值运算, 用以探测变化信息 多时相主成分变换则将多时相图像配准后形成混合数据集进行 KL 变换, 这时第一、二个分量反映原始图像的主要信息, 对应于未变化的信息, 后面几个分量则主要反映变化信息, 将在实例中进行详细分析

1.3 分类统计

对不同时相遥感图像的分类结果进行统计分析, 可以进行定性、定量、定位变化探测与分析 这一层次的方法主要包括:

1) 编码分析法: 将两时相的像元类别进行组合, 形成组合编码, 根据预先建立的陆面演变特征码, 进行逐个像元处理, 提取与变化特征码匹配的像元, 既可以确定变化类型与空间位置, 又能够进行统计, 从而实现定位、定性、定量的分析

2) 变换转移矩阵法: 变换矩阵一般是分别统

计两时相各种地类面积之间的转换关系, 从而建立以地类转换为目标的变换矩阵, 以此对变化情况进行分析, 进而分析其驱动机制和发展趋势

3) GIS 支持下的变化信息检测: GIS 中的许多背景信息可以用来支持陆面演变监测, 根据区域调查和统计分析, 建立陆面演变的主要影响因素, 并根据这些因素利用 GIS 数据确定演变敏感区及其缓冲区, 在此区域内应用多时相遥感信息进行分类分析等方法进行变化检测 它充分利用了 GIS 技术及已有数据, 减少了处理的遥感数据量, 可提高效率, 精度也较高, 但要求有 GIS 系统与数据的支持

1.4 模型分析

基于模型的动态监测分析采用一定的模型表达演变模式, 以遥感图像信息(灰度信息、纹理、植被指数等)作为模型参数, 进行变化识别与分析 遥感信息模型和其它遥感数据驱动的模式是地学过程研究的有效手段, 可以考虑建立陆面演变遥感信息模型 但由于模型建立涉及到地学机理、光谱特征、参数辨识、试验分析等问题, 是一个非常复杂的过程, 因此在研究中未进行这方面的工作 但从遥感应用的发展来看, 这将是一个重要的方向, 有待于今后进一步研究

2 两种新的信息处理方法

针对目前主要的信息处理方法, 结合研究目标及研究区的实际情况, 我们进一步设计了两种实用的遥感动态监测信息处理方法并应用于研究实践

2.1 综合动态监测方法

如前所述, 在进行陆面演变遥感动态监测与分析时有 3 个方面的要求: 确定发生变化的空间位置(定位); 确定变化种类(定性); 对变化趋势进行定量描述(定量). 采用单一方法往往难以同时满足这些需求, 因此考虑采用多种方法的集成, 即综合动态监测方法, 其主要思想和技术流程如下:

1) 利用主成分差值法, 通过阈值分割确定两时相的变化区域 CR;

2) 对变化区域进行缓冲区分析, 形成新的变化区域及其周围背景区 CR;

3) 对区域 CR 进行分类, 确定其在两时相的类别, 从而实现动态监测;

4) 对变化区域进行定量统计与分析

这种方法的关键是对主成分差值图像进行后处理, 它只对变化区域进行处理, 减少了处理的工作量, 并且采用一些通用算法进行处理, 优化了处

理流程及操作集,易于实现和应用

2.2 基于灰度回归与信息融合的方法

不同时相遥感图像上同一地物的灰度之间应该具有一定的函数关系。以不同时相的 SAR 图像与 TM 图像为例,可以通过目视判读确定若干两个时相中没有变化的像元,根据它们的灰度建立回归函数,然后取一种图像(TM 图像)为自变量,另一种(SAR 图像)为因变量,先根据回归函数得出一幅模拟图像 SAR,然后对 SAR 与 SAR 取差值图像,再按照一定的阈值提取变化部分,并对变化部分分别在 TM 和 SAR 中按照最小距离原则归入相应的类别,基于证据理论对分类结果进行决策级融合,从而实现变化检测。在具体研究中,为了充分应用多光谱遥感的优点,分别根据若干未变化像元建立 TM 图像第 3, 4, 5 波段与 SAR 图像的灰度回归函数,然后由 TM 3, TM 4, TM 5 计算三幅模拟图像后,取平均值形成最终模拟图像 SAR 参与后续处理。

3 实例分析——基于主成分分析的处理

以下以主成分分析方法为例进行实例说明,研究中采用的遥感信息是由中国卫星地面接收站购买的华东某矿区 1987 年和 1994 年的 TM 图像,使用除 TM 6 外的其余 6 个波段,分别采用主成分差

值、差值主成分、多时相主成分 3 种处理技术进行主成分差值法分析时,取 1987 年 TM 图像 6 个波段第一主成分 PC1₈₇和 1994 年 6 个波段的第一主成分 PC1₉₄,进行标准化后,计算 $\Delta PC1$,如图 1 所示,图像看出亮度较大的区域反映了变化信息。

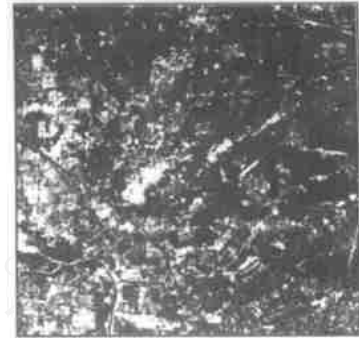
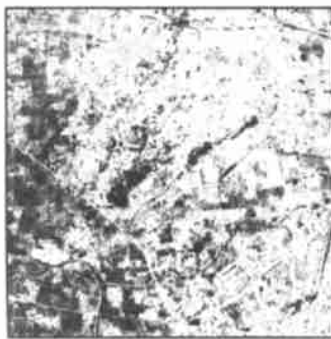


图 1 1994 年与 1987 年第一主成分之差
Fig. 1 Difference of PC1 in multi-temporal image

在差值主成分变换方法中,分别对 TM 87, TM 94 进行校正,然后按波段求差,对 6 个差值图像进行主成分变换,经分析试验,其中第一主成分和第二主成分已包含了主要的变化信息,如图 2a 中暗色部分,2b 中明亮部分所示。可以看出,变化信息与背景信息之间具有明显的阈值,可以提取变化明显的区域。但具体的分析研究也表明,差值主成分受差值图像的影响较大,容易出现伪变化区域。



(a) 差值图像第一主成分



(b) 差值图像第二主成分

图 2 差值图像主成分变换

Fig. 2 PCA transformation to difference image

在多时相主成分中,为了减少计算量,在每一时相中均选取具有最大信息量的组合 TM 3, TM 4, TM 5 三个波段。将 6 个波段组成一个集合,进行主成分变换,表 1 为各主成分特征值、标准差及所占比例。对各主成分图像进行分析,发现 PC1, PC2, PC3 已基本覆盖了全部图像信息,其中第一主成分与第二主成分如图 3a, b 示,主要反映了各时相图像中相对稳定的不变部分,而第三主成分中则主要体现了变化区域,如图 3c 所示。图 3d 为 PC1, PC2, PC3 组成的 RGB 合成图像,其中变化区域得到了

明显表达,能够通过阈值分割或分类进行提取

表 1 多时相主成分变换参数

Table 1 Parameters of multi-temporal PCA

主成分通道	特征值	标准差	方差比%
1	741.386 5	27.228 4	59.25
2	285.242 5	16.889 1	22.79
3	149.133 0	12.212 0	11.92
4	51.955 2	7.208 0	4.15
5	14.545 4	3.813 8	1.16
6	9.102 8	3.017 1	0.73

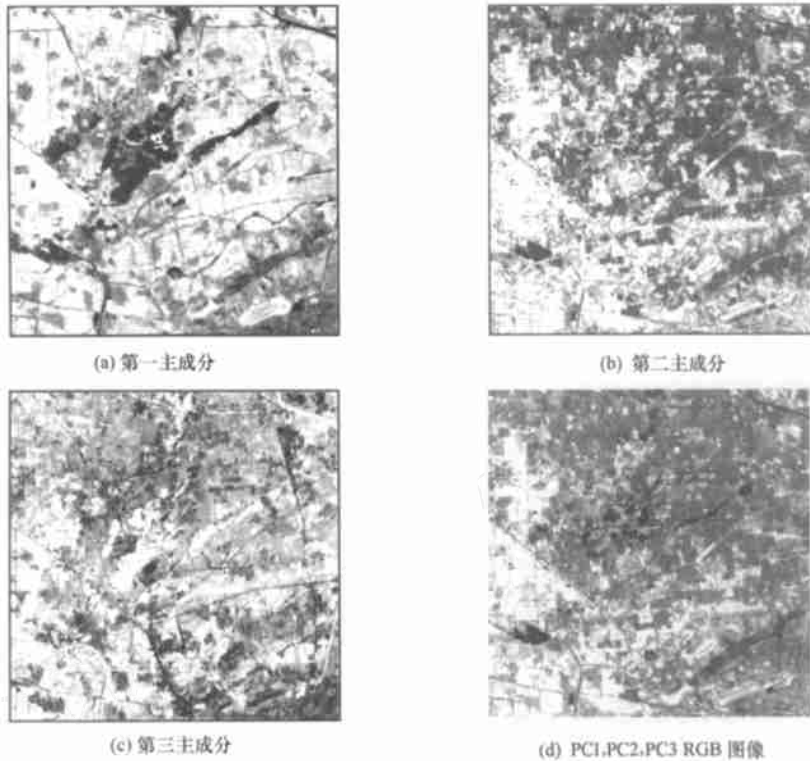


图 3 多时相主成分变换结果

Fig. 3 Image by multi-temporal PCA transformation

通过对 3 种主成分分析的比较说明: 主成分变换可以用来实现多时相遥感图像中的变化信息提取, 但主要是限于确定变化区域, 要确定具体的变化类型, 需要在分类支持下进行; 在 3 种处理策略中, 效果最好的是多时相主成分法, 它既可以确定两时相中的主要信息即不变信息, 又可以确定变化

信息; 主成分差值法也是一种相对有效的方法; 而差值主成分法由于受差值图像影响较大, 容易出现伪变化信息, 因此在使用前需先进行辐射校正和灰度标准化等操作。

4 结论与展望

本文面向工矿区陆面演变动态监测中多时相遥感信息的处理方法进行研究, 得出以下结论:

1) 遥感动态监测是多时相遥感信息应用的重要途径, 从技术体系上可以将应用模式分为图像运算、图像变换、分类统计、模型分析 4 个层次, 每一层次都有各自的特点和相应的算法;

2) 针对工矿区陆面演变的特点, 从实用性和效率综合考虑的角度, 设计出了综合动态监测、灰度回归变化检测等方法, 能够满足应用要求;

3) 多时相主成分分析能够有效应用于变化区域检测, 进而在分类、统计后能够实现定位、定性、定量的遥感动态监测, 是一种简便、易行的方法

本文侧重于方法体系构建和变化检测算法设计与分析。今后的研究将结合算法优化、定量分析等方面的要求, 提高算法的效果和适用性, 促进遥感信息在工矿区陆面演变监测与治理中的应用

参考文献:

- [1] Anne H, Anil K, Torfinn T. Multisource classification of remotely sensed data fusion of Landsat TM and SAR images[J]. IEEE Transaction on GeoScience and Remote Sensing 1994, 32(4): 768-778
- [2] Pohl C, Genderen J. Multi-sensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5): 823-854
- [3] 孙家炳, 刘继琳, 李军. 多源遥感影像融合[J]. 遥感学报, 1998, 2(1): 47-50
- [4] 何国金, 李克鲁, 胡德永, 等. 多卫星遥感数据的信息融合: 理论、方法与实践[J]. 中国图像图形学报, 1999, 4(9): 744-749.
- [5] 杜培军. 工矿区陆面演变与空间信息技术应用的研究[D]. 徐州: 中国矿业大学环境与测绘学院, 2001.
- [6] Prakash A, Gupta R. Land-use mapping change detection in coal mining area—a case study in the Tharia, Coalfield, India[J]. International Journal of

- Remote Sensing, 1998, 19(3): 391-410
- [7] Schmidt H, Glaesser C. Multitemporal analysis of satellite data and their use in the monitoring of environmental impacts of open cast lignite mining areas in Eastern Germany [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(12): 2245-2260
- [8] John G, Ding Yuan, Ross S, et al. A change detection experiment using vegetation indices [J]. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 1998, 64(2): 143-150
- [9] Kwarteng A, Chavez P. Change detection study of Kuwait city and environments using multi-temporal Landsat TM data [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(9): 1651-1662
- [10] 张永生, 王仁礼. 遥感动态监测[M]. 北京: 解放军出版社, 1999
- [11] Mas J F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques[J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(1): 139-152
- [12] Lambin E. 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(2): 231-244
- [13] Lorenzo B, Sebastiano B. An iterative technique for the detection of land-cover transitions in multi-temporal Remote Sensing Images [J]. IEEE Transaction on GeoScience and Remote Sensing, 1997, 35(4): 858-867.
- [14] Merrill K, Liu J J. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 63(2): 95-100
- [15] Robb D, Russell G. A quantitative comparison of change detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data [J]. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 1998, 64(3): 207-216
- [16] 廖明生, 朱攀, 龚健雅. 基于典型相关分析的多元变换检测[J]. 遥感学报, 2000, 4(3): 197-201.
- [17] 李本纲, 陶澎. 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

(责任编辑 王玉浚)