

# GIS支持下遥感图象中采矿塌陷地提取方法研究

杜培军<sup>1,2)</sup> 郭达志<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(中国矿业大学测绘与空间信息工程研究所, 徐州 221008)

<sup>2)</sup>(上海交通大学图象处理与模式识别研究所, 上海 200030)

**摘要** 采矿塌陷地动态监测是工矿区资源管理与环境保护的重要方面, 遥感技术可在其中发挥重要作用, 从遥感图象中提取采矿塌陷地是遥感应用于矿山资源环境监测的重要研究课题。传统的提取方法主要基于光谱特征, 精度与效率都难以满足应用要求, 为了以较高的精度, 从遥感图象中提取塌陷地, 必须建立新的方法与模型。将遥感技术与GIS相结合进行专题信息提取是有效的途径之一。本文根据研究区的特点, 以具体应用为指导, 遥感技术与GIS相结合, 提出了GIS支持下的分层分类、基于GIS变化区域识别的分类、基于GIS和领域知识对遥感分类图象进行后处理、GIS支持下采矿塌陷地的直接提取等方法与模型, 充分应用光谱特征、地学特征与信息、领域和专家知识及其他统计数据辅助进行遥感图象处理与专题信息提取。这些方法在精度、效率等方面均较传统方法有较大提高, 最大提取精度可达89%, 能够有效地对工矿区土地塌陷态势进行动态监测。

**关键词** 计算信息管理系统(520·6070) 地理信息系统 采矿塌陷地 遥感 领域知识

**中图分类号**: P208 P751.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)02-0231-05

## The Extraction of Mining Subsiding Land from RS Image Supported by GIS

DU Pei-jun<sup>1,2)</sup>, GUO Da-zhi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Institute of Surveying and Spatial Information Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008)

<sup>2)</sup>(Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030)

**Abstract** It is one important aspect of RS applications in mining areas to extract mining subsiding land from RS images. The precision and efficiency of traditional methods based on spectral features is low. In order to extract mining subsiding land from RS images with high precision and efficiency, new methods and algorithms should be proposed. The integration of RS and GIS can be used to this filed, and GIS can support the RS image processing and information extraction. In this paper, according to the spectral and spatial properties of subsiding land in studying area and related knowledge, some new methods and models used to RS image processing and subsiding land extraction with the support of GIS are proposed, including layered classification supported by GIS, classification of changeable region identified by GIS, classified image post-processing based on GIS and domain knowledge and direct extraction models based on GIS and domain knowledge. In those new methods, both GIS data and some spatial analysis functions are used to RS image classification and information extraction. GIS can serve as the auxiliary proof or direct information of classification, and provides check and comparison basis for the results, also it can be used as image processing platform. It proved that the methods supported by GIS could make full use of spectral features. Geo-information and properties, domain and expert knowledge and other statistics data. Those new methods are more precise and effective than traditional methods, and the best precision can reach about 89%. So RS images can be used to monitor land subsidence situation effectively and dynamically.

**Keywords** Computer information system, Geographical information system (GIS), Mining subsiding land, RS image, Domain knowledge

基金项目: 高校博士点基金资助课题(20010290006); 中国矿业大学科技基金资助项目(OP1067)

收稿日期: 2002-01-11; 改回日期: 2002-06-10

## 0 引言

地下资源开采引发的地面塌陷是严重制约工矿城市可持续发展的重要因素,它不仅破坏土地资源,同时引发一系列生态环境问题,破坏生产生活设施,进而可能诱发社会、经济问题。对采矿塌陷地进行动态监测、统计分析、治理复用是近年来矿区可持续发展研究的重要方面。获取塌陷地实时、动态信息是各项工作的基础。传统的实地测量方法工作量大,成本高,不易经常组织,因此迫切需要采用新的方法。采矿塌陷是一种典型的土地利用/土地覆盖变化(LUCC)现象,伴随着地面光谱特性、纹理特征、空间关系等的变化,其体现在塌陷盆地形成、塌陷空间范围扩展、土地利用属性变化等方面。遥感图象可以真实地记录区域地面实况,在塌陷地监测与识别方面具有明显的优越性。从遥感图象中提取塌陷地可应用基于视觉特征的目视解译、将塌陷地作为一种类型进行分类、多源多时相图象融合分类等方法,但这些方法都以单一光谱特征为依据,未能充分利用有关的地质信息与知识。随着地理信息系统(GIS)应用的发展和深入,将GIS用于遥感图象处理领域,充分应用地质信息、领域知识及GIS的空间分析功能,进行塌陷地的提取、将可以有效提高精度,并促进遥感与GIS集成技术在矿区应用的发展。

## 1 基于GIS的遥感图象分类与信息提取

遥感和GIS集成是空间信息技术应用的一个重要方向,在二者的集成应用中,遥感是GIS主要的信息源,GIS是对遥感信息进行处理与应用的平台,同时可作为遥感图象处理的辅助手段。GIS在遥感图象处理与理解中可以发挥的作用包括:(1)对遥感图象进行辐射改正,消除或降低地形差异的影响;(2)作为解译的直接证据,增加处理中的信息量;(3)作为处理的辅助证据,减少不确定性;(4)作为解译结果的检验数据,降低误判率<sup>[1~3]</sup>。

在遥感图象和多源地理数据融合、基于GIS和专题知识的遥感图象处理方面,国内外都已做了大量的研究工作<sup>[1~7]</sup>。当前应用较多的专题信息提取方法是将提取目标作为一个类别,在分类图象中确定目标类别。GIS支持下的遥感分类方法包括:(1)分层分类方法 应用GIS提取有关地形因子(如高

程、坡度、坡向),将遥感图象中的待分类地区进行细分,形成多个亚分类区,然后对各个亚分类区分别按最有效的光谱特征进行分类;(2)分类分层方法 在直接按地物光谱特征进行分类之后,在GIS支持下再次进行分类<sup>[4]</sup>;(3)从GIS数据库中发现知识,并建立知识库,对以光谱信息为基础的分类结果进行推理与后处理,最终确定像元所属类别<sup>[5~7]</sup>;(4)将GIS数据直接纳入遥感图象处理<sup>[8]</sup>。由于分类的工作量大、影响因素多,因此根据提取目标所具有的光谱特性、地质特征、领域知识等,直接在GIS支持下进行专题信息提取的方法也得到了较多的应用<sup>[4]</sup>。

如何在GIS支持下,设计可靠的分类器和模型,用于采矿塌陷地的提取和识别,是一个有待解决的问题,本文将对此进行探讨。研究采用的遥感信息源是Landsat 5 TM多光谱图象。

## 2 GIS支持下的分层分类与提取

GIS支持下分层分类的思路是:根据不同对象所具有的特性,在GIS中按照一定准则对地面覆盖进行分层,然后根据不同层的特性,确定相应的分类策略。具体方法是,首先基于实地调查与先验知识,对GIS数据库中的地面覆盖,按变化敏感性进行分层,若某一层的地面覆盖不改变,则对应的像元不进行处理,直接赋予GIS数据库中的类别;若某一层的地面覆盖可能发生改变,则根据其可能发生的变化形式,选择对这些类别适用的波段组合进行分类。根据研究区的实际情况,地面覆盖共分为以下5层:

L1: 山体与自然水体 二者都以封闭图形来表示,山体以坡度发生突变处为外围边界,由等高线获取;水体取水陆分界线形成的封闭区域;

L2: 交通路线 从GIS数据库中直接提取;

L3: 矿区 对各矿区以开采煤层边界为基础,进行缓冲区分分析,生成矿区层,该层是地面塌陷发生的主要空间;

L4: 绿地 根据地形图、土地利用现状图,将农田、植被作为绿地,单独分为一层;

L5: 建设用地 将GIS中的村庄、乡镇、城市分为一层。各层均用二值图象表示,“1”表示像元属于该分层,“0”表示不属于。设 $G$ 表示GIS数据库(栅格数据)中某栅格单元的类别, $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 、 $T_5$ 、 $T_7$ 分别表示第1、2、3、4、5、7波段的TM图象, $O$ 表示分类结果图象中每一像元的类别。则对某一像元,按其在各层中的不同取值,采用不同的处理策略:

对L1、L2两层(即 $L1=1$ 或 $L2=1$ ),土地覆盖

类型不会发生变化,因此分类结果即为 GIS 数据库中的属性类别,即  $O=G$ ;

对矿区层 ( $L3=1$ ),由于其用地类型复杂、种类多,而且是塌陷地产生的主要空间,因此需用 BP 神经网络进行分类,以像元在第 3、4、5 波段的灰度值作为 BPNN 的输入;

对绿地层 ( $L4=1$ ),其土地覆盖类型易于发生变化,首先利用植被指数 ( $G_{TM4}/G_{TM3}$ ,其中  $G_{TM}$  为 TM 图象第  $i$  波段灰度,下同)进行植被提取,得到绿地集合  $L41$ ,令  $L41$  区域中的像元类别仍为绿地,即  $O=G$ ;对剩余区域  $L42(L42=L4-L41)$  进一步分类,根据研究区特征,绿地只会演变成 3 种形态,即荒地、建设用地、水体,选取对这 3 个类别敏感的波段可实现对  $L42$  的分类。

对建设用地层 ( $L5=1$ )来说,其覆盖相对稳定,但由于少数情况如拆除建筑物营造公共绿地、村庄下采煤导致塌陷等原因可能导致土地覆盖类型变化,建设用地的演变形态可能是绿地与水体,不会有其他形式,因此先用  $G_{TM4}/G_{TM3}$  提取绿地,令分类结果为绿地;再在其中提取水体(由  $(G_{TM2} + G_{TM5}) - (G_{TM4} - G_{TM3}) > 0$ ),这些水体是由于在建筑物下采煤形成的塌陷区;剩余部分直接赋予建设用地类型。

按照以上的分类策略,可以综合应用区域演变的实际知识、GIS 数据辅助进行遥感图象分类,计算量较小,且精度较传统方法有一定提高,分类器的详细结构如图 1 所示。

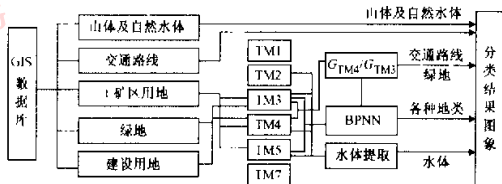


图 1 GIS 支持下的分层分类器

### 3 基于变化区域识别的方法

这种方法与第 2 节中的方法所遵循的知识与规律相同,但在具体分类策略上有所区别,所采取的方法是:将 GIS 中的土地利用图影像化,生成模拟图象  $G1$ ,对遥感图象  $TM5$  波段相应类型的像元灰度进行统计,将其均值赋予  $G1$  中对应地面覆盖类型的像元,得到模拟图象  $G2$ ,取  $R = G_{TM5}/G_{G2}$ ,若

$0.9 < R < 1.1$ ,则直接赋予  $G1$  中的类别,得到分类区域  $O1$ ,对未分类区域采用最大似然分类法或  $BPNN$  进行分类,训练区从  $O1$  中选择,得到分类图  $O2$ ,组合  $O1, O2$  即可得到分类图象,分类器如图 2 所示。

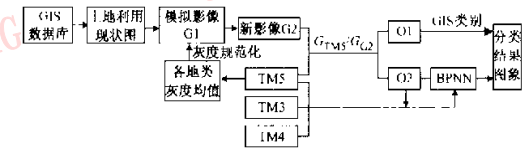


图 2 GIS 支持下变化区域识别分类方法

### 4 GIS 支持下的分类图象后处理

根据各地类的地理特征,如高程、坡度、相邻关系等建立知识规则,对最大似然法分类图象进行后处理,确定像元所属的最终类别,是当前 GIS 支持下遥感图象分类的主要方法之一。

设 GIS 数据库中的土地利用现状图影像化后得到的图象为  $G$ ,像元值及其代表的类型为:1——水体,2——绿地(含林地),3——建设用地,4——荒地(含塌陷地),初分类后的遥感图象为  $C1$ ,经规则推理后的结果图象为  $C2$ ,另设以矿区作缓冲区分析形成的采动影响范围二值图象为  $M$ ,1 表示位于像元位于该缓冲区,0 表示不属于该区域。

知识采用产生式规则形式进行表达:

IF 条件 THEN 结论  $CF$ (结论可信度因子)

一些主要的规则包括:

基于坡度和高程的知识:

IF  $slope > 5^\circ$  THEN 建设用地 0.1

IF  $slope > 5^\circ$  THEN 水体 0.1

IF  $elevation > 60$  THEN 山地 1.0

IF  $elevation > 50$  THEN 建设用地 0.1

基于动态变化的知识

IF  $G=C1$  THEN  $C2=G=C1$

IF  $G=2 \& C1=1$  THEN 塌陷地 0.9 (其中“&”为逻辑与运算,下同)

IF  $G=1 \& C1=4$  THEN 水体 0.9 (季节性水体由于自然干涸形成荒地)

IF  $G=2 \& C1=3$  THEN 建设用地 0.9

IF  $G=2 \& C1=4$  THEN 塌陷地 0.9

IF  $G=2 \& C1=1$  THEN 塌陷地 0.9

IF  $G=3$  THEN 山体 0.9

IF  $G=3 \& C1=1$  THEN 塌陷地 0.9

```

IF G=3 & C1=4 THEN 塌陷地 0.9
IF G=4 & C1=1 THEN 塌陷地 0.9
IF G=5 & C1=2 THEN 绿地 0.9 (指复垦后的土地)
IF G=2 & C1=3 THEN 建设用地 0.9

```

基于空间关系的知识( $W$ 指以像元为中心的 $5 \times 5$ 窗口)

```

IF M=1 & C1=1 & G≠1 THEN 塌陷地 0.9 (矿区缓冲区
内非自然水体必为塌陷积水)

```

```

FOR W in M IF G=2 & C1=1 or G≠5 THEN 塌陷地
0.9 (若矿区缓冲区内某窗口中既有水体、又有荒地,且原先
为绿地,则W必为塌陷地)

```

以上只是部分知识,今后还应进行不断完善,建立知识库,以满足信息提取的要求。

这种方法的优点是对每一像元都充分利用光谱知识、空间关系、统计知识、客观规律等进行综合处理,分类精度高,可靠性强,缺点是计算量偏大,对每一像元都要进行多次处理。

## 5 基于GIS与领域知识的塌陷地提取

由于图象分类及后处理必须对所有的像元进行处理,计算工作量较大,如果能够根据塌陷地所具有的特征直接进行提取,无疑可以极大地提高效率,这种提取一般要在GIS的支持下进行的。

### 5.1 塌陷地的特征和知识

从空间结构上看,塌陷地具有以下特征:(1)具有坑状结构,不管是移动盆地还是塌陷坑,都表现为一种凹坑状结构;(2)宏观连续与微观离散状态,从整个塌陷坑或移动盆地来看,地表塌陷是连续的,而从内部具体形态上来看,又表现为高低不平的起伏状态,即微观上的离散形态;(3)积水特性:由于地下潜水位较高,当塌陷到一定深度时,将导致塌陷区积水;另一方面,在雨季,塌陷坑必然会汇聚大量积水,特别是本研究采用的是9月获取的遥感图象,塌陷坑积水明显;(4)表面覆被非均一性,塌陷区内既有积水区,也有塌陷但未积水的绿地,还有因受积水影响导致盐渍化的裸露土地,不同土地覆盖斑块之间,以不规则、非均一的形式存在。

由塌陷地的特征,可以建立以下规则用于塌陷地提取:

(1)积水的时态性:塌陷区积水范围是动态变化的,将这一知识用产生式规则表示如下:

设 $W_1$ 为由地形图获取的区域自然水体, $W_2$ 为由遥感图象提取的水体信息,则进行基于栅格的运算:

$W_2 = W_1 - W_3$ ,对 $W_2$ 中每一像元,进行如下判断:

```

IF  $W_2 = 1$  THEN 塌陷地 0.9

```

(2)积水区应在开采煤层的缓冲区范围内;对地下开采范围进行缓冲区分析,得到区域 $Buf$ ,对水体 $W_1$ 与 $Buf$ 进行求交运算,得到区域 $W-Buf$ ,对其中的每一像元进行判断:

```

IF  $W-Buf(i, j) = 1$  THEN 塌陷地 0.9

```

(3)土地利用的动态变化:设 $I_1$ 为时相1图象的分类结果, $I_2$ 为时相2的分类结果,首先对 $I_1$ 与 $I_2$ 进行比较,然后提取其中的变化像元,根据塌陷地形成的规则和以上知识进行识别:

```

IF  $I_1(i, j) \neq I_2(i, j)$  THEN  $R(i, j) = I_1(i, j)$ 
ELSE  $R(i, j) = F(I_1(i, j), I_2(i, j))$ 

```

其中函数 $F$ 为根据两时相像元类别进行组合得出的值,它反映了像元从时相1的状态变化到时的状态类型, $F$ 为一有限离散函数,用来确定变化类别是否是塌陷地。

### 5.2 基于塌陷区积水的提取模型

对水体在TM图象各波段的灰度值进行分析发现,可用单波段图象阈值分割方法来进行水体提取,但其结果受阈值影响较大,而阈值又难以精确确定,因此应基于谱间关系进行提取,以克服阈值影响。经比较分析,基于谱间关系的水体提取模型为<sup>[3,9]</sup>:

```

IF  $(G_{TM2} + G_{TM3}) - (G_{TM1} + G_{TM4}) > 0$  THEN 水体 1

```

以此水体为中心,根据统计数据,可以外推得到塌陷区,具体的步骤如下:

(1)以矿区中心(或矿区井田边界)为基础进行缓冲区分析,半径 $r_1$ 根据矿区地面塌陷参数确定,得到区域 $R_1$ ;

(2)将 $R_1$ 与提取的水体区域 $W_1$ 作逻辑交运算,提取落在此缓冲区内的水体 $R_2 = R_1 \cap W_1$ ;

(3)根据地形图得到区域内自然水体集合 $W_2$ ,进行差值运算 $R_3 = R_2 - W_2$ ,并将 $R_3$ 每一斑块的内部区域进行填充;

(4)根据塌陷坑边界与积水边界的统计关系,确定外推半径 $r_2$ ,以 $R_3$ 的边界为基础,向外作缓冲区 $R_4$ ,得到提取的塌陷地。

### 5.3 基于土地覆盖因子变化的提取模型

对于未积水塌陷地来说,必须依据地面覆盖的动态变化进行提取,所采用的方法为:

(1)以矿区中心(或矿区井田边界)为基础进行缓冲区分析,得到区域 $R_1$ ;

(2)在区域 $R_1$ 内确定土地利用变化范围 $R_2$ ,由

多时相遥感图象分类信息或GIS基础信息确定变化类型,提取符合塌陷地特点的区域;

(3)根据 $R_1$ 和推理规则,确定塌陷地像元集合 $R_2$ ;

(4)根据外推半径 $r_2$ ,以 $R_2$ 边界为基础,向外作缓冲区 $R_3$ ,即可作为提取的塌陷地。

对某一矿区的地面塌陷情况分别用以上各种方法进行提取,由于缺乏矿山实地测量数据,因此以预测模型得到的数据为参照,结果证明,这几种方法均可以高于传统方法的精度提取塌陷地,正确提取率均在80%以上,而单独基于光谱特征的识别与提取精度均在78%以下,但由于这些模型中,采用了一些假设,因此都会出现一些误提取像元,对各种方法进行进一步比较可以发现,用GIS对最大似然分类图象进行后处理的方法,提取精度最高,正确提取率达89%,且误提取像元最少,但其运算与处理工作量最大;两种直接提取的方法计算简单,计算量小,速度较快,但提取精度相对较低,分别为82%和80%,而且误提取像元较多,同时提取结果与所采用的外推半径密切相关,但这一半径只能根据经验确定,还没有更好的确定方法。

## 6 结论与展望

以Landsat TM图象为遥感信息源,在GIS支持下,对采矿塌陷地的分类和提取方法进行了研究,提出了一些模型与算法,通过研究,可以得出以下结论:

(1)遥感图象是地面塌陷动态监测实用、有效的信息源,从中提取塌陷地可以通过多种方法进行;

(2)在GIS支持下进行塌陷地分类与提取,可以综合应用遥感信息、地物光谱特征、地学数据、领域知识、空间分析功能等,具有明显的优越性;

(3)本文所提出的算法与模型,经实例验证,均具有较好的提取效果,在要求精度较高时,建议使用GIS支持下的分类图象后处理方法;在粗略估计时,则可采用两种直接提取方法,其他两种方法则介于这些方法之间,可根据具体情况选用。

在提取塌陷地中,必须注意区域性,特别是自然地理条件的影响,如本文根据研究区塌陷地积水特征建立了相关模型,而这些模型在华北地区塌陷积水较少的矿山就难以应用,因此如何针对不同地域特点进行塌陷地提取,还有待进一步研究,今后一方

面要对提出的模型进行完善,另一方面要将遥感图象提取的塌陷信息纳入GIS,在GIS环境下进行塌陷评价、分析、模拟与治理决策支持,在集成系统中解决影响矿区可持续发展的重要问题。

## 参考文献

- 1 Bolstad P. V. Rule-based classification models: flexible integration of satellite imagery and thematic mapper data[J]. PE&RS, 1989, 55(10):965~971.
- 2 秦其明. 遥感图像自动解译面临的问题与解决的途径[J]. 测绘科学, 2000, 25(2):21~25.
- 3 周成虎, 骆剑承, 杨晓梅等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1999:68~138.
- 4 陈述彭, 章庆禧, 郭华东等. 遥感信息机理[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 367~368.
- 5 术洪磊, 毛赞猷. GIS辅助下的基于知识的遥感影像分类方法研究——以土地覆盖/土地利用类型为例[J]. 测绘学报, 1997, 21(4):328~336.
- 6 布和敖斯尔. 基于知识发现和决策规则的盐碱地遥感分类方法研究[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4A(11):965~968.
- 7 刘卫国, 龚建华. 地理信息系统支持下的知识获取及其在遥感影像植被分类中的应用研究[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 234~239.
- 8 李德仁, 关泽群. 空间信息系统的集成与实现[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000: 122~129.
- 9 杜培军. 丁矿区地面演变与空间信息技术应用的研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2001.

**杜培军** 1975年生, 2001年于中国矿业大学获博士学位, 现在上海交通大学进行博士后研究. 主要从事遥感信息管理 with 处理, GIS理论与应用等方面的研究. 发表论文20余篇.



**郭达志** 1938年生, 教授, 博士生导师, 中国矿业大学测绘与空间信息工程研究所所长. 主要研究兴趣为空间信息技术、现代测绘科技、数字地球与数字城市、资源环境监测与可持续发展等. 发表论文110余篇.

