

基于元胞自动机模型的开采沉陷模拟

陈秋计

西安科技大学测绘科学与技术学院, 西安 710054

摘要 开采沉陷模拟对矿区的环境治理和生态恢复具有重要意义。本文将开采沉陷理论与地理元胞自动机相结合, 基于 GIS 平台, 以 VS2010 为开发工具, 利用面向对象的方法, 构建了开采沉陷元胞空间, 探讨了开采沉陷元胞自动机模型的框架结构及实现方法, 构建了开采沉陷模拟对象关系图, 建立了开采沉陷元胞自动机演化模型。以山西某煤矿为例, 开发了开采沉陷元胞自动机原型系统, 根据研究区的煤层条件和开发方法, 进行了模拟实验, 分析未来开采沉陷的演变过程, 为土地复垦和生态修复提供依据。结果表明, 采用面向对象的方法能够较好地进行分析, 基于 GIS 和 CA 进行开采沉陷模拟, 开发方便, 系统兼容性好, 能够展示更多的时空信息, 便于数据管理。在空间划分上, CA 模型能够与传统的预计方法有机融合, 较为准确地预测未来的地表塌陷损毁情况, 为塌陷区治理提供依据。由于开采沉陷涉及的学科较多, 未来还需进一步完善演化模型, 探讨三维空间下的系统演化过程, 提高模拟的真实感和实用性。

关键词 元胞自动机; 开采沉陷; 地理信息系统

中图分类号 P208

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.11.009

Simulation of Coal Mining Subsidence Based on the Model of Cellular Automata

CHEN Qiuji

College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China

Abstract The simulation of mining subsidence plays an important role in mining environmental management and ecological restoration. Based on the GIS platform, the mining subsidence theory and geographical Cellular Automata (CA) are combined with each other, and then the mining subsidence cellular space is constructed by using the development tool of object-oriented method with the help of software of VS2010. The mining subsidence frame structure of CA model and realization method is discussed, and the mining subsidence simulation object relation graph is constructed. The evolution model of CA for mining subsidence is established based on the research result. Finally, the prototype system of mining subsidence CA is developed by taking a coal mine in Shanxi Province as an example. Based on the coal seam condition and mining method of the study area, the evolution of mining subsidence in the future is simulated using the prototype system in order to provide the basis for land reclamation and ecological restoration. The results show that object-oriented method is good for the analysis and exploitation of mining subsidence simulation system, and mining subsidence simulation based on GIS and CA, which is facilitated to the development of the system and has good compatibility, is able to show more spatiotemporal information, facilitating data management. In space division, the CA model could organically integrate into traditional method, and is able to accurately predict the future of surface subsidence damage, providing the basis for the treatment for subsidence area. Since mining subsidence relates to many subjects, there are many works need to be down in the future for further perfecting evolution model, exploring the evolution process of system in three-dimensional space, and enhancing the reality and practicability of simulation.

Keywords Cellular automata; mining subsidence; GIS

0 引言

煤炭资源的开采在高速发展的国民经济中发挥了重要

作用,但同时也给矿区生态环境造成了比较严重的影响^[1-2]。为了最大限度地减少由于开采沉陷造成的损失,必须在采前

收稿日期: 2012-11-26; 修回日期: 2013-01-21

基金项目: 陕西省教育厅科学研究计划项目(11JK0771); 中国煤炭工业协会科学技术研究指导性计划项目(MTKJ2010-400); 国土资源部公益性行业科研专项(20111016-4)

作者简介: 陈秋计, 副教授, 研究方向为土地复垦、GIS 应用, 电子信箱: qiujiuchen@163.com

就对开采过程中将会出现的沉陷状况有一个正确的预测,对开采将造成的环境破坏做出正确的影响评价。在过去的几十年中,中国在这些方面作了许多研究工作,形成了一套较为完善的开采沉陷理论,有关开采沉陷预计、分析等方面的计算机软件也取得了很大的成绩^[3-7]。但是,这些软件产品大多没有与 GIS 平台进行集成,影响了后续应用分析的效率。本文基于 GIS 平台,利用元胞自动机模型,模拟开采沉陷的演变过程,为矿区的环境评价、土地复垦等方面提供决策支持。本研究顺应了大力保护矿区环境的潮流,对矿区的可持续发展有重要作用。

1 元胞自动机概述

元胞自动机 (Cellular Automata, CA) 是现代计算机之父 Von Neumann 最早提出的,目的是从计算机角度,模拟生命系统所具有的自复制功能,具有数学构造简单、空间和状态变量离散、状态有限的特点。它为生态系统的研究提供了非常有效的思想和方法^[8-10]。与传统基于方程式的地理学模型相比,元胞自动机模型具有较好的时空动态性,可模拟非线性复杂系统的突现、混沌、进化等特征,是模拟生态、环境、自然灾害等多种高度复杂地理现象的有力工具。近年来,许多学者在不断扩展标准 CA 的基础上,结合分形理论、多因子评价模型、人工神经网络、马尔柯夫链、多智能体等模拟方法和 GIS、RS 技术手段,先后对其他系统动态进行了深入研究,构建了相应的扩展 CA 模型,并进行了实际应用研究^[11-13]。

2 开采沉陷元胞自动机模型

2.1 元胞空间的构建

利用 CA 模型模拟开采过程的前提是元胞空间的有效表达。传统的元胞自动机空间构成较为简单,无法满足开采沉陷模拟的需要。本文采用面向对象的方法构建元胞空间。基于面向对象的思想,单个元胞拥有自身的属性与方法,元胞的集合构成模拟空间。模拟空间也是对象,具有自身的属性与方法。由于开采沉陷模拟涉及地下开采煤层及地表,因此,元胞空间就包括地下元胞空间对象和地表元胞空间对象。当开采多煤层时,每个煤层可以抽象为一个地下元胞空间。地表元胞的状态抽象为一个向量,包括常用的预计变量。采用面向对象方法构建的对象关系如图 1 所示。

2.2 演化模型构建

根据元胞自动机理论,通用的演化模型为^[6]

$$S^{t+1} = f(S^t, N)$$

式中, S 为元胞状态; N 为临近范围; f 为转换概率; t 为时间参数。

根据本应用研究的具体特点,分为地下和地上 2 部分来进行建模。地表部分演化是本研究的重点,根据前文设计,地表元胞空间的状态参量包括下沉、倾斜、水平移动、曲率以及水平变形等。每个地表元胞的状态与地下元胞的状态相关联,地下元胞状态的变化,引起地表元胞状态发生变化。本方案基于开采沉陷学中的概率积分法来构建转移概率函数。下

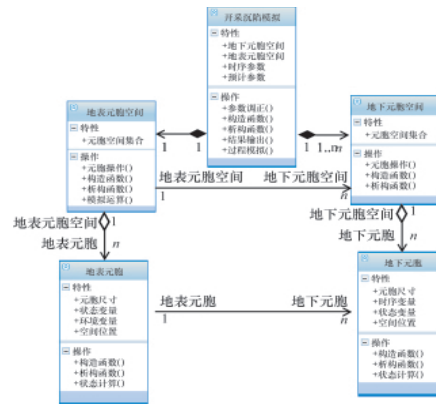


图 1 开采沉陷模拟对象关系

Fig. 1 Object relation graph for the Simulation of mining subsidence

面以下沉为例进行介绍。

$$S_w^{t+1} = S_w^t + \frac{1}{r^2} S_D^{t+1} \exp\left[-\pi \frac{(x-s)^2 + (y-t)^2}{r^2}\right]$$

式中, S_w^{t+1} 为 $(t+1)$ 时刻某一地表元胞的下沉状态; S_w^t 为 t 时刻某一地表元胞的下沉状态; r 为地下元胞开采的影响半径; x, y 为地表元胞的空间位置; s, t 为地下元胞的空间位置; S_D^{t+1} 为 $(t+1)$ 时刻某一地下元胞的状态。

同理, 其他状态参量也可以利用概率积分法进行计算, 本文不再赘述。

地下部分元胞自动机的演化根据开采计划进行。

3 模型的实现

本文利用 VS2010 为开发工具, 以 SuperMap DeskPro.NET 为开发平台, 采用插件式技术进行开发^[14]。系统技术流程如图 2 所示。

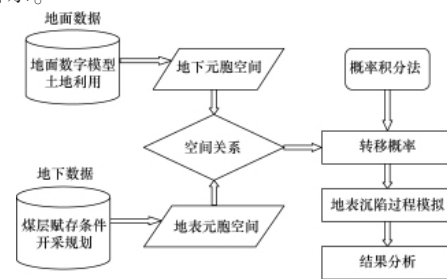


图 2 系统实现技术流程

Fig. 2 Flowchart of system implementation technology

4 实验研究

以山西阳城某矿 301 工作面为例进行研究。开采 3 号煤层, 煤层结构简单, 平均厚 5.14m。煤层直接顶板多为砂质泥岩、粉砂岩、泥岩, 局部为细粒砂岩, 一般厚约 4m; 直接顶板下常有约 0.1m 的灰色泥岩或炭质泥岩伪顶; 老顶为中粒砂岩, 厚约 6m。底板岩性多为泥岩, 一般厚 3.5m。首采工作面宽 160m, 长 1520m, 煤层埋深 300m, 地表地形较为平坦, 土地利用以耕地为主。根据开采计划, 该工作面的生产年限为 3a, 每年推进 500m 左右。下面利用本文所开发的元胞自动机模型, 模拟每年煤炭资源开采对地表塌陷的影响。地表塌陷的模拟

结果见图 3(限于篇幅,仅列出下沉的模拟结果)。通过对比,与 MSPS 开采沉陷预计软件所预计的结果(图 4)相同。

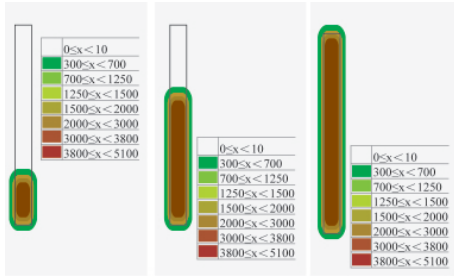


图 3 元胞自动机地表塌陷过程模拟 (x 为下沉量,单位: mm) Fig. 3 Surface subsidence process simulation of CA (x represents the subsidence value, unit: mm)

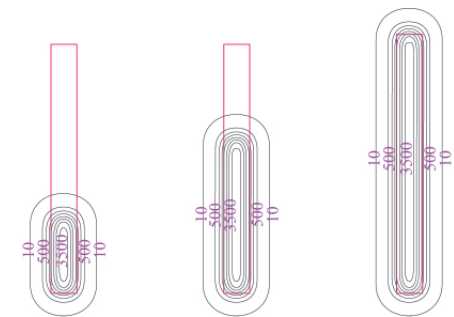


图 4 MSPS 地表沉陷预计结果 (单位: mm) Fig. 4 Surface subsidence prediction results of MSPS (unit: mm)

5 结论

开采沉陷模拟对矿区的环境治理和生态恢复具有重要意义。本研究利用元胞自动机模型模拟煤矿开采所造成的地表塌陷。取得的主要成果有:①利用面向对象的方法构建了开采沉陷元胞空间;②建立了开采沉陷元胞自动机演化模型;③开发了开采沉陷元胞自动机原型系统,并进行了模拟实验;④通过实验,系统可以较为准确地预测未来的地表塌陷损毁情况。结果表明:

- (1)采用面向对象的方法能够较好地进行分析开发;
- (2)基于 GIS 和 CA 进行开采沉陷模拟,开发方便,系统兼容性好,能够展示更多的时空信息,便于数据管理;
- (3)在空间划分上,CA 模型能够与传统的预计方法有机融合,较为准确地预测未来的地表塌陷损毁情况,为塌陷区治理提供依据。

由于开采沉陷涉及学科较多,未来需完善演化模型,结合计算机的三维可视化,提高模拟的真实感和实用性。

参考文献 (References)

[1] 靳建明, 吴侃, 王卷乐, 等. GIS 在开采沉陷中的应用探讨 [J]. 地矿测绘, 2000(4): 3-5, 12.

Jin Jianming, Wu Kan, Wang Juanle, et al. Surveying and Mapping of Geology and Mineral Resources, 2000(4): 3-5, 12.

[2] 吴侃, 黄珍珍, 王欣. 矿山开采沉陷的完备预计模型 [J]. 煤矿开采, 2006, 11(4): 3-6, 36.

Wu Kan, Huang Zhenzhen, Wang Xin. Coal Mining Technology, 2006, 11(4): 3-6, 36.

[3] 王志杰, 马天勤, 汪云甲, 等. 矿区开采沉陷时空信息动态模拟研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(5): 149-152.

Wang Zhijie, Ma Tianqin, Wang Yunjia, et al. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(5): 149-152.

[4] 张鹏, 王旭春, 袁长丰. 基于 GIS 的开采沉陷土地资源损害评价系统研究[J]. 青岛理工大学学报, 2009, 30(3): 15-20.

Zhang Peng, Wang Xuchun, Yuan Changfeng. Journal of Qingdao Technological University, 2009, 30(3): 15-20.

[5] 邹友峰, 邓略中, 马伟民. 矿山开采沉陷工程[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2003.

Zou Youfeng, Deng Kazhong, Ma Weimin. Mining subsidence engineering[M]. Xuzhou: China Mining University Press, 2003.

[6] 赵兵朝, 余学义, 赵继展. 开采损害预计评价系统的可视化研究[J]. 煤田地质与勘探, 2006, 34(4): 61-64.

Zhao Bingchao, Yu Xueyi, Zhao Jizhan. Coal Geology & Exploration, 2006, 34(4): 61-64.

[7] 郭文兵, 柴华斌. 煤矿开采损毁与保护 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008.

Guo Wenbing, Chai Huabin. Coal mining damage and protection [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2008.

[8] 陈巨海, 徐斌, 朱麟, 等. 基于元胞自动机的植物生态仿真系统研究[J]. 计算机仿真, 2007, 24(5): 324-328.

Chen Juhai, Xu Bin, Zhu Lin, et al. Computer Simulation, 2007, 24(5): 324-328.

[9] 曹中初, 孙苏南. CA 与 GIS 的集成用于地理信息动态模拟和建模[J]. 测绘通报, 1999(1): 7-8.

Cao Zhongchu, Sun Sunan. Bulletin of Surveying and Mapping, 1999(1): 7-8.

[10] 张显峰, 崔伟宏. 集成 GIS 和细胞自动机模型进行理时空过程模拟与预测的新方法[J]. 测绘学报, 2001(2): 148-149.

Zhang Xianfeng, Cui Weihong. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2001(2): 148-149.

[11] 曾荣, 陈建宏, 郭宏斌. 元胞自动机仿真模拟在矿山厂址选择决策中的应用[J]. 有色金属: 矿山部分, 2012, 64(4): 1-6.

Zeng Rong, Chen Jianhong, Guo Hongbin. Nonferrous Metals: Mining Section, 2012, 64(4): 1-6.

[12] 冯永玖, 童小华, 刘妙龙, 等. 基于 GIS 的地理元胞自动机模拟框架及其应用[J]. 地理与地理信息科学, 2010, 26(1): 40-42.

Feng Yongjiu, Tong Xiaohua, Liu Miaolong, et al. Geography and Geo-Information Science, 2010, 26(1): 40-42.

[13] 黎夏, 叶嘉安, 刘小平, 等. 地理模拟系统: 元胞自动机与多智能体 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

Li Xia, Ye Jia'an, Liu Xiaoping, et al. The geographical simulation system: Cellular automata and multi-agent [M]. Beijing: Science Press, 2007.

[14] SuperMap 图书编委会. SuperMap Deskpro .NET 插件式开发 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2012.

Editorial Board of the SuperMap Book. SuperMap Deskpro .NET plug-in development[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2012.

(责任编辑 齐志红, 张玉肖)