

# MAS 技术在土壤重金属污染评价及预警中的应用

李 向, 宋 涛

(郑州航空工业管理学院 计算机科学与技术系, 河南 郑州 450015)

**摘 要:**研究城市环境评价方法及预测预警技术,是合理利用资源、保护城市生态环境的需要,能为制定环境保护政策提供依据。综合运用地理信息系统(GIS)技术和多智能体系统(MAS)技术,建立基于 MAS 的土壤重金属污染评价及安全预警系统,支持在可视化环境中对土壤的重金属污染情况进行分析和评价。着重分析使用 GIS 技术支持污染评价空间分析的方法,并研究实现评价及预警的多智能体的分工及协作规则,为解决土壤重金属污染的评价和安全预警提供基础平台。

**关键词:**重金属污染;多智能体系统;地理信息系统

**中图分类号:**TP391;TP181

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2010)01-0217-04

## Application of MAS in Soil Heavy Metal Pollution Evaluation and Safety Warning

LI Xiang, SONG Tao

(Department of Computer Science and Application, Zhengzhou Institute of  
Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China)

**Abstract:** In order to make reasonable use of resources and protect the city's ecological environment, it is extraordinarily needed to research on the urban environment evaluation methods and forecast warning technology. In the same time, the researches are foundations to the development of environmental protection policies. The MAS-based evaluation of soil heavy metal pollution and safety warning systems is designed on the integrated use of geographic information systems (GIS) technology and multi-agent system (MAS) technology. The system supports to analysis and evaluation the heavy metal pollution on soil in the visual environment. This essay focuses on the use of GIS technology in pollution evaluation methods, which support spatial analysis. And also discuss the MAS technology of the agents' function divisions and cooperation rules. It is useful to develop the integration platform for soil heavy metal pollution evaluating and forecasting.

**Key words:** heavy metal pollution; multi-agent system; geographic information system

## 0 引 言

土壤是人类赖以生存的基本自然资源,土壤重金属的污染会影响土壤的正常功能,造成食物链的污染,对人类和环境产生威胁。随着现代城市进程和工业生产加剧,工业“三废”排放量增加,含重金属的化肥、杀虫剂和除草剂被大量使用,使土壤受到不同程度的重金属污染,严重地影响了环境安全和人类健康<sup>[1,2]</sup>。因此对土壤重金属污染进行评价和预测预警的研究具有非常重要的意义。

在以往的研究中,对土壤质量变化的研究主要侧重于自然过程和技术角度,由于土壤中重金属污染物

的迁移与城市空间形态特征密切相关,现代 GIS 技术为空间形态研究提供了有利的分析工具;土壤中重金属污染物的迁移和时-空演变是一种具有空间特征的复杂系统<sup>[3]</sup>。多智能体技术适用于模拟复杂系统和预测发展趋势<sup>[4]</sup>。利用 GIS 结合多智能体技术(MAS)来研究土壤重金属污染土壤质量评价指标和安全预警技术体系,能够在可视化环境对土壤重金属污染数据进行分析,准确地对污染情况做出评价,实现土壤重金属污染的预警预测。进而为深入研究土壤环境质量、合理利用土壤资源提供参考,对于政府制定针对性措施,平衡城市化发展和实施土壤环境保护具有非常重要的现实意义。

## 1 MAS 与 GIS 技术

### 1.1 MAS

MAS(Multi-agent System)起源于分布式人工智

收稿日期:2009-04-19;修回日期:2009-08-14

基金项目:国土资源部计划项目(1212010660406-3);郑航青年基金(Q07K062)

作者简介:李 向(1982-),女,讲师,研究方向为遥感与 GIS 集成方法、计算机应用。

能 DAI 技术,其本质是通过多个具有人类智能 Agent 的交互,实现对人类智能的模拟,使系统具有类似于人类的解决复杂问题的能力<sup>[5]</sup>。

组成 MAS 的每个 Agent 都是自治的、有目标的行为实体,它能感知外界环境,并能对环境做出反应。Agent 具有四个特点:

①自主性,指 Agent 是独立自主的,具有相当程度的自治能力,可以不受干预而自行工作;

②交互性,指 Agent 能够感知外部环境并做出适当的反应;

③社会性,指 Agent 可以和用户、资源系统以及其他 Agent 进行通信交流;

④智能性,指 Agent 具有从预定规则到自己学习人工智能推理机等能力<sup>[5,6]</sup>。

由于单一的 Agent 不具备足够的能力来控制其环境,主要表现在:首先 Agent 必须处理众多不确定的相互矛盾的信息;其次它必须处理多个上下文相关的、冲突的目标;最后 Agent 必须把它的目标与自己受限的感知和行为能力相对应。为了解决这些问题,MAS 以独立 Agent 之间的通信取代传统组件之间的消息传递,使系统具有了更高的灵活性。所以 MAS 适合解决复杂软件的集成问题,在基于 MAS 的软件系统中,通常软件 Agent 通过编码位的字符串进行感知和作为,可以在原软件的基础上对各种 Agent 进行封装,并在统一的协议和平台上协调多 Agent 的运行,借助各个 Agent 之间以及它们与各种资源的相互作用来实现系统的功能<sup>[7]</sup>。

## 1.2 GIS 技术

地理信息系统(GIS)技术是近年来迅速发展起来的一门空间信息分析技术,具有强大的空间分析能力<sup>[8]</sup>。GIS 数据库是实现地理要素空间分析的基础,其建立主要包括两部分:空间数据库和与之对应的属性数据库。空间数据库,主要描述地理要素的空间位置、大小以及相互之间的拓扑关系。属性数据库,主要描述地理要素所具有的具体属性。

具体说来,在基于 MAS 的土壤重金属污染评价及安全预警系统中,空间数据库主要包括矢量电子地图,

如行政区划图、土壤类型分布图、重金属元素分布图、地形图等多元数据。属性数据库主要包括:采样点信息、土壤理化参数、土壤中所含主要重金属含量、重金属的形态数据等。建立起 GIS 数据库,才能够对某区域中土壤重金属污染情况进行多样化的空间分析,这是快速准确地找到污染源并实现土壤重金属污染的预警预测的基础。

## 2 基于 MAS 的土壤重金属污染评价及安全预警研究

### 2.1 体系结构

对土壤重金属污染情况做出准确的定量评价,快速地实现土壤重金属污染的预警预测,提出有效阻断污染链的途径和应变措施,是土壤重金属污染评价及安全预警研究的重点。但是目前对土壤重金属污染的研究的各个功能几乎是各自完全独立的系统,将各个功能分别用 Agent 实现,并在统一协议平台下集成,实现相互调用协调工作,是研究中要解决的关键问题。设计土壤重金属污染评价及安全预警系统的总体结构如图 1 所示。

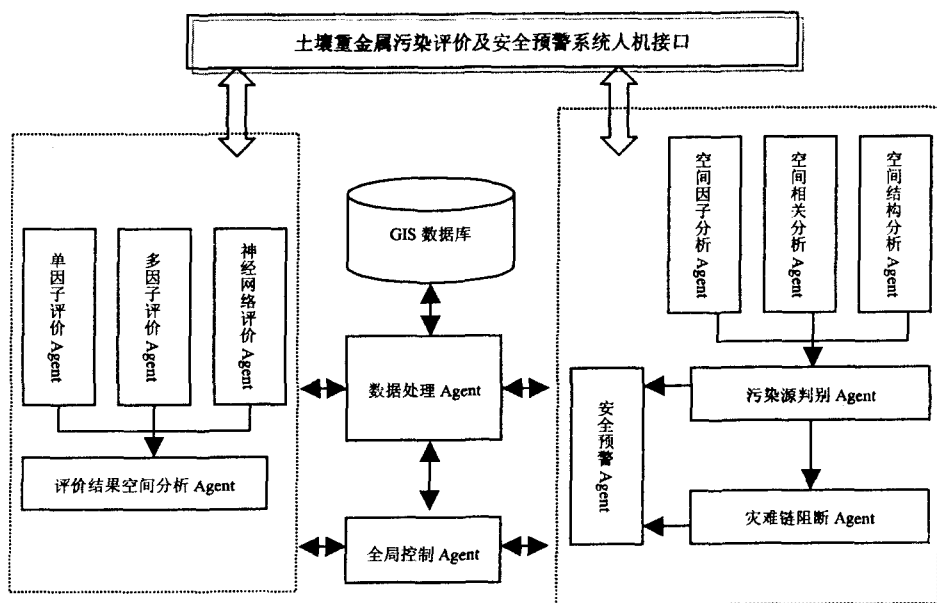


图 1 土壤重金属污染评价及安全预警系统框架图

### 2.2 Agent 功能

基于 MAS 的土壤重金属污染评价及安全预警系统具有任务分布式、扩展性强,以及有效协商的特点。如图 1 所示,土壤重金属污染评价及安全预警系统按照功能分为两大部分:一是土壤重金属污染评价;二是安全预警。

土壤重金属污染评价的实现主要依赖四个 Agent:单因子评价 Agent、多因子评价 Agent、神经网络

评价 Agent 和评价结果等值线 Agent。

单因子评价 Agent: 针对土壤污染中的某一种重金属, 利用国家环境质量标准(GB15618-1995)中的重金属污染等级评价的指标, 对采样点土壤中的单一重金属污染实施评价, 其规则为:

$$\begin{aligned} & \text{if}(C_i \leq S_{i\text{污染起始值}}) \text{ then}(P_i = C_i / S_{i\text{污染起始值}}) \\ & \text{if}(S_{i\text{污染起始值}} < C_i \leq S_{i\text{中度污染起始值}}) \text{ then}(P_i = 1 + \\ & (C_i - S_{i\text{污染起始值}}) / (S_{i\text{中度污染起始值}} - S_{i\text{污染起始值}})) \\ & \text{if}(S_{i\text{中度污染起始值}} < C_i \leq S_{i\text{重度污染起始值}}) \text{ then}(P_i = 2 + \\ & (C_i - S_{i\text{中度污染起始值}}) / (S_{i\text{重度污染起始值}} - S_{i\text{中度污染起始值}})) \\ & \text{if}(C_i > S_{i\text{重度污染起始值}}) \text{ then}(P_i = 3 + (C_i - S_{i\text{重度污染起始值}}) / (S_{i\text{重度污染起始值}} - S_{i\text{中度污染起始值}})) \end{aligned}$$

式中:  $P_i$  为采样点  $i$  污染物的污染指数;  $C_i$  为污染物的实测值;  $S_i$  为污染物的评价标准。

多因子评价 Agent: 综合分析土壤污染中最主要的七种重金属, 依据国家环境质量标准(GB15618-1995)对采样点土壤中的所有重金属污染情况进行综合评价, 综合考虑多个单因子来计算, 其规则为:  $P_{\text{综}} = \sqrt{(P_{\text{平均}}^2 + P_{\text{最大}}^2) / 2}$ 。

式中:  $P_{\text{综}}$  为采样点的综合污染指数;  $P_{\text{平均}}$  为采样点所有单项污染指数的平均值;  $P_{\text{最大}}$  为采样点所有单项污染指数的最大值。

神经网络评价 Agent: 首先利用大量数据样本, 训练三层的 BP 神经网络, 然后确认神经网络模型的各种参数, 从而对采样点中的所有重金属污染情况进行综合评价。

评价结果空间分析 Agent: 根据各个采样点的评价结果, 利用克里金插值的方法, 给出整个研究区域的土壤重金属污染情况空间分析, 并将分析结果以等值线图呈现。

土壤重金属污染安全评价预警的实现主要依赖六个 Agent: 空间因子分析 Agent、空间结构分析 Agent、空间相关分析 Agent、污染源判别 Agent、灾难链阻断 Agent 和预警预测 Agent。

空间因子分析 Agent、空间结构分析 Agent、空间相关分析 Agent 三者利用已经掌握的典型地区土壤环境监测的历史数据以及实地采样新获得的重金属污染实验室内测量数据, 分析典型地区土壤污染的空间格局变化情况, 并将分析结果传递给污染源判别 Agent。

污染源判别 Agent: 根据空间因子分析 Agent、空间结构分析 Agent、空间相关分析 Agent 的分析结果, 综合分析判断造成研究区域土壤重金属污染的主要污染地, 并结合污染地的实际情况分析污染物的主要来

源。

灾难链阻断 Agent: 根据污染源判别 Agent 得到的结果, 找准土壤污染链的关键环节, 提出切断灾难链的有效措施。

安全预警 Agent: 根据分析得到典型地区土壤污染的空间格局变化情况, 分别预测不采取措施和采取灾难链阻断后土壤状况, 从而给出土壤重金属污染的安全预警报告。

系统中还包括数据处理 Agent 和全局控制 Agent。数据处理 Agent 负责定位和查找用户请求的数据, 完成对整个数据库的检索, 并处理相关的知识规则; 全局控制 Agent 负责整个系统各个 Agent 之间的调用与协作。

### 3 系统应用

#### 3.1 研究区域

该系统的研究示范区域选择包头市及其郊区。首先建立该地区的空间数据库, 主要完成的矢量地图包括行政区划, 采样点, 土衫利用类型, 典型地理要素(如包头钢铁厂、较大的工矿业厂区、昆都伦河)等, 然后野外选择规则网格采样的方法, 收集到的采样点土壤样品送实验室检测, 利用检测得到的土壤理化参数、重金属污染数据等建立该地区的属性数据库。最后利用该系统进行土壤重金属污染的评价和预警, 给出应用示范结果。

#### 3.2 土壤重金属污染评价

数据处理 Agent 将用户感兴趣的相关数据从数据库中取出与处理后, 神经网络评价 Agent 先建立 BP 算法的神经网络模型, 然后将模型应用于大区域的污染程度评价, 还可以调用评价结果等值线 Agent 得出该区域目前的土壤污染情况分布图。如图 2 所示, 根据样本数据建立的 BP 神经网络输入层有 8 个神经元, 输出层有 1 个神经元, 隐层有 20 个神经元, 该 Agent 还可以给出训练误差曲线。模型的输入参数如果是采样点的不同深度土壤剖面数据(通常为 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100cm, 200cm 六个剖面层), 输出参数将是该采样点的各个土壤剖面层的污染程度。

#### 3.3 土壤重金属污染空间分析

对土壤重金属污染进行分析的前提是了解土壤污染现状, 并根据土壤评价国家环境质量标准(GB15618-1995)实施评价, 再通过空间因子分析 Agent、空间结构分析 Agent、空间相关分析 Agent 和评价结果空间分析 Agent、污染源判别 Agent、灾难链阻断 Agent 和预警预测 Agent 等的协调工作实现土壤污染的安全预测预警。包头市及其郊区土壤重金属预警结果等值线如

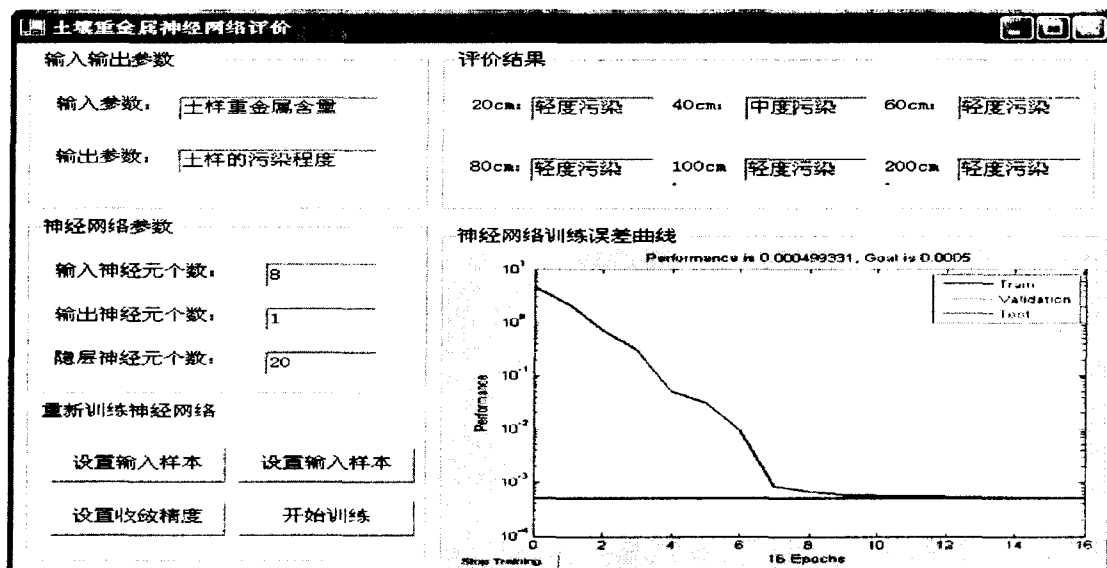


图2 包头市及其郊区土壤重金属污染神经网络评价Agent运行结果

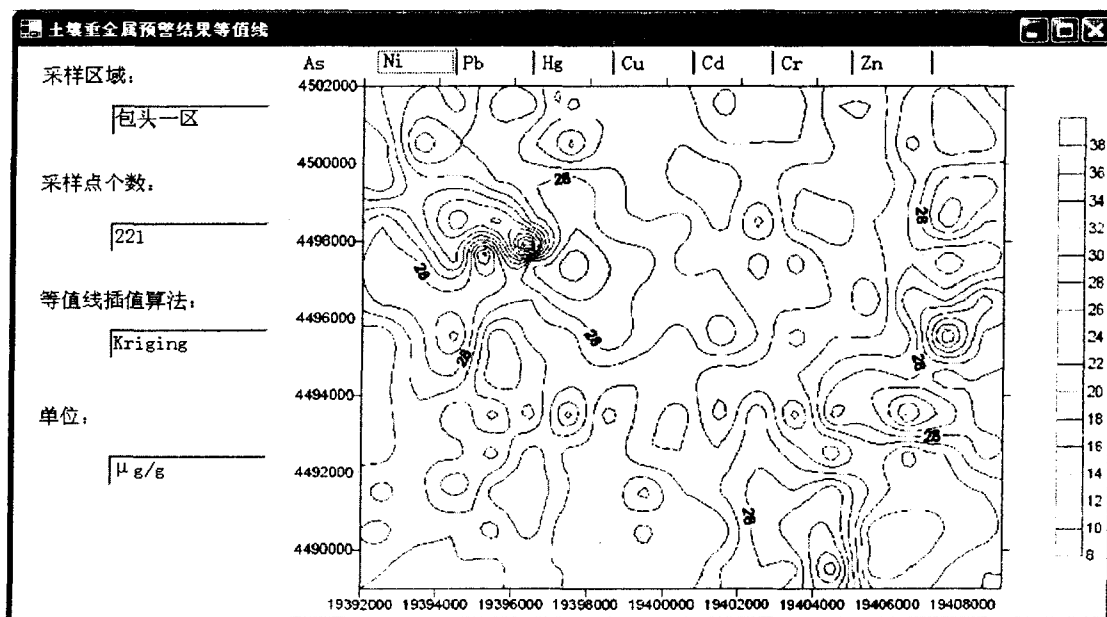


图3 包头市及其郊区土壤重金属污染预警结果

图3所示,从预警结果可以看出土壤污染中重金属Ni在昆都伦河沿岸的采样点和郊区的一些地方正在向污染超标的方向演化,借助该系统的分析找到了包头地区的污染源主要是昆都伦河沿岸地区一些工业企业将工业废水直接排入河中,导致沿岸土壤中重金属元素的含量严重超标,郊区主要是尾矿影响,分析结果与实地调查的真实情况一致。

综合考虑土壤污染中的多种重金属,发现包头市及近郊的土壤质量不容乐观,根据预测结果可以给出包头地区土壤质量安全预警,从污染源着手给出相应的阻断污染链的方法,如果不采取有效的治理措施,预计该地区将在未来较短时间内超过预警级别达到污染程度,必将影响人民的生活质量。

#### 4 结束语

GIS结合多智能体技术(MAS)方法适合作为土壤污染甚至其他环境质量的现状评价趋势预测和辅助决策工具,能够准确地对污染情况做出评价,实现土壤重金属污染的安全预警预测。利用GIS结合多智能体技术(MAS)来研究土壤重金属污染土壤质量评价指标和安全预警技术体系,能够集成与土壤污染评价和预测相关的各种空间数据和属性数据,在可视化环境中对土壤重金属污染数据进行分析,并根据需要选择用于评价和预测的各种模型,系统具有较强的空间分析能力、综合分析模拟和预测能力。

(下转第224页)

逻辑层上,使得用户的请求先到 Web Service 上, Web Service 再把请求转到应用服务器端,基于这种模式的开发,使得系统的扩展性、代码可重用性更高。

Web Service 可以看成是面向服务的体系架构的一种实现方式。在这个架构中,有服务提供者、服务使用者、服务注册中心。WSDL, SOAP, 以及 UDDI 是基本的 Web 服务规范。WSDL 用来描述服务;UDDI 用来注册和查找服务;而 SOAP, 作为传输层, 用来在消费者和服务提供者之间传送消息。SOAP 是 Web 服务的默认机制, 其他的技术为可以服务实现其他类型的绑定。一个消费者可以在 UDDI 注册表(registry)查找服务, 取得服务的 WSDL 描述, 然后通过 SOAP 来调用服务<sup>[8]</sup>。

Web Service 有很多优点, 使用它可以在不同编程语言间实现数据交换。Web Service 模型的规范分为代理方式和非代理方式<sup>[9]</sup>, 其中代理方式包括静态 STUB 和动态代理两种。系统采用自底向上的定制发布来开发 SOA 应用, 该方法需要先编写一个 WSDD (Web Service Deployment Descriptor) 文件, 具体实现方法如图 4 所示:

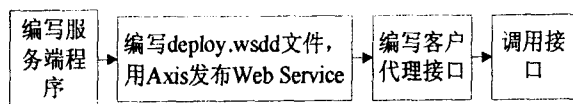


图 4 Web Service 的实现流程

### 3.6 系统实现

基于 WebGIS 的城市基础设施建设的界面友好, 用户操作方便。项目实现了空间查询、模糊查询和 SQL 查询, 用户根据自己掌握的情况, 可以选择适合的查询方式对地图中的道路信息进行查询。例如在空间查询窗口中, 用户可以选择自己喜欢的查询方式包括拉框选择、画线选择和多边形选择, 在地图上按所选择的方式选择后在查询结果窗口中会显示出所查询道路的详细信息, 最后在查询窗口中单击查询到的道路, 会在详细信息窗口中显示与道路相关的信息文件。

(上接第 220 页)

#### 参考文献:

- [1] 国家环保局开发监督司. 环境影响评价技术原则与方法[M]. 北京: 北京大学出版社, 1992.
- [2] 夏家淇, 蔡道基, 夏增禄, 等. GB15618-1995 土壤环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [3] 严加永, 吕庆田, 葛晓立. GIS 支持下的土壤重金属污染预测预警研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(3): 592-596.
- [4] 刁力力, 胡可云, 陆玉昌, 等. 基于 MAS 设计现代信息处理系统: 思路与探讨[J]. 计算机科学, 2001, 28(7): 85-90.

## 4 结束语

文中分析了城市基础设施管理系统的应用现状和发展趋势, 提出基于 B/S 模式的三层 WebGIS 体系架构。系统能够解决传统管理手段存在的问题, 支持异构系统之间的互操作, 实现信息的共享, 具有交互能力强、操作方便、扩充性强等优点。

系统采用开源 Geoserver 作为地图服务器, 在应用层通过 Geotools 进行地图的相关操作, 这样减少了成本, 有很高的经济效益。同时, 系统业务逻辑层使用 axis 技术来开发客户端接口, 这样使得代码可以重复利用, 系统可扩展性强。该系统在应用中产生了很好的效果, 提高了经济效益和工作效率, 为工作人员提供了很好的管理工具。

#### 参考文献:

- [1] 徐大华, 何瑞银, 沈明霞. 基于 WebGIS 的病虫害防治系统[J]. 计算机工程, 2008(2): 280-282.
- [2] 曾 侃. 基于开源数据库 PostgreSQL 的地理空间数据管理方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [3] Edgwall Software. Tools that Support Postgis [EB/OL]. 2006. <http://trac.osgeo.org/postgis/wiki/UsersWikiToolsSupportPostgis>.
- [4] 杜玲玲. 基于 Hibernate 框架的数据持久化应用开发[J]. 微计算机信息, 2008(6): 271-273.
- [5] 方 元, 赵冠伟, 何观生. 基于 Ajax 和 GeoServer 的 WebGIS 设计[J]. 微计算机信息, 2009(1): 219-220.
- [6] Jgarnett. User Guide[EB/OL]. 2008. <http://docs.codehaus.org/display/GEOTDOC/Home>.
- [7] 张文建, 王 健, 范孝良. Struts 在 J2EE Web 层中的应用[J]. 微型机与应用, 2003(8): 16-19.
- [8] 毛新生, 金 戈, 黄若波, 等. SOA 原理、方法、实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [9] The Axis Development Team. Axis User's Guide[EB/OL]. 2005. <http://ws.apache.org/axis/java/user-guide.html>.

- [5] Liu Jiming. 多智能体原理与技术[M]. 靳小龙, 张世武, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [6] 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.
- [7] 彭 军, 朱娅加. MAS 在农业信息智能检索中的应用[J]. 微计算机信息, 2008(11): 237-239.
- [8] Lee J S, Ko K S, Kim T K, et al. Analysis of the effect of geology, soil properties, and land use on groundwater quality using multivariate statistical and GIS methods[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2006(8): 152-154.