

# GIS 与可视化 SDM 技术集成问题探讨

贾泽露<sup>1,2</sup>, 刘耀林<sup>2</sup>, 张彤<sup>3</sup>

(1. 中南大学 地质与环境工程学院, 湖南 长沙 410083;  
2. 武汉大学 资源与环境科学学院, 湖北 武汉 430079;  
3. 美国圣地亚哥州立大学 地理系, 美国 圣地亚哥 CA 92182-4493)

[摘要] 随着地理信息获取技术飞速发展,使得当前存储在空间数据库中的空间数据的深度和广度得到了前所未有的发展.为了解决GIS目前面临的“数据爆炸但知识贫乏”的难题,在介绍GIS发展现状等相关问题、空间数据挖掘技术、可视化技术的基础上,分析了GIS中数据挖掘的过程、特点及其相关技术支持,探讨了可视化技术在GIS数据挖掘中的重要作用.对GIS与可视化交互空间数据挖掘集成技术进行了初步的研究,分析阐述了GIS与SDM集成的必要性、集成模式和集成路线,提出了一个以GIS为中心的二者集成的体系结构.

[关键词] GIS, 可视化, 空间数据挖掘, 交互, 集成

[中图分类号] P208, [文献标识码] A, [文章编号] 1672-1292(2004)04-0037-06

目前,地理信息系统(Geographic Information System, 简称GIS)已经广泛地应用到各个领域,且用户数每年都在以成倍的速度增长,GIS已经从实验研究进入实用阶段.计算机技术的迅速发展,使得GIS的功能和特点也随之发生了巨大的变化,尤其是近些年来,计算机大容量存储介质、多媒体技术和可视化技术等相继被引进到GIS中,已使GIS发生了新的变化.三维问题、时态问题、数据质量、数据交换与OGIS、工程学问题、WebGIS、可视化与虚拟GIS、面向对象GIS、组件化GIS以及数字地球等成为新的研究热点<sup>[1~4]</sup>.

随着地理信息获取技术(高分辨率和多波段遥感技术、数字化制图和GIS技术、全球定位技术以及各种带有空间属性的数据获取技术)的飞速发展,使得当前存储在空间数据库中的数据量迅速增长,也使得空间数据的深度和广度得到了前所未有的发展.而且由于地学现象的复杂性和地理过程的不确定性,完全定量方法获取的空间数据的数量、大小和复杂性都在飞快地增长,已经远远超出了人的解译能力. GIS是空间数据库发展的主体,随着GIS技术发展和应用的深入,新的需求推动着GIS从数据库型转入分析型阶段.目前GIS的分析功能还很弱且不灵活,GIS所提供的分析功能只局限于一些图形操作,如叠置分析、缓冲区分析、网络分析等,无法析取隐含模式和规律,它的逻辑结构和智

能层次不能满足解决复杂空间决策问题的需要,特别是那些非结构化的问题,而这些远远赶不上GIS发展的速度,满足不了广大GIS用户的需求,因此,这一切就促使人们去探讨新的技术手段解决现在面临的问题.

## 1 可视化与空间数据挖掘

1.1 SDM、SDM的应用和未来的发展方向

空间数据挖掘(Spatial Data Mining, 简称SDM),也即空间知识发现(Knowledge Discovery in Spatial Databases, 简称KDSD),是指从空间数据库中抽取隐含的知识、空间关系或非显式地存储在空间数据库中的有意义的特征或模式<sup>[5]</sup>.它是从数据挖掘技术中分支和发展起来的一项旨在使用最新计算机技术从大型空间数据库中发现人们未知的各种空间规律、关系、趋势等有助于人们进行更好的科学决策的各种空间知识.它可用于理解空间数据、发现空间联系、发现空间数据与非空间数据之间的关系,构造空间知识库,重组空间数据库,优化空间查询和获取简明的总体特征等. SDM通常认为是地理知识发现(geographic knowledge discovery, 简称GKD)的一个阶段,由于它处理的对象是特殊的空间数据,因此同一般的数据挖掘技术相比,需要考虑到空间数据的各种特性.首先地理空间数据不仅仅是在现有的多维数据中简单的加入空间三维坐

收稿日期: 2004-02-25.

作者简介: 贾泽露(1977-),土家族,助教,博士研究生,主要从事GIS的理论和信息系统智能化的教学与研究. E-mail: jis\_zljia@163.com

通讯联系人: 刘耀林(1960-),教授,博士,博士生导师,主要从事地理信息系统的理论、方法和应用的教学与研究.

E-mail: yaolin610@163.com

标,同其他属性不同,空间各维数据是相互关联且不可以分开处理的;其次,由于时空模型的高度复杂性,空间知识的提取更加困难;此外,由于一般用户对数据挖掘方法并不熟悉,使用中往往不能正确选取合适的方法,对于结果的解释也可能有所偏差.对于此,可视化技术可以部分地加以改进和解决,因此可视化技术同空间数据挖掘技术的结合能更好地解决这些问题.

实践中,空间数据挖掘和知识发现已经取得了一些令人瞩目的成果.文献[6]、[7]中列出了几个主要的应用方向:地图解译与信息提取、遥感影像的信息提取、提取时空模式、环境特征制图、分析地理空间上的交互和运动等.当前进行SDM和KDD研究的科研机构主要来自两个方面:计算机科学界和地理学界空间分析的学者,前者主要从数据挖掘算法的角度出发,研究开发更加智能化,更好扩展性,处理噪声数据能力更高,并努力降低复杂度的算法;后者则更注重SDM和KDD对未来地学研究的影响和作用.总而言之,计算机界偏向于自动化处理空间数据,在地理学界内部也持有这样的观点,如Openshaw就提出研发自动地理分析机的发展方向<sup>[8]</sup>.但是一个普遍的共识是:发展真正意义上的SDM和KDD工具必须从理论上研究地理环境下空间数据特征对于研发新工具或者改进一般数据挖掘工具的影响,然后将SDM和KDD放到地理信息科学的大框架中来,同现有的分析方法和工具相结合,研究它对地理科学研究的影响.文献[6]、[7]、[9]都提出了SDM和KDD未来发展的方向.

## 1.2 可视化同SDM的关系

地理可视化(Geographic Visualization)是“使用具体的视觉表达(表现媒质是纸、计算机或者其他介质)来使空间环境和问题可视化,从而最大限度地利用与人类视觉能力相关的信息处理能力”<sup>[10]</sup>.它是结合科学可视化、制图学和GIS发展起来的研究方向,目的在于通过一系列可视化技术使得用户更好地理解空间数据,有利于进一步探索分析空间数据.到目前为止,计算机的识别能力仍然不如人类的视觉观察能力,人类可以迅速而准确地从图形图像中发现特定的数据分布模式.特别是在地理环境下,人们习惯处于一个可视化的环境中分析处理与空间相关的问题.由于结合了人敏锐的观察能力以及可能的用户专业知识,交互可视化SDM可以使得数据挖掘过程成为一个互动、可视化、易于理解的重复过程,而不是完全自动的暗箱操作.这一

点对于空间数据探索分析尤为重要.一般而言,人机交互是最为重要的可视化技术之一,即时的交互使得空间数据分析和KDD变得更为人性化和专业化.因此,地理可视化对于帮助我们分析当前数据和问题,思考解决问题的方法策略,表达和解译空间分析结果都有十分特殊的意义.

SDM的知识发现针对的是更具有可视化要求的地理空间数据,地理可视化能提供同用户对空间目标心理认知过程相适应的信息表现和分析环境.我们可以考虑将SDM过程置于地理可视化的环境下进行.可视化对于知识发现和知识构建有两个显著的优点<sup>[11, 12]</sup>:提供高度的交互功能,让用户比较自由地发挥自己的能动性,控制数据挖掘过程;提供丰富的可视化表现能力,从空间数据的各维、各角度同时展开分析,有利于用户更深入地理解问题和选用更适当的数据挖掘模型算法.从空间数据知识发现的各个过程来看,基本上每一个过程都可以同可视化结合起来<sup>[13]</sup>:包括数据选取、数据预处理、SDM算法的分析处理以及最后的结果解译和表达阶段,可视化手段对于知识的提炼、整理和传输都是至关重要的.总的说来,整个空间知识发现要经历一个数据可视化-数据挖掘算法应用-结果检验和可视化-继续改进挖掘方法的循环过程.在这个过程中,可视化环境对于用户合理的融入自身的视觉观察能力和专家知识十分重要.

综上所述,我们考虑将二者结合起来,将空间知识的发现置于地理可视化环境中.由于空间数据格式多样,种类千差万别,不同的用户对隐藏于数据中的空间知识也各有侧重,同时用户所拥有的某一领域的专业知识对于提取、解译和检验发现的空间知识十分重要,此外,在目前条件下研发成功完全自动的SDM技术还存在相当大的困难.因此,我们必须考虑形成以人为中心,结合SDM的计算机自动处理技术、人类视觉的观察识别能力、人们对某领域拥有的知识共同对目前海量的空间数据进行分析 and 处理,这样才能有效地发现对用户有用的空间知识.

## 2 GIS与可视化SDM

### 2.1 GIS与可视化SDM的关系

一般认为GIS本身就是数据挖掘工具之一,这主要是因为GIS能充分体现数据的可视化,帮助人们发现数据之间的潜在联系;同时它含有一系列的空间分析模型,能对现有数据进行分析,辅助决策.然而,由于GIS数据的特殊性,GIS的现有功能还

不能对海量数据特别是分布式海量数据进行快速有效的信息提取。GIS 数据除具有属性信息外, 还具有空间几何信息, 故 GIS 中的数据是时空多维的, 即存储 GIS 数据的是空间数据库。将数据挖掘用于 GIS, 即空间数据挖掘, 亦即从 GIS 的空间数据库中提取用户感兴趣的空间模式和特征、空间数据与非空间数据之间的联系以及不是显式地存放在空间数据库中的其它数据特点。

使用交互可视化 SDM 技术进行空间数据分类实验不论在理论研究上还是在 GIS 应用上都有重大的意义。空间分类对于地理信息的处理是十分重要的, 很多地理信息的处理都包括分类的过程, 如遥感图像的分类、环境制图、土地适应性评价等等, 有的数据分析处理要在分类的基础上进行, 如城市规划、地图解译等。同时, 通过有关空间数据分类的实验使人们对 SDM 的作用和机制有更深入的了解, 这样便于推动 SDM 在地学界的应用和研究。

## 2.2 SDM 技术在 GIS 中的应用

由于 GIS 数据库是空间数据库的主要类型, 并且从 GIS 数据库中发现的知识类型及知识发现方法可以涵盖其它类型的空间数据库。借鉴 DM 和 KDD 技术的成果, 针对空间数据的特点, 从 GIS 数据库可以发现的主要知识类型有: 普遍的几何知识、空间分布规律、空间关联规则、空间聚类规则、空间特征规则、空间区分规则、空间演变规则、面向对象的知识、空间序贯模式、空间混沌模式<sup>[14]</sup>。从 GIS 数据库发现的知识, 可应用于 GIS 的智能化分析和智能系统的分析决策。SDM 获取的知识同现有 GIS 分析工具获取的信息相比更加概括、精练, 并可发现现有 GIS 分析工具无法获取的隐含的模式和规律。因此, SDM 本身就是 GIS 智能化分析工具。此外, SDM 也是能自动获取知识的新型智能系统的重要组成部分<sup>[15]</sup>。同时, 从 GIS 数据库发现的知识可以应用在遥感影像解译中。遥感影像解译中的约束、辅助、引导、解决同物异谱、同谱异物问题、减少分类识别的疑义度、提高解译的可靠性、精度和速度。SDM 是建立遥感影像理解 ES 知识获取的重要技术手段和工具, 遥感影像解译的结果又可更新 GIS 数据库。因此, SDM 技术将会促进遥感与 GIS 的智能化集成<sup>[16]</sup>。

## 2.3 科学计算可视化技术在 GIS 数据挖掘中的应用

GIS 中数据挖掘的最后一个重要的环节是以直观形象的方式表达挖掘到的知识, 提交用户使用, 最大限度地利用数据, 实现信息共享。在这个领

域中科学计算可视化可以发挥巨大的优势。科学计算可视化(Visualization in Scientific Computing)是利用计算机图形技术和方法, 用图形图像的形式, 形象而具体地显示数据的处理结果, 使数据的使用人员能够观察和模拟, 从而丰富了科学发现的过程, 给人们深刻和意想不到的洞察力<sup>[17]</sup>。

现有的数据表达实质上已经用到了可视化技术, 如一般电子地图、三维 GIS 及空间分析中的结果表达等。不同的数据挖掘目的和数据形式, 其可视化技术手段也不尽相同。例如, 针对一般的 GIS 数据挖掘, 在数据挖掘的技术方法上根据数据自身的特点, 可采用如下的技术手段:

(1) 探讨性数据分析。对缺乏相邻数据信息的离散数据或单一数据进行数据挖掘, 可采用统计图表的方法, 得到数据的特征, 包括数据的极端值、对称性、同质性及分布特性等, 这有利于建立精确的数据和自然过程模型, 使历史过程一目了然, 使发展趋势清晰可见; 其数据挖掘结果还可以用于综合性数据挖掘的单项指标。

(2) 逼真技术。当 GIS 的数据是一组连续的信息时, 可按规则的格网或相邻的时间尺度, 对数据进行内插, 采用数据集面可视化和动画技术, 反映真实世界里现象的时空关系。例如数字高程模型(DEM) 属最常见的连续性空间数据, 它除了反映或荷载高度(程) 状况的信息外, 经过分析, 它还具有或荷载地质岩性与构造方面的知识, 我们可以采用二维图、三维图(如三维位移场图) 和动画技术, 从中发现规律和有用的地质信息。

总之, 在 GIS 数据挖掘中运用可视化技术还可以使数据的分析处理过程形象直观化, 可以提高人们对新知识、新信息的洞察力; 对挖掘所得到的知识采用可视化表达技术, 可以使新知识一目了然, 对非专业的 GIS 用户, 效果更为可观。

## 3 GIS 与可视化 SDM 的集成

### 3.1 GIS 与 SDM 技术集成的必要性

数据库系统最新的数据挖掘技术为 GIS 组织、管理海量空间数据和非空间数据提供了新的思路。GIS 中含有大量的空间数据和属性数据, 有着比一般关系数据库和事务数据库更加丰富和复杂的语义信息, 所以我们把 GIS 数据库与空间数据库等同起来, 并认为从 GIS 数据库中发现知识与 SDM 有相同的内涵。GIS 吸收数据仓库的思想, 将空间分析和 SDM 方法紧集成, 充分利用 GIS 数据存储、管理空间数据的功能, 使海量的地理空间数据变成

无限的知识,使 GIS 成为智能的信息系统. SDM 技术的应用,一方面可使 GIS 查询和分析技术提高到发现知识的新阶段,另一方面从中发现的知识可构成知识库用于建立智能化的 GIS 系统,因为单纯专家系统(Expert System,简称 ES)技术的引入使 GIS 具有一定的自动性及智能性,但是它远不能称为一个真正的“智能”系统(因为 ES 不具备自动学习的能力, GIS 中的 ES 仅能利用已有的知识进行推导),而 SDM 和知识发现技术的引入,将使系统具有自动学习的功能,能使系统自动获取知识,使 GIS 有可能成为真正的“智能”系统.可以说,ES 与 GIS 的结合,使 GIS 成为一种空间咨询和决策支持系统,而 KDD 与 GIS 的结合,会使 GIS 成为真正的智能空间信息系统,而且也将促进 GPS、DPS、RS、GIS 与 ES 等“多 S”技术的完整集成.

3.2 GIS 与 SDM 技术的集成模式和路线

GIS 数据库中存储的数据包含空间数据和属性数据,它们之间具有密切的联系,为解决两者之

间的联接、查询和管理的问题,解决的方法主要有 3 种方式:混合式、扩展式和开放式.我们在研究 GIS 与 SDM 集成的问题时应分别对待. GIS 与 SDM 技术集成主要是利用 SDM 技术提取隐含在存储于 GIS 数据库中的庞大数据量的空间数据和属性数据之后的知识,因此集成问题的关键是如何共享 GIS 中的数据. GIS 与 SDM 集成的模式主要有 3 种:松散耦合式、嵌入式、混合型空间模型法<sup>[16]</sup>.

① 松散耦合式,也称外部空间数据挖掘模式. 这种模式基本上将 GIS 当作一个空间数据库看待,在 GIS 环境外部借助其它软件或计算机语言进行空间数据挖掘,其与 GIS 之间采用数据通讯的方式联系.

② 嵌入式,又称内部空间数据挖掘模式. 即在 GIS 中将空间数据挖掘技术融合到空间分析功能中去.

③ 混合型空间模型法,此方法是前两种方法的结合. 既尽可能利用 GIS 提供的功能,最大限度的减少用户自行开发的工作量和难度,又保持外部空间数据挖掘模式的灵活性.

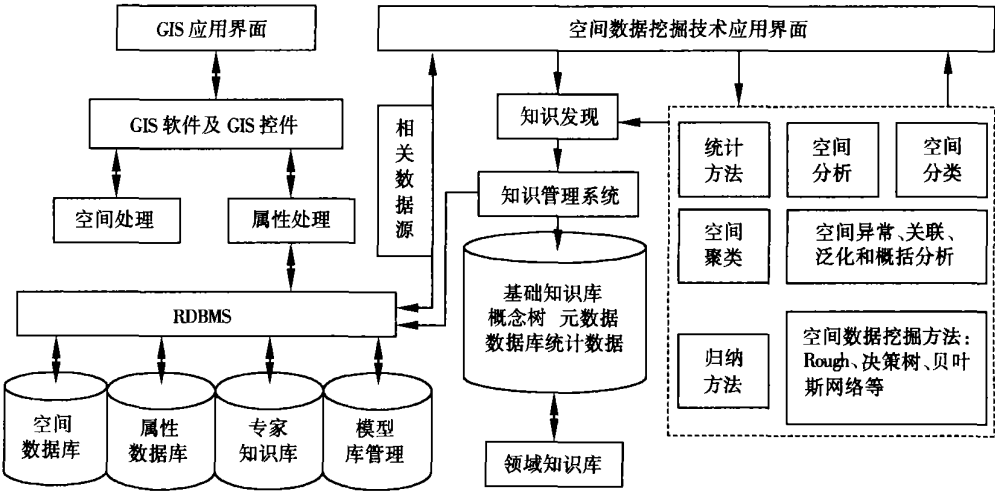


图 1 GIS 与 SDM 一般集成模式框架图

与以上 3 种集成模式相对应, GIS 与 SDM 有 3 条集成路线:一是把 SDM 和 GIS 看成两个完全独立的系统,通过简单的文件/信息的交换机制,把 SDM 和 GIS 连接起来,以实现二者之间的信息交换与共享. GIS 主要被用作数据处理子系统和数据源,在接到 SDM 的数据请求时, GIS 生成 SDM 能接受的输入文件,也承担把 SDM 的推理分析的结果读入并保存起来,供进一步的分析、显示之用. 这种方式集成的工作量小,容易实现,但系统结合松散,不便操作. 二是利用 SDM 或 GIS 的内置编程语言,或命令宏语言及应用程序接口(API),以 SDM 或 GIS 作为宿主系统,另一方为寄生系统,把 SDM 嵌入到 GIS,或相反. 这种集成方式可以提供统一的

用户界面,用户能较容易地激活寄生系统. 这种方法集成度高,系统结合紧密,能充分发挥宿主系统的功能,但寄生系统的功能较弱. 三是采用对象连接和嵌入(OLE)的自动化实现对象之间的互操作功能. 选购一套具备二次开发和 OLE 功能的 GIS 软件及 GIS 控件,重新设计一个统一的人机界面和调用数据挖掘分析模块等应用模型的功能菜单,并将一些简单的分析模型镶嵌到 GIS 中去. 再利用一些具有 OLE 功能的高级编程语言如 VB、VC 等,把一些复杂的应用模型转化为可执行文件. 最后通过编程语言和 GIS 的 OLE 技术,将 GIS 和复杂的应用模型连接起来. 与前两种方法相比,第三种方法集成度高,灵活性好,扩展性强,具有相对统一完善的

界面, 而且这种系统支持空间决策推理分析和空间信息操作的同步进行, 用户能够控制正在进行中的推理分析进程, 查询推理分析的中间结果等. 因此, 作者认为第三条路线是二者集成的最佳选择.

### 3.3 GIS 与可视化 SDM 技术的集成体系结构

综合前文所述的集成模式和二者的集成路线, 本文提出一个以 GIS 为中心的可视化 SDM 系统的集成体系结构, 如图 2 所示. 其中 GIS 不仅为 SDM 系统提供一个数据分析和表达的直观平台, 而且为 SDM 系统中多模型组合建模提供高效的空间分布式参数的输入、组织和前、后处理功能.

从集成体系的基本框架可以看出, 通过图形用户界面进行人机交互, 计算机将空间源数据、数据挖掘中间结果和发现的高层次知识都以 GIS 为主的各种视图表达出来, 用户接收这些信息之后通过可视化思考过程决定继续的交互操作. 将 GIS 功能放在人机交互的中心位置可以充分利用图形(空间数据)作为空间信息存储、传输的中心作用, 同时通

过交互操作将地图动态化, 使其进一步成为信息处理和认知的中心. 从而服务于可视化交互分析空间数据的目的, 它们可以从多角度表现当前数据的各个侧面, 这样互相连接的各种图形就提供了较为完整的空间数据观察模式. 如图所示的集成体系将数据挖掘方法得到的模型根据其特点可视化, 并同地图相连. 这样用户可以随时捕捉被地图放大的模型的细微变化, 一方面可以从不同模型的不同角度和具体细节来发现空间数据分布规律, 另一方面可以比较各模型的优劣和不同. 使用 GIS 所擅长处理和管理的地图作为空间数据探索分析的交互中心, 不论是用户的想法还是计算机运算的结果都可以实时在地图上显示, 这样达到了较高层次的 GIS、可视化和空间数据挖掘的结合. 将可视化数据挖掘方法同 GIS 的数据、地图、规则等视图加以联接, 方便用户进行多维空间思考和分析, 同时使用可视化的统计分析方法, 通过可视化的统计图形来辅助实现空间数据分类、决策等.

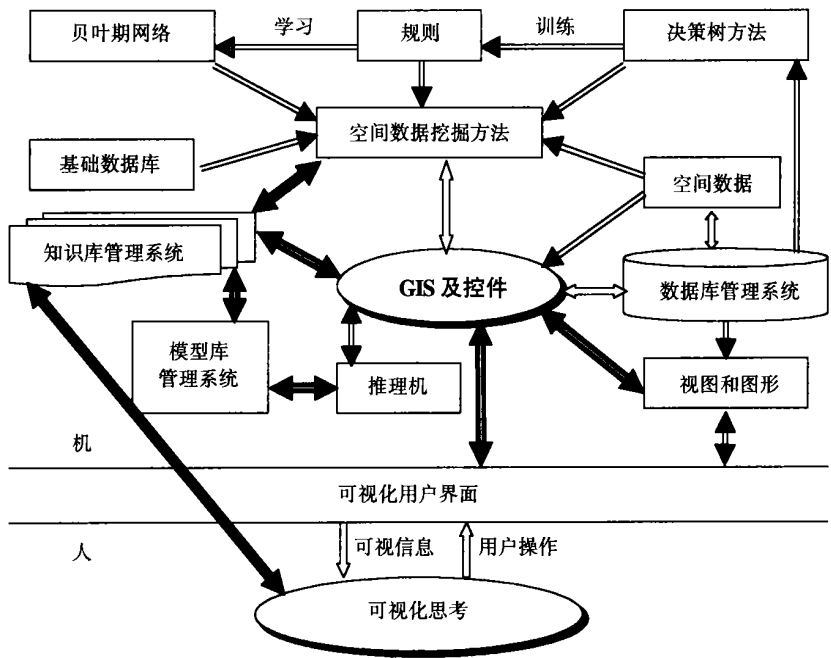


图2 GIS为中心的可视化 SDM 系统的集成体系结构

## 4 结束语

从符号智能转向计算智能是人工智能新的发展方向, 数据挖掘与知识发现的研究正在为地学领域的人工智能应用注入新的活力. 可视化技术和SDM方法作为空间数据探索分析的两种不同的策略方法, 将它们结合起来形成一种可视化交互的数据挖掘模型对于我们进行海量空间数据分析和辅助空间决策支持是十分有用的. 在地学数据分析领

域引入数据挖掘与知识发现的概念、模式和方法, 探讨适合地学数据挖掘的新方法, 并与GIS紧密集成, 充分利用GIS存储、管理空间数据的功能, 同时使得GIS中的有限数据变成无限的知识, 对于有效地处理海量地学数据、提高地学分析的自动化和智能化水平、为全球变化和区域可持续发展提供有力的分析工具具有重要的意义. 因此, 对于数据挖掘技术的分支——空间数据挖掘技术及其与GIS集成的研究, 是一个非常年轻而富有前景的领域, 是

非常有社会和现实意义的研究课题. 作者在开发一个数据挖掘分类的原型系统 VGC 的基础上, 查阅相关文献, 并结合自己的相关研究对 GIS 与可视化空间数据挖掘技术集成进行了初步的探讨.

[参考文献]

[1] 吴信才. 地理信息系统的基本技术与发展动态[J]. 地球科学, 1998, 23(4): 329 - 333.

[2] 唐新明, 吴岚. 时空数据库模型和时间地理信息系统框架[J]. 遥感信息, 1999, (1): 11 - 15.

[3] 沈琳琳, 陈洪亮. 地理信息系统发展前沿展望[J]. 微型电脑应用, 1999, 15(6): 5 - 7.

[4] 李云芝, 秦大国. 当前 GIS 发展趋势的几个关键问题[J]. 系统工程与电子技术, 1999, 21(12): 96 - 97.

[5] Koperski K, Han J. Discovery of Spatial Association Rules in Geographic Information Databases[A]. Advances in Spatial Databases[C]. Berlin: Proc of 4th Symp, SSD 95, Springer-Verlag, 1995. 47 - 66

[6] Miller H J, Han J. Geographic Data Mining and Knowledge Discovery: An Overview[A]. Miller H J, Han J. Geographic Data Mining and Knowledge Discovery[C]. London: Taylor and Francis, 2001.

[7] Yuan M, Battenfield B, Gahegan M, *et al.* Geospatial Data Mining and Knowledge Discovery[A]. A UCGIS White Paper on Emergent Research Themes [C]. URL: <http://www.ucgis.org/emerging/>, 2001.

[8] Openshaw S. Geographical Data Mining: Key Design Issues [A]. Proc. GeoComputation 99[C]. 4th International Conference on GeoComputation, 1999.

[9] Koperski K, Adhikary J, Han J. Spatial Data Mining: Progress and Challenges-Survey Paper [A]. SIGMOD' 96 Workshop on Research Issues on Data Mining and Knowledge Discovery (DMKD' 96) [C]. Canada: Montreal, 1996.

[10] MacEachren A M. In Geography's Inner Worlds: Pervasive Themes in Contemporary American Geograph [M]. New Brunswick NJ: Rutgers University Press, 1992. 99 - 137.

[11] Gahegan M, Wachowicz M, Harrower M, *et al.* The Integration of Geographic Visualization with Knowledge Discovery in Databases and Geo-computation[A]. Cartography and Geographic Information Systems[C]. 2001.

[12] Ankerst M, Elsen C, Ester M, *et al.* Visual Classification: An Interactive Approach to Decision Tree Construction[A]. KDD' 99 Proceedings of Fifth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining[C]. 1999. 392 - 396.

[13] MacEachren A M, Wachowicz M, Edsall R, *et al.* Constructing Knowledge from Multivariate Spatiotemporal Data: Integrating Geographic Visualization (GVis) with Knowledge Discovery in Databases (KDD) [J]. International Journal of Geographic Information Science, 1999, 13(4): 311 - 334.

[14] 杜明义, 吉寿松, 郭达志. 基于空间数据仓库的数据采集[J]. 计算机工程与应用, 2000, 36(4): 32 - 34.

[15] 袁红春, 熊范纶, 淮晓永. 空间数据挖掘及其与智能系统的集成框架[J]. 信息与控制, 2002, 31(4): 304 - 309.

[16] 张瑞菊, 陶华学. GIS 与空间数据挖掘技术集成问题的研究[J]. 勘察科学技术, 2003, (2): 21 - 24.

[17] 石教英, 蔡文立. 科学计算可视化算法与系统[M]. 北京: 科学出版社, 1996.

# Discussion on Integration of GIS and Visual Interactive Spatial Data Mining

JIA Zelu<sup>1, 2</sup>, LIU Yaolin<sup>2</sup>, ZHANG Tong<sup>3</sup>

(1. School of Geology and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. School of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

3. Department of Geography, San Diego State University, San Diego CA92182-4493, USA)

**Abstract:** Geo-spatial data have become much easier to collect with the techniques for gathering geographic information developing rapidly. These techniques have created and are creating digital data in spatial database in which the capacity of data is increasing exponentially. This paper analyses the process, characteristics and technology of data mining in GIS, discusses the importance of geo-visualization in data mining, and studies the integration of GIS and visual interactive spatial data mining. Besides, the paper expatiates the mode and route for the integration and a system framework for the integration of GIS and SDM has been proposed.

**Key words:** GIS, geo-visualization, spatial data mining, interaction, integration

[责任编辑: 严海琳]