

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2009.04.020

基于钻孔数据的地质剖面建模系统

王继民 ,吕 庆 ,万定生

(河海大学计算机及信息工程学院 江苏 南京 210098)

摘要 :根据柱状钻孔和多孔剖面的地质数据特点 ,提出了一种具有矢量几何拓扑性的基本数据结构 ,并将知识推理技术引入地质剖面建模算法 ,从而实现了用户对剖面建模算法和剖面图形的智能决策 ,解决了传统的地质剖面建模系统由于无法融入可供决策的专家知识和经验而产生的准确性和实用性不高的问题 ,同时给出了系统实现以及分土层工程量计算的实例。

关键词 :钻孔数据 ;地质剖面 ;模型 ;智能决策 ;知识推理

中图分类号 :TP391.72 ;P285.1 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2009)04-0463-04

剖面建模技术是计算机化地层结构的建模技术。吴冲龙等^[1-3]对大地测量和采矿 CAD 等系统中的地质剖面建模技术进行了研究 ,这些系统多数采用自动切点和人工辅助连图的方法 ,该方法可以解决简单型矿体和固定编号的连图问题 ,但很难解决复杂地质界线或工程界线的追踪问题。地层划分应以地质解释方法为基础 ,但如何融入地质解释和专家经验则是剖面建模技术中的一个难题。至今为止 ,这方面的研究尚未取得突破性进展。

总体来看 ,现有的二维地质剖面建模技术还存在如下几点不足 (a)没有将钻孔柱状图与多孔剖面图建模技术结合起来。(b)建模者不能将知识推理或只能将有限的知识推理融入建模流程 ,构建的图形不符合复杂地质情况和专家思维。(c)用户或专家无法对建模者嵌入在源代码或函数库内的建模算法进行决策。一方面用户不能灵活调整符合自身利益的建模策略 ,另一方面构建的模型无法适应建模策略不同的用户 ,因此建模算法智能性不高 ,适用范围较窄。(d)构建的剖面图大多仅仅起到辅助展示作用 ,不能用于工程分析与计算。

针对上述不足 ,本文提出了一种能够结合柱状钻孔和多孔剖面地质数据特点 ,融入专家知识和经验 ,并可供用户对建模结果和过程进行智能决策的地质剖面建模技术。

1 基本数据结构

1.1 钻孔数据

钻孔是具有狭小地表面积和一定深度的柱状三维体 ,可以用点状实体来表示。钻孔信息含有地理信息、地层信息和备注信息等。其中 1 个钻孔的地层数据可以看成是由多段平面坐标相同且垂直于地表的线段组成的。每条线段代表了组成钻孔的一段地层。线段的起始坐标代表了地层的层底标高 ,线段的长度代表了地层的厚度。将 1 个钻孔数据复制成 2 个钻孔数据 ,对应地层的上下端点水平相连构成矩形 ,同时填充代表地层岩性的图例 ,就可以扩展成如图 1 所示的柱状结构 ,即比较直观的钻孔柱状图。

1.2 基本几何对象

将 2 个钻孔离散的一维数据(图 1)结构化成二维数据 ,便完成了钻孔地层数据到几何数据的转化 ,也构成了地质剖面建模技术中应用到的主要数据结构 ,如图 2 所示。这种数据结构利用面向对象的程序设计方法将钻孔的地层信息抽象为点、线、面和链 4 级基本几何对象 ,每一级对象构成上一级对象时都封装了该对象的几何拓扑信息。

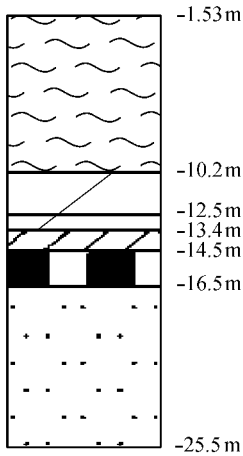


图 1 钻孔柱状图
Fig. 1 Columnar borehole

图 2 的数据结构反映了钻孔数据、钻孔柱状图和地质剖面图之间的关系.采用矢量化的拓扑几何结构,用户可以对结果图形进行干预和调整,同时适用于数值计算.

2 地质剖面建模算法

2.1 基本思想

根据相邻钻孔间深度相近和地层时代相同的两地层间信息逐层匹配,根据匹配的结果判断相邻两地层是否属于连通、包含、钻孔间尖灭、钻孔处尖灭等地质情况,连接成三角形、四边形和五边形等几何数据结构,并填充相应地层的图例,形成 1 个矢量多边形.2 个相邻钻孔自顶向下逐一匹配所有地层,最终形成 1 条矢量多边形链,由 N 个钻孔依次匹配出的 $N-1$ 条矢量多边形链即可构建出一幅完整的多孔地质剖面图.

2.2 复杂地质情况的判断

本文对剖面建模算法所涉及的复杂地质情况如包含、嵌套、钻孔间尖灭、钻孔处尖灭等给出了一套判断规则.

判断规则的条件包括:相邻 2 个钻孔间的距离、相邻 2 个钻孔的比较地层的厚度、时代、岩性密度等;分别与 2 个相邻钻孔的比较地层相邻的地层的厚度,等等.

判断规则具有如下形式:if X then Y (表示“如果 X 成立则有 Y 结论”).规则中 X 称为前项(表示前提), Y 可以是一系列条件的组合, Y 称为后项(表示结论).若将这些判断规则编入程序代码,则用户或专家无法通过修改或添加知识规则对算法进行智能决策,将知识推理技术引入建模过程则可以很好地解决这个问题.

2.3 知识推理技术的引入

知识推理技术将地质建模领域中的各种规则、约定、规律以及专家的知识 and 经验融入传统的基于模型库的地质建模系统,由模型与知识规则协作完成对复杂问题的决策分析,这提高了系统在智能性和决策方面的能力.

龚敏霞等^[4]提出了一种智能型的空间决策支持模型库构架,该构架以空间决策支持技术(SDSS)为基础,以模型为核心,以知识为驱动,集模型管理、模型运行和智能分析功能于一身,将 GIS 与专业应用模型无缝集成.

王黎黎等^[5]提出了基于知识推理的地质剖面图生成器的基本原理和结构,设计了数据模型和数据组织,并给出了知识库系统的应用方法、知识推理及获取方法.

本文在文献[6-12]研究成果以及上述剖面建模算法的基础上给出了如图 3 所示的地质剖面建模体系框架.

该体系框架引入了知识推理和知识库.其中,知识库储存着代表地质专家经验的知识规则,用户利用关系数据库管理技术,能够很方便地对知识库中的各种知识进行增加、删除、修改和浏览等操作.

数据库中的钻孔数据由数据转换器转换成层状逻辑数据结构.推理机通过层状逻辑数据和知识库中知识推理规则的结合,推理出符合条件的地层.方法类是一组映射地层与几何对象的方法集合,它是一种简化的模型库.对象装配器将推理机推理出的一个个地层链接成矢量多边形链,最终形成一幅地质剖面图,并通过图形界面反馈给用户^[8-9].

2.4 图形结果的用户干预

知识推理技术的引入解决了用户对剖面构建算法的智能决策问题,使得用户可以宏观地调整剖面构建

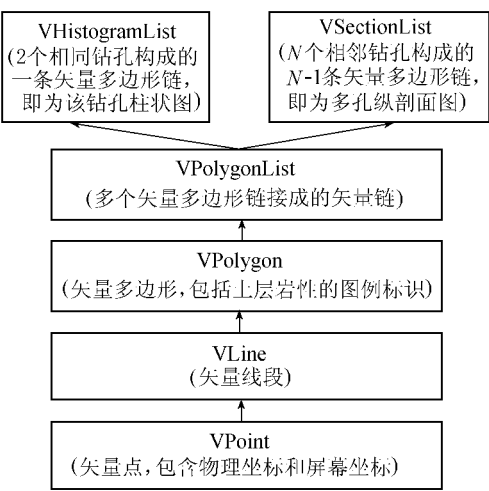


图 2 基本数据结构
Fig. 2 Basic data structure

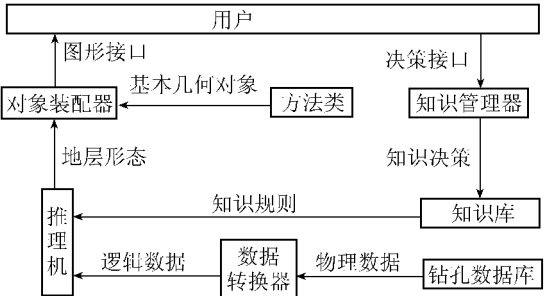


图 3 地质剖面建模体系框架
Fig. 3 Framework of geological section modeling system

算法的策略.但是,目前还没有一种算法能完全反映复杂多变的地质分层情况,用户必须通过对生成的剖面图的局部调整,才能将剖面图应用于工程实际.

由于屏幕上图形化的地质剖面与内存中的剖面数据结构存在着对应的转换关系,用户可以利用鼠标对图形进行修改,并将图形化的结果反馈到数据结构中,实现局部调整的决策功能.例如:对钻孔柱状图某地层的上下边界线进行鼠标拖曳,可以自动调整该地层甚至整个柱状图的图形结果和内存结构,选取剖面图中的某地层多边形,通过鼠标拖曳可以添加尖灭点,改变多边形轮廓和多边形图例等.由于基本的矢量链式结构具有很好的几何拓扑性,某个地层多边形的修改会影响其周边所有多边形,以至整个剖面数据结构的自动调整,从而维护了剖面数据结构的合理性和准确性.

将用户调整好的剖面数据结构序列化后存入数据库,就可以实现剖面图的存储功能.

3 系统实现

应用剖面建模技术构建的钻孔柱状图、剖面图是地理信息系统的重要组成部分.其中:钻孔管理模块(图 4)实现了钻孔数据的可视化录入,钻孔柱状图的生成、缩放和打印功能,剖面管理模块(图 5)实现了孔距计算,剖面图的生成、缩放、人工干预、经验修整、保存、加载和打印等功能.

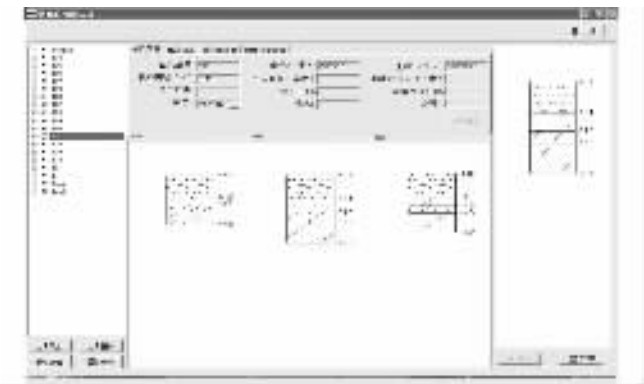


图 4 钻孔管理模块
Fig. 4 Borehole management module

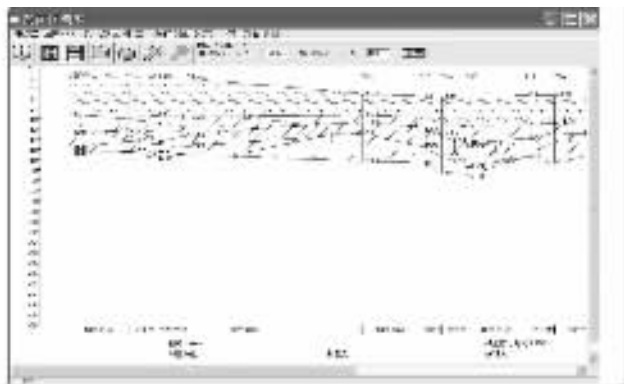


图 5 剖面管理模块
Fig. 5 Section management module

4 纵剖面图的应用

为了说明剖面图的实际应用价值,基于三角网^[13]和纵剖面图对某个航道疏浚工程待挖部分的土方量进行分土层计算,某航道横断面如图 6 所示.

- a. 利用测量数据构建计算区域的 Delaunay 三角网,以三角形中心点 V_t 的水深作为三角形所代表区域的水深.点 V_t 的水深取三角形三顶点水深的平均值.设计水深用点 V_b (通过 V_t 且垂直于水面的直线 L 与航道设计断面的交点)的水深来表示.
- b. 将 V_t 投影到纵剖面图上,通过投影点,在纵剖面图上垂直截取一段如图 1 所示的地层数据(仅取一条边),即相当于在该点打下了 1 个虚拟钻孔.根据该虚拟钻孔的土层信息可获得 V_t 和 V_b 之间近似的土层信息.
- c. 利用三角形面积和各土质土层的厚度计算当前三角形区域内待挖的各土层工程量,将所有三角形的分土层工程量相加即可获得计算区域的分土层工程量.

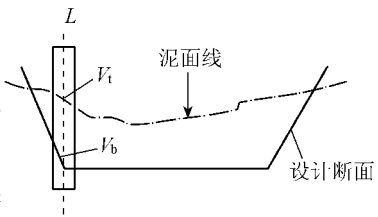


图 6 航道横断面
Fig. 6 Section of a watercourse

5 结 语

本文对如何将可供用户决策的专家经验融入地质剖面建模系统进行了研究,提出了一种可以考虑柱状钻孔和多孔剖面地质数据特点的基本数据结构,并将知识推理技术引入地质剖面建模算法,同时基于该算法构建了一个自动化程度高、符合专家经验、易于用户决策的基于钻孔数据的地质剖面建模系统,从而实现了用户对地质剖面建模的智能决策.

参考文献:

- [1] 吴冲龙, 刘刚, 李义才. 计算机辅助实测地质剖面图编绘系统设计[J]. 中国区域地质, 2001, 20(3): 304-308.
- [2] 李锋, 胡维平. 剖面图中分层区域自动生成的计算机实现[J]. 岩土力学, 2001, 22(1): 107-112.
- [3] 陈建宏, 周智勇, 陈纲, 等. 基于钻孔数据的勘探线剖面图自动生成方法[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2005, 36(3): 486-489.
- [4] 龚敏霞, 闫国年, 张书亮, 等. 智能化空间决策模型库及其支持下 GIS 与应用分析模型的集成[J]. 地球信息科学, 2002, (3): 91-97.
- [5] 王黎黎, 赵永兰. 基于知识的地质剖面图生成系统研究和实现[J]. 测绘与地理空间信息, 2005, 28(4): 88-90.
- [6] 杨一鹏, 张银, 王桥. 基于知识的地质剖面图生成器研究和实现[J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(5): 24-27.
- [7] 李浩, 张雅南, 杨彪, 等. 影像地质编录成果的三维可视化及查询分析方法[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(6): 668-672.
- [8] 朱莹, 刘学军, 陈锁忠. 基于 GIS 的地质剖面图自动绘制软件的研究[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2007, 30(4): 104-108.
- [9] 朱莹. 地质剖面自动绘制系统研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2006.
- [10] 韩俊卿. 地质剖面图自动生成方法研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2005.
- [11] 张渭军. 基于组件技术的地质剖面图自动绘制[J]. 海洋测绘, 2008, 28(4): 45-47.
- [12] 宋海良, 王帅, 刘杰, 等. 大型地下洞室群地质信息三维可视化分析与应用[J]. 水利水电科技进展, 2007, 27(6): 80-84.
- [13] 张剑波, 刘修国, 吴信才. 约束 Delaunay 三角剖分在土方量计算中的应用[J]. 测绘通报, 2001(8): 22-23.

Geological section modeling system based on borehole data

WANG Ji-min, LÜ Qing, WAN Ding-sheng

(College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the geological characteristics of columnar boreholes and multi-hole sections, a basic data structure with geometrical and topological vector properties was developed. The knowledge inference was then introduced into the algorithms for geological section modeling so as to realize the users' intelligent decision-making both in the algorithms and the sectional images. The method improved the accuracy and practicality of the traditional geological section modeling systems, which made it possible for them to incorporate expert knowledge and experience for decision-making. Finally, an engineering case for the system realization and the calculation of layered earthwork was given.

Key words: borehole data; geological section; model; intelligent decision-making; knowledge inference