

地下水含水层可视化方法研究与实现

张雪松¹, 张永波^{1,2}, 张礼中²

(1. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871; 2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 正定 050803)

摘要:该文阐述基于可视化技术的地下水含水层结构的立体表达方法。为了实现基于水文地质钻孔数据库的各种专题图形的自动生成, 讨论了结合水文地质钻孔数据库的平面格网数据的组织模型, 以及在该模型基础上的数据结构设计、算法设计和程序设计方法。给出了地下水含水层可视化具体实例的计算结果。由实例可知, 该方法是有效的, 且在地下水含水层可视化、地下地质体的立体表达等领域有一定的应用价值。

关键词:地下水资源; 含水层结构; 三维可视化; OpenGL

中图分类号: P208; P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-0504(2003)05-0020-03

0 引言

随着数字化时代的到来和信息科学技术的发展, 地理空间信息科学的应用已经渗透到了地球科学的各个领域。这里包括各种地球科学数据资料的数字化管理, 地学数据的各种空间模型分析以及各种地学现象和分析结果的可视化表达。其中可视化表达又分为二维表达和三维表达, 这对满足人们的形象思维要求有重要意义。

视觉信息是人类最主要的信息来源, 信息处理可视充分利用了人类的视觉潜能和脑功能^[1]。可视化(Visualization)在没有成为信息技术专业术语之前, 仅是形象化的一般性解释。它被赋予新的含义, 并成为信息技术与各学科相结合的前沿性专题, 是在数字化逐渐成为人类生存的主要基础的新形式下出现的事物^[2]。1987 年在华盛顿召开的一次科学计算会议上, 形成了题为“科学计算可视化”的报告, “可视化是将一种抽象符号转换为几何图形的计算方法, 以便研究者能够观察其模拟与计算的过程和结果^[3]”。十多年来, 可视化的应用遍及自然科学、工程技术、经济管理等众多领域。地下水水资源信息表达不仅是一个量上的概念, 更重要的是其在空间上的分布, 进行地下水资源的计算, 则需要表达与之相关联^[4]。

中国地质调查局在新一轮国土资源大调查中关于地下水资源的信息化中有不少课题, 建立了地下水资源勘查评价综合数据库, 其中包括地下水资源三维可视化软件的开发。本文结合实际工作中对我

国地下水资源勘查评价三维可视化系统开发的一些实践, 探讨含水层的二维、三维立体表达方法。

1 含水层可视化的设计与实现

1.1 算法设计

地下水勘查评价原始数据有离散点数据和规则网格数据。离散点数据可以绘制传统的立体栅状图, 而规则 DEM 网格数据则用来进行含水层的多级剖面图和三维立体表达图的绘制, 其关系如图 1 所示。

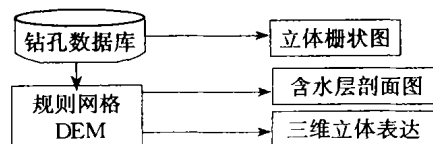


图 1 数据—可视化成果关系
Fig. 1 Data - visualization result relationship

钻孔数据库分为图形数据部分和属性数据部分, 图形数据主要是存储水文地质钻孔点的地理空间坐标, 属性数据主要是水文地质钻孔点的编号、埋深等信息。为了程序设计的方便, 定义一个数据结构, 用来在存储数据库中读入的数据如下:

```
Struct  
{  
    float x;  
    float y;  
    int code;  
    int layernumber[10];  
    int maxlayers;  
    float layerdepth[10];  
}  
BoreWell;
```

众所周知, 实际的地下水开采钻孔存在着倾斜问题, 而在该数据结构中由于 layerdepth 项实际上存储的是钻孔的深度亦即钻孔的 Z 坐标, 因而当用该结构在 OpenGL 的驱动下绘图时, 就自动解决了实际

收稿日期: 2002-10-11; 修订日期: 2003-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(40071064)

作者简介: 张雪松(1978-), 男, 硕士生, 研究方向为地理信息系统与遥感。

中钻孔的偏斜问题。

具体读写数据结构的步骤是:1)搜索钻孔空间数据库,将图形文件中的每个钻孔点的点位坐标和点的图元编号写入上述结构的 x, y 和 $code$ 变量中。2)根据 $code$ 码检索钻孔属性数据库,并将属性数据库中的每一钻孔包含的含水层的层数写入上述结构的 $maxlayers$ 变量中。3)根据每个钻孔的 $maxlayers$ 变量搜索数据库中每一层的编号和含水层的埋深深度。

将该数据结构进行两次排序,以完成绘图前的准备工作。第一次排序笔者称为横向排序,即平面坐标上把上述数据结构中的 x, y 坐标按照三角网追踪算法,将平面上无序的钻孔点排成有序的三角形序列。三角网追踪的算法有分割归并法、三角网生长法^[5-8]等,笔者使用的是三角网生长法算法。第二次排序是笔者自行编写,基本思想是将钻孔数据结构中 $layer_number$ 和 $layerdepth$ 两个数组补齐,按照每一个编号和一个埋深深度——对应的原则来进行。算法步骤是先排 $layerdepth$ 数组:该数组的第一个数值视为井口高程,保持不变;从第二层开始,如果缺失,用上一层井深代替本层;按照缺失的层数把后 n 层用本层的井深代替(即缺失 n 层,就用当前层深度代替 n 层的钻井深度);如果未缺失按该层的编号赋予井深,即保持不变,再将 $layernumber$ 中的数从小到大排序(表1)。

表1 数据结构举例
Table 1 Examples of data structure

排序前		排序后			
编号	井深(m)	编号	井深(m)	编号	井深(m)
1	102.6	1	102.6	6	605.9
2	202.3	2	202.3	7	605.9
4	407.8	3	202.3	8	708.4
6	605.9	4	407.8	9	708.4
8	708.4	5	407.8		

例:9类构造缺失4类的情况

网格数据主要是用来绘制含水层多级剖面图和三维动态立体表达图的。对于多级剖面图,只需将用户输入的两个剖面线的端点经过坐标转换定位到网格的坐标中,再用 DDA 算法进行差分,以剖面线上的距离为横坐标,以各含水层的高程为纵坐标逐层绘制于统一的坐标系下即可。

用规则网格 DEM 数据生成含水层结构三维立体表达主要分两个方面:一是三维地质体的表面;二是三维地质体侧面的层。这里其实综合了上述的含水层多级剖面的绘制和传统的规则网格 DEM 生成地表两个算法。网格 DEM 生成又分按三角形追踪和按正方形追踪(图2)。三角形追踪的连接方法就是从任意一个 i, j 连接到 $i+1, j$;再从 $i+1, j$ 连接到 $i, j+1$,完成上面一个三角形的追踪,同理,下面一个

三角形的追踪是从 $i+1, j$ 到 $i, j+1$;再到 $i+1, j+1$ 。正方形连接方法就是以每一个小的正方形为单位,依次从 i, j 连到 $i+1, j$;到 $i+1, j+1$;再到 $i, j+1$ 。

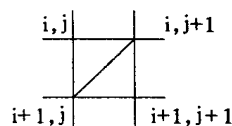


图2 DEM 网格连接示意

Fig. 2 Demonstration of DEM grid connection

1.2 编程实现

首先在 VC++ 中设置好 OpenGL 的图形设备环境,具体见参考文献[9]。注意到 OpenGL 编程的主要环节是图形的连接、颜色填充的设置、纹理映射、光照计算等。对于立体栅状图的连接用以下代伪码实现:

```
for (i = 0; i < WellNumber; i++)
    for (j = 0; j < MaxCol; j++)
    {
        钻孔编号排序;
        钻孔深度排序;
    }
for (j = 0; j < (m_col - 1); j++)
{
    if (两层编号相等)
    {
        glBegin(GL_POLYGON);
        glVertex3f(上层坐标);
        glVertex3f(下层坐标);
        glEnd();
    }
}
```

对于三维动态显示用以下代码实现:

顶部:

```
for (i = 0; i < row - 1; i++)
{
    glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP);
    for (j = 0; j < col - 1; j++)
        glVertex3f(三角形三个顶点);
    ...
    glEnd();
}
```

侧面:

```
for (Lnum = (m_LayerNum - 2); Lnum >= 0; Lnum--)
{
    第一个侧面
    glBegin(GL_POLYGON);
    第一层剖面线
    for (i = 0; i < col; i++)
    {
        glVertex3f();
    }
    第二层剖面线
    ...
    第二个侧面
    ...
    glEnd();
}
```

对于颜色填充和纹理映射见参考文献[10]。

2 应用实例

基于上述算法,笔者用 VC++ 6.0 在 win2000 平台下用 OpenGL 图形库开发了地下水资源三维可视化

系统。用户可以在行政区划图上任意拉一条剖面线,系统自动检索 DEM 网格数据并经过运算、弹出多级剖面绘图对话框(图 3)。

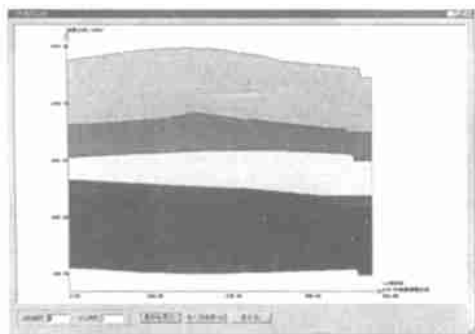


图 3 含水层任意多级剖面图
Fig.3 Multi-level section map of groundwater aquifer

用户可以在图 4 小视图窗口行政区划图上任意选择要绘制的水文地质钻孔点,系统自动检索水文地质钻孔数据库并经过运算、在上方的大视图窗口中绘出立体栅状图,该图可以进行任意的旋转。

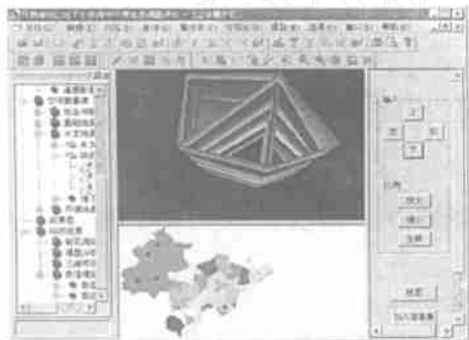


图 4 水文地质钻孔立体图
Fig.4 Solid map of hydrogeological borehole

用户可以在行政区划图上任意拉一矩形 Box,系统自动检索 DEM 网格数据并经过运算,弹出图 5 绘图对话框。用户可以对三维地质体进行任意的旋转。

3 结论与展望

国内的地下水勘查评价信息系统大多数只是提供地下水勘查评价资料的信息化管理和简单的模型分析,鲜有将信息管理—模型分析—二维、三维可视化集成到一起的。这种集成使地下水的勘查评价慢慢的从传统的 5~10 a 一次大调查到形成一个地下水资源的可持续评价能力。“而我们所面对的地下水资源相关数据对象是基于三维空间的,无论开展什么样的研究工作,可视化表达将是一个永恒的话题^[4,11,12]。这种结合二维—三维的可视化地下水含水层信息和模型分析结果对于地下水信息的多层次多角度表达无疑是一个进步,使专业和非专业人士都能够十分明了的观察问题的所在。

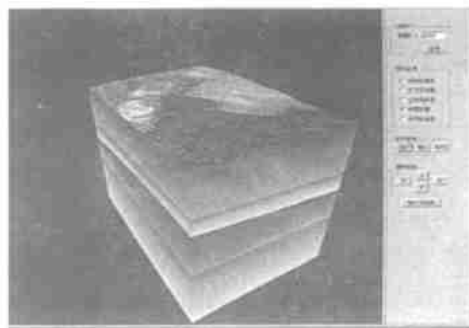


图 5 含水层三维立体表达(全屏)
Fig.5 3D map of groundwater aquifer(full screen)

今后应在以下三个方面深入研究地下水资源可视化的问题:1)为什么要进行三维可视化,以及由此引出的需要什么样的可视化效果最能满足人们的需要;2)设计不同的可视化算法以提高系统的运行效率,如何与数据库结合且跨越大数据量的瓶颈是亟待解决的;3)开发工具的选择,OpenGL 和 Direct3D 是两套非常完善的三维图形开发库,但不太适应网格(Grid)数据,尤其是 OpenGL 不能绘制凸多边形,而新兴的 IDL 语言非常便于网格数据的操作,以后如果向网络界面发展则不得不考虑 VRML 了^[13,14]。“随着现代信息技术的发展,在建立一个完善的基础数据库的同时,需逐步开发一个功能强大、实用性能良好的地下水资源信息可视化管理系统,以充分有效地处理和利用各种信息资料,提高不同层次信息的可视化程度,并全景式地显示地下水资源、环境和社会经济系统特征的时空分布特征,充分地为民经济建设服务^[4,15]。

致谢:感谢任鑫、赵建伟、王锋堂对本文的指导和帮助。

参考文献:

- [1] 刘晓强. 科学可视化的研究现状与发展趋势[J]. 工程图学学报, 1997(2-3): 124-130.
- [2] 高俊. 地理空间数据的可视化[J]. 测绘工程, 2000, 9(3): 1-7.
- [3] McCormickBH, DefantiTA, BrownMD. Visualization in scientific computing[J]. Computer Graphics, 1987, 21(6): 1-14.
- [4] 张永波, 张雪松, 张礼中. 地下水资源信息管理的可视化技术应用[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(6): 87-89.
- [5] 徐青, 常歌, 杨力, 等. 基于自适应分块的 TIN 三角网建立算法[J]. 中国图象图形学报, 2000, 5(A6): 461-465.
- [6] 齐安文, 吴立新, 李冰, 等. 一种新的三维地学空间构模方法——类三棱柱法[J]. 煤炭学报, 2002, 27(2): 158-163.
- [7] 孙敏, 薛勇, 马谨乃, 等. 基于格网划分的大数据集 DEM 三维可视化[J]. 计算机辅助设计与图形学, 2002, 14(6): 566-570.
- [8] 孙敏, 薛勇, 马谨乃, 等. 基于四面体格网的 3 维复杂地质体重构[J]. 测绘学报, 2002, 31(4): 362-365.
- [9] 江早. OpenGL VC/ VB 图形编程[M]. 科学出版社, 2001.

(下转第 26 页)

常用的一种技术,然而在涉及像 GIS 这样复杂场景绘制时,它也显得力不从心。开发的 GIS 三维场景显示程序中,通过利用上述两个扩展明显的改善了图形绘制性能。图 2 是一组分别利用显示列表和扩展的性能测试的数据对比。测试环境配置:CPU 为 AMD Althlon 1 000 MHz,内存 256 M,图形加速卡为 GeForce3 64 M,系统为 Windows 2000。与目前流行的 PC 配置相比略显低一些。

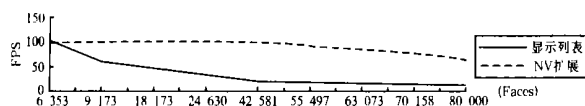


图 2 显示列表与 NV 扩展绘图性能对比

Fig.2 Comparison of performance between display list and NV extension

绘图性能指标采用单位时间内绘制的帧数来表示,即 FPS。从图 2 可以看出使用 NV 扩展的 FPS 远高于使用显示列表,而且随着面片数 (Faces) 的增加,这种差别愈加体现得更明显:显示列表的 FPS 下降很剧烈,而 NV 扩展则降低幅度不大,还具有较大的帧容量,显示了较高的绘图性能。有力地证明了扩

展对于加速绘制确实具有卓有成效的作用。

4 结语

基于 nVIDIA 的 GeForce 图形加速卡的 NV 扩展的使用,可以有效地提高绘图性能。随着硬件性价比的不断提高,在普通的 PC 上利用硬件加速卡来提高三维绘图的速度具有极大的可能性。使得三维图形的应用可能在更广范围展开,在一定程度上也为三维 GIS 走向实用化提供了良好支持。

本研究得到北京英特图元信息技术有限公司大力支持,特此致谢!

参考文献:

- [1] Mason woo, et al. OpenCL programming guide: the official guide to learning OpenCL, Version 1.2[M]. Addison Wesley Longman Publishing Company, 1999. 1 - 2.
- [2] 向世明. OpenCL 编程与实例[M]. 电子工业出版社, 1999. 4 - 5.
- [3] Richard S. Wright Jr, Michael Sweet (潇湘工作室译). OpenCL 超级宝典[M]. 人民邮电出版社, 2001. 24 - 25.

Hardware Acceleration in Scene Rendering of Three Dimension GIS

CHEN Yong - kang^{1,2}, ZHAO Ying - shi¹

(1. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The rendering objects in the scene of three dimension GIS include varieties of things that result in gigabytes of data, which bring forth difficulties for representing vividly and quickly. However, the OpenCL application based on NV extension can fully take advantage of the accelerating function of graphic hardware and improving the capability of rendering. In this paper the principles of acceleration and the usage of extension were explained. Moreover, the compared analysis of example study was presented.

Key words: three dimension scene; OpenCL; NV extension; hardware acceleration

(上接第 22 页)

- [10] Richard S Wright, Michael Sweet. OpenCL 超级宝典[M]. 人民邮电出版社, 2001.
- [11] 袁艳斌, 张勇传, 王乘, 等. 流域地理景观的 GIS 数据三维可视化[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 497 - 501.
- [12] 王月莲, 宋新民. 三维储集层地质模型的二维表征方法[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 54 - 55.
- [13] 孙敏, 马蔼乃, 陈军. 三维城市模型的研究现状评述[J]. 遥感学报, 2002(2): 155 - 161.
- [14] 张金淼, 胡孝林, 张丽焕. 三维可视化技术与油气藏综合评价[J]. 中国海上油气(地质), 2001, 15(5): 356 - 364.
- [15] 刘宪斌, 林金逞, 韩春明. 地震储层研究的现状及展望[J]. 地球学报, 2002, 23(1): 73 - 78.

Research and Implementation of Visualization Method on Groundwater Aquifer

ZHANG Xue - song¹, ZHANG Yong - bo^{1,2}, ZHANG Li - zhong²

(1. Institute of RS & GIS, Peking University, Beijing 100871;

2. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding 050803, China)

Abstract: On the basis of the general introduction of the conception and significance of the spatial data visualization, this paper discusses how to visualize the groundwater aquifer according to the 3D visualization technology. For all kinds of automatic thematic mapping using the database of the groundwater borehole, this paper firstly researches deeply into the organizational model of the GRID format data combined with the borehole database, and then designs the data structure, algorithm, and the program on the basis of the model. At last it also demonstrates an example and the result of the computation, and from which we know the algorithm is efficient and significant on the 3D visualization of groundwater aquifer and geologic body.

Key words: groundwater resources; structure of aquifer; 3D visualization; OpenCL