

# 基于 OpenGL 的城市地下管网 GIS 可视化研究

乔淑娟, 王 华, 崔 阳

(首都师范大学 信息工程学院, 北京 100037)

**摘 要:**阐述了 GIS 可视化的现状及地下管网的数据特点, 比较分析 OpenGL 与其他工具的优缺点, 设计了一种基于 OpenGL 的城市地下管网地理信息系统可视化算法; 采用 Oracle 数据库存储空间数据, 便于数据的读取与显示, 并对显示时发生的事件进行了处理, 有效地解决了城市地下管网地理信息系统的可视化问题。

**关键词:**地理信息系统; 可视化; OpenGL; 地下管网

**中图分类号:** TP391.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3751(2006)03-0146-03

## Research on OpenGL - Based Visualization for City's Pipelines Network Underground Geographical Information System

QIAO Shu-juan, WANG Hua, CUI Yang

(Info. & Eng. Institute, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

**Abstract:** As the development of GIS of three dimensions and space-time GIS of four dimensions, double-quick visualization of real three dimensions becomes one of the primary problems, because the quantity of data increases rapidly. In the paper, in allusion to the visualization for pipelines network underground city Geographical Information System, a solution based OpenGL technology is discussed, and visualization of cities' pipelines network underground is solved well.

**Key words:** GIS; Visualization; OpenGL; pipelines network underground city

### 0 引 言

一般认为数据模型是 GIS 的核心, 目前二维 GIS 的数据模型设计是以能较完备表达地理实体空间关系, 及其管理、查询效率为目标的。而数据显示与分析, 由于是二维的, 相对容易实现, 因此没有作重点的考虑。但是, 随着三维 GIS 和时空四维 GIS 的发展, 因数据量的急剧增大, 加上真实感图形所需的大量计算, 使得快速真三维可视化上升为 GIS 中的一个主要问题。可视化效率与效果也成为三维 GIS、四维 GIS 数据模型设计的一个重要考虑因素。另外, 为了得到真实感三维图形图像, 光照明模型需要计算点、线、面的法向量, 纹理映射需要设置物体坐标和相应的纹理图像坐标、多分辨率纹理图像等等, 由于这些因素是属于加强图形图像真实三维感的, 所以不被数据模型的设计者所考虑和重视。因此可视化研究人员必须重新设置针对可视化的数据模型。所以, 在三维、四维 GIS 的研究开发阶段, 可视化作为交流、交互分析的重要手段, 已经上升为与 GIS 数据模型相对等的地位<sup>[1]</sup>。

三维显示实现技术主要有 OpenGL, DIRECT3D,

VRML, JAVA 3D 等。OpenGL 是业界最为流行也是支持最广泛的一个底层 3D 技术, 几乎所有的显卡厂商都在底层实现了对 OpenGL 的支持和优化。它广泛适合于计算机系统环境下的三维图形应用程序设计接口, 目前已成为开放式的国际三维图形程序标准, 是与图形硬件完全无关的程序设计接口, 由一百多个相关命令与函数组成。DIRECT3D 是 Microsoft 公司推出的三维图形编程 API, 它是基于组件的三维图形应用程序接口, 要求微软的操作系统。VRML2.0 (VRML97) 自 1997 年 12 月正式成为国际标准之后, 在网络上得到了广泛的应用, 这是一种比 BASIC, JAVASCRIPT 等还要简单的语言。脚本化的语句可以编写三维动画片、三维游戏、计算机三维辅助教学。它最大的优势在于可以嵌在网页中显示, 但功能较弱, 与 JAVA 语言等其它高级语言的连接较难掌握, 因而逐渐被淹没在竞争激烈的网络三维技术中<sup>[2]</sup>。JAVA 3D 是 JAVA 语言在三维领域的扩展, 其本质是一个交互式三维图形应用编程接口, 它采用的是场景图的数据结构<sup>[3]</sup>。

与其它三维建模软件相比, 应用 OpenGL 软件包进行地理信息三维可视化系统的建模具有建模方便、实时的三维仿真、高度的真实感显示、程序的独立性、程序的可移植性等优点。OpenGL 所特有的显示列表和双缓存机制也为实现三维景观的实时动态显示提供了有力的保证。基于此, 文中介绍了 OpenGL 技术, 探讨了据此实现城市地

收稿日期: 2005-06-01

基金项目: 北京市教委基金资助项目 (KM200410028013)

作者简介: 乔淑娟 (1981—), 女, 河南开封人, 硕士研究生, 主要研究方向为智能技术应用、地下管网可视化等; 王 华, 博士后, 研究方向为软件工程、地理信息系统。

下管网地理信息系统的可视化技术。

## 1 OpenGL 技术及其特点

OpenGL 全称“开放式图形库”,是由 SGI 公司开发的低层三维图形 API,目前在图形开发领域已经成为工业标准。OpenGL 是一种开放式的图形软件开发包,它采用 C 语言风格,提供大量的函数来进行图形方面的处理。一般编程使用的函数库包括:OpenGL 图形库,可以实现比较简单的绘制功能;OpenGL 实用库,用以执行特殊任务如坐标变换、纹理映射、多边形网格化、NURBS 曲线曲面等操作;OpenGL 辅助库,用以初始化窗口、监控输入输出、绘制三维对象等;OpenGL 实用工具开发库;视窗系统扩展库(GLX),用以把 OpenGL 设备场景与视窗系统相关联;Win32 函数库,实际上为 API 函数,用来处理比如像素格式的选择及双缓冲等功能。

OpenGL 绘图的机制是:先用 OpenGL 的绘图上下文 Rendering Context (简称为 RC)把图画好,再把所绘结果通过 SwapBuffer() 函数传给 Windows 的绘图上下文 Device Context (简称为 DC),实实在在地画到屏幕上。运行 OpenGL 主要有以下 3 种方式:OpenGL 硬件加速方式、三维图形加速模式和纯软件模式。

采用了 OpenGL 技术,大大降低了开发高质量图形软件对软、硬件的依赖程度。

创建一个三维图形的基本步骤,大致可以包括以下 3 个主要环节:建模、设置视点和设置环境。

OpenGL 主要提供以下几种对三维物体的绘制方式:线框绘制方式、深度优先线框绘制方式、反走样线框绘制方式、平面明暗处理方式、光滑明暗处理方式、加阴影和纹理的方式、运动模糊绘制方式、大气环境效果及深度域效果等。

OpenGL 提供了以下基本操作:绘制物体、变换、光照处理、着色、反走样、融合、雾化、位图和图像、纹理映射、动画等。出色的动画效果是 OpenGL 的一大特色,OpenGL 提供了双缓存区技术来实现动画绘制<sup>[4,5]</sup>。

OpenGL 的工作流程如图 1 所示。

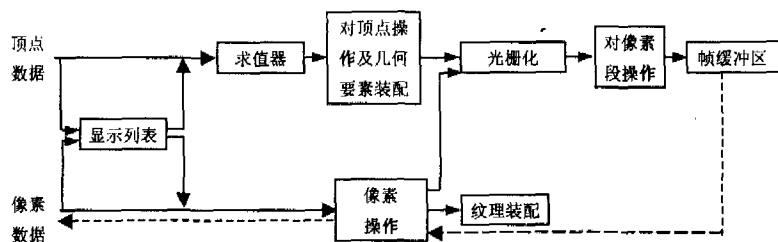


图 1 OpenGL 的工作流程

## 2 城市地下管网数据特点

城市地下管网是城市基础设施中的生命线,有地下神经之称,包括给水管网、燃气管网、供热管网、排水管网、电力管网、排污管网和电信管网等<sup>[6]</sup>。这些管网虽然也有地

上的、半地上的结构,但总体来说位于地下,所以统称为地下管网。每一类管网都由管线段和附属设施组成,呈树状、环状或辐射状,形成一个系统,系统的各组成元件相互影响,共同发挥作用。

首先,地下管网数据是一种基本网络数据,满足网络的一般特性,其基本构成包括弧段和节点。节点包括管网点状实体和三类特征点,即管径变化点、埋深变化点和管网交点;弧段表示相邻节点间的管线段。

其次,地下管网数据有区别于一般网络数据的特殊性。地下管网数据包括两种基本类型:树状管网和环状管网。树状管网大多是重力管网,其弧段都是单向弧段,方向取决于起始节点的高程值,如排水管网。而燃气、给水等压力管线在设计时为了尽可能减少事故造成的影响,大多采用环状设计,同时大、中城市的燃气、给水等管网都采用多个源头,使得这些管线呈多源环状分布。

## 3 基于 OpenGL 的城市地下管网地理信息系统可视化算法设计

为了显示一个交互的地下管网图,OpenGL 通过调用类库构造相应算法来建立三维模型。OpenGL 中从三维场景到屏幕图形要经历一系列的变换过程。将物体放到场景中也就是将物体平移到特定位置、旋转一定角度,这些操作就是坐标变换。利用 OpenGL 的矩阵运算命令,可以实现任意复杂的坐标变换。

### 3.1 算法设计

基于 OpenGL 的城市地下管网地理信息系统可视化算法总体设计图如图 2 所示。

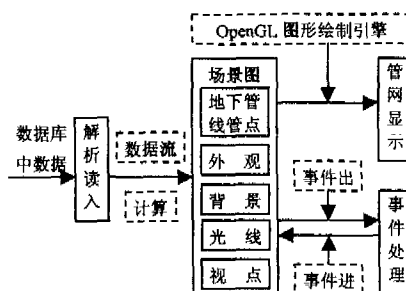


图 2 算法设计

按图 2 所示的结构,数据库中地下管线、管点的数据经初始处理后,解析成数据流。根据数据流的类型确定数据的走向,如存储数据流中生成的管线的相关数据。根据数据构建各种管网图,并设置光源、观察点的位置等。其中,在数据库中存储的有地下管线管点的视觉属性,包括图形符号、颜色等等。

### 3.2 数据的读取

实验采用的数据存储在 Oracle 数据库中。在数据库中存储各种管线的空间及其属性数据,如供水管线的类型地理位置信息及其高程信息等。数据的读入过程是通过

数据的类型字段实现对数据流的解析。通过类型字段来判断当前流中的对象类型,实现数据的读取过程。

### 3.3 地下管网的显示

通过从数据库中获得的管线起始点坐标( $X_0, Y_0$ ),计算构成管线其他点的坐标( $X_i, Y_i$ ), $X$ 坐标由西向东, $Y$ 坐标由北向南。结合高程数据形成( $X_i, Y_i, Z_i$ )的数组。根据已知的管线类型、形状,可利用三角形作为基本面素来逼近管线表面。用三角形来表示管线表面的好处是操作和变换都可以针对三角形的顶点来进行。

管网三维图形的绘制就是一个将几何模型从数字表达形式绘制到硬件设备上并输出显示的过程。三维显示实际上是三维模型在二维平面上的投影<sup>[7,8]</sup>。初始化的管线表面要经过一系列的变换才能在屏幕上显示三维效果。这些变换主要包括两种形式:

一种是几何变换,由变换矩阵来完成。变换矩阵轮流对三角形每一个顶点的坐标进行变换,形成新的三维效果。例如通过平移、缩放、旋转等变换操作,来改变三维图形在屏幕中的相对位置,将目标放入观察范围内。OpenGL中有一个坐标变换矩阵栈(ModelView),栈顶就是当前坐标变换矩阵,进入OpenGL管道的每个坐标(齐次坐标)都会先乘以这个矩阵,结果才是对应点在场景中的世界坐标。OpenGL中的坐标变换都是通过矩阵运算完成的。

另一种变换就是投影变换。投影变换又包括正射投影(即没有“近大远小”)和透射投影(“近大远小”)两种<sup>[9]</sup>。正射投影使用glOrtho创建一个平行视景体的矩阵,即投影射线是平行线。把第一个矩形视景投影到第二个矩形视景上,并用这个矩阵乘以当前矩阵,以完成变换。透射投影使用glFrustum创建一个形如棱台的视景体,其近截取面由left right bottom top znear确定;远截取面由从视点投影近截取面到 $Z$ 轴 $zfar$ 位置决定。要把三维管网图最终显示在窗口上,还需要进行视口变换。视口变换使用glViewport函数定义一个视口,通过给出视口在屏幕窗口坐标系中左上坐标及宽和高等参数来实现。注意使用中视口长宽比例的调整会导致图像变形。因此reshape()中要检测窗口尺寸,修正视口大小,保证图像不变形<sup>[7,8]</sup>。

### 3.4 事件处理

在OpenGL中,一个事件意味着信息从管网图中的一个节点传递到另一个节点。在管网图之外的一个输入行为将引起管网图中节点及管线的运动,交互和动画能够使

管网图或管网图中的形体对象对外界介入动作产生反应。这种介入可能是键盘上的按键操作、鼠标的移动、对象的碰撞、时间的改变或者其它一些事件。变化的产生包括管网图中对象数量的增加、减少,属性的改变,对象的重新排列以及这几种情况的组合等。交互和动画的区别在于交互是对用户输入行为的反应,而动画则是对象随时间变化而产生的改变。OpenGL中使用双缓冲技术来实现动画<sup>[9]</sup>。每一帧都在画面外的缓冲区绘制,完成之后再交换到屏幕上。在C语言编程机制下,主要使用GLUT库函数来实现动画。基于以上原理,对三维图形进行缩放、漫游是一种交互行为,是对用户介入行为的反应,表现为图形在屏幕中的变换;而沿固定路线飞行则是一种动画的效果。

## 4 结束语

文中提出的基于OpenGL的可视化算法,结合Oracle数据库及地理信息系统开发工具,能够有效地解决城市地下管网地理信息系统的可视化问题。加之OpenGL是目前应用最为广泛的开放式图形编程标准,使它在许多方面优于其它的三维图形绘制库,有着广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 龚建华. 地学可视化——理论、技术及其应用[R]. 北京: 中国科学院国家计划委员会地理研究所, 1997.
- [2] 李翔, 李成名, 王继周. 基于Java3D的地形3维可视化技术[J]. 测绘通报, 2003(10): 19-21.
- [3] 张杰. JAVA 3D交互式三维图形编程[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999. 26-50.
- [4] 乔林, 费广正, 林杜, 等. OPENGL程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2000. 85-96.
- [5] 和平鸽工作室. OpenGL高级编程与可视化系统开发[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003. 90-103.
- [6] 吴波. 城市地下管网信息系统的设计与实现[D]. 西安: 西北大学, 2002.
- [7] 周雪梅, 杜世培. GIS中三维可视化的模型构造及算法设计研究[J]. 贵州工业大学学报, 2003, 32(4): 55-57.
- [8] 吕志慧. 地理信息三维可视化系统应用研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2002.
- [9] Hearn D. Computer Graphics with OPENGL(3e)[M]. 蔡士杰译. 北京: 电子工业出版社, 2005.

(上接第 28 页)

- [2] Braden B, Cerpa A, Faber T, et al. Introduction to the ASP Execution Environment[EB/OL]. www.isi.edu/activesignal/ARP/index.html, 2001.
- [3] Descasper D, Parulkar G, Plattner B. A scalable high performance active network node, IEEE Network (New York USA) [J/OL]. http://www.arl.wustl.edu/Publications/1995-99/ieeener99dd.pdf, 1999.
- [4] Gosling J, McGilton H. The java language: a white paper, Technical Report, Sun Microsystems[EB/OL]. http://java.sun.com/docs/white/langenv, 2001.
- [5] 彭晨阳. Java实用系统开发指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.