

基于 OpenGL 的城市地下管网信息系统的可视化研究

赵亚蓓¹, 李培君², 时建新³

(1. 郑州测绘学校, 河南 郑州 450005; 2. 徐州空军学院, 江苏 徐州 221000;
3. 中铁七局一公司, 河南 洛阳 471000)

摘要:在介绍 OpenGL 特点的基础上, 对系统框架设计、管网数据组织、系统功能实现的关键技术等方面进行了研究, 系统的可视化研究为领导部门进行管网规划、改造等提供了辅助决策功能, 实现了地下管线管理的科学化和自动化。

关键词:地下管网; OpenGL; 可视化

中图分类号: P208; TU990.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-5867(2012)02-0138-04

Research on OpenGL – based Visualization of City Underground Pipelines Network Information System

ZHAO Ya – bei¹, LI Pei – jun², SHI Jian – xin³

(1. Zhengzhou Technical School of Surveying and Mapping, Zhengzhou 450005, China; 2. Xuzhou Air Force Educational Institute, Xuzhou 221000, China; 3. The First Company of the Seventh Bureau of China Railway, Luoyang 417000, China)

Abstract: Based on the introduction of the features of OpenGL, this paper probes into the framework design, pipeline data organization, system function realization and pivotal techniques of OpenGL system. Research on OpenGL – based underground pipeline network visualization provides support for leading department's decision making on planning and reconstruction of underground pipeline network and helps to realize the scientific and automatic management of underground pipeline network.

Key words: underground pipeline network; OpenGL; visualization

0 引言

各种城市地下管网起着能源供应、传输和信息交换的作用, 是现代化城市(包括企业)的主要传输设备和重要的基础设施^[1]。随着我国城市的飞速发展, 旧管线更新、新管线设计施工、新区管线规划、高层建筑的地基处理等都需要准确把握地下管线的现状。

城市地下管网信息系统是以地下管网的空间信息和属性信息为核心, 利用地理信息系统技术、计算机图形学技术、数据库管理技术和信息可视化技术对城市地下管网进行综合管理, 为施工部门和管理部门提供地下管网准确的走向和埋深等有关信息, 并通过进行各种统计分析和空间分析, 为领导部门进行管网规划、管网改造, 等等提供辅助决策功能, 实现了地下管线管理的科学化和自动化。地下管线信息系统的建立, 从根本上改变目前无序的人工管理状态, 节省大量的人力、物力; 为管理、设计、决策快速准确地提供各种所需的图、文、声、像并茂的

资料, 保证城市生命线工程的有序化运行; 对于提高城市人民的生活质量、保护国家财产和人民生命安全等都具有极其重要的意义

与其他 3 维建模软件相比, 应用 OpenGL 软件包进行地理信息 3 维可视化系统的建模具有建模方便、实时的 3 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 3 维景观的实时动态显示提供了有力的保证。基于此, 本文中介绍了 OpenGL 技术, 并据此对城市地下管网地理信息系统进行了研究。

1 OpenGL 技术及其特点

OpenGL^[2]实际上是一种图形与硬件的接口, 它包括了众多的图形操作函数, 开发者可以利用这些函数建立 3 维模型并进行实时交互。与其他的图形程序设计不同, 它提供了十分清晰明了的函数, 是一个高性能的图形开发软件包, 包括建模、变换、光线处理、色彩处理、动画处

收稿日期: 2011-02-11

作者简介: 赵亚蓓(1977-), 女, 河南南阳人, 助理讲师, 硕士, 2006年毕业于信息工程大学大地测量学与测量工程专业, 主要从事工程专题信息系统的辅助教学与应用研究工作。

理映射、物体运动模糊效果,在性能上表现十分优越。OpenGL 强有力的图形函数不要求开发者将 3 维物体模型写成固定的数据格式,可以利用不同格式的数据源,具有很大的灵活性。

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。创建一个 3 维图形的基本步骤,大致可以包括以下三个主要环节:建模、设置视点和设置环境。

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,图像的绘制流程如图 1 所示。

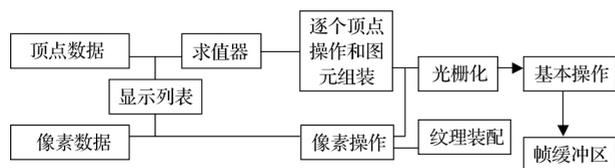


图 1 OpenGL 图形绘制流程图

Fig. 1 Flowchart of plotting OpenGL graph

2 系统框架设计及管网数据组织

2.1 系统框架设计

在管线 3 维显示的系统,工作流程主要分为数据输入、数据编辑、数据入库、3 维场景显示、图形操作、交互查询、空间分析等。系统框架设计如图 2 所示。

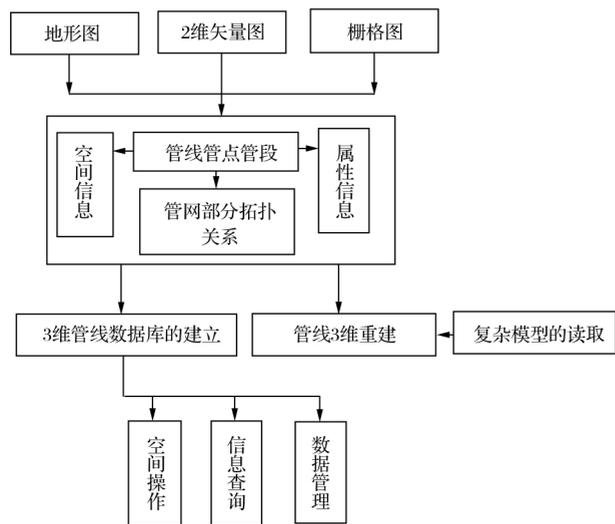


图 2 系统框架设计图

Fig. 2 Design of systematic framework

2.2 管网数据组织

由于管线一般分为给水、排水、电力、电信、有线电视、热力、煤气、工业 8 种管线,管线大体上由管段和特征

点组成,因此,数据库中表基本上由管线表、管段表和管点表构成,每个表都定义唯一的主键,通过主键来约束各表之间的关系,同时对各表进行维护。

城市地下管线涉及多种数据,为了进行有效的管理和分析,在建立空间数据库时,必须按照统一的规则对空间对象进行有效的编码,来表达图层之间和空间对象之间的关系。编码时,除了能做到对地物唯一性标志之外,而且应用最简洁的方法表示出地物之间的关系。对于管线图形要素来讲,要求管线要素的编码不仅能反映出具体管线要素的种类特征,而且能反映出该要素与周围地物和环境之间的关系。可以用《建设部管线测量分类标准》中描述的管线分类的方法对管线要素进行定性的编码,而管线要素与周围地物的关系,则可以采用将管线要素与管线所处的地理环境,如管线所处的道路、管线所在的城市方位等关系来建立管线要素与周围地物的关系。因此管线要素的编码,就可以由道路编码或城市方位等方位码再加上管线的分类编码和序号来组成。

地下管网数据组织的核心是建立管网数据库模型,系统采用对象—关系型数据库 Oracle 的空间数据库组件 Oracle Spatial 来实现对地下管网空间数据和属性数据的一体化管理。

Oracle Spatial 管理空间数据的方法是:提供一个 MDSYS 模式,其中包含了关于空间数据管理的所有内容,即提供一个抽象对象数据类型(SDO_GEOMETRY)、空间索引功能及多个针对 SDO—GEOMETRY 的函数/运算符等。在地下管网信息系统中,根据地下管网要素类的不同可以将管网分成不同的图层,相应地在 Oracle Spatial 中为每个管网图层建立一个元数据表。为地下管网建立元数据表后,能够使管网数据的管理和检索更加方便、快捷,保证了数据库中对管网空间数据和属性数据的一体化管理。

3 系统的主要功能和特点

地下管网的规划、设计、施工和管理,是实现城市信息化管理的一个重要组成部分,具体功能如图 3 所示。

1) 图形数据管理模块

图形数据的操作主要包括地图数据的读入和 3ds, VRML 文件的读入。对 2 维图进行 3 维显示,并能对管线的图形对象进行修改、删除和添加操作。利用面向对象技术对 3 维复杂模型数据进行读入到内存中,以便于用 OpenGL 对数据进行显示。

2) 图形操作模块

包括 3 维操作、图层控制、鹰眼等功能,其中 3 维操作包括放大、缩小、前进、后退、旋转和俯仰。图层控制是指定图层显示与隐藏的开关,鹰眼提供全区域范围的导航功能。还包括对图形的更改操作,如在 3 维场景中删除、增加管段等。

3) 管线的 3 维重建

在此模块中,根据提取出的管线空间拓扑关系在 3 维

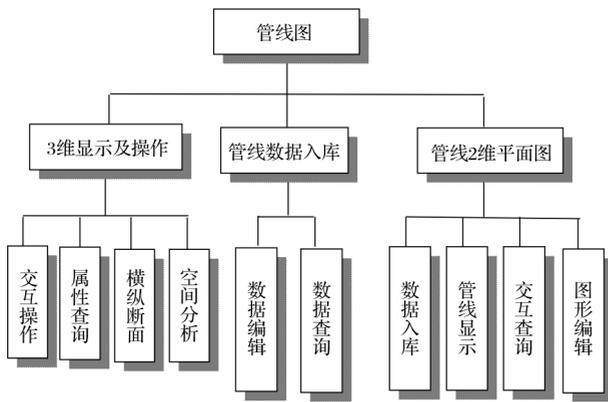


图3 系统的功能模块图

Fig. 3 Functional component of the system

空间中对管线进行重建,其中包括管网、管件的重建,如图4所示。

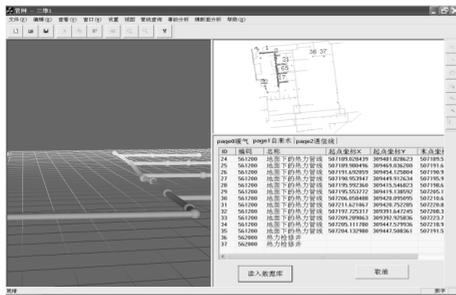


图4 管线3维显示图

Fig. 4 3D views of pipelines

4) 信息查询与空间分析

信息查询,主要指双向查询功能,即可通过点击对象获取属性信息,亦可输入属性查询条件定位对象。用户查看对象(管网或城市地物)时,可通过鼠标点击捕捉后浏览其相关属性;同样,用户查询属性信息时可立刻定位至该对象。3维空间管段查询以及空间距离的量算(如图5所示)。

空间分析功能,包括连通性分析、断面分析等。进行连通性分析时,与之连通的管网均醒目表示。管线断面分析的关键是根据所给断面来判断与其相交的管线,获取交点的坐标并采用线性内插方法求出交点的地面高、管顶高、管底高等信息。

4 系统实现的关键技术

4.1 管线分层的颜色设置

根据国家关于地下管线勘查规程规定,建立综合地下管线管理系统时,平面图中的管线统一使用一个像素宽度的实线表示,不同类型的管线使用不同的颜色区分。在进行管线3维显示时,将不同类型的管线用不同的颜色分层,使图形变得更直观,由此制定的管线类型与管线颜色对照见表1。

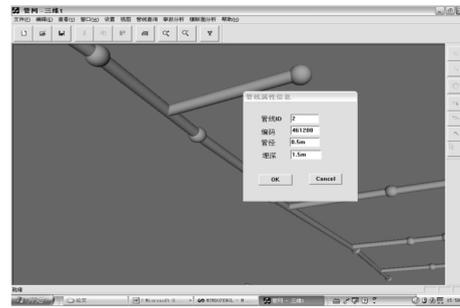


图5 管线属性查询图

Fig. 5 Querying the attribute of pipelines

表1 管线类型与管线颜色对照表

Tab. 1 Parallel table of pipeline type and color

管线类别	代号	颜色	RGB 颜色
供水	G	天蓝	170 135 87
雨污合流	Y/W/P	深褐	255 0 255
燃气	S	粉红	255 0 0
高(低)压电力管线	U/P	大红	0 255 64
中国电信(联通、移动)	T/U/A	草绿	1 128 64
有线电视	V	绿	0 128 64
热力	R	紫	128 0 128
工业	I	灰	128 128 128
综合管沟边线		黑	0 0 0
基础地形		灰	128 128 128
检测地形和断面特征数据		深灰	80 80 80

管线的颜色不仅与本身的颜色有关,还与光照和周围环境的颜色以及观测者的角度有关。因此在对管线进行颜色设置后,还必须对光照模型进行设置。向场景中增加光照的步骤如下:

- 1) 为所有物体的顶点定义法线向量,这些法线决定了物体相对于光源的方位。
- 2) 创建、选择光源,并为光源定位。
- 3) 创建并选择光照模型,定义全局环境光和局部环境光的等级以及观察点的有效位置(用于光照计算)。
- 4) 为场景中的物体定义材料属性。
- 5) 激活光源。

在程序中设置光源如下:

```

GLfloat lmodel_twoside [] = { 0.0f 1.5f 0.5f 1.0f };
GLfloat ambientLight [] = { 0.3f 0.3f 0.3f 1.0f };
GLfloat diffuseLight [] = { 0.7f 0.7f 0.7f 1.0f };
GLfloat specular [] = { 1.0f 1.0f 1.0f 1.0f };
GLfloat specref [] = { 1.0f 1.0f 1.0f 1.0f };
glClearColor(0.0f 0.0f 0.0f 1.0f );
glEnable( GL_DEPTH_TEST );

```

```

glEnable( GL_LIGHTING );
glLightfv( GL_LIGHT0 ,GL_AMBIENT ,ambientLight );
glLightfv( GL_LIGHT0 ,GL_DIFFUSE ,diffuseLight );
glLightfv( GL_LIGHT0 ,GL_SPECULAR ,specular );
glEnable( GL_LIGHT0 );

```

4.2 3 维空间坐标的获取

3 维场景的输出是利用透视投影转换成 2 维图像,即进行奇次坐标的坐标变换。相反,进行逆变换,就可以得到空间的世界坐标。获得空间的世界坐标后,可以计算出 3 维场景中各个管段之间的空间信息。

4.2.1 OpenGL 深度缓存技术和深度坐标的获取

OpenGL 深度缓存技术和深度坐标的获取在 OpenGL 消隐显示机制中,利用函数 `glDepthRange()` 可以将 Z 坐标的值通过缩放操作变换到期望的范围之内。与窗口坐标 x, y 不同的是,在 OpenGL 处理 Z 坐标时,认为其变化范围总是在 0.0 到 1.0 内。变换 Z 坐标的函数原型是:
`void glDepthRange(GLclampd near ,GLclampd far);` `near` 和 `far` 表示存储在深度缓存区内的 Z 坐标的最大值和最小值。

在 OpenGL 中使用深度缓存前,首先必须用 `glEnable(GL_DEPTH_TEST)` 激活它。在每画一次场景之前需要清空深度缓存 `glClearDepth(GLclampd depth)` 函数用来设置刷新深度缓存时所用的深度值。`glDepthFunc(GLenum func)` 是比较函数,每个像素的 z 位置与深度缓冲区的值进行对比,如果比较的结果为真,那么像素和它的深度一起被存储在颜色缓冲区里。

4.2.2 逆变换和空间坐标的获取

几何处理流水线擅长于使用视点矩阵和投影矩阵将顶点的世界坐标变换为屏幕坐标,然而,有时候需要执行相反的操作。当用户使用鼠标选取 3 维空间中一个位置的时候,鼠标只返回一个 2 维值即光标在屏幕中的位置,因此需要进行逆变换,来确定屏幕位置对应的 3 维空间中的位置。

在 OpenGL 实用库中,采用隐式矩阵的方法,给定变换后的顶点的 3 维窗口坐标和变换矩阵,用 `gluUnProject()` 和 `GluUnProject4()` 执行逆变换,返回顶点的世界坐标,其变换过程和透视成像过程相反。

```

int gluUnProject ( GLdouble winx ,GLdouble winy ,GLdouble winz ,

```

```

const GLdouble modelMatrix[3] ,const GLdouble projMatrix[3] ,

```

```

const GLint viewport[4] ,GLdouble * objx ,GLdouble * objy ,GLdouble * objz );

```

其中 `modelMatrix[3]` 为模型视点矩阵;

`projMatrix[3]` 为投影矩阵;

`viewport[4]` 为视口定义的变换;

`winx ,winy ,winz` 为指定的窗口坐标;

`* objx , * objy , * objz` 为返回的物体的世界坐标;

在深度缓存和帧缓存的相互作用下,屏幕的像素点的平面位置与深度缓存、帧缓存一一对应,通过提取深度

缓存中的值,可得到 `winz` 坐标的值即 Z - `buffer`。`modelMatrix[3]`、`projMatrix[3]`、`viewport[4]` 可通过 OpenGL 中实用库函数求解得到。投影矩阵堆栈是用于投影变换的矩阵,它定义了一个视景体,由于变换是以矩阵的形式进行存储的,对于重复进行记录、平移、撤销的操作,我们可以通过矩阵堆栈来控制某个矩阵位于栈顶。

4.3 断面分析

断面分析是道路与管线工程规划和管理的基礎,也是工程咨询的必要信息,对于各类新管线的设计、敷设具有重大的指导意义。在 OpenGL 场景中对管网数据进行 3 维显示后,进行管网数据挖掘,生成管网的横纵断面。横断面是指垂直于管线的一个截面,在截面中可以直观的了解各管线直径、空间分布及相邻管线的空间位置关系。管线横断面分析用于检查设计管线在任意截面位置上与其他管线在垂直方向的交叉情况,使设计管线与已建管线的地下部分实现空间可视化,也可以反映截面位置上的管线分布情况。如果在任意位置绘制断面图,需要确定管线在地下的空间位置,标出管线的断面尺寸、材料、高程、管线间的间距等属性,从而正确反映管线间的空间关系。纵断面是指沿着管线方向的一个截面,通常用来描述雨、污水的流向,明确地指明管、沟的坡度走向。

断面分析功能实现的基本思想是创建源目标及用于查找要素变量及变量的值,然后逐层查找与源目标相交的目标集合,并对目标集合中每一线段目标与源目标求交,得到所有与源目标相交处的目标管线的管径、高程以及切面直线段一 endpoint 至交点的距离。当在综合管线上获取横纵断面图时,应将不同管线类别(煤气、自来水、电力、工程等)的管线数据分别计算。根据工程对管线断面信息的需要和绘制管线纵横断面的需要,设计管线断面数据结构如下:

```

struct{
float x; //交点 x ,y ,z 坐标
float y;
float z;
float gj; //管径
float gtop; //管顶高
float gbottom; //管底高
} pipe;

```

由数据结构看出,断面分析的关键是获取与面相交的管线及交点的空间坐标,以及相关管线的属性信息。此外,可以管线上管线的颜色为依据来绘制管线图,这样可以更直观地反应断面信息。

5 结束语

管线是市政施工的重要设施之一,由于与其他建筑物不同,大多位于地下,利用 2 维管线图到实地勘查时,不能直观地看到地下管网的分布情况,而 3 维可视化技术在空间关系型数据库的支持下利用可视化技术不仅可以对

(下转第 144 页)

- 法[J]. 高校应用数学学报, 1998, 13(增刊): 1-8.
- [3] 张江印. 计算机绘制光滑曲线的设计方法[J]. 德州师专学报, 1994, 10(2): 25-28.
- [4] 朱建伟. 关于光滑曲线概念的深入探讨[J]. 长江大学学报, 2009, 12(4): 129-130.
- [5] 庄重, 肖铮. 基于 B 样条插值法的曲线光滑处理技术及应用[J]. 电脑知识与技术, 2009, 5(15): 4 000-4 001.
- [6] 李佐锋, 李瑞江, 尹家珍. 曲线拟合的目标规划方法[J]. 长春邮电学院学报, 1994, 12(2): 47-51.
- [7] 王琨琪, 李平. 一种光滑曲线的圆弧拟合新方法[J]. 西
- 安工业学院学报, 1994, 14(3): 243-247.
- [8] 李旺挥, 肖仲怀. 常用曲线的拟合[J]. 工业技术, 1995, 29(2): 8-10.
- [9] 许恺. 三种曲线拟合方法的精度分析[J]. 上海铁道大学学报, 1996, 17(3): 26-30.
- [10] 徐进军, 张洪波. 曲线拟合中的几个问题[J]. 四川测绘, 1997, 20(3): 117-118.
- [11] 王新葵. CAD 中线图的曲线拟合[J]. 机械设计, 1997, 12(2): 18-20.

[编辑:宋丽茹]

(上接第 134 页)

比起单基站 RTK 技术来说,更是克服了随着作业半径的增大,精度和可靠性降低的作业瓶颈,使得定位精度更高,数据的安全性和可靠性得到提高而且不存在误差的积累。同时也要注意以下问题:为保证 FJCORS 测量精度,尽可能地检测一定数量的测区内和相邻的控制点进行检核。

FJCORS 测量技术在海堤测量中的应用,对测量手段和作业方法产生了重大改变,在满足项目精度要求的同时极大地提高了效率,而且不仅在测绘界,同样在灾后重建、地震监测等都有着广阔的应用前景,为我国国民经济发展带来了可观的经济效益。

参考文献:

- [1] 刘经南, 刘晖. 连续运行卫星定位服务系统——城市空

间数据的基础设施[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(3): 259-264.

- [2] 祁芳, 刘晖. GPRS 技术在 CORS 系统中的应用[J]. 全球定位系统, 2003, 28(1): 37-40.
- [3] 张振军, 谢中华, 冯传勇. RTK 测量精度评定方法研究[J]. 测绘通报, 2007(1): 26-28.
- [4] 张帆. FJCORS 参考站的选址与试验数据分析[J]. 地理空间信息, 2009, 7(3): 74-76.
- [5] 孙涛. 连续运行参考站系统(CORS)实现方法[J]. 科技信息(学术研究), 2008(27): 206-208.
- [6] 刘承晖. CORS 技术在铁路勘测中的应用[J]. 铁道勘察, 2009(5): 54-17.

[编辑:胡雪]

(上接第 137 页)

DLG 数据重叠效果不理想。实际操作时,一般都选择 10 个以上控制点,这样纠出的调绘片可改变在扫描过程中产生的变形,并且可保证良好精度要求。

实践证明,利用精纠后的调绘片叠加到 DLG 数据中作为底图对地物进行数据编辑,精度要高于对照调绘片编辑的精度,同时图内独立地物的定位问题都得以解决,且不漏绘地物,生产进度较快,是一种值得推广的方法。

参考文献:

- [1] 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [2] 贾永红. 数字图像处理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [3] 党安荣, 王晓栋, 陈晓峰. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理的方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[编辑:胡雪]

(上接第 141 页)

空间对象进行全方位的交互,而且可以对其中的空间对象进行数据挖掘,探索其中隐含的逻辑规律,对未来状况进行预测,并制订出合理、可行的解决方案等。因此,对管线进行可视化在工程应用中起到越来越大的作用。并且 3 维管线图能正确的判断地下管线的布设情况,认知不同类型管线之间错综复杂的空间交错情况,有效地提高管线施工的效率,预防错挖引起的各种事故的发生。

参考文献:

- [1] 田应中, 张正禄. 地下管线网探测与信息管理[M]. 北京: 测绘出版社, 1997.

- [2] 廖朵朵, 张华军. OpenGL 三维图形程序设计[M]. 北京: 星球地图出版社, 1996.
- [3] 陈应松. OpenGL 在数字化货车超限监测模拟仿真中的应用研究[D]. 成都: 西南交通大学硕士学位论文, 2003.
- [4] 朱庆. GIS 中三维模型的设计[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(3): 283-287.

[编辑:宋丽茹]