

城市三维管网的可视化及其系统功能实现的关键技术

杜国明¹ 龚健雅¹ 熊汉江¹ 王鹏新¹

(1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 阐明了三维管网几何建模的原理, 介绍了基于该技术的城市三维管网的可视化过程及几种加快图形显示的方法和管网系统的功能。该三维管网建模关键技术对于解决复杂的城市三维管网可视化快速建模提供了一种新思路, 是建立三维管网系统的前提。

关键词: 三维管网; 几何建模; 系统功能

中图法分类号: P208

城市管网是由纵横交错的给水、排水、燃气、热力、电力、电信、工业管线组成的错综复杂的空间体系, 要想合理利用、规划城市地下管网就必须采用科学的方法和手段。计算机技术的应用为城市管网的科学管理提供了强有力的支持。但目前城市管网系统大多停留在二维的管理基础之上, 不能生动地表现具有三维特征的客观实体。由于三维直观性强, 可从不同方位再现物体, 具有较强的立体感、逼真感, 所以三维的研究越来越受到人们的重视, 并将成为今后发展的方向和重点。从二维到三维, 数据量大大增加, 各种数据类型和空间关系也发生变化, 需要更高的硬件配置及软件和理论支持, 实现起来相对困难, 所以建立行之有效的数据模型尤为必要。本文提出了一种新的三维管网的几何建模方法, 利用该方法生成的管网具有较好的逼真效果和较快的显示速度。

本文基于 GeoStar 的数据类型, 提取各点坐标、管径、埋深等信息, 计算其表面坐标, 通过规则网格(Grid)建模, 达到三维可视化。

1 三维管网几何建模原理

管线是弯曲的, 不能像简单圆柱体那样处理, 但对管线细化时, 每条管线可看成由直管及其连接直管的接口两部分组成。

已知管径 R 及空间任意两点 $P_1(x_1, y_1, z_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2, z_2)$, 为了形成以 P_1 、 P_2 为轴线的起止点, 以 R 为半径的圆柱, 可采用 Grid 建模, 即以 P_1 点所在断面圆弧的两点及对应 P_2 点所在断面圆弧的两点构成一个矩形, 在每个圆周围均匀取 n 个这样的点, 可得到 n 个这样的矩形, 这 n 个矩形构成棱柱表面。当 n 足够大时, 该棱柱可看作圆柱, n 越大近似效果越好, 但数据的运算量也随之增大, 因此, 在系统设计时, n 为变量, 随图形放大而增大, 随图形缩小而减小。

管线断面为圆(见图 1)。设坐标原点为视屏中心位置, x 轴水平向右, y 轴竖直向上, z 轴垂直 x 、 y 轴向外。将坐标原点平移到 P_1 点, 再把坐标轴旋转, 旋转后的 z 轴与矢量方向一致, x 轴与原 y 轴垂直并与原 x 轴夹角为锐角, 由右手螺旋定则可确定 y 轴, 这时的坐标变为: 以 x 轴为起点, 沿逆时针方向, 将圆分割成 n 等份, 每两边夹角为 $2\pi/n$ 。则截面圆上各点参数方程为:

$$\left. \begin{aligned} x &= R \cdot \cos \alpha \\ y &= R \cdot \sin \alpha \\ z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中, R 为圆的半径; α 为边与 x 轴的夹角。

每相邻 4 点构成一平面, 求出对应的法线, 这是实现三维立体真实感的前提。每个面对应的法线垂直于该平面向外, 具体为:

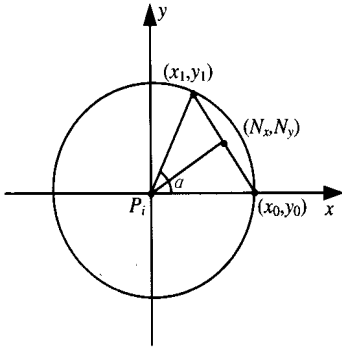


图 1 管线断面图

Fig. 1 Section of Pipeline

$$\left. \begin{aligned} N_x &= R \cdot \cos(\alpha/2) \\ N_y &= R \cdot \sin(\alpha/2) \\ N_z &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

各点坐标确定后再转换成原始坐标, 转换方程为:

当 $c_2 \neq \pm 1$ 时, 有

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_3/\sqrt{1-c_2^2} & -c_2/\sqrt{1-c_2^2} & c_1 \\ 0 & \sqrt{1-c_2^2} & c_2 \\ -c_1/\sqrt{1-c_2^2} & -c_2c_3/\sqrt{1-c_2^2} & c_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad (3)$$

当 $c_2 = \pm 1$ 时, 有:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c \\ 0 & -c & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中, 当 $c_2 = 1$ 时, $c = 1$; 当 $c_2 = -1$ 时, $c = -1$; c_1, c_2, c_3 分别为 P_1, P_2 两点确定的直线与 X, Y, Z 坐标轴夹角的余弦; 偏移量大小为:

$$\Delta x = x_1 - (x_1 - x_0) \cdot R \cdot \tan(\theta/2)$$

$$\Delta y = y_1 - (y_1 - y_0) \cdot R \cdot \tan(\theta/2)$$

$$\Delta z = z_1 - (z_1 - z_0) \cdot R \cdot \tan(\theta/2)$$

对于两条管线间的连接, 线性内插方法简单, 实现方便, 但接口处不够圆滑、逼真, 当数据量大时, 可采用此方法。

当要求图形仿真效果时, 采用圆滑处理, 内插公式为(见图 2):

$$\left. \begin{aligned} x &= 2R \cdot \cos^2 \omega \cdot \cos \phi \\ y &= 2R \cdot \cos \omega \cdot \sin \phi \\ z &= R \cdot \sin(2\omega) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

式中, $0 \leq \omega < 2\pi$, $\omega = \pi/n$; $0 \leq \phi \leq \pi - \theta$ (其中 θ 为相邻两管线间的夹角)。

法线计算公式为(见图 3):

$$\left. \begin{aligned} N_x &= N'_x / \sqrt{N'^2_x + N'^2_y + N'^2_z} \\ N_y &= N'_y / \sqrt{N'^2_x + N'^2_y + N'^2_z} \\ N_z &= N'_z / \sqrt{N'^2_x + N'^2_y + N'^2_z} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中,

$$N'_x = (y_2 - y_0) \cdot (z_1 - z_0) - (y_1 - y_0) \cdot (z_2 - z_1)$$

$$N'_y = (x_2 - x_0) \cdot (z_2 - z_0) - (x_2 - x_0) \cdot (z_1 - z_0)$$

$$N'_z = (y_1 - y_0) \cdot (x_2 - x_0) - (x_1 - x_0) \cdot (y_2 - y_0)$$

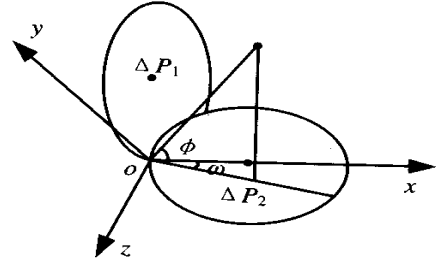


图 2 接口坐标计算图

Fig. 2 Figure of Calculating Interface's Coordinates

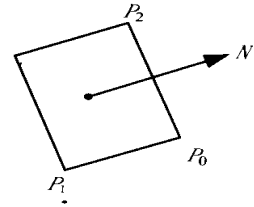


图 3 法线坐标计算图

Fig. 3 Figure of Calculating Normal's Coordinates

对于图形的输出, 可调用函数 Draw Pipe3D (CDC * pDC, Point3D * Coord3D, int Pn, float R, int n)。其中, Coord3D 是点结构指针, 用它可表示一组三维坐标, 控制管线的位置及走向; Pn 表示共有多少对坐标; R 表示管径; n 表示细化数目, 可控制圆滑程度。从 GeoStar 中读取的数据可直接调用该函数生成三维管线, 无需再进行坐标平移、旋转等操作。许多图形函数如 OpenGL 提供用户绘制圆柱的功能, 但它们并没有直接提供接口绘制及圆滑等处理。本文提供的方法可以直接调用管线绘制函数完成管线及其接口等操作。

2 三维管网的可视化实现

2.1 实现步骤

本文提供的三维管网可视化建模方法是在 OpenGL 下运行的, 此外, 也可在 DirectX 等环境下运行, 过程如下。

1) 构建模型。计算管线表面坐标及各网格

相对应的法向量坐标。

2) 创建显示列表。显示列表是由一组预先存储起来的留待以后调用的 OpenGL 函数组成的,是为优化性能而设计的。

3) 初始化。包括清空缓存、设置双缓冲等。清空缓存包括颜色缓存、累积缓存、深度缓存等,以使用当前设置的背景颜色清除颜色缓存以及进行深度测试和消除隐藏面。

4) 显示效果处理。①光照及纹理处理。OpenGL 提供了一系列建立光照模型的库函数,用户可在三维场景中建立所需的光照模型,通过调节环境光、漫射光、镜面反射光的组成成分以及设置光线衰减因子来模拟真实的光源效果。三维图形的显示是通过物体特性和光照共同作用的结果。其次定义好管网的材质,包括在光照模型中环境、漫射、镜面反射组成成分以及镜面高光指数、辐射成分等。通过对三维实体材质的定义可大大提高应用程序所绘制的三维场景的逼真程度。此外还可以给管线贴加纹理,使之更加逼真。

②反走样处理。为了避免在直线的绘制过程中出现很明显的锯齿状,采用反走样技术,使之具有更强的真实感(可利用 glHint()函数)。

5) 图形显示。调用显示列表显示图形。

2.2 加快三维显示速度的方法

1) 创建显示列表。显示列表不同于子函数,它是高速缓存中的命令而不是动态数据库,采用显示列表方式绘图一般要比立即方式快,可大大优化系统性能。

2) 特定文件,专用于图形显示读取数据,该文件包含标识码 oid、线数、点数、半径、三维坐标。

避免从原属性、图形数据库中分别读取数据。此工作在数据导入时完成,虽延长了数据导入时间,但可节省后续工作量。

3) 当数据量较小时,一次性读入内存。

4) 当物体距离视点较远时,用轴线代替直管,接头可不显示。

5) 设圆弧细分次数 n 为变量,随图形放大, n 增大;随图形减小, n 减小,直至以轴线代替直管。这既可满足仿真效果,又可提高显示速度。

3 三维管网信息系统的功能

建立三维管网系统可从底层重新开发,也可利用现有二维 GIS 系统开发。这里介绍基于 GeoStar 软件下开发的三维管网系统,过程如下。

1) 三维数据的输入

可以从现有的二维管网信息系统中提取数据并转化成三维数据,也可直接输入三维数据。本系统主要采用前种方法。

①从 GeoStar 读入原始数据,包括每条线的标识码、各点坐标及其数目、管径、埋深等,其中点坐标采用二维坐标,在三维建模时用标高表示 z 坐标值。

②检查各点坐标,排除某些特殊点,如三点共线时,为了减少冗余和运算量,建模时,可以舍弃中间点。由于在 GeoStar 中坐标与半径、标高分别存储于图形及属性数据库,为提高读取效率,可按一定数据结构转成一特定文件,以文本格式存储,便于数据添加、修改、检查。数据结构如表 1 所示。

表 1 管线数据结构
Tab. 1 Pipe Data Structure

标识	fn	Feature	ln	oid	R	P_n	Point3D
说明	地物类数	地物类	管线数	标识码	半径	坐标点个数	三维坐标

③合并相同属性的管段成一条管线,减少中间点。

2) 查询

包括图查属性、属性查图。从 GeoStar 读出的数据可根据内部标识码(oid)从数据库中得到相应的属性信息。当选定图形中某一条或若干条管线或附属设备时,弹出相应的属性信息;同样,按某一条件输入某一信息,可显示符合该查询条件的管线或附属设备。属性显示结果如图 4。

3) 图形操作

①拉窗放大、中心放大、缩小、浏览功能通常采用坐标转换和视口变换。本文采用后视口变换方法。用 glTranslate 来改变物体到视点间的距离或方位来达到缩放或平移的目的。这样可减少大量坐标的编程换算,易于理解,便于程序设计。

②旋转。可由鼠标操作实现三维模型的旋转。通过旋转可从不同角度观察管线。一是给定一个绝对的旋转角度,旋转是针对原始位置的;二是从当前的位置开始,绕某个轴作连续旋转,产生动画效果。

③三维漫游。绕某点或沿某条管线实现飞行漫游,为更好地观察、分析管网提供方便。选择观察点,设置浏览路径,该路径一般由若干关键控制点构成,飞行漫游时,如乘坐在一架直升飞机中沿着设计好的路线行驶,周围的景物历历在目。

4)分析。包括爆管分析、塞管分析、断面分析、用水量预测等。

5)图形输出。主要方式是屏幕显示或打印输出。图4是放大后的部分管线图。

4 结 语

管网建模是建成城市管网系统的前提和基础,算法的优劣直接关系到系统运行速度的快慢,仿真效果的好坏,资源的分配利用以及能否满足用户的要求。三维缩放、平移、空间分析是衡量系统性能好坏的重要标准。建立城市三维管网系统,有利于全面反映地下管网的分布状况,便于管网的维护、检测,实现管网信息从无序到有序化管理。将管网信息与城市基础地理信息融合在一起,可实现信息共享,为城市的施工建设提供准确、现势的资料,为科学管理提供辅助决策的依据。

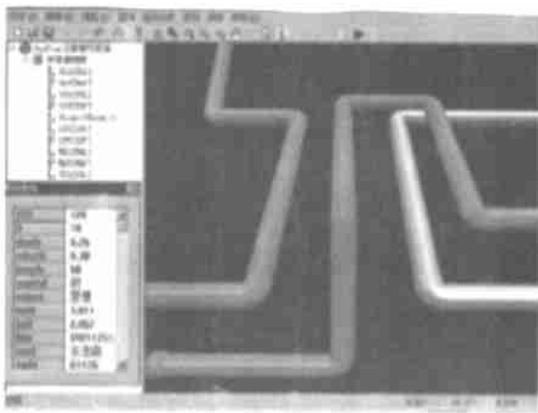


图4 三维管网显示与查询图

Fig.4 Display and Query of 3D Pipe Network

参 考 文 献

- 1 崔冠之,唐宗李.空间解析几何.北京:中央民族出版社,1989
- 2 乔林,费广正.Open GL程序设计.北京:清华大学出版社,2000
- 3 田应中,张正禄,杨旭.地下管线网探测与信息管
理.北京:测绘出版社,1997

作者简介:杜国明,博士生。现主要从事三维GIS等技术研究。
E-mail: gmdu@sina.com

Key Technique about Visualization of Urban 3D Pipe Network and Implementation of System Functions

DU Guoming¹ GONG Jianya¹ XIONG Hanjiang¹ WANG Pengxin¹

(1 National Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract: This paper introduces a new technique about visualization of urban 3D pipe network and implementation of system functions. First the theory of modeling of 3D pipe network is discussed in detail in part one of the paper. Then the procedures of implementing pipe network visualization are presented. In addition, several efficient methods of speeding up display of graphics are introduced. Lastly, functions of 3D pipe network information system are introduced.

The geometric modeling approach provides a new way to solve the 3D visualization of the complex urban pipe network. It is prerequisite to establish the 3D pipe network information system.

Key words: 3D pipe network; geometric modeling; system functions