

基于企业网的地下供水管网三维显示系统

Intranet – Based Three Dimensional Display System for Underground Water – Supplying Network

陈韶斌 周成平 丁明跃 肖翔 赵树理 衣龙帅
(华中科技大学 图像识别与人工智能研究所 湖北 武汉 430074)

摘要: 本文介绍了基于企业网的大型城市地下供水管网三维显示系统的总体设计与具体实现。通过采用适当的体系架构、合理的数据处理和有效的网络传输技术,利用开源软件平台 VTK(Visualization Toolkit, 可视化工具箱)的三维可视化功能,在企业网内实现了对重要区域的地下供水管网的三维显示功能。运行结果表明,该系统稳定、快速、实用。

关键词: 地下供水管网 三维显示 可视化工具箱 企业网

1 引言

随着城市建设的发展,地下供水管网的扩建、改造和维修变得日益频繁和重要。几年前,某大城市水务集团建设了基于 SiCAD/Open 平台的地理信息管理系统,实现了对地下供水管网的信息化监控和管理。该系统可以显示供水管网的二维平面图形,但不能显示其三维的立体图形。由于缺乏直观指导,复杂地段的管线改造和维修遇到了较大的困难,影响了施工效率。

为此,我们在该集团原有的具有二维管网图形显示功能的 GIS 系统(以下简称“二维 GIS 系统”)基础上,利用在三维建模和三维显示领域广泛使用的开源平台 VTK(Visualization Toolkit)开发出了具有立体显示功能的管网三维显示系统。该系统可以在企业网内被多个用户同时使用,能帮助每个用户直观地观察指定区域的管线和设备的走向、方位,从而为该集团的日常维护、施工提供有效的指导。本文将就此系统的设计和实现进行说明。

2 总体架构设计

2.1 平台软件简介

首先简要介绍本系统涉及到的两个平台软件,即原有二维 GIS 系统的开发平台 SiCAD/Open 和三维显示系统开发平台 VTK。

SiCAD/Open 是德国西门子公司开发的地理信息

系统开发平台。SiCAD/Open 系统内部建立了一个相对独立的数据库,管理该系统的地理数据和属性数据。为了数据的保密和安全,数据库结构不对外公开。

VTK 是一个开放源码、免费发放的软件系统。它用来进行三维计算机图形显示、图像处理、可视化等。它封装了三维函数库 OpenGL 的 API,是在 OpenGL 的基础上采用面向对象的设计方法发展而成,但比 OpenGL 更易于使用,功能更强大。

2.2 主要技术关键及解决方案

本系统在设计时需要考虑到三个主要的技术关键。

首先,三维显示系统不能对原有的二维 GIS 系统的正常使用产生不利影响。这就要求三维显示系统有自己独立的操作界面,而且三维显示系统的数据既要来源于二维 GIS 系统又要相对独立于二维 GIS 系统。

其次,三维显示系统要有较高的响应速度和较好的显示效果。这就要求设计合理的架构,快速处理数据,充分利用 VTK 的优秀图形显示性能。

第三,三维显示系统必须支持多个用户通过企业网同时使用。这就要求采取高效稳定的网络传输机制以及合理运用多线程技术。

对应以上技术关键,我们采用了以下解决方案:

首先,如前所述,二维 GIS 系统的数据库是 SiCAD/Open 平台的私有数据库,其数据库结构不对外公开,

因而难以直接从 SiCAD/Open 数据库中获取三维显示所需的图形数据和属性数据。但是, SiCAD/Open 系统与其它 GIS 系统进行数据交换所用的交换文件(以 SQD 为后缀名,以下简称为“SQD 文件”)中包含有重要的图形数据和属性数据。因此,对 SQD 文件进行解析,可以获取三维显示所必需的数据。

为了安全起见,我们在原有的二维 GIS 系统数据库以外建立独立的三维显示系统数据库(以下简称“三维数据库”),在库中存放了从 SQD 文件解析得到的图形数据和属性数据,这样,三维数据库的数据变更不影响原有的二维 GIS 系统数据库,保证了原有系统的安全运行。

其次,作为一个大型城市的地下供水管网,整个系统拥有庞大的图形数据和属性数据。因此,如果要实现三维显示的管网范围过大,其计算量和所需的时间是难以接受的。为此,需要对三维显示的管网范围进行限定。本系统将一次三维显示的管网范围限制在 1km × 1km 范围之内,能够满足用户的实际需求(即对重要的复杂地区管网进行三维显示)。

要提高整个系统的响应速度,还需要采用适当的系统架构。SQD 文件的解析需要较长的时间,因而不宜在三维显示时解析 SQD 文件,否则整个三维显示所需时间过长。为此,我们把三维显示任务分成两个阶段——预处理阶段和实时显示阶段。在预处理阶段,我们完成重点区域的 SQD 文件的解析,把 SQD 文件中包含的图形数据和属性数据入库;在实时显示阶段,从数据库中读取数据,完成三维显示工作。

第三,为了支持多个用户通过企业网同时使用三维显示功能,我们系统采取数据库/服务器/客户端三层结构,每个用户在一个客户端进行操作,所有用户共用同一个服务器,客户端通过服务器到三维数据库中读取数据,在客户端完成建模和三维显示的功能。

服务器与客户端之间主要采取 Socket 技术进行网络传输通讯。在服务器端采取多线程技术对各个用户进行相应服务,三维显示的工作在客户端利用 VTK 的三维显示功能完成。这样,可以有效地实现多个用户同时进行三维显示操作而不互相影响。

2.3 系统总体架构

根据解决方案所述,本系统分为两个子系统,即:预处理子系统和实时显示子系统。其中每个子系统都

是数据库/服务器/客户端三层结构,预处理子系统的构成为:三维显示系统数据库/预处理服务器/客户端,实时显示子系统的构成为:三维显示系统数据库/应用服务器/客户端。

预处理子系统完成 SQD 文件解析和数据入库的任务。其主要处理流程为:1、客户端向预处理服务器上传某一区域的 SQD 文件;2、预处理服务器对此 SQD 文件进行解析;3、将解析得到的图形数据和属性数据导入到三维显示系统数据库中。

实时显示子系统完成实时建模和三维显示的任务。其主要处理流程为:1、客户端向应用服务器发出请求,请求显示某一区域管网的三维图形;2、应用服务器接收到请求后,从三维显示系统数据库中取出指定区域的数据,传送到客户端;3、在客户端调用 VTK 的功能,为用户显示该区域的管网三维图形。

整个三维显示系统由一个三维显示数据库、一个应用服务器、一个预处理服务器和多个客户端组成,可以支持多达 30 个客户端同时进行三维显示操作。系统体系架构如图 1 所示。

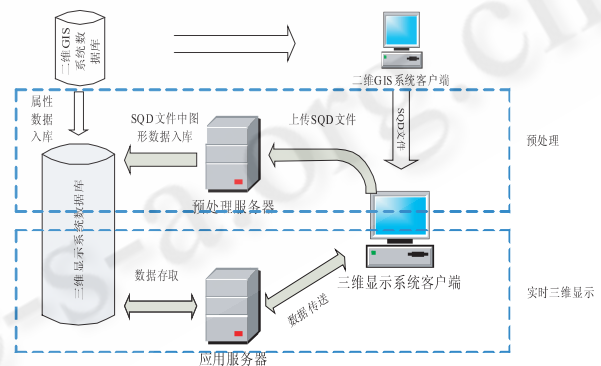


图 1 系统体系架构

3 系统主要组成部分及具体实现

按照系统的总体架构,从功能上本系统可以划分为以下 8 个模块:数据库模块、数据存取模块、SQD 文件解析模块、网络通讯与数据传输模块、数据封装模块、服务器多线程数据处理模块、管网拓扑结构生成模块、基于 VTK 的三维显示模块。各个模块分别独立开发,封装良好,具有较好的通用性和可复用性。

下面我们简要介绍本系统的 8 个组成模块。

3.1 数据库模块

数据库模块完成三维显示数据库的建立、管理、维

护的功能。在数据库中存放有各重要区域的管网的图形数据和属性数据,它们是三维显示系统的数据来源。

3.2 数据存取模块

本模块利用 ADO 2.0 数据库存取模型,完成对三维数据库的连接以及对数据库存取数据的功能。本模块的核心代码是 CDBAccess 类,该类的功能函数包括:连接数据库、查询记录、添加记录、删除记录、更改记录、执行 SQL 语句等。通过使用该类,可以集中处理对数据库中数据的存取。

3.3 SQD 文件解析模块

本模块对 SiCAD/Open 系统的文本格式的交换文件——SQD 文件进行分析解析,获得重要区域的图形数据。对照 SiCAD/Open 用户手册,可以获取 SQD 文件中各种类型图形元素的图形参数值。将此图形元素值输入数据库即可获得某区域的所有管网设备和管段的图形数据和重要属性数据。

3.4 网络通讯和数据传输模块

网络通讯和数据传输模块完成在预处理服务器和客户端之间、应用服务器和客户端之间传送数据的功能。

本模块利用 FTP 协议将 SQD 文件从客户端传送到预处理服务器。为此,首先在预处理服务器端安装一个 FTP 上传服务器,然后调用 MFC 中的 FTP 类完成文件上传功能。

本模块利用 Socket(套接字)技术在应用服务器和客户端之间传输三维显示所需的数据。Socket 是对 TCP/IP 协议的封装和抽象。Winsock 控件是微软公司开发的 ActiveX 控件,其内部封装了 Socket 的功能,性能稳定,便于开发使用。本模块采用 Winsock 控件来完成应用服务器和多个客户端之间传输数据的功能。Winsock 控件在客户端和应用服务器之间建立高效稳定的数据传输通道。具体实现如下所述。

在每一个客户端包含 1 个 Winsock 控件,用来连接应用服务器。在应用服务器端包含 $1 + n(0 \leq n < 30)$ 个 Winsock 控件,其中有 1 个固定的 Winsock 控件用来监听客户端 Winsock 控件的连接请求,当有一个客户端的 Winsock 控件发出连接请求时,服务器将动态地创建一个 Winsock 控件用来与该客户端建立 Socket 连接,然后通过建立的 Socket 连接进行数据传输。

动态创建的 Winsock 控件存放在服务器端的一个

动态数组中。当某一个 Winsock 控件 5 分钟内未从客户端接收数据时,将此 Winsock 控件关闭、销毁,回收系统资源,然后压缩动态数组。处理流程如图 2。

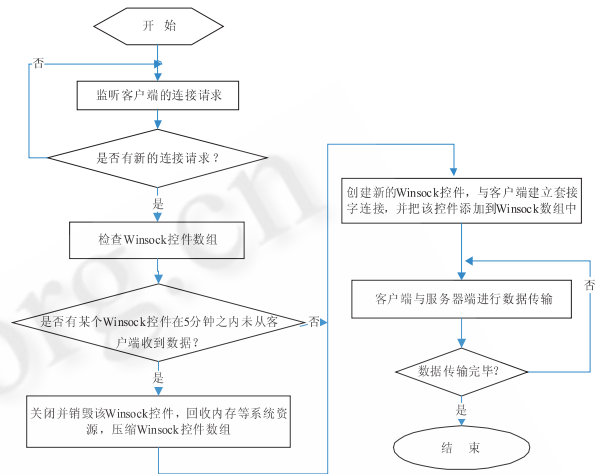


图 2 应用服务器端基于 Winsock 控件的网络通讯流程

3.5 数据封装模块

在应用服务器与客户端之间传输的数据采用符合 XML 规范的格式封装,可以实现数据格式的通用性,便于发送方封装信息以及接收方解析信息。本模块的功能就是运用 XML 规范来封装在应用服务器和客户端之间传送的数据。

XML 数据包被分成三种类型:请求包、响应包和反馈包。请求包用来向应用服务器发送请求,要求应用服务器对数据库进行数据存取。响应包是在服务器端收到请求包后,对数据库进行读取或入库的操作,并将结果用 XML 格式返回给客户端。当响应的数据量太大时,将采用多个响应包的形式返回给客户端,此时必须用到反馈包。反馈包是客户端发送给服务器端的 XML 数据包,它用于通知服务器端某个编号的响应包已被客户端收到,可以继续向客户端发送下一个编号的响应包。通过请求包、响应包和反馈包,客户端和服务器之间可以规范有序地传输数据。

3.6 服务器多线程数据处理模块

为了实现企业网内多个客户端同时访问服务器,服务器端必须采取多线程技术进行处理,以满足客户端的响应速度要求和并发访问要求。

每个客户端在应用服务器端有一个对应的响应队列,用来存放要发送往该客户端的响应包。当应用服

务器接收到一个客户端发送来的数据包时,立刻启动一个新的线程对此数据进行处理。如果是请求包,则访问数据库,将获得的响应数据封装为响应包,放到该客户端对应的发送队列中,并向主线程发送一个自定义消息 WM_SEND_DATA,通知主线程将发送队列的第一个数据包发送到客户端;如果是反馈包,则直接向主线程发送消息 WM_SEND_DATA,通知主线程将发送队列的下一个响应包发送到客户端。处理完毕后,该线程正常退出。

服务器多线程数据处理的流程图如图 3 所示。

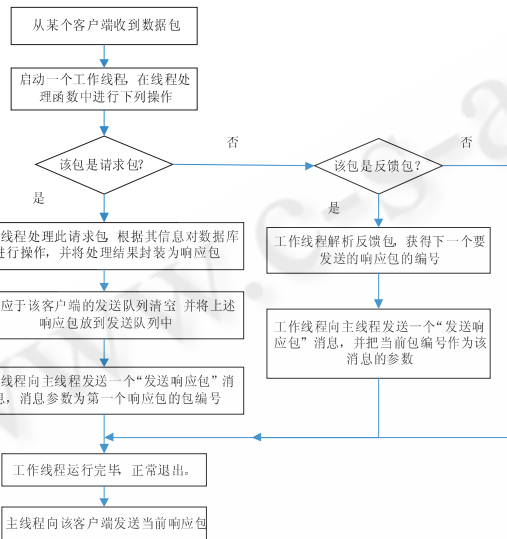


图 3 服务器多线程数据处理流程图

3.7 管网拓扑结构生成模块

从数据库中获取的管网数据是以数据集的形式传递到客户端的,为了在客户端利用这些数据进行三维显示,必须把这些数据转换成有一定空间关系和拓扑结构的数据体。显然,管网的拓扑结构是一个图结构(Graph),其中,各管段就是图结构的边,各设备就是图结构的顶点。

本模块的功能就是利用从三维数据库中读取的管线、设备数据,生成图(graph)这一拓扑结构。管网图形的三维显示就是建立在这一拓扑结构基础上。C++ BOOST 库是在 C++ 标准库(STL)的基础上开发的开源 C++ 模板库,其中有内置的对图(graph)结构的支持。本模块就是利用 BOOST 库生成图(graph)拓扑结构,以供三维显示模块使用。详细流程如图 4 所示。

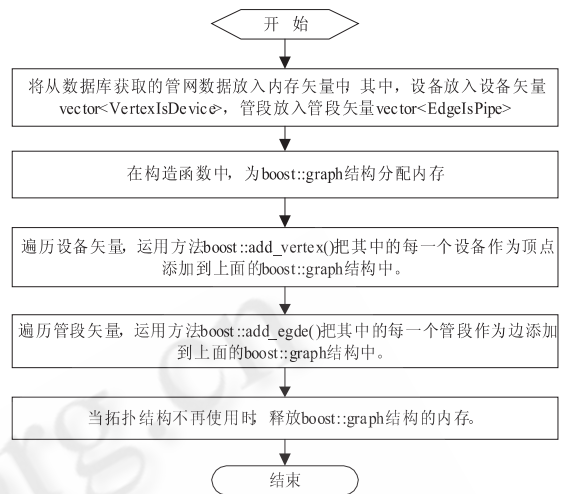


图 4 管网拓扑结构生成流程图

3.8 基于 VTK 的三维显示模块

VTK 是适用于图形三维显示的可视化工具,其内部有多种类可以对数据进行三维重建等可视化处理。本模块利用 VTK 提供的功能类,完成在客户端对地下供水管网进行三维显示的功能。

地下供水管网的组成元件可以分成两种类型:供水管段和供水设备。供水管段可以统一用圆柱形来建模,而供水设备有多种类型,形状也各异,为此,采用专门的 CAD 建模软件预先做好各个设备的三维模型,供 VTK 调用。

在三维管网的拓扑结构(即图结构)生成后,本模块将输入的图结构转换为 VTK 内部支持的 polydata 类的对象,对于拓扑结构中的管段,使用 vtkTubeFilter 对数据进行建模和三维可视化,对于拓扑结构中的设备,使用 Glyph(浮雕)技术,将其镶嵌在管段上,从而实现整个管网的三维显示。详细结构图如图 5 所示。

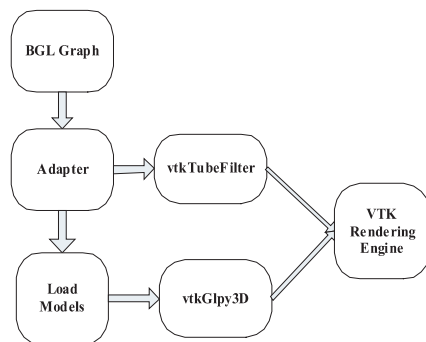


图 5 基于 VTK 的三维显示原理结构图

(下转第 101 页)

(上接第 76 页)

图 6 显示了利用 VTK 对某个 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 的重要区域的三维显示效果。如果显示区域的范围缩小,则三维效果更加明显。

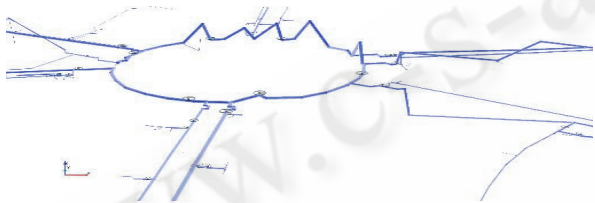


图 6 某重要区域的地下管网的三维显示图

4 结束语

本系统在相对独立的三维数据库的基础上,采用结构化的数据格式,运用高效稳定的网络传输技术和多线程处理技术,利用开源软件 VTK,实现了多个用户

在企业网内同时对重要地段的管网进行三维显示。本系统采用 Visual C++ 6.0 开发,在 30 个用户同时操作的情况下,本系统可以在 15 秒内完成一个 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 范围的重要区域的管网的三维显示。实际运行结果表明,本系统稳定快速,三维显示效果逼真,能较好地满足用户的实际需求。

参考文献

- 1 邱文心,俞良协,涂立俊. 供水管网 GIS 应用软件的合理选择. 给水排水 2005 (10) 93 - 96.
- 2 艾自兴,龙毅. 计算机地图制图武汉大学出版社, 2005 年.
- 3 Lisa S. Avila The VTK User's Guide. Kitware Inc. 2004.
- 4 W. Richard Stevens TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols. Addison Wesley Inc. 1994.