

基于虚拟现实的城市供水管网仿真系统*

常魁¹ 高金良¹ 袁一星¹ 吴文燕²

(1 哈尔滨工业大学 市政环境工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;
2 斯坦福大学 计算机工程与技术系, 斯坦福郡 ST18 0DF)

摘 要: 为建立虚拟城市供水管网运行仿真系统,在三维场景中模拟城市供水管网运行工况. 首先建立供水管网工程数据库,以保证仿真模型具有较高的精度;进而利用 Multi-Gen Creator 构建供水管网阀门、管段等部件的三维模型,从而建立城市供水管网三维模型;最后采用 Vega 驱动三维模型,通过 VC++ MFC 程序设计及 EPANET 工具箱实现运行工况的视景仿真. 基于虚拟现实的城市供水管网仿真系统可直观显示城市供水管网信息,实现对供水管网拓扑结构及各种运行工况的仿真. 该系统克服了传统地理信息系统的局限性,具有较高的准确性和可靠性.
关键词: 城市供水系统;供水管网;视景仿真;虚拟现实
中图分类号: TU 991 **文献标识码:** A

城市供水管网埋藏于地下,拓扑结构复杂,乏可视性. 传统地理信息系统采用平面图加剖面图的方法表示城市供水管网拓扑结构,结果抽象,难以理解. 为能够直观生动地了解供水管网信息,研究人员对供水管网三维可视化进行研究. 信昆仑等^[1]对城市供水管网三维等压面绘制进行了研究;杜国明等^[2]对供水管网三维可视化关键技术进行了研究. 随着计算机技术的发展,虚拟现实技术得到广泛应用^[3-6]. 本文利用虚拟现实技术进行城市供水管网沉浸式交互控制研究. 基于虚拟现实的城市供水管网仿真系统充分发挥了虚拟现实(VR)的想象性、沉浸性、交互性三大特点,将庞大、复杂的供水管网数字信息变为直观的、以图形图像形式表示的、随时间和空间变化的仿真过程. 使用者可以直接获得供水管网静态和动态特性信息,不再是一个被动观察者,而是构成系统的重要组成部分;可以交互修改有关参量并及时观察到结果,从而对自然和人工过程有更加形象、生动的理解.

1 视景仿真系统简介

仿真是一种基于模型的活动^[7],通过对模型进行试验进而研究系统. 视景仿真是虚拟现实技术最

重要的表现形式,它是使用户产生身临其境感觉的交互式仿真环境,可实现用户与该环境直接进行的自然交互^[8]. 它分为仿真环境制作和仿真驱动. 仿真环境制作主要包括:模型设计、场景构造、纹理设计制作、特效设计等,它要求构造出逼真三维模型和制作逼真纹理和特效. 仿真驱动主要包括:场景驱动、模型调入处理、分布交互、大地形处理等,它要求高速逼真再现仿真环境,实时响应操作等. 三维场景仿真系统创建过程见图 1.

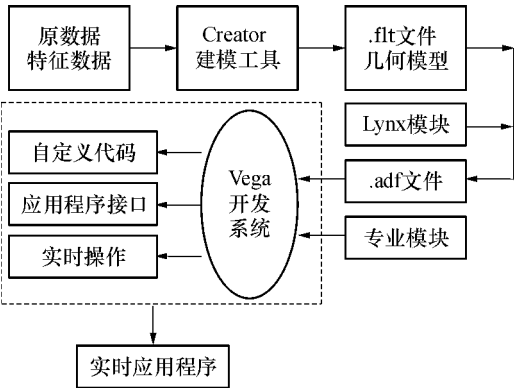


图 1 三维实时视景仿真程序建立过程
Fig 1 Process for building the 3D real time scene simulation program

收稿日期: 2008-03-13

* 基金项目: 英国皇家交流基金项目 (Royal Society-Joint Project); 哈尔滨工业大学科研创新基金项目 (HIT NSR IF 2008 68)
作者简介: 常魁 (1981-),男,博士生,主要从事给水管网建模及其最优化研究. E-mail: 19401010@163.com

2 构建城市供水管网仿真系统的工具选择

视景仿真系统首先通过建模工具将现实空间转换成各种计算机模型数据,再通过三维引擎对模型实时渲染;同时,三维引擎也接收各种操作信息以改变模型状态.虚拟现实常用的工具有 VRML、OPENGLS、OpenInventor、WTK 等,这些软件功能强大,但开发编程工作量大.本研究选用虚拟建模软件 MultiGen Creator 和实时视景驱动软件 Vega

2.1 Creator 软件与 Vega 软件介绍

MultiGen Creator 是目前唯一将多边形建模和纹理贴图、矢量编辑和建模、地貌地形生成集成在一起的 3D 建模工具,其对 3D 场景的描述几乎成为视景仿真领域的工业标准^[9]. MultiGen Creator 与计算机辅助设计 (CAD) 等其它建模软件不同,它主要考虑如何生成逼真的大面积地形、地貌等地理环境模型,以及如何提高模型的实时性.

Vega 是一套完整的用于开发交互式、可视化仿真应用的软件平台和工具集,它最基本的功能是驱动、控制、管理虚拟场景并能够方便地实现大量特殊视觉和声音效果.

2.2 Vega 仿真应用程序基本框架

典型 Vega 应用程序一般都遵循如图 2 所示的基本框架.静态描述主要是进行必要配置以确保 Vega 系统正常运行,包括内存分配、参数设置、Vega 类定义等. Vega 仿真应用过程都是在动态循环中实现的.

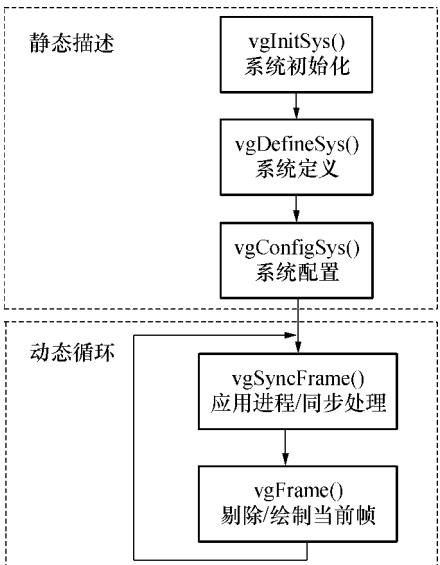


图 2 Vega 程序基本框架

Fig 2 Basic frame for the Vega program

3 城市供水管网仿真系统的实现

3.1 供水管网工程数据库的建立

供水管网工程数据库包括管网属性数据库、地理信息数据库、供水管网动态数据库.管网属性数据库由管段、节点、水泵、清水池、阀门、消火栓、水泵曲线、大用户、管道阻力系数和用水量变化曲线等子数据库组成;地理信息数据库包括街道、建筑物、铁路、河流、地面标高点、文字标注等项,这些信息是供水管网的参照系统,需要由地理信息系统 (GIS) 提供;供水管网动态数据库包括管网总供水量、阀门开启度、压力监测点和流量监测点的信息、用户用水量以及水源运行调度信息.

供水管网工程数据库是建立城市供水仿真系统的基础,翔实、准确的数据信息对提高模型精度具有重要意义.

3.2 城市供水管网三维模型的构建

利用 MultiGen Creator 建立城市供水管网几何模型,通过 Texture Editor 模块将 .jpg 格式管道图片转换成 2ⁿ 的 RGBA 格式纹理图片,并把这些纹理图片贴到已建几何模型之上,以达到逼真效果.模型完成后,可利用 Creator 简化工具进行优化,在保证效果的前提下,提高渲染速度.同时为阀门绑定自由度句柄,以便在程序中控制阀门开启度.

建模过程中采用实例化技术,分别建立典型管段、典型附件几何模型,然后在供水管网模型中分别引用各附件、管段模型.实例化技术可有效减小模型文件的大小,而且能大大节省建模时间.

建模过程中,通过 Creator 层次结构视图表达城市供水管网拓扑结构和节点信息.

3.3 城市供水管网仿真系统工况模拟

通过 Lynx 图形用户界面设定和预览 Vega 应用程序.首先进行初始设置,导入城市供水管网几何模型,将新建对象全部加入场景中,进行环境效果渲染等.然后对供水管网中各部件对象进行 Isectors 属性设定,以便在交互控制中对这些部件对象进行拾取.通过 Lynx 图形用户界面形成如图 3 所示的城市配水管网拓扑结构.

在 VC++6.0 环境下编程,实现对虚拟城市供水管网的实时交互控制.应用 Visual C++ MFC 来调用 Vega 函数启动 Vega 线程,通过 Vega API 接口在 VC 中调用函数^[10],并利用城市供水管网的水力模型^[11]及 EPANET 水力计算工具箱进行程序设计,实现供水管网平差结果延时模拟、实时交互仿真.

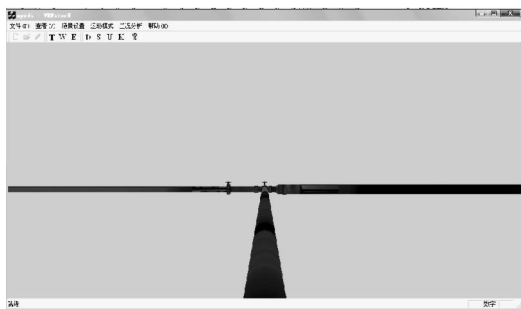


图 3 城市供水管网拓扑结构仿真

Fig 3 Simulation of urban water supply network topology structure

城市供水管网仿真系统对于供水管网信息化建设具有重要作用,并且在供水管网领域有着重要的应用,具体如下:

(1)掌握和分析管网运行工况.通常管理人员只能通过监测数据了解管网的个别特征参数,如水源的供水压力、供水量、监测点的压力等.而城市供水管网仿真系统不仅可以求出每个节点压力、每条管段的流量、流速、水头损失等,还可以将这些参数可视化表示.该平台包含一整套显示、查询、分析模块,可以清楚、形象、准确、逼真地显示计算结果,包括以彩色图、等值线图、粒子系统等方式显示管网整体或其各部分的节点水压、管段流量的分布情况;查询每个节点的压力,每条管段的流量、流速、水头损失的准确数值;还可以分析管网各部分的负荷情况、各水源的供水区域、各节点的供水主路线、各管段的水流方向等.

(2)供水管网系统优化运行调度.通过该平台不仅可以确定水泵开泵方案和变速泵的运行转速,还可以制定蓄水池管理策略,实现削峰填谷,以保证供水要求并最大限度地节省电费.利用该平台还可以对调度人员进行培训,提高其科学管理与优化调度的能力.

(3)供水管网优化改扩建.通过该平台可以规划设计新水源、新输水干线;评估供水管网系统供水能力;确定新建管网管径、投资及其效益.由此寻求最优改扩建方案以达到最好的社会效益和经济效益.

(4)供水管网紧急事故处理.当供水管网发生爆管事故时,该系统不仅可以生动逼真地再现供水管网爆管全过程,而且可以自动给出最优阀门关闭方案,将事故点隔离,停止漏水,以便抢修;迅速绘制出事故地点的管网图以及须关闭的阀门位置图;立即给出应停水的管段和用户清单;在部分管段停水的条件下进行管网工况模拟仿真计算,评估系统的

供水能力.

(5)供水管网系统水质分析与控制.通过供水管网仿真系统,在供水管网工况模拟仿真计算的基础上,可以进一步计算水在管网中的停留时间,进行化学药品浓度扩散分析、余氯衰减系数分析、余氯分布分析、各水源最优加氯分析等.

由美国环境保护总署开发的水力计算和水质分析软件 EPANET 2.0 是目前公认的供水管网水力计算和水质计算的行业标准.目前很多供水管网信息管理系统都以 EPANET 2.0 为核心进行供水管网水力计算与水质分析.本系统采用 EPANET 2.0 进行供水管网水力、水质计算,这为基于虚拟现实的城市供水管网仿真系统的可靠性提供了有力保障.

3.4 虚拟城市供水管网运行仿真系统的应用效果

基于虚拟现实理论建立城市供水管网视景仿真系统,初步实现城市供水管网漫游仿真、利用相交测试 (PUMP) 的方法进行碰撞检测以及通过检测结果实现对阀门开启度的交互控制等实时仿真处理.通过虚拟城市供水管网仿真系统,用户能方便地与各应用对象进行交互,能直观地查询、观测各对象的实时和历史数据,如图 4 所示.

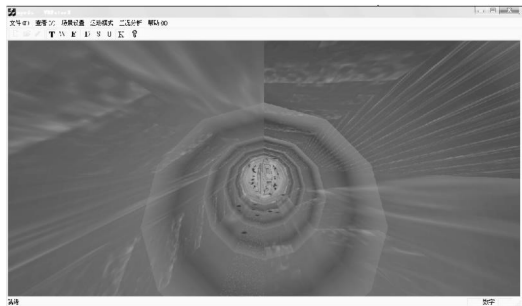


图 4 城市供水管网水流仿真

Fig 4 Simulation of the flow for urban water supply network

基于虚拟现实的城市供水管网仿真系统使得供水管网系统复杂数据信息实现数据可视化,可充分发挥使用者的生理感知作用,深入分析城市供水管网信息空间的各种信息,将使城市供水管网的管理水平达到更高的层次.

4 结语

基于虚拟现实的城市供水管网仿真系统对城市供水管网数字化管理以及数字城市建设将具有重要意义.该系统使供水管网中的海量信息实现可视化,可进行虚拟调度培训,实现供水管网虚拟设计,为城市供水管网安全调控提供平台.该平台对城市供水新老水源切换及实现长距离输水过程动态仿真具有

指导作用.

参考文献:

- [1] 信昆仑,刘遂庆,耿为民.城市给水管网三维水压面的绘制[J].给水排水,2002,28(6):83-87.
Xin Kun-lun, Liu Sui-qing, Geng Weimin 3D contour plane of water pressure for urban water distribution network [J]. Water and Wastewater Engineering, 2002, 28 (6): 83-87.
- [2] 杜国明,龚健雅,熊汉江,等.城市三维管网的可视化及其系统功能实现的关键技术[J].武汉大学学报:信息科学版,2002,27(5):534-537.
Du Guo-ming, Gong Jian-ya, Xiong Han-jiang, et al Key technique about visualization of urban 3D pipe network and implementation of system functions [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2002, 27 (5): 534-537.
- [3] 房保国,张大发,林亚军.基于Vega的阀门虚拟仿真技术研究[J].计算机仿真,2005,22(10):212-214.
Fang Bao-guo, Zhang Da-fa, Lin Ya-jun Study on virtual simulation technology of valves based on Vega [J]. Computer Simulation, 2005, 22 (10): 212-214.
- [4] 孙季丰,聂卫国,苏泽坚.基于虚拟现实的船舶操纵训练系统[J].华南理工大学学报:自然科学版,2004,32(2):67-71.
Sun Ji-feng, Nie Wei-guo, Su Ze-jian Correlative techniques of the training system for ship handling based on virtual reality [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2004, 32 (2): 67-71.
- [5] 黄炎生,郑华彬,蔡健.三维场景体系在建筑结构上的应用[J].华南理工大学学报:自然科学版,2004,32(2):54-57.
Huang Yan-sheng, Zheng Hua-bin, Cai Jian Application of three-dimension scene system in building structures [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2004, 32 (2): 54-57.
- [6] 刘勇平,邱东涛.CNC铣床操作培训的人机工效分析[J].华南理工大学学报:自然科学版,2002,30(9):71-77.
Liu Yong-ping, Qiu Dong-tao CNC milling machine operations training ergonomics evaluation in virtual reality environment [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2002, 30 (9): 71-77.
- [7] 刘勇平,丘东涛.虚拟现实数控铣床操作培训的人机工效分析[J].华南理工大学学报:自然科学版,2002,30(9):71-77.
- [8] 贾连兴.视景仿真技术与软件[M].北京:国防工业出版社,2006:24-26.
- [9] 吴家铸,党岗,刘华峰,等.视景仿真技术及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2001:25-28.
- [10] 王延红,杨平利,仇小鹏,等.仿真建模软件Creator的应用技术[J].计算机仿真,2005,22(7):179-181.
Wang Yan-hong, Yang Ping-li, Qiu Xiao-peng, et al Application of the simulation modeling software package-Creator [J]. Computer Simulation, 2005, 22 (7): 179-181.
- [11] 王乘,李利军,周均清,等.Vega实时三维实景仿真技术[M].武汉:华中科技大学出版社,2005:124-129.
- [12] 赵洪宾.给水管网系统理论与分析[M].北京:中国筑工业出版社,2003:200-205.

Simulation System of Urban Water Supply Network Based on Virtual Reality

Chang Ku¹ Gao Jin-liang¹ Yuan Yi-xing¹ Wu Wen-yan²

(1. School of Municipal and Environment Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, Heilongjiang, China;

2. Faculty of Computing, Engineering and Technology, Staffordshire University, Staffordshire ST18 0DF, UK)

Abstract: In order to establish a simulation system of the urban water supply network based on virtual reality, the running conditions of the network are simulated in a 3D scene. In the simulation, first, an engineering database of the water supply network is built to ensure the accuracy of the 3D simulation model. Next, a 3D model of the urban water supply network is established based on the 3D models of the valves and pipes constructed via MultiGen Creator, and is then driven by Vega to implement the scene simulation of the running conditions using VC++ MFC and EPANET software package. The results indicate that the established simulation system based on the virtual reality directly displays the information of the urban water supply system, and that it well simulates the topology linkage as well as the running conditions, overcomes the limitation of the traditional geographic information system and is of higher precision and greater reliability.

Key words: urban water supply system; water supply network; scene simulation; virtual reality