

海底隧道三维仿真监控系统的研究与实现

边少君, 陈戈, 刘寿生, 马纯永, 王华江

(中国海洋大学 信息学院, 山东 青岛 266100)

摘要: 为了直观、实时地监控海底隧道交通状况、设备运行状态, 及时发现并排除异常情况, 将虚拟现实技术应用到海底隧道监控领域, 建立了海底隧道三维仿真监控系统。该系统重点研究了ICE中间件技术, 并将其应用到异构三维仿真系统进行数据通信; 功能上, 实现了在三维海底隧道场景中, 设备状态的实时更新以及交通、火灾应急预案的详尽展示。相较于二维监控系统, 更生动、灵活的呈现隧道内部及周边环境, 为胶州湾海底隧道的稳定、安全通行提供技术支持。

关键词: 互联网通信引擎; 海底隧道; 三维仿真监控; 应急预案; 统一计算设备架构

中图分类号: TP391.9 **文献标识号:** A **文章编号:** 1000-7024 (2012) 12-4667-05

Research and implementation of 3D simulated monitor system of undersea tunnel

BIAN Shao-jun, CHEN Ge, LIU Shou-sheng, MA Chun-yong, WANG Hua-jiang

(College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The aim of establishing the 3D simulated monitor system of undersea tunnel is to supervise the running condition of traffic and devices (traffic lights, ventilation installation, lighting equipment, message issuing devices, etc.), as well as solving the exceptions and errors. Technically, the communication method of different structural systems, by using ICE middleware, is emphasized. Functionally, the undersea tunnel system can update the simulated objects' state as soon as the real ones change; meantime, it also can exhibit the whole process of addressing emergencies. Compared with 2D system, it can vividly and flexibly present the surrounding scenery and the diverse devices, and provide a reliable approach to ensure the normal stable operation of the tunnel.

Key words: ICE (internet communications engine); undersea tunnel; 3D simulated monitor; emergency plan; CUDA

0 引言

仿真监控是指将虚拟现实技术 (virtual reality, VR) 应用到现场信息监控领域。作为自动控制方向的研究热点, 其目的是通过提供高度友好的人机交互方式, 实时的三维空间表现能力^[1], 使工作人员在监控中心的操作能够近似于在现场进行监测处理。

当前的海底隧道监控系统大都采用二维系统, 无法直观的体现垂直方向的信息, 交互性以及表现力均欠佳, 系统使用不灵活, 对操作人员要求较高。

我们应用虚拟现实技术的友好人机交互界面^[2], 构建海底隧道三维虚拟环境, 并与实时监测数据连接, 对隧道

交通状况、设备运行情况进行监控; 对隧道事故提供可视化应急预案, 相较于二维监控系统, 为海底隧道的稳定、安全通行提供更高效的技术支持。

1 海底隧道仿真监控系统概述

海底隧道仿真监控系统的设计目标为构建一个三维的实时更新测点数据的仿真监控系统: 能够漫游、显示 3D 隧道场景; 各类设备信息的动态显示; 设备快速查询与定位; 模拟驾驶与巡航; 紧急事故的救援预案模拟。为海底隧道的高效、稳定运行提供技术支持, 为突发事件的迅捷、正确决策提供可视化工具^[3]。

收稿日期: 2011-12-30; 修订日期: 2012-03-10

基金项目: 2009 年度科技部科技型中小企业技术创新基金项目 (10C26213712060)

作者简介: 边少君 (1988-), 女, 河北张家口人, 硕士研究生, 研究方向为虚拟现实、地图学与地理信息系统; 陈戈 (1965-), 男, 浙江宁波人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为海洋遥感、海洋地理信息系统、虚拟现实等; 刘寿生 (1985-), 男, 江西宁都人, 博士研究生, 研究方向为虚拟现实; 马纯永 (1984-), 男, 山东潍坊人, 博士, 研究方向为虚拟现实; 王华江 (1986-), 男, 山东聊城人, 硕士研究生, 研究方向为地图学与地理信息系统。E-mail: abbyhappy1988@163.com

1.1 系统架构

在系统架构设计上, 三维仿真监控系统按照分层原则来实现所涵盖的所有对象模块:

(1) 系统 UI 层: 具有友好的用户界面和便捷的交互手段。

(2) ICE 数据库通讯层: 采用 ICE 分布式网络中间件平台, 从数据库中读取真实设备的状态, 并在三维监控系统中, 以三维模型的状态及纹理进行描述。

(3) 设备管理层: 实现交通控制设备、照明设备、通风设备、信息发布设备、紧急电话与广播设备、监控摄像设备、环境检测设备等的三维体现。

(4) 预案仿真层: 在海底隧道及周边环境构成的实景地理环境中以特效和骨骼动画等 3D 方式演示火警、交通事故等突发事件的应急预案。

海底隧道三维仿真监控系统的各层级之间通过接口函数实现通信与调用, 提高了模块的封装性以及系统的安全性。各层级模块之间的调用关系如图 1 所示。

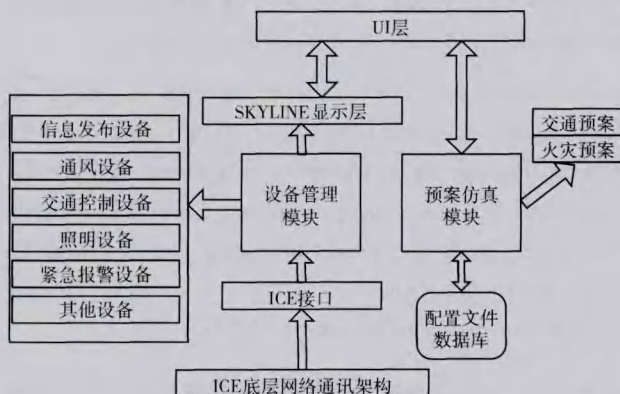


图 1 系统架构

1.2 系统数据流程

系统基于 ICE (internet communications engine) 中间件, 将 RTDB (实时数据库) 与三维仿真监控系统客户端以及 DAQ (数据采集控制端) 相连接, 实现数据的通信以及交互。

一旦隧道内部的交通状况或是各设备的属性、运行情况发生变化, DAQ 端所获取的信息便可以通过 ICE 接口, 在 RTDB (实时数据库) 中得到更新; 在 RTDB 中得到更新数据, 可同步的被三维仿真监控系统获取, 进而在系统场景中以实时、动态的方式呈现出来。因此, 系统间的数据通信如图 2 所示。

2 系统关键技术实现

2.1 基于 ICE 中间件的异构系统

由 ZeroC, Inc 开发的一种能够适用于异构环境的开放源码的面向对象通信中间件, ICE (internet communications engine), 为构建面向对象的客户-服务器应用提供了

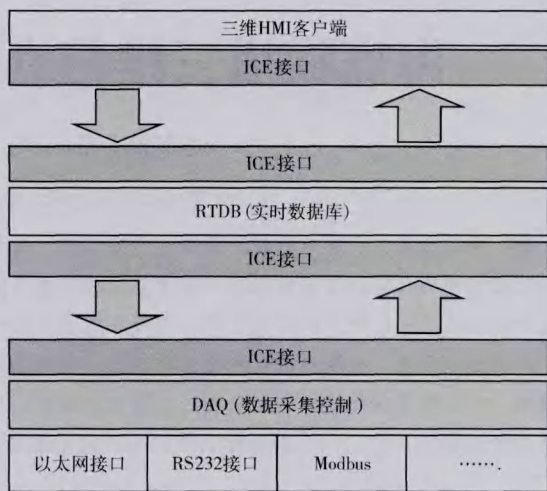


图 2 基于 ICE 的系统数据流

工具、API 和库支持。通过 SSL 强加密, 可以使客户和服务器安全地进行通信^[4]。Ice C++ 映射以及 STL 整洁的集成, 相较于 CORBA 的对象模型更简洁、高效。可以用 ICE 完成 CORBA 完成的每一件事情, 但工作量更小, 代码更少, 复杂性也更小^[5]。

因此, 我们使用 ICE 作为中间件, 在数据采集控制端的 RTDB 以及三维仿真监控系统客户端这两个异构的系统之间进行通信, 在很大程度上提高了开发效率, 节约了开发成本, 保证了传输安全。

我们使用 ICE 通信时, 第一步是系统的定义通信接口。将通信的发起端设定为客户端, 在服务器端也就是通信接收端, 定义接口代码, 在进行服务时只需调用相应的接口函数就可以了。

整个隧道监控系统在服务器端, 建立一个通信器, 然后在通信器的基础上完成适配器的建立。这样, 一个接口对象就可以实例化完成, 加进通信适配器中, 然后激活适配器, 如此, 服务器就在设置的端口建立起来针对客户端的侦听服务。

这样, 我们采用 ICE 接口与隧道实时监测数据库进行数据传输, 实现了 RTDB 实时库服务器与仿真监控系统客户端间的异构平台通信。服务器端通过设备采集器从现场采集设备状态信息, 并将信息同步录入数据库中, 海底隧道三维监控系统通过 ICE 实现与服务器端的实时数据库挂接, 遍历存储在数据库中的设备 ID, 通过回调函数检索出状态发生变化的设备 ID, 进而调用状态类函数, 在三维场景中通过模型以及纹理的替换、调整, 实时更新设备状态。

2.2 CUDA 并行架构的加速引擎

CUDA (compute unified device architecture), 一种新的硬件和软件架构以管理 GPU 计算, 它将 GPU 视作一个无需把计算映射到图形 API 的并行计算设备。CUDA 是以

C语言为基础, 并进行了相应扩展^[6]。

三维仿真监控系统利用 CUDA 并行计算架构, 解决数据并行计算、高运算密度的问题。在海底隧道的三维场景渲染中, 采用数据并行处理算法将大型像素和顶点集合映射到并行线程, 因此, 提高了虚拟场景的渲染效率, 同时, 系统采用高效的光线追踪、流体模拟技术, 以增加三维场景的逼真度。

在系统的应急预案模块中, 需要模拟人员逃生、车辆疏散、车辆救援、医生急救等多种现场效果, 上述动作均需要利用骨骼动画来实现。在骨骼动画中, 各个动画节点位置都需要实时计算, 所以无法采用显示列表、VBO 等渲染加速技术。所以, 我们利用 CUDA 加速技术, 将骨骼动画的节点计算放在显卡中进行, 经过 CUDA 的计算最终在 VBO 中渲染, 实现了骨骼动画的高效渲染, 使得海底隧道应急预案的展示模块能够流畅使用。

2.3 粒子系统进行火灾高逼真度仿真

传统的粒子系统主要是将大量的有序或无序的粒子单元集合在一起, 试图通过其属性的变化来表现现象物理特性的模拟方法^[7]。

粒子系统的图形生成算法可以通过粒子所受力计算出粒子运动时的速度和位置, 很好地模拟出物体的运动和形变, 与其它三维建模方法相比, 它对于动态可形变物体具有更强的表达能力^[8]。

在海底隧道三维仿真监控系统的应急预案展示模块, 发生火灾时, 需要对火焰进行高逼真度仿真。我们以视频序列为基础, 构造出一组纹理, 用于产生动态且变化的火焰粒子。

然后, 我们适当考虑相应物理参数, 设定了火焰粒子的模型以及运动轨迹, 此处的物理参数主要有重力、风速等。这样, 将改进的粒子模型与动态纹理技术相结合就可以高效的模拟火焰效果。数据结构如下:

```
Struce Particle
{
    Vector3 Position; //粒子的位置
    Vector3 velocity; //粒子的初始速度
    float life;      //生命周期
    float size;      //粒子大小
    char * textures; //纹理序列
}
```

经试验, 我们将动态纹理与粒子系统相结合, 很大程度上减少了粒子的数量需求, 因此, 大大提高了火灾、烟雾现象的渲染效率。海底隧道仿真监控系统对火灾的渲染效果如图 3 所示。

3 主要功能模块

3.1 实时数据库的链接

本部分功能的重点是在实时、快速地把三维场景中的

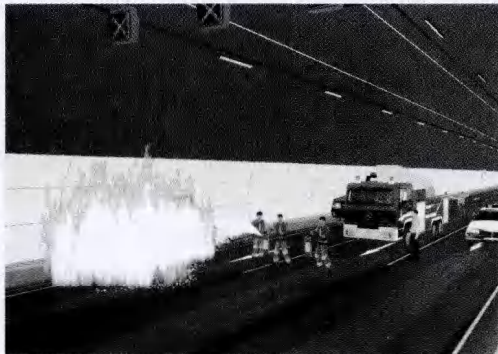


图3 火焰模拟

虚拟设备与实时数据库联动, 建立三维场景中虚拟设备与现场的真实设备的对应关系, 通过浏览三维场景, 用户可以使用计算机来观察并了解隧道现场的实际状况, 是胶州湾海底隧道三维仿真监控系统的特色功能之一。

通过 ICE 中间件使三维场景能够连接到实时数据库, 用户可以第一时间获取隧道现场的情况, 观察并了解当前各个设备运行的状态。查看所有设备是否正常运行并及时的处理故障、排除异常。

需要动态显示信息的设备包括: 信号灯、情报板、风机、交通灯、照明、栏杆机, 卷闸门、CO/VI 仪器, 报警设备等。等安装在隧道内的设备共计 24 种, 45 类可数状态, 设备全部显示的状态下需要 3D 场景中加载 1356 个设备状态。

如某车道指示器的显示状态是禁止还是直行, 某个隧道口的信号灯是红灯还是绿灯等, 如图 4 所示。

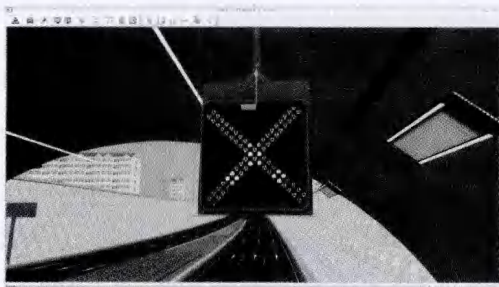


图4 海底隧道设备状态

3.2 应急预案模块

应急预案模块包括隧道内的火灾预案以及交通事故预案两类。主要是为监控中心合理的调度各职能部门有效地处理事故, 以及作为常规性培训演练的指导工具。

火灾预案是模拟当隧道内发生火灾时的处置过程, 以 3D 的形式呈现。系统模拟人员逃生、车辆疏散路线、消防车进入路线、救援车辆行进路线、灭火过程演示等分步骤进行相关演练。火灾预案需要在三维场景打开之后再行演示。整个预案分为 8 个步骤包括: 发现异常、救援请求、车辆疏散、人员疏散、火势控制、消防灭火、现场处理和

信息终报。每个步骤用户都可以通过 Flash 对话框了解当前步骤的具体行为及进行现场查看。

交通预案是模拟当隧道内发生交通事故的处置过程,以 3D 的形式呈现。采用类似作战地图方式演示,系统模拟设备控制、救援车营救、伤员救治、事故现场处理等相关演练。交通预案同样需要在三维场景打开之后再行演示。整个预案分为 7 个步骤包括:发现异常、查看确认、情况汇报、设备调整、安全疏导、现场处理和信息终报。每个步骤用户同样可以通过 Flash 对话框了解当前步骤的具体行为及进行现场查看。

我们主要采用骨骼动画与鹰眼图相结合的方式演示当这两类应急事件发生时的处置过程。采用骨骼动画模拟出逃生人员、警车与警察、救护车与医护人员、消防车与消防员、拖车以及海底隧道监控中心的救护、监管人员等。根据预案脚本,这些角色会紧凑并且连贯的进行动作,以展示救援路线、步骤,以及在事故现场,各职能部门如何分工协作。

采用鹰眼图以二维图像的形式,对全局 3D 场景的一种概略表达,它具有与全局地图相同的空间参考和空间范围^[9]。在紧急预案模块,我们采用鹰眼图(右屏)来配合三维场景(左屏)的展示。鹰眼图采用类似作战地图方式,以俯视方式演示如何救援和逃生。用不同颜色的箭头表示上游车辆疏散、下游车辆疏散、人员逃生路线、救援车辆路线。同时,用各职能部门头像(包括警察、医护人员、消防员)在鹰眼图中的移动,表示在灾害处理过程中,各角色当时所行进到的位置。

另外,当选择一种救援路线或逃生路线后,可切入具体场景查看预案发生时设备预置的状态,为事故处理方案的制定提供参考,如图 5、图 6 所示。

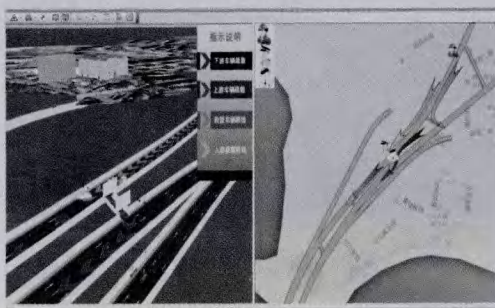


图 5 作战图方式显示救援、疏散路线

我们将应急预案演练脚本进行过程化,采用 Flash 对话框的方式,以“下一步”按钮不可点击的方式,控制预案进度,如图 7 所示。

3.3 设备查找功能

海底隧道三维仿真监控系统建立的主要目的之一,就是要对交通控制设备、照明设备、通风设备、信息发布设备、监控摄像设备的运行状态进行实时的查看与检测。因此,设备查找功能必须可以由设备的列表定位到场景设备

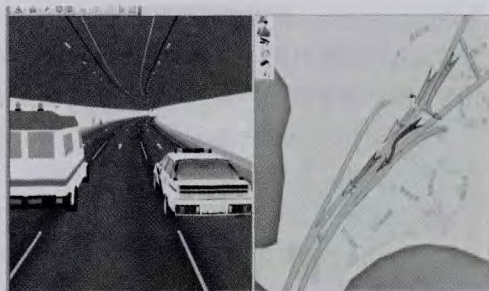


图 6 救援场景



图 7 Flash 对话框显示预案脚本

模型,同时,也可以由场景设备模型显示状态属性。

我们以树状图的形式组织表现场景内所有的设备^[10];通过设备查找功能可以对场景内的设备进行快速查询;转到模型功能,可以将树状图选中的节点设备模型设置为选中状态,同时将当前视点转到选中的设备,以近距离观察设备。

为了对模型进行多角度的查看,我们设定了“反面查看”的菜单栏按钮,为有针对性的监控设备状态提供了一种便捷的方式,如图 8 所示。

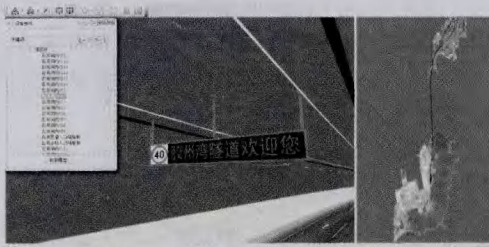


图 8 设备查找定位

4 海底隧道仿真监控系统的实现

本文的硬件实验环境为 CPU 为 Intel Core i5 2300 2.80GHz;内存为 4.0G;显卡为 NVIDIA GeForce GTS 450;显存为 1G。

在该实验平台上,采用 VS2010 (C++) 和 OpenGL 开发完成了海底隧道三维仿真监控系统。在技术上,尝试采用 ICE 中间件技术,完成隧道实时监测数据库服务器与仿真监控软件异构系统间的数据通信;使用 CUDA 并行架构,在紧急预案展示模块,有效加速骨骼动画的渲染。在功能上,将虚拟现实技术应用到自动监控领域。从海底隧道通行开始,

迄今为止, 三维仿真监控系统运行健康、稳定, 为海底隧道的高效、安全通行提供有力的技术保证。由系统运行状态表明, 实验达到了预期效果, 系统界面如图9所示。

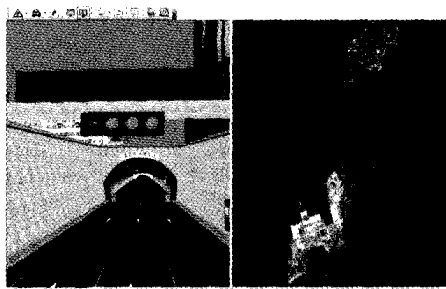


图9 系统开启界面

5 结束语

将虚拟现实技术应用到海底隧道自动监控领域, 具有一定的应用创新性。通过海底隧道项目的验证, 进一步体现了这一结合点在功能以及性能方面的优势。

由于系统的应用还处于维护期, 需要不断积累用户使用体验, 在以下方面力求改进: 不断完善功能模块, 优化数据分析、呈现方式, 深入挖掘虚拟现实技术的优势价值; 适当调整界面布局、操作流程、设置快捷键, 改进软件的用户友好型。拓展虚拟现实技术在自动监控领域的应用广度及深度, 不断优化关键技术, 提升性能优势。

参考文献:

- [1] CHEN Ge, QI Yongyang, CHEN Yong, et al. Design and implementation of urban simulation oriented VRGIS [J]. Journal of System Simulation, 2009, 21 (2): 457-460 (in Chinese). [陈戈, 齐永阳, 陈勇, 等. 面向城市仿真的VRGIS平台设计与实现 [J]. 系统仿真学报, 2009, 21 (2): 457-460.]
- [2] Ma Chunyong, Qi Yongyang, Chen Yong, et al. VR-GIS: An integrated platform of VR navigation and GIS analysis for city/region simulation [R]. Singapore: Association for Computing Machinery, Inc, 2008.
- [3] ZHENG Liping, LI Guangyao, SHA Jing. Survey of urban simulation technology [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19 (12): 2860-2863 (in Chinese). [郑丽萍, 李光耀, 沙静. 城市仿真技术概述 [J]. 系统仿真学报, 2007, 19 (12): 2860-2863.]
- [4] LI Ruiyu, LIU Xiaojie, LI Tao, et al. A database's disaster recovery system based on ICE communication [J]. China Information Security, 2007, 29 (3): 121-123 (in Chinese). [李瑞浴, 刘晓洁, 李涛, 等. 一种基于ICE通信的数据库容灾系统 [J]. 信息安全与通信保密, 2007, 29 (3): 121-123.]
- [5] Michi Henning, Mark Spruiell. ICE distributed program design [EB]. <http://www.zeroc.com>, 2011 (in Chinese). [Michi Henning, Mark Spruiell. ICE分布式程序设计 (ICE中文参考手册-1.3.0) [EB]. <http://www.zeroc.com>, 2011.]
- [6] DONG Luo, GE Wancheng, CHEN Kangli. Study on application of parallel computation on CUDA [J]. Information Technology, 2010, 11 (5): 11-15 (in Chinese). [董萃, 葛万成, 陈康力. CUDA并行计算的应用研究 [J]. 信息技术, 2010, 11 (5): 11-15.]
- [7] Zhao Ye, Han Yiping, Fan Zhe, et al. Visual simulation of heat shimmering and mirage [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2007, 13 (1): 179-189.
- [8] YU Xin, HAN Yong, CHEN Ge. Fire simulation of realistic flame based on dynamic texture and particle system [J]. Information and Computer, 2009 (11): 54-55 (in Chinese). [于鑫, 韩勇, 陈戈. 基于动态纹理和粒子系统的火焰效果模拟 [J]. 信息与电脑, 2009 (11): 54-55.]
- [9] OGC. OpenGIS simple features specification 06-103r3 candidate implementation specification for geographic information-simple feature access-Part 1 common architecture v1.2.0 [S].
- [10] Nobuyuki Bannai, Robert B Fisher, Alexander Agathos. Multiple color texture map fusion for 3D models [J]. Pattern Recognition Letters (S0167-8655), 2007, 28 (6): 748-758.