

文章编号:1671-8879(2007)01-0067-05

# 人-车-路互动模式虚拟仿真系统

陈 涛, 魏 朗

(长安大学 交通部人-车-环境系统安全重点实验室, 陕西 西安 710064)

**摘 要:**基于互动模式仿真,提出并开发了面向交通安全问题研究的、基于 VR 技术的人-车-路互动模式虚拟仿真系统,并阐述了系统的结构、软硬件组成和工作原理,讨论了系统实现中的若干关键技术,包括驾驶人交互操作信号数据采集技术、车辆动力学网络解算技术、基于 Creator 的虚拟场景建模技术、基于 Vega 的视景驱动技术、碰撞检测技术、三通道同步视景显示技术、基于 Multi-Agent 的车辆行为建模技术、仿真状态信息的动态显示技术等。实际的应用结果表明,该系统可以在道路设计阶段对设计方案进行量化的运营效果模拟和安全评价,从而达到优化设计方案、提高道路运营安全性的目的。

**关键词:**交通工程;人-车-路系统;互动模式;虚拟现实;仿真

**中图分类号:**U491.2 **文献标志码:**A

## Driver-vehicle-road virtual simulation with interaction mode

CHEN Tao, WEI Lang

(Key Laboratory for Driver-Vehicle-Environionment System Safety of Ministry of Communications,  
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** Based on features of interaction mode simulation, this paper analyzes the structure, software and hardware and the operation principle of VR-based driver-vehicle-road virtual simulation for traffic safety research, and discusses some key technologies for its implementation, including data collection of handling signal, network solution for vehicle dynamics, Creator-based virtual scene modeling, Vega-based vision rendering, collision detection, three-channel synchronous vision display, vehicle behavior modeling on the basis of Multi-Agent theory and dynamic display of the simulation information. Applications show that the operation simulation and safety evaluation will be carried out in design phase with the aid of the virtual simulation system, then the optimum design can be founded and road safety can be improved. 8 figs, 12 refs.

**Key words:** traffic engineering; driver-vehicle-road system; interaction mode; virtual reality; simulation

## 0 引 言

大多数道路交通事故是由于驾驶人、车辆、道路和环境等在内的综合系统的协调性失衡造成的。交

通事故的形成原因,目前较普遍的看法是:事故的主要原因是人为的,且主要是驾驶人的失误与错误操作造成的。例如 2003 年,中国由于驾驶人原因造成的交通事故次数占总数的 86.32%<sup>[1]</sup>。然而,由于驾驶

人原因造成的交通事故中,有相当一部分交通事故的深层次原因属于不良的道路和环境因素,许多交通事故都与道路(环境)条件有直接或间接的关系<sup>[2]</sup>。对人-车-路系统进行研究适合采用理论分析+仿真实验的模式。目前,人-车-路(环境)系统仿真的研究主要集中在汽车驾驶模拟器方面,其侧重点在“车”,主要用于对汽车性能方面做出评价<sup>[3-4]</sup>;在面向道路的人-车-路(环境)仿真系统研究方面,主要集中在公路视景仿真建模、道路的景观评价、基于计算机仿真的道路安全评价方法等<sup>[5-9]</sup>。仿真系统一般不具有临场感的虚拟环境,缺少车辆动力学实时解算模型,且大多不能进行实时的交互操作,因此难以在人-车-路(环境)联合运行条件下进行虚拟仿真试验和安全研

究。本文通过建立具有高度临场感的人-车-路虚拟仿真系统,可以获得车辆在虚拟公路上的运营情况,得到各种定量指标,对公路使用效果进行科学评价,为设计提供科学依据。

### 1 互动模式虚拟仿真

人-车-路(环境)互动模式虚拟仿真是建立在驾驶人实时交互操作输入基础上的仿真过程,驾驶人利用半实物模型(模拟驾驶操作台)结合显示系统在虚拟场景中进行仿真试验,研究人员根据仿真过程获得的试验数据进行相应的研究和评价。人-车-路(环境)系统的互动模式仿真过程为闭环的螺旋式结构<sup>[10]</sup>,主要包括以下两个闭环<sup>[11]</sup>,如图 1 所示。

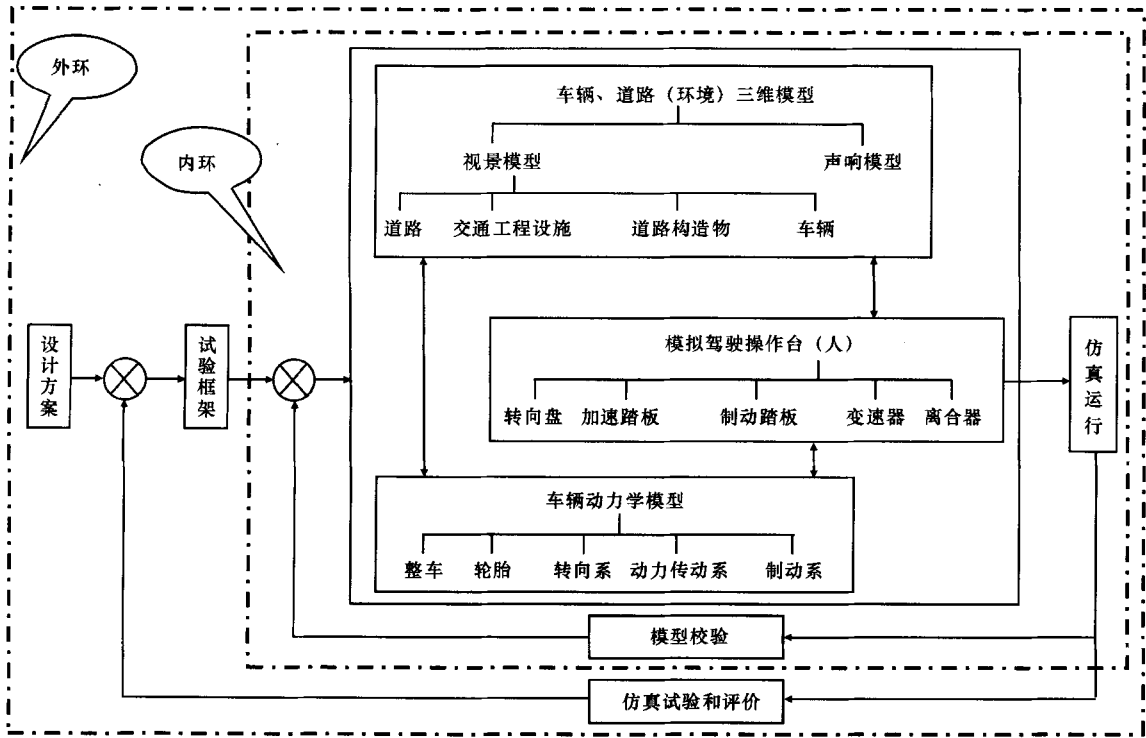


图 1 互动模式仿真

(1)内环。由仿真建模、仿真运行和模型校验构成,主要用于模型的校核与验证,确保仿真的置信度。

(2)外环。由仿真建模、仿真运行、仿真试验和评价构成。在外环中,主要进行互动模式的虚拟仿真试验。设计人员可以根据实验结果修改、比较设计方案,通过反复仿真评价对设计方案进行优化。

人-车-路(环境)互动模式虚拟仿真系统主要对以下两个方面的交通问题进行研究:

(1)通过获得驾驶人在虚拟道路上的评价参数(如运行控制车速、加速度等),对道路的行车安全性进行检测与评价。

(2)公路、交通工程设施、长大隧道、大型桥梁的

运营效果与安全性仿真。

### 2 系统的实现

人-车-路(环境)虚拟仿真平台中的硬件系统组成结构如图 2 所示。

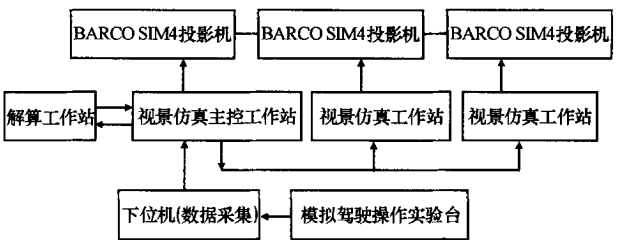


图 2 系统硬件组成结构

基于互动模式的虚拟仿真试验的基本过程:仿真系统启动后,由视景主控工作站发送数据采集命令,工控机将获得的驾驶人操作信号通过串行通信接口发送至视景仿真主控工作站,主控工作站将车辆行驶参数、驾驶人操作信号通过局域网传递给车辆动力学解算系统;解算系统将车辆的响应计算结果通过网络传回到视景仿真主控工作站;由主控工作站结合视景同步显示系统、碰撞检测与响应系统、声响系统生成三维视景,并将同步信号发送给另外两个通道的视景仿真工作站;3 台视景仿真控制工作站将图形信号传递给 RC 系统的 3 个投影控制通道,最终由 RC 系统经融合、校正将视景投射到前方

柱形屏幕上,从而产生出一个具有高度沉浸感的人-车-路系统虚拟仿真试验环境。

人-车-路互动模式虚拟仿真系统的软件设计采用了 Microsoft Visual C++6.0 开发平台,使用了高效的 Vega API 和 OpenGL Performer 三维图形引擎。系统的运行流程如图 3 所示。软件系统开发的关键技术包括驾驶人交互操作信号数据采集技术、车辆动力学网络解算技术、虚拟场景的建模技术、三通道视景同步显示技术研究、视景驱动技术、车辆与道路或环境物体的碰撞检测与响应技术、仿真状态信息的动态显示技术和交通环境中自由行驶车辆的行为模拟技术等。

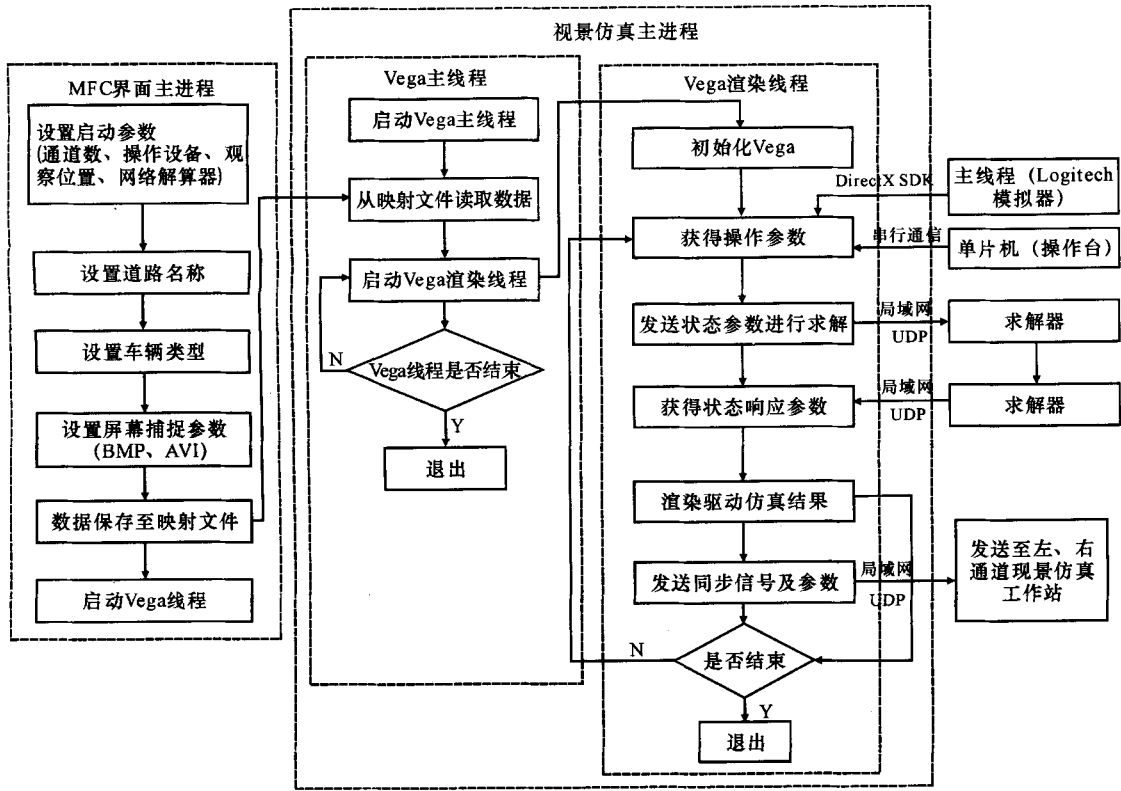


图 3 互动模式虚拟仿真系统的运行流程

### 3 系统实现的关键技术

#### 3.1 驾驶人交互操作信号数据采集技术

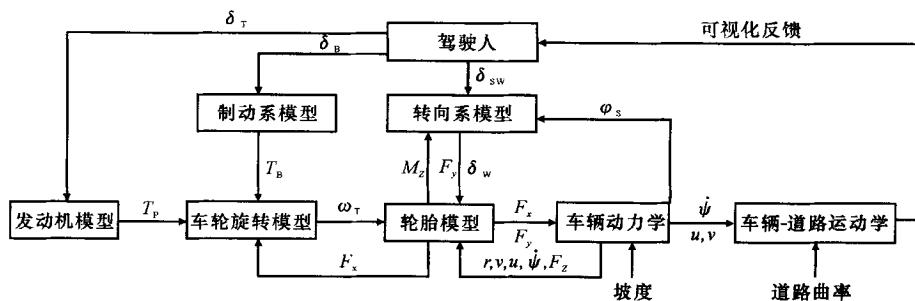
为了实现人-车-路虚拟仿真中驾驶人与视景的交互,需要利用模拟驾驶设备对虚拟场景中的车辆进行实时操纵,即实现对模拟驾驶操作信号(加速踏板、制动踏板、离合器、变速器、转向盘等信号)的实时数据采集。数据采集系统采用了分布式上下位机结构,上下位机之间采用 RS232 接口、点对点方式进行通信。上位机以视景主控计算机作为硬件环境,下位机由 89S52 单片机控制。模拟驾驶实验台

中的转向盘转角、加速踏板、制动踏板、离合器踏板位移等信号均采用精密电位器作为传感器来进行数据采集。对于变速杆,采用了开关传感器。

#### 3.2 车辆动力学网络解算技术

该技术包括车辆动力学模型和网络解算两方面的内容。人-车-路虚拟仿真系统要求很高的实时性,因此建立车辆动力学模型的要求是在满足研究需求的条件下尽量地简化模型。本文建立了包括整车、发动机、轮胎、制动器和转向系统等在内的 11 个自由度车辆动力学模型,其组成如图 4 所示。

在 Winsock API 和 UDP 协议的基础上,本系统



注： $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  分别为作用在轮胎上的  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向的力； $\delta_T$  为节气门开度； $M_z$  为作用在轮胎上的回正力矩； $T_B$ 、 $T_P$  分别为制动和驱动力矩； $\omega_T$  为车轮角速度； $\varphi_s$ 、 $\gamma$  分别为车身侧倾角和车轮外倾角； $u$ 、 $v$  分别为车辆纵向和侧向速度； $\dot{\psi}$  为车辆横摆角速度； $\delta_{SW}$ 、 $\delta_W$  分别为转向盘和车轮转角

图4 车辆动力学实时仿真模型组成

进行了视景仿真工作站与车辆动力学解算工作站(点对点)间的网络通信模块的开发。开发采用了C/S结构,视景仿真工作站作为客户机,解算工作站作为服务器。

### 3.3 虚拟场景的建模技术

虚拟场景的建模技术包括虚拟仿真环境中车辆、地形、道路和环境的三维模型生成技术以及提高模型逼真度和运行实时性的技术手段。本文采用了MultiGen Creator软件来建立虚拟场景模型数据库。本研究建立的部分模型如图5(轿车模型)、图6(道路模型)所示。



图5 捷达轿车三维模型



图6 三级公路模型

### 3.4 三通道视景同步显示技术

基于虚拟现实的仿真系统区别于普通仿真平台的一个最大特点就是能够提供高度的沉浸感,在此环境中,才能获得与实际情况更为接近的试验数据。本研究开发的人-车-路互动模式仿真平台中,视景显示是由具有 $150^\circ$ 水平视场角的Barco Sim4三通道投影系统构成。其关键技术主要包括:三通道融合区位置参数的计算、三通道视景的同步显示等。

### 3.5 视景驱动技术

人-车-路虚拟仿真系统中视景驱动采用了Vega API和OpenGL Performer。由于视景仿真需要很高的实时性以及Vega系统的开发需求,因此必须采用多线程的方式来实现,即数据采集线程负责获取人机交互操作数据,视景仿真线程负责与车辆动力学网络解算系统通信和更新视景。

### 3.6 碰撞检测技术

在人-车-路虚拟仿真系统中,碰撞检测遵循的原则是在满足整个仿真平台实时性的基础上能够较为精确地计算出车辆碰撞物体的名称、发生碰撞的具体部位以便进行车辆的碰撞响应仿真。Vega中的碰撞检测依靠Isector封装类来实现。Isector类可以使用相应算法完成一个目标物体与一个指定空间范围之间物体的交叉碰撞测试。在车辆与道路、地形的碰撞检测方面,采用了矢量法进行碰撞检测。在车辆与交通工程设施、建筑物以及其他车辆的碰撞检测方面,如果场景复杂度过高,可以采用矢量法来进行碰撞检测,提高了碰撞检测效率和系统的实时性。如果在场景渲染允许的条件下,可以采用6-dop包围盒法进行碰撞检测<sup>[12]</sup>。

### 3.7 基于Multi-Agent的车辆行为建模技术

运用Multi-Agent技术实现了环境车辆的行为建模,即独立自主运行。在该系统中,将周围运行的车辆看成是可独立自主运行的Agent,它们有自己的行为目的,各元素间相互作用,达到真实模拟交通环境的目的。车辆行为建模主要是建立用于方向和速度控制的规则库,其作用是根据设定参数产生驾驶行为。规则的先决条件包括车速、车辆位置、道路线形等;其行为输出就是规划层的各种行为决策如加速、减速、转向等。为简化问题,本研究中车辆Agent的模糊决策中输入变量是道路的线形参数,输出变量为车辆的方向和加速度。

### 3.8 仿真状态信息的动态显示技术

人-车-路虚拟仿真系统中,需向驾驶人提供实时的视觉反馈信息,如提示信息、车辆的位置、行驶参数信息等,因此必须在Vega的视景仿真线程中实时显示这些信息。本文采用回调函数和OpenGL技术解决了动态显示中英文混合信息的问题。

## 4 系统应用

本文提出的人-车-路互动模式虚拟仿真系统,在“关于汽车驾驶员安全车速控制模式的研究”虚拟试验中,实际应用于云南保龙高速公路建设工程,结果表明本文提出的方法具有可行性与实用性。图7为210国道西万三级公路的虚拟仿真场景;图8为陕西西铜一级公路的虚拟仿真场景。

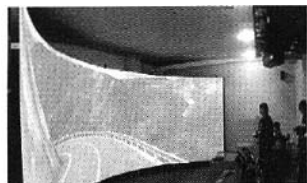


图7 210国道西万三级公路虚拟仿真场景

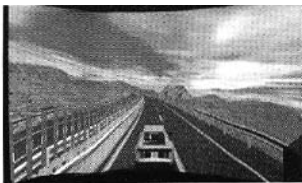


图8 陕西西铜一级公路虚拟仿真场景

## 5 结 语

(1)将虚拟现实技术应用到人-车-路仿真研究中,充分发挥了三维图形立体显示的沉浸感和实时交互性,对于道路行车安全、运营效果的检测与评价研究具有重要意义。该系统的开发,对于在道路交通安全问题的研究以及设计工作中体现“以人为本”的设计理念具有重要的理论和实际意义。

(2)应用结果表明,本文提出的人-车-路互动模式虚拟仿真系统具有可行性与实用性。

(3)为拓展该系统的应用领域,应进一步在安全评价模型、虚拟试验模式等方面进行深入地研究。

### 参考文献:

### References:

- [1] 公安部交通管理局. 中华人民共和国道路交通事故统计年报(2004)[R]. 北京:公安部交通管理局, 2004.
- [2] 魏朗,高丽敏. 道路交通安全性评估模式的探讨[J]. 安全与环境学报, 2004,4(6): 92-95.  
WEI Lang, GAO Li-min. Probe into road traffic safety mode assessment [J]. Journal of Safety and Environment, 2004, 4(6): 92-95.
- [3] 熊坚,曾纪国,水瑞锋,等. 主被动式网络化汽车驾驶模拟器的研究及应用[J]. 汽车工程, 2002,24(2):126-129.  
XIONG Jian, ZENG Ji-guo, SHUI Rui-feng, et al. Study and application of netted driving simulators [J]. Automotive Engineering. 2002,24(2):126-129.
- [4] 王树凤,余群. 车辆虚拟试验系统的实现[J]. 农业机械学报, 2002,33(3):4-7.

WANG Shu-feng, YU Qun. Realization of a virtual experiment system of vehicles [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2002,33(3):4-7.

- [5] 许金良,杨宏志. 公路视景仿真模型[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2004,24(2):37-40.  
XU Jin-liang, YANG Hong-zhi. Highway scene simulation model [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004,24(2):37-40.
- [6] 许金良,石飞荣,杨宏志,等. 基于计算机仿真的公路安全设计方法[J]. 中国公路学报, 2004,17(2):1-5.  
XU Jin-liang, SHI Fei-rong, YANG Hong-zhi, et al. Method for highway safety design on computer simulation [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004,17(2):1-5.
- [7] 杨宏志,许金良,李建士. 基于计算机仿真的公路线形设计评价[J]. 中国公路学报, 2005,18(1):14-18.  
YANG Hong-zhi, XU Jin-liang, LI Jian-shi. Evaluation of highway route design based on computer simulation [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005,18(1):14-18.
- [8] 蒲浩,宋占峰,郑顺义,等. 道路三维场景的实时动态显示技术[J]. 交通运输工程学报, 2003,3(1):52-56.  
PU Hao, SONG Zhan-feng, ZHENG Shun-yi, et al. Real-time dynamic display technology of road 3D scene [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003,3(1):52-56.
- [9] 熊坚,曾纪国,丁立,等. 面向道路汽车的汽车驾驶模拟器的研究及应用[J]. 中国公路学报, 2002,15(2):117-119.  
XIONG Jian, ZENG Ji-guo, DING Li, et al. Application and research of vehicle driving simulator for road traffic problems [J]. China Journal of Highway and Transport, 2002,15(2):117-119.
- [10] 魏朗,高丽敏,余强,等. 驾驶员道路安全感受模糊评判模型[J]. 交通运输工程学报, 2004,4(1):102-105.  
WEI Lang, GAO Li-min, YU Qiang, et al. Fuzzy evaluating model of driver's road safety perception[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004,4(1):102-105.
- [11] 陈涛. 人-车-路(环境)联合运行虚拟仿真理论与实现技术研究[D]. 西安:长安大学, 2005.
- [12] Klosowski J T, Held M, Mitchell J S B, et al. Efficient collision detection using bounding volume hierarchies of k-DOPs [J]. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 1998,4(1):21-36.