

文章编号:1671-8879(2008)05-0107-04

基于虚拟现实的驾驶人道路安全感评价试验

袁望方,魏 朗,陈 涛

(长安大学 汽车学院,陕西 西安 710064)

摘 要:基于虚拟仿真试验技术,在人-车-路(环境)联合运行仿真平台上进行面向公路线形、景观和交通工程设施等设计方案的仿真试验,构建了基于虚拟现实的驾驶人道路安全感评价体系,建立了虚拟一级路安全性认知因素的模糊评价隶属函数,采用计算虚拟和实测道路模糊评价隶属函数贴近度的方法,与实际一级路的安全性认知因素的模糊评价隶属函数进行了对比。试验结果对比表明,虚拟和实测一级路的评价结果近似,证明虚拟现实技术在驾驶人道路安全感知评价中应用的可行性。

关键词:汽车工程;虚拟现实;驾驶人;道路安全感;评价

中图分类号:U471.1;U491

文献标志码:A

Drivers' perception test of road safety with virtual reality

YUAN Wang-fang, WEI Lang, CHEN Tao

(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Based on the virtual reality technology, this paper introduces the simulation tests on the design schemes of highway alignment, landscape, traffic engineering facilities on the visual simulation platform of combined operation of driver-vehicle-road system, constructs the assessment system of road safety, and ensures the relevant membership functions of the simulation. Using the computing approximation, the high approximation to the results of actual road can be made for the incident investigation. The results show that the virtual reality technology is feasible in the assessment research of drivers' road safety. 4 tabs, 4 figs, 11 refs.

Key words: automobile engineering; virtual reality; driver; road safety perception; evaluation

0 引 言

道路交通系统是由人、车、路(环境)三大要素构成,在整个人-车-路(环境)联合运行系统中,汽车驾驶人是影响行车安全的首要因素^[1]。据交通事故统计表明,在发生车祸的直接或间接原因中,有 80%~90%与驾驶人有关,而道路条件及环境反映给驾驶人的信息又对驾驶人安全感有着非常重要的影响^[2]。因此,在不同等级道路条件下,驾驶人的道路安全感的评价对道路交通的安全性研究具有重要意

义。目前,研究人员已根据实际公路典型路段现场勘测的数据资料和试验数据,建立了驾驶人道路安全感的模糊评判模型来评价该公路的安全性^[3-4]。研究表明,此种方法只能适用于已建成的道路,在现实的道路环境中试验或建立物理模型需要花费大量的人力和物力。通过建立虚拟模型,将公路设计方案真实地显示在屏幕上,通过反复地虚拟试验和评价,不仅可以提高该公路的安全性,而且可以节约投资^[5-6]。因此,利用虚拟现实技术将道路线形、路面状况和交通环境通过计算机仿真出来,为驾驶人安

收稿日期:2007-11-15

基金项目:GM 中国科学研究基金项目(50222206)

作者简介:袁望方(1982-),女,河南许昌人,工学博士研究生,E-mail:autoyuanzi@163.com。

全感评价研究提供经济又可行的高科技手段。

本文将驾驶人道路安全感认知评价和虚拟现实技术研究有机结合起来,以 210 国道西安—铜川(西铜)一级路典型路段的数据为依据,对驾驶人道路安全感进行研究。首先,采用 MultiGen Creator 实时仿真建模软件生成三维道路模型;然后,通过在虚拟的道路交通环境中,在人-车-路(环境)联合运行仿真平台上进行面向公路线性、景观、交通工程设施等设计方案的仿真试验。以模糊数学为计算工具,证明了虚拟现实技术在驾驶人道路安全感评价研究中的可行性,从而为交通安全以及公路交通相关问题的研究提供量化的、可视化的技术手段。

1 虚拟场景建模及驱动

建模技术是虚拟现实技术中的关键技术之一,包括虚拟仿真环境中地形、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,它能在满足实时性的前提下生成面向仿真的、逼真性好的大场景^[7]。构建虚拟场景包括使用道路模块构建道路模型,使用公告板技术构建植物模型,采用地形构建技术构建地形模型,以及采用基础建模方法构建交通工程设施模型^[8]。在道路以及交通工程设施建模中,要满足《公路工程技术标准》(JTJ B01-2003)和《道路交通标志和标线》(GB 5768-1999)标准。

在驾驶人道路安全感虚拟现实认知评价研究中,要求既能够逼真地提供道路及环境画面,同时还要能实现在场景的道路上进行模拟驾驶,实时交互控制。因此,在整个道路及环境建模之后,需要进行人-车-路(环境)联合运行虚拟仿真系统的视景驱动,在仿真过程中用户对场景才有真实的沉浸感。本文中的视景驱动系统采用了能够较好支持 OpenFlight 数据库的交互式仿真软件 Vega,程序开发平台选用 Visual C++ 6.0 集成开发环境。本系统实现流程与组成如图 1 所示。

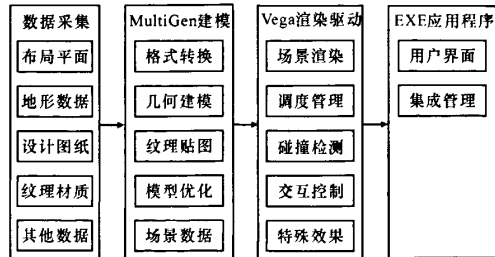


图 1 虚拟试验系统流程

2 驾驶人道路安全感评价仿真试验

2.1 虚拟仿真实验室

人-车-路联合运行虚拟仿真实验室中搭建了人-车-路(环境)联合运行平台,该平台包括车辆动力学计算工作站、三通道 RC(Reality Center)系统和模拟驾驶操作试验台等。三通道 RC 系统是指能提供身临其境感觉的可视化环境。在人-车-路(环境)联合运行平台中,RC 系统由视景图形仿真工作站、投影系统和具有 150°视场角的三通道柱面屏幕及相关附属设备组成。模拟驾驶操作试验台的各种几何尺寸与实车基本相同,它是在人-车-路(环境)联合运行仿真系统中主要的交互设备。为了获得驾驶人的驾驶操作信息,在方向盘、踏板、离合器和变速杆等操作元件上都安装有相应的传感器^[9]。

2.2 仿真试验

在虚拟道路与环境建模以及试验方案确定之后,在人-车-路联合运行平台中进入人-车-路联合运行虚拟仿真系统,对所建模型依次完成系统设置、环境设置、仿真场景设置和仿真模式设置。然后在三通道图形工作站启动仿真进程,进行仿真试验。在本项试验中,共组织了 53 位有不同驾驶经历的人员作为试验人员,采用的试验方法为心理学试验中常用的现场问卷调查法。一级路驾驶人认知评价试验现场如图 2 所示。



图 2 驾驶人虚拟道路安全感认知评价试验现场

3 安全性认知模糊集及其隶属函数

根据虚拟仿真现场统计试验得到的有效认知评价试验数据,以模糊数学为工具,应用模糊集合原理、模糊统计试验方法和“专家”截割分析法,建立了驾驶人对虚拟道路结构要素的安全性认知评价的评语模糊集及其隶属函数^[10]。

3.1 驾驶人虚拟道路安全感认知评语模糊集

驾驶人在行车中对各种道路条件信息的感知、分析和判断都必须在极短的时间内完成,因此,为了简化系统模型,把虚拟一级路中对驾驶人的安全感影响较小的因素从驾驶人虚拟道路认知评价模型中忽略不计。本研究设定作为虚拟一级路的安全性认

知变量主要为道路的平曲线半径、纵坡度,由此建立虚拟道路的安全性认知模糊集。

(1) 平曲线半径 x_1 。评语子集: {很缓弯, 缓弯, 较急弯, 急弯}; 记为: $\{A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}\}$ 。

(2) 纵坡度 x_2 。评语子集: {很缓坡, 缓坡, 较陡坡, 陡坡}; 记为 $\{A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{24}\}$ 。

3.2 驾驶人虚拟道路安全感知评价隶属函数

通过对建模生成的8段虚拟一级路的纵坡度、平曲线半径各认知变量进行虚拟仿真评价,模糊统计试验得到424组有效数据。根据各虚拟路段认知变量的评语汇总结果,得到安全性认知变量论域空间覆盖频率曲线,如图3、图4所示。根据模糊统计试验所得到的各认知变量空间的覆盖频率 μ ,在图中取80分位人次专家的可感评价(0.2截集)为各认知评语的非零集,取0.7置信水平(0.7截集)或相对最大覆盖频率区间为各认知评语的确定集,确定得到虚拟一级路平曲线半径和纵坡度与各认知评语

之间的梯形分布隶属函数,如表1所示。

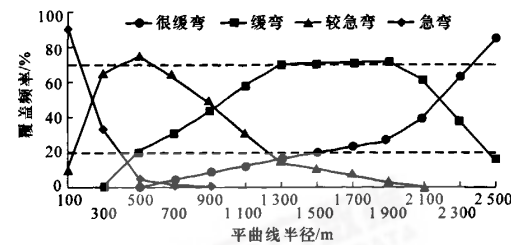


图3 一级路虚拟仿真路段平曲线半径安全性认知评价

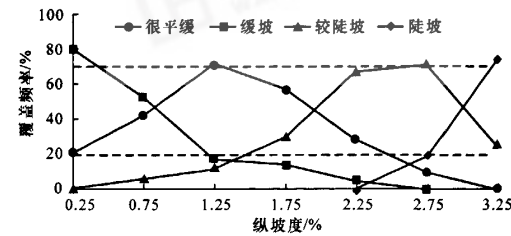


图4 一级路虚拟仿真路段纵坡度安全性认知评价

表1 驾驶人对虚拟一级路的安全性认知评价隶属函数

指标	隶属函数	隶属函数
平曲线半径	$\mu_{A_{11}}(x_1) = \begin{cases} 1 & x_1 \geq 3\,000 \\ \frac{1}{1\,500}(x_1 - 1\,500) & 1\,500 < x_1 < 3\,000 \\ 0 & x_1 \leq 1\,500 \end{cases}$	$\mu_{A_{14}}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq 350 \\ \frac{1}{170}(350 - x_1) & 180 < x_1 < 350 \\ 1 & x_1 \leq 180 \end{cases}$
	$\mu_{A_{12}}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq 2\,800 \\ \frac{1}{1\,100}(2\,800 - x_1) & 1\,700 < x_1 < 2\,800 \\ 1 & 1\,200 \leq x_1 \leq 1\,700 \\ \frac{1}{700}(x_1 - 500) & 500 < x_1 < 1\,200 \\ 0 & x_1 \leq 500 \end{cases}$	$\mu_{A_{13}}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq 1\,200 \\ \frac{1}{600}(1\,200 - x_1) & 600 < x_1 < 1\,200 \\ 1 & 350 \leq x_1 \leq 600 \\ \frac{1}{150}(x_1 - 200) & 200 < x_1 < 350 \\ 0 & x_1 \leq 200 \end{cases}$
纵坡度	$\mu_{A_{21}}(x_2) = \begin{cases} 1 & x_2 < 0.4 \\ \frac{1}{0.6}(1.0 - x_2) & 0.4 \leq x_2 < 1.0 \\ 0 & x_2 \geq 1.0 \end{cases}$	$\mu_{A_{24}}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 < 2.8 \\ \frac{1}{0.6}(x_2 - 2.8) & 2.8 \leq x_2 < 3.4 \\ 1 & x_2 \geq 3.4 \end{cases}$
	$\mu_{A_{22}}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 < 0 \\ \frac{1}{1.5}x_2 & 0 \leq x_2 < 1.5 \\ \frac{1}{0.7}(2.2 - x_2) & 1.5 \leq x_2 \leq 2.2 \\ 0 & x_2 > 2.2 \end{cases}$	$\mu_{A_{23}}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 < 1.6 \\ \frac{1}{0.6}(x_2 - 1.6) & 1.6 < x_2 < 2.2 \\ 1 & 2.2 \leq x_2 \leq 2.8 \\ \frac{1}{0.7}(3.5 - x_2) & 2.8 \leq x_2 \leq 3.5 \\ 0 & x_2 \geq 3.5 \end{cases}$

4 定量评价虚拟试验

本项研究课题曾经在实测的86处一级公路中对实际道路的各认知变量进行了现场实地观察评价,根据模糊统计试验的汇总结果,得到实测一级路安全性认知评价的隶属函数(表2)^[11]。定量评价虚拟试验在驾驶人道路安全感研究中的可行性,需将实测与虚拟道路安全感知评价隶属函数进行对比。

实测道路的安全认知模糊集如下所示。

(1) 平曲线半径 x_1 。评语子集: {很缓弯, 缓弯, 较急弯, 急弯}; 记为 $\{B_{11}, B_{12}, B_{13}, B_{14}\}$ 。

(2) 纵坡度 x_2 。评语子集: {很缓坡, 缓坡, 较陡坡, 陡坡}; 记为 $\{B_{21}, B_{22}, B_{23}, B_{24}\}$ 。

对虚拟与实测道路认知评价指标隶属函数进行对比,采用计算虚拟和实测道路模糊集隶属函数的贴近度的方法,度量两个模糊集的接近程度。贴近度

表 2 驾驶人对实测一级路的安全性认知评价隶属函数

指标	隶属函数	隶属函数
平曲线半径	$\mu_{B_{11}}(x_1) = \begin{cases} 1 & x_1 \geq 3\ 500 \\ \frac{1}{1\ 200}(x_1 - 1\ 500) & 1\ 500 < x_1 < 3\ 500 \\ 0 & x_1 \leq 1\ 500 \end{cases}$	$\mu_{B_{14}}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq 500 \\ \frac{1}{200}(500 - x_1) & 300 < x_1 < 500 \\ 1 & x_1 \leq 300 \end{cases}$
	$\mu_{B_{12}}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq 2\ 500 \\ \frac{1}{1\ 100}(2\ 500 - x_1) & 1\ 400 < x_1 < 2\ 500 \\ 1 & 1\ 100 \leq x_1 \leq 1\ 400 \\ \frac{1}{350}(x_1 - 750) & 750 < x_1 < 1\ 100 \\ 0 & x_1 \leq 750 \end{cases}$	$\mu_{B_{13}}(x_1) = \begin{cases} 0 & x_1 \geq 1\ 100 \\ \frac{1}{400}(1\ 100 - x_1) & 700 < x_1 < 1\ 100 \\ 1 & 500 \leq x_1 \leq 700 \\ \frac{1}{150}(x_1 - 350) & 350 < x_1 < 500 \\ 0 & x_1 \leq 350 \end{cases}$
纵坡度	$\mu_{B_{21}}(x_2) = \begin{cases} 1 & x_2 < 0.4 \\ \frac{1}{0.4}(0.8 - x_2) & 0.4 \leq x_2 < 0.8 \\ 0 & x_2 \geq 0.8 \end{cases}$	$\mu_{B_{24}}(x_2) = \begin{cases} 1 & x_2 < 3.0 \\ \frac{1}{0.7}(x_2 - 3.0) & 3.0 \leq x_2 < 3.7 \\ 0 & x_2 \geq 3.7 \end{cases}$
	$\mu_{B_{22}}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 < 0.6 \\ \frac{1}{0.9}(x_2 - 0.6) & 0.6 \leq x_2 < 1.5 \\ \frac{1}{0.7}(2.2 - x_2) & 1.5 \leq x_2 \leq 2.2 \\ 0 & x_2 > 2.2 \end{cases}$	$\mu_{B_{23}}(x_2) = \begin{cases} 0 & x_2 < 2.0 \\ \frac{1}{0.6}(x_2 - 2.0) & 2.0 < x_2 < 2.6 \\ (3.6 - x_2) & 2.6 \leq x_2 \leq 3.7 \\ 0 & x_2 \geq 3.6 \end{cases}$

是对两个模糊集接近程度的一种度量,主要类型有海明贴近度、欧几里得贴近度和测度贴近度。

根据虚拟与实测道路认知评价指标隶属函数的特点,在进行贴近度计算时,选择使用测度贴近度进行计算度量。测度贴近度计算式为

$$N(A, B) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} [A(u) \cap B(u)] du}{\int_{-\infty}^{+\infty} [A(u) \cup B(u)] du} \quad (1)$$

式中: $N(A, B)$ 为贴近度; A 与 B 为模糊集; $A(u)$ 、 $B(u)$ 均为可测函数; u 为变量。

根据式(1)计算出虚拟与实测一级道路平曲线半径、纵坡度各评判等级的贴近度,如表 3、表 4 所示。从表 3、表 4 中得知,虚拟与实测一级道路平曲线半径、纵坡度的各评价等级的贴近度都接近于 1。因此,驾驶人对虚拟与实测一级道路各评价指标的评

表 3 一级虚拟与实测道路平曲线半径各评判等级的贴近度

评价等级	评价等级 1	评价等级 2	评价等级 3	评价等级 4
平曲线半径	急弯	较急弯	缓弯	很缓弯
贴近度	$N(\mu_{A_{14}}, \mu_{B_{14}})$	$N(\mu_{A_{13}}, \mu_{B_{13}})$	$N(\mu_{A_{12}}, \mu_{B_{12}})$	$N(\mu_{A_{11}}, \mu_{B_{11}})$
贴近度值	0.662 500	0.692 308	0.707 983	0.933 333

表 4 一级虚拟与实测道路纵坡度各评判等级的贴近度

评价等级	评价等级 1	评价等级 2	评价等级 3	评价等级 4
纵坡度	陡坡	较陡坡	缓坡	很缓坡
贴近度	$N(\mu_{A_{24}}, \mu_{B_{24}})$	$N(\mu_{A_{23}}, \mu_{B_{23}})$	$N(\mu_{A_{22}}, \mu_{B_{22}})$	$N(\mu_{A_{21}}, \mu_{B_{21}})$
贴近度值	0.913 793	0.620 553	0.727 273	0.857 143

价结果近似,证明虚拟现实技术在驾驶人道路安全感知评价研究中是可行的。

5 结 语

(1) 实现了基于 MultiGen Creator 的地形、道路和环境的虚拟建模技术,以及基于交互式仿真软件 Vega 的虚拟场景驱动技术。

(2) 针对所建典型道路及交通环境的虚拟现实状况,进行了驾驶人安全性综合认知模糊评价的虚拟仿真试验,以模糊数学为工具,证明了虚拟现实技术在驾驶人道路安全感知评价研究中的可行性,为道路交通安全领域提供了一种新的思路。

(3) 对于虚拟现实技术在交通安全领域中的进一步应用,可以扩展到特殊公路、隧道和桥梁等其他设计领域,同时也为公路安全保障工程技术的发展提供高科技手段。

参考文献:

References:

- [1] 尹红亮,王 炜,王晓红,等. 道路交通事故成因的新思考[J]. 公路交通科技,2000,17(4):60-63.
YIN Hong-liang, WANG Wei, WANG Xiao-hong, et al. New consideration on causes of road accidents[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2000, 17(4): 60-63.

(下转第 126 页)

$$\begin{bmatrix} (t+1)e^{-t} & te^{-t} \\ -te^{-t} & (1-t)e^{-t} \end{bmatrix}.$$

5 结 语

(1)将一般函数的 Laplace 变换引入到矩阵函数上,建立了矩阵函数的广义 Laplace 变换概念,讨论了矩阵函数广义 Laplace 变换的相关性质。

(2)运用矩阵函数的广义 Laplace 变换,给出线性定常系统动态方程的解及传递矩阵的广义 Laplace 变换形式。

(3)给出矩阵指数函数的广义 Laplace 变换计算。该方法旨在矩阵求逆及求矩阵广义 Laplace 逆变换,表示形式简便。

参考文献:

References:

- [1] 葛照强. 矩阵理论及其在工程技术中的应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1991.
- [2] 蒋正新,施国梁. 矩阵理论及其应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1988.
- [3] 王耕禄,史荣昌. 矩阵理论[M]. 北京:国防工业出版社,1988.
- [4] 张元林. 积分变换[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [5] 黄承绪. 矩阵指数函数的一些性质[J]. 武汉理工大学学报:交通科学与工程版,2001,25(2):147-149.
HUANG Cheng-xu. Some properties of matrix exponentials[J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2001,25(2):147-149.
- [6] 尚有利,张金良. 指数矩阵 e^{At} 表示一阶微分方程组的解[J]. 洛阳大学学报,1995,10(4):30-33.
SHANG You-lin, ZHANG Jin-liang. Exponential matrix e^{At} showing the solution of differential equations of the first-order[J]. Journal of Luoyang University,1995,10(4):30-33.
- [7] 杨开春. 计算矩阵指数的一种新方法[J]. 西安联合大学学报,2003,6(4):49-56.
YANG Kai-chun. A new method for the calculation of matrix exponent [J]. Journal of Xi'an United University,2003,6(4):49-56.
- [8] 张俊祖,姜根明,冯复科. 矩阵指数函数的一种计算[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(1):108-110.
ZHANG Jun-zu, JIANG Gen-ming, FENG Fu-ke. A computation method of matrix exponent function[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2006,26(1):108-110.
- [9] 王 俊,揣锦华,徐 静. 基于 MultiGen/Vega 的隧道场景漫游系统研究[C]//吕彭民. 长安大学研究生学术年会论文集. 西安:陕西科学技术出版社,2004:322-324.
- [10] Clark J. Hierarchical geometric models for visible surface algorithms[J]. Communications of the ACM, 1976,19(10):547-554.
- [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] 陈 涛,魏 朗. 道路行车安全性虚拟评价方法研究[J]. 安全与环境学报,2006,6(6):115-118.
CHEN Tao, WEI Lang. Virtual assessment method for road operational safety[J]. Journal of Safety and Environment,2006,6(6):115-118.
- [13] 魏 朗,陈 涛,代素珍,等. 关于一、三级公路安全性认知因素的试验建模研究[J]. 公路交通科技,2005,22(2):116-120.
WEI Lang, CHEN Tao, DAI Su-zhen, et al. Tests and modeling for the safety perception factor on first-grade and third-grade highway [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,2005,22(2):116-120.
- [14] 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.
- [15] 袁望方. 驾驶人道路安全感虚拟现实评价技术研究[D]. 西安:长安大学,2006.
- [16] 陈 涛,魏 朗. 人-车-路互动模式虚拟仿真系统[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(1):67-71.
CHEN Tao, WEI Lang. Driver-vehicle-road virtual simulation with interaction mode [J]. Journal of

(上接第 110 页)

- [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):93-95.
WEI Lang, GAO Li-min. Probe into road traffic safety mode assessment [J]. Journal of Safety and Environment,2004,4(6):93-95.
- [3] 魏 朗,陈 涛,高丽敏,等. 汽车驾驶员车速控制模式的模拟研究[J]. 汽车工程,2005,27(6):696-701.
WEI Lang, CHEN Tao, GAO Li-min, et al. A simulation study on the vehicle speed control mode of driver [J]. Automotive Engineering, 2005, 27 (6): 696-701.
- [4] 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.
- [5] 袁望方. 驾驶人道路安全感虚拟现实评价技术研究[D]. 西安:长安大学,2006.
- [6] 陈 涛,魏 朗. 人-车-路互动模式虚拟仿真系统[J]. 长安大学学报:自然科学版,2007,27(1):67-71.
CHEN Tao, WEI Lang. Driver-vehicle-road virtual simulation with interaction mode [J]. Journal of