

文章编号:1000-582X(2012)09-030-06

汽车操纵稳定性可视化仿真技术分析

姜立标,代攀,陈泽茂

(华南理工大学机械与汽车工程学院,广州 510640)

摘要:利用可视化仿真技术对汽车的操纵稳定性进行了仿真分析,采用动力学仿真分析软件与虚拟现实软件相结合的方法在虚拟试验场中对汽车的数字化模型进行了可视化仿真分析。可视化仿真系统的建立能够模拟汽车试验场中的场景,为汽车操纵稳定性的主观评价提供了平台,这在一定程度上弥补了传统设计方法的不足,降低了样车试验成本,在实际生产中具有实用价值。

关键词:汽车;操纵稳定性;可视化;虚拟现实;虚拟试验场

中图分类号:U270.11

文献标志码:A

Analysis on the vehicle steering stability visualization simulation technology

JIANG Libiao, DAI Pan, CHEN Zemao

(School of Mechanical & Automotive Engineering, South China University of Technology,
Guangzhou 510640, China)

Abstract: Visualization simulation technology is used for the research of vehicle handling and stability and the visualization and analysis of digital automotive models is conducted in virtual proving ground using dynamic simulation analysis and virtual reality software. Visualization simulation system can perfectly imitate the real scene of automotive proving ground and provides platform for the subjective evaluation of vehicle handling and stability, which can make up the shortage of traditional design method, effectively reduce the cost of automotive test cost and has important value in the actual production.

Key words: vehicles; handling and stability; visualisation; virtual reality; virtual proving ground

虚拟仿真技术最初只是应用在军事领域,主要用作飞行器仿真模拟,后来,随着科学技术的不断进步,虚拟仿真技术才被广泛地应用于工业生产^[1-3]。汽车生产企业在虚拟现实可视化领域所开展的研究工作有效地推动了汽车可视化仿真技术的发展。美国克莱斯勒汽车公司通过建立虚拟仿真系统可在计算机上对仪表板和方向盘的布局进行评价,为优化汽车的内部结构提供了重要的参考依据。日本在可视化仿真系统方面的研究也处于国际领先水平。东京大学在虚拟场景可视化以及人物表情提取等方面的研究成果比较显著;日本大阪产业大学则借助液

压机构开发出了面向汽车开发与设计的汽车加速与制动模拟仿真系统。

国内的虚拟现实技术起步较晚,近几年来国内的许多专家、学者在汽车虚拟试验技术方面开展了探索性的研究工作,取得了许多可喜成果。中国农业大学的余群教授将虚拟现实技术与车辆系统动力学紧密联系在一起,凝练成车辆工程学科既富有时代气息又具有鲜明特色的研究方向。中南大学的徐娟^[4]借助 Pro/E 建立了机车的三维模型,然后 ADAMS/Rail 对其振动情况进行了仿真分析,最后在 Multigen Vega 中建立了一套铁道车辆运行仿真

收稿日期:2012-04-28

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(9451064101003049)

作者简介:姜立标(1965-),男,华南理工大学副教授,博士,研究方向:汽车系统动力学、数字化仿真技术,
(E-mail)jlb620620@163.com。

系统。长安大学的赵斌^[5]利用虚拟场景建模软件构建了一个结构较为简单的汽车虚拟试验场,通过求解动力学方程组的方式来研究汽车的操纵稳定性。还利用 Visual C++ 编程软件编制了一款操纵稳定性视景模拟仿真软件。

虚拟现实技术许多研究成果已经开始融入到汽车产品的研发过程,有效地提升了汽车产品的科技内涵。随着电子信息技术的不断进步,虚拟现实技术在汽车产品开发过程中的应用范围还将进一步扩大,其应用前景也将更加广阔。汽车可视化仿真技术以其低成本、高收益的独特优势必将引领汽车设计方法新潮流,成为指导汽车开发工作的重要理论依据。

作为汽车安全行驶的重要保证,操纵稳定性在汽车的各项行驶性能中具有举足轻重的作用。在对汽车的操纵稳定性进行研究时,传统的研究方法对物理样车的依赖性较大,必须在试验场中对样车进行实车试验才能对其进行评价,这种方法由于存在设计成本高、生产周期长、开发风险大等缺点已经远远不能满足产品快速升级换代的现实需求^[6-7],为此,一种能够适应市场快速多变特点的全新设计方法应运而生。

汽车操纵稳定性可视化仿真技术以参数化模型为基础,能够满足多种车型的仿真需求,符合当前产品设计理念的发展趋势^[8]。该技术可以在物理样车制造出来之前对汽车的数字化模型进行仿真分析,进而可为设计方案的可行性提供评价依据,可有效地提高汽车产品开发的成功率。

笔者利用车辆动力学仿真软件 ADAMS、虚拟场景建模软件 Multigen Creator 以及虚拟场景驱动软件 Multigen Vega 构建一座功能完备、设施齐全的汽车虚拟试验场,在该试验场内进行汽车操纵稳定性仿真研究,最终将仿真结果以直观、形象的方式展现出来。

1 汽车操纵稳定性仿真分析

1.1 整车动力学模型的建立

在多体动力学仿真分析方面,ADAMS 软件以其功能强大的解算器赢得了广大用户的青睐,笔者利用该软件建立的整车动力学仿真分析模型如图 1 所示。其中,建模过程中所需的硬点坐标和质量参数均通过几何建模法获取,物理属性参数则通过测量法获取^[9-10]。

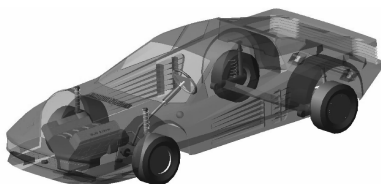


图 1 汽车动力学仿真模型

1.2 汽车操纵稳定性动力学仿真与分析

在对汽车的操纵稳定性进行研究时,所需考查的指标比较多,试验过程也比较复杂,国内主要通过稳态回转试验、蛇形试验等 6 个试验对其进行考核,这里将以蛇形试验为例进行说明。

蛇形试验可用于考查车辆在连续正反向转弯行驶工况下的操纵灵活性。测试前应按照 GB/T 6323.1—94 中的相关规定在试验场地中布置 10 根试验标桩,标桩的布局情况如图 2 所示,其中标桩之间的距离为 30 m^[11]。测试过程中,汽车的试验车速应保持在 65 km/h 的水平上。

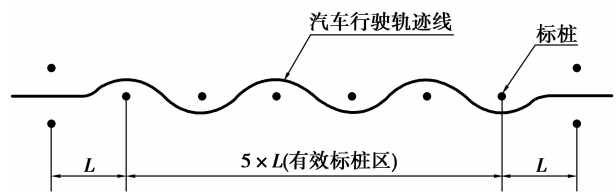


图 2 蛇形试验布局图

在 ADAMS 中进行蛇形仿真试验时需要准备一个驱动控制文件,用于模拟驾驶员在蛇形驾驶过程中的相关操作指令。此外,还需编写一个驱动参数文件,用于控制汽车的蛇形仿真路径。

仿真曲线可在 ADAMS/PostProcessor 中输出,这些曲线可作为评价汽车蛇形驾驶性能的重要依据。转向盘转角时间历程曲线如图 3 所示,其平均峰值可按公式(1)进行计算,计算结果为 $\theta=57^\circ$ 。

$$\theta = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |\theta_i|, \quad (1)$$

式中 θ 和 θ_i 分别为转向盘转角峰值的平均值和有效值, ($^\circ$)。

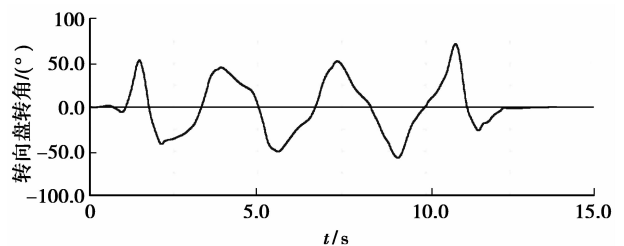


图 3 转向盘转角时间历程曲线

转向盘转角的评价计分值可按照公式(2)进行计算,计算结果为 $N_\theta=101$,由于 $N_\theta > 100$,所以 N_θ 应取 100 分。

$$N_\theta = 60 + \frac{40(\theta_{60} - \theta)}{\theta_{60} - \theta_{100}}, \quad (2)$$

式中: N_θ 为转向盘转角计分值; θ_{60} 和 θ_{100} 分别为平均转向盘转角峰值的下阈值和上阈值, $\theta_{60} = 180^\circ$,

$\theta_{100} = 60^\circ$ 。

横摆角速度随时间的变化曲线如图 4 所示,其平均峰值可按公式(3)进行计算,计算结果为 $\omega = 17^\circ/\text{s}$ 。

$$\omega = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 |\omega_i|, \quad (3)$$

式中 ω 和 ω_i 分别为横摆角速度峰值的平均值和有效值, $(^\circ)/\text{s}$ 。

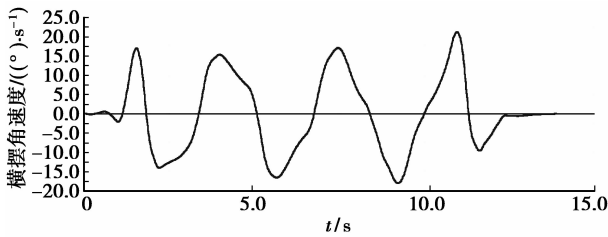


图 4 横摆角速度时间历程曲线

横摆角速度的评价计分值可按照公式(4)进行计算,计算结果为 $N_\omega = 81$ 。

$$N_\omega = 60 + \frac{40(\omega_{60} - \omega)}{\omega_{60} - \omega_{100}}, \quad (4)$$

式中: N_ω 为横摆角速度计分值; ω_{60} 和 ω_{100} 分别为平均横摆角速度峰值的下阈值和上阈值, $\omega_{60} = 25^\circ/\text{s}$, $\omega_{100} = 10^\circ/\text{s}$ 。

汽车蛇行驾驶性能的评价计分值可按照公式(5)进行计算,计算结果为 $N_s = 87$ 。

$$N_s = \frac{2N_\omega + N_\theta}{3}, \quad (5)$$

式中 N_s 为蛇行试验的评价值。

由上述分析可知,汽车在完成蛇行仿真试验的过程中,其得分较高,性能比较优越,能够满足设计要求。

这种分析方法虽然比较直观,但是仅能从客观层面上对汽车的蛇行驾驶性能进行评价,汽车设计人员很难从个人的乘坐感受方面给出评价结论,为此,笔者借助虚拟现实软件建立一套汽车操纵稳定性可视化仿真系统,为汽车操纵稳定性的主观评价提供平台。其中,仿真系统中所需的驱动参数主要以 ADAMS 中的动力学仿真数据为依据,所以上述仿真工作完成后需在 ADAMS/PostProcessor 模块中输出离散化的汽车速度信息和位姿信息。

2 虚拟试验场及虚拟车辆的建立

2.1 虚拟场景构建技术

在常用的 CAD 软件(如 CATIA、Pro/E 等)中建立产品的三维模型时,模型的精准度对产品的生产制造环节有着重要影响,其内外结构均需客观地表达出来。但在可视化仿真领域,仿真画面的视觉

感和实时性是产品建模首先应该满足的基本要求。在不影响仿真系统视觉感的情况下,可以简化甚至忽略产品的内部结构以便达到提高仿真系统实时性的目的。为此,需要采用多种建模技术对模型数据库进行优化。

1)纹理映射技术。该技术是为减少模型数据库中多边形的数量而专门设计的,对于那些具有许多细节特征的模型来说,细节特征的构建必然会导致多边形数量的骤增,过多的多边形必然会加剧仿真系统对计算机资源的消耗,在这种情况下,可以借助理纹理映射技术来表达模型表面的细节特征,这时,只需在模型表面创建少数几个用于映射纹理的多边形即可^[12]。

2)公告板技术。该技术也能在一定程度上减少模型中的多边形数量,例如,在创建树木模型时,如果按照树木的真实情况进行建模,那么数据库中多边形的数量将会达到难以估量的地步,而应用公告板技术建立树木模型时,只需在某一矩形表面上映射纹理并为其赋予旋转特征即可取得非常好的视觉效果。在可视化仿真的过程中,该矩形将会随着视点位置的变化而不断旋转,从而确保映射有纹理的一面始终朝向观察者^[13]。

3)细节层次技术。该技术可以通过创建多个细节程度不一的模型对象达到提高仿真系统实时性的目的,即当视点距离模型对象较远时,模型中所包含的多边形数量较少,细节程度较低;反之,多边形的数量较多,细节程度较高。细节层次技术的应用在一定程度上调和了可视化仿真系统的视觉感和实时性之间的矛盾。

4)实例化技术。对于那些结构相同、位置不同的模型来说,该技术的应用可以极大地缩小数据库的规模。该技术类似于“阵列”操作,但从本质上讲,二者之间是有很大的差别的,数据库的规模会随着“阵列”操作次数的增加而增大,而实例化技术实际上是创建了若干指向原始模型的指针,该技术并不会增加数据库中实际多边形的数量^[14]。

5)自由度技术。对于那些彼此之间可以相互运动的模型对象来说,需要为其设置相应的自由度才能在场景驱动的过程中完成既定的仿真任务。例如,只有为汽车的 4 个车轮分别设置旋转自由度才能实现车轮转动的效果。

6)外部引用技术。在建立规模较大的虚拟场景时,往往需要先将虚拟场景划分为几个规模较小的组成部分,分别对其进行建模,然后利用外部引用技术将其组合在一起,最终完成整个虚拟场景的构建工作,该过程类似于汽车产品的装配过程,这种技术

的采用便于对虚拟场景进行有效的组织和管理。

2.2 汽车虚拟试验场的建立

试验场是进行汽车性能测试的重要场所,随着汽车工业的不断进步,汽车试验场犹如雨后春笋般在世界各地涌现出来,到目前为止,中国已经建成了满足不同车型测试需求的各类汽车试验场,它们在全国各地肩负着汽车性能测试的神圣使命。考虑到汽车试验场的建造成本高、施工难度大,笔者将借助虚拟场景建模软件 Multigen Creator 建立一座设施完备的汽车虚拟试验场,用于汽车性能测试。

汽车虚拟试验场主要包括辅助设施和试验道路两大部分,其中试验场内的防护栏、标桩以及标志牌等辅助设施可以直接通过软件内置的几何建模工具进行建立,而植被模型和试验场大门则可以分别采用公告板技术和建筑物建模向导工具进行建立。相对于辅助设施来说,试验道路的建模过程比较复杂,这里可以采用专用道路建模工具进行建立,建模过程中,需要分别为高速环道和二号环道设置3个细节层次,当观察者的视点处于不同位置时,环道的复杂程度也会有所不同。最后,利用外部引用技术将综合路、制动试验路及标准坡道等模型组合在一起完成整个虚拟试验场的构建工作,其建模效果如图5所示。

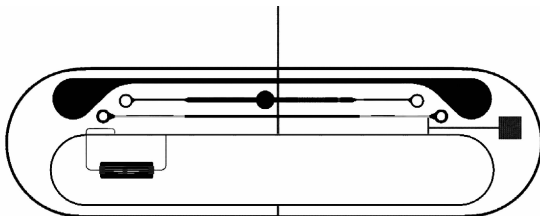


图5 虚拟试验场建模效果

2.3 虚拟车辆的建立

在 ADAMS 中建立的汽车数字化模型导入 Multigen Creator 进行可视化仿真时会因多边形的数量过多而出现画面跳跃现象,为此,可以在 Creator 中利用放样工具建立相应的车辆模型,即先在不同位置上创建车身的横截面,然后对各截面进行放样处理,最终可建成如图6所示的虚拟车辆模型。



图6 虚拟车辆模型

为了使用户能够及时地了解车辆的运动状态,

需要在 Creator 中创建一些专用量表,量表中的指针应能够随着汽车运动状态的变化而不断旋转,为此,需要为量表指针设置旋转自由度,自由度的驱动是由 C++ 程序来控制的。专用量表的建模效果如图7所示。

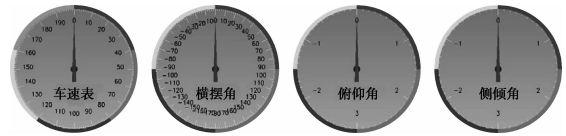


图7 虚拟仪表模型

3 可视化仿真系统的实现

3.1 程序定义文件的配置

前面利用场景建模软件 Multigen Creator 建立了虚拟试验场和虚拟汽车模型,这一节将利用场景驱动软件 Multigen Vega 对上述模型进行驱动,最终完成汽车操纵稳定性可视化仿真系统的建立。

与 OpenGVS、Virtools 等场景驱动软件有所不同的是, Multigen Vega 提供了界面友好的用户化操作界面,即 Lynx 图形界面,在该界面中用户可以方便地对程序定义文件进行配置,进而在一定程度上减少了仿真系统开发者的编程工作量^[15-16]。用户需要完成的配置工作如图8所示。

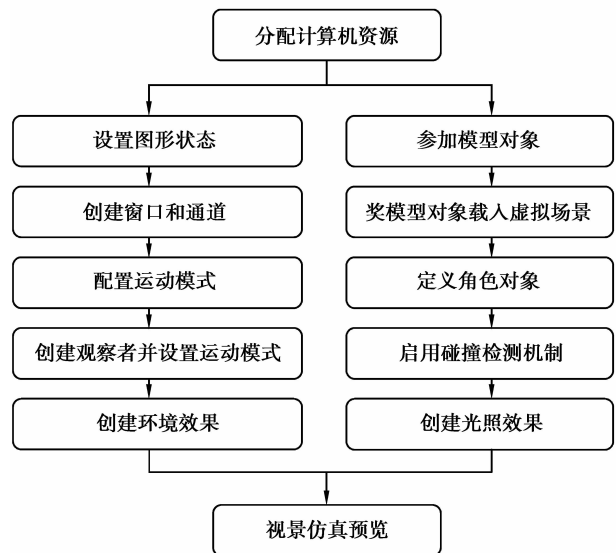


图8 程序定义文件的配置内容

3.2 可视化仿真系统的构建

可交互性是可视化仿真系统的基本特征之一,在该系统中,用户可通过操作硬件设备完成对计算机中虚拟模型的控制,其效果就像操纵真实的物理样机一样。笔者所构建的可视化仿真系统主要以键盘和鼠标为输入设备,其控制方式如表1所示。

表 1 可视化仿真系统的控制模式

操作指令	控制内容
鼠标右键	汽车进行蛇行仿真试验
R 键	控制纹理效果的显隐状态
W 键	控制左后视通道的显隐状态
F 键	控制线框效果的显隐状态
S 键	控制副前视通道的显隐状态
V 键	控制导航路径的显隐状态
X 键	控制右后视通道的显隐状态
Y 键	控制车速表的显隐状态
G 键	控制俯视通道的显隐状态
H 键	控制横摆角量表的显隐状态
B 键	控制前视通道的显隐状态
N 键	控制侧倾角量表的显隐状态
E 键	控制雾化效果的显隐状态
U 键	控制俯仰角量表的显隐状态
D 键	控制光照效果的显隐状态
空格键	停止运动
C 键	控制云层效果的显隐状态
Esc 键	退出程序

表 1 中的左后视、副前视、右后视、俯视以及前视通道是为了从不同方位和角度来观察虚拟场景而专门设计的,用户可根据需要对其显隐状况进行控制。对副前视通道显隐状态的控制是通过如下程序段来实现的,其他通道的显隐状态可通过类似方法加以控制。

```

case 's':
case 'S':
if(vgGetObservChan(minor_obs,0))
/* 判断副前视通道是否建立 */
vgRemObservChan(minor_obs,minor_chan);
/* 删除副前视通道 */
else
vgAddObservChan(minor_obs,minor_chan);
/* 将副前视观察者添加到副前视通道 */
break;

```

对虚拟场景中雾化效果显隐状态的控制可通过如下程序段来实现,其他效果、导航路径以及各种量表的显隐状态可通过类似方法实现。

```

case 'e':
case 'E':
i = (int) vgGetProp ( front _ gfx, VGGFX _
FOG);
/* 前视图形状状态中雾化效果的启用状态,启用
为 1,禁用为 0 */

```

```

if(i) /* 判断雾化效果是否处于启用状态 */
vgProp(front_gfx,VGGFX_FOG,VG_OFF);
/* 禁用前视图形状状态中的雾化效果 */
else
vgProp(front_gfx,VGGFX_FOG,VG_ON);
/* 启用前视图形状状态中的雾化效果 */
break;

```

当用户按下鼠标右键时,汽车将在虚拟试验场中的综合性能路上进行蛇行仿真试验,试验过程中所需的车速信息和位姿信息均来自于 ADAMS 中的仿真试验数据,这些信息可分别通过可视化仿真系统中的车速表、横摆角量表、侧倾角量表以及俯仰角量表实时地显示在用户面前,便于用户及时掌握车辆的运动状态。在参与汽车可视化仿真试验的过程中,用户还可亲身体验车身姿态的变化所带来的视觉感受,从而为汽车操纵稳定性的主观评价提供平台。汽车在可视化仿真系统中的蛇行仿真效果如图 9 所示,与 ADAMS 中的仿真效果相比,可视化仿真技术的应用能够使用户产生一种身临其境的感觉,这对用户从主观层面上研究汽车的操纵稳定性是极其有利的。



图 9 汽车的可视化仿真效果

汽车在虚拟场景中运动时,如果不采用任何碰撞检测措施,就有可能钻进地面或者穿越建筑物,显然这些现象与真实情况是完全不符的。为了解决这个问题,笔者在可视化仿真系统中启用了碰撞检测机制,即将汽车与地面之间的偏移距设置为 0,确保汽车在行驶过程中轮胎与路面之间始终保持良好接触,这样以来,当汽车驶过不平路面时,汽车将会呈现随路面起伏而上下颠簸的效果。碰撞检测机制启用前后的效果分别如图 10 和 11 所示。



图 10 碰撞检测机制启用前的仿真效果



图11 碰撞检测机制启用后的仿真效果

从图中可以看出,当汽车驶过高速环道的曲线段时,若不启用碰撞检测机制,那么汽车的右后侧车轮将会陷入地面,而启用碰撞检测机制之后,汽车的4个轮胎将始终位于路面之上。由此可见,碰撞检测机制的启用取得了非常好的仿真效果。

4 结 论

1) 利用 ADAMS 软件对汽车的蛇行驾驶性能进行了动力学仿真分析,并根据相关评价计分公式对其性能进行了客观评价,评价结果表明,汽车的蛇行驾驶性能比较优越。

2) 借助虚拟场景建模软件建立了汽车虚拟试验场模型和虚拟汽车模型,各种先进建模技术的应用提高了可视化仿真系统的执行效率。

3) 在此基础上,借助虚拟场景驱动软件 Multigen Vega 中的 Lynx 图形界面可视化仿真系统进行了程序定义文件的配置,最终结合 C++ 程序代码实现了汽车操纵稳定性可视化仿真系统的建立,该系统在视觉感、交互性和沉浸感等方面均表现突出,能够为汽车操纵稳定性的主观评价提供平台。所建立的可视化仿真系统允许用户参与其中,提高了仿真系统的交互性,用户通过操作鼠标和键盘即可实现汽车的交互式漫游,而且碰撞检测机制的启用提高了可视化仿真系统的可信度。由于这里仅对特定的车型进行了研究,不可避免地会不够全面,今后可以将多种车型纳入其中,进一步提高可视化仿真系统的通用性。另外还应把可视化仿真系统的开发过程程序化,即通过编写程序代码的方式生成用户化操作界面,用户只需在界面中输入相关参数即可调用相应的车型完成特定的性能仿真试验。

参考文献:

[1] 赵钢. 虚拟仿真技术在食品加工教学中的初探[J]. 北京农业职业学院学报, 2010, 24(3): 70-73.
ZHAO Gang. Virtual simulation technology in food processing teaching [J]. Journal of Beijing Agricultural Vocation College, 2010, 24(3): 70-73.

[2] 郭峰, 吴绍钧, 周斌, 等. 基于虚拟仿真技术的航空发动机油封模拟系统[J]. 现代电子技术, 2010(8): 67-69.
GUO Feng, WU Shaojun, ZHOU Bin, et al. Simulation system for aero engine oil seal based on virtual simulation technology [J]. Modern Electronics Technique, 2010(8): 67-69.

[3] 常绿. 矿用自卸汽车平顺性虚拟仿真技术及试验研究[J]. 金属矿山, 2009(8): 97-129.
CHANG Lü. Study on the virtual simulation of ride comfort of Mining dump truck [J]. Metal Mine, 2009(8): 97-129.

[4] 徐娟. 基于虚拟现实技术的铁道车辆运行仿真系统研究[D]. 长沙: 中南大学硕士学位论文, 2009: 7-8.

[5] 赵斌. 汽车操纵稳定性视景仿真建模及驱动技术研究[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2005: 41-42.

[6] 陶利民. 基于 ADAMS/Car 的非独立悬架轻型客车操纵稳定性和行驶平顺性仿真研究[D]. 上海: 上海交通大学硕士学位论文, 2010: 1-2.

[7] Escalona J L, Chamorro R. Stability analysis of vehicles on circular motions using multibody dynamics [J]. Nonlinear Dynamics, 2008, 53(3): 237-250.

[8] Kljuno E, Williams R L. Vehicle simulation system: controls and virtual-reality-based dynamics simulation [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2008 52(1): 79-99.

[9] Lu P P, Ji P, Jing J H, et al. Application of powertrain model for vehicle dynamic simulation [C] // Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology (IC CET), April 16-18, 2010, Chengdu, China. [S. l.]: IEEE Press, 2010, 6: 63-66.

[10] Bixel R A, Heydinger G J, Durisek N J, et al. Developments in vehicle center of gravity and inertial parameter estimation and measurement [C] // SAE Publication SP-1083. Accident Reconstruction: Technology and Animation V. Proceedings of the International Congress and Exposition, February 27-March 2, 1995, Detroit, Michigan, USA. [S. l.]: Society of Automotive Engineers, 1995: 219-230.

[11] GB/T 6323. 1—1994, Controllability and stability test procedure for automobiles; Pylon course slalom test [S]. National Technical Committee of Auto Standardization. Beijing: Standardization Administration of China, 1994.

[12] 李钊, 李建军, 李冰, 等. 海量数据纹理映射技术研究[J]. 无线电通信技术, 2011(4): 34-36.
LI Zhao, LI Jianjun, LI Bing, et al. Research of mass data texture mapping technology [J]. Radio Communications Technology, 2011(4): 34-36.

[13] 马东阳. 虚拟现实技术在车辆操纵稳定性试验中的应用研究[D]. 沈阳: 东北大学硕士学位论文, 2008: 32-38.

[14] 马立军. 基于虚拟现实技术的车辆四轮转向性能的仿真研究[D]. 沈阳: 东北大学硕士学位论文, 2008: 51-68.

[15] 刘世彬, 刘兴彦, 汪成, 等. Vega 软件中利用 Lynx 进行二次开发[J]. 网络与信息, 2008(12): 33.
LIU Shibin, LIU Xingyan, WANG Cheng, et al. Vega software using Lynx for secondary development [J]. Network & Information, 2008(12): 33.

[16] 王蕾蕾. 基于 MultiGen/Vega 飞行事故分析三维再现系统的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学硕士学位论文, 2008: 31-32.