

DOI:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.09.014

农业装备虚拟试验系统平台的建立^{*}

臧宇 朱忠祥 宋正河 王猛 华博 毛恩荣

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

【摘要】 针对农业装备数字化设计技术研究的需求,利用虚拟现实场景建模工具 MultiGen Creator 和实时场景驱动软件 Vega Prime,结合 VC++ 编程语言,开发出一套完整的农业装备虚拟试验系统平台。阐述了系统平台的软硬件组成、功能、结构以及系统的开发流程,对建模过程中运用到的方法、步骤和所涉及到的关键技术进行了研究,此外对 Vega Prime 应用中的关键技术和难点进行了探讨。测试试验表明,该系统平台运行稳定,具有可靠性和有效性。

关键词: 农业装备 虚拟现实 虚拟试验系统 三维建模 视景仿真

中图分类号: TP391.9; S22; N33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)09-0070-05

Establishment of Virtual Experiment System Platform for Agricultural Equipment

Zang Yu Zhu Zhongxiang Song Zhenghe Wang Meng Hua Bo Mao Enrong

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract

In order to meet the requirements of digital design technology of agricultural equipments, a virtual experiments system platform on agricultural equipments by using MultiGen Creator, Vega Prime software and VC++ programming language was developed. The whole component of the virtual experiment system platform was introduced, together with its function, framework, and system process. Furthermore, the methods, processes and other key techniques related to the modeling process were discussed as well. The key techniques and difficult points of Vega Prime application were analyzed, such as dynamics simulation of custom model and realization of motion. The experimental results show stable operation of the system with the reliability and validity.

Key words Agricultural equipment, Virtual reality, Virtual experiment system, 3-D modeling, Scene simulation

引言

从广义上讲,虚拟试验是指在计算机系统中以软件代替部分硬件或全部硬件,使试验者可以如同在真实环境中一样完成各种预定的试验项目,使所取得的试验效果接近或等价于在真实环境中所取得的效果^[1]。目前在车辆工程方面针对虚拟试验的研究,绝大多数结合了 ADAMS 或 Matlab/Simulink 软件平台,研究方向主要集中在车辆的操纵稳定性

和平顺性,车辆碰撞试验以及发动机性能仿真等方面^[2-6],而基于虚拟现实的车辆试验在目前并不多见。在农业装备制造行业,应用基于虚拟现实技术的试验方法进行产品设计和检测的研究也很少。若将虚拟现实技术应用于农业装备数字化设计中,进行农业装备虚拟试验,不仅会大大缩短拖拉机设计周期,节省研制费用,而且会提高设计质量,具有安全可靠、重复性好的特点,对拖拉机设计创新也具有一定的意义。本文将虚拟现实技术引入到农业装备

收稿日期: 2009-10-23 修回日期: 2010-03-18

^{*} “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2006BAD11A01)

作者简介: 臧宇,博士生,主要从事车辆虚拟现实研究,E-mail: zyxx_427@163.com

通讯作者: 宋正河,副教授,博士生导师,主要从事农业装备数字化设计研究,E-mail: songzhenghe@cau.edu.cn

设计中,建立用于拖拉机试验的虚拟现实系统平台。

1 农业装备虚拟试验系统平台的设计方案

1.1 设计原则和要求

农业装备虚拟试验系统平台主要应用于拖拉机的性能试验和田间试验,因此系统需要根据拖拉机的试验要求以及作业特点,遵循开放性、扩展性以及重用性的原则,结合虚拟样机技术,进行拖拉机的运动学和动力学仿真。使用户可以在虚拟环境下控制拖拉机模型,进行相应的拖拉机试验。

1.2 系统平台的功能

针对农业装备数字化设计技术研究需求,系统需要具备如下功能:①逼真的试验场环境和田间作业环境,包括试验场的三维地形、土壤、周围视景以及天气效果等。②试验场的漫游和实体模型的可视化。③运动碰撞检测响应,以及拖拉机行驶姿态和位置高程信息的实时显示和提取。④视点切换和输

入控制,使用键盘、鼠标、方向盘、操纵杆等虚拟外设进行交互控制。⑤对拖拉机模型进行运动学、动力学分析计算,根据结果进行牵引性能、制动性能和转向操纵性能等拖拉机性能的模拟仿真,使观察者可沉浸其中,体验试验中拖拉机的状态变化。⑥网络通讯接口,进行实时数据传输。

1.3 系统的软硬件环境

为实现以上功能需求,系统平台选用 Windows XP 操作系统,以 MultiGen Creator 和 Vega Prime 分别作为建模软件和视景仿真软件,在 VC++ 开发环境下进行系统的研制和开发。选用三通道环幕沉浸式被动立体显示系统,采用基于 PC 网络的体系结构,共由 6 台计算机组成,其中一台计算机作为主控计算机,负责接受用户的交互信息和图形的计算以及绘制,另外 5 台计算机作为从计算机,仅负责图形的计算和绘制。所有计算机的硬件配置完全相同,系统的物理结构如图 1 所示。

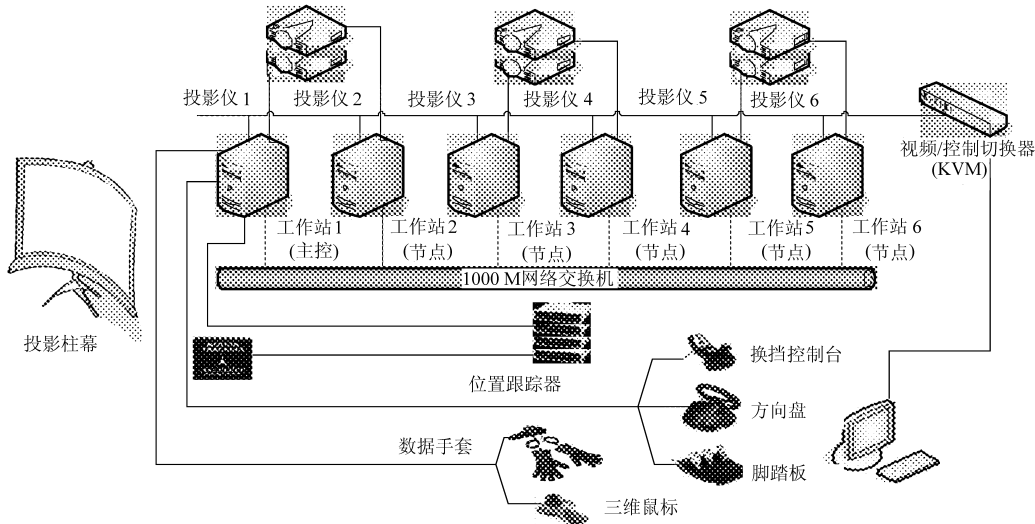


图 1 系统物理结构示意图

Fig. 1 Structural sketch map of system

进行拖拉机虚拟试验要求系统具有高度的沉浸感和运行的实时性,系统必须达到 30 帧/s 以上的图像生成能力,并且要实时地对用户的交互信息进行数据处理和计算,尽可能降低系统延迟,因此系统平台应达到以下要求:①宽视野、高分辨率、高清晰度的三维图形显示。②高性能分布式图形并行计算与绘制。依据上述要求,系统选用如下硬件设备,具体规格型号如表 1 所示。

2 典型试验场景的建立

2.1 场景建模

拖拉机虚拟试验需要在一定的虚拟试验场景中进行。本系统中拖拉机试验场景主要由道路试验场、田间作业环境及其他场景组成,包括试验路段、

房屋、公共设施(指示牌、路灯)等,其中试验场环境部分将主要用于拖拉机性能试验,因此需要建立平直路、搓板路、斜坡路(20°坡角)、农田沙土路等典型试验道路,同时道路需按照标准规范保证其线形、坡度等特征。本课题依据中国农业机械试验中心试验场的实测数据,建立了拖拉机试验场,如图 2 所示,具体建模过程如图 3 所示。

(1) 在道路试验场的核心区域,利用 Road 模块建立了 250 m × 100 m 的环形跑道,并定义了道路宽度、圆弧半径、道路超高、平曲线长度等参数。此外还建立了交替颠簸路面、视野测试路面、搓板路以及坡路等典型试验道路。

(2) 模型中建立了 200 m × 300 m 的农田试验场地,并将其分割为 600 个地块,利用 switch 节点分

表 1 系统硬件组成

Tab.1 Hardware component of system

名称	设备规格、型号	功能	数量
投影柱幕	高 2.5 m,宽 7.45 m,增益 4.0,水平视场 135°	大视角显示系统,使用户能够感受高度的沉浸感	1
投影仪	Optoma EP776	将生成的视景投射到投影柱幕上	6
偏振镜片	100 mm × 100 mm	用以实现对某一方向入射光的阻挡,滤除反射光,从而实现立体显示	6
图形加速卡	Quadro FX3450	用来对图形处理进行加速,帮助完成三通道的视景生成和加速渲染	6
KVM 切换器	ATEN CS9138	用一组键盘、显示器和鼠标,控制 6 台计算机主机,节省大量空间,提高工作效率	1
网络交换机	S1216	负责提供网络数据的传输功能	1
三维鼠标	3Dconnexion Space Ball5000	进行模拟操纵,单手实现漫游,为虚拟试验和操作提高效率、增加真实感	1
数据手套	5DT Data Glove(5 Ultra Left & 14 Ultra Right)	用于实现虚拟人机交互的动作捕捉及仿真	2
位置跟踪器	Ascension Flock of Birds, 5 6-DOF Sensor with 10 ft (3 m) Cable and Long-Range	追踪 5 个感应器,用于对头部和手部的位置及角度进行判断、追踪	1
游戏方向盘模拟器	罗技 G25 双引擎力反馈天驹方向盘	由方向盘、脚踏板以及换挡控制台构成,为系统提供最真实的驾驶体验	1
多媒体音箱	YAMAHA RX-V361	在交互过程中加入声音,增加系统的真实感和沉浸感	1

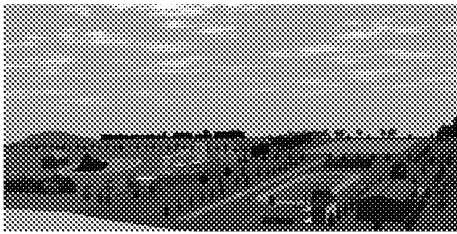


图 2 虚拟试验系统平台三维场景模型

Fig.2 3-D scene model in virtual experiment system

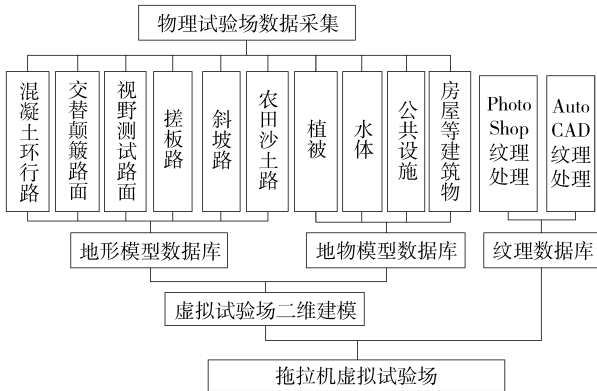


图 3 虚拟试验场建模流程图

Fig.3 Modeling flowsheet of virtual proving ground

块索引技术对其进行设置,令每个节点包含附着系数、高程变化等不同属性信息。

(3) 建立简单的房屋模型,并为其添加纹理和材质;利用 Billboard 技术建造标志牌及树木模型,并利用实例以及阵列技术将其复制到场景的其他位置。

(4) 在非试验场区域,绘制草地、河流等的二维

模型,并将处理后的纹理分别映射到模型表面,之后在规定的坐标处拉伸一定的高度,构建草地的起伏以及山脉的场景,并设置 LOD 细节层次。

2.2 拖拉机建模

拖拉机三维模型是农业装备虚拟试验系统平台运行的关键实体,要求模型比较精确,而 Creator 软件无法完成细节方面的精确建模,因此本文根据东方红某型号轮式拖拉机的实际数据,利用 UG 软件完成拖拉机模型的三维尺寸、材质、颜色等外观特征建造。由于目前虚拟现实软件不支持 CAD 实体模型的直接导入,因此,必须将拖拉机模型数据进行转换,再应用到虚拟现实视景系统中。本文在 VC++ 编程环境下,运用中间格式文件法,把拖拉机模型数据导出成包含三角形网格模型的数据信息(VRML 文件),再对文件中模型外观信息进行解析,最后以 VRML 文件中提取出的顶点、法向量及材质等重构信息为基础,结合 OpenFlight API 二次开发,写成了具有工业标准格式的模型。一个经格式转换后的拖拉机模型如图 4 所示,模型外观形状与材质保持完好,并且建立了符合 OpenFlight 模型思想的层级数据结构。

3 虚拟试验系统的实现

3.1 实时驱动开发环境 Vega Prime

在模型建造完成后,需要根据实际虚拟试验的项目要求来驱动模型。MultiGen Paradigm 公司的



图4 经格式转换后的拖拉机模型在 Creator 中显示

Fig.4 Converted tractor model

Vega Prime 就是专门应用于实时视景仿真、声音仿真和虚拟现实等领域的渲染环境软件,它是一个跨平台实时工具,构建在 VSG (Vega Scene Graph) 框架之上,是 VSG 的扩展 API,包括一个图形用户界面 Lynx 和一系列用 C++ 实现的库文件和头文件。

3.2 基于 Vega Prime 的应用程序框架

Vega Prime 主程序包括初始化、定义、配置、帧循环、关闭 5 个部分。

(1) 初始化 (initialization)——初始化静态变量、单例类、模块界面和内核,分配内存,初始化场景和渲染库,以及初始化 ACF 剖析程序等。

(2) 定义 (definition)——加载已经配置好的 ACF 文件,在这里,ACF 文件能自动转为 C++ 程序。

(3) 配置 (configuration)——读入 ACF 文件中的数据,将不同的类关联起来,对场景作预处理,以便渲染时调用。

(4) 帧循环 (runtime loop)——渲染、刷新场景,构成整个应用程序的循环。

(5) 关闭 (shutdown)——清除场景中的对象,结束各模块以释放它们在实际应用中所占用的内存,终止多线程,结束整个程序。

以下程序段显示了系统基本的 Vega Prime 应用程序框架:

```
#include <vpApp.h>

int main(int argc, char * argv[])
{
    vp::initialize(argc, argv); // 初始化 VP 模块

    vpApp * app = new vpApp; // 创建一个 vpApp 实例

    app->define(argv[1]); // 读入 ACF 文件
    app->configure(); // 配置应用
    app->run(); // 进入帧循环
    app->unref(); // 取消引用
```

```
vp::shutdown(); // 关闭 VP 模块
return 0;
}
```

本文中应用 Vega Prime 程序进行拖拉机虚拟试验的流程如图 5 所示。

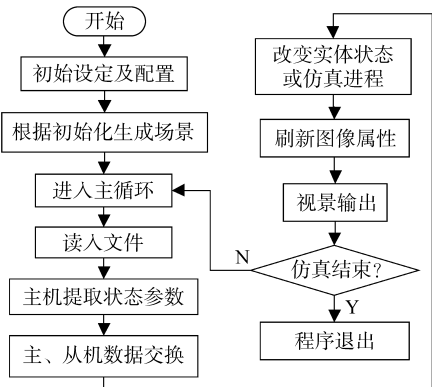


图5 拖拉机虚拟试验程序流程图

Fig.5 Flowsheet of virtual experiment for tractor

3.3 拖拉机动力学模型的建立和驱动

拖拉机动力学分析是虚拟试验系统的基础,其功能是对拖拉机整车或机组进行性能测试,为虚拟试验提供动力学分析数据,驱动虚拟试验场景中的拖拉机运动。

3.3.1 动力学模型的建立

本系统建立了一个用于实时仿真的拖拉机动力学模型,该模型包括整车模型、发动机模型、传动系模型、制动器模型、转向系统模型和轮胎模型等。该模型中驾驶员—拖拉机—虚拟环境组成一个闭环系统,驾驶员的实时控制可以作用到拖拉机上,实现拖拉机转向、加速/减速和制动等操作行为的模拟,让驾驶员在虚拟环境中体验到控制的效果。

3.3.2 拖拉机运动的实现

在控制拖拉机运动过程中,模型位姿参数的改变操作可以通过 Vega Prime 中 vpTransform 类来完成,其中函数 getTranslate()、getRotate() 主要返回控制对象、运动模型的位置和姿态信息;而在交互过程中改变了信息中的 x、y、z 坐标以及 h (横摆角)、p (俯仰角)、r (侧倾角) 之后,可以通过 setTranslate() 和 setRotate() 设定新的位姿信息。由此,就可以实现场景中模型基本参数变化。

以车轮转动和车身驱动为例,具体程序如下:

```
double m_dVelocity; // 定义速度变量
vpObject * m_tractor; // 定义对象为拖拉机
vsDOF * m_LFrontWheelDof; // 定义左前轮自由度

m_tractor = vpObject::find (" myObject _
Tractor"); // 得到拖拉机对象
```

```

myNode = m_tractor → find_named
("LFrontWheel");

m_LFrontWheelDof = (vsDOF *) myNode; // 得到左前轮对象

/* 得到拖拉机姿态信息 */

m_tractor → getTranslate (&m_dPositionX, &m_dPositionY, &m_dPositionZ);

m_tractor → getRotate (&m_dHeading, &m_dPitch, &m_dRoll);

/* 调用动力学模型计算拖拉机新位姿信息 */

m_dPositionX += m_dVelocity * m_dDeltaTime * cos(m_dHeading/180.0 * PI);

:

m_tractor → setTranslate (m_dPositionX, m_dPositionY, m_dPosZ); // 更新拖拉机的位姿信息

m_LFrontWheelDof → setRotateH (m_dVelocity/0.6388 * m_dDeltaTime * 180/PI, true); // 更新车轮信息

```

3.3.3 试验实例

依据以上方法和思路,建立了农业装备虚拟试验系统平台,经过 VC++ 编写驱动文件以后生成的可执行文件. exe 的仿真效果如图 6 所示。在所建立的农业装备虚拟试验系统平台上进行某型号拖拉机加减速测试试验,系统运行界面如图 7 所示,拖拉机速度、加速度随时间的变化曲线如图 8 所示。测试试验证明了系统的有效性和可行性。

4 结束语

基于传统的拖拉机性能检测方式,利用多通道沉浸式的虚拟现实技术,建立了一套完整的农业装备虚拟试验系统平台,并且能够进行初步的拖拉机性能试验。检测试验表明,该系统平台能够提供大

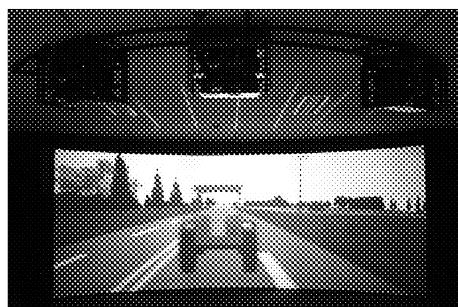


图 6 虚拟试验系统平台上生成的典型试验场景

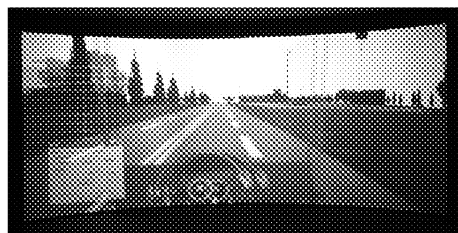


图 7 农业装备虚拟试验系统运行界面

Fig.7 Operation interface of virtual experiment system platform

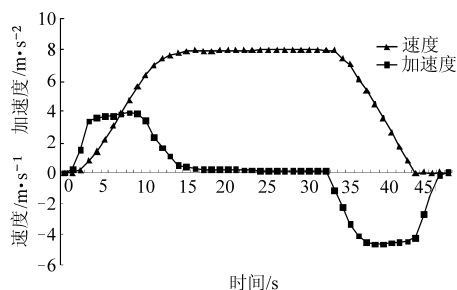


图 8 速度-加速度-时间变化曲线

Fig.8 Velocity - acceleration - time curve

范围的视野、高分辨率的立体影像,支持多个用户同时观看使用,能够使观察者沉浸其中,更加直接和直观的感受试验过程,具有高度的沉浸感、构想性和有效性,为拖拉机的性能试验提供了一种研究手段和方法支持。

参 考 文 献

- 江发潮,曹正清,陈全世. 虚拟试验技术及其在车辆上的应用[J]. 拖拉机与农用运输车,2004,7(4):3.
Jiang Fachao, Cao Zhengqing, Chen Quanshi. Virtual test technology and the application on the vehicle[J]. Tractor & Farm Transporter, 2004, 7(4): 3. (in Chinese)
- 李发宗. 汽车侧面碰撞虚拟试验技术的研究[D]. 武汉:武汉理工大学,1998.
Li Fazong. A study on the virtual test technique of automobile side impact[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 1998. (in Chinese)
- 雷良育. 基于虚拟现实的汽车平顺性仿真试验系统及其关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2005.
Lei Liangyu. A study on simulation test system of vehicle ride comfort based on VR and its key technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005. (in Chinese)
- Wu Dalin, Zheng Zhigang, Ma Jisheng, et al. Modeling and simulation of a self-propelled gun base on the virtual prototype technology[C]//Proceedings of 6th International Symposium on Test and Measurement: Vol. 9, Liaoning, 2005.

- 4 亢春雨,赵春青. 鸡胸肉盐溶蛋白质热诱导凝胶保水性的研究[J]. 食品科学,2007,28(1):50~53.
Kang Chunyu, Zhao Chunqing. Study on WHC of heat-induced gelation of CB salt-soluble protein [J]. Food Science, 2007, 28(1):50~53. (in Chinese)
 - 5 Gang Liu, Xiong Y L. Gelation of chicken muscle myofibrillar proteins treated with protease inhibitors and phosphates[J]. J. Agric. Food Chem., 1997, 45(9): 3 437~3 442.
 - 6 徐幸莲,王霞,周光宏,等. 磷酸盐对肌球蛋白热凝胶硬度、保水性和超微结构的影响[J]. 食品科学,2005,26(3): 42~46.
Xu Xinglian, Wang Xia, Zhou Guanghong, et al. Effect of phosphates on heat-induced gelation properties of myosin from rabbit skeletal muscles[J]. Food Science, 2005, 26(3): 42~46. (in Chinese)
 - 7 徐幸莲,周光宏,黄鸿兵,等. 蛋白质浓度、pH值、离子强度对兔骨骼肌肌球蛋白热凝胶特性的影响[J]. 江苏农业学报,2004,20(3):159~163.
Xu Xinglian, Zhou Guanghong, Huang Hongbing, et al. Effects of protein concentration, pH value and ionic strength on heat-induced gel properties of myosin from rabbit skeletal muscle[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences,2004,20(3):159~163. (in Chinese)
 - 8 孔保华,刁新平,郑冬梅. 磷酸盐和氯化钙对牛肉凝胶特性的影响[J]. 东北农业大学学报,2004,35(5):573~577.
Kong Baohua, Diao Xinping, Zheng Dongmei. The effect of phosphate and calcium chloride on gel properties of beef surimi [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(5):573~577. (in Chinese)
 - 9 秦卫东,尹秋霞. 狗肉肌肉蛋白质胶凝化特性的研究[J]. 徐州工程学院学报,2005,20(1):98~103.
Qin Weidong, Yin Qiuxia. Study on gelling characters of muscle proteins of dog-meat[J]. Xuzhou Institute of Technology, 2005, 20(1):98~103. (in Chinese)
 - 10 Peter J, Torley, Bruce R D, et al. The effect of ionic strength, polyphosphates type, pH, cooking temperature and preblending on the functional properties of normal and PSE pork[J]. Meat Science, 2000,55(4):451~462.
 - 11 Verbeke D, Neirincx N, Meeren PVD, et al. Influence of K-carrageenan on the thermal gelation of salt-soluble meat proteins[J]. Meat Science, 2005,70(1):161~166.
 - 12 Trespalacios P, Pla R. Simultaneous application of transglutaminase and high pressure to improve functional properties of chicken meat gels[J]. Food Chemistry, 2007,100(1):264~272.
 - 13 华侨大学化工系. 食品胶和工业胶手册[M]. 福州:福建人民出版社,1987:25~28.
-

(上接第74页)

- 5 王国权,王树凤,李世雄,等. 汽车操纵稳定性的虚拟试验技术[J]. 上海交通大学学报,2006,40(1):172~176.
Wang Guoquan, Wang Shufeng, Li Shixiong, et al. The virtual environment test technique on vehicle handling and stability [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2006, 40(1): 172~176. (in Chinese)
- 6 周文辉. 基于 MultiGen Creator 的汽车虚拟试验平台仿真研究[D]. 西安:长安大学,2008.
Zhou Wenhui. Research on virtual test platform for vehicle based on MultiGen Creator[D]. Xi'an: Changan University, 2008. (in Chinese)
- 7 MultiGen-Paradigm Inc. MultiGen Creator user's guide[R]. U. S. A: MultiGen Paradigm Inc., 2004.
- 8 吴绍斌,李剑峰,高利. 车辆稳定性控制的虚拟实验[J]. 农业机械学报,2008,39(5):6~9.
Wu Shaobin, Li Jianfeng, Gao Li. Vehicle stability control approach based on virtual reality[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 6~9. (in Chinese)
- 9 申蔚. 虚拟现实技术的理论、实现及应用[D]. 北京:首都经济贸易大学,2001.
Shen Wei. The theory, implementation and application of the virtual reality technology[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2001. (in Chinese)
- 10 王蒙,夏青. 基于 PC 网络的多通道视景仿真技术[J]. 测绘学院学报,2005,22(1):54~57.
Wang Meng, Xia Qing. Visualization simulation technology for multi-view based on PC network[J]. Journal of Institute of Surveying and Mapping, 2005, 22(1): 54~57. (in Chinese)
- 11 胡立教,陈军,朱忠祥,等. 虚拟现实系统中农业装备模型转换方法[J]. 农业机械学报,2010,41(4):90~94.
Hu Lijiao, Chen Jun, Zhu Zhongxiang, et al. Model transformation of agricultural equipment in virtual reality [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(4):90~94. (in Chinese)