

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)  
英国《科学文摘》(SA, INSPEC)收录期刊  
美国《剑桥科学文摘》(CSA(T,NS))收录期刊

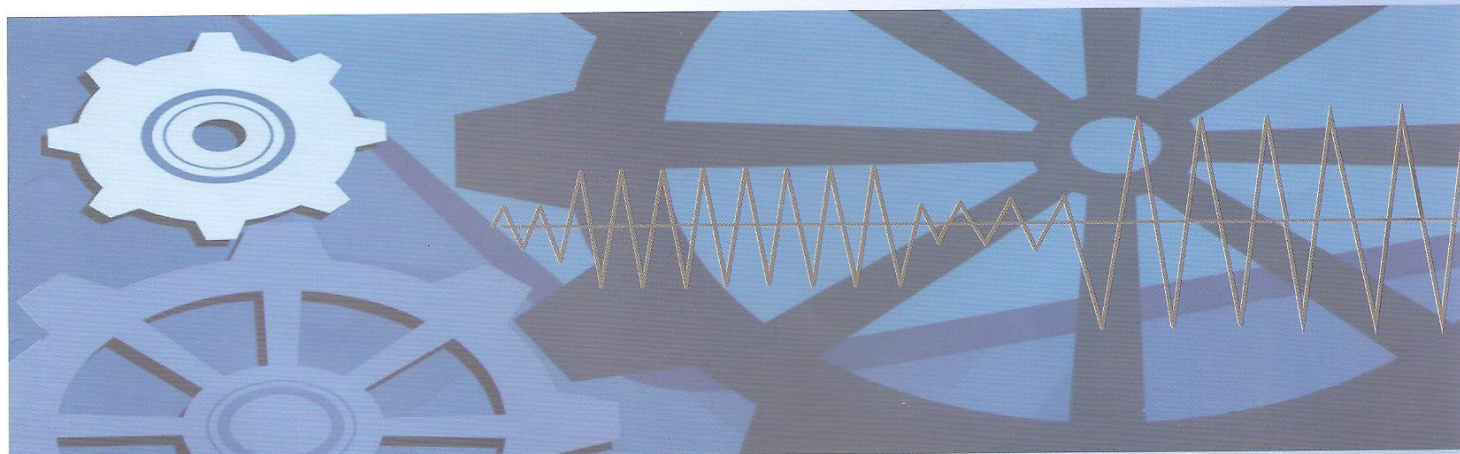
ISSN 1001-4551  
CODEN JGJOAL

# 机电工程

Jidian Gongcheng

Journal of Mechanical & Electrical Engineering

Vol. 29 No. 5 May 2012



# 5 2012

ISSN 1001-4551



浙江省机电集团有限公司、浙江大学 主办  
中国 杭州 Hangzhou, China

# 机电工程

Jidian Gongcheng

(月刊, 1971年创刊)

2012年第29卷第5期(总第207期)(月刊)

主办单位:浙江省机电集团有限公司 浙江大学

## 本刊系:

中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)

英国《科学文摘》(SA, INSPEC)收录期刊

美国《剑桥科学文摘(工程技术)》(CSA(T))收录期刊

美国《剑桥科学文摘(自然科学)》(CSA(NS))收录期刊

美国《化学文摘》(CA)收录期刊

美国《乌利希期刊指南》(UPD)收录期刊

波兰《哥白尼索引》(IC)收录期刊

“中国核心期刊(遴选)数据库”收录刊源

“万方数据库数字化期刊群”入网期刊

“中国期刊网”收录刊源

中国机械工程学会优秀期刊

主管单位 浙江省机电集团有限公司

主办单位 浙江省机电集团有限公司

浙 江 大 学

社 长 赵 群

主 编 赵 群

副 主 编 唐任仲 罗向阳

责任编辑 张 翔

承 办 浙江省机械工业情报研究所

编辑出版 浙江《机电工程》杂志社

地 址 浙江省杭州市大学路高官弄9号

邮 编 310009

电 话 (0571)87041360, 87239525

传 真 (0571)87239571

网 址 www.meem.com.cn

电子信箱 meem\_contribute@163.com

中国标准连续出版物号 ISSN 1001-4551  
CN33-1088/TM

广告经营许可证 3301004000063

国内发行 浙江省报刊发行局

国内订阅 全国各地邮局

邮发代号 32-68

国内定价 12.00元/册

国外发行 中国出版对外贸易总公司(北京782信箱)

国外代号 MO3135

出版时间 2012年5月20日

印 刷 杭州创嘉印刷文化有限公司

## 第八届编委会名单

### 主 任

陈子辰 浙江大学教授

### 副主任

张立彬 浙江工业大学教授

褚 健 浙江大学教授

谭建荣 中国工程院院士, 浙江大学教授

闻邦椿 中国科学院院士, 东北大学教授

李大柯 浙江省机械工业联合会高级工程师

谢开炎 浙江省电机动力学会教授级高工

### 编委(以汉语拼音为序)

陈庆章浙江工业大学教授, 陈文华浙江理工大学教授, 陈鹰浙江大学教授, 陈子辰浙江大学教授, 褚健浙江大学教授, 戴文战浙江理工大学教授, 丁国良上海交通大学教授, 丁天怀清华大学教授, 管平浙江机电职业技术学院教授, 何钦铭浙江大学教授, 何卫杭州机床集团有限公司高级工程师, 何勇东华大学教授, 侯亮厦门大学教授, 黄东明浙江省农业机械研究院教授级高工, 黄勇美国克莱姆森大学教授, 计时鸣浙江工业大学教授, 简祯富台湾清华大学教授, 金晓宏武汉科技大学教授, 孔凡让中国科学技术大学教授, 孔祥东燕山大学教授, 李大柯浙江省机械工业联合会高级工程师, 刘旭浙江工业大学教授, 马光温州大学教授, 梅佳毕美国韦恩州立大学教授, 拿比尔·耿迪英国诺丁汉大学教授, 祁国宁浙江大学教授, 祁连美国新泽西州立大学教授, 沈又幸浙江省电力设计院教授级高工, 施游立中国科学院国家天文台研究员, 谭建荣中国工程院院士, 浙江大学教授, 谭青中南大学教授, 唐任仲浙江大学教授, 屠柏锐杭州锅炉集团有限公司教授级高工, 王庆明华东理工大学教授, 王万良浙江工业大学教授, 王兴松东南大学教授, 王亚卡轻工业自动化研究所教授级高工, 闻邦椿中国科学院院士、东北大学教授, 吴作伦浙江科技学院教授, 肖宏科学出版社编审, 谢开炎浙江省电机动力学会教授级高工, 谢平浙江省机电集团有限公司, 严建华杭州汽轮机股份有限公司教授级高工, 叶飞帆绍兴文理学院教授, 张立彬浙江工业大学教授, 张云电杭州电子科技大学教授, 赵群浙江省机械工业情报研究所高级工程师, 周晓勤吉林大学教授, 周泽魁浙江大学教授, 朱善安浙江大学教授, 宗福季香港科技大学教授

# Journal of Mechanical & Electrical Engineering

Sponsor: Zhejiang Machinery and Electrical Group; Zhejiang University  
Edited by: Editorial Office of Journal of Mechanical & Electrical Engineering  
Chief Editor: ZHAO Qun  
Vice Chief Editor: TANG Ren-zhong, LUO Xiang-yang  
Tel: 86-571-87041360, 87239525  
Fax: 86-571-87239571

Foreign: China General Corporation of Publishing and Foreign Trade (P. O. Box 782, Beijing, China)  
http: //www.meem.com.cn  
E-mail: meem\_contribute@163.com  
Add: No. 9 Gaoguannong, Daxue Road, Hangzhou, China  
P.C.: 310009

## EDITORIAL BOARD

- |   |  |   |
|---|--|---|
| CHEN Qing-zhang<br>(Zhejiang University of Technology, China)                     | (University of Science and Technology of China, China)                                       | (Southeast University, China)   |
| CHEN Wen-hua<br>(Zhejiang Sci-Tech University, China)                             | KONG Xiang-dong<br>(Yanshan University, China)   | WANG Ya-ka<br>(Light Industry Automation Research Institute, China)                         |
| CHEN Ying<br>(Zhejiang University, China)   | LI Da-ke<br>(Zhejiang Machinery Industry Federation, China)                                  | WEN Bang-chun<br>(Academician of the Chinese Academy of Science, Dongbei University, China) |
| CHEN Zi-chen<br>(Zhejiang University, China)                                      | LIU Xu<br>(Zhejiang University, China)   | WU Zuo-lun<br>(Zhejiang University of Science and Technology, China)                        |
| CHU Jian<br>(Zhejiang University, China)  | MA Guang<br>(Wenzhou University, China)  | XIAO Hong<br>(Science Press, China)   |
| DAI Wen-zhan<br>(Zhejiang Sci-Tech University, China)                             | O. Mejabi<br>(Wayne State University, USA)   | XIE Kai-yan<br>(Zhejiang Society of Electric Power, China)                                  |
| DING Guo-liang<br>(Shanghai Jiaotong University, China)                           | Nabil Gindy<br>(University of Nottingham, UK)  | XIE Ping<br>(Zhejiang Machinery and Electrical Group, China)                                |
| DING Tian-huai<br>(Tsinghua University, China)                                    | QI Guo-ning<br>(Zhejiang University, China)  | YAN Jian-hua<br>(Hangzhou Steam Turbine Co., Ltd., China)                                   |
| GUAN Ping<br>(Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, China) | QI Lian<br>(New Jersey City University, USA)   | YE Fei-fan<br>(Shaoxing University, Professor)  |
| HE Qin-ming<br>(Zhejiang University, China)                                       | SHEN You-xing<br>(Zhejiang Provincial Electric Power Design Institute, China)                | ZHANG Li-bin<br>(Zhejiang University of Technology, China)                                  |
| HE Wei<br>(Hangzhou Machine Tool Group Co., Ltd., China)                          | SHI Hu-li<br>(National Astronomical Observatories, CAS, China)                               | ZHANG Yun-dian<br>(Hangzhou Dianzi University, China)                                       |
| HE Yong<br>(Donghua University, China)  | TAN Jian-rong<br>(Academician of Chinese Academy of Engineering, Zhejiang University, China) | ZHAO Qun<br>(Zhejiang Information Institute of Machinery Industry, China)                   |
| HOU Liang<br>(Xiamen University, China)   | TAN Qing<br>(Central South University, China)  | ZHOU Xiao-qin<br>(Jilin University, China)  |
| HUANG Dong-ming<br>(Zhejiang Institute of Agricultural Machinery, China)          | TANG Ren-zhong<br>(Zhejiang University, China)   | ZHOU Ze-kui<br>(Zhejiang University, China)   |
| HUANG Yong<br>(Clemson University, USA)   | TU Bo-rui<br>(Hangzhou Boiler Group Co., Ltd., China)  | ZHU Shan-an<br>(Zhejiang University, China)   |
| JI Shi-ming<br>(Zhejiang University of Technology, China)                         | WANG Qing-ming<br>(East China University of Science and Technology, China)                   | Tsung Fugee<br>(Hong Kong University of Science and Technology, China)                      |
| JIAN Zhen-fu<br>(National Tsing Hua University, China)                            | WANG Wan-liang<br>(Zhejiang University of Technology, China)                                 |   |
| JIN Xiao-hong<br>(Wuhan University of Science and Technology, China)              | WANG Xing-song   |   |
| KONG Fan-rang   |  |   |

The *Journal of Mechanical & Electrical Engineering* is abstracted and indexed in: **Source Journals for Chinese Sci-tech Papers and Citations (Chinese Sci-tech Core Periodicals)**, **Science Abstracts (SA, INSPEC)**, **Cambridge Science Abstracts: Technology (CSA (T))**, **Cambridge Science Abstracts: Nature Science (CSA (NS))**, **Chemical Abstracts (CA)**, **Ulrich's Periodicals Directory (UPD)**, **Index of Copernicus (IC)**.

# 目次

## 本刊特约专稿

基于模糊PID控制的直流电机同步控制系统.....王庆明,孙怡(493)

## 机械、仪表技术

齿轮轴激光熔覆轴变形的数值分析.....傅强,金振俊,汤军,等(497)

基于DSP的新型电参数测量仪设计.....陈国茜,颜文俊(501)

基于磨削齿轮方式修整齿轮误差的分析.....刘铁军,孙宝玉,张西龙(506)

蛇形机器人的机构设计及运动分析.....张玲玲,曲泽超(512)

外部全景仿真的汽车模拟运行平台设计与实现.....肖雪骥,吴牧州,李建韬,等(516)

基于ANSYS的注塑机前模板拓扑优化.....杨安(521)

基于虚拟样机技术的电动切卡机创新设计及仿真优化.....贾相武,胡树根(525)

太阳系模型的设计与研究.....秦龙,严思杰,廖黎波,等(529)

500 kV变压器油自动取样装置.....石川,赵铁柱,刘灿培(533)

## 机电一体化技术

电梯门机伺服系统谐波抑制策略仿真分析.....任彧,莫雪娟(536)

基于MMC21xMG的车位检测系统的设计与实现.....金华强,张有兵,夏小根(541)

自主调节跟踪的太阳能装置及控制方法.....朱俊昊,何中杰(545)

基于PLC的助剂配送自动控制系统.....付贺檀,向忠,史伟民(549)

## 电工技术

基于飞轮储能和蓄电池的微电网控制策略.....刘霞,江全元(553)

基于禁忌搜索算法的电磁场逆问题鲁棒优化设计.....曹可建,杨仕友,吴烈(559)

基于模块化多电平的统一潮流控制器拓扑设计.....连霄壤(563)

频率大范围变换下的电能计量.....徐惜琼,竺红卫(568)

多种群蚁群算法解机组组合优化.....王威,李颖浩,龚向阳,等(572)

基于相似性建模的发电机组设备故障预警系统.....常剑,高明(576)

隐式精细积分算法在电力系统暂态稳定分析中的应用.....赵志奇,王建全(580)

配电变压器经济运行控制系统的设计及实现.....茹蔚康,陈雨,张萍,等(584)

风力发电机组变桨系统的设计.....胡国强(588)

输电线路绝缘子在线监测及电网防污闪分析.....何锦雄(593)

简易的5 V/2 A不断电电源设计.....吴尚明,徐军明(596)

## 自动化、计算机技术

基于ZigBee的光伏路灯网络运营系统.....张弛,张成俊,吴晓光(600)

基于梯形图复杂依赖关系的分解研究.....赵营,严义(605)

编码技术在SC-FDE系统中的应用研究.....王克,刘顺兰(609)

多目标跟踪算法在水质监测中的应用.....胡江龙,方景龙,王大全(613)

## 综述

国内外森林灭火弹发射装置研究现状.....陈吉潮,王克印,刘耀鹏(616)

## 广告索引

浙江中控技术股份有限公司(封二) 杭申集团有限公司(封三) 杭州汽轮机股份有限公司(封四) 浙江华昌液压机械有限公司(彩插一) 浙江佳雪微特电机集团(彩插二)

**Contents****Invited Papers**

- Multi-DC motors' synchronization control system based on fuzzy PID control  
.....WANG Qing-ming, SUN Yi(493)

**Machinery and Instrumentation Technology**

- Numerical analysis of deformation of gear shaft in laser cladding on teeth surfaces  
.....FU Qiang, JIN Zhen-jun, TANG Jun, et al(497)
- Design of novel electrical parameter measurement system based on DSP .....CHEN Guo-qian, YAN Wen-jun(501)
- Analysis of modifying gear error based on grinding gear method .....LIU Tie-jun, SUN Bao-yu, ZHANG Xi-long(506)
- Mechanism design and motion analysis of snake-like robot .....ZHANG Ling-ling, QU Ze-chao(512)
- Design and realization of an automobile running platform with external panorama simulation  
.....XIAO Xue-su, WU Mu-zhou, LI Jian-tao, et al(516)
- Topology optimization of platen for injection molding machine based on ANSYS .....YANG An(521)
- Innovation design and simulation optimizing of electric card-cut machine based on virtual prototyping technology  
.....JIA Xiang-wu, HU Shu-gen(525)
- Design and research on solar system exhibits .....QIN Long, YAN Si-jie, LIAO Li-bo, et al(529)
- Automatic oil sampling equipment for 500 kV transformer .....SHI Chuan, ZHAO Tie-zhu, LIU Can-pei(533)

**Mechatronics**

- Simulation and analysis of harmonic suppression strategy in elevator door-machine servo system  
.....REN Yu, MO Xue-juan(536)
- Design and implementation of parking spaces monitoring system based on MMC21xMG  
.....JIN Hua-qiang, ZHANG You-bing, XIA Xiao-gen(541)
- Self-regulating solar tracking device and its control method .....ZHU Jun-hao, HE Zhong-jie(545)
- Design of additives distribution automatic control system based on PLC  
.....FU He-tan, XIANG Zhong, SHI Wei-min(549)

**Electrotechnical Technology**

- Control strategy of microgrid based on flywheel storage and lead-acid battery  
.....LIU Xia, JIANG Quan-yuan(553)
- Tabu search based robust design optimization for inverse problems in electromagnetic  
.....CAO Ke-jian, YANG Shi-you, WU Lie(559)
- Design of unified power flow controller topology based on modular multilevel converter .....LIAN Xiao-rang(563)
- Power measurement under wide-range frequency deviations .....XV Xi-qiong, ZHU Hong-wei(568)
- Unit commitment solved by multi colony ant optimization algorithm  
.....WANG Wei, LI Ying-hao, GONG Xiang-yang, et al(572)
- Failure prognostic system of power generating equipment based on similarity modeling  
.....CHANG Jian, GAO Ming(576)
- Application of implicit precise time-integration method in power system transient stability analysis  
.....ZHAO Zhi-qi, WANG Jian-quan(580)
- Design and implementation of distribution transformer economic operation control system  
.....RU Wei-kang, CHEN Yu, ZHANG Ping, et al(584)
- Design of wind power generators change oars system .....HU Guo-qiang(588)
- Transmission insulator on-line monitoring and analysis of power grid antipollution flashover  
.....HE Jin-xiong(593)
- Design of simple 5 V/2 A uninterruptible power system .....WU Shang-ming, XV Jun-ming(596)

**Automation and Computer Technology**

- New energy operation management system based on ZigBee  
.....ZHANG Chi, ZHANG Cheng-jun, WU Xiao-guang(600)
- Study on decomposition for LD-based complicated dependence analysis .....ZHAO Ying, YAN Yi(605)
- Application and study of code technique in SC-FDE system .....WANG Ke, LIU Shun-lan(609)
- Water quality monitoring using multi-object tracking algorithm  
.....HU Jiang-long, FANG Jing-long, WANG Da-quan(613)

**Review Papers**

- Research of forest extinguishing ammunition launcher in foreign and domestic  
.....CHEN Ji-chao, WANG Ke-yin, LIU Yao-peng(616)

# 外部全景仿真的汽车模拟运行平台设计与实现

肖雪骅, 吴牧州, 李建韬, 张弘毅  
(同济大学 中德工程学院, 上海 200092)

**摘要:** 针对当今汽车展示中由于场地空间有限等诸多因素的限制无法有效、逼真地对车辆行驶过程中的外部动态全景进行展示的问题, 结合当前市场需求与技术发展的实际状况, 以汽车模型为基础, 基于车辆行驶外部状态与全景的运行模拟, 设计了一种实用的汽车模拟运行平台, 并利用相对运动的思想与半实物仿真技术, 通过车辆(模型)、车辆姿态控制、道路姿态控制、效果景物控制4个机械子系统, 以及电子控制系统, 构成了实时控制与功能模块控制两种工作模式, 实现了平台的协同工作。最后, 对实际仿真效果进行了实验测试。研究表明: 该系统可对车辆行驶时的外部全景进行仿真模拟, 并能够仿真出汽车的多种运行状态, 是一种具有较高使用价值的汽车模拟运行平台。

**关键词:** 汽车; 外部全景; 仿真; 模拟运行; 机电协同

**中图分类号:** U461.6; TH39

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2012)05-0516-05

## Design and realization of an automobile running platform with external panorama simulation

XIAO Xue-su, WU Mu-zhou, LI Jian-tao, ZHANG Hong-yi

(Sino-German School of Applied Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** Aiming at the incapability of effective and vivid demonstration of the external dynamic panorama during the automobile's motion in automobile exhibitions, which are caused by a variety of factors such as the restriction of space, a practical automobile running simulation platform was designed and implemented. Taking into account both the current market demand and technological development of the actual situation, the platform was designed with the idea of relative motion and semi-physical simulation technology. Based on a model car, the system can provide running simulation of automobile's external state and panorama. It was realized by the cooperative work of the four mechanical subsystems, i.e. automobile (model), automobile-pose control, track-pose control and effect-scenery control, and the electronic control system with two control modes, i.e. instant control and functional module control. The simulation was tested. The experimental results indicate that the system can simulate the external panorama during the running of the automobile and multiple running states can be displayed. The platform has a high use value of automobile running simulation.

**Key words:** automobile; external panorama; emulation; running simulation; mechatronics

## 0 引 言

随着汽车产业的飞速发展, 汽车的研发、维修、驾驶、培训、销售领域对汽车驾驶模拟运行系统有着巨大的市场需求<sup>[1]</sup>。目前, 现有的汽车模拟运行系统种类繁多, 有研发领域中的系统仿真、风洞实验室、各种新技术研发试验平台, 以及各种以计算机为载体的虚拟设计与模拟仿真系统, 如文献[2]研制了基于ABS模拟路面试验台, 该试验台以车辆单一部件ABS系统为研

究仿真对象进行模拟, 如文献[3]利用虚拟仿真脱离实物进行了“人一车一路”的联合环境模拟, 又如文献[4-5]分别在车辆的设计过程中利用计算机对车辆差速器与稳定性进行了仿真设计与优化, 避免了制造实物进行验证所产生的各方面开销; 维修领域中的车辆检测、分析、诊断试验台、动平衡测量机、四轮定位台; 驾驶培训领域中经常使用的驾驶模拟仿真系统, 无需真车即可利用驾驶室内部视角进行驾车过程模拟<sup>[6]</sup>; 以上所提到的诸多系统均可在各种专业技术层面对车

收稿日期: 2011-11-16

作者简介: 肖雪骅(1990-), 男, 上海人, 主要从事机械电子工程方面的研究。E-mail: dickxiaol4@msn.com

辆的静止、运行状态进行不同程度的模拟,以汽车某一零部件(如轮胎、ABS系统、发动机系统、车身空气动力学等)为模拟对象,以大量数据对汽车的状态定量地进行分析,或者从车辆内部以驾驶员的角度呈现出基于行车实景的模拟<sup>[7]</sup>,可使驾校学员在无需面临驾车上路事故隐患的情况下体验驾车的真实感觉,即在模拟器中体验行车过程<sup>[8]</sup>,甚至利用汽车运行模拟技术对驾驶员的驾车状态信息进行反馈,如文献[9]中利用建立驾驶员疲劳状态模型,达到对驾驶操作行为的高度识别,或借助 AusEd 驾驶模拟器研究临床条件下驾驶员的疲劳强度<sup>[10]</sup>。然而,在对于汽车整体运行状态的外部模拟上,诸如在车辆性能展览、外部特征动态演示上,以上这些现有模拟系统却很难满足要求。

鉴于现有车辆模拟系统均以车辆单独零部件的工作状态模拟或驾驶模拟为重点,缺少对于汽车整体与周围场景的外部状态运行模拟<sup>[11]</sup>,本研究基于汽车自身零部件状态、车身姿态以及外部环境的变化通过相对运动来实现视觉上汽车在周围环境中向前运动的运行模拟,提出一种兼顾市场需求与技术实现难度的汽车模拟运行平台。

## 1 平台功能

该汽车模拟运行平台基于车辆外部视角,使用半实物仿真技术,模拟出车辆处于外部环境中的动态行车过程全景。通过循环播放预先编制好的程序或采取实时控制,本系统可在以下场合使用:

(1) 车辆展示。在车展的固定展位上,平台循环演示一组甚至几组预先设定好的展示动作。除了刺激购买欲之外,还可借助汽车模拟运行平台演示一些新技术的直观作用,比如演示 ABS(防抱死刹车系统)、EBD(电子制动力分配)、ESP(车身电子稳定系统)等技术有无的区别。

(2) 驾校培训。与平面媒体相比更有优势的是,汽车模拟运行平台更加直观真实地反映了汽车全方位的运行过程、所处于道路中、弯道中的位置、车身正确的姿态等,不受限于视频、图片的视角限制,提供多视角全方位的展示。还可用于赛车运动,对于初学者走线等赛车基本技巧的阐述与解释。

(3) 儿童玩具。可使儿童提前认识到运动的现象甚至建立运动是相对的概念。实在、直观的汽车模拟运行平台相对于图片、视频等更有利于刺激促进儿童各方面的发展。

## 2 平台整体架构设计

该系统以固定的汽车模型为主体,通过利用汽车

自身以及外部环境的变化来实现视觉上的汽车运行模拟。平台由机械分系统和电子控制分系统两部分组成,并通过两个分系统的协调运作实现逼真的模拟效果。

### 2.1 机械系统设计

机械系统由车辆(模型)、车辆姿态控制系统、道路姿态控制系统与效果景物控制系统组成。整体机械系统结构如图1所示。

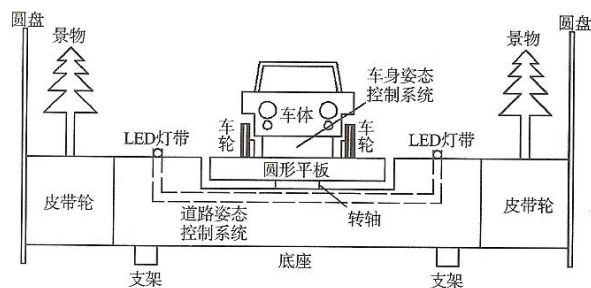


图1 汽车模拟运行平台整体机械系统架构

#### 2.1.1 车辆(模型)

车辆(模型)静止位于平台中央,具体尺寸可根据实际使用场合选择大小合适的车辆模型,甚至在车展上可使用1:1的真车进行模拟。车辆(模型)可通过车身零部件的动作实现对于行驶过程中车身部件变化与运动的仿真与模拟。该系统中车辆(模型)可完成以下动作:前后轮正反加减速转动与制动、前轮万向节左右摆动、车灯效果、雨刮器摆动。

为解决前后车轮与平台平面接触发生摩擦使车辆产生向前运动趋势的问题,该系统采用了虚接触与减小摩擦因数的手段<sup>[12]</sup>。四轮均提升至一细微高度,并采用石墨润滑剂减小车轮与平台间的摩擦因数,实现了四轮无摩擦地自由转动或减小摩擦力以形成打滑空转。实际测试结果表明,在不同的车轮转速情况下,力传感器所测得的摩擦力均在车辆与平台连接件(车身姿态控制系统)的材料强度范围之内。

#### 2.1.2 车辆姿态控制系统

车辆姿态控制系统位于车辆(模型)下方,连接车辆(模型)与平台,并控制车辆(模型)的姿态,诸如前倾、后仰、左右摆动等在车辆行驶时由惯性与离心力作用而产生的各种不同动态效果,还可展现出车辆前后悬挂的性能。

车辆姿态控制使用电子控制式螺距混控系统,即直升机姿态控制中常用的 Electronic Collective-Cyclic Pitch Mixing(ECCPM)十字盘驱动方式<sup>[13]</sup>。车辆姿态控制系统的ECCPM十字盘设计为控制点以120°夹角分布于十字盘上,消除了一般的机械混控结构,以伺服机直接驱动十字盘,并由控制系统控制完成十字盘的升降、前后摆动以及左右摆动的动作。十字盘的升降(螺

距)、十字盘的前后翻动(升降舵)与十字盘的左右翻动(副翼舵)须由3个伺服机同时动作完成。该系统采用ECCPM的优点为:一般来说,螺距控制是所有舵面控制中负载最大的,而ECCPM的螺距是由3个伺服机一同完成,其动作力量是传统十字盘的3倍,同理,升降舵也得到了3倍助力,副翼舵也有2倍的助力,这直接降低了伺服机的负担、提升了控制精度,轻量化了机身,尤其适合于展示车辆为真车的场合。伺服机直接驱动十字盘,简化了机械结构,因此它具有重量轻、易维修、成本低等优点。但是如要达到伺服机相互的混控,需对3个伺服电机同时进行控制,十字盘的控制必须支持多变量输出,由于不再是一个伺服机动作指令,车身姿态的控制依赖于后续编程才能实现。3个伺服机的同步性也需要考虑,在调试车辆姿态控制效果时比较繁琐。

总体来说,使用ECCPM十字盘结构控制车身姿态,虽然在控制、同步以及调试上的要求较高,但是可使系统的机械结构大量简化、控制精度显著提高、伺服机负担明显降低。

在电子控制式螺距混控系统下方,由一推力球轴承支撑,与平台相连,车辆(模型)与ECCPM十字盘固定在轴承上方,可由伺服机控制随轴承转动,显著减小转动时的摩擦力,达到车身在平台上左右平转的动作模拟。

车辆姿态控制系统的UG建模如图2所示。推力球轴承与平台相连,车辆(模型)固定于顶部的三角形平板。

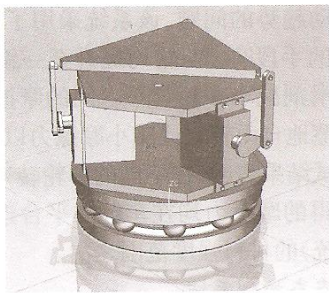


图2 车辆姿态控制系统

### 2.1.3 道路姿态控制系统

在以车为参照物,即假设车不动的情况下,道路姿态控制系统可控制道路的形状,使道路运动,通过相对运动对汽车行驶状态进行仿真。

以车身方向为纵向,在底板上横向开出3~5条通槽,每一槽里与槽同向设置一根连杆,连杆上设左右各两组固定件,在底板上纵向设置两条LED灯带(代表道路),使其通过连杆上的固定件并接受其控制,通过多组伺服机对槽中的连杆进行控制使其沿槽移动,固定件带动LED灯带上的各个节点移动,由于各个节点运动状态不同,两根灯带便会产生如同蛇一般“扭起来”的感觉。加之LED

灯带本身的张力和硬度,两条灯带可在固定件的带动下组成任意形状,自然弯曲,不会产生拐点,效果与真实道路相同。在视线完全放在车身上即以汽车为参照物的情况下,道路的变化效果恰恰如此。于是便可利用两根扭动的LED灯带模拟出道路的效果(如图3所示)。

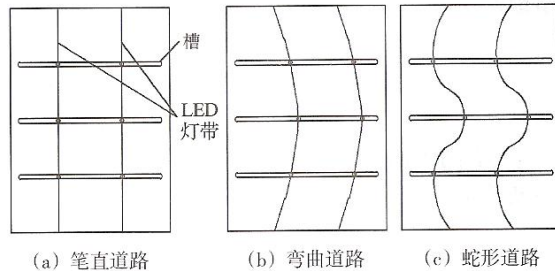


图3 道路效果模拟

每组道路姿态控制系统由支架、连杆、摇臂构成,总共有3~5组。

每组组件中,两个支架分别固定于平台下底板,连杆置于支架中,连杆两边的固定件穿过平台上面板的通槽伸出平台控制灯带,支架与连杆之间采用3个深沟球轴承连接,一个水平方向,两个竖直方向放置,减小了摩擦,从而可降低伺服机负载并提高控制灵敏度。摇臂连接伺服机与连杆。伺服机带动摇臂做左右摆动,连杆正中间的深沟球轴承在摇臂中间的通槽内滚动,以此摇臂带动连杆在支架上左右移动。在平台上表面上,灯带在连杆左右固定件的牵引下展现出各种姿态。

道路姿态控制系统的UG建模如图4所示。

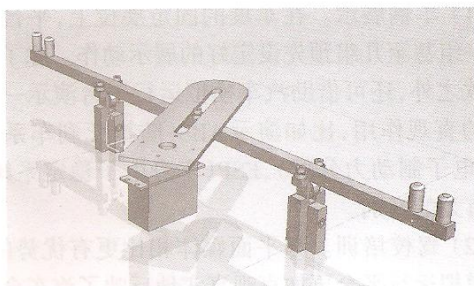


图4 道路姿态控制系统

另外,使用LED灯带上LED灯管所组成的阵列,可通过阵列中LED灯管亮灭的不同组合模拟出道路向后运动的效果,诸如在行驶的汽车上(以车为参照物)看,道路上的分道虚线一段一段地向车后运动,该效果用目前成熟的LED灯带技术非常容易达到。

### 2.1.4 效果景物控制系统

效果景物控制系统可按不同场合需求进行不同组合。该系统设计并实现了近景与远景效果、喷雾效果、声音效果。

(1) 近景。在平台两侧设置两组皮带,由前后两个



皮带轮带动,于皮带上固定各种景物(树木、房屋、行人等),皮带转动方向与车头方向相反,带动皮带上的景物做相对汽车向后的运动,产生汽车向前运动的效果。

(2) 远景。在平台两侧设置两块大型圆盘,圆盘上绘有各种景物的图案,两块圆盘由位于平台底下的转轴控制,旋转方向仍与车头方向相反,圆盘上的景物相对汽车向后运动,产生汽车向前运动的效果。

(3) 喷雾效果。由小型喷雾装置实现,从喷雾装置中接出4根软管连接至四轮下方圆形平板上开出的小孔,让烟雾从小孔喷出,打在车轮上,在车轮的自转带动下向后喷出,模仿“烧胎”的效果。

(4) 声效。由音响发出事先制作好的汽车运行声音:引擎轰鸣、变速箱排档、刹车、摩擦地面,等。

## 2.2 控制系统设计

控制系统由实时控制和功能模块控制两种控制方式组成。CPU采用89C51单片机,对车辆(模型)的前后轮电机、前轮万向节、车灯效果、雨刮器摆动;车辆姿态控制系统的3个ECCPM十字盘控制伺服机、1个推力球轴承伺服机;道路姿态控制系统的3~5个摇臂伺服机、LED灯带发光频率与速度;效果景物控制系统的近景远滚滚动伺服机、喷雾与声音效果进行控制。

### 2.2.1 实时控制系统

实时控制系统由使用者借助遥控器对平台进行实时控制。类似于遥控汽车的原理,使用者可使用遥控器上的方向盘、油门、刹车、手刹进行遥控,CPU(单片机89C51)接收到来自使用者的输入信号,经过处理后,控制平台的4块机械系统,即车辆(模型)、车辆姿态控制系统、道路姿态控制系统与效果景物控制系统,使平台实现不同运行状态的模拟。

实时控制系统具体控制过程如下:方向盘将来自使用者的方向盘左、右转动角度由电位器转换为模拟量信号后输入CPU,经处理后控制所有与车辆行驶方向变化有关的机械系统进行动作,诸如车辆前轮转向、道路形状变化以及车身姿态左右倾斜;油门与刹车同样将来自使用者的油门、刹车踏板踩下位置由另外两个电位器转换为模拟量信号后输入CPU,经处理后控制所有与车辆前后运动变化有关的机械系统进行动作,诸如四轮转动与制动、灯带向后闪烁、景物运动快慢、车身姿态前后倾斜以及音效系统播放引擎轰鸣与制动的声音;与手刹相连的传感器为一行程开关,将表示使用者是否拉起手刹的状态信号输入CPU,CPU在接收到表示手刹已拉起的开关量信号后根据与方向盘、油门、刹车相连的3个电位器的模拟量信号,经处理后控制所有与车辆漂移效果有关的机械系统进行动作,诸如车身平转、车身姿态剧烈变化、烟雾装置喷出

烟雾、音效系统播放轮胎摩擦地面的声音。

使用者可根据自己的意图选择操作的时间,从而控制平台模拟某一动作的持续时间。除手刹的行程开关产生数字量信号以外,其余输入信号均为模拟量,诸如方向盘旋转角度与油门、刹车踩下角度,可线性控制前轮转向角度、道路形成的曲率半径、前后轮与灯带景物的运行速度、车身姿态偏移的程度等模拟量输出。实时控制系统的系统方框图如图5所示。

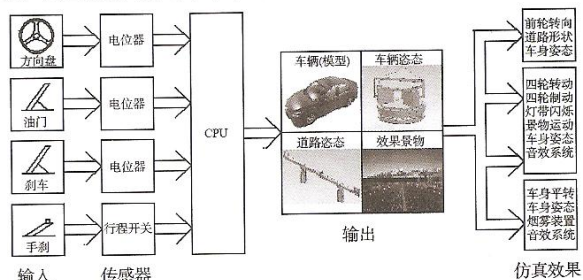


图5 实时控制系统方框图

### 2.2.2 功能模块控制系统

该系统由使用者利用操控面板上的模块化按钮以功能为单位对平台进行模块化控制。使用者按下操控面板上的转向模块、直线行驶、复杂路况、漂移模块、演示模块后,CPU根据接收到的数字量输入信号,调用预先设置好的程序,对平台进行控制。使用者只需按一下模块按钮,平台即可完成该模块下调用程序中整个周期的所有动作,在该周期的模拟动作未完成的情况下,CPU拒绝接收任何新的模块化指令。功能模块控制系统的系统方框图如图6所示。

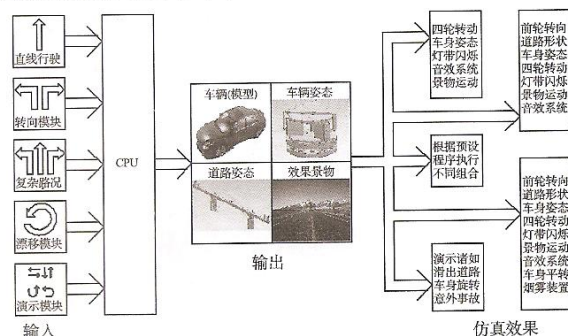


图6 功能模块控制系统方框图

## 3 实验测试

通过机械系统与电子控制系统的协同工作,经编程调试与实际测试,汽车模拟运行平台可完成以下汽车行驶状态的模拟仿真。

### 3.1 直线加速

车辆(模型)控制前后车轮转速由慢至快,前车灯开启,车辆姿态控制系统控制车身后倾,道路姿态控制

系统控制LED灯带保持笔直形状模拟直路,LED灯带模拟出行道线一段一段由静止不动开始加速向后运动,效果景物控制系统播放汽车直线加速时引擎、变速箱等的音响效果,控制四周景物由慢至快的倒退速度实现对直线加速的模拟。

### 3.2 直线匀速

在LED灯带保持笔直的情况下,车轮转速、景物倒退速度经由加速过程趋于稳定,达到匀速直线运动,LED灯带模拟出行道线一段一段匀速后退的效果,并播放平稳的引擎声效,控制景物匀速后退,直道运行实物效果如图7所示。

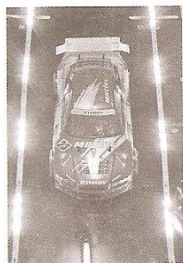


图7 直道运行实物效果

### 3.3 直线减速

所有控制系统控制平台进行与3.1节中所述相反的运动。

### 3.4 环形道路

车辆(模型)控制前轮万向节指向环路内侧,四轮匀速转动,车辆姿态控制系统控制车身轻微外倾,道路姿态控制系统控制LED灯带形成一定曲率的曲线道路并模拟出行道线一段一段匀速向后运动的效果,效果景物控制系统播放引擎声效,控制景物倒退运动,模拟汽车在一曲率一定的环形道路上做匀速圆周运动,弯道运行实物效果如图8所示。

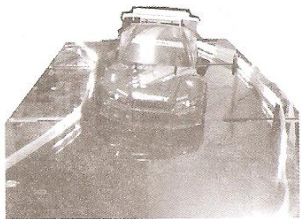


图8 弯道运行实物效果

### 3.5 漂移

在3.4节的基础上,车辆(模型)控制前轮万向节指向环路外侧(漂移效果),车辆姿态控制系统通过车身整体的平转与车身外倾程度加剧实现汽车在弯中甩尾的姿态,效果景物控制系统控制烟雾装置放出烟雾(烧胎)。

### 3.6 蛇形道路

车辆(模型)控制前轮万向节左右摆动,前后轮匀速转动,车辆姿态控制系统时刻改变车身姿态,道路姿

态控制系统不断控制LED灯带变化(扭曲),形成一变换的道路,效果景物控制系统控制景物倒退以及声效等其他效果,模拟汽车稳定地行驶在蛇形扭曲道路中。

### 3.7 各种道路的结合

车辆(模型)、车辆姿态控制系统、道路姿态控制系统、效果景物控制系统控制各部件协调作用,车辆状态、车辆姿态、道路姿态、效果景物不断变化,模拟汽车以不同状态(漂移或走线)经过一系列不同形状道路(直道、不同曲率的环形道、弯道、蛇形道路)。

### 3.8 其他效果

(1) 无ABS及EBD。车辆轮胎抱死导致打滑。四轮电机停止转动(抱死),推力球轴承伺服机快速带动车身转动2~3圈(转动速度由快至慢),配合车身姿态的控制,最后停止于一倾斜位置,效果景物控制系统加上烟雾与打滑音效。

(2) 无ESP。在弯道上出现障碍物,车辆滑出道路。实际是道路“滑出”车辆,即道路姿态控制系统控制两根LED灯带全都运动到车辆的另一侧,不再是车辆在两根灯带之间,产生汽车滑出道路的效果。车辆本身加上漂移、前轮乱打方向,音响发出摩擦地面打滑的声效。

## 4 结束语

汽车模拟运行平台是综合考虑当前市场需求与技术实现难度提出的一种多用途模拟系统。本研究给出了平台各个功能模块的具体实现方法以及实现的效果,对汽车模拟运行中常用的功能都进行了逼真的模拟,但是系统还是存在一些不足,比如电子控制系统的实现还不够完善,在后续的研究中将重点解决电子控制系统与机械系统的协同工作问题。

### 参考文献(References):

- [1] 刘东波, 缪小冬, 王长君. 汽车驾驶模拟器及其关键技术研究现状[J]. 公路与汽运, 2010, 9(5): 53-59.
- [2] 尉庆国, 董小瑞, 温涛, 等. 一种新型的ABS模拟路面试验台的研制[J]. 实验技术与管理, 2008(9): 60-62.
- [3] 陈涛. 人一车一路(环境)联合运行虚拟仿真理论与实现技术研究[D]. 西安: 长安大学汽车学院, 2005.
- [4] 杨莉. 基于3D技术的汽车差速器造型设计与模拟仿真[J]. 机电工程, 2011, 28(9): 1064-1067.
- [5] 杨旭志, 廖中文, 高俊文. 某电动车操纵稳定性仿真试验研究[J]. 机电工程, 2011, 28(2): 184-187.
- [6] 蔡忠法, 章安元. 汽车模拟驾驶模型与仿真的研究[J]. 浙江大学学报, 2002, 36(3): 327-331.
- [7] 姚强, 游峰, 徐建闽, 等. 基于行车实景的汽车驾驶模拟仿真系统设计与实现[J]. 机械与电子, 2010(11): 7-10.

(下转第528页)

## 6.1 修改设计变量

进行优化设计,就要给参数设定一个变化范围,同时还要添加一定数量的约束条件<sup>[1]</sup>。本研究增加了两个约束条件:Constraint\_1:切刀位移不能小于6 cm;Constraint\_2:切刀位移不能大于15 cm。要想获得最大的切卡力,保证正常的切卡,就要满足这两个约束条件,对变量“DV\_2”取值的修改如图5所示,分别设定了最大值106 mm和最小值86 mm。

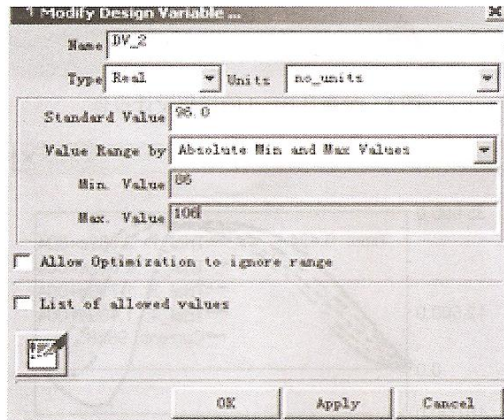


图5 修改设计变量DV\_2对话框

## 6.2 优化结果

本研究设置了约束条件,选择了优化的对象,利用ADAMS软件对变量进行参数优化设计。最终优化设计结果如表4所示。由结果可以看出:在满足两个约束条件的情况下,当设计变量“DV\_2”、“DV\_9”和“DV\_10”的值分别为86.4 mm、155.04 mm和77.008 mm的时候,切卡机有最大剪切力32 001 N,切刀位移为12.476 mm。

表4 优化分析结果

	SPRING_1_MEA_3 /N	Displacement_3 /mm	DV_2 /mm	DV_9 /mm	DV_10 /mm
初始值	15 502	8	96	-150	70
优化值	32 001	12.476	86.4	-155.84	77.008

## 7 结束语

本研究运用设计方法学的思想对切卡机的传动机构进行创新设计,打破了用皮带、链轮和齿轮传动的传统,利用曲柄导杆机构实现了能量的传递,充分利用了该机构的杠杆特性和急回特性。本研究建立了传动机构的动力学模型并进行仿真优化,该产品已获得了实用新型专利(201120066541.6)。

## 参考文献(References):

- [1] 叶鸣强. 基于虚拟样机技术的车轮随机侧滑仿真分析及悬架参数优化[D]. 杭州:浙江大学机械与能源学院,2005.
- [2] LAU H C W, JIANG B, CHAN F T S, et al. An innovative scheme for product and process design[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2002, 123(1): 85-92.
- [3] 李瑞琴, 邹慧君. 现代机构的创新设计理论与方法研究[J]. *机械科学与技术*, 2003, 2(1): 83-85.
- [4] DORST K, CROSS N. Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution [J]. *Design Studies*, 2011, 22(5): 425-437.
- [5] 王国强, 张进平, 马若丁. 虚拟样机技术及其在ADAMS上的实践[M]. 西安:西北工业大学出版社, 2002.
- [6] 尹洋, 殷国富. 基于ADAMS的机床高速主轴虚拟设计系统研究[J]. *制造技术与机床*, 2010(2): 37-41.
- [7] 周陈霞, 曹芳芳. 基于虚拟样机和有限元技术的举升机构的设计[J]. *机械*, 2011, 38(5): 26-29.
- [8] 贾相武. 电动切卡机的创新设计及仿真优化[D]. 杭州:浙江大学机械与能源学院, 2005.
- [9] 王颖, 张维强. 基于ADAMS的偏置曲柄滑块机构的运动学及动力学仿真研究[J]. *科学技术与工程*, 2010, 32(10): 8042-8045.
- [10] TOMES A, EROL R, ARMSTRONG P. Technological entrepreneurship: integrating technological and product innovation[J]. *Technovation*, 2000, 20(3): 115-127.
- [11] 刘伟达, 刘剑雄, 毕世英, 等. 基于ADAMS的夹钳动力学仿真分析[J]. *机械设计与制造*, 2005(11): 68-70.

[编辑:张翔]

(上接第520页)

- [8] WEIR D H, CARK A J. A Survey of Mid-level Driving Simulators[N]. SAE Paper, 950172.
- [9] 吴超仲, 张晖, 毛懿. 基于驾驶操作行为的驾驶员疲劳状态识别模型研究[J]. *中国安全科学学报*, 2007, 17(4): 162-165.
- [10] DESAI A V. The utility of the AusEd driving simulator in the clinical assessment of driver fatigue[J]. *Behavior Research Methods*, 2007, 39(3): 673-681.
- [11] CHEN A C. A low-cost driving simulator for full vehicle dynamics simulation[J]. *Transactions on Vehicular Technology*, 2003, 52(1): 162-172.
- [12] 陈光雄, 石心余. 摩擦力-相对滑动速度关系的实验研究[J]. *润滑与密封*, 2002(3): 44-48.
- [13] 史智宁. MUH低成本姿态增稳系统研究[D]. 杭州:浙江大学控制科学与工程学系, 2010.

[编辑:张翔]