附件：

**推荐江苏省教育科学研究成果奖（高校科技进步类）公示**

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 智能网联电动汽车协同控制、人机共驾技术研究及其应用 |
| 主要完成人 | 殷国栋，王金湘，张宁，陈南 |
| 主要完成单位 | 东南大学 |
| 项目简介：电动化、智能化与网联化的融合是新一代汽车技术发展的前沿，已引起国际上的极大关注。由于其本身属于车辆、能源、人因、交通、电子、信息和控制等多学科交叉领域，导致技术分散度大，集成难度高，系统功能的短板效应严重，特别是所涉及的感知、决策和控制等基础共性问题仍亟待突破。近年来，虽然我国十分重视智能网联电动汽车的发展与技术研发，但不容乐观的是，我国智能网联电动汽车的协同控制关键技术及应用仍大幅落后于欧美发达国家，尚未解决其中核心技术难题。因此本项目以智能电动汽车所涉及的基础理论与共性技术为研究重点，内容包括：智能网联电动汽车复杂耦合系统动力学；基于脑机接口及驾驶员特性的人机共驾机理；智能网联电动汽车的协同控制方法。围绕该问题，项目组主要研究了异质队列分布式协调控制器设计方法;基于多目标优化的类人驾驶决策;人机共驾交互的理论与方法以及四轮独立驱动汽车实底盘智能协调控制架构。将形成的设计理论与方法，推广应用于企业智能网联汽车的研发过程。本项目主要科技创新成果如下：1. **建立了表征智能网联电动汽车纵/横/垂向耦合动力学模型以及多车运动学编队模型。**揭示了底盘复杂耦合动力学行为产生机理，描述了智能电动汽车复杂动力学行为特性，结合智能电动汽车发展需求，**形成了可用于研究具有主动容错特性的安全、节能、舒适多性能目标智能电动汽车底盘控制构架的动力学模型**。
2. **研究了基于脑机接口和驾驶员特性以及鲁棒模糊模型预测控制方法的智能网联电动汽车人机共驾和路径跟踪系统。**考虑脑机接口和驾驶员特性的人机协同共驾工况，构建了一种基于脑机接口的脑电图人机共驾控制框架，提出了一种增益调度的贡献控制器和一种广义延迟概念，克服了以往研究中对参数不确定性和变量因素考虑不充分的不足，同时利用优化的鲁棒模糊模型预测控制理论，基于硬件在环仿真的先进控制器开发方法和多体动力学理论以及多源信息融合理论，研究了一系列智能电动汽车的路径跟踪控制算法，大大提高了车辆在路径跟踪时的准确性和稳定性。**最终，设计的控制系统可以有效地控制车辆跟随期望路径行驶。**
3. **提出了智能网联电动汽车协同控制方法。**在单车动力学控制领域，以分布式驱动智能电动汽车为平台，开发了考虑系统参数不确定性的汽车前轮主动转向控制、差动转向控制、驱动防滑控制等多种底盘电控单元，研究了集成主动转向、直接横摆力矩控制、主动悬架等功能模块的鲁棒协调控制技术。在多车协同控制领域，基于领航跟随式的队形结构和稳定性控制算法，建立了两车队列的运动学模型，提出了一种考虑车辆动力学特性和驾驶约束的多自主车辆协同控制方法，通过构建车辆队列-节点分层控制架构，实现信息流结构和动力学控制之间的交互作用，形成了**从单车底盘动力学的协调控制到多车交互的多节点分布式协同控制的跨越，从功能集成、算法设计，状态获取和底层执行等多个层次建立了相对完整的智能电动汽车协同控制理论体系。**
 |
| 客观评价和应用情况客观评价：1. 英国克兰菲尔德大学驾驶员认知与自动驾驶实验室主任曹东璞教授在《Retrieving Common Discretionary Lane Changing Characteristics From Trajectories》认为“驾驶行为引起了高级驾驶员辅助驾驶系统的研究者的兴趣。”（原文：Driving behaviors attract attentions from investigators of traffic safety , developers of advanced driver-assistance systems (ADASs) .）
2. 北京理工大学机械与车辆学院机械工程教授、博士生导师席军强在《Driving Style Classification Using a Semisupervised Support Vector Machine》一文中肯定了申请人对建模和识别驱动转向特性的研究。（原文：For more information regarding modeling and recognizing driver steering characteristics, readers are referred to A Gain-Scheduling Driver Assistance Trajectory-Following Algorithm Considering Different Driver Steering Characteristics.）
3. 吉林大学杰出青年基金获得者陈虹教授在《A novel integrated approach for path following and directional stability control of road vehicles after a tire blow-out 》一文中肯定了申请人在自动化车辆技术方面的研究。（原文：There have been major technological advances in the automotive sector in the past few decades, and the industry now is experiencing significant development in automated vehicle technologies.）
4. 英国克兰菲尔德大学驾驶员认知与自动驾驶实验室主任曹东璞教授在《Retrieving Common Discretionary Lane Changing Characteristics From Trajectories 》一文中肯定了申请人提出的多种变道模型来描述MLC和DLC的方法。（原文：As well known, there are two types of lane changes: Mandatory Lane Changes (MLC) occurs when drivers must change lane to follow their paths; and Discretionary Lane Changes (DLC) occurs when drivers change lane to improve navigation speeds. A variety of lane change models were then proposed to describe these two kinds of lane changes. Most of these models emphasize decision process of lane change.）
5. 伊朗KN图什理工大学机械工程部Chehardoli, Hossein教授提出“时间延迟出现在许多动态系统中，如金属切削的再生颤振、内燃室、生物系统、多智能体系统、电动汽车、智能材料等。”(原文：Time delay appears in many dynamical systems, such as regenerative chatter in metal cutting, internal combustion chambers, biological systems, multi‐agent systems, electric vehicles, smart materials, and so on.[13-16]) ( Adaptive Robust Output Tracking Control of Uncertain Nonlinear Cascade Systems with Disturbance and Multiple Unknown Time‐Varying Delays .Asian Journal of Control , 2017 , 19)
6. 挪威阿哥德尔大学工程系的Karimi, Hamid Reza教授在国际期刊Asian Journal of Control上发表论文肯定了本论文的积极性作用. 提出“在[7]中，研究了通过鲁棒增益调度控制技术考虑车辆横向运动的车辆运动问题”（原文：The problem of vehicle motion by considering lateral dynamics for EVs via a robust gain‐scheduling control technique is studied in [7].）( Special Issue on "Recent Developments on Modeling and Control of Hybrid Electric Vehicles" . Asian Journal of Control, 2016 , 18 (1) :1-2 )
7. 清华大学汽车工程系季学武教授，以本成果为基础开展进一步研究，其成果发表在国际期刊《Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control》. (原文：Advanced driver assistance systems (ADAS) for vehicle steering, such as lane keeping assistance system and active steering, have been used to reduce driver's workload and improve driving comfort. It follows that improving driver's steering comfort should also be incorporated into these systems[1,2]. (A New Objective Evaluation Method for Vehicle Steering Comfort. Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, 2017, 139 (9))
8. 澳门大学机电工程系ZhaoJing教授在国际期刊Sensors上发表论文肯定了本论文的积极性作用。(原文：As for the design of the AFS system, two methods are commonly used to implement the function of the AFS system: (1) a mechanical AFS system with a variable steering gear ratio; and (2) a direct steer-by-wire (SBW) mechanism system without a direct mechanical linkage between the steering wheel and front wheel[9,10].)( Multi-Objective Sliding Mode Control on Vehicle Cornering Stability with Variable Gear Ratio Actuator-Based Active Front Steering System. Sensors , 2017 , 17 (1) :49)

应用情况：南京金龙客车制造有限公司和奇瑞新能源汽车有限公司等基于我们设计的高级智能辅助驾驶系统以及智能网联协同控制方法应用智能电动汽车的研发中。 |
| 论文、论著目录和（或）主要知识产权证明目录论文：1. Jin, XianJian; Yin, Guodong; Li, Yanjun. Stabilizing Vehicle Lateral Dynamics with Considerations of State Delay of AFS for Electric Vehicles via Robust Gain-Scheduling Control[J]. Asian Journal of Control, 2016, 18 (1) :89-97.
2. Jin, Xianjian; Yin, Guodong; Bian, Chentong. Gain-Scheduled Vehicle Handling Stability Control Via Integration of Active Front Steering and Suspension Systems[J]. Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, 2016, 138 (1).
3. Zhang Ning, Xiao Hong, Winner Hermann. Nonlinearity-induced Time-varying Harmonic Dynamic Axle Load and Its Impact on Dynamic Stability of Car-trailer Combinations[J]. Vehicle System Dynamics, 2016, 54(6):848-870.
4. Wang, JX (Wang, Jinxiang); Wang, JM (Wang, Junmin); Wang, RR (Wang, Rongrong); Hu, C (Hu, Chuan).A Framework of Vehicle Trajectory Replanning in Lane Exchanging with Considerations of Driver Characteristics.《IEEE Transactions on Vehicular Technology》 , 2017 , PP (99) :1-1.
5. Wang, JX (Wang, Jinxiang); Zhang, GG (Zhang, Guoguang); Wang, RR (Wang, Rongrong); Schnelle, SC (Schnelle, Scott C.); Wang, JM (Wang, Junmin). A Gain-Scheduling Driver Assistance Trajectory-Following Algorithm Considering Different Driver Steering Characteristics. 《IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS》, 2017 , PP (99) :1-12.
6. Wang, RR (Wang, Rongrong); Jing, H (Jing, Hui); Wang, JX (Wang, Jinxiang); Chadli, M (Chadli, Mohammed); Chen, N (Chen, Nan). Robust output-feedback based vehicle lateral motion control considering network-induced delay and tire force saturation. 《Neurocomputing》 , 2016 , 214 (C) :409-419.
7. Wang, JX (Wang, Jinxiang) ; Wang, RR (Wang, Rongrong) ; Jing, H (Jing, Hui) ; Chen, N (Chen, Nan). Coordinated Active Steering and Four-Wheel Independently Driving/Braking Control with Control Allocation. 《Asian Journal of Control》 , 2016 , 18 (1) :98-111.
8. 王金湘 ， 代蒙蒙 ， 陈南. 考虑参数不确定性的汽车前轮主动转向输出反馈鲁棒控制. 《东南大学学报(自然科学版)》 , 2016 , 46 (3) :476-482.
9. 张宁, 琚安建, 李鹏程,等. 悬架减震器非线性特性对汽车拖车组合系统稳定性的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2017, 47(2):247-253.
10. 张宁, 殷国栋, 陈南,等. 车辆动力学中的摆振问题研究现状综述[J]. 机械工程学报, 2017, 53(14):16-28.
11. Xu, Liwei; Yin, Guodong; Zhang, Ning. Flocking cooperative driving control of four-wheel independently driving electric autonomous vehicles considering vehicular dynamic processes[C]. Chinese Control Conference , 2016 :4487-4492.
12. Zhuang, Jiayu; Yin, Guodong. Motion control of a four-wheel-independent-drive electric vehicle by motor imagery EEG based BCI system[C]. Chinese Control Conference , 2017 :5449-5454.
13. Xu, Liwei; Yin, Guodong; Liu, Tian. The Optimized Flocking-Based Vehicle Fleet Control Considering Vehicular Dynamic Process[C] . IEEE Vehicle Power & Propulsion Conference , 2016 :1-6.

知识产权：东南大学 专利号 专利名称 发明人1. ZL201410380781.1 一种后轮主动转向装置及其控制系统 殷国栋 刘江华
2. ZL201510283667.1 一体化减少簧下质量的不等长双横臂 殷国栋;袁元

悬架轮边驱动系统 1. ZL201410311456.X 一种自发电液压-电磁减震器 殷国栋;陆志平;周石磊
2. ZL201410187680.2 一种轮毂电机独立驱动电动汽 殷国栋;刘江华

车的前悬架装置 |
| 完成人情况： 1.殷国栋，排名1，副院长，教授，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，是该项目的负责人，对发现点1、2、3均有重要贡献，提出了表征智能电动汽车纵/横/垂耦合行为特征的动力学模型以及多车运动学编队模型，同时考虑脑机接口和驾驶员特性的人机协同共驾工况，提出了一种基于脑机接口的脑电图人机共驾控制框架，提出了多种优化控制算法，为汽车电动化、智能化与网联化的发展做出了重要贡献。2.王金湘，排名2，无行政职务，副教授，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，是该项目的核心成员，对发现点1、3均有重要贡献，主要研究基于驾驶员特性的人机共驾机理，提出了一种增益调度的贡献控制器和一种广义延迟概念，同时揭示了底盘复杂耦合动力学行为产生机理。3.张宁，排名3，无行政职务，讲师，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，是该项目的核心成员，对发现点1、2均有重要贡献，结合智能电动汽车发展需求，描述了智能电动汽车复杂耦合动力学行为特性,为智能电动汽车协同控制提供了底层的基础。4.陈南，排名4，无行政职务，教授 ，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，是该项目的主要成员，对发现点2、3均有重要贡献，创新性地提出的汽车底盘集成控制方法，为汽车控制系统的大粒度集成提供了全新思路。 |
| 合作关系证明（如有就提供）无。 |

|  |
| --- |
| 知情同意证明（如有就提供）：无。 |