

# 自动驾驶机器人关键技术及应用

余贵珍,冀浩杰,周彬

北京航空航天大学交通科学与工程学院,北京 100191

自动驾驶机器人可代替驾驶员进行可靠性、危险性和高精度的车辆道路试验。以一款自主开发的自动驾驶机器人为研究对象,介绍自动驾驶机器人功能和结构,分析自动驾驶机器人的关键技术,开发自动驾驶机器人在车辆道路测试试验、车道保持、跟车、换道和远程驾驶方面的应用。

随着汽车工业的大力发展,人们对汽车的安全性能提出越来越高的要求,这需要大量的汽车可靠性和耐久性试验来不断提高设计水平<sup>[1]</sup>。汽车试验可以由自动驾驶机器人来完成的,它相比试驾员具有控制精度高、重复性好、耐久性强等优点。特别是道路试验驾驶机器人,通过环境感知和识别系统大大提高了自动化程度,可代替驾驶员完成一些疲劳性和危险性驾驶试验<sup>[2]</sup>,为驾驶员的安全和试验结果的可靠性提供保证。自动驾驶机器人是指具有自主驾驶车辆行为的机器装置,它可以按照人们给定的指令执行相关驾驶操作,如起步、加速、制动、换道等,也可以通过环境感知实现自主驾车行为,如车道线跟踪、换道、避撞、停车等。

## 1 国内外研究现状

国外自动驾驶机器人技术自20世

纪80年代发展以来,已取得很大成果,但关键技术仍处于保密阶段,研发单位主要是发达国家的一些较大的仪器测试公司和零部件供应商,如日本的Horiba公司,英国的Froude Consine, Anthony Best Dynamics(ABD)公司,德国的STAHLE、WITT公司,美国的LBECO公司等<sup>[3,4]</sup>。图1为英国ABD公司研发的SR系列转向驾驶机器人,可以通过转向机器人测试车辆瞬间转向性能,也可按照指定路径进行跟踪行驶,具有高精度度和高重复性等优点。德国STAHLE公司是目前世界上规模最大的汽车整车与零部件试验用自动驾驶机械人的供应商,图2所示为德国STAHLE公司研发的SAP2000型驾驶机器人,可以应用于环境测试、道路里程累计试验、耐久性试验、噪声试验、变速箱试验、传动系测试等。部分汽车制造公司在自动驾驶机器人方面也做了

一定的研发,如德国大众公司研发了室外道路试验驾驶机器人,福特在全顺的测试中用于测试汽车加速、刹车、转向的驾驶机器人,但不具有环境识别能力,如图3所示。

国内于20世纪90年代中期开始自动驾驶机器人技术的研究,主要集中在汽车公司、高校和科研机构中。2004年东南大学与南京汽车研究所成功研发出国内第一款具有自主知识产权的DNC-1,随后研制了DNC-2型驾驶机器人<sup>[5]</sup>,如图4所示。国内其他高校如清华大学、吉林大学、国防科技大学等也在相关方面取得一定成果,但主要侧重于智能车辆的研究,真正用于汽车道路试验的机器人并不多。

针对当前自动驾驶机器人的发展现状,国外还存在很大的技术垄断,且价格较为昂贵,动辄上百万的成本仍很难实现商业化,而国内在自动驾驶机器



图1 英国ABD公司转向机器人  
Fig. 1 Steering robot of British ABD Company



图2 德国STAHLE公司驾驶机器人  
Fig. 2 Driving robot of German STAHLE Company



图3 福特耐久性测试驾驶机器人  
Fig. 3 Driving robot for durability test of Ford



图4 东南大学DNC-2驾驶机器人  
Fig. 4 DNC-2 robotic driver of Southeast University

人方面的研发机构并不多,大多趋向于开发无人驾驶操作系统,但是后者对整车改动较大,并且距离无人驾驶汽车正式上路还存在一定时间和相关法律法规问题,当前阶段只处于推广、研发和试用阶段,普及性和经济性不强。

## 2 自动驾驶机器人关键技术

自动驾驶机器人实现功能和应用范围主要取决于关键技术的研发,关键技术主要体现在环境感知系统、控制系统和执行机构3方面,下面分别进行详细介绍。

1) 环境感知系统。环境感知系统是获得道路、车辆位置和障碍物的详细信息,是自动驾驶机器人正常行驶和准确控制的基础,主要包括GPS定位和视觉感知<sup>[6]</sup>。在车辆定位中,为提高定位精度常采用差分GPS定位技术。视觉感知主要是进行车道线、道路标识、信号灯、行人和障碍物的信息识别,环境感知的精确性和信息处理的实时性是视觉技术的关键,可以选择单目视觉或者多目视觉进行信息获取和处理。为保证环境感知系统能够提供可靠和精确的环境信息,可以在视觉图像处理的基础上借助雷达、GPS及其他传感器进行多源信息融合。

2) 控制系统。控制系统是自动驾驶机器人的核心,它在人为控制指令下根据车辆状态和环境感知信息,通过决策将控制指令发送给执行机构,实现车辆的速度控制和方向控制<sup>[7,8]</sup>,主要包括驱动方式和控制策略两方面。驱动方式有气动、液动和伺服驱动等方式<sup>[9]</sup>,



图5 汽车耐久性试验  
Fig. 5 Durability test of automobile

可根据各驱动方式特点和适用场景选择合适的驱动方式,并体现在控制策略当中。控制策略是在考虑车辆行驶安全的前提下对车辆速度和方向进行控制,如车道保持、巡航、换道、超车、避撞等功能的实现。在道路试验中主要考虑车辆的方向控制,这是一个典型的预瞄控制行为<sup>[10]</sup>,需要通过驾驶机器人找到当前道路环境下的预瞄点,再根据预瞄点对车辆进行控制。常用的有经典的智能PID算法,如模糊PID算法、神经网络PID算法等。

3) 执行机构。执行机构是自动驾驶机器人实现所有预期功能的基础,它通过操纵车辆离合器踏板、制动踏板、油门踏板、方向盘,甚至换挡杆和点火机构,实现速度控制、方向控制和安全控制<sup>[11]</sup>。在自动驾驶机器人进行各项功能操作时,需要像经验丰富的驾驶员一样保证机械腿和机械腿的协调性。例如在汽车制动时,驾驶机器人需要保证离合踏板机械腿、油门踏板机械腿、制动踏板机械腿和方向盘机械手之间合理的时序关系,符合正确的驾驶行为。

## 3 自动驾驶机器人应用

自动驾驶机器人可以代替司机进行重复性、危险性和高精度的道路试验,主要体现在以下3个方面:

1) 单一驾驶环境下,代替驾驶员执行易疲劳、重复性的驾驶操作,如汽车耐久性试验和道路性能测试试验,如图5所示。

2) 应用于控制精度高的测试试验和驾驶要求,如通过自动驾驶机器人可



图6 汽车防侧翻试验  
Fig. 6 Anti rollover test of vehicle

以实现匀速驾驶、S型驾驶、按里程驾驶等。

3) 进行危险性试验,如ABS、ESP试验,防侧翻试验,如图6所示,避免了驾驶员执行操作时存在的安全隐患。

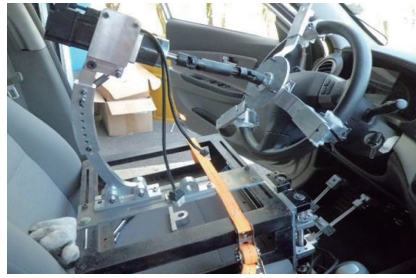
自动驾驶机器人还可以通过其他辅助系统实现无人驾驶,如环境感知系统、人工智能控制系统等,实现自动驾驶机器人驾驶车辆的高度自动化,通过控制车辆速度和方向实现自动驾驶车辆在特定环境或路径下载客、运输、探测等功能和任务,如城市快速公交、景区机器人出租车、矿区自动驾驶机器人运输车等。

北京航空航天大学车路协同与安全控制北京市重点实验室自主开发了两代驾驶机器人Robot Driver I和Robot Driver II,如图7所示。Robot Driver II在Robot Driver I的研究基础上对执行机构和控制系统进行了性能提升,可满足不同路面加载试验对自动驾驶车辆功能的要求,实现高强度持续工作,具有试验效率高、重复性好等优点。

Robot Driver型自动驾驶机器人采用交流伺服电机驱动方式,由执行机构、控制系统和环境感知系统三部分组成。其中执行机构的结构图如图8所示,该执行机构采用的是独立于汽车之外的结构,结构简单,拆装方便,可适用于不同类型的车辆,具有较强的适应性和灵活性。环境感知系统采用摄像头、GPS、雷达、信息采集板等设备进行单目视觉和多源信息融合技术的研发,在大大降低成本的同时保证了各项功能的顺利实现,如图9所示。



(a) Robot Driver I



(b) Robot Driver II

图7 Robot Driver 型驾驶机器人  
Fig. 7 Robot Driver



图9 环境感知系统

Fig. 9 System of environmental perception

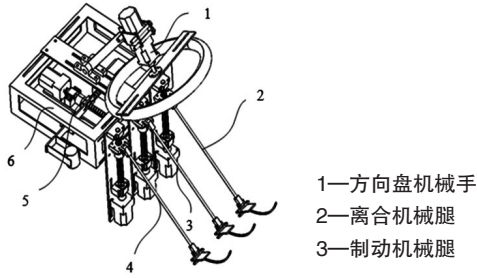


图8 Robot Driver型自动驾驶机器人结构  
Fig. 8 Structure diagram of Robot Driver type of driving robot

自动驾驶系统在正式使用前需要进行反复的软硬件调试和功能测试,图10为Robot Driver型自动驾驶机器人安装和测试现场。Robot Driver型自动驾驶机器人实车测试试验可以实现车道保持、跟车、超车换道、紧急避撞、车路协同等功能,在驾驶环境较为复杂且较为恶劣的情况下,可以通过远程遥控操作系统自动驾驶机器人进行远程监控和驾驶操作,实现功能如图11所示。

Robot Driver型自动驾驶机器人不仅可以满足汽车厂商对车辆的各项性能测试,而且与无人驾驶系统相比,几乎可以适用于所有车型(小车、客车、货车)等,拆装方便,可调性高,适用范围广泛,可以成为汽车厂商的测试标配。



图10 Robot Driver型驾驶机器人安装和测试现场  
Fig. 10 Installation and test site of Robot Driver



(a) 车道保持

(b) 跟车

(c) 紧急避撞



(d) 超车换道

(e) 远程遥控

图11 Robot Driver型自动驾驶机器人实现功能  
Fig. 11 Function of Robot Driver



#### 4 总结

本文介绍了自动驾驶机器人的国内外现状,分析其关键技术和应用。根据驾驶机器人具有操纵准确、重复性好

等优点,可以代替驾驶员完成车辆道路危险性试验和可靠性试验;驾驶机器人外加环境感知单元可在现有车辆上实现车自动驾驶功能,随着环境感知技术

和控制技术不断完善,驾驶机器人将会在汽车试验行业及自动驾驶行业有很好的市场前景,对推动车辆技术的发展特别是自动驾驶应用具有重要意义。

#### 参考文献 (References)

- [1] Yasuhiro Ogawa, Yoshikazu Yoneshige. Automatic for the people[C]. Testing Technology International Conference, 2000: 12-15.
- [2] Chen G, Zhang W. Design of prototype simulation system for driving performance of electromagnetic unmanned robot applied to automotive test[J]. Industrial Robot: An International Journal, 2015, 42(1): 74-82.
- [3] Namik H, Inamura T, Stol K. Development of a robotic driver for vehicle dynamometer testing[C]//Proceedings of 2006 Australasian Conference on Robotics and Automation. Auckland, New Zealand. 2006: 1-9.
- [4] 陈刚, 张为公, 龚宗洋, 等. 汽车驾驶机器人系统的研究进展[J]. 汽车电器, 2009(7): 16-20.
- [5] 张为公, 陈晓冰. 汽车驾驶机器人关键技术[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2005, 26(1): 20-25.
- [6] 贾祝广, 孙效玉, 王斌, 等. 无人驾驶技术研究及展望[J]. 矿业装备, 2014(5): 44-48.
- [7] Spencer M, Jones D, Kraehling M, et al. Trajectory based autonomous vehicle following using a robotic driver[C]//Australasian Conference on Robotics and Automation (ACRA), Sydney, Australia. 2009: 1-10.
- [8] Wong N, Chambers C, Stol D K, et al. Autonomous vehicle following using a robotic driver[C]//Mechatronics and Machine Vision in Practice, 2008. M2VIP 2008. 15th International Conference on. IEEE, 2008: 115-120.
- [9] 李婷婷. 车辆传动试验台自动换挡机械手的设计及实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [10] 高振海, 管欣, 李谦, 等. 基于预瞄跟随理论的驾驶员跟随汽车目标速度的控制模型[J]. 吉林工业大学学报: 工学版, 2002, 32(1): 1-7.
- [11] 张为公, 金伟明, 陈正威. 驾驶机器人计算机控制系统[J]. 东南大学学报, 1995, 25(6A): 23-29.

## Key technology of robotic driver and its application

YU Guizhen, JI Haojie, ZHOU Bin

School of Transportation Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

**Abstract** This paper presents the development of a robotic driver and introduces the structure and function of the robotic driver. Subsequently, the key technology of the robotic driver is analyzed, and the application of the robotic driver is described with vehicle road experiments, including lane-keeping, car-following, lane-changing and remote driving.

**Keywords** robotic driver; vehicle road experiments; unmanned driving

基金项目:国家自然科学基金项目(61371076)

作者简介:余贵珍,副教授,研究方向为车辆智能控制与感知,电子信箱:yug@buaa.edu.cn

(编辑 田恬)