

DOI:10.13203/j.whugis20180364



文章编号:1671-8860(2018)12-1775-05

# 自动驾驶量产的难点分析及展望

李德毅<sup>1</sup> 赵菲<sup>2</sup> 刘萌<sup>3</sup> 王建<sup>2</sup>

1 军事科学院,北京,100036

2 北京航空航天大学交通科学与工程学院,北京,100191

3 北京航空航天大学计算机学院软件开发环境国家重点实验室,北京,100191

**摘要:**随着自动驾驶技术的快速发展,自动驾驶汽车的量产即将到来。自动驾驶行业的关键技术对自动驾驶汽车量产及相关领域的研究有着重要的推动作用。首先,围绕自动驾驶汽车量产过程中的关键技术问题展开分析,并着重从汽车线控技术、能源动力技术和驾驶认知技术 3 个方面分析了当前自动驾驶中的技术难点。然后,针对驾驶认知技术,认为具有驾驶认知能力、记忆能力、决策能力和行为能力的驾驶脑是实现驾驶认知形式化的有效方式。最后,总结了面向特定落地场景实现的自动驾驶汽车量产策略,希望为自动驾驶量产中的实际问题提供参考。

**关键词:**自动驾驶技术;量产;驾驶脑;驾驶认知

**中图分类号:**TP2

**文献标志码:**A

近年来,自动驾驶技术发展空前繁荣,在世界范围内受到广泛的关注。自动驾驶技术致力于为人类提供便捷智能的出行方案。目前,国内外各大车企、互联网企业、创新企业等都在加速推出相关技术产品,自动驾驶的量产成为热点<sup>[1]</sup>。

在近十余年发展中,国际汽车工程师协会对相关技术和行业发展进行了相应的规约和定义,并发布了针对自动驾驶技术的分级标准 J3016<sup>[2-3]</sup>,为自动驾驶技术推陈出新提供了分级标准。目前特斯拉的辅助驾驶系统 AutoPilot 具有 Level 3 级自动驾驶辅助功能。2017 年 10 月,Waymo 对 500 辆插电式混合动力 Level 4 级自动驾驶汽车进行路测,这是 Level 4 级自动驾驶汽车首次社会路测。2018 年 7 月,随着 100 辆无人驾驶巴士“阿波龙”正式下线,百度宣布自动驾驶巴士进入量产阶段。与此同时,传统车企也在升级自动驾驶辅助功能。2017 年通用在凯迪拉克 CT6 上搭载 Level 2 级 Super Cruise 高速公路自动驾驶功能。2017 年 7 月,奥迪正式对外发布了奥迪 A8,其自动驾驶系统 Traffic Jam Pilot 达到了 Level 3 等级。

自动驾驶产业正处于井喷式发展阶段,目前已经量产的自动驾驶相关技术产品多处于

Level 3 阶段。由于自动驾驶系统技术尚未彻底完善,Level 4 等级自动驾驶汽车的大范围量产还有一定挑战。自动驾驶汽车作为一种轮式机器人,应该会开车、会学习、会交互、有个性、有悟性。其重要部件包括三大块:肌肉机器,即汽车底盘线控技术;动力机器,即能源动力技术;智慧机器,即驾驶认知技术。本文从以上 3 方面分析了自动驾驶汽车量产关键技术,就驾驶认知形式化方法介绍驾驶脑设计,并对自动驾驶的量产作出展望。

## 1 汽车线控技术

传统汽车采用机械传动和液压传动控制车辆运动,传动效率低,机械连接方式复杂,很难适应自动驾驶技术电控需求。随着汽车电子化、智能化的不断发展,线控技术将颠覆传统传动机构,推动车辆智能化发展。线控技术的主要特征是执行机构与操纵机构没有直接的机械连接,驾驶意图将转换成对应的电信号驱动执行机构的精确运动。未来汽车是一种轮式机器人<sup>[4]</sup>。线控底盘是传统驾驶员手脚的延伸,由于其电信号传递具有实时性好、精度高的特点,因此是智能车的灵活的肌肉机器。目前,线控技术主要是线控制动、线控

收稿日期:2018-09-12

项目资助:国家重点研发计划(2017YFC0804802)。

第一作者:李德毅,教授,中国工程院院士,国际欧亚科学院院士,现从事人工智能、无人驾驶理论与方法研究。lidy@cae.cn

通讯作者:王建,博士,副教授。wj1974@buaa.edu.cn

转向和线控油门。线控技术难,主因是线控制动。

### 1.1 线控油门

线控油门的主要功能是将驾驶行为中油门控制转换为成正比的电压信号,发送给发动机控制器,自动优化控制<sup>[5]</sup>。线控油门技术较为简单,现在已经广泛应用。

### 1.2 线控转向

线控转向实现了转向盘与转向轮完全分开,将驾驶意图中的转向信号通过电信号形式发送到转向电机,由转向电机驱动转向轮。在线自适应控制算法<sup>[6]</sup>、可靠性设计<sup>[7]</sup>等提高了转向控制精度。线控转向也已经得到实际应用,目前电子助力转向(electric power steering, EPS)已经非常接近线控转向了。

### 1.3 线控制动

线控制动是汽车线控技术中最关键的部分,也是最难的。目前主要有两条技术路线:液压式线控制动(electronic hydraulic brake, EHB)和机械式线控制动(electronic mechanical brake, EMB)。

传统汽车通常采用液压制动。EHB从真空助力器的替代技术开始,用一个电机来代替真空助力器推动主缸活塞。驾驶员的制动动作被转换成电信号发送到电控单元驱动电控电机动作,完成液压执行机构的制动动作<sup>[8]</sup>。这种线控制动仍然需要液压系统放大制动能量。液压系统的重量受限难以实现轻量化。另外,液压的电控化比较困难,不容易与其他电控系统整合<sup>[9]</sup>。

近年来,EMB技术是个火热的研究领域。EMB取消了液压系统,直接用电机驱动机械活塞制动,小巧紧凑。EMB实现了完全电子化,容易与其他电控系统整合到自动驾驶系统。但是存在以下缺点:没有备份系统,对可靠性要求极高;电能消耗大;容易发生高温失效,对于行车安全是致命缺陷。

## 2 能源动力技术

自动驾驶汽车用电需求量大,主要表现在以下几方面:大量的车载传感器、高性能计算机和高带宽的数据通信,消耗功率大。另外,车载设备增重也是耗能增加的原因。传感器在车身外围的位置有可能带来很大的风阻。由此,大量电能消耗会导致自动驾驶燃油车排放量增加。同时,燃油车的能量转换方式容易造成自动驾驶电源系统的不稳定。对比燃油车,新能源汽车更适合自动驾

驶的电源系统要求,同时具有突出的节能减排优势。

随着自动驾驶车的蓬勃发展,新能源汽车的需求量将进一步扩大<sup>[10]</sup>。自动驾驶强大的心脏需要新能源技术支持,这叫动力机器。现阶段对自动驾驶支持良好的新能源车包括纯电动车和混动车。

电动汽车只依靠电能驱动,具有电池和发动机组成的一套驱动系统。但是在电池续航能力、充电服务等方面还存在一系列问题。目前大部分纯电动汽车的续航里程约300 km,用于自动驾驶开发后,用电设备增加,续航里程明显缩短,不能有效满足出行需求。目前快充技术虽然大幅缩短了充电时间,但相对于传统燃油车,电动汽车的充电时间消耗仍然很大。另外,充电服务配套设施有待加强建设。总之,电动汽车最重要的是电池技术突破。目前,主要的电池类型为磷酸铁锂、三元锂电池等,能量密度、循环寿命和安全性尚待提高<sup>[11]</sup>。对此,固态电池成为下一代电池竞争的热点,但是其技术稳定性与成熟度亟待加强。

插电式混动车介于纯电动汽车和燃油车之间,具有电池和电动机、发动机和变速箱组成的两套驱动系统。插电式混动汽车作为燃油车向纯电动汽车过渡的中间产物,兼具二者的共性,可以根据出行里程与工况择优选择动力模式。但是两套动力系统的方案会增加动力系统的复杂度,耦合困难。同时,由于插电式混合动力电动汽车的行驶特性,动力电池荷电状态(state of charge, SOC)必须在很大范围内波动,需要动力电池具备深充和深放的能力。

另外,未来汽车能源技术中氢燃料电池汽车和太阳能汽车也备受期待。氢燃料电池通过氢气和氧气的化学作用转换成电能驱动车辆行驶。但是目前的制氢成本高,储氢技术尚未完善。太阳能电池汽车依靠太阳能转化电能来驱动车辆,可实现真正的零排放。但是实现技术十分复杂,尚处于实验研究阶段。

## 3 驾驶认知

大部分交通事故是偶然事件造成的,即经常性出现的低概率突发事件。交通事故预防是在不确定性开放环境下驾驶形式化工程需要解决的难点之一。另外,天气的不确定性(如雾、雪、雨、风等)、道路的不确定性(如胡同、山路、积水、冰雪等)、场景的不确定性(如红绿灯失效、道路施工、

行人违规等)<sup>[12]</sup>交叉影响造成更复杂的不确定性情况。面对上述不确定性驾驶环境,人类新手驾驶员通常难以轻松驾驭,但有经验的驾驶员能够灵活处置。自动驾驶汽车如何规约这些工况和学习驾驶经验以代替人类驾驶员,是自动驾驶技术的一个难点。

此外,自动驾驶技术的推广普及需要一段过程,需要考虑过渡阶段自动驾驶汽车与人工驾驶车辆的交互情况。如无人驾驶车辆与正常车辆的交互、与非正常驾驶车辆(如人类司机酒驾、突发疾病、疲劳)的交互。另外,还需要考虑行驶场景突破了自动驾驶所设置的窗口条件,如地理栅栏、气候栅栏和人文地俗栅栏,进行驾驶掌控权的交接设定。如果人机交接过程设计不全面、不合理,可能导致更危险事故。因此,如何对人机交接过程进行规定,也是一个难点。

在人工驾驶过程中,驾驶员通过和周边场景、车辆的交互认知完成驾驶任务。只有通过硬件模拟驾驶员“大脑”的经验记忆和临场处置的认知能力,使自动驾驶具有记忆能力、决策能力和行为能力,甚至学习能力,才能实现有技巧、有个性的自动驾驶。一个真正的自动驾驶系统应该像驾驶员一样具有学习、交互等能力。

## 4 驾驶脑

人类驾驶员的预测与控制能力是汽车自身无法替代的。驾驶脑<sup>[13]</sup>应运而生,不同于雷达、摄像头等传感器的感知,其主要功能是完成包括记忆认知、计算认知和交互认知在内的驾驶认知,成为智能车产业化链条中的重要零部件。

驾驶脑包括驾驶脑硬件和驾驶脑软件。驾驶脑是使用多个处理器芯片和交换机芯片构成的多网络、分布式架构计算机。驾驶脑软件要完成驾驶脑软件架构设计、驾驶认知的形式化、自学习、驾驶行为预测。

### 4.1 驾驶认知形式化

自动驾驶汽车是多约束条件下的目标优化及驾驶认知的形式化。驾驶脑用人工智能技术代替驾驶员的感知、认知和行为,确保车辆自主行驶。为了统一表达环境信息,提出了一种把自动驾驶过程中多种传感器(摄像头、雷达等)获取的信息映射到驾驶态势图中的方法。用对数极坐标系为依托表达认知,把环境信息融合到驾驶态势图中。把驾驶员的驾驶行为对应到驾驶态势图下,形成“驾驶态势-认知箭头”图对库。

### 4.2 在线学习

自学习技术让自动驾驶汽车学习人类驾驶员的驾驶技能,是研发有个性的智能车的基础。利用深度学习和进化学习设计自学习模块,把人工驾驶时经验驾驶员对油门、刹车和方向盘的操控量抽象为认知箭头,与感知形成的驾驶态势图相对应,生成碎片化的“驾驶态势-认知箭头”图对。驾驶脑记忆分 3 个区,即瞬间记忆、工作记忆、长期记忆。点云、像素等原始感知数据作为瞬间记忆,驾驶态势图作为工作记忆,对驾驶态势图的抽象和总结形成长期记忆。通过当前的认知场景与记忆进行混合比对,驾驶脑能做出合适的决策。在线自学习方法体现了驾驶脑的计算认知、记忆认知和交互认知。

### 4.3 预测控制

有经验的驾驶员首先要驾驶行为符合驾驶规范、安全行驶、文明行驶等规定;其次,其驾驶经验还体现在节能技巧、驾乘舒适性、对不同动力学的车辆适应性等方面。不同驾驶员的经验和行为存在个性和差异,驾驶行为中的个性信息可以作为驾驶员的身份识别,形成驾驶指纹。而标杆驾驶员是经验驾驶员中的杰出代表,是无人驾驶技术抽象和学习的典范。自动驾驶技术的关键之一就是要开发具备标杆驾驶员的在线机器驾驶脑,模拟实现人在回路中的自主预测和控制,以应对车辆行驶中的不确定性。

驾驶脑通过工作总线、记忆总线和学习总线模拟人的记忆功能区之间的交互。自动驾驶过程中,驾驶脑利用搜索匹配方法实时地在记忆中搜索,直接找到或者推理求出符合当前驾驶态势的认知箭头,形成控制指令输出。为了充分发挥碎片化认知的机理,克服宏观认知的形式化困难,细分约束区间,通过把大量微观认知进行形式化表示,降低形式化难度,缩小在线推理范围。

总之,有了线控汽车,通过深度学习,挖掘驾驶员对方向盘、动力踏板、制动踏板的驾驶行为大数据,可以判断并获得特定驾驶员技巧的个性。实现有个性的驾驶脑,拥有在线学习能力,能够通过不断积累驾驶历史的记忆,预防未来可能的驾驶事故,应对极端危险工况的经验。利用大量行驶信息的不断累积,不断提高驾驶能力,使自动驾驶车辆向 Level 4 和 Level 5 等级良性发展。

## 5 展望

基于以上自动驾驶量产中的关键技术分析,

全场景覆盖的高等级自动驾驶还面临很多的关键技术突破。在自动驾驶技术的发展中,合理的技术落地策略将加速自动驾驶产业有序发展。本文从特定场景下的自动驾驶技术出发,对自动驾驶量产策略与实现进行了总结与展望。

1)绕不过去的无人泊车。当前的代客泊车市场可观,由此预估无人泊车具有很大后装市场。泊车通常是怠速状态,四轮轨迹差异大,主要体现车辆的动力学控制。泊车工况多样,切换频繁,考验小脑的执行动作控制,驾驶员手脚并用,考验驾驶技巧。结合精确的驾驶小脑动作控制,无人泊车可在较小的占地面积下模拟多种多样复杂泊车环境,完成泊车任务。

2)大数据驱动自动驾驶。未来汽车会成为大数据的源泉,移动社会的传感器。驾驶脑有学习和自学能力,技巧和经验可以在线提升,驾驶脑智能的进化速度超过自然人,尤其是在群体智能、众包技术之上发挥驾驶超脑的作用,这样汽车制造商逐步地成为汽车运营商。

3)特定场景的自动驾驶。从特定的应用环境寻找不同等级自动驾驶汽车量产的切入点,如快速公交、港口码头、集装箱定点搬运、园区清扫车等,使人类逐步摆脱驾驶的羁绊,开始享受移动办公和移动生活,逐步推广到更高车速、更加复杂的道路场景、更多不确定性天气气候下的自动驾驶。

## 参 考 文 献

- [1] Li Deyi. Artificial Intelligence: An Accelerator for the Development of Human Society [J]. *CAAI Transactions on Intelligent Systems*, 2017, 12(5): 583-589(李德毅. AI——人类社会发展的加速器[J]. 智能系统学报, 2017, 12(5):583-589)
- [2] SAE International in United States. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles[OL]. [https://saemobilus.sae.org/content/J3016\\_201806/](https://saemobilus.sae.org/content/J3016_201806/), 2018
- [3] The U. S. Department of Transportation. Federal Automated Vehicles Policy[OL]. <https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016>, 2016
- [4] Li Deyi. Practice and Prospect of Intelligent Vehicle Industrialisation[J]. *Robot Industry*, 2016(4):58-63(李德毅. 智能车产业化实践与展望[J]. 机器人产业, 2016(4):58-63)
- [5] Zulkifli S A, Asirvadam V S, Saad N, et al. Implementation of Electronic Throttle-by-Wire for a Hybrid Electric Vehicle Using National Instruments' CompactRIO and LabVIEW Real-Time[C]. The 5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), Kuala Lumpur, Malaysia, 2014
- [6] Wu X, Zhang M, Xu M, et al. Adaptive Feed forward Control of a Steer-by-Wire System by Online Parameter Estimator[J]. *International Journal of Automotive Technology*, 2018, 19(1): 159-166
- [7] Munir A, Koushanfar F. Design and Performance Analysis of Secure and Dependable Automotive CPS: A Steer-by-Wire Case Study[J]. The 13th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2018
- [8] Xiang W, Richardson P C, Zhao C, et al. Automobile Brake-by-Wire Control System Design and Analysis[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(1): 138-145
- [9] Sinha P. Architectural Design and Reliability Analysis of a Fail-Operational Brake-by-Wire System from ISO 26262 Perspectives [J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2011, 96(10): 1 349-1 359
- [10] China Automotive Technology and Research Center. Annual Report on New Energy Vehicle Industry in China[M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2017(中国汽车技术研究中心. 中国新能源汽车产业发展报告[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2017)
- [11] Ellingsen L A W, Majeau-Bettez G, Singh B, et al. Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2014, 18(1): 113-124
- [12] ISO 26262: Road Vehicles-Functional Safety; ISO26262[S]. Geneva, Switzerland: The International Organization for Standardization (ISO), 2011
- [13] Li Deyi. Formalization of Brain Cognition: Design Discussion of Driving Brain[J]. *Science & Technology Review*, 2015, 33(24):125(李德毅. 脑认知的形式化——从研发机器驾驶脑谈开去[J]. 科技导报, 2015, 33(24):125)

## Difficulty Analysis and Prospect of Autonomous Vehicle Mass Production

*LI Deyi*<sup>1</sup> *ZHAO Fei*<sup>2</sup> *LIU Meng*<sup>3</sup> *WANG Jian*<sup>2</sup>

1 Academy of Military Science, Beijing 100036, China

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

3 State Key Laboratory of Software Development Environment, School of Computer Science and Engineering,  
Beihang University, Beijing 100191, China

**Abstract:** With the rapid development of self-driving technology, the mass production of self-driving vehicles is coming. The key self-driving technologies play an important role in promoting the mass production of self-driving vehicles and researches in related fields. Facing the key technical issues in the mass production process of self-driving vehicles, this paper firstly analyzes the technical difficulties in the current autonomous driving from three aspects: automotive drive-by-wire technology, energy power technology and driving cognition technology. Then aiming at the driving cognition, this paper proposes that the driving brain with driving cognitive ability, memory ability, decision-making ability and behavior ability is an effective method to realize the formalization of driving cognition. Finally, mass production strategies of self-driving vehicles are put forward for specific scenario application, making an attempt to provide certain reference for practical obstacles in self-driving.

**Key words:** self-driving technology; mass production; driving brain; driving cognition

**First author:** LI Deyi, professor, Academician of Chinese Academy of Engineering, Academician of International Eurasian Academy of Sciences, specializes in the theories and methods of artificial intelligence and self-driving. E-mail: lidy@cae.cn

**Corresponding author:** WANG Jian, PhD, associate professor. E-mail: wj1974@buaa.edu.cn

**Foundation support:** The National Key Research and Development Program of China, No. 2017YFC0804802.