

gitbook.cn

GitChat - 《自动驾驶与人工智能研究报告》的文章

30 ~ 38 分

自动驾驶汽车（Automated Vehicle；Intelligent Vehicle；Autonomous Vehicle；Self-driving Car；Driverless Car）又称智能汽车、自主汽车、自动驾驶汽车或轮式移动机器人，是一种通过计算机实现自动驾驶的智能汽车。

概念篇首先对自动驾驶汽车涉及到的相关概念进行介绍，包括自动驾驶汽车等级标准、智能汽车、无人驾驶汽车等；接着对自动驾驶汽车技术及其技术价值进行概括介绍；重点描绘了国外、国内自动驾驶汽车发展图谱。

1.1 自动驾驶汽车概述

(1) 自动驾驶汽车等级标准

在介绍自动驾驶汽车之前，我们先来了解一下 SAE J3016 标准。该标准于2014年由美国 SAE International（国际汽车工程师学会）制定，内容如

下图所示。该标准将车辆分为 Level 0~Level 5 共6个级别，并针对道路机动车辆的自动化系统相关条款做了分类和定义。它不但被美国交通运输部采纳为联邦标准，同时也已经成为了全球汽车业界评定自动驾驶汽车等级的通用标准。

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
Human driver monitors the driving environment						
0	No Automation	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
1	Driver Assistance	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
2	Partial Automation	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	System	Human driver	Human driver	Some driving modes
Automated driving system ("system") monitors the driving environment						
3	Conditional Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	Human driver	Some driving modes
4	High Automation	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	System	Some driving modes
5	Full Automation	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	All driving modes

图 1 SAE J3016 标准 Copyright © 2014 SAE International.

Level 0：无自动化，由人类驾驶员全程操控汽车，但可以得到示警式或须干预的辅助信息。

Level 1：辅助驾驶，利用环境感知信息对转向或纵向加减速进行闭环控制，其余工作由人类驾驶员完成。

Level 2：部分自动化，利用环境感知信息同时对转向和纵向加减速进行闭环控制，其余工作由人类驾

驶员完成。

Level 3：有条件自动化，由自动驾驶系统完成所有驾驶操作，人类驾驶员根据系统请求进行干预。

Level 4：高度自动化，由自动驾驶系统完成所有驾驶操作，无需人类驾驶员进行任何干预，但须限定道路和功能。

Level 5：完全自动化，由自动驾驶系统完成所有的驾驶操作，人类驾驶员能够应付的所有道路和环境，系统也能完全自动完成。

(2) 无人驾驶汽车

目前对于自动驾驶汽车的研究有两条不同的技术路线：一条是渐进提高汽车驾驶的自动化水平；另一条是“一步到位”的无人驾驶技术发展路线。由 SAE J3016 标准可以看出，通常大家谈论的无人驾驶汽车对应该标准的 Level 4 和 Level 5 级。无人驾驶汽车是自动驾驶的一种表现形式，它具有整个道路环境中所有与车辆安全性相关的控制功能，不需要驾驶员对车辆实施控制[3]。

(3) 智能汽车

在我国，与无人驾驶汽车这个术语相关的概念还有智能汽车。相对于无人驾驶汽车概念，智能汽车定义涵盖的范围更广。《中国制造2025》中将智能网联汽车定义为搭载先进的车载传感器、控制器、执

行器等装置，并融合现代通信与网络技术，实现车内网、车外网、车际网的无缝链接，具备信息共享、复杂环境感知、智能化决策、自动化协同等控制功能，与智能公路和辅助设施组成的智能出行系统，可实现“高效、安全、舒适、节能”行驶的新一代汽车[5]。

(4) 无人驾驶技术

无人驾驶技术是对人类驾驶员在长期驾驶实践中，对“环境感知—决策与规划—控制与执行”过程的理解、学习和记忆的物化，如右图所示。无人驾驶汽车是一个复杂的软硬件结合的智能自动化系统，运用到了自动控制技术、现代传感技术、计算机技术、信息与通信技术以及人工智能等。本报告会在技术篇进行详解。

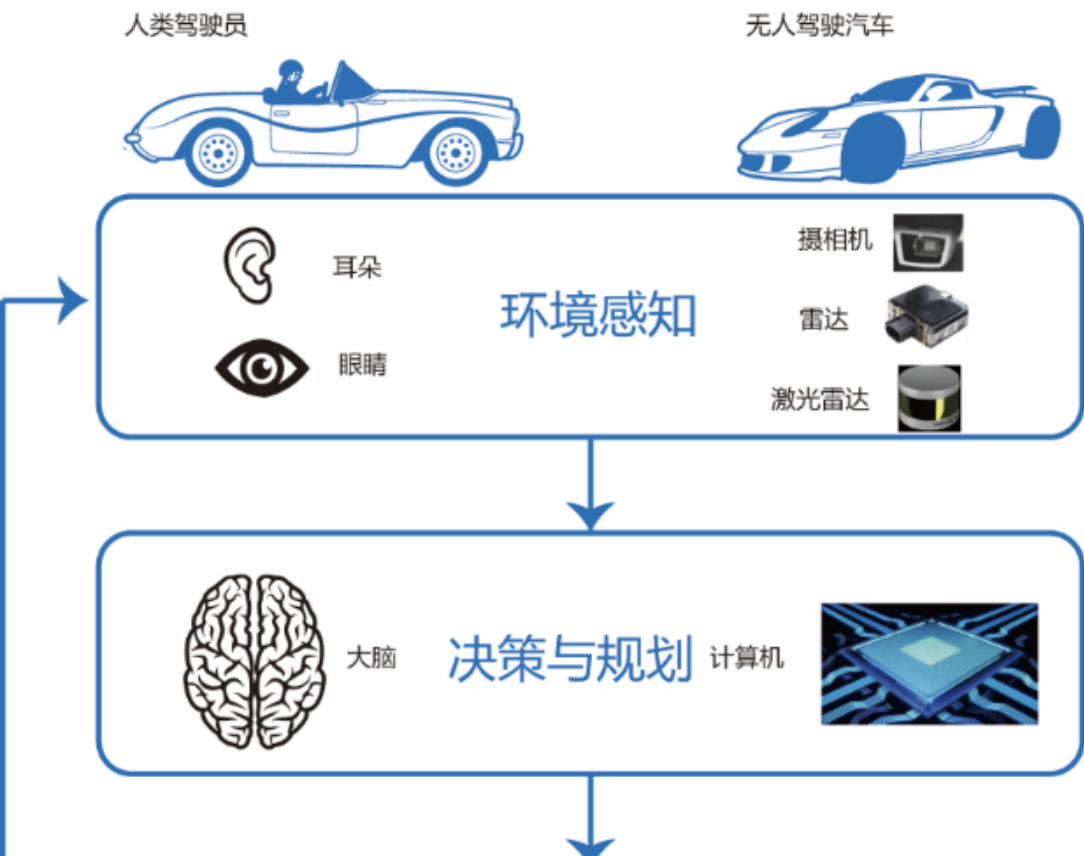




图 2 无人驾驶技术

(5) 自动驾驶技术的价值

自动驾驶汽车之所以受到各国政府前所未有的重视，国内外各院校、研究机构都投入了大量人力、物力，各大车企、科技公司、汽车零部件供应商以及自动驾驶汽车创业公司也纷纷在这个领域进行布局，它主要具有以下价值，如下图所示。



图 3 自动驾驶技术的价值

- 改善交通安全。驾驶员的过失责任是交通事故的主要因素。自动驾驶汽车不受人的心理和情绪干扰，保证遵守交通法规，按照规划路线行驶，可以有效地减少人为疏失所造成的交通事故。
- 实现节能减排。由于通过合理调度实现共享出行，减少了私家车购买数量，车辆绝对量的减少，将使温室气体排量大幅降低。

- 消除交通拥堵，提升社会效率。自动驾驶汽车可以通过提高车速、缩小车距以及选择更有效路线来减少通勤所耗时间。
- 个人移动能力更加便利，不再需要找停车场。
- 拉动汽车、电子、通信、服务、社会管理等协同发展，对促进我国产业转型升级具有重大战略意义。

1.2 无人驾驶汽车发展图谱



图 4 国外无人驾驶汽车发展历程

本节内容将梳理国外无人驾驶汽车发展图谱，上图所示为重要时间节点事件。

(1) 科研院校对无人驾驶技术的研究

20世纪70年代，科技发达国家开始率先进行无人驾驶汽车的研究。1984年，美国国防高级研究计划署（DARPA）与陆军合作，发起自主地面车辆（ALV）计划，这是一辆八轮车，在校园中能够自动驾驶，但车速并不快。

为了推进无人驾驶技术更快、更好地发展，DARPA于2004年—2007年共举办了3届 DARPA 无人驾驶挑战赛，如下表所示。

表 1 三届 DARPA 无人驾驶挑战赛

2004年在美国的莫哈韦沙漠进行。共有21支队伍第 1 伍参加赛事，其中15支进入了决赛，但决赛 1 中，没有一支队伍完成整场比赛。卡内基·梅隆 届 大学的 Sandstorm 行驶的最远，共行驶了 11.78 km。

共有195支队伍申报参加，有5支队伍 (Stanley、Sandstorm、Highlander、Kat-第 5、TerraMax) 通过了全部考核项目。其中，来 2 自斯坦福大学的 Stanley 以30.7 km/h 的平均速 度、6 h 53 min 58 s 的总时长夺冠，赢得了 届 200万美元，同时，这也标志着无人驾驶汽车取 得了重大突破

第 2007年，在美国加利福尼亚州一个已关闭的空 3 军基地举行。这届比赛的任务是参赛车辆在 6h 届 内完成 96km 的市区道路行驶，并要求参赛车

辆遵守所有的交通规则。这场比赛不仅要求参赛车辆完成基本的无人行驶，检测 and 主动避让其他车辆的同时，还要遵守所有的交通规则。由于车辆需要根据其他车辆的动作实时做出智能决策，这对于车辆软件来说是一个特殊挑战。来自卡内基·梅隆大学的 Boss 以总时长 4h10min20s、平均速度22.53 km/h 的成绩取得了冠军。

20世纪80年代开始，美国著名的大学如卡内基·梅隆大学、斯坦福大学、麻省理工学院等都先后加入无人驾驶汽车的研究工作中。其中，美国卡内基·梅隆大学研制的 NavLab 系列智能车辆最具有代表性。

- NavLab-1 系统于20世纪80年代建成。它的计算机硬件系统由 Sun3、GPS、Warp 等组成，用于完成图像处理、传感器信息融合、路径规划以及车体控制等功能。它在典型结构化道路环境下的速度为 28km/h。
- NavLab-5 系统是1995年建成的。卡内基·梅隆大学与 Assist-Ware 技术公司合作研制了便携式高级导航支撑平台（PANS）。该平台为系统提供了计算基础和 I/O 功能，并能控制转向执行机构，同时进行安全报警。它使用了一台便携式工作站 SPARC Lx，能够完成传感器信息的处理与融合、路径的全局与局部规划任务。NavLab-5 在实验场环境道路上的自主行驶平均速度为 88.5km/h。

Navlab-5 公路实验时进行了首次横穿美国大陆的长途自动驾驶公路试验，自主行驶里程为 4496km，占总行程的98.1%。车辆的横向控制实现了完全自动控制，而纵向控制仍由驾驶员完成。

- NavLab-11 系统是该系列最新的平台。其车体采用了 Wrangler 吉普车，车上安装有工业级四核计算机，处理各种传感器传输来的信息，并把信息分送到各个子单元。它的最高车速达到了 102km/h。

意大利帕尔玛大学 VisLab 实验室一直致力于 ARGO 试验车的研制。在1998年意大利汽车百年行活动中，ARGO 试验车沿着意大利的高速公路网进行了 2000km 长的距离。试验车行驶的道路既有平坦区域，也包括高架桥和隧道。试验车的无人驾驶里程为总里程的94%，最高车速达到了 112km/h。2010年，ARGO 试验车沿着马可·波罗的旅行路线，全程自动驾驶来到中国上海参加世博会，行程达 15900km。该车装载了5个激光雷达、7个摄像机、GPS 全球定位系统、惯性测量设备以及3台 Linux 计算机和线控驾驶系统，全程应用太阳能作为辅助动力源。2013年，该实验室研制的车辆在无人驾驶的情况下成功识别了交通信号灯、避开行人、驶过十字路口和环岛等。

(2) 汽车制造厂商对无人驾驶技术的研究

除了科研院校在无人驾驶领域的积极研究外，奥

迪、福特、沃尔沃、日产、宝马等众多汽车制造厂商也于2013年开始相继在无人驾驶汽车领域进行了布局。这些传统汽车制造企业多采用渐进提高汽车驾驶自动化水平和同时积极研发无人驾驶技术的并进发展路线。

目前，对于量产商用车辆来说部分自动驾驶功能已经较为普及，表现比较突出的是德、美、日、韩等汽车制造厂商生产的汽车。其中，德国汽车制造厂商处于领先地位，其生产的几乎所有车型都能提供相关驾驶辅助系统功能（包括 SAE Level 2级）。

2018新款奥迪 A8 是全球首款量产搭载 Level 3级别的自动驾驶系统的车型，其携带有12个超声波传感器、5个摄像机、5个毫米波雷达、1个激光雷达、1个红外线摄像机共24个车载传感器，可以在60km/h 以下车速时实现 Level 3级自动驾驶，使驾驶员在拥堵路况下可以获得最大限度的解放。

2015年10月，特斯拉推出的半自动驾驶系统 Autopilot，Autopilot 是第一个投入商用的自动驾驶技术。目前，特斯拉的量产车上均已安装 Autopilot 1.0、2.0或2.5硬件系统，其自动驾驶功能可通过OTA（空中下载）进行从 Level 2到 Level 4+的软件升级，这是在已量产车上完成了自动驾驶硬件准备。预计今年8月推出基于视觉深度神经网络的 Tesla Vision 9.0软件版本，特斯拉的创始人 Elon Musk 说，由此将实现“完全自动驾驶”。

2016年，通用汽车收购了自动驾驶技术创业公司 Cruise Automation，正式进入无人驾驶领域。后者初创于2013年，一直从事具有完全自动驾驶功能的无人驾驶技术研发。2018年1月，作为通用汽车旗下自动驾驶部门的 Cruise Automation 发布了新一代（第四代）无人驾驶汽车——Cruise AV。Cruise AV 没有方向盘、油门踏板和刹车踏板，安装了21个普通雷达、16个摄像机和5个激光雷达来感知车辆周围的环境和障碍物，是真正的无人驾驶汽车。通用汽车不仅开始量产 Cruise AV 的测试车，以便在美国各城市甚至全世界各地进行实际路试，并且也已向美国国家高速公路交通安全管理局递交请愿书，以便能够在2019年开始初步实际部署无人驾驶车辆。

(3) 新技术力量对无人驾驶技术的研究

以谷歌为代表的新技术力量纷纷入局无人驾驶领域。这些企业多采用“一步到位”的无人驾驶技术发展路线，即直接研发 SAE Level 4+级别的无人驾驶汽车。

2009年，谷歌公司宣布，由斯坦福人工智能实验室前主任、谷歌街景的联合发明人 Sebastian Thrun 领导组建一支团队，开始研发无人驾驶技术。Sebastian Thrun 的团队创建了机器人车辆 Stanley，该车赢得了2005年 DARPA 大挑战赛。

2012年，美国内华达州的机动车辆管理部门为谷歌公司颁发了全球首例无人驾驶汽车的路测许可证。2015年，谷歌公司的无人驾驶原型车上路进行测试，该车没有方向盘、油门踏板与刹车踏板，同时也没有后视镜，只配有启动和停止两个物理按钮，通过很多传感器、车载计算机来控制汽车。



图 5 谷歌公司的无人驾驶原型车

2016年12月，谷歌将无人驾驶业务独立出来，成立了独立公司——Waymo。自2017年10月，Google Waymo 已在美国凤凰城 Chandler 镇100平方英里范围内，对600辆克莱斯勒插电式混合动力 Level 4 级自动驾驶汽车进行社会公测，这是 Waymo 自动驾驶商业化落地的前奏，首次实现了无驾驶员和安全员的公测无人驾驶出租车。当地时间2018年5月31日，Waymo 宣布向菲亚特·克莱斯勒（FCA）采购62000辆 Pacifica 混动厢式车用于打造无人驾驶出租车队。除车辆采购以外，Waymo 与 FCA 双方还在商讨如何将无人驾驶汽车卖给普通用户。这也意味着，在不远的将来，普通用户可以在 FCA 的

门店里买到一辆其与 Waymo 共同打造的无人驾驶汽车。2018年，谷歌还与捷豹路虎合作，计划在2020年之前生产另外20000辆无人驾驶出租车。



图 6 Pacifica 混动厢式无人驾驶出租车

2016年5月，Uber 无人驾驶汽车在位于美国宾夕法尼亚州匹兹堡市的 Uber 先进技术中心正式上路测试。Uber 首次路测使用的无人驾驶汽车是一款福特 Fusion 混合动力汽车，它同时进行采集测绘数据并试验自动驾驶功能。Uber 无人驾驶汽车配备了各式传感器，包括毫米波雷达、激光雷达以及高分辨率摄像机，以便绘制周边环境的细节。2016年9月14日，Uber 在美国匹兹堡市推出城区大范围无人驾驶出租车免费载客服务并试运行；尽管上面有两名安全工程师，但商业模式却是大范围的城区，比 Waymo 公测的小镇要大得多。

(4) 创业公司对无人驾驶技术的研究

以 nuTonomy 为代表的创业公司也纷纷入局无人驾驶领域。这些企业多采用“一步到位”的 SAE Level

4+的无人驾驶技术发展路线。

nuTonomy 是一家于2013年从麻省理工学院分离出来的创业公司。2016年8月，它成为了新加坡第一家在试点项目下推出自动驾驶出租车的公司。在新加坡的测试中，nuTonomy 在自动驾驶汽车上配备了6套激光雷达检测系统，前面安装有2个摄像机，用于识别障碍物，检测交通信号灯变化。此外，车前座还配备一名司机以应对紧急情况，在后座配备一名研究人员，其职责是观察车载计算机。2017年10月，德尔福宣布收购 nuTonomy。

Zoox 是硅谷一家神秘的无人驾驶汽车初创公司，目前已经筹集3.6亿美元。Zoox 很少向外界介绍其进展。消息显示，Zoox 秘密开发全自动驾驶汽车已有多年。2013年，该公司展示了其车辆的渲染图。根据 IEEE 的消息，该公司的车型没有挡风玻璃、方向盘和刹车踏板。这种汽车能向任意方向行驶，乘客将面对面而坐。



图 7 Zoox 的无人驾驶汽车

1.3 我国无人驾驶汽车发展图谱

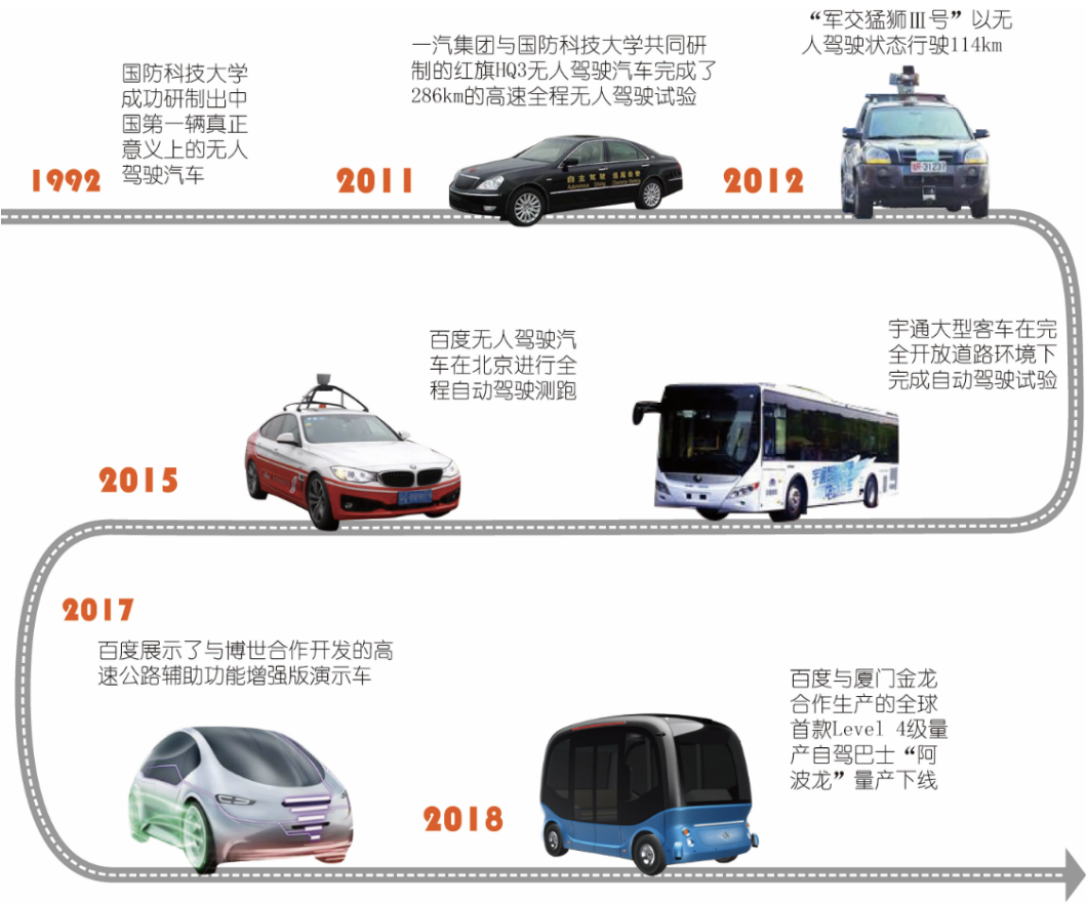


图 8 我国无人驾驶汽车发展历程

本节将介绍我国无人驾驶汽车研究重要时间节点事件，如上图所示。

(1) 我国科研院校对无人驾驶汽车的研究

与美、欧等发达国家相比，我国在无人驾驶汽车方面的研究起步稍晚，从20世纪80年代末才开始。不同于国外车企以自主研发为主，我国汽车制造厂商多采取与国内科研院所、高校合作研发无人驾驶技术。

国防科技大学从20世纪80年代末开始先后研制出基于视觉的 CITAVT 系列智能车辆。其中，在

CITAVT-I、CITAVT-II 型无人驾驶小车的研制过程中对无人驾驶汽车的原理进行了研究；CITAVT-III 型的研究以实现在非结构化道路下遥控和自动驾驶为目的；CITAVT-IV 型自动驾驶车基于 BJ2020SG 吉普车改装而成，该车型以研究结构化道路环境下的自动驾驶技术为目标，空载条件下速度最高为 110km/h，车辆具有人工驾驶、遥控驾驶、非结构化道路上的低速自动驾驶和结构化道路上的自动驾驶四种工作模式。直至1992年，国防科技大学才成功研制出中国第一辆真正意义上的无人驾驶汽车。

清华大学在国防科工委和国家863计划的资助下，从1988年开始研究开发 THMR 系列智能车。

THMR-V 智能车能够实现结构化环境下的车道线自动跟踪，准结构化环境下的道路跟踪，复杂环境下的道路避障、道路停障以及视觉临场感遥控驾驶等功能，最高车速达 150km/h。THMR-V 智能车采用了基于扩充转移网络的道路识别技术，大幅度降低了道路图像处理和车道线识别的计算量，并通过实验测得在车道线跟踪阶段全部计算过程的周期小于 20ms，这保证了实际场景下的实时性要求。

(2) 我国汽车制造厂商对无人驾驶汽车的研究

不同于国外车企以自主研发为主，我国汽车制造厂商多采取与国内科研院所、高校合作研发无人驾驶技术。

一汽集团于2007年与国防科技大学合作。2011年7月，由一汽集团与国防科技大学共同研制的红旗HQ3无人驾驶汽车完成了286km的面向高速公路的全程无人驾驶试验，人工干预的距离仅占总里程的0.78%。2015年4月，一汽集团正式发布了其“挚途”技术战略，标志着一汽集团的互联智能汽车技术战略规划正式形成。2015年4月19日，一汽在同济大学举行了“挚途”技术实车体验会，包含手机叫车、自主泊车、拥堵跟车、自动驾驶等四项智能化技术。

2012年，军事交通学院的“军交猛狮III号”以无人驾驶状态行驶114km，最高时速为105km/h，完成了从京津高速台湖收费站到东丽收费站的公路试验，实现了无人干预的自动驾驶。该车装有由5个毫米波雷达、3个摄像机和1个GPS传感器组成的视听感知系统，能够帮助无人驾驶车辆识别路况，精确判断与前后左右障碍物的距离。

2015年4月，长安汽车发布智能化汽车“654战略”，即建立六个基础技术体系平台，开发五大核心应用技术，分四个阶段逐步实现汽车从单一智能到全自动驾驶。

2015年8月，宇通大型客车从郑开大道城铁贾鲁河站出发，在完全开放的道路环境下完成自动驾驶试验，共行驶32.6km，最高速度为68km/h，全程无

人工干预，为了保障安全，客车上还是配备了司机。这也是国内首次大型客车高速公路自动驾驶试验。2018年5月，宇通客车在其2018年新能源全系产品发布会上宣布，已具备面向高速结构化道路和园区开放通勤道路的 Level 4 级别自动驾驶能力。

北汽集团在2016年4月的北京车展上，展示了其基于 EU260 打造的无人驾驶汽车。车辆通过加装毫米波雷达、高清摄像机、激光雷达和 GPS 天线等零部件识别道路环境，同时配合高清地图进行路径规划实现无人驾驶。北汽无人驾驶汽车目前搭载的无人驾驶感知与控制设备大部分都采用了国产化采购，目的是为未来的量产打下基础。

(3) 我国高科技公司对无人驾驶汽车的研究

除了上述传统的汽车制造厂商在无人驾驶领域的研究外，以百度为代表的高科技公司也相继加入了无人驾驶汽车领域的研究。百度公司于2013年开始了百度无人驾驶汽车项目，其技术核心是“百度汽车大脑”，包括高精度地图、定位、感知、智能决策与控制四大模块。2015年12月初，百度无人驾驶汽车在北京进行自动驾驶测跑，实现多次跟车减速、变道、超车、上下匝道、调头等复杂驾驶动作，完成了进入高速到驶出高速不同道路场景的切换，最高车速达到 100km/h。

2015年12月14日，百度宣布正式成立自动驾驶事业

部。2017年4月17日，百度展示了与博世合作开发的高速公路辅助功能增强版演示车。2018年7月4日，百度在第二届百度 AI 开发者大会（Baidu Create 2018）上宣布，与厦门金龙合作生产的首款 Level 4级自驾巴士“阿波龙”已经量产下线。这一批次的100辆车接下来会被投放到北京、深圳、武汉等城市，在机场、工业园区、公园等行驶范围相对固定的场所开始商业化运营。2019年年初，百度还会跟日本软银旗下的 SB Drive 合作，将10辆“阿波龙”带去包括东京在内的多个日本城市。这款无人驾驶巴士是基于百度的阿波罗自驾车开放平台（3.0版本）。除了能在某些特定条件下实现无人工介入的自动驾驶，其还加入了自动泊车、面部识别及驾驶者疲劳度检测等功能。另外，在大会现场百度还宣布会与英特尔合作，将 Mobileye 的责任敏感安全模型（Responsibility Sensitive Safety）及周围计算机视觉套件整合入阿波罗，希望以此来进一步提升该平台的行车安全性。





图 9 百度“阿波龙”无人驾驶巴士