

车路协同自动驾驶发展报告

CONNECTED AUTOMATED VEHICLE HIGHWAY (CAVH):

A VISION AND DEVELOPMENT REPORT FOR LARGE-SCALE AUTOMATED DRIVING SYSTEM (ADS) DEPLOYMENT

2019.06



车路协同自动驾驶发展报告

1.0 版

中国公路学会自动驾驶工作委员会

2019 年 06 月

版权说明

本报告版权属于中国公路学会自动驾驶工作委员会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国公路学会自动驾驶工作委员会”。违反上述声明者，中国公路学会自动驾驶工作委员会将追究其相关法律责任。

车路协同自动驾驶发展报告

发布机构:

中国公路学会自动驾驶工作委员会

编写单位:

1. 东南大学-威斯康星大学智能网联交通联合研究院
2. 东南大学
3. 清华大学
4. 北京航空航天大学
5. 北京交通大学
6. 北京工业大学
7. 公安部交通管理科学研究所

写作组人员:

1. 程 阳
2. 郑 元
3. 谭华春
4. 衣建波
5. 曲 栩
6. 李 深
7. 何蜀燕
8. 涂 强
9. 李海舰
10. 李振龙
11. 何永明
12. 姚志洪
13. 林杨欣
14. 李彦瑾
15. 袁腾飞
16. 吴浩然
17. 丁 璠
18. 姚丹亚
19. 何赏璐
20. 顾海燕
21. 陈志军
22. 赵克刚
23. 芮一康
24. 杨 帆
25. 张 健
26. 蒋大治
27. 毕 军
28. 谷远利

29. Steven Parker
30. Shawn Leight
31. Peter Jin (金璟)
32. David Noyce
33. Soyoung (Sue) Ahn
34. 王建强
35. 罗禹贡
36. 李升波
37. 边明远
38. 余贵珍
39. 鲁光泉
40. 田大新
41. 于海洋
42. 李 力
43. 胡坚明
44. 陆文杰
45. 王 敏
46. 孙 巍
47. 袁建华
48. 徐志刚
49. 龚思远

指导专家:

1. 翁孟勇
2. 庞 松
3. 冉 斌
4. 李克强
5. 王云鹏
6. 张 毅
7. 王长君
8. 石晓辉
9. 赵祥模
10. 陈山枝
11. 张劲泉
12. 金 凌
13. 上官甦
14. 王笑京
15. 岑晏青
16. 王 刚
17. 牛 波
18. 钟永健

引言

智能交通系统是缓解交通拥堵和保证交通安全的重要手段。随着人工智能、移动互联、大数据等新一代信息技术的迅速发展，以自动驾驶为主要特征的新一代智能交通系统将逐渐成为解决交通问题的突破口。以谷歌、特斯拉和百度为首的自动驾驶解决方案，基于各种感知信息，通过人工智能技术进行决策和车辆控制，在一定程度上本身单车即可实现自动驾驶。但随着单个车辆自动驾驶技术进步空间的饱和、技术提升的瓶颈以及交通环境复杂性的增加，自动驾驶越来越依靠智能道路设施的进步。智能道路基础设施和车路之间的交互与耦合将逐渐对智能网联汽车自动驾驶起辅助甚至主导作用。在此发展背景下，车路协同和车路一体化自动驾驶等相关创新技术的进步，能够加速自动驾驶商业化实现，并促进通信、互联网、汽车电子、路侧设施等领域的加快发展，推动 IT、智能制造与交通、汽车产业走向深度融合。车路协同自动驾驶产业创新体系一旦形成，其产业链潜力巨大，将成为新一轮科技创新和产业竞争的制高点。

车路协同自动驾驶作为智能交通系统的高级发展形式，是物联网技术在交通运输领域的重要应用。车路协同自动驾驶是一个由低至高的发展历程，主要包括以下几个发展阶段：（1）阶段 I，即信息交互协同，实现车辆与道路的信息交互和共享（**Vehicle to Infrastructure & Infrastructure to Vehicle, V2I & I2V**）；（2）阶段 II，即感知预测决策协同，在阶段 I 基础上，又可实现车路协同感知、预测、决策功能；（3）阶段 III，即控制协同，在阶段 I 和 II 基础上，可实现高级的车路协同控制功能；（4）阶段 IV，即车路一体化，在阶段 I、II 和 III 基础上，车辆和道路实现全面协同，即实现车路协同感知、车路协同预测、决策和车路协同控制一体化等完整系统功能。

以车路协同自动驾驶为核心的新一代智能交通系统，即车路协同自动驾驶系统。该系统利用先进的传感技术、网络技术、计算技术及控制技术等，对道路和交通环境进行全面感知，实现多个系统间大范围、大容量数据的交互和共享，并考虑不同的车辆自动化程度和不同的交通系统集成阶段，从车辆自动化、网络互联化和系统集成化三个维度构建车路协同自动驾驶系统。该系统能够高效地实现感知、预测、决策和控制功能，并最终形成一个能够整合、协调、控制、管理和优化所有车辆、信息服务、设施设备、智能化交通管理控制的智能交通系统。车路协同自动驾驶系统由交通管理子系统、智能路侧子系统、智能车辆子系统、智能通讯子系统等 4 大关键子系统，以及感知模块、融合预测模块、决策模块和控制模块等 4 大关键模块组成。广义上，车路协同自动驾驶系统涵盖和整合了智能网联汽车系统与智能网联道路系统，即智能网联车、车联网、主动交通管理系统、自动公路系统等均包含于车路协同自动驾驶系统。车路一体化自动驾驶是车路协同自动驾驶更高级的发展形式，是进一步增强道路基础设施的智能作用，改善车辆自动驾驶的商用化途径，从而形成车辆和道路共同促进自动驾驶实现的一体化发展途径。

传统技术和产业正面临着重构和再造，车路协同自动驾驶作为新兴的系统，也必将衍生新技术、新产业和新业务。车路协同自动驾驶系统是一个涵盖了自动驾驶车辆、交通环境、通信设施设备、交通管理和控制系统等多种实体，涉及计算机视觉技术、通信技术、网络安全技术、车路协同技术、主动管理控制技术、人车路中心协同服务管理技术、自动公路系统等多项技术的综合系统，也是车路协同自动驾驶产业化道路过程中的技术热点和难点。车路协同自动驾驶涉及的产业众多，角色丰富、优势互补、跨界整合特征突出。发展车路协同自动驾驶，推动新技术应用，有利于促进以汽车和道路为载体的芯片、软件、信息通信、数据服务等产业发展和转型，打造智能汽车乘行经济新模式，有利于智能交通系统和智慧城市的建设，构建数据驱动、跨界融合、共创共享的数字经济，培育新的经济增长点。

本报告在深入解读车路协同自动驾驶概念内涵基础上，阐述了车路协同自动驾驶关键技术发展方向，分析了车路协同自动驾驶产业的发展趋势与角色定位，提出了适合中国发展的车路协同自动驾驶的政策与建议。

目录

版权说明	I
引言	V
目录	VII
1 车路协同自动驾驶内涵.....	1
1.1 自动驾驶内涵.....	1
1.1.1 自动驾驶原理	1
1.1.2 自动驾驶目前分级	1
1.2 车路协同自动驾驶内涵.....	2
1.2.1 车辆自动化	3
1.2.2 网络互联化	3
1.2.3 系统集成化	3
1.3 车路协同自动驾驶发展阶段	4
1.4 系统主要组成和功能	5
1.4.1 关键子系统	5
1.4.2 关键功能模块	6
2 车路协同自动驾驶关键技术及其发展方向.....	7
2.1 车路协同自动驾驶关键技术解析	7
2.1.1 环境感知技术	7
2.1.2 融合与预测技术	7
2.1.3 智能决策技术	7
2.1.4 控制执行技术	8
2.1.5 I2X 和 V2X 通讯技术	8
2.1.6 网络安全技术	8
2.1.7 协同优化技术	8
2.1.8 交通系统集成优化技术	9
2.2 车路协同自动驾驶未来发展方向	9
2.2.1 融合北斗卫星和路侧设施的高精度高可靠定位逐渐成为主流.....	9
2.2.2 视觉识别和激光雷达将逐渐成为感知技术的核心.....	9
2.2.3 基于云技术的车路协同自动驾驶分布式云平台初现雏形.....	10
2.2.4 融合网联化智能技术的自动驾驶技术急速发展.....	10
2.2.5 车路一体化自动驾驶的交通系统优化技术进入快车道.....	10
3 车路协同自动驾驶产业发展趋势与角色定位.....	13
3.1 车路协同自动驾驶产业发展趋势	13
3.1.1 关键技术与基础设施（上游）	14
3.1.2 智能制造与系统集成（中游）	16
3.1.3 应用服务与增值服务（下游）	17
3.1.4 通用标准的制定	18
3.2 机构、部门、企业在车路协同自动驾驶产业发展中的角色定位	18

3.2.1 政府部门	18
3.2.2 企业	19
3.2.3 高校、科研院所	19
3.2.4 学会、协会	20
3.2.5 金融资本、投资机构	20
4 车路协同自动驾驶政策与建议	23
4.1 政府部门	23
4.1.1 政策	23
4.1.2 标准	23
4.1.3 法律法规	23
4.2 企业	23
4.3 高校与科研院所	24
5 术语附录	25
6 参考文献	27

1 车路协同自动驾驶内涵

1.1 自动驾驶内涵

1.1.1 自动驾驶原理

自动驾驶,即车辆通过车身布置的各传感器,对周围环境进行感知并做出控制决策,包括纵向和横向的组合控制,纵向主要控制车速,横向主要控制方向。自动驾驶过程主要包括信息采集、信息处理和执行指令三个阶段。

信息采集阶段:自动驾驶汽车通过布置在车身的雷达、摄像头等传感器,对周围环境进行探测,采集周围行人、车辆的位置、车辆速度和加速度、车道线等信息。

信息处理阶段:自动驾驶汽车将采集到的信息传送到汽车电子控制单元(ECU)进行分析、计算并做出控制决策。

执行指令阶段:自动驾驶汽车将汽车电子控制单元做出的控制决策传送到发动机/电机管理系统和电动助力转向系统(EPS),实现车辆加速、减速和转向操作。

1.1.2 自动驾驶目前分级

按照自动驾驶技术让汽车达到自动驾驶的智能程度,国际汽车工程师协会(SAE)和美国道路安全管理局(NHTSA)分别将自动驾驶的级别划分为6个等级和5个等级。SAE和NHTSA划分的原则也基本相同,都是从完全人工驾驶到完全自动驾驶^[1],见表1。

表1 自动驾驶汽车分级

NHTSA	SAE	自动化程度	具体定义	驾驶操作	周边监控	接管	应用场景
0	0	人工驾驶	由人类驾驶员负责驾驶车辆	人类驾驶员	人类驾驶员	人类驾驶员	无
1	1	辅助驾驶	车辆对方向盘和加减速中的一项操作提供驾驶,人类驾驶员负责其余的驾驶动作	人类驾驶员和车辆	人类驾驶员	人类驾驶员	限定场景
2	2	部分自动驾驶	车辆对方向盘和加减速中的多项操作提供驾驶支持,人类驾驶员负责其余驾驶操作	车辆	人类驾驶员	人类驾驶员	
3	3	条件自动驾驶	车辆完成绝大部分驾驶操作,人类驾驶员需要在适当的时候提供应答	车辆	车辆	人类驾驶员	
4	4	高度自动驾驶	由车辆完成所有驾驶操作,人类驾驶员无需对所有的系统请求做出应答,但限定道路和环境条件	车辆	车辆	车辆	
	5	完全自动驾驶	由车辆完成所有驾驶操作,人类驾驶员无需保持注意力	车辆	车辆	车辆	所有场景

第一层次:人工驾驶(Level 0)

车辆完全由驾驶员控制,包括制动、转向、启动加速及减速停车。

第二层次:辅助驾驶(Level 1)

车辆具有有限自动控制的功能,主要通过警告防止交通事故的发生。具有一定功能

的智能化阶段可称为“辅助驾驶阶段”。

第三层次：部分自动驾驶（Level 2）

车辆具有至少两种控制功能融合在一起的控制系统，为多项操作提供驾驶支持，如紧急自动刹车系统（AEB）和紧急车道辅助系统（ELA）等。

第四层次：条件自动驾驶（Level 3）

车辆能够在某个特定的交通环境下实现自动驾驶，并可以自动检测交通环境的变化以判断是否返回驾驶员驾驶模式。

第五层次：高度自动驾驶（Level 4）

驾驶操作和环境观察仍然由系统完成，不需要对所有的系统要求进行应答。只有在某些复杂地形或者天气恶劣的情况时，才需要驾驶员对系统请求做出决策。

第六层次：完全自动驾驶（Level 5）

无须驾驶员和方向盘，在任何环境下都能完全自动控制车辆。只需提供目的地或者输入导航信息，就能够实现所有路况的自动驾驶，到达目的地。全工况无人驾驶阶段可称之为“完全自动驾驶阶段”或者“无人驾驶阶段”。

1.2 车路协同自动驾驶内涵

车路协同自动驾驶系统通过先进的车、路感知设备（如雷达、摄像头等）对道路交通环境进行实时高精度感知，按照约定的通信协议和数据交互标准，实现车与车、车与人以及车与道路交通设施间不同程度的信息交互和共享（网络互联化），并涵盖不同程度的车辆自动化驾驶阶段（车辆自动化），以及考虑车辆与道路供需间不同程度的分配协同优化（系统集成化），从车辆自动化，网络互联化和系统集成化三个维度构建车路协同自动驾驶系统，进而高效和协同地执行车辆和道路的感知、预测、决策和控制功能，最终形成一个能够整合、协调、控制、管理和优化所有车辆、信息服务、设施设备、智能化交通管理的以车路协同自动驾驶为核心的新一代智能交通系统。广义上，车路协同自动驾驶系统涵盖和整合了智能网联汽车系统与智能网联道路系统，即智能网联车、车联网、主动交通管理系统、自动公路系统等均包含于车路协同自动驾驶系统。

车路一体化自动驾驶是车路协同自动驾驶更高级的发展形式，能够实现车路协同感知、车路协同预测和决策以及车路协同控制一体化等功能。车路协同感知一体化技术是以路侧感知设备为主、车辆感知为辅，实现全路全息和全维度的一体化感知，改善车辆感知能力的局限；车路协同预测和决策一体化是对关键节点、路段层、路网层等交通系统单元进行统一规划与优化；车路协同控制一体化是考虑车辆控制技术和交通环境的复杂性，对决策控制指令制定和执行进行统一优化和分配。

其中系统包括三个维度，如图 1 所示，维度 D1：车辆自动化，是车路协同自动驾驶系统中智能网联汽车的发展维度；维度 D2：网络互联化，是车路协同自动驾驶系统中智能网联通信的发展维度，以实现人、车、交通环境之间的协同、互联；维度 D3：

系统集成化，是车路协同自动驾驶系统的集成性发展维度^{[2][3][4]}。具体内容如下。

1.2.1 车辆自动化

车辆的自动化，基于 SAE 的标准发展从低到高可以分为驾驶资源辅助、部分自动化、有条件自动化、高度自动化和完全自动化 5 个阶段^[1]。

(1) 驾驶资源辅助阶段：在适用的设计范围内，自动驾驶系统可持续执行横向或纵向的车辆运动控制某一子任务（不可同时执行），由驾驶员执行其他的动态任务。

(2) 部分自动化阶段：在适用的设计范围内，自动驾驶系统可持续执行横向或纵向的车辆运动控制任务，驾驶员负责执行目标和意外检测与响应（Target and Accident Detection and Response, TADR）任务并监督自动驾驶系统。

(3) 有条件自动化阶段：在适用的设计范围内，自动驾驶系统可以持续执行完整的动态驾驶任务，用户需要在系统失效时接受系统的干预请求，及时做出响应。

(4) 高度自动化阶段：在适用的设计范围内，自动驾驶系统可以执行完整的动态驾驶任务和动态驾驶任务支援，用户无需对系统请求做出回应。

(5) 完全自动化阶段：自动驾驶系统能在所有道路环境执行完整的动态驾驶任务和动态驾驶任务支援，驾驶员无需介入。

1.2.2 网络互联化

网络互联化发展主要包含信息辅助、有限的互联传感、丰富的信息共享和全网优化性互联 4 个阶段。

(1) 信息辅助阶段：驾驶员通过路侧设备获取路况信息，从而辅助驾驶和决策。

(2) 有限的互联传感阶段：驾驶员和车辆通过车内设备，以及路侧设备，获取相关信息，从而进一步辅助驾驶及进行决策。

(3) 丰富的信息共享阶段：驾驶员和车辆之间通过车内设备、路侧设备、全网信息中心以及车辆间信息共享设备获得更多层面的信息。不同车辆之间，通过各自认可的驾驶方式进行驾驶和决策，其中驾驶方式包括驾驶员驾驶、车辆自行驾驶、车辆服从全网信息中心指令驾驶。

(4) 全网优化性互联阶段：全交通网络的信息不再过载和重复，驾驶员和车辆获得优化后的信息，迅速地进行安全驾驶和最优的行驶决策。

1.2.3 系统集成化

系统集成化的发展需要经历关键节点层系统集成、路段层系统集成、交通走廊层系统集成和全局宏观层系统集成 4 个阶段。

(1) 关键点层系统集成阶段：网联车辆在交通关键点与路侧设备进行信息交互，获得指令和必要信息，在各个交通关键点处解决具体事件，保障各微观节点的交通畅通

和安全。该阶段的目标是实现交通关键点以及周边小区域的交通优化控制。

(2) 路段层系统集成阶段：网联车辆与微观交通控制中心联结，获取指令与信息，通过指令在路段层面解决微观问题。这一阶段的目标是以单个路段为单位对交通进行管理和控制。

(3) 交通走廊层系统集成阶段：网联车辆与中观控制中心联结获取出行路径规划。中观控制中心合理控制走廊层面的交通流量，提前预测拥堵事件，合理建议全局系统进行全局规划。本阶段针对路网交通运行具有重要影响的交通走廊，由上一阶段的路段控制整合形成，从而支持更高级的控制算法，实现走廊层面的交通优化管理与控制。

(4) 全局宏观层系统集成阶段：从最高层级优化交通分配，提高出行效率，降低人员出行成本和社会物流成本，实现全网范围的全局优化管控。

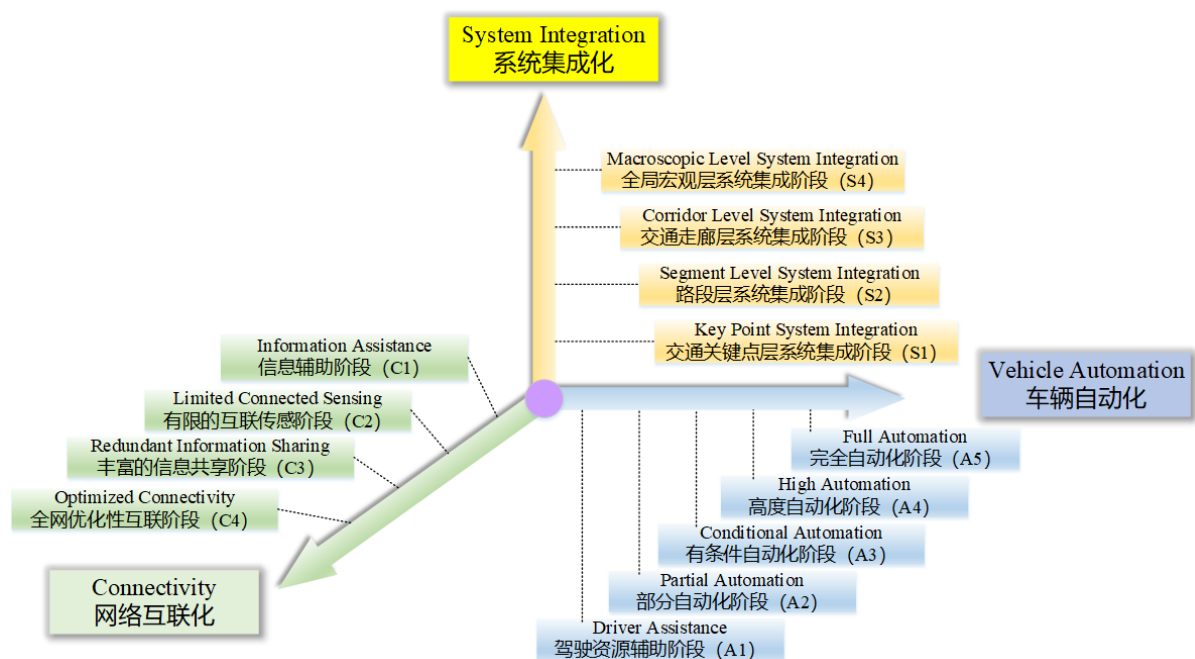


图 1 车路协同自动驾驶系统三维体系发展架构

1.3 车路协同自动驾驶发展阶段

车路协同自动驾驶是一个由低至高的发展历程，主要包括以下几个发展阶段：（1）阶段 I，即信息交互协同，实现车辆与道路的信息交互和共享（Vehicle to Infrastructure & Infrastructure to Vehicle, V2I & I2V）；（2）阶段 II，即感知预测决策协同，在阶段 I 基础上，又可实现车路协同感知、预测、决策功能；（3）阶段 III，即控制协同，在阶段 I 和 II 基础上，可实现高级的车路协同控制功能；（4）阶段 IV，即车路一体化，在阶段 I、II 和 III 基础上，车辆和道路实现全面协同，即实现车路协同感知、车路协同预测决策、以及车路协同控制一体化等完整系统功能。

车路协同自动驾驶阶段 I：采用先进的无线通信和新一代互联网等技术，全方位实现车车、车路等动态实时信息交互和共享，其主要体现在系统参与者对环境信息的采集

与融合层面^{[5][6]}。

车路协同自动驾驶阶段 II：除借助通信技术进行实时信息交互和共享外，随着车辆技术进步空间的饱和与交通环境复杂性的增加，自动驾驶感知和决策的实现不仅仅依赖于雷达、摄像头等先进的车载设备，而且越来越依靠于智能道路设施，进行全时空动态交通环境信息的感知，以及后续的数据融合、状态预测和行为决策等功能，其主要体现在系统参与者对环境信息的全面采集以及驾驶决策层面^{[5][6]}。

车路协同自动驾驶阶段 III：除可采集全时空动态环境信息和实施车车、车路等动态实时信息交互外，能够进行状态预测和行为决策，并在此基础上还可实现车路协同自动驾驶控制功能，进而完成对整个自动驾驶关键步骤的全覆盖，如在高速公路专用道、城市快速路、自动泊车等限定场景进行应用，其主要体现在系统参与者对环境信息的全面采集、驾驶决策和控制执行整个层面。

车路协同自动驾驶阶段 IV：除可实现全面采集、驾驶决策和控制执行等功能外，能够进一步增强道路基础设施的智能作用，从而实现车辆和道路全面的智能协同和配合，即在任何场景下实现车路协同感知、车路协同预测决策以及车路协同控制等系统一体化功能，进而改善车辆自动驾驶的商用化落地途径，从而形成车辆和道路共同促进自动驾驶实现的一体化发展途径。

1.4 系统主要组成和功能

1.4.1 关键子系统

车路协同自动驾驶系统包括智能交通管理系统、智能路侧系统、智能车辆子系统、智能通讯系统等 4 大关键子系统^[3]。

(1) 智能交通管理系统包括分层的交通控制中心和交通控制单元，用于信息处理、交通控制指令制定。分层的交通控制中心（Traffic Control Center, TCC）和交通控制单元（Traffic Control Unit, TCU）包括：宏观层 TCC、地区层 TCC、通道层 TCC、路段层 TCC、路段层 TCU、点层 TCU。每一层的控制中心和控制单元能够处理上层交通控制中心和交通控制单元的交通控制指令信息，并向低层交通控制中心和交通控制单元发送控制指令。

(2) 智能路侧系统由路侧单元组成，其中路侧单元主要包括：感知模块、数据处理模块、通信模块、展示模块和电源单元。通过感知模块采集交通和车辆驾驶环境信息，数据处理模块提供特定车辆的状态数据，并通过通讯模块完成车辆与上一层级点层 TCU 之间实现信息交互和发送特定的车辆驾驶指令给车辆，展示模块用于展示发送至车载设备的数据。

(3) 智能车辆子系统由不同网联度和自动化程度的混合车流组成，其中的车辆主要包括以下至少一个组成：车辆控制模块、交通检测和数据采集模块、无线通信模块、数据采集和交互模块。智能车辆子系统车辆通过网联车辆安全认证、车载单元 ID

(OBU ID)、可移动设施 ID、差分全球定位系统 DGPS (Differential Global Positioning System)、可视化检测器、可移动 LiDAR (Light Detection And Ranging, 激光探测与测量) 或固定雷达检测器等设备, 实现车辆识别和跟踪功能。

(4) 智能通信系统由以下一个或多个模块组成, 主要包括: OEM (Original Equipment Manufacturer) 操作器; 通信服务提供商, 包括移动、联通和电信等; 维护系统的公共机构, 如: 相关政府交通部门。通信系统为系统中所有实体提供有线或无线通信服务, 包括以下通信技术: 无线通信技术, 例如: DSRC, 手机通信技术 3G、4G、5G 和蓝牙; 有线通信技术, 如: 以太网。

1.4.2 关键功能模块

车路协同自动驾驶系统包括感知模块、融合预测模块、规划和决策模块和控制模块等 4 个关键功能模块^{[3][4]}。

(1) 感知模块: 实现道路线形估计及环境感知、静态交通状态及动静态障碍物检测与识别、车辆状态估计及运动补偿、交通标志、标线、信号灯等交通基础设施检测、车辆自身的定位、高精地图或无地图定位等功能。

(2) 融合预测模块: 实现路侧感知信息与车辆感知信息融合、多传感器前向信息融合、多传感器多方向信息融合、车辆群体信息融合、车辆轨迹预测、路段交通状态预测、路网交通状态预测等功能。路侧单元与车辆感知设备的信息融合能够提升感知精度, 路段多车辆信息融合实现路段状态精准识别。

(3) 规划和决策模块: 以效率、安全和能源消耗为目标, 车辆轨迹预测算法为核心, 对车辆队列、期望车速、期望车间距、期望交通量、在接入点的期望交通分流、交通信号配时等参数进行规划, 完成车辆行为及运动的规划、推理、决策等。

(4) 控制模块: 实现车辆路径控制、车队队列控制, 以及按照控制指令到车载单元, 实现对汽车方向盘、油门、刹车等执行机构的控制。紧急状态下, 如通信中断时, 控制权移交至车载单元, 车载单元以安全为目标控制车辆。

2 车路协同自动驾驶关键技术及其发展方向

2.1 车路协同自动驾驶关键技术解析

2.1.1 环境感知技术

环境感知技术利用摄像头、毫米波或激光雷达等传感器感知周围环境，通过提取路况信息与检测障碍物为智能网联汽车提供决策依据^{[7][8]}。目前，自动驾驶在环境感知技术方面主要有3大流派：Google Waymo、GM Cruise、百度等公司以激光雷达为主；苹果、Uber与Roadstar等公司以多传感器融合为主；而特斯拉、驭势科技与Auto X等公司选用的是以摄像头为主的技术方案。其中，激光雷达凭借其分辨率高的优势，成为越来越多自动驾驶车辆的标配传感器。另一方面，高精度地图与定位作为自动驾驶车辆进行环境感知的另一重要手段，可以弥补激光雷达在复杂路况识别等方面的误差。现阶段，国内外几大图商都在积极推进面向自动驾驶的高精度地图，旨在为自动驾驶车辆提供精度更高的定位方案。

2.1.2 融合与预测技术

融合与预测技术利用多种传感器的感知数据以及融合处理，进行行驶环境的采集与分析，并对交通参与者的运动状态进行预测。鉴于多种传感器技术各具有不同的优、劣势，尚不存在某单一传感器满足所有工况需求的方案。例如，摄像头的硬件技术已相对成熟，但所需的算法识别准确率却仍待提高；激光雷达的点云算法实现较易，但硬件成本高、环境适应性差。因此，需对毫米波雷达、激光雷达及摄像头等多种传感器的数据格式、频率以及精度等多项指标进行融合处理。在此基础上，利用多源融合的数据，不断实时地监督车辆运动状态与周围环境信息，对交通参与者行为、路网交通状态、车辆运行轨迹等进行高效地识别与预测，有助于交通参与者在充分考虑实际行驶环境的同时，生成最优的参考轨迹。

2.1.3 智能决策技术

智能决策技术以安全、舒适、节能、高效为行驶目标，通过车辆周边环境和路侧感知信息，为自动驾驶车辆提供最合理的智能决策^[9]。目前，自动驾驶在智能决策技术方面主要有两种方案：基于规则（rule based）的方案与端到端（end-to-end）的方案。其中，基于规则的方案需要人工搭建一个非常复杂的架构，可解释性较高；而端到端的方案通过神经网络处理，可使自动驾驶车辆产生类似于人类的驾驶行为，这更接近人类的驾驶习惯。此外，新兴的端到端方案还将概率过程、博弈过程、马尔可夫过程、群体决策、群体智能等应用到了车辆行为的决策算法中，从而实现车辆间在不同场景下都能有效做到协同决策。

2.1.4 控制执行技术

控制执行技术将智能决策的行为指令解析为带有时间信息的轨迹曲线,从而对自动驾驶车辆的行驶速度与方向进行有效控制。具体而言,控制执行技术旨在解决自动驾驶车辆的轨迹优化问题,包括:(1)车辆在一定时间段内的行驶轨迹;(2)整条轨迹的时间信息和车辆姿态(如速度、加速度、曲率等)。目前,多数自动驾驶汽车采用传统的控制方法,如比例-积分-微分控制、滑模控制、模糊控制、自适应控制、鲁棒控制等^[10],而中国虽在控制执行技术上有一定的研发基础,但与博世、德尔福等国外大型企业相比,其自动驾驶车辆在控制稳定性和市场规模等方面仍有较大差距。

2.1.5 I2X 和 V2X 通讯技术

基础设施与一切事物相连接(Infrastructure to Everything, I2X)、车辆与一切事物相连接(Vehicle to Everything, V2X)是重要的信息通讯技术,用于实现道路、车辆、系统间的信息交互^{[11][12][13]},这里的 X 代表任何与之交互信息的对象,主要包含车、人、交通路侧基础设施、云和网络。具体而言,I2X 和 V2X 通讯技术可以通过无线通讯获得实时道路信息、行人信息等一系列交通与驾驶信息,然后充分应用这些信息提高自动驾驶车辆的安全性及出行效率,并提供一定的车载娱乐服务^{[11][14]}。目前,在 I2X 和 V2X 通信标准的应用上,国内外主要采用 DSRC、4G-LTE 和 5G 等方案^{[15][16]}。

2.1.6 网络安全技术

当智能车辆的车载设备通过无线方式与其他设备或互联网相连时,网络安全问题随之产生。针对自动驾驶的网联安全^{[14][17]},美国在 2013 年制订了全世界首部汽车智能网联信息安全标准 SAE J3061^{[15][18]},该标准的主要特征是从信息安全的全生命周期角度提出了相关的物理模型和开发流程;欧洲则是从汽车、开放式信息平台与通信环境等 3 个层级上构架智能网联信息安全的防护体系;而日本信息处理推进机构将汽车信息安全模型 Approaches 作为推进汽车信息安全防护的重要参考^{[16][19]}。在中国,交通运输部 IDS 标委会发布了《智能网联驾驶信息安全标准体系框架》,它对自动驾驶车辆的网络安全从体系架构、测试方法和安全标准等多个方面给出了明确的标准和规范^{[17][18][19][20][21]}。

2.1.7 协同优化技术

协同优化技术基于环境感知技术获取车辆和路侧设施等的实时信息,并通过 V2V、V2I 通信技术实现车辆与道路互联互通,整合两者优势协同优化交通系统资源,提高道路安全,缓解交通拥堵^[22]。其中涉及车车/车路信息交互、协同感知、协同预测、协同决策与协同控制技术,以及协同系统仿真测试技术等多个方面,主要通过智能车载系统与路侧控制设备的信息传递、功能协同、协调配合,实现基于协同技术的车辆及车辆群体安全协同通行。仿真测试是通过多模式无线通信与路由协议实现虚拟路侧系统与虚拟车

载系统的信息交互，然后将各功能阶段的模型应用于不同的仿真场景中，从而实现车路协同技术的安全评估与效率评估。

2.1.8 交通系统集成优化技术

交通系统集成优化技术主要利用 V2V 及 V2I 通信技术，实时感知获取自动驾驶车辆及其周边车辆的交通状态信息，通过整合车路和道路基础设施优势构建系统平台，对全局宏观层集成、交通走廊层集成、路段层集成、关键节点层集成的交通系统进行决策与优化，该系统通过不断训练和学习进行更新与升级，并能够给车辆和路侧控制单元发布交通状况信息及诱导或控制指令，使得车辆能够与其它车辆及路侧设施设备进行协同运作。目前，交通系统集成优化技术在交通系统运营方面的研究和应用主要集中在高速公路入口与出口区域和城市道路信号交叉口处的交通流运行与管控等领域。

2.2 车路协同自动驾驶未来发展方向

2.2.1 融合北斗卫星和路侧设施的高精度高可靠定位逐渐成为主流

普通导航地图的精度在 5m 左右，只描绘了道路的位置和形态，没有反映道路的细节信息，无法准确获取车辆所在位置，不满足车路协同自动驾驶对高精度定位和导航的需求。而高精度地图的绝对精度要求优于 1m，相对精度达到 10-20cm，包含了车道、车道边界、车道中心线、车道限制信息等非常丰富的信息。随着智能交通和自动驾驶领域的飞速发展，现有的普通导航地图在内容、精度和完整性方面都无法满足车路协同自动驾驶的应用需求。北斗卫星导航系统可在全球部分范围内全天候、全天时为各类用户提供高精度、高可靠定位、导航、授时服务，并具短报文通信能力，已经初步具备区域导航、定位和授时能力。未来将融合北斗卫星和路侧设施，构建车路协同自动驾驶高精度地图。同时，卫星定位与惯导融合的低成本、高精度、高可靠定位传感器将是实现厘米级定位的必经途径，这些均为车路协同自动驾驶真正实现大规模商用奠定基础。

2.2.2 视觉识别和激光雷达将逐渐成为感知技术的核心

在实际驾驶过程中，驾驶员获取的信息绝大部分来自于视觉。摄像头拥有最丰富的线性密度，其数据量远超其他类型的传感器。基于图像信息密度最高的优势，使得视频视觉识别处于整个感知融合的中心地位。但摄像头需要识别和估算的目标繁多，导致基于目标监测与识别的学习算法变得十分复杂。激光雷达相对于毫米波雷达等其他传感器具有分辨率高、识别效果好等优点，已越来越成为主流的自动驾驶汽车用传感器，但其成本从根本上阻碍了自动驾驶汽车的普及与商用。目前激光雷达正在向着低成本、小型化的固态扫描或机械固态混合扫描形式发展，但仍存在量产规模和成本等问题。由于计算机视觉领域在自动驾驶领域的应用潜力被低估，激光雷达的成本和性能已逐步支持商业化，多传感器的融合其实是商业化自动驾驶达到高可靠性的必由之路。多传感器融合

如何同时在车载系统和路侧系统实现是比较关键的问题之一。

2.2.3 基于云技术的车路协同自动驾驶分布式云平台初现雏形

云计算技术采用分布式冗余存储方式，具有处理大规模数据和实现数据共享等特点。云计算技术提供的服务包含基础设施即服务（Infrastructure as a Service, IaaS）、平台即服务（Platform as a Service, PaaS）和软件即服务（Software as a Services, SaaS）^{[23][25]}。车路协同自动驾驶系统中大量数据存储和计算的需求，为云计算技术从概念层走向应用层提供了机遇，两者可以实现优势互补。而云计算技术应用在车路协同自动驾驶中尚处于初级阶段，IaaS 层为车路协同自动驾驶提供处理、存储、网络和基本计算资源，允许部署路网层、路段层和路侧设备通用的应用^{[24][26]}；PaaS 层提供服务，允许将路网层、路段层和路侧设备所需应用部署在云端；SaaS 层可访问云供应商提供的服务应用。如何建立完善的车路协同自动驾驶云分布式平台、提高云服务的安全性将是车路协同自动驾驶技术发展的重要方向。

2.2.4 融合网联化智能技术的自动驾驶技术急速发展

相比于自主式智能车辆对周边环境的感知能力，网联化智能技术可以从时间维度和空间维度获取更多的交通信息，不仅提高单车的感知和决策能力，还能为车辆群体协同感知、决策提供条件。基于 V2X 和 I2X 通信技术进行车-车、车-路、路-云实时信息交互和共享，从时间维度上提前获知或预测周边车辆运行、红绿灯等交通控制系统以及气象条件等信息，从空间维度上感知交叉路口盲区、弯道盲区、车辆遮挡盲区等位置的环境信息，实现自动驾驶车辆之间的协同与配合，能够大范围开展车辆主动安全控制和协同控制，包括自组编队长度控制、队列跟驰与换道策略以及车辆进出车队决策等。网联化智能技术与自动化智能技术正加速融合发展，形成一种新的自动驾驶技术发展与应用趋势。但网联化技术受通讯传输距离以及传输延误和丢包等因素的影响，只有保证一定精度条件下才能帮助自动驾驶系统更全面掌握周边交通态势，进而开展大量相关的研究和应用。

2.2.5 车路一体化自动驾驶的交通系统优化技术进入快车道

基于车路一体化自动驾驶的交通系统将实现车路协同感知、车路协同决策和车路协同控制一体化等功能。由政府主导的交通系统控制管理中心能够更有效地整合车企、IT 企业管理下的自动驾驶资源，从道路系统全局出发为各类不同出行方式和技术层次的出行者提供更安全更有效的自动驾驶出行服务。车路协同感知一体化技术是以路侧感知设备为主、车辆感知为辅，实现全路全息和全维度的车路一体化感知，改善车辆感知能力的局限；车路协同决策一体化以效率、安全和能源消耗作为车路一体化自动驾驶的交通系统优化目标，从路网最优角度出发，对关键节点、路段层、路网层等交通系统单元进

行统一规划与优化；车路协同控制一体化是结合道路系统全局最优的决策控制指令，根据单车和群体动力学理论，考虑单车和车辆群体能耗过程及相关影响因素，实现车辆运行安全、舒适、节能与环保的最终目标。

3 车路协同自动驾驶产业发展趋势与角色定位

3.1 车路协同自动驾驶产业发展趋势

车路协同自动驾驶是交通运输行业前沿领域，具有广阔的市场前景，其涵盖智能网联汽车、车联网与车路协同、自动驾驶、智慧公路等研究领域。车路协同自动驾驶是汽车、交通产业与互联网、通信、人工智能、智能制造等新技术以及交通出行、共享服务等多领域深度融合的产物，对交通、汽车产业跨界融合发展具有重要的战略意义。车路协同自动驾驶产业涉及面广、产业链长、跨界融合特征突出，涵盖传感器、高精度地图、互联网、通信、芯片、AI 算法、汽车电子、道路设施、路侧设备等上游关键产业；智能制造、交通企业、自动驾驶、系统集成、数据集成等中游系统集成产业；公共服务、共享出行、物流配送、行业服务、增值服务等下游应用服务产业。图 2 为车路协同自动驾驶产业链示意图，呈现了车路协同自动驾驶产业链的主要环节和产业分布。

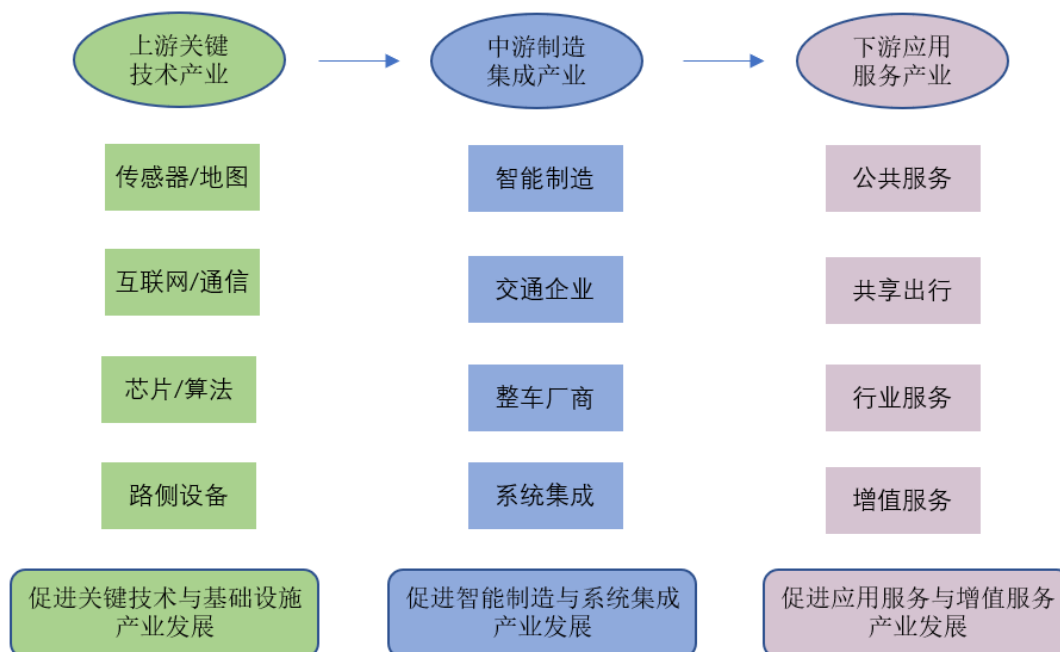


图 2 车路协同自动驾驶产业链

当前，中国汽车产业整体规模保持世界前列。近年来，已初步形成《汽车产业中长期发展规划》、《智能汽车创新发展战略》、《中国制造 2025》等一系列智能网联汽车发展战略。互联网、信息通信产业位于世界前列，涌现出一批世界级领军企业，核心技术不断取得突破，在国际 5G 标准制定中起着越来越重要的角色。基础设施产业方面，高速公路网飞速发展，规模位于世界首位。应用服务产业方面，涌现出一批新的数据和应用服务企业，在物流、智慧出行、共享出行等方面已初具规模。但是，汽车、交通产业与互联网、信息产业的融合还较浅，具有一定的短板，关键技术仍需突破。人工智能、大数据、信息通信等技术的快速发展，必将推动通信、互联网、汽车电子、自动驾驶、路侧基础设施等领域深度融合，加快车路协同自动驾驶产业创新体系的建设，培育新的市

场主体、商业模式与产业形态。

3.1.1 关键技术与基础设施（上游）

● 5G 通信助推车路协同自动驾驶快速部署

5G 为万物互联提供了基础性的支撑，而万物互联必然会带来全新智能技术，将为车路协同自动驾驶提供更大的发展机遇。5G 作为信息通信技术的先锋，5G 相比 4G 的传输速度大十倍以上，有效节省了时间，加大网络资源的利用，并且 5G 能向下兼容各类联网设施。5G 相比 4G，其功耗较低，数据传输相对更为可靠、更实时、低延迟，能使用户获得比 4G 更好的通信体验。5G 凭借其优势将有潜力满足车路协同自动驾驶对于通信技术的高需求，该应用场景已形成跨界（通信、IT、汽车、交通）共识，并在 5G 汽车联盟（5GAA）的推动下开拓车路协同自动驾驶新的市场、搭建 5G 车路协同自动驾驶应用场景、形成商用产品。

● 互联网技术成为车路协同自动驾驶产业飞速发展的引擎

互联网企业在车路协同自动驾驶领域频频出手，与传统车企合作来加速车路协同自动驾驶的研发，车路协同自动驾驶互助互利、跨界合作的新型生态体系已开始成形，并在积极创新研发模式和商业模式^[27]。互联网企业与传统车企可通过合作研发、专利授权与转让、知识产权入股、组建联盟等方式实现跨界合作、强强合作，共同推动车路协同自动驾驶产业的发展。

当前，互联网企业纷纷加入车路协同自动驾驶领域的研发、测试和商业布局^[28]。互联网企业在汽车行业核心地位、路侧测试、关键算法、云计算与云服务等领域都有极大的竞争力和影响力，互联网企业已成为车路协同自动驾驶产业加速发展的引擎，必将推动车路协同自动驾驶产业的发展。

● 智慧道路的建设与改造成为车路协同自动驾驶的基石与新的增长点

单车智能很难解决整个交通出行的安全与效率问题，智慧的车与聪明的路协同形成车路协同智能，才能实现真正的自动驾驶。“聪明的路”智能道路设施建设的基本原则是不断提升道路基础设施信息化、标准化水平，为不同等级的车路协同自动驾驶提供必要的条件支撑，充分发掘与发挥智能网联汽车在改善安全、提高效率、降低能耗与污染方面的潜力。

随着车路协同自动驾驶的发展，车路协同自动驾驶专用车道的设计、建设、管理、运营维护将成为新的产业增值点。同时，加快路侧单元、监控设施、交通信号、交通标识道路、基础设施的智能互联，推进智慧道路的建设 and 智能路网的改造，是实现车路协同自动驾驶的基石。

● 专用芯片与智能算法成为车路协同自动驾驶的技术关键

随着车路协同自动驾驶的深入发展，深度学习等智能算法得到广泛应用，其对车载计算平台的硬件计算能力、数据传输带宽都提出了更高的要求。为满足市场需求，传统

PC 企业纷纷投入汽车计算平台研发制造，国内众多初创公司则着眼于 AI 专用芯片的性能提升。目前，以 NVIDIA、Intel 为代表的传统 PC 芯片厂商主要通过通过对现有芯片进行组合与升级，并应用到深度学习领域，而谷歌等技术公司则通过定制机器学习专用芯片，以寻求在芯片性能、功耗、体积上的更佳表现。国内厂家也在积极推动芯片与计算平台的国产化，主要从深度学习专用芯片、计算架构、智能计算终端等领域寻求突破，以打破 NVIDIA、Intel 等国外厂商的垄断格局。

车路协同自动驾驶中的多源信息融合、决策规划等多个重要环节需要深度学习等算法的深度参与。不同算法经过封装成为覆盖不同环节的系统模块（例如环境感知、中央决策），嵌入汽车，并与其他传感器硬件配套，组成可量产、可通用的完整自动驾驶解决方案，这是目前算法公司主要的发展方向。算法方向已成为国内外创业公司进入车路协同自动驾驶市场最主要的入场口，但这些公司缺乏自己的平台，必须要与主机厂、零部件供应商等合作来获取数据和算法软件应用的机会。

● 传感器与高精度地图成为车路协同自动驾驶规模化商业化的决定因素

在车路协同自动驾驶中，视觉、雷达、定位、姿态、听觉等传感器协作融合，收集本车及周边环境数据，并通过算法的提取、处理和融合，进一步形成完整的汽车周边驾驶态势图，为驾驶行为决策提供依据。

视觉传感方面，由于计算机视觉技术需要深厚的算法、数据积累，壁垒较高，因此大多数供应商仍集中将产品应用于辅助驾驶的基础环节，与自动驾驶所需的环境感知能力尚有很大距离^[29]。目前市场上靠 ADAS 起家、进军自动驾驶的创业公司具备一定的技术积淀，需要合理平衡现有业务和尖端技术研发的关系；对于主打视觉算法的初创公司，短期内也难以进行商用，在很大程度上选择与大公司合作。雷达传感方面，激光雷达仍面临着成本高、量产难的问题。制造门槛高，且应用领域较窄（汽车、资源勘测），使该类产品供应商相对较少，缺乏成熟的量产方案。要推动激光雷达解决方案落地，供应商势必要完整掌握硬件的核心技术，以便控制成本，并以配套的算法推动市场接受其方案。目前，实现激光雷达低成本的路线有：牺牲一定的精度，使用全固态、低线束激光雷达降低制作成本；提高生产率，通过量产带来的规模效益摊薄产品成本。毫米波雷达具备全天候以及探测距离远的优势，但市场目前被国外厂商垄断，国内主要的零部件供应商正在致力于车载毫米波雷达的国产化。无论是以摄像头为主的计算机视觉方案，还是激光雷达，目前尚未拥有独当一面的能力，且信息冗余更有利于安全，因而多传感器融合成为自动驾驶产业共识，不同传感器技术将在博弈平衡中齐头并进。在此基础上，自动驾驶所需的传感器部件将进一步向轻量化（包括产品重量以及传感器数量）、低成本方向发展。多传感器融合并不排除单种传感器主导市场的可能性。一旦某类传感器性价比占优，将更容易获得车厂和零部件供应商青睐，占据更大市场份额，不同传感器方案未来将呈现此消彼长的态势。

高精度地图研发投入大，技术发展路线尚未成熟，还处于商业化尝试阶段。通过众

包形式，使用传感器进行道路数据采集并在后台完成绘制，是高精度地图的主要思路。由于高精度地图投入大、周期长的特性，也有以特征测绘这样精度较低、相对简易的技术方案建图。此外，如何实时将其他动态信息纳入地图也是图商的难点。四维图新、高德作为国内最大图商，在自动驾驶和高精度地图领域投入布局最多，是产业的领导者，此外 BAT 在地图市场的参与度也极高。但该领域技术尚未成熟，还处于商业化的尝试阶段。低成本、规模化产出和地图的可持续运维能力将是企业胜出的决定因素。依靠卫星以及地面基站进行高精度定位也是有力配合高精地图提供冗余精细信息的方案，千寻位置是高精度卫星定位的代表企业。

3.1.2 智能制造与系统集成（中游）

● 传统汽车企业积极引入人工智能和信息技术，推动车路协同自动驾驶的智能制造

传统汽车企业在汽车设计、汽车制造、汽车生产、资本运作等方面具有明显优势，有成熟的汽车生产线和供销产业链。当前，国内外著名汽车企业均已组建研发团队，开展不同级别自动驾驶的研发和测试，考虑了企业利润和技术创新之间的有效平衡，因此制定了各自明确的发展规划和研发策略，如 L1 至 L5 逐级发展或直接进入 L3/L4 级等。

当前，传统汽车企业积极引入人工智能和信息技术，加速自动驾驶制造业和新一代信息技术的深度融合，将形成车路协同自动驾驶的设计、生产、服务等各个环节具有自感知、自学习、自执行和自适应等功能新型生产方式，打造车路协同自动驾驶的智能制造新模式，开展车路协同自动驾驶智能制造的集成创新。

● 传统交通企业与互联网企业强强联合，培育新的创新业态和创新企业

传统基础设施、交通企业都意识到车路协同在实现自动驾驶的作用，产业的跨界合作得到一致认可，强强合作的产业联盟是这种趋势下的最佳选择，车路协同自动驾驶领域将逐渐形成多方参与、竞争合作的复杂生态体系^[27]。随着车路协同中“聪明的路”的建设必将催生与自动驾驶专用道路相关的创新业态和创新企业。

传统交通企业与互联网企业的强强联合必将推动道路行业、交通行业、互联网行业的紧密合作、协同创新，推动产业链上各企业的分工协作，逐步形成以车路协同自动驾驶为核心、各行业企业联合推进、一批高科技企业深度参与的全新发展生态体系，将培育出一批有车路协同自动驾驶行业特色的“专业化、精细化、特色化”创新业态和创新企业。

● “车路协同智能”的需求将培育新的数据与系统集成产业

车路协同智能是车路协同自动驾驶的关键技术之一，车路协同的智能水平决定了车路协同自动驾驶的水平，同时车路协同自动驾驶的发展也需要高水平车路协同智能技术的支撑。具有技术创新的互联网公司凭借其在大数据分析、人工智能、信息处理等技术的优势，能够积极布局自动驾驶领域。

随着车路协同自动驾驶大数据的汇聚、分析,将促进交通大数据和道路基础设施软硬件的建设、融合与应用,为产学研所需的数据服务,为出行公众服务,为车路协同智能平台服务,都将催生新的数据与系统集成产业,如新的地图、大数据应用处理与系统集成产业。

3.1.3 应用服务与增值服务(下游)

● 汽车行业由“汽车即资产”的模式向“汽车即服务”的模式进行转变,业务模式趋于多样化

互联网共享经济下,用户行为发生了转变,各行各业向订阅与使用付费的模式转变,这种趋势被称为“一切皆服务”。汽车即服务(Car-as-a-Service, CaaS)是指信息互联技术下,汽车将不再是一项资产,而是诸如汽车共享、汽车租赁、物流货运服务、车联网保险、数据监控平台、紧急救援等一系列多元化的创新服务模式^[27]。中国作为目前全世界使用电子支付意愿最高、实现程度最高的国家,随着自动驾驶完成“技术先导”环节后,共享出行、分时租赁、物流运输等成为车路协同自动驾驶的最佳应用场景。预计到2030年,汽车行业20%的营收和36%的利润将从汽车销售转移到服务,年轻消费者更加偏好汽车的使用权而不是所有权。

● 共享出行将成为首要发力点,以网约车和分时租赁等为代表的共享出行方式市场潜力巨大

出行服务属于公共服务领域,共享化出行成为当前发展趋势。共享出行减轻了用户在停车、保养、维修等方面的精力消耗,对缓解交通拥堵、减少闲置车辆、节能减排具有积极的意义。截至到2018年底,中国的网约出租车用户规模达3.3亿,网约专车和快车用户规模达3.33亿,用户使用比例为40.2%,市场潜力巨大。优步、滴滴等出行服务商也积极布局自动驾驶行业。除了网约车、专车和出租车、分时租赁等汽车服务也将与车路协同自动驾驶技术充分融合,为不同出行方式和技术层次的出行者提供更安全且有效的出行服务和路线优化方案,实现更高层面的系统资源最优出行共享。

● 互联网经济下货运需求明确而旺盛,是典型的自动驾驶落地场景

货运高速路况较为单一,可以在固定的运输路线运营定制化的驾驶车辆。在中国目前货运物流仅有国企、顺丰、京东等企业拥有自有车队,传统货运大部分仍主要由挂靠车队的个体承担,落后于货运需要。2018年4月,一汽解放和东风商用车发布了L4级无人驾驶重型卡车,中国重汽、图森未来和苏宁的无人重卡开启了试运营。结合车路协同自动驾驶技术,布局车路自动驾驶物流系统,能够有效节约人员成本,增强长途运输时效,提高运行效率和保证安全,带来更高的利润空间。

● 车路协同下的交通应急救援体系更加智能高效,有效缓解交通拥堵,改善交通安全

车路协同自动驾驶系统基于先进的传感和无线通信等技术,可实现车-车、车-路信息的实时动态交互,完成交通信息的采集和融合,能够有效检测事故,并在事故发生后

基于不同应用场景为救援车辆的特殊路权优化提供最佳救援路径。车辆紧急救援具有规模化发展潜力，中国产业界正在积极推动相关技术研究工作，如中国信息通信研究院正在积极推动车载应急救援系列标准的制定，长安、奇瑞、比亚迪等自主品牌和部分合资品牌汽车已陆续推出具有部分车辆应急救援功能的服务。

● 车路协同自动驾驶在改变汽车行业本身外，也给其它关联产业带来新的机遇与挑战

车路协同自动驾驶的驾驶行为区别于传统车辆，驾驶员培训、车辆维护、车辆保险等业务内容将产生相应变化。城市基础设施为了与自动驾驶车辆发展相匹配，如智慧道路、智慧停车场等也将升级改造，以及基础设施相关的规划、设计、施工、运营和维护等业务也将配套升级。得益于自动驾驶车辆在交通系统中出行时间和交通事故的减少，不限于交通行业，自动驾驶的价值在各行业间的转移将愈加频繁，促进各行各业的积极发展。

3.1.4 通用标准的制定

产业的快速发展和国家政策的有力支持逐步推动自动驾驶产业实现标准化，同时自动驾驶技术迅速发展将倒逼相关政策法规不断更新改进^[29]。自动驾驶的实现涉及到汽车、信息通信、互联网、公路等诸多行业，由于专业背景、技术关注点和利益趋向判断不同，不同行业对自动驾驶交通系统的定义、功能、构成的理解存在一定的差异，车路协同自动驾驶的标准建设需要协调各个行业，考虑其构成和兼容性。在标准构成方面，区分不同性质、层级定位和适用范围；标准兼容性方面，标准法规体系的模块化构成应与中国其它相关行业的标准体系兼容。在标准建设方面，逐步研究制定：以1级智能化水平和网联化等级中的辅助信息网联为重点的技术及应用系列标准；以2、3级智能化水平和网联化等级中的环境感知、信息网联、协同决策与控制为重点的技术及应用系列标准。

工信部2016年在上海开展自动驾驶汽车试点示范；在浙江、北京、河北、重庆、吉林、湖北等地开展“基于宽带移动互联网的自动驾驶汽车、智慧交通应用示范”，推进自动驾驶测试工作。通过各方努力，预计在未来五年之内，完成试点示范和标准体系初步搭建工作；在未来15年之内，建成自动驾驶专用道及其骨干网，自动驾驶商用车全面运转；到2035年，“人-车-路-云”为基础的车路协同全面铺行，并初步建成交通强国；到2045年，完成交通强国的建设，将使中国的车路协同技术、设施、标准与世界通用标准达成一致。

3.2 机构、部门、企业在车路协同自动驾驶产业发展中的角色定位

3.2.1 政府部门

政府部门在车路协同自动驾驶产业发展中扮演支持、引导、组织角色，具体作用表

现为：

- **政策支持和战略引导**

针对技术创新不同阶段的特点，制定出台相应的政策。在车路协同自动驾驶研发阶段，出台促进和支持产学研用合作研发的相关政策和战略引导；在中试阶段，出台高校、科研机构为企业提供创新、合作、服务的相关政策；在后期车路协同自动驾驶生产阶段，出台生产的准入政策、制定维护市场公平竞争的政策等等。政府处于最顶层（组织层），起着扶持、引导、激励和约束车路协同自动驾驶联盟发展的作用，由于各参与方的目标和利益不同，所承担的责任和义务也不同，政府要发挥其作用，通过法规和政策来完善竞争与合作机制，规范各方的正当权益与责任。

- **立法管理和市场监管**

政府部门是车路协同自动驾驶产业的监管者与引导者，制定相关政策和文件。各级政府要充分发挥其在政策、管理、规范、标准、信息、服务等方面的优势，通过法律制定、政策引导、信息发布、产业规划等，搭建沟通与合作平台。同时采取适当措施调控市场，确定车路协同自动驾驶行业的发展方向，确立相关的制度和法律。由政府牵头推动车路协同自动驾驶创新平台的搭建，并出台相关法律政策推动一体化发展，在强有力的法律政策保证下，使产学研用围绕应用转化和车路协同自动驾驶成果尽快落地。

3.2.2 企业

企业在车路协同自动驾驶产业发展中扮演**创新、主导、实施**角色，具体作用表现为：

企业是车路协同自动驾驶产业发展中的主体，在车路协同自动驾驶研发阶段，企业是研发活动的主体之一。

在中试阶段，企业是车路协同自动驾驶的实践者、应用者和转化者，发挥着将最新科技成果推广到市场的作用。

在车路协同自动驾驶生产阶段，企业作为车路协同自动驾驶的提供者与实施者，通过分析用户对技术和产品的反馈意见和建议，不断提高车路协同自动驾驶技术水平和服务质量。企业在车路协同自动驾驶产业发展中起着管理主体和实施主体的作用。

3.2.3 高校、科研院所

高校、科研院所在车路协同自动驾驶产业发展中扮演**创新、研究、服务**角色，具体作用表现为：

- **推动车路协同自动驾驶的技术创新**

高校、科研院所在车路协同自动驾驶产业发展中具有科研能力强、掌握先进核心技术的优势。因此，它们在自动驾驶产业发展中充当知识库的角色，也是参与技术研发和服务的重要主体。

- **车路协同自动驾驶产业发展中的智囊作用**

高校、科研院所作为人才聚集的重要基地，在知识、科技、人才、信息等方面具有其他单位无法比拟的优势。可以凭借自身的优势地位，在自动驾驶产业发展中充分发挥主体地位，更好地参与社会实践，参与相关决策，紧紧围绕车路协同自动驾驶发展的重大战略、科研攻关项目、中长期目标、重大决策事项等，组织相关专家进行研究论证，为车路协同自动驾驶做出正确决策提供科学参考，发挥好智囊团作用。

- **车路协同自动驾驶产业发展中的服务促进作用**

高校是为企业和社会培养高素质的技术创新人才，将车路协同自动驾驶前沿的理论和知识输送给企业，从而为车路协同自动驾驶发展提供人才，起到服务促进作用。

3.2.4 学会、协会

学会、协会在车路协同自动驾驶产业发展中扮演**支撑、服务、交流**角色，具体作用表现为：

- **为车路协同自动驾驶产业规划与标准制定提供有力支撑**

在车路协同自动驾驶产业发展过程中，学会、协会是政府与企业、科研院所之间的纽带与桥梁，协助政府加强行业管理，加强相关调查研究，反映车路协同自动驾驶研究需求，积极提供政策建议，为制定车路协同自动驾驶行业规划与标准等提供有力支撑。

- **为车路协同自动驾驶产业发展提供咨询服务**

学会、协会拥有大量专家资源，要发挥这种专家资源优势，积极为政府、企业提供政策、技术和管理咨询服务；大力推动产业、行业诚信建设，协调学会、协会会员与企业关系，促进车路协同自动驾驶行业健康发展。

- **推动车路协同自动驾驶产业交流与合作**

学会、协会要凭借其优势积极组织车路协同自动驾驶产业发展的专题会议、关键技术研讨、产品设备展览等活动。加强车路协同自动驾驶国内外行业协会的联系，推动国际合作与交流，积极协助企业提高国际竞争力。

3.2.5 金融资本、投资机构

金融资本、投资机构在车路协同自动驾驶产业发展中扮演**资金支持、项目融资**角色，具体作用表现为：

金融主体是车路协同自动驾驶产业发展中较为特殊的一类活动主体，在整个体系中扮演的是资金支持、项目融资的角色。通过金融资本、投资机构提供的项目筹融资，为车路协同自动驾驶技术创新提供大量的资金支持。必须充分调动商业化金融机构的积极性，使之成为代表市场的一支重要力量，通过与政府的互补，有效配置和整合各种资源。自动驾驶作为人工智能技术周期演进过程最被看好的领域之一，受到资本市场的热捧，资金注入促使企业发展速度加快。2018年在整体经济下行和资本寒冬的压力下，自动驾驶领域融资总额并未下降，反而有明显的上升，2018年自动驾驶零部件和方案供应

商融资额由 2017 年的 53.69 亿元上升到 162.31 亿元^[29]。

政府主导的政策支持和资金投入。工信部、科技部、交通运输部、国家自然科学基金委以及地方政府相关部门等都以不同的方式支持自动驾驶交通系统的发展。从 2011 年开始，工信部连续多年发布物联网专项，自动驾驶汽车是其支持的重点领域之一；科技部在车路协同、车联网等方面已经进行了多个“863 计划”的国家立项和政策支持；交通运输部要求“两客一危”车辆和货运车辆必须安装符合规定的车联网终端并上报数据，形成全国联网的大型管理平台，工信部在多地开展自动驾驶汽车试点示范，推进自动驾驶测试工作。

近年来，中国许多互联网企业也纷纷进军汽车行业。阿里巴巴集团与上汽集团、长安和神龙等汽车集团签订了战略合作协议，进行互联网汽车，智能车联网平台，车联网服务等合作开发。2017 年 10 月百度与北汽集团达成战略合作，双方将在自动驾驶、车联网、云服务等领域达成集团层面战略合作。2017 年 11 月腾讯宣布推出腾讯车联“AI in Car”生态系统，广汽、长安、吉利、比亚迪、东风柳汽共五家汽车厂商，成为了腾讯车联的首批合作车企，共建“AI in Car”生态系统。

4 车路协同自动驾驶政策与建议

4.1 政府部门

4.1.1 政策

(1) 以政府政策为导向,完善车路协同自动驾驶相关的政策制定。政府部门可通过部署和成立车路协同自动驾驶相关的指导委员会,出台相关政策和战略规划,并明确委员会的功能和职责。同时监督车路协同自动驾驶的市场秩序,不断规范企业的市场行为^{[30][31]}。

(2) 支持车路协同自动驾驶产业发展,对各行业的产业资源进行统筹规划,推动产业融合。同时,积极推动跨领域、跨行业的发展平台建设。

(3) 推进交通基础设施智能化改造,鼓励各地政府增加车路协同自动驾驶相关的路侧设备布设,开发车路协同管理平台^[32]。开展车路协同自动驾驶应用示范,选取有条件的城市或园区,进行车路协同自动驾驶相关的试验(如自动驾驶专用道),并部署相应的智能交通信号灯、自动泊车等应用^[33]。

(4) 加大对车路协同自动驾驶相关企业、科研单位或者地方政府的补贴力度,鼓励自动驾驶的研究要自下而上的进行^[34],并且发挥积极带头的作用,引导车路协同自动驾驶循序渐进完善到现有的交通系统中。

4.1.2 标准

(1) 发挥标准规范的带头作用,规范与标准要与技术齐头并进。研究制定车路协同自动驾驶的测试、评价、认证、准入、运行等标准规范,并且推进车路协同自动驾驶世界通用标准的建立,构建跨行业的标准化体系和合作机制^[35]。

(2) 在规范各个标准的同时,也要对自动驾驶车辆的安全与使用标准进行制定与统一。

4.1.3 法律法规

(1) 出台车路协同自动驾驶上路测试的相关法律法规,例如车路协同自动驾驶路测法^{[36][37]}。

(2) 对车路协同自动驾驶进行规范和引导的同时,也要制定相应的准则和规范,并对公众进行车路协同自动驾驶相应准则和规范的宣传与普及,如:1) 规定车路协同自动驾驶的学习与驾驶规则;2) 制定车路协同自动驾驶车道的设置与使用规范;3) 制定车路协同自动驾驶应急求援与疏散手册。

4.2 企业

(1) 遵照政府政策进行车路协同自动驾驶商业化市场行为。

(2) 加强跨行业合作,明确车路协同自动驾驶产业化发展的实施路线。各行业间

统筹协调，形成新的产业凝聚，并逐渐形成新的产业融合体系。

(3) 加大研发投入，通过产学研协作，商用部署的关键产品，包括操作系统、芯片、车载终端等仍需要加大研发力度，尽早实现产品商用。

(4) 在通信、汽车、交通等产业链的相关企业积极开展合作，从多方面进行车路协同自动驾驶的应用实践探索，基于示范项目逐步探索合适的商业模式，推动车路协同自动驾驶技术走向成熟。

(5) 制定相关的产品规范、互联互通接口规范，以及相关的验收测试标准等，为车路协同自动驾驶的商用做好准备，并在示范项目中进行全面验证。

4.3 高校与科研院所

(1) 通过财政补贴、示范应用和产业化推进等方式，强化政产学研协作。围绕车路协同自动驾驶的重大需求，鼓励开展车路协同自动驾驶、智能路侧设施、通信设施、云服务平台等领域的关键技术研究。

(2) 鼓励创新，并积极组织相关研究领域的研究论证，为车路协同自动驾驶做出正确决策提供科学参考。

(3) 整合和布局相关专业，为车路协同自动驾驶产业培养高素质的创新人才。

5 术语附录

附表 1 名词术语

序号	名词术语	英文	英文缩写
1	目标和意外检测与响应	Target and Accident Detection and Response	TADR
2	基础设施连接一切	Infrastructure to Everything	I2X
3	车车通讯	Vehicle to Vehicle	V2V
4	路车通讯	Infrastructure to Vehicle	I2V
5	车辆与基础设施通讯	Vehicle to Infrastructure	V2I
6	路侧设备	Road Side Unit	RSU
7	路侧设备通讯	Infrastructure to Infrastructure	I2I
8	专用短程通信技术	Dedicated Short Range Communications	DSRC
9	第 4 代移动通信技术-LTE 网络制式	The 4th Generation Mobile Communication Technology-Long Term Evolution	4G-LTE
10	第 5 代移动通信技术	The 5 th Generation Mobile Communication Technology	5G
11	自适应巡航控制	Adaptive Cruise Control	ACC
12	协作式自适应巡航控制	Cooperative Adaptive Cruise Control	CACC
13	可变限速	Variable Speed Limit	VSL
14	高级驾驶辅助系统	Advanced Driver Assistance System	ADAS
15	全球定位系统	Global Positioning System	GPS
16	惯性测量单元	Inertial Measurement Unit	IMU
17	激光探测与测量	Light Detection and Ranging	LiDAR
18	比例-积分-微分	Proportional-Integral-Derivative	PID
19	电子不停车收费	Electronic Toll Collection	ETC
20	道路交通信息通信系统	Vehicle Information Communication System	VICS
21	基础设施即服务	Infrastructure as a Service	IaaS
22	平台即服务	Platform as a Service	PaaS
23	软件即服务	Software as a Service	SaaS

6 参考文献

- [1] 国际自动机工程师学会 (Society of automaton engineers, “SAE”), 标准道路机动车驾驶自动化系统分类与定义[S], SAE J3016(TM).
- [2] 冉斌, 程阳, 金璟, 等. 一种多维智能网联交通系统. 中国专利申请, ZL201710660668.2[P]. 2018-01-19.
- [3] Ran B, Cheng Y, Li S, et al. Connected automated vehicle highway systems and methods. U.S. Patent Application No. 15/628, 331, 2018.
- [4] 冉斌, 谭华春, 张健, 等. 智能网联交通技术发展现状及趋势[J]. 汽车安全与节能学报, 2018, 9(02): 5-16.
- [5] 张毅, 姚丹亚. 基于车路协同的智能交通系统体系框架[M], 电子工业出版社, 2015.
- [6] Feng S, Ding J, Liu S, et al. A Cooperative Intersection Control for Automated Vehicles [C]. IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems, 2017.
- [7] Erhan D, Szegedy C, Toshev A, et al. Scalable object detection using deep neural networks [C] // In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2014: 2147-2154.
- [8] Enzweiler M, Eigenstetter A, Schiele B, et al. Multi-cue pedestrian classification with partial occlusion handling[C] // In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2010: 990-997.
- [9] Schwarting W, Alonso-Mora J, Rus D. Planning and decision-making for autonomous vehicles [J]. Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems, 2018, 1(1): 87-210.
- [10] 李克强, 戴一凡, 李升波, 等. 智能网联汽车 (ICV) 技术的发展现状及趋势[J]. 汽车安全与节能学报, 2017, 8(1): 1-14.
- [11] Chou C M, Li C Y, Chien W M, et al. A feasibility study on vehicle-to-infrastructure communication: WiFi vs. WiMAX [C] // Mobile Data Management: Systems, Services and Middleware, 2009. MDM'09. Tenth International Conference on. IEEE, 2009: 397-398.
- [12] Biswas S, Tatchikou R, Dion F. Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety [J]. IEEE communications magazine, 2006, 44(1): 74-82.
- [13] Guille C, Gross G. A conceptual framework for the vehicle-to-grid (V2G) implementation [J]. Energy policy, 2009, 37(11): 4379-4390.
- [14] Wei C. V2X communication in Europe—From research projects towards standardization and field testing of vehicle communication technology [J]. Computer Networks, 2011, 55(14): 3103-3119.
- [15] Cheng L, Henty B E, Stancil D D, et al. Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz dedicated short range communication (DSRC) frequency band [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(8): 1501-1516.
- [16] Chen S, Hu J, Shi Y, et al. LTE-V: A TD-LTE-based V2X solution for future vehicular network [J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(6): 997-1005.
- [17] Schmittner C, Ma Z, Gruber T. Standardization challenges for safety and security of connected, automated and intelligent vehicles [C] // International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVEx), 2014:941-942.

- [18]Schmittner C, Ma Z, Reyes C, et al. Using SAE J3061for automotive security requirement engineering [C] //International Conference on Computer Safety, Reliability, and Security. Springer, Cham, 2016: 157-170.
- [19]Schoitsch E, Schmittner C, Ma Z, et al. The need for safety and cyber-security co-engineering and standardization for highly automated automotive vehicles [M]. Advanced Microsystems for Automotive Applications 2015, Springer, Cham, 2016: 251-261.
- [20]童淳强. 车联网信息安全[J]. 中国公共安全, 2016(6): 94-97.
- [21]周艳芳, 李为为. 交通运输行业信息安全管理平台体系架构研究[J]. 综合运输, 2016(1): 69-73.
- [22]罗亮红. 基于 ZIGBEE 的车路协同关键技术研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [23]Farradyne P. Vehicle infrastructure integration (VII): Architecture and functional requirements [R]. Draft Version, 2005, 1.
- [24]Shell M. Final report of the European safety working group on road safety [R]. 2003. Available: <http://europa.eu.int/information society/activities/esafety/indexen.htm>.
- [25]Dinh H T, Lee C, Niyato D, et al. A survey of mobile cloud computing: Architecture, applications, and approaches [J]. Wireless Communications and Mobile Computing, 2013, 13(18): 1587-1611.
- [26]孙小红. 车联网的关键技术及应用研究[J]. 通信技术, 2013(4): 47-50.
- [27]车联网白皮书. 中国信息通信研究院, 2017.
- [28]北京市智能网联汽车产业白皮书. 北京市经济和信息化委员会, 2018.
- [29]中国自动驾驶产业年度报告. 亿欧智库, 2018.
- [30]李洪兴. 人民日报人民时评: 自动驾驶如何“弯道超车”[EB/OL]. 2018 年 1 月.
- [31]新华网. 自动驾驶汽车: 企业冒进监管叫停[EB/OL]. 2018 年 12 月.
- [32]北京市交通委员会. 北京市自动驾驶车辆道路测试管理实施细则 (试行) [M]. 2018 年 8 月.
- [33]北京市经信局. 北京市智能网联汽车创新发展行动方案 (2019 年-2022 年) [M]. 2019 年 1 月.
- [34]中国电动车百人会. 全球自动驾驶测试与商业化应用报告[J/OL]. 2019 年 2 月.
- [35]中国新闻网. 中国加快智能网联汽车标准体系制定[EB/OL]. 2018 年 3 月.
- [36]北京市交通委员会. 北京市关于加快推进自动驾驶车辆道路测试有关工作的指导意见 (试行) [M]. 2018 年 8 月.
- [37]国家交通运输部. 智能网联汽车道路测试管理规范 (试行) [M]. 2018 年 4 月.

发布机构:

中国公路学会自动驾驶工作委员会

编写单位:

东南大学-威斯康星大学智能网联交通联合研究院

东南大学

清华大学

北京航空航天大学

北京交通大学

北京工业大学

公安部交通管理科学研究所