



智能网联环境下 车辆运动行为理解方法

陈志军 / 著



西南交通大学出版社
成 都

图书在版编目 (C I P) 数据

智能网联环境下车辆运动行为理解方法 / 陈志军著
— 成都: 西南交通大学出版社, 2020.12
ISBN 978-7-5643-7857-8

I. ①智… II. ①陈… III. ①车辆运行 - 智能通信网
- 研究 IV. ①U491.2-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 245169 号

Zhineng Wanglian Huanjing xia Cheliang Yundong Xingwei Lijie Fangfa
智能网联环境下车辆运动行为理解方法

陈志军 著

责任编辑	张少华
封面设计	曹天擎
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印 张	9
字 数	117 千
版 次	2020 年 12 月第 1 版
印 次	2020 年 12 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-7857-8
定 价	68.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言



随着计算机技术、通信技术和人工智能技术的快速发展，交通系统的智能化和网联化也得到了快速发展，而传统的车辆运动行为理解方法也越来越难以满足智能网联交通系统对车辆运动行为理解的需求。因此，迫切需要进一步探讨智能网联环境下车辆运动行为的理解方法，包括车辆运动信息采集方法、车辆运动信息表征方法和车辆运动行为分析方法，为交通系统的智能化提供理论支撑。

本书共 5 章，第 1 章为绪论，主要介绍智能网联环境历史沿革，概述了车辆运动行为理解方法发展历程，分析了智能网联交通系统国内外相关发展现状与未来趋势；第 2 章为智能网联环境下车辆运动信息采集方法，分别介绍了基于自车传感器的采集方法和基于路侧传感器的采集方法，以及信息采集中经常使用到的传感器；第 3 章为智能网联环境下车辆运动信息表征方法，主要介绍了车辆运动特征提取算法和车辆运动轨迹表征方法，分析了特征选择算法在车辆运动行为理解中的重要性，并分别对三种典型类型的特征选择方法展开了介绍；第 4 章为智能网联环境下车辆运动行为分析方法，主要介绍了车辆行为识别方法和车辆行为理解方法，并介绍了稀疏重构理论应用于

车路行为识别与分析；第 5 章总结，对全书内容进行了回顾，梳理了本书每个章节的重点内容。

本书由武汉理工大学陈志军撰写，研究生陈德鹏、余锦秋、陈秋实、张晶明、苏紫鹏、胡军楠参与了书稿的整理工作。本书的出版得到了科技部重点研发计划车路协同环境下车辆群体智能控制理论与测试验证项目（2018YFB1600600），国家自然科学基金智能网联环境下考虑驾驶个性的车辆生态驾驶方法研究项目（52072288）、智能车个性化学习方法与行为决策模型研究项目（61703319）的资助，在此表示感谢。本书在编著过程中参阅了大量国内外相关文献，由于条件有限，未能与原作者一一取得联系，引用不当之处敬请谅解！另外，向这些参考文献的作者表示感谢。由于水平有限，兼时间和精力有限，书中的缺点和不妥之处在所难免，敬请广大同行、读者批评指正，将不胜感激。

陈志军

2020 年 12 月

目 录



1	第 1 章 绪 论	001
	1.1 智能网联环境的历史沿革	001
	1.2 车辆运动行为理解问题概述	002
	1.3 智能网联交通系统的内涵和发展	004
	1.4 车辆运动行为理解研究现状	025
	1.5 全书编排	032
2	第 2 章 智能网联环境下车辆运动信息采集方法	033
	2.1 基于自车传感器的车辆运动信息采集方法	033
	2.2 基于路侧传感器的车辆运动信息采集方法	053
	2.3 小 结	063
3	第 3 章 智能网联环境下车辆运动信息表征方法	064
	3.1 车辆运动特征提取算法	064
	3.2 车辆运动轨迹表征方法	085
	3.3 小 结	091

4	第 4 章 智能网联环境下车辆运动行为分析方法·····	093
	4.1 识别分类算法·····	094
	4.2 基于稀疏表示的车辆行为分析方法·····	101
	4.3 小 结·····	124
5	第 5 章 总 结·····	126
	参考文献·····	129

第 1 章 绪 论

1.1 智能网联环境的历史沿革

随着智能化技术、新一代感知技术、人工智能技术、通信技术、移动互联网技术等的快速发展，“智能网联”这一概念应运而生。其中，“智能”指机器设备等的智能化，具有类似人的感知、分析、决策、控制、执行、记忆等能力；而“网联”指将相关的设备、人员、机构等互联起来形成的网络，设备、人员、机构可视为网络中的信息节点，网络与各节点之间可以进行信息交互。新技术、新理念和新模式不断迭代，推动了智能网联在感知、存储、共享、交互以及综合服务等方面的全面升级^[1]，智能网联的内涵也在不断丰富和完善。而智能网联环境是指通过传感器、全球定位系统等各种装置与技术，实时采集各种需要的信息，通过各类网络接入，实现物与物、物与人的泛在连接，实现对物或人的智能化感知、识别和管理的大环境。现如今，智能网联环境已经渗透到了工业、农业、环境、交通、物流、安保等领域，有效地推动了这些领域的智能化发展，使得有限的资源得到了更加合理地使用分配，提高了行业效率及效益。

在智能网联的广泛应用领域中，交通领域与智能网联环境的结合最为紧密。随着汽车保有量的增加，交通拥堵越发严重，交通事故层出不穷，一系列交通问题的解决亟需应用一种新的交通模式。而智能网联为新模式的探索与开展提供了契机。例如，道路交通状况的实时监控保证

了将信息及时传递给驾驶人,使其及时做出调整,有效缓解了交通压力;高速路口设置道路自动收费系统(ETC),免去进出口取卡、还卡的时间,大幅提升了车辆的通行效率。目前,智能交通系统尚在探索阶段,智能网联相关技术的发展,必然会促进智能交通系统的成熟,而交通拥堵、交通事故等问题也将得到更好的解决。

1.2 车辆运动行为理解问题概述

什么是车辆运动行为理解?为了解车辆运动行为理解,我们设想一下这样一个场景:人类 A 想要理解人类 B 的运动行为。首先,人类 A 需要通过肉眼观察人类 B 的速度、位置、加速度等,然后这些运动特征经过神经传入人类 A 的大脑,大脑针对人类 A 的不同需求来分析人类 B 的运动特征进而理解其运动行为。例如,人类 B 加速冲向一面墙壁,人类 A 可能得出结论——B 是想要翻越这面墙壁。车辆运动行为的理解与这个过程类似,但是相比与人脑,机器想要完成采集、分析和理解车辆运动行为困难重重,因为车辆运动过程包含着诸多信息,如加速度(纵向加速度和横向加速度)、车速、航向角度、位置(经度和纬度)等。

至此,我们对车辆运动行为理解有了一个宏观的概念,在此基础上我们也应该站在时代发展的前沿去看待车辆运动行为理解。当前,我国道路交通的发展遭遇了协同管理运行效率不高、主动安全防控能力欠佳、异构交通主体关系复杂等瓶颈,迫切需要提升交通系统的网联化、智能化和协同化水平。同时,智能交通是当今国际交通领域的前沿技术和必然发展趋势,是提高效率、优化能耗、降低排放的有效手段,可以从根本上改变传统道路交通的发展模式。然而,传统的车辆运动行为理解方法因为自身的样本量少、数据准确性差等特性,导致其越来越难以满足智能网联环境对车辆运动行为理解的需求。因此,车辆运动行为理解如

何适应智能网联环境快速发展，已成为迫切需要解决的难题。本书也将站在这个角度向读者解释智能网联环境下车辆运动行为理解方法。

智能网联环境下，车辆运动行为理解流程分以下三步完成：第一步，车辆利用诸多先进的传感器对车辆自身的信息进行采集以及路侧传感器对道路信息进行采集；第二步，将采集到的信息进行特征过滤和提取形成结构化的特征信息；第三步，在第二步得到的特征信息的基础上利用特定的算法对车辆运动行为进行分析、理解。

关于信息采集方面主要分为自车信息采集和路侧信息采集，其中自车信息采集可以理解为车辆自身通过安装在车辆上的诸多先进传感器对车辆的车速、油门、加速度（纵向加速度和横向加速度）、位置（经度和纬度）、角速度等自身运动信息以及通过车载摄像头对车道线等运动相关信息进行采集。车辆运动信息采集设备主要包括：CAN 总线设备可以获取车辆车速、刹车、油门及转向灯等信息；GPS 可以为车辆提供精准的全球经纬度、海拔等坐标信息；加速度计可以采集车辆在行驶过程中的纵向加速度和横向加速度；惯性导航系统可以采集车辆的位置、速度、时间、航向角度、加速度值、角速度等；激光雷达设备能采集当前车辆运动过程中的实时场景信息；车载摄像头采集当前道路线和交通标志灯等信息。

路侧信息采集主要基于路侧的多种传感器对道路中的车辆数据、障碍物等信息进行采集。路侧信息采集设备主要包括：路侧高清摄像头具有获取信息丰富、直观、可靠等优点，常用来采集道路中的车辆数据；路侧激光雷达使用聚类 DBSCAN 方法对障碍物进行聚类分割，得到当前障碍物的三维包围盒及其坐标信息，再采用扩展卡尔曼滤波(Extended Karman Filter)方法对周围障碍物进行跟踪，获取实时的车辆运动信息；微波雷达具有很强的穿透雾、烟、灰尘的能力且可以全天候、全天时进行信息采集，常用于道路车辆目标分类、目标跟踪、车速检测。

在智能网联环境下，通过车辆多传感器融合和诸多先进的路侧传感器可采集车速、油门、加速度（纵向加速度和横向加速度）、位置（经度和纬度）、角速度等多项车辆运动特征。然而，并不是所有的车辆运动特征都对车辆运动行为理解有贡献，相反，有些车辆运动特征可能不仅没有贡献还会影响车辆运动行为理解的准确率。因此，在车辆运动行为分析之前，我们应该从大量运动特征中筛选出对当前分析任务有价值的特征信息，从而提升计算的效率和分析结果的准确性。

通过对智能网联环境下的车辆运动行为进行理解和分析，能促使智能网联环境下车辆决策更加智能、稳定。在通信、结合感知、人工智能以及系统集成技术的不断更新与升级的背景下，智能网联环境下车辆运动行为理解也为迅速发展的车辆自动驾驶、交通问题的解决方案提供了一种新的思路和实施途径。

1.3 智能网联交通系统的内涵和发展

1.3.1 智能网联交通系统的发展

智能网联交通系统是指将先进的信息技术、通信技术、传感技术、控制技术及计算机技术等有效集成并运用于整个交通运输管理体系，从而建立起的一种在大范围及全方位发挥作用的实时、准确及高效的综合运输和管理系统。智能网联交通系统作为智能交通系统的终极形式，是物联网技术在交通运输领域的重要应用。通过雷达、视频等先进的车、路感知设备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、车与路、车与人以及车与道路交通设施间的通信、信息交换以及控制指令执行，最终形成智能化交通管理控制、智能化动态信息服务以及网联车辆自动驾驶的一体化智能网络系统。广义上，智能网联交通系统涵盖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、主动道路管理系统、自动公路系统等均包含于智能网联交通系统。智能网联交通系统的技术体系架构是一个集车辆自动化、网络互联化和系统集成化三维于一体的高新技术发展架构。其关键技术模块包括感知模块、融合预测模块、规划模块和控制模块等 4 个关键部分。智能网联交通系统提出从“普通的车、聪明的路”，或者说是“聪明的系统”起步，逐步发展到“聪明的车、聪明的路”的高级阶段，其对提高道路交通效率、改善交通安全、节约能源等均具有积极意义。

建设与发展智能网联交通系统对我国具有重要的意义，主要体现在以下几点：首先智能网联交通系统不仅仅考虑单一的机动车自动化问题，更致力于提出交通优化方案，解决交通问题；其次，发展智能网联交通系统，能够大幅节约系统建设的时间和费用成本，可以让自动驾驶和智能公路系统更快的落地，预计可以提前 5~15 年让不同级别自动驾驶技术实现大规模产业化；再次，智能网联交通系统框架下的一套标准的新型道路系统和基础设施，能够让各类互联网公司及汽车公司生产的自动/半自动驾驶车辆无障碍的共同行驶，从而更快地推进自动驾驶技术的推广与应用；最后，发展智能网联交通系统，能够更有效地整合车企、IT 企业管理下的自动驾驶资源，从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。

通过对智能网联环境下车辆运动行为理解的分析，可以促进无人车决策向着更智能、更人性化的方向发展，增加智能车辆运行的稳定性，推动智能网联交通的发展。

1.3.2 智能网联汽车发展

近几年随着 5G 通信技术、无人驾驶技术的飞速发展，各国政府与企业（如百度 Apollo、谷歌 Waymo、Autox 等）相继发力推进无人驾驶商业化落地。在无人驾驶商业化的过程中，物联网技术也在汽车生产制

造中不断渗透，众多企业和科研人员继而将无人驾驶技术和物联网等技术相融合提出智能网联汽车这一全新概念。

智能网联汽车是指搭载先进的车载传感器、控制器、执行器等装置，融合现代通信与网络技术，实现车与 X（人、车、路、云等）智能信息交互、共享，具备复杂环境感知、智能决策、协同控制等功能，可实现“安全、高效、舒适、节能”行驶，最终达到代替人来操作的新一代汽车。智能网联汽车包含的技术范畴很广，其中包含 5G 通信、多传感器融合、边缘计算、人工智能、计算机视觉、智能交通等。从上面的描述可知智能网联汽车是多产业融合发展的产物，需要构建跨领域、跨产业的协同体系。作为智能网联交通的核心部分，智能网联汽车的发展至关重要。

智能网联汽车包括智能化（或自动化）和网联化两个技术层面，其分级可对应按照相应两个层面划分。在汽车智能化的分级标准中，公认的自动驾驶分级标准由 SAE（Society of Automotive Engineers，国际自动机工程师学会，原译为美国汽车工程师学会）制定。2020 年 3 月 9 日，我国工业和信息化部公示《汽车驾驶自动化分级》报批稿，本书采用我国最新发布的汽车自动化分级标准。表 1.1 是驾驶自动化等级与划分要素的关系。

表 1.1 驾驶自动化等级与划分要素的关系

等级	名称	车辆横向和纵向运动控制	目标事件探测和响应	动态驾驶任务接管	设计运行条件
0 级	应急辅助	驾驶员	驾驶员及系统	驾驶员	有限制
1 级	部分驾驶辅助	驾驶员及系统	驾驶员及系统	驾驶员	有限制
2 级	组合驾驶辅助	系统	驾驶员及系统	驾驶员	有限制

续表

等级	名称	车辆横向和纵向运动控制	目标事件探测和响应	动态驾驶任务接管	设计运行条件
3级	有条件自动驾驶	系统	系统	动态驾驶任务接管用户 (接管后成为驾驶员)	有限制
4级	高度自动驾驶	系统	系统	系统	有限制
5级	完全自动驾驶	系统	系统	系统	无限制

在网联化的分级标准中，按照网联通信的实体和通信内容的不同可划分为网联辅助信息交互、网联协同感知、网联协同决策与控制三个等级（见表 1.2）。

表 1.2 网联化等级

网联化等级	等级名称	等级定义	控制	典型信息	传输需求
1	网联辅助信息交互	基于车-路、车-后台通信，实现导航等辅助信息的获取以及车辆行驶与驾驶员操作等数据的上传	人	地图、交通流量、交通标志、油耗、里程等信息	实时性、可靠性要求较低
2	网联协同感知	基于车-车、车-路、车-人、车-后台通信，实时获取车辆周边交通环境信息，与车载传感器的感知信息相融合，作为自车决策与控制系统的输入	人与系统	周边车辆/行人/非机动车位置、信号灯位、道路预警等信息	实时性、可靠性要求较高

续表

网联化等级	等级名称	等级定义	控制	典型信息	传输需求
3	网联协同决策与控制	基于车-车、车-路、车-人、车-后台通信，实时并可靠地获取车辆周边交通环境信息及车辆决策信息，车-车、车-路等各交通参与者之间信息进行交互融合，形成车-车、车-路等各交通参与者之间的协同决策与控制	人与系统	车-车、车-路间的协同控制信息	实时性、可靠性要求最高

根据信息处理服务有限公司 (Information Handling Serviles, HIS) 预测，全球自动驾驶渗透率将快速提升，2016 年 L1/L2 级功能渗透率约为 5%，2020 年 L3 级功能也逐渐开始量产，2020 年渗透率将达 5%；L4/L5 级功能将在 2025 年左右实现量产，渗透率有望达 5%；2040 年，所有新车都将配备自动驾驶功能，其中 L4/L5 级自动驾驶渗透率将达 50%。

智能网联汽车企业可以划分为两大阵营：互联网企业和整车厂商。互联网企业包括 Waymo、滴滴出行、Uber、百度、AutoX 等；整车厂商包括特斯拉、奥迪、奔驰、宝马等。下面简单介绍国内外几家知名无人驾驶汽车企业。

1. Waymo

Waymo 刚开始是 Google 于 2009 年开启的一项自动驾驶汽车计划，后于 2016 年 12 月从 Google 独立出来成为 Alphabet 公司旗下的子公司。

2017年11月，Waymo宣布该公司开始在驾驶座上不配置安全驾驶员的情况下测试自动驾驶汽车。2018年7月，Waymo宣布其自动驾驶车队在公共道路上的路测里程已达800万英里（1287万千米）。2018年，Waymo宣布启动驾驶卡车试点项目并获得美国加利福尼亚州（以下简称加州）自动驾驶测试牌照。2020年，Waymo计划实现2万辆自动驾驶汽车投入运营。

2. Uber

Uber由特拉维斯·卡兰尼克和好友加勒特·坎普在2009年创立。Uber与沃尔沃合作，在美国匹兹堡推出自动驾驶出租车沃尔沃XC90 SUV，2016年9月已进行试运行。2018年5月11日，Uber首席执行官达拉·科萨罗萨西表示，Uber计划在美国圣地亚哥进行无人机送货项目测试，用户可以期待在5~30min内完成送餐。2019年12月10日，Uber（BER.US）将收购无人驾驶模拟软件开发商Foresight。

3. 百度

百度无人驾驶车项目于2013年起步，由百度研究院主导研发，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4大模块。2015年12月，百度公司宣布，百度无人驾驶车国内首次实现城市、环路及高速道路混合路况下的全自动驾驶。2017年4月17日，百度宣布与博世正式签署基于高精地图的自动驾驶战略合作，开发更加精准实时的自动驾驶定位系统。在发布会现场，也展示了博世与百度的合作成果——高速公路辅助功能增强版演示车。2018年2月15日，百度Apollo无人车亮相央视春晚，在港珠澳大桥开跑，并在无人驾驶模式下完成“8”字交叉跑的高难度动作。2020年4月，百度无人车Robotaxi全面开放，长沙市民可以一键呼叫免费试乘。

4. 滴滴出行

2017年,滴滴在加州成立美国研究院,起初重点研发车辆信息安全,很快便建立起一支自动驾驶研发团队,由前Waymo工程师贾兆寅直接负责。2018年5月,滴滴出行获得加州的自动驾驶路测牌照,滴滴联合创始人兼CTO张博亲自挂帅自动驾驶研发。2019年,有报道称滴滴出行的自动驾驶团队人员规模已超过100人,在中美4个城市进行路测。目前,滴滴出行已设立无人驾驶实验室,针对未来交通的智能驾驶系统和基于人工智能的安全开展研究,并聘请Waymo、Uber多名工程师参与无人驾驶技术研发。作为全球规模最大的出行服务商之一,滴滴拥有的是超过5000万的注册车主以及4亿多乘客,每天海量的出行数据使得滴滴出行与其他车企相比具有天然优势。

未来无人驾驶技术除了应用于汽车驾驶、出租车等个人应用领域外,还可应用于其他行业领域。其中,应用潜力最大可能就是物流行业,目前京东快递已经上线无人配送车。由于物流行业货运量大、货运范围广,因此需要的货车数量也特别多。无人驾驶技术的应用能够大大提高物流公司的配送效率,降低企业运营成本。此外,工程领域、安防领域、城市维护建设领域等,均存在较大应用市场潜力。特别是中国拥有巨大的汽车销量和消费者对智能化的需求,无人驾驶汽车市场空间巨大。未来的汽车已经不仅局限于一种交通工具,更多的是向新一代互联网终端发展,通过将无人驾驶技术和物联网等多项先进技术整合到智能网联交通,将从根本上改变传统汽车的控制方式,同时解决交通拥堵、交通安全、污染排放和能源消耗等诸多问题,积极推进智慧城市、数字中国和交通强国的建设。

1.3.3 智能交通测试场地发展

目前,世界各国都积极投入和支持无人驾驶技术,美、欧、日等发

达国家和地区更是斥资建设无人驾驶测试场，推动无人驾驶汽车尽早上路，从而推动智能网联交通系统的完善。现阶段国内外各无人驾驶测试场的情况如下。

1. 美 国

美国无人驾驶示范区分为两大竞争阵营，东部的底特律 Motor City（位于密歇根州）和西部的硅谷 Silicon Valley（位于加利福尼亚州），分别有两个汽车测试示范区。

Mcity（美国密歇根大学）是世界上第一座为测试无人驾驶汽车、V2V/V2I 车联网技术而打造的无人驾驶试验区。Mcity 由密歇根大学交通改造研究中心（MTC）负责建立，位于密歇根州的安娜堡市，占地 32 英亩（12.9 万平方米），斥资 1 000 万美元（由密歇根大学和密歇根州交通部共同出资）。目前，Mcity 已与福特、通用、本田、日产、丰田、德尔福等 15 家车企及零部件供应商以注资方式展开合作。Mcity 模拟城市和郊区环境，但里面所有的设施和行人都是假的。这座虚拟城市建造了 40 栋大楼的正面外观、成直角的十字路口、交通圈、桥梁、隧道、砾石道路以及建筑护栏等大量障碍物，如图 1.1 所示。园区内设有城市路况、乡村路况、高速路况、环岛路况、横穿铁路路况等，光路面就分为柏油路、土路、砖路、输液覆盖路面等，几乎涵盖了所有美国能看到的路况。Mcity 允许研究人员模拟联网汽车和自动驾驶汽车可能面临的最严峻挑战环境，包括汽车在城市和郊区可能遇到的最小问题，如路牌被涂鸦污损、车道标记褪色等。各类技术以及自动驾驶汽车都可以在这里进行测试，通过后这些技术才能被应用到公共街区和高速公路上。



图 1.1 Mcity 测试区

2. 瑞典——Asta Zero 测试场

2014年8月21日，瑞典 Asta Zero 安全技术综合试验场（见图 1.2）正式开放。



图 1.2 瑞典 Asta Zero 测试场

Asta Zero 测试场的首要任务是测试防止事故发生的主动安全系统，测试场拥有拥挤的城市道路、高速公路、多车道并行路况、环岛以及交叉路口，而这些都对研究车与车，以及车与其他交通参与者（行人、自行车、电动自行车、摩托车、突然出现的动物等移动障碍物）的相互影响至关重要。Asta Zero 试验场的另外一项重要功能是成为未来安全技术的研发平台。

3. 新加坡——维壹科技城

2014 年 8 月，新加坡成立了自动驾驶汽车动议委员会，用于监管自动驾驶汽车的研究和测试。在维壹科技城（见图 1.3）中进行自动驾驶试验，试验由新加坡的土地与交通部门主导，这也是首个允许在公共道路测试的试验区。而新加坡作为亚洲地区为数不多的参与汽车无人驾驶研究的国家，其与麻省理工学院联合成立的研究组织早已在研究无人驾驶的可能性。



图 1.3 新加坡——维壹科技城

4. 日本——JARI 测试场

日本独立的测试机构主要是 JARI(日本汽车研究院)。2011 年，JARI

在主测试场外单独另建智能汽车测试场，但这个不是严格意义上的测试场，其内部包含了汽车研究院的大部分主要场馆和建筑，如图 1.4 所示。日本由国土交通省、经济产业省、汽车产业协会、日本交通警察厅、总务省 V2X 小组联合成立的 SIP-adus (automated driving for universal services) 推动日本无人驾驶车发展，计划投资 304 亿日元，打造一个标准的测试体系。其中 JARI 茨城县的智能车测试场为一部分，还有首都高速公路大约 300 km 的无人车测试线路区。



图 1.4 日本 JARI 测试场

国内关于智能车的产业化面临着技术、标准、法律法规等多方面的障碍，迫切需要测试示范区为其产业化提供孵化平台。

5. 大兴车联网专用车道

2017 年 8 月 18 日，全国首条车联网专用车道落户北京市大兴区亦庄，如图 1.5 所示。道路全长 12 km，在 7 个路口布有 20 余套设备，现正式对外提供服务。装有 V2X 通信设备的汽车上路测试时，将具有智能驾驶能力，可实现盲区提醒、紧急车辆接近、行人闯入、绿灯通过速度

提示、优先级车辆让行等 10 多种预警和提醒，让驾驶变得更安全。



图 1.5 大兴亦庄车联网车道建设示意图

6. 海淀驾校测试场

2018 年 2 月，海淀驾校与北京智能车联产业创新中心合作，成为北京首个自动驾驶车辆封闭测试场。自动驾驶车辆正式上路前，将在该场地进行封闭测试。该场地面积约 170 亩（11.3 公顷），场地道路长度 4.8 km，包括测试训练场和能力评估专项场地两大区域。测试训练场分为城市测试区和乡村测试区，能力评估专项则包括车辆的曲线行驶、直角转弯、起伏路行驶、窄路掉头等。场地类型包括环岛、十字形交叉口、T 字形交叉口和含信号灯的行人通行路口等，而且路面特征多样，有坡道、林荫道和建筑物附近道路等。在标志、标线方面，测试场地上不仅设置了 113 块固定交通标志，还设置了包括最低限速、注意儿童、会车、让行等可移动标志。另外，场地还模拟了 3 处公交车站，随处可见充气的模拟机动车、模拟行人、模拟非机动车和施工区域模拟设施等。

海淀驾校测试场的设立，首次为开展自动驾驶研究的企业提供了封闭测试场所。下一步海淀区将结合测试场的设立推动在测试场周边即北

清路沿线开放实测道路，为自动驾驶汽车从测试考核到上路实测提供全方位保障。

7. 长 沙

2018年11月，湖南湘江新区智能系统测试区获工业和信息化部授牌成为“国家智能网联汽车（长沙）测试区”。2018年6月开园的湘江新区智能系统测试区，是目前国内测试里程最长、场景类型最复杂的封闭智能系统测试区，涵盖12 km测试道路、78个智能驾驶测试场景，可为物流重卡、乘用车、商用车等多种类型智能驾驶车辆提供一站式智能驾驶测试区测试服务，特别是其3.6 km双向高速公路模拟测试环境和无人测试跑道在国内独树一帜。

2018年12月28日，全国首条开放道路智慧公交示范线在湖南湘江新区试运行，全长7.8 km，沿途停靠11个站点，已实现5G信号全覆盖。

8. 武 汉

（1）雷诺自动驾驶示范区。

2016年底，由雷诺集团、东风雷诺汽车公司和武汉蔡甸生态发展集团三方联合打造的武汉雷诺自动驾驶示范区向公众开放。该示范区位于武汉蔡甸区的中法武汉生态示范城内，测试路段长2 km，是中国第一个开放性的自动驾驶示范区。自开放后，在此后的两年里，公众可以在此体验基于雷诺ZOE打造的自动驾驶原型车，率先感受汽车自动驾驶的神奇。

（2）武汉智能网联汽车示范区。

2016年11月，工业和信息化部与湖北省政府在武汉签订合作框架协议，批准武汉市成为国内首批、中部唯一智能网联汽车和智慧交通应用示范城市。根据协议，示范区选定武汉开发区智慧生态城·车都生态智谷为核心区域（见图1.6），拟通过5年时间，分3个阶段完成。逐步

由试验场区封闭环境到城市交通开放环境，开展智能驾驶、智慧路网、绿色用车、便捷停车、交通状态智慧管理等多个应用示范。目前，该项目正在建设中。



图 1.6 武汉 CBD 智能网联汽车示范路段

这些国内外的测试区对于区域内智能网联交通的研究与理解具有先行示范作用，通过对示范区内车辆运动行为理解的研究，逐步推广到开放式智能网联环境下的无人车识别分析，从而做出最优决策，推动无人驾驶落地应用。

与发达国家相比，中国在发展车辆自动驾驶、智能交通等方面还存在一定的差距，但智能网联交通系统所强调的车路一体化发展路线可以充分发挥中国的体制优势。我们相信，经过 10~15 年的发展，中国的智能网联交通系统一定能使中国的车辆自动驾驶、智能交通发展实现“弯道超车”，最终像高速铁路一样的成为中国面向世界的名片。

1.3.4 车路协同的内涵及其发展

1. 车路协同的内涵

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、技术提升遇到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。

车路协同自动驾驶是汽车、电子、信息通信、道路交通运输等行业深度融合的新型产业形态。产业格局下的产业链、创新链和价值链，也将作为“交通强国”“智能汽车”和“新基建”时代的产物，引领产业生态及商业模式的全面升级与重塑。因此，发展车路协同自动驾驶，有利于提升汽车网联化、智能化水平，实现自动驾驶，发展智能交通，促进信息消费，对我国推进新型基础设施建设，推动制造强国和网络强国建设，交通强国建设，实现高质量发展具有重要意义。

2. 车路协同发展现状

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：阶段 I，即协同感知，车路协同感知，车车、车路等进行信息交互和共享实现车辆与道路的信息交互和共享；阶段 II，协同决策，在阶段 I 基础上，又可实现协同完成感知、信息交互、数据融合、状态预测和行为决策；阶段 III，即协同控制，在阶段 I 和 II 基础上，协同完成感知、预

测决策和协同控制功能；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，有能力协同完成自动驾驶所有关键功能，增强道路智能化作用，实现与车辆全面的智能协同和配合。

目前，车路协同的发展主要依赖政府、高校和科研机构、汽车制造商、互联网企业和设备制造商，这几个部门的发展现状如下。

（1）政府。

欧洲研发了基于合作的智能安全道路 COOPERS、智能安全车路系统 SAFESPOT 以及基于合作的车路系统 CVIS。三个项目侧重点各不相同，COOPERS 主要侧重于车路通信及交通安全信息方面的研究。日本重点发展的两个主要车路协同项目为先进安全车辆 ASV 以及智能型公路系统 AHS。AHS 车路通信采 5.8 GHz DSRC，实现车路通信功能。近年来，美国已制定车路协同相关标准，主要包含用于车路环境无线通信的 IEEE1609 系列试验用标准，用于车路短程通信的 IEEE802.11P 标准，SAEJ2735 专用短程通信标准以及 5.9 GHz 专用短程通信标准。

2017 年，中国《“十三五”现代综合交通发展规划》，提出加快智慧交通建设，提升道路信息化水平。2018 年，工业和信息化部《车联网产业发展行动计划》提出，到 2020 年，实现 LTEV2X 在部分高速公路和城市主要道路的覆盖，开展 5G-V2X 示范应用，构建车路协同环境，实现“人-车-路-云”高度协同。2019 年 7 月，中国交通运输部为贯彻落实党中央、国务院关于推进数字经济发展的决策部署，促进先进信息技术与交通运输深度融合，印发了《数字交通发展规划纲要》。纲要要求推动交通基础设施规划、设计、建造等全要素、全周期数字化，加快北斗导航在自动驾驶、车路协同等领域应用，鼓励具备多维感知、高精度定位、智能网联功能的终端设备应用，鼓励推动自动驾驶与车路协同技术研发，开展专用测试场地建设。

（2）高校和科研机构。

目前，进行车路协同自动驾驶系统技术研发和应用的国内高校主要