



中国联通

5G+ 智慧交通白皮书

中国联合网络通信有限公司

2019.6



目录

摘要.....	2
1 智慧交通发展趋势分析	3
1.1 智慧交通现状	3
1.2 智慧交通愿景与挑战	4
1.3 政府政策	5
1.4 标准发展	5
1.5 应用示范	8
1.6 产业链状态	10
2 5G 网络特点及发展.....	12
2.1 5G 网络概述	12
2.2 5G 网络在垂直行业应用展望	13
2.3 联通 5G 助力智慧交通	14
3 基于 5G 的智慧交通总体架构及关键技术.....	15
3.1 智慧交通业务需求	15
3.2 智慧交通总体架构	16
3.3 智慧交通关键技术	17
3.3.1 RSU 部署.....	17
3.3.2 边缘云	18
3.3.3 网络切片	19
3.3.4 基础设施信息化	20
3.3.5 人工智能与大数据	21
3.3.6 高精度定位	21
4 基于 5G 的智慧交通典型案例及解决方案.....	23
4.1 智慧路况监测	23
4.2 智慧高速编队行驶	24
4.3 远程驾驶	25
5 中国联通 5G+智慧交通总结与展望.....	27

摘要

智慧交通是人民对美好生活的向往之一。智慧交通从安全、效率、节能等方面改善人民的出行体验，而无人驾驶的快速发展和广泛应用正在进一步改变人们的生活方式。智慧交通业务丰富，面对不同的应用场景，需要专属的解决方案。

网络联接、实时通信是智慧交通的基础。5G 赋能智慧交通，将车、路、人、云连接起来，形成一张可随时通信、实时监控、及时决策的智能网络。在“端—管—云”新型交通架构下，车端和路端将实现基础设施的全面信息化，形成底层与顶层的数字化映射；5G 与 C-V2X 联合组网构建广覆盖与直连通信协同的融合网络，保障智慧交通业务连续性；人工智能和大数据实现海量数据分析与实时决策，建立智能交通的一体化管控平台。

中国联通在积极部署 5G 网络的同时，也将智慧交通作为 5G 的重点应用行业。积极参与 3GPP、5GAA、CCSA 及 IMT2020 等国内外重点标准组织的标准研究和技术推进工作。在智慧交通产业链日渐成熟的今天，中国联通开展了包括远程驾驶、编队行驶等典型智慧交通业务的应用示范，并重点参与了科技冬奥、常州车联网示范区、重庆车联网示范区等智慧交通项目，推动 5G 车联网的应用落地。

本白皮书从智慧交通的现状与需求出发，提出基于 5G 的“车-路-云”协同的智慧交通网络架构，介绍了智慧交通的关键技术，最后给出基于 5G 的智慧交通典型案例。我们期望与产业各界共同探讨智慧交通的发展路线及合作模式，共同推动智慧交通和智慧城市的快速发展。欢迎各界同仁提出修改意见和建议。

1 智慧交通发展趋势分析

1.1 智慧交通现状

我国交通建设发展迅速，取得巨大成就。高速公路的建设，由 1996 年的 5300 公里，增加到 2017 年的 13.6 万公里，如图 1-1 所示；2018 年，中国汽车保有量达到 2.4 亿辆，驾驶人达到 4.09 亿人；道路的监控系统、收费系统以及通信系统基本形成，并逐渐向数字化、自动化以及智能化升级演进；交通的基础设施网络初步形成，ETC 全国联网，新能源汽车推广加速。

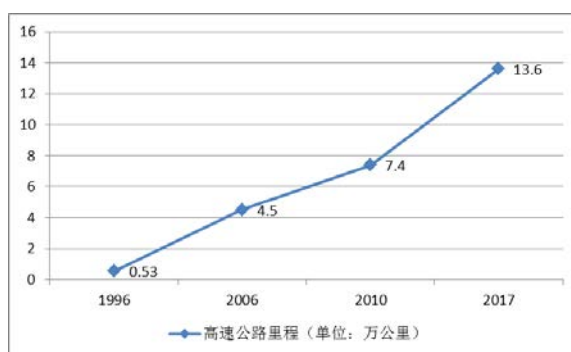


图 1-1 中国高速公路发展里程

然而目前的交通系统仍然存在很多问题，主要包括出行安全、交通效率以及绿色环保三个方面。其中，交通安全与交通效率尤为受到关注。根据国家统计局发布的 2014~2017 交通事故统计（如图 1-2 所示），中国交通事故发生率一直居高不下，其中 2017 年发生交通事故 203049 起，造成的死亡人数 63772 人，直接财产损失 121311 万元。据高德发布的《2018Q2 中国主要城市交通分析报告》，北京作为中国十大堵城榜首，高峰拥堵延时指数为 2.095，平均车速 22.4km/h。根据中华人民共和国生态环境部发布的《中国机动车环境管理年报(2018)》，2017 年全国机动车四项污染物排放总量初步核算为 4359.7 万吨。

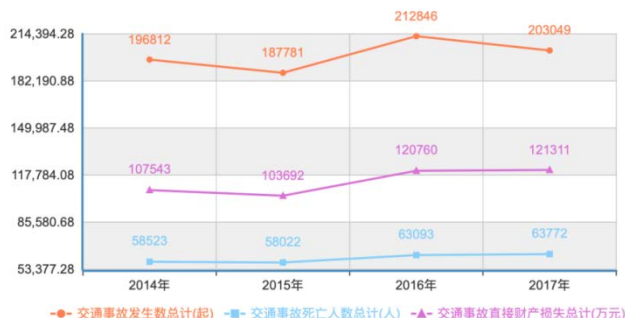


图 1-2 国家统计局 2014~2017 交通事故统计

交通运输，是国民经济的基础性、先导性、战略性产业和重要服务性行业。在产业数字化、智能化的背景下，新型智慧交通业务不断涌现，智能驾驶发展日新月异，智慧道路建设需求迫切。习近平总书记在十九大报告中提出建设“网络强国、交通强国、数字中国、智慧社会”。因此，牢牢把握交通运输的“黄金时期”，建设新一代国家交通控制网，提供安全可靠、便捷畅通、经济高效、绿色低碳、智慧网联的人民满意交通，是当前交通建设的重要任务之一。

1.2 智慧交通愿景与挑战

根据《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》，到 2020 年基本建成安全、便捷、高效、绿色的现代综合交通运输体系，部分地区和领域率先基本实现交通运输现代化，实现 100%交通基本要素信息数字化，道路运输较大以上等级行车事故死亡人数较“十二五”末下降 20%，交通运输二氧化碳排放强度较“十二五”末下降 7%。

根据交通部公路院资料，建设新一代智慧交通控制网，希望通过 15 年左右的建设和完善：

- 实现 90%城市道路行驶车辆处于交通控制网的监管下，路网运行效率提高 1 倍；
- 实现 80%高速公路行驶车辆处于交通控制网的监管下，通过能力提高 6 倍；
- 公交专用道内的公交车辆 100%处于交通控制网的监管下，通过能力提高 4 倍；
- 人因事故率下降 80%。

智慧交通的建设，包括智能感知、智能网联、智能决策和智能应用，而在每一个方面，都存在一定的挑战，具体体现在：

智能感知方面，道路基础设施信息化程度低，交通信息感知获取不够全面，数据设备的接口规范有待统一；

智能网联方面，车路之间的网联化程度较低，使得管理者与出行者之间的实时业务难以实现；

智能决策方面，云端大数据、人工智能等新技术应用的普及程度较低，难以应对海量数据分析、实时决策难度大

智能应用方面，在发展道路数字化的同时，平台思维、数据思维等“互联+”思维没有充分融入到交通运营中，用户体验有待提高。

1.3 政府政策

为了提高人们的出行体验，提高中国的交通出行水平，解决安全出行、绿色出行以及高效出行的问题，国家发布一系列相关政策，支持智慧交通的建设与发展。智慧交通建设已经成为我国“十三五”规划的重要内容。2017年国务院关于印发《“十三五”现代综合交通运输体系发展规划》中，明确指出要“开展新一代国家交通控制网、智慧公路建设试点，推动路网管理、车路协同和出行信息服务的智能化”。在交通运输部印发的《交通运输信息化“十三五”发展规划》中表示“信息化是实现智慧交通的重要载体和手段，智慧交通是交通运输信息化发展的方向和目标”。2018年交通运输部发布《关于加快推进新一代国家交通控制网和智慧公路试点的通知》，要求在北京、河北、吉林、江苏、浙江、福建、江西、河南、广东九省市开展车路协同、高精度定位、交通控制网建设等一系列智慧交通试点工作。2017年交通部发布关于印发《智慧交通让出行更便捷行动方案（2017—2020年）》的通知，旨在推动企业为主体的智慧交通出行信息服务体系建设，促进“互联网+”便捷交通发展。

智慧交通建设目标逐渐从基础设施信息化升级到感知、决策、控制一体化发展，从关注交通管理到关注出行服务，有助于实现“智慧交通、绿色交通、平安交通、综合交通”四个交通发展战略，响应“十三五”规划，建设交通强国。

1.4 标准发展

3GPP 作为国际的通信标准组织，从 2015 年便开始了 LTE-V2X 的标准研究。2015 年 2 月，3GPP SA1 小组开启了关于 LTE-V2X 业务需求的研究，3GPP 对 LTE-V2X 的标准化工作正式启动。目前 3GPP 已经发布了对 LTE-V2X 以及 5G-V2X 定义的 27 种（3GPP TR 22.885）和 25 种（3GPP TR 22.886）应用场景。其中 TR 22.885 定义的应用场景主要实现辅助驾驶功能，包括主动安全（例如碰撞预警、紧急刹车等）、交通效率（例如车速引导）、信息服务三个方面。TR 22.886 主要实现自动驾驶功能，包括高级驾驶、车辆编队行驶、离线驾驶、扩展传感器传输等。此后，3GPP 分别在网络架构（SA2）、安全（SA3）以及无线接入（RAN）各小组立项开展 V2X 标准化研究。3GPP V2X 研究主要分为三个阶段，如图 1-3 所示。第一阶在 R14 完成，主要实现 LTE-V2X 的标准化以支持 TR 22.885 中的业务场景；第二阶段是在 R15 中完成对 LTE-V2X 技术增强，进一步提升 V2X 的时延、速率以及可靠性等性能，以进一步满足更高级的 V2X 业务需求，即 TR 22.886。其中的增强技术主要包括载波聚合、高阶调制、发送分集、低时延研究和资源池共享等。第三阶段是 NR-V2X 标准技术研究，

主要是在 R15 中完成了对 NR-V2X 技术研究（SI 阶级），并在 R16 中完成对 NR-V2X 的标准化（WI 阶段），预计在 2020 年 3 月份完成。

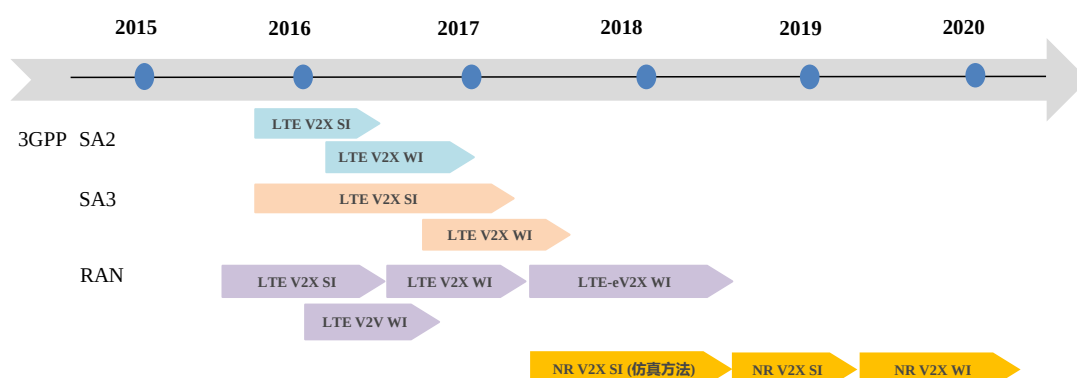


图 1-3 3GPP C-V2X 标准演进

5GAA 成立于 2016 年 9 月，是全球电信行业与汽车行业的跨行业产业联盟，旨在研究未来移动交通服务端到端解决方案。5GAA 的 8 个创始成员分别是奥迪、宝马、戴姆勒、爱立信、华为、英特尔、诺基亚和高通公司，目前已经拥有 100 多家成员单位，涉及通信运营商、设备商、车企和汽车零部件厂商等。目前 5GAA 已成立 7 个工作组，包括 WG1 业务场景和需求，WG2 系统架构和解决方案，WG3 评估方法和试验试点，WG4 行业标准化和频谱，WG5 商业模式和市场策略，WG6 监管和公共事务以及 WG7 安全和隐私。各组的研究内容如图 1-4 所示，另外针对特殊需求，5GAA 也会成立跨工作组的项目。

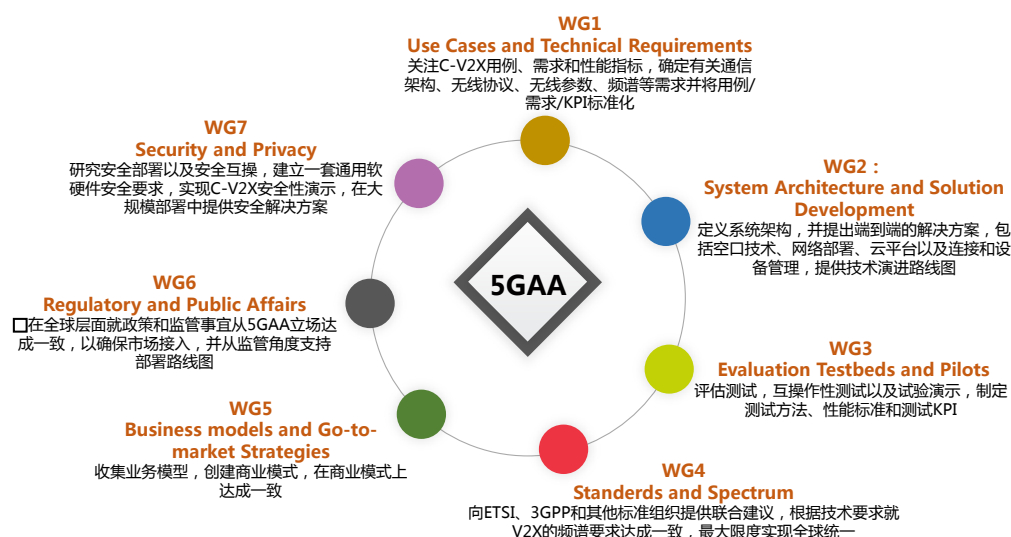


图 1-4 5GAA 工作组分工示意图

中国各标准组织也正在加快推进智慧交通相关技术标准化。中国通信标准化协会 (CCSA)、全国智能运输系统标准化技术委员会 (TC/ITS)、中国智能交通产业联盟 (C-ITS)、

车载信息服务产业应用联盟 (TIAA)、中国汽车工程学会 (SAE-China) 及中国智能网联汽车产业创新联盟 (CAICV) 等都已积极开展 C-V2X 相关研究及标准化工作。

在频谱方面，2018 年工信部印发的《车联网（智能网联汽车）直连通信使用 5905-5925MHz 频段管理规定》中，指明“规划 5905-5925MHz 频段作为基于 LTE-V2X 技术的车联网（智能网联汽车）直连通信的工作频段”。

在技术研究方面，各行业标准组织针对技术规范、设备规范以及测试规范等推出相关的行业/团体标准，其中表 1-1 列出目前中国标准研究机构已经完成（即将完成、在研）的标准内容，为智慧交通的发展做好技术研究、统一规划的保障，以保证智慧交通行业的和谐稳定发展。

表 1-1 全球和中国车联网市场规模预测

分类		标准名称	状态	标委会
技术规范	总体	基于 LTE 的车联网无线通技术 总体技术要求	完成	CCSA
	应用层	基于 LTE 的车联网无线通信技术 消息层技术要求	送审稿	CCSA/CSAE /C-ITS
		基于 LTE 的车联网无线通信技术 消息层测试方法	在研	CCSA/CSAE
		合作式智能运输系统 车用通信系统应用层及应用数据交互标准	完成	CSAE
	网络层	基于 LTE 的车联网无线通信技术 网络层技术要求	送审稿	CCSA/C-ITS
		基于 LTE 的车联网无线通信技术 网络层测试方法	在研	CCSA/CSAE
	接入层	基于 LTE 的车联网无线通信技术 空中接口技术要求	完成	CCSA/C-ITS
	安全	基于 LTE 的车联通通信安全技术要求	在研	CCSA
		智能网联汽车车载端信息安全技术要求	完成	CSAE
设备规范	OBU	基于 LTE 的车联网无线通信技术 支持直连通信的车载终端设备技术要求	送审稿	CCSA
	RSU	基于 LTE 的车联网无线通信技术 支持直连通信的路侧设备设备技术要求	送审稿	CCSA
	基站	基于 LTE 的车联网无线通信技术 基站设备技术要求	送审稿	CCSA
测试规范	OBU	基于 LTE 的车联网无线通信技术 支持直连通信的终端设备测试方法	送审稿	CCSA
	RSU	基于 LTE 的车联网无线通信技术 支持直连通信的路侧设备测试方法	送审稿	CCSA
	基站	基于 LTE 的车联网无线通信技术 基站设备测试方法	送审稿	CCSA

1.5 应用示范

在国家政策牵引下，目前全国也涌现出包括北京、上海、重庆、无锡、常州、长沙等大量的示范区，进行智慧交通车路协同的业务应用示范。在工信部带领下，将在全国范围内推行城市级 V2X 先导区，推动 V2X 的商业化。

北京：在亦庄、海淀驾校等地，形成大规模的车路协同、自动驾驶应用示范；

上海：在嘉定、临港新城等区域建设示范应用，组织车联网“三跨”测试；

重庆：汽研院示范区，6 公里的道路测试区涵盖了 50 多种交通场景测试，并设置了虚拟的车辆、虚拟行人。2018 年联通参与完成了 10 个 V2I/V2V 的场景测试。重庆车检院示范区，包含 2km 长直线、直径 300m 动态广场、坡道涉水路、湿滑等类型道路。目前联通已完成 5G 网络覆盖，可以基于 5G 网络做车联网各应用场景测试；

无锡：率先建成 170 平方公里，240 路口的城市级应用示范，出台车联网三年规划，持续引领车联网建设；

常州：封闭测试区占地 300 多亩，目前已经部署 RSU、电子标志牌、微波雷达、激光雷达、北斗差分、红绿灯、进出口收费等设施，已实现盲区行人提醒、红绿灯优先通行、红绿灯信息提醒、道路故障车提醒等辅助驾驶业务。联通已完成示范区的通信网络改造和升级，并参与相关业务的演示与验证；

长沙：测试区位于长沙岳麓科技产业园，项目分两期建设，一期分为 5 大功能分区，设置了多个常规智能系统测试场景。项目二期致力于打造为技术先进、产业配套、国际领先的智能系统创新园地；

同时，全国各省也陆续开展了智慧高速公路的建设，京雄高速规划将内侧两车道作为智慧驾驶专用车道，实现车路协同和自动驾驶；网络杭绍甬高速将开辟自动驾驶专用车道；沪宁高速将建设高速车路云协同网络，联合打造综合智能一体化运营平台，实现智慧高速试点示范运营

目前已有分布在 18 个省市的 40 家智慧交通车联网业务应用示范区在全国落地，各示范区分布如图 1-5 所示，各省示范区总结如表 1-2 所示。

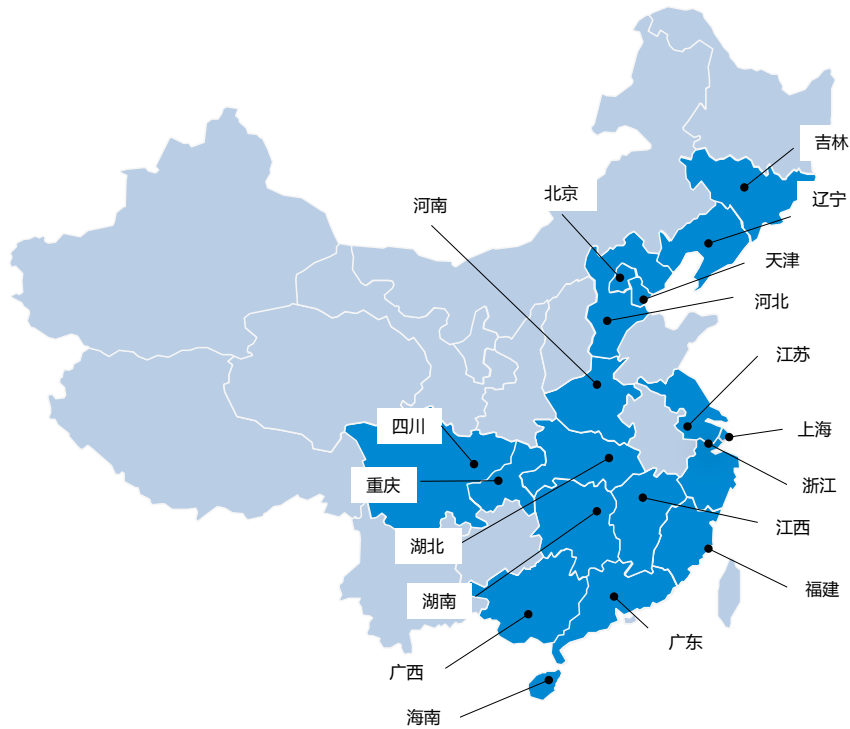


图 1-5 智慧交通示范区分布

表 1-2 各省智慧交通示范区汇总

地区	示范区
北京（4）	国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区
	延崇智能公路示范
	京雄高速公路示范
	交通部通州试验场
天津（1）	中汽中心封闭试验场
吉林（2）	国家智能网联汽车应用（北方）北方示范区
	吉林智能公路示范（交通部）
辽宁（1）	北汽盘锦无人驾驶汽车运营项目
河北（2）	国家智能汽车与智慧交通（京冀）示范区
	河北智能示范公路
河南（2）	河南智能高速示范
	宇通厂区智能网联汽车测试区
江苏（4）	国家智能交通综合测试基地（无锡）
	无锡车联网示范基地
	常熟中国智能车综合技术研发与测试中心
	常熟新一代国家交通控制网示范
上海（3）	国家智能网联汽车（上海）示范区

	临港智能网联汽车测试示范区
	沪宁高速公路示范
浙江（4）	杭州云栖小镇车联网示范区
	桐乡乌镇示范区
	嘉善产业新城智能网联汽车测试场
	杭绍甬高速示范
江西（1）	江西智能公路示范
湖北（3）	武汉智慧小镇示范区示范
	武汉雷诺自动驾驶示范区
	襄阳智行隆中示范
湖南（1）	湘江新区智能系统测试区
四川（2）	德阳 Dicity 智能网联汽车测试与示范基地
	中德智能网联汽车四川试验基地
重庆（3）	重庆 i-VISTA 智能汽车集成试验区
	重庆中国汽研智能网联汽车试验基地
	自动驾驶封闭场地测试基地（重庆）
福建（2）	平潭无人驾驶汽车测试基地
	漳州无人驾驶汽车社会实验室
广东（3）	深圳无人驾驶示范区
	广州智能汽车与智慧交通应用示范区
	广东智能高速示范
广西（1）	柳州上通五智能网联汽车示范
海南（1）	海南高速智能网联示范（博鳌论坛）

1.6 产业链状态

目前智慧交通各产业链均已成熟，涉及到通信芯片、通信模组、终端设备、整车制造、平台与运营、前期与测试以及高精度定位和地图等，在各方面都已形成一定规模的竞争与合作共存的态势。IMT2020 C-V2X 工作组总结的车联网产业地图如图 1-6 所示。

在产业链各环节蓬勃发展的同时，设备间的互联互通问题也是智慧交通的关键环节。2018 年，工信部参与组织的“三跨”（跨通信模组、跨终端提供商、跨整车厂）V2X 互联互通测试，其中有 11 家中外整车企业，3 家通信模组厂家以及 8 家 LTE-V2X 终端提供商参与了此次互联互通测试，选取了包括车速引导、车辆变道/盲区提醒、道路湿滑提醒等 7 个典型车型、车路应用场景测试。在车联网商业化步步临近的背景下，工信部将把安全认证作为 2019 年互联互通测试的重点，计划于 10 月份在上海进行基于车联网完全认证的“四跨”测试。



图 1-6 C-V2X 车联网产业地图

产业化路上，国家各部委积极推动 C-V2X 商业化，提出“车联网先导区”概念，鼓励开展城市级的智慧交通应用落地。同时，通信企业、主机厂、互联网企业均推智慧交通相关产品，目前已完成多种安全、效率及信息类的应用开展，形成相关的芯片、终端、平台及应用；2019 年 3 月，福特汽车宣布将于 2021 年在中国量产首款搭载蜂窝车联网技术（C-V2X）车型，率先在中国市场的量产车上应用 C-V2X，大大推动智慧交通的发展。

2 5G 网络特点及发展

2.1 5G 网络概述

第 5 代移动通信（5G）是新一代移动通信技术，与 4G 网络相比，5G 拥有超高移动、超高流量密度、超高连接数密度、超低能耗等特性。根据 3GPP 组织定义，5G 标准包含 eMBB（增强型移动宽带）、URLLC（高可靠低时延通信）和 mMTC（大规模机器通信）三大场景，如图 2-1 所示。5G 三大应用场景，使得大带宽的视频业务（如 4K8/8K，AR/VR 等）、海量连接的物联网业务、超高可靠低时延的车联网/远程医疗/远程工业控制等业务成为可能。

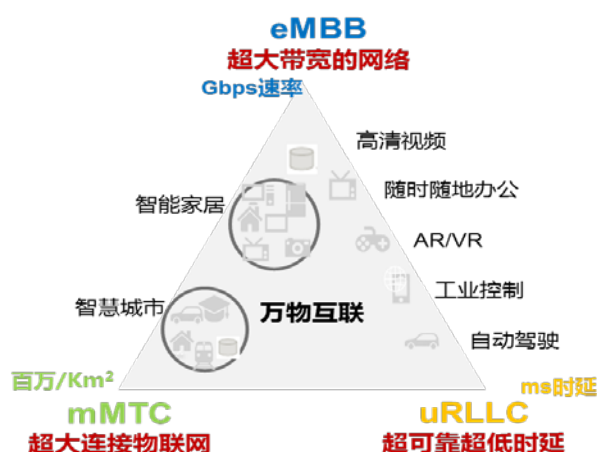


图 2-1 3GPP 定义的 5G 三大应用场景

与 4G 网络相比，5G 网络数据速率、移动性、空口时延、可靠性等方面都有大幅度的提升，如表 2-1 所示。正是这些网络性能指标的提升，才使得 5G 网络在垂直行业应用中充分发挥优势，从而改变社会，改变生活。

表 2-1 4G 与 5G 网络性能对比

	峰值速率	用户体验速率	移动性	空口时延	终端连接数
4G	1Gbps	10Mbps	350km/h	10~100ms	10 万/km ²
5G	10Gbps	100Mbps	500km/h	1ms	100 万/km ²

5G 网络采用通用硬件，一张网络满足多样化业务需求，是移动网络面向数字化转型的契机。其中，智能网联汽车和自动驾驶是 5G uRLLC 的典型应用。5G 网络主要从以下几个技术方向保障智慧交通高可靠低时延业务。

无线层：采用更短的子帧结构和更短的 TTI 间隔，降低传输时间；上行支持免授权的调度方式，免授权的调度方案下，UE 不需要通过与 gNB 的频繁握手进行调度资源请求，减少了信令交互的时延。此外，免授权调度可以减少对调度控制信息的需求，降低控制信息可靠性对于 URLLC 业务可靠性的影响；在业务调度方面，5G 网路支持高优先级的用户进行空口物理资源的抢占调度，实现业务的随到随传。

核心网：5G 核心网正在基于 MEC、网络切片、C/U 分离的架构理念演进，其中 MEC 边缘云将服务能力下沉到基站侧，降低传输时延；网络切片将物理网络划分为多个虚拟网络，每一个虚拟网络根据不同的业务需求，包括时延、带宽、可靠性等来划分，以灵活应对不同的智慧交通应用场景；CU 可与边缘计算 MEC、核心网下沉用户面结合部署在本地，组成云化的边缘设备资源池，降低回传需求，为用户提供低时延用户体验。

2.2 5G 网络在垂直行业应用展望

工信部部长苗圩在博鳌亚洲论坛 2019 年年会指出，与 4G 相比 5G 的应用范围将极大扩展，预计将有 20%用于人和人之间的通信，80%用于物和物之间的通信。因此 5G 的带宽、低时延以及高可靠的通信特性，将更多的对垂直行业产生应用，为交通、医疗、教育、公共安全等各行各业的变革和发展，注入新的活力。

5G 改变社会，实际上 5G 是智造社会，因为它将驱动各业务领域、各垂直行业、各应用场景的创新，如图 2-2。得益于 5G 本身的网络切片、边缘计算、网络能力开放、智能化 RAN 等技术以及它与云计算、人工智能、AR/VR、控制技术、传感技术等基础技术相结合，孵化出更多的创新业务和应用，例如车联网、无人机、远程控制等。这些通用功能在各行业中的应用，又将会孕育新的服务，形成行业的新场景，进而重塑产业发展模式，改变生活方式，提升生产效率，完善城市治理。

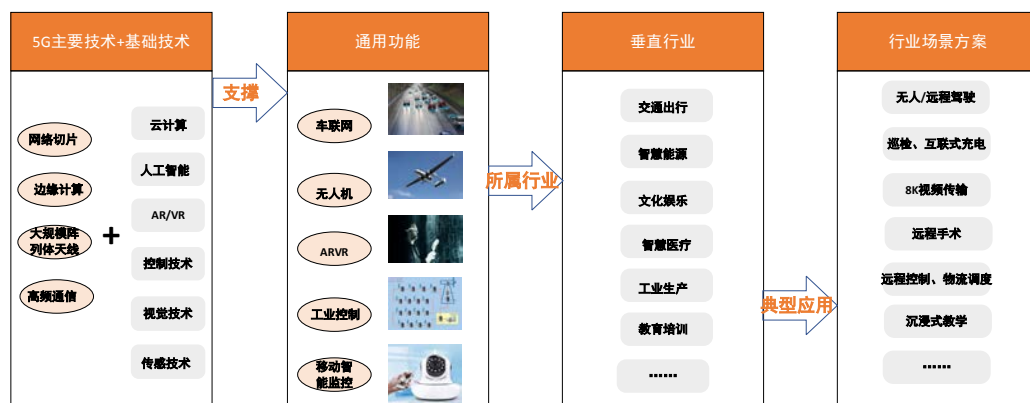


图 2-2 5G 网络助力垂直行业应用

2.3 联通 5G 助力智慧交通

在 2019 年 4 月 23 日的联通合作伙伴大会上，联通发布了全新 5G 品牌标识“5Gⁿ”及 5G 口号“让未来生长”，并发布了 5G “7+33+n”计划，即在北京、上海、广州、深圳、南京、杭州、雄安 7 地实现城区连续覆盖，在 33 个城市实现热点覆盖，在 N 个城市制定 5G 网中专网。同时，中国联通还成立 5G 应用穿行联盟并发布领航者计划，旨在汇聚产业生态优势资源，领航 5G 应用快速发展。领航者计划设立 5 大目标，其中包括打造 200 余个 5G 示范项目；建立 50 余个 5G 开放实验室；孵化 100 余个 5G 创新应用产品；制定 20 余个 5G 应用标准；聚合 1000 余家成员单位等。

2019 年 6 月 6 日，工信部正式颁发 5G 商用牌照，中国正式进入 5G 商用元年。中国联通作为 5G 的运营商之一，率先成立了 5G 创新中心，重点发力于垂直行业，深入挖掘行业需求，实现方案及产品创新应用，架构不同层面的创新合作关系，构建 5G 创新合作生态圈，实现对垂直行业应用变革。

中国联通积极开展基于 5G 的智慧交通研究和建设，提出“基于 5G 的平行交通体系”，如图 2-3 所示。将 5G 作为端-管-云之间的衔接桥梁，实现车、路、云实时信息交互，助力构建车路云协同的新型交通体系。在新型交通体系中，路端需要实现基础设施的全面信息化；车端需要实现交通工具智能化；云端需要实现智能交通的一体化管控。

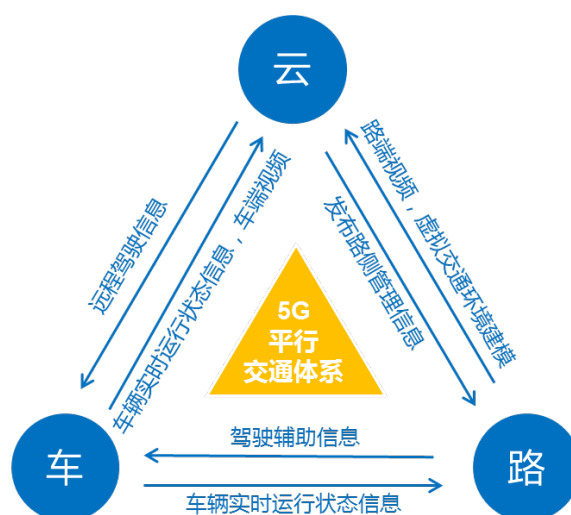


图 2-3 基于 5G 的平行交通体系

3 基于 5G 的智慧交通总体架构及关键技术

3.1 智慧交通业务需求

“智能+网联”是未来车联网发展的基本路线。通过“智能+网联”，提高 30%的交通效率，减少 80%的交通事故，降低 30%的排放量。从智能交通业务发展态势看，未来车联网业务的发展趋势主要包括车载信息生活、智能安全驾驶和绿色安全出行三个方面。其对网络的需求也各不相同，典型智慧交通应用场景下的网络需求指标如表 3-1 所示。

表 3-1 典型智慧交通业务场景需求分析

	业务类型	业务描述	通信指标
安全类	车辆透视	前面的车辆将传感器信息发送给后面的车辆，使得后面的车辆对前端的交通状况可视	时延：≤100ms; 通信距离：≥300m; 可靠性：>99%
	交通设施监测	对交通基础设施（例如红绿灯、路灯、路牌）等进行监控检测，如发现异常及时上报	时延：≤500ms; 通信距离：≥300m; 连接数：>100000
	自动驾驶	车辆利用车载感知系统结合 C-V2X 网络通信获取车辆位置、周围车辆信息、道路信息等环境信息	时延：≤10ms; 通信距离：≥300m; 可靠性：>99.999%
效率类	交通监管	交通管理服务实时的监控交通情况，并对信息报告消息进行处理，该消息来自车辆以及安装在道路关键点上的视频监控设备	时延：≤100ms; 通信距离：≥300m; 可靠性：>99%
	车位共享	对车位即车辆信息收集，按需对车位进行分时共享，充分利用空间资源	时延：≤500ms; 通信距离：≥300m; 连接数：>100000
	编队行驶	车辆之间通过信息交互，按照一定的秩序和规则进行编队，同步进行加速、减速、刹车，延时转弯等	时延：≤10ms; 通信距离：≥300m; 可靠性：>99.999%
信息服务	车载 AR/VR	车辆通过公网基础设施接入网络，获得多媒体内容，实现观看高清视频、视频会议、车载游戏等业务体验	时延：≤500ms; 通信距离：≥300m; 可靠性：>99%
	车辆防盗	车辆盗抢检测系统一旦触发，服务中心经进行确认后，通过电话或短信等通知车主盗抢时间发生	时延：≤500ms; 可靠性：>99%; 连接数：>100000

	动态高精地图	车辆通过基站设备接入网络，实现高精度地图的下载、实时更新等业务	时延：≤100ms； 通信距离：≥300m； 可靠性：>99.999%
--	--------	---------------------------------	---

3.2 智慧交通总体架构

通过交通网、信息网、能源网的“三网合一”，基于智能驾驶汽车等新型载运工具，实现车车、车路智能协同，提供“车路云”协同的一体化智能交通服务。如图 3-1 所示，在新型交通体系中，路端实现基础设施的全面信息化，构建全方位数字化镜像映射交通系统；车端实现交通工具智能化，建立智能驾驶系统、智能物流系统；云端实现智能交通的一体化管控，包括大数据的收集、共享、分析，以及全局交通动态的智能管控等。其中，车联网、物联网以及 5G 都发挥重要作用。

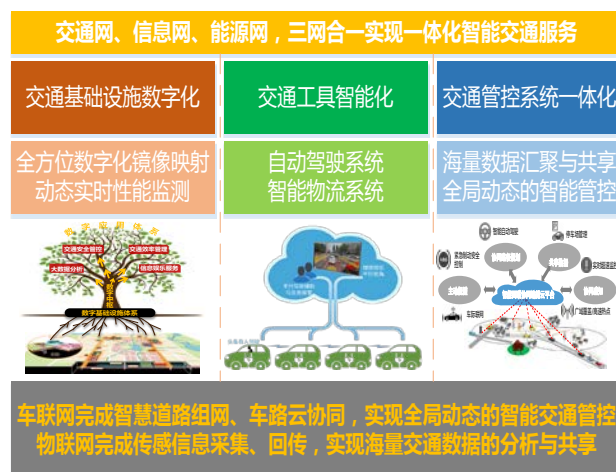


图 3-1 车路云协同一体化智慧交通体系

C-V2X，包括 LTE-V2X 以及 NR-V2X，可实现车车、车路的直连通信，为实现智慧交通提供更可靠、高效的网络服务。2018 年 11 月，工业和信息化部印发了《车联网（智能网联汽车）直连通信使用 5905-5925MHz 频段管理规定（暂行）》，规划了 5905-5925MHz 频段共 20MHz 带宽的专用频率资源，用于 V2X 智能网联汽车的直连通信技术。而随着 5G 的到来，其大带宽、大连接、低时延、高可靠的特性，将起到智慧交通建设的支撑性作用，并催生更多丰富的智慧交通行业应用，例如车载 AR\VR、自动驾驶、远程驾驶、绿波通行、交叉路口会车避让等。C-V2X 实现车车或车路的区域性通信，但受已经颁布的频谱及功率约束，C-V2X 的业务应用范围受到了限制；而 C-V2X 与 5G 技术相集合，可实现网络的无缝覆盖，从而实现“车-路-云”之间的多维高速信息传输。

未来智慧交通将是智能的立体化架构，如图 3-2 所示，包括终端层、网络层以及平台应用层。终端层，即基础设施层，是智慧交通的神经末梢，实现道路的全面感知与检测，同时实现感知数据的结构化处理；网络层，是基础设施层与平台应用层连接的管道，一方面将基础设施的结构化数据上传到平台层；另一方面，根据不同的业务需求提供隔离的网络资源。平台应用层，是智慧交通的大脑，实现连接管理、业务管理以及应用服务。通过“端-管-云”的架构，实现地面交通在云端的数字孪生映射，利用人工智能实现快速、高效的智慧交通业务应用。

综上，从通信的角度，构建智慧交通的关键技术包括：RSU 部署、MEC、5G 网络切片、网络安全、交通设施信息化、人工智能以及平台的分层部署。

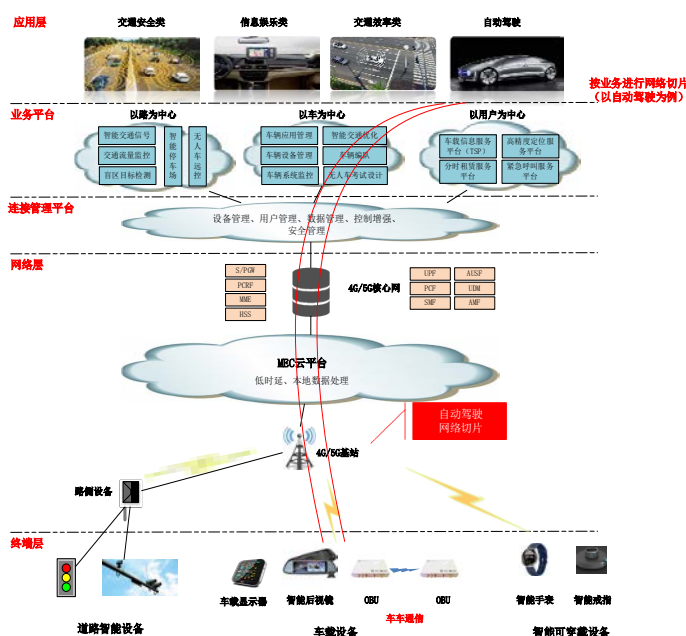


图 3-2 智慧交通架构体系图

3.3 智慧交通关键技术

3.3.1 RSU 部署

3GPP 标准中定义了 RSU 支持 V2X 通信，可实现交通和路况信息的收集和播发。根据目前工信部发布的频谱规定，RSU 占用 5.9G 的 20M 带宽，最大发射功率 29dBm，覆盖范围依据环境不同在 100m~1000m 范围内。而实际中，RSU 可以搭载更多的功能，包括 5G 通信和搭载云平台。RSU 集成 5G 通信，可实现与大网的实时互动，满足上层应用平台对数据的收集、分析和处理；同时 5G 与 C-V2X 联合组网可构建广覆盖与直连通信协同的融合网

络，保障智慧交通业务连续性。通过分析，RSU 与 5G 蜂窝结合，密集城区一个基站可支持 4 个 RSU 的数据回传。另外，RSU 可实现对路边感知设备（摄像头、雷达等）信息的格式转换和结构化处理，实现数据的回传、处理和分析，并搭载简单的业务应用。

3.3.2 边缘云

边缘云 MEC 是一种具有高带宽、低延时、本地化等特点的技术，可在各类移动网络边缘提供服务环境和计算能力，通过平台功能下沉靠近移动用户来减少网络操作和服务交付的时延。边缘云可以满足车联网技术超低时延、超高带宽和超高可靠性的要求，车联网业务是边缘云的典型应用场景之一。数据的就近处理和下发在车联网的应用中极为重要，边缘云不仅可以降低时延，也能减少网络回传的压力和所需的数据带宽。

LTE 网络中边缘云 MEC 典型的部署方式有边缘级、区域级和地区级 3 种：

a) 边缘级：MEC 部署于基站与回传网络之间，这种部署贴近基站（宏站、室分站或 Small Cell 站），可以部署在站点机房，也可随 Cloud-BBU 池部署在无线接入机房。

b) 区域级：MEC 部署于汇聚环和接入环之间，此时需要将 MEC 部署于两环相接的传输设备的 UNI 接口，并将需要进行分流的基站流量疏导经过 MEC。

c) 地区级：当 MEC 部署于汇聚核心层时，这种覆盖方式主要针对大面积分流业务，或者待覆盖范围存在接入环孤岛的情况，这种部署方式时延相比较其他 2 种方式较大，但是能够解决跨地域传输覆盖的问题。

智慧交通业务丰富繁杂、数据量庞大，对网络的需求也有所不同。统一的核心网平台在时延、效率等方面已经不能满足智慧交通的业务需求。因此，需要根据业务需求进行全局-边缘-路侧的多级业务平台部署，并对凭条的功能进行模块化，以便灵活配置，如图 3-3 所示。

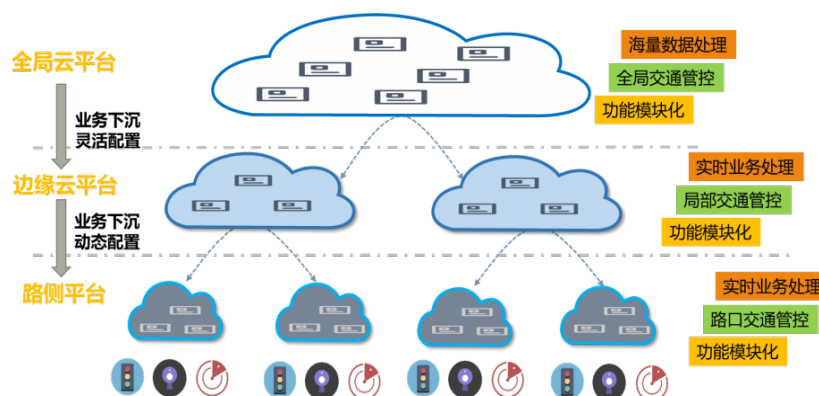


图 3-3 智慧交通分层式平台部署

全局云平台：实现海量的数据处理，负责全局的交通管控，例如：紧急救护、保险服务、车辆远程监控、地图服务等；

边缘云平台：实现业务的实时处理以及局部交通管控，例如：红绿灯智能控制、交通拥堵等；

路侧云平台：RSU 平台上实现一些即时的业务处理以及路口的交通管控，例如：路侧摄像头等感知数据的处理、滤波通行、十字路口防碰撞等。

在实现业务和管理分层的同时，各级平台的互联互通也是建设智慧交通的关键。下层平台对上级平台及时报告、上级平台对下层平台动态配置，尤其是 RSU 部署在不同的场景（例如十字路口、高速公路），其平台功能也有所不同，通过上层的边缘云平台实现对 RSU 平台功能的实时配置十分必要。而实现此功能的前提是实现平台功能的模块化以及建立平台互动的场景库。

3.3.3 网络切片

网络切片是 5G 的典型特征之一，将运营商的物理网络划分为多个虚拟网络，每一个虚拟网络根据不同的业务需求，包括时延、带宽、可靠性等来划分，以灵活应对不同的智慧交通应用场景，如图 3-4 所示，

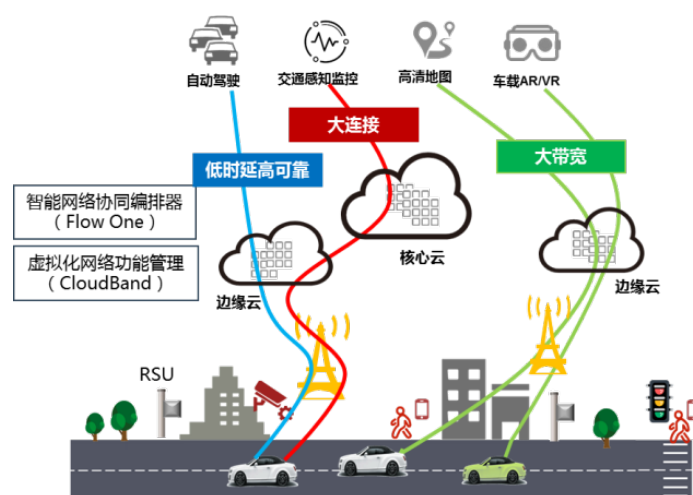


图 3-4 基于业务应有的网络切片

相较于 2/3/4G 网络，5G 网络的 CP/UP 分离，使得网络部署更加集约、灵活，控制面的重构让会话管理和移动管理功能可以按需独立部署。一个网络切片将构成一个端到端的逻辑网络，按客户的需求灵活地提供一种或多种切片网络服务。网络切片并不是单一的技术，其集成了云计算、虚拟化、软件定义网络、分布式云架构等几大核心技术体系，通过上层统

一的编排让网络具备管理和协同的能力。

网络切片的每个片是隔离的，包括设备、访问、传输和核心网络，可以为智慧交通提供安全、可靠的服务，通信可靠性达 99.999%。另外，网络切片可为智慧交通提供 QoS 高优先级保障，在紧急情况可自动调整通信资源配比，占用公众资源实现应急通信，从而保证智慧交通的服务质量。

3.3.4 基础设施信息化

随着 5G 网络、大数据及人工智能的发展，数字孪生城市的概念被提出，通过新一代信息技术的广泛应用，实现了智能化设备与网络虚拟空间的相互映射、协同交互，进而通过数据驱动、软件管理、平台运营等手段对物理世界各种元素进行信息收集、资源配置、行为决策等，如图 3-5 所示。

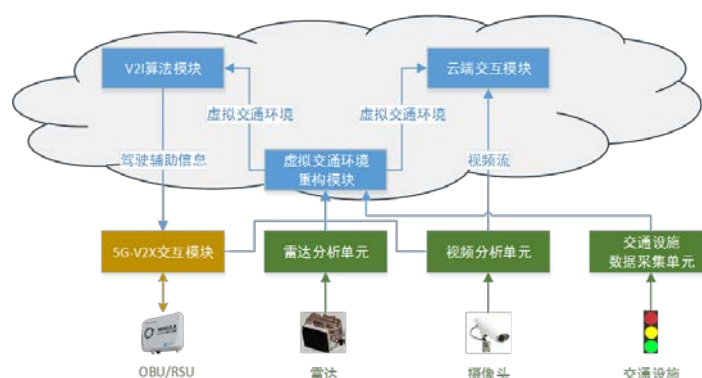


图 3-5 数字孪生化的交通基础设施信息化

数字孪生手段，在“端—管—云”的三层架构体系实现智慧交通基础设施的信息化，“端”包括雷达、摄像头、OBU/RSU 以及交通设施等，是现实世界的物理实体元素。一方面这些实体元素作为城市的神经节点，通过传感器或 V2X 通信实现周围环境的信息收集。另一方面作为城市功能的执行单元，这些元素是实现人机交互的窗口，因此 AR/VR、语音识别、眼球追踪等新型人机交互技术是智能化设备运营不可或缺的技术支持。“管”包括蜂窝网、V2X 通信以及车内网等通信网络，实现数字孪生城市中实体元素与网络虚拟单元的连接与映射。通信网络作为信息传输的管道，要求具备大带宽、低时延、高可靠、海量连接等特性。因此 5G 通信、eMTC、V2X 通信等新一代通信技术将是数字孪生城市中实现万物互联的必要手段。“云”在虚拟世界实现连接管理、数据管理及业务管理等功能，是虚拟世界的管理与运营单元。人工智能技术为基础的“城市大脑”在云端依据大数据建模与分析，实现判断、推理、证明、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动，进而做出行为决策。

另外，交通基础设施、感知设施等设备的数据格式不统一，需要进行统一的协议转换和信息的结构化处理，从而完成云端的数字孪生映射。

3.3.5 人工智能与大数据

智慧交通的核心充分利用海量交通数据，在负责的交通环境中利用人工智能进行实时决策和控制。大数据的应用已经催生了 DaaS 服务（Data-as-a-service，数据即服务），实时、快速及预测能力为智慧交通带来了新契机，可实现深度的交通管理。人工智能是实现智慧交通必不可少的技术之一，是城市大脑的核心决策部分。人工智能已经在智慧交通中发挥了重要作用。2017 年，由阿里推出的杭州城市大脑 1.0 接管了杭州 128 个信号灯路口，试点区域通行时间减少 15.3%，萧山救护车到达现场的时间缩短一半，并实现视频实时报警，准确率达 95% 以上。2018 年，杭州城市大脑 2.0 的管辖范围扩大了 28 倍，覆盖面积达 420 平方公里，可实时指挥 200 多名交警的日常工作。同时，在以大数据和人工智能为核心的智慧交通平台上，应充分引入和发挥互联网思维的作用，实现网络平台的开放，吸引各方参与者加入到智慧交通的建设中，使智慧交通能朝着开放、多元的方向健康发展。

3.3.6 高精度定位

车辆高精度定位是实现智慧交通、自动驾驶的必要条件。随着 C-V2X 服务从辅助驾驶到自动驾驶的发展，其性能要求从可靠性，时延，速度，数据速率，通信范围以及定位精度等方面发生变化。与其他服务不同，定位信息是保证车联网业务安全的基本要素之一。根据环境以及定位需求的不同，定位方案是多种多样的。GNSS 或其差分补偿 RTK 方案是最基本的定位方法。考虑到 GNSS 在隧道或密集城市等场景中性能较差，其应用场景仅限于室外环境。GNSS 通常要与惯导结合以增加其定位稳定性。基于传感器的定位也是车辆定位的另一种常见定位方法。但高成本、对环境的敏感性以及地图的绘制和更新也限制了传感器定位的快速普及和推广。GNSS 或传感器等单一技术无法保证车辆在任意环境下的高精度定位性能，因此会结合其他一些辅助方法例如惯性导航、高清地图、蜂窝网等以提高定位精度和稳定性。其中，蜂窝网络对于提高定位性能至关重要，例如 RTK 数据和传感器数据的传输，HD 地图的下载等。5G 为车联网提供高可靠性和低延迟通信外，也为车辆高精度定位技术增加了一种可能，尤其是满足室内定位需求。

基于上述定位技术的分析，为满足智慧交通室内外定位的业务需求，车辆高精度定位需要采用融合的定位方法，以满足不同环境、不同的场景以及不同业务的行为需求。如图 3-6 所示，无线信号测量（包括蜂窝网信号、卫星信号以及局域网信号）得到原始观测值，

通过三角算法得到定位信息；惯性导航利用陀螺仪或者加速度计得到加速度和角速度；传感器利用雷达、摄像头得到点云或者图像信息，结合地图数据通过地图匹配获取定位信息；最后多方的定位信息需要通过融合滤波算法实现才能最大可能的提高精度精度，满足智慧交通业务需求。

目前中国联通已在武汉、广州、长沙、天津四个城市开展 RTK 与蜂窝基站联合部署和规模性测试，有效降低运维成本。

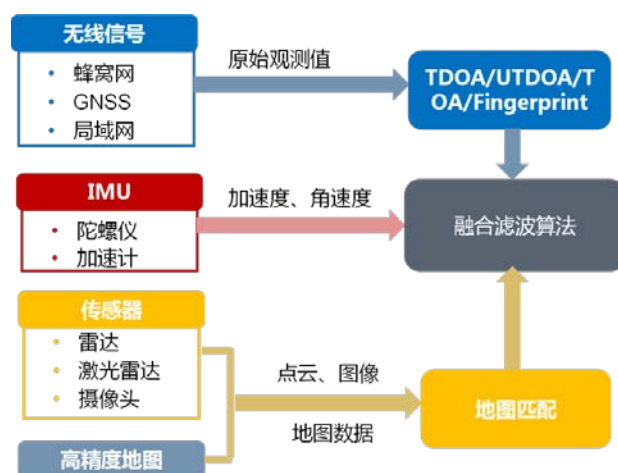


图 3-6 车辆高精度融合定位

4 基于 5G 的智慧交通典型案例及解决方案

随着面向智慧交通的业务场景丰富，而这些业务场景，均是以人们的出行需求为出发点，提供更加安全、便捷的出行环境。更多的交通参与者，多模式的出行方式以及复杂的交通环境，使得业务应用更偏向于数字化、智能化。因此，不同的智慧交通业务服务，需要多方参与，共同打造行业平台。针对不同的出行主体和出行需求，业务应用也偏向于多元化，如图 4-1 所示，既有车端的无人驾驶、编队形式、辅助驾驶、公共交通，也有路侧的路况实时监测、一体化治超，以及服务区的智慧服务区、ETC 无感支付等。结合联通的实际经验，本白皮书给出三种典型业务案例的解决方案。



图 4-1 智慧道路业务场景

4.1 智慧路况监测

基于 5G+C-V2X 网络构建的智能路况监测平台可实现道路环境监控、流量分析、基础设施故障监控、智慧执法等业务。智能路侧设备对路面积水、路面结冰、雾霾天气、施工维护、隧道实景、车道异物、事故提醒、车速管控交通路况实施采集，通过 5G 网络将信息上传至云平台实时分析决策后，再通过 5G 和 C-V2X 将信息下发给车辆和行人，用于恶劣天气预警、道路施工预警、限速预警、闯红灯预警、车内标牌、拥堵提醒、绿波通行等场景。对于交通部门可用于道路精准监控、智能交通流量分析、路段环境同步监测、可变限速信息发布、交通事件预警、违章抓拍、迅速响应指令的下发和执行，有效规避、减少交通拥堵和事故，保障出行安全、提高通行效率。

智能路况监测平台包括信息采集层、信息传输层、信息决策层。

信息采集层：主要通过路侧设备进行实时信息采集，实现道路特殊事件发现和交通管

控。路侧设备主要包括包括：（1）摄像头，实时识别车辆、行人、障碍物；（2）微波检测器，感知交通运行状态；（3）气象站，获取天气情况和路面条件；（4）智能红绿灯和电子路牌，获取信号灯显示情况、道路限速提示等；

信息传输层：5G 网络实现采集信息的传输，LTE-V 实现车路云之间的信息交互；

信息决策层：一般包括 MEC 边缘云和中心云平台：MEC 下沉到网络层对低时延的业务进行实时分析并快速决策；远端的中心云平台则汇聚各类信息，实现路径的整体动态规划、管控以及驾驶行为分析。

智慧路况监测系统的上行业务流如图 4-2（a）所示，路侧感知设备（如高清摄像头、激光雷达等）与 5G 终端对接，通过 5G 网络将信息实时发送给智慧交通业务管理平台；下行业务流如图 4-2（b）所示，智能交通业务平台通过光纤直连 RSU 设备，将路况相关事件信息通过 RSU 实时推送给车辆，通过车载终端和手机 APP 给车主提示或者预警。如不具备光纤环境，也可以机通过蜂窝网络（5G 或者 LTE-V）与 RSU 连接。

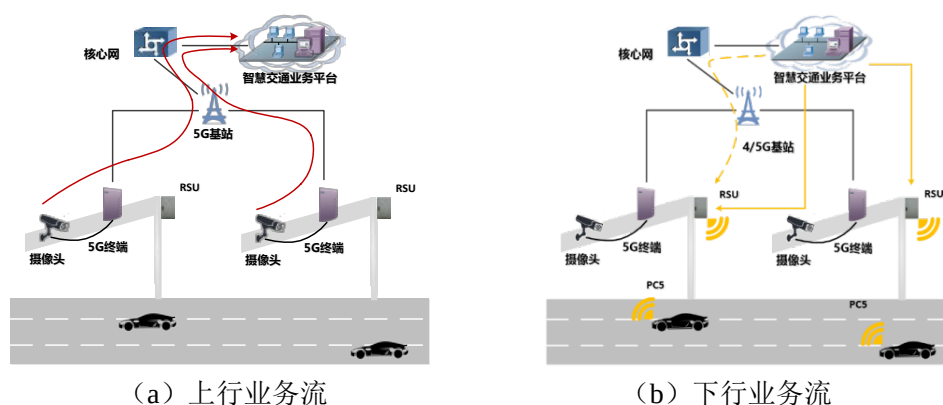


图 4-2 智慧道路监测业务流示意图

4.2 智慧高速编队行驶

智慧高速编队行驶，指在高速专用道路上，将多辆车辆编成队列连接行驶，领队车辆为有人驾驶或一定条件下的无人驾驶，跟随车队为基于实时信息交互的无人驾驶车。

基于 5G 编队行驶方案如图 4-3 所示，车载摄像头、雷达采集车辆周边环境，OBU 实现车车之间及车路之间信息交互，5G 终端将采集的感知信息及车辆状态信息实时上传，平台基于上报的信息做出决策，并将决策指令下发，帮助车辆识别路况、变换行驶速度和方向。5G 超低时延<10ms 与超大带宽下行 500Mbps/上行 100Mbps 的网络能力可显著提升物流运输效率，大幅降低油耗，实现节能环保驾驶。

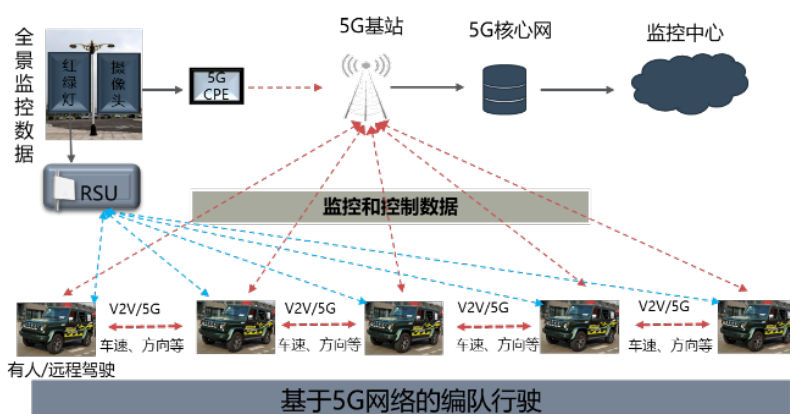


图 4-3 基于 5G 编队行驶网络解决方案

2019 年 3 月联通与北汽在顺义奥运水上公园，进行无人驾驶的编队行驶试验，如图 4-4 所示。首车是人工驾驶，紧随其后的 4 车为无人驾驶。通过车载雷达和云端监控技术，无人车可跟随领航车实现自动驾驶，队列自动驾驶可应用在救灾巡查、旅游观光等多种场景。测试场景包括：加速、减速、停车、转弯，外部车辆编导插队，紧急情况下切换人工驾驶模式。



图 4-4 联通与北汽开展编队行驶演示

4.3 远程驾驶

基于 5G 的远程驾驶系统分三层：远程车端，配有摄像头、雷达、高精度定位产品及 5G 终端；驾驶舱，包括（1）多块显示器拼接而成的显示屏，模拟驾驶员正前方的视野，（2）驾车控制组件，实现对远程车辆的控制；（2）网络传输层，车端通过 5G 终端利用网络切片能力和 QOS 保障能力，连入无线网和核心网，将信息传输给驾驶舱。

基于 5G 网络的远程驾驶解决方案如图 4-5 所示，远程驾驶汽车的大致步骤有：

（1）远端车体在车内布置摄像头实时拍摄各角度的路面视频，将视频实时同步到驾驶舱屏幕，为保证驾驶视频同步体验，摄像头要求 1080P，5 路摄像头包括路前方、左方、右

方、全景、车内等；

(2) 显示屏以及驾车控制组件位于驾驶员一侧，接收车端回传的各类信息，实时呈现给驾驶员，供其及时判断车况、路况等；同时接收驾驶员的各种操作，通过网络实时下发到车端，完成对远程智能汽车的控制

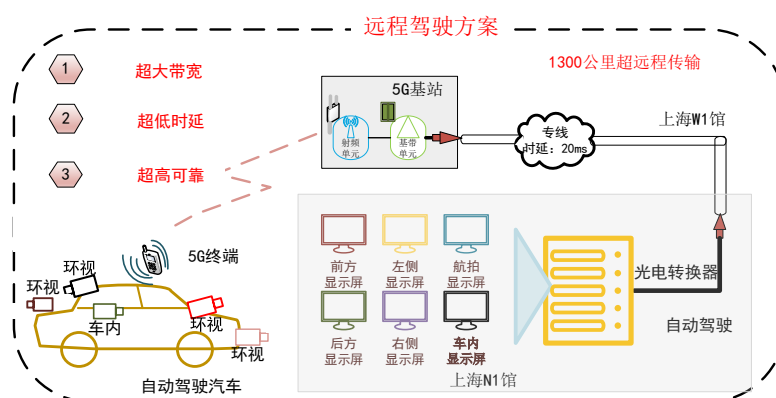


图 4-5 远程驾驶网络解决方案

2018 年中国联通分别在上海世界移动通信大会、南非 ITU 世界通信展、北京国际通信展等展会进行基于 5G 的远程驾驶实车演示，如图 4-6 所示。中国联通 5G 创新中心将持续在 5G 远程驾驶领域的技术和产品研发，后续将开发一整套远程驾驶系统，提出标准化解决方案，并研发车载远程驾驶产品。



图 4-6 远程驾驶演示

5 中国联通 5G+智慧交通总结与展望

5G 使能万物，助力实现智慧交通。

2018 年中国联通成立 5G 创新中心，将智慧交通作为 5G 重点应用行业，从标准化、技术研究、产品开发、业务演示与应用以及产业合作等方面，全面参与智慧交通建设。

标准化及技术研究：积极参与 3GPP、5GAA、CCSA 及 IMT2020 的标准化工作，牵头多项标准研究，并参与多项智慧交通相关的国家项目。中国联通提出智慧交通解决方案及关键技术研究，通过“端-管-云”的架构，实现地面交通在云端的数字孪生映射，利用人工智能实现快速、高效的智慧交通业务应用。基于该方案研发的“基于 5G 的平行增强交通世界”系统，获工信部绽放杯 5G 应用大赛一等奖、GNTC 创新奖等奖项。

产品研发与应用：开展“交通设施信息化”、“远程驾驶系统”及“车辆高精度定位”产品研发。已开发的基于“C-V2X 辅助驾驶”原型系统，获世博会新技术新产品创新奖银奖。同时，中国联通积极推进智慧交通的应用落地，进行了远程驾驶、编队行驶等典型智慧交通业务示范，并参加了科技冬奥、常州车联网示范区、重庆车联网示范区等智慧交通项目。

产业合作及生态：建立了智慧交通创新研究体系，聚焦于通信网络技术，智慧交通关键技术研究，业务平台应用以及基地建设与试验。同时，联通还成立了车联网开放实验室，联合车企、设备厂商，芯片厂商，互联网公司以及高校等等，共同构建车联网合作生态系统。在 2019 年 4 月的联通合作伙伴大会上，举办了“5G+车联网与智慧交通”及“5G+北斗高精度定位应用”论坛，成立“5G+北斗高精度定位开放实验室”，探讨 5G 赋能智慧交通和车辆高精度的技术方案和产业应用。

智慧交通的蓬勃发展为各个行业带来新的商业契机和价值体系，联通作为通信管道提供商，将继续发挥自身网络优势，通过网络演进及升级以支持低时延、高可靠通信业务；另一方面，运营商也正在积极探索在新形成的智慧交通产业链中的角色转变，即从传统的管道服务向全面服务运营演进。因此，运营商在关注智慧交通网络建设和技术研究的同时，将持续发力平台建设和网络能力开放，开展垂直行业业务制定及第三方应用，尝试开辟新业务。

中国联通目前正积极开展智慧交通产业合作，探索智慧交通业务需求、基于 5G 的智慧交通网络演进策略、关键技术以及商用落地方案等。我们期待与各界同仁一起，共同参与智慧交通的技术标准研究、平台开发、典型业务场景演示与验证，共同探讨智慧交通商业模式，推动智慧交通产业的发展。

◇ 专家顾问

张涌、迟永生、张然懋、冯毅、李玲

◇ 编写组成员

刘琪、邱佳慧、许幸荣、张帆、张香云、宋蒙、王蕴实、
王晓林、苏巾槐、周光涛、赵荐雄、程军峰、辛亮、徐玮