

全 面 且 宝 贵 的 车 联 网 技 术 指 南

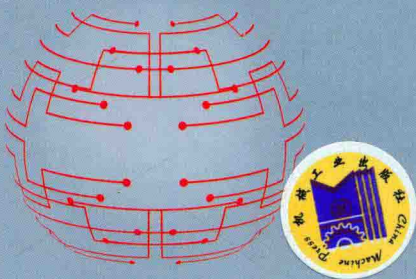
VEHICLE TO  
EVERYTHING

# 车联网

## 权威指南


### 标准、技术及应用

V2X、DSRC、802.11p、C-ITS、C-V2X (LTE-V2X)  
技术深度解读



涵盖了各国车联网标准和所需全部关键技术  
智能网联汽车从业者必读宝典  
全面覆盖车联网信道、组网、仿真、应用

王平 主 编    王超 刘富强 黄新林 副主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

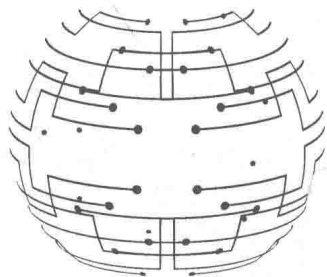
国家自然科学基金重点项目和“十二五”科技部主题863项目资助

VEHICLE TO  
EVERYTHING

# 车联网

## 权威指南

### 标准、技术及应用



王平 / 主 编

王超 刘富强 黄新林 / 副主编

尹学锋 孙晓艳 / 参 编

本书在内容上比较全面。车联网的信道、组网、仿真及应用等进行了全面阐述,而且涵盖了美标、欧标和中国主导的 LTE-V(也称 C-V2X)标准。本书所介绍的关键技术体现了最新的发展趋势,有助于帮助读者梳理主流的技术及其特点。本书结构比较清晰,从标准、技术、应用几个环节展开,便于读者理解与掌握全书内容。第1章是绪论,概括性地介绍了车联网的概念、范畴、标准、相关项目和测试场建设等内容,第2~5章是标准,第6~9章是关键技术,第10章是仿真实现,第11章是应用开发,第12章是车联网大数据。

本书注重帮助读者系统地理解车联网的基本概念、关键技术及应用开发技巧。本书适合于大专院校的物联网相关课程教材,也可以作为车联网(或智能网联汽车)领域相关工程师的参考书。

本书通俗易懂,由浅入深,侧重实用。本书提供电子教案,如有需要,可有偿提供车联网(智能网联汽车)应用场景案例实现和源码及相关培训服务。

## 图书在版编目(CIP)数据

车联网权威指南:标准、技术及应用/王平主编. —北京:机械工业出版社,2018.4

ISBN 978-7-111-60178-4

I. ①车… II. ①王… III. ①互联网络-应用-汽车 ②智能技术-应用-汽车 IV. ①U469-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第171120号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李馨馨 责任编辑:李馨馨

责任校对:张艳霞 责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·35.75印张·885千字

0001-3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-60178-4

定价:128.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

(010) 88379203

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

车联网的发展经历了好几个阶段，最初出现的时候被称为“汽车移动物联网”，这个时候物联网发展正当时，人们纷纷盼望着物联网技术能够应用于汽车领域。后来，为了方便，“汽车移动物联网”又改名为“车联网”，并用英文“Internet of Vehicles”来表示，虽然它对应着美国的“Connected Vehicles”和欧盟的“Cooperative Intelligent Transport System（简称C-ITS）”，主要用于车车/车路通信，实现协同应用，但是这个概念一开始出现时，人们更多地是把它跟“Telematics”（车载信息服务，是指应用无线通信技术的车载计算机系统）应用混为一谈，而 Telematics 应用那时已经非常成熟。为了跟 Telematics 业务做更好的区分，业界开始更多地用“V2X”（Vehicle to Everything，包括 Vehicle to Vehicle 和 Vehicle to Infrastructure，即 V2V 和 V2I）来表示车联网。

在车间通信逐步被大家认可之后，一个融合的网络架构被提了出来，它包括车内网、车际网（也叫车间网）、车云网（也叫车载移动互联网），用于更好地为智能交通系统（ITS）提供通信服务。随着人工智能不断成熟，智能驾驶也向着更高阶段发展，人们希望把网络和人工智能有机地结合起来，通过协作式感知来弥补自主式感知的不足，以更好地服务于智能驾驶。于是，一个全新的说法“智能网联汽车”开始出现，智能汽车需要网联技术提供全方位的感知，也需要网络来共享云端的处理资源。此外，智能网联汽车所涉足的不再仅仅是汽车这么一个个体，而是需要把它融入大交通这个整体当中，宏观的交通特征将会对智能网联汽车产生影响，比如交通拥堵将会促使汽车在规划路线时提前规避拥堵区域。

智能网联汽车不仅是中国学者在这一领域达成的共识，也是美国、欧盟等发达国家普遍达成的共识，包括丰田、通用、上汽、奥迪等车企也在纷纷布局智能网联汽车的研发工作。但是，在汽车搭载网联技术时，以美国为首的西方国家采用的是专用短程通信技术（Dedicated Short Range Communications，DSRC）标准，而中国却力推 C-V2X（蜂窝车联网技术）标准。DSRC 是一个由 IEEE 802.11 标准扩充的通信协议，能够支持相邻车辆之间行车安全数据的相互通信和数据交换，符合智能交通系统的相关应用。从技术上来看，DSRC 标准对 IEEE 802.11 进行了多项针对车辆特殊环境的改进，例如，增强了热点间切换、更好地支持移动环境、增强了安全性、加强了身份认证等。C-V2X 是基于移动蜂窝网的车联网通信技术，以 LTE（长期演进技术）蜂窝网络作为基础的 C-V2X 称为 LTE-V2X。LTE-V2X 系统的空中接口分为两种，一种是 Uu 接口，需要基站作为控制中心，车辆与基础设施、其他车辆之间需要通过将数据在基站进行中转来实现通信，提供大带宽、大覆盖通信服务；另一种是 PC5 接口，可以实现车辆间数据的直接传输，满足低时延、高可靠的通信需求。

C-V2X 虽然起步晚于 DSRC，但是 C-V2X 可以直接利用现有蜂窝网基础设施，可以极大地降低部署成本，而且中国在 C-V2X 方面拥有更多的知识产权。因此可以想象，在中国市场，C-V2X 将会发展得更好。

在开展大规模实证测试项目“Safety Pilot Model Deployment”之后，美国交通部通过调查发现超过 90% 的驾驶员对于 V2V 安全应用持支持的态度，因此美国已经启动了法案强制

要求新生产的轻型汽车支持 V2V 通信功能，这也就意味着 V2X 离大规模应用已经为期不远。因此，国内也掀起了一片浪潮，很多整车企业和研究机构纷纷开展 V2X 应用示范和测试验证工作，依靠同济大学团队开发的 LTE-V2X 应用示范系统于 2016 年 G20 峰会期间成功地在杭州开展了体验活动。正是在这种背景下，应广大读者的要求，我们精心编写了这本教材，希望能够有助于相关科研工作者、研究生、本科生掌握车联网原理，了解车联网应用方式。

本书在撰写的过程中得到了相当多同仁的帮助，其中同济大学电信学院王平副教授负责统稿，同济大学电信学院和同济大学计算机与信息中心实验教学中心主任尹学锋教授负责撰写了第 6 章，西安建筑科技大学信息与控制工程学院孙晓艳副教授负责撰写了第 10 章，同济大学电信学院王超副教授、黄新林教授和刘富强教授也参与了部分章节的整理与校验，此外李想博士、邢玮俊、汪洋、解普龙、周宇、李南南、刘颖迪、罗肖、郑博文、王卓文、宁珍妮、蔡雪松、贺永宇、陈佳静、凌岑、洪靖翔、王晖、张超、叶筱康、储玺、邱微虹、王南鑫、宋凯、张小莹、邵文兰等同学也参与了编写工作。

本书可以作为大专院校物联网相关课程的学习教材，可用于研究生教材和高年级本科教材，也可以作为智能网联汽车领域相关工作者的参考读物。

由于编者的水平有限，错误和疏忽之处在所难免，敬请广大读者提出宝贵意见。任何批评和建议请发至邮箱 shaffer\_2001@163.com。

# 目 录

前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 当前所面临的挑战	1
1.2 车联网基本概念	2
1.2.1 车联网的定义	2
1.2.2 车联网的范畴	3
1.2.3 车联网与其他概念的区别与联系	4
1.3 车联网体系架构与通信标准	6
1.3.1 车联网体系架构	6
1.3.2 车联网体系参考模型	8
1.3.3 美国车联网通信标准	9
1.3.4 欧盟车联网通信标准及与美标的区别	11
1.3.5 中国力推的 LTE-V 标准	15
1.4 国内外车联网的发展现状	18
1.4.1 美国车联网的发展状况	18
1.4.2 欧盟车联网的发展状况	20
1.4.3 日本车联网的发展状况	22
1.4.4 国内车联网的发展状况	25
1.5 车联网的发展趋势	27
1.6 车联网测试场	30
1.6.1 美国密歇根大学 Mcity	31
1.6.2 瑞典 AstaZero	33
1.6.3 美国弗吉尼亚 Smart Road	33
1.6.4 英国 MIRA——City Circuit	35
1.6.5 其他测试场	35
1.6.6 测试场的对比及国内发展状况	36
1.7 各章概述	39
参考文献	42
第 2 章 IEEE 802.11p 标准	43
2.1 概述	43
2.2 物理介质关联子层	43
2.3 物理层会聚协议子层	45
2.3.1 PPSDU 帧格式	45
2.3.2 PLCP 前导码	47
2.3.3 数据加扰、卷积编码和交织	48
2.3.4 子载波调制映射和导频插入	49
2.4 MAC 子层	51
2.5 802.11p 与蜂窝通信在 V2X 上应用的对比	52
2.5.1 背景情况	52
2.5.2 802.11p 在 V2X 上的应用	53
2.5.3 蜂窝通信在 V2X 上的应用	55
2.5.4 802.11p 与蜂窝通信在 V2X 应用上的互补	60
参考文献	61
第 3 章 IEEE 1609 标准	62
3.1 引言	62
3.2 IEEE 1609 标准及 WAVE 系统架构	62
3.2.1 IEEE 1609 协议及相关标准	62
3.2.2 WAVE 系统综述	65
3.3 WAVE 网络业务: IEEE 1609.3	73
3.3.1 概述	73
3.3.2 数据平面	74
3.3.3 管理平面	76
3.3.4 服务原语	83
3.3.5 WAVE 信息格式	89
3.4 多信道操作: IEEE 1609.4	94
3.4.1 概述	94
3.4.2 数据平面服务	95
3.4.3 控制平面服务	99
3.4.4 服务原语	102
3.5 资源管理: IEEE 1609.1	107
3.5.1 体系架构与通信流程	108
3.5.2 OBU 资源	110
3.5.3 RM 命令和响应	111
3.5.4 由 RM 提供的 RMA 服务	116
3.6 应用安全服务和管理:	

IEEE 1609.2 .....	121	4.6.2 ITS 信任与隐私管理 .....	234
3.6.1 协议概述 .....	121	参考文献 .....	237
3.6.2 安全管理服务 .....	122	<b>第5章 LTE V2X .....</b>	<b>239</b>
3.6.3 安全数据处理 .....	126	5.1 现状与需求 .....	239
3.6.4 密码材料与证书撤销 .....	129	5.1.1 3GPP 在 V2X 上的标准化进程 .....	239
3.6.5 加密操作 .....	131	5.1.2 按接口分类的应用场景 .....	243
3.7 SAE J2735 消息集 .....	131	5.2 架构设计 .....	246
3.7.1 J2735 消息集概述 .....	132	5.2.1 V2X 架构——基于 PC5 .....	246
3.7.2 基本安全消息 .....	133	5.2.2 V2X 架构——基于 LTE-Uu .....	247
3.7.3 探测车辆数据消息 .....	134	5.2.3 关键问题 .....	248
3.7.4 路边警告消息 .....	135	5.3 无线空口关键技术 .....	251
3.8 总结与展望 .....	135	5.3.1 资源分配 .....	251
参考文献 .....	136	5.3.2 基于 Uu 接口的增强技术 .....	258
<b>第4章 欧盟车联网标准 .....</b>	<b>138</b>	5.3.3 子帧结构增强 .....	259
4.1 引言 .....	138	5.3.4 同步技术 .....	259
4.1.1 ITS 站点整体介绍 .....	140	5.4 安全设计 .....	260
4.1.2 设备层 .....	142	5.4.1 通信安全 .....	260
4.1.3 网络层和传输层 .....	143	5.4.2 LTE-V2X 无线资源访问授权 .....	261
4.1.4 接入层 .....	144	5.4.3 V2X 实体设备环境安全 .....	261
4.1.5 ITSC 管理实体 .....	146	5.5 LTE-V2X 的演进 .....	262
4.1.6 ITSC 安全 .....	149	5.5.1 LTE-eV2X 增强 .....	262
4.2 应用及设备层 .....	150	5.5.2 多接入边缘计算 .....	262
4.2.1 BSA 基本应用程序集 .....	150	5.5.3 5G-V2X 标准工作推进 .....	262
4.2.2 协作通信基础服务 .....	156	5.6 发展前景 .....	263
4.2.3 分散环境通知基本服务 .....	162	5.6.1 V2X 的优势 .....	265
4.3 网络及传输层 .....	169	5.6.2 C-V2X 的技术优势 .....	266
4.3.1 GeoNetworking 简介 .....	169	5.6.3 ITS 频谱需要考虑的问题 .....	267
4.3.2 ITS 网络传输层要求 .....	171	5.6.4 C-V2X 的部署 .....	268
4.3.3 GeoNetworking 协议 .....	173	5.6.5 C-V2X 的实现 .....	269
4.3.4 ITS 基本传输协议 .....	185	5.6.6 5G 中 V2X 的发展方向 .....	269
4.3.5 GeoNetworking 上的 IPv6 协议 .....	189	参考文献 .....	273
4.4 接入层 .....	198	<b>第6章 移动场景下的信道特征 .....</b>	<b>274</b>
4.4.1 物理层和 MAC 子层 .....	198	6.1 研究现状 .....	274
4.4.2 分布式拥塞机制 .....	208	6.1.1 高铁信道特征研究 .....	274
4.5 管理 .....	223	6.1.2 地铁信道特征研究 .....	275
4.5.1 ITS 应用程序综合管理 .....	223	6.1.3 无人机信道特征研究 .....	275
4.5.2 分布式拥塞控制的跨层操作 .....	224	6.1.4 车-车信道特征研究 .....	276
4.6 安全 .....	228	6.2 基于扩展卡尔曼滤波器 (EKF) 的 信道参数跟踪估计算法 .....	279
4.6.1 ITS 通信风险评估 .....	228		

6.2.1	概览	279	7.3.4	基于竞争窗口的拥塞控制 机制	373
6.2.2	EKF 的结构	279	7.3.5	小结	375
6.2.3	扩展卡尔曼滤波器	280	7.4	多信道协调机制	375
6.2.4	线性近似带来的模型失配	282	7.4.1	使用专用控制信道的多信道 MAC 协议	375
6.3	基于粒子滤波的跟踪算法	286	7.4.2	基于跳频的多信道 MAC 协议	376
6.3.1	低复杂度的粒子滤波 PF 算法	288	7.4.3	基于时隙分割的多信道 MAC 协议	377
6.3.2	实测算法性能验证	290	7.4.4	拥有多收发机的多信道 MAC 协议	378
6.4	被动信道测量系统	293	7.4.5	基于簇结构的多信道 MAC 协议	379
6.4.1	信道测量方法综述	293	7.4.6	小结	379
6.4.2	被动信道测量系统	294	7.5	多信道分配策略	380
6.5	信道建模: 高铁、地铁、无人 机场景	299	7.6	优先级机制	381
6.5.1	基于几何的随机高铁 信道模型	299	7.7	结论	383
6.5.2	高铁环境中使用单天线构建 虚拟阵列进行波达角估计	313	参考文献	384	
6.5.3	LTE 系统下的高铁信道路径 损耗模型	318	第 8 章	网络传输技术	387
6.5.4	LTE 系统下高铁隧道和非隧道 环境信道模型	323	8.1	引言	387
6.5.5	地铁环境中的多链路信道 模型	326	8.2	信息分发	387
6.5.6	地铁环境中的隧道站台转变 信道模型	343	8.2.1	消息分发	388
6.5.7	无人机地对空信道模型	349	8.2.2	内容分发	391
参考文献		356	8.3	路由技术	393
第 7 章	接入技术	362	8.3.1	拓扑路由协议	393
7.1	引言	362	8.3.2	地理位置路由	404
7.2	信道接入协议	363	8.4	结论	428
7.2.1	基于竞争的 MAC 协议	364	参考文献	428	
7.2.2	基于调度的 MAC 协议	365	第 9 章	网络安全技术	432
7.2.3	基于混合的 MAC 协议	367	9.1	VANET 网络的信息安全需求	432
7.2.4	小结	367	9.2	VANET 网络中的攻击	433
7.3	拥塞控制	368	9.3	安全威胁评估	436
7.3.1	基于功率控制的拥塞控制 机制	369	9.4	安全服务	437
7.3.2	基于速率控制的拥塞控制 机制	370	9.4.1	加密算法	437
7.3.3	基于功率和速率控制的拥塞 控制机制	371	9.4.2	PKI 介绍	439
			9.4.3	密钥管理	441
			9.5	安全认证	446
			9.5.1	车辆身份认证	446
			9.5.2	消息认证	448



9.6 隐私保护.....	449	第 11 章 应用开发.....	498
9.6.1 隐私威胁.....	450	11.1 车联网架构分析.....	498
9.6.2 隐私技术指标.....	450	11.2 车联网应用开发中的	
9.6.3 用户身份隐私保护.....	451	环境感知.....	501
9.6.4 用户位置隐私保护.....	453	11.2.1 CAN 数据采集处理.....	501
9.7 总结.....	454	11.2.2 GPS 数据采集处理.....	508
参考文献.....	454	11.2.3 DSRC 数据采集处理.....	517
<b>第 10 章 移动建模与仿真</b> .....	<b>456</b>	11.3 数据处理.....	525
10.1 车联网建模与仿真概述.....	456	11.3.1 坐标映射和轨迹预测.....	526
10.2 车辆运动建模.....	457	11.3.2 区域划分.....	529
10.2.1 车辆运动模型概述.....	457	11.3.3 场景分类和危险评估.....	530
10.2.2 车辆运动模型分类.....	458	11.4 基于中间件设计的平台开发	
10.3 车联网网络仿真平台.....	463	架构.....	531
10.4 交通仿真与网络仿真间的		11.4.1 平台功能需求.....	532
关系.....	464	11.4.2 平台架构设计.....	532
10.4.1 开环耦合.....	465	11.4.3 平台硬件实现.....	534
10.4.2 闭环耦合.....	465	11.4.4 平台软件实现.....	535
10.5 基于 SUMO 的交通仿真		11.5 应用场景分析.....	536
实现.....	475	11.5.1 交通安全类应用场景.....	537
10.5.1 SUMO 简介.....	475	11.5.2 交通效率类应用场景.....	540
10.5.2 Hello SUMO 实例.....	476	11.5.3 交通便捷类应用场景.....	545
10.5.3 节点描述.....	477	11.6 结论.....	547
10.5.4 边描述.....	478	参考文献.....	548
10.5.5 路网生成.....	480	<b>第 12 章 车联网大数据</b> .....	<b>550</b>
10.5.6 车辆相关描述.....	482	12.1 车联网大数据及其特征.....	550
10.6 基于 OMNeT++ 的车联网通信		12.2 车联网大数据应用.....	550
仿真实现.....	485	12.2.1 车辆碰撞避免.....	550
10.6.1 Veins 通信协议栈实现.....	485	12.2.2 驾驶行为分析.....	551
10.6.2 异构车联网 VeinLte 通信协议栈		12.2.3 车辆故障诊断与预测.....	552
实现.....	487	12.2.4 自动驾驶.....	552
10.7 车联网仿真实例.....	488	12.3 总结.....	553
10.7.1 Veins 仿真实例.....	488	参考文献.....	553
10.7.2 VeinsLte 仿真实例.....	492	附录 中英文对照表.....	555
参考文献.....	495		

# 第1章 绪 论

## 1.1 当前所面临的挑战

城市交通是衡量城市文明水平的标志，也是城市生活的命脉。随着社会经济的高速发展，城市化进程的加快，城市交通需求也在迅速的增长，交通问题俨然已成为困扰城市发展的重大难题。在安全性方面，2015年全国共发生道路交通事故45万余起，造成近10万人死亡，直接财产损失18.8亿元；2016年中国共接报道路交通事故864.3万起，造成63093人死亡、226430人受伤，直接财产损失12.1亿元。道路交通事故万车死亡率为2.14，同比上升2.9%。据统计车祸也是造成11~27岁年轻人死亡的主要原因。在移动性方面，中国社会科学院数量经济与技术经济研究所估计，北京市交通拥堵造成的社会损失为每天4000多万元，每年高达146亿元，全国范围损失大约为每年1700亿元。与此同时，城市交通也造成了大量的环境污染，并挤占了原本用来居住、商业、绿化以及公共设施的空间，车辆制造的温室气体对气候变化的影响，不仅是中国也是全球的一个巨大挑战。

来自安全、移动、环境等多方面的交通问题，正迫使人们改变固有的交通出行方式，如何解决这些问题也是如今国内外专家正重点关注的热点课题。车联网即是在这一课题下应运而生的产物，它提出了将汽车、无线设备、驾驶员以及道路设施关联起来的实现交通智能化的解决思路<sup>[1]</sup>。

在安全驾驶方面，事故发生主要是由于司机的驾驶能力较差，交通感知能力不足，面对突发的交通情况不能做出迅速的反应。智能车联网系统可以通过通信设备获取本车、周围车辆以及道路的基本信息，全方位、多视角告知司机周围任何路段的情况，扩大司机的视听范围，同时车辆能够通过精确的计算，预估事故发生的可能性，警告司机潜在的危险，建议司机修正驾驶行为，在设想中此系统甚至可以直接控制车辆进行协助驾驶来减少甚至消除事故的发生。

在移动性方面，车辆可以将自己的位置信息发送给路边单元，交通部门通过汇总车辆的位置信息可以实时地了解城市交通的不同道路的拥堵情况，并可以及时根据实际情况发布车辆疏散信息来缓解道路通行压力，司机也可以通过智能车联网设备获知前方道路信息，从而选择合适的线路，减小在路途上的时间和经济方面的损失。

在环境方面，据统计，合理的驾驶行为（例如平稳的车速）能有效地降低车辆油耗<sup>[3]</sup>，从而缩减温室气体的排放，通过车辆传感器可以收集到驾驶员的驾驶行为信息，再通过车联网系统的通信设备将驾驶员的驾驶行为信息发送到服务器端，服务器端通过处理分析后可以向驾驶员提出驾驶行为的建议，以达到降低排放的目的。



车联网技术将汽车作为 V2X 系统<sup>①</sup>的通信终端，构建出一种面向汽车的移动互联网，通过在车辆之间以及车辆和路侧设施之间进行实时、高效的信息交互，一方面可以有效弥补传统激光、雷达和机器视觉分析等技术在距离、角度等方面存在的缺陷，另一方面又可以在各种交通要素之间充分共享信息，进而全方位地提升汽车主动安全系统的感知范围和感知程度，避免碰撞事故和交通拥堵引发的社会财产损失。正因为其重要意义，2014 年 2 月 3 日，美国交通运输部部长 Anthony Foxx 指出，V2X 技术是继安全带、安全气囊之后的新一代安全技术，在维持美国处于全球汽车工业领导者地位中能发挥重要作用。美国将 V2X 技术作为交通领域中发展的重中之重，已经连续 3 次将其列入智能交通系统的国家战略规划。

## 1.2 车联网基本概念

### 1.2.1 车联网的定义

1.1 节简要介绍了车联网概念以及应用背景，我们需要对其进行更详细的定义。车联网概念引申自物联网（Internet of Things, IoT）<sup>[4]</sup>，车联网全称为汽车移动互联网，传统的车联网定义是指装载在车辆上的电子标签通过无线射频等识别技术，实现在信息网络平台上对所有车辆的属性信息和静、动态信息进行提取和有效利用，并根据不同的功能需求对所有车辆的运行状态进行有效的监管和提供综合服务的系统。

随着车联网技术与产业的发展，上述定义已经不能涵盖车联网的全部内容。根据世界电动车协会的定义，车联网（汽车移动互联网）是利用先进传感技术、网络技术、计算技术、控制技术、智能技术，对道路交通进行全面感知，对每部汽车进行交通全程控制，对每条道路进行交通全时空控制，实现道路交通“零堵塞”、“零伤亡”和“极限通行能力”的专门控制网络。由此可见，车联网运用了先进的信息通信技术，既要对车进行控制，又要对道路进行控制，其目标是实现交通安全“零伤亡”、交通效率“零堵塞”和“极限通行能力”，这是一个远景目标，勾画出了未来人类出行美好的蓝图。

根据车联网产业技术创新战略联盟的定义，车联网是以车内网、车际网和车云网为基础，按照约定的通信协议和数据交互标准，在车与车、车与路、车与行人之间，进行无线通信和信息交换的大系统网络，如图 1-1 所示。车内网是指通过应用成熟的总线技术建立的一个标准化的整车网络，车际网是指基于专用短距离通信技术（Dedicated Short Range Communications, DSRC）技术和 LTE V2X 技术构建的实现车与车和车与路边的基础设施之间中短程距离通信的动态网络，车云网（也称车载移动互联网）是指车载终端通过 3G/4G 等通信技术与 Internet 和云端进行远程无线连接的网络。车联网是能够实现智能化交通管理、智能动态信息服务和车辆智能化控制的一体化网络，是物联网技术在交通系统领域的典型应用。而根据行业背景不同，对车联网的定义也不尽相同，我们需要对相关概念进行了解和区分。

① V2X（Vehicle to Everything）包括 V2V（Vehicle to Vehicle）和 V2I（Vehicle to Infrastructure）。

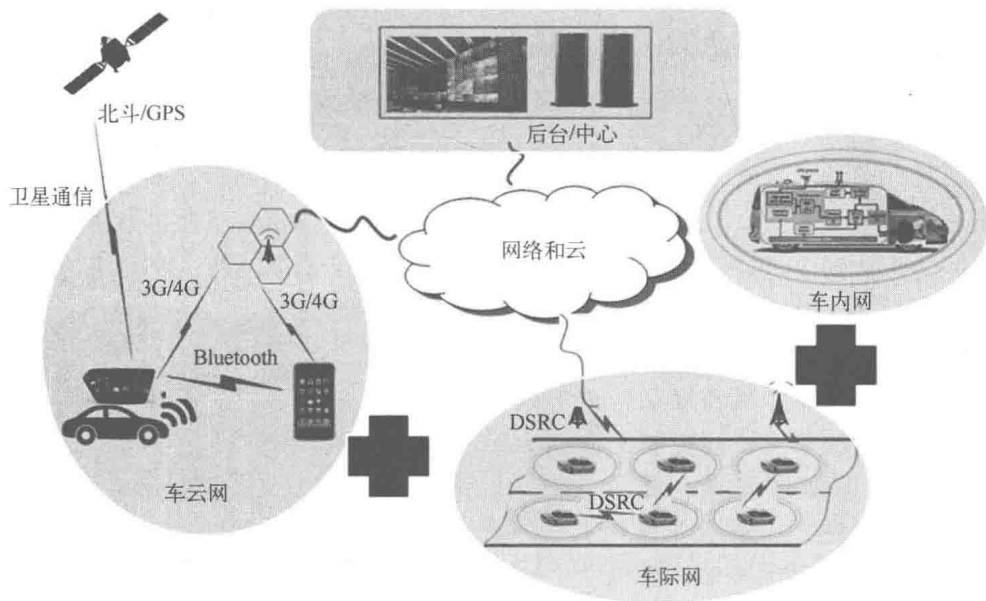


图 1-1 车网、车际网和车云网

## 1.2.2 车联网的范畴

车联网一般又称为 V2X (Vehicle to Everything) 或 C2X (Car to Everything), 其中又包括了基于车与车、车与道路基础设施、车与行人 (Vehicle to Pedestrians, V2P) 以及车与后台数据中心或者车与云端 (Vehicle to Cloud, V2C) 的应用。在这里, 车联网不仅是指将车连接起来的通信网络, 而且还包括了基于车与其他实体之间交互 (即 V2X 通信) 的各种应用。在美国它被称为 Connected Vehicles (简称为 CV), 是指车与车之间要进行互联, 对应的还有 Connected Corridors (又称为路联网), 道路之间也需要通过网络互相沟通, 以及车路协同 (Vehicle Infrastructure Integration, VII), 指道路和车辆之间需要协同工作, 可见车路协同是车联网中的一个有机组成部分。所以广义的车联网既包括车与车、车与路、车与人、车与后台中心的连接, 还包括路与路、路与人、路与后台中心之间的连接, 它通过各种通信技术将人、车、路、中心有机地互联起来。而狭义的车联网是指车车/车路之间的互联, 它采用一种专用的中短程通信技术, 在车辆之间以及车辆和路侧单元之间建立一种自组织的网络, 实现节点之间的直接通信。在欧盟它又被称为协作式智能交通系统 (Cooperative Intelligent Transport Systems, C-ITS), 是指智能交通系统中的各个交通要素之间通过网络进行协作, 所以又称为协作式 (又称合作式或协同式) 智能交通系统, 属于智能交通系统中的一个特例, 代表了智能交通系统借助各种新型信息通信技术向未来交通演进的一种技术路线。有些人认为 C-ITS 主要为交通服务, 因此主要解决交通拥堵问题以提高交通效率。实际上, 欧盟在提出 C-ITS 系统框架 (可以参考后面的章节) 时, 主要强调的是车、路、人和后台中心之间的协作, 与美国的 Connected Vehicles 框架和标准相对应, 因此它首要的目的还是针对交通安全, 然后才是解决交通效率和环境污染问题。



## 1.2.3 车联网与其他概念的区别与联系

### 1. 与智能网联汽车的关联

自动驾驶汽车是当前发展的一大热点，随着智能驾驶技术的不断发展，智能处理技术正在与网络通信技术深度融合，这就产生了智能网联汽车。中国汽车工业协会将智能网联汽车（Intelligent Connected Vehicle, ICV）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，实现车与X（人、车、路、后台等）智能信息交换共享，具备复杂的环境感知、智能决策、协同控制和执行等功能，可实现安全、舒适、节能、高效行驶，并最终可替代人来完成操作的新一代汽车。智能网联汽车是车联网与智能汽车的交集，图1-2显示了车联网与智能汽车、智能交通的相互关系。

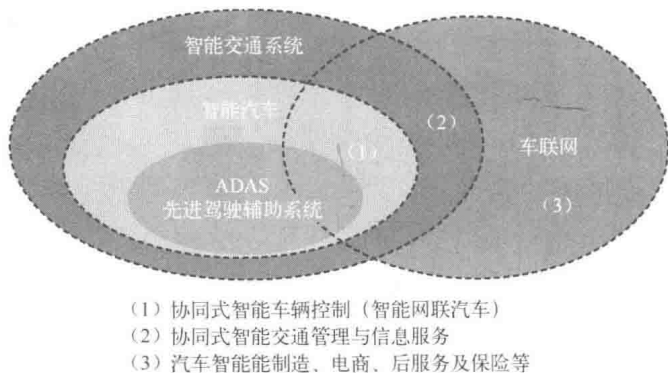


图 1-2 车联网与智能汽车、智能交通的相互关系

### 2. 与 ITS 的关联

智能交通系统（Intelligent Transport System, ITS）是将先进的信息技术、通信技术、电子传感技术、控制技术等有效地集成运用于整个地面交通管理系统而建立的一种在大范围内、全方位发挥作用的，实时、准确、高效的综合交通运输管理系统。智慧交通是未来交通系统的发展方向，它是智慧城市的一个重要组成部分，其目的是使人、车、路密切配合达到和谐统一，发挥协同效应，极大地提高交通运输效率、保障交通安全、改善交通运输环境和提高能源利用效率。这里的“人”是指一切与交通运输系统有关的人，包括交通管理者、操作者和参与者；“车”包括各种运输方式的运载工具；“路”包括各种运输方式的通路、航线。“智能”是 ITS 区别于传统交通运输系统的最根本特征，是指运用于交通运输系统中的各种智能技术。从各国实际应用效果来看，发展智能交通系统确实可以提高交通效率，有效减缓交通压力，降低交通事故率，进而保护了环境、节约了能源。

车联网是物联网在智能交通领域的应用，是智慧交通的发展新动向。踏入新世纪，物联网、智慧地球、智慧城市等概念兴起，具体到交通领域的应用便产生了智慧交通、车联网的概念。物联网的概念，在中国早在 1999 年就提出来了，当时不叫“物联网”而叫传感网，物联网概念的产生与物联网行业的快速发展，与智能交通交汇融合，产生了智能交通行业的新动向——车联网。车联网就是汽车移动互联网，它强调的是以车为载体构建的一种信息网络平台，使车与车、车与路、车与人、车与后台中心之间实时联网，实现信息互联互通，从而对人、车、路、网进行有效的管理，实现人、车、路在时空环境下的高度协同。

### 3. 与车路协同系统的关联

车联网虽然关注的也是车与车、车与路、车与行人之间的信息交换，但是车联网并不等价于 ITS。ITS 下产生的一个重要概念为车路协同系统（Cooperative Vehicle Infrastructure System, CVIS），车路协同系统是基于无线通信、传感探测等技术获取车辆和道路信息，通过车

车、车路通信进行信息的交互和共享，并在全时空动态交通信息采集与融合的基础上开展车辆主动安全控制和道路协同管理，充分实现汽车与道路的有效协同，保证交通安全，提高通行效率，从而形成安全、高效和环保的道路交通系统。值得注意的是，车联网与车路协同系统不尽相同且互有交集，可以说广义的车联网是一个比车路协同更宽广的概念，广义的车联网包括车联基础网络以及其应用，而车路协同只是车联网中的应用方式之一。车路协同最关注的是车路信息的交互与交通流的疏导，而车联网还关注车车之间的信息交互，希望解决行车安全，高效驾驶，减小碳排放，提供信息娱乐等方面的问题。车路协同缺点是没有好的模式、感兴趣的车企少，需要通过政府来大力推行基础设施的建造工作，只有在道路信息化和智能化比较高的情况下才能有效地发挥作用，而车联网具有更好的商业模式，使得车企更有兴趣参与进来。

#### 4. 与 Telematics 的关联

Telematics 即车载信息服务系统，是 Telecommunications（远距离通信）与 Informatics（信息科学）的合成词。Telematics 的目的是以无线语音、数字通信和卫星导航定位系统为平台，通过定位系统和无线通信网，向驾驶员和乘客提供交通信息、紧急情况应对策略、远距离车辆诊断和互联网增值（金融交易、新闻、电子邮件等）服务的业务，可以说 Telematics 是车联网的重要组成部分，强调的是远程无线通信的接入，特别是跟 Internet 的互联。车联网除了包含 Telematics 之外，还包括一个车辆自组织网络，它可以在没有 Internet 接入的情况下形成一个独立而又相对完善的网络环境，为车车/车路之间的信息交互提供有力的支撑与保障。Telematics 目前发展比较成熟，通过与后台服务中心的蜂窝连接可以为驾驶员提供包括紧急救援在内的对通信时延要求不太高的服务，市场化程度较高的产品包括 OnStar、G-Book、InkaNet 等。早期不少人误认为 Telematics 就是车联网，这与美国所要发展的 Connected Vehicles 和欧盟的 Cooperative ITS 是截然不同的，因为后面两者强调的是车车/车路之间的中、短程通信，而不是车与后台中心之间的通信，而且要求极低的通信时延和极高的传输可靠性，比如在 200 ms 以内实现基本安全消息（Basic Safety Message, BSM）的交互，这是 Telematics 采用 3G/4G 技术提供远程接入所达不到的。

#### 5. 与 ETC 及其标准的关联

ETC（Electronic Toll Collection）即电子不停车收费系统，为车联网的应用之一。其技术和工作原理是通过在汽车挡风玻璃上安装感应卡并预存费用，在车辆通过收费站时，无须停车，只需放慢速度即可，通过车载设备实现车辆识别、信息写入，通行费将从预先绑定的 IC 卡或银行账户上自动扣除。

ETC 系统是通过安装于车辆上的车载装置和安装在收费站车道上的天线之间进行无线通信和信息交换。它主要由车辆自动识别系统、中心管理系统和其他辅助设施等组成。其中，车辆自动识别系统有车载单元（On Board Unit, OBU）、路边单元（Roadside Unit, RSU）、环路感应器等组成。OBU 中存有车辆的识别信息，一般安装于车辆前面的挡风玻璃上，RSU 安装于收费站旁边，环路感应器安装于车道地面下。车载设备和路边设备通过专用短程通信协议 DSRC 完成路边设备对车载设备信息的一次读写，即完成收（付）费交易所必需的信息交换手续。

这里用于 ETC 的 DSRC 协议与 V2X 系统中的所采用的主流 DSRC 协议有着完全一样的名



称，极易让人混淆。根据美国 DSRC 标准的描述，专用短距离通信技术在美国被用于和 WAVE 协议相关的无线电频谱或技术，美国机动车工程师学会（Society of Automotive Engineers, SAE）已经明确提出 WAVE 协议要使用 5.9 GHz 的频带。在美国以外，DSRC 可能指的是一个使用 5.8 GHz 频带的不同的无线电技术，例如电子收费（Electronic Fee Collection, EFC）。从这句话可以看出，用于 ETC 的 DSRC 采用的是不一样的通信技术，不同之处包括：它采用半双工通信、工作在 5.8 GHz 频段，主要规定了物理层、数据链路层和应用层，工作距离只有 10~30 m，传输速率不到 0.5 Mbit/s，采用被动工作方式，数据链路层主要采用 HDLC 协议。而用于 V2X 的 DSRC 协议具有更加复杂和完备的协议栈，包括 IEEE 802.11p 和 IEEE 1609.X 以及 SAEJ2735，工作在 5.9 GHz，覆盖范围能达到数百米，传输速率能达到几兆，而且采用主动工作方式。此外，它们之间也存在密切的关联。首先，日本用于 V2X 的 DSRC 协议就是在用于 ETC 的 DSRC 协议基础上逐步发展起来的，所以也保留了 5.8 GHz 的工作频段；其次，ETC 可以作为一个单独的系统独立运行，也可以通过实现了包括 IEEE 1609.11 标准的 DSRC 系统来提供支付服务，这在美国的高层协议 IEEE 1609.11 里具有明确的描述，如图 1-3 所示。

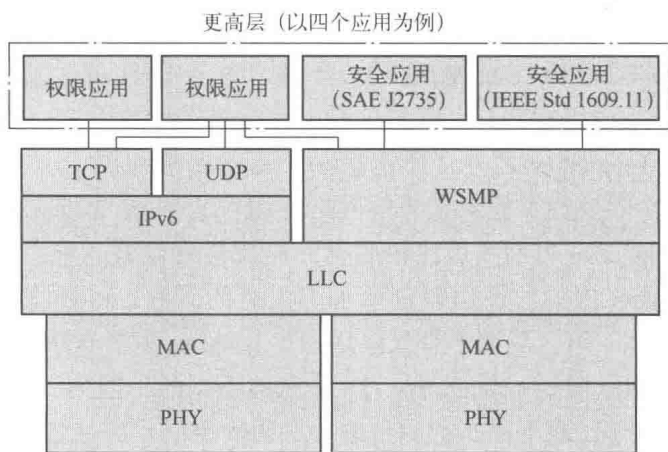


图 1-3 EFC 作为美标 DSRC 中的一个应用

## 1.3 车联网体系架构与通信标准

### 1.3.1 车联网体系架构

#### 1. 云管端架构

“云-管-端”是未来信息服务的新架构，如图 1-4 所示，它展示其面向未来自动驾驶的端到端综合解决方案。简单来说，“云”是云服务，包括云计算和大数据，它能够基于大量收集到的数据实时进行智能处理和协同规划，进而开展队列控制等操作；端是智能终端，包括汽车、手机（代表行人）和路侧单元各种交通参与实体，也是执行云端指令的实体；而“管”则是连接“云”和“端”之间的各种管道，包括上、下行通信管道和直通管道，它将各种交通实体连接起来，并保证数据交互的顺畅。由于云端需要处理的数据量极大，对传输的时延和可靠性要求极高，所以目前更多地强调车车/车路之间的实时互联和分布式处理，

以简化网络架构的设计和降低算法处理的复杂性。

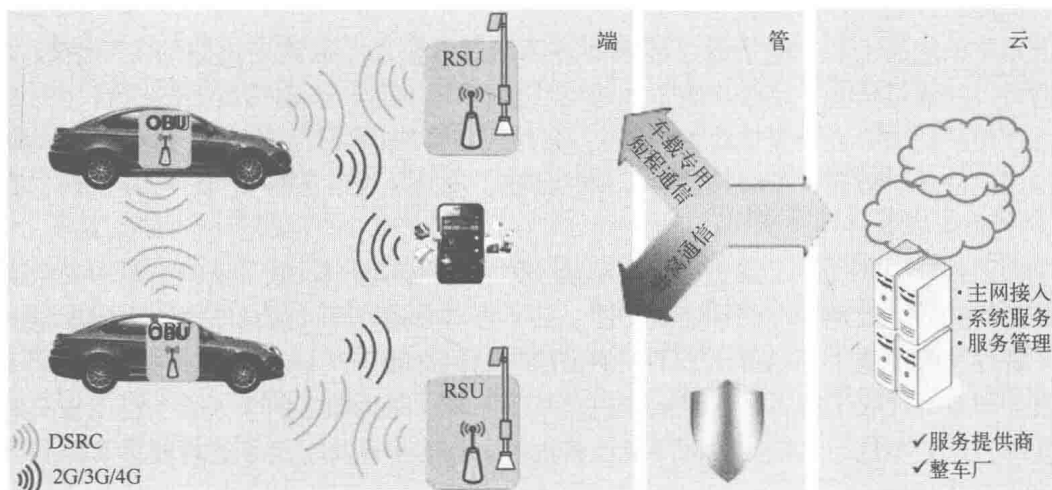


图 1-4 云管端架构

## 2. 人车路网子系统

在美国，引入车联网的 ITS 系统架构如图 1-5 所示，它总共包含了 22 个小的子系统，22 个子系统又被划分为四个大的子系统：中心子系统、道路子系统、车辆子系统以及旅客子系统。子系统之间采用不同的通信技术完成信息交互，包括车车通信、车路通信、点对点通信和广域无线通信，子系统与子系统之间通过标准接口来交换信息<sup>[6]</sup>。

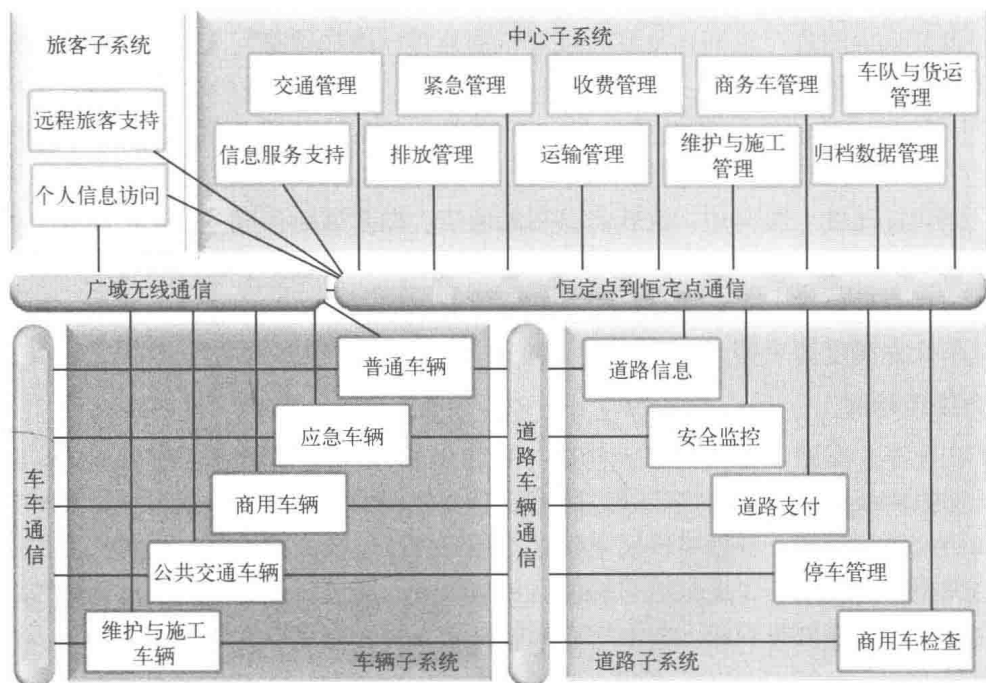


图 1-5 ITS 系统架构

由于 ITS 的子系统众多，需要一个能接收和处理其他子系统信息的中心，用于控制并协调其他子系统的活动，中心子系统就起到了这样的作用。中心子系统包含交通管理、紧急管





理、收费管理、商务车管理、车队和货运管理、信息服务支持、排放管理、运输管理、维护和施工管理，以及归档数据管理等子系统。

道路子系统的主要功能是通过传感器对道路进行监测，以确定道路的实际情况（例如是否拥堵，红绿灯信息，是否出现事故等），同时对道路进行一定程度上的控制（例如操作一些云控制系统或者进行交通灯的控制），此外还需要为信号灯、高速公路状况无线电等路边设备提供信息。道路子系统又包含了道路信息、安全监控、道路支付、停车管理、商用车检查等方面的内容。

车辆子系统则代表了道路上运行的车辆主体，它的功能则反映了不同车辆对安全高效行车所必需的感知、处理、存储和通信功能。其下针对普通汽车、应急车辆、商用车辆、公共交通车辆以及维护施工车辆提出了不同的需求与功能部署。

旅客子系统代表了行人子系统或非机动车子系统，是为旅客的个人设备提供相关的出行信息支持，此处不能与车辆相关的导航设备混淆。旅客子系统包含了远程旅客支持和个人信息访问两个部分。

### 1.3.2 车联网体系参考模型

作为物联网的一种特殊行业应用，车联网体系参考模型主要包括三层：数据感知层、网络传输层以及应用层。

#### 1. 数据感知层

数据感知层承担车辆自身与道路交通信息的全面感知和采集，是车联网的神经末梢，通过传感器、RFID、车辆定位等技术，实时感知车况及控制系统、道路环境、车辆当前位置、周围车辆等信息，实现对车辆自身属性以及车辆外在环境如道路、人、车等静、动态属性的提取，为车联网应用提供全面、原始的终端信息服务。数据感知层的数据来源包括多个部分，一是对车辆自身的感知，例如速度、加速度、位置、横摆角速度等，主要通过读取CAN总线、GPS和其他感知设备来实现；二是对周围车辆行驶状态的感知，比如周围车辆的位置、方位、速度、航向角，这就需要车间通信，以及道路环境的感知，比如交通信号状态、道路拥堵状态、车道驾驶方向，这就需要车路通信，每辆车和路边设施单元需要把自己感知到的信息分发出去；三是通过与后台及第三方应用交互来获取更多的数据，比如天气数据、公交车优先调度请求等。

#### 2. 网络传输层

为了在车车、车路、车人和车云（车与后台中心）之间实现信息的共享，这就需要考虑通用的通信协议的制定。网络层通过制定满足业务传输需求的能够适应通信环境特征的网络架构和协议模型，在一种网络环境下整合不同实体所感知到的数据；通过向应用层屏蔽通信网络的类型，为应用程序提供透明的信息传输服务；通过对云计算、虚拟化等技术的综合应用，充分利用现有网络资源，为上层应用提供强大的通信支撑和信息支撑服务。

#### 3. 应用层

车联网的各项应用必须在现有网络体系和协议的基础上，兼容未来可能的网络拓展功能。应用需求是推动车联网技术发展的原动力，车联网在实现智能交通管理、车辆安全控制、交通事件预警等功能的同时，还应为车联网用户提供车辆信息查询、信息订阅、事件告