

车联网技术

CHE LIANWANG JISHU
YU YINGYONG

与应用

唐 伦 柴 蓉 戴翠琴 陈前斌◎编著



科学出版社

013039023

U469
23

车联网技术与应用

唐 伦 柴 蓉 戴翠琴 陈前斌 编著



U469
23

科学出版社

北京



北航

C1647938

内 容 简 介

本书针对车联网这一研究热点,全面系统地介绍车联网关键技术及应用,是一本关于车联网最新理论与技术的专业书。本书以全新的视野,全面介绍车联网各层协议。本书共9章,包括VANET系统结构和基本特征、VANET分簇机制和算法、VANET广播协议、MAC协议、多信道MAC协议、协作传输技术、切换技术和VANET路由协议等内容。

本书可作为通信与信息系统、电子信息系统、计算机网络等相关专业教师、研究生以及高年级本科生学习和参考用书,还可供通信工程技术人员和科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

车联网技术与应用 / 唐伦等编著. —北京: 科学出版社, 2013.3
ISBN 978-7-03-036746-4

I. ①车… II. ①唐… III. ①互连网络-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 (2013) 第 034249 号

责任编辑: 杨 岭 朱小刚 / 封面设计: 墨创文化

责任校对: 陈 靖 / 责任印制: 邝志强

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013年3月第一版 开本: B5 (720*1000)

2013年3月第一次印刷 印张: 15 3/4

字数: 320千字

定价: 55.00元

前 言

车联网从狭义上可理解为车载自组织网络 (VANET), 是一种快速移动宽带多跳无线网络, 用于实现移动过程中车辆之间 (V2V)、车辆与路边基础设施之间 (V2I) 的通信。一方面为车辆提供多种公共交通安全应用, 包括前方障碍物检测和避让、碰撞警告、转弯速度控制、减少交通事故、减少地面交通网络的压力、减少拥塞等, 利用 V2V、V2I 的交互信息, 对异常车辆自动通知并警告周围驾驶员异常情况或者潜在危险, 使驾驶员能够及时采取必要措施实现主动避让, 从而提高驾驶的安全性。另一方面为车辆提供多种非安全应用, 包括道路上的车队管理、紧急车辆管理、安全超车、道路拥塞管理、电子收费和停车收费; 提供必要的信息服务, 使乘客能够享受娱乐 (如视频点播、在线游戏、互联网接入等), 召开汽车会议, 了解路边超市、加油站及沿途城市风景、特色、天气等信息。因此, 在 VANET 中如何在保证车辆间安全信息互通的基础上, 实现车辆与智能交通控制中心之间的实时数据交换, 以及车内用户宽带无线接入互联网, 从而获取多媒体娱乐、资讯信息等, 成为 VANET 研究中非常重要和迫切的课题。近年来, 针对 VANET 的研究已经引起了国内外工业界、学术界的广泛兴趣, 并取得了系列成果。

本书对 VANET 的理论及关键技术进行深入细致的阐述, 全书共分为 9 章。第 1 章介绍 VANET 的发展历史与现状、典型 VANET 系统结构、VANET 基本特征、VANET 的基本研究内容、VANET 的应用。第 2 章介绍分簇的基本概念、簇机制、VANET 典型的分簇算法与各种算法之间的比较。第 3 章重点讨论 VANET 的广播模型、可靠性分析和基于二进制分区的广播协议等。第 4 章介绍 VANET MAC 协议设计原则及目标、IEEE 802.11 DCF 机制、DCF MAC 协议、基于簇机制的 MAC 协议、基于空间正交频分的 MAC 协议。第 5 章主要给出 VANET 多信道 MAC 协议的分类和面临的问题, 详细介绍专用控制信道的协议 DCA、分离阶段的协议、基于跳频的多信道 MAC 协议。第 6 章介绍协作传输技术、V2I 协作 MAC 协议、V2V 协作 MAC 协议。第 7 章讲述切换技术、VANET 切换场景及技术挑战、切换协议性能增强、移动网关机制。第 8 章详细介绍基于拓扑的路由协议、基于位置 (地理) 的路由协议、基于交通感知的路由协议、基于簇的路由协议、基于广播的路由协议。第 9 章介绍 VANET 机会路由协议, 包括 ExOR、TO-GO、VADD、GeoDTN+NAV 等路由协议。

本书的撰写得到重庆邮电大学移动通信重点实验室的陈培菊、刘杰、刘剑、

王美琛、李泽扬、卫新、王晨梦、杨春霞、符媛柯、耿霞楠、徐圳、古晓琴等研究生在素材方面的大力支持，在此一并表示感谢。

本书研究内容得到国家自然科学基金“基于跨层设计的 VANET 协议体系与优化设计”（61171111）“协同中继系统跨层资源分配与优化调度的理论及方法（60972070）”资助，在此特别表示感谢，同时也感谢重庆邮电大学出版社基金、重庆邮电大学移动通信重点实验室资助。

由于 VANET 技术还在逐步完善和发展之中，加之作者水平有限，书中难免存在不足，恳请读者批评指正。

编者

2012 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 VANET 的发展历史与现状	1
1.2 典型 VANET 的系统结构	4
1.3 VANET 的基本特征	7
1.4 VANET 的基本研究内容	7
1.4.1 VANET 的物理层	7
1.4.2 VANET 的媒介访问控制	8
1.4.3 VANET 广播	11
1.4.4 VANET 路由	14
1.5 VANET 的应用	17
参考文献	18
第 2 章 VANET 簇机制与算法	21
2.1 分簇结构的必要性	21
2.2 相关定义	21
2.3 分簇算法的基本概念与簇机制	23
2.3.1 分簇机制的特点	23
2.3.2 分簇算法在 VANET 中实现的难点	24
2.3.3 网络架构	24
2.3.4 基于 VANET 的分簇算法的特点	25
2.4 VANET 典型的分簇算法与各种算法的比较	26
2.4.1 VANET 中典型的分簇算法	26
2.4.2 算法分析与比较	42
2.5 小结	43
参考文献	44
第 3 章 VANET 广播协议	46
3.1 引言	46
3.2 VANET 网络中的广播	47
3.2.1 安全相关服务的一跳可靠性测量指标	47
3.2.2 系统模型和可靠性分析	48

3.3 基于二进制分区的广播	58
3.3.1 定向广播	58
3.3.2 路口模式广播	62
3.3.3 性能分析	62
参考文献	67
第4章 VANET 典型 MAC 协议	69
4.1 VANET 简介	69
4.1.1 VANET MAC 协议简介	69
4.1.2 VANET MAC 协议设计原则及目标	69
4.2 IEEE 802.11 DCF 机制	70
4.2.1 CSMA/CA、二进制指数退避	70
4.2.2 基本访问方式	71
4.2.3 RTS/CTS 访问方式	71
4.3 基于 DCF 的 MAC 协议	72
4.4 基于簇机制的 MAC 协议	79
4.5 基于 SOFT 的 MAC 协议	82
4.5.1 SOFT MAC 协议概述	83
4.5.2 使用 802.11 的 SOFT MAC 实现	90
4.5.3 SOFT MAC 中的吞吐量分析	91
4.6 小结	93
参考文献	94
第5章 VANET 多信道 MAC 协议	96
5.1 概述	96
5.2 多信道 MAC 协议的分类和面临的问题	96
5.2.1 协议的分类	96
5.2.2 面临的问题	97
5.3 专用控制信道的协议	97
5.3.1 协议运行机制	98
5.3.2 协议分析	100
5.4 分离阶段的协议	101
5.4.1 控制周期定长的协议	101
5.4.2 控制周期变长的协议	102
5.5 基于跳频的协议	105
5.5.1 使用公共跳频序列的协议	105
5.5.2 使用独立跳频序列的协议	106
5.6 数学分析	109

5.6.1	使用马尔可夫链的分析模型	110
5.6.2	专用控制信道协议	111
5.6.3	分离阶段协议	111
5.6.4	使用公共跳频序列的协议	112
5.6.5	使用独立跳频序列的协议	113
5.7	小结	115
	参考文献	116
第6章	VANET 协作 MAC 协议	118
6.1	协作通信技术	118
6.1.1	中继基本模型	118
6.1.2	中继选择技术	119
6.2	V2I 的协作 MAC 协议	123
6.3	V2V 的协作 MAC 协议	127
6.3.1	CD-MAC 协议	128
6.3.2	LC-MAC 协议	134
6.4	小结	143
	参考文献	144
第7章	VANET 中的切换管理协议与算法	147
7.1	切换技术概述	147
7.1.1	切换定义及分类	147
7.1.2	切换准则及切换基本过程	148
7.1.3	切换协议	149
7.2	VANET 切换场景及技术挑战	158
7.2.1	VANET 切换场景	159
7.2.2	VANET 切换技术挑战	161
7.3	切换协议性能增强	162
7.3.1	MIPv6 性能增强	162
7.3.2	HIP-PMIPv6 混合方案	169
7.3.3	NEMO 性能增强	172
7.4	移动网关机制	178
7.5	小结	179
	参考文献	180
第8章	基于拓扑、位置、交通、簇、广播的 VANET 路由协议	182
8.1	概述	182
8.2	基于拓扑的路由协议	183
8.2.1	按需平面距离矢量路由协议	183

8.2.2 动态源路由协议	184
8.3 基于位置(地理)的路由协议	185
8.3.1 贪婪边界无状态路由协议	185
8.3.2 地理源路由	189
8.3.3 基于位置的方向车辆路由协议	191
8.3.4 基于连接的限制转发和无连接的地理转发协议	194
8.3.5 高效率的角度路由协议	195
8.3.6 最大超前决策协议	197
8.4 基于交通感知的路由协议	200
8.4.1 考虑道路交通的路由协议	200
8.4.2 贪婪的交通路由协议	201
8.4.3 STAR 协议	204
8.5 基于簇的路由协议	207
8.6 基于广播的路由协议	208
8.7 小结	210
参考文献	211
第9章 VANET 机会路由协议	213
9.1 非常机会主义路由协议	214
9.2 拓扑辅助的地理机会路由协议	220
9.3 基于车辆的数据传输协议	223
9.3.1 基于车辆的数据传输协议概述	223
9.3.2 基于车辆的数据传输协议的延迟模型	225
9.4 GeoDTN+Nav 协议	231
9.4.1 导航系统	231
9.4.2 GeoDTN+Nav 的基本原理	232
9.4.3 GeoDTN+Nav 的三种模式	234
9.4.4 三种模式之间的关系	239
9.5 小结	241
参考文献	241

第 1 章 绪 论

1.1 VANET 的发展历史与现状

从广义上理解,车联网是指通过先进的电子标识、传感器、无线移动通信、卫星定位、海量数据处理、智能控制等现代信息通信与处理技术,对人、车辆和道路交通基础设施的属性、静态/动态信息进行有效识别和智能化管理并提供服务的信息网络系统。从狭义上理解,车联网可以理解为车载自组织网络(vehicle ad-hoc network, VANET)^[1],是一种快速移动的宽带多跳无线网络,用于实现移动过程中车辆之间(vehicle to vehicle, V2V)通信、车辆与路边基础设施之间(vehicle to infrastructure, V2I)通信,同时为车辆提供多种安全应用^[2-5]和非安全应用^[5-9]。

(1) 安全应用。主要指公共交通安全,包括前方障碍物检测和避让、碰撞警告、转弯速度控制、减少交通事故、减少地面交通网络的压力、减少拥塞等。利用 V2V、V2I 交互信息,对异常车辆实现自动通知,警告周围驾驶员异常情况或潜在危险,使驾驶员能够及时采取必要措施,实现主动避让,从而提高驾驶的安全性。

(2) 非安全应用。主要包括两个方面:一是智能交通管理,包括道路上的车队管理、紧急车辆管理、安全超车、道路拥塞管理、电子收费和停车收费等。在地面交通上,如果有紧急车辆,应通过紧急车辆管理,给紧急车辆开辟绿色通道。例如结合与自身相关的车流量状况,实时地更新电子地图以便更高效地决定路径规划,从而避开道路拥塞地段,节省能源,减少环境的污染。二是提供必要的信息服务(如视频点播、汽车会议及路边超市、加油站和沿途城市风景、特色、天气等各种基于无线网络的应用)和使乘客能够享受娱乐(如在线游戏和互联网接入等)。因此,如何在保证车辆间安全信息互通的基础上,实现车辆与智能交通控制中心之间实时的数据交换,以及车内用户宽带无线接入互联网从而获取多媒体娱乐、资讯信息等,成为 VANET 研究中非常重要和迫切的课题。

VANET 具有移动自组织网络(mobile ad-hoc network, MANET)的一般特征^[1-9],但同时也与传统的 MANET 存在很大的差异:①车辆节点数目巨大、分布区域广泛(例如城市中心或高速公路上),拥有丰富的外部辅助设备(例如

车载定位/导航、激光雷达、视觉传感装置等)；②车辆只能沿着道路作高速、受限、约束运动；③节点间的网络拓扑变化频繁，并且频繁的拓扑变化又将导致频繁的网络分裂；④极易受驾驶员行为（例如变更车道或行驶方向）以及周围环境（例如无线信道传播特征、信源/信宿之间是否存在障碍物）等因素的影响；⑤节点没有明显的电源约束。鉴于此，针对 MANET 得出的研究成果并不能直接应用于新兴的 VANET 中。

近年来，针对 VANET 的研究已经引起了国内外工业界、学术界的广泛兴趣，并取得了系列成果。表 1.1 罗列了部分有关 VANET 的项目名称及相关信息。

表 1.1 典型 VANET 项目、联盟、工作小组信息

项目名称	项目信息		
	周期/年	外部资金	目标简述
AKTIV	2006~2010	德国经济与技术部门	驱动辅助系统的设计、研发和评估，知识和信息技术，有效的通信量管理，V2V 和 V2I 通信 http://www.aktiv-online.org/index.html
Car to Car Communication Consortium (C2C-CC)	进行中	—	VC 通信系统的欧洲产业标准的研发，主动安全应用程序的原型设计和展示，世界范围 VC 标准的协调，实际部署策略和商业模式 http://www.car-2-car.org/
CityMobil	2006~2010	欧盟	城市环境下的自动化传输系统的集成，基于实际应用的实现 http://www.citymobil-project.eu/
COM2REACT	2007~2008	欧盟	分布式流量应用，基于蜂窝和 V2V 通信，车内和 V2V 通信系统，V2V 通信 http://www.com2react-project.org/
COOPERS	2006~2010	欧盟	道路设施的通信应用，关 V2I 合作流量管理 http://www.coopers-ip.eu/
CVIS	2007~2011	欧盟	持续网络连接的多路终端能力，开放式通信体系结构，增强型定位，商业应用，工具包（模型、指导方针和建议），部署路线图 http://www.cvisproject.org/
CyberCars2	2006~2008	欧盟	在近距离（排）和路口（接合处、十字路口）情况下突然加速的 V2V 协作 http://www.cybercars.org
CyberMove	2001~2004	欧盟	对基于 CyberCars 的新型传输系统（作为对公共交通的补充）的调查 http://www.cybermove.org
ETSI TC ITS	进行中	—	标准化活动来支持智能交通系统的研发和实现 http://portal.etsi.org/Portal_Common/home.asp

续表

项目名称	项目信息		
	周期/年	外部资金	目标简述
EVITA	2008~2011	欧盟	宇宙航行器内通信的安全性和可靠性, 车载网络(阻碍干扰和保护车内敏感数据)的构架 http://evita-project.org/
GeoNet	2008~2009	欧盟	IPv6 全球网络(可用于协作体系结构如 CVIS)的说明、开发和测试 http://www.geonet-project.eu/
HAVE-IT	2008~2011	欧盟	自动合并、队列援助、临时自动驾驶、有效的绿色动力机制集成于 6 辆展示车上 http://www.haveit-eu.org
IEEE P1609	进行中	—	车载环境下的无线的标准—资源管理、物理层和 MAC 层、安全服务、网络服务、V2V 和 V2I 通信的多信道操作 http://www.standards.its.dot.gov/fact-sheet.asp?f=80
ISO TC 204 WG16/CALM	进行中	—	中、远程高速 ITS 通信的空中接口协议和参数, 跨数个媒体、网络和上层协议 http://www.isotc204wg16.org/
NoW: Network on Wheels	2004~2008	德国经济与 技术部门	V2V 和 V2I 通信的协议和数据安全算法, 有效的安全性方案, V2I 电子支付, 引进策略和商业模式 http://www.network-on-wheels.de/
PATH	进行中	加利福尼亚 州交通部 (CalTrans)	由加利福尼亚州大学伯克利分校交通研究和 Cal-Trans 执行的多学科研究计划。主要领域包括政策和行为、运输安全、交通和运输业务研究 http://www.path.berkeley.edu/
SAFESPOT	2006~2010	欧盟	自组织网络、准确的相关定位、动态本地交通图、基于场景的安全应用评估、可持续的部署策略 http://www.safespot-eu.org/
SEVECOM	2006~2009	欧盟	车载通信系统的安全构架、身份管理、安全和隐私增强机制与协议、车内保护、数据一致性、系统性能评估和示范 http://www.sevecom.com
SmartWay	2006~2010	日本土地、 基础设施、 交通和旅游部	基于车辆公路协作的驾驶安全支持系统 http://www.mlit.go.jp/road/ITS/
IntelliDrive Previously known as the VII consortium (VIIC)	进行中	美国运输部	在 DoY's 研究及创新科技风险投资管理部门 (RI-TA) 创立 ITS 联合项目办公室进行移动性、政策研究 http://www.intellidriveusa.org/
VSC	2002~2004	美国运输部	专用短程通信示范和 V2V、V2I 通信的安全信标

续表

项目名称	项目信息		
	周期/年	外部资金	目标简述
CAMP/VSC-2	2005~2009	美国运输部	协作路口碰撞避免系统-冲突 (CICAS-V)、紧急情况电子刹车灯 (EEBL)、车辆安全通信-应用 (VSC-A)

1.2 典型 VANET 的系统结构

最早关于车辆无线移动通信的研究可以追溯到 1992 年美国材料与试验协会 (ASTM) 提出的专用短距离通信 (dedicated short range communication, DSRC) 技术, 该技术采用 915 MHz 频段, 主要是针对不停车电子收费系统 (electronic toll collection, ETC) 开发的。从 2004 年开始, DSRC 标准化工作转入 IEEE 802.11p 与 IEEE 1609 工作组进行, 主要还是针对高速移动环境中的通信对 IEEE 802.11 标准的相关内容进行一些修改。IEEE 802.11p 是美国交通部针对欧洲的车辆通信网络, 特别是电子道路收费系统、车辆安全服务与车上的商业交易系统等应用而设计的一种中长距离通信的空中接口标准, 它计划用在车载通信系统中。日本的 DSRC 标准由 TC 204 委员会承担, 已经完成标准的制订工作, 同样也支持 IEEE 802.11p 协议。中国政府在继续加快基础设施建设的同时, 已提出将智能交通系统 (intelligent transportation system, ITS) 作为中国未来交通运输领域发展的重要方向和优先领域予以重点支持。

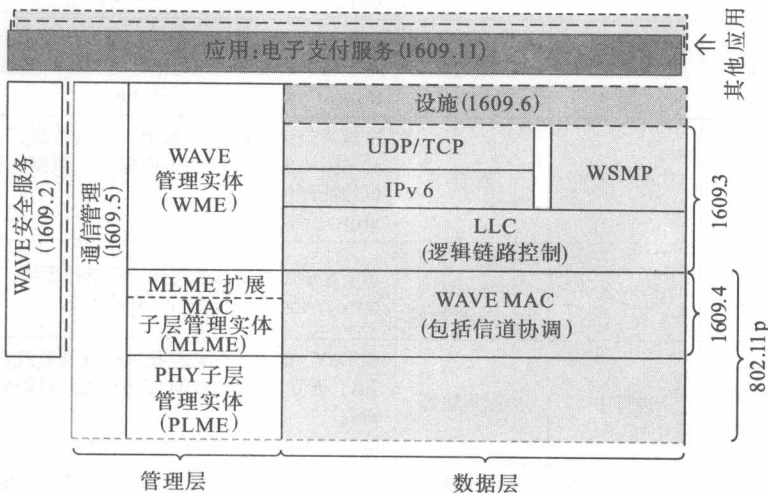


图 1.1 基于 802.11p VANET 协议体系

车载环境无线接入 (wireless access in vehicular environment, WAVE) 是

下一代 DSRC 技术,能够提供高速 V2V 和 V2I 的数据传输,主要用于 ITS、车辆安全服务以及互联网接入。WAVE 系统工作于 5.850~5.925 GHz,采用正交频分复用(orthogonal frequency-division multiplexing, OFDM)传输,能够达到 6~27 Mbit/s 的信息传输速率。WAVE 包括 IEEE P1609.1、IEEE P1609.2、IEEE P1609.3、IEEE P1609.4 和 IEEE 802.11p。如图 1.1 所示,其中 802.11p 定义了物理层和介质访问控制(media access control, MAC)层,IEEE 1609 标准则是以 IEEE 802.11p 通信协议为基础的高层标准。IEEE 1609 制定的目的是提供一个将车辆的主要系统与道路的基础设施相沟通的机制,IEEE 1609 在 5.9 GHz 频段下工作,使用 802.11p 标准作为底层通信技术,同时采用 IPv6 作为上层的通信协议。

IEEE 1609 体系主要包括 4 个草案标准,定义了结构、接口和信息来支持车载环境的无线通信。这些草案和 IEEE 802.11p 定义的 MAC 层和物理层的规范共同构成了完整的 WAVE 标准。

(1) IEEE P1609.1—WAVE 资源管理。这个草案标准定义了对应于 WAVE 资源管理的业务、接口和数据流。WAVE 资源管理设计的目的是应用于远程应用程序通信,其一般位于配备 WAVE 车辆的车载环境之外。

(2) IEEE P1609.2—WAVE 安全业务应用和管理信息。该草案是用于防止 WAVE 通信受攻击,比如偷听、欺骗、警告和重播,甚至是揭发用户的隐私。它指定了安全信息的格式和相应的处理方法。

(3) IEEE P1609.3—WAVE 网络业务。该草案标准设置了协议结构的基准,定义了开放式系统互联(open system interconnection, OSI)网络层和传输层上支持的 WAVE 通信业务。WAVE 结构草案包括两部分:WAVE 管理实体(WAVE management entity, WME)用于系统的配置和维护;数据层包括通信协议和用于传递数据的硬件。此外,数据层提供互联网协议(IPv6)和 WAVE 短消息协议(WAVE short message protocol, WSMP)两个协议栈。IPv6 虽然支持传输控制协议(transmission control protocol, TCP)和用户数据报协议(user datagram protocol, UDP)两种协议,但是由于后者的开销和时延都较低,因此大多数应用都使用 UDP。

(4) IEEE P1609.4—WAVE 多信道操作。该草案标准主要制定了 WAVE 系统中不同信道管理的操作和原语。该草案标准描述如下业务:信道路由、用户优先级、信道协作和服务数据单元(MAC service data unit, MSDU)数据传输。

文献 [10] 提出一种典型的五层 VANET 系统结构模型,如图 1.2 所示。物理层由车辆传感器和制动器构成,与管理层相互作用,管理层将车辆视为一个质点,执行由协调层发出的机动命令。协调层包括信息可视化(information visualization cyberinfrastructure, IVC)协议及配合车辆和路面系统的协调进程。路边系统由链路层和网络层构成,链路层考虑业务流量控制、网络层优化

路由和控制交通任务。每一层根据自己的任务独立优化。

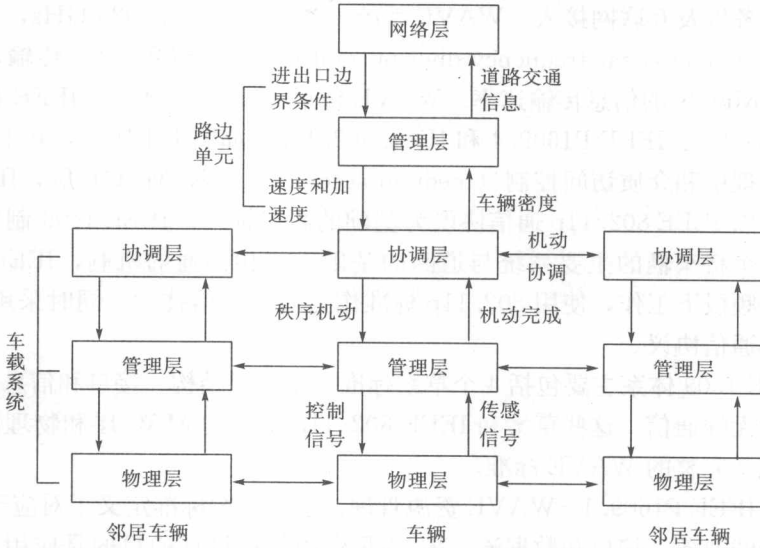


图 1.2 一种典型的 5 层 VANET 系统结构模型^[10]

另一个采用开放式标准将 GPS 的技术和无线技术结合来优化道路车辆应用的系统叫做中长距离持续空中接口 (CALM)^[11]。CALM 提供分布于 ITS 中的 V2V 和 V2I 的无缝连续通信。它的系统结构允许 ISO TC204 ITS 应用（如队列管理和车流量测量）、低时延应用（如碰撞告警和紧急消息）和互联网应用，采用多种网络接口满足车内外需求。CALM 提供无缝接口选择和切换的管理和路由，可支持的空中接口多种多样，包括红外线、GPS 广播、毫米波雷达、DSRC 和无线 LAN（如 Wi-Fi）。已知的车辆可以作为一个子集。CALM 系统结构^[11]如图 1.3 所示。CALM 管理实体登记进入和离开的接口，为网络配置能力匹配的应用规则。网络管理实体提供网络服务。路由和媒体接口用来建立车内网络，连接多个车载设备，如计算机和传感器，使它们之间基于 IP 通信。

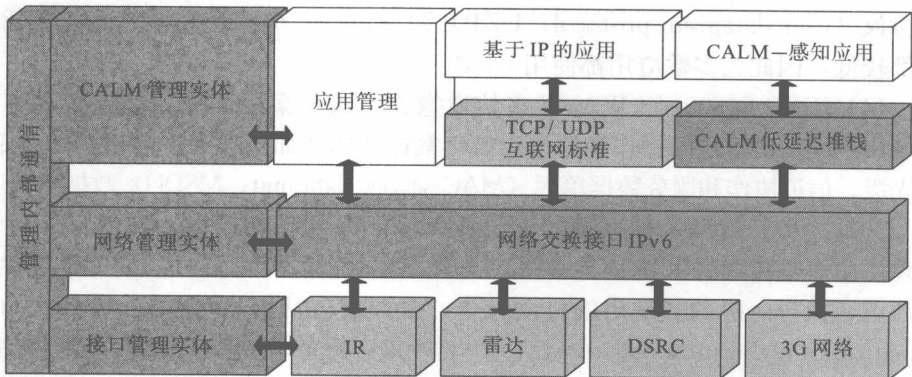


图 1.3 CALM 协议体系^[11]

1.3 VANET 的基本特征

VANET 是一种特殊的 MANET, 因此它也具有 MANET 都具备的自组性、多跳性、无中心等特点, 并且都存在一般无线网络所固有的隐藏/暴露终端、信道捕获等问题。由于 VANET 的拓扑结构与道路分布、车辆节点运动、地理环境等因素密切相关, 因此 VANET 还具有一些其他 MANET 不具备的特征^[6]。

(1) 网络拓扑结构变化快。由于 VANET 中的车辆节点移动速度非常快 (5~42 m/s), 因此通信链路的寿命相对较短, 而且由于车辆频繁加入或离开网络, 网络的拓扑结构的变化也很快。例如, 在平均速率为 100 km/h 的道路上, 当节点的信号有效半径为 250 m 时, 链路存在 15 s 的概率仅为 57%^[7]。

(2) 无线信道质量不稳定且带宽受限。由于车辆节点的高速移动性、车辆相对速度及路况、城市交通中建筑物的影响等, 使得通信范围内的车辆节点不能直接进行信息交换。而且在城市环境下, 车辆密度大, 这就导致节点对无线信道的频繁竞争, 从而使实际带宽低于理论值。此外无线信道还存在多径衰落、多普勒效应、遮蔽效应等问题, 因此误码率较高, 从而导致通信质量时好时坏。

(3) 车辆节点的运动规律可以预测。虽然节点快速移动, 但由于受道路状况和前方车辆运动状态的约束, 其位置、运动方向和速率均是可以预测的。

(4) 不受能量和设备限制。对 MANET 而言, 在设计通信协议时需要考虑的关键因素是能量和设备的约束。但是在 VANET 中, 能量和设备几乎不受限制。车载电源可以为通信设备提供持续电能, 而且车辆配备的 GPS 定位系统能够为节点提供精确定位和精准时钟信息, 还可以得到车辆所在范围的地理位置信息, 比如路口分布、道路方向等。此外, 车辆中还可以配备具有较强的数据缓存和计算能力的计算机设备。

(5) 网络开放以及车辆节点相关联。VANET 中存在大量车辆节点频繁加入或离开网络的现象, 因此开放性也是 VANET 的基本特征。同时, 相邻车辆之间的相对位置存在紧密联系。目前大多研究人员将车辆进入目的通信范围的分布假设为泊松分布, 将车辆之间的相对距离的分布假设为指数分布。

1.4 VANET 的基本研究内容

1.4.1 VANET 的物理层

VANET 的独特性质决定了其对物理层的特殊要求: 适用于高速移动, 并能在高速移动时提供实时、可靠的接入; 分布式网络结构, 支持多跳链接; 与

MAC层协议相匹配等。因此,需要对现有技术进行多方面改进:空中接口需要适应高速、动态变化的网络拓扑;要适用于分布式网络结构,基站控制的无线资源管理机制变为节点自行管理、协同合作的机制;最后,要面对更为恶劣的多径效应、功率控制算法和时隙同步等问题。目前的研究主要是对IEEE 802.11和3G时分双工(TDD)物理层技术进行改进以适用于以上要求。IEEE发布的IEEE 802.11p^[12]标准是在802.11a的基础上根据车辆节点高速移动的特点作出的改进,同样使用OFDM技术,但是为了降低多径扩展和多普勒频移所带来的码间干扰,时域的物理参数发生了变化。其授权工作在5.9 GHz免费频段上,由7个10 MHz的信道组成。带宽的减少使其物理层的参数是IEEE 802.11a的两倍,同时也减少了多普勒散射效应。此外,两倍的警戒间隔减少了多路径传输引起的码间干扰。严格的频谱控制,缓解了通信拥塞,提高了广播性能。IEEE 802.11a和802.11p物理层参数对比如表1.2所示。欧盟汽车工业委员会会使用3G TDD空中接口,为车辆间通信免费发放2010~2020 MHz频段。3G TDD最初是为集中式网络设计的,CarTALK 2000对其进行改进,使其适用于分布式网络,并提出了信道建立和控制的新方法。此外,对IEEE 802.16作适当改进后也可以作为VANET的宽带无线接入物理层方案。

表 1.2 VANET 网络中关键技术参数比较

无线链路特征	技术		
	802.11p WAVE	Wi-Fi	蜂窝网
比特率/(Mb·s ⁻¹)	3~27	6~54	<2
通信范围/m	<1000	<100	<15000
移动传输功率(最大值)/W	0.76 (US) 2 EIRP (EU)	0.100	2 (GSM) 0.38 (UMTS)
带宽/MHz	10 20	1~40	25 (GSM) 60 (UMTS)
频谱/MHz	75 (US) 30 (EU)	50~2560、 300~5120	(与运营商有关)
移动性能	高	低	高
频段/MHz	6000~6062	2457~5324	800~900、 1800~1900
标准	IEEE、ISO、ETSI	IEEE	ETSI、3GPP

1.4.2 VANET的媒介访问控制

MAC协议是报文在信道上发送和接收的直接控制者,在VANET中具有重要作用,它的优劣直接影响到有限的无线资源的使用效率。MAC协议为需要通