

VANET

Vehicular
Applications
and
Inter-Networking
Technologies

VANET

车载网技术及应用



[德] Hannes Hartenstein

主编

[美] Kenneth P. Laberteaux

孙利民 何云华 周新运 刘鸿亮 赵茂华 译



清华大学出版社

013026564

U463.67

13

VANET

Vehicular
Applications
and
Inter-Networking
Technologies

VANET

车载网技术及应用

[德] Hannes Hartenstein

主编

[美] Kenneth P. Laberteaux

孙利民 何云华 周新运 刘鸿亮 赵茂华 译



北航

C1633823

清华大学出版社
北京

U463.67
13

Hannes Hartenstein and Kenneth P. Laberteaux

VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies

ISBN: 078-0-470-74056-9

Copyright © 2010 by John Wiley & Sons Ltd.

All Rights Reserved. This translation published under license.

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2012-1913

本书封面贴有 John Wiley 公司防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

VANET: 车载网技术及应用/(德)哈尔滕施泰因(Hartenstein, H.), (美)拉贝尔托尼斯(Laberteaux, K.P.)主编; 孙利民等译. --北京: 清华大学出版社, 2013.1

书名原文: VANET: Vehicular Applications and Inter-Networking Technologies

ISBN 978-7-302-31326-7

I. ①V… II. ①哈… ②拉… ③孙… III. ①汽车-计算机网络-研究 IV. ①U463.67

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 009586 号

责任编辑: 薛 慧

封面设计: 何凤霞

责任校对: 赵丽敏

责任印制: 沈 露

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 175mm×245mm

印 张: 25.25

字 数: 505 千字

版 次: 2013 年 1 月第 1 版

印 次: 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 69.00 元

产品编号: 046830-01

译者序

物联网作为继计算机互联网与移动通信之后的世界信息产业的第三次浪潮，各国纷纷开始投入巨资开展与物联网相关的研究。在十一届人大三次会议的政府工作报告中，中国政府明确指出要加快物联网的研发应用，物联网已经成为国家战略性新兴产业之一。智能交通系统是国家物联网应用重点支持和推广的领域，八位院士曾联名向国务院提交《关于重点建设国家汽车移动物联网的建议》、《关于物联网专项重点突破国家汽车移动物联网工程的战略研究报告》，受到中国政府的重视。

车载网络 (Vehicle Ad-hoc Network, VANET) 把行驶车辆都转化成为移动的无线节点或路由器，利用车辆间数百米内的短暂通信，形成一个大范围的无线移动网络，成为汽车移动物联网的基础。VANET 一词在 2004 年第一届 ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks 上首次提出，最初用于反映车载网络高度动态的自组织 (Ad hoc) 特性，但由于“Ad hoc 网络”已广泛用于单播路由的相关性研究，VANET 被重新定义为车载网络整个领域的简称。

车载网络由行驶车辆携带的车载单元 (on board unit, OBU)、路旁部署的路边单元 (roadside unit, RSU)、互联网上的控制或服务中心，以及个人携带的电子设备等组成的系统。它包含三种基本的通信模式：车与车之间的通信 (V2V, vehicle-to-vehicle)、车与路边单元之间的通信 (V2R, vehicle-to-roadside) 和车与人之间的通信 (V2P, vehicle-to-people)。通过车辆之间、车路之间、车人之间的互联互通，实现人、车、路的智能协同。根据欧洲电信标准化协会的技术报告和美国车辆安全通信项目组的总结报告，车载网络主要应用在辅助安全驾驶、提高交通效率以及提供车载娱乐与 Internet 接入服务等方面。辅助安全驾驶应用包括车辆换道辅助、交叉路口碰撞避免、交通事故广播、紧急情况或事件警告等；交通管理应用主要包括不停车电子收费、交叉路口管理、协作式导航控制、绕行或阻塞警示等；车载娱乐应用为用户提供生活资讯、在线音视频等服务。

国际上学术界和产业界都十分关注车载网领域的技术研发。欧洲较早开展了车联网的研究工作，在 2004 年启动的 NoW (Network on Wheel) 项目研究路径导航和车载无线通信技术。在第六框架计划中，车辆厂商、交通管理部门和道路管理部门主导设立了多个车载网络综合项目，包括 CVIS、SAFESPOT、COOPERS、PReVENT 和 SeVeCOM 等，研究车载网络相关的各种关键技术。第七框架计划支

持了车载网络的现场运行测试如 euroFOT、TeleFOT、DRIVE C2X、FOTsis 等项目和 Co-Cities 和 COSMO 等试点项目, 以及欧洲协调部署项目 EASYWAY, 积极推动车载网络在欧盟的试用和逐渐应用。

美国交通部于 2009 年 12 月发布美国智能交通五年 (2010—2014) 战略规划, 从应用开发、技术支撑和政策支持三个方面重点支持 IntelliDrive 项目。美国通用和福特等七大汽车生产商组建车辆安全通信协会, 并启动第一期项目 VSC (Vehicle Safety Communication); 其后又启动第二期项目 VSC-A 和第三期项目 VSC3。美国学术界也基于 California PATH 等项目对车载网络通信机制、安全机制和商业应用等方面开展了相关研究工作。

日本车载网路的研究项目主要有 ETC、VICS、ASV、Smartway、ITS-SAFETY 2010 和 DSSS 等。日本在 2007 年 11 月已有 2000 万辆车安装 VICS (Vehicle Information and Communications System), 到 2008 年 5 月已完成近 2000 万辆车辆的 ETC 安装。日本信息科技战略总部在 2010 年 5 月发布了“新 IT 战略”, 其中关于智能交通系统的有“绿色智能交通”和“安全支持协作系统”。“绿色智能交通”主要研究交通运行模式和验证综合检测数据的方法, “安全支持协作系统”主要研究交叉路口和街道安全问题及国际智能交通系统兼容问题, 二者的目的都是为日本智能交通大规模部署制定路线图。

车载网络具有不同于其他无线网络的特征: (1) 车辆高速运动不仅导致了车辆之间及车辆与路边单元之间的无线通信链路频繁断连, 而且也使得网络拓扑结构动态变化, 无法形成稳定的拓扑结构; (2) 车辆的移动轨迹受限, 总沿着道路给定方向行驶, 其行驶速度受前方车辆的运动状态影响, 其位置、运动方向和速度具有一定的可预测性; (3) 能量并非十分限制, 车辆本身携带和不断补充能量, 可给车载设备持续供电, 这使得车载设备可具有较强的性能; (4) GPS 辅助定位, 目前很多车辆携带有 GPS 定位功能, 其不仅为车辆提供了位置、速度等信息, 而且为车辆提供了准确的全球同步时钟, 这些都为车辆之间的通信和交互提供了很好支持; (5) QoS 需求多样性, 车载网是一种大型多应用的网络, 车辆通常会形成整个城市、高速公路等大规模网络, 网络中存在多种应用消息类型: 换道警示、超车警示等道路安全信息, 道路速度限制通告、绿灯最优速度建议等管理信息, 本地多媒体、商业等服务信息, 不同的消息对通信的服务质量 QoS 有着不同的要求。

以车载网络 VANET 为旗帜的国际学术和工业研究组织已经形成, 其年度论坛吸引了大量来自通信网络、计算机科学、电气工程、汽车工程和交通等诸多领域的研究人员。VANET 已经成为一个备受关注的新的研究领域, 研究范围涉及所有与车载网络有关的技术, 从车辆移动模型、无线通信技术、传输网络设计到上层应用开发, 还关注安全与隐私、资源调度、数据融合问题, 标准化也一直是其关注的关键议题。

本书主编 Hannes Hartenstein 和 Kenneth P. Laberteaux 分别代表了学术界和工业界，都是车载网领域的开创性人物，在国际 VANET 学术组织创建过程中起到了重要作用。Ken Laberteaux 是 2004 年 VANET 会议的主要推动者，并连续两年担任 VANET 会议的联合主席。Hannes Hartenstein 在欧洲 NoW 项目中做出了杰出贡献，并担任 2005 年 VANET 会议的联合主席、2006 年技术项目联合主席。这本书最初来源于他们 2007 年在加拿大蒙特利尔“ACM 移动计算与网络国际会议”和“ACM 移动 Ad hoc 网络与计算研讨会”上联合发表的教程，该教程的“精简版”以《车载网络的调研指南》为题发表在 2008 年 6 月《IEEE 通信杂志》上。Hannes Hartenstein 和 Kenneth P. Laberteaux 在 VANET 方面的建树性工作，使得他们对 VANET 的起源、发展、关键技术和标准化工作都有清晰的把握，各个章节分别由相应该方向的专家和技术人员所编写。因此，这本书能够让读者全面掌握车载网络的概貌，深入理解其中的关键技术。

目前，车载网络（俗称车联网）已成为国内 IT 领域新的热点，受到学术界和工业界的广泛关注，国家相关部门已设立相关的项目，越来越多的科研人员关注这个领域。希望这本书的翻译出版，能缩短初学者初步掌握车载网络的时间，对车载网络有全面、深入的理解。

孙利民

2012 年 12 月于北京

主 编 介 绍

Hannes Hartenstein 德国卡尔斯鲁厄理工学院 (Karlsruhe Institute of Technology, KIT; 由 Karlsruhe 大学和 Karlsruhe 研究中心组成) 分布式系统和网络服务方向的教授, KIT 计算研究中心的主任; 在进入 Karlsruhe 大学之前, 他是欧洲 NEC 公司高级研究员。他是德国教育研究部 (BMBF) 部分资助的 “FleetNet-公路互联网” 项目 (2001-03) 的负责人; 还参与了 BMBF 资助的 “NOW: 轮上网络” 项目 (2004-08); 现在积极参与欧盟科研架构第七期 (EU-FP7) 项目 PRE-DRIVE-C2X。他是 2005 年 ACM VANET 研讨会联合主席, 2006 年 ACM VANET 技术联合主席, 2007 年 IEEE 无线车辆通信研讨会技术联合主席, 2008 年 IFIP/IEEE 无线按需网络系统与服务 (WONS) 会议技术联合主席。他还是 Dagstuhl 信息中心学术委员会委员, 其研究方向包括移动网络、虚拟网络和 IT 管理。他在德国弗赖堡 (Freiburg) 阿尔伯特-路德维希大学获得了数学文凭和计算机科学博士学位。

Kenneth P. Laberteaux 美国密歇根州安娜堡丰田技术中心高级首席研究工程师, 研究方向为信息丰富的车辆安全系统, 主要关注于车-车和车-路边单元无线通信的架构、安全和协议设计。他是国际 VANET 工作组的创始人, 也是 VANET 工作组极力推荐的两次会议联合主席 (2004—2005)。他是美国政府与几家汽车公司的车辆安全通信应用合作项目的架构师和技术负责人, 该合作项目持续数年, 耗资数百万美元。他在圣母大学获得了电子工程系的硕士学位 (1996) 和博士学位 (2000), 主要研究通信自适应控制。1992 年, 在安娜堡密歇根大学获得了电子工程系的学士学位 (最优毕业生)。

序

1997年8月美国国家自动化公路系统联盟(National Automated Highway System Consortium, NAHSC)在圣地亚哥(San Diego)州际公路I-15上展示了多项公路自动化技术。在这次展示中,数千人乘坐了具有可视车道保持和车辆跟随功能的自动汽车和公交车,自动化公路系统(Automated Highway System, AHS)是本次活动的亮点(“无需手、脚、脑操作”)。AHS的示范目标是为了证明其架构可以提高公路通行能力,增强交通安全。AHS通过组织车辆以近距离列队(7辆汽车,车间距22英尺,时速60英里/小时)行驶,提高了交通通行的能力。考虑到不同车队之间的分离,假定车辆之间的平均距离为60英尺。当车辆以60英里/小时行驶时,公路的最大车流量或通行能力可达到5280辆/小时,而现在仅为2000辆/小时。AHS中每辆车都安装了电子执行器——控制转向、制动和油门,它们由车载计算机加以控制。

因为计算机连接到传感器,道路安全性得以增强,这些传感器提供:(1)车辆自身的测量数据(速度、加速度、轮胎打滑情况);(2)车道上车辆位置信息;(3)与前车的相对速度和距离。更重要的是,车间通信系统形成了可以与邻车交换信息的局域网,可支持涉及邻车协同的操作,如并线、加入车队、紧急制动等。计算机控制驾驶消除了驾驶员的误判行为,而误判是导致交通事故的主要因素。同时,一系列安全控制法则保证了在传感器、通信、计算机等出现故障的情况下仍能安全驾驶。虽然能源节省不作为初始目标,但在AHS实验中通过减少驾驶员在交通堵塞时不断加速和减速的行为而大大降低了能源消耗。

虽然AHS实验达到了预期目标,但是AHS并没有得到直接大规模的实际应用;其面临的主要困难是AHS要求所有车辆都是自动驾驶的:手动驾驶车辆和自动驾驶车辆混合行驶的局面限制了通行能力的提高,并引发了NAHSC没有详细讨论过的安全问题。不过,该项目推动了后来美国交通部一系列的研究项目,这些研究项目通过高效感知、通信和协作控制来进一步提高通行能力和增强交通安全。

第一个后续项目称为车与基础设施融合(Vehicle-Infrastructure Integration, VII),后来重命名为SafeTrip-21,现在称为IntelliDrive。不同命名意味着项目的前提假设和最终目标发生转变。

VII主要的推动者是美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC),FCC为汽车应用分配了5.9GHz上的75MHz的频段,该频段后来用于著名

的专用短程通信 (Direct Short-Range Communications, DSRC); DSRC 的通信功率允许的信号范围为 1km, 数据传输率为 6~27Mbps。许多研究组织着手制定 DSRC 标准, 该标准包括物理层和 MAC 层、通信架构、移动和安全应用等。其中, 通信架构设计了车载单元 (on-board units, OBU) 和路边单元 (roadside units, RSU) 之间的 ad hoc 通信方式, RSU 作为数据仓库和转发器; 移动应用为旅行者提供信息, 而安全应用基于邻车和路边信息来提醒驾驶员可能发生的冲撞事件。

DSRC 组织在标准化和应用方面进展缓慢, 而消费类电子产品获得了巨大发展, 出现了大量的无线手持设备 (配备 GPS 的手机和 PDA) 和一些定位服务, 这些定位服务包含导航辅助和交通信息。SafeTrip-21 意识到这种变化, 对 DSRC 进行扩展, 关注于不同信道间的切换; 但是, 扩展不同通信信道分散了在 DSRC 标准化方面的努力。在新命名的 IntelliDrive 项目中, 研究者重新关注于以 DSRC 为主要通信介质的安全应用。

这种以美国为中心的标准没有影响欧洲和日本车载网络的并行和协作发展, 欧洲和日本的大量项目都在 DSRC 上进行。(唯一不同的是, 日本使用 5.8GHz 的频带。)

与此同时, 以车载自组织网络 (Vehicle Ad-hoc NETwork, VANET) 为旗帜的国际学术和工业研究组织已经形成, 其年度论坛吸引了大量来自通信网络、计算机科学、电气工程、汽车工程和交通领域的研究人员。VANET 工作组推动和巩固了大量的研究工作, VANET 现已成为一个备受关注的研究领域, 研究范围涉及所有与车载网络有关的技术, 从无线通信到网络设计, 从性能到应用; 除此之外, 还关注安全与隐私、数据可靠性和数据融合问题。

本书主编 Hannes Hartenstein 和 Kenneth P. Laberteaux 都是这个领域的翘楚, 分别代表了学术和工业组织。两位都在 VANET 研究组织的创建过程中起到了重要作用: Kenneth P. Laberteaux 创建了 VANET 团队, 是 2004 年创立第一个 VANET 工作组的主要推动者, 并连续两年任该工作组的大会联合主席; Hannes Hartenstein 对欧洲 Fleetnet 工程 (先于第一个 VANET 工作组) 作出了杰出贡献, 并担任 2005 年 VANET 工作组的大会联合主席、2006 年技术项目联合主席。除本书外, 两位主编在 VANET 领域亦著述颇丰。

VANET 是一个非常活跃的研究领域, 成果丰富, 同时也存在大量的开放性问题。但对初学者来说, 不管是研究生还是专业人士, VANET 文献都太广泛, 很难在短期内掌握。本书的出版恰逢其时, 它对近几十年 VANET 中最重要的贡献予以梳理。本书既可作为电气工程与计算机专业研究生教材, 也可供专业人士参考。

Pravin Varaiya
于 Berkeley

前 言

在车辆应用和互联网技术领域，车辆与车辆、车辆与路边设施之间，利用无线通信网络广阔的传输范围的目的都是为了提高交通安全和通行效率。本书讨论 VANET 应用和技术问题，VANET 主要基于无线局域网技术的短程和中程通信，VANET 独特的候选应用（如碰撞警告、驾驶员周围交通信息等）、资源（如授权频谱、充电电源等）和环境（如车辆交通流模式、隐私考虑等）使得它成为无线通信中独一无二的领域。

近十年来，VANET 领域的研究活动非常活跃，也取得了巨大进步——这些活动深入研究了如何设计 VANET，并提出了大量的通信方式和协议。本书涵盖了 VANET 领域中的著名专家对车载网络发展现状的研究和评估。现在，VANET 仍然是一个快速发展的领域，本书包含了最新研究成果和未来开放性问题；因此，本书可作为当前研究现状的综合参考图书，读者还可以通过本书了解 VANET 的潜在应用和未来发展方向。VANET 领域还存在大量的研究挑战亟待解决；此外，依赖于技术接受度的革新也给 VANET 带来了大量的应用挑战。

本书各章的内容概述如下：

第1章 介绍了 VANET 基本原则和所面临的挑战，描述了 VANET 活动简史，并概述其他章节的主要内容。

第2章 讨论了未来可预见的安全应用，并描述了其通信系统的需求。

第3章 阐述了 VANET 高效与便捷应用的信息分发和数据融合方法。

第4章 基于第3章，重点关注“非安全”应用——主要目标为高效和便捷的应用。

第5章 对车辆移动模型的研究和分类加以综述，并强调了这些模型在 VANET 领域中的应用。

第6章 详细讨论了未来基于 IEEE 802.11 通信系统的物理层问题。

第7章 探讨基于 802.11 和 802.11p 的介质访问控制问题，并提供了无线介质拥塞控制的解决方案。

第8章 详细阐述了 VANET 中间件问题，它是高效和语义可识别通信的基础。

第9章 介绍 VANET 的安全与隐私问题。

第10章 涵盖了 VANET 领域标准化活动和规章的研究现状。

本书可作为：i) 工程学院大三到研一学生的研究课程教材；ii) 专业汽车技师

有价值的工具书; iii) 对 VANET 感兴趣研究者的简明入门书籍。本书要求读者已具备了移动网络和基于 802.11 无线局域网的基本知识。书中没有阐述地理定位问题和硬件实现问题。

术语 VANET 是“vehicular ad-hoc network”的简称,最初用于反映高度动态网络的自组织(ad hoc)特征。然而,由于术语“ad hoc 网络”已广泛用于单播路由相关性研究,因此我们决定重新定义术语 VANET 来淡化“ad hoc 网络”。本书把术语 VANET 作为车载网络整个研究领域的简称,但是在具体的实例中则作为车间网络的简称。

这本书最初来源于 2007 年我们在加拿大魁北克(Quebec)蒙特利尔(Montreal)“ACM 移动计算与网络国际会议”和“ACM 移动 ad hoc 网络与计算研讨会”上联合发表的报告。2008 年 6 月这个报告的“精简版”以《车辆自组织网络的调研报告》为题发表在《IEEE 通信杂志》上。

由于本书发表时还存在很多开放性问题(特别是在标准和规定方面),我们通过网址:<http://www.vanetbook.com> 来更新和改正本书中的错误。虽然过去十年 VANET 领域产生了重要的研究和技术成果,但是未来十到二十年才是决定 VANET 能否成为现实的关键。现在一些汽车公司、研究机构和政府组织积极致力于 VANET 系统的评估、修订和工程研究工作;其展示成果显示潜在的 VANET 技术基本趋于健全,虽然它并不完美,但近期 VANET 技术似乎是“足够好”且“有用的”。因此,围绕基本完善的 IEEE 802.11p 和 IEEE 1609 标准的“第一代”VANET 似乎可能很快形成。此外,其他课题也将会受到广泛的关注,如应用细化、人机界面、市场接受度/普及率、商业案例和系统整体效率等。

我们坚信车辆和基础设施之间的机会互联与协同会使得 VANET 网络成为现实。然而,很难预测第一代 VANET 是将基于近期技术,还是基于未来的 VANET 研究成果。我们预期其他技术在未来几十年也会飞速发展,如分布式控制、人工智能、车辆传感器和能源管理;这些技术的发展将会带动下一代(及其后续的)安全、高效和便捷应用的产生。唯一可以确定的是未来随着交通资源的枯竭,交通需求将显著增加;鉴于这些挑战,对实时、精确和真实的信息需求将越来越多。随着研究工作继续进行,我们希望 VANET 能为我们带来更美好的明天。

致 谢

我们要向以下人员致以诚挚的谢意：

- 所有的作者，是你们的贡献使本书得以面世。
- 那些让我们形成 VANET 基本思想的人，特别感谢（按 last name 的字母顺序）：
Wieland Holfelder、Yih-Chun Hu、Jean-Pierre Hubaux、Daniel Jiang、John Kenney、PR Kumar、Martin Mauve、Sam Oyama、Paolo Santi、Raja Sengupta、Pravin Varaiya、Andre Weimerskirch
- Wiley 出版社的工作人员：Birgit Gruber、Tiina Ruonamaa、Anna Smart、Sarah Tilley、Brett Wells
- 卡尔斯鲁厄理工学院分布式系统与网络服务研究组，特别感谢 Moritz Killat 为最后 LATEX 手稿所付出的辛勤劳动。
- 最后，特别感谢我们的家人和朋友。

Hannes Hartenstein

Kenneth P. Laberteaux

于（德国）Karlsruhe 及（美国）Ann Arbor

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 基本概念和挑战.....	1
1.2 VANET 的背景和现状.....	3
1.2.1 从起步阶段到 20 世纪 90 年代中期.....	4
1.2.2 从 20 世纪 90 年代中期到现在.....	6
1.2.3 现有项目成果举例.....	9
1.3 各章概述.....	13
参考文献.....	15
第 2 章 车辆协作式安全应用.....	18
2.1 引言.....	18
2.1.1 动机.....	18
2.1.2 本章概览.....	19
2.2 支撑技术.....	19
2.2.1 通信要求.....	19
2.2.2 车辆定位.....	20
2.2.3 车辆传感器.....	22
2.2.4 车载计算平台.....	22
2.3 协作式系统架构.....	23
2.4 安全应用的映射.....	24
2.4.1 非参数化路径预测.....	26
2.4.2 参数化路径预测.....	27
2.4.3 随机路径预测.....	29
2.5 VANET 可支持的主动安全应用.....	32
2.5.1 基础设施-车的应用.....	34
2.5.2 车-车的应用.....	35
2.5.3 行人-车的应用.....	39
参考文献.....	40

第3章 VANET 的信息分发机制	42
3.1 引言	42
3.2 局部测量数据的获取	43
3.3 信息传输	45
3.3.1 信息传输协议	46
3.3.2 提高网络连通性	50
3.3.3 需要传输的信息	52
3.4 汇总测量数据	53
3.5 地理数据融合	57
3.6 总结	64
参考文献	64
第4章 VANET 的便捷与高效应用	70
4.1 引言	70
4.2 局限性	70
4.2.1 容量	71
4.2.2 连通性	72
4.2.3 竞争	74
4.3 应用	75
4.4 通信模式	76
4.4.1 集中式客户机/服务器系统	76
4.4.2 基于基础设施的点对点通信	77
4.4.3 VANET 通信	79
4.5 基于概率的区域融合	80
4.5.1 FM 概略图	80
4.5.2 在 VANET 中使用概略图融合数据	81
4.5.3 软状态概略图	82
4.5.4 形成大范围融合值	83
4.5.5 应用研究	84
4.6 行程时间融合	85
4.6.1 基于地标的数据融合	86
4.6.2 信息质量判定	87
4.6.3 分层地标融合	88
4.6.4 评价	89
4.7 总结	91

参考文献	91
第 5 章 VANET 的车辆移动建模	93
5.1 引言	93
5.2 符号定义	96
5.3 随机模型	97
5.4 车流模型	99
5.4.1 微观车流模型	100
5.4.2 宏观车流模型	105
5.4.3 介观车流模型	107
5.4.4 并线模型	108
5.4.5 交叉路口管理	111
5.4.6 车流模型对车辆移动性的影响	112
5.5 交通模型	113
5.5.1 旅途规划	114
5.5.2 路径规划	115
5.5.3 时间的影响	116
5.5.4 交通模型对车辆移动性的影响	116
5.6 行为模型	118
5.7 轨迹和基于调查的模型	119
5.8 移动模型与网络仿真器的融合	120
5.8.1 网络仿真器	121
5.8.2 孤立的移动模型	122
5.8.3 嵌入式移动模型	122
5.8.4 融合移动模型	123
5.8.5 面向应用与面向网络的仿真器	125
5.8.6 讨论	126
5.9 实际车辆移动模型的设计架构	127
5.9.1 运动约束	127
5.9.2 交通生成器	128
5.9.3 基于应用的真实度	129
5.10 探讨与展望	130
5.11 总结	131
参考文献	131

第 6 章 车载通信的物理层要求	136
6.1 标准概述	136
6.1.1 历史简介	136
6.1.2 技术改动与运算	137
6.2 前期工作	143
6.3 无线电波传播理论	143
6.3.1 确定性多径模型	143
6.3.2 统计多径模型	148
6.3.3 路径损耗模型	150
6.4 信道性能指标	151
6.4.1 时延扩展	151
6.4.2 相干带宽	152
6.4.3 多普勒扩展	155
6.4.4 相干时间	157
6.4.5 对 OFDM 系统的影响	158
6.5 测量理论	159
6.6 5.9GHz 的经验信道特征	163
6.6.1 公路环境	163
6.6.2 城区环境	167
6.6.3 郊区 LOS 环境	173
6.6.4 结果总结	174
6.6.5 分析	175
6.7 未来的发展方向	179
6.8 总结	180
6.9 附录: 确定性多径信道推导	180
6.9.1 复数基带信道表示——连续时间	180
6.9.2 复数基带信道表示——离散时间	181
6.10 附录: LTV 信道响应	182
6.11 附录: 测量理论的细节	184
6.11.1 PN 序列位	184
6.11.2 LTI 信道估计的产生	184
6.11.3 莱斯 K 系数估计的产生	186
参考文献	187

第7章 车载通信网络的MAC层及其可扩展性	190
7.1 引言:挑战与需求	190
7.2 VANET中MAC方法的研究	192
7.2.1 时分多址方法	192
7.2.2 空分多址方法	194
7.2.3 码分多址方法	194
7.3 基于IEEE 802.11p的通信	195
7.3.1 IEEE 802.11 标准	195
7.3.2 IEEE 802.11p:面向车辆环境的无线接入	198
7.3.3 基于IEEE 802.11p网络的建模与仿真	201
7.4 性能评估和建模	206
7.4.1 基于IEEE 802.11p的主动安全通信性能结果	206
7.4.2 仿真的计算代价	208
7.4.3 IEEE 802.11 网络性能的分析模型	209
7.4.4 分析IEEE 802.11p网络性能的经验模型	212
7.4.5 总结	219
7.5 拥塞控制问题	219
7.5.1 拥塞控制的必要性	220
7.5.2 传输功率拥塞控制方法	222
7.5.3 基于速率控制的拥塞控制	228
7.6 开放式问题与展望	229
参考文献	230
第8章 高效应用层信息编码与构成	236
8.1 应用环境介绍	236
8.1.1 安全应用和数据需求	237
8.1.2 系统所需的架构特征	238
8.1.3 广播特性	239
8.2 消息调度器	239
8.2.1 数据元素字典	240
8.2.2 消息结构	241
8.2.3 发送的内容以及发送时间	241
8.3 应用举例	242
8.3.1 紧急制动警告	243
8.3.2 路口违规警告	244