

国家科技支撑计划项目，编号：2012BAH08B02

国家自然科学基金项目，编号：61272513

车载Ad hoc 网络服务组合机制的研究

针对VANETs网络环境建立一整套适应于车载移动终端，并将分布式服务整合为增值服务的服务组合模型。

王磊 / 著

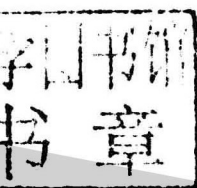
河北科学技术出版社

国家科技支撑计划项目，编号：2012BAH08B02

国家自然科学基金项目，编号：61272513

车载Ad hoc 网络服务组合机制的研究

王磊 / 著



河北科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

车载 Ad hoc 网络服务组合机制的研究 / 王磊著. —
石家庄: 河北科学技术出版社, 2014.12
ISBN 978-7-5375-7379-5

I. ①车… II. ①王… III. ①汽车-移动终端-网络
服务-研究 IV. ①U463.67②TN929.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 281976 号

CHEZAI Ad hoc WANGLUO FUWU ZUHE JIZHI DE YANJIU

车载 Ad hoc 网络服务组合机制的研究

王磊 著

出版发行 河北科学技术出版社

地 址 石家庄市友谊北大街 330 号(邮编 050061)

经 销 新华书店

印 刷 河北新华第二印刷有限责任公司

开 本 700 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 10.375

字 数 130 千字

版 次 2014 年 12 月第 1 版

印 次 2014 年 12 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

前 言

近十年来，随着无线通信科学与车载终端技术日新月异的发展，人们对于车载应用服务的依赖呈现了快速攀升的趋势。随时随地为车载用户提供安全、便捷的信息服务，成为汽车制造商、通信运营商及相关研究机构争相开发和探索的领域。其中最成熟也最成功的产品当属美国通用汽车的安吉星（Onstar）信息服务系统，目前已成为全球至少 600 万汽车用户的信赖之选。然而，Onstar 是一套采用远距离无线通信技术的付费系统，对于终端用户的网络环境也有一定的要求。如何在车载自组织网（Vehicular Ad hoc Networks, VANETs）中基于短距离移动通信技术，利用免费但充沛的分布式车载服务资源经过服务组合向用户提供灵活、丰富的个性化服务，是本书研究动机所在。

车载自组织网 VANETs 作为移动自组织网（Mobile Ad hoc Networks, MANETs）的特殊子类，是在道路环境中构建的一个自组织、不依赖于任何基础设施、可工作在各种恶劣条件下、费用低廉、结构开放的车辆间通信网络。可以预见，在这种集灵活性、健壮性于一体的网络环境中开展面向用户个性化需求的服务组合研究，具有极高的应用前景和商业价值。然而，车辆节点快速移动导致网络拓扑的频繁变化，给 VANETs 下服务组合带来了相当的难度和挑战，也成为束缚 VANETs 应用和普及的关键所在。

目前国内外针对于 VANETs 环境下服务组合的研究仍属空白。因此，本书充分考虑 VANETs 区别于一般移动自组织网络的特殊性，进行深入且有针对性的服务组合探讨。

本书主要从车载网以下几个方面展开分析和讨论：

(1) 面向 VAENTs 环境提出了一种分层的 service 组合体系结构，并在此基础上建立了层次覆盖 service 组合模型。通过对传统 MAENTs 中基于 service 覆盖网 (Service Overlay Networks, SON) 思想的 service 组合框架进行深入分析，借鉴层次覆盖网络的概念及体系结构，融合 VANETs 典型特征，采用 service 覆盖网跨层设计思想对 service 组合系统进行建模，从逻辑上将 VANETs service 组合体系结构从下至上设计为三层——物理网络层、service 实例层、service 抽象层，并通过动态叠加的方式抽象出第四层 service 覆盖层，在 service 覆盖层上建立了适应于 VANETs 环境的 service 组合模型。

(2) 在 service 覆盖层上提出了一种基于 service 强度 (Service Intensity, SI) 及路径预测生存时间 (Path Expiration Time, PET) 来选择最优下一 service 实例的算法，最大限度地减小了 service 路径的解空间，增强了 service 路径的稳定性及可靠性。

(3) 提出了两种支撑 VANETs service 组合的底层路由算法。路由算法在考虑网络优化与路径优化的设计前提下，充分融入 service 发现特性与 service 组合的需求。在具体应用中，对于非实时性业务，采用 (Direction Based AODV Routing Protocol, DARP) 算法路由 service 执行路径，可大大提高 service 路径的稳定性；而对于实时性要求较高的场合，采取 (Datagram Based Node Routing Protocol, DBNP) 路由算法寻路，可大大降低 service 路径建立时延。合理、有效的路由机制将为上层 service 以及 service 组合进程提供良好的底层支撑及保障。

(4) 为降低 service 组合中断后的恢复时延，提出了一种改进的基于 service 实例层的本地修复策略 (Service Recovery based on Service Level, SRBSL)；为进一步提高组合 service 重建算法的快速恢复性及可靠性，提出一种基于层次覆盖框架的跨层 service 组合恢复架构，定量分析 service 组合过程中由于 service 中断而使使用户感知的 service 失效干扰，设计了基于最小干扰模型的服务恢复启发式算法 (Recovery heuristic algorithm, RHA)，RHA 从尽量减小 service 失败对用户产生的

干扰出发，实现了服务组合失败后基于服务覆盖层的跨层设计恢复策略。

综上所述，本书在重点分析 VANETs 高度动态性后从理论建模角度研究 VANETs 服务组合体系框架，并深入探讨了 VANETs 服务组合方案的生成、优化及重建恢复问题，力求针对典型的 VANETs 网络环境建立一整套适应于车载移动终端并将分布式子服务整合为粗粒度增值服务的服务组合模型及分析方法，设计出具有伸缩性及动态适应性的服务组合机制，对未来 VANETs 下服务资源的动态发现、选择以及车载终端应用平台的建设和推进起到决定性作用，具有重要学术价值和实用价值。

本书得到国家自然科学基金（项目编号：61272513）、国家科技支撑计划项目（项目编号：2012BAH08B02）和北京市属高等学校人才强教计划资助项目（项目编号：PHR201106133）的资助，在此一并表示感谢。

本书适合从事智能交通、服务科学及动态网络研究的相关人员参考，也可以作为高等学校高年级本科生、研究生以及教师教学的参考资料。由于水平有限，书中不当之处敬请广大读者不吝指正。

目 录

1	引言	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究意义及简介	2
1.3	研究组织结构	5
2	VANETs 车载网络及其服务组合分析	7
2.1	VANETs 车载网络概述	8
2.2	VANETs 车载网络特点	10
2.3	VANETs 车载网络服务组合研究现状及分析	11
2.3.1	VANETs 车载网络服务组合研究动机	12
2.3.2	VANETs 车载网络服务组合研究现状	13
2.4	VANETs 车载网络服务组合研究存在的问题	22
3	VANETs 服务组合模型及组合方案的生成	25
3.1	拟解决的关键问题	26
3.2	面向 VANETs 环境的层次覆盖服务组合模型	27
3.2.1	物理网络层	28
3.2.2	服务实例层	29
3.2.3	服务抽象层	31
3.2.4	基于服务覆盖层的服务组合模型	33
3.3	基于 VANETs 服务组合模型的服务选择算法	34

3.3.1	支持服务覆盖层的 QoS 模型	35
3.3.2	基于服务强度及生存时间的服务路径生成算法	45
3.3.3	基于跨层 QoS 的服务执行路径选择算法 LOSPSA	50
3.4	基于 VANETs 服务组合模型的自适应机制	55
3.4.1	主动性服务路径维护策略	56
3.4.2	一种速度与距离的服务切换算法 VDBHA	57
3.5	仿真实验与分析	62
3.6	本章小结	69
4	VANETs 服务组合的底层路由支撑算法	71
4.1	VANETs 服务发现与组合机制与底层路由关系	72
4.2	一种基于节点运动方向的路由协议(DARP)	75
4.2.1	系统模型及定义	76
4.2.2	路由协议模型与分析	79
4.2.3	路由协议设计	83
4.2.4	仿真验证	86
4.3	基于数据报文点点决策的路由协议(DBNP)	92
4.3.1	路由算法描述	92
4.3.2	路由算法详细流程	95
4.3.3	仿真验证	99
4.4	本章小结	102
5	VANETs 服务组合的恢复和重建	103
5.1	一种基于服务层的服务恢复算法 SRBSL	104
5.1.1	VANETs 服务层的服务恢复存在的问题	105
5.1.2	基于服务层的服务组合自愈策略 SRBSL	108
5.2	一种基于服务覆盖层的服务组合恢复架构及算法	112
5.2.1	用户感知的服务中断干扰模型	113

5.2.2 基于用户感知最小干扰的服务恢复策略	116
5.2.3 最小干扰服务恢复启发式算法 RHA	121
5.3 仿真实验与结果分析	124
5.3.1 实验 1. 对于基于服务实例层的服务组合重建算法 SRBSL 的 仿真分析	124
5.3.2 实验 2. 对于最小干扰的服务恢复启发式算法 RHA 的仿真分析	128
5.4 本章小结	132
6 总结与展望	134
6.1 主要结论	134
6.2 研究展望	136
参考文献	138
附录 中英术语对照表	154

1 引言

1.1 研究背景

随着计算机与通信技术的成熟以及相关产品的快速普及，实时构建并部署针对于不同应用环境的通信网络成为无处不在的人性化服务的基础保障。作为典型通信网络的热点研究对象，近十几年来车载自组织网 VANETs 越来越受到汽车制造商、通信运营商及各类研究机构的关注，它能够使人们的交通出行更紧密地与计算机技术和通信技术相结合，增强交通安全，提高城市交通效率，提供各种满足用户个性化需求的信息服务。可以预见，未来 VANETs 将吸引更多的参与者投入到相关问题的研究和探索中，为驾乘人员随时随地获取最方便、可靠、优质的服务提供相应的理论支撑和技术支持。然而在 VANETs 中，需求的变化和资源的受限使得用户在其车载移动设备上不可能预先安装所有需要的软件，而同时在本地环境中却存在着大量各种类型的资源和服务，无论驾驶员还是乘客若能将这些分布资源组合起来合成多粒度服务以完成更复杂更强大的功能任务，对于快节奏、高效率的生活具有重大的意义。可以肯定，服务组合作为 VANETs 环境下资源共享、能力协作与应用集成的主要手段，将会在车载应用领域开展深入且持久的研究。

VANETs 作为移动自组织网 MANETs 一种典型应用模式，除具有 MANETs 所固有特征外，还具有极其特殊的性质，如拓扑结构的高动态性、

节点移动的规律性和可预测性、计算与存储能力的宽裕性等,使得很多已经成熟运用于无线 Ad hoc 网络服务组合的理论无法直接移植到 VANETs 研究中。到目前为止, VANETs 的相关理论研究主要集中于数据分发策略、安全体系架构及路由协议设计等,以 VANETs 环境为背景的服务组合研究实属凤毛麟角,没有任何成熟的理论和技术问世,这与道路上日益增多的车辆对于个性化服务的迫切需求形成了强烈的反差。其中一个重要原因就是车辆高速移动导致节点的拓扑结构变化过快而造成服务频繁时效,而传统的服务组合理论又难以满足 VANETs 网络伸缩性、动态适应性的应用需求,因此 VANETs 下的服务组合是一个复杂且亟待攻克的难题。

1.2 研究意义及简介

经济的飞速发展推动了汽车行业的空前繁荣,车辆越来越多地介入人们的日常生活,统计数据和研究资料表明,城市用车平均时间日益增加,81.8%的车主需要每天驾车 1~2 个小时,这就促使人们对车载信息服务也提出了更多更高的需求^[1]。如何充分利用道路资源,将人、车、资源和谐统一起来,组合成满足不同用户不同功能需求的复杂服务,将具有重要现实意义和广阔应用前景。然而,由于 VANETs 中车辆节点的快速移动性,以自组形式形成的网络时而断开,时而又形成新的网络,网络拓扑变化迅速、网络稳定性和连通性较差,这些特性使得基于传统有线网络的服务组合成果和技术不能够适应于 VANETs 领域,服务组合面临严峻挑战。考虑到 VANETs 高度动态性,致力于动态网络下的服务组合研究,本书将建立一套适应于车载网络移动终端的服务组合体系框架及相关机制,具体可归纳为以下几点,如图 1.1 所示。

①VANETs 车载终端高动态性导致网络拓扑结构实时变化,进而对服务组合建模或形式化描述设置了相当的障碍和难度。本书在深入分析目前服务组

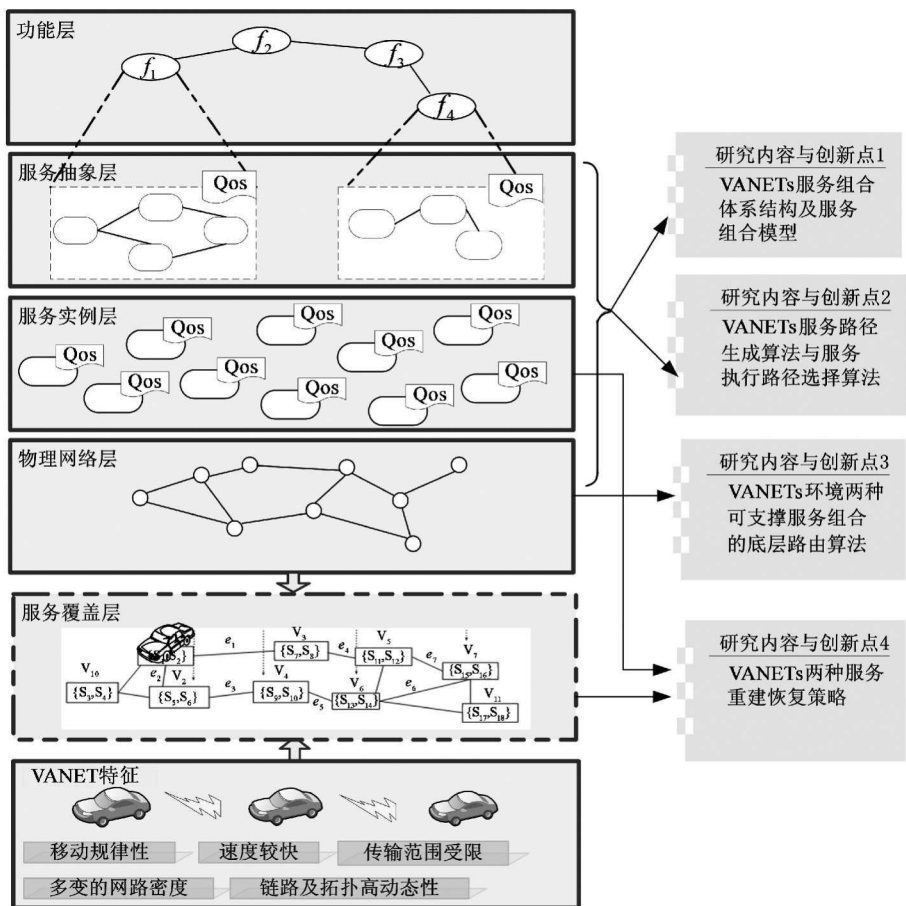


图 1.1 研究内容及创新点

合系统方案优缺点的基础上，提出了一种面向 VANETs 服务组合的层次覆盖网络架构，在此基础上设计基于服务覆盖层的服务组合模型。首先，借鉴服务覆盖层 SON 设计思想，将 VANETs 这种动态分布式服务组合体系结构从逻辑上划分为物理网络层、服务实例层、服务抽象层三个层次，并通过建立功能、服务、路由之间的映射关系，采用动态叠加部署策略抽象出了第四层服务覆盖层。其次，分析用户服务组合请求与服务覆盖层上覆盖节点及覆盖链路的相互关系后，结合 VANETs 移动特性，构建了 VANETs 下的服务组合

模型。

②在服务组合模型分析基础上,本书将模型求解问题转化为服务路径生成、服务执行路径选择及服务路径维护三个过程。首先,在传统的基于经典图论(Directed Acyclic Graph, DAG)理论的服务组合算法中改进并提出了基于服务强度及链路生存时间的服务路径生成算法。其次,为有效进行服务执行路径的选择,本书设计了驱动服务选择的服务覆盖层 QoS 模型,并在 QoS 驱动下提出 2-level 打分机制的服务执行路径选择算法(Local Optimal Service Path Selection Algorithm, LOSPSA),该算法将底层车载节点的移动特性与服务执行路径选择的相关信息紧密融合,在有效降低网络拓扑关系复杂度的同时提高了对用户服务组合需求的动态适应性。第三,为进一步确保服务组合路径的有效性及可行性,从预测链路稳定性出发,提出了主动性服务路径维护策略,设计了带有服务切换功能的服务执行路径维护算法(Velocity and Distance Based Handoff Algorithm, VDBHA)。

③目前支撑服务发现、组合机制的底层路由算法的研究并没有充分考虑与服务选择的自适应性,针对性较弱。为更好地对上层服务以及服务组合模型提供良好的网络路由策略,本书分析了服务组合发现选择进程与底层路由算法自适应的关系,从微观角度分析了服务组合与路由协议关联性。为提高服务组合的成功率、减少不必要的时延及网络开销,面向不同应用场景设计了两种路由算法:对于非实时性业务,采用基于节点运动方向的类 AODV 路由算法(Direction Based AODV Routing Protocol, DARP),可在保证服务路径质量的前提下大大提高服务路径的稳定性;对于实时性要求较高的场合,采用基于数据报报文点决策的路由算法(Datagram Based Node Routing Protocol, DBNP),可大大降低服务路径建立时延。

④为有效应对 VANETs 服务节点和链路频繁失效问题,本书提出了一种基于服务实例层的服务组合重建算法(Service Recovery based on Service Level, SRBSL),SRBSL 是一种典型的先验式服务组合恢复策略,它在服务组合失效

之前就根据对服务链路稳定性以及服务组件当前状态的分析来选择并维护备份服务副本，依托服务实例层中实时维护的服务副本替换策略完成对失效组合服务的重建。对于服务失效概率极大的 VANETs 环境，SRBSL 服务恢复策略是一种有效地重建策略。为进一步提高组合服务重建算法的快速恢复性及可靠性，在 VANETs 层次覆盖服务组合模型研究基础之上，借鉴 Overlay 的设计思路，基于服务覆盖层 SON 综合提炼各层代价，建立服务路径失败对用户造成的干扰模型，从尽量减小服务失败对终端用户影响的角度出发提出了一种基于跨网络协议层设计的服务组合恢复架构和最小干扰的启发式服务恢复算法（Recovery heuristic algorithm, RHA）。

1.3 研究组织结构

本书以 VANETs 下服务组合的研究为主线，通过对 VANETs 车载网络特性及服务组合相关问题进行渗透并深入剖析，在 VANETs 服务组合模型、VANETs 服务组合方案生成算法以及 VANETs 服务恢复和重建三个方面展开相关研究。本书的章节安排如图 1.2 所示。

本书共分为六章。

第一章阐述了 VANETs 车载网络及其服务组合的研究背景、研究意义以及未来发展趋势。最后给出了研究问题及主要内容。

第二章介绍了 VANETs 车载网络的概念、特点及其服务组合研究现状，提出了开展 VANETs 下服务组合需要解决的几个关键问题。鉴于 VANETs 背景下服务组合相关研究非常少，该部分主要借鉴和参考无线 Ad hoc 网络及 MANETs 背景下服务组合研究中一些具有启示意义及实用价值的思想和方案。

第三章充分考虑 VANETs 区别于一般移动自组织网络的特性，借鉴传统层次覆盖网络的概念和体系结构，融合 VANETs 特点，提出了一种 VANETs 服务组合体系结构以及 VANETs 服务组合模型。并在模型分析基础上，建立

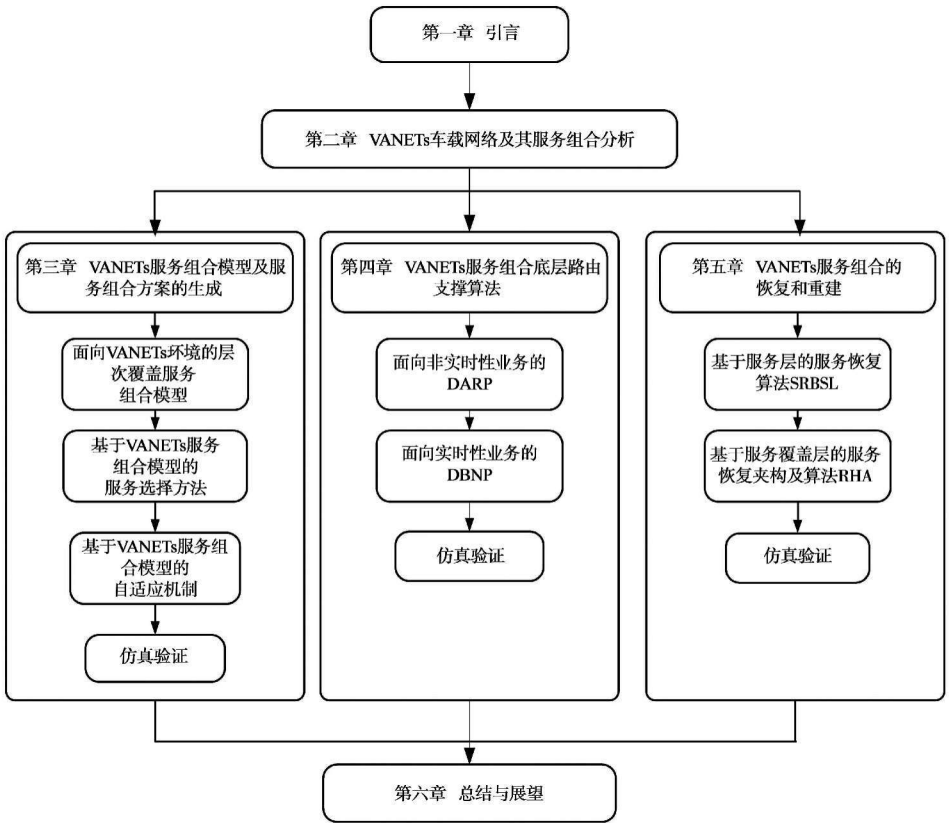


图 1.2 研究组织结构

了服务组合方案生成策略：包括服务路径生成、服务执行路径选择及服务路径维护三种算法。

第四章首先探讨了底层路由策略与上层服务发现、选择的制约关系，进而针对不同的业务类型，设计了面向实时业务及非实时业务的两种路由算法 DBNP 及 DARP。

第五章首先提出了基于 VANETs 服务层的本地修复策略，并加以改进，从尽量减小服务失败对终端用户影响的角度出发，设计了基于服务实例层以及服务覆盖层的两种服务恢复策略及相应重建算法 SRBSL 及 RHA。

第六章对全书进行总结并对未来的研究提出展望。

2 VANETs 车载网络及其服务组合分析

无线 Ad hoc 是指无任何基础设施而仅由一组带有无线收发装置的移动终端构成的能够临时快速自动组网的移动通信技术^[2]。20 世纪 90 年代以来,无线 Ad hoc 网络已经逐步从军事通信渗透到相关各个民用通信领域。

VANETs 作为无线 Ad hoc 网络一个特殊且相对成熟的应用领域,已经引起世界各国研究机构和科研人员的密切关注。VANETs 亦被称为车辆间通信网络 (Inter-Vehicle Communication, IVC)^[5]或自组织的交通信息系统 (Self-Organizing Traffic Information System, SOTIS)^[4]。它是道路上车辆间自组织的能够相互通信的特殊移动自组织网络^[3]。早在 2003 年的 ITU-T 汽车通信标准化会议上,专家们就提出车载自组网技术 (Vehicular Ad hoc Network, VANET) 的概念^[6],至此移动自组网技术正式被引入车载通信系统。VANETs 实现是通过为车载装配带有无线通信功能的终端设备,使道路上行驶的车辆间形成自组织、无中心、多跳传输的无线移动自组织网络,从而为实现道路安全以及其他信息交互服务提供方便、快捷、无基础设施制约的组网模式^[7],如图 2.1 所示。

然而随着日常生活中车辆越来越多的介入,人们已不满足车载终端的基本信息服务,对车载服务提出了更多更高的需求,基于 VANETs 的服务组合研究势在必行。如何将人、车、资源和谐统一起来,组合成满足不同用户个性化需求的功能服务,具有重要现实意义和广阔应用前景。

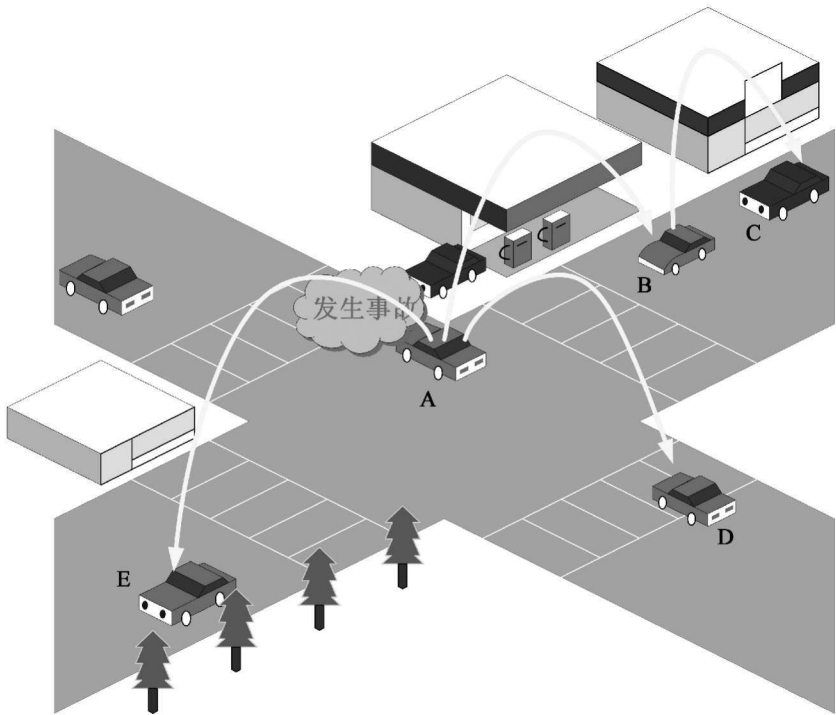


图 2.1 VANETs 网络示意图

2.1 VANETs 车载网络概述

最早关于车辆间通信的研究可以追溯到 20 世纪 80 年代初的日本^[8]。2003 年，美国联邦通信委员会 FCC（Federal Communications Commission）为车载网络专门分配了 75MHz 频谱用于部署车载安全及 DSRC（Dedicated Short Range Communication）通信系统^[9,10]，为行车环境下的无线接入提供了便利。随后，欧美等国家也相继启动了 VNAETs 科研项目，美国交通部将 VANETs 技术定义为智能交通系统 ITS（Intelligent Transportation Systems）中一个核心组成部分，图 2.2 所示为美国交通部定义的 ITS 的系统结构^[11]。同时，各国