

基于 802.11p 的车联网传输协议研究述评

刘 业^{1,2,4}, 刘林峰³

(1. 中国科学技术大学 苏州研究院, 江苏 苏州 215123; 2. 中国科学技术大学 软件学院, 江苏 苏州 215123;
3. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003; 4. 阳立电子(苏州)有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘 要: 为了对基于 802.11p 的车联网传输协议研究中的关键问题进行有序评述, 提出了一种车联网 VANET 网络体系结构参考模型。以分层模型为线索对车联网传输协议研究的关键问题及其研究进展进行了述评, 包括移动性模型、路由算法、及拥塞控制 3 个方面。在分层模型的指导下指出了车联网传输协议研究的几个切入点, 并作出了一定的深入分析, 同时给出了相应的研究思路。该领域的突破性研究进展将有助于车联网网络技术走向实用, 具有一定的理论意义及应用前景。

关键词: 车联网; 传输协议; 可靠性; 实时性; 公平性

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2013) 09-3007-06

Comments on basic research of message dissemination protocol of VANET based on 802.11p

LIU Ye^{1,2,4}, LIU Lin-feng³

(1. Suzhou Institute for Advanced Study, University of Science and Technology of China, Suzhou 215123, China;
2. School of Software Engineering, University of Science and Technology of China, Suzhou 215123, China;
3. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;
4. Nettech Technology (Suzhou) Company Limited, Suzhou 215000, China)

Abstract: To comment on the key technologies of VANET based on 802.11p logically and efficiently, one VANET architecture model, in which all layers are jointly studied, instead of treating network layers separately is proposed in the literature. This model can be used to achieve an efficient tradeoff among the reliability, low-delay, and fairness when messages are disseminated in the VANET. Then based on the layered model, the state of arts of VANET is introduced, including the aspects of vehicular node mobility, routing protocol, congesting control, and etc. Further more, some hot topics of VANET are discussed in detail. Some trends of VANET development are mentioned as well. Finally, some novel research ideas are proposed. These work should be applied to a useful guide to the commercialization of the VANET network.

Key words: VANET; message dissemination; reliable; low-delay; fairness

0 引言

人们对道路交通安全问题关注度持续上升, 使得车联网 VANET (vehicular Ad hoc network) 的研究^[1-2] 成为当前学术界和工业界研究领域的热点。近年来, 车联网的概念亦逐渐明晰, 基于 802.11p 实现车车、车路互联成为车联网的新标准, 成为智能交通系统 ITS 领域的重要研究内容。本文首先界定了车联网的概念, 探讨了基于 802.11p 的车联网与前些年借助于成熟的 2G、3G 技术发展起来的车联网之间的差异, 总结了国内外对于基于 802.11p 的车

联网研究的定位。为了对基于 802.11p 的车联网传输协议研究中的关键问题进行有序评述, 提出了一种车联网 VANET 网络体系结构参考模型, 并以分层模型为线对 VANET 网络传输协议研究的关键问题及其研究进展进行了述评。在此基础上, 分析出 VANET 网络传输协议研究的几个切入点, 并针对研究思路作出了一定的展望。

1 关于车联网概念的界定

VANET 网络的本质^[3] 是在车辆与车辆之间、车辆与路边设施之间实现单跳或者多跳的无线通信, 并能够自组

收稿日期: 2013-01-07; 修订日期: 2013-03-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60903181); 教育部重点实验室开放基金项目 (K93-9-2010-14); 江苏省博士后基金项目 (1101136C)

作者简介: 刘业 (1977-), 男, 江苏建湖人, 博士, 讲师, CCF 会员, 研究方向为高性能网络、分布式计算、软交换网络等; 刘林峰 (1981-), 男, 江苏丹阳人, 博士, 副教授, 研究方向为计算机网络。E-mail: yeliu@ustc.edu.cn

织地建立起一个临时的无线移动通信网络,通信内容包括交通事故地理位置信息、车辆移动速度信息、车辆故障预警信息、道路拥塞状况信息、以及其它应用信息等等。比如:在实际应用中,VANET网络能够传递紧急事故等实时信息来辅助驾驶员避免交通事故,能够实现道路行驶过程中的导航,保持警车或者救火车跟其它车辆节点的通信以让出警车或者救火车的紧急安全通道,进行交通信息的相关查询,实现高速公路不停车缴费,实现交通信息广播,实现车辆之间的语音视频通信,以及车辆在局部城市范围内的无线调度等功能,使驾驶更加安全、高效、舒适。鉴于VANET网络的应用前景,ITS America协会的数十位学术界、工业界顶尖级专家在2008年12月向美国国会提交建议书^[4],呼吁国会资助并将基于WAVE/802.11p的ITS系统的研究和部署,即将基于VANET网络在智能交通领域的研究和部署,纳入到美国基础架构的建设中来。

从我国的情况来看,随着中国汽车车辆总数的增加,我国每年因交通事故死亡的人数在几十万人以上,并且呈逐年上升的趋势,交通拥堵的现象也愈加严峻。我们认为,事故报警及事故隐患预警信息在同一路段行驶的车辆之间是否能够可靠地、快速地、无差错地、时间可预测地传输是减少甚至避免交通事故的关键所在。早期的智能交通系统由于投入费用代价昂贵等原因并没有真正地部署起来,近些年来借助于成熟的2G、3G技术发展起来的智能交通系统在实现车车通信时存在传输紧急数据时延大,经济费用过高等不足,另外传统意义上的智能交通系统都是以监测为主的辅助交通管理方式,而VANET网络技术是在道路上动态地构建出一个自组织、易部署、费用低、开放的无线通信网络,提供超视距范围内的车辆状况、事故报警及预警等信息,可以将VANET网络看成是一个新型的无线接入网,利用路边单元将部分信息传递至Internet上,而在接入网的内部则可以有效地传递不同服务质量保证的应用数据信息,及时有效地将事故、路况等警示信息在同一路段行驶的车辆之间传递,降低二次事故的发生,从而减少交通事故的危害,其进展性研究成果的实用价值^[5]是非常大的。可预测VANET技术成熟后,因其对行车便利性与安全性的改善,短期内将成为机动车的标准配备,市场与经济效益看好。同样考虑到车联网VANET网络的应用前景,2011年10月,中国首届车联网大会上,谢光选、何积丰等五位院士积极倡议在国内“加快实施车联网工程”。

2 车联网VANET网络体系结构参考模型

学术界最初提出VANET概念的想法是作为无线传感器网络的衍生应用,VANET网络的物理层、数据链路层及网络层协议基本沿用了无线传感器网络或者移动自组织网

络(mobile Ad hoc network, MANET)的相关协议。但是车辆高速移动的特点使得支持MANET网络的ZigBee、Bluetooth等协议并不适用于VANET网络,另外由于频繁的通信中断,AODV和DSR等路由协议也不再适合VANET网络。国外相关研究机构近几年来在VANET网络的数据链路层/物理层的协议研究上逐步达成一致并取得了一定的突破,即基于802.11技术来开展研究,目前的标准802.11p协议^[6-7]正处于草案完善过程之中,而对于VANET网络路由层、传输层、应用层协议的研究工作^[8-9]正处于起步阶段,IEEE 1609工作组致力于该部分协议的标准工作,但只是提出了有利于互通性的接口规范以及一些技术指标^[10-13],对于具体的可靠传输协议算法涉及不深。VANET网络中如何保证传输协议的可靠性、实时性及公平性的相关研究是当前热点领域^[14-15]。

在借鉴IEEE1609工作组的车联网协议栈WAVE的基础上,图1描述了车联网VANET网络体系结构参考模型,同时图中也给出了将增强VANET网络传输协议可靠性、实时性及公平性所需要考虑的多方面因素放置在VANET网络模型的不同层次予以解决的方案。考虑到VANET网络下层传输具有“网络拓扑动态变化快、网络节点间的传输链路寿命短”等特点,同时又要保证信息传递的可靠性与实时性的实际应用需求,不能照搬TCP/IP分层模型每一层次的功能,必须要把差错控制功能、拥塞控制等传输层功能下移。因为TCP/IP分层模型所遵循的端到端设计原则,由端系统进行差错控制,对于数据在可靠传输过程中的实时性无法保证。拟根据网络链路实际的状态,自适应地考虑把差错控制功能放在数据链路层抑或是传输层处理,即动态地决定是在VANET网络的数据链路层LLC子层、网络层、还是在传输层维持一定的网络传输状态信息,其本质是根据具体的车联网网络应用,需要在VANET体系结构的研究中引入了跨层设计的思想。

跨层设计与协议分层设计思想相悖,因为分层思想逻辑结构简单、各层功能相对独立、易于实现和维护,但协议分层意味着每层的功能在其协议数据单元被传到相邻层之前就已完成,因此需要在每一层里分别进行优化,这显然与数据操作所期望的高效性相悖。因此面对VANET网络高出错率的高速无线传输信道特性,跨层设计原则的引入是合时宜的。

车联网数据链路层的广播协议用于传输控制信息,而在路由层展开应用信息的传输,包括单播和组播的路由算法等研究内容。广播协议应用于局部网络范围内,在MAC层进行协议开发,而路由层的单播/组播协议的研究则可应用于整个车联网的网络范围内。部分研究者提出的分簇的组播协议,主要是考虑整个车联网网络范围的具体应用对网络信息传输的需求,包括信息的可靠性,可达性,实时性等QoS特性。

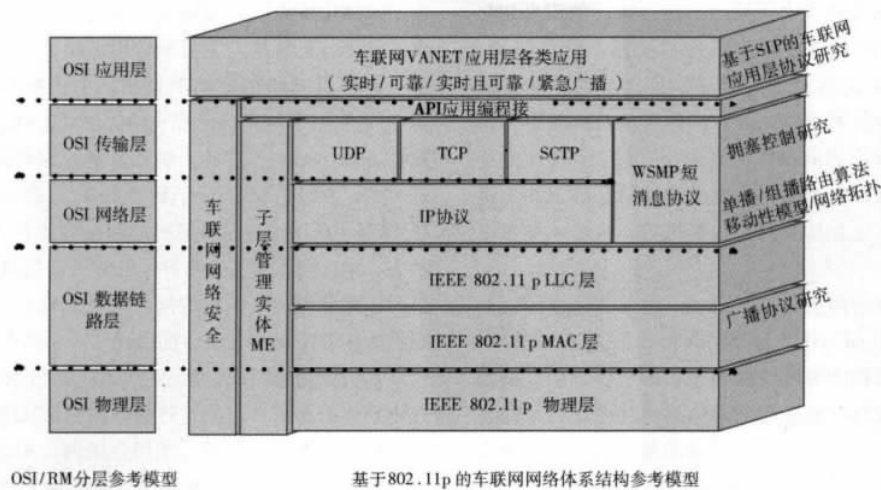


图1 车联网VANET网络体系结构参考模型

3 VANET网络传输协议研究中的关键问题

由于作为网络节点的车辆运动速度快,从而导致的网络拓扑变化快,网络节点间传输链路寿命短,加上所基于的无线信道属于开放的有损介质,存在多普勒多径衰落等现象,这些因素都难以保证VANET网络中信息传输的可靠性,若是为了保证端到端数据传输的可靠性,通过传统的在信源节点及信宿节点的对等端之间进行滑动窗口等差错控制的方式保证数据可靠性的同时,由于引入定时重传等机制必然会引发数据传输过程中的实时性不能得以保证,另外处于自组织管理模式下的车辆节点在数据发送时能否保证其数据发送方面的相对公平性也是在信息传输协议研究时需要考虑的一个重要因素。

将增强VANET网络传输可靠性、实时性、公平性所需要考虑的多方面因素放置在VANET网络体系结构模型的不同层次予以解决,从VANET网络体系结构的角度对VANET网络可靠传输协议进行研究有利于从宏观上对需要解决的问题进行把握。

结合车辆速度、道路形状等信息来预测VANET网络的拓扑变化情况,并利用VANET网络拓扑特点,设计适用于不同交通通信场景的网络协议,以实现数据的可靠、高效、快速的传输协议从理论^[16]上来看是可行的,同时如何适应网络拓扑快速变化的可缩放性也是有待解决的一个开放课题^[17]。在网络体系结构研究的基础上,我们把适应网络拓扑快速变化的可靠传输协议的研究分解为对应于3个层次的子问题来研究,如下文所述。

3.1 移动性模型

第一个子问题是VANET网络拓扑连通性问题。VANET网络中节点的动态性导致的VANET网络拓扑的连通性问题是一个开放问题,在某些假设条件下也可建模成一

个NP-hard问题,这个领域还比较新,目前国外文献中相关研究还不多^[18-19]。在VANET网络中,节点的移动性模型与网络连通性模型指的是同一个模型概念。

3.2 路由算法

第二个子问题是在VANET网络连通性研究的基础上,如何设计适用于不同交通场景(比如高速公路交通场景)的数据传输协议,以实现数据的可靠、高效、快速的传输。由于车辆高速运动的动态特性,在VANET的网络节点中维护路由表是非常困难的,传统的路由协议OSPF、RIP显然不适合VANET网络。目前国内外研究团队针对VANET网络路由协议的研究已经有了一定的深度,目前大致分为4类:

(1) 基于网络拓扑的路由协议的研究。VANET网络路由协议的部分研究者认为VANET是MANET在智能交通领域中的应用,也具备MANET自组织、节点动态性、短距离通信等特点,因此直接将MANET网络中成熟的基于网络拓扑的AODV、DSR、OLSR协议经过改进后应用于VANET网络^[20-22],但是由于网络节点的高速动态性,端到端的路径会经常断裂,并且路径通常是在数据传输完之前断裂,论文中的实验效果并没有考虑到这一假设,所以其实际效果并不好。

(2) 基于节点相对位置的路由协议的研究。其主要思想是通过获得源节点、相邻节点以及目标节点的相对位置信息来确定通信路径。研究思路同样是利用MANET网络中典型的基于相对位置的GPSR协议经过改进后并应用于VANET网络^[23],其确定路径的算法使用的是贪婪模式,相对过高的时延不适合传输紧急数据,信息传递时按照右手规则向前以直线的路径逐段传递到目标节点,当将数据传输给相对位置在后面或者相对位置在前面一定范围的车辆时,对于在弯道处的车辆就不能收到该信息。

(3) 基于 GPS 系统及电子地图的路由协议的研究。在 VANET 中, 实际的场景是节点限制在道路上双向移动。因此, 借助于电子交通地图、交通模型、车载导航系统 GPS 或北斗卫星导航系统等, 设计出的 VANET 路由协议是比较有前景的研究方向^[24-25]。但是, 依靠节点集、道路集、弯道限制集以及电子地图的全局拓扑信息确定路由算法本身的复杂度, 比如计算开销与延迟等, 将是一个难以突破的难点。

(4) 基于分簇的路由协议的研究。这部分路由协议的研究思路同样源于 MANET 分簇路由协议的改进研究^[26], 基于分簇的层次结构能够减少路由维护的代价, 但在簇的形成过程中, 如何有效地适应网络连通性的变化特征始终是分簇 VANET 路由协议设计面临的挑战。加拿大维多利亚大学的 Pan Jianping 团队将分簇与信息分层网络编码相结合^[27], 在信息传输的可靠性及实时性保证方面取得了一定的成果。

在研究 VANET 网络可靠传输协议时需要充分考虑网络连通性。车辆是高速移动的, 车辆密度超过一定阈值, 某一路段的 VANET 网络是连通的, 而车辆密度低于一定阈值时, 则是非连通的, VANET 网络在连通状态与非连通状态下不断切换, 其时间粒度是以分钟为单位的, 在这种情形下, 可以考虑利用网络连通状态以及节点位置预判信息对路由协议进行研究。

3.3 拥塞控制

第三个子问题是 VANET 网络数据传输的过程中, 若发生网络拥塞, 如何保证紧急数据的传输可靠性, 而丢弃非紧急数据。在这种情况下, 如何保证紧急数据在传输过程中的实时性和可靠性, 而基于 TCP/IP 协议簇的拥塞控制机制显然不适合 VANET 网络, 因为其数据是没有紧急与非紧急的区分的。缺乏拥塞控制的传输协议可能会极大地影响数据传输的可达性及延时的可预期性。

3.4 国内研究现状评述

国内在 VANET 网络技术领域的研究还处在早期阶段, 比如在国内有代表性的《通信学报》、《电子学报》、《软件学报》、《计算机学报》和《计算机研究与发展》等一级期刊的正刊上, 到目前为止针对 VANET 网络的所有研究论文仅有 7 篇^[19,28-33], 其中有 3 篇属于介绍国外最新研究成果的综述类文章, 包括: 清华大学课题组在参考文献^[30]中, 介绍了 VANET 网络的发展现状及应用领域; 武汉大学课题组^[28]针对 VANET 网络的传输控制协议对国内外的研究成果进行分析和比较; 重庆大学课题组^[31]则是对 VANET 网络信息广播方面的技术及发展方向进行了综述。其它 4 篇文章所反映的国内在 VANET 网络研究领域的成果分别是: 武汉大学课题组^[29]从数据包差错序列的角度研究了 VANET 网络物理层无线信道的差错特性; 武汉大学另一课题组^[19]对 VANET 网络的全网连通性进行了研究, 提

出了一种用于高速公路场景中 VANET 网络不存在孤立节点的概率分析算法, 并明确给出了确保网络中不存在孤立节点的节点间通信距离的阈值; 中国科学院计算所课题组^[33]借鉴 P2P 网络的思想利用 VANET 网络节点进行协助数据下载, 提出一种基于动态时槽的车联网协助传输数据的方法; 在 VANET 通信路由研究方面, 湖南大学课题组^[32]利用基于可变网络编码的路由方式, 即根据网络拓扑状态, 由信源车辆节点指导转发节点的信息网络编码方式, 最大程度确保信息传输的网络服务质量; 吉林大学的课题组在 VANET 网络安全方面做出了一定的有深度的研究。

在智能交通领域, 从 2010 年底提出了车联网的概念, 其本质也是车用自组网。目前国内对 VANET 术语的中文翻译包括: 车载自组网, 车用自组网, 车联网等, 目前尚未达成一致, 属于技术发展的早期。

4 VANET 网络传输协议研究的几个切入点及相关探讨

目前在车用自组网研究领域存在的主要问题有: ①节点移动性导致的 VANET 网络连通性问题是 NP-hard 问题, 由于 VANET 研究领域较新, 尚缺乏有效的建模, 而网络连通性是数据传输协议研究的基石; ②缺乏有效的同时保证数据传输可靠性及实时性的协议实现方法; ③在数据传输过程中, 对发生拥塞情形的考虑不足。

4.1 VANET 网络移动性模型的研究

鉴于网络节点的位置特征满足 $GI/D/\infty$ 的排队模型, 即车辆进入 VANET 网络服从泊松分布, 节点之间的相对距离服从指数分布, 以及车辆节点间的期望相遇时间服从指数分布, 当前多数研究者从排队模型入手对 VANET 网络的连通性开展研究。考虑到渗透理论在图论中对 1 维、2 维网图的连通性的研究^[34]已经取得不少成果, 可以考虑用渗透理论对 VANET 的网络连通性 (包括 1 维, 2 维) 及其连通度进行研究。渗流是以概率分析为基础对图的各种模型进行研究, 主要探讨的是各种模型的阈值问题。以高速公路交通场景的 VANET 网络为例, 车辆节点间的通信距离是存在限制的, 基于 802.11p 技术的节点临界通信半径 r 为 300 米, 假设某一路段长度为 L , 路段中有 n 个车辆节点, 则连通半径 rc 为 $L * (\log n) / n$, 若是连通半径 $rc < r$, 则可以保证 1 维 VANET 网络的连通。将 VANET 网络的连通性描述为渗流现象, 其中车辆节点的高速移动性规律对 VANET 网络连通性变化的影响将是难点。

4.2 路由协议的研究

在研究 VANET 网络可靠传输协议时必须充分考虑网络连通性, 以高速公路场景为例, 车辆是高速移动的, 当车辆密度超过一定阈值, 某一路段的 VANET 网络是连通的, 而当车辆密度低于一定阈值时, 则是非连通的, VANET 网络在连通状态与非连通状态的切换在以分钟为

单位的时间粒度里也是经常变化的,所以在对VANET网络节点进行分簇时,需要充分考虑网络连通性、维护开销、车辆运动轨迹、负载均衡等因素;在VANET网络分簇簇头的选取上,需要充分考虑簇头节点在拓扑中的位置、车辆行驶轨迹等信息以进行包括簇头的切换、车辆节点所属簇的切换等算法的设计研究。

在路由算法的设计中,还需引入簇间通信的最短时延及最短距离等指标,这里需要说明的是:引入簇间通信最短距离指标是车辆节点间利用数据链路层协议802.11p进行通信存在通信距离有效范围的限制,为了保证信息在通信过程中的连续性,需要对传输路径进行类似于3G网络中的软切换、更软切换的预判切换机制的修正。另外,在真实的VANET网络中,车辆节点具备较强的组移动特性,预判切换将充分考虑这个可能欠稳定的组移动特性的因素。引入簇间通信最短时延指标是因为一方面考虑所传信息的时效性,另一方面是因为当一个簇与另一个簇处于非连通状态时,负责信息转发的车辆节点需要暂存信息,等状态由非连通转成连通后继而进行转发,但暂存信息的时间是存在最短时间限制的,这个阈值的范围是需要研究的。该部分研究的关键之处在于针对车辆运动变化特征预判、网络连通性变化预判的基础上,完成基于分簇的可靠传输路由协议的设计。关于这里提到的暂存转发机制实际上在稀疏密度的MANET网络研究中已经有学者提出^[35]。

4.3 拥塞控制机制的研究

由于VANET网络的自组织特性,节点的拥塞控制机制必须由每一个节点自身来完成,缺乏拥塞控制的传输协议可能会极大地影响数据传输的可达性及延时的可预期性。将PSTN电信网中的控制与数据相分离的设计原则引入到VANET网络的拥塞控制中,提出一种有效的VANET网络拥塞控制算法,以保证紧急数据在传输过程中的实时性和可靠性。换一种说法,即是采用预留控制通道及数据通道的形式来保证紧急数据传输的可靠性,另外也结合传统TCP协议中调整信源节点数据发送速率的滑动窗口机制来进行协同拥塞控制。

另外,在无线通信环境下,拥塞控制的发生,不定是真的发生了拥塞,也有可能是无线信道的不可靠造成了重传计时器超时,此情形下的丢包行为将借鉴传统无线TCP拥塞控制算法进行研究。但如何判别此两类情形将是研究难点。

5 结束语

基于802.11p的车联网VANET网络是一项涉及道路交通、无线通信、自组织系统等多学科综合性研究课题,因其对行车便利性与安全性的改善,近愿景内将成为机动车的标准配备,市场与经济效益看好,该领域的研究正

成为业界备受关注的热点。本文通过分析VANET网络自组织、拓扑动态性、节点运动规律性等特点,在VANET网络体系结构通用模型的基础上,将增强VANET网络传输协议可靠性、实时性及公平性所需要考虑的多方面因素放置在VANET网络模型的不同层次予以解决;并以此分层为线索,对VANET网络传输协议研究的关键问题的当前研究进展进行了述评,给出了VANET网络传输协议研究的几个切入点,并做出了一定的讨论。该领域的突破性研究进展将有助于车联网VANET网络技术走向实用,具有很大的理论意义及应用前景。

参考文献:

- [1] Lochert C, Scheuermann B, Wewetzer C, et al. Data aggregation and roadside unit placement for a VANET traffic information system [C] //New York: Proceedings of the Fifth ACM International Workshop on Vehicular Inter-NETworking. ACM, 2008: 58-65.
- [2] Definition of vehicular ad-hoc network. [EB/OL]. [2013-01-07]. http://en.wikipedia.org/wiki/Vehicular_ad-hoc_network.
- [3] Toor Y, Muhlethaler P, Laouiti A. Vehicle ad hoc networks: Applications and related technical issues [J]. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2008, 10 (3): 74-88.
- [4] ITS AMERICA [EB/OL]. [2013-01-07]. <http://www.itsa.org/files/pdf/ITSAEconStimPelosi.pdf>.
- [5] Meghanathan N, Skelton G. Risk notification message dissemination protocol for energy efficient broadcast in vehicular ad hoc networks [J]. IAENG International Journal of Computer Science, 2010, 37 (1): 1-10.
- [6] Bilstrup K, Uhlemann E, Strom E G, et al. Evaluation of the IEEE 802.11p MAC method for vehicle-to-vehicle communication [C] // IEEE 68th VTS Vehicular Technology Conference, 2008: 1-5.
- [7] P802.11p D11.0 [S]. IEEE Unapproved Draft Std, IEEE Draft Standard for Amendment to Standard [for] Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Networks-Specific Requirements-Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications-Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, 2010.
- [8] Ferreiro-Lage J A, Gestoso C P, Rubiños O, et al. Analysis of unicast routing protocols for VANETs [C] //Valencia, SPAIN: Fifth International Conference on Networking and Services. IEEE, 2009: 518-521.
- [9] Bi Y, Cai L, Shen X, et al. A cross layer broadcast protocol for multihop emergency message dissemination in inter-vehicle communication [C] //Cape Town, South Africa: IEEE International Conference on Communications. IEEE, 2010: 23-27.
- [10] IEEE 1609.1 [S]. IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Resource Manager, 2006.

- [11] IEEE 1609. 2 [S]. IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Security Services for Applications and Management Messages, 2006.
- [12] IEEE 1609. 3 [S]. IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Networking Services, 2007.
- [13] IEEE 1609. 4 [S]. IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Multi-channel Operation, 2006.
- [14] Jakubiak J, Koucheryavy Y. State of the art and research challenges for VANETs [C] //Las Vegas, NV USA: 5th IEEE Consumer Communications and Networking Conference. IEEE, 2008: 912-916.
- [15] Ye F, Roy S, Wang H. Efficient data dissemination in vehicular ad hoc networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2012, 30 (4): 769-779.
- [16] Yang Q, Lim A, Agrawal P. Connectivity aware routing in vehicular networks [C] //Las Vegas: IEEE Wireless Communications and Networking Conference. IEEE, 2008: 2218-2223.
- [17] Kosch T, Adler C J, Eichler S, et al. The scalability problem of vehicular ad hoc networks and how to solve it [J]. Wireless Communications, IEEE, 2006, 13 (5): 22-28.
- [18] Bako B, Weber M. Efficient information dissemination in VANETs [J]. Advances in Vehicular Networking Technologies, 2011.
- [19] XIONG Wei, LI Qingquan. Prerequisite to 1-connected vehicular ad hoc networks in highway scenarios [J]. Journal of Software, 2010, 21 (11): 2906-2919 (in Chinese). [熊炜, 李清泉. 高速公路场景中车用自组织网络 1-连通的必要条件 [J]. 软件学报, 2010, 21 (11): 2906-2919.]
- [20] Abedi O, Fathy M, Taghiloo J. Enhancing AODV routing protocol using mobility parameters in VANET [C] //Doha, Qatar: IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications. IEEE, 2008: 229-235.
- [21] El-Nahas A. SR-V: A direction-based stable routing protocol for VANETs [J]. Alexandria Engineering Journal, 2009, 48 (5): 561-568.
- [22] Laouiti A, Muhlethaler P, Sayah F, et al. Quantitative evaluation of the cost of routing protocol OLSR in a Vehicle Ad Hoc Network [C]. IEEE Vehicular Technology Conference. IEEE, 2008: 2986-2990.
- [23] Rao S A, Pai M, Boussedjra M, et al. GPSR-L: Greedy perimeter stateless routing with lifetime for VANETS [C] //IEEE 8th International Conference on ITS Telecommunications, 2008: 299-304.
- [24] Biswas S, Tatchikou R. Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44 (1): 28-29.
- [25] Ahammed F, Taheri J, Zomaya A, et al. VLOC12: Improving 2D location coordinates using distance measurements in GPS-equipped VANETs [C] //14th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. ACM, 2011: 317-322.
- [26] Maslekar N, Boussedjra M, Mouzna J, et al. A stable clustering algorithm for efficiency applications in VANETs [C] //7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference. IEEE, 2011: 1188-1193.
- [27] Zhuang Y, Pan J, Luo Y, et al. Time and location-critical emergency message dissemination for vehicular ad-hoc networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2011, 29 (1): 187-196.
- [28] CHEN Lijia, JIANG Hao, WU Jing, et al. Research on transmission control on vehicle ad-hoc network [J]. Journal of Software, 2007, 18 (6): 1477-1490 (in Chinese). [陈立家, 江昊, 吴静, 等. 车用自组织网络传输控制研究 [J]. 软件学报, 2007, 18 (6): 1477-1490.]
- [29] YANG Lintao, JIANG Hao, GUO Chengcheng, et al. A Markov-based packet-level error model for VANET and predicting [J]. Acta Electronica Sinica, 2009 (10): 2333-2337 (in Chinese). [杨林涛, 江昊, 郭成城, 等. 基于 Markov 链 Packet-Level 的 VANET 差错预测模型及性能预估 [J]. 电子学报, 2009 (10): 2333-2337.]
- [30] CHANG Cuyu, XIANG Yong, SHI Meilin. Development and status of vehicular ad hoc networks [J]. Journal on Communications, 2007, 28 (11): 116-126 (in Chinese). [常促宇, 向勇, 史美林. 车载自组网的现状与发展 [J]. 通信学报, 2007, 28 (11): 116-126.]
- [31] LI Lijun, LIU Hongfei, YANG Zuyuan, et al. Broadcasting methods in vehicular ad hoc networks [J]. Journal of Software, 2010, 21 (7): 1620-1634 (in Chinese). [李丽君, 刘鸿飞, 杨祖元, 等. 车用自组网信息广播 [J]. 软件学报, 2010, 21 (7): 1620-1634.]
- [32] LUO Juan, XIAO Yi, LU Zhen, et al. Network-coding based multicast routing in VANET [J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48 (9): 1616-1622 (in Chinese). [罗娟, 肖仪, 卢真, 等. 基于网络编码的多播车载网路由算法研究 [J]. 计算机研究与发展, 2011, 48 (9): 1616-1622.]
- [33] LIU Jianhang, SUN Jiangming, BI Jingping, et al. VANET cooperative downloading approach study based on dynamic slot [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34 (8): 1378-1386 (in Chinese). [刘建航, 孙江明, 毕经平, 等. 基于动态时槽的车联网协助下载方法研究 [J]. 计算机学报, 2011, 34 (8): 1378-1386.]
- [34] Kurrer C, Schulten K. Dependence of percolation thresholds on lattice connectivity [J]. Physical Review E, 1993, 48 (1): 614-617.
- [35] Zhao Jing, Cao Guohong. VADD: Vehicle 2 assisted data delivery in vehicular Ad Hoc networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57 (3): 1910-1922.