



# 北京航空航天大学

## 研究生创新实践基金项目

### 总结报告

项目名称 基于车联网的 WSMP 协议设计与实现

项目负责人 段续庭

所在院系 交通科学与工程学院

联系电话 15201126945

电子信箱 xavierduan@dae.buaa.edu.cn

申报基地 先进计算机网络技术研究生创新实验基地

填表日期 2012年10月7日

北京航空航天大学研究生创新实践基金管理委员会制

二〇〇 年 月 日

---

## 一、课题背景

“物联网”的概念最早由麻省理工学院 (MIT) 提出, 比尔·盖茨也早在 1995 年, 于其著作《未来之路》中提出物联网的概念, 但由于当时无线网络, 硬件传感器设备发展条件限制, 并没有引起重视。后来随着科技不断进步, 技术发展日新月异, 国际上互联网、通信网发展到一个更高的层次, 2005 年, 在突尼斯举行的信息社会世界峰会上, 国际电信联盟正式提出物联网的概念。随着 IBM “智慧地球”概念的提出, 物联网迅速升级为各国重大战略。大多学者把 2009 年作为我国物联网发展元年, 自此国内高校、科研院所、企事业单位积极开展物联网的研究, 国务院总理温家宝于 2010 年两会, 首次在政府工作报告中提及物联网, 国务院、发改委、工信部、科技部等部门出台相关产业扶持政策, 来促进我国物联网产业的快速发展。

车联网是物联网技术应用于智能交通领域的集中体现, 也是物联网产业中辐射面最大, 推动行业信息化和生产方式变革动力最强的应用。“十二五”期间, 车联网已被列为我国重大专项第三项, 定位为物联网产业化的先头兵, 车联网的出现是有望彻底解决、变革目前存在的一些交通难题。

车路协同是车联网发展的高级阶段。车路协同系统旨在通过智能车载系统之间、智能车载系统与智能路侧系统的双向、实时与高效的信息交互。在为交通参与者提供全时空的信息的同时, 实现人-车-路的充分协同, 以提升道路交通系统的安全和效率, 还可为出行者提供信息娱乐服务, 进一步改善出行环境和改进出行舒适度。

DSRC (Dedicated Short Range Communications) 技术用于智能交通, 有政府分配的专用频段 (如美国联邦通信委员会 5.850~5.925 GHz)。用于 DSRC 技术的频率资源共有 75 MHz, 划分成 7 个信道。中间的信道用于控制信道, 发送广播消息或者控制信令; 第一个信道分别用于碰撞避免、车间通信等; 最后一个信道用于长距离、大功率的通信; 剩下的 4 个信道都是服务信道。车载通信协议 DSRC 的发展为车载环境下的无线通信提供了依据。鉴于目前国际 DSRC 标准发展趋势和国内车联网系统应用现状, 我国将 5.8 GHz 频段分配给智能交通运输系统的短程通信。

本项目出发点是针对车路协同环境下, 车车/车路之间的无线通信网络协议

---

栈进行设计研究。传统的 WIFI 模式下 802.11n 的 TCP/IP 无线通信方式难以适应高速、拓扑结构不断变化的网络结构。本项目立足于建立可靠、高效的车路、车车无线网络，设计实现基于 IEEE1609 DSRC/WAVE (Wireless Access in Vehicle Environment) 的 WSMP (WAVE Short Message Protocol) 广播协议。

## 二、国内外研究现状分析

车联网通信手段主要有 DSRC、WiFi、蜂窝网络、WiMax 等技术，其中 DSRC 短程通信在延时、移动性、通信距离方面有着无可替代的优势，因此更加适合车联网网络环境，国内外大多研究车联网项目，均基于 DSRC 设计网络环境。美国麻省理工学院 Mythili Vutukuru, Hari Balakrishnan, Kyle Jamieson 研发了基于车路通信的 Carbernet 网络协议栈，开发了 QuickWifi 客户端降低车载环境下，用户与 WiFi 接入点的连接时间；开发了传输层协议 CTP，吞吐量较 TCP 增加近两倍<sup>[1]</sup>；Jakob Eriksson, Hari Balakrishnan, Samuel Madden 提出一种基于传输误码率、信噪比自反馈的传输率选择协议栈 SoftRate，较传统协议栈提高吞吐量四倍<sup>[2]</sup>。Alejandro Cornejo, Calvin Newport 对交通事件进行重要程度分类，并提出一种根据事件重要程度提供不同优先级传播的算法，保证车辆网络的合理利用<sup>[3]</sup>。俄亥俄州立大学 Boangoat Jarupan, Eylem Ekici 提出一种基于车辆位置延迟感知网络协议栈 PROMPT，根据延迟选择数据传输路径，并采用 NS-2 仿真 PROMPT 协议栈性能<sup>[4]</sup>。密歇根大学迪尔拜分校 Xiang W, Richardson P, Guo J 开发了基于现场可编程门阵列 (FPGA) 的 WAVE 模型样机和集成地理信息、车道模型、信号格式和网络协议的车载网络仿真软件<sup>[5]</sup>。伊利诺伊大学厄本那香槟分校 Xue Yang, Nitin H. Vaidya 与微软研究院 Jie Liu, Feng Zhao 提出了一种车车协同的通信协议，可是让车辆自组织网络更好的完成车辆冲突预警<sup>[6]</sup>。博伊西大学 Barsha Shrestha 等人基于 Bit Torrent 理念，把路侧设备当作数据传输节点，提出路侧单元协同为移动车辆提供信息的方法，如果 BT 传输方式一样；基于博弈论，提出一种车车之间信息交互方法<sup>[7]</sup>。加拿大舍布鲁克大学 Balkrishna Sharma Gukhool, Soumaya Cherkaoui 基于 NS-2 仿真了 802.11p 在车路、车车环境下的通信性能，并得到 802.11p 更适合车路环境的结论<sup>[8]</sup>。瑞典布京理工学院 Mohammadreza Khaksari 等人基于 GCDC 赛事协议栈，进行了上层 ASN.1 编码研究，研究结果表明 PER 方式可有效减小数据包<sup>[9]</sup>。

---

国内清华大学开展了公路微功率小区覆盖通信技术的研究,建立了公路微功率小区覆盖通信平台系统,构建了一个沿公路部署的车路通信系统,实现了路侧设备与车载系统的无线信息交互。吉林大学研究基于 IPv6 的智能交通信息采集与处理方法<sup>[10]</sup>、车辆监控终端<sup>[11]</sup>,研究基于 GSM 和 GPS 融合的高速公路监控系统的无线通信组网方式<sup>[12]</sup>,研究基于车间无线网络通讯技术的汽车安全辅助驾驶系统等<sup>[13]</sup>。北京交通大学基于 802.11 无线技术和 TCP/IP 协议的城市轨道交通车地通信的研发测试工作,研发了用于城市轨道交通的车地通信网络系统。上海交通大学搭建了车联网货物运输系统,基于 Zigbee 建立针对灾区环境的货物交接与卸载仿真演示平台。提出一种基于 MAC 层连接能力调整网络层路由的协议栈 OC-MAC<sup>[14]</sup>,并搭建了车路测试仿真环境。北京航空航天大学成立了车路协同与安全控制北京市重点实验室,搭建了车路协同系统实验平台、车车协同控制仿真测试平台、智能车辆综合测试平台,并且基于 Zigbee 技术,研发了车车通信仿真测试模拟系统,实现多车之间的车距保持、跟车和互超车等协同控制<sup>[15]</sup>。同济大学实现了车路协调系统的基本功能,包括车辆与行人位置、速度、驾驶行为等信息的实时提取与存储,基于车载设备的实时信息处理与发布。搭建了道路交叉口车路协调实验系统网络环境,基于 WAVE 的车路协同实验系统平台。设计了车路通讯子系统,进行车路无线通信试验,并开展基于 802.11p 网络环境仿真研究<sup>[16]</sup>。华东师范大学王能,唐波等人基于 ASN.1 编码进行研究,结果表明 PER 方式可有效减小数据包<sup>[17]</sup>。

### 三、研究内容和预期进展

研究计划具体包括: IEEE1609.3/WSMP 协议栈结构模型优化设计、WAVE 架构分析、参数设计,信道协调及 MAC 子层管理设计,协调 WAVE 控制信道与服务信道工作模式, WAVE 资源管理与信息交互引导, WSM (WAVE Short Message) 短消息服务,最后还要进行车路协同验证实验设计和车路协同功能综合集成验证。

#### 1、车路通信协议栈总体设计

在车路协同系统设计框架下,具体参考 IEEE 1609 DSRC/WAVE 协议簇,制定适用车路环境的通讯技术,并设计硬件设备构成,研究协议栈的框架。

---

### (1) 硬件设备构成

需求分析：硬件设备包含无线通信网卡、网卡转接卡、天线三部分。

目前根据前期文献阅读，对该领域知识的总结归纳，提出拟采用方案：

- ◆ 无线通信网卡：支持 802.11p 物理层，工作频率位于 5.9GHz，插槽接口为 miniPCI/PCI，天线接口为 MMCX；
- ◆ 转接卡：miniPCI 转 PCI/PCMCIA 转接卡
- ◆ 天线：高功率 MMCX 接口，增益 6db~9db 全向天线。

### (2) 通信协议栈框架研究

- ◆ 物理层：专门为移动车辆通信环境定制的 IEEE802.11p 标准。
- ◆ MAC 层：专门为移动车辆通信环境定制的 IEEE802.11p 标准，以及定义信道协调合作的 IEEE1609.4 标准。
- ◆ 传输层：主要研究基于 WSMP 的传输服务 IEEE1609.3 标准，而对于消息安全加密功能 IEEE1609.2 标准，涉及密码学、网络安全等领域，本论文不做研究。
- ◆ 应用层：提供信道管理、底层控制功能的 IEEE1609.1 标准。

## 2、车路通信协议栈开发

具体参考 IEEE 1609 DSRC/WAVE 协议簇，对硬件设备底层驱动，传输层开发，实现 WSMP 方式的信息传输，包含：提供上层函数接口；应用层实现底层的控制、WSMP 调用程序开发。整个过程在 Linux/Ubuntu 下使用 C 语言编程实现。

### (1) 驱动开发

根据 IEEE802.11p 标准，进行硬件设备底层驱动的开发，主要参考 ath5k 开源驱动程序。由于 ath5k 并未支持 802.11p，但适合其他 802.11 系列标准，所以需要对该驱动程序进行相应修改，以适应 802.11p 无线网卡的工作频率、信道带宽、传输距离等技术指标。

### (2) 传输层开发

根据 IEEE1609.3 标准，即 WSMP 协议，制定相应的设计思路，建立基于非 IP 的传输方式，并为应用层提供函数接口。

### (3) 应用层程序开发

根据 IEEE1609.1 标准，借助开源程序信道管理工具 iw，开发上层信道管理界面，使得操作更加人性化。

开发 WSMP 调用程序，使用 WSMP 方式传递数据，实现快速的信息交互。

### 3、车路通信协议的测试与验证

对 WSMP 协议提供的快速接入服务进行验证。

研究阶段	研究计划	预期进展
2011.9-2011.10	<b>基本准备设计阶段</b> 项目立项、答辩、安排人员分工负责等，以及 IEEE 1609 DSRC/WAVE 协议簇分析阶段。	完成 802.11p、IEEE1609 协议簇的英文草案阅读整理。
2011.11-2011.12	<b>通信协议标准研究阶段</b> 确定网络协议栈模型，物理层调制参数设置、信道带宽以及 MAC 层多信道协调、纠错避让机制，传输层的安全与管理机制。	完成物理层 OFDM 调制参数修改，实现 5.850-5.925GHz 的 7 频道划分与信道带宽设置，分析并设计如何实现 IEEE1609.4 多信道协作，IEEE1609.2 WAVE 安全服务与 IEEE1609.1 WAVE 管理机制。
2012.1-2012.6	<b>协议优化与硬件实现阶段</b> 基于 MAC 层多信道协同控制机制，完善物理层信道工作模式，实现硬件驱动开发，完成协议软硬件集成，为车联网提供数据通信平台。	完善通信协议整体设计，攻克 IEEE1609.3 WSMP 广播协议设计，实现底层驱动与硬件设备的兼容与匹配，完成基于 WSMP 广播协议的软硬件集成。
2012.7-2012.8	<b>原型验证调试阶段</b>	完成系统集成验证，提供

	在校园内进行平台性能验证，包括传输距离、传输率、丢包率、连接速度等并对存在的问题进行相应调整与完善。	车路协同网络实验平台。
2012.9-2012.10	<b>成果整理阶段</b> 全部文档的写作及提交，撰写结题工作报告，技术报告和财务报告。	完成项目评审材料

## 四、项目完成情况

自课题实施以来，本团队各项工作以任务书为依据，按部就班进行。目前，已完成项目要求各项任务，包括 802.11p 芯片驱动开发，CALMFAST 协议栈开发，车载终端样机的开发，应用层对物理层的控制功能，操作可视化界面，并对协议栈通信性能进行了实车测试与验证，提出一种可以有效提高无线网络利用效率的消息传输方法，优化了基于 802.11p 的无线网络承载能力。

### 1、各项任务具体实现内容

(1) 实现了 802.11p 驱动开发

5.850~5.925GHz 通信频率的使用

完全使用 HalfRate 信道模式（10MHz）

(2) 实现了基于 802.11p 的 CALMFAST/Non-IP 通信方式

传统通信协议下点对点 and 广播式通信

Non-IP 通信协议下点对点 and 广播式通信

(3) 开发了车载终端样机

基于 OpenWrt 开源系统，在开发板上实现了协议栈各项功能

(4) 实现了应用层对底层的直接控制

快速建立 Ad-hoc 网络连接

调整通信频段、信道、传输速率、信标间隔等

(5) 对通信协议性能进行了实车测试

测试了 802.11a/p 的最远通信距离，并在两车动态行驶情况下，测试了距离

和车速对基于 Non-IP 组网速度和通信协议延迟的影响，并在静态情况下，对比了传统和 Non-IP 通信方式下通信延迟。

(6) 提出一种基于“汉洛塔”最优解的无线网络消息发布方法

以下为搭建的通信实验平台各项示意图：

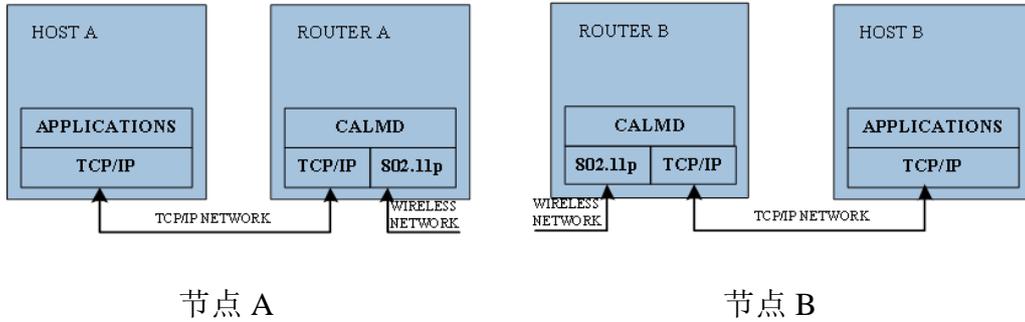


图 1 CalmFast 网络通信原理示意图

图 1 为 CalmFast 通信示意图，节点 A 与节点 B 表示两辆不同的车辆，每个节点包含 HOST、ROUTER 端各一，HOST 负责处理数据，通过 TCP/IP 传递数据到 ROUTER，ROUTER 发送数据到其他节点。

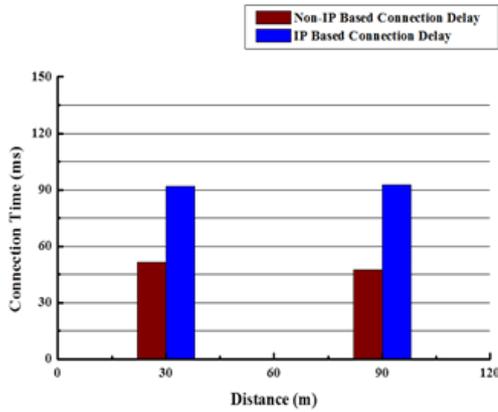


图 2 通信平台组成单元描述



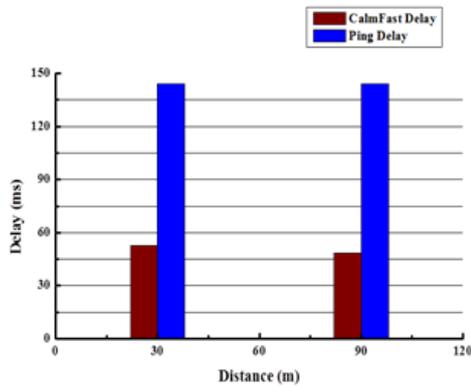
图 3 是对本课题的一个延伸，开发独立的车载通信终端，实现协议栈各项功能，图 4 是实车通信性能测试过程的流程图，在建立的网络后，分别测试了距离、车速等因素对 IP 或 Non-IP 方式通信性能的影响。

## 实验结果图分析



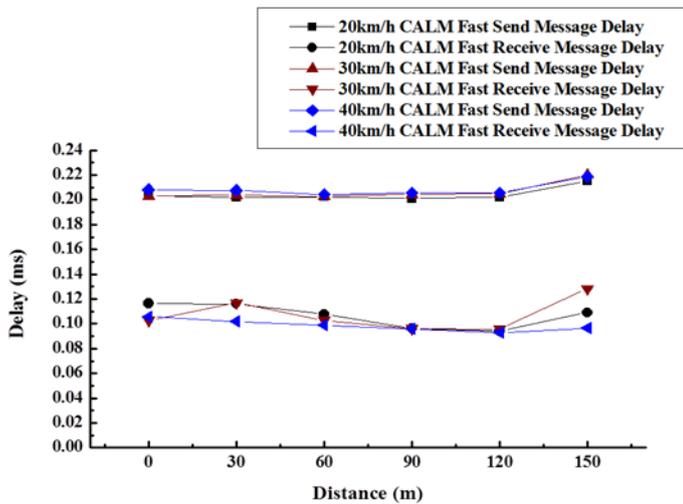
Connection time vs. Distance

在静态下，分别测试了车距为30米、90米时，非IP方式和IP方式网络建立时间。



Communication Delay vs. Distance

在静态下，分别测试了车距为30米、90米时，CALMFast和ICMP协议网络建立+成功发送一次消息时间。



Delay vs. Distance and Speed

在动态下，分别测试了车速为20、30、40，车距为0、30、60、90、120、150米时，CALMFast协议消息发送和消息接收时间。

图 5 实车实验结果分析图

图 5 对实车实验得到数据进行了分析，得到了距离、车速对通信延迟几乎不影响结论，证实了基于 802.11p 的 CalmFast 协议栈更适合车路、车车通信。

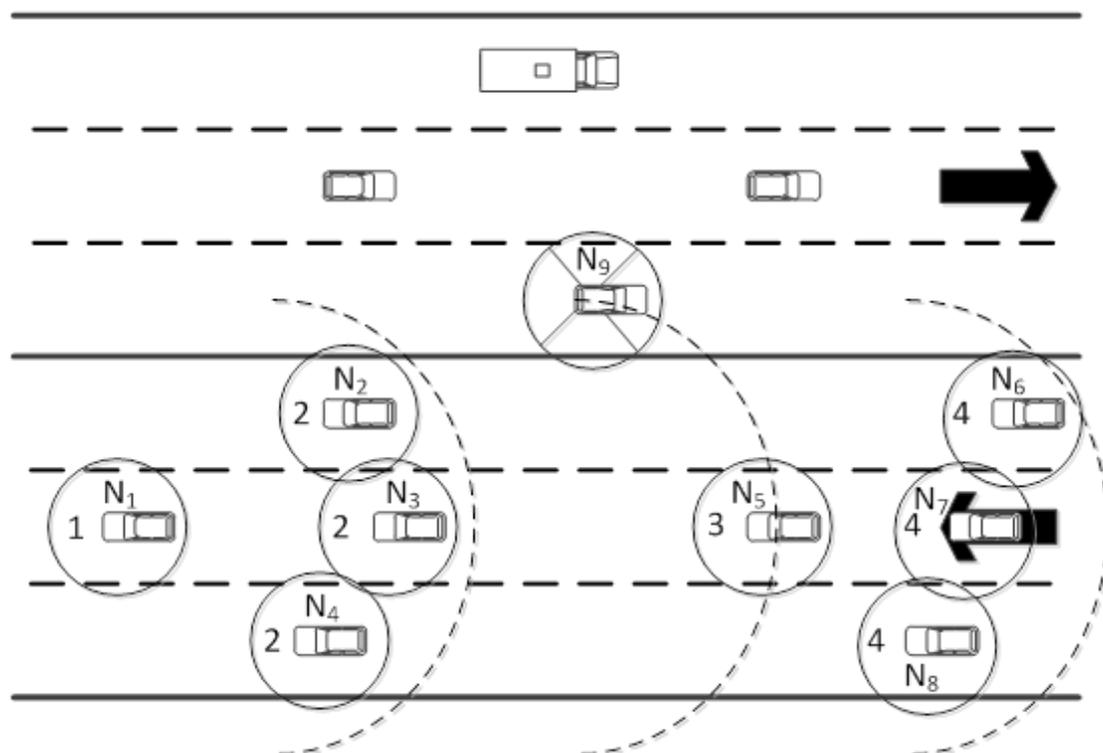


图 6 高速路网无线网络性能优化

图 6 为基于特殊传输序列的高速路网信息发布过程图，与传统的广播方法相比较，在保证信息量不减少的同时，可以有效地提高无线网络利用效率，降低无线网络中的冗余信息量，缓解海量数据和无线网络承载能力不足共同引发的网络恶化问题，减少了无线设备不断增加，无线数据海量存在，无线信道竞争严重等一系列问题对无线网络质量下降造成的影响

## 2、实验结果分析图

- (1) 测试了 802.11a/p 最远通信距离：16m vs 大于 200 米；
- (2) 测试了基于 Non-IP 创建 Ad-hoc 网络时间：51.7ms；
- (3) 测试了基于 IP 创建 Ad-hoc 网络时间：91.8ms；
- (4) 测试了 CALMFAST 协议，创建网络+成功发送一次消息时间：52.5ms；
- (5) 测试了 ICMP 协议，创建网络+成功发送一次消息时间：144.0ms；
- (6) 测试了车速、距离对 CALMFAST 协议创建网络+成功发送一次消息时间的影响：在通信范围内，几乎没有影响。

---

## 五、发表的论文，申请的专利

- 1.Yunpeng Wang, Xuting Duan, Daxin Tian,Hao Luo,Guangquan Lu,Guizhen Yu. An On-board Information Transmission Unit Based on the CALM.CICTP 2012 (已发表)
- 2.国家发明专利,《基于车路协同的高速公路无线网络消息传输方法及其装置》  
(已受理)

---

## 参考文献

- [1]Jakob Eriksson, Hari Balakrishnan, Sam Madden. Cabernet: vehicular content delivery using WiFi[A]. MobiCom'08 Proceedings of the 14<sup>th</sup> ACM international conference on Mobile computing and networking[C]. San Francisco, CA, USA,2008:199-210
- [2]Mythili Vutukuru, Hari Balakrishnan, Kyle Jamieson. Cross-Layer Wireless Bit Rate Adaptation[A]. Proceedings of the ACM SIGCOMM 2009 conference on Data communication[C]. Barcelona, Spain, 2009:3-14
- [3]Alejandro Cornejo, Calvin Newport. Prioritized Gossip in Vehicular Networks[A]. Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Workshop on Foundations of Mobile Computing[C], Cambridge MA, USA, 2010:53-62
- [4]Boangoat Jarupan, Eylem Ekici. PROMPT: A cross-layer position-based communication protocol for delay-aware vehicular access networks. Ad Hoc Networks, 2010,V8(5): 489-505
- [5]向卫东 .A WAVE Prototype Based on the IEEE802.11p Standard [J].ZTE Technology Journal, V17 (3), 2011:12-15
- [6]Xue Yang, Jie Liu, Feng Zhao, et al. A Vehicle-to-Vehicle Communication Protocol for Cooperative Collision Warning [A].Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services[C].IEEE Computer Society, 2004:114-123
- [7]Barsha Shrestha. Wireless Access in Vehicle Environments Using Bit Torrent and Bargaining[D]. Boise: Boise State University, 2008
- [8]Balkrishna Sharma Gukhool, Soumaya Cherkaoui. IEEE 802.11p modeling in NS-2[A].Local Computer Networks[C]. Montreal,Que:IEEE, 2008:622-626
- [9]Mohammadreza Khaksari. Analysis of Communication Architecture of GCDC 2011[D]. Karlskrona: Bleknige Institute of Technology, 2011
- [10]刘昕, 王殿海.Information Collection and Processing Method for Intelligent Traffic System Based on IPv6[D].吉林:吉林大学,2011
- [11]刘培新, 魏达.Design and Implementation of Vehicle Monitoring Terminal Based on IPv6[D].吉林:吉林大学,2009

- 
- [12]李敏珊,李世武.Research of a Vehicle Monitoring System for Expressway Based on GPS/GPRS[D].吉林:吉林大学,2009
- [13]靳玉,金立生.Study on Safety Driving Assistant System Based on Vehicles wireless Network Communication Technology[D].吉林:吉林大学,2008
- [14]Liang Zhou, Baoyu Zheng, Benoit Geller, et al. Cross-layer rate control, medium access control and routing design in cooperative VANET[J]. Computer Communications , 2008, V31(12): 2870- 2882
- [15]袁丁,丁能根. Cooperative Control of Multi-Vehicles for Intelligent Small-Scale Car[D].北京:北京航空航天大学,2011
- [16]黄罗毅,吴志周,杨晓光等. 基于仿真的 IEEE802.11p 在车路协同中的适应性研究[J]. 交通信息与安全,2011, V29(3):123-126
- [17]唐波,王能.DSRC 协议 ASN.1 模块的设计与实现[J]. 计算机应用, 2008, V28(6):1490-1493