

车路互联网的底层协议 - 802.11p 标准

802.11p Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems

罗志锋,徐洪刚,何山(重庆邮电大学,重庆 400065)

Luo Zhi-feng, Xu Hong-gang, He Shan (Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)

摘要 详细地描述了车路互联网系统的底层协议 - 802.11p 标准。将 802.11p 与传统无线局域网技术进行对比,分析了 802.11p 在媒体接入控制层(MAC)与物理层(PHY)所做的修改,并从物理层参数、PPDU 帧结构,以及接入优先级等多方面指出了 802.11p 能在高速移动环境下建立稳定通信链路的原因。其次,还对 802.11p 所采用的频段、信道、发射功率以及频谱掩模进行分析,最后提出了 802.11p 在仿真方面所面临的挑战,并且在 Simulink 上建立了一套动态仿真系统,对标准进行仿真验证。

关键词 智能交通;无线局域网;802.11p;车路互联网;物理层;数据链路层;Simulink

中图分类号 P393

文献标识码 A

文章编号 1003-0107(2011)11-0045-06

Abstract: Detailed description the Roadside and Vehicle System's underlying protocol-802.11p standard. Compared 802.11p with the traditional wireless LAN technology, analysis the media access control layer(MAC) and physical layer(PHY) modifying in 802.11p standard, point out which the 802.11p can be used between moving vehicles from Physical layer parameters, PPDU frame structure and priority access. And then analyzes the frequency, channel, transmitting power and the spectrum mask adopted in 802.11p standard; And also puts forward the challenges that standard is faced with in simulation and establishes a set of dynamic simulation system to test the standard in simulated situation.

Key words: ITS (Intelligent Transport System); Wireless LAN; 802.11p; Roadside and Vehicle Systems; PHY; MAC(Media Access Control); Simulink

CLC number: P393

Document code: A

Article ID: 1003-0107(2011)11-0045-06

0 概述

近年来,为解决交通安全与城市拥堵问题而产生的车路互联网系统越来越受到人们的关注。车路互联网系统通过车与车和车与路边单元之间进行通信,可为车辆广播路面信息,提供自适应导航等,这保障了车辆行驶的安全性。此外,还可以实现高速公路的不停车收费,城市道路多车道自由流等功能,可极大地提高交通运输效率^[1]。车路互联网是无线局域网技术在新领域的扩展,系统采用 802.11p 作为底层协议来保证通信的可靠性。802.11p 是从 802.11a 协议修改而来的标准,以支持高速移动环境中车与车、车与路边单元进行通信。

目前,国外对 802.11p 的研究已取得了很大的进展,提出了好几类草案标准^[2-4];其中,美国在 2010 年 7 月正式颁布了 IEEE802.11p 标准^[5]。美国是最早研究车路互联网系统的国家,也是最早颁布 802.11p 标准的国家。美国的 IEEE802.11p 标准是从 ASTM E2213-03^[6]修改而来,使得 802.11p 能支持更高的数据速率和更大的传输范围。欧

洲在 802.11p 标准的制定方面也取得了一定的成果。欧洲于 1994 年由 CEN/TC278 组织开始了 DSRC 标准的起草,1997 年 "5.8GHz DSRC 物理层与数据链路层" 标准获得通过。目前,由 C2C-CC 组织来制定 DSRC 标准,欧洲标准的大部分皆是参考美国的 IEEE802.11p 再修改成适用于欧洲的版本^[7]。除欧美等发达国家外,日本从 2006 年起,车辆通信系统专家组(VCSEG)也开始研究底层的通信规范和改进协议标准以适应新的车路互联网系统,并启动一系列无线通信项目。目前,日本使用的是 700MHz 带宽标准^[8]。

1 802.11p 与传统无线局域网之间的异同

无线局域网主要用于解决办公室局域网和校园网中,用户与用户终端的无线接入问题;其业务主要限于数据存取,最早颁布的标准是 IEEE 协会 1997 年发布的 802.11 标准^[9]。802.11 标准工作在 2.4GHz 频段处,最高数据速率只有 2Mbps。

为了提高无线局域网的传输速率,1999 年 IEEE 工作小组颁布了 802.11a 标准。802.11a 标准采用与原始标准相同的核心协议,工作频段为 5GHz,采用 OFDM 机制作为物理层解决方案,可提供 6~54Mb/s 的数据传输速率,但 802.11a 标准只适用于室内的静态环境^[10]。

为了扩大无线局域网的应用范围,将其应用于高速移动环境下的车与车、车与路边单元之间进行通信,还需要对 802.11a 标准做许多改动。高速移动环境下的信道是动态时变的快衰落信道,信号的频率选择性衰落与多普勒频移以及多径传播都将对信号造成严重的干扰^[11]。此外,在高速移动环境下除了要提供传统的数据业务外,最主要的是要传送适时的安全与管理消息,以提高车辆运行的安全性,这些都是传统无线局域网技术无法满足要求的^[12]。为此,802.11p 对 802.11a 进行了修改,通过在 PHY 层上扩大数据帧的保护间隔,使得能容纳的均方根时延(RMS)更大,这样可以支持更高的移动速度,而在 MAC 层上可提供两种不同的无线信道,即用于传输高优先级安全信息的控制信道(CCH)和普通 IP 数据业务的服务信道(SCH),这完全适合于高速移动环境下的通信应用^[6]。

1.1 802.11p 的 PHY 层与传统无线局域网的异同

1.1.1 物理层参数

802.11p 标准中为了增强信号抗衰减的能力,将信号的带宽由 802.11a 的 20MHz 减为了 10MHz,这意味着所有参数在时域上是 802.11a 的两倍,如表 1 所示^[6]。

表 1 IEEE802.11a 与 IEEE802.11p 的主要参数对比

参数	IEEE802.11a	IEEE802.11p	改变
数据速率 /Mb·s ⁻¹	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27	一半
调制方式	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	不变
编码效率	1/2, 1/3, 1/4	1/2, 1/3, 1/4	不变
子载波数量	52	52	不变
OFDM 符号长度	4μs	8μs	两倍
保护间隔长度	800ns	1 600ns	两倍
训练序列长度	16μs	32μs	两倍
子载波间隔	312.5kHz	156.25kHz	一半
信道带宽	20MHz	10MHz	一半
纠错编码	K=7 的循环卷积编码	K=7 的循环卷积编码	不变

从表 1 可看出,相对于 IEEE802.11a,IEEE802.11p 改变了一个最重要的参数是长度为 1 600ns 的保护间隔(GI)。这一保护间隔使得 802.11p 可以容忍更大的均方根(RMS)时延扩展,这也就意味着这一选择方案可以用

于室外高速移动的车辆环境,以满足在车路互网系统中对无线局域网的要求。

其他的参数以保护间隔长度为基础进行定义。为了把保护间隔所占用的功率减小到 1dB,将 OFDM 符号长度定为 8μs,因此除去 GI 外,有效数据部分的长度为 6.4μs,进而可以得到子载波间隔为 1/6.4μs=156.25kHz,这是 802.11a 的一半,因此 802.11p 比 802.11a 对频偏更敏感。此外,标准中采用 52 个子载波,其中 48 个为数据子载波,用于传送数据信息;另外 4 个为导频子载波。导频子载波可用于接收机处理器在初始频率校正之后跟踪剩余的载波频率偏差,也可用于信道估计和采样频率的估计。

802.11p 的信道编码方式为约束长度为 7,编码效率为 1/2 的卷积编码(Convolutional Encoding),再通过对 1/2 编码方式进行删余(Puncturing)操作,可以获得码率为 2/3 和 3/4 的卷积编码。这些信道编码方式与 BPSK、QPSK、16QAM 和 64QAM 这 4 种调制方式一起可获得 3~27Mb/s 的编码数据速率。具体的调制方式与编码效率和数据速率的关系如表 2 所示^[13]。

表 2 调制方式、编码方式与数据速率的对应关系

数据速率 /Mb·s ⁻¹	调制方式	编码效率	编码比特 / 子载波	编码比特 / OFDM 符号	数据比特 / OFDM 符号
3	BPSK	1/2	1	48	24
4.5	BPSK	3/4	1	48	36
6	QPSK	1/2	2	96	48
9	QPSK	3/4	2	96	72
12	16-QAM	1/2	4	192	96
18	16-QAM	3/4	4	192	144
24	64-QAM	2/3	6	288	192
27	64-QAM	3/4	6	288	216

1.1.2 802.11p 物理层协议数据单元(PPDU)帧结构

图 1 所示为 IEEE802.11p 标准所规定的物理层协议数据单元(Physical Protocol Data Unit, PPDU)的帧结构,也就是基带发射处理器所要生成的数据结构。图 2 所示为更加详细的描述^[5]。

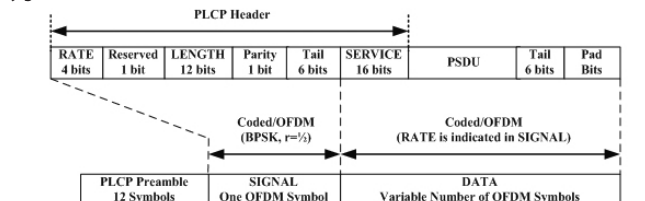


图 1 PPDU 帧结构

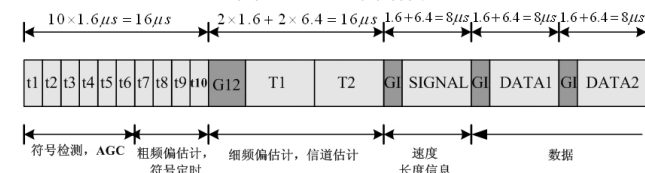
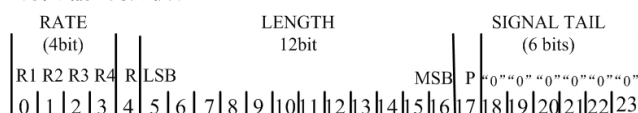


图 2 PPDU 帧结构详解

从图中可以看出,帧结构是以训练符号开始的。训练符号包括 10 个周期重复的短训练序列 $t_1 \sim t_{10}$ (每个符号的间隔为正常 OFDM 符号的 $1/4$) 和 2 个周期重复的长训练序列 $T_1 \sim T_2$ (符号间隔与正常的 OFDM 符号间隔相同),总的训练序列时间长度为 $32\mu s$ 。训练序列主要用于接收机的定时同步、载波频偏估计以及信道估计等,这对接收端无失真地还原出原始信号起到至关重要的作用。

训练符号后面为 "SIGNAL" 域,长度为一个正常的 OFDM 符号长度。SIGNAL 域包含 Rate 和 Length 两个字段,如图 3 所示。Rate 用于传输有关后继数据符号所用到的调制和码率信息,Length 域用于指示 MAC 层请求 PHY 层发送的物理层服务数据单元(PSDU)的字节个数;剩余的几个比特保留给以后使用。此外,802.11p 标准中规定 SIGNAL 信息比特的传输速率为 3Mbit/s,这既是最低也是最可靠的传输方式,可确保 SIGNAL 域信息的正确传输与接收。



传输顺序

图 3 Signal 域结构

Signal 域之后就是数据符号 Data 域,Data 域包括 16 比特的服务域、PSDU、6 比特的尾比特域及填充比特等。相比于 Signal 域,数据符号域的基带处理增加了数据扰码操作,且可以根据信道状况选择不同的编码方式及调制映射以获得不同的数据速率。

1.2 802.11p 的 MAC 层与传统无线局域网的异同

802.11p 的媒体接入控制层(MAC 层)也是从 802.11 标准中修改而来,但为了适应这种特殊的应用环境,802.11p 在管理实体、接入优先级与介质访问控制方式等方面都做了相应的改动^[5]。

1.2.1 802.11p 的 MAC 层管理实体

802.11 的 MAC 层设计独立于 PHY 层。MAC 层和 PHY 层都包含了管理实体,分别称为 MAC 层管理实体(MLME)和 PHY 层管理实体(PLME)。不同实体之间的服务操作是通过服务接入点(SAP)来实现的。这个协议的管理 SAP 有如下几个: SME MLME SAP, SME PLME SAP, MLME PLME SAP。

802.11p 在 MAC 层管理实体中定义了一个新的管理信息库(MIB)"dot11ocb"。当 "dot11ocb" 为真时,额外的选项/约束将被添加到 802.11p 的设备中。这些额外的选项包括: (1)无认证服务,即由基站管理实体提供的

服务或 MAC 子层之外的应用程序; (2)认证服务; (3)保密数据。而在 802.11 标准中, MIB dot11ocb 比特对 MAC 层和 PHY 层没有影响。

1.2.2 接入优先级

车路协同系统中信息有优先级之分,系统的优先级分为用户优先级和应用程序优先级,高优先级的车辆和应用程序可优先接入,如警车、救护车,以及安全信息等,而普通的 IP 数据业务的紧急性要求不是太高,可缓存发送,以满足高速移动环境中信息的实时性要求^[14]。802.11p 标准中采用 IEEE 802.11e 中的 EDCA 机制来解决这个问题^[15]。当 MSDU 到达 MAC 子层和适当的信道路由分配完成时,MAC 层通过将它的用户级别(UP)映射到接入类型指数(ACI)来缓存此数据,而不同的接入类型(AC)通过设置不同的 EDCA 参数来体现优先级别。此后,内部竞争算法将单独地为每个基于访问参数的 AC 计算退避时间,拥有最小退避时间的 AC 将会获得内部竞争,同时这个 AC 还会在外部竞争无线媒介。通过以上算法解决了用户优先级的问题,这一点在传统无线局域网中是不需要考虑的。

1.2.3 介质访问控制方式

传统无线局域网中的介质访问控制方式在车路互联网系统中也是不符合要求的^[16]。CSMA/CD 不区分优先级,而且当网络负载很大时,这种机制的效率特别低; CSMA/CA 虽然可以提高系统传输的可靠性,但它的时延过大,不满足实时性要求。针对这一问题,802.11p 协议中采用基于 OFDMA- CSMA 的时频二维随机退避策略来解决^[17]。OFDMA- CSMA 机制主要是在子载波组上来实现,每个子载波组采用单独的 CSMA 机制。在一个 BSS 初始时各个站点的 NAV 列表是空的,此时每个想要发送数据的站点都可以竞争某个子载波组。

802.11p 在 MAC 层上的这些改变,可确保无线局域网技术在高速移动的车路环境中快速建立稳定的通信链路。

2 802.11p 设备的发射功率与频谱掩模

2.1 频段与发射功率

为了满足车路互联网系统中紧急信息与 IP 数据业务的不同需求,在美国,联邦通信委员会(FCC)颁布了 5.850~5.925GHz 共 75MHz 的频段专用于车路互联网系统。具体应用上将这 75MHz 的频段划分为 7 个子信道,其中 1 个控制信道(CCH)和 6 个服务信道(SCH),每个信道的带宽是 10MHz。各个信道的主要用途与允许的最大等效全向辐射功率值(EIRP)如图 4 所示^[18]。

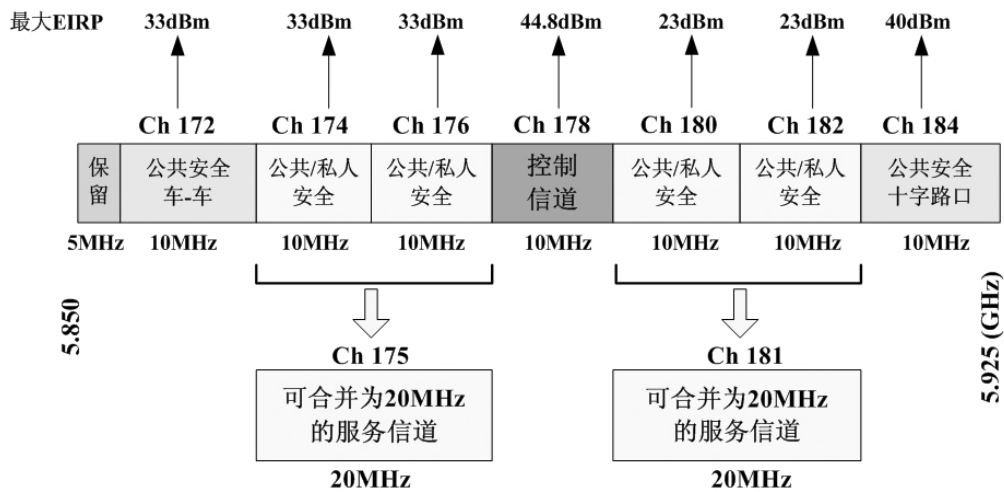


图 4 IEEE 802.11p 在 5.850~5.925GHz 频段的信道分配

各信道的用途不同 ,优先级不同 ,所以在发射功率上有些差别。802.11p 设备的发射功率分为 4 个类别 ,如表 3 所示^[5]。

表 3 802.11p 设备的最大输出功率

传输功率类别	发射机输出功率 /mW	等效全向辐射功率 /dBm
A	1	23
B	10	23
C	100	33
D	760	44.8

从表 3 可以看出 ,A 类型的发射机输出功率最小 ,为 1mW(0dBm) ;而 D 类型的输出功率最大 ,为 760mW (28.8dBm) ,这主要应用在 CCH 信道上 ,来保证安全消息能准确无误地传送更远。

2.2 频谱掩模

频谱掩模是对传输器的非线性特性进行描述 ,同时它也是设备发射功率所造成的邻道干扰大小的重要评估指标。5.850~5.925GHz 频段上的 4 种发射功率的频谱掩模如表 4 所示 ,对应的图形如图 5 所示^[6]。

表 4 802.11p 的频谱掩模

传输功率类型	允许的功率谱密度 μBr				
	$\pm 2.25\text{MHz}$	$\pm 2.5\text{MHz}$	$\pm 2.75\text{MHz}$	$\pm 5\text{MHz}$	$\pm 7.5\text{MHz}$
A	0	-10	-20	-28	-40
B	0	-16	-20	-28	-40
C	0	-26	-32	-40	-50
D	0	-35	-45	-55	-65

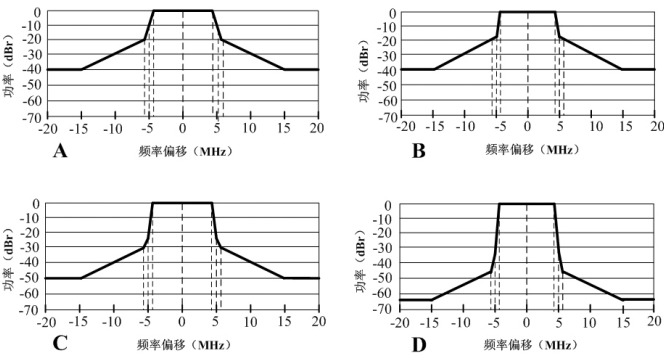


图 5 四类发射功率的频谱掩模

3 仿真实现

3.1 仿真的特殊性

与传统无线局域网相比 ,在仿真方面 802.11p 也面临许多特殊的挑战^[19]。

首先是信道模型方面 ,802.11p 的应用场景是室外高速移动的环境 ,特别是车 - 车进行通信中 ,通信双方的相对速度达到 240km/h 以上 ,这种情况在以前的仿真系统中并无现成可用的信道模型 ,因此为了得到更切合实际的仿真结果 ,还需建立适用于 802.11p 应用环境下的信道模型。

其次是统计结果的非平稳性。与传统的无线局域网相比 ,车路互联网系统中的信道在时间上变化得更快 ,这意味着 V2V 信道在大多数情况下的统计特性是非平稳的。系统的非平稳性计算需要很高的计算复杂度 ,这对仿真软件也提出了很高的要求^[20]。

此外 ,在 V2V 通信中车辆密度(VTD)的影响也是一个需要克服的困难。由于安装在车辆上的天线不可能很高 ,因此其他移动车辆将随机地阻挡通信双方的视距传输 ,这将对信号的无失真传输造成很大的影响 ,因此仿真时还需考虑到 VTD 对仿真结果的影响^[21]。

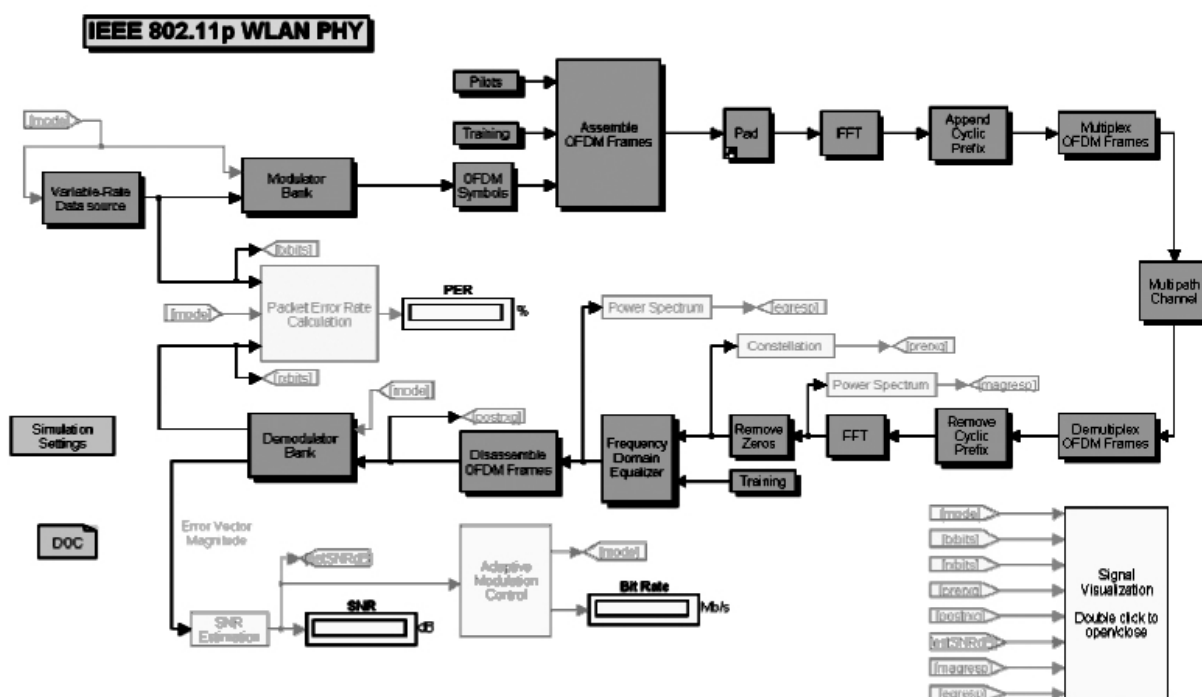


图 6 基于 MATLAB/Simulink 的仿真系统

3.2 基于 MATLAB/Simulink 的仿真平台

为了克服以上困难,采用 MATLAB 上的 Simulink 仿真软件能得出切合实际的仿真结果。图 6 所示是在 MATLAB/Simulink 上搭建的一整套基于 802.11p 的仿真系统,能够实现对协议的动态仿真分析^[22]。

4 总结

本文对车路互联网系统的底层协议 802.11p 进行了详细的叙述,将 802.11p 协议与传统无线局域网技术进行对比,重点突出了 802.11p 为适应室外高速移动环境而在物理层和 MAC 层上所作的修改,这些修改包括物理层参数的变化、PPDU 帧结构的改变以及媒体接入控制层在管理实体、接入优先级与媒介访问控制等方面的改进,这些改进使得 802.11p 协议能确保高速移动环境中数据的无失真传输。此外,论文还对 802.11p 信道的发射功率与频谱掩模进行了分析,最后在 MATLAB/Simulink 上搭建了一套仿真系统,对协议进行仿真验证。

参考文献：

- [1]牛庆庆.智能化城市公共交通信息系统无线传输技术的研究[D].上海:同济大学,2007.
- [2]IEEE P802.11p/TMD1.1.Draft Amendment to STANDARD FOR Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- LAN/MAN

Specific Requirements- Part11:Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications:Wireless Access in Vehicular Environments.January 2005.

- [3] IEEE P802.11pTMD3.0.Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part11:Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications Amendment 7:Wireless Access in Vehicular Environments.July 2007.
- [4] IEEE P802.11pTMD10.0.Draft Standard for Information Technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part11:Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications Amendment 7:Wireless Access in Vehicular Environments.January 2010.
- [5] IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part11:Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 6:Wireless Access in Vehicular Environments.July 2010.
- [6] E 2213- 03.Standard Specification for Telecommunica-

- tions and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems- 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. July 2003.
- [7] ITS Standards Advisory, 2003, Dedicated Short Range Communications (DSRC).
- [8] Experimental Guideline for Vehicle Communications System using 700 MHz- Band; ITS FORUM RC- 006; February 2009.
- [9] Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. 1999.
- [10] Supplement to IEEE Standard for Information Technology- Telecommunications and Information Exchange Between Systems- Local and Metropolitan Area Network- Specific Requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High- Speed Physical Layer in the 5 GHz Band. 1999.
- [11] ANDRISANO O, CHIANI M, FRULLONE M, et al. Propagation Effects and Countermeasures Analysis in Vehicle-to-Vehicle Communication at Millimeter Waves. Proc. 42nd IEEE Vehicular Tech. Conf, Denver, CO, pp. 312- 316, May 1992.
- [12] IEEE P1609.0TM/D0.8 Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)- Architecture. May 2009.
- [13] Mahdi Abbasi. Characterization of a 5GHz Modular Radio Frontend for WLAN Based on IEEE 802.11p. Vienna, university of gavl, Master's Thesis in Telecommunications, December 2008.
- [14] IEEE Std 1609.4™. IEEE Trial- Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)- Multi-channel Operation. November 2006.
- [15] IEEE Std 802.11e- "IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks- Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements". 2005.
- [16] Yi Wang, Akram Ahmed, Bhaskar Krishnamachari, et al. IEEE 802.11p Performance Evaluation and Protocol Enhancement. IEEE Commun. Mag, pp. 317- 322, March 2010.
- [17] FALLAH Y P, KHAN S, NASIOPOULOS P, et al. Hybrid OFDMA/CSMA Based Medium Access Control for Next- Generation Wireless LANs. Communications, 2008. ICC'08. pages: 2762- 2768.
- [18] Chung- Hsien (Stanley) Hsu. WAVE/DSRC Development and Standardization. Industrial Technology Research Institute, October 2010.
- [19] C.- X. Wang, X. Cheng, D. I. Laurenson. Vehicle-to-vehicle channel modeling and measurements: Recent advances and future challenges [J]. IEEE Commun. Mag., 2009, 47(11): 96- 103.
- [20] H. Kim, H.- S. Lee. Accelerated three dimensional ray tracing techniques using ray frustums for wireless propagation models [J]. Progress In Electromagnetics Research, PIER, 2009, (96): 595- 611.
- [21] Mate Boban, Tiago T. V. Vinhoza, Michel Ferreira, et al. Impact of Vehicles as Obstacles in Vehicular Ad Hoc Networks [J]. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, 2011, 29(1).
- [22] Samaneh Shooshtary. Development of a MATLAB Simulation Environment for Vehicle-to-Vehicle and Infrastructure Communication Based on IEEE 802.11p. Vienna, university of gavl, Master's Thesis in Telecommunications, December 2008.