

一个基于 IEEE802.11p 标准的 WAVE 模型样机

A WAVE Prototype Based on the IEEE802.11p Standard

中国分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2011) 03-0012-04

摘要: 基于 IEEE 802.11p 标准的车辆通信环境下的无线接入(WAVE)系统为未来的智能交通系统建造了功能性架构,旨在安全性、有效性和方便性方面极大地改善交通环境。文章阐述了 WAVE 系统的背景、关键技术及其对社会的深刻影响,报告了密歇根大学迪尔拜分校车载通信和网络中心进行的相关研究和进展,包括一个基于现场可编程门阵列(FPGA)的 WAVE 模型样机和车载网络仿真软件。

关键词: 专用短距离通信; 正交频分复用; 移动信道; 多入多出; 智能交通系统

Abstract: Wireless access in vehicular environments (WAVE) systems based on IEEE 802.11.p will be the infrastructure for intelligent transportation system applications that improve transport safety, efficiency, and convenience. This paper discusses the background, technical challenges, and broader impacts of WAVE systems and reports on recent activities at the Center for Vehicular Communications and Networks at the University of Michigan-Dearborn. These activities include research into a WAVE prototype based on field programmable gate array (FPGA) and research into a vehicular network simulator.

Key words: dedicated short range communications; orthogonal frequency division multiplexing; mobile channel; multiple-input multiple-output; intelligent transportation system

向卫东/XIANG Weidong
(密歇根大学, 密歇根 48128, 美国)
(University of Michigan, MI 48128, USA)

主要取决于驾驶者的生理感知能力。车载网络可以远距离感测交通状况,快速地传递安全信息和扩展感知信息并最终向零交通事故方向努力。实时全面的智能交通信息能有效地改善交通状况,是一个公认的比简单靠增加基础设施更为有效和经济的手段。以无线通信为核心的车载网络能够很大程度上消除由于驾驶者的客观失误造成的事故。

事实上,基于无线通信的汽车互连技术已经有二三十年的历史,过去被称为专用短距离通信(DSRC)。基于 IEEE 802.11p 的车辆通信环境下的无线接入(WAVE)系统采用正交频分复用(OFDM)技术来实现车与车和车与路面设备的宽带高速的无线互连。正交频分复用技术是当前无线通信的主流,并广泛地应用于包括无线局域网(如 Wi-Fi)和长期演进系统(LTE)等主要的无线网络系统。WAVE 是 DSRC 的最新版本,也是 Wi-Fi 应用范围的进一步拓展^[1-5]。

1 车辆通信环境下的无线接入系统

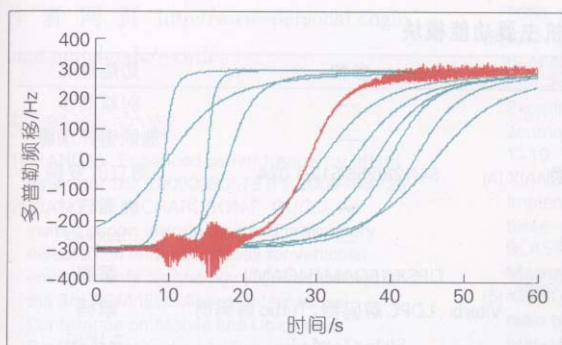
本文不讨论正交频分复用技术

汽车已在地球上以一种自控和孤立的模式运行了超过一百年。汽车是最昂贵复杂的日常用品,而汽车技术则代表了一个时代或一个国家的工业制造水平。在被人们称为信息时代的今天,汽车已经发展到需要相互实时通信构成网络的时刻。汽车互连的技术翻开了汽车发展的新篇章,同时也开辟了通信网络的一个全新领域。车载网络将极大地改善交通环境,尤其是在安全性、

有效性和方便性方面。车载网络为未来的智能交通系统的建立提供了物理基础,并为最终人类实现自动驾驶的梦想奠定基础。

另一方面,交通状况的日益拥挤和交通事故的不断攀升的是现代社会面临的重大挑战。堵塞的交通造成能源消耗增多、时间浪费严重并严重地影响人们的生活质量。交通事故致死是许多国家和地区人们非自然死亡的首要因素。由于经济的快速发展和城市化,中国的交通问题日益严重并有进一步恶化的趋势。目前,汽车对外部环境信息的探测接收

基金项目: 美国国家科学基金会
(National Science Foundation, 1002113
and 0821503)



▲图1 多普勒频移变化仿真实例

本身的技术特点而着重讨论与车载环境相关的技术难点。

1.1 移动信道

WAVE 系统设计的首要任务是 5.9 GHz 移动信道的测量和建模。这个课题经被频繁地提到但并未得到真正地重视和满意地解决。目前的文献仅仅局限于报道实际的信道测量结果并未建立一个被广泛认可的 WAVE 信道模型。同时, IEEE 801.11p 标准也未推荐相关的信道模型。目前的信道模型都未考虑各种真实的信道条件。例如,几乎所有的无线通信系统都假设收发信机被分别放置在足够远的位置,接收机处于传播区或远场区。实际上,在车载网络中,很多时候收发信机的距离小于菲涅耳距离,接收机处于菲涅耳区或近场区。传统的路径损耗加多径的描述可能不再适用。同时,天线的位置和体积以及车的金属外壳对信道的影响也应考虑。车载网络的信道非常复杂,需要仔细分类、建立和验证理论模型及大量的实际测试。总之,这是一个开放和急需研究的课题。

除信道模型外,另一个重要的课题是研究多普勒频移及其对正交频分复用信号的影响。尤其是当汽车跨越路边设备的时候,多普勒频移的极性会在一个极其短的时间内反转,从而导致其后的信号在解调时产生较大的误码。图1所示为一个仿真实例。图1仿真环境为车速 125 km/h,信道存在视距(LOS)信号和 10 条多径

信号。每条多径信号的幅度与视距比均小于 -10 dBc。

汽车在跨越路边设备和发射物时都会产生类似的频移变化现象。采用传统的多普勒频移检查的方法存在较大误差,最后残留的多普勒频移误差将严重地影响正交频分复用信号的解调性能。

1.2 关键技术

车载网络的特征在于时变的信道、时变的用户数量和时变的网络拓扑结构。但是另一方面,汽车的运行轨迹是预知和确定的并且对无线设备的体积和功耗有较宽松的要求。WAVE 系统的关键技术难点包括:

- 支持非竞争信道分配的媒体访问控制(MAC)协议用于实时性很强的安全信息传递。
- 基于地理位置的快速跨区转接技术。
- 采用多天线系统实现空间分集和空域的并行传输。
- 软件无线电结构兼容包括 Wi-Fi 和 LTE 系统的多模模式。
- 感知无线电实现空白频谱的

搜寻和预测。

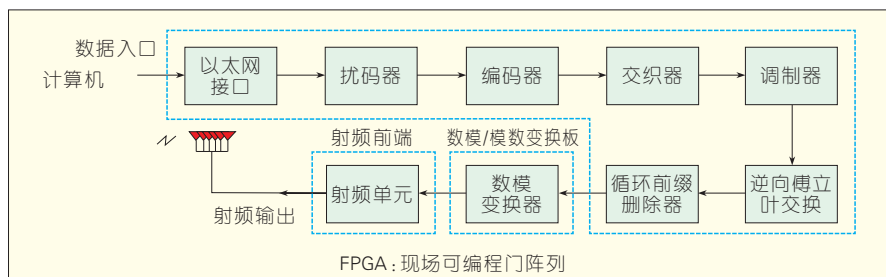
- 基于分组交换的网络和支持服务质量(QoS)。
- 强大的信息安全技术和方案。
- 网络的自组织和多跳路径的建立和选择。
- 有效的人机交互接口,包括如何及时有效地提供可靠的,足够而不多余的警示信息。
- 系统级基于物理设备的模拟环境。
- 支持未来电动汽车的营运,能及时汇报电池用量。

2 车辆通信环境下的无线接入模型样机

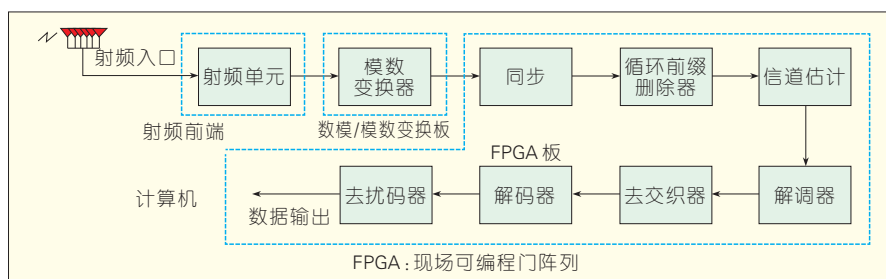
2011 年,密歇根大学迪尔拜分校车载通信和网络中心完成了一个基于现场可编程门阵列(FPGA)的 WAVE 模型样机。该样机采用软件无线电的结构并兼容 LTE 模式。其相关的系统框图、主要功能模块、测试环境和结果分别由图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 和表 1、表 2 所示。

3 车载网络仿真软件

密歇根大学迪尔拜分校车载通信和网络中心还完成了一个基于 C/



▲图2 发射机系统框图



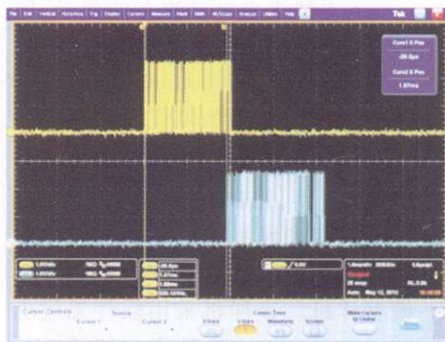
▲图3 接收机系统框图

▼表1 发射机主要功能模块

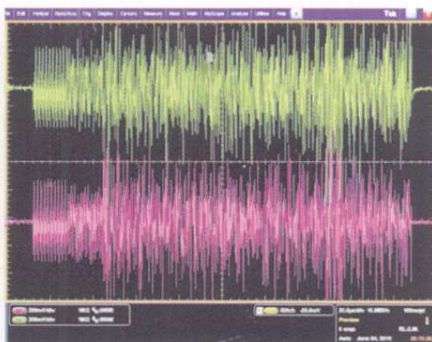
功能模块	参数	功能描述
千兆比特以太网	10/100/1 000 Mbit/s	至 933 Mbit/s
扰码器	$S(x)=x^7+x^4+1$	扰码
编码器	卷积码/LDPC/Turbo	编码
调制器	QPSK/16QAM/64QAM	调制
交织器	—	抗深衰落突发性误码
逆向傅立叶变换	64/128/256/512/1 024	逆向傅立叶变换
循环前缀	1/4、1/8、1/16	插入循环前缀

▼表2 接收机主要功能模块

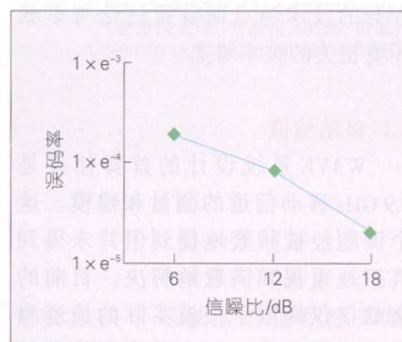
功能模块	参数	功能描述
同步	—	时域同步
循环前缀	—	删除循环前缀
傅立叶变换	64/128/256/512/1 024	傅立叶变换
信道估计	—	信道估计
去交织器	—	去交织
解调器	QPSK/16QAM/64QAM	解调
解码器	Viterbi、LDPC 解码器、Turbo 解码器	解码
去扰码器	$S(x)=x^7+x^4+1$	去扰码
千兆比特以太网	10/100/1 000 Mbit/s	至 933 Mbit/s



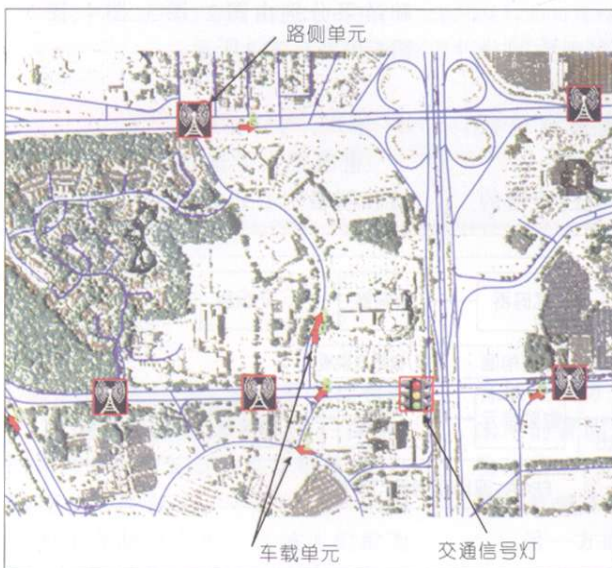
▲图4 系统处理时延的测试



▲图5 一个正交频分复用的IQ基带信号



▲图6 系统BER-SNR测试结果



▲图7 车载网络仿真软件的微观仿真图



▲图8 车载网络仿真软件的宏观仿真图

C++的车载网络仿真软件。该软件是目前唯一一个集成地理信息、信道模型、信号格式和网络协议的车载网络仿真软件。图7和图8演示的是有关该软件用于微观和宏观仿真时的情形。有关车载仿真软件更多的相关信息和功能,请访问作者的网页 <http://www-personal.engin.umd.umich.edu/~xwd/>。

4 结束语

文章介绍的基于 WAVE 的 RSU/OBU 模型样机系统和车载网络仿真模型可以用于相关的研究和开发及

组建小规模 WAVE 网络。样机的基带算法和 MAC 协议采用 VHDL 语言编写,实现功能模块寄存器级的描述,可以用来作为下一步实现芯片设计的模板。

有关移动信道的测量和建模及车载环境下样机的性能报告,请访问

作者网页 <http://www-personal.engin.umd.umich.edu/~xwd/>。

5 参考文献

- [1] XIANG W. Enhanced carrier frequency offset estimator, US, 20090080576 [P]. 2009-03-26.
- [2] XIANG W, RICHARDSON P, GUO J. An invited paper: Introduction and preliminary research on wireless access for vehicular environments technology [C]//Proceedings of the 3rd ACM/IEEE Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networks and Services (MOBIQUITOUS'06), Jul 17-21, 2006, San Jose, CA, USA. New York, NY, USA: ACM,

2006: 8p.

- [3] XIANG W, RICHARDSON P, WALKENHORST B, et al. A high-speed four-transmitter four-receiver MIMO OFDM testbed: Experiment results and analyses [J]. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 2006(1): 1-10.
- [4] XIANG W, WATERS D, PRATT T, et al. Implementation and experimental results of a three-transmitter three-receiver OFDM/BLAST testbed [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(12): 88-95.
- [5] XIANG W, PRATT P, WANG X. A software radio testbed for two-transmitter two-receiver space-time coding OFDM wireless LAN [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(6): 20-28.

收稿日期: 2011-03-15

作者简介



向卫东, 清华大学电子工程系工学博士毕业, 乔治亚理工大学博士后; 现任密歇根大学迪尔分校副教授, IEEE Communications Magazine, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking 杂志编委; 长期从事 WAVE、LTE 和智能电网的研究及其模型化工作。

←上接第 11 页

- Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(1): 74-82.
- [5] 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.
 - [6] MAK T K, LABERTEAUX K P, SENGUPTA R. A multi-channel VANET providing concurrent safety and commercial services [C]//Proceedings of the 2nd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'05), Sep 2, 2005, Cologne, Germany. New York, NY, USA: ACM, 2006: 9-17.
 - [7] MAK T K, LABERTEAUX K P, SENGUPTA R, et al. Multichannel medium access control for dedicated short-range communications [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2009, 58(1): 349-366.
 - [8] Bi Yuanguo, LIU Kuanghao, SHEN Xuemin, et al. A Multi-channel token ring protocol for QoS provisioning in inter-vehicle communications [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2009, 8(11): 5621-5631.
 - [9] NI Sze Yao, TSENG Yu Chee, CHEN Yuh Shyan, et al. The broadcast storm problem in a mobile Ad Hoc network [C]//Proceeding of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'99), Aug 15-19, 1999, Seattle, WA, USA. New York, NY, USA: ACM, 1999: 151-162.
 - [10] KORKMAZ G, EKICI E, OZGUNER F, et al. Urban multi-hop broadcast protocol for inter-vehicle communication systems [C]//Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'04), Oct 1, 2004, Philadelphia, PA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2004: 76-85.
 - [11] YANG Yao Tsung, CHOU Li Der. Position-based adaptive broadcast for inter-vehicle communications [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'08), May 19-23, 2008, Beijing, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 410-414.
 - [12] TONGUZ O, WISITPONGPHAN N, BAI F, et al. Broadcasting in VANET [C]//Proceedings of the IEEE Mobile Networking for Vehicular Environments, May 11, 2007, Anchorage, AK, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007:

7-12.

- [13] FRACCHIA R, MEO M. Alert service in VANET: Analysis and design [C]//Proceedings of the IEEE 2nd Workshop Resource Allocation in Wireless Networks (RAWNET'06), Apr 3, 2006, Boston, MA, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006.
- [14] LOCHERT C, HARTENSTEIN H, TIAN J, et al. A routing strategy for vehicular Ad Hoc networks in city environments [C]//Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IVS'03), Jun 9-11, 2003, Columbus, OH, USA. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 156-161.
- [15] KARP B, KUNG H T. Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]//Proceedings of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'00), Aug 6-11, 2000, Boston, MA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2000: 243-254.
- [16] TIAN J, HAN L, ROTHERMEL K, et al. Spatially aware packet routing for mobile Ad Hoc inter-vehicle radio networks [C]//Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Transportation Systems Telecommunications (ITSC'03): Vol 2, Oct 12-15, 2003, Shanghai, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 1546-1551.
- [17] GIUDICI F, PAGANI E. Spatial and traffic-aware routing (star) for vehicular systems [C]//Proceedings of the 7th International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC'05), Sep 21-23, 2005, Naples, Italy. LNCS 3726. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005: 77-86.
- [18] SEET B C, LIU Genping, LEE Bu Sung, et al. A-STAR: A mobile Ad Hoc routing strategy for metropolis vehicular communications [C]//Networking Technologies, Services, and Protocols, Performance of Computer and Communication Networks, Mobile and Wireless Communications: Proceedings of the 3rd International IFIP-TC6 Networking conference (Networking'04), May 9-14, 2004, Athens, Greece. LNCS 3042. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2004: 989-999.
- [19] JERBI M, MERAIHI R, SENOUCI S, et al. Gytar: Improved greedy traffic aware routing protocol for vehicular Ad Hoc networks in city environments [C]//Proceedings of the

3rd International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET'06), Sep 29, 2006, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2006: 88-89.

收稿日期: 2011-03-08

作者简介



杨琼, 东南大学信息科学与工程学院在读博士研究生; 主要研究方向是移动自组织网络相关技术。



沈连丰, 东南大学移动通信国家重点实验室教授、博士生导师, 国家无线电标准化委员会 H 分会委员、短距离无线通信与泛在网络方向学术带头人; 主要研究方向为宽带移动通信; 已承担国家级、省部级纵向项目和海内外合作项目 20 项, 获授权发明专利 19 项, 发表学术论文

100 篇, 出版著作、教材 10 部。