

基于 FPGA 的 802.11p MAC 协议实验平台研究^{*}

李 想^{**}, 刘富强

(同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804)

【摘 要】目前对于 802.11p MAC 协议的研究多是通过计算机仿真或理论分析的方式进行, 缺乏对其实际性能进行验证的有效手段。通过对 802.11p MAC 标准基本机制的分析和研究, 基于 FPGA 平台设计和实现了 MAC 协议实体, 并构建了包含上位机软件、MAC 实体、信道模拟及各种通信接口在内的完整的测试环境。为 MAC 相关算法和机制的研究构建了真实的分析验证平台, 研究成果可直接应用于实际通信系统, 缩短原型系统的开发周期。

【关键词】FPGA; 车载自组织网络; 介质访问控制; 802.11p

【中图分类号】TP316

【文献标识码】A

【文章编号】1002-0802(2013)09-0047-04

FPGA-based Experiment Platform for 802.11p MAC Protocol

LI Xiang, LIU Fu-qiang

(Electronics and Information Engineering College, Tongji University, Shanghai 201804, China)

【Abstract】Most exiting researches on 802.11p MAC protocol are done through simulation and theoretical analysis, and the real performance could not be validated for the lack of experiment platform. Through investigating and analyzing 802.11p MAC protocol and by using Verilog HDL the MAC entity based on FPGA is designed and implemented, and an experiment platform is built up to analyze and validate the performance of MAC protocol. The research results described in this paper could be directly applied in prototype system without any modification.

【Key words】FPGA; VANETs; MAC; 802.11p

0 引言

近几年来, 车辆自组织通信网络(VANETs, Vehicular ad-hoc network)作为一种新型的无线通信网络, 可以实现车辆与车辆、车辆与路边单元及车辆与基础设施之间的无线数据通信, 为车辆提供多种安全应用(事故预警、交通管理等)和非安全应用(路况指示、互联网接入等)^[1], 正成为智能交通领域的研究热点。IEEE 于 2010 年发布了 IEEE 802.11p 标准^[2], 这是目前唯一被广泛接受的 VANETs 通信标准。然而 IEEE 802.11p 标准目前并不完善, 尤其是介质访问控制(MAC, Media Access Control)协议, 还不能完全适应 VANETs 通信网络环境^[3]。由于缺少真实的分析测试平台, 目前对 MAC

机制的研究多是通过计算机仿真或理论分析的方式进行, 无法对研究成果的实际性能进行有效验证。也有研究者提出通过修改现有的商业 WiFi 产品来近似模拟 802.11p 的相关机制^[4], 然而诸如竞争窗口大小、退避次数、分段长度及时隙大小等许多影响 MAC 性能的关键参数在商业产品中往往是不可调整的^[5]。

为了给相关算法和机制提供真实的分析校验平台, 文中基于 FPGA 平台设计并实现了一个符合 802.11p 标准的 MAC 协议分析验证硬件平台。该平台充分利用 FPGA 的高度并行计算能力来满足 MAC 对时序的严格要求, 并在同一 FPGA 芯片上通过硬件逻辑实现了符合 802.3 标准的千兆以太网 MAC 协议, 以减小了上位机和 MAC 模块之间的通信延迟。此外, 文中研究成果可直接转化成为实际通信系统, 大大缩短原型系统的开发周期。

^{*} 收稿日期: 2013-05-08; 修回日期: 2013-08-22。

^{**} 通讯作者: lixiang_277@163.com。

2.2 组帧和拆帧模块 (FDF)

802.11p 标准的 MAC 帧格式如图 3 所示。其中一些字段的计算过程较为复杂。为了能够在发送时方便地生成帧头字段并自动计算帧校验码,接收时根据接收数据分解出各帧头字段并进行帧校验,文中提供了组帧和拆帧模块集中处理与 MAC 帧的组帧、拆帧及校验相关的功能。发送数据时,发送控制器将与该 MAC 帧相关的参数提供给该模块;接收时该模块根据 MPI 模块提供的数据分解出各字段供发送控制器、接收控制器及信道状态估计模块使用。

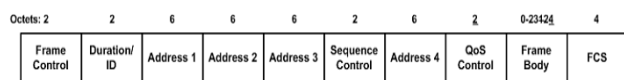


图 3 802.11p MAC 帧格式^[2]

2.3 信道状态估计模块 (CEM)

在 802.11p 的 MAC 机制中采用了物理载波侦听和虚拟载波侦听两种方式对信道进行检测^[6]。文中实现了这两种检测方式,并设计了信道状态估计模块专门负责处理与信道检测相关的任务。在物理载波侦听检测中,CEM 模块通过 MPI 接口模块周期性地指示 PHY 对信道物理状态进行测量,并根据 CCA 指示信号中的测量结果对物理信道状态寄存器进行设置。而在虚拟载波侦听方式中,CEM 模块根据组帧与拆帧模块提供的数据帧和控制帧中 Duration 字段估计信道被其他节点占用的时间长度,进而设置虚拟信道寄存器的忙闲。信道的占用状态由物理载波侦听检测结果和虚拟载波侦听检测结果共同决定。

2.4 发送控制器和接收控制器 (TXC、RXC)

发送控制器 (TXC) 和接收控制器 (RXC) 的主要功能是对发送和接收过程进行控制。MAC 控制器模块向 TXC 提出数据发送请求后, TXC 将首先根据待发送数据帧的帧长判断是否需要分段及是否需要执行 RTS/CTS 握手过程。在 802.11p 标准中,如果发送数据长度大于最大允许帧长度,需要进行分段处理;如果待发送数据帧长度大于用户设置的 RTS 门限,则需要向目的端发送 RTS 请求并等待目的端的 CTS 响应。在完成了分段处理和 RTS/CTS 握手过程后, TXC 将数据帧相关参数设置到组帧和拆帧模块以构建 MAC 帧头,并通知 MPI 接口模块启动实际数据传输过程,与此同时根据数据包类型决定是否接收目的端的确认帧 (在 802.11p 标准中广播帧和管理帧是不需要确认的)。

RXC 模块的功能是对接收过程进行控制和管理。当 RXC 接收到来自 MPI 模块的接收开始指示信号 (PH_RXST_IND) 时接收过程开始。完整数据包接收完成后 (PH_RXED_IND 信号被接收到), RXC 将根据组帧和拆帧模块提供的帧参数信息执行

相应的处理。如果接收到的帧为 RTS 帧,则 RXC 负责向源端发送 CTS 响应帧;如果接收到完整数据帧 (非分段), RXC 则根据需要向源端回复 ACK 响应帧,并将接收到的数据帧提交到上层进而传输到上位 PC 机;如果接收到数据帧分段,则将该分段暂存在接收缓冲区中,待所有分段接收完成后向源端发送 ACK 并将数据提交到上层。

2.5 退避模块

在 802.11p 标准中,退避机制对于减少数据包冲突、保证各通信节点公平有序地访问无线信道起到至关重要的作用。在节点发送数据之前首先需要侦听信道,若信道连续空闲时间超过特定时间间隔 (在 802.11p 标准中这一间隔称为 DIFS), 节点则在 0 到退避窗口 W 之间随机产生一个退避时间 BT。若信道在 BT 间隔内仍然保持空闲,则节点向物理信道发送数据^[8-9]。上述两个监听过程中,如果检测到信道繁忙则节点需要重新开始退避过程。在文中,退避过程通过专用的退避模块来完成。在发送数据之前,发送控制器 TXC 向该模块提出退避请求,并给出退避窗口大小 W。退避模块通过信道估计模块获取物理信道和虚拟信道的信道状态,如果信道空闲则通过内部的随机数生成器模块生成位于 0 和 W 之间的随机退避时间,并启动定时器开始退避过程。在计数结束后退避模块向发送控制器 TXC 提供“发送授权”信号, TXC 开始数据发送过程。在技术过程中,退避模块始终检测信道状态,若信道由空闲变作繁忙,则退避过程停止并于信道空闲后重新启动。

3 硬件实现及测试环境

文中主要工作是基于 FPAG 平台设计并实现了一个 802.11p MAC 协议性能分析与验证平台。考虑到后续开发过程需要在同一芯片上扩展物理层模块, FPGA 器件选用的是 Altera 公司的 DE4 系列 EP4CE115 芯片,该芯片集成了 114,48 个逻辑单元、高达 3.9M 比特的随机存储器且内部集成了 266 个乘法器,完全可以满足项目的需求。整个 FPAG 端的开发设计工作基于 Quartus 和 ModelSim 软件进行, MAC 主时钟频率设置为 80 MHz。PC 端上位机软件在 Windows 操作系统下,使用 Microsoft 公司 Visual Studio 集成开发环境编写。

在测试环境方面,为了能够模拟真实的 MAC 应用环境,需要搭建能够进行多点通信的测试平台。通过分析,文中另外采用了高性能 FPGA 系统设计了信道模拟器模块,设计了如图 4 所示的测试环境。多台运行 802.11p MAC 的 FPGA 系统通过信道模拟器进行数据交换,从而实现了真实的 MAC 运行环境。

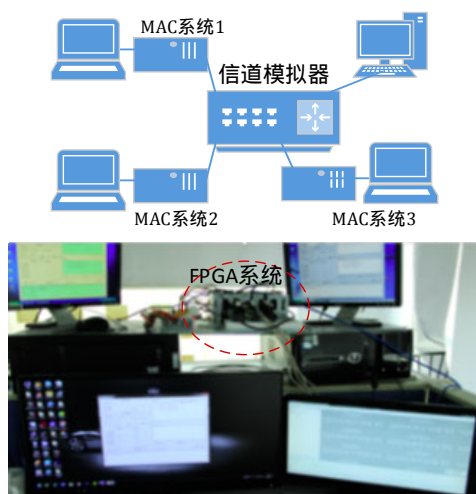


图4 测试验证平台

4 结语

文中基于FPGA系统设计并实现了802.11p标准的MAC协议的基本功能，并在同一FPGA器件中实现了千兆以太网MAC、主机控制器接口及虚拟物理层等模块，结合上位机端相应软件构成了完整的开放式实验环境。与传统基于计算机仿真的测试验证环境相比，文中研究成果为MAC相关机制和算法性能的研究和验证提供了真实的硬件环境，且可直接应用于车辆通信网络原型系统的开发。

参考文献

- [1] ZEADALLY S, HUNT R, CHEN Y S, et al. Vehicular ad hoc Networks (VANETs): Status, Results, and Challenges[J]. Telecommunication Systems, 2012, 50(04):217-241.
- [2] IEEE 802.11 Working Group. 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[J]. IEEE

Std 802.11-2007 (Revision of IEEE Std 802.11-1999), 2009: C1.

- [3] HAN C, DIANATI M, TAFAZOLLI R, et al. Analytical Study of the IEEE 802.11 p MAC Sublayer in Vehicular Networks[J]. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 2012, 13(02):873-886.
- [4] VANDENBERGHE W, MOERMAN I, DEMEESTER P. Approximation of the IEEE 802.11 p Standard Using Commercial Off-the-shelf IEEE 802.11 a Hardware[C]//ITS Telecommunications (ITST), 2011 11th International Conference.[s.l.]: IEEE, 2011: 21-26.
- [5] CARONA D, SERRADOR A, MAR P, et al. A 802.11 p Prototype Implementation[C]//Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE.[s.l.]: IEEE, 2010: 1116-1121.
- [6] WANG S, ZHAO H, HUANG S, et al. Modeling FPGA-based IEEE 802.11 DCF[C]//Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), 2011 Seventh International Conference.[s.l.]:IEEE, 2011:194-200.
- [7] JAYASURIYA A, PERREAU S, DADEJ A, et al. Hidden vs. Exposed Terminal Problem in ad hoc Networks[C]// Proceedings of the Australian Telecommunication Networks and Applications Conference. Sydney, Australia:[s.n.],2004.
- [8] 王非,王新红,李想,等.VANET 自适应门限 MAC 层退避算法研究[J].通信技术,2012,45(10):016.
- [9] 李喆,曹秀英.新的改进 IEEE 802.11 DCF 性能的退避机制[J].通信技术,2010,43(08):46-50.

作者简介：

李 想 (1983-), 男, 博士, 主要研究方向宽带无线通信；

刘富强 (1965-), 男, 博士生导师, 主要研究方向为宽带无线通信。