

802.11p 物理层 OFDM 基带调制器的 FPGA 实现

802.11p Physical Layer the OFDM Baseband Modulator FPGA Implementation

王亮, 贺知明 (电子科技大学 电子工程学院, 四川 成都
611731)

Wang Liang, He Zhi-ming (School of Electronic Engineering, University of
Electronic Science and Technology of China, Sichuan Chengdu 611731)

摘 要 基于 IEEE 802.11p 标准的车辆无线通信系统作为智能交通系统的一部分,能极大地改善交通系统的安全性、有效性和实时性。该文详细描述了作者对车辆无线通信系统关键技术进行的相关研究内容,并且在 Cyclone EP3C120F 平台上实现了一种基于 IEEE 802.11p 标准的物理层 OFDM 基带调制系统,效果理想,有很好的移植性。

关键词 IEEE 802.11p; 车辆无线通信; OFDM; FPGA

中图分类号 TP393

文献标识码 A

文章编号 1003-0107(2012)09-0040-04

Abstract: Vehicle wireless communications systems based on IEEE 802.11p as part of the intelligent transportation system will improve transport safety, efficiency, and real-time. This paper describes the research content of the key technologies of wireless communication systems in vehicles, and proposes a physical layer OFDM baseband modulation system, which has satisfactory results and good portabilities, based on the IEEE 802.11p standards on Cyclone EP3C120F platform.

Key words: IEEE 802.11p; Vehicle wireless communications; OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing); FPGA (Field-Programmable Gate Array)

CLC number: TP393

Document code: A

Article ID: 1003-0107(2012)09-0040-04

0 引言

随着人类社会的发展、人口数量的增加,当前交通状况变得日益拥挤、交通事故不断攀升。对交通安全管理基础设施的建设提出了更高的要求。

近年来,由于交通安全和城市道路的拥堵问题,车联网系统愈发受到社会的关注。事实上,专用短距离通讯(DSRC)系统在二三十年前就已经出现。当前最被看好的车联网系统是基于 IEEE 802.11p 标准的车辆无线接入(WAVE)系统。IEEE 802.11p 标准采用正交频分复用(OFDM)技术来实现车车(V2V)、车路(V2I)的高速无线互连^[1]。

IEEE 802.11p 被普遍认为是下一代车用电子通信的标准。由于 IEEE 802.11p 正式标准于 2010 年刚发布不久,现阶段基于 802.11p 的无线通信产品仍未正式上市。

而今微电子技术的高速发展,使得 FPGA 在通信中得到了广泛的应用。其高效的运算与高集成度在通信系统中占据了越来越多的优势。本文设计了一种基于 IEEE 802.11p 标准的物理层 OFDM 调制系统,并且在 Altera 公

司的 Cyclone EP3C120F 平台上得到了实现。

1 IEEE 802.11p 协议简介

若要将 802.11a 无线局域网技术应用于高速移动条件下的车车(V2V)、车路(V2I)之间进行通信,需要对 802.11a 标准做许多改动。在高速移动环境中的信道模型是动态时变的快衰落信道,信号具有频率选择性衰落的特性及多普勒频移,多径传播效应等都将对信号造成严重的干扰^[2]。而且,在高速移动环境中,最重要的功能是实时正确地传送安全与管理消息,以保障车辆的安全运行,这些都是传统无线局域网技术无法满足的。因此,802.11p 在 802.11a 的基础上进行了一些修改,在 PHY 上扩大数据帧之间的保护间隔,使得对均方根时延(RMS)的容忍更大,这样可以达到更高的运动速度,而在 MAC 层上的修改则是提供两种不同的无线信道控制信道(CCH)和服务信道(SCH)来完成高优先级安全信息的实时发送和普通 IP 数据业务的传输,完全能适合高速移动环境中的通信应用需求^[3-4]。

作者简介:王亮(1984-),男,硕士研究生,研究方向为信号处理算法的 FPGA 实现;
贺知明(1972-),男,博导,研究方向为通信与雷达中的信号处理。

2 IEEE 802.11p 基带调制器方案设计

2.1 IEEE 802.11p 物理层参数

表 1 IEEE 802.11P 物理层参数

参数	IEEE 802.11
调制方式	BPSK ,QPSK ,16QAM ,64QAM
编码效率	1/2 2/3 3/4
数据速率 $/(Mb \cdot s^{-1})$	3,4,5,6,9,12,18,24,27
子载波数目	52
OFDM 符号长度	$8\mu s$
保护间隔长度(GI)	$1.6\mu s$
长短训练序列长度	$32\mu s$
子载波间隔	156.25kHz
子信道带宽	10MHz
编码	$K=7$,循环卷积编码

如表 1 所示,保护间隔(GI)是最重要的参数。这一 $1.6\mu s$ 的保护间隔使得 802.11p 可以承受更大的均方根(RMS)时延扩展,确保 802.11p 能适用于室外高速移动的车辆环境,以满足在车辆互联系统中对数据传输的要求^[2]。

其他的参数都定义在保护间隔长度的基础上。为了减小保护间隔所占用的功率,将 OFDM 符号长度定为 $8\mu s$,因此除去保护间隔(GI),OFDM 符号中有效数据的长度为 $6.4\mu s$,由 $1/6.4\mu s = 156.25kHz$ 可以计算出子载波的间隔为 156.25kHz,只相当于 802.11a 的一半,因此,802.11p 比 802.11a 对频偏更敏感。此外,802.11p 标准中包含 52 个子载波,其中 48 个用于数据传输,另外 4 个用于传输导频信号。导频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,也可用来对信道和采样频率进行估计。

另外,802.11p 的信道编码采用约束长度为 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,从而获得码率为 1/2、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 种调制方式一起组合最终可获得 3~27Mb/s 的编码数据速率。

2.2 基带处理器总体架构

基带调制器的设计是 IEEE 802.11p 标准的一种直接实现。各个子载波都可以采用 BPSK、QPSK、16-QAM 或 64-QAM 这几种调制方式,并以 1/2、2/3 或者 3/4 编码率进行卷积编码用来支持从 3Mb/s 到 27Mb/s 的比特率。图 1 所示是基带调制器系统结构框图。

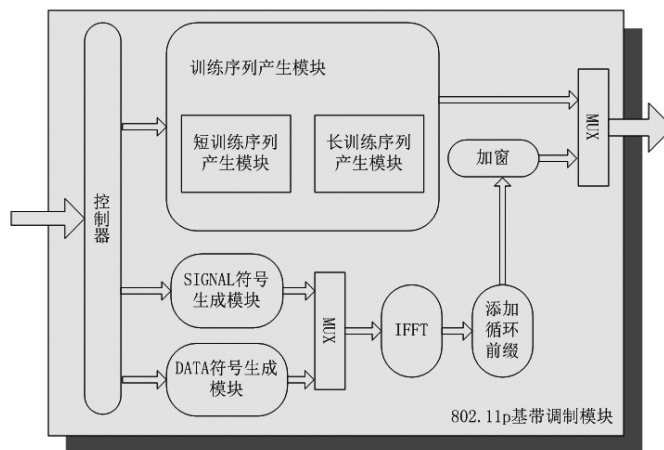


图 1 IEEE 802.11p 基带调制器模块

IEEE 802.11p 基带调制器的总体结构框图如图 1 所示。根据各自功能的差异,基带调制器被分为以下几个功能模块,包括训练序列生成模块(其中包括短训练序列产生模块和长训练序列产生模块)、SIGNAL 符号生成模块、DATA 符号生成模块、IFFT 运算模块、添加循环前缀与数据加窗模块、主控制器。特别要注意到,每个模块都从一个时钟分配模块得到所需要的工作时钟,从而使各个模块的处理流程按照严格的时序进行,彼此协调,精确同步。

在主控制器和时钟分配模块的控制下,这些功能模块按照一定的时序和逻辑对 MAC 层送来的数据流进行处理,最终形成符合 802.11p 标准的 OFDM 符号(PPDU),最后再经过 DA 变换就可送往 RF 前端进行发送。

3 IEEE 802.11p 基带调制器 FPGA 实现

3.1 训练序列产生模块

训练序列产生模块的作用是生成短、长训练序列,对 OFDM 信号能否被正确接收和处理至关重要^[3]。由于训练序列是固定不变的,所以 IFFT 变换后的时域值也是确定的,而且加窗处理后的样值也是已知的。因此,我们将经

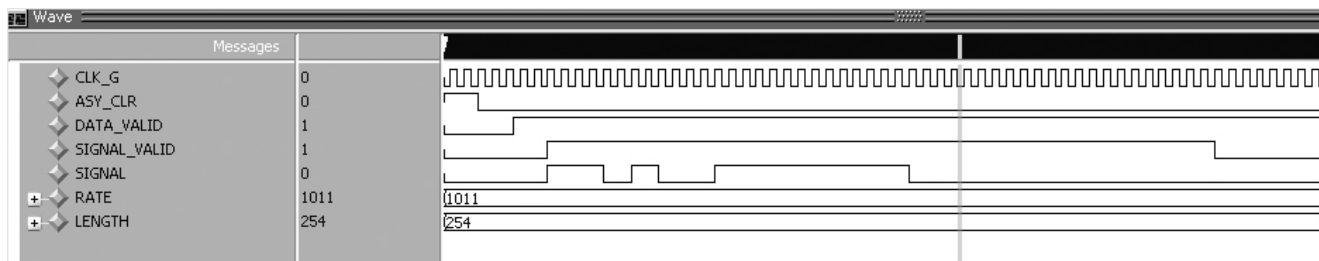


图 2 SIGNAL 符号仿真波形

过加窗处理后的训练序列的时域样值存在片内 ROM 中,发送时按规定的时序读出。另外,循环前缀是直接通过控制存储器的读取来实现。ROM 中短训练序列占 16 个地址空间,长训练序列占 64 个地址空间,每个地址位宽 16bits,高 8 位为实部,低 8 位为虚部。

3.2 SIGNAL 符号生成模块

SIGNAL 符号传输的是发送矢量参数 LENGTH 和 RATE。将对 24bits 的数据进行 1/2 卷积编码、交织、BPSK 调制和插入导频,生成 SIGNAL 符号的频域数据再进行 IFFT 变换以完成 OFDM 调制。

图 2 所示为 SIGNAL 符号产生的仿真波形。在 2 图中,CLK_G、ASY_CLR 分别为电路的时钟信号与异步复位信号,DATA_VALID 为数据有效指示信号,SIGNAL_VALID 为 SIGNAL 符号的有效指示信号,下面一行是 SIGNAL 符号输出;最后两行分别为 LENGTH 和 RATE 信号。

3.3 DATA 符号生成模块

DATA 符号生成模块与 SIGNAL 符号生成模块的不同之处在于,需要进行对数据加扰、采用不同效率的编码和调制方式改变系统传输速率。

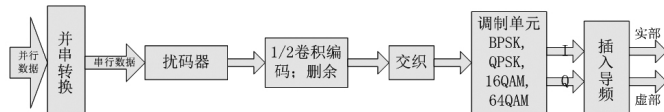


图 3 DATA 符号生成模块

送入 DATA 符号生成模块(如图 3 所示)的 PSDU 数据帧是按字节并行传输的,首先完成并串变换功能,对输出的串行数据进行扰码;接下来的 1/2 卷积编码和删除冗余模块可以实现 1/2、2/3 和 3/4 三种不同码速率的卷积编码;交织单元把可能出现的长串比特错误人为地变成多个短串差错,调制单元由 BPSK、QPSK、16QAM、64QAM 四种调制单元组成,由主控制器根据需求达到的数据率来选择,最后一个子模块是导频插入单元。

3.4 IFFT 模块

IFFT 在整个 802.11p 基带调制器占有很重要的地位,由于 FFT 已有相当成熟的算法,本文没有将重点放在 IFFT 的具体实现上。Quartus II 9.1 软件中的 FFT MegaCore 就是一个可以实现 FFT/IFFT 功能的 IP 核,它功能强大、配置灵活,完全可以满足我们的使用要求。

在本文中使用了 64 点 IFFT,并且为了不影响经过 FFT 处理后的数据精度,而将 FFT 核的输入输出位宽扩展为 16bits,IFFT 模块的输入数据是 DATA、SIGNAL 符号生成模块的输出,它们是 8 位 I、Q 格式的复数信号,每 64bits 为一个符号串行输入,两个符号之间间隔 16 个时钟。

3.5 添加循环前缀及加窗模块

添加循环前缀及加窗模块的实现主要使用两个长度为 64 的 RAM 存储 IFFT 模块输出的数据,双口 RAM 作为一个环形 FIFO 结构被使用,从而使读、写操作不会相互冲突。加窗处理使每个 OFDM 符号最后多输出一个数据,为 OFDM 符号 64 个样值中的第一个。而下一个符号的第一个数据将和该数据相加且右移一位后再输出,所以每个 OFDM 符号的持续时间依然是 80 个时钟周期。在 FPGA 中,将每个 OFDM 符号的第一个样值缓存起来,用于下一个 OFDM 输出时的加窗处理。

3.6 主控制器模块

主控制器是整个 IEEE 802.11p 基带调制器最为重要的模块,它全权负责控制与协调所有子模块的工作以保证系统有一个正确的时序,同时还承担着与 MAC 层的通信和交互任务。在本设计中,主控制器采用计数来实现控制功能。另外,主控制器与 MAC 层之间的交互采用中断方式。如图 4 所示。

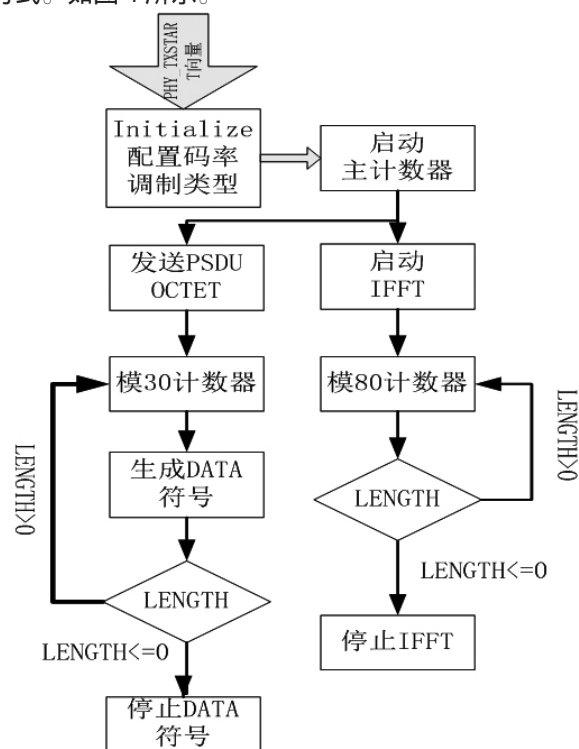


图 4 主控制器状态图

4 结论

本文基于 IEEE 802.11p 标准探讨了 IEEE 802.11p 基带调制器的设计与实现。主要完成了 PHY 层基带调制器的设计工作,而且尤其专注于 FPGA 平台上的基带调制器原型样机设计,研究适于 VLSI 实现的硬件架构与实现方案。

本文以对 OFDM 原理与 IEEE 802.11p 标准的研究为前提,从单个子模块的硬件架构设计及实现、模块仿真

与验证,到整个系统的联合调试都在 Altera 公司的 Cyclone EP3C120F 平台上实现了完整的仿真验证。并尽量利用现有的 IP 核来提高设计质量、加快项目进度,也大大地节省了硬件资源。通过验证可以看出,整个 802.11p 基带调制器完全实现了 IEEE 802.11p 标准所要求的功能。

参考文献:

- [1] IEEE Std.802.11-2007,Amendment of the Commission's Rules Regarding Dedicated Short- Range[R].Communication Services in the 5.850- 5.925 GHz Band[S].
- [2]ANDRISANO O,CHIANI M,FRULONE 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.

- [3]IEEE Std.802.11-2007,Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications[S].
- [4]IEEE P802.11pTM/D3.0.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.
- [5]佟学俭,罗涛.OFDM 移动通信技术原理与应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.

上接 36 页 

各个模块的初始化,对 RF5 中用到的 SCOM 模块的创建,以及对 tskinput,tskoutput,tskencoder,tskdecoder 这四个函数的初始化及触发开始。

在 MAIN 函数调用完成后,由于整个工程中还用到了 BIOS,则在 MAIN 函数调用完成后由 BIOS 来分别完成这两部分的 3 个函数的调度指挥。每部分的这 3 个进程函数之间的同步则由 SCOM 来完成,即这三个进程通过多个 SCOM 对象连接起来,在整个链接中只有处于链接前端的进程向后发布了 SCOM 模块,处于链接后端的进程收到前端进程发布的 SCOM 模块才能开始正常工作。这个机制的建立是通过在每个进程的循环中开始都调用一个 SCOM_getMsg 函数,结尾都调用一个 SCOM_putMsg 函数来实现的。通过这种方式来保证每从一个视频口得到一个视频缓冲区,就可以让这段数据按照顺序通过这 6 个进程的处理,最后输出显示出来。

3 测试结果分析

TS 流输入任务中 DSP 的 memory 的数据截图:由图 8 可见,TS 流在 SDRAM 存放的基地址为 0x804DBC88,前四个字节(即 47 40 45 10)是 TS 包的包头,从包头的定义规范可以看到,第一个字节 47 为 TS 包的同步字节,第二个字节 40 说明这个 TS 包包含一个 PES 包的包头(是一个 PES 包的开始第一个 TS 包),它的传输优先级为 0

级,在这个包中不存在传输错误,第二个字节和第三个字节一起表明这个 TS 包的 PID 是 45,这是设计中的视频包的 PID;第四个字节说明在这个 TS 包中仅有有效载荷,没有自适应区。距离 188 字节再次出现同步字节 0x47,0x00 表示不是第一个 TS 包,PID 也是 0x45。再过 188 个字节还是同步字节 0x47。由此可见,TS 流的输入输出任务都较好地完成了它们的功能,整个信源编码平台工作正常。

4 总结

本文对基于 TMS320DM642 的信源编码平台设计进行了详细的介绍,并对整个系统平台的各部分的电路进行了设计,在软件方面重点介绍了 DSP/BIOS 下各处理器任务的实现方式及其调度策略。

参考文献:

- [1]彭建勇,胡福桥,罗亮辉.基于 802.11b 的嵌入式无线图像传输系统[J].微型电脑应用,2005,21(2):28- 30.
- [2]李雪梅.无线图像传输技术及应用介绍[J].中国无线电,2006,(7):12- 14.
- [3]冯景锋,李国松,李熠星.地面数字电视广播覆盖网规划参数[J].广播与电视技术,2007,(2):76- 78.