

IEEE 802.11 DCF 协议研究与实现

李卫, 王杉, 魏急波

(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘要: 针对无线局域网无可比拟的接入优点, 研究了 IEEE 802.11 MAC 层 DCF 协议的主要功能, 提出了一种实用的、可扩展的 DCF 协议的设计方案, 为进一步研究无线局域网的接入协议提供保障, 实现了以太网与无线局域网的互联互通。该文阐述了设计方案主要模块单元的功能, 介绍了 FPGA 内部设计的主要思想和数据流程。

关键词: 无线局域网; 分布协调功能; 介质访问控制层; 现场可编程门阵列

Research and Implementation of IEEE 802.11 DCF Protocol

LI Wei, WANG Shan, WEI Jibo

(School of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defence Technology, Changsha 410073)

【Abstract】 With the rapid development of the WLAN, more and more people wish to use it to connect to the Internet and it has become a very good accessible mode with its super advantages. Now the WLAN MAC layer protocol is a hotspot in the WLAN research. This paper researches the IEEE 802.11 DCF protocol and proposes a scheme to make a bridge between the Ethernet and WLAN. It expatiates the function of the main module unit and makes a more particular introduction to the main idea and workflow of the implementation of the IEEE 802.11 DCF protocol with FPGA.

【Key words】 WLAN; DCF; MAC layer; FPGA

目前主流的 WLAN 系统是 IEEE 802.11x 系列。在该系列中, 数据链路层分为 LLC 层和 MAC 层两部分。其中 MAC 层协议就是以一定的顺序和有效的方式来分配节点访问媒体的规则。LLC 在 IEEE802.11x 系列中只制定了一种标准, 各种不同的 MAC 协议都使用相同的 LLC。这使得各种不同网络的兼容性提高, 高层的通信协议不用依赖底层的实际架构。本文研究了 IEEE 802.11 MAC 层 DCF 协议的主要功能, 提出了一种实用的、可扩展的 DCF 协议的设计方案, 最后用 Xilinx 公司的 FPGA 芯片来实现。

1 无线网络 MAC 层存在的问题

有线网络和无线网络的一个差别就是无线网络中存在有隐终端(hidden terminal)和显终端(exposed terminal)的问题^[7]。这两个问题在有线网络中不会存在。

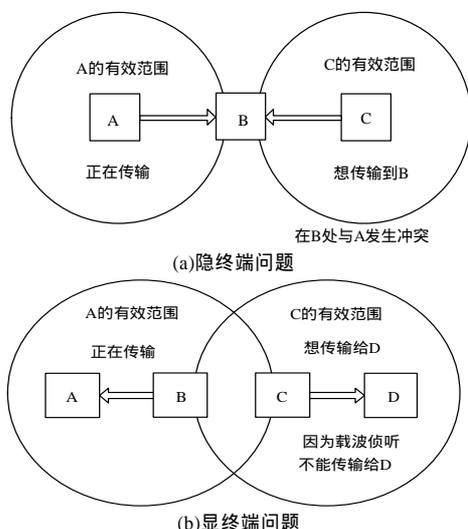


图1 无线局域网的隐终端和显终端问题

隐终端是指碰撞的发生是在接收端的工作站, 而不是在发送端。如图 1(a)所示, 因为传输距离的限制, 使得发送端 A 与 C 之间并不互相知悉对方的存在。当 A 和 C 同时要传输数据包给 B 时, 会先侦测信道是否空闲。此时发现信道是空闲的状态, 所以双双把数据包往 B 发送, 造成数据包在接收端 B 发生碰撞。也就是说, 即使发送端的信道是空闲的, 也有可能接收端发生碰撞, 会造成 A 和 C 的数据包都传输不成功。显终端则是相反的状况。如图 1(b)所示, 当 B 正在传输数据包给 A, 而 C 也想发送数据包给 D 时, 发送端 C 会侦测到己端信道是忙状态(因为相邻的 B 正在使用信道), 而不能传输数据包给接收端 D。其实此时 D 的信道仍是空闲的状态, 这个问题造成了传输信道无法被有效地利用。

2 IEEE 802.11 DCF 协议分析

IEEE 802.11 物理层的无线信道特性决定了 WLAN 具有独特的媒体接入控制(MAC)机制。如图 2 所示, IEEE 802.11 支持如下 2 种不同的 MAC 方案^[3]:

(1) 分布协调功能(DCF), 该功能以握手通信的方式解决了隐终端问题并一定程度上缓解了显终端问题。其类似于传统的分组网, 支持异步数据传输等异步业务, 所有要传输数据的用户以竞争的方式来获得接入网络的机会;

(2) 点协调功能(PCF), 基于由接入点控制的轮询(Poll)方式, 主要用于传输实时业务。MAC 子层由 DCF 和 PCF 两部分组成。DCF 直接位于物理层之上。所有站点均支持 DCF。在 Ad hoc 网中, DCF 独立工作; 在基本结构网中, DCF 可独立工作也可与 PCF 共同工作。

作者简介: 李卫(1980-), 男, 博士生, 主研方向: 无线网络接入协议性能分析与仿真; 王杉, 博士生; 魏急波, 博导、教授

收稿日期: 2006-05-26

E-mail: davidlewei@tom.com

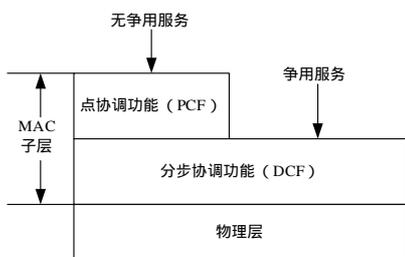


图 2 802.11 标准 MAC 子层的结构

由于无线信道动态范围大，在有效带宽内采用冲突检测方式是很困难的，因此只能采取随机退避方式以减少两帧冲突的概率。因此 DCF 基于 CSMA/CA 而未采用有线局域网中主要使用的 CSMA/CD 接入方式。

无线媒体的优先接入通过使用各帧传输之间的帧间间隔 IFS(Interframe Space)来控制。IFS 是传输媒体上的空闲时间。有 3 种 IFS: SIFS(shortIFS)、PIFS(PCF IFS)和 DIFS(DCF IFS)。SIFS 最短，PIFS 居中，DIFS 最长。最高优先级帧使用 SIFS 传输，如接收站发送 ACK 给发送站时使用 SIFS，以保证没有其它站干扰介入；PIFS 用于实时性要求强的数据帧传输；DIFS 用于一般异步数据传输。

CSMA/CA 工作模式如下^[3]：当工作站想传送资料时，会先做载波侦听，如果发现信道是空闲的，不是马上发送数据，而是等信道持续空闲一固定时间 IFS 后，工作站再根据二进制指数回退算法等待一段由随机数决定的时间，如果信道是空闲时开始传输数据，接收端收到数据包后还要回复一个 ACK 帧给传送端。如果在执行回退的阶段侦听到信道是忙的，则工作站进入冲突避免状态，回退计数器暂停，一直等到信道变成空闲且维持了 IFS 的时间，才继续回退计数。802.11 标准间隔 IFS 的使用情况如图 3 所示。

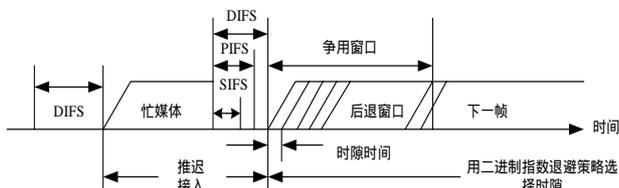


图 3 802.11 标准间隔 IFS 的使用情况

经过 CSMA/CA 的步骤之后，发送端工作站可以视情况需要先送出 RTS 帧，并在 RTS 里加上预约传输时间。等到收到响应的 CTS，才开始传输数据包。并不是所有的数据包在传输之前都要使用 RTS/CTS，只有在当要传输的帧长度大于 RTS 门限值时才会使用 RTS/CTS，因为帧一旦发生冲突，只能等到 ACK 期满后才会发现，所以传输长帧前必须先发送 RTS 以保证长帧不会发生冲突，或是把长帧分割成许多片段 (Fragmentation of Packets) 来传送。RTS 或 CTS 里面都包含有预约传输时间，其它工作站一接到 RTS 就将此时间加入自己的网络分配向量 (Net Allocation Vector, NAV) 里，其值在归零之前不可以传送帧。

3 IEEE 802.11 DCF 协议方案设计与实现

MAC 层 (以下称为 MAC 板) 处于物理层 (以下称为基带板) 与客户多媒体数据接入之间。MAC 板的硬件平台设计首先考虑采用专用 ASIC 芯片，对于板内、板间自定义的接口采用 FPGA 编程来实现。

本设计为了调试的方便，并没有完全按照无线局域网 IEEE802.11 的规范来设计 MPDU (MAC Protocol Data Unit)，

而是根据实际情况对包格式做了一些简化，将设计的主要精力放在 DCF 协议的竞争接入方式的实现上，如图 4 所示。这里需要说明的是，由于最长的以太网帧为 1518B，因此数据域实际上控制在 1.5KB 左右，用 12bit 表示帧长度 (以下称为 Length) 已经足够了。在此基础上，所设计的 DCF 协议实用、可扩展性强，既完成了以太网与无线局域网的互联互通，又在目前通用的 DCF 协议中留有足够的扩展余地，为后续的进行进一步 WLAN 研究提供一个有利的基础平台。

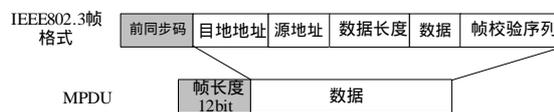


图 4 MAC 帧格式

本设计主要包括两个功能模块：发送模块和接收模块。由于接收模块在实现上与发送模块有很大的相似性，且所设计的 DCF 协议的竞争接入方式主要体现在发送模块上，下面将只介绍发送模块，如图 5 所示。

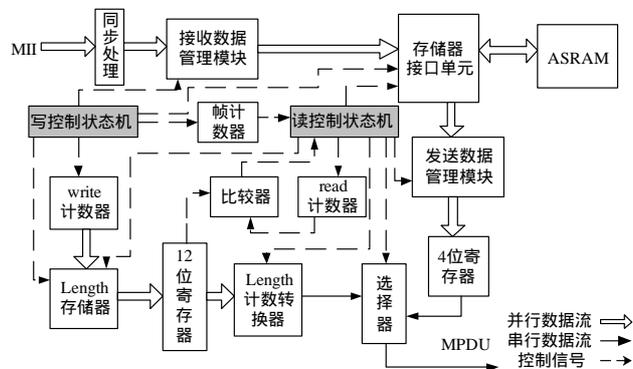


图 5 FPGA 发送功能模块

从图 5 可以看出，图中的主要子模块都是由写控制状态机模块和读控制状态机模块来控制的，这意味着发送模块的数据流程步骤主要是靠读/写控制状态机这两个模块来控制的，所设计的 DCF 协议的可扩展性主要体现在这两个模块的设计思路。相对地在接收模块中也是由写控制状态机模块和读控制状态机模块来控制数据流程。下面将介绍发送模块中的读/写控制状态机模块的工作流程、它们各个状态之间的转换关系以及每个状态下所要求完成的功能。

写控制状态机模块由 5 个状态组成：分别为空闲状态 (Idle)、接收前导状态 (Preamble)、写状态 (Write)、结束状态 (End) 与其它状态 (Others)。如图 6 所示 (虚线表示自动转移到下一个状态)。

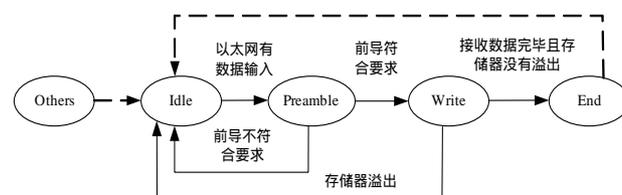


图 6 写控制状态机模块

Idle 状态：把所有计数器、寄存器清零，等待着以太网数据帧的到来，当判断有以太网的帧传来时转移到 Preamble 状态。

Preamble 状态：在这个状态下完成的功能就是根据以太网帧头的 Preamble 来决定这一帧是接收还是丢弃。如果

Preamble 符合要求,那么就认为这一帧有效,转移到 Write 状态。否则的话就认为这一帧已经出现了严重的误码将这一帧丢弃,重新转移到 Idle 状态。

Write 状态:在该状态下主要完成 3 步工作。将接收到的有效以太网帧中的数据并行写入 ASRAM 中;启动 Write 计数器,记录这一帧共有多少 Nibble,然后把 Write 计数器统计的 Nibble 数值存入 Length 存储器;存完整个以太网帧后,帧计数器加 1。当完成这 3 个步骤后就可以转移到 End 状态,但是由于以太网的数据速率比本文所设计的基带板数据速率要快,因此很可能发生将 ASRAM 写满的情况。这时就要立即停止往 ASRAM 中写数据,并且将 ASRAM 的写地址计数恢复为刚开始存储这个以太网帧时的写地址(表示将这个以太网帧丢弃,这时帧计数器不计数)然后再转移到 Idle 状态。

End 状态:这个状态一方面完成全部使能信号的归零,另一方面如果由于前面的处理使得数据和使能信号发生了错位,在这个状态下就可以调整,处理完后自动转移到 Idle 状态。

Others 状态:这个状态包含了除了上面所讲的 4 种状态外的所有状态。当进入这个状态后也必须将写地址计数恢复到存储该帧数据之前的原始值,这时帧计数器不计数。当完成这些步骤后将自动转移到 Idle 状态,主要是为了防止出现状态机锁死的情况。

读控制状态机模块由 9 个状态组成:分别为空闲状态 (Idle)、等待状态 (Wait)、帧等待状态 (Frame Wait)、回退状态 (Backoff)、传输 Length 域状态 (Tran_Length)、传输数据域状态 (Tran_Data)、ACK 等待状态 (ACK Wait)、结束状态 (End) 与其它状态 (Others),如图 7 所示(虚线表示自动转移到下一个状态)。

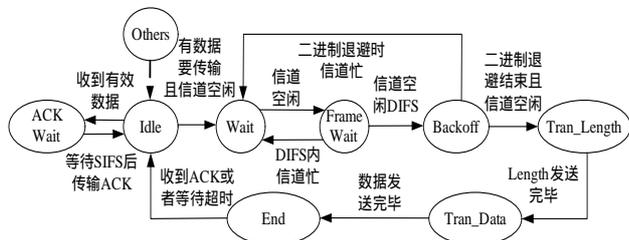


图 7 读控制状态机模块

Idle 状态:把所有计数器、寄存器清零,当 End 状态请求重传上一次的数据帧且信道空闲时或者帧计数器通知 ASRAM 中有完整的帧还没有发送且信道空闲时转移到 Wait 状态,这里要求优先相应数据重传的请求;当接收模块通知收到了有效的数据帧要求发送 ACK 帧时转移到 ACK Wait 状态。

ACK Wait 状态:在这个状态下完成的功能就是在等待 SIFS 时间后传输 ACK 帧,然后转移到 Idle 状态。

Wait 状态:在这个状态下完成的功能就是判断当前的信道是否空闲,如果空闲的话转移到 Frame Wait 状态。

Frame Wait 状态:在这个状态下完成的功能就是判断 DIFS 时间内信道是否空闲,如果空闲转移到 Backoff 状态,否则转移到 Wait 状态。

Backoff 状态:在这个状态下完成的功能就是根据传输数据帧的回退情况判断该帧是否第 1 次进入这个状态并且作出相应的处理。如果是第 1 次进入这个状态则在争用窗内随机选取一个回退数,并且在信道空闲时由一个回退计数器开始

递减,直到回退计数器为 0 时信道都一直空闲,则移到 Tran_Length 状态,否则当信道忙时回退计数器停止递减,存储该回退计数器内的数值并且转移到 Wait 状态;如果不是第 1 次进入这个状态则将所保存的回退计数器内的数值开始递减,直到回退计数器为 0 时信道都一直空闲,则移到 Tran_Length 状态,否则当信道忙时回退计数器停止递减,存储该回退计数器内的数值并且转移到 Wait 状态。

Tran_Length 状态:在这个状态下完成的功能就是传输所定义的 MPDU 帧长度域,然后转移到 Tran_Data 状态。

Tran_Data 状态:在这个状态下完成的功能就是传输 MPDU 数据域,然后转移到 End 状态。

End 状态:这个状态一方面完成全部使能信号的归零,另一方面启动 ACK 计数器开始递减。如果 ACK 计数器为 0 前收到 ACK 帧的话,就转移到 Idle 状态并且通知 Idle 状态可以传输下一帧数据;如果 ACK 计数器为 0 后都没有收到 ACK 帧,则启动重传计数器加 1 并且与重传限制数进行比较,如果小于或等于最大重传数则转移到 Idle 状态,并且通知 Idle 状态重新传输该帧,否则转移到 Idle 状态,并且通知 Idle 状态将该帧丢弃开始下一帧的传输。

Others 状态:这个状态包含了除上面所讲的 8 种状态外的所有状态。当进入这个状态后必须把所有的计数器值恢复为初始值。当恢复初始值后将自动转移到 Idle 状态,这主要是为了防止出现状态机锁死的情况。

4 结束语

目前,本设计提出的 IEEE 802.11 DCF 协议设计方案已用 Xilinx 公司的 Virtex-E 系列 XCV300E 芯片实现其功能。根据本文介绍的设计方案,首先用 VHDL 语言对其 RTL 级行为进行描述,然后在 Xilinx 公司的开发系统中进行编译、仿真和配置下载并进行了硬件调试且通过了初步测试。该协议的设计与实现对推动无线接入网的广泛应用与进一步研究有十分重要的意义。

参考文献

- 1 Virtex-E 1.8V Field-Programmable Gate Arrays Data Sheet[Z]. Xilinx Inc., 2002.
- 2 IS63LV1024 High-speed CMOS STATIC RAM Data Sheet[Z]. ICSI Inc., 2001.
- 3 IEEE Std. 802.11-1999. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. 1999.
- 4 IEEE Std. 802.3-2000. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications[S]. 2000.
- 5 The VHDL Golden Reference Guide[Z]. Doulos Ltd., 1995.
- 6 Youssef M A. Specification and Analysis of the DCF and PCF Protocols in the 802.11 Standard Using Systems of Communicating Machines[C]//Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Network Protocols. 2002: 132-143.
- 7 Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Commu., 2000, 18(3): 535-547.
- 8 任晓东,文 博. CPLD/FPGA 高级应用开发指南[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- 9 曾繁泰,陈美金. VHDL 程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.