

IEEE 802.11 协议传输距离限制及改进研究

张锋^{1,2}, 向新¹, 杨宝强¹, 刘雄^{1,3}, 吴旭旭⁴

(1. 空军工程大学航空航天工程学院, 西安 710038; 2. 中国人民解放军95156部队, 南宁 530048;
3. 中国人民解放军95247部队, 广东惠州 516259; 4. 西安飞行学院, 西安 710300)

摘要: 针对现有802.11通信协议中主要的CSMA/CA协议最大通信距离仅为300 m, 超过300 m后, 随着距离的增加, 系统的性能急剧下降的问题, 分析了造成这种问题的原因, 并提出根据距离的变化改变ACKtimeout这一方法, 提高了CSMA/CA协议远距离传输的性能, 用OPNET软件进行仿真。仿真表明: 在远距离通信时, 提高了系统的吞吐量, 减少了接入时延。

关键词: CSMA/CA协议; 远距离; ACKtimeout

中图分类号: V271.4; TP393.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)06-0085-04

The Limit and Improvement of Communication Distance in IEEE 802.11 Protocol

ZHANG Feng^{1,2}, XIANG Xin¹, YANG Baoqiang¹, LIU Xiong^{1,3}, WU Xuxu⁴

(1. Engineering College of Aeronautics and Astronautics, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;
2. No. 95156 Unit of PLA, Nanning 530048, China; 3. No. 95247 Unit of PLA, Huizhou 516259, China;
4. Xi'an Aviation College, Xi'an 710300, China)

Abstract: The maximum communication distance of main CSMA/CA protocol in present 802.11 communication protocol is only 300 m; and the system performance declines dramatically with the increase of distance over 300 m. The cause for this problem was analyzed, and a method of changing ACKtimeout in accordance with the variation of distance was provided, which improved the performance of CSMA/CA protocol in long distance communication. Simulation was carried out with OPNET software, and the results showed that in long distance communication, system throughput is improved and connected delay is reduced.

Key words: CSMA/CA protocol; long distance; ACKtimeout

0 引言

近几年, 无线局域网随着电脑的普及得到人们越来越多的关注, 尤其是在民用方面已得到迅速的发展^[1]。无线局域网具有移动性好、抗干扰能力强、组网快捷、传输速率高、吞吐量较大等优点, 广泛应用于教育、金融、健康、旅游以及零售业、制造业等方面。然而, 这些应用都是基于室内通信的, 传输距离通常在100 m左右, 室外理想情况下也仅为300 m, 限制了其在更多场合的应用, 如森林防火、野外勘探等。目前,

市面上的无线局域网设备大多采用IEEE 802.11系列的无线网卡, 其主要使用的通信协议为载波侦听多路访问/冲突避免(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance, CSMA/CA)协议^[2]。

本文详细地分析了CSMA/CA协议的确认机制, 研究发现, CSMA/CA协议在通信距离为300 m以内理想环境下性能良好, 但是超过300 m, 距离越远, 其性能指标下降得越快, 仅仅通过增加发射功率、提高天线的增益等方式来提高通信距离, 效果并不理想。文献[3]中给出了CSMA/CA协议最大通信距离的理论值为6000 m, 但仅给出了指标, 未做详细的分析。本文分析了CSMA/CA协议对距离制约的原因, 并提出了在远距离通信时根据距离的变化改变ACK的超时时间(ACKtimeout), 通过OPNET^[4]软件进行了仿真, 与原有算法相比, 在吞吐量及时延上都有良好的改善。

收稿日期: 2012-03-27

修回日期: 2012-05-30

基金项目: 航空科学基金(20095596014); 陕西省自然科学基金研究资助项目(2009JM8001-4)

作者简介: 张锋(1984—), 男, 湖北宜城人, 硕士生, 助工, 研究方向为网络信息与安全。

1 CSMA/CA 协议的确认机制及制约距离的原因分析

CSMA/CA 协议采用二进制退避机制,这种机制避免了冲突剧烈,文献[2]中做了详细的分析。与其他协议不同的是,CSMA/CA 协议采用肯定确认(Positive Acknowledgment)机制,所有传送出去的帧都必须得到响应(如图 1 所示),只要任何一个环节失败,该帧即被视为已经漏失,将重传此帧。

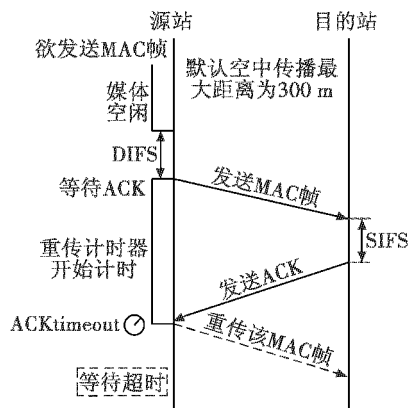


图 1 CSMA/CA 协议的确认机制

Fig. 1 CSMA/CA protocol acknowledgment mechanism

源站欲发送 MAC 帧时,先检测信道,若信道空闲,则等待一段分布式协调功能的帧间间隔(Distributed coordination Function Interframe Space, DIFS)时间,信道依旧空闲则发送 MAC 帧。目的站若正确收到此帧,经过短帧间间隔(Short Interframe Space, SIFS)时间后,向源站发送一个 ACK 确认帧。若源站在 ACKtimeout 内没收到 ACK 确认帧,则认为该 MAC 帧丢失,就必须经过若干次的重传,重传到达重传限制后放弃发送。

基于 IEEE 标准的 CSMA/CA 协议中默认的 MAC 帧在空中传播时间为 $1 \mu\text{s}$ ^[5],即 CSMA/CA 协议默认的最大传输距离为 300 m。当传输距离增加至 2 ~ 3 km 时,数据包在空中传播的时间从默认的 $1 \mu\text{s}$ 增加到 7 ~ 9 μs 。由于采用确认机制,源站的重传计时器依然按照 $1 \mu\text{s}$ 的空中传播时间计时,这样导致源站发送的 MAC 帧被目的站正确收到,但由于在 ACKtimeout 内源站没有收到来自目的站的 ACK 确认帧,源站认为该帧在传输过程中丢失,重传此帧。这样,即便在信噪比和信号强度较好的情况下,依然不能完成通信。

进一步分析可知,如果源站 ACKtimeout 短于实际收到的来自目的站 ACK 的时间,那源站将默认为发送的数据包丢失或发送过程中发生错误,源站将重传此数据包,并且重传的数据包将会与正在路上的 ACK 发生碰撞,此时媒体变为忙,进入协议的退避机制,吞吐量将降低,如图 2 所示。

相反地,如果 ACKtimeout 时间设定的太长,源站发送给重传丢失的包之前将会非必要地等待一段时间,也降低了吞吐量,如图 3 所示。关于 CTS 帧的超时时间(CTStimeout),相似的结论也能够得到。RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send)缓解了隐藏终端和暴露终端的问题,但在远距离传输过程中,也必须通过改变 CTStimeout 来达到理想的效果。

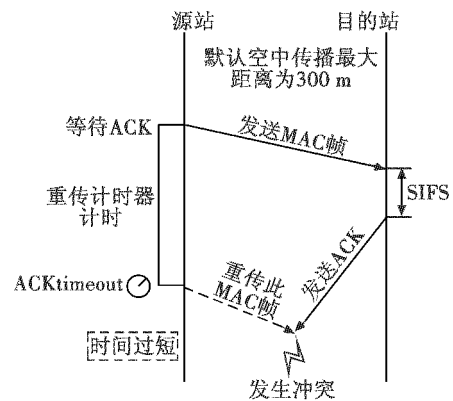


图 2 ACKtimeout 的时间设定过短

Fig. 2 ACKtimeout is too short

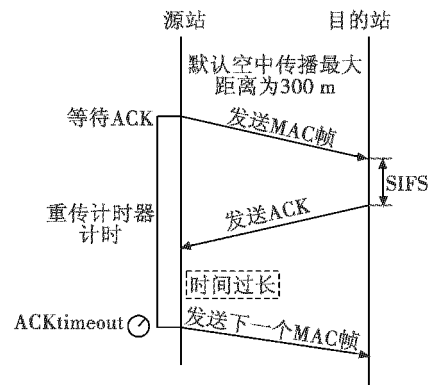


图 3 ACKtimeout 的时间设定过长

Fig. 3 ACKtimeout is too long

因此,合理地设定 ACKtimeout 是使用 CSMA/CA 协议进行远距离通信时必须考虑的问题。默认的 CTS 和 ACK 的 timeout 依赖于各个不同的厂商设定的参数,一般采用 IEEE 标准推荐的参数。IEEE 标准下的 CSMA/CA 协议中,对于一些时间参数做了如下定义^[5]:ACKtimeout 为 SIFS、传递 14 字节的 ACK 帧时间和空中传播时间之和;SlotTime 为 MAC 和 PHY 的延时与空中传播时间之和;DIFS 为 2 倍的 SlotTime 与 SIFS 之和。

如在 IEEE 802.11b 中,IEEE 标准将参数定义如下:SlotTime 为 $20 \mu\text{s}$,SIFS 为 $10 \mu\text{s}$ 。这些参数的定义保存在物理层 PLME_CHARACTERISTICS.confirm() 的原语中,此原语保存了竞争窗口的大小与检测信道忙闲所需的最小时间,这些参数在出厂时已经由厂家设

定好,固定于设备的芯片中不可更改,厂家一般按照 IEEE 推荐的参数进行设定。但随着软件无线电的发展,一些设备厂商为了将 CSMA/CA 协议用于远距离的无线传输,提供了直接更改 ACKtimeout 的设置,如 Netkrom 公司生产的无线距离产品^[6],图 4 所示为配置远距离通信参数的界面。

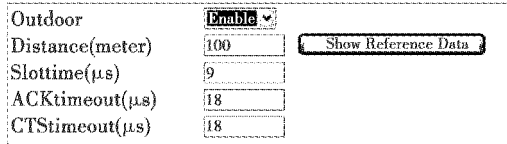


图 4 配置远距离通信参数的界面

Fig. 4 Long distance parameters

当在 Distance (meter) 中输入通信距离时,点击 show Reference Data,可以自动计算 ACKtimeout 和间隙时间 CTStimeout,并给出推荐的 Slottime,这样可以保证传输的最大吞吐量。

详细研究 CSMA/CA 协议的退避机制和确认机制,对于 IEEE 802.11b 来说,进一步可以得到以下结论。

1) 考虑到退避机制,一个站点将只能在 SlotTime 开始之后才能传送数据,因此信号到达目的站之前不能够停止,也即给出了最大距离 $20 \mu s \times 300 \text{ m}/\mu s = 6000 \text{ m}$ 。假设 ACKtimeout 的时间增加了,这是一个点对多点的通信的最大的距离,且没有导致严重的指数退避(假设没有隐藏站点)。

2) 一个站点开始传输之前必须等待 DIFS,另一方面,802.11b 中 DIFS 为 $50 \mu s$,即站点有 $50 \mu s$ 的时间来感知信道,并避免一个来自更远站点的冲突。这意味着假使 ACKtimeout 的时间增加了,最大的点对点的距离为 $300 \text{ m}/\mu s \times 50 \mu s = 15000 \text{ m}$,这是一个进行数据传输的极限距离。

需要说明的是,在进行远距离无线传输时,必须要考虑到无线信道引起的损耗,要保证 6000 m 甚至 15000 m 的距离通信性能良好,除需要修改协议本身的 ACKtimeout 外,还需要满足无线传输的链路预算方程^[3],一般考虑适当增加发射功率和选用高增益的天线。对于点对点传输来讲,最好采用高增益的定向天线,本文对此情况进行了实测。

本文选用 Mikrotik 公司生产的远距离传输产品 RouterBoard 主板,其发射功率为 600 mW,该主板已具备了简单的软件无线电的功能,提供了修改 ACKtimeout 的选项,配备 12 dB 的全向天线。此次实测在学校高楼楼顶和周边的山上分别架设该设备,并根据距离修改 ACKtimeout。实测表明,当距离为 3500 m,传输速

率为 2 Mb/s 时,设置 ACKtimeout 的时间为 $98 \mu s$,相比不修改 ACKtimeout 时,传输数据的性能良好,验证了理论。

2 性能仿真及对比

为了验证远距离通信的效果,用 OPNET^[7]搭建场景进行仿真。拟定通信距离为 1000 m,这相对于默认的 300 m 的距离空中传播的时间增加了 $2.3 \mu s$ 。根据式(1)和式(2),计算 ACKtimeout 和 SlotTime 的时间。在 1000 m 的通信中,将原有的 SlotTime 的时间 $20 \mu s$ 改变为 $23 \mu s$,ACKtimeout 增加 $6 \mu s$,由于在 OPNET 中没有直接修改 ACKtimeout,将原有的 SIFS 改为 $16 \mu s$,以增加 ACKtimeout。如图 5 所示,在 OPNET 中选取 $1000 \text{ m} \times 1000 \text{ m}$ 的场景,随机配置 13 个节点,组建 Adhoc 网络模型。

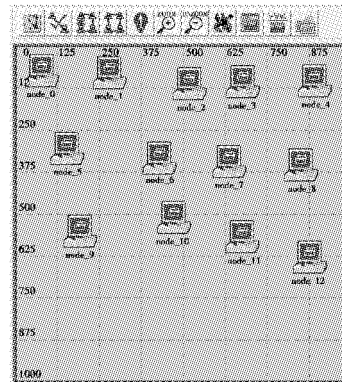


图 5 Adhoc 网络模型

Fig. 5 Adhoc network model

在仿真实验中,采用直接序列扩频(DSSS)的参数(默认),如表 1 所示。

表 1 MAC 层和采用 DSSS 的物理层参数
Table 1 Physical layer parameters of MAC layer and DSSS

物理层	参数值
数据包/bit	8192
MAC 层包头/bit	224
物理层包头/bit	192
ACK/bit	112
信道速率/(Mbit · s ⁻¹)	1
传播时延/ μs	1
时隙(Slot)时间/ μs	20
SIFS/ μs	10
DIFS/ μs	50

OPNET 中提供了 ON-OFF 的建模机制,在 ON 期间生成数据包,每个包的大小和包间隔可以按照某种分布函数来确定,在 OFF 期间不发送数据包。按照表 2 设置网络的业务参数。

表 2 输入业务参数

Table 2 Input operation parameters

输入业务	参数值
业务开始时间/s	Constant(0)
业务结束时间/s	Constant(100)
ON 的平均持续时间/s	Exponential(90)
OFF 的平均持续时间/s	Exponential(10)
包平均到达时间间隔/s	Constant(0.07)

仿真结果如图 6、图 7 所示。

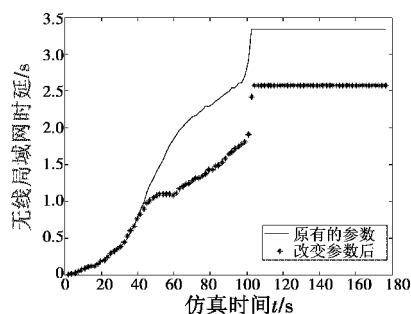


图 6 更改参数后的时延对比图

Fig. 6 Delay contrast after changing parameters

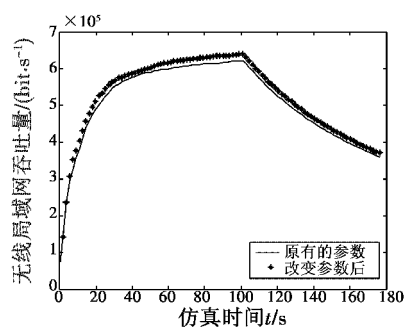


图 7 更改参数后吞吐量的对比图

Fig. 7 Throughput contrast after changing parameters

由图 6、图 7 可知,距离增加至 1000 m 时,修改相关的时间参数与默认的 $1 \mu\text{s}$ 空中传播时间相比,其吞吐量更大,且时延也更低。吞吐量的增加是由于源站

在传递数据包的过程中,避免了与来自目的站的 ACK 发生碰撞,减少了重传的次数。需要说明的是,增加了 SIFS,也增加了 DIFS,这意味着源站和目的站需要等待更长的时间才能发送数据包,但由于减少了碰撞的发生,且避免了不必要重传,因此其时延也减小了。

3 结束语

本文详细地分析了 CSMA/CA 协议的确认机制,从协议的角度分析了 ACKtimeout 的设定时间对系统性能的影响,提出了在远距离通信时,根据距离增加 ACKtimeout 能够提高系统的吞吐量,降低接入时延。

参考文献

- [1] 金纯,陈林星,杨吉云. IEEE 802. 11 无线局域网[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] HO T S, CHEN K C. Performance analysis of IEEE802. 11 CSMA/CA medium access control protocol [C]//The 7th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 1996:407-411.
- [3] 刘乃安. 无线局域网(WLAN)—原理、技术与应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- [4] 王文博,张金文. OPNET Modeler 与网络仿真[M]. 北京:人民邮电出版社,2003.
- [5] IEEE 802. 11-1999. Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. 1999.
- [6] Netkrom. Airnet 11 Mb CPE bridge[Z]. <http://www.netkrom.com>, 2005.
- [7] 陈敏,韦岗. IEEE 802. 11 无线局域网 OPNET 建模与性能测试[J]. 计算机工程,2004,30(21):14-16,139.

声 明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、北京万方数据股份有限公司、重庆维普资讯有限公司等在其网络平台 and 系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文,著作权使用费与本刊稿酬一并支付。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意我部上述声明。