

基于 OFDMA 面向 QoS 保障的新型多址接入协议

周润, 李波, 杨懋, 闫中江

(西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710129)

摘要:下一代无线局域网(wireless local area network, WLAN) IEEE 802.11ax 标准委员会将高服务质量(quality of service, QoS)保障作为下一代 WLAN 的重要技术目标之一。由于无线业务种类繁多,因此对 QoS 的要求必然也是多种多样,然而现有的基于正交频分多址(orthogonal frequency division multiple access, OFDMA)的介质访问控制(media access control, MAC)协议均不能很好地支持 QoS 多样化且要求高的特点。针对这一问题,提出了一种面向 QoS 的下一代 WLAN OFDMA 多址接入协议。在该协议中,一方面考虑后向兼容性,沿用 IEEE 802.11e 的 4 种优先级业务;另一方面引入面向 QoS 的优先级调度算法以支持未来无线业务 QoS 多样化且要求高的特点。最后,通过仿真验证所提协议 QoS-OFDMA MAC 的系统有效吞吐量比顺序调度算法的 OFDMA MAC 和比例公平调度算法的 OFDMA MAC 分别提高了 57.8%和 59%。

关键词:无线局域网;服务质量;正交频分多址;介质访问控制;优先级调度算法

中图分类号:TP393

文献标志码:A

文章编号:1000-2758(2018)03-0543-07

随着无线网络迅速发展,数据的需求量也越来越大。目前,无线局域网(wireless local area network, WLAN)已成为主要的无线数据承载方式之一,WLAN 承载的数据量已达到(3~5)倍的蜂窝数据量。因此,为了应对 WLAN 数据呈爆炸式增长趋势,IEEE802.11 标准委员会与 2014 年正式成立下一代 WLAN 标准 802.11ax 工作组,目前,802.11ax 标准正处于制定的关键时期并与 2017 年 5 月颁布了最新 802.11draft1.2 版本^[1]。

与此同时,需求的急剧增加使得高密度成为了下一代 WLAN 的主要特性之一。高密度场景使得冲突更为严重,导致 MAC 效率急剧下降,因此现有的 WLAN 所采用的多址接入协议-分布式协调功能(distributed coordination function, DCF)已经无法满足高密度的场景。另一方面,无线业务呈现多样化趋势,这使得业务对服务质量(quality of service, QoS)的要求必然也是多种多样,目前传统的增强型分布式信道接入(enhanced distributed channel access, EDCA)方式已不能很好地支持 QoS 多样化

的要求。因此,下一代 WLAN 急需寻求既能显著提升媒介接入控制(media access control, MAC)效率,又能有效支撑多样化 QoS 要求的协议。也正因如此,IEEE 802.11ax 标准委员会将高密度场景、提升至 4 倍区域吞吐量和高 QoS 保障作为标准的技术目标^[2]。

近年来,学术界与工业界致力研究下一代 WLAN 的多址接入协议,并一致将正交频分多址(orthogonal frequency division multiple access, OFDMA)技术引入到下一代 WLAN 中作为关键技术之一。然而现有的基于 OFDMA 的下一代 WLAN 的 MAC,文献[3-5]没有考虑 QoS 保障,文献[6-7]没有考虑如何支持多样化的 QoS 需求。2016 年 11 月 802.11ax draft 0.1 标准框架^[8]已经接受了由 AP 触发的基于 OFDMA 下一代 WLAN 的 MAC,该协议框架也没有考虑如何支持多样化的 QoS 要求和高优先级业务的 QoS 保障。IEEE 802.11e 为了保障高优先级业务的 QoS,采用 EDCA 方式支持 QoS 优先级,提供有差别的服务,但是,EDCA 将无线业务仅

收稿日期:2017-05-06

基金项目:国家自然科学基金(61771390,61771392,61501373,61271279)、国家科技重大专项(2016ZX03001018-004)与中央高校基本科研业务费项目(3102017ZY018)资助

作者简介:周润(1982—),西北工业大学博士研究生,主要从事下一代无线局域网多址接入技术研究。

仅分为 4 类,对于 QoS 要求支持粒度较粗,无法有效支持现有业务 QoS 多样化的要求^[9]。加之,下一代 WLAN 是高密集部署,冲突的加剧使得 EDCA 机制已经无法工作。

本文提出了一种基于 OFDMA 面向 QoS 保障的新型多址接入协议,简称 QoS-OFDMA MAC。考虑后向兼容性的同时针对未来无线业务多样化 QoS 这一特性,提出并实现了基于优先级的 QoS 保障的调度算法。然后,为实现整个协议流程,设计了一整套完整的帧结构。最后通过仿真验证,该协议能够很好地支持多样化 QoS 的要求,同时提高了系统有效吞吐量。

本文的主要贡献概括如下:

1)提出了一种基于 OFDMA 面向 QoS 保障的新型多址接入协议。并且该协议框架具有通用性,可以支持各种各样的调度算法。

2)提出了顺序调度算法和基于优先级的 QoS 保障调度算法。

3)搭建了系统级-链路级一体化仿真平台。通过仿真验证得出,基于 OFDMA 的 MAC 协议,通过引入 QoS 优先级调度算法,QoS-OFDMA MAC 的系统有效吞吐量与顺序调度算法的 OFDMA MAC 和比例公平调度算法的 OFDMA MAC 相比,分别提高了 57.8%和 59%。

1 系统模型

本协议针对下一代 WLAN 的单个基本服务集 (basic service set, BSS),研究上行各类业务多样化 QoS 保障的问题。如图 1 所示,接入点 (access point, AP)位于小区的几何中心,站点 (station, STA)均匀随机地分布在 AP 的覆盖区域内。由于上行接入对下一代 WLAN MAC 设计具有很大的挑战,因此本文主要关注上行接入和传输。在 BSS 中,与 AP 关联了 m 个 STAs,每个 STA 的业务产生服从泊松分布,每个业务有各自的数据包大小,带宽需求,延时敏感性等参数特性,因而每个 STA 对 QoS 的要求是多种多样的。下一代 WLAN 引入了 OFDMA 作为关键技术之一,将全信道划分为多个子信道,所有 STA 在子信道上接入和传输,即并行接入和并行传输。如图 1 所示:基于 OFDMA 的机制,由 AP 维护子信道划分方法,对传统 WLAN 的 20 MHz 全信道采用固定划分为 N 个子信道,每个子信道由一组连

续的子载波组成。

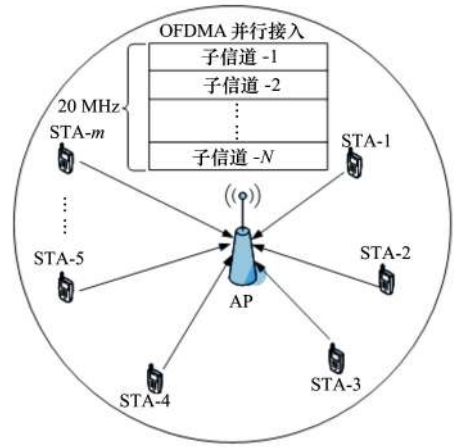


图 1 网络场景

2 QoS-OFDMA 多址接入协议设计

本协议设计的基本思想是:所有 STA 退避完成后,在多个子信道上并行接入,并将自己的业务类型和 QoS 的相关参数携带在请求发送 (request to send, RTS) 帧中。AP 对接入成功的 STA 按照业务类型和 QoS 参数进行优先级排序,其排序原则是:首先根据业务优先级进行排序,为了保证后向兼容性,本文沿用 IEEE 802.11e 中 EDCA 业务优先级分类方法^[10],将无线业务分为 4 种优先级;同时为了更好地支持业务 QoS 多样化,对于同种优先级的业务,再根据 QoS 参数进行排序。最后,通过对已排序好的优先级队列执行 QoS 优先级调度算法,将 STA 调度至不同数据传输轮次或者不同子信道上传输数据。

如图 2 所示,协议总体分为 3 个阶段:随机竞争阶段、资源分配阶段以及多轮数据传输阶段。

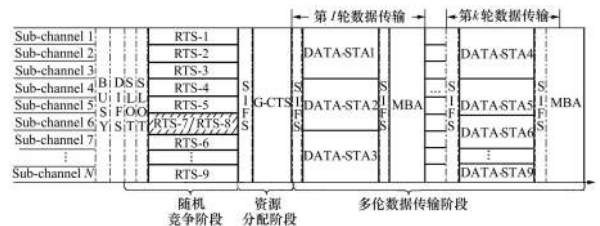


图 2 面向 QoS 调度的 OFDMA MAC 协议

2.1 随机竞争阶段

小区内所有 STA 采用传统的 DCF 方式,在发送数据分组前,必须要执行退避过程。当全信道空

闲分布式帧间隔(DCF Inter-frame Space, DIFS)时长后开始执行退避过程,上行所有业务用户从(0~竞争窗(contention window, CW))中随机选取一个数作为退避值,后续每空闲一个时隙,退避计数值减1。本协议为了提高退避效率,采用时频二维退避机制,每空闲一个时隙,退避计数值减去子信道个数^[10],如图3所示,以划分4个子信道为例说明时频二维退避过程。当退避完成均独立随机地选择一个子信道发送 RTS 帧进行接入,RTS 帧中携带业务类型和 QoS 相关参数,例如带宽需求、延时要求等参数。

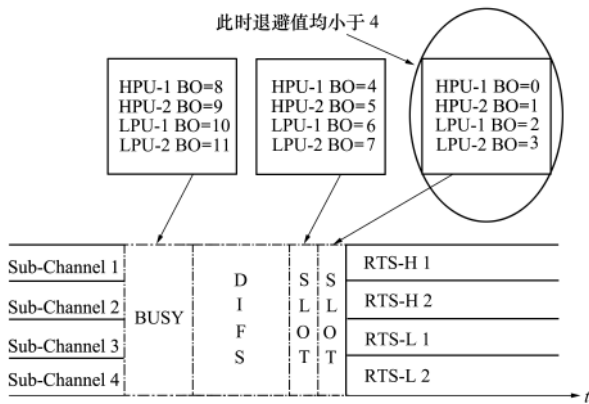


图 3 时频二维退避示例图

如图 2 所示 STA-1 至 STA-9 均有数据待发送。退避完成后,各自独立随机地选取一个子信道发送 RTS 帧进行信道接入。

2.2 资源分配阶段

随机竞争阶段完成后,AP 在子信道上成功接收到 STA 的 RTS 帧,从 RTS 帧中获取 STA 的业务类型和 QoS 相关参数,对 STA 的业务进行由高至低的优先级排序。本协议以业务类型和带宽需求、延时要求作为 QoS 相关参数为例,说明优先级排序的原则。

首先按照业务类型的优先级由高至低排序,出于后向兼容性的考虑,本文沿用 IEEE 802.11e 中 EDCA 业务优先级分类方法^[10],即分为 4 种接入类别(access category, AC): AC_VO、AC_VI、AC_BE 和 AC_BK,分别代表语音(voice)类、视频(video)类、尽力而为(best Effort)类和背景(background)类。同时为了支持 QoS 多样化的需求,对于同一类优先级的业务,再按照(带宽需求 / 延时要求)的值进行排

序,保证优先调度业务速率要求高且紧急的业务。其他 QoS 相关参数亦适用于本文所提优先级排序算法。

AP 对接入成功的 STA 执行 QoS 优先级调度算法,遍历已排序的 QoS 优先级队列。对延时要求小于等于本轮数据传输结束时间的 STA 按照其带宽需求分配子信道,当本轮剩余子信道不能满足该 STA 的带宽需求时,则重新开辟新一轮数据传输,若新一轮数据传输结束时间满足该 STA 业务延时要求,则按照带宽需求为该 STA 分配子信道。凡是本轮数据传输结束时间不能满足 STA 业务延时要求的均不分配子信道。QoS 优先级调度算法流程图如图 4 所示。

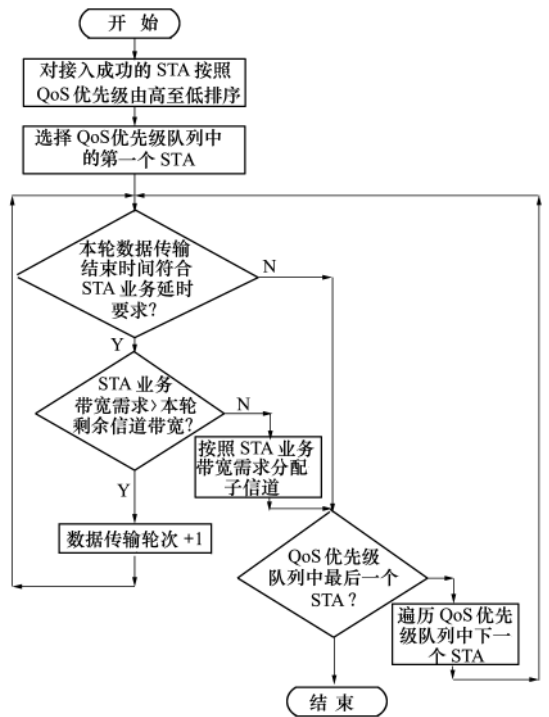


图 4 QoS 优先级调度算法流程图

AP 对成功接入且符合延时要求的 STA,调度至不同数据传输轮次或者不同的子信道上,分配满足其带宽需求的子信道数后,AP 产生组清除发送(group clear to send, G-CTS)帧,并将计算得到的上行业务用户数据分组的传输时间、用户地址、数据传输轮次、子信道分配结果写入到 G-CTS 帧的相应字段。经过短帧间隔(short inter frame space, SIFS)时长,AP 在全信道上广播该 G-CTS 帧。所有发送 RTS 帧的 STA 均从全信道上接收 G-CTS 帧。首先

检查 G-CTS 帧中的地址字段是否含有自己的地址,如果 G-CTS 帧中含有自己的地址,则说明本次随机竞争接入成功。如果 G-CTS 帧中未包含自己的地址,则说明本次随机竞争接入失败。如图 2 所示 AP 正确收到了 STA-1~STA-6 和 STA-9 的 RTS 帧,执行 QoS 优先级调度算法,将 STA 调度至不同的数据传输轮次或者不同的子信道上。AP 调度结果如表 1 所示。STA-7、STA-8 发生了碰撞,AP 未成功收到它们的 RTS 帧,随机竞争接入失败。

表 1 调度分配子信道结果

STA 地址	数据传输轮次	子信道分配结果
STA-1	1	子信道(1~3)
STA-2	1	子信道(4~6)
STA-3	1	子信道(7~N)
STA-4	k	子信道(1~3)
STA-5	k	子信道(4~5)
STA-6	k	子信道(6~N-1)
STA-9	k	子信道 N

2.3 数据传输阶段

对于随机竞争阶段成功的 STA,从 G-CTS 帧中获得自己数据传输的轮次和分配的子信道。调度至第 $k(k \geq 1)$ 轮的 STA,经过 $(k-1)$ 轮数据传输时长 + SIFS 时长,在指定的子信道上发送 DATA。AP 从各子信道上接收完成各 STA 的数据分组后,根据数据分组中的校验字段检查各分组是否正确,并将结果写入到多用户块确认(multiuser block ACK, MBA)帧的相应字段。AP 在等待 SIFS 时长后在全信道上广播该 MBA 帧。所有发送数据分组的 STA 接收 MBA 帧并检查自己的数据分组是否正确传输。如果自己的数据分组发送成功,则 STA 将竞争窗设置为初始值;否则,该 STA 根据二进制指数退避机制加倍自己的竞争窗并在下一次传输机会重新进行随机竞争接入。

如图 2 所示接入成功的站点 STA-1~STA-3 收到 G-CTS 后,根据 G-CTS 帧中的指示,经过 SIFS 时长在第一轮数据传输分配的子信道上发送 DATA。AP 收到 STA-1~STA-3 的 DATA 后,回复 MBA 帧,第一轮数据传输结束。接入成功的站点 STA-4~STA-6 及 STA-9 在第 k 轮数据传输分配的子信道上发送 DATA。AP 收到 STA-4~STA-6 及 STA-9 的

DATA 后,回复 MBA 帧,第 k 轮数据传输结束,即整个数据传输结束。

2.4 帧格式

为了能够很好地支持该协议,需要将传统的 WLAN 中 RTS 帧增加 QoS 相关参数,即扩展为 Q-RTS,同时将传统的 CTS 帧和 ACK 帧分别扩展为 G-CTS 和 MBA。所提协议的 DATA 帧结构同传统的 WLAN 中的帧结构一样,本文不再赘述。如图 5 所示,Q-RTS 帧增加业务优先级域、带宽需求域和延时域。业务优先级域占 2 b,映射 802.11e 的 4 种业务优先级;带宽需求域占 8 b;延时域占 16 b。

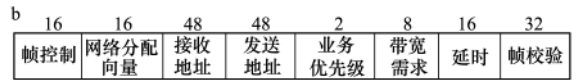


图 5 Q-RTS 帧结构

如图 6 所示,在 G-CTS 帧增加接收地址域、轮次域和调度信息域。轮次域占 8 b,调度信息域占 16 b,每比特对应一个子信道,可以表示 16 个子信道的分配情况。调度信息比特置 1 表示对应的子信道分配给该接收地址的站点,调度信息比特置 0 表示对应的子信道不分配给该接收地址的站点。

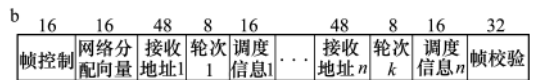


图 6 G-CTS 帧结构

如图 7 所示,在 MBA 帧中增加确认信息域。由于是确认一组 STA 的数据,因此将接收地址写成 AP 地址,表示对一组站点的数据进行确认。MBA 帧中的确认信息域长度同 G-CTS 帧中的调度信息域,也为 16 b,比特置 1 表示从对应的子信道成功接收到了数据分组,比特置 0 表示从对应的子信道接收数据分组失败。

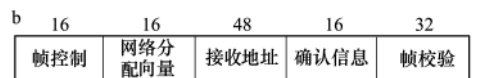


图 7 MBA 帧结构

3 仿真与实验

3.1 仿真场景及参数设置

本文采用网络仿真软件 NS2 搭建了仿真平台。仿真场景中,站点 STA 随机分布在 10 m×10 m 的网络中,AP 位于网络的几何中心。出于后向兼容性考虑,本仿真中沿用 IEEE 802.11e 中 EDCA 业务优先级分类方法,将无线业务分为 4 类优先级。同时为了很好地支持多样化 QoS 要求,QoS 相关参数的带宽需求,即子信道个数,均匀分布在 [10, 20];延时要求均匀分布 [60, 800] μs;数据包大小固定为 1 500 B。单次仿真时间 50 s,最终结果为 5 次仿真结果的平均值。其他网络参数设置如表 2 所示。

表 2 仿真中网络参数配置

参数	取值
最小竞争窗	15
最大竞争窗	127
MAC 层包头持续时长/μs	28
分布式帧间隔 DIFS/μs	34
短帧间隔 SIFS/μs	167
时隙/μs	9
TXOP/μs	3
全信道带宽/MHz	20
数据包大小/B	1 500
控制帧物理层速率/(Mb · s ⁻¹)	6

3.2 仿真结果

采用 QoS 优先级(priority)算法的 OFDMA MAC 协议,称之为 QoS-OFDMA MAC;采用比例公平(proportional fairness)算法的 OFDMA MAC 协议,称之为 PF-OFDMA MAC;采用顺序调度(sequential scheduler)算法的 OFDMA MAC 协议,称之为 SS-OFDMA MAC。本文对比了以上 3 种协议的有效吞吐量、延时、包成功发送概率性能指标,并同时与 DCF 单用户接入方式相对比,说明基于 OFDMA MAC 引入并行接入,并行传输带来了显著优势。

3.2.1 系统有效吞吐量

定义单位时间内,网络中所有业务节点成功发送且符合延时要求的数据总量为系统有效吞吐量。如图 8 所示,固定业务到达速率为 1 Mb,节点个数

从 10 开始,间隔为 10,逐步增至 200。由于 QoS-OFDMA MAC 优先调度紧急业务并实现了多轮数据传输,因此 QoS-OFDMA MAC 的系统有效吞吐量均要高于 SS-OFDMA MAC 和 PF-OFDMA MAC。由图 8 还可以得出:3 种 OFDMA MAC 的有效吞吐量均高于 DCF 的有效吞吐量。如图 9 所示,固定节点数为 100 个,变周期性业务速率。业务产生速率由 200 kb/s 开始,间隔为 100 kb,逐步增至 1 000 kb。同样可以得出 QoS-OFDMA MAC 的系统有效吞吐量均要高于 SS-OFDMA MAC 和 PF-OFDMA MAC,并显著大于 DCF 的有效吞吐量。

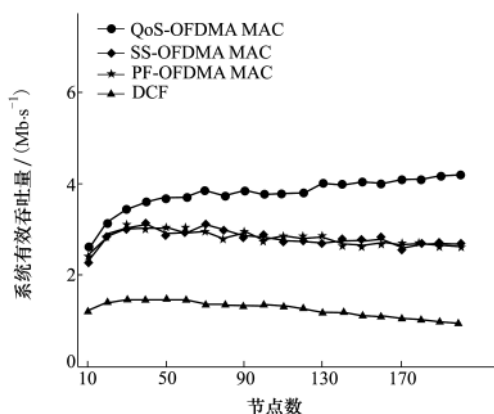


图 8 系统有效吞吐量(变节点数)

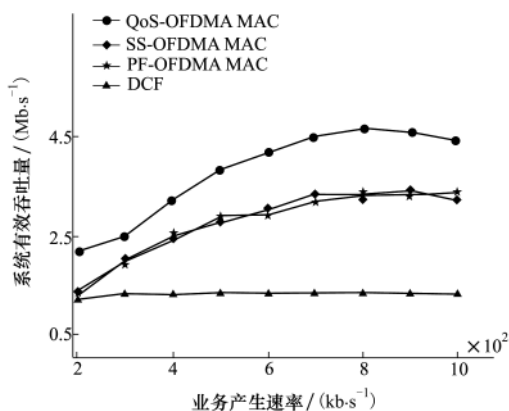


图 9 系统有效吞吐量(变业务速率)

3.2.2 数据包成功发送概率

定义网络中所有业务节点成功发送数据包的个数/发送数据包的总数为数据包成功发送概率。如图 10 所示,节点个数从 10 开始,间隔为 10,逐渐增至 200。随着节点数增加,冲突随之增加,数据包成功发送概率呈下降趋势。由于 QoS-OFDMA MAC 优

先调度紧急业务,因此 QoS-OFDMA MAC 的数据包成功发送概率均要高于 SS-OFDMA MAC 和 PF-OFDMA MAC。由图 10 可以看出:传统 DCF 由于是单用户接入与传输,高密场景下冲突非常严重,因此数据包成功发送概率非常低。

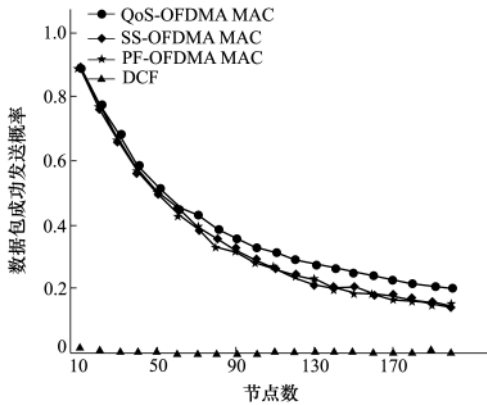


图 10 数据包成功发送概率

3.2.3 延时性能

固定节点数为 50 个,周期性业务速率为 100Kb,仿真实验统计数据包的延时性能。以数据包的实际到达时间/期望到达时间为横坐标,画出延时性能的累计分布函数(cumulative distribution function, CDF)曲线。如图 11 所示, QoS-OFDMA MAC 数据包延时收敛快,很快收敛至 1;而 SS-

OFDMA MAC、PF-OFDMA MAC 和 DCF 收敛慢,且存在很多数据包延时不符合业务延时要求。

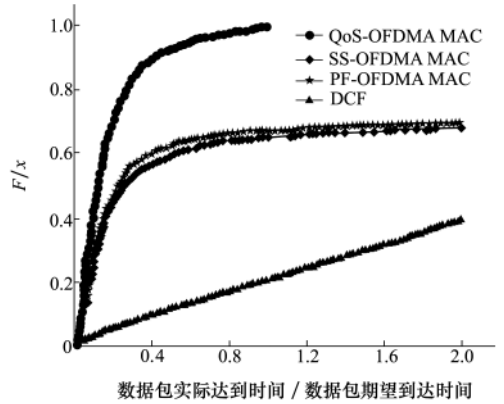


图 11 数据包延时 CDF 曲线

4 结 论

本文针对下一代 WLAN 提出了一种基于 OFDMA 面向 QoS 的新型多址接入协议。该协议在保证后向兼容性的同时,很好地支持了未来无线业务 QoS 多样化的需求。该协议框架具有良好的通用性,可以支持各类调度算法。仿真实验结果表明基于 OFDMA 面向 QoS 保障的新型多址接入协议能够很好地保障高 QoS 业务,同时提升了系统的有效吞吐量。

参考文献:

- [1] IEEE P802.11axTM, Working Group of the 802 Committee. Draft Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements[S]. IEEE 802.11, 2017, NO. Draft1.2
- [2] Eldad Perahia, Laurent Cariou. IEEE Technical Presentations-November HEW SG Proposed PAR[S]. IEEE 802.11, 2014, NO.0214r2
- [3] Lou Hanqing, Wang Xiaofei, Fang Juan, et al. Multi-User Parallel Channel Access for High Efficiency Carrier Grade Wireless LANs[C]//IEEE International Conference on Communications, 2014: 3868-3870
- [4] Jung Junwoo, Lim Jaesung. Group Contention-Based OFDMAMAC Protocol for Multiple Access Interference-Free in WLAN Systems[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2012, 11(2): 648-658
- [5] Deng Derjunn, Chen Kwangcheng, Cheng Rungshiang. IEEE802.11ax: Next Generation Wireless Local Area Networks[C]//2014 10th International Conference on Heterogeneous Networking for Quality, Reliability, Security and Robustness(QShine), 2014: 77-82
- [6] Mishima T, Miyamoto S, Sampei S, et al. Novel DCF-Based Multi-User MAC Protocol and Dynamic Resource Allocation for OFDMA WLAN Systems[J]. International Conference on Computing, Networking and Communications, 2013: 616-620
- [7] Zhou H, Li B, Yan Z, et al. An OFDMA Based Multiple Access Protocol with QoS Guarantee for Next Generation WLAN[C]//IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing, Ningbo, 2015: 1-6

- [8] IEEE P802.11axTM, Working Group of the 802 Committee. Draft Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements[S]. IEEE 802.11, 2016, NO. Draft1.0
- [9] IEEE Standard 802.11.IEEE Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications[S]. IEEE 802.11,2007
- [10] Hojoong Kwon, Hanbyul Seo, Seonwook Kim, Byeong Gi Lee. Generalized CSMA/CA for OFDMA Systems: Protocol Design, throughput Analysis, and Implementation Issues[J]. IEEE Trans on Wireless Communications, 2009, 8(8): 4176-4187

OFDMA Based QoS-Oriented Guarantee Novelty Multiple Access Protocol

Zhou Run, Li Bo, Yang Mao, Yan Zhongjiang

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: The next generation wireless local area network (WLAN) 802.11ax standards committee takes high quality of service(QoS) guarantee as one of important technology goals of the next generation WLAN. As a result of a variety of wireless traffics, so the requirements of the QoS must also be varied. However, the existing media access control(MAC) protocol based on orthogonal frequency division multiple access(OFDMA) can't support QoS diversification and high requirement well. To solve this problem, this paper presents a QoS-oriented OFDMA MAC for the next generation WLAN. On one hand, for backward compatibility consideration, continue to use four priority traffics of 802.11e in this protocol; on the other hand, the introduction of QoS-oriented priority scheduling algorithm to support future wireless traffic feature which is QoS of diversification and high requirements. Finally, through the simulation, the system effective throughput of the proposed QoS-OFDMA MAC is 57.8% and 59% higher than the OFDMA MAC of the sequential scheduling algorithm and the OFDMA MAC of the proportional fairness algorithm.

Keywords: wireless local area network; quality of service; OFDMA; media access control; priority scheduling algorithm