

IEEE 802.11 WLAN 支持语音与数据业务的自适应传输方案研究

李长乐 李建东 蔡雪莲

(西安电子科技大学 综合业务网理论和关键技术国家重点实验室信息科学研究所 西安 710071)

摘要: IEEE 802.11 标准中的 MAC 协议当采用 DCF 和 PCF 时是一种随机竞争接入与轮询相结合的协议。该文通过仿真在分析研究此 MAC 协议对语音、数据业务综合传输性能的基础上,提出了一种支持语音与数据业务的自适应传输方案。仿真结果表明,在满足语音业务最大允许时延的前提下,自适应传输方案通过动态、合理地调整协议参数,可以提高数据业务的传输性能,从而增加网络容量。特别地,本方案不需要改动协议本身,易于实现。

关键词: 无线局域网, IEEE 802.11, 多址接入, 分组语音, 数据业务, 自适应传输

中图分类号: TN919.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2005)03-0359-05

A Study of Self-adaptive Transmission for Integrated Voice and Data Services over an IEEE 802.11 WLAN

Li Chang-le Li Jian-dong Cai Xue-lian

(State Key Lab. of Integrated Service Networks, Information Science Institute, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract The IEEE 802.11 standard MAC is a hybrid protocol of random access and polling when both DCF (Distributed Coordination Function) and PCF (Point Coordination Function) are used. On the base of the performance analysis of the MAC protocol for integrated data and voice transmission by simulation, this paper puts forward a self-adaptive transmission scheme to support multi-service over the IEEE 802.11 WLAN. The simulation results show that, on the premise of satisfying the maximum allowable delay of packet voice, the self-adaptive transmission scheme can improve the data traffic performance and increase the WLAN capacity through dynamic and appropriate adjustment of the protocol parameters. Especially, the scheme is easy to be realized for no change in the MAC protocol is needed.

Key words WLAN, IEEE 802.11, MAC, Packet voice, Data traffic, Self-adaptive transmission

1 引言

无线局域网(WLAN)的高速接入技术为实现移动互联网提供了一种底层解决方案,其标准化一直是业界努力的方向,其中最有影响力的当属经典的 IEEE 802.11 协议家族^[1-3],尤其对于多业务情况下的综合传输一直是研究的热点^[4-11]。文献[5]分析了 IEEE 802.11 对语音业务的支持能力,通过仿真给出了确定性的结果,文献[6]对几种语音传输机制进行了定性比较,但都没有考虑语音业务对数据业务的影响。文献[7,8]采用双优先级的 M/G/1 非强插排队模型,忽略应答对信道的影响,对无线局域网中数话同传性能进行了理论推导和仿真研究,考虑的接入方式是传统的载波侦听多址接入/冲突避免(CSMA/CA),没有考虑当前无线局域网的标准 IEEE

802.11 中独特的随机竞争和预约相结合的接入方式。文献[4-11]研究了 WLAN 对时延受限业务的支持能力,但没有分析严重影响业务 QoS 的时延抖动性能。

本文采用 IEEE 802.11 WLAN 标准协议,考虑 DCF/PCF 协调工作的 MAC 方式,对不同业务区别对待,DCF 传输数据业务,PCF 传输语音业务,在分析研究不同协议参数影响网络性能的基础上,发现通过动态调整协议参数,可以得到不同业务间的折衷性能,由此,提出一种可以支持多业务的自适应综合传输方案,在满足语音业务最大允许时延的前提下,可以提高一定的网络容量。

2 IEEE 802.11 MAC 协议简介

IEEE 802.11 定义两种基本的 MAC 机制,分别是 DCF(Distributed Coordination Function)和 PCF(Point Coordination Function)。

2003-11-18 收到, 2004-03-15 改回
国家自然科学基金和微软亚洲研究院联合项目(60372048), 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划, 国家自然科学基金重大项目 60390540 第 6 子课题, 国家“863”计划重大课题(2001AA123031) 和教育部科学技术研究重点项目(01162)资助课题

2.1 DCF

DCF 基于 CSMA/CA, 是支持异步数据传送的基本接入方法。DCF 支持竞争服务, 意味着每个有 MAC 服务数据单元 (MSDU) 等待发送的站点必须通过竞争来接入信道, 而且一旦当前 MSDU 发送成功, 对后续 MSDU 必须重新竞争才能接入信道。竞争服务为所有站点提供公平接入信道的机会。

这种信道接入方法的优点是对于站点的公平性, 每个站点每次发送一个 MAC 协议数据单元(MPDU)后必须重新竞争信道, 所有站点在每个 DIFS 间隔后有相等概率可以接入信道, 而缺点是不能很好地支持时间受限业务, 这种业务的典型应用, 比如分组语音或者分组视频, 规定有最大时延要求, 但在 DCF 中没有机制保证最大时延来支持时间受限业务。

2.2 PCF

PCF 是可选的机制, 需要与 DCF 共存操作, 如图 1 所示。PCF 依靠协调点(PC)实现轮询, 保证轮询站点不通过竞争信道发送帧。每个基本服务区(BSS)内 PC 的功能由 AP(Access Point)来完成。



图1 PCF与DCF共存操作

CFP 循环间隔 (记作 CFP_Rep) 是一项可管理的参数, 决定了 PCF 出现的频率, 在时间上分为两部分, 分别为实现 PCF 接入的非竞争期(CFP)和实现 DCF 接入的竞争期(CP)。CFP 的最大持续时间定义为参数 CFP_Max。

CFP 在两种情况下会被 AP 发送中止帧而中止, 一是 PCF 业务量为空 (轮询列表为空), 或者 CFP 持续时间达到协议参数 CFP_Max。

3 仿真分析

构造一个合适的仿真模型来对 IEEE 802.11 MAC 协议的性能进行研究。

3.1 仿真模型

为了对仿真模型进行简化, 先进行一些假定: (1)忽略信道传播时延。(2)信道理想, 不考虑邻近 BSS 造成的干扰, 也不考虑“隐藏终端”的问题。(3)没有站点工作在省电模式, 即所有站点在任何时间都处于唤醒状态“awake”, 目的站点可以立即接收信道上的 MPDU 而不需要在 AP 中进行缓存。(4)语音模型采用 ON-OFF 模型, ON 期均值为 1s, OFF 期均值为 1.35s。语音编码器的编码速率 64kbps。数据业务站点数目 10 个。数据业务分组从高层到 MAC 层的到达过程为泊松过程。每个站点的到达率假设相同, 平均每秒到达 7.5 个分组。数据分组长度服从截断的几何分布, 保证分组最长不

超过 2312 字节。(5)物理层采用直接序列扩频 (DSSS) 方式, 意味着需要给每个分组增加 DSSS 头和 DSSS 前同步信号, 增加开销为 192bit。

仿真中用到的一些协议参数由表 1 列出。

表1 IEEE 802.11 MAC 协议仿真模型部分仿真参数

参数	取值	参数	取值
Average data MSDU length	1000 octet	Voice MSDU length	200 octet
Fragmentation threshold	800 octet	Slot time	20 μ s
RTS threshold	250 octet	SIFS time	10 μ s
Channel rate	2 Mbps	PIFS time	30 μ s
Short retry limit	4	DIFS time	50 μ s
Long retry limit	7	MAC header	28 octet
CW _{min}	31	PHY header	24 octet
CW _{max}	1023	Beacon length	160 octet

每次仿真运行时间设置为 30min, 实际仿真消耗时间与仿真业务量 (比如语音站点数量) 有关。仿真结果对 50 次仿真情况求平均。

3.2 仿真结果

考虑影响性能的参数为 CFP_Rep 和 CFP_Max。详细的性能分析见文献[12], 这里只给出结果。

3.2.1 CFP 循环间隔的影响 参数设置为 CFP_Max = 0.8CFP_Rep, 图 2、图 3 分别显示了 CFP_Rep 对平均 MPDU 时延和时延抖动性能的影响。参数 Nv 表示语音业务用户数。

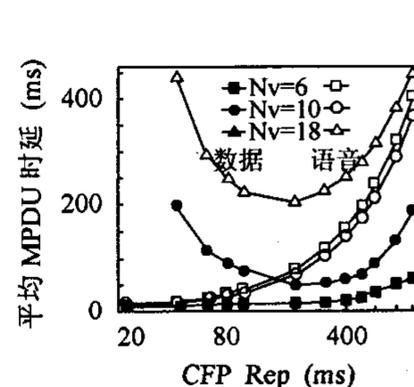


图2 CFP_Rep对平均MPDU时延性能的影响

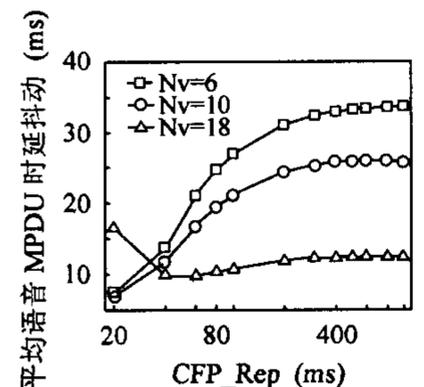


图3 CFP_Rep对平均语音MPDU时延抖动性能的影响

图 2 说明, CFP 循环间隔对语音业务平均时延性能影响比较明显。为保证一定的话音质量, 通常要求语音分组时延不得超过 200ms^[7,8]。从图 2 中可以看出, 为了支持一定数量的语音业务站点, 必须选择合适的协议参数。当 Nv=6 或者 10, 应当选择 CFP_Rep ≤ 500ms; 而当 Nv=18 时, 数据业务

性能恶化, 已经不能满足需要, 所以图 2 的坐标范围 (0-450ms) 反映不出此种情况的曲线, 缺少一条曲线。

从图 3 中看出, 当语音站点数量不是很多时 ($N_v=6, 10$), 平均语音 MPDU 时延抖动随着 CFP_Rep 的增大而增大, 而相同 CFP_Rep 情况下增加语音站点会使时延抖动减小。

仿真结果表明, CFP_Rep 的取值对数据业务的影响也比较显著, $N_v=6$ 时, 语音业务负荷轻, CFP_Rep 的影响不明显; $N_v=10$, $CFP_Rep \leq 40ms$ 或者 $N_v=18$ 时数据业务性能恶化。

3.2.2 CFP 最大持续时间的影响 根据语音分组的时延极限值 200ms, 这里把分析集中在系统所能支持的最大语音站点数量 $N_{v_{max}}$ 上。设置 $CFP_Rep=100ms$, 分析不同 CFP_Max 情况下, N_v 与平均 MPDU 时延和时延抖动性能的关系分别如图 4、图 5 所示。

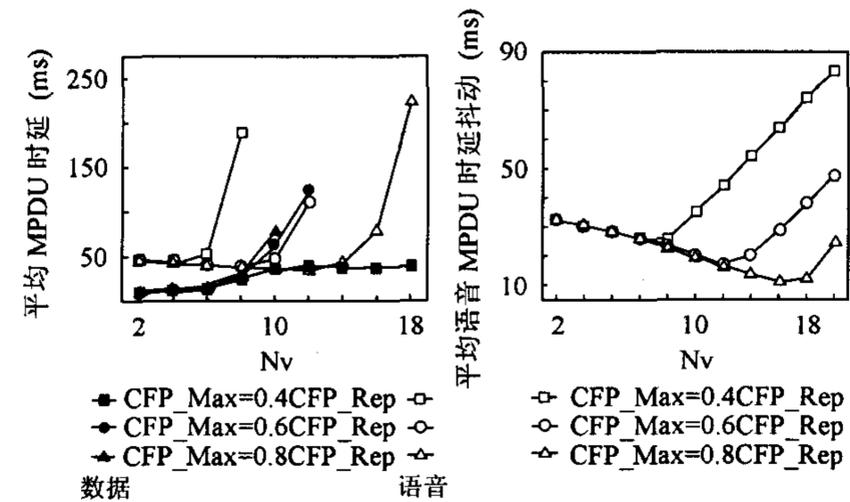


图 4 CFP_Max 对平均 MPDU 时延性能的影响

图 5 CFP_Max 对平均语音 MPDU 时延抖动性能的影响

从图 4 可以看出, 当 CFP_Max/CFP_Rep 为 0.4, 0.6, 0.8 时 $N_{v_{max}}$ 分别为 8, 12, 16, 这表明随着 CFP_Max 的增大, $N_{v_{max}}$ 变大, 也就是说明系统可以容纳更多的语音站点接入。同时, 对于一定数量的语音站点, CFP_Max/CFP_Rep 值越大, 语音业务时延性能越好, 数据业务时延性能越差。

图 5 显示了 N_v 对语音业务时延抖动的影响。对于每一

种 CFP_Max/CFP_Rep 的情况, 都存在一个语音站点数量的门限值 N_t , 当 $N_v < N_t$ 时, 抖动随着 N_v 的增大而减小, 而当 $N_v > N_t$ 时情况相反。当 CFP_Max/CFP_Rep 为 0.4, 0.6, 0.8 时 N_t 分别为 10, 14, 18。可以看出, N_t 稍大于 $N_{v_{max}}$ 。

仿真结果表明, CFP_Max/CFP_Rep 的取值必须在语音站点数量和数据业务性能之间进行折衷。若 CFP_Max/CFP_Rep 取值较小, 系统可以容纳的最大语音业务站点数量较小, 但数据业务性能较好。若 CFP_Max/CFP_Rep 取值变大, 系统可以容纳的最大语音业务站点数量增加, 代价是数据业务性能恶化。

4 自适应传输方案

根据前面对网络性能的分析, 为了提高网络容量 (可支持的语音业务和数据业务站点数量), 可以根据网络负荷来自适应调整 CFP 循环间隔和 CFP 最大持续时间, 由此提出一种 WLAN 对语音等时延受限业务和数据业务综合传输的自适应传输方案。

定义语音业务的最大允许时延为 T_{th} , 在这里, 定义 4 种 QoS 等级, 对应 4 个 T_{th} 取值, 分别为 200ms, 150ms, 100ms 和 50ms。优先考虑语音业务, 在满足时延不超过 T_{th} 的前提下, 根据网络业务量来调整网络参数, 尽可能提高数据业务性能, 以此来达到承载更多站点数量的目的。

协议参数的选择原则:

首先, 在满足 T_{th} 的前提下, 选择尽可能小的 CFP_Max, 目的是尽可能压缩 CFP 持续时间, 给竞争业务让出更多的信道传输能力, 提高竞争业务的通过量。

然后, 在满足 T_{th} 和 CFP_Max 的前提下, 选择合适并尽可能小的 CFP_Rep, 目的是加快竞争期出现的频率, 尽可能减小竞争业务的时延。

采用前面仿真分析中的仿真模型, 当 T_{th} 取不同值时, 可以得到满足条件的协议参数, 见表 2。

表 2 自适应传输协议参数

Nv	$T_{th}=200ms$		$T_{th}=150ms$		$T_{th}=100ms$		$T_{th}=50ms$	
	CFP_Max	CFP_Rep	CFP_Max	CFP_Rep	CFP_Max	CFP_Rep	CFP_Max	CFP_Rep
2	0.2	28	0.2	30	0.2	40	0.2	50
4	0.3	22	0.3	23	0.3	30	0.3	50
6	0.4	21	0.4	24	0.4	32	0.4	55
8	0.4	100	0.5	20	0.5	27	0.5	45
10	0.5	55	0.5	100	0.6	25	0.6	40
12	0.6	40	0.6	50	0.7	20	0.7	35
14	0.7	33	0.7	39	0.7	80	0.8	32
16	0.8	27	0.8	33	0.8	50	0.9	30
18	0.9	24	0.9	29	0.9	40	0.95	60
20	0.9	75	0.95	42	0.95	100	0.95	100
其它	0.95	200	0.95	200	0.95	200	0.95	200

自适应传输算法可以描述为：在 CFP 的起始时刻，AP 统计所有注册的语音业务站点，即为 N_v ，查询表 2 得到协议参数 CFP_Max 以及 CFP_Rep ，写入 Beacon 帧的 CF Parameter set 信息域通知所有站点，然后 AP 按照轮询列表的顺序依次轮询每个语音业务站点。在下一个 CFP 循环间隔开始以前，如有新站点加入，AP 通过站点的关联(association)获得站点的注册信息，从而 N_v 增加；如果有站点退出，AP 对退出站点的轮询将会没有响应，使 N_v 减小。当下一个 CFP 开始时，AP 依据 N_v 的变化来自适应调整协议参数，更新 Beacon 帧的 CF Parameter set 信息域，并继续依次轮询所有语音站点，如此循环。

由此可见，在本方案中不需要更改协议本身，动态调整的是协议参数，可以把表 2 存储在 AP 中，由 AP 根据 PCF 业务站点数量来自适应调整协议参数，所以这种方案与 IEEE 802.11 标准协议完全兼容。

下面分析自适应传输方案的性能。

除了 4 种自适应时延门限情况外，再比较两种固定协议参数的传输性能。协议参数固定为 $CFP_Rep=100ms$ ， CFP_Max/CFP_Rep 分别取 0.8 和 0.95，后者可以理解为 PCF 传输的极限性能(在每个 CFP 循环间隔内仅给竞争期传输留下 5ms 的信道传输时间)。

图 6 显示，随着时延门限的提高，语音业务的平均时延增加，也就是传输质量降低。当 T_{th} 分别取 200ms, 150ms, 100ms 和 50ms 时，自适应传输方案支持的最大语音站点数量分别为 20, 20, 20 和 18，与 PCF 的极限性能在相同 T_{th} 前提下的网络容量一致，而显然高于当 $CFP_Max/CFP_Rep=0.8$ 时支持的最大语音站点数量 16, 16, 16 和 14。同时，从图 7 中可以看出，语音业务在自适应方案中的时延抖动小于任何一种协议参数固定的情况，包括 PCF 的极限性能情况。

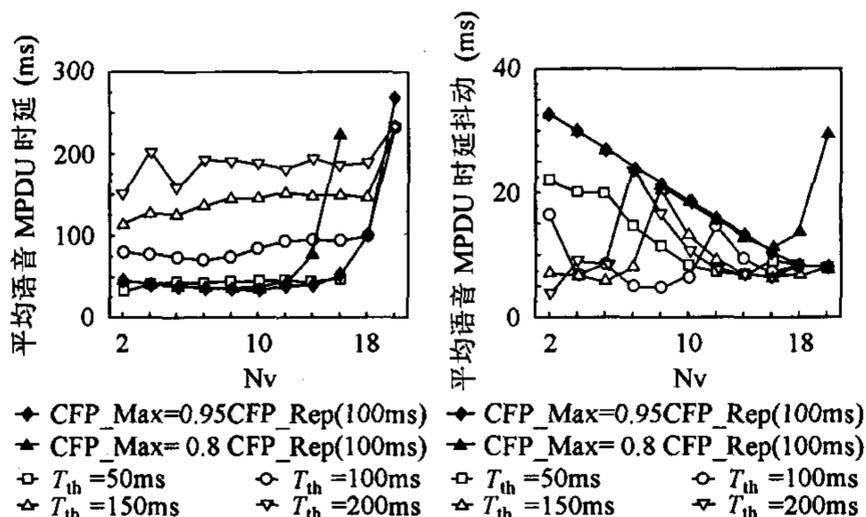


图 6 平均语音 MPDU 时延性能

图 7 平均语音 MPDU 时延抖动性能

图 8 表明，自适应传输时数据业务通过量高于 PCF 的极限情况，只是当站点数量比较多时 ($N_v > 18$) 才低于参数 CFP_Max 固定为 $0.8CFP_Rep$ 的情况。这是由于自适应传输优先考虑语音业务，当语音站点数量很多时，自适应传输对协议参数的调整偏向语音业务，造成数据业务通过量比较低。考虑数据业务的平均时延，图 9 显示，自适应传输要优于协议参数固定的情况。

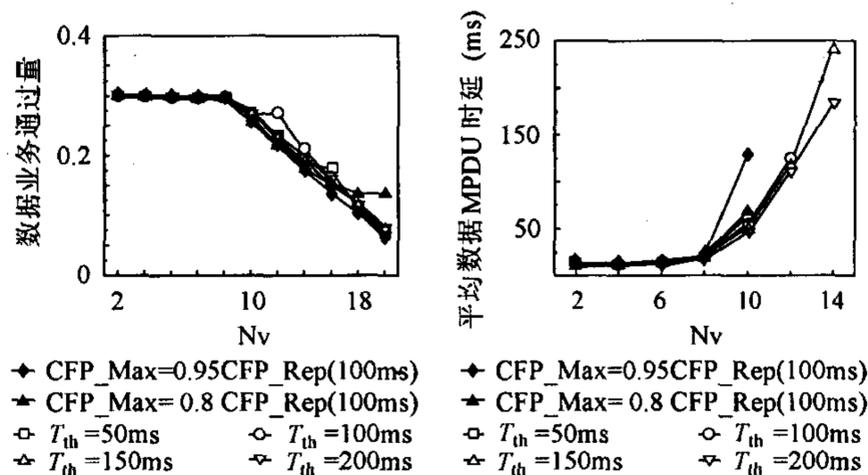


图 8 数据业务通过量性能

图 9 平均数据 MPDU 时延性能

5 结论

本文在分析 IEEE 802.11 WLAN 多业务综合传输性能的基础上，提出了一种支持多业务的自适应传输方案，优先传输语音业务，在满足语音业务服务质量的前提下，牺牲语音业务的部分质量，尽力提高数据业务的传输性能。仿真结果表明，自适应传输由于对协议参数动态调整，性能要优于协议参数固定的情况，包括 PCF 的极限性能。值得注意的是，自适应传输方案完全兼容 IEEE 802.11 标准协议，可以通过升级 AP 来实现。

参考文献

- [1] IEEE 802.11 WG. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. 1999.
- [2] IEEE 802.11b WG. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: High-Speed Physical Layer Extension in the 2.4 GHz Band. 1999.
- [3] IEEE 802.11a WG. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band. 1999.
- [4] Crow B P, Widjaja I, Kim J G, et al.. IEEE 802.11 wireless local area networks. *IEEE Communications Magazine*, 1997, 35(9): 116 - 126.
- [5] Veeraraghavan M, Cocker N, Moors T. Support of voice services in IEEE 802.11 wireless LANs. *INFOCOM 2001*, Vol.1, Anchorage, 2001: 488 - 497.

- [6] Prasad A R. Performance comparison of voice over IEEE 802.11 schemes. VTC'99, Vol.5, Amsterdam, 1999: 2636 – 2640.
- [7] Zahedi A, Pahlavan K. Capacity of a wireless LAN with voice and data services. *IEEE Trans. on Communications*, 2000, 48(7): 1160 – 1170.
- [8] Zahedi A, Pahlavan K. Voice and data integration on TCP/IP wireless networks. PIMRC'97, Vol.2, Helsinki, 1997: 678 – 682.
- [9] Liu H H, Wu J L C. Packet telephony support for the IEEE 802.11 wireless LAN. *IEEE Communications Letters*, 2000, 4(9): 286 – 288.
- [10] Suzuki T, Tasaka S. Performance evaluation of integrated video and data transmission with the IEEE 802.11 standard MAC protocol. GLOBECOM'99, Vol.1B, Rio de Janeiro, 1999: 580 – 586.
- [11] Visser M A, Zarki M E. Voice and data transmission over an 802.11 wireless network. PIMRC'95, Vol.2, Toronto, 1995: 648 – 652.
- [12] 李长乐, 李建东, 蔡雪莲, 等. 支持语音业务的 IEEE 802.11 WLAN 性能分析. 西安电子科技大学学报, 2003, 30(7): 1 – 5.
- 李长乐: 男, 1976年生, 博士生, 研究方向为移动通信与 ad hoc 网络.
- 李建东: 男, 1962年生, 博士生导师, 教授, 研究方向为宽带无线 IP 技术、移动通信、软件无线电、ad hoc 自组织网络等.
- 蔡雪莲: 女, 1978年生, 博士生, 研究方向为 ad hoc 自组织网络.