

一种提高 IEEE 802.11a 上 VoIP 容量的发送均衡机制

刘南¹, 陈立全², 涂国防¹

(1. 中国科学技术大学 研究生院, 北京 100039; 2. 东南大学 无线电工程系, 江苏 南京 210096)

摘要: 在一个 AP 覆盖范围内进行 VoIP 传输时, AP 和无线站点之间存在发送负载不平衡性。通过分析影响 VoIP 在 IEEE 802.11a 上传输的各种因素, 提出一种将 AP 中下行的多个小 IP 语音包封装成一个大的广播语音包进行发送的发送均衡机制来提高 802.11a 可支持的 VoIP 容量数, 均衡 VoIP 链路在站点的上行发送和在 AP 的下行发送之间的负载量。

关键词: 无线局域网 VoIP 容量 发送均衡机制

1 方法概述

利用无线局域网 (WLAN) 进行无线数据传输已在家庭、企业和公共热点环境中得到了广泛应用。VoIP 是通过将数字编码的语音打包后, 在实时传输协议 (RTP) 的控制下以 UDP 的模式传送。IP 语音的传输要满足一定的时延、时延抖动和丢包率等服务质量 (QoS) 要求^[1]。由于 WLAN 无线媒介易受外界干扰、多径衰落及多普勒效应影响, 使 VoIP 在 WLAN 上传输受到了极大限制。同时分布式协调模式 (DCF) 采用载波侦听多路接入/冲突避免 (CSMA/CA) 机制来传输实时媒体时的效率问题也是影响 WLAN 上 VoIP 传输的因素。因此 VoIP 在 WLAN 上传输的最大容量是受限的^[2]。

为提高 VoIP 在 WLAN 上的传输容量, 当 VoIP 在中心协调模式 (PCF) 下传输时, 可采用一种优化轮询机制^[3]来提高其在 WLAN PCF 模式下的容量。在 DCF 模式下, 目前尚无公开文献涉及到提高 WLAN 中 VoIP 传输容量的方法。IEEE 802.11e 草案及其他一些增强 QoS 特性 (如增强支持多媒体传输、区分服务^[4]) 的方案主要是在语音和其他数据业务同时传输时保障语音传输和资源优先占用。怎样提高 WLAN 系统上支持的 VoIP 通话容量是本文的研究目标。

本文通过分析在基础架构模式下进行 VoIP 传输时存在的发送负载非平衡性, 提出均衡发送负载的容量提高机制。通过在接入点 (Access Point, AP) 中将下行的多个小 IP 语音包封装成一个大的广播语音包进行发送, 减小 AP 下行数据发送的压力, 均衡 VoIP 链路在站点的上行发送和在 AP 的下行发送之间的负载量。理论分析和实验结果表明本文提出的方法在保证时延和丢包率的基础上对 WLAN 支持 VoIP 传输的容量水平有所改善。

2 802.11a 上 VoIP 的传输分析

VoIP 的语音传输过程是架构在网络的 IP 层之上的。影响 VoIP 在 WLAN 上传输的因素有二方面: MAC 层及物理层机制的效率和无线信道衰变及干扰影响。本文主要分析前者影响 VoIP 传输的容量限制问题, 它对效率的影响主要包括 3 个方面:

(1) 帧头额外开销。在 IEEE 802.11a 中, 语音数据从语音编码器出来后, 先经过 RTP/UDP 封装, 加上 IP 层报头、MAC 层帧头及物理帧头后才发送, 其中有效语音数据只占到很小的一部分。帧头额外开销影响了 VoIP 在 802.11a 上传输的容量。

(2) 协议开销。在 802.11a DCF 模式中, 站点在竞争信道的过程中, 需要经过退避过程、DIFS 和 SIFS 间隔以及

ACK 帧传送等协议开销的传送时间。当采用 RTS/CTS 工作模式时,协议开销占用的时间更多。

(3)负载不平衡因素(站点的发送负载和 AP 的发送负载之间的不平衡性)。在一个基本接入集(BSS)中,VoIP 通话过程只在无线站点之间或 AP 外部的有线站点之间进行才有意义。假设系统中只存在纯的 VoIP 通信过程,每个站点通过 AP 与外部站点建立了一个双向的 VoIP 通话过程。传输非平衡状态示意图如图 1 所示。当存在 N 个站点时,有 N 条上行的发送链路竞争信道,而从外部站点反方向的语音通话过程需通过 AP 完成信道的接入。相对而言,AP 中的发送负载是各站点发送负载的 N 倍。AP 与站点都是通过公平的竞争来完成无线媒介接入的。当 VoIP 通话链路容量加大以及系统达到饱和时,AP 由于负载过重产生堆栈溢出而影响从有线到无线方向的数据传输,导致语音数据包的丢失和延时的增加。而包丢失和延时增加将影响所有站点发起的 VoIP 通话过程,限制系统容量的增加。

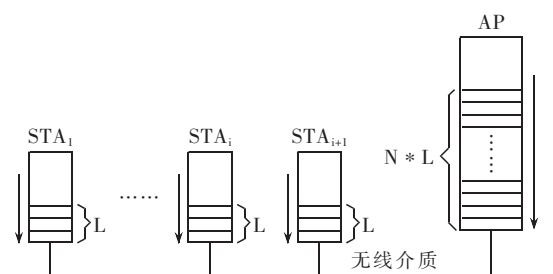


图 1 传输非平衡状态示意图

基于对以上各影响因素的分析,并假设所有的 VoIP 通话过程都采用同样的语音编解码方式,则 IEEE 802.11a 中 VoIP 通话容量如表 1 中 802.11a 一栏所示。

表 1 802.11a 容量理论分析结果比较表

VoIP 容量/路 语音包大小/ms	G.711			G.729			G.723.1(6.3Kbps)		
	802.11a	802.11a +TBM	性能提高/%	802.11a	802.11a +TBM	性能提高/%	802.11a	802.11a +TBM	性能提高/%
10	30	47	56	32	52	63			
20	56	83	48	64	103	60			
30	79	111	41	95	151	59	96	154	60
40	98	132	35	126	199	58			
50	117	150	28	157	245	56			
60	131	164	25	185	289	56	187	296	58
70	146	172	18	215	333	55			
80	158	186	17	243	375	54			
90	170	198	16	270	413	53	276	427	54
100	181	197	9	299	452	51			

3 发送均衡机制原理

根据以上分析,提出提高 WLAN 中 VoIP 容量的发送负载均衡机制(Transmission Balancing Mechanism, TBM)。TBM 机制的中心思想是改善 AP 下行发送数据包的重负载状况,将下行的多个 VoIP 小的语音包在 MAC 层封装成《微型机与应用》2005 年第 12 期

一个大的广播语音数据包后再从无线媒介发送出去。各站点在接收到该广播语音包后,解封装,提取出与自己对应的语音数据包部分,而将其他部分抛弃。该方法大大降低了重负载情况下,AP 端数据帧的发送次数,即竞争信道的次数,从而减少协议的开销时间。此外,多个 VoIP 语音小 IP 层数据包封装成一个大的 MAC 层广播语音包进行传送时,额外帧头开销占总发送时间的比例远小于对每个 VoIP 语音以正常方式单独发送时额外帧头开销时间总和所占的比例。

为保证封装后的大广播语音包的可靠传输,采用 RTS/CTS 机制,先选定 TBM 使用的封装长度中的一个目标点发送 RTS 帧,等待回应的 CTS 帧。正确接收到 CTS 帧后,AP 才会发送大广播语音包。

TBM 改善了 AP 下行链路的负载情况,而无线站点的上行发送过程不变,因而提高了单 AP 覆盖范围内同时支持的 VoIP 容量。采用 TBM 机制后,VoIP 容量的计算公式如下。

$$N = \left(\frac{1}{R[T_{voice} + SIFS + T_{ack} + DIFS] + (T_{slot} \times CW_{min}/2)} + T_{ap} \right) \quad (1)$$

其中, $T_{ap} = \frac{R}{L} [(T_H + L \times (T'_{voice} + 7) + DIFS) + T_{RTS} + SIFS + T_{CTS} + SIFS + (T_{slot} \times CW_{min}/2)]$ 。

式(1)中,分母中的第 1 项表示无线站点端帧发送所占用的时间,而第 2 项 T_{ap} 表示经过封装后大的广播语音包发送所占用的时间。 L 为 TBM 使用的封装长度,即在大的广播语音包中封装的小 VoIP 包的数目。 T_H 为 WLAN 中的 MAC 层和物理层的帧头, T'_{voice} 为 IP 层的单个语音包负荷传送所占用的时间。可见, L 个语音包封装成一个大的广播语音包后,AP 的每秒钟接入次数降为 R/L 。不等式 R

$(T_H + L \times (T'_{voice} + 7))/L < R \times T_{voice}$ 体现出采用 TBM 机制后,传送 VoIP 语音时,帧头额外开销的时间总体减小了。而由于 AP 的每秒钟接入次数变小为 R/L ,对应的协议开销时间也减小为原来的 $1/L$ 。

在确定 L 方面,首先要满足:

$$L \times Payload_{voice} \leq (MSDU_{max}) \quad (2)$$

式(2)规定了封装后的大广播语音数据包要小于 WLAN 中定义的最大 MAC 层业务数据单元(MSDU)的大小。其中, $Payload_{voice}$ 为对应于 T_{voice} 的字节数大小, $MSDU_{max}$ 为 WLAN

中 MAC 层支持的最大 MSDU 大小,它在 IEEE 802.11 标准中定义为 2 304B。

根据以上分析进行理论计算,得到采用 TBM 方法后,各种语音编码方式在 IEEE 802.11a 中传输的最大容量值如表 1 中 802.11a+TBM 一栏所示。

从表 1 可见,采用改进方案后,IEEE 802.11 WLAN 支持 VoIP 传输的容量性能得到很大提高。特别是,采用 TBM 方法后,20~30ms 大小的 VoIP 通信链路的容量提高达 60%。容量的提高很重要,因为 20~30ms 的 VoIP 通信过程在有线网上很常用。使用 TBM 后,可以在支持更多用户的基础上拓展它们在 WLAN 上的应用。

4 实现过程分析

下面讨论 TBM 机制的实现过程。发送负载均衡示意图如图 2 所示,AP 和站点分别通过在 MAC 层中增加不同的处理过程完成 TBM 机制的实现。AP 中增加了语音分列过程和大广播语音数据包的整合过程,站点中增加了对大广播语音包的分拆过程。但 AP 和站点二端还应该增加建立、管理和拆除 TBM 的处理过程。

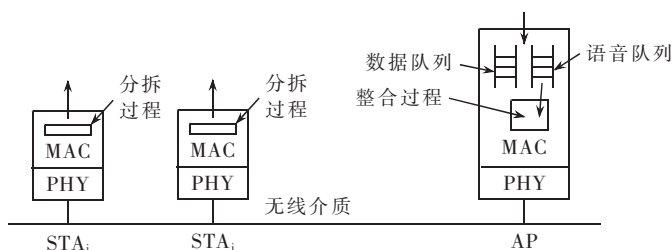


图 2 发送负载均衡实现示意图

在 AP 端,首先在 MAC 层入口处将从外部端口接收的数据包进行分类,区分出普通数据包和 RTP 协议封装的 VoIP 语音包,并将 VoIP 语音包单独放置在一个队列中。AP 基于人工设定或自适应启动机制来启动 TBM 过程和选择封装长度 L 。当 TBM 过程确认启动后,AP 将根据广播语音数据包的结构对语音队列中的有关数据包进行封装,并比语音队列中没有实现 TBM 过程的语音包优先发送。进行 TBM 模式发送时,先在 TBM 模式的语音队列中选择一个目标站点,发送 RTS 帧,等待接收正确的 CTS 帧。当正确接收到 CTS 帧时,则广播发送生成的大广播语音包;当未接收到 CTS 帧或接收到错误的 CTS 帧时,则重发 RTS 帧,直到达到重发上限。

在 VoIP 站点端,同样设置站点能够支持广播语音数据包的格式,支持 TBM 处理模式。当站点接收到 TBM 模式的广播语音数据包时,首先根据本机的 MAC 地址查询出对应本站点的相应 VoIP 负载部分,将它提取出并传送给 IP 层,完成反向的 VoIP 接收过程。站点的正向 VoIP 发送过程不变。

5 计算机仿真及结果分析

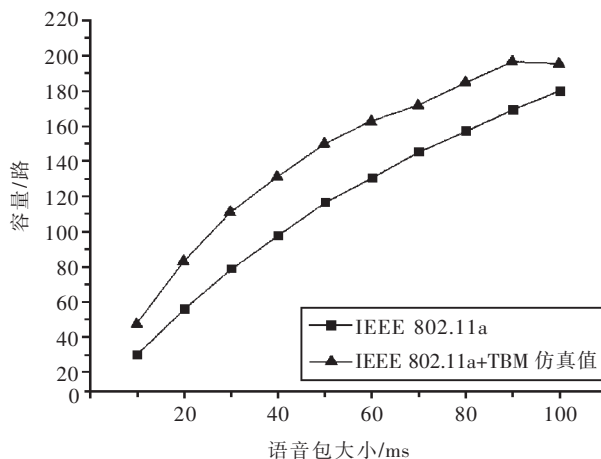
本文选用 VINT 组织的 NS-2 工具在 Linux 下进行仿真。

仿真遵循 IEEE 802.11a 的标准,速率选择为 54Mbps^[5],同时对 NS-2 中 IEEE 802.11 MAC 层模块增加 TBM 功能。仿真主要考虑基础接入模式的情况,使用的无线信道参数如表 2 所示。仿真是以理论计算值为参考,选取临近理论值的前后多点进行时延、时延抖动、丢包率和获得带宽等方面进行仿真。

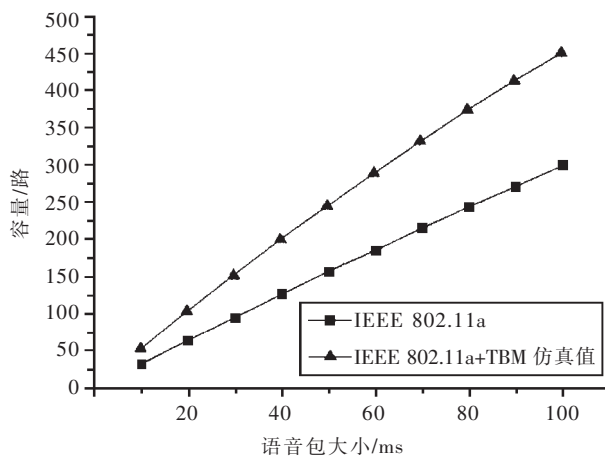
表 2 IEEE 802.11a 仿真使用的参数表

参数	取值
Physical	20μs
SlotTime	9μs
SIFSTime	15μs
DIFSTime	34μs
ShortRetryLimit	4
LongRetryLimit	4
CWmin	15
CWmax	1023

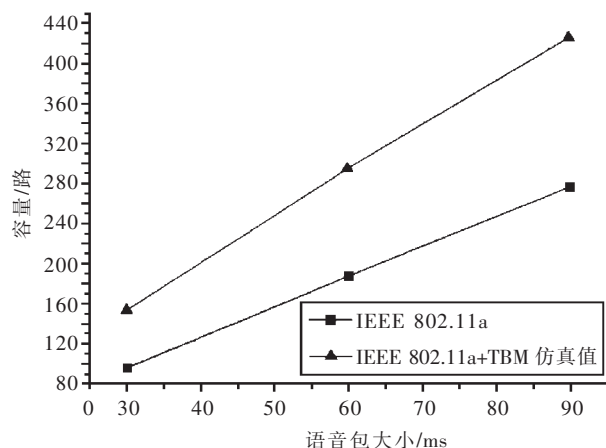
根据 VoIP 传输的性能要求,在有回波抵消器的基础上,获得可接受质量语音的时间延时不能超过 300ms,时延抖动不超过 10ms,丢包率不超过 1%。以此为基准得到理论结果与仿真结果比较图如图 3 所示。其中图 3(a)中示出了 G.711 语音编码下采用 TBM 机制得到的仿真实验值以及未采用 TBM 机制的原来 IEEE 802.11a 标准下得到的容量值的比较图。而图 3(b)和(c)是在 G.729 和 G.723.1(6.3Kbps)语音编码模式下得到的比较结果。图中理论分析和仿真实验的结果都表明,采用 TBM 机制后,



(a)G.711 理论仿真结果比较图



(b)G.729 理论仿真结果比较图



(c)G.723.1 理论仿真结果比较图

图3 理论结果与仿真结果的比较图

WLAN 支持 VoIP 传输的容量得到改善, 在 G.729 编码方式下体现得更明显。

6 结束语

提高 VoIP 在 WLAN 中传输的容量对于拓展 WLAN 的应用具有现实意义。本文通过分析在一个 AP 组成的 BSS 范围内 VoIP 传输过程中存在的发送负载非平衡问题, 提出均衡发送负载的容量提高方法。通过在 AP 中将下

行的多个小 IP 语音包封装成一个大的广播语音包进行发送, 降低 AP 下行数据发送的压力, 均衡 VoIP 链路在站点的上行发送和在 AP 的下行发送的负载量。理论和实验的结果表明本文提出的方法能在一定程度上提高 IEEE 802.11a 系统的 VoIP 传输容量水平, 并具有可实现性。需要说明的是, TBM 机制可以作为一个新的机制被结合到新的 IEEE 802.11e 草案中去, 以共同提高 VoIP 在 WLAN 上传输的性能。

参考文献

- 1 黄永峰, 李显. VoIP 的语音质量分析与控制. 控制与决策, 2003;4(18)
- 2 Garg S, Kappes M. Can I Add a VoIP Call. IEEE ICC'03. 2003
- 3 Malathi V, Nabeel C, Tim M. Support of Voice Services in IEEE 802.11 Wireless LANs. IEEE INFOCOM'01, 2001
- 4 Aad I, Castelluccia C. Differentiation Mechanisms for IEEE 802.11. IEEE INFOCOM'01, 2001
- 5 IEEE Std 802.11a. Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications; High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band. 1999

(收稿日期: 2005-06-08)