

IEEE 802.11e EDCA 多优先级混合时隙传输方法

王万良 岑跃峰 姚信威

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

摘要 针对无线局域网中各种多媒体数据业务对传输 QoS 的不同需求,在 IEEE 802.11e EDCA 机制的基础上提出了一种多优先级混合时隙传输方法。该方法规定一段时间为一个混合时隙,期间包含的时隙数小于等于业务的种类数,各业务按照传输 QoS 的需求组合分配到不同优先级的时隙中进行传输,从而调节不同传输 QoS 需求业务在数据链路层的碰撞概率。与传统的 IEEE 802.11e EDCA 机制相比,多优先级混合时隙传输方法降低了站点之间的碰撞概率,提高了需求业务的吞吐量、丢包率、媒质访问延迟等网络性能指标。对于站点变动较大的网络,其具有较强的抗扰动性。

关键词 多优先级,混合时隙,EDCA,饱和,非饱和

中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Multi-priority Hybrid Slot Transmission Method Based on IEEE 802.11e EDCA

WANG Wan-liang CEN Yue-feng YAO Xin-wei

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract To support the different needs of transmission Qualities of Service (QoS) in local multimedia networks, a multi-priority hybrid slot transmission method based on IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) protocol was proposed. A hybrid slot is defined which includes some slots and the number of slots in it is less than or equal to the kinds of access categories. The access categories are assigned to the different priority slots according to the transmission QoS requirements. The collision probabilities of access categories with different QoS requirements in the data link layer can be fixed easily. The collision probabilities between the stations are significantly reduced, and the network qualities of the access categories with high transmission QoS needs such as throughput, drop rates, media access delay are improved compared with the traditional EDCA protocol. The multi-priority hybrid slot transmission method reveals a good adaptability to the station changes in the networks. It shows a better performance especially when the stations increase.

Keywords Multi-priority, Hybrid slot, EDCA, Saturated, Unsaturated

1 引言

随着无线多媒体网络和实时多媒体业务的广泛应用,如何实现不同服务质量 QoS(Quality of Service)要求和区分服务已经成为研究重点^[1,2]。传统的 IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function)机制只能提供尽力而为的服务,无法提供 QoS 保证和区分服务,不能满足特定业务的传输 QoS 需求。

为了满足语音、视频等实时流媒体的传输需求,IEEE802.11e 标准^[3]提供了两种访问信道的方式:基于非竞争的 HCCA(HCF Controlled Channel Access)和基于竞争的 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)。

HCCA 是一种集中控制方法^[4],采取轮询的方式进行信道访问,需要比较高的网络维护成本,对站点数变化的抗扰动能力差。

基于竞争的 EDCA 访问方式的研究,可以为不同优先级的业务类型设置不同的接入参数,包括仲裁帧间隔 AIFS(Arbitration Inter Frame Space)值、最小竞争窗口值、最大竞争窗口^[5]、传输机会 TXOP(Transmission Opportunity)值^[6,7]等。高优先级的业务具有较小的最小竞争窗口和最大竞争窗口,因此高优先级的业务有较大的发送概率。但是当竞争信道的站点数增加时,信道访问竞争加剧,高优先级业务的传输性能降低,其传输 QoS 需求得不到保证。

为了提高视频、语音等高传输 QoS 需求业务的传输性能,文献^[8]等提出了超时隙的方法。该方法为每一种业务分别分配一个时隙,减小了网络中业务间的碰撞概率,同时也增加了业务的媒质访问延迟,从而影响网络整体性能。文献^[9,10]提出了映射机制,该机制将视频业务映射到其他业务中进行传输来提高监控视频的传输 QoS。

本文在 IEEE 802.11e EDCA 机制基础上提出了一种新

到稿日期:2013-02-28 返修日期:2013-05-09 本文受国家自然科学基金项目(61070043)资助。

王万良(1957-),男,博士,教授,主要研究方向为网络控制、人工智能、生产计划与调度等,E-mail:wwl@zjut.edu.cn;岑跃峰(1986-),男,博士,主要研究方向为无线传感器网络;姚信威(1986-),男,博士,主要研究方向为无线流媒体传感网、网络控制等。

的多优先级混合时隙传输方法。本方法通过设置混合时隙,将各业务数据按照传输 QoS 需求组合分配到不同优先级的时隙中进行传输,通过调节各业务数据的碰撞概率,保证了特定业务的传输 QoS 需求。

2 多优先级混合时隙方法

IEEE 802.11e 标准定义了 4 种访问信道的类型 (Access Category, AC), 按优先级从高到低分别为语音 (Voice) 业务、视频 (Video) 业务、尽力而为 (Best Effort) 业务和背景 (Background) 业务。本文方法定义一段时间为一个混合时隙, 期间包含的时隙数小于等于业务的种类数。各业务数据根据传输 QoS 的需求组合分配到不同优先级的时隙中进行传输, 从而调节不同传输 QoS 需求的业务在数据链路层的碰撞概率。

本文方法规定一个混合时隙, 其时隙数可以是 1~4 个。在一个混合时隙中, 优先级越高的时隙, 位置越靠前, 高优先级时隙内发送高 QoS 需求的业务。并不是每一种业务都单独分配时隙。过多的时隙会增加传输业务的媒介访问延迟。图 1 表示了时隙数为 3 时的一种情况: Voice 业务与 Video 业务分别占用一个时隙; Best Effort 业务和 Background 业务共同占用一个时隙, 享受相同的优先级发送时隙。语音业务享有最靠前的发送时隙, 其次是视频业务, 最后是尽力而为业务和背景业务。文献[8]中提到的超时隙结构和 IEEE 802.11e 的标准时隙结构均是混合时隙的一种特殊情况。

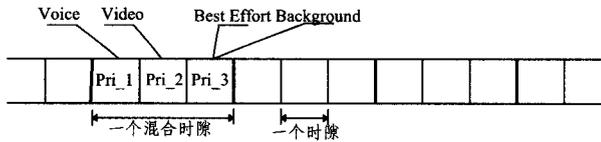


图 1 混合时隙结构

每一个站在一个混合时隙中最多只有一次发包机会。当站在一个混合时隙内有业务需要发送时, 首先确认该业务所在的发送时隙的优先级, 然后检验信道是否被该混合时隙内具有更高优先级时隙的站点占用。如果信道被具有更高优先级时隙的站点占用, 并且用来发送 QoS 需求更高的业务, 则该站点进入退避过程: 竞争窗口加倍, 随机一个退避时间进行重新发送; 反之, 该站点进行业务发送。

当站在一个混合时隙内没有业务需要发送的时候, 其计数器进行减一操作。多优先级混合时隙传输方法的减一操作以一个混合时隙为单位进行递减。

多优先级混合时隙传输方法使数据帧的碰撞只发生在具有相同优先级时隙的业务的站点之间。只要有高优先级时隙的业务的站点有业务发送, 低优先级时隙的业务的站点就自动进行退避。因此, 具有不同优先级时隙的业务的站点间不会发生数据帧碰撞, 只有具有相同优先级时隙的业务的站点之间才会发生真正的数据帧碰撞。

多优先级混合时隙传输方法的采用, 一方面可以根据传输 QoS 需求有效降低需求业务的碰撞概率, 提高其吞吐量; 另一方面, 通过灵活设置混合时隙包含的时隙数来调节网络传输业务的媒介访问时间。

3 多优先级混合时隙方法建模

本文模型以 3 个时隙数的多优先级混合时隙传输方法为

例, 设计结构如图 1 所示。基于 IEEE 802.11e EDCA 区分服务思想, 将 4 类优先级业务分配到 3 个时隙组成的多优先级混合时隙中进行发送。假设站点间的信道为理想信道, 数据在传输过程中不会出现误码等状况, 无隐藏终端, 所有站点内相同业务的竞争窗口大小、仲裁帧间隔、重传上限以及各传输不同业务平均数据帧大小均相同, 采用非 RTS/CTS 通信方式。

自从 Bianchi^[11]采用 Markov 链模型对 802.11 协议进行性能分析以来, 利用 Markov 链模型来分析网络的方法已经被广泛应用和推广^[12,13]。本文方法使用 Markov 链模型分别在网络饱和条件下与非饱和条件下对多优先级混合时隙传输方法进行建模。

3.1 饱和条件下多优先级混合时隙方法建模

在饱和条件下, 混合时隙内业务 AC[n] 访问信道的概率 τ_n 表示为

$$\tau_n = \frac{2d_n(1-2p_n)(1-p_n^{l_n+1})}{C_{\min,n}(1-(2p_n)^{l_n+1})(1-p_n) + (1-2p_n)(1-2p_n^{l_n+1})(2d_n-1)} \quad (1)$$

式中, l_n 为业务 AC[n] 的最大重传上限; $C_{\min,n}$ 为业务 AC[n] 的最小竞争窗口; p_n 为业务 AC[n] 访问信道时发生碰撞的概率; d_n 为业务 AC[n] 的退避状态转移概率。

当所有站点均无业务访问信道时, 信道空闲, 信道的空闲概率 p_{idle} 为

$$p_{idle} = \prod_{i=0}^3 (1-\tau_i)^N \quad (2)$$

式中, N 为网络中存在的站点数。

业务 AC[n] 的队列退避计数器减 1 的充分条件是信道至少空闲了 AIFS_n 个混合时隙, 于是可得状态转移概率:

$$d_n = p_{idle}^{AIFS_n} = \left[\prod_{i=0}^3 (1-\tau_i)^N \right]^{AIFS_n} \quad (3)$$

业务 AC[n] 队列的碰撞概率 p_n 表示为

$$\begin{cases} p_0 = 1 - (1-\tau_0)^{N-1} \\ p_1 = 1 - (1-\tau_0)^N (1-\tau_1)^{N-1} \\ p_2 = 1 - (1-\tau_0)^N (1-\tau_1)^N (1-\tau_2)^{N-1} (1-\tau_3)^{N-1} \\ p_3 = 1 - (1-\tau_0)^N (1-\tau_1)^N (1-\tau_2)^{N-1} (1-\tau_3)^{N-1} \end{cases} \quad (4)$$

一个混合时隙中业务 AC[n] 传输失败概率 $P_{c,n}$ 为

$$\begin{cases} p_{c,0} = 1 - (1-\tau_0)^N - N\tau_0(1-\tau_0)^{N-1} \\ p_{c,1} = (1-\tau_0)^N [1 - (1-\tau_1)^N - N\tau_1(1-\tau_1)^{N-1}] \\ p_{c,2} + p_{c,3} = (1-\tau_0)^N (1-\tau_1)^N [1 - (1-\tau_2)^N (1-\tau_3)^N - N\tau_2(1-\tau_2)^{N-1} (1-\tau_3)^N - N\tau_3(1-\tau_2)^{N-1} (1-\tau_3)^{N-1}] \end{cases} \quad (5)$$

在多优先级混合时隙传输方法中, 业务 AC[n] 传输成功的概率为 $p_{s,n}$, 表示业务 AC[n] 发送数据且无碰撞, 由于网络中存在着 N 个站点, 因此, $p_{s,n}$ 可以表示成

$$p_{s,n} = N\tau_n(1-p_n) \quad (6)$$

饱和条件下, 当各业务具有相同的数据长度时, 业务 AC[n] 的归一化吞吐量 S_n 可以表示为

$$S_n = \frac{p_{s,n}E_n}{(3p_{idle}T_e + \sum_{n=0}^3 p_{s,n}T_m + \sum_{n=0}^3 p_{c,n}T_m)} \quad (7)$$

式中, E_n 为各传输业务平均数据帧的传送时间; T_m 为业务

AC[n]成功传输状态下所经历的时间; T_m 为业务 AC[n] 发生碰撞状态下所经历的时间; T_e 为多优先级混合时隙中一个时隙长度; 规定一个空闲的多优先级混合时隙长度为 $3T_e$ 。

$$\begin{cases} T_{s0} = H + E_0 + F_{SIFS} + K_{ACK} + \alpha_{AIFS0} \\ T_{s1} = H + E_1 + F_{SIFS} + K_{ACK} + \alpha_{AIFS1} + T_e \\ T_{s2} = H + E_2 + F_{SIFS} + K_{ACK} + \alpha_{AIFS2} + 2T_e \\ T_{s3} = H + E_3 + F_{SIFS} + K_{ACK} + \alpha_{AIFS3} + 2T_e \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} T_{e0} = H + E_0 + F_{SIFS} + K_{ACK_T} \\ T_{e1} = H + E_1 + F_{SIFS} + K_{ACK_T} + T_e \\ T_{e2} = H + E_2 + F_{SIFS} + K_{ACK_T} + 2T_e \\ T_{e3} = H + E_3 + F_{SIFS} + K_{ACK_T} + 2T_e \end{cases} \quad (9)$$

式中, H 为数据帧头文件平均传输时间, F_{SIFS} 为帧间隔时间; K_{ACK} 和 K_{ACK_T} 分别为成功接收应答 ACK 数据帧的传输时间和数据帧丢失时间; α_{AIFS_n} 为仲裁帧间隔经历的时间。

如果一个数据帧被发送 $l_n + 1$ 次仍没有传送成功, 那么这个数据帧将被丢弃。因此, 业务 AC[n] 的丢包率 $P_{n,drop}$ 可以表示为

$$P_{n,drop} = p_n^{l_n+1} \quad (10)$$

媒质访问延迟 D_n 为一个数据帧从准备传输到被成功传输或者丢弃所经历的时间。在饱和条件下, 媒质访问延迟与 MAC 服务时间相等, 因为每个节点不是在发送数据, 就是在等待发送, 故媒质访问延迟即为两次发送数据之间等待的时间, 可以表示为

$$D_n = E_n / S_n \quad (11)$$

3.2 非饱和条件下多优先级混合时隙方法建模

在非饱和状态下, 某个时隙业务 AC[n] 访问信道的概率 τ_n' 与饱和状态下不同, 可表示为

$$\tau_n' = \sum_{i=0}^{l_n} b_{n,i,0} = b_{n,0,0} \frac{1-p_n^{l_n+1}}{1-p_n} \quad (12)$$

式中, $b_{n,i,0}$ 为业务 AC[n] 在 Markov 链中的平衡状态分布^[13]。非饱和条件下, 多优先级混合时隙传输方法的性能指标: 吞吐量公式、丢包率公式与式(7)和式(10)相似, 但媒质访问延迟 D_n' 的计算公式发生了变化^[13], 可以表示为

$$D_n' = E_{sr,n} - D_{n,post} \quad (13)$$

式中, $E_{sr,n}$ 为 MAC 服务时间; $D_{n,post}$ 为数据帧所经历的后退避过程时间。

4 仿真与分析

本节对多优先级混合时隙传输方法进行了仿真验证, 实验基本参数设置见表 1。本节在网络饱和与非饱和两种条件下, 对比分析多优先级混合时隙方法与 IEEE802.11e EDCA 标准的传输性能。

表 1 本文方法基本设置参数

业务	$C_{min,n}$	ln	AIFS _n	ACK (bit)	KACK_T (μs)	FSIFS (μs)	E_n (μs)	T_e (μs)
AC[0]	8	5	2	112	500	10	2048	20
AC[1]	16	5	2	112	500	10	2048	20
AC[2]	32	5	3	112	500	10	2048	20
AC[3]	32	5	7	112	500	10	2048	20

在网络饱和条件下, 图 2 和图 3 分别给出了随着站点数的增加, 网络归一化总吞吐量和各业务归一化吞吐量的变化情况。饱和条件下站点访问信道的概率比较大, 随着站点数的增加, 各站点之间的业务竞争加剧, 导致网络的总吞吐量和各业务的吞吐量随之下降。多优先级混合时隙方法的优势就随之体现出来: 混合时隙方法为不同 QoS 需求的业务分配不同优先级的时隙, 一个混合时隙内只有相同优先级的时隙的站点发送业务或者发生碰撞; 不同优先级时隙的业务站点之间进行退避, 大大降低了碰撞的发生, 有效地保证了高 QoS 需求业务的传输质量。同时网络的总吞吐量也有提高。随着站点数的增加, 高优先级时隙的业务吞吐量下降缓慢, 低优先级业务吞吐量下降迅速, 多优先级混合时隙在牺牲一定程度低优先级时隙吞吐量的同时, 保证了高优先级时隙内业务的传输。因此, 网络中站点数的增加对高优先级时隙内的业务影响较小, 具有较强的抗扰动性。将不同 QoS 需求的业务分配到不同优先级时隙内发送, 可以灵活调节业务吞吐量。

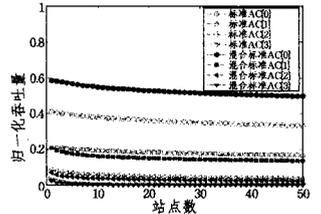
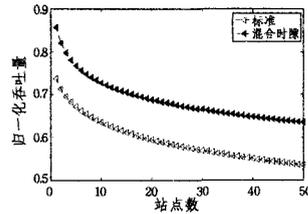


图 2 饱和条件下总吞吐量 图 3 饱和条件下各业务吞吐量

图 4 给出了饱和条件下各业务丢包率随着站点数变化的情况。从图中可以看出, 对于高优先级时隙的业务 AC[0], 丢包率大大降低, 降幅达到了 50% 以上, 而对于低优先级时隙内的业务 AC[1]—AC[3], 丢包率有所上升。业务 AC[2] 与业务 AC[3] 共享同一混合进行发送, 拥有相同的数据帧碰撞概率, 根据式(10)可知两者丢包率相同。高优先级时隙内业务的丢包率低于低优先级时隙内的业务, 这是由于混合时隙的协调机制消除了不同优先级时隙之间的碰撞, 从而减少了丢包率。

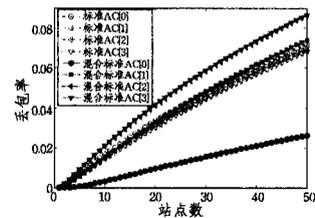


图 4 饱和条件下各业务丢包率

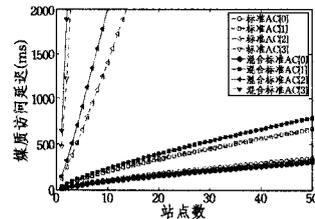


图 5 饱和条件下各业务媒质访问延迟

图 5 给出了饱和条件下各业务的媒质访问延迟情况, 对于高优先级时隙内的业务 AC[0], 多优先级混合时隙方法降低了其媒质访问延迟。由于多优先级混合时隙方法将高优先级时隙内的业务优先发送; 低时隙内的业务只有在其他高优先级时隙内的业务不发送的时候才可以发送, 因此对于低优

先级时隙内的业务,其媒质访问时间有所增加。修改多优先级混合时隙包含的时隙数可以有效实现不同 QoS 需求的业务的媒质访问延迟的调节。

图 6 和图 7 给出了网络非饱和条件下,随着站点的增加总吞吐量和各业务吞吐量的变化情况。网络处于非饱和条件下,业务之间的碰撞概率低。因此,混合时隙传输方法与 ED-CA 机制传输方法的总吞吐量和各业务吞吐量均增加且增加趋于平缓。当整个网络发送量较少时,高优先级业务的吞吐量占了整个网络吞吐量的大部分。采用多优先级混合时隙对高优先级的吞吐量有很大的提升。

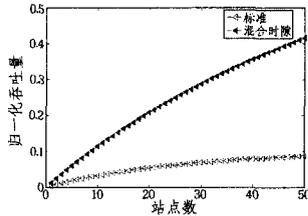


图 6 非饱和条件下总吞吐量

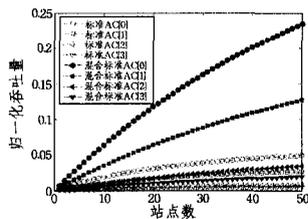


图 7 非饱和条件下各业务吞吐量

结束语 本文提出了一种新的基于 IEEE 802.11e ED-CA 机制的多优先级混合时隙传输方法,将各业务根据其 QoS 需求组合分配到不同优先级的时隙中进行传输。分别针对网络饱和和非饱和条件,建立了相应的多优先级混合时隙传输方法模型。通过理论分析及仿真研究表明:与传统区分服务机制相比,多优先级混合时隙传输方法有效提高了特定传输 QoS 需求业务的传输质量。

为了进一步提高多优先级混合时隙传输方法的性能,在接下来的工作中将继续研究在多媒体网络中根据传输 QoS 需求,自适应地调整混合时隙中的时隙数,调整不同的接入参数,从而提高特定 QoS 需求业务的传输性能。

参考文献

- [1] 董超,陈贵海,王海. 无线网状网的 QoS 研究[J]. 软件学报, 2009,20(6):1539-1552
- [2] 李文新,李宇光,胡延苏,等. 嵌入式无线局域网中 H.264 视频传输的 QoS 研究[J]. 计算机科学,2011,38(5):83-85
- [3] IEEE 802.11e. Wireless LAN Media Control(MAC) and physical layer(PHY) specifications[S]. 2005
- [4] Chen Yeong-sheng, Lee Yuan-wei, Hyuk P J. Enhanced HCCA mechanism for multimedia traffics with QoS support in IEEE802.11e networks[J]. Journal of Network and Computer Application,2011,34(5):1566-1571
- [5] 葛永明,朱艺华,龙胜春,等. IEEE802.11 移动自组织网络节点竞争窗口长度的概率分布[J]. 电子学报,2010,38(8):1841-1844
- [6] 陈晨,高新波,张素兵,等. 无线局域网中 TXOP 动态分配方法[J]. 计算机工程,2010,37(7):11-13
- [7] Hu Jia, Min Ge-yong, Jia Wei-jia, et al. Comprehensive QoS analysis of enhanced distributed channel access Comprehensive QoS analysis of enhanced distributed channel access in wireless local area networks[J]. Information Sciences, 2012,214(10):20-34
- [8] 康凯,胡海波,林孝康. 一种新的用于 IEEE 802.11e EDCA 中提供 QoS 的方法[J]. 电子与信息学报,2007,29(12):2991-2995
- [9] Yao Xin-wei, Wang Wan-liang, Yang Shuang-hua, et al. PABM-EDCF: parameter adaptive bi-directional mapping mechanism for video transmission over WSNs[J]. Multimedia Tools and Applications, 2011,9(4):378-387
- [10] 杜建超,吴嵩,吴成柯. 一种基于 EDCA 的视频数据包动态映射算法[J]. 电子与信息学报,2012,34(1):46-50
- [11] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function [J]. Selected Areas in Communications, 2000,18(3):535-547
- [12] 张勇,谭小彬,崔孝林,等. 基于 Markov 博弈模型的网络安全态势感知方法[J]. 软件学报,2011,22(3):495-508
- [13] 张伟. IEEE 802.11e 的网络性能、容量评估与资源分配策略研究[D]. 上海:上海交通大学,2008

(上接第 155 页)

- [5] Seongkeun P, Jae P H, Euntai K, et al. A new evolutionary particle filter for the prevention of sample impoverishment [J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2009,13(4): 801-809
- [6] 刘先省,胡振涛,金勇,等. 基于粒子优化的多模型粒子滤波算法[J]. 电子学报,2010,38(2):301-306
- [7] Zhai Y, Yeary M. Implementing particle filters with metropolis-hastings algorithms[C]//Region 5 Conference: Annual Technical and Leadership Workshop. 2004:149-152
- [8] Hlinomaz P, Hong L. A multi-rate multiple model track-before-detect particle filter[J]. Mathematical and Computer Modelling, 2009,49(1):146-162
- [9] Armesto L, Ippoliti G, Longhi S, et al. Probabilistic self-localization and mapping-An asynchronous multi-rate approach [J].

IEEE Robotics & Automation Magazine, 2008,15(2):77-88

- [10] Tehrani N H, Seiichi M, Han L. Multi-Sensor data fusion for autonomous vehicle navigation through adaptive particle filter[C]// IEEE Intelligent Vehicles Symposium. 2010:752-759
- [11] Achutegui K, Míguez J. A parallel resampling scheme and its application to distributed particle filtering in wireless networks[C]// The fourth IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing. 2011:81-84
- [12] François C, Davy M, Duflos E, et al. Particle filtering for multi-sensor data fusion with switching observation models: application to land vehicle positioning[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2007,55(6):2703-2719
- [13] 菲诗松,王静龙,濮晓龙. 高等数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,2006