

IEEE802.11e EDCA 饱和吞吐量的性能分析

聂世群, 刘伟

NIE Shi-qun, LIU Wei

河南科技大学 电子信息工程学院, 河南 洛阳 471003

School of Electronic and Information Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China

E-mail: shiqn@sohu.com

NIE Shi-qun, LIU Wei. Saturation throughput analysis of IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(19): 124-126.

Abstract: Compared with the old analytical models of EDCA, the proposed model incorporates inner station collision and TXOP of the EDCA. Based on the proposed model, the saturated throughput of different traffics in different TXOP can be estimated. Simulation result shows the proposed analytical model is more accurate.

Key words: wireless local area network; Enhanced Distributed Channel Access (EDCA); transmission opportunity limit; saturation conditions; performance analysis

摘要: 提出了新的饱和状态下 EDCA 分析模型。与原有模型相比增加了站点内部竞争冲突和传输机遇两个特性。根据提出的模型, 估计了多业务在实施不同的传输机遇情况下的吞吐量性能。仿真结果显示提出的新模型比原模型更加准确。

关键词: 无线局域网; EDCA; TXOP; 饱和状态; 性能分析

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.19.037 **文章编号:** 1002-8331(2008)19-0124-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

1 引言

IEEE802.11 标准的无线局域网(Wireless Local Area Network, WLAN)提供多媒体业务是无线宽带通信发展的必然趋势。为了使得无线局域网能够支持多媒体服务, 提供相应的 QoS 保障, IEEE802.11e 对 MAC 子层进行了增强, 其中包括增强的分布式信道接入(Enhanced Distributed Channel Access, EDCA)。

与 DCF 接入机制相比 EDCA 增加了一些新的特性。首先, 把业务划分为 8 个优先级, 根据优先级的不同把业务映射到 4 种业务类别(Access Categories, AC)(图 1(a))。其次, 对每种不同的业务, 实施不同延缓的接入仲裁帧间隔(Arbitration Inter-Frame Space, AIFS), 即 $AIFS[AC] = SIFS + AIFS[AC] \times Slot_time$; 每种业务实施不同的竞争窗口 CW_{min} 和 CW_{max} 。最后, 还增加传输机遇 TXOP(Transmission Opportunity limit, TXOP), 即一个站点赢得竞争后, 允许接入业务可以使用媒介的持续时间值。每种 AC 都有相应的 TXOP 持续时间, 站点可以在 TXOP 时间里发射 AC 的多个帧(图 1(b))。即在某类业务竞争获得信道以后, 可以分配 TXOP 大小的信道占用时间, 在此期间站点可以连续发送数据帧, 即数据帧在收到相应的 ACK 后, 等待 SIFS 间隔后继续下一数据帧的传输, 而不必再次竞争信道。

目前, 关于无线局域网性能分析研究是一个热点。在分析

模型中, 文献[3]Bianchi 提出一个简单且准确有效的 Markov 模型, 分析了 DCF 在基本模式和 RTS/CTS 模式下的性能。随后在文献[3]的基础上进行改进和扩充, 建立了 EDCA 的分析模型, 但是都不完善。在文献[4]提出的 EDCA 分析模型中, 它没有考虑到站点内部的虚拟竞争, 同时把退避状态的转移概率看成是冲突概率 p_i 也是不合适的。文献[5]采用了三维的 Markov 模型, 增加的第三维随机变量是逝去的时隙数, 重新定义了一步转移概率和稳态分布。使用第三维后, 条件冲突概率能够反应出在传输时刻竞争站点的设置, 吞吐量的计算也进行了适当的改变。但是计算繁琐, 最后使用了递归的方法得出近似值。同时, 在这些模型里都没有考虑 TXOP 连续发送多个帧对系统性能的影响。

所以在文献[4]的基础上, 提出了新的模型, 它与以往的模型相比具有以下特点:

(1) 充分考虑到了重传限制对系统的影响, 简化了文献[4]的模型。因为在退避过程中, 经过 m 次退避后, 竞争窗口达到最大, 只要 m 没有超过重传次数, 仍然可以进行重传但是窗口大小保持不变。所以在模型中 m 代表竞争窗口达到最大时的退避次数, $m+f$ 代表的是重传的最大次数。

(2) 增加了以站点为对象, 引入站点内部多个业务的竞争冲突。用 τ_i 表示业务 i 接入信道的概率, τ 表示一个站点接入信

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金项目(No.200651003)。

作者简介: 聂世群(1976-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 无线局域网性能分析, 网络 QoS; 刘伟(1969-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 无线宽带通信, 无线局域网性能规划, 移动通信。

收稿日期: 2007-09-26 修回日期: 2007-12-03

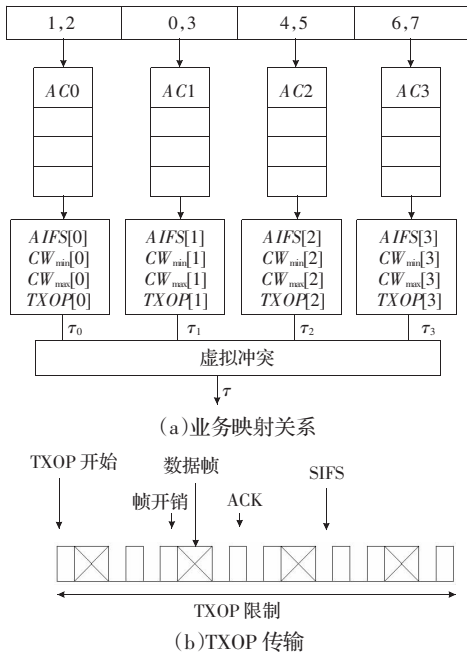


图1 EDCA 的新特性

道的概率。

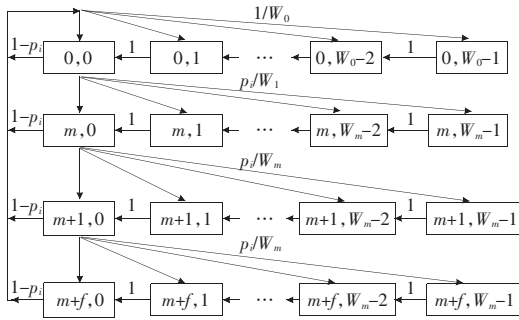
(3) 增加了对 TXOP 特性的分析。因为 TXOP 的使用, 使得 EDCA 在 TXOP 限制时间内连续发送多个数据单元, 每个数据单元之间在等待 SIFS 后, 收到相应 ACK 应答后, 继续发送下一个数据单元。

2 理论模型介绍

2.1 模型分析

假设站点总数为 M , 每个站点的业务数 $i \in (0, 1, \dots, N-1)$ 。且每个站点总是有数据要发送, 即系统处于饱和状态。

假设 $b(i, t)$ 表示站点第 i 类业务退避计数器计数的随机过程, $s(i, t)$ 表示第 i 类业务退避阶数的随机过程, 则二维 $\{b(i, t), s(i, t)\}$ 刻画了第 i 类业务的二维离散的 Markov 过程。图 2 表示了相应的 Markov 链的变化过程。


 图2 第 i 类业务退避过程的状态转移图

非空的转移概率如下: $\Pr\{(i, 0, k)|(i, j, 0)\} = (1-p_i)/W_{i,0}$, for $0 \leq k \leq W_{i,0}-1, 0 \leq j < m+1$; $\Pr\{(i, j, k)|(i, j, k+1)\} = 1$, for $0 \leq k \leq W_{i,j}-2, 0 \leq j < m+1$; $\Pr\{(i, j, k)|(i, j-1, 0)\} = p_i/W_{i,j}$, for $0 \leq k \leq W_{i,j}-1, 1 \leq j \leq m$; $\Pr\{(i, j, k)|(i, j-1, 0)\} = p_i/W_{i,m}$, for $0 \leq k \leq W_{i,j}-1, m+1 \leq j \leq m+1$; $\Pr\{(i, 0, k)|(i, m, 0)\} = 1/W_{i,0}$, for $0 \leq k \leq W_{i,0}-1$ 。

当 $b_{i,j,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} \Pr\{s(i, t) = j, b(i, t) = k\}$, $i \in [0, m], k \in [0, W_{i,j}-1]$ 时, 达到马尔克夫链的稳态分布。其中退避阶数之间的关系:

$$b_{i,j-1,0} \cdot p_i = b_{i,j,0} \rightarrow b_{i,j,0} = p_i^j \cdot b_{i,0,0} \quad j \in [1, m+1] \quad (1)$$

$$b_{i,j,k} = b_{i,j,0} \cdot \frac{W_{i,j}-k}{W_{i,j}} \quad k \in [0, W_{i,j}-1], i \in [1, m+1] \quad (2)$$

通过归一化处理:

$$1 = \sum_{j=0}^{m+1} \sum_{k=0}^{W_{i,j}-1} b_{i,j,k} = \sum_{j=0}^{m+1} b_{i,j,0} \sum_{k=0}^{W_{i,j}-1} \frac{W_{i,j}-k}{W_{i,j}} \quad (3)$$

从而得出:

$$b_{i,0,0} = 2(1-2p_i)(1-p_i^{m+1}) / \{(1-p_i^{m+1})(1-2p_i) +$$

$$W_{i,0} \{ [1-(2p_i)^{m+1}](1-p_i) + (1-2p_i)(2p_i)^m (p_i)(1-p_i^f) \} \quad (4)$$

因为在退避时间数 $b(t)$ 达到 0 之后的第 1 个时隙, 第 i 类业务开始发射, 所以第 i 类业务在给定间隙边界发射数据帧的概率 τ_i 可以表示为:

$$\tau_i = \frac{\sum_{j=0}^{m+1} b_{i,j,0} = b_{i,0,0} \sum_{j=0}^{m+1} p_i^j = b_{i,0,0} \frac{1-p_i^{m+1}}{1-p_i}}{2(1-p_i)(1-p_i^{m+1}) + (1-p_i)^{m+1} \{ [1-(2p_i)^{m+1}](1-2p_i) + W_{i,0} \{ [1-(2p_i)^{m+1}](1-p_i) + (1-2p_i)(2p_i)^m (p_i)(1-p_i^f) \} \}} \quad (5)$$

对于多类业务的站点来说, 由于内部的竞争窗口不同, 每类业务的站内冲突概率和传输概率也不相同。对于一个站点来说, 它的传输概率为 τ , 且:

$$\tau = 1 - \prod_{i=0}^3 (1-\tau_i) \quad (6)$$

如果在一个时隙不止一个站点要进行发射, 就会产生冲突。 p_i 表示优先等级 i 的站点在退避过程中侦听到信道忙得概率, 表示为:

$$p_i = 1 - (1-\tau)^{M-1} \left[\prod_{0}^{i-1} (1-\tau_i) \right] \quad (7)$$

利用式(5)和式(7), 可以求出 τ_i 和 p_i 。 p_b 表示在给定间隙信道忙得概率, 即在一个间隙至少有一个站点发射的概率。所以:

$$p_b = 1 - (1-\tau)^M \quad (8)$$

2.2 饱和吞吐量

使用 $p_{s,i} (i=0, \dots, N-1)$ 表示优先等级 i 在一个间隙成功传输的概率, p_s 表示在一个间隙成功传输的概率。所以:

$$p_{s,i} = M\tau_i (1-\tau)^{M-1} \prod_{i=0}^{i-1} (1-\tau_i) \quad (9)$$

$$p_s = \sum_{i=0}^{N-1} p_{s,i} \quad (10)$$

分析模型中, 假定在 EDCA 使用 TXOP 的时候, 只有在 TXOP 突发中的第一个数据帧可能和其他站点的数据帧传输发生竞争冲突。也就是说, 把每个 TXOP 突发看作是一个扩展后的特殊帧的传输。在假设条件下, 信道是否能够竞争接入信道与是否实施 TXOP 无关, 因此之前的冲突概率和成功传输概率仍然有效。从而可以得出, 相应得吞吐量。 $S_i (i=0, \dots, N)$ 表示业务优先级为 i 的标准吞吐量。 $\delta, E(L), T_s, T_c$ 分别表示一个空时隙的持续时间, 发射负载的平均大小, 成功传输的时间均值, 信道发生冲突的时间均值。在一个间隙, 信道空闲的概率为 $(1-p_b)$; 信道既没有空闲也没有成功传输的概率为 $[1-(1-p_b)-p_s] = (p_b-p_s)$ 。所以, 吞吐量:

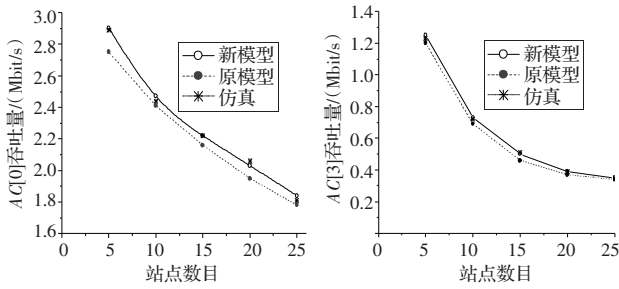


图3 TXOP=0.003 s时,AC[0]和AC[3]吞吐量随站点变化统计

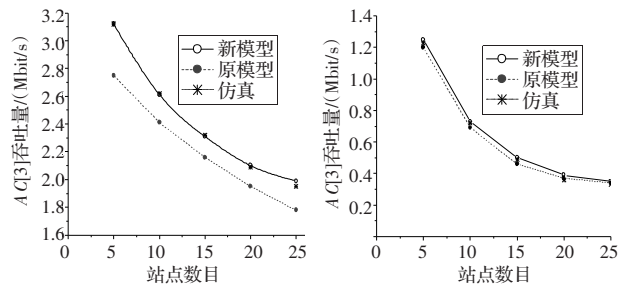


图4 TXOP=0.006 s时,AC[0]和AC[3]吞吐量随站点变化统计

$$S_i = \frac{p_{s,i}E(L) \times K}{(1-p_b)\delta + p_s T_s + [p_b - p_s]T_c} \quad (11)$$

分别使用 $T_H, T_{E(L)}, T_{ACK}, SIFS, L^*, T_{E(L)^*}, \gamma$ 表示发射头部(MAC 头部,PHY 头部)所用时间,发射 ACK,SIFS 所用时间,在冲突中的最长帧,发射最长帧所用的时间。所以,对于使用 TXOP 的业务:

$$K = \lfloor \frac{TXOP}{T_H + T_{E(L)} + SIFS + T_{ACK} + SIFS} \rfloor \quad (12)$$

$$T_{s,i} = AIFS + K \times (T_H + T_{E(L)} + SIFS + T_{ACK} + SIFS) - SIFS \quad (13)$$

对于低优先级的业务不实施连续发送,那么 $K=1$:

$$T_{s,i} = T_H + T_{E(L)} + SIFS + T_{ACK} + AIFS[i] \quad (14)$$

$$T_{c,i} = T_H + T_{E(L)^*} + AIFS[i] \quad (15)$$

3 计算和仿真结果

利用仿真工具 OPNET10.5,建立了 EDCA 的仿真模型。模型具体的参数配置如表 1,其他参数设置参见 IEEE802.11b 标准。为了简化仿真,仿真中的站点都只配置了两种业务 AC[0]和 AC[3]。业务通过设置不同的 AIFS 和 CW 的值表示优先级。在仿真中,只对高优先级的业务 AC[0]实施了 TXOP。

表 1 WLAN 参数配置

Frame payload	8 000 bit
Physical layer	IEEE 802.11b DSSS
Slot Time	20 μ s
SIFS	10 μ s
Maximum retransmission limit	7
AIFS	$AIFS[0]=2 \times \text{Slottime} + SIFS,$ $AIFS[3]=7 \times \text{Slottime} + SIFS$
CW[0]	$CW_{min}=7, CW_{max}=15$
CW[3]	$CW_{min}=15, CW_{max}=1 023$

图 3 显示了一个 TXOP 可以连续发送 3 个包时,随着站点的变化,业务 AC[0]和 AC[3]吞吐量。分析结果显示,比原模型准确。图 4 显示一个 TXOP 可以连续发送 7 个包时,随着站点的变化,业务 AC[0]和 AC[3]吞吐量。随着 TXOP 的增加,AC[0]的吞吐量增加,相应的 AC[3]的吞吐量下降;随着站点数目的增多,吞吐量的下降明显。这是因为随着站点的增多,站点之间的

冲突增加, TXOP 的时间如果不能充分使用,就会造成时间的浪费。所以如果 TXOP 的时间分配能随着站点和业务情况动态分配,将能够充分利用接入信道的时间,提高吞吐量。这是模型和仿真结果的提示,也是下一步的改进方向。

4 结论

本文在文献[3,4]分析模型的基础上,提出了新的模型。仿真结果证明该模型比原有的模型更加准确。该模型不仅包含了内部队列的竞争冲突,而且考虑了传输机遇这一新特性。这对分析内部队列的调度机制和传输机遇的分配有着重要的指导意义,为下一步改进 EDCA 提高吞吐量提供了条件。

参考文献:

- [1] The institute of electrical and electronics engineering Inc IEEE standard 802.11:wireless LAN Media Access Control (MAC) and Physical layer(PHY) specifications[S].1999.
- [2] IEEE Standard 802.11e/Amendment 8,Medium Access Control (MAC) Quality of Service(QoS) enhancements[S].2005.
- [3] Bianchi G.Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed co-ordination function[J].IEEE Journal on Selected Area in Communications, 2000, 18(3):535-547.
- [4] Yang Xiao.Performance analysis of priority schemes for IEEE 802.11 and IEEE 802.11e wireless LANs[J].IEEE Transactions on Wireless Communications, 2005, 4(4): 1506-1515.
- [5] Kong Zhen-ning, Tsang D H K, Bensaou B.Performance analysis of IEEE 802.11e contention-based channel access[J].IEEE Journal on Selected Area in Communications, 2004, 22(10):2095-2106.
- [6] Xiong Li-xiang, Mao Guo-qiang.Saturated throughput analysis of IEEE 802.11e EDCA[J].Computer Networks, 2007.
- [7] Ge Y, Hou J C, Choi Sunghyun.An analytic study of tuning systems parameters in IEEE 802.11e enhanced distributed channel access[J].Computer Networks, 2007(51):1955-1980.
- [8] Ramos N, Panigrahi D, Dey S.Dynamic adaptation policies to improve quality of service of real-time multimedia applications in IEEE 802.11e WLAN networks[J].Wireless Networks, 2007(13): 511-535.