

联合竞争窗口和发送调整策略优化WLAN性能

吴大鹏^{1,2}, 武穆清², 甄岩², 孙兵²

(1. 重庆邮电大学通信与信息工程学院 重庆 南岸区 400065; 2. 北京邮电大学宽带通信网实验室 北京 海淀区 100876)

【摘要】 IEEE802.11标准中所采用的二进制指数退避机制不能够根据网络当前的碰撞情况有效地使用无线资源, 该文提出一种联合竞争窗口和发送时间调整策略, 其中自适应竞争窗口方法以被动的方式根据网络当前数据帧碰撞程度快速调整竞争窗口, 动态数据包发送时间调整机制使节点能够主动地调节单位时间内注入队列的数据包数量。仿真结果表明, 该调整机制能够根据网络状态快速地、自适应地优化节点数据包传输过程中的相关参数, 提高无线资源使用率, 降低数据包时延。

关键词 自适应机制; 竞争窗口; 随机发送时间; 无线局域网

中图分类号 TN915.04

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2010.01.008

Enhancing Performance of WLAN by Combining Contention Window and Transmitting Time Adjusting Scheme

WU Da-peng^{1,2}, WU Mu-qing², ZHEN Yan², and SUN Bing²

(1. School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications Nan'an Chongqing 400065;

2. Broadband Communication Networks Lab, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876)

Abstract To improve the performance of IEEE 802.11 wireless local area network (LAN), this paper presents a novel contention aware adjusting mechanism combining adaptive contention window and random varying timing method. The adaptive contention window scheme can determine the contention window based on the collision status rapidly, and the dynamical varying timing method can make the node adjust the number of packets sending during the busy or idle period. The simulations show that our mechanism is able to optimize the parameters of packets sending, utilize the radio resource reasonably, and decrease the average packet delay obviously.

Key words adaptive algorithm; contention window; random timing varying; wireless local area networks

IEEE802.11协议规定了分布式协调功能(distributed coordination function, DCF)为节点提供信道接入^[1], 其采用CSMA/CA侦听信道, 当数据帧发生碰撞后根据二进制指数退避(binary exponential backoff, BEB)算法计算退避时间, 进而执行重传。该机制无法充分利用有限的无线资源^[2-4], 其主要原因包含两个方面: (1) 当网络负载逐渐增加的时候, 共享无线媒介的各个节点处于饱和状态, 所发送的数据帧碰撞概率也随之上升, 虽然BEB算法能够通过竞争窗口加倍机制来降低碰撞概率, 但是其调整速度较慢, 在短时段内, 数据帧碰撞的情况没有明显的缓解; (2) 节点成功发送数据帧之后, BEB算法将竞争窗口恢复到最小值, 由于没考虑到当前碰撞情况, 快速缩减竞争窗口将会导致碰撞概率显著增加, 以上两个方面都将浪费无线资源。

减少退避过程中空闲时隙数量或者降低数据帧

碰撞次数都能够提高网络的总体性能, 而通过减少退避空闲时隙数量增加网络资源利用率的方法又会增大数据帧的碰撞概率。诸多文献根据上述分析提出了各种退避机制, 以被动地解决数据帧碰撞问题。文献[5]提出了一种分布式竞争控制机制, 利用数据帧发送前的退避过程估计网络当前的竞争状态, 并根据结果决定退避结束后是否发送该数据包。该算法在每次数据帧发送成功后立刻将退避寄存器的窗口置为最小竞争窗口, 当网络进入高负载状态后, 每次发送数据帧均需经历多次碰撞, 导致数据帧时延增大, 网络吞吐率下降。

文献[6]提出了一种“慢退避”机制用于解决多个节点竞争信道过程中出现的多次碰撞问题, 其主要思想是在节点成功发送数据帧后, 按照固定速度缩减当前竞争窗口。但是它没有考虑发送成功后网络当前的竞争状态, 进而合理地选取下一帧的竞争

收稿日期: 2008-05-11; 修回日期: 2009-03-13

基金项目: 国家自然科学基金(60772109、60972069)

作者简介: 吴大鹏(1979-), 男, 博士, 主要从事无线多跳网络、互联网服务质量控制等方面的研究。

窗口以避免盲目地发送动作, 使得其无法适用于各种网络环境。此外, 文献[7-10]均采用被动方式调整竞争窗口, 但当网络拥塞程度较高时, 节点始终处于回退状态, 导致其业务产生的数据包会由于缓冲溢出而丢弃。另一方面, 当信道相对空闲时, 队列中数据帧较少, 无法高效地利用当前的空闲资源。解决这个问题的关键点在于根据不同的网络状态调整数据包的发送速率。

区别于各种退避机制, 文献[11]提出了一种随机发送时间机制, 从网络层主动地解决该问题。节点对其负责发送的数据包进行分类, 包括本地业务产生的数据包和为其他节点转发的数据包, 然后按照不同的方式随机地改变各种数据包发送到MAC队列的时间, 从而有效地降低数据帧同时发送所导致的碰撞问题。但是与前面所介绍的回退机制类似, 其固定调整范围的方式无法适用于不同网络负载情况。

为了更加合理地利用有限的网络资源, 本文提出了MAC层自适应退避机制和网络层数据包发送时间调整的联合优化策略, 能够有效地根据网络当前的碰撞情况调整数据包发送速率, 同时还能够根据当前回退阶数调整竞争窗口和网络当前竞争状态, 以充分利用网络资源。

1 自适应回退机制

在检测到数据帧连续碰撞时, 节点需要快速地增加竞争窗口, 以有效地避免该数据帧再次碰撞, 其增加程度与连续碰撞次数明显相关。因此, 在数据帧出现碰撞时, 按照下式调整竞争窗口:

$$CW = \min\{CW_{\max}, (1+k) \cdot CW\} \quad (1)$$

式中 k 表示节点当前的回退阶数, 即该数据帧的碰撞次数。

如前所述, 与标准中规定的数据帧成功传输后的竞争窗口调整策略不同, 若当前数据帧在传输过程中连续出现碰撞, 则表明共享相同无线媒介的节点数量较大, 且多个节点都处于饱和状态, 此时, 若各个成功发送数据帧节点都将竞争窗口恢复到最小, 数据帧的碰撞情况无法得到明显改善, 因此, 连续碰撞多次的数据帧成功传输之后, 各个节点应将竞争窗口维持在较大的范围, 以有效地降低数据帧碰撞概率, 调整方法如下式所示:

$$CW = \max\{CW_{\min}, CW/(2^{m-k})\} \quad (2)$$

式中 m 为最大重传次数。

按照上述竞争窗口调整策略, 节点竞争窗口的状态转移情况如图1所示, 由于基于碰撞感知的竞争

窗口增加速度和节点成功传输数据包后竞争窗口的缩减速度并不相同, 因此, 为了简洁, 只对主要状态进行描述。

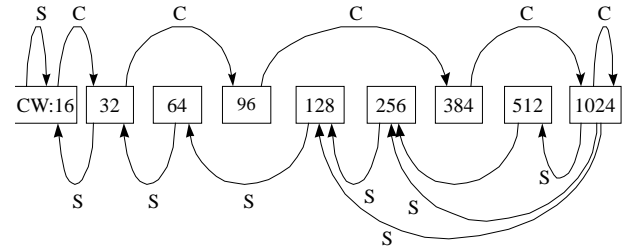


图1 自适应回退机制

2 动态发送时间调整策略

主动调节注入到队列中的数据包数量能够从基本上提高无线资源利用率, 与文献[11]的机制类似, 可将节点所需要传输的数据包分为节点本地业务数据包和为其他节点转发的数据包两类。两类的数据包所对应的发送时间偏移量均匀分布在区间 $[0, J_g]$ 和 $[0, J_f]$, 其中 J_g 和 J_f 分别为用于调整本地业务数据包和转发数据包发送时间的计时器, 满足 $J_{\min} \leq J_g, J_f \leq J_{\max}$ 。

对于本地产生的数据包来说, 按照下式调整其发送间隔:

$$I_g = I_o - J_c \quad (3)$$

式中 J_c 为均匀分布在 $[0, J_g]$ 的数值; I_o 为原始数据包间隔。

节点可以获知应用层所产生的数据流情况, 其中包括带宽、数据包长度、数据包间隔等信息, 因此, 当碰撞发生时, 节点需要减小发送速率, 而当数据帧成功发送时, 节点则需要加大发送速率以有效地使用无线资源。为了加快调整速度, 采用加性增加乘性减小 (additive increase multiplicative decrease, AIMD) 的方式:

$$J_g = \max\{J_g/2, J_{\min}\} \quad (4)$$

$$J_g = \min\{J_g + 1, J_{\max}\} \quad (5)$$

对于转发数据包来说, 节点无法获得其业务产生数据包的速率, 从而无法计算数据包之间的间隔, 因此, 在数据包转发过程中对其接收到的数据包延迟发送, 按照文献[11]的方法, 在区间 $[0, J_f]$ 上均匀地选取具体的延迟时间数值。与发送本地数据包类似, 当转发的数据包出现碰撞时, 节点需要降低其转发速率; 否则, 增加转发速率。类似地, 采用乘性增加加性减小 (multiplicative increase additive decrease, MIAD) 方式加速节点的调整速度:

$$J_f = \min\{2J_f, J_{\max}\} \quad (6)$$

$$J_f = \max\{J_f - 1, J_{\min}\} \quad (7)$$

3 仿真结果

为了评估所提出的基于竞争感知的联合调整策略(contention aware adjusting, CAA)的性能, 本文采用OPNET平台进行了计算机仿真, 与文献[11]类似, 选取 J_{\min} 为1 ms, J_{\max} 为10 ms, 仿真场景为1 000 m×1 000 m, 数据包长度为1 024 B, 仿真时间为300 s, 数据速率为11 Mb/s, 其他参数使用IEEE802.11标准中推荐的数值。

回退机制的伪代码如图2所示。

```

CW=CWmin
k=0 //参数初始化, 均为1次
while 数据帧队列非空, then
    while k≤m, then
        if CD!, then //发送成功, O(m)
            CW=CW/2m-k
            if CW<CWmin, then
                CW=CWmin
            end if
            k=0 //重置碰撞次数
            break //此帧发送完成, 开始发送下一帧
        end if
        k++
        if k>m, then
            丢弃该帧
            break //此帧发送失败, 开始发送下一帧
        end if
        CW=(1+k)×CW
        if CW>CWmax, then
            CW=CWmax
        end if
    end while
end while
    
```

图2 回退机制伪码实现

图中, m 为最大重传次数; k 为节点当前数据帧碰撞次数; CD表示发送数据帧过程中出现碰撞; CD!表示成功发送数据帧。从图2可以看出, 所提出的CAA算法时间复杂度为 $O(m)$, 与原二进制指数退避算法的相同。

如前所述, 数据帧碰撞将导致网络资源浪费, 因此, 碰撞次数是衡量调整机制的重要指标。如图3所示, 对于各种网络负载情况来说, CAA机制能够有效降低碰撞次数, 并且性能改善程度随负载上升而增加, 总体来说, CAA机制能够使整个网络的数据帧碰撞次数降低27.5%。

CAA调整策略能够降低数据帧碰撞次数, 对特定数据帧来说, 连续发生碰撞的概率小于标准中所

使用的BEB机制, 因此, 其成功传输的概率也就高于使用BEB机制的情况。仿真结果如图4所示, 通过使用CAA调整策略, 网络中分组投递率上升接近13%。

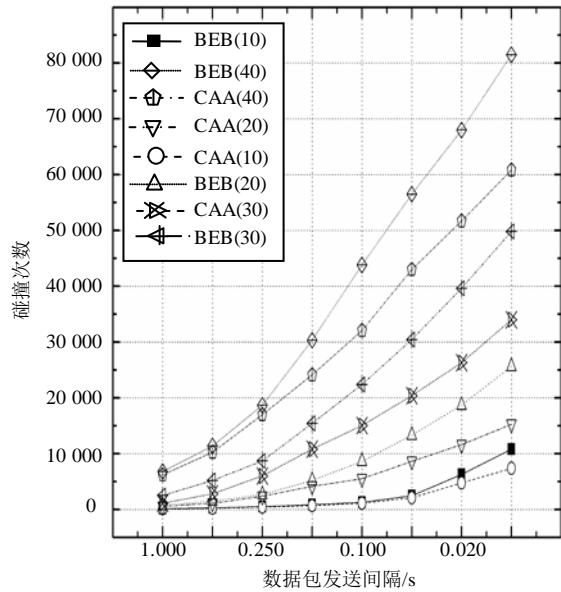


图3 碰撞次数

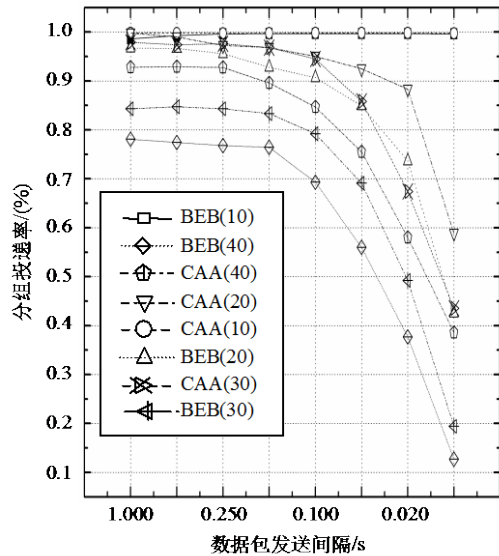


图4 分组投递率

网络吞吐量是衡量资源利用率的有效指标, 采用CAA机制之后的网络吞吐量如图5所示。从整体来说, 网络吞吐量平均提高30%以上, 可见, 采用CAA机制能够更加合理地利用网络资源; 此外, 结果表明, 当网络达到饱和之后, 增加注入到网络的数据包数量并不能提高网络吞吐量。

CAA机制采用主动和被动两种方式调整数据包发送过程中的相关参数, 其在各种网络负载以及节点密度情况下的数据包平均时延如图6所示。从图中

可知,当网络负载较小时,采用CAA机制对数据包时延改善程度并不明显,但是当网络负载逐渐增加时,采用CAA机制能够获得较小的平均时延。

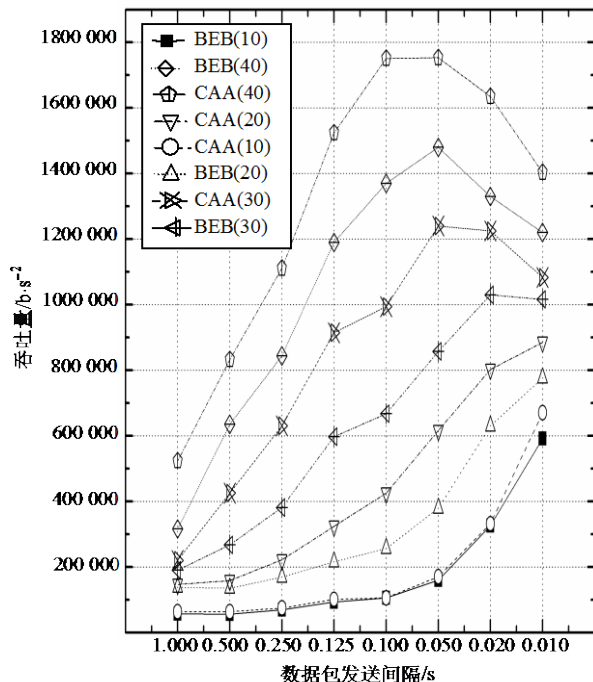


图5 网络吞吐量

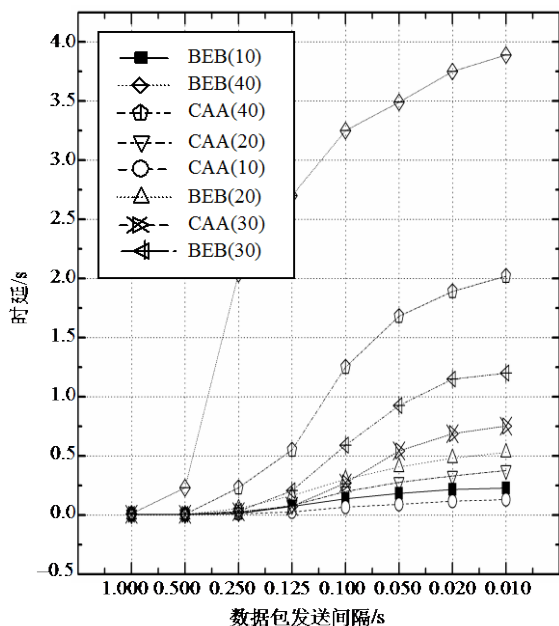


图6 数据包平均时延

4 结论

以被动方式调整竞争窗口变化情况无法从根本上改善网络中的资源竞争情况,本文提出了一种结合主动和被动的数据包传输过程调整机制,节点根据数据帧碰撞情况被动地调整竞争窗口增加和缩减的速度,同时采用主动的方式,动态地控制进入到

节点队列中的数据包速率。仿真结果表明,该联合调整策略能够在保障数据包平均延迟的情况下,有效地提高网络吞吐量。

本文研究工作得到重庆邮电大学博士科研启动基金(A2009-17)的资助,在此表示感谢。

参考文献

- [1] IEEE LAN/MAN Standards Committee. IEEE Std 802.11. Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications[S]/New York, USA: IEEE Press, 2007.
- [2] GUANG L, ASSI C M, BENSLIMANE A. Enhancing IEEE 802.11 Random Backoff in Selfish Environments[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(3): 1806-1822.
- [3] 黎宁, 史诚光. 一种802.11 DCF性能分析的简单方法[J]. 电子科技大学学报, 2006, 35(3): 339-342.
LI Ning, SHI Cheng-guang. An easy way for 802.11 DCF performance analysis[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2006, 35(3): 339-342.
- [4] SAKURAI T, VU H L. MAC access delay of IEEE 802.11 DCF[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(5): 1702-1710.
- [5] BONONI L, CONTI M. Runtime optimization of IEEE 802.11 wireless LANs performance[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15(1): 66-80.
- [6] SONG N, KWAK B, SONG J, et al. Enhancement of IEEE 802.11 distributed coordination function with exponential increase exponential decrease backoff algorithm[C]// Proceeding of Vehicular Technology Conference. Florida: IEEE Press, 2003: 2775-2778.
- [7] XIAO Y, LI F H, WU K. On optimizing backoff counter reservation and classifying stations for the IEEE 802.11 distributed wireless LANs[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2006, 17(7): 713-722.
- [8] WEI Z X, ZHANG H, WANG X L. Design method based on routing tree for topology update in ad hoc network[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2006, 4(3): 106-109.
- [9] 王朝翔, 苗建松, 丁炜. 模糊逻辑控制的MAC协议[J]. 北京邮电大学学报, 2007, 30(6): 131-134.
WANG Zhao-xiang, MIAO Jian-song, DING Wei. A fuzzy logic MAC protocol[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2007, 30(6): 131-134.
- [10] IBRAHIM M, ALOUF S. Design and analysis of an adaptive backoff algorithm for IEEE 802.11 DCF mechanism[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2006, 3976: 184-196.
- [11] CLAUSEN T, DEARLOVE C. Jitter considerations in mobile Ad hoc networks[J/OL]. [2008-07-10]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc5148.txt>.

编辑 张俊