

ADD:一种无线局域网 MAC 层竞争窗口退避算法

宋 翊,王建新

SONG Yi,WANG Jian-xin

中南大学 信息科学与工程学院,长沙 410083

School of Information Science and Technology,Central South University,Changsha 410083,China

E-mail:jxwang@mail.csu.edu.cn

SONG Yi,WANG Jian-xin.ADD:MAC contention window backoff algorithm in wireless LANs.Computer Engineering and Applications,2007,43(20):132-135.

Abstract: Design of Medium Access Control (MAC) protocols is one key problem in Wireless Local Area Networks(WLANs). The major features of a MAC protocol are high throughput and good fairness.In this paper,we propose a new efficient Contention-Window(CW) resolution mechanism,called Adaptive Double increase double Decrease algorithm(ADD),according to the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function (DCF),which improves the performance of original MAC protocol.The algorithm is developed as follows:each station will halve the contention window after n consecutive successful transmissions,and the value of n is adjusted adaptively according to the throughput of AP node.This algorithm can reduce the collision probability;meanwhile,it improves the fairness between different stations.

Key words: WLAN;Medium Access Control(MAC);backoff algorithm;contention window

摘 要:在无线局域网(WLANs)中,介质访问控制(MAC)协议的设计是一个核心的问题。MAC 协议应该满足较高的吞吐量和较好的公平性等要求。根据 802.11 分布式协同函数(DCF),提出了一种新的高效的竞争窗口(CW)处理机制,称作自适应倍增增加倍乘减小算法(ADD)。该算法的基本思想如下:每个站点在成功地连续发送 n 个数据包后,其 MAC 层的竞争窗口减小为原值的一半,而且 n 的值根据接入节点(AP)的瞬时流量自适应地调节。大量仿真实验表明:该算法可以通过有效地降低站点之间的冲突概率,来增加系统整体的吞吐量,同时增加不同站点之间的公平性。

关键词:无线局域网;介质访问控制;退避算法;竞争窗口

文章编号:1002-8331(2007)20-0132-04 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP393.17

1 引言

随着 802.11 无线局域网的发展,研究人员已做了很多的工作来提高网络的性能。MAC 协议要解决的就是在多个站点竞争接入同一信道时,如何保证接入的有效性,达到合理地利用系统资源的目的的问题。MAC 协议既要尽量降低各站点之间的冲突概率,又要避免因退避时间过长而降低信道利用率,同时还要保证各节点公平地访问信道。在分布式环境中,这些要求对算法的设计提出了挑战。

在当前的 MAC 层协议中,802.11 DCF^[1]是使用最为广泛的一种协议,它采用了一种基于时隙的动态退避算法来减少站点之间的冲突,具体工作过程如下:站点在每次试图发送数据之前都会在 0 到 CW(Contention Window)之间随机选择一个整数作为本次发送过程的退避计数器(Backoff Timer)初始值,它决定了本次之前所必须经历的退避时间(以时隙为单位)。站点在发送数据包之前监听信道的状况,如果信道持续空闲一个

DIFS(DCF Inter-Frame Space)时间,则站点进入退避过程。信道每空闲一个时隙,各站点都会将自己的退避计数器值减 1,直至退避计数器递减到 0,表示已完成了退避过程,可以开始发送数据包。如果在退避过程中信道又变忙,站点就挂起退避计数器直至信道再次空闲,再继续完成剩余的退避过程。

802.11 DCF 中采用的退避算法^[2]是二进制指数退避算法 BEB(Binary Exponential Backoff)。当多个站点因同时完成退避后而发送自己的数据包时,就会有冲突产生。每当站点发送失败,则认为网络中站点间对信道的竞争程度加剧。所以,此时站点将自己的竞争窗口值 CW 加倍,直至达到最大门限值 CW_{max} ,从而使得站点在下次发送之前有更大的概率选取较大的退避时间。而当站点成功发送了一个数据包之后,则认为信道竞争程度降低,因此站点将 CW 重置为最小值 CW_{min} 。

然而,BEB 算法存在明显的问题,即它总是有利于前一次成功发送的站点短时间内再次获得竞争信道,从而造成了明显

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60673164);湖南省杰出青年基金(the Hunan Province Outstanding Youth Foundation of China under Grant No.06JJ10009);教育部博士点基金(the Ministry of Education Doctor Foundation of China under Grant No.20060533057)。

作者简介:王建新(1969-),男,博士,教授,博导,主要研究领域为计算机网络,网络优化理论,计算机优化算法;宋翊(1982-),男,硕士生,主要研究领域为计算机网络,无线局域网退避算法。

的不公平^[3]现象,并导致延时的大幅抖动。而且,在网络负载较重的情况下,站点成功发送后立即将其 CW 值设为最小值,这种变化幅度过大,导致冲突的概率成倍增加。

2 相关工作

基于 802.11 DCF 的基本框架,已经提出了多种 MAC 协议的改进算法。这些算法主要是从减少站点之间的冲突概率,提高流之间的公平性等方面来进行设计的。

在乘性增加线性减小算法 MILD^[4]中,站点发送失败后, CW 值增加为原来的 a 倍;成功发送数据包后, CW 递减一个固定值 b (a 和 b 可根据实际情况预先设定)。但这种方法因为是遵循线性减小的原则,使得在网络负载较大的情况下,竞争窗口值变化得过于缓慢,从而导致吞吐量性能下降;并且, CW 值的变化不规则,导致公平性无法得到有效的保证。

在慢速减小算法 SD^[5]中,站点发送成功后, CW 不是像 802.11 DCF 的 BEB 那样减小为最小值,而是只将其减为此时窗口大小的一半。在负载较重的情况下,这种算法的竞争窗口的变化没有原 MAC 协议那样剧烈,从而提高了系统的性能。

快速冲突解决算法 FCR^[6]与 BEB 的区别则在于,每个站点只要监听到信道上数据包发送或者冲突时,都将自己的 CW 加倍,并重新选取回退计数器。此外,FCR 还使用了一种回退计数器快速更新机制——在回退过程的开始阶段,每次回退计数器均减 1;而当信道连续空闲 $CW_{\max} \times 2$ 个时隙后,则每继续空闲一个时隙,退避计数器减半。尽管 FCR 的吞吐量性能很好,但这是以牺牲公平性的代价而得来的。因为成功发送的站点窗口越来越小,而其他的站点窗口值则成增大的趋势,从而使不同站点的发送概率的差别越来越大。

空闲时隙监听 IS^[7]则使用了一套完全不同的机制,它不是基于冲突来调节 CW 的取值,而是根据预测空闲时隙的均值来调节的。每个站点估计每两次成功发送数据包的时间段内的空闲时隙,将其与理论的最优值之间比较,从而达到改变 CW 的目的。因此,所有站点的 CW 的变化都是相同的。当然,这得到了较好的公平性,并且吞吐量也较大;但需要对原有的 BEB 算法做出很大的调整,且并不符合 MAC 协议的分布式要求。

如何有效控制 CW 的值对于提高系统吞吐量、减少冲突十分重要。在以前的算法中,一般是当成功发送一个数据报后就立刻大幅度降低 CW 的值,而在网络负载较大的情况下会存在严重的冲突现象。可以从两个角度控制减少 CW 的值,一个是控制降低的幅度;一个是控制降低的时间,即在成功发送多少个数据报后再降低 CW 的值。在大多数文献中都是通过控制降低的幅度来优化网络性能,而本文则从控制降低的时间角度来优化网络性能。

本文通过引入等待计数器来控制降低的时间,即当成功发送数据报的数目等于等待计数器的值时将 CW 的值减少一半。如何根据网络负载的情况来调节发送站点的等待计数器的取值 n 是本文研究的重点。

3 ADD 算法

这一章,给出了一种新的 MAC 层竞争窗口退避算法——自适应倍乘增加倍乘减小算法 (ADD),它能根据 WLAN 中的接入节点的吞吐量的动态变化,来调节发送站点的等待计数器的取值,从而控制竞争窗口的变化;并通过窗口的变化来改变

站点的发送概率,从而提高整体的公平性。

3.1 设计思想

根据站点的状态,具体的窗口调节机制如下:

站点冲突:同 MAC802.11 BEB 的情况一致,即将冲突站点的 MAC 层竞争窗口值 CW 增大一倍, $CW = \min(CW \times 2, CW_{\max})$,而回退计数器 Backoff Timer 重新取 0 至新 CW 之间的一个随机数值。此时等待计数器 n 的值将根据 WLAN 中的接入节点的吞吐量情况进行设置。

成功传输:成功传输的站点在收到 MAC 子层的一个 ACK 后,不是立即将自己的竞争窗口 CW 减半;而是在成功地连续发送 n 个分组后,等待计数器 n 递减为 0,再将 CW 值减半。这样做的目的是为了所有站点的窗口值相对固定在一个稳定值,从而在站点较多的情况下,避免冲突发生的概率,从而提高系统整体的吞吐量,并且也可以提高各站点之间的公平性。

信道空闲:如果信道空闲,则回退计数器 Backoff Timer 自动减 1,同 MAC802.11 一致。

竞争窗口的变化情况如图 1 所示,其中 $CW_{(i)} = CW_{\min} \times 2^i - 1$, $CW_{(m)}$ 为 CW_{\max} :

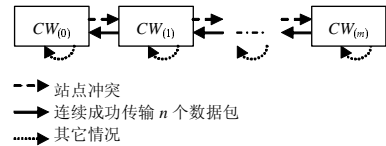


图 1 ADD 窗口变化的处理过程

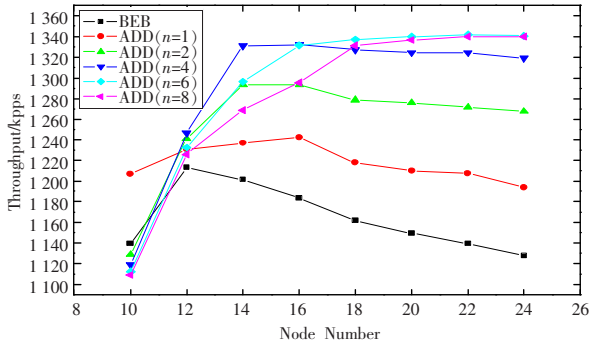
3.2 竞争窗口变化的分析

现在关键的问题,是竞争窗口 CW 应如何变化,才能使系统的吞吐量尽可能接近最优值。实际上, n 的取值决定了 CW 的变化。 n 值过小,则在系统吞吐量较大的情况下, CW 因冲突而减小得太快,使其回退计数器取值可能较小,达不到应有的避免冲突的效果,从而降低吞吐量; n 值过大,会增加传输延迟,这是因为 CW 要等待更多的时间才会减半,从而使回退计数器的取值更大,在发送站点总流量较小的情况下,不利于提高整体性能。因此,考虑根据 AP 节点瞬时的流量信息来反馈给发送站点,从而来动态调节 n 的取值。

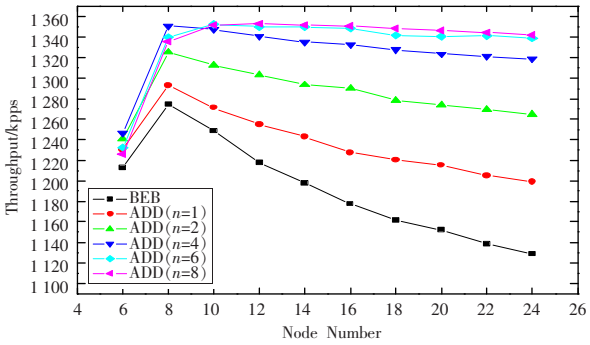
假设 n 取值固定,如图 2 所示,对应不同速率的 CBR 流,站点的数目一直从 2,4,直至 24,且只存在一个 AP 节点。

可以看出,在发送站点 CBR 总流量(站点数×发送速率)较小的情况下,等待计数器 n 取值较小,系统的吞吐量能取得更大的值;随着发送站点 CBR 总流量的增大, n 取值较大的 ADD 算法的系统吞吐量更大。并且, n 取值为 6 和 n 取值为 8 的 ADD 算法在发送站点总流量较大的情况下,得到的系统吞吐量相当接近,也就说明 n 取更大的值没有意义,因为此时若发生冲突,要等待过长的时间 CW 才会减半,没有实际的意义。

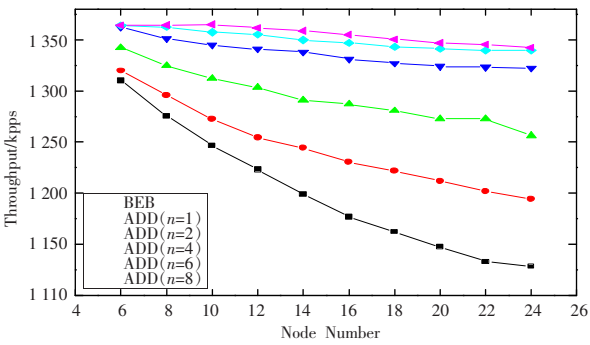
因此,ADD 算法的实现过程如下:根据 WLAN 中 AP 节点的吞吐量作为一个标准值,来反馈给发送站点,从而调节站点竞争窗口的等待计数器 n 值的大小。在 ADD 算法中,当 AP 处于某种负载情况时,若收到某个站点的 DATA 分组,在返回给该站点的 MAC 层 ACK 的分组头中,打上跟该负载情况对应的 n 值信息,从而实现自适应的动态 n 值变化。当 AP 节点允许通过的最大流量为 \max 时, n 的取值为 8,所以,可以采取如下的映射关系:



(a) 速率为 100 kb



(b) 速率为 200 kb



(c) 速率为 400 kb

图 2 CBR 取不同的速率时,对应的系统吞吐量

$$y = \begin{cases} 1, & x \leq \max/2 \\ 2, & \max/2 < x \leq 3 \times \max/4 \\ \lceil 24 \times x / \max - 16 \rceil, & x > 3 \times \max/4 \end{cases}$$

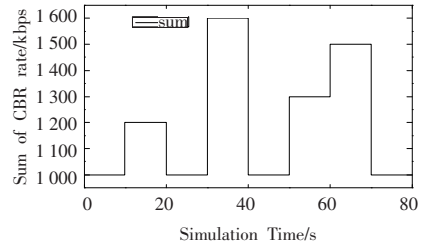
其中, x 表示 AP 节点监测的瞬时吞吐量, y 表示发送站点根据此时的吞吐量应调节的等待计数器 n 的取值。通过这样,可以使站点根据吞吐量来自适应地调节窗口的变化幅度,从而达到最优的性能。

4 仿真实验

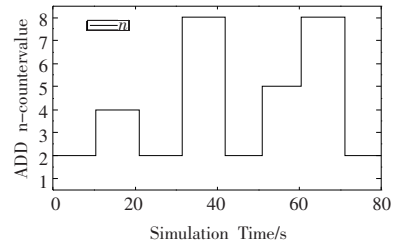
为了显示 ADD 算法中等待计数器 n 取值的动态变化,给出以下实验,设发送站点的 CBR 流总流量如图 3(a)所示,则在发送站点可以测出相应的 n 值变化,见图 3(b)。

从图 3 可以看出,得到的等待计数器 n 的统计值同理论分析的一致。因为传输等原因, n 的取值变化对比 CBR 流之和的变化存在一定的延迟。

这里设定 WLAN 中站点的数目一直从 2, 4, 直至 24, 且只存在一个接入节点。模拟过程中所用的参数同 802.11b 的标准一致。为对 BEB, SD 和 ADD 各算法的吞吐量进行比较, 设发送



(a) 发送站点总流量



(b) 等待计数器的变化

图 3 ADD 算法等待计数器 n 的变化

站点分别为 CBR 流或 TCP 流。各个算法所获得的吞吐量的比较如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 在 AP 节点处于不同的负载情况下时, ADD 均能达到最优值。

本文采用的是 Jain Index 公平性指数^[8]评价公平性。图 5 给出了算法 BEB、SD 和 ADD 在不同节点数目情况下的公平指数的比较。

从图 5 可以看出, 在站点的数目较少的情况下, BEB 的公平性反而会略大于 ADD。这是由于此时站点冲突的概率较小, 因此 CW 变化得过慢的话, 反而使某些站点竞争不过 CW 值较小的站点的信道, 从而降低了整体的公平性。随着吞吐量的增大, ADD 在公平性方面的优势才得以体现。

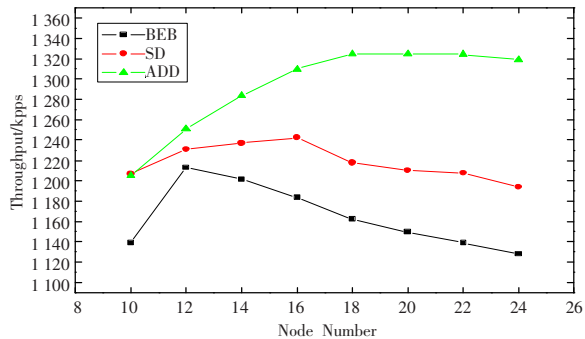
图 6 给出了单个站点端到端的平均延迟情况。如图 6 所示, ADD 算法的延迟较原 BEB 和 SD 稍有增大, 这是因为成功发送的站点不是立即减少其 CW 窗口, 从而增加了可能的回退时间所致。

5 结束语

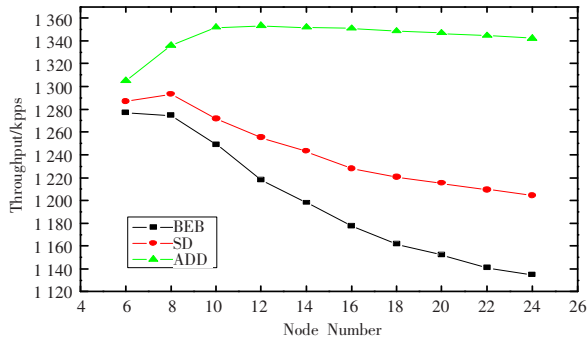
本文介绍了一种新的无线局域网 MAC 层窗口退避算法——ADD。针对原有窗口退避算法的不足, 通过估计 WLAN 中接入节点的吞吐量来动态的调节各个发送站点的窗口退避的时间, 从而达到避免不必要的冲突, 更有效地增加系统整体吞吐量的目的。与此同时, ADD 的窗口值在稳态的情况下, 一般在相邻的两个取值之间变化, 这使得各站点的公平性得到保证。通过理论分析和模拟结果进行比较, 证明了 ADD 算法满足了设计初的要求。(收稿日期: 2006 年 7 月)

参考文献:

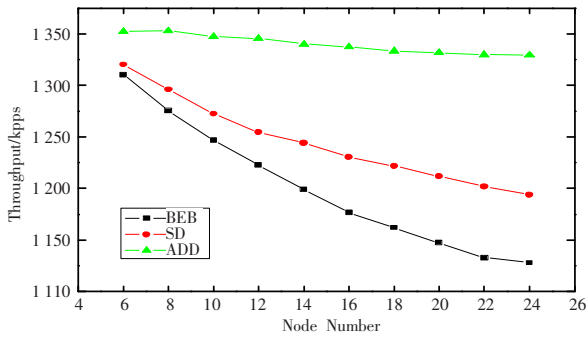
- [1] Bianchi G, Fratta L, Oliveri M. Performance analysis of IEEE 802.11 CSMA/CA medium access control protocol[C]//Proc of PIMRC1996, 1996.
- [2] IEEE Std 1516-2000, 1516.1-2000, 1516.2-2000, IEEE Standard for Modeling and Simulation(M&S)High Level Architecture(HLA)[S].
- [3] Koksai C E, Kassab H, Balakrishnan H. An analysis of Short-Term fairness in wireless media access protocols[C]//Proc of ACM



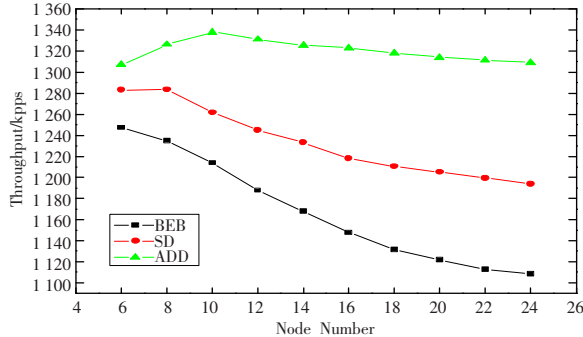
(a)发送站点为 CBR 流(100 kbps)



(b)发送站点为 CBR 流(200 kbps)



(c)发送站点为 CBR 流(400 kbps)



(d)发送站点为 TCP 流

图 4 系统吞吐量

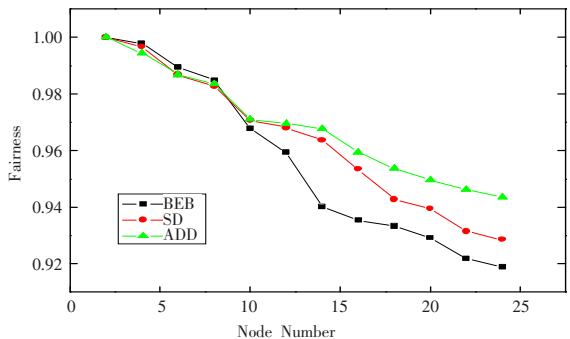


图 5 公平指数

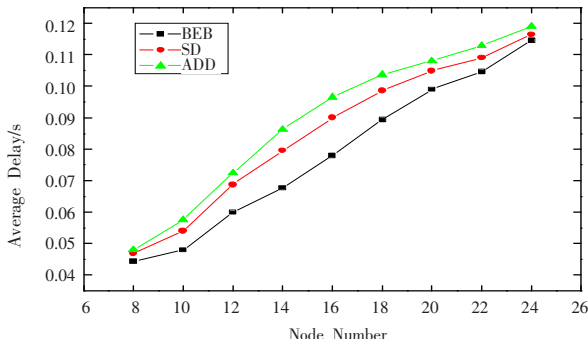


图 6 平均延迟

SIGMETRICS,2000.

[4] Bharghavan V, Demers A, Shenker S, et al. MACAW: a media access protocol for wireless LANs [C]//Proc of the Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, ACM, 1994.
 [5] Ni Q, Aad I, Barakat C, et al. Modeling and analysis of slow CW decrease for IEEE 802.11 WLAN [C]//Proc of IEEE PIMRC, 2003.
 [6] Kwon Y, Fang Y, Latchman H. A novel MAC protocol with fast

collision resolution for wireless LANs [C]//Proc of IEEE INFOCOM, 2003.

[7] Heusse M, Rousseau F, Guillier R, et al. Idle Sense: an optimal access method for high throughput and fairness in rate diverse wireless LANs [C]//Proc of ACM SIGCOMM, 2005.
 [8] Peterson L L, Davie B S. Computer networks: a system approach [M]. 2nd ed. [S.l.]: Morgan Kaufmann Publisher, Inc, 2000: 454-457.

(上接 13 页)

[3] Aleksander Øhrn. Discernibility and Rough Sets in medicine: tools and applications [D]. Department of Computer and Information Science, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 1999.
 [4] Slowinski R, Vanderpooten D. Similarity relation as a basis for rough approximations [R]. Warsaw University of Technology, Institute of Computer Science Research Report 53, 1995.

[5] Daijin K. Data classification based on tolerant rough set [J]. Pattern Recognition, 2001, 34: 1613-1624.
 [6] Foody G M. The continuum of classification fuzziness in thematic mapping [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1999, 65: 443-451.
 [7] Foody G M. Toward intelligent training of supervised image classifications: directing training data acquisition for SVM classification [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 93: 107-117.