

IEEE802.11 无线局域网 MAC 机制性能比较

宋 军¹ 金艳华¹ 李媛源² 李 霖¹

(重庆交通大学信息科学与工程学院 重庆 400074)¹ (重庆邮电大学科学技术处 重庆 400065)²

摘要 通过仿真实验,对分布式协调功能、快速冲突分解和新型自适应 DCF 3 种 IEEE802.11 无线局域网媒体访问控制机制的性能进行了分析和比较。仿真结果表明,与分布式协调功能相比,快速冲突分解机制大幅提高了网络的吞吐量,但网络的时延抖动和公平性却更加恶化;新型自适应 DCF 机制对网络的时延抖动和公平性改善较为明显,对网络吞吐量也有所提高。

关键词 媒体访问控制,分布式协调功能,快速冲突分解,新型自适应 DCF

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Comparison on the Performance of Media Access Control Mechanism for IEEE802.11 Wireless LAN

SONG Jun¹ JIN Yan-hua¹ LI Yuan-yuan² LI Lin¹

(College of Information Science and Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)¹

(Scientific Research Office, Chongqing University of Post and Telecommunication, Chongqing 400065, China)²

Abstract Analyzed and compared on the performance of three media access control mechanism for IEEE802.11 wireless LAN, Distributed Coordination Function (DCF), Fast Collision Resolution (FCR) and New Self-Adaptive DCF (NSAD) by simulation. Simulation results indicate, compared with DCF, FCR greatly enhances the throughput, but deteriorates the jitter and fairness of WLAN. NSAD improves the jitter and fairness notably of WLAN, and enhances a few on the network throughput.

Keywords Media access control, Distributed coordination function, Fast collision resolution, New self-adaptive DCF

IEEE802.11 无线局域网采用分布式协调功能(Distributed Coordination Function, DCF)作为基本接入方式^[1,2],实现比较简单,得到了广泛应用,并成为当前的研究热点。随着网络规模的不断增大,信道冲突将快速上升,IEEE802.11 无线局域网的性能明显恶化,国内外众多学者针对这一问题从建模分析推导优化参数、冲突分解算法、竞争窗口调节机制等方面提出了大量改进措施^[3-9]。文献[4]提出了快速冲突分解(Fast Collision Resolution, FCR)机制,试图通过同时增大冲突站点、退避站点的竞争窗口和站点监测到多个连续的空闲时隙后以指数方式迅速减少退避时间等措施,快速分解冲突和减少因退避而浪费的空闲时隙,提高 IEEE802.11 无线局域网的吞吐量和信道利用率;文献[5]提出新型自适应 DCF(New Self-Adaptive DCF, NSAD)机制,试图通过站点实时监测网络负载并动态调整初始竞争窗口值,有效地减少冲突和频繁退避,提高 IEEE802.11 无线局域网的网络性能。

通过仿真实验,对 DCF, FCR 和 NSAD 3 种 IEEE802.11 无线局域网 MAC 机制的吞吐量、时延、时延抖动和公平性等性能进行了详细分析和比较,并对它们的优缺点进行了总结,为进一步改进无线局域网媒体访问控制机制和改善网络性能

打下基础。

1 IEEE802.11 无线局域网 MAC 机制

1.1 分布式协调功能

DCF 是 IEEE802.11 无线局域网最基本的 MAC 机制。当站点需要发送数据时,首先监测信道是否空闲;如果信道持续空闲时间达到 DIFS,站点开始发送数据;如果信道忙,站点继续监测信道;当信道由忙变为空闲且持续空闲时间达到 DIFS 时,站点随机地选择一个退避时间进行退避,直到退避时间结束,站点开始发送数据。退避时间 BackoffTime 由式(1)确定:

$$BackoffTime = Random(0, CW - 1) \times SlotTime \quad (1)$$

其中, $Random(a, b)$ 表示 a 到 b 之间的一个随机数,其概率服从 $[a, b]$ 上的均匀分布; CW 为站点当前的竞争窗口尺寸,取值介于竞争窗口初始值 CW_{min} 与竞争窗口最大值 CW_{max} 之间; $SlotTime$ 为 IEEE802.11 标准规定的一个时隙占用的时间。

目的站点若正确接收数据,在时间间隔 SIFS 后,向源站点发送 ACK 确认帧。源站点收到 ACK 确认帧后,将其竞争

到稿日期:2008-12-31 返修日期:2009-03-20 本文受重庆市科技攻关项目(CSTC2008AC2075),重庆市自然科学基金(CSTC2007BB6419),重庆市教委科技研究项目(KJ080425)资助。

宋 军(1971-),男,博士,副教授,研究方向为宽带网络技术、嵌入式系统, E-mail: songjun_cq@163.com; 金艳华(1984-),男,硕士研究生,研究方向为无线网络技术; 李媛源(1980-),女,硕士,助理研究员,研究方向为通信与计算机网络技术; 李 霖(1962-),男,高级工程师,研究方向为计算机网络技术。

窗口 CW 恢复为初始值 CW_{min} , 准备发送新的数据。为了避免单个站点长时间占用信道, 站点在两次连续的数据发送之间也需要进行随机退避。

多个站点在同一个时刻接入信道会产生冲突, 数据在传输过程中遭到破坏, 所有冲突站点将无法收到 ACK 确认帧。此时, 冲突站点将根据各自连续冲突的次数和式(2)增大自己的竞争窗口:

$$CW' = 2^m (CW_{min} + 1) - 1 \quad (2)$$

其中, m 为站点连续冲突的次数。

站点取增大后的竞争窗口值 CW' 与竞争窗口最大值 CW_{max} 二者中的较小值作为当前竞争窗口值 CW , 即 $CW = \min(CW_{max}, CW')$, 并根据当前竞争窗口值 CW 和式(1)确定

$$\rho = \frac{\bar{m}}{E[N_c](E[B_c] \times t_s + \bar{m} + DIFS) + (E[B_c] \times t_s + \bar{m} + SIFS + ACK + DIFS)} \quad (3)$$

其中, $E[N_c]$ 为站点成功发送一帧所经历的平均冲突次数, $E[B_c]$ 为每次信道竞争过程中因退避而产生的平均空闲时隙数, t_s 为一个时隙所占用的时间, \bar{m} 为平均帧长度。

由式(3)可知, 当两个成功传输的帧之间没有任何冲突和空闲时隙, 即 $E[N_c] = E[B_c] = 0$, 网络达到最大吞吐量:

$$\rho_{best} = \frac{\bar{m}}{m + SIFS + ACK + DIFS} \quad (4)$$

因此, 为提高 IEEE802.11 无线局域网的网络吞吐量, 必须有效地减少冲突和退避浪费的空闲时隙。

1.2 快速冲突分解

FCR 采用远大于 IEEE802.11 标准规定的竞争窗口最大值 CW_{max} , 且同时增大冲突站点、退避站点的竞争窗口, 以快速降低冲突的概率, 减小平均冲突次数; 采用远小于标准规定的竞争窗口初始值 CW_{min} , 且站点在探测到给定数量的连续空闲时隙后, 按指数方式迅速减少退避时间, 以减小因退避而浪费的平均空闲时隙数。其工作步骤描述如下:

(1) 竞争窗口初始值和最大值调整: FCR 的竞争窗口初始值 CW_{min} 和竞争窗口最大值 CW_{max} 通常采用 [3, 2047], 远小于和大于 IEEE802.11 标准规定的 [31, 1023]。

(2) 竞争窗口动态调整: FCR 在发生冲突和数据发送成功时进行的竞争窗口调整与 DCF 相同, 并新增了信道由闲变忙时站点进行竞争窗口调整的功能。当站点在退避过程中监测到一个新的信道忙周期时(无论这个信道忙周期是因为冲突还是其他站点正确传输所引起), 站点将自己的竞争窗口值增大 1 倍, 取增大 1 倍后的竞争窗口值与竞争窗口最大值 CW_{max} 二者中的较小值作为当前竞争窗口值。

(3) 退避时间动态调整: 站点在退避过程中对信道进行监测, 每监测到一个空闲时隙, 将退避定时器的值减 1; 当站点监测到 $(CW_{min} + 1) \times 2 - 1$ 个连续空闲时隙后, 如果继续监测到连续空闲时隙, 则每监测到一个空闲时隙, 将退避时间减半, 直至退避时间为零, 结束退避。

1.3 新型自适应 DCF

NSAD 通过站点实时监测网络负载情况并动态调整初始竞争窗口, 以减少冲突和频繁退避, 从而提高网络性能。其工作步骤如下:

(1) 站点发送数据时, 独立地实时监测并统计信道冲突时间 t_{coll} 和信道空闲时间 t_{free} 。

(2) 站点成功发送数据: 根据式(5)和式(6)计算出信道平均冲突时间 t_{coll_avg} 和信道平均空闲时间 t_{free_avg} , 并

新一轮退避时间。退避结束后, 站点将重新发送数据。

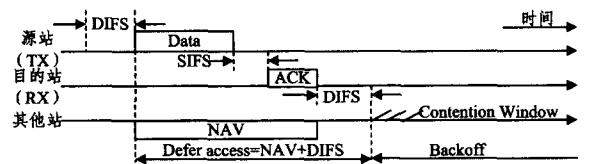


图1 DCF工作过程

IEEE802.11 标准还允许站点采用 RTS/CTS 方式对信道进行预约, 以克服隐藏终端问题, 并将冲突限制在较短的 RTS/CTS 帧交换过程中, 减少因冲突浪费的带宽资源。

在网络规模较大、网络负载较重时, IEEE802.11 无线局域网的吞吐量为^[3]:

$$\rho = \frac{\bar{m}}{E[N_c](E[B_c] \times t_s + \bar{m} + DIFS) + (E[B_c] \times t_s + \bar{m} + SIFS + ACK + DIFS)} \quad (3)$$

根据式(7)得到网络的实时负载 L :

$$t_{coll_avg} = \lambda * t_{coll_avg} + (1 - \lambda) * t_{coll} \quad (5)$$

$$t_{free_avg} = \lambda * t_{free_avg} + (1 - \lambda) * t_{free} \quad (6)$$

$$L = t_{coll_avg} / t_{free_avg} \quad (7)$$

其中, λ 为平滑随机抖动参数, 取值 0.925。

(3) 站点发送新数据: 根据网络负载实际值 L 与理论最优值 l_{opt} 的比较结果, 调整初始竞争窗口值:

当 $L > l_{opt} + \sigma$ 时, 站点将初始竞争窗口值减少一倍, $CW_{min} = (CW_{min} + 1) / 2 - 1$ 。

当 $L < l_{opt} - \sigma$ 时, 站点将初始竞争窗口值增大一倍, $CW_{min} = (CW_{min} + 1) * 2 - 1$ 。

当 $l_{opt} - \sigma < L < l_{opt} + \sigma$ 时, 站点的初始竞争窗口值保持不变。

其中, σ 为触发初始竞争窗口值调节的门限值, 取值 0.3。

2 仿真及性能分析

2.1 仿真环境及参数设置

本节利用 ns-2 网络仿真平台^[10] 对无线局域网 MAC 层分别采用 DCF, FCR 和 NSAD 时的 TCP 性能进行仿真分析和比较, 仿真实验的网络拓扑结构如图 2 所示。

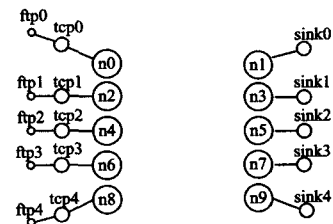


图2 网络拓扑结构

网络中的站点数量分别为 10, 20, 30, 40, 50, 60, 每个站点的发射范围为 250 米, 所有站点均能相互覆盖, 链路带宽为 10Mbps, 3 种 MAC 机制的竞争窗口参数如表 1 所列, 其它参数采用 IEEE802.11 标准规定值。路由协议为 DSDV, 传输层采用 TCP 协议, TCP 报文长度为 1000Bytes, 应用层为 FTP 数据流。

表1 MAC层竞争窗口参数

MAC 机制	DCF	FCR	NSAD
CW_{min}	31	3	31(动态调整)
CW_{max}	1023	2047	1023

2.2 性能分析与比较

吞吐量 不同网络规模下,3种MAC机制的网络平均吞吐量如图3所示。随着网络中站点数量增加,3种MAC机制的网络平均吞吐量均呈下降趋势,但FCR和NSAD较DCF的网络平均吞吐量均有提高。其中,FCR将网络平均吞吐量提高了约11%,NSAD将网络平均吞吐量提高了约5%,FCR对网络平均吞吐量的提升效果较为明显。

时延 不同网络规模下,3种MAC机制的网络平均时延如图4所示。随着网络中站点数量增加,3种MAC机制的网络平均时延均呈上升趋势,但FCR和NSAD较DCF的网络平均时延均有所减小,其中NSAD的网络平均时延最小。当网络中站点数量超过100个后,DCF的网络平均时延急剧上升,而FCR和NSAD的网络平均时延仍然保持缓慢上升趋势。

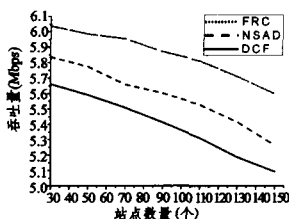


图3 网络平均吞吐量

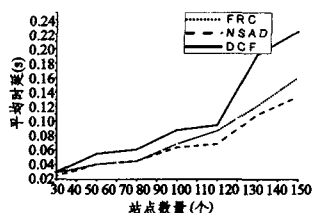


图4 网络平均时延

时延抖动 3种MAC机制的时延抖动如图5所示。DCF的时延抖动较大,幅度维持在 $\pm 0.3s$ 之间;由于FCR在信道忙但未冲突时也将竞争窗口扩大1倍,而在信道出现多个连续空闲时隙后以指数方式减少退避时间,导致站点的退避时间频繁、快速地大范围变化,造成数据发送的时延剧烈变化,因此FCR的时延抖动幅度通常维持在 $\pm 0.5s$ 之间,比DCF的时延抖动更加剧烈;NSAD则通过实时统计网络负载来动态调节竞争窗口初始值,并引入了平滑随机抖动参数 λ 和窗口调节触发门限 σ ,有效地避免了站点的退避时间频繁、大范围变化,因此NSAD的时延抖动较小,幅度通常维持在 $\pm 0.1s$ 之间。

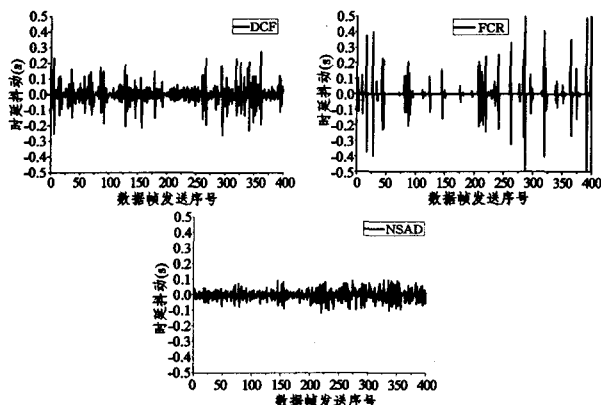


图5 时延抖动

公平性 3种MAC机制的各个站点平均吞吐量如图6所示。DCF各站点的平均吞吐量相差较大,信道带宽资源在各站点之间的分配不公平,如10号站点的平均吞吐量为325kbps,26号站点的平均吞吐量为500kbps(是10号站点的1.54倍);FCR机制使成功发送数据的站点保持极小的竞争窗口值,抢占信道的概率极大,而其它站点则长期维持很大的竞争窗口值,抢占信道的概率极小,造成信道被某些站点长期占用,信道带宽资源在各站点之间的分配极不公平,如8号站

点的平均吞吐量为270kbps,16号站点的平均吞吐量为640kbps(是8号站点的2.37倍);NSAD各站点实时地统计网络负载并对竞争窗口初始值进行合理调节,不会产生信道被某些站点长期占用的现象,各站点的平均吞吐量均维持在425kbps左右,信道带宽资源在各站点之间的分配较公平。

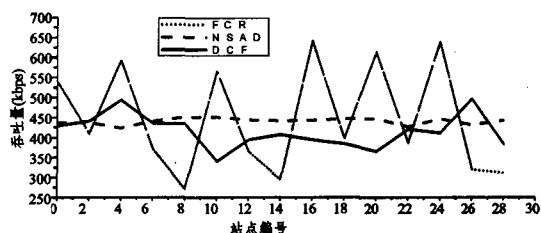


图6 站点平均吞吐量

结束语 本文通过仿真实验对DCF、FCR和NSAD3种IEEE802.11无线局域网MAC机制进行了性能分析和比较,总结如下:

(1) FCR大幅提升了网络的平均吞吐量,降低了网络的平均时延,但其公平性和时延抖动性能较DCF更加恶化,难以应用于传输音、视频等多媒体业务,且对数据业务的性能和质量也将产生负面影响。

(2) NSAD显著改善了网络的公平性和时延抖动性能,降低了网络的平均时延,对网络平均吞吐量有所提升。将NSAD与IEEE802.11e标准的优先级机制相结合,并针对提高网络吞吐量进一步加以改进后,可应用于无线局域网传输数据、音频和视频等多媒体信息。

参考文献

- [1] IEEE Std. 802.11, 1999 Edition, Part II; IEEE 802.11 Wireless LAN medium access control (MAC) and physical (PHY) layer specifications[S]. 1999
- [2] IEEE 802.11e/D13.0. Draft supplement to part 11; wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications; Medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS) [S]. January 2005
- [3] Cali F, Conti M, Gregori E. Dynamic Tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(6): 785-799
- [4] Younggoo K, Yugang F, Haniph L. A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs [C] // Proc. of IEEE InfoCom'2003. 2003
- [5] 彭泳,程时端.一种自适应无线局域网协议[J].软件学报,2004(4):604-615
- [6] Ramaiyan V, Kumar A. Fixed point analysis of single cell IEEE 802.11e WLANs: Uniqueness, multistability and throughput differentiation[C] // Proc. of ACM SIGMETRICS, June 2005
- [7] Chao Z Y, Bensaou B. A novel topology-blind fair medium access control for wireless LAN and ad hoc networks[C] // Proc. of ICC2003, Alaska, May 2003
- [8] Bononi L, Conti M, Gregori E. Run-time optimization of IEEE 802.11 wireless LAN performance[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2004, 15(1)
- [9] Ge Y, Hou J C, Choi S. An analytic study of tuning systems parameters in IEEE 802.11e enhanced distributed channel access [J]. Computer Networks, 2006
- [10] Fall K, Varadhan K. The ns Manual [EB/OL]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc.2003>