

基于竞争终端个数区间的 IEEE 802.11 性能优化*

李贺武¹⁺, 吴建平¹, 马辉², 张培云³, 罗世新³

¹(清华大学 计算机科学与技术系,北京 100084)

²(清华大学 电子工程系,北京 100084)

³(清华大学 数学科学系,北京 100084)

Performance Optimization for IEEE 802.11 Based on the Range of Contention Station Number

LI He-Wu¹⁺, WU Jian-Ping¹, MA Hui², ZHANG Pei-Yun³, LUO Shi-Xin³

¹(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

²(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

³(Department of Mathematical Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-10-62772375, E-mail: lihewu@cernet.edu.cn, http://www.tsinghua.edu.cn

Received 2003-12-09; Accepted 2004-03-17

Li HW, Wu JP, Ma H, Zhang PY, Luo SX. Performance optimization for IEEE 802.11 based on the range of contention station number. *Journal of Software*, 2004,15(12):1850~1859.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/1850.htm>

Abstract: The number of competing stations has great influence on the performance of IEEE 802.11 MAC protocol based on the distributed coordination function (DCF), which utilizes carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA). In this research, it is found that the system performance approaches the optimal values with the same protocol parameters, when the number of competing stations dynamically changes within a certain range. Therefore, an adaptive optimization mechanism, DOOR (dynamic optimization on range), is proposed for the IEEE 802.11 DCF, which is based on the condition detection and range of competing station number. Moreover, the principle and method for partitioning the range of competing station number are also introduced. Later on, the detailed system model and performance evaluation for the new mechanism are given. The elaborate numerical results show that the mechanism could achieve much higher throughput and shorter delay than the standard IEEE 802.11 DCF in almost all the different competing stations numbers.

Key words: IEEE 802.11; range optimization; condition detection; DOOR

* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No.90104027 (国家自然科学基金); the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA112041 (国家高技术研究发展计划(863))

作者简介: 李贺武(1974-),男,广东南海人,博士生,主要研究领域为计算机网络体系结构,移动无线网络;吴建平(1953-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机网络体系结构,网络协议一致性;马辉(1978-),男,硕士生,主要研究领域为移动无线网络,无线局域网,无线自组织网络;张培云(1978-),男,硕士生,主要研究领域为辛几何,哈密顿系统的周期解与弦解;罗世新(1979-),男,硕士生,主要研究领域为数论中的高斯和,椭圆曲线加密算法。

摘要: IEEE 802.11 的 MAC 协议采用基于 CSMA/CA 的 DCF 机制,研究发现,上述协议的性能随无线局域网中竞争终端个数的增加而迅速恶化.当竞争终端个数在一定范围内变化时,使用相同的优化协议参数,系统的性能都能接近最优.因此,设计了一个基于状态检测与竞争终端个数区间的自适应性能优化机制,DOOR(dynamic optimization on range).根据相关性能模型的分析,先将竞争终端的个数分为若干区间,并分别计算出各区间的优化协议参数.当系统检测到竞争终端个数发生变化时,根据其所处的区间,对相关的参数进行动态调整,从而有效地改善了协议的整体性能.同时还给出了相关理论模型和计算的详细说明,并尝试给出了划分区间的基本原则与方法.最后,实验仿真结果验证了新的方法能够根据竞争终端个数的变化对系统性能进行整体优化,在吞吐量与延迟等方面明显优于标准的 IEEE 802.11 协议.

关键词: IEEE 802.11;区间优化;状态检测;DOOR

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

近年来,无线局域网技术的迅猛发展与成熟,使得人们可以利用这一技术灵活、便捷、高速地接入计算机网络,并逐渐成为一种流行的网络最后一公里(last mile)接入技术.IEEE 802.11^[1-3]是当前主流的无线局域网协议,并得到了设备制造厂商的广泛支持.IEEE 802.11 的 MAC 层协议采用基于 CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance)的 DCF(distributed coordination function)机制,其核心思想是:当发现碰撞后,终端采用二进制指数回退的方式避免再次碰撞.

许多学者利用数学建模的方法分析与优化协议的相关性能,其中尤以 Cali 和 Bianchi 的工作最为突出.Cali 在文献[4-6]和 Bianchi 在文献[7,8]中,分别对 CSMA/CA 的 p-persistent 机制和二进制指数回退机制进行了建模分析.其后,在 Bianchi 的模型基础上,Ziouva^[9],Wu^[10-13]和 Yang^[14-16]等人对相关模型作了进一步的完善工作,而 Kim^[17]则是在 Cali 的模型的基础上,进一步分析了竞争终端处于非饱和流条件下的协议性能.上述研究发现,IEEE 802.11 的 MAC 层协议的性能随无线局域网中竞争终端个数的增加而迅速恶化,协议的相关参数(例如 CWmin(minimum contention window))对协议的性能有着主要的影响,使用固定参数难以保证不同网络负载情况下的协议性能.举例而言,对于较少的竞争终端,采用较小的 CWmin 可以有效地减少信道空闲时间从而提高信道的利用率;反之,对于较多的竞争终端,较大的 CWmin 则可以有效地降低发生碰撞的概率.因此,理想的 CSMA/CA 协议,不仅需要采用简单、高效的机制,也必须根据网络的负载情况(例如竞争终端的数目)动态调整协议的参数.

然而,要判断实际的网络负载情况,首先需要对系统中竞争终端的数目进行测量与估计.文献[4-6,18-20]都针对不同的回退机制提出了估测的方法.其中只有文献[18]采用了 IEEE 802.11 协议使用的二进制指数回退方案.文献[18]基于 Kalman 和 ARMA 滤波,尽管它是一个新颖的精度较高的估算方法,然而,相对于实际的无线网络环境,这一方法的前提十分苛刻,相关的信息需求量大,计算过于复杂,并且没有考虑到随机丢帧和隐藏终端等问题.因而,上述滤波的方法很难被直接采用.

综上,尽管理论上将测量和动态参数调整结合起来可以有效地改善 IEEE 802.11 二进制指数回退机制的性能,但是受到测量方法的制约,目前在这方面仍然没有好的综合解决方案.以往基于精确测量的优化方法往往并不能适应复杂多变的无线网络,因为竞争终端的数目一旦发生变化,根据精确测量的结果,就需要重新进行相关的计算并替换相关参数(例如 CWmin),这样不仅系统开销大,而且可能会出现因系统的相关性能指标发生震荡而无法收敛的情况,使得它难以应用在实际的场合.

我们在研究中发现,当竞争终端个数在一定的范围变化时,使用相同的优化协议参数,系统的性能都能接近最优.这一发现,使得利用区间的测量与估计来替换以往算法中系统参数的精确测量成为可能.这种替换的优势在于:1) 有效地降低了相关算法对系统参数精确测量的依赖;2) 当竞争终端个数在一定区间内发生变化时,无须重新计算和替换相关的系统参数.

本文设计了一个基于状态检测与竞争终端个数区间的自适应性能优化机制,DOOR(dynamic optimization on range).利用我们首次提出的区间的测量与估计来替换以往算法中系统参数的精确测量,并根据相关性能模型的分析,事先将竞争终端的个数分为若干区间,分别计算出各区间的优化系统参数.当竞争终端个数发生变化

时,根据其所处的区间,对系统参数进行动态的调整,从而有效地改善了协议的整体性能.利用 ns-2^[21],本文对这一新的机制在各种场景下进行了大量的仿真实验.相关的实验结果验证了新的机制不仅算法简单,系统开销小,适合于实用在复杂多变的无线环境,而且能够根据竞争终端个数的变化对系统性能进行整体优化,在吞吐量和延迟等方面明显优于标准的 IEEE 802.11 协议.

1 IEEE 802.11 DCF 性能与竞争终端个数的关系

本文主要采用了两个系统性能指标来衡量协议的性能,分别是系统有效吞吐量和系统平均延迟.系统有效吞吐量是指每一单位时间内,所有终端成功接收的数据量之和.系统平均延迟是指终端间通信的平均延迟,具体指从数据帧到达一个网卡的空队列到数据帧被目的终端成功接收的平均时间.这里暂时不考虑数据帧在网卡队列中的等待时间.

为了分析随竞争终端个数变化的 IEEE 802.11 DCF 协议性能,我们建立了马尔可夫性能分析模型(参见第 3 节),利用这一模型,我们选取不同的系统参数(最小竞争窗口 CWmin),分别计算了对应不同竞争终端数目(N)的 IEEE 802.11 DCF 整体性能,如图 1、图 2 所示,同时,我们也对相同的情形使用 ns-2 进行了仿真,如图 3、图 4 所示.

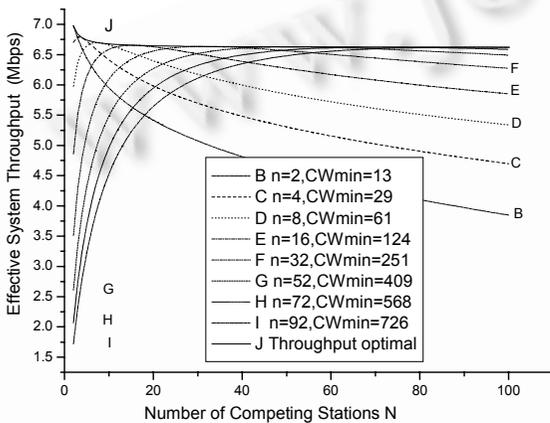


Fig.1 Theoretical throughput with different CWmin
图 1 不同 CWmin 时系统有效吞吐量的理论曲线

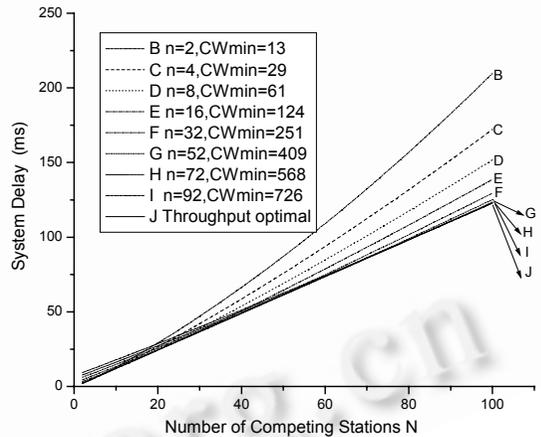


Fig.2 Theoretical system delay with different CWmin
图 2 不同 CWmin 时系统延迟的理论曲线

在本文的理论模型计算与仿真中,假定各终端使用饱和和数据流,即各终端始终有数据等待发送,数据帧载荷 $L=1000\text{bytes}$,其他参数见表 1.本文仅针对 DCF 的基本数据发送模式,相关的研究成果可以很简便地推广到 RTS/CTS 模式中去.

图 1 中,曲线对应的 CWmin 和 n 分别为对应曲线所使用的系统参数和最适合使用该参数的竞争终端个数.最上面的曲线 J 是系统吞吐量最优的曲线,它根据不同的终端数目优化 CWmin,然后计算出相应的系统最优吞吐量.从图中可以看出,每条曲线都分别在其对应的 n 点附近和 J 相切,并且在切点附近一定的范围内它们的差距很小,而在这一范围内其他的曲线一般都同最优的吞吐量存在一定的差距.同时,在 $N>50$ 后,曲线 G,H,I 和 J 的差距实际已经很小了.

图 2 是不同最小碰撞窗口下系统平均延迟随终端数目变化的曲线,最下面的是系统吞吐量优化情况下的平均延迟曲线.从图中可以看到,系统最优吞吐量对应平均延迟的曲线几乎是一条直线,与之相对,选用较小的碰撞窗口,当竞争终端数目增大时,其曲线斜率也越大,并开始远离曲线 J,即平均延迟出现了明显恶化的趋势.

Table 1 Parameters used in analysis and simulation

表 1 分析和仿真中使用的参数

Packet payload (bits)	4000, 8000, 12000
MAC header (bits)	240
Transmission time of PHY header	192 μ s(1Mb/s),96 μ s(2,5.5,11Mb/s)
ACK length (bits)	112
Data transmission rate (Mb/s)	1, 2, 5.5, 11
Maximum backoff stage (m)	5
Propagation delay (μ s)	1
SIFS (μ s)	10
Slot time (μ s)	20
DIFS (μ s)	50

图3和图4分别是在与上面相同的情形下,ns-2仿真得到的系统有效吞吐量和平均延迟随竞争终端数目变化的曲线.曲线呈现了与图1和图2完全一致的趋势,不仅验证了相关理论模型的有效性,也进一步说明了上面理论分析的正确性.

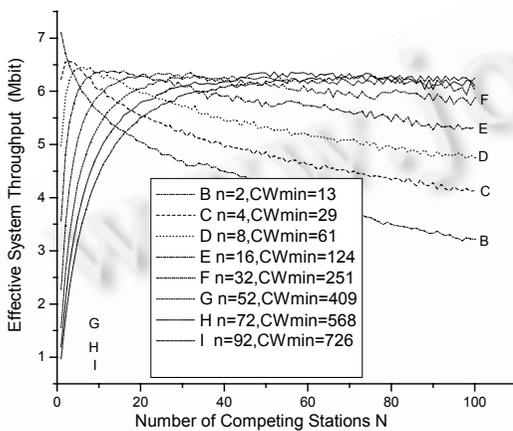


Fig.3 Simulation throughput with different CWmin

图3 不同 CWmin 时系统有效吞吐量的仿真曲线

从上面的图中可以得到以下结论:

- 1) 采用相差很大的最小竞争窗口时,在相同的竞争终端个数的情况下,其系统有效吞吐量相差也很大.
- 2) 采用同一最小竞争窗口时,发送终端个数在此窗口对应的最优竞争终端个数附近一定的范围内变化时,系统有效吞吐量相差不大,同时接近最优.
- 3) 在竞争终端数目较大时($N>50$),使用较大的竞争窗口($CWmin>250$),系统的有效吞吐量相差不大,但是竞争窗口越小时,平均延迟恶化的程度越高.

值得一提的是,在 Cali 提出的使用动态调整的 p-persistent 的 CSMA/CA 机制^[4-6]中,也有类似的结论,但是 Cali 提出的机制与目前采用的 DCF 机制有所不同:他根据测量到的竞争终端的数目,动态地调整各终端的发送概率 p .在他的研究中发现,当测量得到的竞争终端数目误差达到 100%时,按照测量值计算的参数,仍然可以使信道利用率接近最优.

2 基于状态检测与竞争终端个数区间的自适应机制(DOOR)

考虑到与已有协议的兼容,DOOR 机制基本沿用现有的 IEEE 802.11 的 DCF 机制,不同的是,当竞争终端个数发生变化时,根据其所处的区间,对系统参数进行了动态的调整,从而有效地改善了原有协议的整体性能.

2.1 区间划分的原理与方法

基于上节中性能模型的分析,本文考虑以系统有效吞吐量和平均延迟的优化作为区间划分的主要依据,同

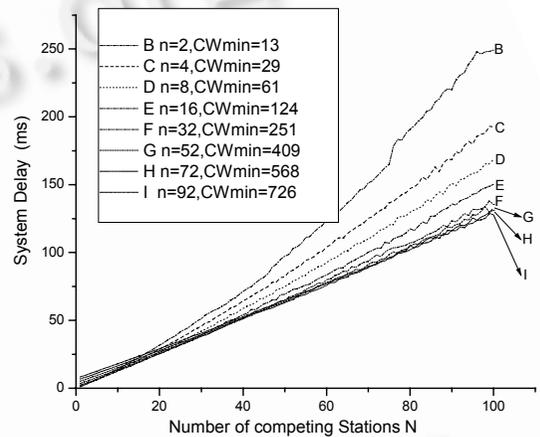


Fig.4 Simulation system delay with different CWmin

图4 不同 CWmin 时系统延迟的仿真曲线

时,为了防止有部分用户反复加入无线网络引发相关指标震荡造成区间频繁切换的发生,我们考虑令划分的相邻区间之间有部分重叠,在相邻区间之间(重叠部分)的切换使用双域值.此外,在一个区间内选定一个点,称为基准点,根据该点优化出相关的协议参数,且区间内所有点都使用该优化参数.

具体原则如下:

I) 区间内各点的系统有效吞吐量都能够接近最优,即用区间基准点的优化参数来计算区间内任意点的系统有效吞吐量,与其最优的有效吞吐量相差不大(本文中令其小于 5%);

II) 用区间基准点的优化参数计算区间内区间右端点时,右端点的平均延迟相对它在吞吐量最优时的延迟不能恶化太大;

III) 区间彼此相交的部分不能太小,以避免区间切换的频繁发生.

根据以上原则,划分区间的具体步骤如下:

1) 把竞争终端个数 1 算成单独的区间;竞争终端个数 2 为第 1 个区间的左端点.

2) 得到一个区间的左端点后,按照原则 I 来选择区间基准点;为了满足原则 II,我们让左、右端点与区间基准点的距离相等.

3) 将上一区间的基准点和右端点的中点作为下一个区间的左端点;然后重复步骤 2)、3)。

4) 竞争终端个数在 100 以上的因为在实际网络中很少出现,我们把它们都归到最后一个区间内.

表 2 给出一个具体的区间划分,其中包括各区间的基准点以及其对应的系统性能最优的 CW_{min} 的取值.相关的详细计算方法参见下一节.

Table 2 Subareas used in this paper

表 2 一个具体的区间划分

Subarea No.	Start point	Reference point	End point	CWmin of reference point
1	1	1	1	8
2	2	4	6	32
3	5	11	17	85
4	14	34	54	267
5	44	72	Infinity	568

这里应当指出,上述区间的划分只是一个实例,DOOR 机制也可以根据其他参数(如 QoS 的要求等)进一步选择其他更为灵活的区间划分.

2.2 DOOR机制的工作流程

具体工作过程如下:

1) AP(access point)负责实时测量系统内竞争终端的个数,并判断是否需要做参数的变动.当 AP 发现系统竞争终端的个数已经不在当前的区间时,则由 AP 选择对应的新区间,并利用广播的方式通知系统内所有的终端新区间对应的 CW_{min} 参数.

2) 所有的终端收到广播以后,更新自己的 CW_{min} 参数,并相应地调整 CW_{max} (等于 $2mCW_{min}$, m 是最大回退阶次).

3) 新加入系统的终端在与 AP 注册时,获得当前系统内正在使用的 CW_{min} 参数.

与以往的方法^[18]不同,上述的测量仅在 AP 上进行,这样的好处在于:一方面,对 AP 来说不存在隐藏终端的问题,它可以准确地监听整个系统内的信息,从而提高测量的准确性;另一方面,也避免了给系统中的移动终端增加测量的开销.利用 AP 将优化的参数广播给系统内所有终端的方法,可以有效地保证系统内所有终端使用相同的参数,从而在一定程度上保证了新机制的公平性.

2.3 DOOR所采用的检测方法

为了准确地判断竞争终端个数所处的区间,需要为 DOOR 设计一个有效的测量终端个数的方法.尽管 AP 可以知道与它关联的终端的个数,但是这个数目并不能反映无线信道中实时的繁忙程度.因而,本文采用监听信道结合滤波的测量方法.

Bianchi 在文献[18]中提出了一个基于 Kalman 或者 ARMA(auto regressive moving average)滤波的方案,它

要求网络中所有的终端使用相同的回退机制和参数,并且参数已知,这是针对二进制指数回退 CSMA/CA 的一个新颖的精度较高的测量方法.然而相对于实际的无线网络的环境,上述方法的前提十分苛刻,相关的计算过于复杂,使得上述滤波的方法很难被直接采用.

与之相对,在 DOOR 机制中,由于区间内竞争终端的数目可以不做准确的区分,并且所有的终端采用相同的回退机制和由 AP 选定的参数,从而合理地降低了算法的复杂度,使得在实时多变的无线网络中,采用上述方法成为了可能.参考文献[18]中的部分研究成果,我们设计了滤波测量的方法.限于篇幅,这里我们仅简单介绍采用 ARMA 滤波的测量方法.

利用条件碰撞概率 p (即某个终端在发送数据帧时,数据帧发生碰撞的可能性)和发送饱和数据流的终端之间的单调函数关系式 $n=f(p)$ (文献[18]中的公式(3)),通过测量条件碰撞概率,结合使用 ARMA 滤波,我们就可以得到竞争终端的个数.

关于条件碰撞概率 P 的测量,我们采用与文献[18]中一样的方法,AP 记录所有空闲时隙(idle slot)和繁忙时隙(busy slot,有数据传输或者发生碰撞的时隙,一次数据传输记作一个 slot)的个数,记为 B .在 AP 不发送数据时,记录忙 slot 的个数,记为 C_b ;在 AP 发送数据时,记录成功的 slot 的个数,记为 C_c .

$$p = \frac{C_c + C_b}{B} \quad (1)$$

滤波器的状态空间模型是

$$\begin{cases} \hat{p}(t+1) = \alpha \hat{p}(t) + \frac{1-\alpha}{q} \sum_{i=0}^{q-1} C_{t-i} \\ \hat{n}(t+1) = f(\hat{p}(t+1)) \end{cases} \quad (2)$$

其中, $\hat{p}(t)$ 是平滑后的条件碰撞概率 p ,竞争终端的个数 n 由函数 $n=f(p)$ 估算出来. α 是平滑系数, $\hat{p}(t+1)$ 的数值根据 $\hat{p}(t)$ 和信道中最近的 q 个时隙的状态决定.当监测到信道忙或者 AP 的数据帧发送失败时,该时隙的 C 值取 1,否则为 0.

3 理论模型与性能分析

本文借鉴文献[9,19]的马尔可夫模型来分析 IEEE 802.11 DCF 的性能,并假定:1) 所有终端的发送速率都是相同的;2) 饱和流;3) 理想信道;4) 不使用 RTS/CTS;5) 无隐藏终端.

设有 n 个终端参与竞争信道,条件碰撞概率分别为 p ,每个终端对任意一个时隙(slot time)占有的概率为 τ .另外,设每个终端的最小碰撞窗口为 W_0 ,最大碰撞窗口 $W_m = 2^m W_0, W_i = 2^i W_0, i=0, \dots, m$.

3.1 优化系统有效吞吐量

我们把系统有效吞吐量定义为

$$\hat{S} = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}L}{T_S + T_F + T_{idle}} \quad (3)$$

其中, L 是数据帧的载荷长度. $(T_S + T_F + T_{idle})$ 是一个 slot time 的平均长度, $n\tau(1-\tau)^{n-1}$ 是 n 个终端在一个标准 slot time 里抢到信道并且成功传送一个数据帧的概率. T_S, T_F, T_{idle} 分别表示在一个平均的 slot time 长度 $(T_S + T_F + T_{idle})$ 里,成功传输所占的时间,传输失败所占的时间和所有空闲 slot time 占的时间. T_S, T_F, T_{idle} 的计算公式如下:

$$\begin{aligned} T_S &= n\tau(1-\tau)^{n-1}\alpha, \\ T_F &= (1-n\tau(1-\tau)^{n-1} - (1-\tau)^n)\beta, \\ T_{idle} &= (1-\tau)^n\delta. \end{aligned}$$

这里, δ 是 IEEE 802.11 标准中定义的空闲 slot time 的长度. α 是每次成功发送时信道被占用的时间, β 是每次发生碰撞时信道被占用的时间,其表达式可以在文献[19]中找到.

当 $n \geq 2$ 时,从 $\frac{\partial \hat{S}}{\partial \tau} = 0$ 可以推出系统吞吐量优化情况下的 τ 值,我们得到

$$(1-\tau)^n \delta - (1-\tau)^n \beta - n\beta\tau + \beta = 0 \quad (4)$$

从式(4)求出优化的 τ 后,代入文献[19]中的式(7)、式(9),便可以求出最优的最小碰撞窗口为 W_0 。这样,针对不同的发送终端数目 n ,我们就可以通过优化最小碰撞窗口 W_0 来获得最优的系统吞吐量。

3.2 延时的计算

平均延迟如前文的定义,在不考虑数据帧因连续多次碰撞被丢弃时,它可以表示为

$$E[D] = E[N_C](E[BD] + \beta + T_o) + (E[BD] + \alpha) \quad (5)$$

其中, $E[N_C]$ 表示一个数据帧被成功发送前的平均碰撞次数, $E[BD]$ 是一个终端在每次抢占信道前所经过的平均延迟, T_o 是一个终端发送数据帧碰撞后,它可以重新监听信道前所必须等待的时间。式(5)中的所有参数可以在文献[9]中找到。然而我们对其中一些参数的理解与文献[9]不同,以下重新给出了解释和经过仿真验证的计算公式。

$$E[N_C] = \frac{1}{P_s} - 1 \quad (6)$$

$$E[BD] = E[X] + E[N_{Fr}](P_s\alpha + (1-P_s)\beta) \quad (7)$$

其中 $P_s = \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1-(1-\tau)^n}$, $E[X]$ 是一个终端在每次抢到信道前信道空闲的时间, $E[N_{Fr}]$ 是一个终端在每次抢占信道前信道被其他终端占用的次数。计算公式如下:

$$E[X] = \delta \times \left\{ \sum_{i=0}^{m-1} p^i \frac{W_i - 1}{2} + \frac{p^m}{1-p} \frac{W_m - 1}{2} \right\} / \sum_{i=0}^{\infty} p \quad (8)$$

$$E[N_{Fr}] = \frac{E[X]}{E[\psi] + 1} - 1 \quad (9)$$

其中, $E[\psi] = \frac{1}{P_b} - 1$, $P_b = 1 - (1-\tau)^n$, $E[\psi] + 1$ 表示连续的空闲 slot time 的平均个数。式(9)与文献[9]中给出的不同,因为协议^[1]的规定,要经过一个整个的空闲 slot time,回退计时器的数值才会减 1,并且我们发现每一个 DIFS 之后的第 1 个 slot time 空闲的概率接近于 1。

4 DOOR 机制的性能评估

为了对 DOOR 机制的实际性能有充分的了解,本文使用 ns-2^[21]对它在各种场景下的系统性能(系统有效吞吐量、系统平均延迟)进行了仿真,并与 IEEE 802.11 标准 DCF 在相同场景下的性能进行了分析与比较。下面给出了主要的仿真结果,仿真中使用的系统参数完全遵从 IEEE 802.11b 的标准(见表 1),并假定是理想的信道,且不存在隐藏终端。

4.1 仿真场景的说明

仿真的基本场景是:在一个单元系统内,有 N 个发送终端(AP 也包含在内),使用相同的发送速率 11Mbit/s 持续发送固定帧长的饱和数据流直至仿真结束。我们让竞争终端个数 N 在 1~100 之间变动,每变化一种场景就分别使用不同的协议运行 30s,然后统计该场景下不同协议的系统有效吞吐量和平均延迟。这样,一方面我们可以清楚地看出不同协议的性能随竞争终端个数 N 变化的趋势;另一方面,持续运行 30s 可以测量出相关的协议在该场景下稳定的性能指标。

4.2 仿真结果的分析与说明

图 5 和图 6 分别是数据帧长为 1000bytes 时,DOOR 机制和标准 DCF 协议的系统有效吞吐量和平均延迟。从中可以看出标准 DCF 协议的系统有效吞吐量仅在竞争终端个数 N 较小的时候和最佳的性能接近,并随着 N 的增加而急剧地恶化;与之相对,DOOR 机制的相关性能仅随 N 的增加略有下降,并始终高于标准协议的性能,与理论上的最佳系统性能十分接近。在 100 个竞争终端时,DOOR 机制的系统有效吞吐量较标准 DCF 有 43.7%(1.85Mb/s)的优化。在系统平均延迟方面,同样从图 10 中可以清楚地看到,DOOR 机制的平均延迟始终小

于标准 DCF,在 100 个竞争终端时,平均延迟小了 31.7% (60.9ms).

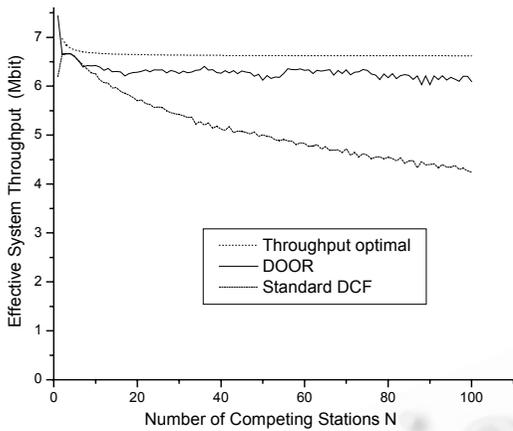


Fig.5 System effective throughput of L=1000bytes

图 5 帧长为 1000bytes 时的系统有效吞吐量

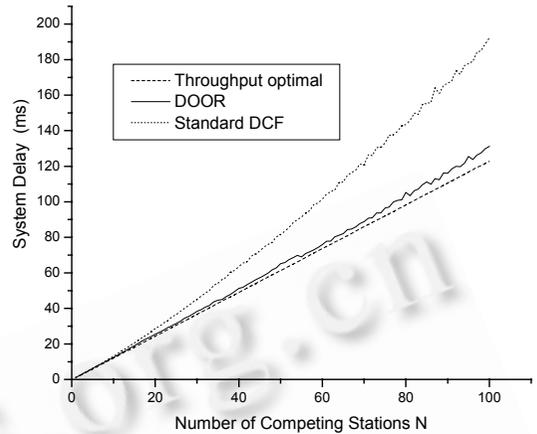


Fig.6 System delay of L=1000bytes

图 6 帧长为 1000bytes 时的平均延迟

图 7 和图 8 分别是帧长为 500bytes 时,DOOR 机制和标准 DCF 协议的系统有效吞吐量和平均延迟,而图 5 和图 6 分别是帧长为 1500bytes 时相应的曲线.从中可以看出,尽管此时 DOOR 机制区间的划分和最优 CWmin 的选取是针对帧长 1000bytes 的情景做出的,但是在帧长等于 500bytes 和 1500bytes 时,系统有效吞吐量和平均延迟仍然有大幅度的优化.这表明,DOOR 机制能够广泛适用在不同帧长的实际系统中.

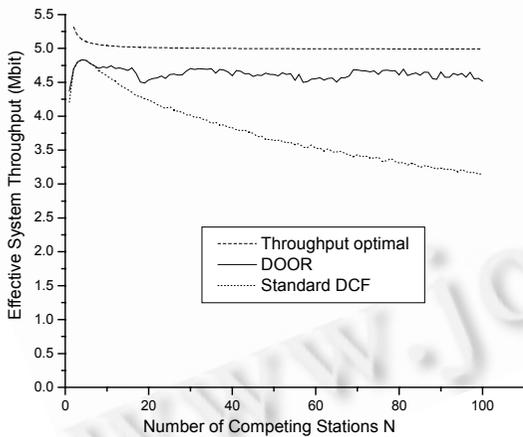


Fig.7 System effective throughput of L=500bytes

图 7 帧长为 500bytes 时的系统有效吞吐量

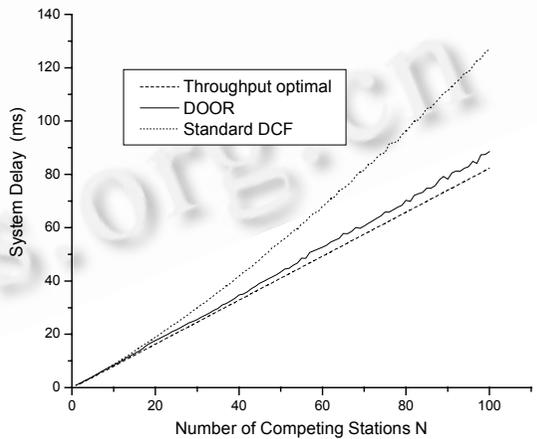


Fig.8 System delay of L=500bytes

图 8 帧长为 500bytes 时的平均延迟

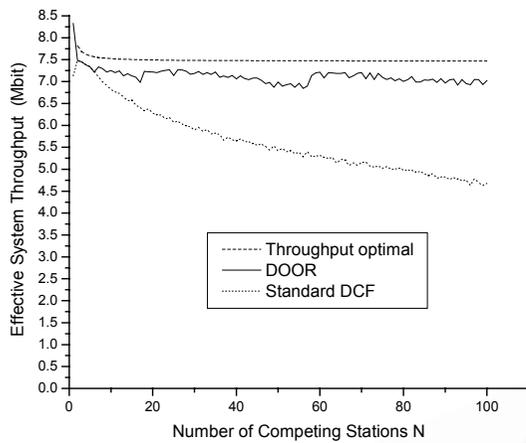
Fig.9 System effective throughput of $L=1500$ bytes

图9 帧长为 1500bytes 时的系统有效吞吐量

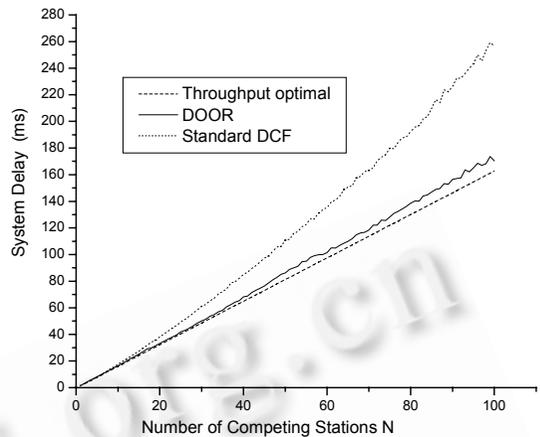
Fig.10 System delay of $L=1500$ bytes

图10 帧长为 1500bytes 时的平均延迟

以上的仿真结果不仅验证了 DOOR 机制能够根据竞争终端个数的变化对系统性能进行整体优化,在系统有效吞吐量和平均延迟等方面明显优于标准的 IEEE 802.11 协议,而且也证实了 DOOR 机制能够广泛适用在不同帧长的实际系统中。

5 结论和进一步的工作

尽管结合系统测量和动态参数调整可以有效地改善 IEEE 802.11 DCF 的性能,然而以往的此类优化算法完全依赖于系统的精确测量,使得相关的机制往往难以使用在复杂多变的无线网络中.根据研究发现,本文首次提出利用区间的测量与估计来替换以往算法中系统参数的精确测量,并结合相关理论模型给出了划分区间的基本原则与具体方法.利用这一研究成果,本文设计了一个基于竞争终端个数区间的自适应性能优化机制——DOOR.相关的实验结果验证了新的机制不仅算法简单,系统开销小,适用于复杂多变的无线环境,而且能够根据竞争终端个数的变化对系统性能进行整体优化,在吞吐量和延迟等方面明显优于标准的 IEEE 802.11 协议.进一步的研究包括:如何提高 Kalman 和 ARMA 滤波的效率,研究 DOOR 机制在非饱和流、变速率等条件下的进一步优化方法等.

References:

- [1] IEEE P802.11. Standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. 1997.
- [2] IEEE P802.11b. Supplement to Standard IEEE 802.11, high speed physical layer (PHY) extension in the 2.4GHz band. 1999.
- [3] IEEE P802.11a. Supplement to Standard IEEE 802.11, high speed physical layer (PHY) extension in the 5GHz band. 1999.
- [4] Cali F, Conti M, Gregori E. IEEE 802.11 wireless LAN: Capacity analysis and protocol enhancement. In: Proc. of the INFOCOM'98. IEEE, Vol 1, 1998. 142~149.
- [5] Cali F, Conti M, Gregori E. Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit. IEEE/ACM Trans. on Networking, 2000,8(6):785~799.
- [6] Cali F, Conti M, Gregori E. IEEE 802.11 protocol: Design and performance evaluation of an adaptive backoff mechanism. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000,18(9):1774~1786.
- [7] Bianchi G, Fratta L, Oliveri M. Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 wireless LANs. In: Proc. of the IEEE Int'l Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'96). Vol 2, 1996. 392~396.
- [8] Bianchi G. IEEE 802.11-saturation throughput analysis. IEEE Communications Letters, 1998,2(12):318~320.

- [9] Ziouva E, Antonakopoulos T. CSMA/CA performance under high traffic conditions: Throughput and delay analysis. *Computers and Communications*, 2002,25:313~321.
- [10] HT Wu, Peng Y, Long KP, Cheng SD. A simple model of IEEE 802.11 wireless LAN. In: *Proc. of the Int'l Conf. on Info-Tech and Info-Net. Vol 2*, 2001. 514~519.
- [11] Wu HT, Cheng SD, Peng Y. IEEE 802.11 distributed coordination function(DCF): Analysis and enhancement. In: *Proc. of the ICC 2002. IEEE*, 2002. 567~571.
- [12] Peng Y, Wu HT, Cheng SD, Long KP. A new self-adapt DCF algorithm. In: *Proc. of the GLOBECOM 2002. IEEE, Vol 1*, 2002. 87~91.
- [13] Wu HT, Peng Y, Long KP, Cheng SD, Ma J. Performance of reliable transport protocol over IEEE 802.11 wireless LAN: Analysis and enhancement. In: *Proc. of the INFOCOM 2002. IEEE, Vol 2*, 2002. 599~607.
- [14] Xiao Y. A simple and effective priority scheme for IEEE 802.11. *Communications Letters, IEEE*, 2003,7(2):70~72.
- [15] Xiao Y. Backoff-Based priority schemes for IEEE 802.11. In: *Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Communications. Vol 3*, 2003. 1568~1572.
- [16] Xiao Y. Enhanced DCF of IEEE 802.11e to support QoS. In: *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conf. Vol.2*, 2003.1291~1296.
- [17] Kim JH, Lee JK. Performance of carrier sense multiple access with collision avoidance protocols in wireless lans. *Wireless Personal Communications*, 1999,11(2):161~183.
- [18] Bianchi G, Tinnirello I. Kalman filter estimation of the number of competing terminals in an IEEE 802.11 network. In: *Proc. of the INFOCOM 2003. Vol.2*, 2003. 844~852.
- [19] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000,18(3):535~547.
- [20] Qiao DJ, Shin KJ. UMAV: A simple enhancement to the IEEE 802.11 DCF. In: *Proc. of the 36th Annual Hawaii Int'l Conf. on System Sciences*. 2003. 306b.
- [21] VINT Group. UCB/LBNL/VINT network simulator ns(version 2). <http://www.isi.edu/nsnam/ns>