

# IEEE 802.11 DCF 性能分析及改进

李 云<sup>1,2</sup>, 隆克平<sup>1</sup>, 吴诗其<sup>2</sup>, 陈前斌<sup>1</sup>

(1, 2. 重庆邮电学院光互联网及无线信息网络研究中心, 重庆市 400065; 2. 电子科技大学信息系统研究所, 四川成都 610054)

**摘 要:** 本文通过对 IEEE 802.11 DCF 的性能分析, 发现其在时隙选择概率分布上具有明显的不均匀性, 这导致了很高的包碰撞概率. 本文给出了一种简单的改进方案——A-DCF. 通过理论与仿真比较, 证明了 A-DCF 能有效改进 DCF 时隙选择概率分布的不均匀性, 同时, 在不降低系统饱和吞吐量的情况下, A-DCF 能明显降低包的碰撞概率, 且对网络负荷具有自适应能力.

**关键词:** 分布协调功能; 性能; 时隙选择概率分布; 碰撞概率

**中图分类号:** TN919.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 10-1446-06

## Performance Analysis and Improvement of the IEEE 802.11 DCF

LI Yun<sup>1,2</sup>, LONG Ke-ping<sup>1</sup>, WU Shi-qi<sup>2</sup>, CHEN Qian-bin<sup>1</sup>

(1, 2. Special Research Centre for Optical Internet & Wireless Information Networks (COIWIN),

ChongQing University of Posts & Telecommunications (CQUPT), Chongqing 400065, China;

2. Institute of Information University of Electronic Science and Technology of China Chengdu Sichuan 610054, China)

**Abstract:** By analyzing the performance of the IEEE 802.11 DCF (Distributed coordination function), this paper discovers that the probability distribution of slot selection of the IEEE 802.11 DCF is obviously not uniform. This gives high packet collision probability. For this reason, this paper provides a simple scheme, named A-DCF. Through simulation of IEEE 802.11 DCF and A-DCF, it proves that A-DCF has more uniform probability distribution of slot selection and lower packet collision probability at almost the same saturation throughput. At the same time, A-DCF is adaptive to the network load.

**Key words:** distributed coordination function; performance; probability distribution of slot selection; collision probability

### 1 引言

近年来, 无线局域网 (WLAN) 的研究和设计正引起越来越多的科研工作者的关注. IEEE 802.11<sup>[1]</sup> 是 IEEE 802.11 研究组为 WLAN 规范的一个标准文档, 该文档为 WLAN 提供了具体的介质访问控制 (MAC) 和物理层 (PHY) 规范. 同时, 针对物理层的不同频带, IEEE 802.11 研究小组还为 IEEE 802.11 提供了一系列补充规范<sup>[2,3]</sup>.

802.11 协议采用了一种称为分布协调功能 (DCF: Distributed Coordination Function) 的介质访问机制. DCF 是一种基于带冲突避免的载波侦听多重访问 (CSMA/CA) 的随机访问机制. 对碰撞包的重传采用二进制指数回退策略. 为支持无冲突和时延受限业务, 802.11 还定义了一种称为点协调功能 (PCF: Point Coordination Function) 的集中式 MAC 协议.

DCF 为包的发送提供了两种模式. 其缺省模式采用了两次握手技术, 又称为基本访问模式. 该模式要求接收方在正确收到数据包后向发送方回送一个显式 ACK (ACKnowledge-

ment), 以告知发送方该数据包已被正确接收. 另外, DCF 还提供了一种可选择的四次握手技术, 又称为 RTS/CTS (request-to-send/clear-to-send) 模式. 在发送数据包之前, 操作于 RTS/CTS 模式的发送方首先通过发送一个很短的 RTS 控制帧来预留信道. 接收方通过向发送方发送 CTS 控制帧来对 RTS 帧的正确接收予以确认. 发送方在收到 CTS 帧后, 发送数据包. 接收方在收到数据包后, 向发送方发送 ACK 进行确认. 采用 RTS/CTS 模式后, 只有 RTS 帧会发生碰撞, 而通常情况下, 用作控制的 RTS 帧是很短的 (具体长度跟物理介质有关, 约 320 比特左右), 因此, RTS/CTS 模式能有效减少碰撞的持续时间, 改进系统性能. 例如, RTS/CTS 模式能有效解决隐终端 (hidden terminal) 问题. 文献 [4,5] 对隐终端问题进行了详细分析.

在文献 [6,7] 中, 作者通过仿真对 802.11 的性能进行了定性评估; 文献 [8,9] 用解析的方式对 802.11 的性能作了定量的分析. 然而, 这些文献的作者更多考虑的是在信道饱和条件下的 802.11 的饱和吞吐量 (saturation throughput)<sup>[10]</sup>. 本文从另外的角度——时隙选择概率分布和包碰撞概率的角度——

收稿日期: 2002-04-01; 修回日期: 2002-08-04

基金项目: 国家 863 重点项目 (No. 2001AA120303); 重庆市科委计划项目 (No. D2002-35); 重庆邮电学院青年教师基金 (No. A2002-20); 重庆市/信息产业部重点实验室开放课题基金 (No. M2002-06)

对 802.11 DCF 的性能进行了理论分析. 分析发现 802.11 DCF 的信道时隙选择的概率分布很不均匀, 这将导致很大的包碰撞概率. 为此, 提出了一种称为自适应 DCF (A-DCF: Adaptive-DCF) 的改进方案. 通过理论分析与 NS-2 平台下的仿真分析, 证明 A-DCF 能改善 802.11 DCF 的信道时隙选择概率分布的不均匀性, 同时在不降低 802.11 饱和吞吐量的情况下, A-DCF 能有效地降低包碰撞概率.

## 2 802.11 DCF

802.11 DCF 采用了一种随机访问机制. 当移动终端有新的数据包需要发送时, 它首先监测信道, 如果信道持续空闲一段时间——在 802.11 中, 称这段时间为“DCF 帧间间隔”时间 (DIFS: DCF InterFrame Space), 则发送数据包; 否则, 移动终端继续监测信道, 在忙时监测期间, 当信道空闲的总时间等于 DIFS 时, 移动终端在发送数据包之前选择一随机延迟时间 (这就是 DCF 的冲突避免特性). 另外, 为了避免某移动终端长时间占用信道, 移动终端在两次连续的数据包发送之间必须进行随机延迟.

对随机延迟时间的量度, DCF 采用了离散时间刻度, 即延迟时间以时隙为单位, 而一个时隙等于任一移动终端监测到其他终端发送数据包的发现时间. 具体地说, 时隙 = 传播延迟 + 收、发转换时间 + 忙诊断时间. 对于随机延迟时间, DCF 还采用指数回退策略, 在发送数据包时, 延迟时间在  $[0, w - 1]$  之间均匀选取,  $w$  被称为竞争窗口, 它跟某个特定包的传送失败次数有关. 对于第一次发送尝试,  $w = CW_{min}$ ,  $CW_{min}$  被称为最小竞争窗口, 在每次发送失败之后,  $w$  乘 2, 直到  $w = CW_{max} = 2^m \times CW_{min}$ . 同时, 移动终端将选择的随机延迟时间赋值给延迟计数器. 之后, 当移动终端监测到信道空闲时, 延迟计数器减 1; 当监测到信道忙时, 延迟计数器保持, 并在信道空闲时间等于 DIFS 时重新激活延迟计数器. 当延迟计数器值等于 0 时, 移动终端发送数据包. 图 1 表示 DCF 的回退过程, 在图 1 中, A、B、C、D 四个移动终端共享同一无线信道.  $CW_{min}$  和  $CW_{max}$  的值跟具体的物理媒质有关, 在 802.11 中, 其建议值如表 1 所示.

对于两次握手模式, 接收方在收到数据包后, 等待一小段时间, 该段时间被称为“短帧间间隔” (SIFS: Short InterFrame Space) 时间, 即向发送方发送 ACK. 对收到的数据包进行确认. 如果发送方在规定的时间内未收到接收方的确认 ACK, 发送方将按上述的回退策略重传该数据包.

对于四次握手模式, 发送方在发送数据之前应先发控制帧 RTS, 接收方收到 RTS, 在 SIFS 时间后用控制帧 CTS 对 RTS

进行确认, 发送方在收到确认的 CTS 后, 发送数据包, 接收方在收到数据包后, 用 ACK 确认. 在 RTS 帧和 CTS 帧中, 携带有将要发送的数据包的长度信息. 该信息能被正监听信道的

其他移动终端读取, 并用其对网络分配矢量 (NAV: Network Allocation Vector) 进行更新. NAV 中包含了信道将持续忙的时间信息. 因此, 只要移动终端能监听到 RTS 帧和 CTS 帧中的任意一个, 它便能在发送前进行合理的延迟, 从而有效地避免碰撞.

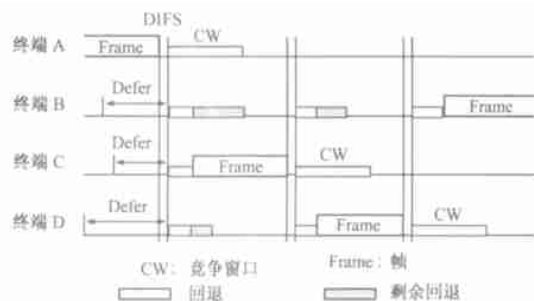


图 1 DCF 回退过程

## 3 DCF 性能分析

在本节中, 首先对 802.11 DCF 在信道时隙选择概率分布上存在的问题进行描述. 随后, 基于文献[10]中的 802.11 DCF 性能模型, 我们从理论上对 DCF 的时隙选择概率分布进行分析, 并得到各时隙选择概率的解析式. 最后, 提出对 802.11 DCF 的改进方案.

### 3.1 802.11 DCF 时隙选择概率分布

假定有  $N$  个终端竞争访问同一物理媒质. 在初始状态, 各移动终端随机选择一访问时隙, 此时, 由于各终端等概率地随机选择访问时隙, 因此, 信道各时隙被选择的概率相等. 经过一个周期后 (一个周期定义为信道连续两次空闲之间的时间), 假定有  $M$  ( $M < N$ ) 个终端完成了一次数据包的发送 (该次发送不一定成功, 当  $M > 1$  时, 将发生碰撞), 剩下的  $N-M$  个终端的回退时间减少  $CW_{Selected}$ , 同时,  $M$  个移动终端中有  $a$  ( $a < M$ ) 个重新竞争信道, 此时, 当  $M = 1$  时, 对给定时间  $s$ , 选择这一时隙的终端数为:

$$\begin{cases} \frac{1}{CW_{min} - CW_{Selected}} \times (N - M) + \frac{a}{CW_{min}}, & s \in [0, CW_{min} - CW_{Selected}] \\ \frac{a}{CW_{min}}, & s \in [CW_{min} - CW_{Selected}, CW_{min}] \end{cases} \quad (1)$$

当  $M > 1$  时, 对给定  $s$  选择这一时隙的终端数为:

$$\begin{cases} \frac{1}{CW_{min} - CW_{Selected}} \times (N - M) + \frac{a}{2 \times CW_{min}}, & s \in [0, CW_{min} - CW_{Selected}] \\ \frac{a}{2 \times CW_{min}}, & s \in [CW_{min} - CW_{Selected}, CW_{min}] \end{cases} \quad (2)$$

很明显, 经过一个周期后, 无论是  $M = 1$ , 还是  $M > 1$ , 不同时隙被选择的概率将不再相等. 经过若干个周期, 当系统稳定时, 各时隙选择的概率分布将严重不均匀. 图 2 为在 DCF 的 RTS/CTS 模式下, 采用 DSSS 的物理层, 基于 NS-2 平台, 移动终端数为 20、有效负荷为 200 % 时, 取参数如表 2 所示, 仿真得到的各时隙选择概率分布曲线.

这种时隙选择概率分布的不均匀性引起的一个严重问题

表 1 针对不同物理层规范, 802.11 对  $CW_{min}$  和  $CW_{max}$  的建议值

PHY		$CW_{min}$	$CW_{max}$
FHSS	50μs	16	1024
DSSS	20μs	32	1024
IR	8μs	64	1024

表2 基于 DSSS 物理层的仿真参数

参 数 名	参数值
信道比特率	2Mbit/s
时隙长度	20μs
SIFS	10μs
DIFS	50μs
PHY 头大小	192bit
MAC 头大小	144bit
RTS 大小	160bit
CTS 大小	112bit
数据包大小	8192bit
ACK 大小	112bit
$CW_{min}$	32
$CW_{max}$	256

便是增大了包的碰撞概率,从而导致了大量帧的重传,这不仅浪费了宝贵的无线信道带宽,同时增大了数据包的延时,浪费了移动终端的能量。

文献[10]在假设:(1)  $n$  个终端竞争同一无线信道,且各终端总有数据包等待发送,即各终端的发送队列总是非空;(2)在各终端的每一次发送尝试中,各包发生碰撞的概率  $p$  恒定且互不相关的条件下,得到 802.11 DCF 的性能模型为二维离散时间马尔可夫链  $\{s(t), b(t)\}$ 。其中,  $s(t)$  表示给定移动终端在时间  $t$  的回退等级的随机过程,其状态空间为  $\{0, 1, 2, \dots, m\}$ ,  $CW_{max} = 2^m \times CW_{min}$ ;  $b(t)$  表示给定终端在时间  $t$  的回退计数器的值的随机过程,其状态空间为  $\{0, 1, 2, \dots, 2^m \times w - 1\}$ ,  $w = CW_{min}$ 。  $t$  和  $t+1$  对应两个相邻时隙的开始,在每一个时隙的开始,每个终端的回退计数器减 1。

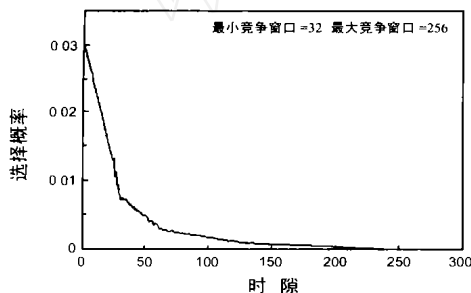


图2 仿真得出的 802.11 DCF 的时隙选择概率分布曲线

基于上述性能模型,文献[10]仅对 802.11 DCF 的饱和吞吐量进行了分析,而没考虑 802.11 DCF 的时隙选择概率分布,更没讨论时隙选择概率分布的不均匀性对包碰撞概率的影响。

下面,将选择上述性能模型,对 802.11 DCF 的时隙选择概率分布进行理论分析,并给出其解析式。

根据 802.11 DCF 的回退过程,可得二维离散时间马尔可夫链  $\{s(t), b(t)\}$  的非零一步转移概率如下:

$$\begin{cases} P\{i, k | i, k+1\} = 1, & k \in [0, W_i - 2], i \in [0, m] \\ P\{0, k | i, 0\} = (1-p)/W_0, & k \in [0, W_0 - 1], i \in [0, m] \\ P\{i, k | i-1, 0\} = p/W_i, & k \in [0, W_i - 1], i \in [1, m] \\ P\{m, k | m, 0\} = p/W_m, & k \in [0, W_m - 1] \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $p$  表示包的碰撞概率;  $W_i = 2^i \times w$ ;  $P\{i_1, k_1 | i_0, k_0\} = P\{s(t+1) = i_1, b(t+1) = k_1 | s(t) = i_0, b(t) = k_0\}$ 。令  $b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\}$ ,  $k \in [0, W_i - 1]$ ,  $i \in [0, m]$  为二维离散时间马尔可夫链  $\{s(t), b(t)\}$  的稳态分析。

根据式(1)有:

$$\begin{cases} b_{i-1,0} \times p = b_{i,0} \Rightarrow b_{i,0} = p^i \times b_{0,0}, 0 < i < m \\ b_{m,0} = b_{m-1,0} \times p + b_{m,0} \times p \\ \Rightarrow b_{m,0} = p^m \times b_{0,0} / (1-p) \end{cases} \quad (2)$$

$\forall k \in [1, W_i - 1]$ ,

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \begin{cases} (1-p) \prod_{j=0}^m b_{j,0}, & i=0 \\ p \times b_{i-1,0}, & 0 < i < m \\ p \times (b_{m-1,0} + b_{m,0}), & i=m \end{cases} \quad (3)$$

根据式(2),并利用  $\prod_{i=0}^m b_{i,0} / b_{0,0} / (1-p)$ , 式(3)可进一步简化为:

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} b_{i,0}, i \in [0, m], k \in [0, W_i - 1] \quad (4)$$

对时隙  $k \in [0, w - 1]$ , 设其选择概率为  $b_k^0$ , 则

$$\begin{aligned} b_k^0 &= \sum_{j=0}^m b_{j,k} = \sum_{j=0}^m b_{j,k} \frac{W_j - k}{W_j} b_{j,0} \\ &= b_k^0 - k \cdot \sum_{j=0}^m \frac{1}{W_j} b_{j,0} \\ &= b_k^0 - k \left[ \sum_{j=0}^m \frac{1}{2^j \cdot w} b_{j,0} + \frac{p^m}{2^m \cdot w} b_{m,0} \right] \\ &= \frac{b_{0,0}}{1-p} - \frac{k}{w} \left[ \frac{1 - \left(\frac{p}{2}\right)^m}{1 - \frac{p}{2}} + \left(\frac{1}{p}\right)^m \frac{1}{1-p} \right] b_{0,0} \quad (5) \end{aligned}$$

对时隙  $k \in [2^{i-1} \cdot w, 2^i \cdot w - 1]$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , 设其选择概率为  $b_k^i$ , 则

$$\begin{aligned} b_k^i &= \sum_{j=i}^m b_{j,k} = \sum_{j=i}^m b_{j,k} - \sum_{j=0}^{i-1} b_{j,k} = \left( \frac{b_{0,0}}{1-p} - \frac{1-p^i}{1-p} \cdot b_{0,0} \right) \\ &- \frac{k}{w} \left[ \frac{1 - \left(\frac{p}{2}\right)^m}{1 - \frac{p}{2}} + \left(\frac{p}{2}\right)^m \cdot \frac{1}{1-p} - \frac{1 - \left(\frac{p}{2}\right)^i}{1 - \frac{p}{2}} \right] b_{0,0} \quad (6) \end{aligned}$$

而  $b_{i,k} = 1 \Rightarrow b_{i,0} \frac{W_i - k}{W_i} = 1$

$$\begin{aligned} &\Rightarrow b_{i,0} \cdot \frac{W_i + 1}{2} = 1 \\ &\Rightarrow \frac{b_{0,0}}{2} \left[ w \left\{ \sum_{i=0}^{m-1} (2p)^i + \frac{(2p)^m}{1-p} + \frac{1}{1-p} \right\} \right] = 1 \\ &\Rightarrow b_{0,0} = \frac{2(1-p)(1-2p)}{(1-2p)(w+1) + pw[1-(2p)^m]} \quad (7) \end{aligned}$$

由式(7)代入式(5)、(6)有

当  $k \in [0, w - 1]$  时,

$$\begin{aligned} b_k^0 &= \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(w+1) + pw[1-(2p)^m]} \\ &- \frac{2 \left[ 1 - p + \left(\frac{p}{2}\right)^{m+1} \right]}{w(w+1) + \frac{pw^2}{1-2p} [1-(2p)^m]} \cdot k \quad (8) \end{aligned}$$

当  $k \in [2^{i-1} \cdot w, 2^i \cdot w - 1]$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  时,

$$b_k^i = \frac{2(1-2p) \cdot p^i}{(1-2p)(w+1) + pw[1-(2p)^m]}$$

$$- \frac{2[2(1-p)\left\{\frac{p}{2}\right\}^i + \left\{\frac{p}{2}\right\}^{m+1}]}{w(w+1) + \frac{pw^2}{1-2p}[1-(2p)^m]} \left\{1 - \frac{p}{2}\right\} \cdot k \quad (9)$$

将式(8)、(9)进一步综合得,

$$k = \dots + \dots \cdot k \quad (10)$$

其中:

$$= \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(w+1) + pw[1-(2p)^m]} \cdot k \quad [0, w-1] \quad (11)$$

$$= \frac{2(1-2p) \cdot p^i}{(1-2p)(w+1) + pw[1-(2p)^m]} \cdot k \quad [2^{i-1}w, 2^iw-1], i=1, 2, \dots, m \quad (12)$$

由式(10)、(11)、(12)可知,  $k$  是关于  $k$  的一条折线. 该折线由  $m+1$  段直线构成, 不同直线的斜率和截距互不相同, 不同直线段的斜率 和截距 由式(12)、(11)给出. 在  $w, m$  给定的情况下, 为求得  $k$ , 必须先求出概率  $p$ , 而  $p$  是包发生碰撞的概率. 当  $n$  个移动终端共享同一无线信道时, 某移动终端发送的包发生碰撞的  $p$  应等于在剩下的  $n-1$  个终端中至少有一个移动终端在同一时隙发送包的概率. 在稳定条件下, 对于某给定时间, 任一终端在该时隙以概率  $p_0$  发送包, 因此有:

$$p = 1 - (1 - p_0)^{n-1} \quad (13)$$

$$p_0 = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(w+1) + pw[1-(2p)^m]} \quad (14)$$

式(13)、(14)构成含两个未知数  $p_0$  和  $p$  的非线性方程组, 可以通过计算机数值解法求得其近似解. 由式(13), 将  $p_0$  表示为  $p$  的函数得:  $p_0^*(p) = 1 - (1-p)^{1/(n-1)}$ , 显然,  $p_0^*$  是关于  $p$  的连续单调递增的函数, 其值域为  $[0, 1]$ . 由式(14)知,  $p_0(p) = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(w+1) + pw[1-(2p)^m]}$ ,  $p_0$  是关于  $p$  的连续单调递减的函数, 其值域为  $[2/(w+1), 2/(1+2^mw)]$ . 由于它们的定义域相同, 均为  $[0, 1]$ , 且  $p_0^*(0) > p_0(0)$ ,  $p_0^*(1) < p_0(1)$ , 因此, 由式(13)、(14)构成的方程组有唯一解.

在给定初始竞争窗口  $w$ 、最大回退等级  $m$  和竞争同一无线信道的移动终端  $n$  后, 在通过计算机数值解法求得  $p$  的近似解的情况下, 根据式(11)、(12), 便可进一步求得  $k$  的近似解, 从而求得  $k$ .

图 3 为当移动终端数  $n=20$  时, 理论上的  $k-k$  曲线和在 NS-2 平台下得到的  $k-k$  曲线. 仿真参数如表 2 所示. 由图 3 可知, 两者基本吻合.

以上分别从理论推导和仿真分析两个角度分析了 802.11 DCF 的时隙选择概率分布. 从分析的结果看出, 802.11 DCF 的时隙选择概率分布具有明显的不均匀性. 下面, 讨论自适应的

分布协调功能 (A-DCF).

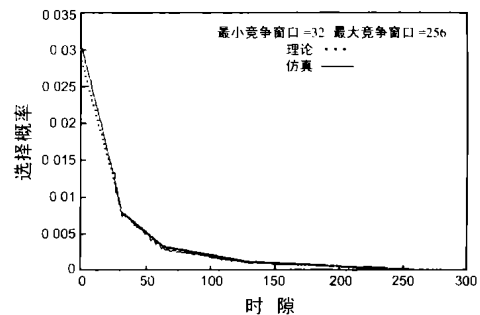


图 3 理论分析和实际仿真的 802.11 DCF 的时隙选择概率分布

### 3.2 对 802.11 DCF 的进一步改进——A-DCF

由 3.1 节的分析知, 对于  $N$  个终端竞争访问同一物理媒质的情形, 在初始状态, 信道各时隙被选择的概率相等. 经过一个周期后, 假定有  $M$  ( $M < N$ ) 个终端完成了一次数据包的发送 (该次发送不一定成功, 当  $M > 1$  时, 将发生碰撞) 剩下的  $N-M$  个终端的回退时间减少  $CW_{Selected}$ ,  $M$  个移动终端中有  $a$  ( $a < M$ ) 个重新竞争信道, 此时, 对于 802.11 DCF, 剩下的  $N-M$  个终端以  $1/(CW_{min} - CW_{Selected})$  的概率选择时隙  $[0, CW_{min} - CW_{Selected} - 1]$ , 而对重新竞争信道的  $a$  个移动终端, 它们仍以等概率接入信道  $[0, CW_{min} - 1]$  (当  $M=1$  时) 或  $[0, 2 \times CW_{min} - 1]$  (当  $M > 1$  时), 这导致了位于  $[0, CW_{min} - CW_{Selected} - 1]$  之间的时隙被选择的概率大于位于  $[CW_{min} - CW_{Selected}, CW_{min} - 1]$  之间的时隙被选择的概率. 为了改善这种情况, 提出如下的 A-DCF 策略:

对于经过一个周期后重新竞争信道的  $a$  个移动终端, 它们将以等概率接入时隙  $[CW_{min} - 1 - CW_{Selected}, CW_{min} - 1]$  (当该终端在上周期的发包尝试成功时) 或接入时隙  $[CW_{min} - 1 - CW_{Selected}, 2^i \times CW_{min} - 1]$  (当该终端在上周期的发包尝试失败时,  $i$  为失败次数), 而非 802.11 DCF 的时隙  $[0, CW_{min} - 1]$  或时隙  $[0, 2^i \times CW_{min} - 1]$ .

这样, 从初始状态开始, 经过一个周期后, 当  $M=1$  时, 对给定时间  $s$ , 选择这一时隙的终端数为:

$$\begin{cases} \frac{1}{CW_{min} - 1 - CW_{Selected}} \times (N - M), & s \in [0, CW_{min} - CW_{Selected}) \\ \frac{a}{CW_{Selected} + 1}, & s \in [CW_{min} - CW_{Selected}, CW_{min}) \end{cases} \quad (15)$$

当  $M > 1$  时, 对给定时间  $s$ , 选择这一时隙的终端数为:

$$\begin{cases} \frac{1}{CW_{min} - 1 - CW_{Selected}} \times (N - M), & s \in [0, CW_{min} - CW_{Selected}) \\ \frac{a}{CW_{min} + 1 + CW_{Selected}}, & s \in [CW_{min} - CW_{Selected}, CW_{min}) \end{cases} \quad (16)$$

比较式(15)和式(16)知: 同 802.11 DCF 相比, A-DCF 能很好地改进时隙选择概率分布的均匀性. 这将在一定程度上减小包的碰撞概率.

另外, 经过一个周期后, 由于留下来的  $N-M$  个终端和重新竞争信道的  $a$  个终端将在不同时隙部分接入信道, 因此,

留下的  $N - M$  个终端中的任何一个都不会同重新竞争信道的  $a$  个终端中的任何一个发生碰撞,这将进一步减小包的碰撞概率。

对于  $CW_{Selected}$ ,由直观分析可知,当竞争信道的终端数越多,信道的负荷越大时,  $CW_{Selected}$  将越小,  $CW_{min} - CW_{Selected}$  越大,从而使重新竞争信道的移动终端的回退时间更长.因此,我们说改进后的策略具有自适应的能力,即它能使移动终端根据网络的当前负荷自动调整回退时间.这正是我们称之为自适应 DCF(A-DCF)的原因。

#### 4 A-DCF 与 802.11 DCF 的性能比较

下面,将采用仿真的方法,对 802.11 DCF 和 A-DCF 在时隙选择概率分布、包碰撞概率和饱和吞吐量方面进行性能比较.其仿真平台为 UC Berkeley 大学的 NS-2,DCF 工作于 RTS/CTS 模式,采用 DSSS 的物理层,相关参数如表 2 所示。

##### 4.1 时隙选择概率分布

图 4 为当移动终端数为 20,有效负荷为 200 % 时,分别采用 802.11 DCF 和 A-DCF 所得的时隙选择概率分布曲线,由图 4 可知,在每个区间  $[0, CW_{min} - 1]$  和  $[2^{i-1} \times CW_{min}, 2^i \times CW_{min} - 1]$ ,  $i = 1, \dots, m$ , A-DCF 对时隙选择概率分布的均匀性有明显的改善。

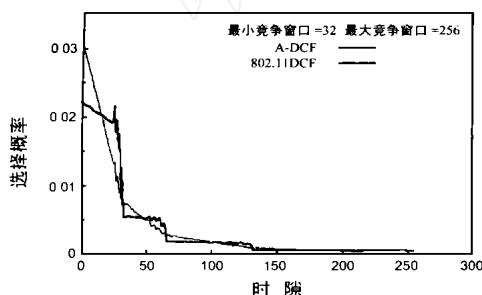


图 4 802.11 DCF 与 A-DCF 的时隙选择概率分布曲线

##### 4.2 包碰撞概率

图 5 表示当移动终端数分别为 5、12、20 和 30 时,仿真得出的 802.11 DCF 和 A-DCF 在不同网络负荷下的包碰撞概率曲线.由图 5 的结果可知,当网络负荷较轻时 ( $< 80\%$ ),两者的包碰撞概率基本一样.在网络重负荷 ( $> 100\%$ ) 的情况下,802.11 DCF 的包碰撞概率和 A-DCF 的包碰撞概率如表 3 所示。

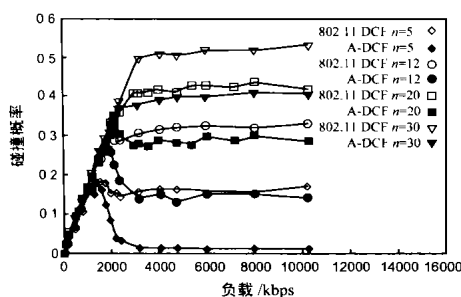


图 5 802.11 DCF 与 A-DCF 的包碰撞概率曲线

由表 3 可知,在网络重负荷的情况下, A-DCF 能有效减少包的碰撞概率。

##### 4.3 饱和吞吐量

当移动终端数  $n$  分别为 6、12、20 和 30 时,仿真得出的 802.11 DCF 和 A-DCF 的饱和吞吐量如表 4 所示.在表 4 中,饱和吞吐量用无线信道带宽的百分比表示.从表 4 可知,802.11 DCF 和 A-DCF 的饱和吞吐量相当,后者比前者略有改进 (约 1 % ~ 2 %).

表 3 802.11 DCF 和 A-DCF 包碰撞概率

终端数 $n$	802.11 DCF 包碰撞概率	A-DCF 包碰撞概率
5	0.158	0.013
12	0.309	0.146
20	0.418	0.282
30	0.516	0.388

表 4 不同  $n$  值下 802.11 DCF 和 A-DCF 的饱和吞吐量

终端数 $n$	A-DCF 饱和吞吐量 (%)	802.11 DCF 饱和吞吐量 (%)
6	66.5705	65.4415
12	66.5390	65.0161
20	65.6463	63.4355
30	63.6088	61.5398

#### 5 结束语

分布式协调功能 (DCF) 是 IEEE 802.11 的一种最主要的媒体访问控制机制.本文从理论推导和仿真分析的角度,对 802.11 DCF 的时隙选择概率分布进行了详细分析,并得出结果:802.11 DCF 的时隙选择概率分布具有明显的不均匀性.这一结果将导致包碰撞概率很高.然后,提出了一种改进方案——A-DCF.通过分析和仿真比较,证明 A-DCF 能明显改进 802.11 DCF 的时隙选择概率分布的不均匀性.同时,在不降低系统饱和吞吐量的情况下 (甚至略有提高),A-DCF 能有效降低包碰撞概率.这在减小包的延时、节约移动终端的电源能量上是有利的.另外, A-DCF 实现简单,且具有对网络负荷的自适应特点。

#### 参考文献:

- [1] IEEE Std. 802.11. Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications[S]. 1999 Edition.
- [2] IEEE Std. 802.11a. Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band [S]. 1999 Edition.
- [3] IEEE Draft 802.11b/D8.0. Wireless LAN Medium Access Control and physical Layer Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4GHz band[S]. Sept. 2001.
- [4] H S Chhaya and S Gupta. Performance modeling of asynchronous data transfer methods of IEEE 802.11 MAC protocol [J]. Wireless Networks, 1997, 3(3): 217 - 234.
- [5] K C Huang and K C Chen. Interference analysis of nonpersistent CSMA with hidden terminals in multicell wireless data network [A]. Proc. IEEE PIMRC[C]. Toronto, Canada, Sept. 1995: 907 - 911.
- [6] B P Crow. Performance evaluation of IEEE 802.11 Wireless Local Net-

work Protocol[D]. M S thesis ,Dept. Electrical and Computer Eng. , Univ. Arizona , Tucson ,AZ,1996.

- [ 7 ] J Weinmiller ,M Schlager ,A Festag and A Wölisz. Performance study of access control in wireless LANS IEEE 802. 11 DFWMAC and ETSI RES 10 HIPERLAN[J]. Mobile Networks and Applicat ,1997 ,2 (1) : 55 - 67.
- [ 8 ] T S Ho and K C Chen. Performance evaluation and enhancement of the CSMA/ CA MAC protocol for 802. 11 wireless LANs[ A ]. Proc. IEEE PIMRC[C]. Taipei ,Taiwan ,Oct. 1996 :392 - 396.
- [ 9 ] F Cali ,M Conti and E Gregori. IEEE 802. 11 wireless LAN: Capacity analysis and protocol enhancement[ A ]. INFOCOM '98[ C]. San Francisco ,CA ,Mar. 1998 :142 - 149.
- [ 10 ] G Binachi. Performance analysis of the IEEE 802. 11 distributed coordination function [ J ]. IEEE Journal on Selected Areas in Commu. , 2000 ,18 (3) :535 - 547.

#### 作者简介 :



李 云 男 ,1974 年生于四川省西充县 ,电子科技大学博士研究生 ,主要研究方向为 MAC 协议性能分析和改进 ,分布式无线网络 QoS.

隆克平 男 ,1968 年生于四川省 ,教授/ 博士 ,重庆邮电学院光互联网及无线信息网络研究中心主任 ,澳大利亚墨尔本大学超宽带信息网络研究中心 Research Fellow ,主要研究领域为光突发交换与性能分析、Internet QoS 及宽带网络生存性研究 ,已发表论文 80 余篇.

www.cnki.net