

基于 IEEE 802.11 协议的 EDCC 算法研究

何 宏 李建东 盛 敏 李维英

(西安电子科技大学综合业务网国家重点实验室 西安 710071)

(西安电子科技大学信息科学研究所宽带无线通信实验室 西安 710071)

摘 要 该文对 IEEE 802.11 协议的 DCF 功能进行了研究,在分析原有的 DCC 算法的基础上,对其进行了改进,提出了一种增强型的 DCC 算法——EDCC 算法,原有的 DCC 算法虽然能够有效地减少高负荷网络中各节点接入共享信道的碰撞次数,但其没有有效地利用高负荷网络中连续两次发送时隙利用率的相关性对时隙利用率进行平滑处理,导致对时隙利用率的估值与现实中的结果存在偏差.改进后的 EDCC 算法采用一维自回归滑动平均模型 ARMA(α)平滑处理的方法,改进了原有 DCC 算法对时隙利用率估计方差较大的缺点,提高了 DCC 算法的性能.

关键词 IEEE 802.11 协议;分布式协调功能;分布式竞争控制;增强型分布式竞争控制;ARMA 滤波
中图法分类号 TN915

A Novel EDCC Algorithm for IEEE 802.11 Protocol

HE Hong LI Jian-Dong SHENG Min LI Wei-Ying

(State Key Laboratory of Integrated Serviced Networks, Xidian University, Xi'an 710071)

(Broadband Wireless Communication Laboratory, Information Science Institute, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract This paper presents a novel algorithm, called Enhanced Distributed Contention Control algorithm, for improving the performance of DCF (Distributed Coordination Function) Operations of IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN). EDCC algorithm is an extension of the existing IEEE 802.11 DCF Medium Access Protocol (MAC) by estimating the values of slot utilization and contention degree. Recent research shows that the IEEE 802.11 backoff mechanism has one main drawback: in a high load network the increase of the CW_SIZE is obtained at the cost of a continuous collision after a successful transmission because no state information indicating the actual contention level is maintained. The DCC (Distributed Contention Control) mechanism can solve the problem by estimating the value of network's slot utilization and using it to schedule itself transmitting action. But the DCC mechanism doesn't think of the correlation of slot_utilization when a node transmits two successive frames in a high load network. As a result, the distortion of the slot utilization's estimation is big. The Enhanced DCC algorithm reduces the distortion of estimating slot utilization by using an ARMA(α) Filter method to utilize the successively estimated value of slot utilization. At the same time, EDCC algorithm keeps the main characteristics: simplicity, integrability, complete distribution, adaptiveness and no transmission overhead. Results show that the EDCC algorithm can provide higher channel utilization and a lower network load compared with DCC algorithm.

Keywords IEEE 802.11 protocol; CF; CC; DCC; ARMA filtering

收稿日期:2003-09-28;修改稿收到日期:2004-10-15. 本课题得到国家自然科学基金委和微软亚洲研究院联合资助项目基金(60372048)、高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划基金、国家自然科学基金重大项目基金(60496316)第 6 子课题、教育部科学技术研究重点项目基金(104171)和国家“八六三”高技术研究发展计划重大项目基金(2001AA123031)资助. 何 宏,男,1978 年生,博士研究生,主要研究方向为无线个人通信、移动通信网、无线局域网、Ad Hoc 网络路由及多址接入算法. E-mail: hhe@pcn.xidian.edu.cn. 李建东,男,1962 年生,博士,教授,博士生导师,主要研究领域包括个人通信、移动通信、分组无线网、分布式无线网络、软件无线电和宽带无线 Internet 接入等方面. 盛 敏,女,1975 年生,博士,副教授,研究兴趣包括移动自组织网、Ad Hoc 网络路由及多址接入算法等. 李维英,女,1950 年生,教授,主要研究领域包括移动通信、高速数据传输等.

1 引 言

设计分布式无线网络的关键问题是媒质接入控制(MAC)协议,即多址接入协议.归根到底,它是解决多个用户共享单个信道问题的关键.随着无线局域网用户数量的级数递增,网络的负荷越来越重,如何提高高负荷网络的性能,成为研究的热点问题.本文的意义在于通过对 IEEE 802.11 协议接入算法的研究,提出了一种用于提高高负荷网络性能增强型分布式接入控制算法——EDCC 算法(Enhanced Distributed Contention Control, EDCC).

IEEE 802.11 协议接入方案包含两种接入机制:基本的基于竞争的分布式协调功能(Distributed Coordination Function, DCF)、可选的免竞争的点协调功能(Point Coordination Function, PCF).由于只有在 DCF 接入方式竞争信道时才会存在网络拥塞问题,所以本文的研究重点为 EDCC 算法在提高 IEEE 802.11 DCF 接入性能方面的应用.

IEEE 802.11 协议中,无线资源的浪费集中在两个部分:碰撞引起的时隙浪费和退避时空隙引起的时隙浪费.而通过减少退避时隙的数目来增加网络的时隙利用率又会增加数据包发送过程中碰撞的次数,因此,如何在各种网络负荷下,根据网络的本地历史信息来寻找两种开销的平衡点,是提高 IEEE 802.11 协议性能的关键.在 IEEE 802.11 协议中,节点没有任何关于网络中其它用户发送成功与否或者网络中用户数目的信息.每个节点根据本节点当前数据包发送的次数来选择退避窗口,退避结束后立即发送当前数据包.这样当网络中用户数突增或者突发业务到达时,由于碰撞概率的增加,信道的利用率变得非常低.而且,由于在 IEEE 802.11 协议中节点对高竞争状态的反应依赖于数据包发送碰撞的发生,这样导致上述的现象在 IEEE 802.11 标准协议中无法避免.

国际上很多学者就如何提高 IEEE 802.11 协

议在无线局域网中的性能进行了研究.意大利的 Federico 等人^[2,3]研究了退避窗大小与网络性能的关系,进而提出了一种提高 IEEE 802.11 协议容量的 p -坚持接入模型,并在此理论分析模型的基础上,提出了一种基于动态调整竞争窗大小的方法来提高网络的吞吐率.

为了解决 IEEE 802.11 协议在接入控制机制上存在的问题,本文通过对 IEEE 802.11 协议 DCF 功能的研究,提出了一种适用于 IEEE 802.11 协议的增强型分布式控制算法——EDCC 算法,同时给出了实现的方法以及系统仿真的结果.

1.1 IEEE 802.11 协议在无线局域网中的应用

IEEE 802.11 协议 DCF 功能可以描述如下:当某一节点有数据发送时,其首先监测信道的状态,如果信道处于空闲状态的时长超过一个 DIFS 时间长度,节点将发送该数据包;否则,节点将一直监听信道直到信道处于空闲状态的时长超过 DIFS 为止,当信道满足 DIFS 时长长度时,发送节点随机退避一段时间后开始发送该数据包.为了避免某一节点对共享信道的捕获效应,在两次连续数据包发送之间,发送节点必须等待一个随机的退避时间后,再重新竞争信道.

为了避免长帧碰撞引起大量时隙的浪费以及网络中的隐藏终端和暴露终端问题,DCF 引入了一种 RTS/CTS 预约机制.当帧长超过一定门限值时,发送节点首先发送一个短帧 RTS(Request To Send)来预约共享信道,周围节点(目的节点除外)收到 RTS 帧后,依据里面的 SIFS 时长,信道一直为空闲状态直到 SIFS 时长的结束,接收节点将发送一个回应帧:CTS(Clear To Send)来应答此次发送,邻节点(非源节点)收到 CTS 帧以后也会相应地更新自己的 NAV 值;源节点收到 CTS 帧 SIFS 时长后,DATA 数据包将发出.接收节点收到 DATA 后,进行 CRC 校验,如果 DATA 帧正确,接收节点将发送一个回应帧 ACK,来确认正确接收到了该数据帧.如图 1 所示.

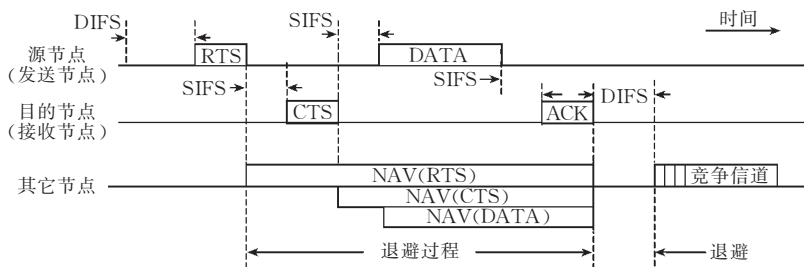


图 1 RTS/CTS 接入机制

为了应付随机接入信道数据包碰撞问题,DCF 引入了一种二进制指数退避算法(Binary Exponen-

tial Backoff, BEB 算法). 每一个节点依据一个退避寄存器来独立规划自己的发送动作. 在发送之前退

值很大时,说明网络竞争度很强,非常繁忙;但当其值略小时,网络竞争程度也可能比该值映射的程度更强,因为无线节点是无法区分忙时隙是由一个节点发送引起的还是多个发送节点引起的,均按一个节点发送引起的进行统计,所以其估计值是一个保守估计值。

2.2 EDCC 算法的描述

2.2.1 对原有 DCC 算法的改进

为了将时隙利用率与节点的发送动作联系起来,我们引入了一个启发式的概念:发送概率($Prob_Tx$),其定义如下式所示^[4]:

$$Prob_Tx = 1 - \overline{Slot_Utilization}^{Num_Att} \quad (4)$$

其中, Num_Att 为 EDCC 算法中所定义的重传次数。 $\overline{Slot_Utilization}$ 表示每次计算完新的 $Slot_Utilization$ 后,应用一维自回归滑动平均 ARMA(α) 模型平滑算法对 $Slot_Utilization$ 进行平滑后得到的更新时隙利用率,这也是 EDCC 算法同原有的 DCC 算法本质的区别。

$$\overline{Slot_Utilization}(t) = \alpha \cdot Slot_Utilization(t) + (1 - \alpha) \cdot Slot_Utilization(t-1) \quad (5)$$

式中 t 表示第 t 次发送数据。由于在高负荷网络中两次发送的间隔很短,网络中时隙利用率具有很大的相关性,而原有的 DCC 算法并未考虑应用时隙利用率的历史信息,这势必导致对时隙利用率的估计值有较大的偏差,采用 ARMA 平滑滤波后,对时隙利用率的估值更准确,这样改进后的 DCC 算法在提高高负荷网络吞吐率的同时,将更加有效地降低网络的负荷,而达到降低移动终端能源消耗的目的。

由关系式(4)及图 3 分析可知,当网络负荷很轻时,时隙利用率很低,此时发送概率 $Prob_Tx$ 很大,接近 1;当网络负荷逐渐增大时,数据包的发送概率逐渐降低,一部分数据包将被认为发生了虚拟的碰撞进行虚拟重传。这就相当于在标准 IEEE 802.11 协议中引进了一种触发机制:当网络负荷超过一定数值时,会触发 EDCC 机制,过滤掉一部分数据包的发送动作,以减小网络的碰撞概率,进而降低整个网络的负荷。同时 EDCC 考虑了重发次数对接入概率 $Prob_Tx$ 的影响,由图 3 很容易看出,节点的重传次数越多,其在相同时隙利用率的条件下,接入网络的概率越大。

2.2.2 EDCC 算法的框图

由图 4 可见,EDCC 算法与标准 IEEE 802.11 协议算法相结合,实际上完成了在数据包接入信道之前的滤波器的功能。EDCC 算法的描述如图 5 所示。

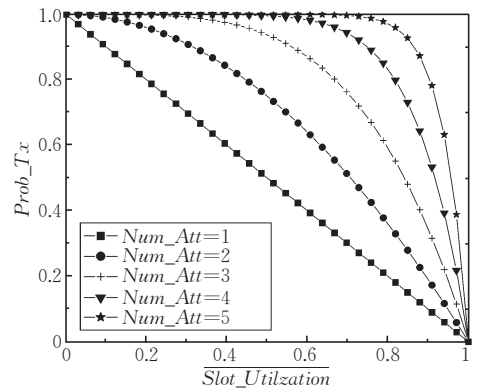


图 3 时隙利用率与发送概率的关系

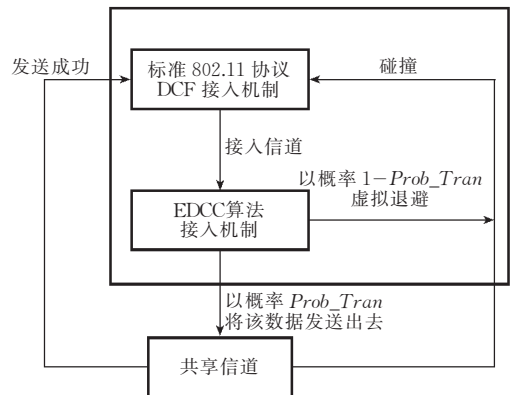


图 4 EDCC 算法与标准协议的结合

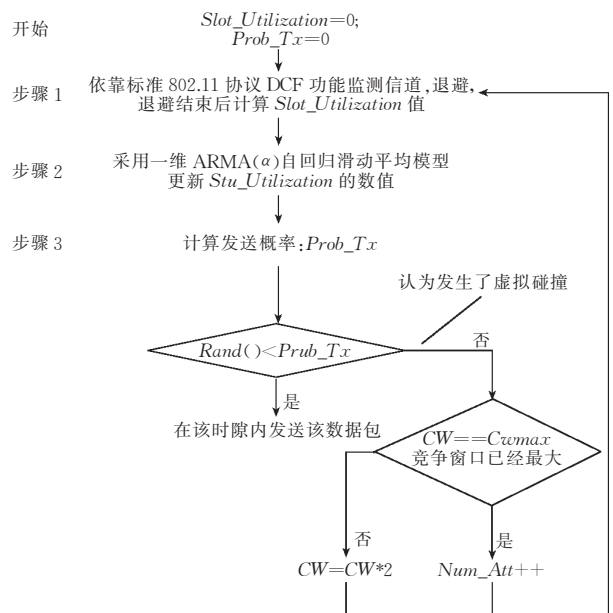


图 5 EDCC 算法描述

3 EDCC 算法的数学描述和分析

假定网络中任一节点在任意时隙至少有一个数据包等待发送,采用 Federico 等人在文献[3]中所提

出的 P -坚持的 IEEE 802.11 协议分析模型对 EDCC 算法进行理论分析. 我们的分析思路如下: 首先确定时隙利用率的优化解 $S_{U_{opt}}$. 这里所说的优化解是指当网络的吞吐率达到协议的系统容量条件下时隙利用率的取值. 由于在 EDCC 算法中, 时隙利用率是一个 $[0, 1]$ 之间的随机数, 通过数学推理的方法无法给出准确的数学分布和数学表达式, 因此我们采用多次仿真取平均的统计方法获得 EDCC 算法随着网络中节点数目变化时时隙利用率的取值, 通过与时隙利用率优化解 $S_{U_{opt}}$ 的比较来验证 EDCC 算法的合理性和科学性.

3.1 时隙利用率优化值 $S_{U_{opt}}$ 的上下界分析

通过对 CSMA 协议进行分析, 我们发现: 当网络的吞吐率达到系统容量时, 其应该满足如下条件^[3,11]:

$$E[Coll] = E[Idle_p] \cdot t_{slot} \quad (6)$$

式中 $E[Coll]$ 为信道由于数据帧间发生碰撞而浪费的时长, $E[Idle_p]$ 为信道连续空闲的时隙数. 通过表达式(6)我们可以计算出能够使得 CSMA 协议工作在最优状态时各节点发送概率 p 的优化解 p_{min} , 即当 $p = p_{min}$ 时能够使得表达式(6)成立, 此时网络工作在最优状态, 吞吐率达到协议容量^[3,11]. 文献[12]也验证了上述分析结论.

式(6)可进一步化简得

$$E[Coll]_{collision} \cdot p_{collision} = E[Idle_p] \cdot t_{slot} \quad (7)$$

式中 $p_{collision}$ 为数据帧发生碰撞的概率:

$$p_{collision} = \frac{1 - (1-p)^M - Mp \cdot (1-p)^{M-1}}{1 - (1-p)^M} \quad (8)$$

式中 M 为网络中节点数目, $E[Idle_p]$ 的表达式如下^[3]:

$$E[Idle_p] = \frac{(1-p)^M}{1 - (1-p)^M} \cdot t_{slot} \quad (9)$$

同时由于在文献[3]中计算 $E[Coll]_{collision}$ 过于烦琐, 采用如下简化的方法进行分析:

$$E[Coll]_{collision} = E[\max\{L_1, L_2, \dots, L_N\} | N > 1] \quad (10)$$

式中 L 为数据帧长度, 下标表示数据帧标号. 文献[3]的仿真结果表明: 当网络中节点采用 p_{min} 作为本节点数据帧的发送概率时, 网络中两个数据帧引起碰撞的概率远远大于两个以上数据帧发生碰撞的概率^[3], 因此式(10)可进一步化简得

$$E[Coll]_{collision} \approx E[\max\{L_x, L_y\}] \triangleq l(q) \cdot t_{slot} \quad (11)$$

式中 L_x, L_y 分别为两个碰撞数据帧的长度, $l(q)$ 为参数 q 的函数, q 为数据帧长度分布参数.

将表达式(8), (9)及式(11)代入表达式(7):

$$l(q) \cdot [1 - (1-p)^M - Mp \cdot (1-p)^{M-1}] = (1-p)^M \quad (12)$$

应用泰勒公式:

$$[1 - (1-p)^M - Mp \cdot (1-p)^{M-1}] \approx \frac{M \cdot (M-1) \cdot p^2}{2}$$

$$(1-p)^M \approx 1 - Mp \quad (13)$$

将式(13)代入式(12)可得

$$l(q) \cdot M \cdot (M-1) \cdot p^2 + 2 \cdot Mp - 2 = 0 \quad (14)$$

当 M 很大 ($M \gg 2$) 时, $M \cdot (M-1) \approx M^2$, 上式可进一步化简为

$$l(q) \cdot (Mp)^2 + 2 \cdot Mp - 2 = 0 \quad (15)$$

最后, 由表达式(15)可解得使网络吞吐率最大的条件:

$$Mp_{min} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 2 \cdot l(q)}}{l(q)} \quad (16)$$

由于在后面多次统计仿真中数据包的大小服从几何分布, 所以 $l(q)$ 可进一步化简:

$$l(q) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{i=1}^{\infty} \max(k, i) q^{k-1} (1-q) \cdot q^{i-1} (1-q),$$

经过进一步化简可得

$$l(q) = \frac{1 + 2q}{1 - q^2} \quad (17)$$

下面, 我们继续分析时隙利用率优化解 $S_{U_{opt}}$ 与上面计算结果 Mp_{min} 的关系.

我们用 N 代表网络中发送节点的数目, 由时隙利用率的定义可知:

$$\begin{aligned} S_{U_{opt}} &= 1 - P\{N=0\} = \sum_{i=1}^M P\{N=i\} \\ &\leq \sum_{i=1}^M i \cdot P\{N=i\} = M \cdot p_{min} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} S_{U_{opt}} &= 1 - P\{N=0\} = 1 - (1-p)^M \\ &= -\sum_{k=1}^M \binom{M}{k} (-p)^k \geq Mp - \frac{M \cdot (M-1) p^2}{2} \\ &\approx Mp - \frac{(Mp)^2}{2} \end{aligned} \quad (19)$$

由式(18)及式(19)可得

$$M \cdot p_{min} - \frac{(Mp_{min})^2}{2} \leq S_{U_{opt}} \leq M \cdot p_{min} \quad (20)$$

式中 p_{min} 为网络工作在理想状态下, 即网络的吞吐率达到协议容量时节点的发送概率^[3], M 为网络中节点数目.

3.2 EDCC 算法的性能分析

在 EDCC 算法的分析中, 由于无法准确地采用数学分析的方法来计算 EDCC 算法的时隙利用率数值, 我们采用多次统计取平均的方法检验应用 EDCC 算法后 IEEE 802.11 协议的时隙利用率是否

更接近其优化值来评价 EDCC 算法的性能. 为了使得到的统计结果更加准确, 我们一共生成了 8 个不同的场景, 每个场景仿真 100 次后取多次仿真的统计平均值. 统计仿真的参数如表 1 和表 2 所示, 其中数据帧的大小服从几何分布, 平均值为 1024 个字节, 统计仿真工具选用 OPNET™ 8.0, 得到的统计结果如图 6 所示.

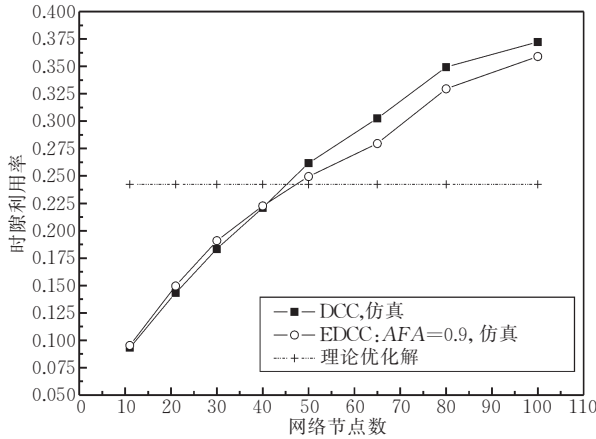


图 6 不同网络规模下 DCC, EDCC 的时隙利用率与其优化值的比较

文献[3]的仿真结果表明, 当数据帧长度大于 10 倍时隙长度时, $\frac{(Mp_{\min})^2}{2} < 0.05$, 我们仿真所取的数据帧长度为 15 倍时隙长度, 所以在仿真中我们采用如下表达式近似逼近时隙利用率的优化解.

$$S_{U_{\text{opt}}} \approx \frac{Mp_{\min} + Mp_{\min} - (Mp_{\min})^2 / 2}{2} = Mp_{\min} - \left(\frac{Mp_{\min}}{2}\right)^2 \quad (21)$$

式中 Mp_{\min} 可利用式(16)及式(17)联合求得.

由图 6 可以看出, 时隙利用率的优化值 $S_{U_{\text{opt}}}$ 与节点数无关, 仅仅决定于数据帧长度的分布[3]; 随着网络中竞争节点数的增加, 竞争强度逐渐增大, DCC 及 EDCC 算法的时隙利用率数值随着节点密度的增大而增大. 由图 6 可以看出: 当网络中节点数少于 40 个节点时, 由于在相同的业务到达强度下, 网络中节点数较少, 时隙利用率数值低于优化值; 当网络节点数处于 40~60 之间时, 在相同的业务到达强度下, 网络的竞争强度增大, 保证在每一个时隙内

每个节点至少有一个数据包等待发送, 与我们理论分析假设相符, 此时 DCC 及 EDCC 算法的时隙利用率与优化解最接近; 当网络中节点数大于 60 时, 由于竞争节点数目的增多, DCC 及 EDCC 算法的时隙利用率大于优化解 $S_{U_{\text{opt}}}$, 但由于数据帧的碰撞概率明显增大, 网络的吞吐率仍达不到协议容量. 图 6 同时可以看出: 由于无论在 EDCC 算法、DCC 算法中均未考虑数据帧长度对时隙利用率的影响, 所以两种算法的时隙利用率数值与其优化值均有较大的差距, 但 EDCC 算法采用 ARMA(α) 模型对估计得到的时隙利用率初值进行平滑处理, 导致时隙利用率的估计更加准确, 因此其能够获得比 DCC 算法更好的性能, 时隙利用率数值更加接近其优化解 $S_{U_{\text{opt}}}$.

4 EDCC 算法的性能评估

利用仿真和分析的方法对 EDCC 算法的性能进行评估, 并将仿真的结果与 IEEE 802.11 协议 DCF 功能及原有的 DCC 算法进行比较. 我们选择了 OPNET 仿真软件来验证我们的改进算法. 为了检验 EDCC 算法在各种网络规模下的性能, 同时保证各个节点所监测到的信道状态一致, 整个网络是全连通的, 我们一共生成了 3 个场景: 11 个节点, 21 个节点, 65 个节点, 均匀分布在 $200 \times 200 (\text{m}^2)$ 的区域内, 各节点的通信半径均为 300m. 由前面的分析及图 3 可知, 当网络工作于轻负荷状态下时, 时隙利用率很低, 此时不会触发 EDCC 机制, EDCC 算法的性能同 IEEE 802.11 性能一致, 网络工作正常. 但当网络处于高负荷状态时, 时隙利用率很高并自动触发 EDCC 算法, EDCC 算法的优越性将得到最大限度地发挥, 所以我们的仿真集中于高负荷网络状态下 DCF、DCC、EDCC 算法的比较. 仿真的信源模型采用泊松源, 为了保证整个网络处于高负荷状态, 仿真参数如表 1, 表 2 所示.

表 1 仿真信源模型

场景	业务强度(数据包/秒)	数据包大小(Byte)
11 节点	100	1024
21 节点	100	1024
65 节点	17	1024

表 2 仿真的其它参数

数据速率 (Mbps)	物理层特性	短帧允许重传次数	长帧允许重传次数	缓冲区 (bit)	时隙长度 (μs)	SIFS 时长 (μs)	最小竞争窗 (时隙数)	最大竞争窗 (时隙数)	网络规模	通信半径 (m)
11	直扩	7	4	256000	20	10	15	1023	200×200	300

为了验证 EDCC 算法的有效性, 我们选取了 4 个参数指标: 时延、数据包的重传次数、网络业务量、

通过量. 各项指标的含义如下: 网络业务量指节点在单位时间内(每秒)传输给其它节点的比特数; 通过

量为节点在单位时间内(每秒)成功接收其它节点发送的比特数;时延指某个数据包从第一次发送到对方告知成功接收的时间长度;数据包的重传次数具有不同的含义,在 EDCC 和 DCC 算法中具有相同的含义,指达到最大竞争窗口后虚拟碰撞的次数;在 DCF 中指发生碰撞后,数据包成功接收在前竞争信道重传的次数. 由于含义不同,所以本文仅比较了 DCC 与 EDCC 算法数据包重传次数,验证 EDCC 算法对 DCC 算法的改进.

由各种不同场景下的性能仿真曲线可知:在高负荷网络中,由于 EDCC 算法在发送之前获取了网络目前的竞争程度映射参数:时隙利用率(*Slot_Utilization*),并根据时隙利用率的数值来规划自己的发送动作,有效地减少了 IEEE 802.11 标准协议中由于发送节点没有任何关于网络中其它节点业务信息而盲目发送所造成的碰撞次数,降低了发送一个数据包的开销,所以随着仿真时间推进,原有的 DCC 算法及 EDCC 算法在提高网络吞吐率的同时,高效地降低了网络的业务量,而这就意味着在相同信源模型条件下,网络中各个节点每秒要发送的数据包数

目减少,节点的能源消耗大大降低,这在现实中具有非常重要的意义.

由多个场景的时延曲线可以看出:随着高负荷网络中竞争节点数目的增加,由于信道繁忙程度的增加,网络的时延逐渐加大. 在 11 节点的高负荷网络中,DCF 的机制平均时延最大为 0.44s,而在 22 节点的超高负荷网络下,DCF 的机制平均时延最大增为 1.385s;在 65 节点的高负荷网络中,DCF 的平均最大时延增为 4.2s,原有 DCC 算法的平均时延分别为 0.425s,1.355s,4.18s;而将 EDCC 算法同标准 DCF 结合后,由于采用了时隙估计的方法,两个场景下的时延减少至 0.4s, 1.34s, 4.1s,即在 3 个场景下同 DCF 相比将时延减少 40ms,45ms 和 10ms,同 DCC 算法相比时延也减少了接近 20ms 和 10ms.

EDCC 算法不但能够有效地减小网络时延,更卓越的性能在于其提高网络通过量的同时有效地降低节点的能源消耗,这在无线局域网中更具有重要的意义. 由节点的业务量曲线可知,标准协议进入稳态后最低的业务量在 3 个场景下分别为 425Kbits/s, 190Kbits/s,55Kbits/s. 原有的 DCC 算法在 3 个场景下

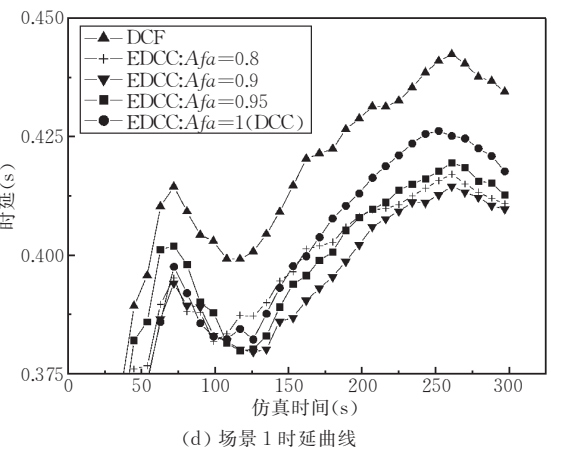
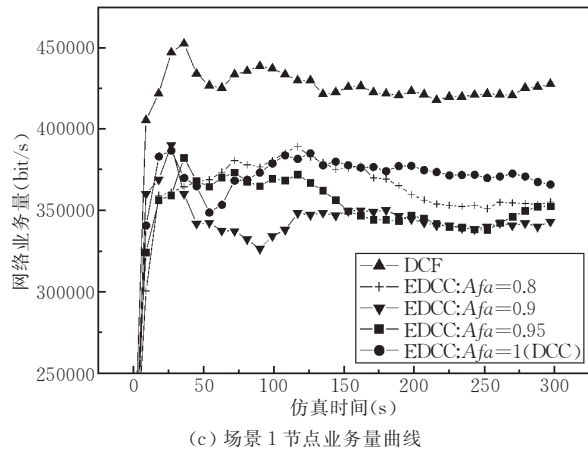
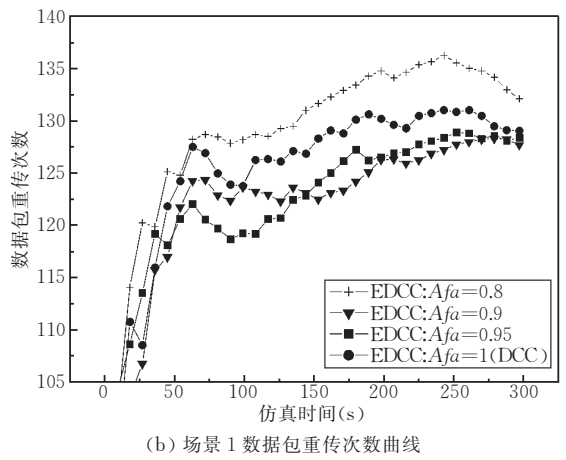
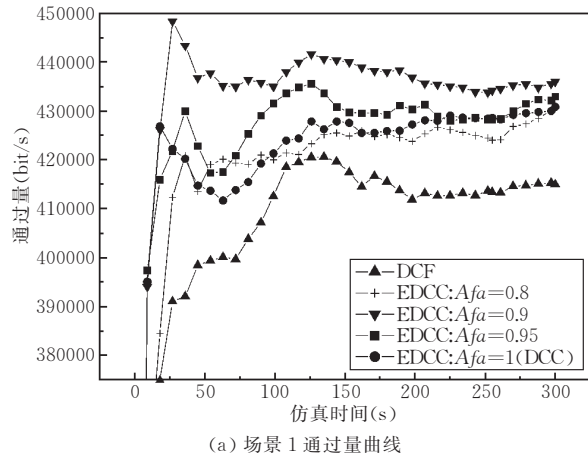


图 7 场景 1(11 个节点)的曲线组图

进入稳态后最低业务量分别为 370Kbits/s,120Kbits/s, 28Kbits/s,而改进后的 EDCC 算法进入稳态后网络的业务量分别减少到 330Kbits/s, 110Kbits/s, 23Kbits/s,同标准的 DCF 功能相比业务量分别减少了 22%,42%,58%;同 DCC 算法相比减少 8%, 10%,17%,这都说明了在高负荷网络中连续发送时隙利用率确实存在着相关性,利用这一特性,EDCC 算法显著提高了 DCC 算法的性能.我们知道当 $\alpha=1$ 时的 EDCC 算法实际上就是 DCC 算法.由于在高负荷网络中,各节点竞争信道的的时间间隔很小,这就导致网络繁忙程度的映射参数:时隙利用率具

有相关性,而得到的仿真结果恰好验证了我们的思路.由于节点在计算时隙利用率时无法统计某一次退避寄存器的挂起是由于某一个节点的发送还是由于多个节点同时发送所造成,所以时隙利用率的估值与其真实值具有较大的方差,这也是原有 DCC 算法的一个缺陷.针对 DCC 算法存在的问题,EDCC 算法应用一维自回归滑动平均 ARMA(α)模型,对时隙估计的离散值进行平滑处理,使得时隙利用率 *Slot_Utilization* 能够更准确地反应网络的繁忙程度,减少估计值与实际值的偏差,更准确地规划自己的发送动作.

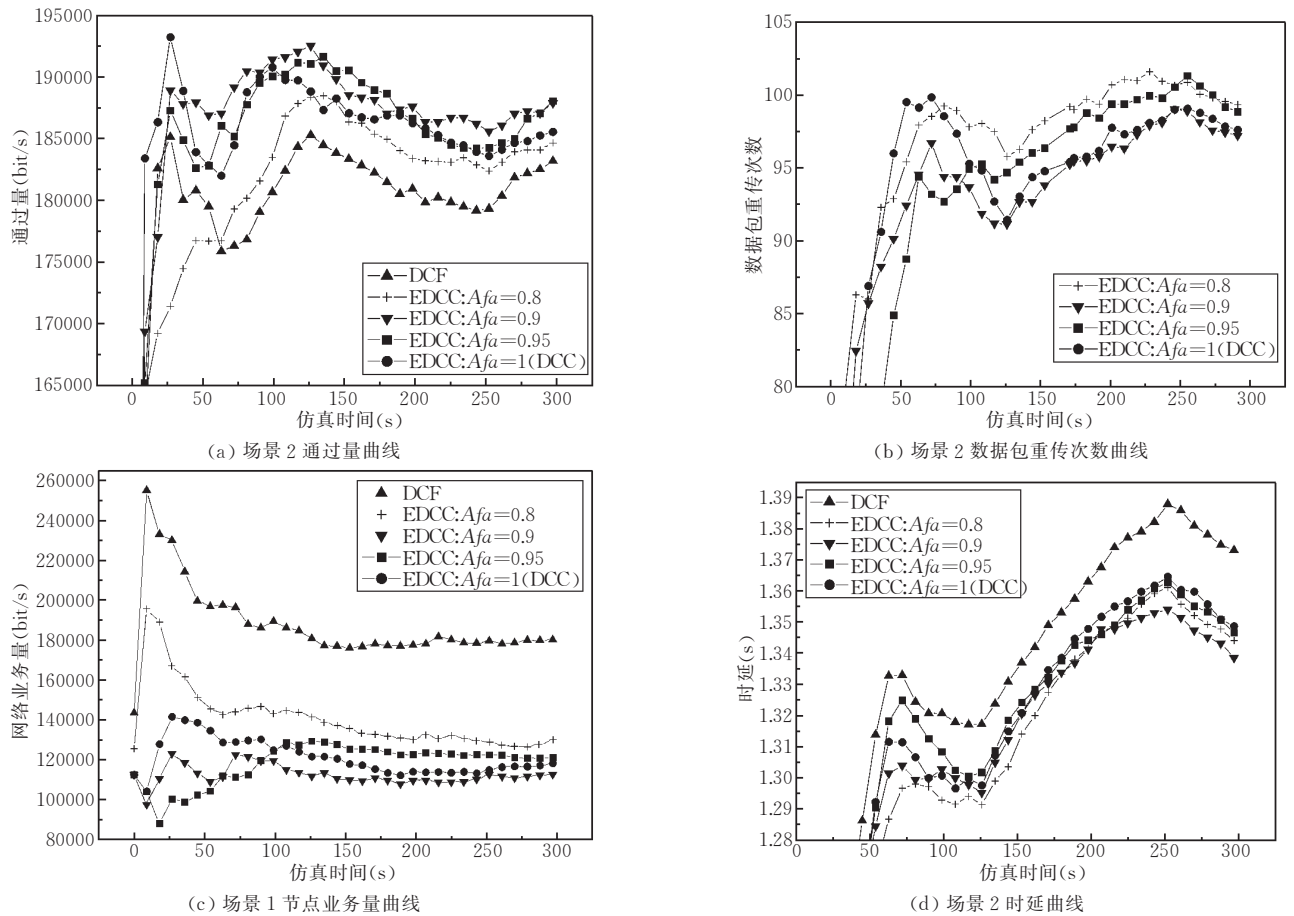
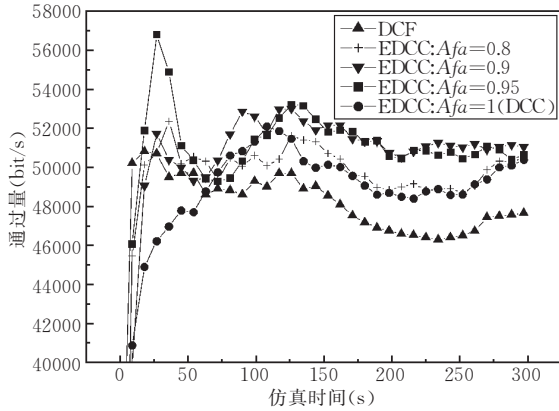


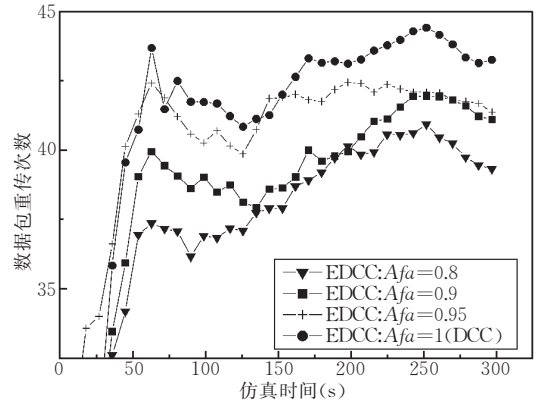
图 8 场景 2(21 个节点)的曲线组图

由三组仿真数据可知,EDCC 算法工作于高负荷网络中,与网络中节点数目关系很小,主要依赖于自回归系数 α .随着时间的推移,当整个网络趋近稳态时,EDCC 算法及 DCC 算法的网络的通过量均比标准协议中 DCF 机制通过量有显著的提高,而当 α 取不同的数值时,由于一维自回归滑动平均模型 ARMA(α)需要对参数 α 进行优化估计,所以 EDCC 算法的性能有很大的差别.通过仿真,我们得到了在高负荷网络中采用一维自回归滑动平均模型

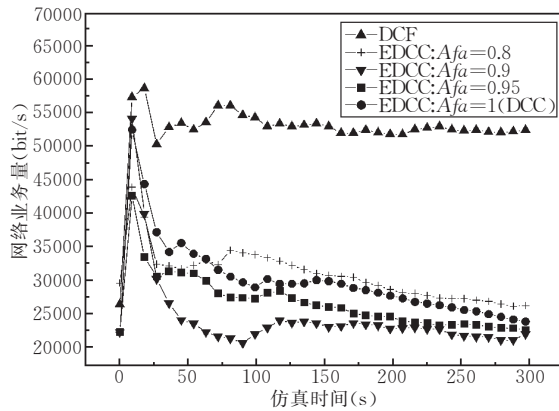
ARMA(α)优化时隙利用率的一个最优解: $\alpha=0.9$.根据我们前面的分析,由于 EDCC 算法能够更准确地计算时隙的估计值,所以优化后的 EDCC 算法即当 $\alpha=0.9$ 时,EDCC 算法的各项指标:网络的业务量、通过量、时延、数据包重传次数均应该优化于原有的 DCC 算法及标准协议的 DCF 机制,仿真曲线恰好验证了我们的想法,同时表明,优化后的 EDCC 算法较之 DCC 算法,能够更有效地改善网络的性能.



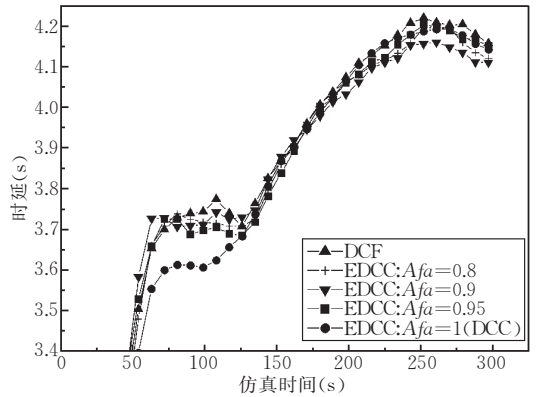
(a) 场景 3 通过量曲线



(b) 场景 3 数据包重传次数曲线



(c) 场景 3 节点业务量曲线



(d) 场景 3 时延曲线

图 9 场景 3(65 个节点)的曲线组图

5 结 论

近年来无线局域网得到了迅猛的发展,随着网络用户的增多,网络负荷越来越重,如何解决在高负荷网络环境下尽可能提高网络的各项指标已经成为研究的一个热点问题.本文所提出的 EDCC 算法充分利用标准协议规定的发送前有限退避窗进行网络繁忙程度的估计,并采用一维自回归滑动平均模型 ARMA(α)对时隙利用率估计值进行平滑处理,使得原有的 DCC 算法更有效.

同原有的 DCC 算法相比,EDCC 算法保持了原有算法的简单性、完全分布性、无开销性及其自适应性.通过实验的方法发现了 EDCC 算法参数 α 的最优解.仿真结果表明在 3 种场景下,同原有的 DCC 算法相比,EDCC 算法的优化解 ($\alpha=0.9$) 均能够有效地减少数据包的重传次数和网络时延,在提高网络的通过量的同时大大降低网络中每个节点的业务负荷,使得节点对有限能源的消耗大大降低,具有重要的现实意义.

参 考 文 献

- 1 P802.11. Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, IEEE Standard 802.11, 1999
- 2 Federico C., Marco C., Enrico G.. 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
- 3 Federico C., Marco C., Enrico G.. Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2000, 8(6): 785~799
- 4 Luciano B.. Design and performance evaluation of a distributed contention control(DCC) mechanism for IEEE 802.11 wireless local area networks. In: Proceedings of the WOWMOM 98, Dallas Texas, USA, 1998, 59~67
- 5 Chen K. C.. Medium access control of wireless LANs for mobile computing. IEEE Networks, September/October, 1994, 50~63
- 6 Georgiadis L., Papantoni-Kazalos P.. Limited feedback sensing algorithms for the packet broadcast channel. IEEE Trans-

- actions on Information Theory, 1985, IT-31(2): 280~294
- 7 Bianchi G. , Fratt L. , Olivieri M. . Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 wireless LANs. In: Proceedings of PIMRC1996, Taiwan, 1996, 392~396
 - 8 Luciano B. , Marco C. , Enrico G. . Design and performance evaluation of an asymptotically optimal backoff algorithm for IEEE 802.11 wireless LANs. In: Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, 2000, 1~10
 - 9 Giuseppe B. . Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535~547
 - 10 Giuseppe B. , Ilenia T. . Kalman filter estimation of the number of competing terminals in an IEEE 802.11 network. In: Proceedings of the IEEE INFOCOM 2003, San Francisco, 2003, 844~852
 - 11 Gallager, Robert G. . Perspective on multiaccess channels. IEEE Transactions Information Theory, 1985, 31(2): 124~142
 - 12 Marco C. , Enrico G. . Optimization of bandwidth and energy consumption in wireless local area networks. In: Calzarossa M. ed. . Lecture Notes on Computer Science 2459, London: Springer-Verlag, 2002, 435~462



HE Hong, born in 1978, Ph. D. candidate. His research interests include wireless personal communications, mobile communication networks, wireless networks, packet radio networks, wireless ad hoc networks, wireless Internet access and wireless local area networks

(WLAN).

LI Jian-Dong, born in 1962, Ph. D. , professor, Ph. D. supervisor. His research interests include personal communi-

cations, mobile communication networks, packet radio network, wireless ad hoc network, software radio and broadband wireless Internet access etc.

SHENG Min, born in 1975, Ph. D. associate professor. Her research interests include self-organizing networks, wireless ad hoc networks routing and multiple access algorithm.

LI Wei-Ying, born in 1950, M. S. supervisor. Her research interests include mobile communication networks and high speed data transmission technology etc.

Background

This work is a part of project: sixth subject of Key Project of National Natural Science Foundation of China under contract No. 60496316. Authors' research commitment is to invent the new theory and initiative to power the wireless communication technology and industry and to educate the leaders of tomorrow. Currently, they research interests include: wireless IP system, Ad Hoc networks, packet radio and self-organizing networks, software radio, broadband mobile communications. This paper proposes a new Enhanced Distributed Contention Control mechanism to improve the

IEEE 802.11 protocol performance on throughput, delay, retransmission times and traffic load. The EDCC algorithm reduces the distortion of estimation of slot utilization by using a ARMA Filter method. Results show that EDCC can provide higher channel utilization and lower network load compared with DCC. The EDCC can be used on top the 802.11 Standard DCF, with no significant modifications required, and it can be used to resolve the multiple access problems in their Broadband Mobile Communications.