

# 无线局域网中一种自适应 RTS 门限调整算法

刘 军 郭 伟 黄 飞 肖百龙

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

**摘 要** 媒体访问控制是无线局域网的重要部分,决定了具有受限通信带宽的无线信道的共享效率. IEEE 802.11 系列标准基于现有以太网技术,具有良好的操作性和兼容性,已发展成为 WLAN 的主要标准. IEEE 802.11 DCF 中有两种接入方式:基本方式和 RTS/CTS 方式. RTS/CTS 方式是 IEEE 802.11 无线网络的可选握手过程,用于减小碰撞的可能性. 决定使用 RTS/CTS 握手方式的 RTS 门限值研究的重要参数,不同的取值对数据传送会产生不同的性能特点. 文章通过分析 IEEE 802.11 DCF 分组发送成功和碰撞的持续时间,获得了 RTS 和基本方式下分组传输时间开销与分组长度的关系. 给出了以最小化分组传输时间代价为优化目标的最优 RTS 门限的计算公式. 通过对当前信道分组发送的冲突概率的预测实现了最优 RTS 门限的计算;给出了一个具体的 RTS 门限自适应调整算法,使终端能自动调整其 RTS 门限以达到或接近最优值. 仿真表明 RTS 门限自适应调整算法明显减小了分组传送时收发器发送单位比特数据的时间开销.

**关键词** 无线局域网; 802.11 DCF; RTS 门限; 冲突概率; 自适应 RTS 门限调整; 时间开销

**中图法分类号** TP393

## An Adaptive RTS Threshold Adjustment Algorithm for Wireless LAN

LIU Jun GUO Wei HUANG Fei XIAO Bai-Long

(National Anti-interference Communication Technology Laboratory,  
University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract** In wireless LANs, the medium access control protocol is the main element that determines the efficiency in sharing the limited communication bandwidth of the wireless channel. IEEE 802.11 set standards based on Ethernet technology, being have favorable handle ability and compatibility, have become the main standards of WLAN. There are two access methods in IEEE 802.11DCF: basic and RTS/CTS. The RTS/CTS method is an optional handshaking procedure used by the IEEE 802.11 wireless networks to reduce the possibility of collision. The RTS threshold value, which determines when the RTS/CTS handshaking mechanism should be used, is an important parameter to investigate, since different values will produce different performance characteristics in data transmission. This paper achieves the relationships between packet transmission time overhead and packet length of RTS and basic methods through analyzing the time overhead of single successful packet transmission and single packet collision of IEEE 802.11 DCF. Formulas to calculate the optimal RTS threshold aimed to minimize time overhead of packets transmission are given out. The optimal RTS threshold is calculated by estimate the packet collision probability. An adaptive RTS threshold adjustment algorithm is presented. It enables the nodes to adjust RTS threshold to the optimal value. Simulations show that the adaptive RTS threshold adjustment algorithm greatly decreased the per-bit time overhead of transceiver.

收稿日期:2005-06-26;修改稿收到日期:2007-01-15. 本课题得到国家自然科学基金(60472052,10577007)、教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目基金(2004年度)、国家重点实验室基金(51434020105ZS04)资助. 刘 军,男,1973年生,博士研究生,主要研究方向为自组织网络 MAC 协议和路由算法. E-mail: liuj2002@126.com. 郭 伟,男,1964年生,教授,博士生导师,主要研究领域为移动通信网、扩频通信、信号与信息处理. 黄 飞,男,1973年生,博士研究生,主要研究方向为无线资源管理和分组调度算法. 肖百龙,男,1973年生,博士研究生,主要研究方向为 Ad Hoc 网络组网和路由算法.

**Keywords** WLAN; IEEE 802.11 DCF; RTS threshold; collision probability; adaptive RTS threshold adjustment; time overhead

## 1 引 言

无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)是由一组带有无线收发装置的节点组成的、无需基础设施支持的单跳网络,具有分布式、自组织、自配置、自管理等特征,能够在不能或不便利用现有网络基础设施的情况下提供通信,可广泛应用于办公区域、家庭、公共场所、学校和热点地区、抢险救灾、应对突发事件等无法得到有线网络支持或只是临时需要通信的环境。目前,已经存在的无线局域网标准包括 IEEE 802.11、欧洲的 HIPERLAN/2 和日本的 MMAC。媒体访问控制(Media Access Control, MAC)负责节点接入无线信道,并为上层提供快速、可靠的报文传送支持,是报文在信道上发送和接收的直接控制者。因此信道接入协议对信道状态的感知是最快的,对无线局域网的性能起着决定性的作用。从无线局域网出现至今,MAC 协议一直是设计、研究的主要技术难点之一。IEEE 802.11 标准使用基于带冲突避免的载波侦听多路接入(CSMA/CA)的分布式媒体访问控制(MAC),HIPERLAN/2 使用基于无线异步传输模式(ATM)的集中式和指配式 MAC,MMAC 则支持这两种技术。其中,IEEE 802.11 系列标准基于现有以太网技术,具有良好的操作性和兼容性,已发展成为 WLAN 的主要标准。IEEE 802.11 工作组主要致力于无线局域网的标准化问题,目前已经提出了无线局域网的媒体访问控制(MAC)和物理层(PHY)规范<sup>[1-4]</sup>。

1997 年完成并公布的 IEEE802.11 标准是最早的无线局域网标准,是无线网络技术发展中的一个里程碑。IEEE802.11 协议规定了物理层和 MAC 层标准。其中,物理层支持 1Mbps 和 2Mbps 的数据速率,能支持直接序列扩频(DSSS)、跳频序列扩频(FHSS)和扩散红外线(DFIR)等物理层;在 MAC 层中,IEEE802.11 定义了两种协议:一种是载波侦听多路访问/冲突避免(CSMA/CA)协议;另一种是可选的请求发送/清除发送(RTS/CTS)协议。

1999 年 8 月,IEEE802.11 标准得到了进一步的完善和修订,制定了两项新的物理层标准:IEEE 802.11a 标准和 IEEE 802.11b 标准。802.11b 是 802.11 物理层标准的一个扩充,其规定采用 2.4GHz

频带,调制方法采用补码键控(Complementary Code Keying, CCK),传输速率能够从 11Mbps 自动降到 5.5Mbps,或者根据直接序列扩频技术调整到 2Mbps 和 1Mbps,以保证设备正常运行与稳定工作。802.11a 标准协议规定使用 5GHz 的工作频段(在中国只开放 5.725~5.850GHz),使用正交频分复用(OFDM)调制技术,可以提供高达 54Mbps 的传输速率。与 2.4GHz 频段相比,5GHz 的工作频段可以提供更大的带宽,因此具有更高的容量。另外,工作在 5GHz 的无线电系统少,干扰也相对较少。但由于其工作在较高的频段上,因此意味着高的传输损耗,同样的覆盖范围需要更多的接入点(AP),成本相对较高。并且它与 802.11b 系统不兼容,如果从现有的网络过渡到 802.11a 网络通常需要改变接入点,所有用户设备的无线局域网卡也需统一。

2003 年,IEEE 802.11 工作组批准了 IEEE 802.11g 标准草案,正式标准于 2003 年出台。802.11g 标准与以前的 802.11 协议标准相比有非常显著的优势,主要体现在两个方面:在 2.4GHz 频段使用 OFDM 调制技术,使数据传输速率提高到 20Mbps 以上;IEEE802.11g 标准能够与 IEEE 802.11b 的 Wi-Fi 系统互相连通,保障了后向兼容性。

IEEE 802.11 DCF 是 IEEE 802.11 标准委员会制定的无线局域网信道接入协议,用于 Ad Hoc 结构的网络。IEEE 802.11 DCF 起源于 CSMA/CA 协议,即在载波检测多址接入(Carrier Sense Multiple Access,CSMA)的基础上增加了带冲突窗口的随机回退机制,起到冲突避免(CA)的作用。载波检测用来确定信道是否空闲。802.11 中规定了两种检测方式:物理载波检测和虚拟载波检测。物理载波检测由物理层发出询问,虚拟载波检测由网络分配矢量(Network Arrange Vector,NAV)提供。IEEE 802.11 DCF 对 CSMA/CA 进行了扩展,加入了 ACK 控制报文来实现链路层的确认。IEEE 802.11 DCF 与固定网不同,无线节点在传送数据时由于不能同时对信道进行侦听,因此不再使用带冲突检测的 CSMA/CD 方式访问信道。

在 DCF 中存在两种接入方式。缺省采用基本接入方式,见图 1。源节点发送分组后,只有当源节点正确收到目的节点返回的确认消息(ACK)时才标志发送成功。为了减少无线网络中的隐藏终端问题,

DCF 还提供了一种基于 RTS/CTS 握手的接入方式, 见图 2. 在数据分组发送之前, 采用 RTS/CTS 握手获得信道使用权, 目的节点收到数据后发送 ACK 释放对信道的占用. 由于 RTS/CTS 消息很短, 减少了冲突概率, 因此 RTS/CTS 方式在数据分组较长的情况下可以大大提高网络的性能. 一个终端可以工作在“混合”模式下, 当数据包长度大于 RTS 门限时, 采用 RTS/CTS 方式传送, 反之则采用基本方式传送.

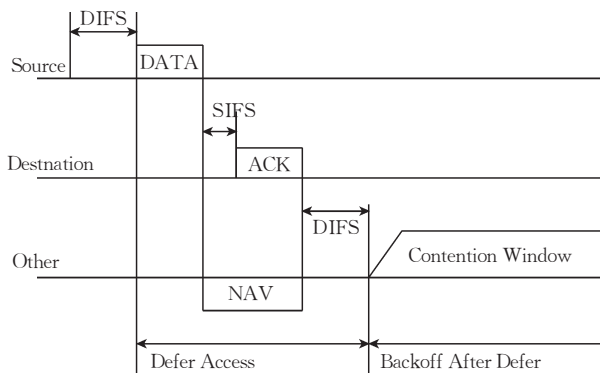


图 1 802.11 基本接入方式的时序安排

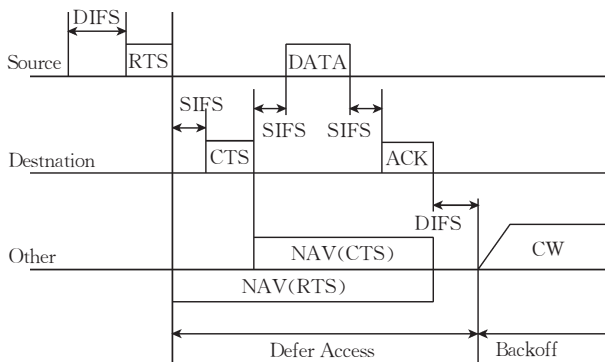


图 2 802.11RTS/CTS 接入方式的时序安排

目前对 IEEE802.11DCF 的研究已经取得了大量的成果. Binachi G 对 IEEE 802.11 DCF 的基本方式和 RTS/CTS 方式分别作了分析<sup>[5]</sup>, 在假设碰撞概率恒定独立的前提下, 用解析的方法对 802.11DCF 的性能作了定量的分析, 得到了两种方式下的饱和吞吐率表达式, 其中也给出了一种计算混合方式网络吞吐率的方法. Tay 等分析了基本方式下的网络饱和吞吐率以及它与相关网络参数的关系<sup>[6]</sup>. Wu 等从饱和吞吐率的角度出发, 推导出了最佳 RTS 门限<sup>[7]</sup>, 但是该门限仅仅使用于网络工作在饱和状态的情形. 严少虎等提出了一种优化 802.11DCF 吞吐率的 RTS 门限调整算法<sup>[8]</sup>, 该算法通过分析一次成功发送和一次碰撞持续的平均时间, 从一次发送过程平均时间最小化出发给出了求解

最佳 RTS 门限的数值计算方法. Li 等提出了一种用于分析 IEEE 802.11DCF 信道接入时延的模型<sup>[9]</sup>, 并通过该模型获得了信道的平均接入时延. Wang 等通过二维马尔科夫链模型对 IEEE 802.11DCF 协议的时延性能进行分析<sup>[10]</sup>, 并获得了媒体访问时延的计算方法. Zhang 等分析了 IEEE802.11DCF 两次成功发送数据分组之间的时间间隔<sup>[11]</sup>, 提出了一种动态的基于 RTS 门限调整方式的最小化两次分组成功发送时间间隔的算法.

基于分组单次成功发送持续的时间、单次碰撞持续的时间和当前信道的冲突概率, 本文给出了一种混合方式下最小化分组传输时间开销的最优 RTS 门限的计算方法. 基于该门限计算方法设计出一个自适应 RTS 门限的调整算法, 以便终端能够根据当前的网络环境计算当前信道的冲突概率, 从而计算出当前分组传送所对应的 RTS 门限并作出相应调整.

## 2 自适应 RTS 门限调整算法

在 802.11 无线局域网中, 通过设定 MAC 协议的 RTS 门限, 无线终端可以选择 RTS/CTS 或基本方式进行分组传送. 当数据分组长度小于 RTS 门限时, 采用基本方式传送; 当分组长度大于 RTS 门限时, 采用 RTS 方式传送, 因此 RTS 门限值设定适合与否将直接影响信道的传输效率. 现有 DCF 存在的问题是 RTS 门限被设置为常量而不能根据当前信道竞争强度的变化做相应调整, 这种固定设置将会增加分组传送时收发器的发送时间开销.

### 2.1 分组发送成功和失败的时间开销

设  $R$  是信道的数据速率,  $\delta$  是传播时延, 数据包载荷长度为  $L$  (Byte). 分析中假设信道是理想的, 所有失败的发送都是由于碰撞引起的, 由文献[5]中的式(14)和式(17)并考虑收发器的数据发送速率和 802.11DCF 的 PHY 头和 MAC 头长度, 可将 RTS 方式和基本方式的失败和成功发送过程的时间开销  $T$  表示如下

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{bas}}^{\text{suc}} = \text{PHY} + \text{DIFS} + \text{SIFS} + 2\delta + \\ \quad \frac{(\text{MAC} + 8L + \text{ACK})}{R} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{\text{bas}}^{\text{con}} = \text{PHY} + \text{DIFS} + \delta + \frac{(\text{MAC} + 8L)}{R} \\ T_{\text{rts}}^{\text{suc}} = \text{PHY} + \text{DIFS} + 3\text{SIFS} + 4\delta + \\ \quad \frac{(\text{MAC} + \text{RTS} + \text{CTS} + 8L + \text{ACK})}{R} \\ T_{\text{rts}}^{\text{con}} = \text{PHY} + \text{DIFS} + \delta + \frac{(\text{MAC} + \text{RTS})}{R} \end{array} \right. \quad (2)$$

其中,PHY 为 IEEE 802.11 中的 PLCP Header,共 192bit,传输速率保持 1Mbps,因此对应的时间为 192 $\mu$ s.下标 rts 表示 RTS/CTS 方式,下标 bas 表示基本方式,上标 suc 表示成功发送,上标 con 表示失败的发送.

## 2.2 混合方式网络的最佳 RTS 门限

设当前网络数据分组单次发送成功的概率为  $P_s$ ,冲突的概率为  $P_c = (1 - P_s)$ ,并假设  $P_s$  与  $P_c$  在短时间内(一个分组重传过程中)保持不变,设分组重传次数最大值为  $M$ ,则分组连续重传(冲突)  $m(0 \leq m \leq M)$  次后成功传送的概率为  $P_c^m P_s$ ,其对应的时间开销为  $T_s + mT_c$ ,分组连续  $M$  次传送失败的概率为  $P_c^M$ ,对应的时间开销为  $MT_c$ ,则单个数据分组传送的时间开销的期望值可表示为

$$T = P_s T_s + P_c P_s (T_s + T_c) + \dots + P_c^m P_s (T_s + mT_c) + \dots + P_c^{(M-1)} P_s (T_s + (M-1)T_c) + P_c^M M T_c =$$

$$L_{\text{opt}} = \frac{(PHY + DIFS + 3SIFS \cdot p_s + 4\delta - 3\delta \cdot p_c)R}{8(p_c + p_s \cdot p_c^{M_l} - p_c^{M_s})} \cdot (1 - p_c^{M_l}) + \frac{MAC + RTS + CTS + ACK - (CTS + ACK) \cdot p_c}{8(p_c + p_s \cdot p_c^{M_l} - p_c^{M_s})} (1 - p_c^{M_l}) - \frac{(PHY + DIFS + SIFS \cdot p_s + 2\delta - \delta \cdot p_c)R}{8(p_c + p_s \cdot p_c^{M_l} - p_c^{M_s})} (1 - p_c^{M_s}) - \frac{MAC + ACK \cdot p_s}{8(p_c + p_s \cdot p_c^{M_l} - p_c^{M_s})} (1 - p_c^{M_s}) \quad (5)$$

至此已经解出了最优 RTS 分组长度门限,由  $L_{\text{opt}}$  的表达式可知,其中的变量只有  $P_c$ ,而其它量均为 802.11 DCF 定义的常量,因此接下来的工作就是如何获取信道的冲突概率  $P_c$ .

## 2.3 分组发送成功和失败概率的估计

为了获得最佳的 RTS 门限  $L_{\text{opt}}$ ,首先需要估计当前网络数据分组单次发送的冲突概率  $P_c$ .为此,修改 802.11 DCF 的 RTS 和 DATA 分组:首先在分组头中增加一个布尔型变量 CI (Conflict Indication),用来标识本节点上一次传送是否冲突,当 CI 的值为 1 时表示上次传送冲突,反之当 CI 值为 0 时表示上次传送成功,CI 的初始值设为 0;其次在 DATA 分组头中增加一个布尔型传送方式变量 SI,用来表明本次发送采用的是 RTS 方式还是基本方式,当 SI 为 1 时表明用的是 RTS 方式,因此该 DATA 分组中的 CI 字段无效(因为冲突状态量 CI 已经被 RTS 分组传送并被其它节点用于冲突概率的预测)使其不会重复用于预测;当其 SI 为 0 时,表明该分组的传送方式为基本方式,因此 DATA 分组

$$P_c^M M T_c + \sum_{m=0}^{M-1} (P_c^m P_s (T_s + mT_c)) = P_c^M M T_c + P_s \left( T_s \frac{1 - P_c^M}{1 - P_c} + T_c \left( \frac{P_c - P_c^M}{(1 - P_c)^2} - \frac{M P_c^M}{1 - P_c} \right) \right) = \left( T_s + T_c \frac{P_c}{P_s} \right) (1 - P_c^M) \quad (3)$$

从而可以分别得到基本方式和 RTS 方式下单个比特传送的时间开销:

$$\begin{cases} T_{\text{bas}} = \frac{\left( T_{\text{bas}}^{\text{suc}} + \frac{P_c}{P_s} T_{\text{bas}}^{\text{con}} \right) (1 - P_c^{M_s})}{L} \\ T_{\text{rts}} = \frac{\left( T_{\text{rts}}^{\text{suc}} + \frac{P_c}{P_s} T_{\text{rts}}^{\text{con}} \right) (1 - P_c^{M_l})}{L} \end{cases} \quad (4)$$

其中,  $M_l$  表示 RTS 方式采用的长重传门限,  $M_s$  表示基本方式采用的短重传门限.

将式(1)和(2)代入式(4),并令  $T_{\text{rts}} = T_{\text{bas}}$ ,可解得最优的分组长度门限  $L_{\text{opt}}$ :

中的 CI 字段的值将用于冲突概率的预测.由于无线信道的广播特性,每个节点都会接收到其它节点传送的 RTS 或 DATA 分组(包括传给其它节点的分组),可以通过统计节点自己和其它节点的冲突状况,使用滑动平均或记忆加权预测等算法对当前数据分组发送的成功概率和冲突概率进行预测.

### 2.3.1 基于滑动平均的预测算法

每个节点维护一个长度为  $N$  的布尔型循环队列  $C$ ,设  $P$  为循环队列的指针.初始的时候  $P$  指向队列中的第一个位置 0.当收到的 RTS 分组中 CI 字段为 0 或 DATA 分组中 CI 字段为 0 且 SI 字段为 0 时,将  $P$  指针当前指向的单元的值设为 0,同时  $P$  指针加 1;当收到的 RTS 中 CI 字段为 1 或 DATA 分组中 CI 字段为 1 且 SI 字段为 0 时,将  $P$  指针当前指向的单元的值设为 1,然后将  $P$  指针加 1.当  $P$  的值为  $N-1$  时,由于我们采用的是长度为  $N$  的循环队列,新的修改将使  $P$  指针的值重新变为 0.当节点自己成功发送一个数据分组后,将  $P$  指针当前指向的单元的值设为 0,同时  $P$  指针加 1;当

节点自己发送分组冲突后,将  $P$  指针当前指向的单元的值设为 1,同时  $P$  指针加 1. 设  $C_i$  表示队列中的第  $i$  个元素,根据式(6)我们可以预测当前分组传送的冲突概率  $P_c$  和成功概率  $P_s$ .(假设信道是理想的,所有失败的发送都是由于碰撞引起).

$$P_c = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} C_i}{L_q} \quad (6)$$

### 2.3.2 基于记忆加权的预测算法

设  $C_i$  为一布尔型变量,当节点自己数据分组发送成功或收到其它节点发送数据分组成功(判决条件与上面描述的基于滑动平均的预测算法中采用的方法相同)的信息时  $C_i$  值设为 0,冲突时设为 1,  $P_c$  表示当前冲突概率的预测值. 设  $\alpha$  为记忆因子,  $\alpha \in [0, 1]$ , 则当前信道冲突概率  $P_c$  的递推公式可表示为

$$P_c = \alpha P_c + (1 - \alpha) C_i \quad (7)$$

记忆因子  $\alpha$  的取值对当前数据分组发送的成功概率和冲突概率的预测有着重要的影响,当  $\alpha$  的取值太小时,会造成最近一次数据发送成功或冲突对预测值的影响过大而使预测结果具有较多的偶然性,当  $\alpha$  的取值太大时,会造成所预测的  $P_c$  值不能及时反映当前网络的冲突状况,在本文中  $\alpha$  取 0.95(也可以采用其它经验值).

### 2.4 RTS 门限的自适应调整算法

基于最佳 RTS 门限的求解方法,可以设计出一个 RTS 门限的分布式调整算法,使得网络中各个终端能够自动调整其 RTS 门限到最佳值. 一般说来,在一定的信道速率  $R$  下,式(5)中各项的系数也就确定了. 一旦获得当前信道发送冲突的概率  $P_c$ ,从式(5)就可以得到最优 RTS 门限. 下面给出 RTS 门限分布式调整算法的详细说明.

1. 如果缓存队列有分组需要发送,或上次数据发送冲突但是还没有超过重传极限  $M$ ,则跳转到步 2;如果收到新的 RTS 或 DATA 分组(包括侦听到的发给其它节点的 RTS 或 DATA 分组),则跳转到步 7;否则系统一直处于等待状态;

2. 如果 DATA 分组中的数据长度大于上次计算的 RTS 门限值  $L_{opt}$ ,则采用 RTS 的传送方式,如果上次数据分组发送成功,则将 RTS 分组中的  $CI$  字段值设为 0,否则设为 1,并将接下来需要传送的 DATA 分组中的  $SI$  字段设置为 1;如果 DATA 分组中的数据长度小于上次计算的 RTS 门限值  $L_{opt}$ ,则采用基本方式传送数据,如果上次数据分组发送成功则将 DATA 分组中的  $CI$  字段值设为 0,否则设为 1,并将 DATA 分组中的  $SI$  设置为 0;

3. 按照现有 DCF 的退避机制安排本次数据发送,并在退避计数减为 0 时开始发送数据;

4. 如果本次传送成功,则将  $C_i$  值设为 0,否则  $C_i$  值设为 1;分组传送成功指明收到该分组的 ACK,分组传送失败则包括 CTS(对于 RTS 方式)和 ACK(对于 RTS 和基本方式)超时;

5. 通过式(7)对冲突概率  $P_c$  的值进行预测;

6. 通过式(5)计算新的 RTS 门限,并重新设定 DCF 的 RTS 门限  $L_{opt}$ ,然后转到步 1;

7. 提取收到的 RTS 或 DATA 分组中的  $CI$  和  $SI$  字段值,获得发送节点的  $C_i$  值. 如果 DATA 分组中的  $SI$  字段为 0 或收到的是 RTS 分组,则转到步 5;如果 DATA 分组中的  $SI$  字段为 1,则转到步 1.

## 3 仿真分析

仿真实验的软硬件环境为 Intel Pentium(R) 4 CPU 1.70GHz,512MB 内存,Windows XP SP2 操作系统的通用 PC 机,选择 OPNET 10.5 作为无线局域网仿真工具(OPNET 10.5 支持 802.11a, 802.11b 和 802.11g 的仿真). 网络场景大小为  $250\text{m} \times 250\text{m}$  的矩形区域,节点的无线传播时延  $\delta$  为  $1\mu\text{s}$ ,节点无线传输距离为 300m,网络中的每个节点均为数据业务源,目的地址随机确定. 分别对 IEEE 802.11b(数据速率 1Mbps,2Mbps,5.5Mbps 和 11Mbps)和 IEEE 802.11g(数据速率 12Mbps,24Mbps,48Mbps 和 54Mbps) 8 种情况进行仿真. 对于所提出的自适应 RTS 门限调整算法,采用基于记忆加权的预测算法对冲突概率  $P_c$  进行预测,  $\alpha$  取 0.95. 由于 802.11a 的无线传输距离大大小于 802.11b 和 802.11g,因此本文没有专门针对 802.11a 进行仿真.

图 3~6 对 IEEE 802.11b 进行了仿真. 在图 3 中,数据速率为 1Mbps,分组产生间隔服从参数为 0.1s 的指数分布,分组长度服从参数为 1024Byte 的指数分布. 图 4 中,数据速率为 2Mbps,分组产生间隔服从参数为 0.1s 的指数分布,分组长度服从参数为 1024Byte 的指数分布. 图 5 中,数据速率为 5.5Mbps,分组产生间隔服从参数为 0.05s 的指数分布,分组长度服从参数为 2048Byte 的指数分布. 图 6 中,数据速率为 11Mbps,分组产生间隔服从参数为 0.05s 的指数分布,分组长度服从参数为 3072Byte 的指数分布. 图 7~10 是对 IEEE 802.11g 数据速率分别为 12Mbps,24Mbps,48Mbps 和 54Mbps 的 4 种情况进行仿真的结果. 分组产生间隔均服从参数为 0.02s 的指数分布,分组长度均服从参数为 2048Byte 的指数分布.

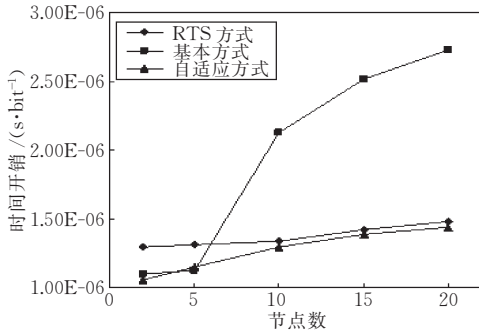


图 3 802.11b 数据速率为 1Mbps

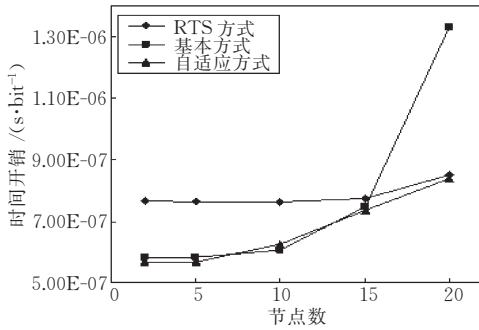


图 4 802.11b 数据速率为 2Mbps

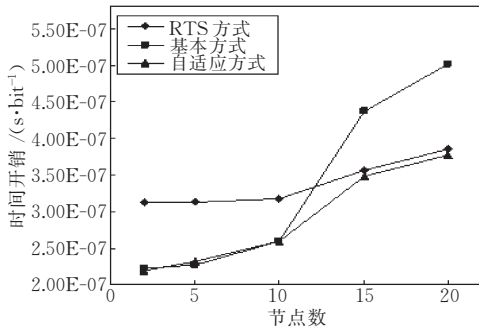


图 5 802.11b 数据速率为 5.5Mbps

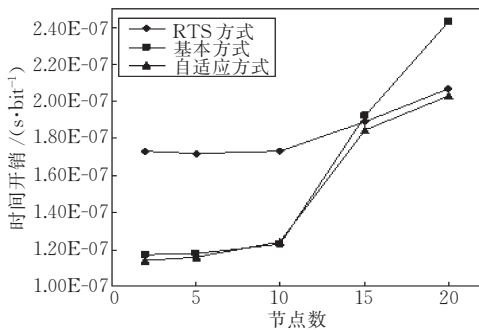


图 6 802.11b 数据速率为 11Mbps

图 3 表明,对于 IEEE 802.11b(1Mbps),当参与竞争的节点数少于 6 时,单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式;当参与竞争的节点数大于 6 时,RTS 方式的时间开销大于基本方式.自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 6 时与基本方式保持一致;当

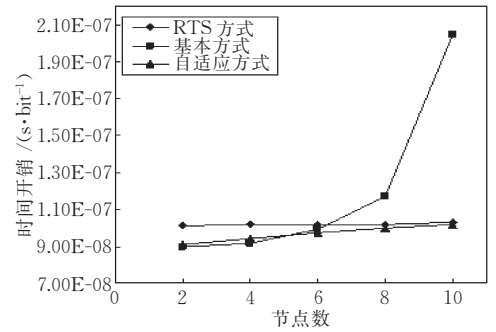


图 7 802.11g 数据速率为 12Mbps

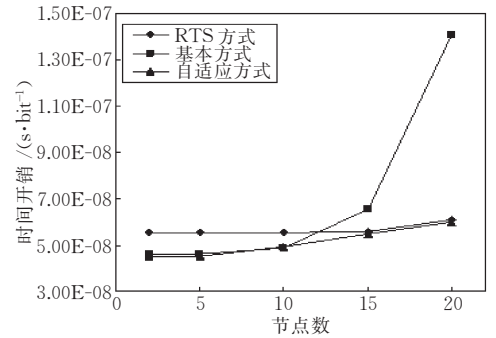


图 8 802.11g 数据速率为 24Mbps

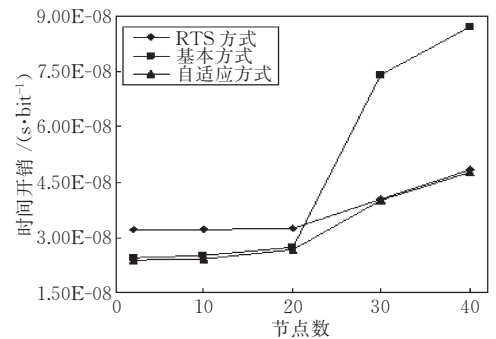


图 9 802.11g 数据速率为 48Mbps

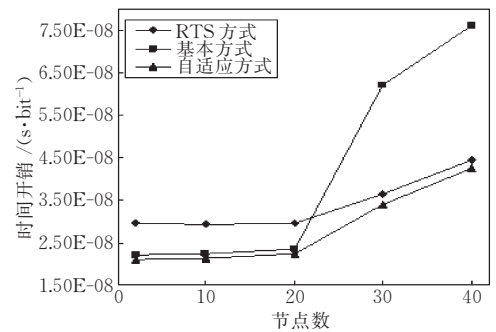


图 10 802.11g 数据速率为 54Mbps

竞争节点数大于 6 时,自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致.

图 4 表明,对于 IEEE 802.11b(2Mbps),当参与竞争的节点数少于 15 时,单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式;当参与竞争的节点数大于 15 时,RTS 方式的时间开销大

于基本方式, 自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 15 时与基本方式保持一致, 而当竞争节点数大于 15 时, 自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致。

图 5 表明, 对于 IEEE 802.11b(5.5Mbps), 当参与竞争的节点数少于 12 时, 单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式; 当参与竞争的节点数大于 12 时, RTS 方式的时间开销大于基本方式, 自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 12 时与基本方式保持一致, 而当竞争节点数大于 12 时, 自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致。

图 6 表明, 对于 IEEE 802.11b(11Mbps), 当参与竞争的节点数少于 15 时, 单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式; 当参与竞争的节点数大于 15 时, RTS 方式的时间开销大于基本方式, 自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 15 时与基本方式保持一致, 而当竞争节点数大于 15 时, 自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致。

图 7 表明, 对于 IEEE 802.11g(12Mbps), 当参与竞争的节点数少于 6 时, 单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式; 当参与竞争的节点数大于 6 时, RTS 方式的时间开销大于基本方式, 自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 6 时与基本方式保持一致, 而当竞争节点数大于 6 时, 自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致。

图 8 表明, 对于 IEEE 802.11g(24Mbps), 当参与竞争的节点数少于 12 时, 单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式; 当参与竞争的节点数大于 12 时, RTS 方式的时间开销大于基本方式, 自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 12 时与基本方式保持一致, 而当竞争节点数大于 12 时, 自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致。

图 9 表明, 对于 IEEE 802.11g(48Mbps), 当参与竞争的节点数少于 21 时, 单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式; 当参与竞争的节点数大于 21 时, RTS 方式的时间开销大于基本方式, 自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 21 时与基本方式保持一致, 而当竞争节点数大于 21 时, 自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致。

图 10 表明, 对于 IEEE 802.11g(54Mbps), 当参与竞争的节点数少于 22 时, 单纯的 RTS 方式成功传送 1bit 所需要的时间开销大于基本方式; 当参与竞争的节点数大于 22 时, RTS 方式的时间开销大于基本方式, 自适应方式成功传送 1bit 所需要的时间开销在竞争节点数小于 22 时与基本方式保持一致, 而当竞争节点数大于 22 时, 自适应方式的时间开销与 RTS 方式保持一致。

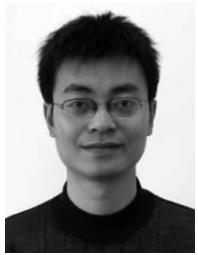
## 4 结 论

本文基于分组单次成功发送持续的时间、单次碰撞持续的时间和当前信道冲突概率, 给出了以最小化分组传输时间开销为优化目标的最优 RTS 门限的计算公式, 通过估计当前信道数据分组发送的冲突概率  $P_c$  实现了最优 RTS 门限的计算, 基于最优 RTS 门限的计算方法设计出了一个分布式自适应 RTS 门限的调整算法, 仿真结果验证了本文的理论分析和 RTS 门限调整算法的正确性, 从成功传送单个比特所需的平均时间代价来看, 无论是在 802.11b 还是 802.11g 局域网仿真场景中, 自适应门限调整方式都明显优于单纯的 RTS 方式或基本方式, 因此本文所介绍的自适应 RTS 门限调整算法能够有效优化现有无线局域网标准 802.11b/g 的传输性能。

## 参 考 文 献

- [1] IEEE Std 802.11-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, 1999
- [2] IEEE Std 802.11b-1999, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band, 1999
- [3] IEEE Std 802.11a-2000, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, Amendment 1: High-speed Physical Layer in the 5GHz band, 2000
- [4] IEEE Std 802.11g-2003, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification, Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4GHz Band, 2003
- [5] Binachi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 2000, 18(3): 535-547

- [6] Tay Y C, Chua K C. A Capacity Analysis for the IEEE 802.11 MAC Protocol. *Wireless Networks*, 2001, 7(2): 159-171
- [7] Wu H-T, Lin Y, Cheng S-D, Peng Y, Long K-P. IEEE 802.11 distributed coordination function (DCF): Analysis and enhancement. *Journal of Computer Science and Technology*, 2003, 18(5): 607-614
- [8] Yan Shao-Hu, Zhuo Yong-Ning, Wu Shi-Qi, Guo Wei. RTS threshold adjustment algorithm to optimize throughput of 802.11 DCF. *Systems Engineering and Electronics*, 2004, 26(9): 1172-1175 (in Chinese)  
(严少虎, 卓永宁, 吴诗其, 郭伟. 802.11DCF 中优化吞吐率的 RTS 门限调整算法. *系统工程与电子技术*, 2004, 26(9): 1172-1175)
- [9] Li Y, Long K-P, Zhao W-L, Wang C-G. Analyzing the channel access delay of IEEE 802.11 DCF//*Proceedings of the 48th annual IEEE Global Telecommunications Conference (IEEE GLOBECOM' 2005)*. St. Louis, Missouri USA, 2005: 2997-3001
- [10] Wang G-H, Shu Y-T, Zhang L, Yang O W W. Delay analysis of the IEEE 802.11 DCF//*Proceedings of the 14th IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. Beijing, China, 2003: 1737-1741
- [11] Zhang L, Shu Y-T. RTS threshold self-tuning algorithm based on delay analysis on 802.11 DCF//*Proceedings of the International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WCNM 2005)*. Wuhan, China, 2005: 627-630



**LIU Jun**, born in 1973, Ph.D. candidate. His research interests include MAC protocol and routing algorithms in wireless self-organizing networks.

**GUO Wei**, born in 1964, professor. His research inter-

ests include mobile communication networks, spread spectrum communication, signal and information process.

**HUANG Fei**, born in 1973, Ph.D. candidate. His research interests include wireless resource management and packets schedule in wireless networks.

**XIAO Bai-Long**, born in 1973, Ph.D. candidate. His research interests include networking and routing algorithms in Ad-Hoc networks.

## Background

With the development of wireless communication technology and the increasing requirement of personal mobile communication, the wireless LAN, as a necessary supplement of wireless communication, attracts researchers more and more attention. IEEE 802.11 work group focuses mainly on the standardization of WLAN. WLAN media access control standard and physical layer standard have been put forward at present. Because of the broadcast feature of wireless channel, the media access control standards have great different between the wired network and the wireless network.

In 802.11, DCF is the basic access mode, and provides the asynchronism transmission of data on best effort manner. DCF employs a Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) access scheme using binary exponential backoff. DCF has two access modes. The basic access mode is default. After the source node transmitted a data packet, only the reception of the ACK from the destination node could indicate a successful transmission. DCF also provides a RTS/CTS based access mode. Before transmits the data packet, the source node adopts RTS/CTS handshake to catch the channel, and the destination node releases the channel after transmitted ACK. Because RTS/CTS message is very short, RTS/CTS access mode could decrease the time delay of a conflict process, and it could greatly enhance the access delay performance when data packets are long. Nodes

can work on mixture mode, which means RTS/CTS mode is adopted if the data packet of length is greater than RTS threshold, and basic mode is adopted if the data packet of length is less than or equal to RTS threshold. Moreover, the RTS/CTS reservation scheme is utilized to combat the hidden station problem.

Based on the time overhead of packet transmission and the current successful packet transmission probability, this paper provides a formula of the optimal RTS threshold aimed at minimizing the time overhead in packet transmission and promoting the channel's transmission efficiency, and gets the optimal value of current RTS threshold by estimating the successful packet transmission probability. A distributed adaptive RTS threshold adjustment algorithm is put forward based on the optimal RTS threshold calculated. Compared with RTS method or basic method, the adaptive RTS threshold adjustment algorithm greatly lowered the time overhead in packet transmission.

This work was supported in part by the Natural Science Foundation of China under grant No.60472052 and No.10577007, by the Program for New Century Excellent Talents in University under China's Ministry of Education (2004), and by the National Key Laboratory of Communication, UESTC under the grant No.51434020105ZS04.