

## 无线网络中基于优先级竞争的协作媒质接入控制协议研究

刘云, 刘凯, 曾峰

(北京航空航天大学 电子信息工程学院, 北京 100191)

**摘 要:** 提出了一种适于无线网络的基于优先级竞争的协作媒质接入控制 (PBC-CMAC) 协议。该协议首先由源节点根据本地中继信息表选择 2 个最佳候选中继节点, 以反映缩短传输时间程度的中继效率值区分优先级, 并在 CRTS 分组中宣布。被选择的候选节点通过侦听源节点与目的节点交换的控制分组, 可得到即时的相关速率信息, 并结合自身优先级无冲突竞争成为最终的中继节点。该协议可以从所有可能的中继节点中快速、无冲突地选择出适于当前信道质量状态的最佳中继节点进行协作传输, 提高了中继节点选择的成功率和协作效率, 改善了网络接入性能。仿真结果表明, 与 IEEE 802.11 RTS/CTS 和 CoopMAC 协议相比, PBC-CMAC 协议有效提高了无线网络的多址性能。

**关键词:** 无线网络; 协作媒质接入控制; 协作通信; 多速率

中图分类号: TN915.04

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2011)08-0183-08

## Study on a cooperative MAC protocol with priority-based contention for wireless networks

LIU Yun, LIU Kai, ZENG Feng

(School of Electronics and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** A cooperative medium access control protocol with priority-based contention (PBC-CMAC) was presented for wireless networks. In the protocol, a source node preselected two optimal relays from its local relay information table, and set their priorities in cooperative request-to-send (CRTS) packet based on the relay efficiency, which reflects the degree of its saved transmission time. Through overhearing the handshakes between the source node and destination node, the two candidate relays can obtain instantaneous transmission rate among source node, destination node and themselves, and then contend to be the final relay without contention collisions according to their priorities and rate information. The proposed protocol can rapidly select the optimal relay to cooperatively transmit data packets under current channel quality without contention collisions from all the potential relays, increase the successful probability of relay selection and cooperation efficiency, and then improve multiple access performance. Simulation results show that the proposed protocol outperforms IEEE 802.11 request-to-send/clear-to-send (RTS/CTS) and CoopMAC protocols.

**Key words:** wireless network; cooperative medium access control; cooperative communication; multiple rates

收稿日期: 2010-12-09; 修回日期: 2011-04-06

**基金项目:** 国家创新研究群体科学基金资助项目 (60921001); 国家自然科学基金资助项目 (60933012); 国家科技重大专项基金资助项目 (2009ZX03006-001-003); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目 (YWF-10-01-A16); 北京航空航天大学“蓝天新星”计划基金资助项目 (221235)

**Foundation Items:** The Foundation for Innovative Research Groups of NSFC (60921001); The National Natural Science Foundation of China (60933012); The National Science and Technology Major Project of China (2009ZX03006-001-003); The Fundamental Research Funds for the Central Universities (YWF-10-01-A16); The NSBS Program of Beihang University (221235)

## 1 引言

随着无线网络的迅速发展, 带宽受限问题越发突出, 大量多媒体业务(语音、视频及数据)的传输对无线链路提出了更高的速率要求, 合理设计媒质接入控制(MAC)协议在一定程度上可以满足这个要求<sup>[1]</sup>。由于受到无线链路特性(路径损耗与信道衰落)的影响, 信号接收质量会大大低于有线信道中的接收质量。为了尽可能提高无线网络的信号接收质量, 提出了各种抗干扰、抗噪声的无线通信技术, 比如多输入多输出(MIMO)系统。MIMO利用多天线技术得到空间分集, 能够极大地提高信号质量, 不过, 无线网络中的移动用户终端体积、尺寸较小, 因此应用多天线技术十分困难。

协作通信技术运用了 MIMO 的思想, 通过分布在不同节点上的天线形成虚拟天线阵列(VAA)以达到 MIMO 分集效果<sup>[2]</sup>。主要思路是: 利用无线信道的广播特性, 即节点在无线信道的传输可以被周围一定范围内的节点侦听到, 通过接收其他节点转发的分组副本, 可以在接收节点处实现分集, 从而改善吞吐量、时延等网络性能。

协作通信最初是基于物理层提出的, 因此大量工作主要集中在物理层方面的研究, 有关协作 MAC 协议的研究近几年才开始兴起<sup>[2,3]</sup>。已有研究表明, 如果高层协议没有合理设计, 那么物理层得到的协作增益不会起到应有的作用<sup>[3]</sup>。MAC 层在协议栈中与物理层相邻, 因此, 协作 MAC 的设计是开发协作增益的关键。

协作伙伴(partner 或 helper)或中继(relay)选择是协作 MAC 设计需要考虑的重要问题<sup>[3,4]</sup>。目前的协作 MAC 协议主要是在已有 MAC 协议上嵌入协作分集, 即基于某种协作分集原则选择中继节点, 并从多个候选中继节点中选择出一个或多个进行协作, 典型协议有基于 IEEE 802.11 的分布式协调功能(DCF)<sup>[5]</sup>所提出的 CoopMAC<sup>[6]</sup>和 rDCF<sup>[7]</sup>协议。这 2 个协议都是通过一个中继节点以高传输速率转发数据分组来增加整体传输速率, 以此减弱低传输速率节点对传输性能的不利影响。具体做法是: 先通过侦听的历史记录选择一个最佳的候选中继节点, 然后通过三方握手过程完成中继节点的确认与信道预约。在没有候选中继节点可供选择或者候选中继节点不能协作时, 二者都可以以类似 IEEE 802.11 的方式工作在非协作模式。不同之处在于

CoopMAC 协议是由被选择的中继节点根据自己所获得的速率信息判断是否进行协作, 而 rDCF 协议是由接收节点根据被选择的中继节点在其所发送的 RRTS2 中附带的协作速率信息做出判决。

文献[3]中提出了一种多中继节点竞争的分布式协作 MAC, 其中设计了一种新的中继节点选择方法, 源节点和目的节点交换请求发送/清除发送(RTS/CTS)控制分组后, 所有可能的中继节点发送协作指示(HI)分组并按照高质量中继退避更短的原则随机退避一段时间后发送准备协作(RTH)分组, 质量越好的中继节点退避时间越短, 则更早竞争成功, 成为最终的中继节点。CoopMACA<sup>[8]</sup>协议采用分组聚合/级联的方式来减小竞争碰撞、降低控制开销, 其利用候选中继节点发送干扰(jamming)信号区分带分组聚合中继和无分组聚合中继, 进而利用在 3 个时隙上进行先后发送来区分高速至低速的中继协作发送, 然后相同级别的中继节点再竞争中继权。

协作 MAC 协议也可以利用忙音来完成中继节点的选择, 如文献[9]利用长忙音和短忙音把候选中继节点分成高质量和低质量两组, 即高质量候选中继节点因为发送长忙音后不会侦听到其他低质量中继节点所发送的短忙音, 然后高质量候选中继节点在多个微时隙中随机选择一个发送 RRTS 分组来竞争中继权。协作三重忙音多址(CTBTMA)协议<sup>[10]</sup>通过在额外的忙音信道上发送发忙音、协作忙音和收忙音来解决协作模式下的碰撞问题以及最佳中继节点选择问题。

从上述协作 MAC 协议可知, 基于历史记录的信息选择中继节点存在信息过期失效的问题, 从而造成选择的中继节点不是最佳中继节点; 另外, 采用所有可能的中继节点竞争的方法会由于竞争节点过多而增加碰撞概率和竞争接入时延, 竞争成功的中继节点也不能保证是最佳的。针对这些问题, 本文提出了一种基于优先级竞争的协作 MAC(PBC-CMAC)协议。源节点首先根据侦听的历史信息选择 2 个最佳候选中继节点, 并区分优先级, 在源节点与目的节点交互控制分组之后, 候选中继节点根据竞争策略决定是否发送 RTH 分组来竞争成为最终的中继节点。源节点、目的节点和中继节点完成三方握手后, 中继节点将源节点的数据分组转发给目的节点, 从而完成整个数据分组发送过程。

## 2 网络模型

本文以典型无线局域网 (WLAN) 为例来介绍 PBC-CMAC 协议。如图 1 所示, 网络中的所有节点均匀分布在以接入点 (AP) 为圆心的圆内。每个节点都只有一部半双工收发机, 并且以固定功率发送所有分组 (包括控制分组和数据分组)。网络中的所有节点共享一个无线信道, 所有的控制分组和数据分组传输都在这个信道上完成, 假设节点之间的信道是完全对称的。

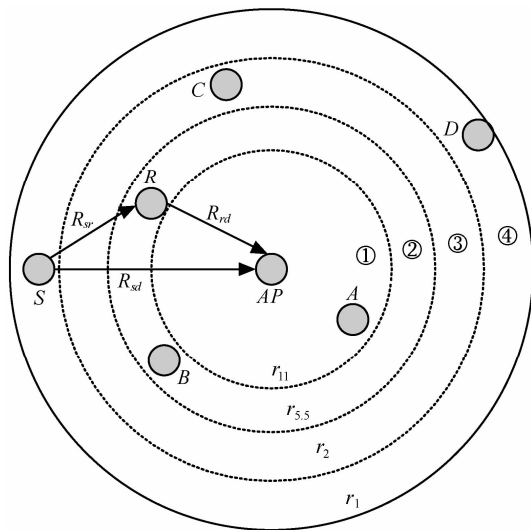


图 1 网络模型

网络支持多种速率 (如 1Mbit/s、2Mbit/s、5.5Mbit/s 和 11Mbit/s) 传输, 节点以不同传输速率向 AP 发送数据分组, 以基本传输速率 (本文设定为 1Mbit/s) 发送 RTS、CTS、确认 (ACK) 等控制分组。节点的发送速率取决于该节点与接入点 AP 的距离, 假设传输速率 1Mbit/s、2Mbit/s、5.5Mbit/s 和 11Mbit/s 对应的距离阈值分别为  $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_{5.5}$  和  $r_{11}$ , 则按照这些阈值可将节点的通信范围划分为 4 个区域。如图 1 所示, 区域①、②、③、④中的节点与 AP 间的传输速率分别为 11Mbit/s、5.5Mbit/s、2Mbit/s、1Mbit/s。区域①、②中的节点定义为高传输速率节点, 如节点 A 和 B; 区域③、④中的节点定义为低传输速率节点, 如节点 C 和 D。

## 3 PBC-CMAC 协议

本文基于高速率两跳传输代替低速率一跳传输的思想<sup>[6]</sup>提出了 PBC-CMAC 协议, 该协议在 IEEE 802.11 DCF 的基础上采用主动协作机制, 即

源节点总是尝试寻找 2 个高速率中继节点完成高速率两跳传输, 以提高传输速率。例如, 图 1 中处于低速率区域④的节点 S 为了减少传输所耗时间, 需要高速率的中继节点 (如节点 R) 进行协作传输。其中,  $R_{sr}$ 、 $R_{rd}$ 、 $R_{sd}$  分别代表源节点与中继节点、中继节点与目的节点、源节点与目的节点之间的传输速率。

另外, PBC-CMAC 协议中, 源节点首先根据侦听的历史信息选择 2 个最佳候选中继节点, 候选中继节点再根据源节点与目的节点交换控制分组后所获得的即时传输速率信息来决定由谁发送 RTH 分组而成为最终的中继节点, 从而可以从所有可能的中继节点中快速、无冲突地选择出适于当前信道质量状态的最佳中继节点进行协作传输, 提高了中继节点选择的成功率和协作效率, 改善了网络接入性能。

### 3.1 中继节点信息表

PBC-CMAC 协议存在候选中继节点的预先选择问题, 因此每个节点需要维护一个中继节点信息表, 以便保存选择判决所需的信息。

由于无线通信的广播特性, 节点的发送都可以被邻节点侦听到。因此, 节点通过侦听邻节点正在进行的控制分组交换或自己成功进行的协作数据分组发送来建立自己的中继信息表 (具体内容如表 1 所示), 并在每次侦听或成功数据分组发送后更新相应内容。例如, 当中继节点 R 与目的节点进行通信时, 源节点 S 因为同处于节点 R 和目的节点 AP 的通信范围, 可以侦听到二者所发送的控制分组和数据分组。

表 1 中继节点信息				
MAC 地址 (48bit)	$R_{sr}$ (2bit)	$R_{rd}$ (2bit)	中继效率 $U_r$	连续失败次数(3bit)
中继节点 1	中继节点 1 与源节点间的速率等级	中继节点 1 与目的节点间的速率等级	节省时间程度	连续失败次数
...	...	...	...	...
中继节点 n	中继节点 n 与源节点间的速率等级	中继节点 n 与目的节点间的速率等级	节省时间程度	连续失败次数

节点 S 通过侦听节点 R 和目的节点之间传输的分组信息来获得  $R_{sr}$ 、 $R_{sd}$  和  $R_{rd}$  的具体方法是: 当侦听到来自节点 R 发送的分组时, 节点 S 可以通过测量接收到的信号强度来估计它与节点 R 之间的信道

状态和所能支持的最高传输速率  $R_{sr}$ 。同理，节点  $S$  也可以使用相同的方法来估计其与目的节点之间可支持的最高传输速率  $R_{sd}$ 。节点  $R$  向  $AP$  发送数据分组时，节点  $S$  在一定范围内可以正确解码该分组，因而可以从 PLCP (physical layer convergence procedure) 中提取相应的速率信息，即  $R_{rd}$ 。

节点  $S$  在获取两两之间的传输速率  $R_{sr}$ 、 $R_{sd}$  和  $R_{rd}$  之后，可以根据式 (1) 计算得到中继效率  $U_r$ ，即通过节点  $R$  完成两跳传输比直接传输节省时间。

$$U_r = \left\{ \frac{L_{PKT}}{R_{sd}} - \left( \frac{L_{PKT}}{R_{sr}} + \frac{L_{PKT}}{R_{rd}} + T_{PLCP} + T_{RTH} + T_{CTR} + 3SIFS \right) \right\} / \left( \frac{L_{PKT}}{R_{sd}} \right) \quad (1)$$

其中， $L_{PKT}$  表示数据分组长度， $T_{PLCP}$ 、 $T_{RTH}$ 、 $T_{CTR}$  分别表示中继节点转发数据分组引入的物理层头、RTH 分组、确认中继 (CTR) 分组的额外发送时间，SIFS 即 IEEE 802.11 中的短帧间间隔。如果可以缩短传输时间 (即中继效率大于零)，则节点  $R$  可以作为节点  $S$  的候选中继节点，并在中继节点信息表中记录相关信息。本文暂只考虑 4 种传输速率，因此可以用 2bit 来表示速率等级；若考虑  $M$  种可能的速率，则可以使用  $\lceil \lg M \rceil$  bit 表示传输速率等级，其中  $\lceil \cdot \rceil$  表示大于或等于此数的最小整数。

### 3.2 协议描述

当源节点  $S$  有数据分组发送时，首先需要侦听信道以获悉信道状态。如果信道忙，即有其他节点正在信道上发送分组，那么源节点需要等待信道空闲。信

道空闲了分布式帧间隔 (DIFS) 时间后，源节点  $S$  再随机退避若干微时隙 (具体退避方法同 IEEE 802.11 DCF 方式)，若在此时间内仍空闲，则开始发送控制分组 CRTS (cooperative RTS) 竞争使用信道。

PBC-CMAC 协议采取主动协作，即源节点  $S$  在信道上开始发送 CRTS 分组之前需要从中继信息表中选择 2 个候选中继节点，并在所发送的 CRTS 分组中指明这 2 个节点的地址和相应的  $R_{sr}$ 、 $R_{rd}$  速率等级。具体做法是：源节点  $S$  根据自己的中继信息表，从中选择中继效率最大的 2 个中继节点。如果中继效率值相等，则选择最近更新，且连续失败次数最少的节点。若中继信息表中只有一个可选的中继节点，则源节点  $S$  只选择这一个节点。若中继信息表中不存在可选中继节点，则源节点  $S$  在这种情况下采用直接传输模式，即采用 IEEE 802.11 DCF 方式。

一旦选择得到初步的最佳中继节点，源节点  $S$  就发起协作传输。下面分别介绍协作模式下源节点、中继节点和目的节点的具体工作过程，PBC-CMAC 协议的时序图如图 2 所示。

#### 1) 源节点。

当缓存队列中有数据分组等待发送时，源节点等待信道空闲 DIFS 时间后再随机退避一段时间，若在此时间内仍空闲，则尝试竞争信道。源节点若能选择到候选中继节点，则发送 CRTS 分组以发起一次协作传输。CRTS 分组中的中继 1、2 字段用来保存所选择的候选中继节点，并通过发送 CRTS 分组向候选中继宣告。有以下 3 种情况。

① 如果源节点没有收到 CCTS (cooperative CTS) 或者 CTR 分组，则继续进入随机退避过程。

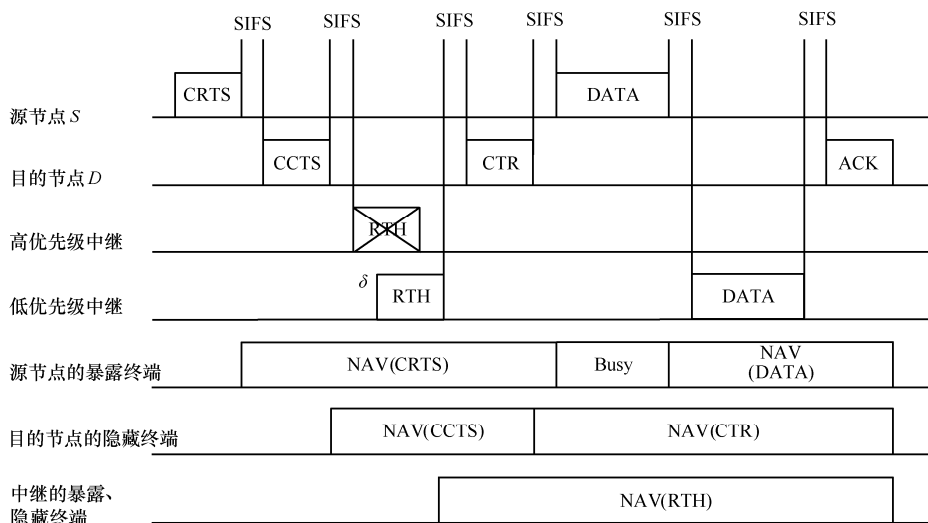


图 2 RCF-CMAC 协议的时序图

② 如果收到 CCTS 和 CTR 分组,但是没有收到任何 RTH 分组,则直接向目的节点发送数据分组,数据发送速率已在 CCTS 分组中由目的节点反馈。

③ 如果 CCTS、RTH、CTR 分组都被正确收到,那么源节点可以利用中继节点完成协作传输,开始发送数据分组并等待接收 ACK 分组,所用的数据速率  $R_{sr}$  在 RTH 分组中给出。如果源节点收到目的节点回复的 ACK 分组,那么本次数据分组发送成功;否则发送失败,源节点需要退避后重发。

2) 中继节点。

如果被选择的候选中继节点正确接收了源节点的 CRTS 分组和目的节点的 CCTS 分组,那么就可以根据中继效率的计算式(1)判断自己是否满足条件,中继效率大于 0 则满足条件。需要注意的是,  $R_{sr}$ 、 $R_{rd}$  是通过 CRTS 和 CCTS 的接收功率来估计的,而  $R_{sd}$  是从 CCTS 分组中相应字段提取的。显然,候选中继节点获得的传输速率信息是即时的,从而消除了 CoopMAC 协议中存在历史信息过时的影响。高优先级的候选中继节点若满足条件,并且即时得到的  $R_{sr}$  和  $R_{rd}$  值优于 CRTS 分组中指定的  $R_{sr}$  和  $R_{rd}$  速率(即前两者倒数之和小于或等于后两者倒数之和),则立即发送 RTH 分组。而低优先级的候选中继节点必须满足条件且在可区分的  $\delta$  时间内没有侦听到 RTH 分组时才发送 RTH 分组。

当中继节点收到来自源节点的数据分组后,立即以速率  $R_{rd}$  转发给目的节点。中继节点若收到 ACK 分组,则表明这次传输成功,从缓存队列中删除该数据分组;否则重发数据分组直至成功。

3) 目的节点。

若目的节点正确收到 CRTS 分组,则立刻回复 CCTS 分组,并在其中反馈所估算的  $R_{sd}$ 。

其后,若正确接收到 RTH 分组,目的节点发送 CTR 分组,其中的 Duration 值设置为协作传输所需的时间。如果没有侦听到任何 RTH 分组发送,目的节点则立即发送 CTR 分组,其中 Duration 值设置为源节点直接传输所需的时间。

当正确收到数据分组时,目的节点回复 ACK 分组;否则发送 NACK 分组。

4) 分组帧格式及网络分配矢量 (NAV)。

PBC-CMAC 协议中所采用的 CRTS、CCTS、CTR、RTH 分组的帧格式如图 3 所示。分组中的 Duration 值表示节点将占用的信道时间, RA、TA

分别为接收、发送地址, Relay 1、Relay 2 为 2 个预选中继节点的地址, FCS 为帧检验序列。PBC-CMAC 协议利用 Duration 值设置 NAV, 具体设置如图 2 所示, 其中, NAV (CRTS) 表示收到 CRTS 分组的节点所需要退避的时间。由于只考虑 4 种速率, 所以分组中的速率可用 2bit 表示其等级。

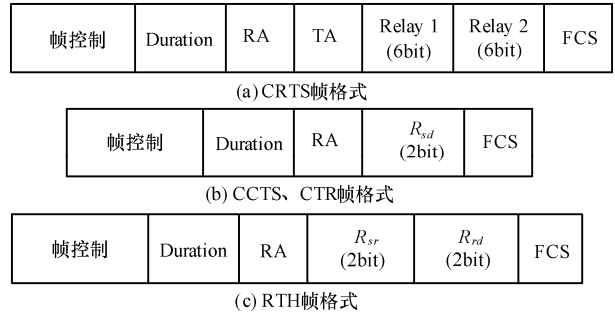


图 3 帧格式

以上讨论的是协作模式下的 PBC-CMAC 协议, 若源节点没有候选中继节点可供选择, 那么 PBC-CMAC 协议就工作在直传模式。因此, PBC-CMAC 协议可以根据中继信息表情况在直传模式和协作模式间切换。

4 性能评估

4.1 仿真环境

本文针对典型 WLAN 进行仿真, 25 个节点分布在以 AP 为圆心、半径为 100m 的圆内。为了便于比较, 本文采用的传输速率和传输范围的对应情况与 CoopMAC 一致, 如表 2 所示(当路径损耗因子为 3、误比特率大于  $10^{-5}$  时的情况)<sup>[6]</sup>。表 3 列出了仿真中使用的主要参数, 即典型 IEEE 802.11b 的参数。每个节点的分组产生都服从相同参数的泊松分布, 且分组长度固定。节点的缓存长度设置为 100。为了充分体现多址性能, 仿真中只考虑 MAC 层中由于分组碰撞所造成的传输失败, 而不考虑物理层上由于传输过程中的信道错误而造成的分组传输失败。

表 2 传输速率与传输范围的关系

传输速率 / (Mbit·s <sup>-1</sup> )	范围/m
11	48.2
5.5	67.1
2	74.7
1	100

表 3 仿真参数

类型	大小
MAC 帧头	272bit
PHY 头	192bit
RTS	352bit
CTR/CTS/ACK	304bit
CRTS	448bit
CCTS	306bit
RTH	308bit
退避微时隙	20μs
SIFS	10μs
DIFS	50μs
δ	5μs

4.2 性能指标

本文采用吞吐量  $S_{\text{PTK}}$ 、平均分组时延  $D_{\text{PTK}}$  和分组丢弃率  $P_{\text{drop}}$  来评估多址性能。吞吐量定义为节点平均每秒成功发送的数据分组比特数，平均分组时延定义为数据分组从产生到发送或丢弃的平均时间间隔，分组丢弃率定义为丢弃的数据分组数占数据分组总数的比率。三者可用下式表示：

$$S_{\text{PTK}} = \frac{L_{\text{PKT}} N_S}{t_{\text{sim}}} \tag{2}$$

$$D_{\text{PTK}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_S+N_D} D_i}{N_S + N_D} \tag{3}$$

$$P_{\text{drop}} = \frac{N_D}{N_S + N_D} \tag{4}$$

其中， $L_{\text{PKT}}$  表示数据分组的长度， $N_S$  表示所有成功发送的数据分组数目， $t_{\text{sim}}$  表示仿真总时间， $D_i$  表示数据分组  $i$  的时延， $N_D$  表示丢弃的数据分组数目。

4.3 性能比较

图 4 给出了 PBC-CMAC 与 RTS/CTS、CoopMAC 协议在不同业务量下吞吐量的仿真结果，其中  $L_{\text{PKT}}=1\text{kbyte}$ 。由于 PBC-CMAC、CoopMAC 协议利用中继节点来提高传输速率，因此比 RTS/CTS 协议可以达到更高的吞吐量。与 CoopMAC 协议相比，PBC-CMAC 协议可以获得更高的吞吐量。这是因为：①PBC-CMAC 协议尽可能预先选择出 2 个最佳候选中继节点，同时，低优先级中继节点在高优先级中继节点因为信道质量动态变化而不适合作为最佳中继节点时可以尽快接替它发送 RTH 分组，

这大大增加了成功选择到最佳中继节点进行协作传输的概率；②CoopMAC 协议中目的节点在中继节点发送 RTH 分组后才发送 CTS 分组，而 PBC-CMAC 协议中目的节点在源节点发送 CRTS 分组后就回复 CCTS 分组，因此，PBC-CMAC 协议可以由收发双方更早地向网络中所有节点宣告信道即将被占用的情况，其他节点从而退避相应时间以避免冲突，即 PBC-CMAC 协议由于隐藏终端所造成的预约碰撞概率要比 CoopMAC 的小。此外，PBC-CMAC 协议采用区分优先级的无冲突协作接入策略，2 个预选最佳候选中继节点可以在尽可能短的时间内根据动态信道质量情况选择出实际最佳的中继节点发送 RTH 分组参与协作，避免了多个中继节点竞争出一个时可能发生的竞争碰撞，从而有效控制了协作时的额外信道开销和时延。

PBC-CMAC 协议对多址性能的改善也体现在平均分组时延和分组丢弃率上，如图 5 和图 6 所示。当网络吞吐量得到提高后，即在相同时间内可以成功传输更多的数据分组，分组丢弃率也就相应下降，并且每个分组的平均等待时间也可以大大减小。

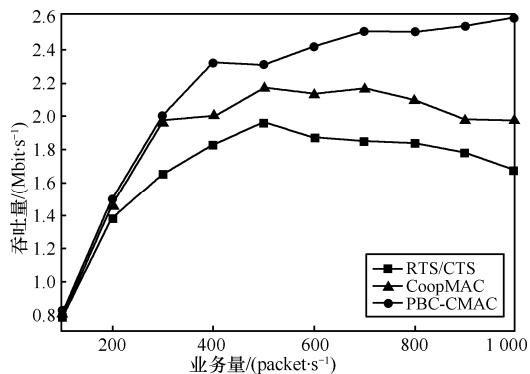


图 4 吞吐量比较

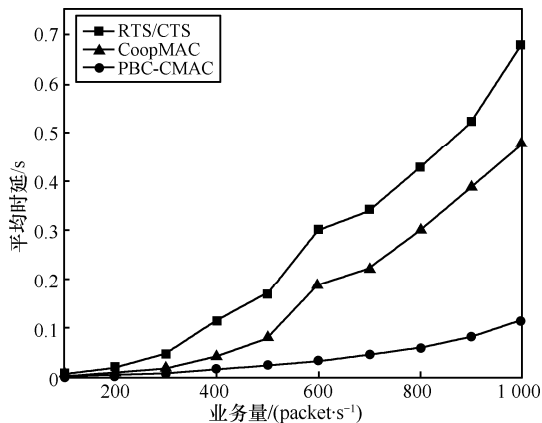


图 5 平均分组时延比较

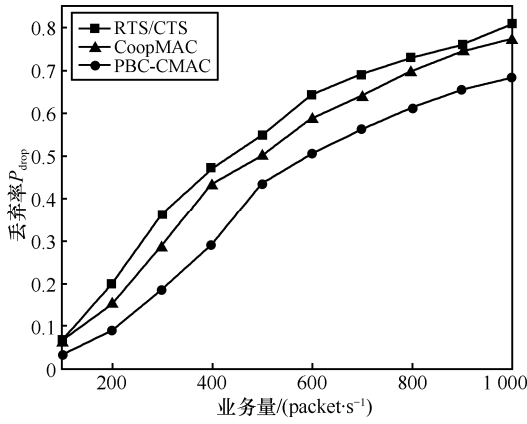


图 6 分组丢弃率比较

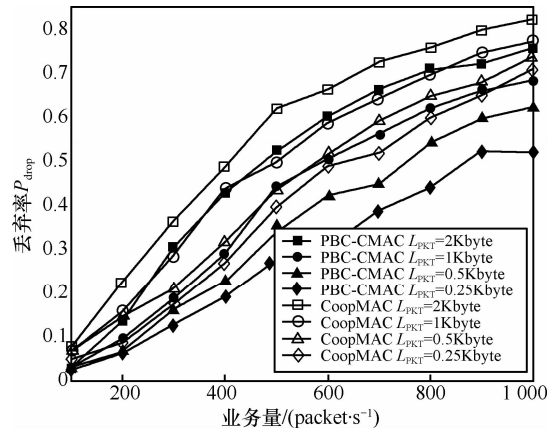


图 9 不同分组长度的丢弃率

图7~图9比较了PBC-CMAC协议和CoopMAC协议在不同数据分组长度情况下的多址性能。从图中可以看出，PBC-CMAC协议总是具有更好的性能，并且数据分组长度越大，性能改善越明显。这是因为数据分组长度越大，节点间进行协作时所引入的开销相对更小，协作所带来的效益就越大。

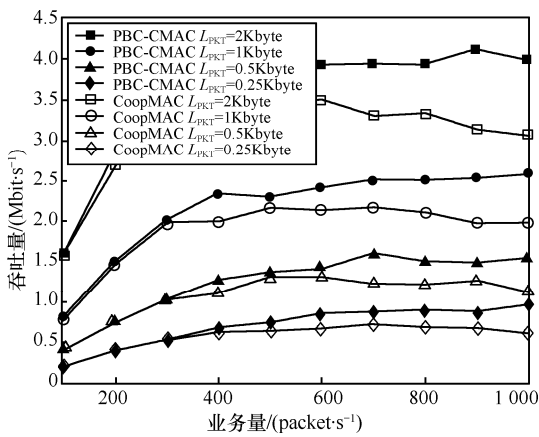


图 7 不同分组长度的吞吐量

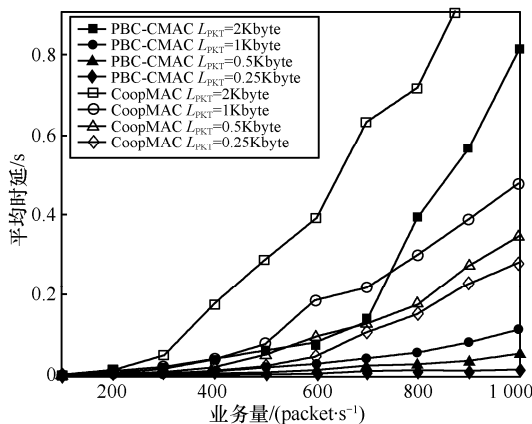


图 8 不同分组长度的时延

### 5 结束语

本文提出了一种基于优先级竞争的协作MAC (PBC-CMAC) 协议，可有效地提高无线网络性能。该协议中，源节点根据侦听的历史信息尽可能选择 2 个候选中继节点，并区分优先级，在 CRTS 分组中宣布。其后，候选中继节点在侦听到源节点和目的节点的 CRTS/CCTS 分组交换时可以获得即时速率信息，并以此计算中继效率，从而判断是否可以提高传输速率，然后根据无冲突优先级竞争策略决定是否发送 RTH 分组来成为最终的中继节点。该协议消除了中继节点选择过程中的竞争冲突，有效减少了隐藏终端所造成的预约碰撞概率，并提高了选择出实际最佳中继节点的成功概率。仿真结果表明，PBC-CMAC 协议比典型无协作和有协作的 MAC 协议具有更好的多址性能。

### 参考文献:

- [1] KUMAR S, RAGHAVAN V S, DENG J. Medium access control protocol for ad hoc wireless networks: a survey[J]. Elsevier Ad Hoc Networks, 2006, 4(3): 326-358.
- [2] KRAMER G, MARIC I, YATES R D. Cooperative Communications[M]. Hanover, MA: NOW Publishers Inc, 2006.
- [3] SHAN H G, ZHUANG W H, WANG Z X. Distributed cooperative MAC for multihop wireless networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2009, 47(2): 126-133.
- [4] VALENTIN S, LICHTER H S, KARL H, et al. Cooperative wireless networking beyond store-and-forward: perspectives in PHY and MAC design[J]. Wireless Personal Communications, 2009,

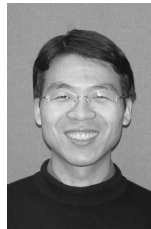
48(1): 49-68.

- [5] IEEE 802.11 Standard. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. 1999.
- [6] LIU P, TAO Z F, NARAYANAN S, *et al.* CoopMAC: a cooperative MAC for wireless LAN[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(2): 340-354.
- [7] ZHU H, CAO G. rDCF: a relay-enabled medium access control protocol for ad hoc networks[J]. IEEE Trans Mobile Comp, 2006, 5(9): 1201-1214.
- [8] JIBUKUMAR M G, DATTA R, BISWAS P K. CoopMACA: a cooperative MAC protocol using packet aggregation[J]. Springer Wireless Networks, 2010, 16(7): 1865-1883.
- [9] CHOU C T, YANG J, WANG D. Cooperative MAC protocol with automatic relay selection in distributed wireless networks[A]. Proc IEEE PerCom'07[C]. White Plains, NY, USA, 2007. 526-531.
- [10] SHAN H G, WANG P, ZHUANG W H, *et al.* Cross-layer cooperative triple busy tone multiple access for wireless networks[A]. Proc IEEE Global Telecommunications Conference 2008 (GLOBECOM'08)[C]. New Orleans, LA, USA, 2008. 1-5.

作者简介:



刘云 (1986-), 男, 江西吉安人, 北京航空航天大学硕士生, 主要研究方向为无线网络、协作通信。



刘凯 (1973-), 男, 山西孝义人, 博士, 北京航空航天大学副教授, 主要研究方向为移动通信网、卫星通信网、无线传感器网络、移动 ad hoc 网络、协作通信网络、认知无线网络和物联网。



曾峰 (1984-), 男, 江西吉安人, 北京航空航天大学硕士生, 主要研究方向为空管信息化及控制、协作通信网络。