

多预约信息转发的协作信道预约多址接入协议

袁韵洁, 李波

(西北工业大学电子信息学院, 710129, 西安)

摘要: 针对 Ad Hoc 网络中实时业务在背景业务繁重时信道接入效率低的问题, 提出一种邻节点协作转发信道预约信息(CRI)的多址接入协议(M-CCRM)。节点在发送数据分组前, 选取多条 CRI 作为其数据开销, 在控制该开销不超过预先设定门限的基础上, 将这些 CRI 随分组一起发送; 收到数据分组的邻节点提取其携带的 CRI, 记录下那些自己位于其预约范围内的 CRI, 避免在这些 CRI 的预约时段内接入信道。M-CCRM 协议扩大了 CRI 的覆盖范围, 解决了由于信道衰落和(或)分组冲突导致的 CRI 丢失问题, 提高了实时业务的信道接入效率。仿真结果表明, 当开销门限为 0.02 时, M-CCRM 协议的实时业务发送失败概率比基本信道预约协议和基本协作预约协议分别降低了 31% 和 20%。

关键词: Ad Hoc 网络; 多址接入协议; 信道预约; 协作转发

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2012)08-0059-06

A Multiple Access Control Protocol with Multiple Reservation Information Relay and Cooperative Channel Reservation

YUAN Yunjie, LI Bo

(School of Electronics and Information, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: A new multiple access control (MAC) protocol called M-CCRM is proposed to solve the problem of poor channel access efficiency for real-time traffic in Ad Hoc networks with heavy background traffic loads. The proposed protocol bases on the idea of distributing channel reservation information (CRI) through cooperative relays of neighboring nodes. Before a node transmits a packet, multiple CRIs are carefully selected and piggy-backed with the packet so as to limit the corresponding overheads caused by carrying CRIs to be lower than a predefined threshold. By overhearing the packet, neighboring nodes record some of the CRIs as long as they are within the channel reservation distance of the CRIs, and then avoid to access the channel while the traffic indicated by the CRIs are carrying on. The proposed MAC protocol enlarges the coverage area of the announced CRIs, and avoids the possible missing of CRIs caused by channel fading and (or) packet collisions. Therefore, the channel access efficiency for real-time traffic is significantly increased. Simulations and comparisons with the basic channel reservation protocol and the basic cooperative channel reservation protocol show that when the overheads caused by carrying CRIs are limited to be lower than 2%, the transmission failure rates of real-time traffic of the proposed protocol are reduced by 31% and 20%, respectively.

Keywords: Ad Hoc network; multiple access control protocol; channel reservation; cooperative relay

收稿日期: 2011-12-07. 作者简介: 袁韵洁(1984—), 女, 博士生; 李波(通信作者), 男, 教授, 博士生导师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60872045, 60572144); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(CET-06-0876); 西北工业大学基础研究基金资助项目(W018105).

网络出版时间: 2012-06-15

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20120615.1044.008.html>

Ad Hoc 网络是一种分布式自组织的无线多跳网络,广泛应用于军事、车载网络和灾害救援等方面。多媒体实时业务(如音视频业务)在该网络的传输是当前一个研究热点。为了克服无线链路的不可靠性和分组冲突问题,必须设计合适的多址接入(MAC)协议来保障实时业务的服务质量(QoS)。

当前 Ad Hoc 网络的 MAC 协议分竞争接入和预约接入 2 种。采用竞争接入^[1-3](如 IEEE 802.11 DCF 标准)时,分组冲突随网络负载的增加而加重,业务的实时性无法得到保障。采用预约接入时,节点提前预约信道在某时隙^[4]或时段^[5]的接入权,从而避免了对信道资源的无序竞争。因此,预约接入是保障实时业务 QoS 的有效方法。

在信道预约 MAC 协议中,当发生信道衰落和分组冲突时,某些邻节点将无法获得实时节点的信道预约信息(CRI),进而可能与预约业务冲突。为此,Li 等人^[6-7]提出多步信道预约协议(multiple-step distributed in-band channel reservation, m-DIBCR),通过多次广播 CRI 提高其被邻节点接收的概率。但是,m-DIBCR 协议并不能解决发送端干扰区域(即传输范围以外、载波侦听范围以内的区域)^[8]内邻节点无法获取 CRI 的问题。在协作信道预约协议(CCRM)^[9]中,节点将收到的 CRI 携带在自身分组中协作转发,使得干扰区域内邻节点获得 CRI 的概率大大提高。然而,当节点的业务量有限时,协作转发机会也是有限的,CCRM 协议未考虑该情况下的协作效率问题。

本文提出一种基于多 CRI 转发的协作信道预约多址接入协议(M-CCRM),在限制协作开销的前提下增强了信道预约的可靠性。

1 信道预约模型

设网络中有实时和非实时 2 种业务,实时数据分组(R-PKT)为周期性产生,非实时数据分组(D-PKT)无周期性。为提高接入效率,实时业务采用信道预约。设 N_S 、 N_R 和 R_S 、 R_R 分别为 2 对非实时和实时收发节点,信道预约策略如图 1 所示(该图省略了 DIFS 信道侦听和退避步骤)。其中,D-PKT 和未预约的 R-PKT 以竞争模式^[1]接入信道,采用 RTS/CTS/D-PKT/D-ACK 和 RTS/CTS/R-PKT/R-ACK 握手(RTS 和 CTS 分别为请求发送和确认发送分组,D-ACK 和 R-ACK 分别为非实时和实时确认接收分组^[5])。一旦实时业务在竞争模式下握手成功,后续 R-PKT 就转为预约模式接入信道,采用

R-PKT/R-ACK 握手。若预约模式下传输失败,则转回竞争模式重发,待成功后再转入预约模式。实时节点将 CRI 携带在 R-PKT 和 R-ACK 中发送,侦听到 R-PKT 或 R-ACK 的邻节点把 CRI 写入预约表。节点维护发送和接收 2 张预约表,分别记录 R-PKT 和 R-ACK 发送者的 CRI。任何节点以竞争模式接入信道前,先判断此次握手与预约表中各 CRI 的预约时段有无重合,有则重新退避,无则接入信道。

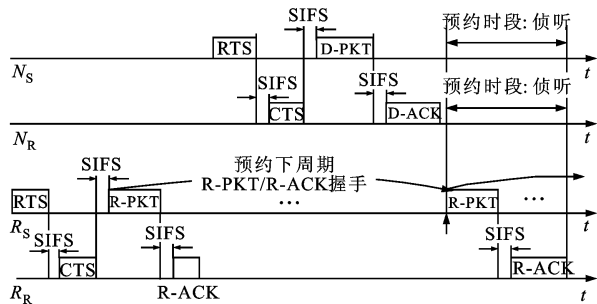


图1 信道预约策略

2 M-CCRM 协议

M-CCRM 与 CCRM 协议的基本协作思想一致,所不同的是 M-CCRM 协议在控制协作开销的前提下,提高了单次协作的 CRI 转发条数,以更优的策略获得了比 CCRM 协议更高的协作效率。

2.1 M-CCRM 原理

信道预约中,当预约节点的分组误帧时,邻节点无法获得该分组中的 CRI。协作预约中,邻节点协作转发自己已获得的 CRI,使更多的邻节点获得该 CRI,从而降低预约业务被冲突的概率。

设 A、B 和 H、I 为 2 对采用信道预约的实时收发节点,C、D 为它们的邻节点。其中,在 t_1 时刻,A 的 CRI 被 B 和位于 A 传输范围内的邻节点 C 获得,D 虽然位于 A 的传输范围内,但由于信道质量下降或分组冲突等原因未收到 A 的 CRI。在 t_2 时刻,H 的 CRI 被 I 和位于 H 传输范围内的邻节点 C 获得,D 由于位于 H 的干扰区域内而未收到 H 的 CRI。若在 t_3 时刻,已获得 A 和 H 的 CRI 的 C 将这 2 条 CRI 携带在自身业务分组中一并发送,则 A 的 CRI 可被间接传播至 H 和 D 处,H 的 CRI 可被间接传播至 A 和 D 处。因此,2 条 CRI 的覆盖范围均得到扩大,2 对实时节点的预约稳定性因此得到提升。协作预约的基本思想如图 2 所示。

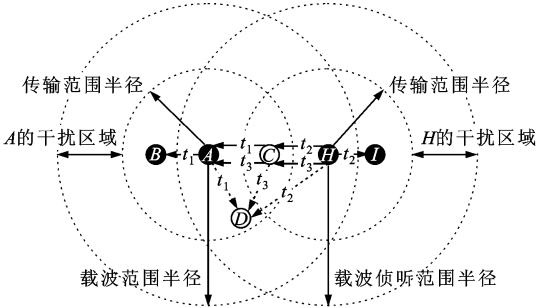


图 2 协作预约的基本思想

2.2 开销控制策略

被协作转发的 CRI 称为协作预约信息 (CCRI)。定义单次协作中用于转发 CCRI 的时间与单次握手时长的比值为协作转发 CCRI 的开销。为了将该开销控制在用户给定的范围内,用 r 代表上述开销的最大值(即协作开销门限),由协议使用者根据需要给定。

初始化时,根据 r 计算不同握手模式下可携带的 CCRI 条数最大值

$$n_{\text{MAX}} = \text{ent}(T_{\text{MAX}}/T_1) \tag{1}$$

式中: T_{MAX} 为因携带 CCRI 而增加的分组传输时长的最大值; T_1 为单条 CCRI 的传输时长

$$T_{\text{MAX}} = T_{\text{hs}} \frac{r}{1-r} \tag{2}$$

$$T_1 = L_1/R \tag{3}$$

式中: T_{hs} 为不携带 CCRI 时的握手时长; L_1 为单条 CCRI 的长度; R 为携带 CCRI 的 D-PKT 或 R-PKT 的传输速率。 T_{hs} 在竞争和预约模式下的计算方法如下

$$T_{\text{hs}} = T_{\text{R}} + T_{\text{C}} + T_{\text{P}} + T_{\text{A}} + T_{\text{DIFS}} + 3F_{\text{SIFS}} \tag{4}$$

$$T_{\text{hs}} = T_{\text{P}} + T_{\text{A}} + T_{\text{SIFS}} \tag{5}$$

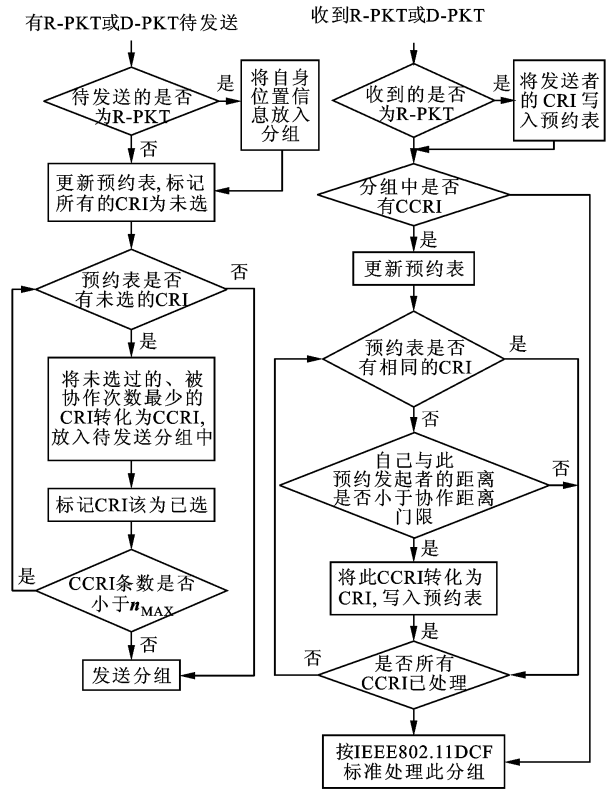
式中: T_{R} 和 T_{C} 分别为 RTS 和 CTS 的传输时长; T_{P} 为 D-PKT 或 R-PKT 的传输时长; T_{A} 为 D-ACK 或 R-ACK 的传输时长; T_{DIFS} 和 T_{SIFS} 为帧间间隔^[1], T_{R} 、 T_{C} 、 T_{P} 和 T_{A} 的计算见文献^[10]。

2.3 协作策略

设节点可通过 GPS 获得自身位置信息。

发送 R-PKT 和 D-PKT 前,节点从预约表中挑选多条 CRI,转化为 CCRI 后随分组一同发送。挑选 CRI 作为协作转发对象时,首先选择协作转发次数最少的 CRI,若有多条 CRI 被协作转发的次数相同,则选择其中预约开始时间距离当前时刻最近的 CRI。协作转发 CRI 的流程如图 3a 所示。收到携带有 CCRI 的分组后,节点计算自己与此 CCRI 预约

发起者之间的距离,若距离小于协作距离门限,则将此 CCRI 转化为 CRI,写入预约表,否则忽略此 CCRI,接收 CCRI 的流程如图 3b 所示。



(a) 协作转发 CRI (b) 收到 CCRI 后的处理

图 3 M-CCRM 的协作策略

3 基于 M-CCRM 协议的预约表操作

3.1 CRI 的定义

M-CCRM 协议中,每条 CRI 的结构如表 1 所示。其中,预约开始时间和预约结束时间组成该 CRI 的预约时段;预约发起者位置供获得此 CRI 的节点计算自己与预约发起者的距离;预约开始时间和被协作次数共同作为是否协作转发此 CRI 的参考因素。

表 1 CRI 的结构

名称	定义
预约开始时间	预约业务接入信道的时间
预约结束时间	预约业务释放信道的时间
预约发起者位置	此 CRI 的预约发起者位置
被协作次数	协作转发此 CRI 的次数

3.2 CCRI 的构造与侦听到 CCRI 后的处理

协作转发其他节点的 CRI 时,分以下 2 个步骤构造 a 条 CCRI 作为协作对象($0 \leq a \leq n_{\text{MAX}}$).

(1)遍历 2 张预约表,选取 a 条被协作次数最小且预约开始时间不同的 CRI(每选 1 条,为该 CRI 的被协作次数加 1),然后将每条 CRI 的所属预约表类型、预约开始时间和预约发起者位置组成为 1 条 CCRI 中的主 CCRI(CCRI_A).

(2)对应步骤 1 中所得到的每条 CCRI_A,从预约表中选取 1 条与该 CCRI_A 的预约类型相反且预约开始时间相同的 CRI,然后将选取的每一条 CRI 的预约发起者位置作为该 CCRI 中的辅 CCRI(CCRI_B).若对应的某条 CCRI_A 没有符合此步骤条件的 CRI,则什么也不做.

在 a 条 CCRI 中共有 a 条 CCRI_A 和 b 条 CCRI_B ($0 \leq b \leq a$). 每条 CCRI 中 CCRI_B 的预约类型与 CCRI_A 相反,预约时差相同. 表 2 为 CCRI 的结构. 若某 CCRI 中无符合条件的 CCRI_B,则预约位置 B 不存在.

表 2 CCRI 的结构

名称	定义
预约类型	CCRI _A 的预约表类型
预约时差	CCRI _A 的预约开始时间与当前时间之差
预约位置 A	CCRI _A 的预约发起者位置
预约位置 B	CCRI _B 的预约发起者位置

侦听到携带有 CCRI_A 分组时,分以下 2 个步骤处理每条 CCRI.

(1)在预约表中查找是否有预约发起者位置与 CCRI 的预约位置 A 相同的 CRI. 若没有,计算自己与 CCRI_A 预约发起者的距离,如果距离小于 d_{∞} ,将此 CCRI_A 转化为 CRI,写入预约表.

(2)若存在 CCRI_B,则在预约表类型与 CCRI_A 预约类型相反的预约表中查找是否有预约发起者位置与 CCRI 中预约位置 B 相同的 CRI. 若没有,则计算自己与 CCRI_B 预约发起者的距离,如果距离小于协作距离门限 d_{∞} ,则将此 CCRI_B 转化为 CRI,写入预约表.

3.3 写预约表

邻节点收到 R-PKT 和 R-ACK 后,需要将该分组发送者的 CRI 写入预约表,如图 4 所示. 其中, T 为 R-PKT 到达 MAC 层的周期. 设邻节点在 t_p 或 t_A 时刻侦听到其他节点的 R-PKT 或 R-ACK,则将

预约时段 $T_t(t_{st}, t_{et})$ 或 $T_r(t_{sr}, t_{er})$ 与该分组发送者的位置作为一条 CRI 写入发送或接收预约表. t_{st} 、 t_{et} 分别为预约时段 T_t 的开始和结束时间, t_{sr} 和 t_{er} 分别为预约时段 T_r 的开始和结束时间.

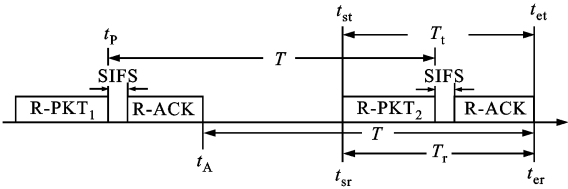


图 4 写预约表(侦听到实时分组)

$$t_{st} = t_p + T - T_P \tag{6}$$

$$t_{et} = t_p + T + T_{\text{SIFS}} + T_A \tag{7}$$

$$t_{sr} = t_A + T - T_A - T_{\text{SIFS}} - T_P \tag{8}$$

$$t_{er} = t_A + T \tag{9}$$

式中: T_P 和 T_A 分别为 R-PKT 和 R-ACK 的传输时长; T_{SIFS} 为帧间间隔.

若邻节点侦听到携带有 CCRI 的 R-PKT 或 D-PKT,将该 CCRI 的预约时段 $T_c(t_{sc}, t_{ec})$ 和预约位置(预约位置 A 或预约位置 B) 作为一条 CRI 写入预约表(预约表类型由 CCRI 中 CCRI_A 的预约类型而定),其中, t_{sc} 和 t_{ec} 分别为预约时段 T_c 的开始和结束时间

$$t_{sc} = t_s + t_p \tag{10}$$

$$t_{ec} = t_{sc} + T_P + T_{\text{SIFS}} + T_A \tag{11}$$

式中: t_s 为携带此 CCRI 的分组的发送时间(从该分组 MAC 头中获取); t_p 为 CCRI 中的预约时差.

新写入预约表的 CRI 的被协作次数设为 0.

4 帧格式

在 IEEE 802.11DCF 标准的 MAC 头帧格式中, M-CCRM 协议添加了协作、自身位置、CCRI 个数和 CCRI 4 个域,分别用来标识是否携带 CCRI、存放实时发送者的位置、CCRI 条数和 CCRI. CCRI 域的构成如图 5 所示,其中协作类型标识此 CCRI 中是否包含 CCRI_B,另外 4 个域的内容如表 2 所示.

1 bit	1 bit	14 bit	16 bit	16 bit
协作类型	预约类型	预约时差	预约位置A	预约位置B

图 5 CCRI 域的帧格式

在 M-CCRM 中,采用 IEEE 802.11 标准中 MAC 头子类型域的预留值标识 R-PKT 和 R-ACK

的分组类型;采用帧控制域中协议子域(2 bit)的第 1 个 bit 位作为协作域(IEEE 802. 11 中协议子域的内容为固定值);采用数据分组的地址 4 域(Ad Hoc 网络中此域无意义)的第 1~第 16 个 bit 位作为 R-PKT 发送者的自身位置域;采用地址 4 域的第 17~第 24 个 bit 位作为 CCRI 个数域;为 R-ACK 分组增加 16 个 bit 位作为自身位置域。

5 仿真与实验

5.1 仿真场景及参数设置

采用网络仿真软件 OMNET++ 仿真。仿真中,数据分组和控制分组的调制模式分别为 64-QAM 和 16-QAM,码率分别为 2/3 和 1/2^[10]。R-PKT 到达 MAC 层的周期为 30 μs,D-PKT 到达 MAC 层的时间间隔遵循指数分布(指数分布的均值即为非实时发送节点的平均业务量)。R-PKT 和 D-PKT 的分组长度均为 1 024 B。载波侦听门限 d_c 和 d_{∞} 均为 400 m。以上未说明的参数见 IEEE 802. 11 a。

仿真场景中,共 50 对节点(5 对实时节点和 45 对非实时节点)随机分布在 700 m×700 m 的网络中,接收节点随机分布在发送节点 50 m 范围内。单次仿真时间为 100 s,最终结果为 20 次仿真结果的平均值。

5.2 仿真结果

本文对比了基本预约^[5]、多步预约^[6-7](将多步预约用于基本预约)、CCRM^[9]和 M-CCRM 这 4 种协议的实时业务平均发送失败概率 P_{TFR} 和非实时业务平均分组延迟 D 。

5.2.1 实时业务的平均发送失败概率 令 P_{TFR} 作为实时业务性能的衡量标准, P_{TFR} 越小,实时业务接入信道的成功率越高。 P_{TFR} 的定义如下

$$P_{TFR} = (N_f / N_t) \times 100\% \tag{12}$$

$$N_t = N_R + N_{ps} + N_{pf} \tag{13}$$

$$N_f = N_t - N_r \tag{14}$$

式中: N_f 和 N_t 分别为失败传输次数和尝试传输次数; N_R 为 RTS 发送次数; N_{ps} 和 N_{pf} 为预约模式下 R-PKT 的成功传输次数和失败传输次数; N_r 为接收节点收到的 R-PKT 个数。上述参数均以网络所有实时节点为统计对象。

仿真结果如图 6 所示。由图 6 可见,背景业务量越大,分组冲突越严重,邻节点获得预约发起者分组中 CRI 的概率越来越小, P_{TFR} 呈上升趋势。与基本预约和多步预约协议相比,CCRM 和 M-CCRM 协

议利用了背景业务带来的协作机会, P_{TFR} 大大降低。与 CCRM 协议相比,M-CCRM 协议增加了单次协作的 CRI 转发个数,协作效率更高,特别当 $r=0.02$ 时,其 P_{TFR} 只有不到 CCRM 协议的 50%。M-CCRM 协议中,每条 CRI 被转发的次数和协作效率随 r 值的增大而增大, P_{TFR} 随之降低。从图 6 还可以看出,本场景中,当 $r=0.01$ 时,M-CCRM 协议的 P_{TFR} 接近性能上限。

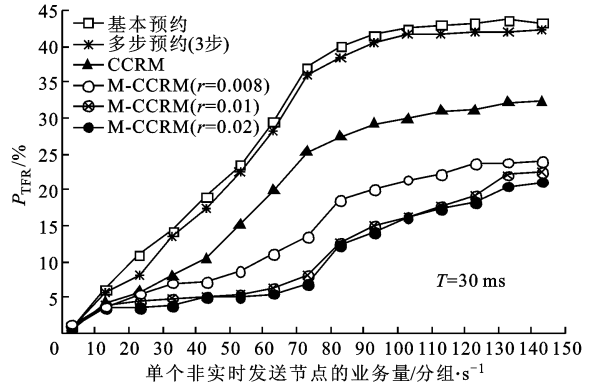


图 6 几种协议的实时业务平均发送失败概率对比

5.2.2 非实时业务的平均分组延迟 D 非实时业务平均分组延迟 D 的仿真结果如图 7 所示。可以看出,M-CCRM 协议中,虽然携带多条 CCRI 增加了分组的传输时长,但其非实时业务的平均时延 D 与其他机制几乎没有差别(由于各曲线较为接近,对于 M-CCRM 协议,这里只给出了协作开销最大,即 $r=0.02$ 时的时延性能)。

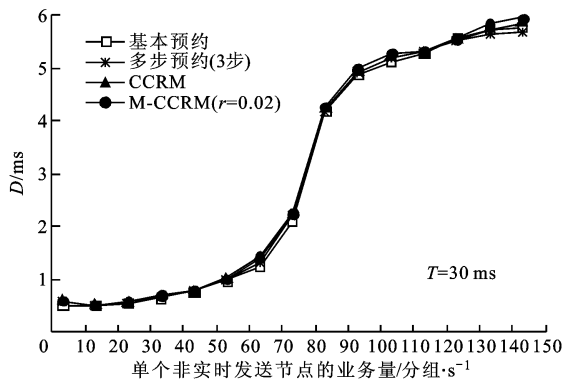


图 7 几种协议的非实时业务平均分组延迟对比

6 结 论

本文提出的 M-CCRM 协议具有以下优点:①提高了有限协作机会下的协作效率,降低了预约业务的冲突概率;②开销较小,可以由用户指定协作开销门限;③与 IEEE 802. 11 标准兼容,易于实现。后

续研究将以进一步提升协作的效率和自适应性为目标,为不同的网络拓扑环境提供更为稳定和可靠的高效信道预约。

参考文献:

- [1] IEEE. IEEE std. 802.11a;1999 IEEE standard for wireless LAN medium access control(MAC) and physical(PHY) layer specifications [S]. Piscataway, NJ, USA;IEEE,1999.
- [2] PEI Liu,TAO Zhifeng,NARAYANAN S,et al. Coop-MAC: a cooperative MAC for wireless LANs [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007,25(2):340-353.
- [3] 方薇薇,钱德沛,刘轶. 一种相邻节点协作的无线传感器网络可靠传输方案 [J]. 西安交通大学学报,2009,43(2):33-37.
FANG Weiwei,QIAN Depei,LIU Yi. Reliable delivery scheme for wireless sensor networks based on cooperation among neighboring nodes [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009,43(2):33-37.
- [4] CHOI J,YOO J,CHOI S,et al. EBA: an enhancement of the IEEE 802.11 DCF via distributed reservation [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing,2005,4(4):378-390.
- [5] ZHOU Ying,ANADA A L,JACOB L. QoS enabled MAC protocol for multi-hop ad hoc wireless networks [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2003:149-156.
- [6] LI Bo,TANG Wenzhao,ZHOU Hu,et al. m-DIBCR: MAC protocol with multiple-step distributed In-band channel reservation [J]. IEEE Communications Letters,2008,12(1):23-25.
- [7] LI Bo,LI WEI,VALOIS F,et al. Performance analysis of an efficient MAC protocol with multiple-step distributed in-band channel reservation [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2010, 59(1): 368-382.
- [8] XU Kaixin,GERLA M,BAE S. Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11 based ad hoc networks [J]. Ad Hoc Networks,2003,1(1):107-123.
- [9] YUAN Yunjie ,LI Bo. Performance evaluation of an efficient cooperative channel reservation MAC protocol in wireless Ad Hoc networks [C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Signal Processing, Communications and Computing. Piscataway, NJ, USA;IEEE, 2011:1-5.
- [10] QIAO Daji,CHOI S,SHIN K G. Goodput analysis and link adaptation for IEEE 802.11a wireless LANs [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2003,1(4): 278-291.

(编辑 刘杨)