

# 带拥塞控制的多预约MAC协议

王朝翔<sup>1</sup>, 韦蓉<sup>2</sup>, 丁炜<sup>2</sup>

(1. 华北计算技术研究所通信和移动计算室 北京 海淀区 100083; 2. 北京邮电大学通信网络综合技术研究所 北京 海淀区 100876)

**【摘要】**针对802.11协议, 在数据接入过程中, 缺少为高优先级数据流提供充分保护机制的问题, 提出了一种带拥塞控制的多预约的MAC协议。在接入过程中, 该协议采用多预约机制确保高优先级数据流的接入成功概率, 在中间节点通过接入控制, 以一定的概率拒绝低优先级数据流的接入请求, 保护转发节点避免拥塞。仿真结果表明, 该方法有效地保护了高优先级流的端到端吞吐量、时延和丢弃率。

**关键词** 无线自组网; 拥塞控制; 媒体接入控制; 多预约  
**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Multiple Reserving MAC Protocol with Congestion Control

WANG Zhao-xiang<sup>1</sup>, Wei Rong<sup>2</sup>, and DING Wei<sup>2</sup>

(1. Communication and Mobile Computing Lab, North China Institute of Computing Technology Haidian Beijing 100083;

2. School of Telecommunication & Network Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876)

**Abstract** To solve the problem of lack adequate protection mechanism for high priority data flows, in 802.11 media access process, a multiple reserving media access control (MAC) protocol with congestion control is proposed. In access process, the protocol uses multiple reserving mechanism to protect successful access probability of high priority flows. And the forwarding nodes rejects low priority flows' access request with probability through admission control, in order to avoid congestion in them. The simulation result shows that the protocol proposed in the paper can effectively protects end-to-end throughput, delay and reduce drop ration of high priority flows.

**Key words** Ad hoc; congestion control; media access control; multiple reserve

在Ad hoc网络中, 由于多跳和临时性的特点, 常用802.11<sup>[1]</sup>媒质接入协议。分布式的控制方式, 特别是802.11MAC, 对于区分服务的支持不是很好。目前有一些涉及链路层的解决方法<sup>[2-7]</sup>。文献[3]的解决方法是对于不同的业务采用不同的退避计数, 然而没有接收节点的参与, 退避只是保证了一个节点内部高等级的业务得到更多的竞争胜出几率, 而不能保证对于信道的优先占用权。文献[2]采用捎带方式由发送端决定信道的使用权, 没有考虑接收节点, 特别是中间路由节点内部的拥塞状况。另外, 当无线网络处于拥塞状态时, 单预约的802.11协议无法确保高优先级数据流具有抢占信道的优势。基于以上原因, 本文通过改进802.11的接入机制, 采用多预约机制以及中间节点避免拥塞机制, 从而提高高等级数据流的服务质量。

## 1 802.11 DCF

由于Ad hoc网络的多跳性, 决定了在该网络中隐终端和暴露终端的问题非常突出, 因此, 基于RTS/CTS模式的4次握手机制被普遍地使用。握手机制如图1所示。

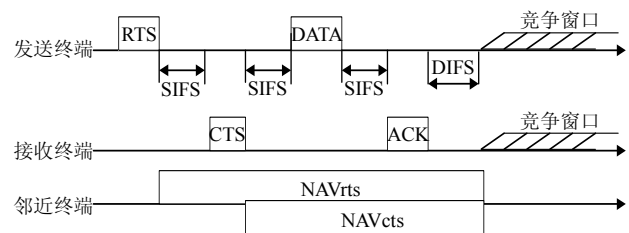


图1 802.11DCF RTS/CTS握手机制

RTS、CTS报文中带有退避时间, 当其他相邻节点收到RTS或者CTS报文时, 根据RTS或CTS中指定的退避时间进行退避, 称为虚拟载波监听。通过

收稿日期: 2007-03-13; 修回日期: 2008-01-25

基金项目: 国家自然科学基金(60772109)

作者简介: 王朝翔(1978-), 男, 博士, 主要从事无线自组网、网络服务质量、媒质接入等方面的研究。

RTS/CTS的虚拟载波监听, 可避免隐终端问题。

802.11MAC协议存在两个主要问题:(1) 当信道处于拥塞状态时, 由于高优先级数据流的接入握手过程与低优先级数据流的接入握手过程没有区别, 因而无法切实保证高优先级数据流的优先接入。(2) 在接入过程中没有考虑中间节点的拥塞状况, 中间转发节点由于队列的溢出而产生丢弃数据包的现象, 会进一步造成高优先级数据流的性能下降。

## 2 带拥塞控制的多预约MAC协议

### 2.1 多预约机制

为确保高优先级数据流在接入信道的过程中比低优先级数据流有更高的成功接入概率, 本文在预约信道的过程中使用多个背靠背的RTS帧进行信道预约。背靠背的RTS帧的个数, 由数据的优先级决定, 优先级高的数据使用的RTS帧个数多。在一个多跳非同步环境下, 采用多个RTS帧进行信道预约可以有效提高高优先级数据流竞争胜出的概率, 并且改动比较小, 如图2所示

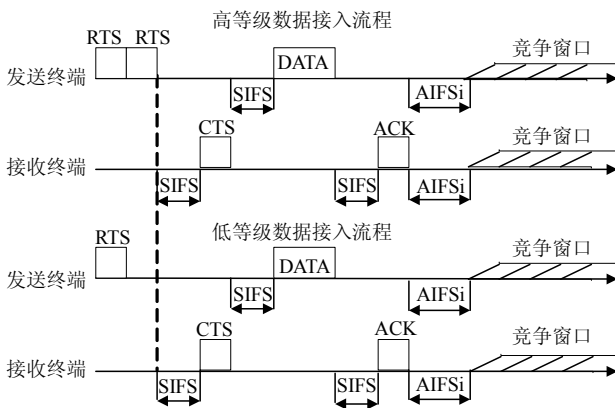


图2 多预约机制接入示意图

当一个优先级高的数据与一个优先级低的数据共同竞争信道时, 碰撞就会产生。由于高优先级的数据具有多个RTS帧, 因此接收节点通过监听到碰撞中幸存的一个RTS帧的信息就可以决定接受或拒绝本次的数据发送。与文献[8]中的方法相比较, 本文的方法简化了接入的复杂程度。由于文献[8]使用多次竞争信道握手, 增大了实现的复杂性, 并且在非同步多跳网络中同步难于实现的条件下, 其胜出概率不一定会得到提高。而本文的方法不需要更进一步地进行信道握手, 对于同级别数据有可能产生预约冲突, 可以使用802.11原有的退避机制来解决。

(1) 对应于原有的802.11协议, 本文将数据流分为高和低2种优先级。

(2) 规定高优先级使用背靠背的2个RTS预约帧

预约信道; 低级别使用1个RTS预约帧预约信道。

(3) 将表示当前RTS帧的作用截止时间加入到帧中, 接收节点收到RTS帧后, 根据帧中指示的截止时间发送确认信道占用信息CTS帧, 从而成功预约信道。当其他节点接收到RTS信息时, 设定自身的退避时间:

$$T_{NAV} = T_{end} + 2\delta + T_{cts} + T_{sifs} \quad (1)$$

式中  $T_{end}$ 、 $T_{cts}$ 、 $T_{sifs}$ 和 $\delta$ 分别表示RTS作用截止时间、CTS传送时间、最小帧间距和系统最大传播时延。

若间隔发送节点没有发现CTS帧, 则重新开始退避计数过程。周围的节点根据设定的最新 $T_{NAV}$ 进行适当的退避, 如果没有发现CTS或者数据DATA信号则立即进行信道竞争。

在多跳环境下, 异步接入方式的802.11协议可能会出现节点之间不同步的情况。然而由于高优先级数据流会使用多个RTS帧预约信道, 因此在异步竞争环境下只要剩余一个RTS, 接收节点就可以根据该RTS中的信息, 回应CTS帧, 从而提高高优先级数据流接入成功的概率。

### 2.2 转发节点拥塞控制机制

首先引入高优先级业务竞争请求报文HRTS, 该报文指明被发送的数据具有比较高的级别。其次引入业务拒绝接入报文NAD, 该报文指明接收节点根据自身的情况拒绝数据发送的申请。因此, 一次成功的发送数据过程为RTS/HRTS → CTS → DATA → ACK; 而一次预约失败的过程为RTS → NAD。对于不成功的接入, 失败的节点根据BEB的原则进行新一轮的竞争, 而其他等待发送的节点发现了NCTS报文后, 则可以立即进行信道的竞争过程, 以提高信道的利用率。通过引入NAD控制报文, 接收节点可以有效地参与信道竞争, 保证高等级业务流的服务质量。

在中间转发节点, 为了保证具有高优先级的任务能够得到比其他低优先级的任务更加优良的服务, 本文在MAC层的接入控制中引入RED<sup>[9]</sup>方式。与原始方式不同, 本文是通过有控制地拒绝一定的数据接入请求, 而不是丢弃一定的数据报文, 即以一定概率 $P_r$ 发送NAD来拒绝一定的接入请求, 保护中间节点, 避免拥塞, 从而保证高优先级的数据的接入。拒绝概率 $P_r$ 的具体计算方法如下。

(1) 对于任意的接入请求, 判定该接入请求的级别。如果是HRTS请求, 表明数据具有高等级的优先权, 则 $P_r=0$ 。

(2) 对于RTS请求, 得到输出队列的长度, 计算

输出队列的充满程度 $P_{full}$ 。由 $P_{full}$ 和给定的参数 $L_{min}$ 、 $L_{max}$ , 则有:

$$P_r = \begin{cases} 0 & P_{full} \leq L_{min} \\ \frac{P_{full} - L_{min}}{L_{max} - L_{min}} & L_{min} < P_{full} \leq L_{max} \\ 1 & P_{full} > L_{max} \end{cases} \quad (2)$$

式中  $L_{min}$ 和 $L_{max}$ 分别是设定的下门限和上门限。低于下门限表示处于非监控状态; 在下门限和上门限之间表示处于监控状态。节点按照概率 $P_r$ 拒绝数据报文的接入, 当高于上门限时, 表明节点处于严重的拥塞状态, 因此拒绝所有低优先级的数据报文。

(3) 以概率 $P_r$ 发送NAD控制报文拒绝数据接入, 以概率 $(1 - P_r)$ 发送CTS允许数据的接入。

丢弃概率曲线如图3所示。

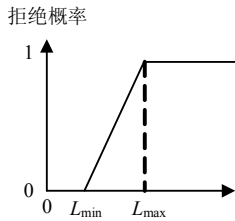


图3 丢弃概率曲线

### 3 仿真验证与结果分析

为验证本文方法的有效性, 本文采用NS2版本2.28作为仿真平台, 无线带宽为2 Mb/s, 每一个节点的发送队列长度为50个数据报文, 场景如图4所示。

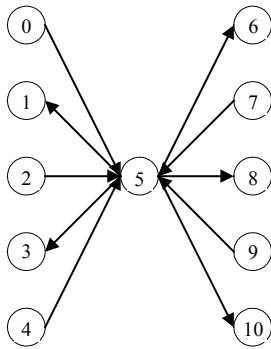


图4 仿真场景

图中, 节点0、1、2、3、4、5在相互的传输范围内, 节点5、6、7、8、9、10在相互的传输范围内; 箭头代表数据的传送方向, 其中2→8的数据流采用等级1(高等级)的数据流, 其他数据流采用等级0(低等级)的数据流;  $L_{min}$ 统一设定为75%,  $L_{max}$ 统一设定为95%; 数据流0→6、4→10、7→1、9→3的数据流类型为CBR, 长度为256字节, 速率为500 kb/s, 仿真时间为0~30 s。高等级数据流2→8的数据流类型

为CBR, 长度为512字节, 速率为200 kb/s, 仿真时间为0~28 s。节点的传输范围与影响范围等距。

本次仿真采用了对比方式, 基础数据通过原始的802.11MAC协议进行仿真, 然后采用本文提出的方法进行仿真, 进行结果对比。仿真结果如图5和图6所示。

图5中的平均吞吐量反映了仿真过程中, 平均吞吐量的变化情况。整个仿真过程中, 高优先级数据流的端到端吞吐量有一些波动, 其中采用802.11协议时, 最高吞吐量为147.257 6 kb/s, 最低为97.036 8 kb/s; 采用多预约机制时, 最高吞吐量为186.412 8 kb/s, 最低为143.852 8 kb/s; 采用带拥塞控制的多预约机制时, 最高吞吐量为231.748 33 kb/s, 最少为163.430 4 kb/s。波动性主要是数据的突发性造成的。同样, 图6中的平均延迟也有波动的现象, 使用802.11协议时, 端到端延迟最大为1.302 87 s; 使用多预约机制时, 延迟最大为0.873 6 s; 使用拥塞避免的多预约机制时, 延迟最大为1.331 45 s。

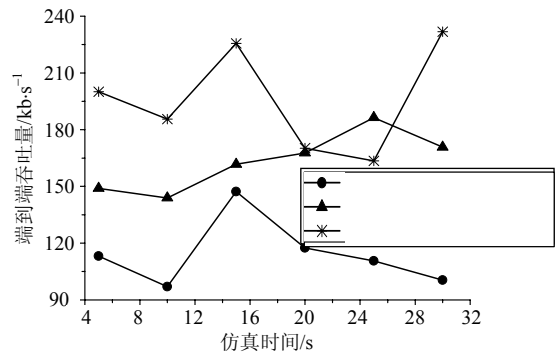


图5 平均端到端吞吐量对比

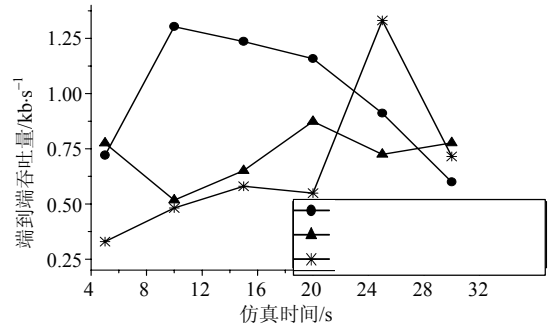


图6 平均端到端时延对比

从仿真数据可以得出如下的一些结果:

(1) 平均端到端吞吐量方面, 采用802.11协议时, 为115.0 kb/s; 采用本文的不带拥塞控制的多预约机制时, 为162.84 kb/s; 采用本文的带拥塞控制的多预约机制时, 为194.25 kb/s。

(2) 平均端到端时延方面, 采用802.11协议时, 1.002 s; 采用本文的不带拥塞控制的多预约机制时,

为0.718 6 s; 采用本文的带拥塞控制的多预约机制时, 为0.644 0 s。

(3) 平均丢包率方面, 采用802.11协议时, 为43.45%; 采用本文的不带拥塞控制的多预约机制时, 为20.34%; 采用本文的带拥塞控制的多预约机制时, 为4.83%。

(4) 从图5和图6的仿真结果可看出, 本文采用的方法存在一定的波动性, 但是从平均角度看, 采用本文的方法优于802.11协议。

## 4 结 论

对于Ad hoc网络来说, 只通过网络层支持QoS的方法有其局限性。本文为Ad hoc网络提供了一种新的MAC协议, 通过多预约机制保护高优先级的数据流具有更高的接入概率。此外, 在中间转发节点, 通过拒绝一定比例的低优先级数据流的接入请求, 进一步保护高优先级数据流的服务质量。使用本文提供的方法可以有效地在数据链路层支持QoS技术, 而且可以不改变简单、灵活的分布式接入控制方式, 有利于实现。

### 参 考 文 献

- [1] International Standard ISO/IEC 8802-11: 1999(E); ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition. IEEE Std. 802.11-1999 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. 1999.
- [2] ZHU Chen-xi, CORSON M S. QoS routing for mobile Ad hoc networks[C]//Proceedings on INFOCOM 2002 Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. [s.l.]: IEEE, 2002: 958-967.
- [3] IEEE Std. 802.11e-2005 Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 8: medium access control (MAC) quality of service enhancements[S]. 2005.
- [4] 马洪亮, 徐惠民. Ad hoc网络中IEEE 802.11 DCF的改进[J]. 电子科技大学学报, 2006, 35(6): 887-889.  
MA Hong-liang, XU Hui-min. Performance improvement of IEEE 802.11 DCF in Ad hoc network[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2006, 35(6): 887-889.
- [5] 包晓安, 徐伟强, 吴铁军. 一种用于Ad hoc网络的优化拥塞控制算法[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(2): 250-253.  
BAO Xiao-an, XU Wei-qiang, WU Tie-jun. Optimal congestion control algorithm for Ad hoc networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2007, 36(2): 250-253.
- [6] 周晓东, 李建东, 杨 军. 一种新的移动Ad Hoc网络的单忙音码分多址协议[J]. 西安电子科技大学学报, 2005, 32(4): 587-592.  
ZHOU Xiao-dong, LI Jian-dong, YANG Jun. Single busy tone CDMA—a novel multiple access protocol for the mobile Ad hoc network[J]. Journal of Xidian University, 2005, 32(4): 587-592.
- [7] 张艳玲, 孙献璞, 李建东. MANETs网络中的一种分布式同步预约多址接入协议[J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(1): 28-32.  
ZHANG Yan-ling, SUN Xian-pu, LI Jian-dong. A distributed synchronous reservation multiple access control protocol for mobile Ad hoc networks[J]. Journal of Xidian University, 2006, 33(1): 28-32.
- [8] TANTRA J W, Chuan Heng Foh. Achieving near maximum throughput in IEEE 802.11 WLANs with contention tone[J]. Communications Letters, 2006, 10(9): 658-660.
- [9] FLOYD S, JACOBSON V. Random early detection gateways for congestion avoidance[J]. Networking, IEEE/ACM Transactions, 1993, 1(4): 397-413.

编辑 熊思亮