

自适应的Ad hoc MAC协议

王朝翔, 丁 炜

(1. 华北计算技术研究所通信与移动计算研究室 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 100083)

【摘要】为Ad hoc网络提出了一种基于模糊逻辑的媒体接入控制层协议。该协议通过在MAC层采用模糊逻辑协调各个相互影响的数据流,为低优先级数据流选择附加退避窗口以减少其自身接入信道概率。通过这种方法,使得高优先级数据流在各种背景流量的条件下,均能够维持较高的端到端吞吐量和较低的端到端接入时延。仿真结果表明,该协议较802.11e协议更好地保护高优先级数据流的端到端时延和吞吐量。

关键词 无线自组网; 802.11e; 模糊逻辑; 媒质接入控制协议
中图分类号 TP393 **文献标识码** A

Adaptive MAC Protocol in Ad hoc Networks

WANG Zhao-Xiang and DING Wei

(1. Communication and Mobile Computing Laboratory, North China Institute of Computing Technology Haidian Beijing 100083;
2. Institute of Telecommunication & Network Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876)

Abstract A new medium access control (MAC) protocol based on fuzzy logic is proposed for Ad hoc networks. In MAC layer, the fuzzy logic is used to choose a proper add-in back-off window size for different priority flows. Thus, the low priority flows, interacted on the higher ones, can reduce their access probabilities. Simulation result shows that the new protocol can achieve better performance compared with 802.11e protocol in the terms of end-to-end delay and throughput of high priority flows.

Key words Ad hoc; 802.11e; fuzzy logic; medium access control protocol

2005年IEEE为解决无线局域网不能区分服务的问题,提出了802.11e^[1]协议,该协议采用与802.11^[2]协议相兼容的方式处理数据,但区别于原有的非区分服务的802.11协议。802.11e协议在MAC层引入了不同等级的队列,并设置了不同的退避窗口。802.11e协议对于无线局域网的区分服务的支持比较好,但对多跳的Ad hoc网络的区分服务的支持不是很好。究其原因在于,一个自由竞争的网络中,如果不能通过某种方法协调其他影响高优先级数据发送的低优先级数据流,减少其对高优先级业务的竞争,就无法从根本上保护高优先级的数据流的服务质量。

过去的方法多集中在网络层进行处理^[8-9]。而在媒质接入层中,解决区分服务问题的方法通常有两种:(1)通过提高高优先级数据的接入频率加以解决^[2];(2)采用预约方式,通过高优先级数据流预约信道,指明下一次发送的时间,保护高优先级数据流的接入成功概率^[3-4]。文献[3-4]所代表的方法对同步的要求比较高。

本文在不改变802.11e这种简单有效的异步接入方式的前提下,通过采用捎带消息的方式,协调影响高优先级数据流的其他数据流,并且通过模糊逻辑为低优先级数据的接入过程增加一个附加的退避窗口,从而抑制其接入率,保护高优先级数据流的服务质量。

1 分发处理协调消息

针对802.11e协议存在的缺乏协调机制的问题,本文在MAC层控制报文中增加捎带信息,除了在握手过程中明确地标识不同等级外,还包括一个请求域。该请求域由提出请求的高优先级数据流期望的信道空闲率、提出请求的数据流的优先级、请求被传播的跳数等组成。任何一个节点收到了该请求,可以根据周围环境及自身的情况,决定是否响应该请求,并且同时决定是否向其周围节点继续传播该请求。由于节点的发送和接收会收到其多跳以外的节点的影响,请求的传播过程可能会影响到一定的

范围内的所有节点。为防止这个请求消息为整个网络带来不必要的整体吞吐量的损失, 设定当请求中的跳数达到上限后, 不再进行该请求的继续传播。因为对于发送和接收高优先级数据流的节点来说, 超过该范围的节点所发送的数据不会再影响到该高优先级数据流。本文规定该跳数上限是3跳。一个接入类发起请求的上限吞吐速率分别由式(1)和式(2)确定。

$$T_{\text{all}} = T_{\text{RTS}} + T_{\text{CTS}} + T_{\text{ACK}} + T_{\text{DATA}} + 3T_{\text{SIFS}}$$

$$\max_speed_i = \frac{\text{avg_pkt_size}_i \times 8}{T_{\text{all}} + 3T_{\text{SIFS}} + T_{\text{AIFS}_i} + T_{\text{SLOT}} \frac{(\text{CW}_{\text{min}}^i + 1)}{2}} \quad (1)$$

$$\text{req} = \left\lceil \frac{(\text{CW}_{\text{min}}^i + 1) \times T_{\text{SLOT}} \times \text{Proc_speed}_i \times 100}{8 \times \text{avg_pkt_size}_i * 8} \right\rceil \quad (2)$$

式中 CW_{min}^i 表示接入类的最小退避窗口; T_{SLOT} 表示一个退避时隙的长度; T_{RTS} 、 T_{CTS} 、 T_{ACK} 、 T_{DATA} 分别表示发送RTS、CTS、DATA、ACK的时间; T_{SIFS} 表示最小帧间距; T_{AIFS_i} 表示裁定帧间距; avg_pkt_size_i 表示接入类*i*的输出队列的平均数据包长度; Proc_speed_i 表示输出队列平均入队信息速率; $\lceil \rceil$ 表示上取整运算。

根据节点处理请求的方式不同, 将节点划分为4种状态, 分别为初始状态(IS)、原始请求者状态(IR)、邻接请求状态(NH)和多跳邻接状态(MH)。任何节点拥有一个请求记录项和状态转移、转发、检测信道3个定时器。3个定时器中, 前两种定时器分别用于判断状态转移和转发结束, 第3个定时器用于每一个节点监测信道。处于非IS状态的节点, 按照本文第2部分所述的方法, 选取其附加退避窗口, 直到信道满足条件, 或者达到算法允许的最大值。各个状态的转换关系如图1所示。状态转移条件如下:

(1) 当某节点发现信道环境不能满足新请求, 且记录的请求小于新的请求时, 如果请求来自自身数据流, 则转移到IR; 如果请求来自监听到的其他IR节点, 则转移到NH; 如果请求来自监听到的其他NH或者MH节点, 则转移到MH, 并且重新设置状态转移定时器, 将该请求记录下来。

(2) 如果状态转移定时器超时, 则将状态转移到MH, 重新设置状态转移定时器, 请求记录不变, 并且停止转发。如果由于监听到更高的请求, 则处理同(1)。

(3) 如果MH的状态定时器超时, 或者信道的条件满足记录的要求, 且各个级别数据流初始退避窗口减小到了802.11e协议规定的最低退避窗口, 则将

状态转移到IS, 请求记录清0, 状态转移定时器清0。

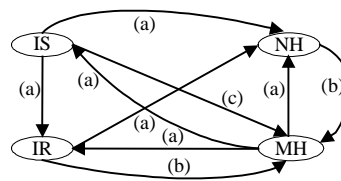


图1 节点状态转移图

任何处于NH和MH的节点根据自身的业务量和请求被传播的跳数为:

$$P_f = (1 - q)^{n_a / 5} \quad (3)$$

式中 q 为发送队列占用率; n_a 为检测到的当前信道中处于活动状态的节点数。由式(3)决定转发概率, 转发时的转发跳数记录必须比当前请求记录中的转发跳数多1, 以便下一跳进行判断。当收到转发的请求时(跳数大于1), 启动转发定时器, 当定时器超时, 则认为请求已经失效, 则停止自身的转发行为。

2 模糊控制逻辑

本文通过模糊逻辑为各个接入类选择一个适合的附加退避窗口, 以便使那些影响高优先级的较低优先级数据流主动地降低其接入概率, 从而起到保护高优先级数据流的作用。本文还规定只有那些低于请求级别的数据流才进行附加窗口处理。与请求级别相同或大于请求级别的数据流则不进行处理。附加退避窗口, 就是在每一次进行退避之前(不论是首次进行退避, 还是由于竞争信道失败而进行的再次退避), 首先进行附加退避。附加退避的方式与普通退避的方式相同, 即以时隙为单位等待接入, 如果遇到信道忙则暂停计时, 等待信道空闲。考察两种因素:

(1) 实际信道空闲率的观测值与期望空闲率相比的不足程度以 α 表示:

$$\alpha(n) = \frac{\text{期望空闲率} - \text{当前空闲率}}{\text{期望空闲率}} \times 100 \quad (4)$$

α 的隶属度函数如图2所示。

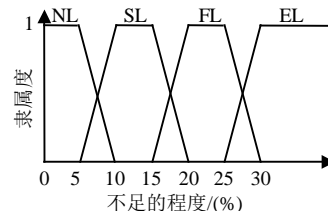


图2 α 的隶属度函数

(2) 当前不足程度的趋势以 β 表示:

$$\beta(n) = \frac{\alpha(n) - \alpha(n-1)}{\alpha(n-1)} \times 100 \quad (5)$$

β 的隶属度函数如图3所示。

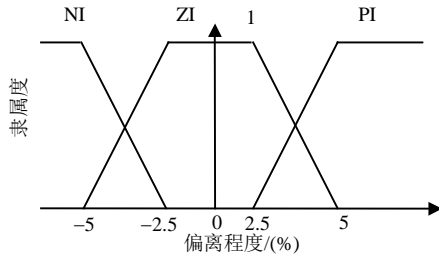


图3 β 的隶属度函数

将因素(1)分为4个等级,即没有不足(NL)、有轻微的不足(SL)、有较大的不足(FL)和严重不足(EL)。将偏离趋势分为3个等级,几乎没有(ZI)、加速增大(PI)和加速减小(NI)。

IF-THEN形式的模糊规则如表1所示,表中每一行代表一条规则,对应不同的 α 和 β 隶属度,对不同等级的数据流选择不同的附加退避窗口值,保证具有较高优先级数据流的流量。

表1 IF-THEN形式的模糊规则表

α	β	初始窗口值			
		AC_VO	AC_VI	AC_BE	AC_BK
NL	NI	0	0	0	0
NL	ZI	0	0	0	0
NL	PI	0	0	8	8
SL	NI	0	0	16	16
SL	ZI	0	0	32	32
SL	PI	0	0	64	64
FL	NI	0	0	128	128
FL	ZI	0	0	256	256
FL	PI	0	0	512	512
EL	NI	0	0	1024	1024
EL	ZI	0	4	1024	1024
EL	PI	0	8	1024	1024

各个级别的数据流采用乘机模糊推理器、中心平均解模糊器,确定该级别的数据流应当采用初始退避窗口:

$$W_a^i = (\sum_j C_j^i \times k_j) / (\sum_j k_j) \quad (6)$$

式中 i 对应于不同的数据流级别; k_j 为对应于每一条表1中的规则的输出隶属度 $1 \leq j \leq 12$; C_j^i 为等级为 i 的数据流对应于第 j 条规则的附加退避窗口。

3 仿真验证与结果分析

本文采用NS2^[7]版本2.28作为仿真平台,无线带宽为2 Mb/s; 每一个发送类别的发送队列长度为50个数据报文; 场景为13行13列的格网状结构,每节点相距50 m,节点传输距离100 m。仿真背景负荷从

0~100%时,分别使用本文的方法和802.11e的方法,比较相互影响的一个音频数据流和一个视频数据流的端到端吞吐量和时延,以说明本文方法在端到端吞吐量与时延方面的优势。其中两个数据流节点选取在格状网络的中心,从而使得每一个数据流的节点既相互影响,又都受到其周围的节点的竞争。除音频流和视频流节点外,其他节点选取任意一个一跳可达的节点作为背景负荷数据流,两个高级数据流节点之间的位置关系如图4所示。图中省略了其他背景数据流节点。仿真中的其他参数包括物理层采用802.11b DSSS的规定; 仿真时间30 s。仿真中,采用接入类别AC_BK,每包长度64字节的CBR业务作为背景数据流; 采用接入类别为AC_VO,每数据帧长度为64字节,生成速率为64 kb/s的CBR业务作为音频数据流模型; 采用接入类别为AC_VI,每数据帧长度为256字节,生成速率为512 kb/s的CBR业务作为视频数据流模型; 视频与音频数据流仿真时间由1~27 s。仿真结果如图5和图6所示。

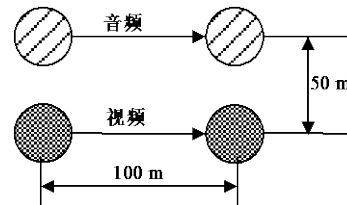


图4 仿真场景

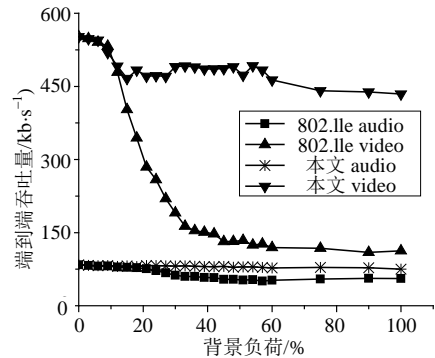


图5 单跳场景端到端吞吐量

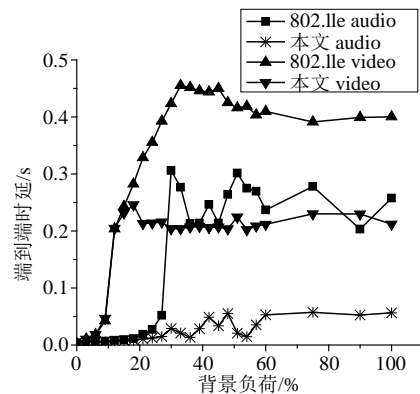


图6 单跳场景端到端时延

图5中,当背景负荷为100%时,使用802.11e协议,视频数据流和音频数据流分别下降到112.5 kb/s和55.6 kb/s;而使用本文的方法,视频数据流与音频数据流的端到端吞吐量分别下降到434.434 47 kb/s和75.209 19 kb/s。图6中,当背景负荷为100%时,使用802.11e协议,视频数据流的端到端时延为0.400 4 s;使用本文的方法,视频数据流端到端时延为0.2118 9 s。吞吐量包括了IP报头的数据流量,因此在背景负荷为0时,吞吐量应当分别为552 kb/s和84 kb/s。由图5~图6可以看出,本文的方法在背景负荷逐渐增大的情况下,高优先级的数据流的端到端吞吐量和时延明显优于802.11e协议。

综合以上结果,说明本文的方法由于通过消息的扩散,以及模糊逻辑控制流量,协调了各个低优先级的数据流的接入率,从而保证了高优先级数据流的端到端吞吐量,改善了高优先级数据流的端到端时延特性。使用本文的方法,在背景负荷超过20%的条件下,表现优于802.11e协议。而且,由于没有引入过多的控制开销,在背景负荷较小的条件下,表现与802.11e协议相当。

4 结束语

802.11e协议为WLAN提供了基本的区分服务功能,但是对于Ad hoc网络,该协议依然存在一定的局限性。随着信道背景负荷的增大,没有协调能力802.11e协议无法从根本上保证高优先级数据流的服务质量。而本文引入模糊逻辑和消息扩散机制,协调各个与高优先级数据流存在竞争关系的低优先级数据流,减少其信道接入,保证高优先级数据流的优先接入。仿真验证表明高优先级数据流的吞吐量、时延得到了明显的提高或改善。因此本文提供的方法在区分服务方面比802.11e协议更好,并且不需要过多的进行节点之间的信息交换,节省了宝贵的无线资源。

参 考 文 献

- [1] IEEE Std 802.11-1999. Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications[S]. International Standard ISO/IEC 8802-11: 1999(E); ANSI/IEEE Std 802.11, 1999 Edition.
- [2] 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]. IEEE 802.11e, 2005.
- [3] ZHOU Ying, ANANDA AL, Jacob L. A QoS enabled MAC protocol for multi-hop ad hoc wireless networks[C]// Performance, Computing, and Communications Conference. Phoenix, IEEE, 2003.
- [4] TANTRA J W, CHUAN H F. Achieving near maximum throughput in IEEE 802.11 WLANs with contention tone[J]. Communications Letters, 2006, 10(9): 658-660.
- [5] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J]. IEEE JOURNAL on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [6] YANG Xiao, YI Pan. Differentiation QoS guarantee, and optimization for real-time traffic over one-hop Ad hoc networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2005, 16(6): 538-549.
- [7] MCCANNE S, FLOYD S. Ns network simulator version 2 [EB/OL]. [2007-05-25]. RL:http://www.isi.edu/nsnam/ns.
- [8] 陈年生, 李腊元, 向阳. 移动自组网QoS路由协议研究[J]. 武汉理工大学学报, 2004, 28(3): 349-352.
Chen Niansheng, Li Layuan, XiangYang. A Study of QoS Routing Protocols of Mobile Ad Hoc Networks[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2004, 28(3):349-352
- [9] 刘占军, 赵为粮, 李云. Ad hoc网络中基于数据流的QoS路由协议[J]. 通信学报, 2004, 25(12): 125-130.
LIU Zhan-jun, ZHAO Wei-liang, LI Yun, et al. Flow based QoS routing in ad hoc network[J]. Journal of China Institute of Communications, 2004, 25(12):125-130
- [10] 康凯, 郭伟, 刘仁婷. 一种TDMA无线多跳网中新的传输调度算法[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(2): 173-175.
KANG Kai, GUO Wei, LIU Ren-ting. A novel transmission schedule algorithm for TDMA wireless multihop networks[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2007, 36(2): 173-175.

编辑 熊思亮