

基于创新扩散的多预约 802.11e 协议及性能分析

王朝翔 孙丹丹 丁炜

(北京邮电大学通信网络综合技术研究所 北京 100876)

摘要: 该文为 Ad hoc 网络媒质接入层提出了一种基于 802.11e 协议的支持区分服务支持的协议。该协议采取多预约机制提高高优先级数据业务在信道竞争中的优势,并且采用“创新的扩散原理”协调降低各个低优先级数据业务的接入概率,保护高优先级数据流,同时避免了这种协调信息在全网络范围内的洪泛。理论分析与仿真结果均表明,该扩展协议提高了高优先级数据流的接入概率和端到端吞吐量,显著的降低高等级业务的端到端时延及抖动。

关键词: 多预约;创新的扩散原理;媒质接入协议;服务质量;无线自组网

中图分类号: TN915.04

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)07-1606-04

A Multiple Reserving Channel Extension of 802.11e MAC Protocol Based on the Diffusion of Innovation Theory and the Performance Analysis

Wang Zhao-xiang Sun Dan-dan Ding Wei

(School of Telecommunication & Network Technology,

Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: An extension MAC Protocol based on 802.11e is proposed for better supporting Class of Service in data link layer of Ad hoc. By using multiple reserving channel method, the superiority of the higher priority flows in medium contention is enhanced. By using the diffusion of innovation theory, the low priority flows lower their sending probability to protect the higher priority services, and information flooding is avoided in the whole ad hoc network. Analysis and simulation results show that the extension protocol can improve the success of the high priority data's throughputs and remarkably reduce end-to-end delay and jitter.

Key words: Multiple reserve; Diffusion of innovation theory; MAC; QoS; Ad hoc

1 引言

在 Ad hoc 网络中,MAC 层常用的是 802.11^[1]接入方式。2005 年提出的 802.11e^[2]协议,在 MAC 层引入数据业务的区分服务。但是由于其主要针对 WLAN,因此对于 Ad hoc 网络的区分服务的支持并不是很好。文献[2,3]的解决方法是对于不同的业务采用不同的退避计数,这种退避只是提高了高优先级业务接入信道几率。文献[4]采用捎带方式由发送端决定信道的使用权,但是这种捎带方式在没有中心协调装置的时候,实现比较复杂。文献[5],在预约信道之前使用静音接入技术,以解决信道的优先级决策,而其后进行预约信道的过程。该控制过程复杂,并且分布式环境下无线信道同步困难。本文通过改进 802.11e 的 MAC 接入机制,添加相应的控制分组,在接入中引入多预约机制,解决高优先级数据优先接入问题;增加捎带信息,采用“创新扩散原理”进行信息处理,协调其它优先级数据流的接入概率,避免捎带信息的全网泛洪,从而比较完整的解决 MAC 层区分服务问题。

2 802.11e EDCA

802.11e 协议分为 EDCA 和 HCF 两种模式。在 Ad hoc

网络中多使用基于 RTS-CTS-DATA-ACK 顺序的 4 次握手 EDCA 方式。802.11e 协议为引入区分服务主要在 MAC 层引入了不同的 4 个等级的队列,为配合不同队列的处理过程。但是 802.11e 协议没有解决:(1)在接入的握手过程中无法区分不同等级的数据业务。当信道竞争比较激烈的时候,这个方法不能够确保高优先级数据流通过提高接入频率取得信道竞争优势。(2)缺乏协调其它数据流的有效机制。MAC 层的服务延迟主要来自于接入等待时间,包括了退避等待计时器的时间,信道竞争失败等待延迟和信道遇忙等待延迟。后面两项是 MAC 层服务延迟的主要原因,只有通过协调其它低等级数据流,减少它们对于信道的竞争,才能够保证高等级业务的需求。

3 创新的扩散原理

为解决第 2 节中提到的第(2)个问题,需要 3 个条件,(1)需要协调消息的载体;(2)协调的消息必须能够清楚无误地在各个节点之间交换,而不会产生二意性;(3)处理消息的流程必须简单便于实现。对于第 1 个条件本文使用 802.11e 协议原有的控制帧捎带的方式进行传播,减少网络负担;对于第 2 个条件,本文的消息采用的是期望信道空闲率,这样任何节点都会很容易地通过观测得到信道空闲率,而不会有二意

性;对于第 3 个条件,本文引入创新的扩散原理进行携带式信息的处理,该处理方式的优点在于处理的简单性和通用性。

“创新的扩散原理”来源于艾弗雷特·罗杰斯^[6]。该原理主要阐述了社会学中一种新思想的传播与消失的过程。首先,该理论将社会中接受新思想的人群划分为 5 类,第 1 类是革新者(IN),第 2 类是早期采用者(EA),第 3 类是早期大多数(EM),第 4 类是后期多数(LM),第 5 类是落后者(LA)。在新思想传播的过程中,革新者产生新的思想,而早期接受者会将这种新的思想传播到其它人群,其它人群在接受这些思想后,会进一步的传播,直到那些最不愿接受这些思想的人也同样接受这样的思想为止。当新思想产生的条件消失后,就会有一个与扩散的过程相似的过程,使得整个社会能够消除上一个思想对于社会的影响。

采用这一原理:(1)在能够影响高优先级业务流的范围内扩散高等级业务对于信道的需求,以使在这个范围内的所有低优先级的业务降低接入概率。(2)这个扩散的过程是可逆的。当信道条件改善,低优先级节点节点可以回复自身的接入概率,从而保护整个系统的吞吐量。(3)不需要改变原先的分布式处理机制,并且只需要添加一些简单的统计帮助信息就可以实现。

4 基于创新的扩散的多预约 802.11e 协议扩展

对应于原有的 802.11e 协议,本文将数据流分成 3 类,将原协议中的 AC_BK 和 AC_BE 两种接入类合并为同一个类型,其它两种接入类型不变,同时规定 AC_VO 具有最高级别,AC_VI 类型具有比较高的级别,其它接入类型数据最低优先级。任何节点必须具备监测信道并且进行信道统计的能力。监测的项目包括:信道的空闲率,以及邻节点的数量。节点的 MAC 还必须可以从上层得到各个接入类的统计信息,包括接入类的统计复用流量,以及接入类的平均数据报文长度。对于 802.11e 协议的相应修改如下:

(1)针对第 2 节中的第(1)个问题使用多预约机制,既最高优先级使用背靠背的 3 个 RTS 预约帧,中等级别的数据流使用背靠背的 2 个 RTS 预约帧,最低级别使用 1 个 RTS 预约帧,预约信道。由于高优先级的数据具有多个 RTS 帧,因此碰撞只发生在前几个 RTS 帧当中,接收节点通过监听到的任何一个 RTS 帧的信息,决定接受或拒绝。与文献[5]中的方法相比较,本文的方法简化了这种接入的复杂程度,不需要更进一步的进行信道握手。对于同级别数据有可能产生预约冲突,可以使用 802.11e 原有的退避机制加以解决。

(2)在 MAC 帧头部,加入一个字段指示,这个字段中包括,一个转发标志位,转发计数,一个请求信道空闲率指示,接入类级别指示。信道空闲率指示高等级的数据流请求的信道空闲率,该空闲率应上取整。

(3)引入创新的扩散原理。本文将状态简化为 4 种,分别为 EA、EM、LM,以及 LA。同时 LA 也代表了初始状态。

状态转移如图 1 所示。处于非 LA 状态时,启动初始窗口退避定时器,每一次定时超时则检查信道是否满足请求记录,如果不满足,则从级别最低的接入类开始加倍初始发送窗口,直到信道满足条件,或者达到最大的发送窗口;如果满足请求记录则从级别最高的接入类开始线性减小初始发送窗口,直到该接入类的最小初始发送窗口。各个状态之间的转换关系如下:

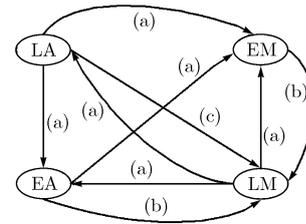


图 1 扩散状态转移图

(a)当本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 EA 状态,如果请求来自监听到的其它 EA 节点则转移到 EM 状态,如果请求来自监听到的其它 EM 或者 LM 状态则转移到 LM 状态,并且重新设置状态转移定时器,将该请求记录下来。

(b)如果状态转移定时器超时,则将状态转移到 LM 状态重新设置状态转移定时器,请求记录不变。如果由于监听到更高的请求,则处理同(a)。

(c)如果 LM 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 LA 状态,请求纪录清 0,状态定时器清 0。

(4)处于 EM 和 LM 状态的节点,依据自身各个级别接入类初始退避窗口的状态决定是否转发请求,如果转发请求则转发标志置 1,转发计数加 1 后进行转发。

(5)一个较高优先级的 EDCA 功能在得到统计复用流量信息后,通过式(1)计算当前信道是否可以满足当前复用流量的要求。如果不能满足,向上层协议提供指示。如果信道可能满足当前复用流量,通过式(2)计算出当前需要的信道空闲率,然后与当前的信道空闲率的观测值相比较,如果高于观测值则发出请求,否则不发送请求。

$$T_{trans} = T_{rts} \times 3 + T_{cts} + T_{data} + 3 \times T_{sifs} + T_{ack} + 2\sigma$$

$$speed_{max}^i = \frac{pkt_size_i \times 8}{T_{trans} + T_{slot} \times (CW_{min}^i + 1) / 2} \quad (1)$$

$$req = \left\lceil \frac{(CW_{min}^i + 1) \times T_{slot} \times Proc_speed_i \times 100}{8 \times pkt_size_i} \right\rceil \quad (2)$$

其中 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、ack、data的时间, T_{sifs} 代表最小帧间距, σ 代表系统最大传

送延迟, Proc_speed_i 表示接入类的统计复用流量, pkt_size_i 表示平均数据报文长度, $\lceil \cdot \rceil$ 代表上取整运算。

5 理论分析

本文参考文献[7, 8]中所用方法, 进行饱和吞吐量及时延分析。由于 802.11e 存在 4 个不同等级, 本文提出的算法对于最后两个等级的数据流的接入进行了相同的处理, 因此归并为一个等级, 即存在 3 个不同等级的 MAC 层数据流, $i=0, 1, 2$; 假设不同业务流均处于稳定状态, 不同等级业务流个数为 n_i , 每一个数据流的稳定的初始窗口退避次数为 s_i ($0 \leq s_i \leq m_i$), m_i 为达到协议规定的该等级最大退避窗口的退避次数, 系统中的每一个节点都可以相互监听到其它节点的发送信号。每一个等级数据流的接入概率为 τ_i ; 无线信道为空闲的概率为 p_{idle} , p_i 代表等级为 i 的数据流发送失败的概率, p_{si} 为发送成功概率。则 τ_i 为

$$B_{i,0,0} = 1 / \sum_{j=0}^{L_{\text{retry}}} (1 + W'_{ij})(1 - p_i)^j / 2$$

$$\tau_i = \frac{1 - (1 - p_i)^{L_{\text{retry}} + 1}}{p_i} B_{i,0,0}$$

与文献[8]不同, $W_{i0} = 2^s W'_{i0}$, 其中 W'_{i0} 为协议规定的数据流等级为 i 的最小退避窗口值, W_{i0} 为达到稳定状态时的初始退避窗口, W'_{ij} 修正为

$$W'_{ij} = \begin{cases} 2^j W_{i0} & j + s_i \leq m_i, 0 \leq j \leq L_{\text{retry}} \\ CW_{i,\text{max}} & j + s_i > m_i, 0 \leq j \leq L_{\text{retry}} \end{cases}, \text{而}$$

$$p_i = 1 - \prod_{i' \wedge i} (1 - \tau_{i'})^{n_{i'}} (1 - \tau_i)^{n_i - 1}$$

$$p_{\text{si}} = n_i \tau_i (1 - \tau_i)^{n_i - 1} \prod_{i' \wedge i} (1 - \tau_{i'})^{n_{i'}} \quad (3)$$

这里 $i' \wedge i$ 代表集合 $\{0, 1, \dots, i\} - \{i\}$, 并且当 $i' \wedge i$ 为 ϕ 时, $\prod_{i' \wedge i} (1 - \tau_{i'})^{n_{i'}} = 1$ 。也就是 p_{si} 与高等级的数据流和本等级数据流有关, 与较低等级的数据流无关。原因在于, 本文使用的多预约的方式, 在这种方式下, 高等级数据流具有竞争优势, 因此, 与原始的 802.11e 协议相比, 只要没有同等级以及更高等级数据流的竞争, 一定会取得信道。等级为 i 的任意数据流的归一化吞吐量 S_i 和平均延迟 $E[D_i]$ 分别为

$$\left. \begin{aligned} S_i &= \frac{p_{\text{si}} E[T_{\text{data}}]}{p_{\text{idle}} \delta + \sum p_{\text{si}} E[T_s] + (1 - p_{\text{idle}} - \sum p_{\text{si}}) E[T_c]} \\ E[N_{\text{slot}i}] &= \sum_{j=0}^{L_{\text{retry}}} \frac{(1 - p_i) p_i^j}{1 - p_i^{L_{\text{retry}} + 1}} \sum_{h=0}^j \frac{W_{ih} - 1}{2} \\ E[N_{\text{busy}i}] &= \frac{p_i}{(1 - p_i)} E[N_{\text{slot}i}] E[N_{\text{retry}i}] \\ E[N_{\text{retry}i}] &= \sum_{j=0}^{L_{\text{retry}}} j p_i^j (1 - p_i) / (1 - p_i^{L_{\text{retry}} + 1}) \\ E[D_i] &= E[N_{\text{slot}i}] \delta + E[N_{\text{busy}i}] (E[T_s] p_s + E[T_c] p_f) \\ &\quad + E[N_{\text{retry}i}] E[T_c] + E[T_s] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

其中 δ 、 $E[T_s]$ 、 $E[T_c]$ 、 $E[T_{\text{data}}]$ 分别代表时隙长度、成功发送数据分组的时间均值、信道冲突发生时的调整时间均

值, 以及去除握手信息后的数据发送时间的均值。 $p_s = \sum p_{\text{si}}$ 代表系统成功发送的概率, $p_f = 1 - p_s - p_{\text{idle}}$ 代表系统冲突发生的概率。

对比文献[8]中的归一化吞吐量表达式, 主要的改变在于 p_{si} 的表达不同。考察式(3), 由于 τ_i 的值与 W'_{ij} 相关, 对于低等级业务在接收到高等级业务流的信道要求后会主动加大退避窗口, 既 $s_i > 0$, 因此其接入概率 τ_i 会降低, 同时由于多预约机制的引入进一步减少了低优先级业务的冲突, 因而高优先级数据流的 p_{si} 会增大。当信道处于拥塞状态时, 可以认为 p_{idle} 可以忽略, 此时吞吐量由 p_{si} 决定, 对于高优先级的业务 p_{si} 的增大代表该业务流的归一化吞吐量比 802.11e 协议提高。对于式(4), 由于 p_{si} 的增大使得较高优先级的数据流第一次接入成功的概率就会提高, 而接入失败概率 p_i 减小, 此时由于接入信道不成功带来的调整时延就会大大减少, 因而时延的抖动范围可以稳定在一个较小的区间。

6 仿真与结果分析

本次仿真环境为 ns2, 采用维度为 12 的曼哈顿网络拓扑模型, 既等间距节点阵列拓扑, 全网络 13 行, 13 列, 共 169 个节点。列与列、行与行之间相隔 50m。每一个节点的传送和接收被周围的 12 个节点影响。结果采用 802.11e MAC 协议与基于创新扩散原理的多预约 802.11e MAC 协议相对比的方式。其它仿真参数如表 1 所示, 仿真结果如图 2-图 5 所示, 通过该仿真可以得出以下的一些分析:

(1) 图 2-图 3 显示了在网络背景负载 100% 的情况下, 高优先级数据流在典型数据分组长度 64、128、256、512、1024

表 1 仿真参数

		物理层速度	2Mbps
		物理层	802.11b DSSS
		节点传输范围	101m
		系统仿真时间	0-30s
		背景流报文长度	64byte
		数据流方式	恒定比特率 UDP
		路由协议	静态路由
		高等级数据流	节点 29->节点 31->节点 33
		高等级数据流仿真时间	1-27s
		背景负载	100%
仿真 1	高等级数据帧长度(byte)	结果	64,128,256,512,1024 图 2, 图 3
		背景负载(%)	5,10,20,40,60,80,100
仿真 2	高等级数据帧长度(byte)	结果	256 图 4

字节的条件下, 802.11e 和基于创新扩散的多预约 802.11e 协议下仿真的对比结果。

(2)图 2 显示了端到端的平均时延, 可见本文提出的基于创新扩散的多预约 802.11e 协议远好于原始协议的平均时延。

(3)图 4 显示高优先级数据流端到端的吞吐量, 本文所采用方法好于原始协议。

(4)图 5 显示了不同网络负载下, 高优先级数据流端到端吞吐量的对比情况。可知本文的方法是原始协议的两倍多。

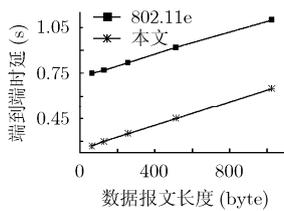


图 2 端到端平均时延

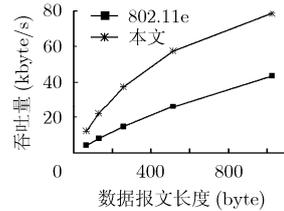


图 3 端到端吞吐量

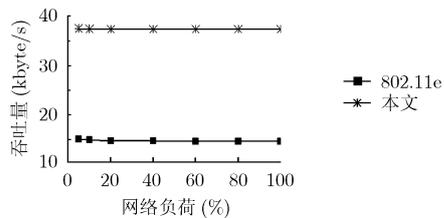


图 4 不同负荷下的端到端吞吐量

7 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。本文引入多预约机制确保了高优先级数据流的优先接入。同时引入“创新的扩散原理”, 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。通过理论及仿真验证分析, 可以证明高优先级数据流的吞吐量、时延及时延抖动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原始协议更

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]. 2005.
- [3] Yeh C-H and You T. A QoS MAC protocol for differentiated service in mobile ad hoc networks [C]. Proceedings. 2003 International Conference on Parallel Processing (ICPP'03). Los Alamitos, CA. 2003: 349-356.
- [4] Zhou Ying, Ananda A L, and Jacob L. A QoS enabled MAC protocol for multi-hop Ad hoc wireless networks [C]. Conference Proceedings of the 2003 IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC'03). Phoenix, Arizona. 2003: 149-156.
- [5] Tantra J W and Chuan Heng Foh. Achieving near maximum throughput in IEEE 802.11 WLANs with contention tone. *Communications Letters*, 2006, 10(9): 658-660.
- [6] Rogers M 著. 辛欣译. 创新的扩散. 第4版. 北京: 中央编译局出版社, 2002, 第1章.
- [7] Giuseppe Bianchi. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(3): 535-547.
- [8] Yang Xiao. Performance analysis of IEEE 802.11e EDCF under saturation condition [C]. Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2004), Paris, France. 20-24 June 2004, Vol.1: 170-174.

王朝翔: 男, 1977年生, 博士生, 研究方向为无线自组网。

孙丹丹: 女, 1978年生, 讲师, 研究方向为无线自组网。

丁 炜: 男, 1935年生, 教授, 研究方向为宽带网络接入技术。