

应用于 802.11e 无线局域网 QoS 区分的新机制

张国鹏, 赵力强, 张海林

(西安电子科技大学 综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要: 针对 802.11e 无线局域网中的不公平现象, 即当网络负载较大时低优先级数据流的吞吐量几乎为零, 提出一种新的媒体接入控制机制 P-EDCA, 实现按数据流权重公平的系统带宽资源分配. P-EDCA 支持 802.11e 的多优先级队列结构, 通过站点内部的队列调度机制保证各队列分组获取公平的站点发送权; 通过站点之间的信道竞争机制保证各站点获取公平的信道访问机率. 仿真表明, P-EDCA 能够精确实现按权重、成比例的带宽资源分配. 与 EDCA 相比, 在满足高优先级数据流 QoS 需求的前提下, P-EDCA 能够将低优先级数据流的时延降低 50%.

关键词: 802.11e EDCA; 无线局域网; 媒体介入控制; 权重公平性

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-2400(2009)04-0608-06

Novel MAC scheme for weighted-fair differentiated service in 802.11e WLANs

ZHANG Guo-peng, ZHAO Li-qiang, ZHANG Hai-lin

(State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: In this paper, a novel MAC scheme referred to as P-EDCA is proposed to resolve the unfairness problem in IEEE 802.11e WLANs (i. e., the flows with lower priorities can not get any throughput of data transfer in cases of heavy network loads). P-EDCA provides weighted fairness for differentiated service between the flows, and supports the stations with the 802.11e based multi-queue structure. By using the inner centralized queuing discipline, P-EDCA guarantees fair transmission opportunity between the queues within a station. And by using a contention based access method, i. e., the DFS algorithm, fairness of channel accessing between the stations is reached. Simulation results show that weighted-fair differentiation is accurately implemented by P-EDCA with no information shared between the users. And, without decreasing the performance of higher priority flows, P-EDCA outperforms the original EDCA in terms of its QoS assurance for lower priority flows in the network.

Key Words: 802.11e EDCA; Wireless LANs; MAC; weighted fair service

IEEE 802.11^[1]协议是当前最有影响的无线局域网(WLAN)标准. 基于载波监听多路访问、碰撞避免(CSMA/CA)的DCF(Distributed Coordination Function)是 802.11 最基本的媒体访问控制(MAC)机制. DCF 在每个用户终端仅维护一个分组发送队列, 且对网络中所有的数据流提供一致的尽力而为(Best Effort)服务. 为支持各种数据业务对网络服务质量(QoS)的不同需求, 全新的 WLAN 标准 IEEE 802.11e^[2]在用户终端支持多个分组发送队列, 且在 MAC 层提供按优先级的区分服务(Priority Based Differentiated Service).

IEEE 802.11e 采用 EDCA(Enhanced DCF Channel Access)作为其基本 MAC 机制. EDCA 将网络中的数据流归为 4 种接入类型(AC: Access Category), 按优先级高低依次为: 语音流(AC₃)、视频流(AC₂), 以及非实时流(AC₁)和(AC₀). EDCA 基于严格优先级和固定的 MAC 竞争参数设置会导致当网络中数据流量增

收稿日期: 2008-09-10

基金项目: 国家自然科学基金资助(60772317); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助(2006F30)

作者简介: 张国鹏(1978-), 男, 西安电子科技大学博士研究生, E-mail: brahms_zgp@163.com.

加、信道竞争加剧时,低优先级数据流出现“饥饿”现象(吞吐量长时间为 0),也称为公平性问题^[3-4],如第 3 部分图 2 所示。

针对上述问题,基于 802.11e 提出一种新的 MAC 机制 P-EDCA:(1)支持用户站点的多优先级队列设置;(2)在 WLAN 中提供数据流之间按权重公平的系统带宽资源分配服务(Weighted Proportional Bandwidth Allocation)。另外,与现有 802.11 协议兼容,P-EDCA 具有完全分布式的特性,不需要网络中的竞争实体交换任何的系统或个人信息即可实现上述功能。

1 相关工作

1.1 DCF 和 EDCA 简述

IEEE 802.11 为站点内所有的数据流维护 1 个分组发送队列,其基本 MAC 机制 DCF 主要基于 CSMA/CA 协议和二进制时隙退避策略:各站点在监测到信道空闲时间大于规定的时间间隔 DIFS 后,选择退避间隔时间 BI(backoff interval)进入退避过程,退避结束后发送分组;否则延迟接入直至监测到 DIFS。退避间隔 BI 是时隙长度 aSlotTime 的整数倍,且在区间 $[0, M-1]$ 服从均匀分布。 M (竞争窗口)是介于最小竞争窗口 M_{min} 和最大竞争窗口 M_{max} 之间的整数。第一次发送某分组时, $M = M_{min}$;如果多个终端同时发送,则该分组发生碰撞,即发送失败;将 M 加倍,重传该分组;在重传 m 次后, $M = M_{max}$;如果再发生碰撞, M 不再增大,但继续重传;直到重传次数达到最大重传次数后,丢弃该分组。

IEEE 802.11e EDCA 在站点内部将数据流分为 8 个用户优先级(User priority),并将其映射到 4 个接入优先级 P_i ($i = 0, 1, 2, 3$) 队列,各 P_i 的 MAC 竞争参数设置如表 1 所示。

表 1 802.11e EDCA 按接入类型的竞争参数设置

| | P_0 | P_1 | P_2 | P_3 | | P_0 | P_1 | P_2 | P_3 | | P_0 | P_1 | P_2 | P_3 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| I | 2 | 1 | 1 | 1 | M_{min} | 32 | 32 | 16 | 8 | M_{max} | 1024 | 1024 | 32 | 16 |

EDCA 在设置队列 P_i 的 MAC 竞争参数时,用 $A[P_i]$ 取代 DCF 中的 DIFS,其计算方式为

$$A[P_i] = SIFS + I[P_i] \times aSlotTime \quad (1)$$

其中参数 $I[P_i]$ 的取值如表 1 所示,SIFS 为 DCF 所规定的帧间隔的一种,且有以下关系:

$$SIFS = DIFS - 2 \times aSlotTime \quad (2)$$

这样站点内各队列可视为独立的 DCF 站点,按照其竞争参数设置访问信道。当发生站点内虚拟碰撞时,即多个队列的分组同时到达发送时间,则规定最高优先级队列获得分组发送机会(TXOP)。

1.2 公平性的定义

EDCA 提供的是严格优先级的 QoS 区分服务,而 P-EDCA 提供公平性服务,即按网络中各数据流所预设的权重成比例地分配系统带宽。定义 F 为网络中的数据流集合,对于任意数据流 f_i ($f_i \in F$) 其权重参数为 Φ_i , Φ_i 反映了 f_i 应获得的系统带宽份额。公平性的定义必须能够反映各个数据流对信道带宽资源的共享公平程度,为此,借鉴公平队列调度规则 GPS 的思想^[5],P-EDCA 中的公平性定义如下。

定义 1 在公平情况下,当系统负载小于信道容量时,任意数据流 f_i ($f_i \in F$) 对系统的带宽资源需求都应得到满足,即有 $W_i = L_i$, W_i 表示数据流 f_i 实际获得的吞吐量, L_i 表示数据流 f_i 的输入负载。当系统负载总量超出信道容量时,网络中任意数据流获得的吞吐量应和其权重成正比,即:

$$W_i/W_j = \Phi_i/\Phi_j \quad , \quad \forall f_i, f_j \in F \quad (3)$$

因此,在理想的公平性 MAC 调度机制下,数据流 f_i 实际获取的数据吞吐量可表示为

$$W_i = B \cdot (\Phi_i / \sum_{j=1}^{|F|} \Phi_j) \quad (4)$$

其中 B 为信道容量, $|F|$ 表示集合 F 的势。

1.3 WLAN 公平性调度机制综述

针对在 WLAN 中实现按权重公平的带宽资源分配已存在多种解决方案。其中文献[6]提出的 DFS (Distributed Fair Queuing)算法通过按站点权重来调整退避间隔参数 BI,确保了站点间公平性。文献[6]的

方案基于一种 SCFQ (Self-Clocked Fair Queuing) 机制,当采用站点权重和退避间隔参数 BI 的线性映射算法时,则无须在站点间进行 Self-clock 同步. 文献[7]提出了一种按无线终端的带宽比率设置最小竞争窗口参数 M_{\min} 的业务区分算法 DS-RWBO(Service Differentiated RWBO). 此算法不仅较好地实现了站点间按比率的服务区分,而且最优地利用了信道资源. 但是其实现需要预先集中计算各竞争站点的最佳 M_{\min} 值,再将结果设置到各相关站点,这在分布式的 WLAN 系统中很难做到. 另外,文献[8]提出了一种 DDDR (distributed Deficit Round Robin) 算法,通过区分不同权重站点的物理层时间间隔参数(IFS)实现站点间公平的信道访问. DDDR 算法将不同权重站点的服务区分参数的取值区间设为 [PIFS, DIFS],其区间大小仅为一个单位时隙长度. 由于无线信道传播时延的影响,其服务区分能力并不理想. 文献[9]提出的 P-MAC (Priority-based fair MAC) 算法通过调整竞争窗口参数 W 实现上述公平性分配原则,然而其实现需要站点进行复杂的信息交换,如站点数、分组长度等,这导致其实用性受到很大影响. 文献[10]利用 1.2 中的公平性定义,提出一种 FFMA (Flow rate based Fair Medium Access) 机制解决了 802.11 DCF 协议存在的多跳站点间通信的不公平问题,但是它同样要求相邻接站点间进行信息交换(站点的最佳竞争窗口 M_{\min}). 文献[13]的研究模型仅考虑了站点内部的单队列结构,而未考虑 802.11e 所支持的站点内多优先级队列结构.

2 P-EDCA 机制

站点内可能有多个数据流等待传输. 基于 802.11e, P-EDCA 支持站点内的多优先级队列结构. 但是站点每次只能传输一个数据流的分组,故 P-EDCA 有两个模块构成: 调度机制 $S_{\text{intra-node}}$ 保证站点内各队列获取公平的站点发送权; 信道竞争机制 $S_{\text{inter-node}}$ 保证各站点获取公平的信道访问机率.

2.1 站点内队列调度

为简化分析,设站点内每个数据流 f_i 对应一个分组发送队列 q_i ,调度机制 $S_{\text{intra-node}}$ 保证各队列获取公平的站点发送权. 故需要选取能够准确及时地反映站点内各数据流负载及其对信道带宽资源占用情况变化的度量值. 因此,先引入一个新的协议参数 R (数据流的短期规范化吞吐量). 下面给出 R 的具体定义及相关过程.

设站点内各队列处于饱和状态、始终有分组待发送. 由文献[11],数据流 f_i 根据时刻 t 成功发送的分组可估计其当前吞吐率为

$$W_i(t) = L_i/D_i(t) \quad , \quad D_i(t) = t_{a,i} - t_{q,i} \quad , \quad (5)$$

其中 L_i 为分组长度, $D_i(t)$ 是分组到达队头的时间($t_{q,i}$) 与此分组的应答信息 ACK 接收时间($t_{a,i}$) 之差,称 $D_i(t)$ 为分组的发送时延. 根据式(5),定义数据流 f_i 的短期吞吐量为

$$W_i(t_0, t) = \frac{|N_i(t_0, t)| \cdot \bar{L}_i}{\bar{D}_i(t_0, t)} \quad , \quad \bar{D}_i(t_0, t) = \frac{\sum_{m=1}^{|N_i(t_0, t)|} D_i(t_m)}{|N_i(t_0, t)|} = \frac{G_i}{K_i} \quad , \quad (6)$$

其中 t_0 是 t 之前的任意时刻, \bar{L}_i 为分组的平均长度, $\bar{D}_i(t_0, t)$ 是时间间隔(t_0, t) 内队列 q_i 所发送的 $|N_i(t_0, t)|$ 个分组的平均时延. 根据式(6),进一步定义数据流 f_i 短期规范化吞吐量 R_i 为

$$R_i = W_i(t_0, t)/\Phi_i \quad . \quad (7)$$

当网络中的负载总量超出了信道容量时,站点内各队列的分组都不能被及时传输,造成分组积压. 若带宽资源在站点内各队列之间公平的分配,根据式(3),各队列的 R 值应大致相同,即:

$$R_i = W_i(t_0, t)/\Phi_i = W_j(t_0, t)/\Phi_j = R_j \quad , \quad \forall f_i, f_j \in F \quad . \quad (8)$$

反之各数据流之间的 R 值差异较大. 短期规范化吞吐量 R 很好地反映了数据流在任意时间间隔(t_0, t) 内的流量特性及其所获取队列调度服务的公平性程度.

根据上述分析以及数据流的短期规范化吞吐量 R 的定义,设置站点内队列调度机制 $S_{\text{intra-node}}$ 由下述两个事件触发规则构成.

(1) 分组调度规则: 为保证各队列的分组获取公平的站点发送机率, $S_{\text{intra-node}}$ 只需保持各队列 R 值差异的最小化. 因此,在站点调度待发分组时刻 t , $S_{\text{intra-node}}$ 调度当前 R 值最小的队列 q_i 的分组进行发送. 定义 $Q(t_0, t)$ 为时间间隔(t_0, t) 内站点中的积压队列集合,则有

$$q_i \in \underset{q_j \in Q(t_0, t)}{\operatorname{argmin}} R_j \quad (9)$$

当站点内多个队列具有相同的 R 值时, $S_{\text{intra-node}}$ 优先调度权重最低队列的分组进行发送。

(2) 更新规则: 数据流 f_i 的分组成功发送后, 应对其参数 R_i 进行更新。根据(6)式, 令 $G_i = G_i + D(t)$, $K_i = K_i + 1$, 再代入式(7)重新计算即可。

综上所述, 调度机制 $S_{\text{intra-node}}$ 具有 $O(n)$ 的时间和空间复杂度。此外, 作为主要的监测参数 R , 其反映数据流量变化的精确度可以通过时间间隔参数 (t_0, t) 进行动态调整, 以适应不同的网络条件。仿真中采用的时间间隔参数为 30 ms, 大约为成功发送 10 个长度为 512 byte 分组的时间(数据发送速率为 2 Mb/s, 物理层控制信息发送速率为 1 Mb/s)。

2.2 站点间竞争机制

上述站点内队列调度机制 $S_{\text{intra-node}}$ 实质上将多队列站点等效为单队列站点, 则各站点对信道的竞争实质上构成了一个分布式队列调度系统。设网络中任意站点 i 当前调度数据流 f_i 的分组进行发送, 站点间信道竞争机制 $S_{\text{inter-node}}$ 应将数据流 f_i 的权重 Φ_i 映射为站点 i 当前的 MAC 竞争参数, 且其必须能保证站点 i 获取公平的信道访问机率。这里借鉴 DFS 算法^[6,13]中的线性映射机制, 设置 $S_{\text{inter-node}}$ 由下面两个模块构成。

(1) MAC 竞争参数映射: 站点 i 根据当前发送分组的权重 Φ_i 设置其退避时间参数 BI_i (见 1.1 节) 为

$$BI_i = \lfloor F \times \bar{L}_i / \Phi_i \rfloor \times \rho \quad (10)$$

其中, $\rho = \text{random}[0.9, 1.1]$ 是均值为 1 且在 $[0.9, 1.1]$ 之间服从均匀分布的随机变量, 其作用是避免相同权重站点间分组发送的碰撞; F 是根据系统当前竞争状态的可调参数, F 值越大, 站点的退避时间越长, 但当系统负载较低时会出现大量的信道空闲。反之若 F 值过小, 则会导致系统负载较高时信道中分组发送的碰撞加剧。仿真结果表明 $F = 0.02$ 是一个较为折中的选择。

(2) 碰撞解决机制: 当系统中有多站点的退避间隔 BI 在同一时刻结束, 并在信道中传输分组, 则发生分组碰撞。每次检测到碰撞后, 站点 i 按如下步骤更新其退避间隔 BI_i 及相关参数。

步骤 1 当前分组碰撞次数计数器 C (初始值为 0) 增 1;

步骤 2 更新当前退避间隔为 $BI_i = r[1, 2^{C-1} \times s]$ 。

上述碰撞解决机制的思想是: 站点 i 的分组发送在第一碰撞后有 $C = 1$, 退避间隔 BI_i 被更新为 $BI_i = r[1, s]$, 其中 r 表示去随机值, 依据公平性准则, 站点 i 是当前时刻信道竞争的潜在成功者, 且 s 的取值也相对较小(仿真使用 $s = 4$), 则 $S_{\text{inter-node}}$ 的碰撞解决机制可以尽快的调度此分组进行重发; 当分组重发再次发生碰撞, 则表明当前信道竞争激烈, 站点 i 应采用二进制指数方式来更新其退避间隔 BI_i , 以避免再次发生碰撞。

3 仿真分析

利用文献[12]提供的 802.11e EDCA 的仿真模型, 笔者实现了 P-EDCA 的队列调度机制 $S_{\text{intra-node}}$ 和 MAC 竞争机制 $S_{\text{inter-node}}$ 。通过与文献[12]中的标准 IEEE 802.11e EDCA 进行比较, 对 P-EDCA 基于权重公平性的服务区分能力进行仿真验证和分析。仿真中物理层参数的设置服从 IEEE 802.11b^[1] 协议, 如表 2 所示。所使用的标准 EDCA 仿真模型^[12] 参数设置如表 1 所示。

表 2 仿真参数设置

| 参数名 | 参数值 | 参数名 | 参数值 |
|------------------------------|-------|-------------------|------|
| 信道速率/(Mb · s ⁻¹) | 2 | ACK/μs | 112 |
| aSlotTime/μs | 20 | SIFS/μs | 10 |
| 最大重传次数 | $r=7$ | DIFS/μs | 50 |
| MAC Header/μs | 144 | M_{\min} /slots | 32 |
| PHY Header/μs | 192 | M_{\max} /slots | 1024 |

先对 P-EDCA 按权重服务区分的能力进行验证。在 250 m × 250 m 的平面上随机放置 10 个移动终端, 分为 5 对。每个发送终端同时向接收终端传输 4 种权重的 CBR(Constant Bit Rate)数据流, 各数据流的权重设

置为[0.4 : 0.3 : 0.2 : 0.1],发送速率均为1 Mb/s,分组长度均为512 byte,共有 20 个 CBR 流,网络中不同权重 CBR 流的吞吐量如图 1 所示,实际获得的带宽比率如表 3 所示.图 1 说明 P-EDCA 可以根据数据流的权重来区分不同的数据流,表 3 说明 P-EDCA 可以较精确地根据数据流的权重公平地分配系统带宽.

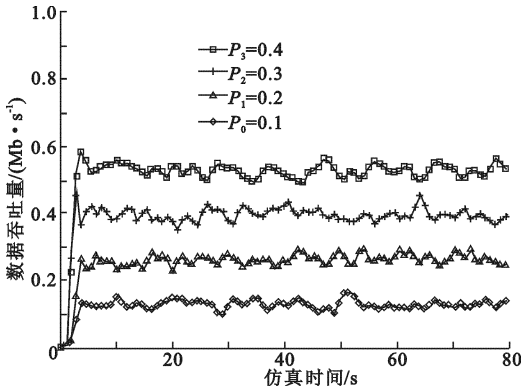


图 1 P-EDCA 按数据流权重的带宽分配

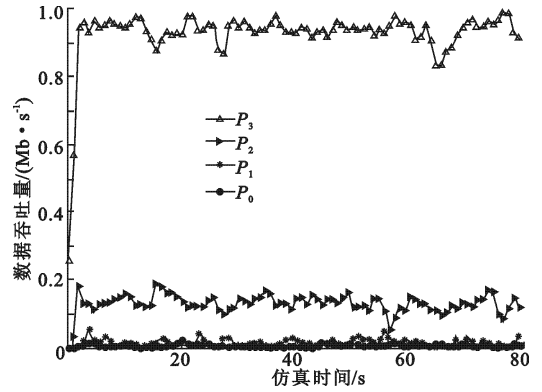


图 2 EDCA 按优先级的带宽分配

表 3 P-EDCA 的带宽分配统计结果

| | $\Phi_3 = 0.4$ | $\Phi_2 = 0.3$ | $\Phi_1 = 0.2$ | $\Phi_0 = 0.1$ |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 实际获取吞吐量/(Mbit · s ⁻¹) | 0.514 1 | 0.387 1 | 0.252 7 | 0.125 2 |
| 实际获取带宽比率 | 4.106 0 | 3.094 6 | 2.019 8 | 1.000 0 |

将上述 P-EDCA 仿真中各站点中不同权重的数据流分别对应为 EDCA 中的 P_3 ($\Phi_3 = 0.4$) 业务、 P_2 ($\Phi_2 = 0.3$) 业务、 P_1 ($\Phi_1 = 0.2$) 业务和 P_0 ($\Phi_0 = 0.1$) 业务,在标准 EDCA 网络中不同 AC 的 CBR 流吞吐量如图 2 所示,低优先级流 (P_0, P_1) 的吞吐量趋近于 0.这说明 EDCA 机制存在严重的公平性问题.

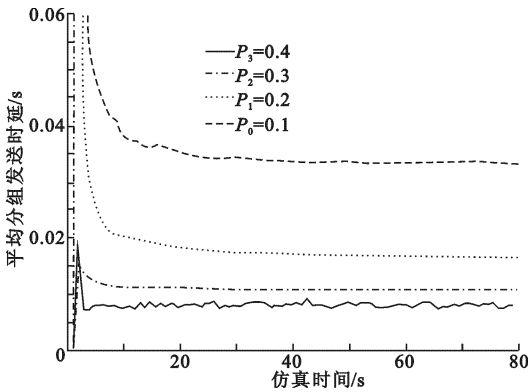


图 3 P-EDCA 中各数据流的平均时延

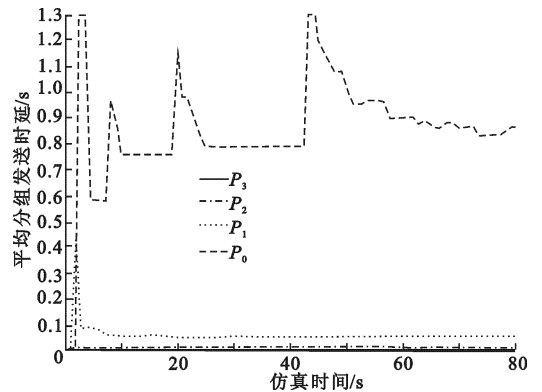


图 4 EDCA 中各数据流的平均时延

图 3 和图 4 分别给出了在上述仿真环境下各数据流在 P-EDCA 和 EDCA 网络中的平均时延参数 $D_i(t)$,其计算方式式(5).表 4 给出了时延参数的统计对比.在 P-EDCA 中,权重为 $\Phi_3 = 0.4, \Phi_2 = 0.3$ 的业务流的平均时延分别为 7.99 ms 和 10.84 ms,远低于实时业务所要求的最大时延 40 ms.权重为 $\Phi_1 = 0.2, \Phi_0 = 0.1$ 的业务流的平均时延也远低于 EDCA 中低优先级流 (P_0, P_1) 的平均时延.可见 P-EDCA 在保证高优先级数据流时延要求的前提下明显降低了低优先级数据流的平均时延,对网络中的数据流提供了较为公平和有保障的 QoS 服务.

表 4 P-EDCA 和 EDCA 机制中数据流平均时延的统计结果 ms

| | $i = 3$ | $i = 2$ | $i = 1$ | $i = 0$ |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|
| 权重 Φ_i 数据流的平均时延 | 7.99 | 10.84 | 19.55 | 37.74 |
| 优先级 AC_i 数据流的平均时延 | 5 | 13.14 | 61.64 | 850 |

4 结 论

基于802.11e EDCA支持的用户站点多优先级队列设置,提出了一种新的MAC机制P-EDCA,在无线局域网中提供数据流之间的按权重、公平的系统带宽资源分配服务.P-EDCA具有完全的分布式特性,不需要网络中的竞争实体交换任何的系统或个人信息.仿真表明,通过站点内队列调度机制 $S_{\text{intra-node}}$ 和站点间信道竞争机制 $S_{\text{inter-node}}$ 的协调工作,P-EDCA较精确地实现了基于权重公平性的区分服务.与EDCA相比,在满足高优先级数据流QoS需求的前提下,P-EDCA能够提供给网络中的低优先级数据流以更好的服务质量,且P-EDCA的完全分布式特性使其与802.11协议具有良好的兼容性.

参考文献:

- [1] IEEE Std. 802.11 b. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications [S]. USA: IEEE, 1999.
- [2] Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications; Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS), IEEE Standard 802.11e/D4.1 [S]. USA: IEEE, 2005.
- [3] Ni Qiang. A Survey of QoS Enhancements for IEEE 802.11 Wireless LAN [J]. Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, Wiley, 2004, 4(5): 547-566.
- [4] 陈东, 李建东, 李维英. 应用于WLAN的自适应令牌型公平性保障多址接入协议 [J]. 西安电子科技大学学报, 2006, 33(5): 703-708.
Chen Dong, Li Jiandong, Li Weiyang. A New Multiple Access Protocol for WLAN Based on Adaptive Token Passing [J]. Journal of Xidian University, 2006, 33(5):703-708.
- [5] Parekh A K, Gallager R G. A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks: the Single Node Case [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1993, 1(3): 344-357.
- [6] Vaidya N H, Bahl P, Gupta S. Distributed Fair Scheduling in Wireless LAN [J]. IEEE Trans on Mobile Computing, 2005, 4(6): 616-629.
- [7] 李云, 隆克平. IEEE 802.11 无线局域网中一种支持业务区分的回退算法 [J]. 电子学报, 2006, 34(10): 1877-1880.
Li Yun, Long Keping. A Novel Service Differentiated Backoff Algorithm in IEEE 802.11 WLAN [J]. Chinese Journal of Electronics, 2006, 34(10): 1877-1880.
- [8] Shreedhar M, Varghese G. Efficient Fair Queuing Using Deficit Round-robin [J]. IEEE/ACM Trans on Network, 1996, 4(3):375-385.
- [9] Qiao Daji, Shin K G. Achieving Efficient Channel Utilization and Weighted Fairness for Data Communications in IEEE 802.11 WALN under the DCF [C]//ACM IWQoS. Ann Arbor: ACM, 2006: 227-236.
- [10] 陈羽中, 俞能海, 开彩红, 等. 一种提高802.111无线Ad Hoc网络公平性的新机制(FFMA) [J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1181-1188.
Chen Yuzhong, Yu Nenghai, Kai Caihong, et al. FFMA: a Novel Mechanism for Improving Fairness in 802.11 Ad Hoc Networks[J]. ACTA Electronica Sinica, 2006, 34(7): 1181-1188.
- [11] Kwon Y, Fang Y, Latchman H. A Novel MAC Protocol with Fast Collision Resolution for Wireless LANs [C]//IEEE INFOCOM'03. San Francisco: IEEE, 2003:226-232.
- [12] Ni Q, Romdhani L, Turletti T. A Survey of QoS Enhancements for IEEE 802.11 WLAN [J]. Journal of Wireless Communications and Mobile Computing, John Wiley, 2004, 1(4):1-20.
- [13] Lee J F, Liao W J. A Differentiated Service Model for EDCA of IEEE 802.11e WLANs [J]. Mobile Network Application, 2007(12): 69-77.

(编辑: 高西全)