

## 一种新的用于 IEEE 802.11e EDCA 中提供 QoS 的方法

康 凯<sup>①</sup> 胡海波<sup>②</sup> 林孝康<sup>①</sup>

<sup>①</sup>(清华大学电子工程系微波与数字通信国家重点实验室 北京 100084)

<sup>②</sup>(黑龙江工程学院电子工程系 哈尔滨 150050)

**摘 要:** 该文提出了一种新的应用于 IEEE 802.11e EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 中提供 QoS(Quality of Service)的方法。这种方法是将几个时隙组合起来构成一个超时隙,每个超时隙的开始分配给不同的业务来进行发包。时隙的分配是根据各种业务的不同优先级来实现的。这种方法可以保证高优先级业务具有较大的吞吐量,较少的 MAC 延时和较低的丢包率。与 802.11e EDCA 草案中提出的不同冲突窗口大小的方法相比,这种方法具有可以提高吞吐量,降低丢包率,并能减小站点数目变化对高优先级业务吞吐量的影响等优点。这种新的提供 QoS 的方法优于不同冲突窗口大小的方法,在 IEEE 802.11e EDCA 中应用超时隙方法可以大大提高 EDCA 的性能。

**关键词:** 无线局域网; IEEE 802.11; IEEE 802.11e; 服务质量; 超时隙

**中图分类号:** TP393.17

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2007)12-2991-05

## A New Method to Provide QoS in IEEE 802.11e EDCA

Kang Kai<sup>①</sup> Hu Hai-bo<sup>②</sup> Lin Xiao-kang<sup>①</sup>

<sup>①</sup>(State Key Laboratory on Microwave and Digital Communications, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

<sup>②</sup>(Department of Electronic Engineering, Heilongjiang Institute of Technology, Harbin 150050, China)

**Abstract:** This paper proposes a new method to provide QoS (Quality of Service) in IEEE 802.11e EDCA (Enhanced Distributed Channel Access). Several slots are assembled together to form a super slot, and every slot in the super slot is assigned for a given priority traffic to send packets. The slot assignment is done according to the traffic priority. This new method guarantees the high priority stations have better throughput, less MAC delay and less packet dropping probability than the low priority stations. Compared with the contention window differentiation proposed by IEEE 802.11e EDCA draft, this new method has many advantages such as increasing the throughput, decreasing the packet dropping probability and reducing variety of the high priority traffic throughput when the number of stations increases. This new QoS method is better than contention window differentiation and applying this method can greatly improve the performance of IEEE 802.11e EDCA.

**Key words:** Wireless Local Area Network (WLAN); IEEE 802.11; IEEE 802.11e; Quality of Service (QoS); Super slot

### 1 引言

IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function)只能提供尽力而为的服务,不能提供任何的服务质量(Quality of Service, QoS)保证,因此,只适合数据业务的传送,不能满足实时业务传送的要求<sup>[1]</sup>。

为了满足传送语音、图像等实时多媒体业务的要求,IEEE 802.11 工作组正在研究能在 MAC(Medium Access Control)层提供服务质量保证的 IEEE 802.11e 协议,协议草案中的 MAC 层包含两种机制:一种是有竞争的机制 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access),另一种是没有竞

争的机制 HCCA (Hybrid coordination function Controlled Channel Access)<sup>[2]</sup>。

EDCA 是一种分布式的机制,对不同优先级的业务提供不同的服务质量。这是通过两种方法来实现的,一种是不同冲突窗口大小的方法(Contention Window differentiation, CW differentiation),另一种是不同帧间等待时间的方法(Arbitration Inter Frame Space differentiation, AIFS differentiation)<sup>[2]</sup>。

本文提出了一种新的应用于 IEEE 802.11e EDCA 中提供 QoS 的方法——超时隙方法(Super Slot Mechanism, SSM)。文中首先介绍超时隙方法,然后建立超时隙方法的理论分析模型,接下来用理论分析和仿真的方法分析超时隙方法的性能,并将超时隙方法与 IEEE 802.11e EDCA 中提

出的两种方法进行比较,最后给出在 EDCA 中应用超时隙方法时对系统性能的提高。

## 2 超时隙方法

几个时隙连起来的一段时间叫做一个超时隙,一个超时隙中时隙的数目是由当前网络中存在的业务的数量决定的。在一个超时隙中,每个时隙的开始都分配给一个特定的业务用来发包。

根据IEEE 802.11e草案<sup>[2]</sup>中定义的 4 个接入类别(Access Category, AC): Voice, Video, Best Effort和Background,本方法将 4 个时隙组合起来,构成一个超时隙,如图 1 所示。在一个超时隙中,每个时隙的开始都分配给一个特定的AC用来发包。时隙的分配是根据每个AC的优先级来完成的,优先级越高的业务,发包的时隙越靠前;优先级最低的业务,发包的时隙在最后。每一个站点在一个超时隙中,最多有一次发包的机会。因此,在一个超时隙中,如果一个传送高优先级业务的站点已经开始发包,那么当其他低优先级站点在指定的时隙中准备发包时,就会发现信道已经繁忙,不能发包。这样,当不同优先级业务的站点均想在一个超时隙中发包时,只有优先级最高的业务才能获得发包的机会。在一个超时隙中,只有在其他高优先级业务的站点均不发包的情况下,低优先级业务的站点才能获得发包的机会。这种方法在一个超时隙中提供优先级服务,保证在一个超时隙中,高优先级业务优先获得发包的机会。

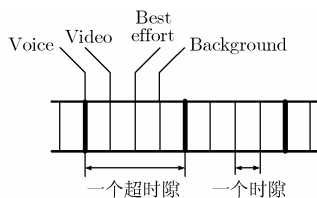


图 1 超时隙的结构

当站点处于等待状态时,它的倒计数器是以超时隙为单位来减小的。当信道空闲的时间达到一个超时隙时,站点的计数器减 1;如果信道空闲时间不满一个超时隙时,计数器保持原值不变。

当一个站点在一个超时隙中准备发包时,如发现信道已经被本超时隙中其他高优先级业务站点所占用,那么,此站点就认为本次发包发生了冲突,等待信道空闲后,将冲突窗口的大小增大为原来的两倍,重新选择一个回退时间等待重新发包。这种冲突,并没有发生实际的冲突,因此叫做虚拟冲突。在后续的传送中,只发生虚拟冲突而没有发生过实际冲突的包不需要设置重传标志。在一个超时隙中,只有相同优先级的包之间才会发生真正冲突,不同优先级的包之间不会发生真正的冲突,只会发生虚拟冲突。因此,使用超时隙方法可以大大降低真正冲突发生的概率。

## 3 模型的建立与分析

Bianchi提出了一种基于条件概率的方法来分析DCF的性能<sup>[3]</sup>,这种方法既简单又准确。本文改进了Bianchi的方法来分析超时隙方法的性能。

### 3.1 前提与假设

以一个拥有两种优先级业务的局域网为例,来分析超时隙方法的性能(对两种优先级业务网络的分析很容易扩展到四种优先级业务的网络中)。设业务 1 为高优先级业务,业务 2 为低优先级业务。因此每个超时隙包含两个时隙。在一个超时隙中,高优先级业务在第 1 个时隙的开始发送,低优先级业务在第 2 个时隙的开始发送。

设每个站点只发送一种业务,并设每个站点随时都有数据发送,即站点均处于饱和状态。设站点间的信道为理想信道,所有的站点的冲突窗口的大小( $CW_{\min}$ 与 $CW_{\max}$ ), $R$ (重传次数限制)均相同,使用非 RTS/CTS 的方式通信。共有  $n_1$  个发送高优先级业务的站点和  $n_2$  个发送低优先级业务的站点。

本文采用文献[3]中对模型时间的定义。

### 3.2 模型的建立

设  $\tau_i$  表示稳态情况下一个业务  $i$  的站点在任意一个超时隙中发包的概率。设  $p_i$  表示业务  $i$  的站点发包时发生冲突的条件概率,这个冲突既包括真实的冲突也包括虚拟冲突。由文献[3]中的式(7)可得

$$\tau_i = \frac{1}{\sum_{j=0}^R \frac{1-p_i}{1-p_i^{R+1}} p_i^j (1+E[b_j])} \quad (1)$$

其中  $E[b_j]$  为站点在  $[0, CW_j]$  中随机选取的回退时间的平均值,  $E[b_j]$  为  $CW_j/2$ 。 $CW_j$  定义为

$$CW_j = \begin{cases} 2^j(CW_{\min} + 1) - 1, & 2^j(CW_{\min} + 1) - 1 < CW_{\max} \\ CW_{\max}, & 2^j(CW_{\min} + 1) - 1 \geq CW_{\max} \end{cases} \quad (2)$$

从式(1)可得知,  $\tau_i$  的大小由条件冲突概率  $p_i$  的大小决定的。在发包时,高优先级业务的包只能与其他高优先级业务的包发生真正的冲突;低优先级业务的包能与高优先级业务的包发生虚拟冲突,并能和其它低优先级业务的包发生真正的冲突。因此  $p_1$  为在一个超时隙中,其他  $n_1 - 1$  个高优先级的站点中至少有一个站点发包的概率;  $p_2$  为在一个超时隙中,  $n_1$  个高优先级站点和  $n_2 - 1$  个低优先级站点中至少有一个站点发包的概率。可以得到

$$p_1 = 1 - (1 - \tau_1)^{n_1 - 1} \quad (3)$$

$$p_2 = 1 - (1 - \tau_1)^{n_1} + (1 - \tau_1)^{n_1} \times [1 - (1 - \tau_2)^{n_2 - 1}] \quad (4)$$

式(1),式(3)和式(4)表示了一个非线性系统,其中存在 4 个未知数  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $p_1$  和  $p_2$ 。这个系统可以通过数值的方法解出结果,作为接下来分析的基础。

### 3.3 吞吐量

吞吐量为每秒钟传送的有效载荷的比特数。设  $p_{si}$  和  $p_{ci}$

分别表示第  $i$  个业务在一个超时隙中成功发送和发生真正冲突的概率, 并设  $p_{idle}$  表示一个超时隙空闲的概率, 它们可以分别表示为

$$P_{s1} = n_1 \tau_1 (1 - \tau_1)^{n_1 - 1} \quad (5)$$

$$P_{s2} = (1 - \tau_1)^{n_1} \times n_2 \tau_2 (1 - \tau_2)^{n_2 - 1} \quad (6)$$

$$P_{c1} = 1 - (1 - \tau_1)^{n_1} - n_1 \tau_1 (1 - \tau_1)^{n_1 - 1} \quad (7)$$

$$P_{c2} = (1 - \tau_1)^{n_1} \times [1 - (1 - \tau_2)^{n_2} - n_2 \tau_2 (1 - \tau_2)^{n_2 - 1}] \quad (8)$$

$$P_{idle} = (1 - \tau_1)^{n_1} (1 - \tau_2)^{n_2} \quad (9)$$

设  $S_i$  表示业务  $i$  的平均吞吐量, 有

$$S_1 = \frac{P_{s1} \cdot E'[P]}{P_{s1} T_{s1} + P_{s2} T_{s2} + P_{c1} T_{c1} + P_{c2} T_{c2} + P_{idle} \cdot 2\delta} \quad (10)$$

$$S_2 = \frac{P_{s2} \cdot E'[P]}{P_{s1} T_{s1} + P_{s2} T_{s2} + P_{c1} T_{c1} + P_{c2} T_{c2} + P_{idle} \cdot 2\delta} \quad (11)$$

其中  $T_{si}$  表示业务  $i$  的站点成功传送一次占用信道的平均时间再加上一个超时隙的时间(成功传送一次可能会包含一个以上包的发送)。  $T_{ci}$  表示业务  $i$  的站点一次发包冲突占用信道的平均时间再加上一个超时隙的时间。  $\delta$  表示一个时隙的时间。  $E'[p]$  为成功传送一次传送的载荷的平均比特数。

当站点成功发送一个包后, 如果它选择的回退时间为零, 那么它可以再等待 DIFS 时间, 继续开始下一个包的发送。此时, 其他站点是不可能接入的, 所以下一个包的发送是不会发生冲突的。因此, 一个成功的发送可能会包含多个包的发送。成功发包后, 选择回退时间为零的概率为:  $B_0 = 1 / (CW_{min} + 1)$ 。令  $E[p]$  表示一个包的平均载荷大小, 可以得到

$$E'[P] = E[P] \times \sum_{i=0}^{\infty} B_0^i = \frac{E[P]}{1 - B_0} \quad (12)$$

令  $T_H$ ,  $T_{ACK}$ ,  $T_E$  和  $T'_E$  分别表示传送包头(包括 MAC 包头、物理层包头和结尾部分)、传送 ACK 包、传送一个平均大小的载荷和在冲突中, 传送最大载荷所需要的时间。可以得到

$$T_{s1} = (T_H + T_E + SIFS + T_{ACK} + DIFS) / (1 - B_0) + 2\delta \quad (13)$$

$$T_{s2} = (\delta + T_H + T_E + SIFS + T_{ACK} + DIFS) / (1 - B_0) + 2\delta \quad (14)$$

$$T_{c1} = T_H + T'_E + EIFS + 2\delta \quad (15)$$

$$T_{c2} = \delta + T_H + T'_E + EIFS + 2\delta \quad (16)$$

### 3.4 丢包率

设  $P_{i,drop}$  表示业务  $i$  的丢包率。如果一个包被传送  $R + 1$  次仍然没有传送成功的话, 那么这个包将被丢弃。因此丢包率为

$$P_{i,drop} = P_i^{R+1} \quad (17)$$

## 4 超时隙方法的性能仿真与分析

本节首先通过仿真来验证模型分析的有效性, 并获得超时隙方法的性能; 接下来, 将超时隙方法与 IEEE 802.11e 草案中提出的两种提供 QoS 的方法进行比较; 最后, 研究超

时隙方法对 IEEE 802.11e EDCA 性能的提高。

仿真以 IEEE 802.11b Direct Sequence 作为物理层, 物理层速率为 11Mbit/s, none RTS/CTS 模式, 重传次数限制为 3,  $CW_{max} = 1023$ , 包的大小均为 1023byte, 站点间的信道为理想信道, 且所有站点均处于饱和状态。

### 4.1 超时隙方法的性能

通过运行存在 2 种业务的仿真来验证的模型分析的有效性, 并获得了超时隙方法的性能。仿真的结果和模型分析的结果完全符合。仿真中, 一个超时隙包含 2 个时隙,  $CW_{min} = 31$ , 高优先级业务站点的数量和低优先级业务站点的数量相同。

图 2 表示站点数目变化时吞吐量的变化, 横坐标表示其中一种业务的站点数目。从图中可以看到, 高优先级业务的总吞吐量远大于低优先级业务。同时也可以看出, 当站点数目变化时, 高优先级业务总吞吐量变化很小, 而低优先级业务的总吞吐量随着站点数目的增加而迅速下降。

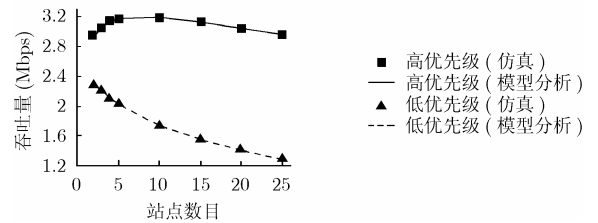


图 2 各种业务的吞吐量

图 3 表示 MAC 延时和站点数目之间的关系。随着站点数目的增加, 两种业务的 MAC 延时均随之增加; 高优先级业务的 MAC 延时总是小于低优先级业务。

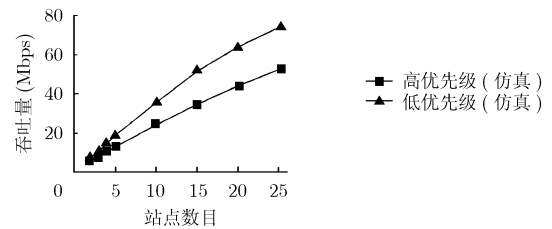


图 3 各种业务的 MAC 延时

如果在只存在一种业务的无线局域网中使用超时隙方法, 这样就会比不使用超时隙方法带来一些额外的 MAC 延时。由于 MAC 延时的主要部分是等待其他站点发包的时间, 信道空闲、倒计时器减小的时间只占 MAC 延时的很小一部分。因此, 超时隙方法只会带来很少的 MAC 延时的增加。表 1 中的仿真结果显示, 在只有一种业务且使用一个超时隙包含 2 个时隙的超时隙方法时, 只是增加了很少的一部分 MAC 延时。

表 1 超时隙方法对 MAC 延时的增加

站点的数目	使用超时隙时的平均 MAC 延时(ms)	IEEE 802.11 的平均 MAC 延时(ms)	MAC 延时的增加量(%)
10	14.357	14.340	0.118
20	29.946	28.950	3.440
30	43.137	41.978	2.761
40	54.528	53.173	2.548
50	64.526	63.317	1.909

图 4 表示不同站点数目情况下的丢包率。当站点数目很少时,两种业务的丢包率几乎均为零。随着站点数目的增加,两种业务丢包率均随之上升,但是高优先级业务丢包率一直远低于低优先级业务,仅为低优先级业务的十分之一到四分之一。

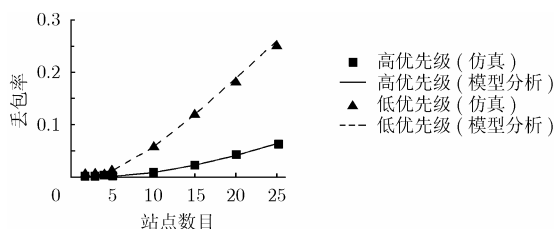


图 4 各种业务的丢包率

通过模型分析和仿真结果可以得到以下结论:超时隙方法可以使高优先级业务获得较高的吞吐量,较少的 MAC 延时和较低的丢包率;同时,超时隙方法还使站点数目变化对高优先级业务的吞吐量的影响远小于对低优先级业务的影响。这些是由于超时隙方法在一个超时隙中提供优先级;同时降低了冲突的发生概率;并且当高优先级业务发包时,发生冲突的概率要小于低优先级业务。

4.2 超时隙方法与 IEEE 802.11e EDCA 中提出的方法的比较

文献[4]对 IEEE 802.11e 草案提出的两种提供 QoS 方法进行了深入的分析。本小节将超时隙方法与这两种方法进行比较。

不同冲突窗口大小的方法是通过降低高优先级业务的冲突窗口的大小来增加高优先级业务的接入几率。这种方法增加了冲突的发生概率,因此降低了吞吐量并增大了丢包率。随着站点数目的增加,系统的总吞吐量下降得十分快;同时,总吞吐量的下降的绝大部分是由于高优先级业务吞吐量的下降。可以这么说,这种方法是通过吞吐量降低的损失来获得区别的服务。并且,这种方法提供给高优先级和低优先级相同的丢包率,显然也是不合适的。

不同帧间等待时间的方法是在每次信道繁忙之后增加一段保护时间。在保护时间内,只有高优先级站点能够接入,保护时间随着站点数目的增加而增加。这样,随着站点数目的增加,低优先级业务被限制发送,吞吐量迅速下降,而高

优先级业务的吞吐量下降得很缓慢。同时,高优先级业务的丢包率小于低优先级业务。因此,这是一种较优的方法。

本文提出的超时隙的方法是在一个超时隙中提供优先级。在一个超时隙中,高优先级业务优先发送;低优先级业务只有在其他高优先级业务不发送的时候,才可以发送。这种方法具有以下 3 个优点:(1)真正的冲突只能发生在同一种业务之间,这样就降低了真正冲突的发生概率,提高了吞吐量并降低了丢包率。(2)随着站点数目的增加,总吞吐量下降时,超时隙方法限制低优先级业务的发送,保证高优先级业务的吞吐量的缓慢下降。这样减小了站点数目变化对高优先级业务吞吐量的影响。(3)对不同业务提供不同的丢包率,高优先级业务的丢包率低于低优先级业务。

通过以上的比较可以看到,超时隙方法在很多方面优于改变冲突窗口大小的方法,它和不同帧间等待时间的方法一样为较优的方法。

4.3 SSM+AIFS differentiation 方案与 IEEE 802.11e EDCA 之间的性能比较

通过仿真来比较 SSM+AIFS differentiation 方案与 IEEE 802.11e EDCA 之间的性能差异。EDCA 中使用 CW differentiation 和 AIFS differentiation 两种方法,高优先级业务站点的数目与低优先级业务的站点数目相同。仿真的参数见表 2。

表 2 仿真参数

	业务类别	CW <sub>min</sub>	AIFSN	SSM
SSM+	高优先级	31	2	使用
	低优先级	31	4	使用
EDCA	高优先级	15	2	不使用
	低优先级	31	4	不使用

图 5 中横坐标表示一种业务的站点数目。如图所示,SSM+AIFS differentiation 方案中的总吞吐量和低优先级业务的吞吐量均高于 EDCA 的。随着站点数目的增加,EDCA 中的高优先级业务吞吐量下降得十分快,而 SSM+AIFS differentiation 方案中的几乎是恒定的。

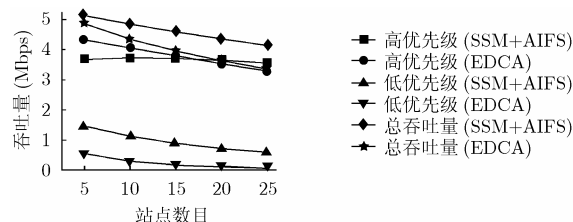


图 5 吞吐量的比较

图 6 描述两种方案的丢包率。SSM+AIFS differentiation 方案中的丢包率远远低于 EDCA。SSM+AIFS differentiation 方案中的高优先级业务的丢包率只是 EDCA 的五分之一到三分之一,低优先级业务的丢包率为 EDCA 的一半。

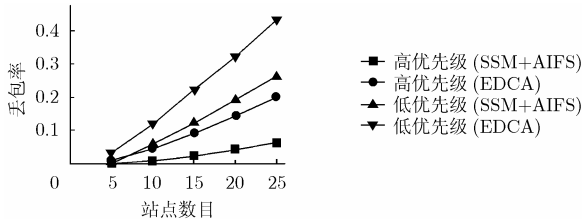


图6 丢包率的比较

从上面的仿真结果可以得到: 超时隙的方法与 CW differentiation 方法相比, 提高了吞吐量, 降低了丢包率; 并对不同业务的丢包率的提高幅度不同; 超时隙方法+AIFS differentiation 方案能够保证高优先级业务的吞吐量不随站点数目的变化而受到影响。同时可以看到超时隙方法的一个不足, 是当站点数目较少时对不同业务吞吐量的区分能力不强。

4.4 在 IEEE 802.11e EDCA 中应用超时隙方法

为了弥补超时隙方法的不足, 提出在 EDCA 中应用超时隙方法的方案, 为 SSM+AIFS differentiation 再加上一些 CW differentiation 的组合方案。通过仿真来比较这种组合方案与 EDCA 之间的性能差异。组合方案的参数见表 3, EDCA 的参数与表 2 中的相同。

表 3 组合方案中的仿真参数

业务类别	CW <sub>min</sub>	AIFSN	SSM
高优先级	31	2	使用
低优先级	23	4	使用

图 7 和图 8 分别表示两种方案的吞吐量和丢包率之间的比较。可以看到, 除当站点数目较少时, 组合方案中的高优先级业务吞吐量略微低于 EDCA 以外, 其他各项性能均优于 EDCA。因此, 在 EDCA 中应用超时隙方法可以在多个方面提高 IEEE 802.11e EDCA 的性能。

5 结束语

本文提出了一种新的应用于 IEEE 802.11 e EDCA 中的提供 QoS 的方法。这种方法是通过将几个时隙连起来构成一个超时隙, 以此来保证高优先级业务的传送。

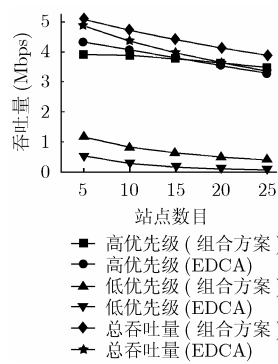


图7 吞吐量的比较

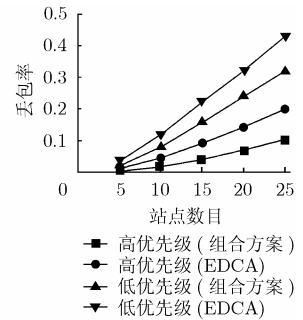


图8 丢包率的比较

从理论分析和仿真的结果可以得到: 超时隙方法优于 IEEE 802.11e EDCA 草案中提出的不同冲突窗口大小的方法, 是一种较理想的提供 QoS 的方法, 应用超时隙方法能够大大提高 EDCA 的性能。

参考文献

- [1] IEEE. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. June 2003.
- [2] IEEE. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Amendment 7: Medium Access Control(MAC) Quality of Service(QoS) Enhancements Draft 9.0. August 2004.
- [3] Bianchi G and Tinnirello I. Remark on IEEE 802.11 DCF performance analysis. *IEEE Communications Letters*, 2005, 9(8): 765-767.
- [4] Bianchi G Tinnirello I. Understanding 802.11e contention-based prioritization mechanisms and their coexistence with legacy 802.11 stations. *IEEE Network*, 2005, 19(4): 28-34.

康 凯: 男, 1977 年生, 博士生, 研究方向为无线网络中的 QoS.  
 胡海波: 男, 1966 年生, 副教授, 研究方向为无线通信、嵌入式系统、单片机。  
 林孝康: 男, 1947 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为无线通信与网络。