

有效的无线局域网接纳控制机制

黄景廉

(西北民族大学电气工程学院, 兰州 730030)

摘要: 针对 IEEE 802.11e 混合协调功能框架没有给出实现接纳控制决策和具体计算接入时间方法的缺陷, 提出一种支持实时业务的自适应接纳控制机制 AAC。该机制考虑实时业务的突发特性与网络负载等因素, 在保证系统现有业务丢包率与时延要求的前提下, 通过动态分配发送机会提高系统的吞吐量。仿真实验以及与 IEEE 802.11e 参考接纳控制机制的比较表明, 该机制可以有效地降低实时业务的时延与丢包率, 提高系统的吞吐量。

关键词: 接纳控制; 实时业务; 无线局域网

Efficient Admission Control Scheme in Wireless Local Area Networks

HUANG Jing-lian

(College of Electrical Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730030)

【Abstract】 To overcome the defect of IEEE 802.11e Hybrid Coordination Function(HCF) lack of how to implement admission control and access time, this paper proposes an adaptive admission control scheme named AAC to support real-time traffic. By considering burst and load factors, it dynamically allocates variable Transmission Opportunity(TXOP) duration with guaranteeing minimum delay and packet loss rate of traffic to improve throughput. Simulation results and comparison with IEEE 802.11e reference admission control scheme prove that the scheme decreases delay and packet loss rate of real-time traffic, and improves throughput of the system.

【Key words】 admission control; real-time traffic; wireless local area networks

1 概述

由于无线通信的快捷便利, 近年来 IEEE 802.11 无线局域网^[1]技术得到了广泛的应用。随着人们对音视频等多媒体业务需求的增加, 在无线局域网中需要传输多媒体信息。多媒体信息等实时业务对带宽、时延、时延抖动等提出了很高的要求^[2-3]。由于无线通信中存在差错率较高、传输带宽有限、稳定性差等诸多问题, 因此无线局域网在技术上还有待进一步完善。为了提供服务质量(Quality of Service, QoS)保障, IEEE 标准工作组制定了 IEEE 802.11e 标准^[4], 该标准的核心是混合协调功能(Hybrid Coordination Function, HCF); 并制定了混合协调功能信道接入(HCF Channel Access, HCCA)机制, HCCA 中不同的业务类型称为业务流(Traffic Stream, TS), HCCA 通过支持 QoS 的混合协调器(Hybrid Coordinator, HC)实现调度与接纳控制功能; 同时给出了一个参考的 HCCA 接纳控制机制^[5]框架: 每个业务首先向接入点(Access Point, AP)发送包含业务描述(Traffic Specification, TSPEC)的 QoS 请求, AP 收到请求后, 决定是否接收该请求并计算该业务接入信道的时延。但是该框架没有给出实现接纳控制决策和计算接入时间的具体方法。另外, 由于参考的调度与接纳控制机制采用分配定长发送机会(Transmission Opportunity, TXOP)的方式发送业务, 因此对于实时性要求高的音视频等具有突发性的变比特(Variable Bit Rate, VBR)业务, 其性能并不理想^[2]。

本文对 IEEE 802.11e 参考接纳控制框架的上述缺陷进行了改进, 提出了一种有效支持实时业务的接纳控制机制 AAC, 其充分考虑了实时业务的突发特性与网络负载等因素, 并在保证系统现有业务的丢包率与时延要求的前提下, 通过动态地分配发送机会, 提高系统的吞吐量。

2 参考接纳控制框架

在参考接纳控制框架中^[5], 终端中的业务流在发送数据之前采用以下参数对业务需求进行描述: 平均数据速率 ρ 、时延限制 D , MSDU(MAC Service Data Unit)大小 L , 最大 MSDU 大小 MBS , 最小物理速率 R , 最大服务间隔 MSI , 服务间隔 SI 和 TXOP 持续时间 TD 。通过各个业务发送的业务描述, 混合调度器先找出每个业务流请求的最大服务间隔中的最小值, 然后根据所选的 SI 最小值与信标间隔求出最大公约数, 信标间隔就被分成了多个 SI , HC 在每个 SI 间隔内通过轮询方式给每个终端分配 TXOP 发送数据。

对于一个终端中的每个业务流, 寄宿在接入点中的调度器计算出每个 SI 中以平均数据速率发送的帧数 N_i :

$$N_i = \left\lceil \frac{\rho_i \cdot SI}{L_i} \right\rceil, i \in [1, n] \quad (1)$$

其中, n 为终端中的业务服务数; ρ_i 是平均数据速率; L_i 是 MSDU 的大小。

接着, 调度器计算出以数据速率 R_i 发送 N_i 个帧的时间, 并发送包含额外开销 C 的最大数据包 MSDU 所需的时间, 这里额外开销 C 包括发送物理帧头、MAC 帧头、IFS、ACK 和轮询帧的时间。然后将这些值的最大值之和作为 TXOP 持续时间值 TD :

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(AA2006010101); 国家民委基金资助项目(XBMU-200707XB05)

作者简介: 黄景廉(1968-), 女, 副教授, 主研方向: 计算机网络与通信

收稿日期: 2008-12-15 **E-mail:** huangjllwork@163.com

$$TD_k = \sum_{i=1}^n \max\{N_i(\frac{L_i}{R_i} + C), \frac{M_i}{R_i} + C\}, k \in [1, N] \quad (2)$$

其中, N 为终端数; M_i 为最大数据包的字节数; R_i 是最小物理层速率。

对于新业务, 采用的接纳控制机制为

$$\frac{TD_{\text{new}}}{SI} + \sum_{i=1}^N \frac{TD_k}{SI} \leq \frac{T_{\text{CAPlimit}}}{T_{\text{Beacon}}} \quad (3)$$

其中, T_{CAPlimit} 为 HCCA 持续时间的最大值; T_{Beacon} 为信标帧间隔; TD_{new} 为新业务请求的 TXOP 值。只有当请求的 TXOP 与现有业务的 TXOP 值之和小于 SI 时, 新业务才被接收。

3 改进的接纳控制机制

无线局域网中每个终端只有系统部分的状态信息, 这使接纳控制的设计更加复杂, 因此, 准确评估系统当前的状态对于设计有效的接纳控制机制至关重要。对于实时业务, 丢包率可以作为衡量系统性能的有效指标。因此, 必须首先分析在 IEEE 802.11e HCF 模式下具有突发特性的变比特业务的丢包率。

对于定长数据包 VBR 业务, 由于数据包到达率可变, 因此丢包率可以表示为每个 SI 内平均丢失的数据包与平均到达的数据包数的比值:

$$PLR_{\text{cps}} = \frac{E(N_{fr} - N_s)}{E(N_{fr})} \quad (4)$$

其中, $E(N_{fr} - N_s)$ 为丢失的数据包的平均值。 N_s 为每个 T_e 内能发送的数据包数:

$$N_s = \lceil T_e / (L/R + C) \rceil \quad (5)$$

其中, T_e 为不包含轮询开销时可获得发送的时间长度; L 是发送的 MSDU 数据包的大小; 额外开销 C 包括发送物理帧头、MAC 帧头、IFS、ACK 和轮询帧的时间, 其值为

$$C = T_{\text{PLCP}} + T_{\text{Header}} + T_{\text{CRC}} + 2SIFS + T_{\text{ACK}} \quad (6)$$

其中, T_{PLCP} 为发送 PLCP 前导与前导包头需要的时间; T_{Header} 为发送 MAC 帧头的时间; T_{CRC} 为发送 CRC 校验部分的时间; $SIFS$ 为最短时间间隔; T_{ACK} 为发送确认帧的时间。 N_{fr} 为每个 SI 时间内发送的数据, 该值与数据包的到达率相关, 每个 SI 内有 k 个数据到达的概率用 $P(N_{fr} = k)$ 表示, 则式(4)可以表示为

$$PLR_{\text{cps}} = \frac{\sum_{n=N_s}^{N_{\text{max}}} (n - N_s) P(N_{fr} = k)}{(\rho/L) \cdot SI} \quad (7)$$

其中, N_{max} 为每个 SI 内数据包达到的最大数。

对于变数据包长的 VBR 业务, 由于数据包到达率和数据包长度都可变, 因此丢包率可以用传输时间表示, 即每个 SI 内丢失包的平均传送时间与数据包到达的平均时间之比:

$$PLR_{\text{vps}} = \frac{E(T_{fr} - T_s)}{E(T_{fr})} \quad (8)$$

其中, T_{fr} 为发送 N_{fr} 个数据需要的时间, 其值为

$$T_{fr} = \sum_{i=1}^{N_{fr}} (L_i / R + C) \quad (9)$$

考虑到每个 SI 内数据包到达的平均时间的概率分布 $f(t)$, 有

$$PLR_{\text{vps}} = \frac{\int_{T_s}^{\infty} (t - T_s) f(t) dt}{E(N_{fr}) E(L/R + C)} \quad (10)$$

接纳控制机制一方面要考虑 T_{CAPlimit} 持续时间的最大值, 有新业务请求接入时, 必须保障现有业务的丢包率, 并尽可能为新业务分配时间, 另一方面, 为了提高系统的吞吐量, 应在保障一定丢包率的前提下, 尽可能地地为已有业务合理分配 TXOP, 因此, 接纳控制必须先采用有效的方式对上述 2 种数据包长度的情况合理分配 TXOP, 然后根据系统中的资源, 合理控制接纳允许。

对于定长数据包, 式(7)中 N_s 的下限为式(1)的值, 即每个 SI 中以平均数据速率发送的帧数 N_s , 其上限为每个 SI 间隔内数据包达到的最大数 N_{max} , 当给定丢包率 PLR_{cps} 时, N_s 的值可采用中分定理计算出。得到 N_s 后, 即可由式(2)确定 TXOP 持续时间值。

对于变长数据包, 式(10)的值取决于每个 SI 内数据包到达的平均时间的概率分布 $f(t)$ 。假设其特征函数为 $\phi(w)$, 则

$$f(t) = F^{-1}\{\phi(w)\}$$

如果用 G_N 表示 N_{fr} 的概率产生函数, 根据随机变量理论^[6], 有

$$f(t) = F^{-1}\{G_N(\phi(w))\} = \sum_{n=1}^{N_{\text{max}}} P(N_{fr} = n) F^{-1}\{(\phi(w))^n\} \quad (11)$$

当 N_{fr} 服从泊松分布时, 有

$$P(N_{fr} = k) = \frac{\alpha^k}{k!} e^{-\alpha} \quad (12)$$

其中,

$$\alpha = \frac{\rho \cdot SI}{E(L)} \quad (13)$$

数据包长度服从指数分布时, 有

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} \quad (14)$$

其中,

$$\lambda = \frac{1}{E(L)} \quad (15)$$

由此可得 T_{fr} 的概率分布为

$$f(t) = \sum_{n=1}^{N_{\text{max}}} \frac{\alpha^n e^{-\alpha}}{n!} \cdot \frac{\lambda R \cdot e^{-\lambda R(t-nC)} (\lambda R(t-nC))^{n-1}}{(n-1)!}, t \geq C \quad (16)$$

数据包的丢包率为

$$PLR_{\text{vps}} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{\text{max}}} \alpha^n e^{-(\alpha + \lambda R(T_s - nC))} \cdot (A + B)}{\alpha(C + \frac{1}{\lambda R})} \quad (17)$$

其中, A, B 分别为

$$A = \frac{(\lambda R)^{n-1} (T_s - nC)^n}{(n-1)!} \quad (18)$$

$$B = (n/(\lambda R) + nC - T_s) \cdot \sum_{i=1}^n \frac{[\lambda R(T_s - nC)]^{n-i}}{(n-i)!} \quad (19)$$

对于变包长 VBR 业务, TXOP 长度的下限为式(2)的值, 上限为

$$T \leq SI \cdot \frac{T_{\text{CAPlimit}}}{T_{\text{Beacon}}} \quad (20)$$

当给定丢包率 PLR_{vps} 时, 同样可以采用中分定理计算出 T_s 的值, 即可由式(2)确定 TXOP 持续时间值。

AP 中的 HC 执行的接纳控制过程如下:

步骤 1 在当前第 n 个 SI 内, 调度器统计每类业务流的实际丢包率 $PLR_{\text{actual},i}(n)$, 对于 i 类业务, 该值可以通过下式计算:

$$PLR_{actual,i}(n) = \beta \cdot PLR_{actual,i}(n-1) + (1-\beta) \cdot \frac{N_s - N_{ACK}}{N_s} \quad (21)$$

其中, $\beta \in [0,1]$ 为可调平滑因子; N_s 为实际发送的数据包数量; N_{ACK} 为收到确认帧的数据包数量。 N_s 和 N_{ACK} 可用 2 个计数器保存, 在每次统计完后, 由调度器清零。

在下一个 TXOP 分配之前, 根据给定的丢包率和业务类型, 计算出实时业务的 TXOP 持续时间值。当系统进入 HCCA 模式时, 进入下一步。

步骤 2 在每个 SI 开始之前的导频信息控制帧中将 TXOP 的值发送给每个终端。当有新业务请求接入系统时:

(1) 调度器首先考虑式(3)的限制, 即只有当请求的 TXOP 与现有业务的 TXOP 值之和小于 SI 时, 新业务才被接收。

(2) 如果不满足条件(1), 但是对所有业务, 其实际丢包率满足 $PLR_{actual,i}(n) < PLR_{max,i}$ 时, 进入步骤 3。

(3) 条件(1)和条件(2)都不满足时, 拒绝该业务的接纳请求。等待下一个 SI 到来, 并返回步骤 1。

步骤 3 此时系统处于负载较重的情况, 为了在充分提高系统吞吐量的同时对系统中现有的实时业务进行有效的保护, 接纳控制机制考虑以下 3 个因素: 网络负载, 丢包率和业务的最大时延要求。当有新业务请求加入系统时, 调度器在保障现有业务最低时延的前提下, 通过按比例减少现有业务的请求 TXOP 时间长度, 尽可能地为新业务安排时间, 允许接入。同时等待下一个 SI 的到来, 并返回步骤 1。链路 j 的调度时间为

$$T_{gr}^j = \min \left(T_{req}^j, \frac{T_{req}^j U}{\sum_{j=1}^{N_{link}} T_{req}^j} \right) \quad (22)$$

其中, N_{link} 为被轮询的链路数; U 为当前可获得的容量:

$$U = T_{CAPlimit} - \sum_{n=1}^{N_{link}} TD_n \quad (23)$$

在调度时间内, 每个终端允许发送的数据帧数为

$$N_{gr}^{link} = \left\lfloor \frac{T_{gr}^{link}}{T_{fr}} \right\rfloor \quad (24)$$

上述方法由于对所有业务请求都进行了相同比例的 TXOP 时间减少, 显然不是最优方案。为了保证实时业务时延满足最大时延要求的前提下, 系统尽可能地为所有请求的新业务提供接纳服务, 上述问题可表示为满足上述时延约束下的线性规划问题(Linear Programming, LP), 即在满足

$$\sum_{j=1}^{N_{link}} N_{gr}^j T_{fr}^j \leq U \quad (25)$$

$$N_{gr}^j \leq N_{fr}^j$$

的条件下,

$$\text{maximize}(O), O = \sum_{j=1}^{N_{link}} N_{gr}^j \quad (26)$$

$$D_{actual,i} \leq D_{max,i} \quad (27)$$

其中, $D_{actual,i}$ 为优先级 i 类业务的实际时延; $D_{max,i}$ 为优先级 i 类业务的最大忍受时延:

$$D_{max,i} = \min(D_{m,i}), m \in [1, n_i] \quad (28)$$

其中, $D_{m,i}$ 为优先级 i 类业务的第 m 个活动业务的最大忍受时延; n_i 是优先级 i 类业务的活动队列数。

4 仿真结果

本文采用仿真软件 NS2^[7]对提出的支持实时业务的自适应接纳控制机制 AAC 进行了仿真分析, 系统采用的参数设置如表 1 所示。仿真系统在每个终端中发送双向的数据业务、

双向的 VoIP 业务和单向的下行视频业务。数据业务速率为 200 Kb/s, 优先级为 0; VoIP 业务每 20 ms 产生 60 Byte 数据 (24 Kb/s), 优先级为 6; 视频业务 MPEG-4 速率为 600 Kb/s, 优先级为 5。其他参数如表 1 所示。

表 1 系统参数设置

参数	值
信标间隔/ms	100
时隙/ μ s	20
SIFS/ μ s	10
时延限制/ms	20(VoIP), 60(视频)
平均数据速率/(Kb·s ⁻¹)	24(VoIP), 600(视频)
数据大小/Byte	60(VoIP), 1 000(视频)
最大突发大小/Byte	100(VoIP), 8 000(视频)
CRC/Byte	4
PLCP 长度/Byte	24
丢包率	0.1
最小物理层速率/(Mb·s ⁻¹)	24

图 1 和图 2 为丢包率和平均发送时延在终端数从 2 增加到 10 时的仿真结果。仿真中对 IEEE 802.11e 参考接纳控制机制和本文的 AAC 机制进行了比较。

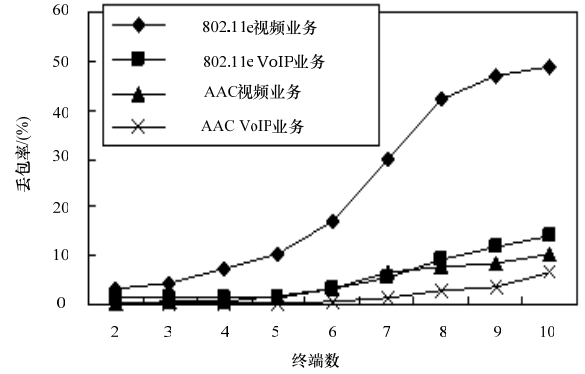


图 1 终端数增加时的丢包率比较

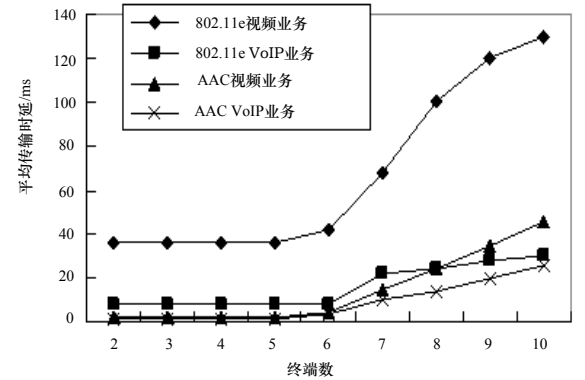


图 2 终端数增加时的平均传输时延比较

从图 1 和图 2 中可以看到, 随着终端数的增加, 所有业务的丢包率和平均发送时延相应地增加。对于 IEEE 802.11e 参考调度, 视频业务的平均丢包率高于 22.3%, 平均发送时延总是大于 36.8 ms, 尤其是当终端数大于 6 时, 视频业务的丢包率从 8.6% 突然增加到 17.3%, 平均发送时延也从 42.4 ms 增加到了 72.6 ms。其原因在于参考接纳控制机制分配定长的 TXOP, 当负载增加, 尤其是当实时业务的突发数据增加时, 定长的 TXOP 并不能满足新增业务的需求, 时延也相应增加。然而对于 AAC 机制, 当终端数小于 6 时, 视频业务的丢包率和平均发送时延都明显小于参考接纳控制机制; 当终端数大

于 6 时, 2 种机制下的丢包率之差从 3.7% 突然增加到了 36.3%, 平均发送时延之差也从 10.5 ms 增加到了 103 ms。在负载较重时, 本机制通过监测业务实际丢包率准确地分配合适的 TXOP 持续时间值, 而参考接纳控制机制分配定长的 TXOP, 使得 TXOP 分配产生了偏差, 同时因为缺乏接纳控制, 所以实时业务的性能大幅度恶化。另外, 当终端数少于 6 时, AAC 机制中 VoIP 业务的平均发送时延比参考机制低, 其原因是参考接纳控制机制中采用分配定长的 TXOP 持续时间, 限制了每个 SI 中发送的数量, 导致由传输造成的时延积累。对于 AAC 机制, 当终端数大于 7 个时, VoIP 业务的平均发送时延和丢包率总是比参考机制中的低, 其中, 平均发送时延比参考机制低了 4.2 ms。这些结果表明, AAC 接纳控制机制通过动态分配变长的 TXOP、在变化的 SI 内轮询各个终端以支持 VBR 业务, 有效地保障了实时业务的 QoS。

图 3 为系统的吞吐量在终端数从 2 增加到 10 时的仿真结果。仿真对 IEEE 802.11e 参考接纳控制机制与 AAC 机制进行了比较。从图 3 中可以明显地看出, AAC 机制中的系统吞吐量呈线性增加。而参考接纳控制机制在终端数增加到 6 个时, 其吞吐量并不能随业务的增加而按比例增加, 当终端数达到 7 个后, 其吞吐量基本维持在固定值。原因是当业务数增加时, 参考接纳控制机制并没有考虑实时业务的突发特性, 当其认为所有时间已经分配完时, 将拒绝所有新的业务, 因此, 系统的吞吐量并不会有效地增加。

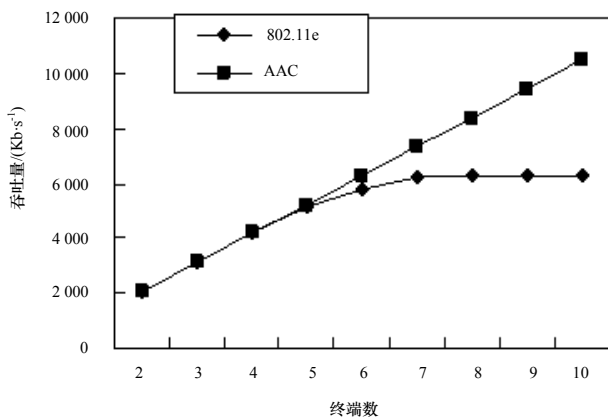


图 3 终端数增加时的平均传输时延比较

2 种机制支持的业务数比较如表 2 所示。

表 2 2 种机制支持的业务数比较

参数要求	IEEE 802.11e	AAC
时延限制: 60 ms(视频), 40 ms(VoIP)	视频 5 个, VoIP 6 个	视频 10 个, VoIP 10 个
丢包率限制: 10%	视频 4 个, VoIP 7 个	视频 10 个, VoIP 10 个
同时考虑时延和丢包率	视频 4 个, VoIP 6 个	视频 10 个, VoIP 10 个

从表 2 中可以看出, 在只考虑时延要求的前提下, 参考接纳控制机制可以同时支持 5 个 VoIP 业务和 6 个视频业务; 只考虑丢包率为 10% 的要求时, 可以同时支持 4 个 VoIP 业务和 7 个视频业务; 但同时考虑 2 种因素时, 只能支持 4 个 VoIP 业务和 6 个视频业务。其原因在于 IEEE 802.11e 参考接纳控制机制只根据业务的请求分配定长的 TXOP 业务, 即以式(2)计算 TXOP 时间, 没有考虑业务的突发特性, 当业

务数增加时, 该机制以式(3)判断是否接纳新业务, 因此, 当其认为所有时间已经分配完时, 将拒绝所有新的业务。另外, 该机制也没有考虑实时业务的性能要求。而本文的接纳控制机制可以同时支持 10 个 VoIP 业务和 10 个视频业务, 其原因在于:

(1) 本文的方法是以监测系统中实际丢包率和业务的丢包率要求为依据分配变长 TXOP, 充分考虑实时业务的突发特性, 可以保障实时业务的时延要求。

(2) 有新业务请求时, 本机制不会因为所有时间已经分配完而拒绝新业务, 而是在保障业务时延与丢包率要求的前提下, 通过按一定比例减少现有业务的分配时间, 并以线性规划优化方式为不同类型的业务分配合适长度的 TXOP, 尽可能地为新业务分配 TXOP, 以提高系统的容量。

上述实验结果证明了本文的调度机制能有效地提高系统的吞吐量。

5 结束语

针对 IEEE 802.11e HCF 框架没有给出实现接纳控制决策和具体计算接入时间方法的问题, 本文提出了一种支持实时业务的自适应接纳控制机制。本机制充分考虑了实时业务的突发特性, 在保障丢包率与时延等性能的前提下, 通过理论分析计算出各类业务的发送分配时间 TXOP, 以满足不同负载、不同类型业务的要求。有新业务请求加入系统时, 本机制会在保障业务时延要求的前提下, 通过按一定比例的方式减少现有业务的分配时间, 并以线性规划优化的方式为不同类型的业务分配合适长度的 TXOP, 尽可能地为新业务分配 TXOP, 以提高系统的容量。本机制不仅与 IEEE 802.11e 协议兼容, 而且易于在相关产品中实现, 是一种切实可行且有效的接纳控制方法。

参考文献

- [1] IEEE Std. 802.11-1999 PART 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications[S]. 1999.
- [2] Li Haizhon, Xiao Yang, Zhang Jingyuan. Variable Bit Rate VoIP in IEEE 802.11e Wireless LANs[J]. IEEE Wireless Communications, 2008, 15(1): 56-62.
- [3] Assi C M, Anjali A, Liu Yi. Enhanced Per-flow Admission Control and QoS Provisioning in IEEE 802.11e Wireless LANs[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(2): 1077-1088.
- [4] IEEE Std 802.11e-2005 Specific Requirements 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.
- [5] Prado J. Mandatory TSPEC Parameters and Reference Design of a Simple Scheduler[EB/OL]. (2002-10-01). <http://www.ieee802.org/11/index.html>.
- [6] Viniotis Y. Probability and Random Processes for Electrical Engineering[M]. Boston, Mass, USA: WCB Hill, 1998.
- [7] Network Simulator 2[EB/OL]. (2006-10-01). <http://www-mash.cs.berkeley.edu/~ns>,

编辑 张帆