

文章编号:1001-9081(2008)08-1962-03

IEEE 802.11e EDCA 机制的一种参数调节策略

吴杰康¹, 段云飞^{1,2}

(1. 广西大学 电气工程学院, 南宁 530004; 2. 空军气象中心, 北京 100843)

(wujiekang@163.com; duan_yun_fei@126.com)

摘要:研究了 IEEE 802.11e EDCA 机制的原理和无线信道利用模型, 阐明了 EDCA 参数设置对其性能的重要性。在此基础上, 提出了一种简单有效的参数调节策略。仿真结果表明, 该参数调节机制在保证实时业务要求的同时, 可以显著提高数据流的吞吐率, 优化了 EDCA 机制的运行性能。

关键词: IEEE 802.11e; 增强分布式协调访问; 数学分析; 参数调节策略; 仿真

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Parameter tuning strategy for IEEE 802.11e EDCA mechanism

WU Jie-kang¹, DUAN Yun-fei^{1,2}

(1. College of Electrical Engineering, Guangxi University, Nanning Guangxi 530004, China;

2. Air Force Meteorological Center, Beijing 100843, China)

Abstract: The principle and wireless channel utility model of IEEE 802.11e EDCA mechanism was studied, and the importance of parameter settings of EDCA was illustrated. Based on this point, a simple and effective parameter tuning strategy for IEEE 802.11e EDCA was presented. Simulation results show that the proposed strategy can ensure the requirement of the real-time traffic, increase the throughput of the best-effort flow and optimize the performance of IEEE 802.11e EDCA mechanism.

Key words: IEEE 802.11e; Enhanced Distributed Coordination Access (EDCA); mathematical analysis; parameter tuning strategy; simulation

0 引言

近年来,随着无线网络技术的发展,各种新的业务相继出现,这些业务在吞吐率、带宽、延时等方面有着不相同的要求。IEEE 802.11e 标准^[1]作为 IEEE 802.11 的改进型,以增强分布式协调访问(EDCA)的访问方式扩展了 DCF 的功能,新的访问方式减少了实时业务的通信延时,在一定程度上增强了网络的性能。然而由于 CSMA/CA 机制的固有缺陷,使得 EDCA 无法有效地利用信道,而且 EDCA 提供的是一种基于优先级的区分服务,在轻负载的混合业务模型下(如语音和 FTP 数据流同时启动),低优先级的业务由于参数限制,吞吐率不高,造成系统资源的不必要浪费。

目前,对于 EDCA 机制的研究主要是数学建模和仿真实验。文献[2,3]通过变换各种实验参数,说明了 EDCA 参数的正确设置可以提高系统资源的利用率,但没有给出调节算法。文献[4]利用 Markov 过程对 EDCA 机制进行了理论分析,提出一种区分业务优先级的数学模型,并采用接入点集中控制与终端分布式控制相结合的调度方法,对实时业务和数据业务进行差别调度,然而该文忽略了等待信道空闲时间的不同。文献[5]提出了一种集中控制算法,采用减少最小竞争窗口、增加发送机会限制的方法来增加系统资源的利用率,但如何调节参数并不明确。文献[6]的模型中考虑了不同优先级业务的等待信道空闲时间和竞争窗口的影响,而对于传

输时间限制问题并没有具体讨论。

本文综合考虑了等待信道空闲时间与发送机会限制对优先级和吞吐率的影响,提出了一种实现简单,实用性更强的参数调节策略。

1 EDCA 原理及数学分析

1.1 原理分析

为了保证实时业务的 QoS 要求,EDCA 定义了四种访问类型(Access Category, AC): AC_VO、AC_VI、AC_BE 和 AC_BK,分别代表语音(Voice)类、视频(Video)类、尽力而为(Best Effort)类和背景(Background)类。每种 AC 都有一个独立的发送队列,各队列的竞争均基于 CSMA/CA 协议。在站点内部有四个可配置参数:仲裁帧间间隔 AIFS、发送机会限制 TXOP、最小竞争窗口 CW_{min} 和最大竞争窗口 CW_{max} ,不同的参数取值代表了不同的接入优先级。

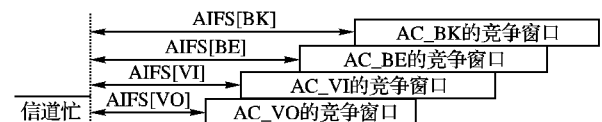


图 1 不同 AC 队列的 AIFS 和竞争窗口

如图 1 所示,数据包在发送之前首先要侦听信道,若信道空闲则直接发送,否则进入退避过程。在此过程中,退避时隙数将在 $[0, CW - 1]$ 的范围内随机选取, CW 的初始值设为

收稿日期: 2008-02-28; **修回日期:** 2008-04-08。 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(50767001); 国家 863 计划项目(2007AA04Z100); 广西自然科学基金资助项目(桂科自 0640028); 广西高校百名中青年学科带头人资助计划项目(RC200608080 02); 广西壮族自治区研究生教育创新计划项目(20070808M32)。

作者简介: 吴杰康(1965-),男,广西隆安人,教授,博士生导师,博士,主要研究方向:电力系统分析与在线监控、电力市场、电能质量检测与控制、电力系统智能检测与智能控制、配电自动化、电力系统智能仪表; 段云飞(1976-),男,内蒙古乌盟察右后旗人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

CW_{min} , 每发生一次外部碰撞, CW 的值加倍, 达到 CW_{max} 后就保持不变。退避计数器每检测到一个空闲时隙, 其值减 1, 最先减到零的数据包占用信道, 若节点内多个 AC 的退避计数器同时减到零, 则较高优先级队列的数据包将占用信道, 其他数据包又进入新一轮的退避过程。

此外, EDCA 模式还引入了发送机会限制的概念, AC 在竞争信道并成功发送一帧后, 如果仍有数据帧要发送, 可以在 TXOP 限制时间内一直使用, 当达到 TXOP 时间限制值或者没有数据帧要发送时 TXOP 结束, 开始新的竞争。

对于 EDCA 机制来说, 参数的配置是有效利用信道资源的关键, 合理的参数调节算法对系统性能的发挥起着重要作用。

1.2 资源配置分析

本文借助文献[7,8]的数学模型来进行吞吐率和资源配置分析。

1.2.1 吞吐率分析

在 IEEE802.11e 标准中, 不同的站点最小竞争窗口 (CW_{min}) 一般也不相同, 在一个 p 持久稳固 (p-persistent) 系统中, 任一站点 i 传送数据的机率为:

$$p_i = \frac{2}{CW_{min,i} + 1} \quad (1)$$

式中, $CW_{min,i}$ 表示站点 i 的最小竞争窗口, p_i 为传送机率。

定义如下参变量: R_i 为站点 i 的传输速率; α 为 PHY 层帧听和 MAC 层确认的时间间隔; $\alpha + O_k$ 为数据成功传送的时间间隔; O_i 为允许传输时间 (EDCA-TXOP); T^{col} 为碰撞间隔。

则当某个站点 i 接入 EDCA 信道时, 其吞吐率 x_i 为:

$$x_i =$$

$$\frac{p_i(1 - P_{-i})R_iO_i}{\sum_k p_k(1 - P_{-k})(\alpha + O_k) + [P - \sum_k p_k(1 - P_{-k})]T^{col} + 1 - P} \quad (2)$$

式中, $P = \sum_j p_j$ 为总传送概率, $P_{-k} = \sum_{j \neq k} p_j$ 。

由式(1)、(2)可以看出: 最小竞争窗口值越小, 成功接入信道的概率就越大; 且增大传输速率和传送时间限制有利于提高系统吞吐率。

1.2.2 资源控制分析

设用户 i 占用的系统资源为 $U_i(x_i)$, 则当 N 个用户同时接入时, 要使站点 i 的系统资源 $U_i(x_i)$ 得到充分利用, 需要满足下面的条件

$$\begin{cases} \text{Max}(\sum_i U_i(x_i)) \\ q \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

其中, $U_i(x_i) = w_i \log x_i$, w_i 为权重因子, q 为调控对象, $q = (q_i, 1 \leq i \leq N)$ 。

上式函数取极值的必要条件 (导数为 0):

$$\frac{\partial \sum_i U_i(x_i)}{\partial q_i} = \frac{\partial U_i(x_i)}{\partial q_i} + \sum_{j \neq i} \frac{\partial U_j(x_j)}{\partial q_i}, \forall i \in N \quad (4)$$

对基于竞争机制的 EDCA 来说, 调控对象 q_i 可以是: 传输几率 p_i ; 传送机会 (TXOP) O_i 。

1) 当调控对象为传输几率 p_i 时:

$$\frac{\partial \sum_i U_i(x_i)}{\partial p_i} = L \frac{(1 - P)^2 T_i^{suc} + P(2 - P) T^{col}}{E[T]^2} \sum_j U_j' p_j \quad (5)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \sum_i U_i(x_i)}{\partial p_i} = L \frac{(1 - P)^2 T_i^{suc} + P(2 - P) T^{col}}{E[T]^2} \sum_j U_j' p_j \\ U_i(x_i) = w_i \log x_i \end{cases} \quad (6)$$

其中 $1 \leq i \leq N$ 。

将式(6)进行数学变换 (具体可参阅文献[7]) 得:

$$p_i = \frac{w_i(1 - P)E[T]}{\sum_j w_j(1 - P)^2 T_i^{suc} + P(2 - P) T^{col}} \quad (7)$$

2) 当调控对象为传送机会 (TXOP) 时, 必要条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sum_i U_i(x_i)}{\partial O_i} = \lambda p_i \\ U_i(x_i) = w_i \log x_i \end{cases} \quad (8)$$

其中 $\lambda = \frac{(1 - P)^2}{E[T]^2} \sum_j U_j' p_j R_j O_j, 1 \leq j \leq N$ 。

式(7)、(8) 说明: 存在这样的 p_i 和 O_j , 使得 $\sum_i U_i(x_i)$ 达到极值点, 即最优 (近似最优) 工作点。

2 新的参数调节策略

基于上述数学分析, 结合文献[9]对延时问题的研究, 我们提出一种混合业务模型下的参数调节策略。首先定义: 当接入站点增加时, 信道竞争加剧, 为保证实时业务的延时和丢包率要求, 应当限制 AC_BE 数据的传输, 此时所采取的调节措施称为正向调节; 当信道相对空闲时, 为增大系统吞吐率和资源利用率, 应授予 AC_BE 数据流一定的传输机会, 此时的调节措施称为反向调节。

新的参数调节策略如下 (这里仅以 AC_VO 和 AC_BE 为例, 其他接入类型的调节类似):

步骤 1

初始化控制矢量:

$$\eta = [VO: (AIFSN, CW_{min}, CW_{max}, TXOP)];$$

$$BE: (AIFSN, CW_{min}, CW_{max}, TXOP)$$

设定目标函数:

$$H = \max(u)$$

约束条件:

$$\mu = (D, L)$$

这里 u 可选为吞吐率或其他指标, D, L 分别表示实时业务的延时和丢包率, 转入步骤 2。

步骤 2

记录约束条件下目标函数的最大值, 同时检验可调参数是否超出设定范围 (为高优先级数据设置的 AIFS 值与 CW_{max} 值相加之和应该大于为低优先级数据设置的 AIFS 值与 CW_{min} 值相加之和, 否则, 低优先级的数据会被完全封锁), 如已超出, 转到步骤 4, 若仍在可调范围内, 转入步骤 3。

步骤 3

依次改变下列参数 (每次只调节下面的一个参数):

a) $TXOP_{VO}[n] = TXOP_{VO}[n - 1] \pm 0.5 \text{ ms}$; update η , 转入步骤 2;

b) $AIFSN_{BE}[n] = AIFSN_{BE}[n - 1] \pm 1$; update η , 转入步骤 2;

c) $TXOP_{BE}[n] = TXOP_{BE}[n - 1] \mp 0.5 \text{ ms}$; update η , 转入步骤 2;

d) $CW_{minBE}[n] = 2^{+1} CW_{minBE}[n - 1]$ (即: 调节 CW_{min} 的

值,使其为前一次的两倍或一半),update η ,转入步骤 2。

步骤 4

将系统工作参数设为 η ,调节过程结束。

上述步骤 3 中,等式取上端符号时为正向调节,取下端的符号时为反向调节。另外参数的调节可以同时为用户站点和接入点进行,本文提出的调节策略主要针对用户站点。需要指出的是,上述策略中也可通过先大后小的步长变换机制来取得快速而平滑的调节效果。

3 仿真分析

3.1 系统模型

为检验新策略的有效性,我们采用 VoIP 与 FTP 共存的混合业务模型,运用 ns-2 仿真软件来进行评估。网络拓扑采用点对多点的形式(如图 2 所示)。

影响 VoIP 语音质量的因素^[10]主要为:端到端时延、丢包率和延迟抖动,当平均时延低于 150 ms、丢包率小于 3% 时,VoIP 语音品质良好,当延时在 150 和 400 ms 之间、丢包率小于 7% 时为中等品质,而延时长于 400 ms 和丢包率大于 7% 时,语音质量无法接受。

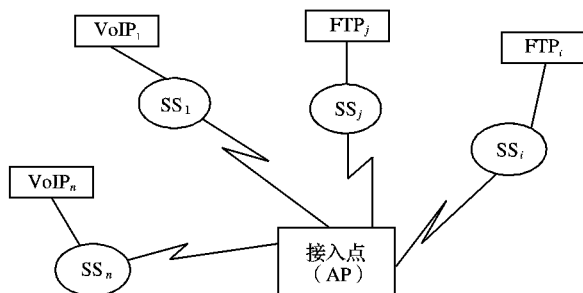


图2 仿真拓扑

基于上述考虑,在仿真前我们将约束条件 $H = (D, L)$ 的参数设置为 $D = 300 \text{ ms}$, $L = 7\%$, 语音编码采用 G. 711 标准^[11],并将其设定为恒定比特率(CBR)业务。仿真参数如表 1 所示。

表 1 主要仿真参数

仿真参数	取值
BasicRate_	1 Mb
DataRate_	11 Mb
SlotTime_	20 μs
DIFS_	10 μs
PIFS_	12 μs
CFB	1
Queue length	50 packets
仿真时间	10 s (VoIP、FTP 同时开启)
用户站点数(ss)	VoIP: 2, 4, 6, 8 FTP: 2
上下行业务比率	1:1
接入点参数	EDCA 缺省配置
FTP 数据流	TCP 封包长度 1500 B
VoIP	UDP 封包长度 160 B
(G. 711 标准)	帧间隔 20 ms
	码速率 64 kbps

3.2 仿真分析

仿真过程中语音用户站点逐步增加,FTP 用户站保持不变,故选用正向调节的方式。初始控制矢量设置为: $\eta = [\text{VO}; (2, 7, 15, 0); \text{BE}; (3, 31, 1023, 0.01)]$ 。调节范围分别为: $\text{AIFS}_{\text{BE}}[3, 7], \text{TXOP}_{\text{VO}}[0, 0.005], \text{TXOP}_{\text{BE}}[0.01, 0]$ (后

两个参变量以秒为单位)。

比较仿真结果可以看出,采用新的参数调节策略后,FTP 数据流吞吐率比 EDCA 的默认配置显著提高(图 3),而且 VoIP 数据流的丢包率也有明显改善(图 4),尽管这种提高是以增大延时为代价,但仍符合语音业务的实时要求(图 5)。

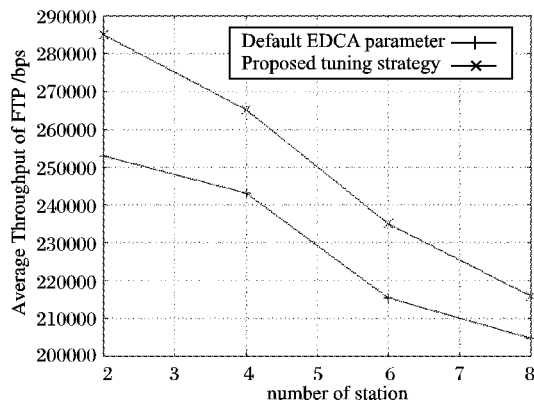


图3 FTP数据流的平均吞吐率

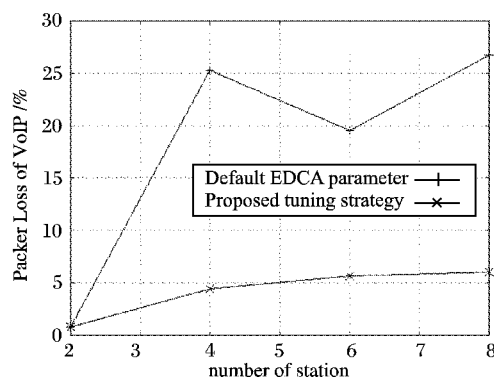


图4 语音数据流的丢包率

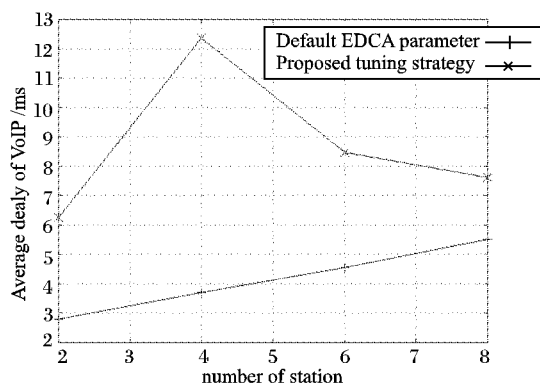


图5 语音数据流的平均延时

值得注意的是,上述模拟过程中缓冲区设置始终为 50 个包长,当语音用户站超过 10 个时,无论怎样调节,丢包率都大于 7%,这是由于接入点信道竞争加剧缓冲区无法容纳更多数据包缘故,此时可采用文献[12]的方法,增大缓冲区设置,达到丢包率与延时的综合平衡,本文提出的参数调节策略仍然有效。

4 结语

IEEE 802.11e 标准提供了对实时业务的 QoS 支持,但没有规定具体的参数调节算法,采用默认的参数配置容易造成系统资源的浪费,针对该问题,本文提出了一种简单、有效的参数调节策略,可以在保证实时业务要求的基础上,显著提高系统的吞吐率,优化了 EDCA 的运行性能。

(下转第 1975 页)

包率和数据包时延方面较为接近。

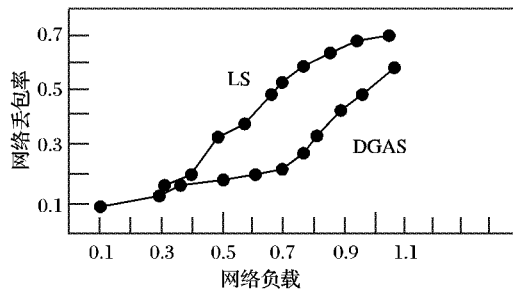


图1 两种路由算法的网络丢包率比较

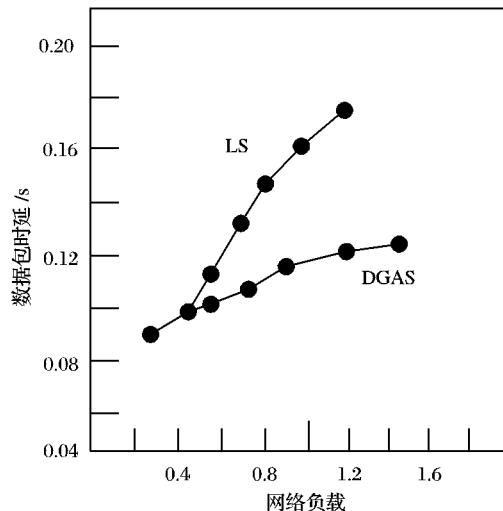


图2 两种路由算法平均传输时延比较

由图1可见,带删除算子的蚁群路由算法由于具有选择进化机制,在传输网络数据包的同时进行最优路径的选择进化,优胜劣汰,在选择的优等路径上传输数据包,使得网路丢包率大大降低。在同等条件下(相同的网络负载),通过20次的迭代实验证明,带删除算子的蚁群网格路由算法,无论在网络丢包率还是数据包时延方面(见图2),均比普通链路路由算法降低20%以上,具有明显的作战效能优势。尽管前期

两种算法比较在初期相差不大,但随着算法的进行,逐渐满足了删除算子的条件,两种算法的优劣就很明显了。

4 结语

该算法在蚁群路由算法中创新性地加入一个删除算子,进行强迫“劣汰”,克服蚁群算法盲目选址的不足,提高数据传输的准确性,在战区情报网络阻塞情况下,能迅速探索一条最优数据传输路径。仿真实验证明该算法是可行的,在数据包丢包率和传输时延方面均比现有的链路状态路由算法具有明显优势。

参考文献:

- [1] 刘鹏,王立华,侯素强,等.走向军事网格时代[M].北京:解放军出版社,2004,2(2):16-17.
- [2] 段海滨.蚁群算法原理及其应用[J].2005,9(3):382-385.
- [3] COLOMI A, DORIGO M, MANIEZZO V. Distributed optimization by ant colonies[C]// Proceedings of ECAL 91-European Conference on Artificial Life. Amsterdam: Elsevier Publishing, 1991: 134-142.
- [4] DORIGO M, MANIEZZO V, COLOMI A. The ant system: optimization by a colony of cooperating agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics B, 1996, 26(2): 29-41.
- [5] 李士勇. 蚁群算法及其应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [6] GUNTSCHE M, MIDDENDORF M. A population based approach for ACO[C]// Applications of Evolutionary Computing-EvoWorkshops. Berlin: SpringerVerlag, 2002: 172-181.
- [7] 邵晓巍,邵长胜,赵长安.利用信息量留存的蚁群遗传算法[J].控制与决策,2004,19(10):1187-1189.
- [8] 国辉,马正新,王勇前,等.基于蚂蚁算法的拥塞规避路由算法[J].清华大学学报,2003,43(1):1-4.
- [9] PILAT M L, WHITE T. Using genetic algorithms to optimize ACS-TSP[EB/OL]. [2007-08-23]. <http://www.scs.carleton.ca/~arpwhite/documents/ANTS2002.pdf>.
- [10] 张文修,梁怡.遗传算法的数学基础[M].西安:西安交通大学出版社,2005.

(上接第1964页)

另外,本文提出的参数调节策略可以借助实时反馈延时及丢包率的方法加以实现;也可以通过仿真实验手段生成最佳工作参数哈希表,然后根据业务的接入情况进行静态配置。

参考文献:

- [1] IEEE Std 802.11e. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; amendment: Medium Access Control (MAC) quality of service enhancements[S]. 2005.
- [2] DANGERFIELD I, MALONE D, LEITH D J. Experimental evaluation of 802.11e EDCA for enhanced voice over WLAN performance [EB/OL]. [2007-08-20]. http://www.hamilton.ie/dwmalone/voice_delay.pdf.
- [3] ALBERT B, LUCA V. Throughput analysis and optimal configuration of 802.11e EDCA [J]. Computer Networks, 2006, 50(11): 1749-1768.
- [4] YANG XIAO. A simple and effective priority scheme for IEEE 802.11[J]. IEEE Communications Letters, 2003, 7(2): 70-72.
- [5] PONG D, MOORS T. Call admission control for IEEE 802.11 contention access mechanism[C]// IEEE Globecom. New York: IEEE, 2003, 1: 174-178.
- [6] ENGELSTAD P E, OSTERB O N. Queueing delay analysis of 802.11e EDCA[C]// Proceedings of the 3rd Annual Conference on

Wireless on-Demand Network Systems and Services. France: [s. n], 2006: 123-133.

- [7] VASILIOS A S, COSTAS C. Resource control for the EDCA mechanism in multi-rate IEEE 802.11e networks[EB/OL]. [2007-10-23]. <http://www.ics.forth.gr/~vsiris/papers/2006.WoWMoM.edca.pdf>.
- [8] WU HAI-TAO, WANG XIN, ZHANG QIAN, et al. IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) throughput analysis [C]// IEEE International Conference on Communications. New York: IEEE, 2006, 1: 223-228.
- [9] BIANCHI G, TINNIRELLO I, SCALIA L. Understanding 802.11e contention-based prioritization mechanisms and their coexistence with legacy 802.11 stations[J]. IEEE Network, 2005, 19(4): 28-34.
- [10] PRINCY C M, SANJAY U. Voice over IP[J]. IEEE Potentials, 2001, 20(4): 36-40.
- [11] ITU G. 711[EB/OL]. [2007-10-23]. <http://www.voip-info.org/wiki-ITU+G.711>.
- [12] THOTTAN M, WEIGLE M C. Impact of 802.11e EDCA on mixed TCP-based applications [C]// Proceedings of the International Wireless Internet Conference (WICON). New York: ACM Press, 2006: 510.