

## 基于收益率的 IEEE 802.16 自适应概率接纳控制算法

王兴建 胡爱群 黄玉划  
(东南大学信息安全研究中心 南京 210096)

**摘要:** 接纳控制(AC)在宽带无线接入(BWA)服务质量(QoS)中起着非常重要的作用。针对无线城域网 IEEE 802.16 复杂的 QoS 定义, 该文提出了统一的基于收益率的自适应概率接纳控制算法 UAC 和简化计算的改进算法 EUAC, 并给出性能分析。仿真结果表明, 自适应算法可以根据当前的资源和负载自适应地改变接纳策略, 对不同收益率的业务流表现出明显且合理的区分。自适应算法还具有明显的吞吐量和收益优势, 在保持高资源利用率的同时, 合理地控制低收益率流, 避免已接纳的高收益率流降级。

**关键词:** 无线网络; 自适应接纳控制; 服务质量; 收益率

**中图分类号:** TN915, TP393.17

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2007)03-0711-05

## Utility-Ratio Based Adaptive Admission Control Algorithm with Probability in IEEE 802.16 Network

Wang Xing-jian Hu Ai-qun Huang Yu-hua

(Research Center of Information Security, Southeast University, Nanjing 210096, China)

**Abstract:** Admission Control (AC) plays a significant role in providing the desired Quality of Service (QoS) in Broadband Wireless Access (BWA). In this paper, a unitive Utility-ratio based adaptive Admission Control algorithm (UAC) with probability and the Enhanced algorithm EUAC which simplify the computation complexity are presented for miscellaneous QoS definition in IEEE802.16 network, followed by their performance analysis. The simulation results demonstrate the adaptive algorithms can adaptively shift admission strategy base on current resources and system load, obviously and reasonably classify service flows by their utility-ratio. The simulation also illustrate adaptive algorithms have notable advantages in both throughput and utility. Furthermore, the algorithms rationally restrict the flows with lower utility-ratio to avoid degrading admitted flows with higher utility-ratio while holding high resource utilization.

**Key words:** Wireless network; Adaptive admission control; Quality of Service (QoS); Utility-ratio

### 1 引言

无线/移动通信网络中日益增长的多媒体应用的性能瓶颈主要是无线链路带宽资源的匮乏, 这就要求在网络中支持具有不同流量特征、不同QoS需求的分级服务。为此, 高效的接纳控制(AC)策略是不可或缺的。一种好的接纳控制策略应当使各种业务之间或切换连接与新连接之间实现平衡, 达到所需的QoS要求<sup>[1,2]</sup>。目前已有大量的接纳算法被提出, 其中传统的资源预留机制在蜂窝中预留一定数量的信道专门用于切换连接请求, 包括截止优先权方式(cutoff priority)<sup>[3,4]</sup>, 新连接按概率接纳的分段预留信道方式(fractional guard channel)<sup>[5]</sup>等。资源预留机制以低优先级业务拒绝率的提高和系统资源利用率的降低为代价, 降低高优先级的拒绝率。资源预留等静态算法最大的缺点在于设定的预留资源不能

很好地适应业务量的实时变化, 而目前已有的一些自适应的接纳控制算法如基于本地业务量的预测估计<sup>[6,7]</sup>, 大都复杂度或代价较高, 并依赖于一定的流量模型, 具体实施有一定的困难。

本文针对IEEE802.16协议复杂的QoS定义, 提出了适合多业务类型多速率情况下根据已接纳的业务流收益率自适应调整接纳概率的接纳控制算法UAC和简化计算的改进算法EUAC。文中第2节给出了系统模型和自适应算法, 第3节使用Markov模型做出性能分析, 第4节是仿真结果。

### 2 基于收益率的 IEEE 802.16 自适应概率接纳控制算法

#### 2.1 基于收益率的自适应概率算法 UAC

IEEE 802.16-2004<sup>[8]</sup> 是IEEE制定的无线城域网标准, 得到WiMAX(World interoperability for Microwave Access)论坛的支持。它提供用户站(Subscriber Station, SS)和基站(Base Station, BS)之间的宽带无线连接。此外, 802.16e是对其移动性和安全方面补充的草案<sup>[9]</sup>。802.16 有详尽的QoS参

2005-07-15 收到, 2006-03-14 改回

国家“863”高技术研究发展计划基金项目(2005AA147040)和江苏省网络与信息安全重点实验室项目(BM200320)资助课题

数设定, 而其控制机制, 如接纳控制和时隙分配算法交由设备提供商自行决定<sup>[8]</sup>。802.16 对每个单向连接建立一个业务流, 并定义了4种业务流QoS类型: UGS, RtPS, NRtPS, BE, 特性如表1所示。发起端在流建立时确定流传输的最小(可忍受), 最大(满意)带宽  $b_{\min}$ ,  $b_{\max}$ 。流被接纳后  $\Delta b = b_{\max} - b_{\min}$  为带宽的可调范围。

表1 802.16 业务流 QoS 类型

实时/非实时	最小带宽	最大带宽
UGS 实时	带宽恒 $b_{\min} = b_{\max}$	
RtPS 实时	$b_{\min}$	$b_{\max}$
NRtPS 非实时	$b_{\min}$	$b_{\max}$
BE 非实时	0	$b_{\max}$

802.16 的时隙分配以帧时间  $T_{\text{res}}$  (0.5–20ms)为周期, 由调度中心节点(BS 或分布式 SS)按非竞争式时分多址 TDM/TDMA 方式对各 SS 的各流分配时隙。各 SS 可按信道状况选用 BPSK1/2; QPSK 1/2,3/4; 16QAM1/2,3/4; 64QAM2/3, 3/4 等多种调制方式, 业务流的调制速率  $r_s$  由其所属的 SS 选择的调制方式决定。设各类业务流对应权重  $w_k, k = \{1,2,3,4\}$  分别对应 UGS, RtPS, NRtPS, BE 等4种业务类型。另一方面, 虽然 802.16e 作为移动性草案尚未决定, 但在其实现后接纳控制同样需要平衡切换连接和新连接请求。可以在发生切换时增大切换请求的业务流权重  $w_i = w_i \cdot \sigma$ ,  $\sigma > 1$ ; 将切换请求看成具有较高权重的业务流来处理。

如上所述, 如网络中已接纳  $N$  个业务流, 则流  $f_i, i = (1, \dots, N)$  可由参数  $\{w_i, r_i, b_{\min,i}, b_{\max,i}\}$  表述, 其中  $w_i, r_i$  由流所属的业务类型和所属的 SS 决定,  $w_i \in w_k, r_i \in r_s$ 。由于分配是将  $T_{\text{res}}$  划分成时隙给予各业务流, 因此中心节点要将流的带宽请求按式(1)等效为时隙请求:

$$\tau_{\max/\min,i} = b_{\max/\min,i} \cdot T_{\text{res}} / r_i \quad (1)$$

由于 802.16 网络中即使是同业务类型的流也可能具有不同的速率, 接纳控制机制应当优先照顾速率较高的业务, 否则将降低系统的吞吐量。同时, 考虑到不同业务类型, 不同速率, 以及切换连接与新连接的区别, 业务流详细的分类繁多, 对每类流制定不同的接纳规则是繁琐而难以应用的。为了简化接纳机制, 同时确保接纳机制的可扩展性, 对各种不同参数的业务流采用统一的接纳机制, 以参数来决定是否接纳较为合适。

设流  $f_i$  实际得到的带宽为  $b_i, b_{\min,i} \leq b_i \leq b_{\max,i}$ ; 时隙为  $\tau_i = b_i \cdot T_{\text{res}} / r_i$ 。可以定义其收益:  $V(i) = \alpha \cdot w_i b_i$ ;  $\alpha$  为系数。同样定义系统为流  $f_i$  服务的开销为  $C(i) = \beta \cdot \tau_i$ ;  $\beta$  为系数。由此我们可以得到收益比例如式(2):

$$\frac{V(i)}{C(i)} = \frac{\alpha \cdot w_i b_i}{\beta \cdot \tau_i} = w_i r_i \cdot \frac{\alpha}{\beta \cdot T_{\text{res}}} \quad (2)$$

去除各业务流相同的部分, 定义收益率  $\theta_i = w_i r_i$  作为区

分流  $f_i$  接纳优先权的依据。

为了在资源紧张时保证系统的效益, 以收益率  $\theta$  作为流的分类依据和评价是否接纳的依据是合适的。在系统已接纳流  $f_i, i = (1, \dots, N)$  时, 对于新到达的收益率  $\theta$ , 最大/最小带宽  $b_{\max/\min}$  的业务流  $f$ , 系统可根据实际情况决定门限  $T_{\text{thr}}$ , 在总最大时隙  $\sum \tau_{\max,i} + \tau_{\max}$  超过阈值  $T_{\text{thr}}$  时采用基于收益率的自适应接纳机制控制接入。

(1) 首先求出当前已接纳流的最大/最小收益率  $\theta_{\max/\min}$ , 已接纳流时间加权的平均收益率  $\theta_{\text{avr}}$ :

$$\theta_{\min} = \min(\theta_i); \quad \theta_{\max} = \max(\theta_i);$$

$$\theta_{\text{avr}} = \frac{\sum (\theta_i \tau_i)}{\sum \tau_i} = \frac{T_{\text{res}} \cdot \sum (w_i b_i)}{\sum \tau_i}, \quad i \in \{1, \dots, N\}$$

由于与带宽分配策略有关,  $b_i$  不便确定。如果采用等比例分配, 即所有流获得的带宽在可调范围内占最大带宽的比例相同, 那么可以近似认为

$$\theta_{\text{avr}} = \frac{\sum (\theta_i \tau_{\max,i})}{\sum \tau_{\max,i}} = \frac{T_{\text{res}} \cdot \sum (w_i b_{\max,i})}{\sum \tau_{\max,i}}$$

(2) 当总最大时隙大于门限  $T_{\text{thr}}$  且小于帧长  $T_{\text{res}}$  时, 以  $\theta_{\text{avr}}$  为界, 按概率限制收益率较低的流接入。采用概率接纳的方式可以保障各类流接入的公平性, 同时避免较低的资源利用率。新到达流被接纳的概率如式(3):

$$P_{\text{avr-min}} = \min \left[ \max \left[ \frac{\theta - \theta_{\min}}{\theta_{\text{avr}} - \theta_{\min}}, 0 \right], 1 \right]$$

$$T_{\text{thr}} < \sum \tau_{\max,i} + \tau_{\max} \leq T_{\text{res}} \quad (3)$$

特别当  $\theta_{\text{avr}} = \theta_{\min}, \theta \geq \theta_{\text{avr}}$  时,  $P_{\text{avr-min}} = 1$ ; 当  $\theta_{\text{avr}} = \theta_{\min}, \theta < \theta_{\text{avr}}$  时,  $P_{\text{avr-min}} = 0$ 。

(3) 在总最大时隙超过帧长  $T_{\text{res}}$  时, 接纳新流必然使原有流降级以得到时隙, 为了保证系统收益和原有流的利益, 此时应当只接纳加入后可以提高总收益  $\sum \theta_i \cdot \tau_i$  的流。显然, 收益率大于  $\theta_{\text{avr}}$  的流符合这一要求。同样可以采用概率接纳不同收益率的流, 此时新到达流被接纳的概率如式(4):

$$P_{\text{max-avr}} = \min \left[ \max \left[ \frac{\theta - \theta_{\text{avr}}}{\theta_{\max} - \theta_{\text{avr}}}, 0 \right], 1 \right]$$

$$\sum \tau_{\max,i} + \tau_{\max} > T_{\text{res}}, \quad \sum \tau_{\min,i} + \tau_{\min} \leq T_{\text{res}} \quad (4)$$

特别当  $\theta_{\max} = \theta_{\text{avr}}, \theta \geq \theta_{\text{avr}}$  时,  $P_{\text{max-avr}} = 1$ ; 当  $\theta_{\max} = \theta_{\text{avr}}, \theta < \theta_{\text{avr}}$  时,  $P_{\text{max-avr}} = 0$ 。

算法伪代码如下:

```

for each connection request:
if  $\sum \tau_{\max,i} + \tau_{\max} \leq T_{\text{thr}}$ 
accept the request;
else if  $\sum \tau_{\min,i} + \tau_{\min} > T_{\text{res}}$ 
reject the request;
else

```

calculate  $\theta_{\max/\min}, \theta_{\text{avr}}$ ;  
 if  $T_{\text{thr}} < \sum \tau_{\max,i} + \tau_{\max} \leq T_{\text{res}}$   
 calculate  $P_{\text{avr-min}}$  and accept the request with  
 probability  $P_{\text{avr-min}}$ ;  
 else  $// \sum \tau_{\max,i} + \tau_{\max} > T_{\text{res}}, \sum \tau_{\min,i} + \tau_{\min} \leq T_{\text{res}}$   
 calculate  $P_{\text{max-avr}}$  and accept the request with  
 probability  $P_{\text{max-avr}}$ ;

UAC 算法根据已接纳流的  $\theta_{\max/\min/\text{avr}}$  做出接纳判断, 资源紧张时将限制低收益流进入, 从而提高  $\theta_{\text{avr}}$ , 如果资源持续紧张,  $\theta_{\text{avr}}$  会不断升高并形成正反馈, 使得对低收益流的限制更加严厉。如果资源紧张状况缓解, 则改用较为宽松的接纳机制, 对低收益流的限制将放宽, 使  $\theta_{\text{avr}}$  降低。如果资源持续缓解,  $\theta_{\text{avr}}$  会形成负反馈不断降低, 逐步放宽限制。系统最后达到动态平衡, 此时系统会根据资源情况优先满足高收益流, 并尽可能为低收益流服务。

## 2.2 改进算法 EUAC

UAC 算法可以根据当前收益率和资源情况自适应调整接纳概率, 但是需要逐流计算参数。在流数为  $N$  时基本运算次数级为  $N$ , 当  $N$  较大时有一定计算量。接纳控制是实时流量控制过程, 其实现和处理过程应尽量简单, 以降低处理过程消耗的时间。因此可以对算法作改进: 用所有已接纳的流(包括已完成的流的)的收益率的最大/最小/平均值代替当前所有流的最大/最小/平均收益率。这样就可以用递推的方式求值而不需要考虑每个流的参数, 使计算量大为减少。在新接纳具有收益率  $\theta$ , 最大时隙  $\tau_{\max}$  的流后, 更新最大/最小收益率为:

$$\theta_{\min,\text{new}} = \min(\theta_{\min,\text{old}}, \theta); \quad \theta_{\max,\text{new}} = \max(\theta_{\max,\text{old}}, \theta)$$

设新流接纳前有平均收益率  $\theta_{\text{avr,old}} = V_{\text{old}}/T_{\text{old}}$ ; 其中

$$V_{\text{old}} = \sum (\theta_i \cdot \tau_{\max,i}), \quad T_{\text{old}} = \sum \tau_{\max,i};$$

在接纳后更新  $V_{\text{new}} = V_{\text{old}} + \theta \cdot \tau_{\max}$ ,  $T_{\text{new}} = T_{\text{old}} + \tau_{\max}$ ;  
 更新平均收益率  $\theta_{\text{avr,new}} = V_{\text{new}}/T_{\text{new}}$ 。

运行时系统只需要缓存  $\theta_{\min}, \theta_{\max}, V, T$ , 并在每次接纳后更新。这样就使算法不用逐流计算, 业务流总数很大时计算仍十分简便。

## 3 性能分析

由于SS可选择调制速率, 以收益率  $\theta_i$  将流分类将十分繁杂。为简化分析, 只分析UAC, 且设所有流的调制速率相同为  $r$ 。这样只需要分析4种业务类型, 结果可以推广到速率不同的情况。设各类业务流最大带宽固定,  $b_{\max,k} = B_k$ , ( $k = \{1, 2, 3, 4\}$  分别对应UGS, RtPS, NRtPS, BE 4种业务类型, 下同)。最小带宽  $b_{\min,k} = \delta_k B_k$ ,  $\delta_k = \{1, \delta_2, \delta_3, 0\}$ ,  $\delta_2, \delta_3 < 1$ 。设各类业务流到达率符合均值  $\lambda_k$  的独立泊松分布, 持续时间符合均值  $1/\mu_k$  的独立指数分布。定义  $\rho_k = \lambda_k/\mu_k$ 。分析中将系统看成一个四维 Markov 链, 状态空间为  $X = (m_1, m_2, m_3, m_4)$ ;  $\sum m_k \delta_k B_k < r$ 。在各类型流数目为

$\{m_1, m_2, m_3, m_4\}$  状态下, 算法对到达的不同类型流的概率允许可以用对于到达率  $\lambda_k$  乘以一个  $[0, 1]$  内的概率系数  $\alpha_{m_1, m_2, m_3, m_4, k}$  来等效<sup>[10, 11]</sup>。系数  $\alpha_{m_1, m_2, m_3, m_4, k}$  可以看成是接纳控制算法在各种状态下的体现, 选取适当的系数可以表征各种接纳控制算法<sup>[11]</sup>。对于状态  $(m_1, m_2, m_3, m_4)$  时  $k = 1$  (UGS) 的状态转移, 可以用下式的转移概率来表示:

$$q(m_1 - 1, m_2, m_3, m_4) = m_1 \cdot \mu_1$$

$$q(m_1 + 1, m_2, m_3, m_4) = \alpha_{m_1, m_2, m_3, m_4, 1} \cdot \lambda_1$$

其他状态转移概率与此相似。为简便起见, 对于一步转移, 以下用  $m$  表示状态  $m_1, m_2, m_3, m_4$ ,  $m_1 \pm 1$  表示状态  $m_1 \pm 1, m_2, m_3, m_4$ , 类似以  $m_k \pm 1$  表示  $m_1, \dots, m_k \pm 1, \dots, m_4$ 。由此得到稳态方程:

$$\begin{aligned} & \sum_k P(m_k - 1) \alpha_{m_k - 1, k} \lambda_k \varphi(m_k - 1) \\ & + \sum_k P(m_k + 1) (m_k + 1) \mu_k \varphi(m_k + 1) \\ & = \sum_k P(m) \alpha_{m, k} \lambda_k \varphi(m_k + 1) + \sum_k P(m) m_k \mu_k \varphi(m_k - 1) \end{aligned} \quad (5)$$

其中  $\varphi(m_k \pm 1) = \begin{cases} 1, & m_1, \dots, m_k \pm 1, \dots, m_4 \in X \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$

分析算法可得

$$\alpha_{m_1, m_2, m_3, m_4, k} = \begin{cases} 1, & \sum_{j=1}^4 m_j B_j + B_k < T_{\text{thr}}/T_{\text{res}} \cdot r \\ (w_k - w_{\min})/(w_{\text{avr}} - w_{\min}), & T_{\text{thr}}/T_{\text{res}} \cdot r < \sum m_j B_j + B_k < r \\ (w_k - w_{\text{avr}})/(w_{\max} - w_{\text{avr}}), & \sum m_j B_j + B_k > r, \\ 0, & \sum m_j \delta_j B_j + B_k < r \\ & \sum m_j \delta_j B_j + B_k > r \end{cases} \quad (6)$$

其中  $w_{\max} = \max(w_k), \exists w_i \in w_k$ ;  $w_{\min} = \min(w_k), \exists w_i \in w_k$ ;  
 $w_{\text{avr}} = \sum_k (w_k m_k B_k) / \sum_k m_k B_k$ 。

由于总占用时隙小于门限  $T_{\text{thr}}$  时  $\alpha_{m_1, m_2, m_3, m_4, k} = 1$ , 因此有

$$p(m_1, m_2, m_3, m_4) = \left\{ \prod_{k=1}^4 \left( \frac{\prod_{i=0}^{m_k-1} \rho_k}{m_k!} \right) \cdot p(0, 0, 0, 0) \right\} \quad (7)$$

$$\sum m_j B_j + B_k < T_{\text{thr}}/T_{\text{res}} \cdot r$$

由式(5)和式(7), 可递推出  $p(m_1, m_2, m_3, m_4)$  并按正则性  $\sum p(m_1, m_2, m_3, m_4) = 1$ ;  $\sum m_k \delta_k B_k < r$  求解。其各业务类型的拒绝率为

$$P_k = \sum_{\sum m_k \delta_k B_k < r} \left[ (1 - \alpha_{m_1, m_2, m_3, m_4, k}) \cdot p(m_1, m_2, m_3, m_4) \right] \quad (8)$$

## 4 仿真结果

仿真使用 matlab 工具, 模拟了4个SS连接到BS, 其系统参数设置选用协议的基本设定, 调制方式和速率分别为

BPSK, 8Mbps; QPSK, 16Mbps; 16QAM, 32Mbps; 64QAM, 64Mbps。每个 SS 都以均值  $\lambda_k = \{1, 1, 2, 2\}$  个/秒的泊松分布产生 UGS, RtPS, NRtPS, BE 业务流。业务流权重  $w_k = \{4, 4, 2, 1\}$ ，流持续时间均服从均值  $1/\mu_k = 5$  s 的指数分布。业务流的最大带宽  $b_{\max,k}$  均服从均值  $B_k = 0.25$  Mbps 的指数分布，最小带宽  $b_{\min,k} = \delta_k B_k$ ， $\delta_k = \{1, 2/3, 1/2, 0\}$ 。帧长  $T_{\text{res}}$  为 10ms，门限  $T_{\text{thr}}$  为 8ms。仿真持续 10000 帧(100s)。接纳后的带宽分配策略采用等比例分配。在没有业务流降级时，系统可以接纳的平均业务流数为  $\bar{N} = E(r)/E(b_{\max})$ ；如果没有接纳限制，则系统存在业务流数的期望为所有数据源的  $\rho$  之和，有  $\bar{M} = \sum \rho_k = \sum (\lambda_k / \mu_k)$ 。因此可以定义系统负载  $L = \bar{M} / \bar{N}$  作为判断系统资源紧张程度的依据，仿真中采用同比例改变业务到达率的方式调节负载。

图 1-图 4 中数据都是在仿真时间(100s)内的平均值。图 1 是负载变化时的平均系统吞吐量；图 2 是平均系统收益率，这里系统收益率定义为  $\sum (\theta_i \cdot \tau_{\max,i}) / T_{\text{res}}$ 。我们将自适应算法 UAC, EUAC 与截止优先权 CP (Cutoff priority)方法作比较，CP 以门限  $T_{\text{thr}}$  拒绝非实时业务。可以看出自适应算法 UAC, EUAC 在吞吐量和收益上几乎一致，较 CP 则有明显的优势，并且随着负载增大而愈加明显。例如 10 次仿真平均的结果表明负载为 2 时 UAC 吞吐量比 CP 高出 56%，收益高出 15%；负载为 5 时 UAC 吞吐量比 CP 高出 64%，收益高出 26%。当负载大于 25 时自适应算法吞吐量和收益高于 CP 的比例将稳定在 100%左右，这是因为此时自适应算法将几乎只接纳具有最高速率 64Mbps 的实时业务，而 CP 仍为所有速率的实时业务服务，其平均速率为 30Mbps。仿真结果表明自适应算法可以很好地根据负载调节各种业务流的接纳，优先接纳高收益流，始终保持较高的吞吐量和收益。

图 3 是不同负载下系统平均降级率，降级率定义为采用等比例带宽分配时业务流得到带宽低于最大带宽的比例。图

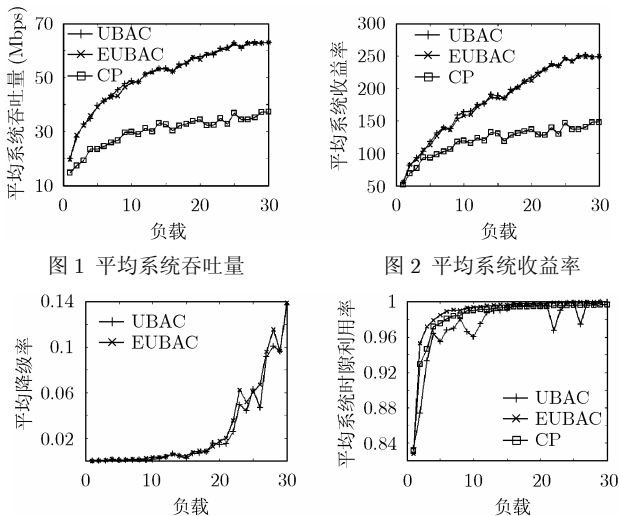


图 3 平均降级率

图 4 平均系统时隙利用率

4 是平均系统时隙利用率。可以看出，自适应算法在不同的负载下都充分利用了时隙，同时保障已接纳流的利益，使其尽可能不降级。随着负载增大，自适应算法将只接纳并尽可能接纳最高速率的实时业务，此时才会出现严重的降级。这表明自适应算法可以根据负载变化合理地改变接纳条件，在尽量接纳业务流，充分利用资源的同时，又合理地限制低收益流的接入，保证已接纳的高收益流不降级。图 5 清楚地表明了负载为 10 时这一自适应过程。系统开始运行时  $\theta_{\text{avr}}$  的振荡造成较大降级，但很快  $\theta_{\text{avr}}$  到达平衡，保持高时隙利用率的同时在瞬时资源紧张时才略有降级。从图 3-图 4 还可以看出，EUAC 的时隙利用率高于 UAC，降级率也略高。这是因为在固定参数的仿真中，EUAC 基于历史信息的估计一般更为准确和稳定，而 UAC 会出现一些波动。更多基于时变参数的仿真表明此时 UAC 可以更好地利用时隙，本文限于篇幅不再赘述。

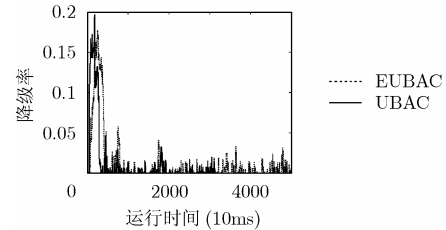


图 5 负载为 10 时前 50s 的降级率

图 6 是不同负载下实时业务 UGS, RtPS 的接纳率，图 7 是非实时业务 NRtPS, BE 的接纳率。为简便起见这里的所有流都使用固定速率 32Mbps，避免不同速率时以收益率  $\theta_i$  分类的繁杂。由图 6-图 7 可以看出，自适应算法对实时业务的接纳率明显高于 CP。这主要是因为算法可以使用降级来接纳高收益流，而且 RtPS 由于带宽可变，在接纳率上更有优势。对于非实时业务 NRtPS 和 BE，由于设定的权重不同，在负载增大时自适应算法会降低 BE 的接纳率以提高 NRtPS 接纳率。随着负载持续增大，非实时业务的接纳率迅速降低以满足实时业务。更多的仿真表明在调制速率可变的情况下，算法对不同收益率的流表现出更大的区分。随着负载增大，业务流的接纳率会按收益率由小而大逐次降低以满足更高收益率的业务流。

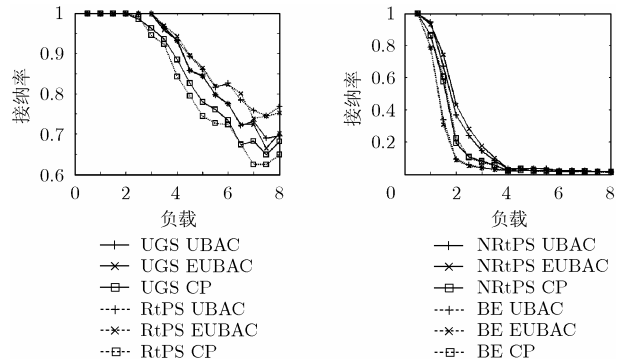


图 6 实时业务流接纳率

图 7 非实时业务流接纳率

## 5 结束语

本文针对 IEEE802.16 的复杂 QoS 定义提出了统一的基于收益率的自适应概率接纳控制算法 UAC 和改进算法 EUAC, 并对其性能作了分析和仿真。结果表明, 与 CP 相比, 自适应算法可以根据系统负载的变化和当前的资源状况自适应地改变接纳策略, 对不同收益率的业务流在接纳率上表现出明显且合理的区分。算法较 CP 在各种负载下均具有更高的收益率和吞吐量, 在充分利用了时隙的同时, 自适应地限制低收益流的接入, 保障已接纳高收益流的利益, 使其不出现降级。在固定系统参数情况下, 改进算法 EUAC 不但算法简单, 而且具有更好的资源利用率。而在时变参数下 UAC 更具有优势。

## 参考文献

- [1] Chang C, Chang C J, and Lo K R. Analysis of a hierarchical cellular system with reneging and dropping for waiting new calls and handoff calls [J]. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1999, 48(4): 1080–1091.
- [2] Kulavaratharasa M D and Aghvami A H. Teletraffic performance evaluation of microcellular personal communication networks (PCN's) with prioritized handoff procedures [J]. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1999, 48(1): 137–152.
- [3] Hong D and Rappaport S S. Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures[J]. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1986, 35(3): 77–92.
- [4] Lin Y B, Mohan S, and Noerpel A. Queueing priority channel assignment strategies for handoff and initial access for a PCS network[J]. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 1994, 43(3): 704–712.
- [5] Ramjee R, Towsley D, and Nagarajan R. On optimal call admission control in cellular networks[J]. *Wireless Networks*, 1997, 3: 29–41.
- [6] Li Bo, Li Yin, and Wang K Y. An efficient and adaptive bandwidth allocation scheme for mobile wireless networks using a non-line local estimation technique[J]. *Wireless Networks*, 2001, 7: 107–116.
- [7] Kim S, Kon T, and Choi Y. Call admission control for prioritized adaptive multimedia services in wireless/mobile networks[C]. IEEE VTC'00, Tokyo, 2000: 1536–1540.
- [8] IEEE LAN/MAN Standard Committee. IEEE Std 802.16TM-2004 IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16[S]. October 2004.
- [9] IEEE LAN/MAN Standard Committee. Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16, IEEE P802.16e/D5a, [EB/OL]. December 2004.
- [10] Fang Yuguang and Zhang Yi. Call admission control schemes and performance analysis in wireless mobile networks[J]. *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, 2002, 51(2): 371–382.
- [11] Fang Yuguang. Thinning schemes for call admission control in wireless networks[J]. *IEEE Trans. on Computers*, 2003, 52(5): 685–687.

王兴建: 男, 1978 年生, 博士生, 研究方向为无线网络 QoS.

胡爱群: 男, 1964 年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为无线宽带网络.

黄玉划: 男, 1975 年生, 博士生, 研究方向为无线网络安全.