

基于连接两段激活模型的IEEE 802.16接纳控制算法

左勇* 潘科 刘学勇 陈杰

(中国科学院微电子研究所 北京 100029)

摘要: IEEE802.16 系统中数据的传输是面向连接的, 连接的建立服从两段激活模型。针对系统空闲资源耗尽但还为已接纳而未被激活的业务预留资源这一情况, 该文提出了一种适当借用此预留资源去接纳新的立即被激活业务的接纳控制算法, 并建立了此算法的3维马尔可夫链模型, 进行了理论分析提出了找寻此算法中使用的两个门限的搜索方法。仿真结果表明, 该接纳控制算法能显著地降低新业务阻塞率, 提高系统的带宽利用率, 已接纳业务的激活成功率只有少许下降。

关键词: 无线通信; 接纳控制; 两段激活模型; IEEE 802.16 系统; 马尔可夫链

中图分类号: TN925+.93

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2011)07-1537-07

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2010.01378

An Algorithm for Call Admission Control Based on Connection Two-phase Activation Model in IEEE 802.16 Networks

Zuo Yong Pan Ke Liu Xue-yong Chen Jie

(Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The data transfer is defined as connection-oriented and two-phase activation model is employed to set up connection in IEEE 802.16 networks. Considering that free resource is exhausted but some resources is reserved for those admitted service flows, a novel Call Admission Control (CAC) algorithm which is based on borrowing the reserved resources to admit the new active service flows is proposed. The 3-D Markov chain model is presented. The performance of algorithm is analyzed theoretically and an algorithm for searching two thresholds is developed. Simulation results show that the proposed CAC algorithm can reduce the blocked probability of new service flows and improve the ratio of bandwidth utilization, while the successful activation ratio of admitted-without-activated service flows declines slightly.

Key words: Wireless communication; Call Admission Control (CAC); Two-phase activation model; IEEE 802.16 networks; Markov chain

1 引言

IEEE 802.16 系列标准规定了物理层和媒体接入控制(Medium Access Control, MAC)层的相关接口规范, 并且定义了业务类型, 带宽请求方式, 连接建立的信令机制和操作规则等^[1], 但是基站端的接纳控制和带宽分配仍然是一个开放性的问题。

目前多数针对IEEE 802.16系统的接纳控制算法是在系统带宽缺乏时, 减小较低优先级业务的服务质量(Quality of Service, QoS)级别来接纳高优先级业务^[2,3]。文献[2]提出了亏空公平优先队列算法, 以各种业务的最小保留速率为门限进行接纳控制。Wang等人^[3]通过赋予主动授权业务以最高的优先级, 并且降低非实时轮询业务的带宽来接纳更多高

优先级业务。文献[2,3]并没有考虑用户的移动性问题, 因此文献[4-10]将移动性也作为接纳控制的因素。文献[4]根据用户切换概率, 数据到达分布和业务带宽要求提出了将部分带宽预留给将要移动进入小区的实时业务接纳控制算法。文献[5,6]不仅考虑了实时业务和尽力而为业务的QoS级别的不同, 而且考虑移动性因素, 提出了基于预留带宽的接纳控制算法。文献[7]将系统上下行的接纳控制问题一并建模为最优化问题从而得到最佳的接纳控制策略。文献[8]提出了IEEE 802.16系统上行调度算法以及相应的接纳控制方法。文献[9]使用虚拟分割技术, 提出了针对不同服务类型和用户类型的接纳控制算法。Sihame等人^[10]提出了同时兼顾不同业务最小请求带宽和信令负载的接纳控制算法。

尽管上述的研究已取得了丰硕的成果, 但是它们并没有考虑实际 IEEE 802.16 系统中连接的接纳

2010-12-16 收到, 2011-03-17 改回

国家 973 计划项目(2009CB320300)资助课题

*通信作者: 左勇 zuoyong@ime.ac.cn

与激活的特点。而本文阐述的接纳控制算法考虑了IEEE 802.16 标准中所定义的连接两段激活模型(two-phase activation model)^[1], 本算法适当利用那些被接纳但还未被激活连接的带宽去接纳直接被激活的新业务, 本文称其为“借用”被接纳但是还未被激活资源的接纳控制(Borrowing Admitted-Without-Activated Resource Call Admission Control, BAWAR-CAC)算法。本文提出了分析此问题的马尔可夫链模型, 并进行了理论分析, 提出了找寻此算法中使用的两个门限的搜索方法。仿真结果表明本文算法可以显著地降低新业务阻塞率, 提高系统的带宽利用率, 同时已接纳业务的激活成功率只有少许下降。

2 BAWAR-CAC 算法

2.1 IEEE 802.16 系统连接两段激活机制

IEEE 802.16系列标准定义的MAC层数据传输是面向连接的。协议规定了相关的QoS信令架构和操作规则。在MAC层中, 具有一组特殊QoS要求的分组数据被定义为业务流。业务流由以下属性来确定: 业务流编号, 连接号, 预置的QoS参数集, 已接纳的QoS参数集, 激活的QoS参数集和认证模块。标准中定义的连接两段激活模型操作的核心就是业务流^[1]。

预置业务流由上层程序或者外界系统预先设置。预置业务流中的QoS参数由“预置的QoS参数集”决定, 此时“已接纳的QoS参数集”和“激活的QoS参数集”都为空。这一过程是通过动态业务添加(Dynamic Service Addition, DSA)管理消息在基站(Base Station, BS)和子站(Subscriber Station, SS)之间协商完成。BS(或者是SS)通过动态业务修改(Dynamic Service Change, DSC)管理消息设置已接纳业务流, BS将会结合“已接纳的QoS参数集”中的具体参数和自身的剩余资源来为这个业务流预留资源, 这样就完成了两段模型中的第1阶段。假如“激活的QoS参数集”为空, 表明这样的预留资源的业务流并没有激活。当BS和SS之间通过带有具体数值的“激活的QoS参数集”的DSC管理消息协商之后, 业务流被激活, 此时原来被预留的资源真正被使用, 完成了两段激活模型的第2阶段。

预置的业务流可以被含有“激活的QoS参数集”的DSC消息直接激活, 而不用经过两段激活模型的第1阶段。同样的情况也发生在业务流的创建过程中, 只要DSA消息的“激活的QoS参数集”非空, 那么这个业务流直接进入两段激活模型的第2阶段。但是在实际应用中, 很多业务流要分别经历接纳和激活两个阶段, 具体的关系如图1所示^[1,4]。

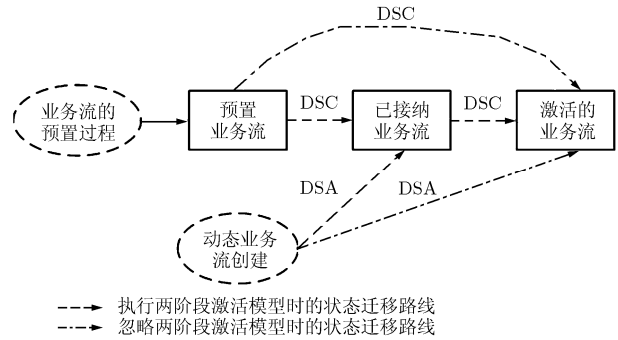


图1 连接两段激活模型的执行与忽略状态图

2.2 BAWAR-CAC 算法描述

本文将新业务分为两类: 第1类是在接纳的同时被激活的业务, 即忽略两段激活模型中第1阶段的业务, 称为“I类业务”; 第2类是被接纳但是稍后激活的业务, 即分别执行两段激活模型中两个阶段的业务, 称为“II类业务”。系统总的带宽可以划分成下面3个部分: 空闲的带宽(B_f), BS为II类业务预留的带宽(B_{ad})和I类业务实际使用的带宽(B_{ac})。这3种带宽之和等于系统可用的总带宽(B)。

没有使用BAWAR-CAC算法时, 系统空闲资源耗尽之后, 新来的业务将全部被阻塞。但这时为II类业务预留的资源却还没有被使用, 这样就导致了资源利用率较低的问题, 为了解决这个问题, 本文提出了BAWAR-CAC算法。本算法的核心思想是在系统空闲资源耗尽时, 恰当的借用一部分为II类业务预留的资源来接纳新来的I类业务, 但还要满足II类业务的QoS要求使得它再激活时有一定的成功率。本算法是系统空闲资源耗尽之后的接纳控制算法, 在资源耗尽之前可以使用文献[2-10]中的接纳控制算法, 但此情况不属于本文讨论的范畴。需要注意的是借用II类业务预留的资源来接纳新来的II类业务是没有意义的, 因为这样并不能提高系统的带宽利用率。下文中将资源具体为带宽资源。

本文中用 B_{adt} 表示 B_{ad} 带宽没有被借用之前总的带宽, 用 B_{adr} 表示 B_{adt} 带宽被借用之后还剩下的带宽。为了保证原有被接纳的II类业务激活成功率, 算法中设置了两个门限: 第1门限(TH1)表示只有 B_{adt} 带宽大于此门限之后, BAWAR-CAC算法才启动; 第2门限为(TH2)表示 B_{adr} 带宽的最小值, B_{adt} TH2表示能够借出的最大带宽。当I类业务被服务完, B_{ac} 带宽被释放, 假如 B_{ad} 带宽被借用, 应当首先补充 B_{ad} 带宽。 B_{ad} 带宽补充完全之后才补充 B_f 带宽。算法过程如下:

(1)参数初始化。设置第1门限 $TH1 \in [1, B]$ 和第2门限 $TH2 \in [1, TH1]$ 。

(2)在 $B_f=0$ 的情况下，一个 I 类新业务到达，请求的带宽为 B_I 。

(a)若 $B_{adr} > TH1$ 且 $B_{adr}-B_I \geq TH2$ ，接纳此 I 类新业务，设置 $B_{adr} \leftarrow B_{adr} - B_I$ 。

(b)否则，拒绝接纳此 I 类新业务。

(3)在 $B_f=0$ 的情况下，一个 II 类新业务到达，拒绝接纳此业务。

(4)在 $B_f=0$ 的情况下，一个激活原有 II 类业务的请求到达，请求的带宽为 B_{II} 。

(a)若 $B_{adr}-B_{II} \geq 0$ ，激活原有业务，置 $B_{adr} \leftarrow B_{adr} - B_{II}$ ， $B_{adt} \leftarrow B_{adt} - B_{II}$ 。

(b)否则，激活失败。

(5)在 $B_f=0$ 的情况下，一个 I 类业务被服务完之后，释放的带宽为 B_r 。

(a)若 $B_{adr} \neq B_{adt}$ ，则补充被借出的 B_{ad} 带宽。

(i)若 $B_{adr}+B_r \geq B_{adt}$ ，置 $B_{adr} \leftarrow B_{adt}$ ，置 $B_f \leftarrow B_f + B_{adr} + B_r - B_{adt}$ 。

(ii)否则，置 $B_{adr} \leftarrow B_{adr} + B_r$ 。

(b)若 $B_{adr}=B_{adt}$ ，则直接补充 B_f 带宽，置 $B_f \leftarrow B_f + B_r$ 。

为了保证二级门限设置的有效性，应当有 $TH2 < TH1+1$ 。当第 1 门限 $TH1$ 被设置为总带宽 B 时，为 BAWAR-CAC 算法未被使用的情况。

3 BAWAR-CAC 算法分析模型

3.1 假设

根据实际情况，对 IEEE 802.16 系统中连接两段激活模型具体参数做以下假设：

(1)假设新业务到达是独立同分布的泊松分布，单位时间内到达的新业务数量是 λ ^[1]。新业务中 I 类业务的概率是 p ，II 类业务的概率是 q ，两者满足 $p+q=1$ 。

(2)假设 I 类业务的服务时间是独立同分布的指数分布，单位时间被服务的业务数量是 μ ，则每个业务平均服务时间是 $1/\mu$ ^[1]。

(3)假设在单位时间中 II 类业务再被激活的概率是 ω ，则单位时间中被激活的业务数量是 $N \times \omega$ (N 为当前时刻被接纳的 II 类业务个数)。

(4)新业务的到达，I 类业务服务完成和 II 类业务再被激活这 3 种过程相互独立。

(5)假设每一个业务占用的带宽为 1 个单位^[1]。

3.2 不使用 BAWAR-CAC 算法的分析模型

本文所建立的 3 维马尔可夫链模型中，状态空间为 (i,j,k) ，其中 i 代表 B_f 带宽的数量， j 代表 B_{adt} 带宽的数量， k 代表 B_{adr} 带宽的数量。图 2 虚线框中部分所示为不使用 BAWAR-CAC 算法的马尔可夫链模型，其中总带宽 B 为 7 个单位。从图中可以看出 B_f 等于零时，新业务不能再被接纳，但此时还有部分带宽为 II 类业务预留，没有真正的被用来传输数据，这样造成带宽的利用率较低。

3.3 使用 BAWAR-CAC 算法的分析模型

图 2 中包括虚线框内外的所有状态为使用 BAWAR-CAC 算法的马尔可夫链模型，其中第 1 门限 $TH1$ 等于 4，即只有从 $(0,5,5)$ 状态开始算法才会启动。第 2 门限 $TH2$ 等于 3，表示当 B_{adt} 带宽为 5 个单位时，最多只能借出 2 个单位的带宽用于 I 类新业务的接入，同理 B_{adr} 带宽为 6(或者 7)个单位时，最多只能借出 3(或者 4)个单位带宽。

在 B_f 等于零的情况下只有 I 类新业务才会被 BAWAR-CAC 算法所接纳，所以 $(0,j,j)$ 状态转化到 $(0,j,j-1)$ 状态的强度是 $p\lambda$ 。当 B_{ad} 带宽被借出，I 类业务被服务完之后释放的带宽应当首先补充 B_{ad} 带宽，状态由 $(0,j,k)$ 变为 $(0,j,k+1)$ ；当 B_{ad} 带宽被补充完全后，才会补充 B_f 带宽，状态由 $(0,j,j)$ 变为

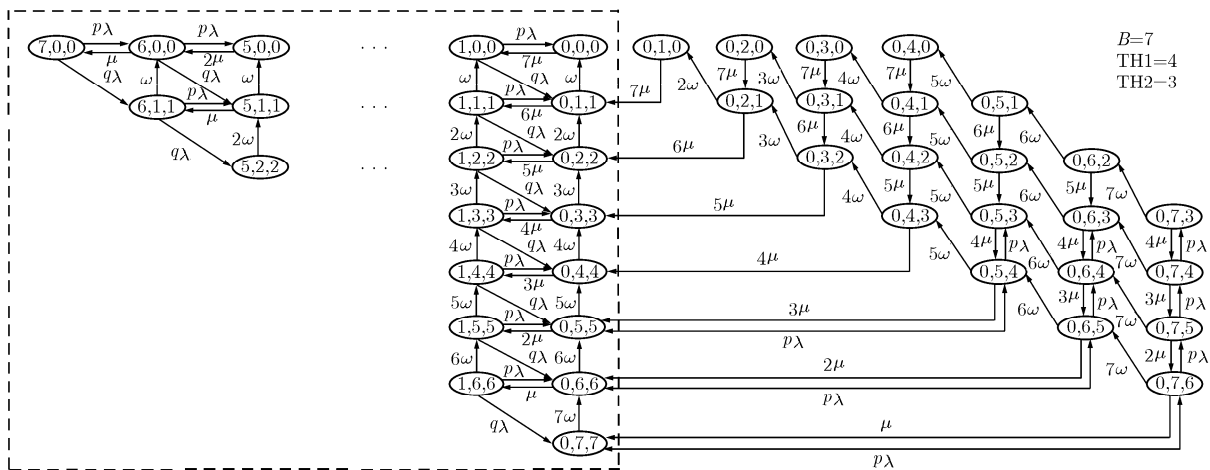


图 2 未使用与使用 BAWAR-CAC 算法的马尔可夫链模型

$(1, j, j)$ 。在 $(0, j, k)$ 状态下激活一个 II 类新业务时, 状态将变为 $(0, j-1, k-1)$ 。

用 $P(i, j, k)$ 表示状态 (i, j, k) 的稳定概率。可以根据图 2 的递推规律得到各个状态的平衡方程, 由于文章篇幅所限这里省略推导过程。因为所有状态概率之和等于 1, 所以有

$$\sum_{i=0}^B \sum_{j=0}^{B-i} P(i, j, j) + \sum_{j=B+1-TH2}^B \sum_{k=j+TH2-B}^{j-1} P(0, j, k) + \sum_{j=1}^{B-TH2} \sum_{k=0}^{j-1} P(0, j, k) = 1 \quad (1)$$

式(1)与所有状态平衡方程联立求解得到 $P(i, j, k)$, 由此可得未使用和使用本文算法两类情况下的新业务阻塞率, 系统带宽利用率和 II 类业务再被激活的成功率 3 种 QoS 指标。

3.3.1 新业务阻塞率(Blocking Probability, BP) 新业务的阻塞率定义为新业务要接入系统而不被接纳的概率。

(1)不使用 BAWAR-CAC 算法的情况: 当 B_j 等于零, 所有的新业务都会被阻塞。

$$B_o = 1 - \sum_{i=1}^B \sum_{j=k=0}^{B-i} P(i, j, k) \quad (2)$$

(2)使用 BAWAR-CAC 算法的情况: 由于 BAWAR-CAC 算法中从 B_{ad} 中借出的带宽只被用来接纳 I 类业务, 所以 I 类业务和 II 类业务的阻塞率不同。

I 类业务的阻塞率为

$$B_{MI} = 1 - \left[\sum_{i=1}^B \sum_{j=k=0}^{B-i} P(i, j, k) + \sum_{j=TH1+1}^B \sum_{k=TH2+1}^j P(0, j, k) \right] \quad (3)$$

II 类业务的阻塞率为

$$B_{MII} = 1 - \sum_{i=1}^B \sum_{j=k=0}^{B-i} P(i, j, k) \quad (4)$$

则新业务的平均阻塞率为

$$\begin{aligned} B_N &= p \times B_{MI} + q \times B_{MII} \\ &= p \times \left[1 - \left[\sum_{i=1}^B \sum_{j=k=0}^{B-i} P(i, j, k) + \sum_{j=TH1+1}^B \sum_{k=TH2+1}^j P(0, j, k) \right] \right] \\ &\quad + q \times \left[1 - \sum_{i=1}^B \sum_{j=k=0}^{B-i} P(i, j, k) \right] \end{aligned} \quad (5)$$

3.3.2 带宽利用率(Bandwidth Utilization Ratio, BUR) 带宽利用率定义为实际被使用的带宽(这里指被 I 类业务所使用的带宽, 而不包含为 II 类业务所预留的带宽)占总带宽的百分比。

(1)不使用 BAWAR-CAC 算法的情况:

$$\eta_o = \frac{\sum_{i=0}^B \sum_{j=0}^{B-i} [p(i, j, j) \times (B-i-j)]}{B} \quad (6)$$

(2)使用 BAWAR-CAC 算法的情况:

$$\begin{aligned} \eta_N &= \left\{ \sum_{i=0}^B \sum_{j=0}^{B-i} [p(i, j, j) \times (B-i-j)] \right. \\ &\quad + \sum_{j=1}^{B-TH2} \sum_{k=0}^{j-1} [P(0, j, k) \times (B-k)] \\ &\quad \left. + \sum_{j=B+1-TH2}^B \sum_{k=j+TH2-B}^{j-1} [P(0, j, k) \times (B-k)] \right\} / B \quad (7) \end{aligned}$$

3.3.3 原有被接纳 II 类业务被激活的成功率

(1)不使用 BAWAR-CAC 算法的情况: 由于没有借用 B_{ad} 带宽, 所以此情况下激活原有 II 类业务的成功率是 100%。

(2)使用 BAWAR-CAC 算法的情况: 原有 II 类业务激活失败的概率是 B_{adt} 带宽不为 0 但 B_{adr} 带宽为 0 的概率之和, 即此时还有 II 类业务需要被激活, 但是没有 B_{adr} 带宽能用来激活 II 类业务。

$$PS_N = 1 - \sum_{j=1}^{B-TH2} P(0, j, 0) \quad (8)$$

3.4 门限性质及门限设置算法

经过大量场景测试发现: 第 2 门限对 QoS 性能只起到微调的作用(详见 4.2 节)。下面给出了在第 2 门限固定情况之下, 第 1 门限对 QoS 性能影响的若干性质。

定理 1 在第 2 门限 TH2 确定情况下, 第 1 门限分别为 TH1 和 TH1', 且 $TH1 < TH1'$ 。 $P(0, j, k)$ 和 $P'(0, j, k)$ 分别是在 TH1 和 TH1' 门限下状态 $(0, j, k)$ 的概率, 其中 $TH1+1 \leq j < TH1'+1$, $TH2 \leq k < j$ 。则有 $P(0, j, k) > P'(0, j, k)$ 。

证明 根据 $P(0, j, k)$ 和 $P'(0, j, k)$ 的定义, 则 $P(0, j, k)$ 的平衡方程为

$$[j\omega + p\lambda + (B-k)\mu]P(0, j, k) = p\lambda P(0, j, k+1) + (j+1)\omega P(0, j+1, k+1) + \mu(B-k+1)P(0, j, k-1)$$

$P'(0, j, k)$ 的平衡方程为

$$[j\omega + (B-k)\mu]P'(0, j, k) = (j+1)\omega P'(0, j+1, k+1) + \mu(B-k+1)P'(0, j, k-1)$$

将上面两式相比, 经过整理得到

$$\begin{aligned} \frac{P(0, j, k)}{P'(0, j, k)} &= \left\{ A + p\lambda [j\omega + (B-k)\mu] P(0, j, k+1) \right\} \\ &\quad / \left\{ A' + p\lambda [(j+1)\omega P'(0, j+1, k+1) + \mu(B-k+1)P'(0, j, k-1)] \right\} \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} A &= [j\omega + (B-k)\mu] [(j+1)\omega P(0, j+1, k+1) \\ &\quad + \mu(B-k+1)P(0, j, k-1)] \end{aligned}$$

$$A' = [j\omega + (B - k)\mu][(j + 1)\omega P'(0, j + 1, k + 1) + \mu(B - k + 1)P'(0, j, k - 1)]$$

对于所有情况, 都有 $A > A'$, 且有 $j\omega P(0, j, k + 1) > (j + 1)\omega P'(0, j + 1, k + 1)$, $(B - k)\mu P(0, j, k + 1) > \mu(B - k + 1)P'(0, j, k - 1)$ 。由此可得 $\frac{P(0, j, k)}{P'(0, j, k)} > 1$ 。定理 1 得证。

定理 2 在第 2 门限 TH2 确定情况下, 随着第 1 门限的下降, 新业务阻塞率下降。

证明 假设第 1 门限分别为 TH1 和 TH1', 且 $TH1 < TH1'$, 在两门限下的新业务阻塞率分别为 BP 和 BP'。由式(5)中的定义可得

$$BP' - BP = p \times \left\{ \sum_{j=TH1+1}^{TH1'} [P(0, j, j) - P'(0, j, j)] + \sum_{j=TH1+1}^{TH1'} \sum_{k=j-1}^{TH2-1} [P(0, j, k) - P'(0, j, k)] \right\}$$

由定理 1 可知 $P(0, j, k) - P'(0, j, k) > 0$, 则由上式可得 $BP' - BP > 0$ 。定理 2 得证。

定理 3 在第 2 门限 TH2 确定情况下, 随着第 1 门限的下降, 带宽利用率提高。

证明 假设第 1 门限分别为 TH1 和 TH1', 且 $TH1 < TH1'$, 在两门限下的带宽利用率分别为 BUR 和 BUR'。由定理 1 的性质可知在第 1 门限变小的情况之下, $P(0, j, k)$ 的值变大。这表明 $\Sigma P(i, j, k)$, $i = 0$ 的值随着第 1 门限的变小而增大的。同理 $\Sigma P(i, j, k)$, $i \neq 0$ 的值随着第 1 门限的减小而减小。由式(7)中的定义可得: 当第 1 门限减小, 分子当中第 1 项的 $p(i, j, j)$ 减小, 第 2 项和第 3 项的 $P(0, j, k)$ 增加, 并且 $i \neq 0$ 时的 $(B - i - j)$ 明显小于 $i = 0$ 时的 $(B - k)$ 。则由上面的分析可知 $BUR > BUR'$ 。定理 3 得证。

3 种系统性能指标中, II 类业务激活成功率比其他两个指标更加重要, 因为已被接纳的业务更难容忍激活的失败, 所以在使用 BAWAR-CAC 算法时应当保证 II 类业务激活成功率高于一个给定的目标值, 此目标值称为 P_{QoS} 。

由于在系统中总带宽(B), 服务时间($1/\mu$), 激活的概率(ω)一般都是稳定值, 变化的只有新业务到达率(λ), 所以 P_{QoS} 和 λ 参数是确定两个门限的关键因素。一般情况下, 在高于某个 P_{QoS} 值时, 两个门限的组合有多种可能。这时就需要根据定理 2 和定理 3 的性质选择使得新业务阻塞率和带宽利用率性能更好的门限组合, 门限搜索算法如下:

(1)参数初始化。设置 II 类业务激活成功率为 P_{QoS} , 新业务到达率为 λ 。

(2)解出各状态稳定概率, 并求出满足 $1 - \sum_{j=1}^{B-TH2} P(0, j, 0) > P_{QoS}$ 关系的门限集合 $TH = \{(th1, th2)\}$, 其中 th1 表示求解得到的第 1 门限, th2 表示与 th1 相对应的第 2 门限。

(3)根据定理 2 和定理 3 的性质, 设置门限为 $TH1 = \arg \min_{(th1, th2) \in TH} th1$, $TH2 = th2$, $(th1, th2) \in TH$ 且 $th1 = TH1$ 。

4 数值与仿真结果分析

仿真中, 系统总带宽 B 为 50, 新业务的到达服从参数为 λ 的泊松分布(单位: 业务个数/s), 新业务中 I 类业务的概率 p 为 0.8, II 类业务的概率 q 为 0.2, 业务服务时间服从参数 μ 为 0.003 s^{-1} 的指数分布^[12], II 类业务每秒被激活的概率 ω 为 1.4%。

4.1 第 1 门限 TH1 对系统性能的影响

设置第 2 门限 TH2 为固定值 1, 第 1 门限 TH1 分别取 5, 10 和 20 进行仿真。

图 3(a)为带宽利用率在不同第 1 门限下随新业务到达率的变化曲线。从图中可以看出, 采用本文算法比不采用此算法情况下的带宽利用率明显提高。TH1=5 时, 系统的带宽利用率最高, 而不使用本文算法的带宽利用率最低。在 $\lambda=0.6$, TH1=5 时, 带宽利用率是 94.8%, 而不使用本文算法的带宽利用率是 69.7%。随着第 1 门限的变大, BAWAR-CAC 算法带来的带宽利用率增益变小, 这是因为第 1 门限变大, 算法启动的门槛随之提高。

图 3(b)为新业务阻塞率在不同的第 1 门限下随新业务到达率的变化曲线。随着第 1 门限的提高, 新业务阻塞率变大。当 $\lambda=0.6$, TH1=5 时, 不使用本文算法的新业务阻塞率 82.6%, 而 BAWAR-CAC 算法的新业务阻塞率是 76.3%。图 3(c)为 II 类业务激活成功率在不同的第 1 门限下随新业务到达率的变化曲线。第 1 门限越小借出的带宽就越大, II 类业务激活的成功率损失越大。 $\lambda=0.6$, TH1=5 情况下的 II 类业务激活成功率为 97.7%, 之所以没有大幅度的下降是因为 I 业务被服务完之后, 借用的 B_{adr} 带宽迅速的被填补上, 故 B_{adr} 带宽为 0 的概率很小。

4.2 第 2 门限 TH2 对系统性能的影响

这里取第 1 门限 TH1 为固定值 5, 第 2 门限 TH2 分别取 1, 2 和 3 进行仿真。

图 4(a)和图 4(b)分别表示带宽利用率和新业务的阻塞率在不同的第 2 门限下随新业务到达率的变化曲线。从图中可以看出, 当 $\lambda=0.6$ 时不使用 BAWAR-CAC 算法的带宽利用率为 69.7%, 新业务的阻塞率为 82.6%。当 $\lambda=0.6$ 时使用 BAWAR-CAC

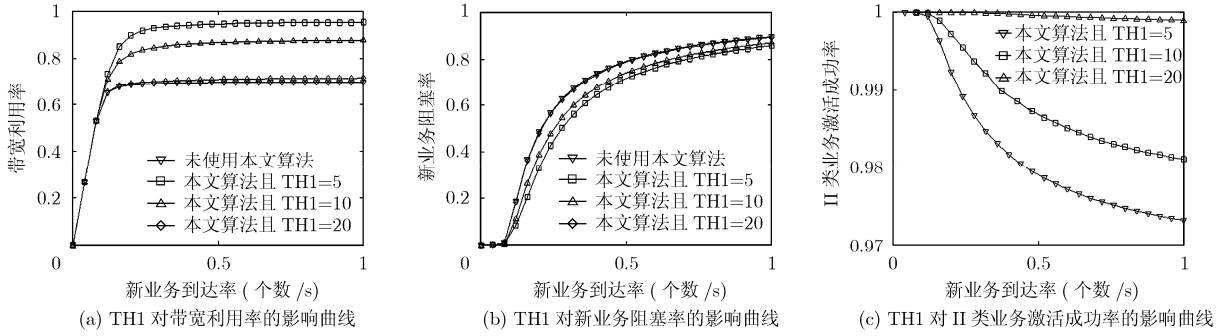


图 3 第 1 门限 TH1 对 3 种系统 QoS 性能指标的影响曲线

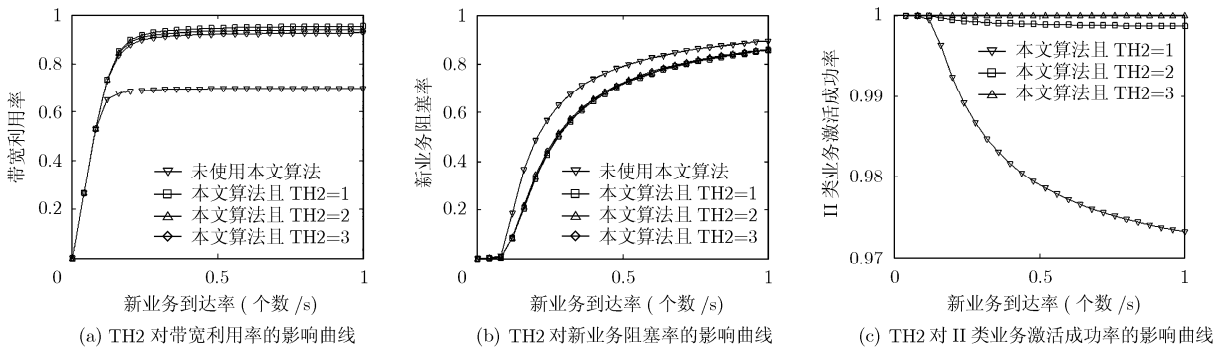


图 4 第 2 门限 TH2 对 3 种系统 QoS 性能指标的影响曲线

算法下 3 种第 2 门限性能差别不大，平均带宽利用率为 93.5%，新业务的阻塞率为 76.6%左右。第 2 门限 TH2 越小，能借出的带宽越大，带宽利用率越高，新业务阻塞率越小。但性能曲线随 TH2 的变化而变化的趋势并不明显，这说明第 1 门限 TH1 才是影响带宽利用率和新业务阻塞率的主要因素。图 4(c)为第 2 门限的变化对 II 类业务激活成功率的影响。与图 3(c)情况相似，第 2 门限越小，借出的带宽就越大，导致 II 类业务激活的成功率损失越大。

4.3 门限搜索算法仿真

表 1 所示为 $\lambda=0.6$ ，II 类业务激活失败概率是 1%和 1%(即 P_{QoS} 为 99.9%和 99%)时的门限选取情况。由表 1 可知在满足相同 P_{QoS} 条件下，门限的组合并不是唯一的，但是第 1 门限越小相应的新业务阻塞率(BP)就越小，带宽利用率(BUR)就越大，所以在 P_{QoS} 为 99.9%和 99%两种情况下，门限分别选取(2,2)和(4,2)，这与本文所提出的门限搜索算法结果相一致。

5 结论

本文针对 IEEE 802.16 系统中连接的两段激活模型，提出了恰当借用预留 II 类业务的带宽去接纳 I 类新业务的 BAWAR-CAC 算法，本算法设有两个门限，只有满足要求状态下的 I 类新业务才会被接纳，并且在文中提出了门限的搜索算法。

表1 不同 P_{QoS} 条件下，两级门限的选取

P_{QoS}	TH1	TH2	BP	BUR
99.9%	19	1	0.8201	0.7198
	2	2	0.7619	0.9526
99%	20	1	0.8661	0.7141
	4	2	0.8209	0.9552

仿真结果表明：恰当地调整两个门限，在系统空闲资源耗尽时，可以在原有的 II 类业务激活成功率下降不大的情况下，显著降低新业务的阻塞率，提高带宽利用率。本算法可以和针对空闲资源还未耗尽情况下的接纳控制算法^[2-10]联合使用，进一步的提高系统性能。

参考文献

[1] IEEE Std 802.16e, Draft standard for local and metropolitan area networks — part 16: air interface for broadband wireless access systems[S]. IEEE, July 2008.

[2] Chen J F, Jiao W H, and Wang H X. A service flow management strategy for IEEE 802.16 broadband wireless access systems in TDD mode [C]. IEEE International Conference on Communications, Seoul, Korea, May 16-20, 2005: 3422-3426.

[3] Wang H T, Li W, and Agrawal D P. Dynamic admission control and QoS for 802.16 wireless MAN[C]. Wireless

- Telecommunications Symposium, Pomona, USA, Apr. 28-30, 2005: 60-66.
- [4] Ge Y and Kuo G S. Dynamic bandwidth quasi-reservation scheme for real-time services in IEEE 802.16e networks [C]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Hongkong, China, Mar. 11-15, 2007: 1702-1707.
- [5] Khalil I, Rachid E A, and El H B, *et al.* CAC algorithms based on random waypoint mobility for IEEE 802.16e networks [C]. IEEE International Conference on Next Generation Networks and Services, TaiPei, China, June 2009: 4-6.
- [6] Jing L and Sampalli S. Cell mobility based admission control for wireless networks with link adaptation [C]. IEEE International Conference on Communications, Glasgow, Scotland, June 24-28, 2007: 5862-5867.
- [7] Bo R, Yi Q, and Ke L, *et al.* Call admission control optimization in WiMAX networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(4): 2509-2522.
- [8] Juliana F B and Nelson L S. Uplink scheduler and admission control for the IEEE 802.16 standard[C]. IEEE Global Telecommunications Conference, Hawaii, USA, Nov. 30-Dec. 4, 2009: 1-6.
- [9] Enrique S N, Valid S M, and Vincent W S W. Handoff management and admission control using virtual partitioning with preemption in 3G cellular/802.16e interworking[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2010, 59(1): 431-445.
- [10] Sihame E H, Rachid E A, and Khalil I, *et al.* Mobility management and call admission control for IEEE 802.16e wireless networks[C]. ACM PM2HW2N'10, Bodrum, Turkey, Oct. 17-21, 2010: 63-70.
- [11] Yang X, Frank H L, and Ming L, *et al.* Dynamic bandwidth partition schemes for integrated voice, video, and data traffic in the IEEE 802.11e distributed wireless LANs[J]. *International Journal of Communication Systems*, 2010, 23(3): 391-412.
- [12] Li B, Li L Z, and Li B, *et al.* Call admission control for voice/data integrated cellular networks: performance analysis and comparative study[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 2004, 22(4): 706-718.
- 左 勇: 男, 1983 年生, 博士生, 研究方向为无线通信、无线资源管理.
- 潘 科: 男, 1984 年生, 博士生, 研究方向为无线通信、无线资源管理.
- 刘学勇: 男, 1977 年生, 副研究员, 研究方向为无线通信、数字信号处理.
- 陈 杰: 男, 1963 年生, 研究员, 博士生导师, 研究方向为无线通信、数字信号处理.