

基于动态带宽预留和带宽降级的呼叫准入控制算法

黄建辉¹, 钱德沛^{1,2}, 王胜灵¹, 刘轶^{1,2}

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 北京航空航天大学计算机科学与工程学院, 100083, 北京)

摘要: 提出了一种适用于无线/移动网络的呼叫准入控制方案, 该方案包括了动态带宽预留与带宽降级算法(BDA)2个部分. 根据切换呼叫的准入结果实时地调整切换呼叫预留带宽, 在限制切换中断率(HDP)的同时, 尽可能降低呼叫阻塞率(CBP). 在对未来带宽需求预测的基础上, 所提方案采用不同的BDA触发方式, 使得系统在处理负荷与带宽利用率之间取得平衡. BDA可综合考虑多种因素, 包括业务优先级、公平性、呼叫持续时间、带宽调整波动性以及降级呼叫比例等, 通过合理地设置带宽需求满足度、带宽波动幅度, 以确保BDA的公平性和限制带宽调整的波动性. 仿真结果表明, 在2 000个仿真时段内, 所提方案的HDP均值较同类方案稍高, 但仍然控制在阈值范围之内, 较之其他方案, 它的CBP均值和BDA触发次数均值均比较低.

关键词: 带宽预留; 带宽降级; 移动网络; 呼叫准入控制

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)06-0683-05

Call Admission Control Algorithm Based on Dynamic Bandwidth Reservation and Bandwidth Degradation

Huang Jianhui¹, Qian Depei^{1,2}, Wang Shengling¹, Liu Yi^{1,2}

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: A call admission control scheme, named MCBDA-CAC, is proposed for wireless/mobile network based on dynamic bandwidth reservation and bandwidth degradation algorithm (BDA). MCBDA-CAC adjusts the reservation bandwidth for handoff calls in terms of the results of admitting handoff calls, confines handoff dropping probability (HDP) under a predefined threshold, and decreases call blocking probability (CBP) as low as possible. In addition, based on the estimation of the bandwidth demand in the next time interval, different BDA trigger modes are adopted to achieve the tradeoff between the system operation complexity and bandwidth utilization ratio. The proposed BDA takes many factors into account, such as service priority, fairness, call duration time, bandwidth fluctuation, and degradation call number ratio. To guarantee the fairness and to limit bandwidth fluctuation, two QoS parameters, named bandwidth satisfactory degree and bandwidth fluctuation degree, are proposed. The performance simulation shows that during 2000 simulation intervals, the average HDP of MCBDA-CAC is higher slightly than that of the similar schemes, but is still confined within the threshold. In addition, the average CBP and the average BDA trigger numbers are all lower than those of the similar schemes.

Keywords: bandwidth reservation; bandwidth degradation; mobile network; call admission control

在无线/移动网络中,采用准入控制(CAC)与带宽降级算法(BDA)相结合的方式资源管理,可大大提高系统的资源利用率. CAC用于判断是否准入呼叫到达,而基于带宽预留的CAC可以降低切换呼叫中断率(HDP),因此基于带宽预留的CAC成为研究热点. 基于带宽预留的CAC分为两类:一类是基于固定带宽预留的CAC^[1],它为切换呼叫预留了固定比例的带宽,缺乏灵活性;另一类是基于动态带宽预留的CAC^[2],它能动态地调整切换预留带宽,从而使预留的资源更接近实际需要. BDA在系统资源不足时,通过对已接纳的呼叫进行带宽降级,以提高系统的呼叫接入能力,但不加限制地对正在进行的呼叫实施降级^[3],将导致呼叫“过度”或“过频繁”地被降级,而采用“降级概率”来限制网络降级呼叫比例的方法^[4],却无法保证呼叫降级的程度. 文献^[5]采用“降级度”来衡量某时段内所有呼叫被降级的程度,然而用统一的“降级度”来衡量不同种类呼叫的方式,也无法使得各类呼叫都保持在可接受的QoS级别范围内.

本文提出了一种动态切换带宽预留与BDA相结合的CAC方案(MCBDA-CAC),它可根据切换呼叫的准入结果实时地调整切换呼叫的预留带宽,在将HDP限制在给定阈值范围内的同时,尽可能地降低新呼叫阻塞率(CBP). 此外,MCBDA-CAC可在对未来时段带宽需求预测的基础上,采用不同的BDA触发方式,使系统在处理负荷与带宽利用率之间取得平衡.

1 MCBDA-CAC

1.1 切换带宽预留算法

为切换呼叫预留的带宽数量 b_{resv} 会影响系统的性能, b_{resv} 值越大,HDP越低,而CBP会升高;反之,系统性能会反向变化. 为设置恰当的 b_{resv} ,文献^[6]提出了一种算法,即令 T_{HDP} 为HDP的阈值,当连续准入的切换呼叫数量 $A_h > 1/T_{\text{HDP}}$ 时,减少 b_{resv} ,否则增加 b_{resv} . 这样做,虽然可以将HDP限制在阈值之内,但却牺牲了CBP. 为此,本文对该算法进行了改进,如图1所示. 改进算法可实时计算系统当前的HDP值 T_c ,且为防止 T_c 超出 T_{HDP} 设置了保护系数 r_{overload} ($0 < r_{\text{overload}} \leq 1$). 在本算法中,即使 $A_h < 1/T_{\text{HDP}}$,但 T_c 仍在保护范围 $T_{\text{HDP}} \times r_{\text{overload}}$ 之内,仍然可以减少 b_{resv} . 同理,只有当 T_c 超出 $T_{\text{HDP}} \times r_{\text{overload}}$ 且有切换呼叫被拒绝时,才会增加 b_{resv} . 后续的仿真结果表明,改进算法可以使得HDP更接近(不超过)

阈值,同时由于减少了 b_{resv} ,所以CBP得到了改善.

```

 $A_h=0$ ; //  $A_h$  为计数器
1 if (一个切换呼叫被接纳)
1.1  $A_h++$ ;
1.2 if ( $A_h > (1/T_{\text{HDP}})$ )
1.2.1  $b_{\text{resv}} = B_U$ ;  $A_h=0$ ;
1.2.2 if ( $b_{\text{resv}} < 0$ )  $b_{\text{resv}}=0$ ;
1.3 else //  $A_h \leq (1/T_{\text{HDP}})$ 
1.3.1 if ( $T_c < T_{\text{HDP}} \times r_{\text{overload}}$ )
1.3.1.1  $b_{\text{resv}} = B_U$ ;
1.3.1.2 if ( $b_{\text{resv}} < 0$ )  $b_{\text{resv}}=0$ ;
2 if (拒绝切换呼叫)
2.1 if ( $T_c > T_{\text{HDP}} \times r_{\text{overload}}$ )
2.1.1  $b_{\text{resv}} = B_U$ ;
2.1.2 if ( $b_{\text{resv}} > C$ )  $b_{\text{resv}} = C$ ;

```

B_U :每次调整的单位带宽; C :系统容量

图1 切换带宽预留算法

1.2 基于多QoS约束的带宽降级算法

改进算法将系统时间划分为等长的时段,并根据时段末预测的下一时段的带宽需求状态采用不同的BDA触发方式. 当预测到下一时段的带宽需求大于系统可提供的带宽,且超过一定的阈值时,则在该时段起始点触发BDA,否则在该时段内且当呼叫到达而资源不足时触发降级. 采用这样的BDA触发策略,是为了尽可能地降低系统的操作复杂度,减少资源浪费. 若系统资源的供需差别很大,则在时段开始前采用一次性降级方式,如果采用呼叫到达才降级的方式,会导致时段内系统频繁地实施降级操作,增加系统分配带宽的复杂度;若系统资源的供需差别不大,而在时段初实施一次性降级,则降级后腾出的带宽要等到呼叫到达时才能再次被分配. 为了避免资源浪费,在呼叫到达时才实施带宽降级比较合理.

时段长度 Γ 也会影响系统的性能, Γ 设置得过长,由于无法及时反映系统的动态变化,可能会降低预测的准确性; Γ 设置得过短,预测算法和BDA过程频繁触发,给系统造成过多的处理负担,由此降低了系统的性能. 适当的 Γ 应该是在对系统长期运行进行监测的基础上确定一个经验值,该值需要综合考虑系统的处理能力、预测算法和BDA的复杂度、呼叫到达率等. 如在系统繁忙或呼叫到达率变化频繁时,缩短时段长度,提高预测的准确度;反之,在系统空闲或呼叫到达率变化很小时,增加时段长度,降低系统开销.

为了判断BDA的触发方式,系统可根据第 t 个时段之前的带宽使用情况,采用下式来预测第 t 个时段的带宽使用情况,即

$$\left. \begin{aligned} \bar{b}(t) &= \alpha \times \bar{b}(t-1) + (1-\alpha)b(t-1) \\ t &= 1, 2, 3, \dots \\ \bar{b}(0) &= b(0) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中: $\bar{b}(t-1)$ 是第 t 个时段前系统带宽的平均使用情况; $b(t-1)$ 是第 $t-1$ 个时段带宽的实际使用情况; α 为 $[0, 1]$ 区间内的系数,该值可在每个时段结束时根据预测值和实际值的差别来调整,目的是增加预测的准确度。

设 $B(\tau)$ 为 τ 时段开始时刻系统实际的剩余带宽, $\tilde{B}_f(\tau)$ 和 $\tilde{B}_r(\tau)$ 分别为 τ 时段因呼叫退出而释放的带宽估计值和在 τ 时段请求呼叫所需要的带宽估计值,这2个值均可采用式(1)来估计。于是, τ 时段末的空闲带宽估计值

$$\tilde{B}_E(\tau) = B(\tau) + \tilde{B}_f(\tau) - \tilde{B}_r(\tau)$$

为了防止出现频繁降级,设置保护阈值 T_d ($T_d < 0$),当 $\tilde{B}_E(\tau) \leq T_d$ 时,BDA将在 τ 时段开始前触发;当 $T_d < \tilde{B}_E(\tau)$ 时,BDA在 τ 时段内呼叫到达且资源不足时触发。

设计BDA应考虑以下5个原则:①对不同优先级别的呼叫予以区分,尽量减少高优先级呼叫降级;②将历史上降级幅度小、降级频率低的呼叫优先降级,以体现公平性;③理论上持续时间越长的呼叫,终止概率就越大,对持续时间长的呼叫优先降级,可减小对其他呼叫的影响;④实施平滑降级,不能让用户在短时间内明显感觉到QoS的急剧下降;⑤限制网络降级的呼叫数量,不能让新到来的呼叫大范围影响现有呼叫。为了实现BDA的公平性和平滑降级,本文又设置了2个参数:带宽需求满足度和带宽波动幅度。第 i 个呼叫的带宽需求满足度

$$m_i = \frac{1}{l_i} \int_0^{l_i} (q_i(t)/Q^{\max}(i)) dt$$

式中: $q_i(t)$ 表示第 i 个呼叫在 t 时刻使用的带宽级别; l_i 表示第 i 个呼叫已经持续的时间; $Q^{\max}(i)$ 表示呼叫 i 可用的最高带宽级别。第 i 个呼叫在时间段 δ 内的带宽波动幅度

$$s_i = |q_i(t) - q_i(t + \delta)|$$

BDA的任务就是根据上述的降级原则对现有呼叫降级,使系统状态从 $q = (q_1, \dots, q_k)$ 变为 $q' = (q'_1, \dots, q'_k)$,并尽可能满足到达呼叫的带宽请求,其中 q_i 和 q'_i ($i=1, \dots, k$)分别为降级前后第 i 个呼叫的带宽级别, k 为系统已接纳的呼叫数。可用下式来求解 q' ,即

$$\begin{aligned} \min & \begin{cases} f_1 = \sum_{i=1}^k w_i I(q_i > q'_i) / \sum_{i=1}^k w_i \\ f_2 = \sum_{i=1}^k (1 - m_i / \sum_{i=1}^k m_i) I(q_i > q'_i) \\ f_3 = \sum_{i=1}^k (1 - l_i / \sum_{i=1}^k l_i) I(q_i > q'_i) \\ f_4 = \sum_{i=1}^k b_{q_i} - \sum_{i=1}^k b_{q'_i} - |\tilde{B}_E(\tau)| \end{cases} \\ \text{s. t.} & \begin{cases} \sum_{i=1}^k b_{q_i} - \sum_{i=1}^k b_{q'_i} \geq |\tilde{B}_E(\tau)| \\ 0 \leq s_i \leq S_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \\ Q_i^{\min} \leq q_i \leq Q_i^{\max}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \\ \sum_{i=1}^k I(q_i > q'_i) / k \leq p \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

式中: w_i 为第 i 个呼叫的优先级; b_{q_i} 表示满足第 q_i 个带宽级别所需的带宽(设系统可支持 n 个带宽级别);函数

$$I(x) = \begin{cases} 1 & x \text{ 为 true} \\ 0 & x \text{ 为 false} \end{cases}$$

$[Q_i^{\min}, Q_i^{\max}]$ ($i=1, \dots, k$)表示系统第 i 个呼叫的可用带宽级别范围; p 表示降级呼叫比例阈值,用于限制降级的呼叫数量; S_i 表示第 i 个呼叫的带宽波动幅度阈值。

式(2)是一个多目标、多约束函数,其求解是一个NP难问题,为了保证BDA的实时性,本文采用遗传算法来求解。MCBDA-CAC流程如图2所示。

2 性能仿真

本文在CPU为Pentium4(R)4 2.80 GHz、内存为512 MB、操作系统为Windows XP的PC机上,使用Visual C++(6.0)实现了MCBDA-CAC与固定带宽预留的CAC(FBR-CAC)^[1]、基于BDA的固定带宽预留CAC(FBRBDA-CAC)、动态带宽预留的CAC(DBR-CAC)^[7]以及基于BDA的动态带宽预留CAC(DBRBDA-CAC),其中FBRBDA-CAC和DBRBDA-CAC分别是在FBR-CAC和DBR-CAC的基础上结合了BDA获得的改进算法。测试中,小区容量为500 MB, QoS级别数为8,新呼叫和切换呼叫的持续时间期望值分别为170 s和65 s, T_{HDP} 为0.002。

2.1 HDP和CBP均值

图3~图6分别显示了5种方案在2 000个仿真时段内的HDP均值和CBP均值随切换呼叫到达

```

1  $b = C, b_{\text{resv}}$  = 初始值; //  $C$  为系统容量
2 while 系统运行;
2.1 系统事件被触发, switch (系统事件):
2.1.1 case  $\tau$  时段开始;
2.1.1.1 根据1.2节算法计算  $\tilde{B}_E(\tau)$ 
2.1.1.2 if ( $\tilde{B}_E(\tau) \leq T_d$ )
2.1.1.2.1 降级已接纳的呼叫并更新空带宽  $b$  的值;
2.1.2 case 新呼叫到达且请求带宽为  $b_{\text{req}}$ ;
2.1.2.1 if ( $b_{\text{req}} \leq b - b_{\text{resv}}$ )
2.1.2.1.1 接纳呼叫,  $b = b - b_{\text{resv}}$ ;
2.1.2.2 elseif (在  $\tau$  时段开始时没有实施过带宽降级)
2.1.2.2.1 if (降级已有呼叫的带宽可满足此呼叫的带宽请求)
2.1.2.2.1.1 降级已有呼叫带宽, 接纳呼叫并更新  $b$  的值;
2.1.2.2.2 else 拒绝呼叫;
2.1.2.3 else 拒绝呼叫;
2.1.3 case 切换呼叫到达且请求带宽为  $b_{\text{req}}$ ;
2.1.3.1 if ( $b_{\text{req}} \leq b$ )
2.1.3.1.1 接纳呼叫,  $b = b - b_{\text{resv}}$ ;
2.1.3.2 elseif (在  $\tau$  时段开始时没有实施过带宽降级)
2.1.3.2.1 if (降级已有呼叫的带宽可满足此呼叫的带宽请求)
2.1.3.2.1.1 降级已有呼叫的带宽, 接纳呼叫并更新  $b$  的值;
2.1.3.2.2 else 拒绝呼叫;
2.1.3.3 else 拒绝呼叫;
2.1.3.2 根据1.1节算法更新  $b_{\text{resv}}$ ;

```

图2 MCBDA-CAC 流程

率和新呼叫到达率的变化. 图3、图4的新呼叫到达率服从参数为6.0的泊松分布, 图5、图6的切换呼叫到达率服从参数为6.0的泊松分布.

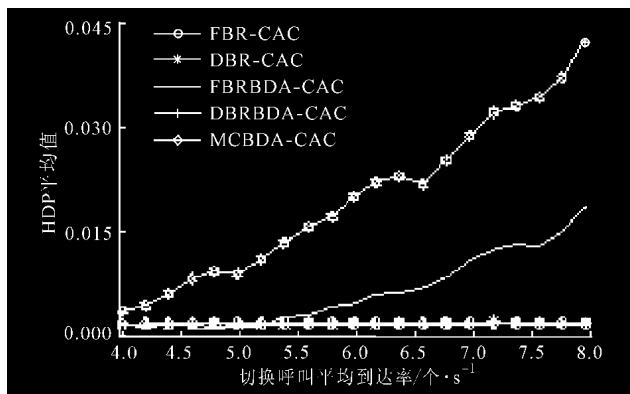


图3 HDP均值随切换呼叫平均到达率的变化

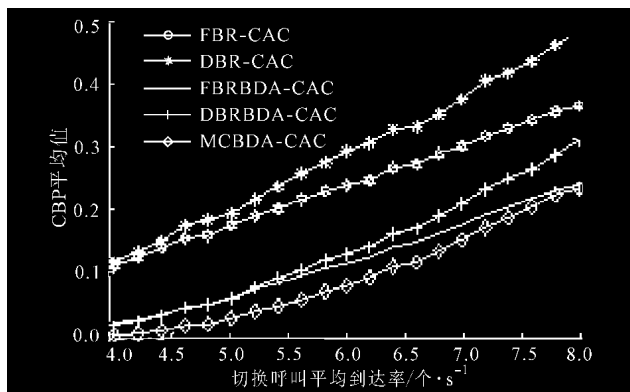


图4 CBP均值随切换呼叫平均到达率的变化

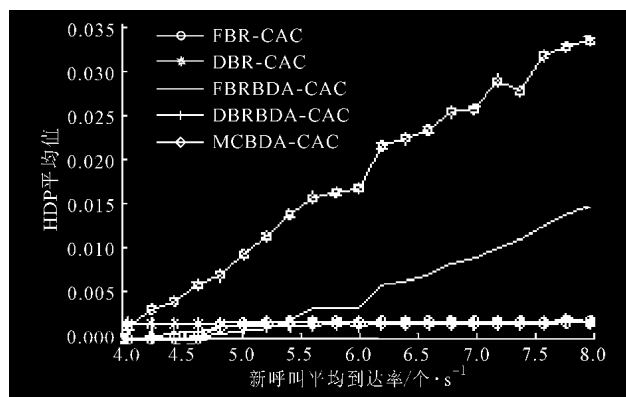


图5 HDP均值随新呼叫平均到达率的变化

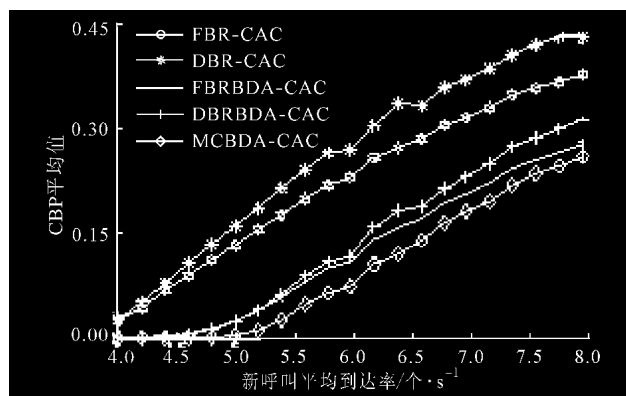


图6 CBP均值随新呼叫平均到达率的变化

从图中看出, MCBDA-CAC 的 HDP 均值比 FBRBDA-CAC 的要低, 且 MCBDA-CAC 的 HDP 均值比 DBR-CAC、DBRBDA-CAC 的 HDP 均值更接近(但不超过)阈值, 如图3、图5所示. 这样, 系统在满足 HDP 要求的同时, 可以有效地降低 CBP 均值, 如图4、图6所示. 此外, 图中还显示了 MCBDA-CAC 的 CBP 均值低于其他方案, 这是因为 MCBDA-CAC 的动态切换带宽预留方式不仅能使 HDP 被严格地控制在阈值以内, 还可尽量降低 CBP. 值得注意的是, 在某一时段, 增加或减少 b_{resv} , 不能使 HDP 和 CBP 同时减少或同时增加, 但本文采用了 2 000 个时段的 HDP 均值和 CBP 均值作为性能参数, 使得这 2 个参数在优化的控制策略下可以同时降低.

2.2 BDA 触发次数均值

在整个仿真期间, 定义 BDA 平均触发次数 (BDAA), 并以该参数为性能指标比较了 MCBDA-CAC、FBRBDA-CAC 和 DBRBDA-CAC 的性能, 如图7、图8所示.

从图7、图8看出, 随着呼叫平均到达率的增加, FBRBDA-CAC 和 DBRBDA-CAC 的 BDAA 迅速增加, 而 MCBDA-CAC 的 BDAA 增加幅度较小.

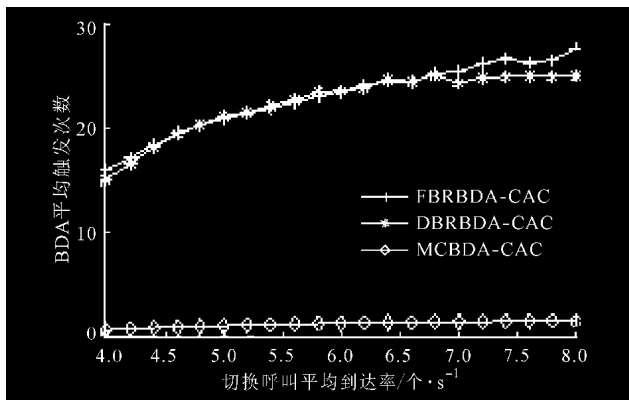


图7 BDA平均触发次数随切换呼叫平均到达率的变化

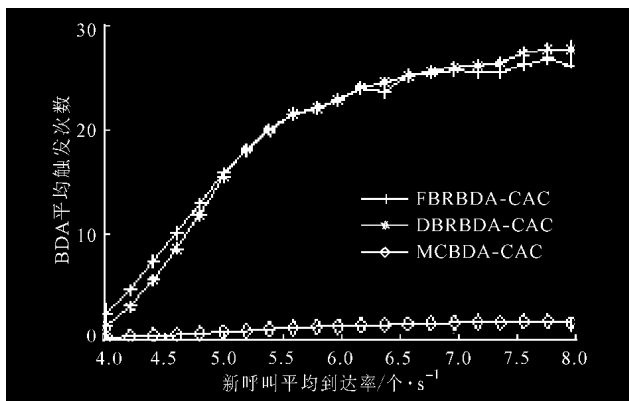


图8 BDA平均触发次数随新呼叫平均到达率的变化

这是由于,MCBDA-CAC可根据未来时段的带宽需求进行预测,并选择了优化的BDA触发方式,从而减少了BDA调整次数.在对比方案中,只要呼叫到达且资源不足时,BDA就被触发,这使得BDAA随呼叫到达率的增加而快速增加.

3 结束语

本文提出了一种动态切换带宽预留与BDA相结合的CAC方案.实验结果表明,本方案可根据系统带宽需求进行未来带宽需求预测,同时选择合适的BDA触发方式,有效降低了BDA触发次数.通过BDA与动态切换带宽预留算法的合理配合,可有效提高系统的接入率,而且在严格保证HDP阈

值的同时,尽可能地将更多的带宽用于接入新呼叫,并在HDP和CBP之间取得平衡.

参考文献:

- [1] Nasser N, Hassanein H. Prioritized multi-class adaptive framework for multimedia wireless networks [C] // The IEEE International Conference on Communications, Piscataway, USA: IEEE, 2004: 4295-4300.
- [2] Wu Mingyu, Wong W E, Li J J. Performance evaluation of predictive handoff scheme with channel borrowing [C] // 22nd IEEE International Performance Computing and Communications Conference, Piscataway, USA: IEEE, 2003: 531-536.
- [3] Seth M, Fapojuwo A O. Adaptive resource management for multimedia wireless networks [C] // 2003 IEEE Vehicular Technology Conference, Piscataway, USA: IEEE, 2003: 1668-1672.
- [4] Nasser N. Stochastic analysis for adaptive bandwidth allocation framework in wireless cellular networks [C] // IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, Piscataway, USA: IEEE, 2005: 142-149.
- [5] Xiao Yang, Chen C L P. QoS for adaptive multimedia in wireless/mobile networks [C] // 9th International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, Piscataway, USA: IEEE, 2001: 81-88.
- [6] Kim H B. An adaptive bandwidth reservation scheme for multimedia mobile cellular networks [C] // IEEE 2005 International Conference on Communications, Piscataway, USA: IEEE, 2005: 3088-3094.
- [7] Guo Haibo, Kuo Gengsheng. A dynamic and adaptive bandwidth management scheme for QoS support in wireless multimedia networks [C] // IEEE Vehicular Technology Conference, Piscataway, USA: IEEE, 2005: 2081-2085.

(编辑 苗凌)