

基于效用公平的低轨卫星网络呼叫准入控制算法

那振宇, 王振永, 郭庆, 杨明川

(哈尔滨工业大学 通信研究所, 哈尔滨 150080)

摘要:提出了一种新的适用于多媒体低轨卫星网络的呼叫准入控制算法。该算法利用目标小区实时切换掉线概率,结合概率门限方法和效用公平分配机制为切换呼叫预留带宽。仿真结果表明,与其他算法相比,本算法不仅提供了满意的新呼叫阻塞概率,还能够大大降低切换呼叫掉线概率,同时保证了较高的带宽利用率。

关键词:通信技术;呼叫准入控制;低轨卫星;效用公平;服务质量

中图分类号:TN927 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2009)02-0530-06

Call admission control algorithm based on utility fairness for low earth orbit satellite networks

NA Zhen-yu, WANG Zhen-yong, GUO Qing, YANG Ming-chuan

(Communication Research Center, Harbin Institute of Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: A call admission control algorithm for multimedia low orbit satellite networks was proposed. Based on real time call dropping probability of destination cell, combining probability threshold method, and utility fairness allocation scheme, the algorithm reserved bandwidth for handoff calls. Simulation results show that the proposed algorithm presents satisfied new call blocking probability and can greatly reduce handoff dropping probability with guaranteed higher bandwidth utilization.

Key words: communication; call admission control; low earth orbit satellite; utility fairness; quality of service

作为地面无线移动网络的有力补充,卫星通信网络能够实现全球无缝覆盖。而相对于静止轨道卫星,低地球轨道(Low Earth Orbit, LEO)卫星具有很多明显的优势^[1-2],如发射功率低、传播时延小、频谱利用率高等。但是,由于低轨卫星运动速度很高,小区间的频繁切换可能导致通信服务质量严重下降^[3]。文献[4]指出,如果目标小区

内没有为正在连接的切换呼叫预留资源,将会导致切换呼叫掉线,从用户服务质量(Quality of Service, QoS)角度看,这比阻塞一个新呼叫更不能容忍。从保障低轨卫星网络中用户服务质量的角度出发,需要设计高效、可靠的资源预留策略和呼叫准入控制算法(Call Admission Control, CAC)来解决上述问题。CAC能够在呼叫申请入

收稿日期:2007-08-20.

基金项目:国家自然科学基金项目(60532030).

作者简介:那振宇(1981-),男,博士研究生.研究方向:卫星通信. E-mail: nazhenyu_hit@126.com

通信作者:郭庆(1964-),男,教授,博士生导师.研究方向:卫星通信,高效传输技术,空天地一体化网络.

E-mail: qguo@hitrc. hit. edu. cn

网时根据业务特征、服务质量和网络资源使用情况对是否接纳该呼叫做出判决。CAC 的目标是在连接级上保证所有已连接用户的 QoS 不受影响,同时接纳更多的用户。目前,已有多种 CAC 策略用来解决 LEO 多媒体卫星网络中 QoS 问题^[5-8],从实现方法上可以分为基于地理位置信息的 CAC、基于切换请求数的 CAC 和借用信道预留带宽的 CAC 三类。

本文提出了一种基于效用公平 (Utility Fairness, UF) 的自适应带宽呼叫准入控制 (UF-based Adaptive Call Admission Control, UFACAC) 算法。UFACAC 算法由自适应带宽预留策略、效用公平分配机制和准入控制构成。相对于传统的基于带宽公平机制,本算法的核心特点是根据概率门限来实现自适应带宽预留,按照用户对服务质量的满意度(效用)来分配带宽资源。

1 效用函数及其业务建模

效用^[9]最早是在经济领域中使用的术语,代表投资的收益。在通信领域中,效用代表用户或应用对其性能的满意程度。在本文的研究中,投资由通信占用的带宽表示,效用是用户的应用在获得带宽后的服务质量水平。在实际应用中,增加带宽不会引起用户服务性能的下降,因此,效用是占用带宽的增函数。效用函数可以定量地反映用户在得到带宽后对服务质量的满意程度。

实际的网络中呼叫包含的应用种类是不唯一的,每一个具体的应用都对应其效用函数。为便于研究,将网络中对带宽具有相同效用特性的应用归为一类业务,并用相同的效用函数来描述。此外,为比较不同类业务的效用,考虑将效用函数进行归一化处理。根据效用函数的概念,低轨卫星网络中的业务可以分为以下两类:

(1) Class_I——多媒体业务。包括具有严格时延要求的多媒体业务 (Class_Ia) 和带宽自适应多媒体业务 (Class_Ib) 两种。前者包括音频/视频电话、高可靠度数据业务、远程医疗、视频会议等;后者包括交互式多媒体业务、视频点播等^[9]。

(2) Class_II——非实时数据业务,如 E-mail、远程终端接入、文件传输、传真等。

本文使用文献[10]提出的效用函数。Class_Ia 类业务对带宽要求很严格,带宽的少许下降就会导致严重的丢包和性能的急剧下降^[11]。因此,这类业务的效用函数通常是阶跃形式的,如图 1

(a) 所示,即

$$u(b) = \begin{cases} 1, & b \geq b_{\min} \\ 0, & b < b_{\min} \end{cases} \quad (1)$$

Class_Ib 类业务传输速率在一定范围内能够根据网络拥塞情况进行调节,因此对带宽的要求相对灵活,但这类业务要求一个最小传输带宽,以保证最低性能,这类业务的效用函数如图 1(b) 所示,即

$$u(b) = 1 - e^{-mb^2/n+b} \quad (2)$$

式中:参数 m, n 影响效用函数的凹凸程度,即影响效用对带宽的敏感程度。

Class_II 类业务对吞吐量和时延性能要求不高,因此,凸函数能够很好地描述这类业务的效用,如图 1(c) 所示,即

$$u(b) = e^{-nb/b_{up}} \quad (3)$$

式中: b_{up} 为业务要求的最大带宽。

$$u(b) \approx 1 \quad (4)$$

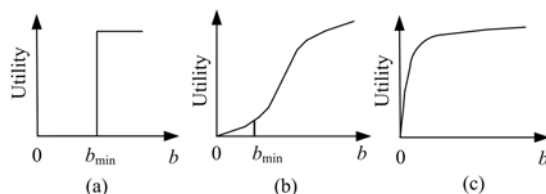


图 1 不同类型业务的效用函数

Fig. 1 Utility functions of different types of traffic

2 UFACAC 算法

2.1 效用公平带宽分配准则

以往较多采用带宽公平准则来分配带宽^[8]。如图 1 所示,如果把相同的带宽分配给 Class_Ia、Class_Ib 和 Class_II,则它们获得的效用增加量是不同的,就会导致业务之间服务质量的歧视。因此,有必要考虑一种新的带宽分配方式使所有用户都获得相同的服务质量。UFACAC 算法采用效用公平的带宽分配准则,即:

如果网络中有 n 个呼叫连接,其各自的效用函数分别为 $u_i(x)$, $i \in \mathbf{N} = \{1, 2, \dots, n\}$, 记 β_i 为分配给第 i 个呼叫的带宽, $\boldsymbol{\beta} = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n\}$ 为带宽分配向量; $b_{i,K}$ 为第 i 个呼叫的最大请求带宽, B 为总的带宽,如果 $\forall i, j \in \mathbf{N} (i \neq j)$, 满足

$$u_i(\beta_i) = u_j(\beta_j), \quad \forall i, j \in \mathbf{N} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \beta_i = \min \{ B, \sum_{i=1}^n b_{i,K} \} \quad (6)$$

则 $\boldsymbol{\beta}$ 是满足效用公平的分配带宽。

2.2 效用公平带宽自适应策略

UFACAC 算法采用效用公平的带宽自适应策略(UF-Based Bandwidth Adaptation Strategy, UFBAS),即根据网络状况动态调节小区中呼叫的使用带宽。这种动态调节由事件驱动机制完成。在低轨卫星网络中,事件分为当前小区中新呼叫产生、切换呼叫到达、呼叫离开和呼叫终止四种。

网络带宽资源充足时,网络为一个新呼叫或切换呼叫分配其请求带宽,该呼叫离开或者终止时,释放带宽。网络带宽资源不足时,事件激活效用公平带宽分配准则;切换呼叫进入时,目标小区中除 Class_Ia 类型业务外,对所有正在连线的呼叫降低至相同的效用值,并将释放的带宽预留给切换呼叫使用,并使切换呼叫的效用值不低于正在连线呼叫的效用值;当呼叫离开当前小区或者呼叫终止时,释放其占用带宽,将释放的带宽分配给当前小区中正在连线的呼叫,使正在连线呼叫都升高至相同的效用值,以改善其服务质量。

2.3 自适应切换带宽预留机制

本文采用一种基于概率门限的自适应带宽预留(Probability-based Threshold Adaptive Bandwidth Reservation, PTABR) 机制。如前所述,切换导致的呼叫掉线比新呼叫阻塞更不能容忍,因此考虑在目标小区中设定切换掉线概率门限 T_h 、判定门限最小值 T_l 和判定门限最大值 T_u ,满足

$$T_l < T_u < T_h \quad (7)$$

对应于 T_l 和 T_u 分别设定概率 p_1 (设 $p_1 > 0.5$) 和概率 p_2 , p_1 和 p_2 满足关系

$$p_1 + p_2 = 1 \quad (8)$$

令 p_r 表示目标小区当前切换呼叫掉线概率。如果 $p_r < T_l$,说明切换掉线概率满足服务质量要求,则用一个较小的概率 p_2 减少为切换预留的带宽;如果 $T_u < p_r < T_h$,说明切换掉线概率将要接近忍受门限 T_h ,则用一个较大的概率 p_1 增加为切换预留的带宽;如果 $T_l < p_r < T_u$,则不改变预留带宽;如果 $p_r > T_h$,则以 100% 的概率增加为切换预留的带宽。

2.4 准入控制过程

上述效用公平带宽分配准则、效用公平带宽自适应策略和自适应带宽预留机制,加上可用性检验和预留检验,就是完整的低轨卫星网络 UFACAC 算法。准入控制流程如图 2 所示,其中可用性检验用来检验当前小区内是否有足够的带

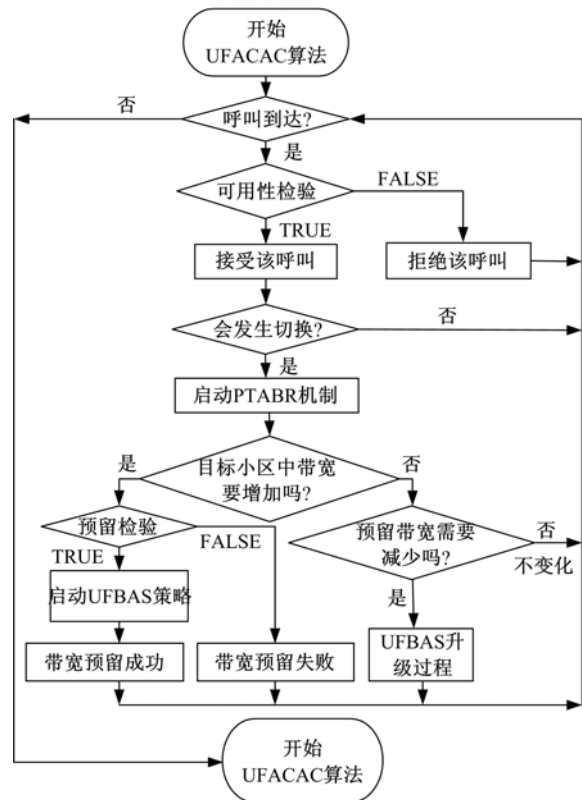


图 2 呼叫准入控制过程

Fig. 2 Chart of the call admission control

宽接纳一个新呼叫;预留检验用来检验目标小区内是否有足够带宽接纳一个切换呼叫;TRUE 表示带宽充足;FALSE 表示带宽不足。

3 系统仿真模型及参数

3.1 效用公平带宽分配准则

基于铱星系统建立系统仿真模型,在铱星系统中,66 颗小卫星均匀有序地分布在离地面 765 km 上空的 6 个极轨道上,每个点波束投射在地面形成的小区直径约为 425 km,卫星相对地面的运动速度为 $v_s = 26\ 600\ \text{km/h} \approx 7389\ \text{m/s}$,当地面移动终端速度达到 $v_m = 400\ \text{m/s}$ 时,两个速度所成的最大角度仅为 $\theta_{\max} = \arcsin(v_m/v_s) = 0.0542\ \text{rad} \approx 3.1^\circ$ 。可以等效为卫星静止不动,而地面用户沿着平行于卫星轨迹方向以 v_s 的速度运动。本文中仅考虑点波束间的切换,但也适用于星间切换。为了便于分析,将蜂窝结构简化为正四边形。综上,可以将系统简化为一维运动模型,如图 3 所示。图中, L 为每个小区的直径,在把六边形的小区简化为正四边形之后, $L \approx 400\ \text{km}$ 。由于 v_s 为已知,于是呼叫穿过每一个小区所用时间 T_L 是固定的,大约是 $T_L = 54\ \text{s}$ 。假设

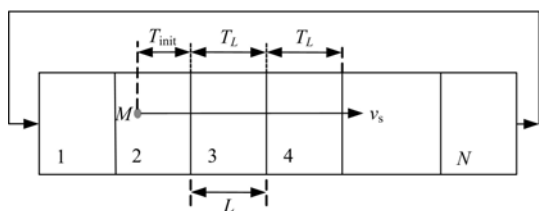


图 3 低轨卫星移动模型

Fig. 3 Mobility model of LEO satellite

用户在生成小区中的停留时间 T_{init} (见图 3) 是在 $[0, T_L]$ 中均匀分布, 另外, 考虑到低轨卫星围绕地球运转, 其运行轨迹是周期的, 故上述模型应该首尾相接, 即呼叫移动出第 N 个小区后, 将进入第 1 个小区。

3.2 系统仿真参数

仿真中设定参数如下: ① $N=15$, 每个小区容量相等, 均为 30 Mbps; ② 到达过程服从速率为 λ 的泊松分布, 在小区中均匀分布, 强度范围是 $0 \sim 1.8$ calls/sec/cell; ③ 呼叫的保持时间服从负指数分布; ④ 采用 6 种应用类型, 各种应用按照等概率产生, 仿真所用业务参数特性如表 1 所示。

表 1 业务特性参数

Table 1 Traffic characteristic parameters

业务类型	最小带宽 /kbps	最大带宽 /kbps	平均呼叫 保持时间/s	效用函数参数
Class_Ia	32	32	180	—
Class_Ia	256	256	300	—
Class_Ib	1 000	6 000	600	$m=1.105$ $n=2.237$
Class_II	0	20	30	$m=4.6$
Class_II	0	512	180	$m=4.6$
Class_II	0	10 000	120	$m=4.6$

3.3 带宽预留偏离度

为了定量说明算法预留带宽的自适应程度, 本文引入一个新的性能评价参数——带宽预留偏离度。它定义为算法在统计时间内的预留带宽与切换呼叫实际所需要带宽的相对偏差程度, 数学表达式为

$$D = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{|B_r(t) - B_H(t)|}{B_H(t)} dt \quad (9)$$

式中: $B_r(t)$ 为在 t 时刻预留的带宽; $B_H(t)$ 为在 t 时刻切换呼叫实际所需要的带宽。

可见, 带宽预留偏离度 D 是一个具有时间统计意义的量。

4 仿真结果及分析

通过仿真计算, 得到了 UFACAC 算法对新

业务的阻塞概率、切换呼叫的掉线概率、总的带宽利用率和带宽预留偏离度, 并与固定带宽预留 (Fixed Bandwidth Reservation, FBR) 算法和 SILK 算法^[6] 进行比较。对于 FBR 算法, 假定预留的带宽是小区容量的 20%。

图 4 中给出了 Class_I 类业务在不同到达率下三种算法切换掉线概率的性能曲线。

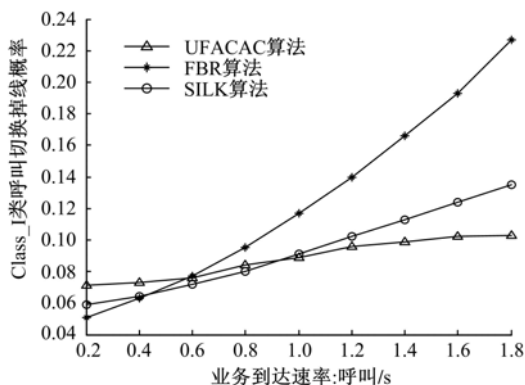


图 4 Class_I 类业务切换掉线概率

Fig. 4 Handoff dropping probability of Class_I traffic

在 UFACAC 算法中, 设定了门限 $T_h = 0.1$, 从图 4 可以看出, 在业务到达率较低时, UFACAC 算法很好地将 Class_I 类业务的呼叫切换掉线概率控制在设定的门限值以下; 当业务到达率较大时, 尽管带宽资源紧张, 但是通过效用公平降级仍可以尽量获得预留带宽, 所以整个时间范围内的切换呼叫掉线概率能够保持在 T_h 左右。FBR 算法和 SILK 算法在业务量较小时, 也表现了较好的性能。对于 FBR 算法, 随着业务到达率的增大, 切换呼叫数目也随之增多, 固定的预留带宽量显然不能满足切换呼叫对带宽的预留请求, 因而性能严重恶化。对于 SILK 算法, 业务到达率的增大使得在所有经过小区内预留带宽变得越来越困难, 因而切换掉线率性能在业务到达率高时也变差。

图 5 给出了 Class_II 类业务在不同业务到达率下的切换掉线率性能曲线。三种算法都是随着呼叫到达率的增加切换掉线性能变差。但是, UFACAC 算法的性能比另外两种好。这是因为在相同的业务量条件下, UFACAC 算法能够通过效用升降级的办法使更多的 Class_II 类的业务获得带宽, 保证切换成功, 而 FBR 算法和 SILK 算法没有这种机制。

图 6 给出了在不同业务到达率下三种算法对新呼叫阻塞率的性能曲线。

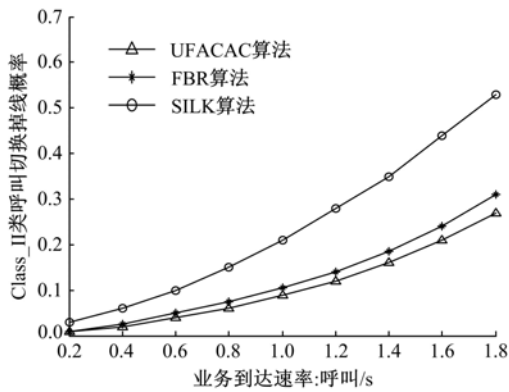


图 5 Class_II 类业务切换掉线概率

Fig. 5 Handoff dropping probability of Class_II traffic

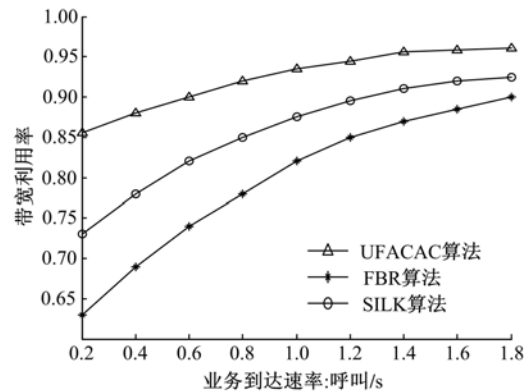


图 7 带宽利用率

Fig. 7 Bandwidth utilization

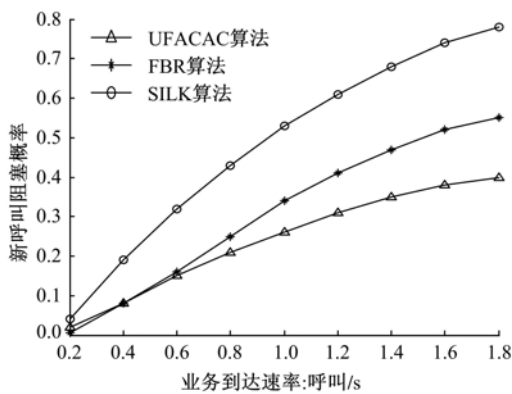


图 6 新呼叫阻塞概率

Fig. 6 New call blocking probability

UFACAC 算法中预留带宽的数量随切换呼叫的次数而动态改变,在切换呼叫减少时,预留带宽数量随之减少,新呼叫可用带宽增加,因而呼叫阻塞概率性能良好。SILK 算法要求在预留深度为 k 的所有小区中都预留带宽,因而造成了大量带宽被提前预约,以至于新呼叫申请带宽时,所在小区没有剩余带宽可利用,因而对新呼叫有很高的阻塞概率。FBR 算法和 UFACAC 算法在业务到达率不大时,性能令人满意;然而在业务到达率增大时,即使没有切换呼叫,为切换呼叫预留的固定带宽也不能被新呼叫使用,因而 FBR 算法呼叫阻塞概率也大大增加。

图 7 给出了三种算法在不同业务到达率条件下的带宽利用率。从图 7 可以看出,UFACAC 算法在带宽利用率性能上优于 FBR 算法和 SILK 算法,并且始终保持了较高的带宽利用率。FBR 算法由于其使用固定带宽预留,因而带宽利用率最低;而 SILK 算法由于其超前预留带宽,因而带宽利用率也较低。

图 8 为三种算法在不同业务到达率条件下带

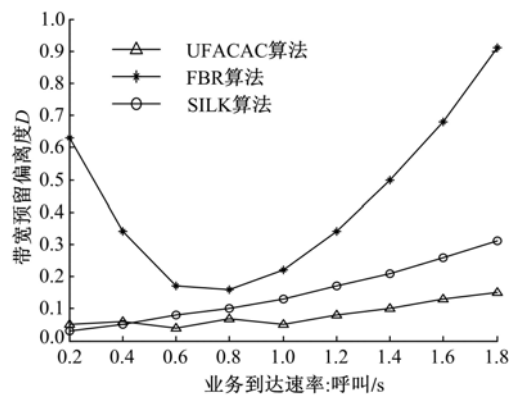


图 8 带宽预留偏离度

Fig. 8 Bandwidth reservation deviation

宽预留偏离度。

在 UFACAC 算法中,预留带宽能够根据网络状况自适应调节,最大限度地同切换呼叫实际要求的预留带宽保持相等,因而带宽预留偏离度最小。FBR 算法采用固定带宽预留策略,切换呼叫量很小或很大时,这些固定预留带宽切换呼叫与实际需要的预留带宽严重不符,因而带宽预留偏离度很大。SILK 算法要求在 k 个预留深度内都要预留带宽^[6],在呼叫到达率很高时,实际预留带宽要小于请求预留带宽,因而带宽偏离度增大。

5 结束语

本文提出了一种新的适用于多媒体低轨卫星网络的自适应效用公平呼叫准入控制(UFACAC)算法。从计算机仿真结果可以看出,UFACAC 算法在新呼叫阻塞概率、切换掉线概率和带宽利用率性能上都优于其他算法,能够为用户提供良好的服务;采用概率门限方法,使带宽预留有很高精度和很强的自适应性;效用公平带宽分配,充分考虑

了所有用户的服务质量的公平性。另外,算法是分布式控制的,可由每颗卫星独立实现,不依赖地面控制终端。

参考文献:

- [1] Iera A, Molinaro A, Marano S, et al. QoS for multimedia applications in satellite systems[J]. IEEE, Multimedia, 1999, 6(4): 46-53.
- [2] Re E Del, Fantacci R, Giambene G. Characterization of user mobility in low earth orbiting mobile satellite systems[J]. Wireless Networks, 2000, 6(3): 165-179.
- [3] Cho Sungrae, Akyildiz Ian F, Bender Michael D, et al. A new connection admission control for spot-beam handover in LEO satellite networks [C] // Wireless Networks (WINET), Atlanta, USA, 2002.
- [4] Siwko J, Rubin I. Call admission control policy for capacity-varying networks with increasing failure rate holding time distribution[C] // Proc IEEE ICC' 1998, Atlanta, USA, 1998.
- [5] Huang Fei, Wu Shi-qi, Xu Hui, et al. Probability based dynamic channel reservation strategy for reliable handoff in multimedia LEO satellite communications[C] // Proc IEEE MAPE 2005, Beijing, China, 2005.
- [6] Todorova P, Olariu S, Hoang N N. A selective look-ahead bandwidth allocation scheme for reliable handoff in multimedia LEO satellite networks[C] // Proc ECUMN 2002, Colmar, France, 2002.
- [7] Wu Ming-yu, Wong W E, Li J J. Performance evaluation of predictive handoff scheme with channel borrowing[C] // Proc IEEE IPCCC' 2003, Phoenix, Arizona, USA, 2003.
- [8] Lakshmanan P K, Zeng Qing-An. Dynamic adaptive resource allocation scheme for multimedia services in wireless and mobile networks [C] // IEEE WTS' 2006, Pomona, California, 2006.
- [9] Cao Zhi-ruo, Zegura E W. ABR service for applications with non-linear bandwidth utility functions[C] // Proc IEEE ICNP' 1997, Washington, DC, USA, 1997.
- [10] Lu Ning, Bigham John, Nasser Nidal. An intra-class and inter-class utility-fair bandwidth adaptation algorithm for multi-class traffic in wireless networks [C] // Proc APCC' 2006, Busan, Korea, 2006.
- [11] Wang W H, Palaniswami M, Low S H. Application-oriented flow control: fundamentals, algorithms and fairness[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2006, 14(6): 1282-1291.