

基于效用和资源借用的移动卫星系统呼叫接入控制算法

章玉刚 张军 张涛
(北京航空航天大学电子信息工程学院 北京 100083)

摘要: 该文提出一种基于效用和信道资源借用的移动卫星系统呼叫接入控制算法(UBCB), 引入借用权重作为资源借用的依据来改善呼叫阻塞率和业务掉线率, 通过调整业务接入的门限来改善卫星网络拥塞状况, 从而提高星上资源利用率和卫星系统整体性能。仿真表明, 该算法与一般的信道借用(CBS)算法相比, 在服务等级、系统服务价值等方面得到较大改进。

关键词: 移动卫星通信; 效用模型; 资源借用; 接入控制

中图分类号: TN927

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)11-2687-05

An Admission Control Strategy of Mobile Satellite System Based on Utility and Resource Borrowing

Zhang Yu-gang Zhang Jun Zhang Tao

(School of Electronic and Information Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper proposes a Utility-Based and Channel-resource Borrowing (UBCB) call admission control strategy of mobile satellite system. In order to improve resource utilization probability and integrated performance of satellite system, the borrowing weight as the criterion of resource borrowing is introduced to improve call blocking and traffic dropping probability, and the threshold is adjusted for traffic admission—net utility to improve the congestion of the satellite system. Simulation results show that this strategy improves prominently in service grade and service value of satellite system compared to common Channel-Borrow Scheme (CBS).

Key words: Mobile satellite communication; Utility model; Resource borrowing; Admission control

1 引言

低轨道(LEO)卫星网传输延迟低、终端实现简单、组网方便, 成为下一代移动通信的重要组成部分。但也存在单颗卫星覆盖面积有限、可持续通信时间短等问题, 造成用户的通信质量很难得到保证^[1]。

未来卫星通信网的目标就是为地面终端用户提供无缝连接, 支持宽带多媒体业务以及解决不同业务的 QoS 问题。在星上资源受限的情况下, 需要解决卫星切换管理和用户接入问题, 以保证用户的 QoS 要求及星上资源利用率。目前已有多人对以上问题进行了研究。文献[2]给出了一种动态星上带宽预留机制方法, 该方法需要对预留信道数进行动态估计, 计算量较大, 星上资源利用率低; 文献[3]提出缓冲/排队机制, 新到达的呼叫存入不同的队列, 按不同策略进行调度, 保证了切换掉线率, 该方法需要对接入请求进行缓存, 对业务传输时延造成影响, 还会增加低优先级业务的阻塞率; 文献[4]给出了一种信道借用切换策略来取代资源预留机制, 采

用最小剩余逗留时间作为信道借用的依据, 因此在资源利用率、呼叫阻塞率方面优于以上两种策略, 但该方法没有考虑用户的满意程度以及信道借用所带来的抖动对用户的影响。另外, 以上几种方法只能在一定程度上提高系统性能, 但当网络负载高到一定程度且持续时间较长时, 以上各种策略都不能阻止呼叫阻塞的增加, 不能为用户提供 QoS 保证。

以上分析可以看出, 目前的卫星接入控制算法以系统资源本身作为系统接入的重要依据, 将业务流按特征分级, 没有定量考虑用户不同的 QoS 需求和满意度, 不能完全反映系统性能。而效用函数是对服务质量的衡量指标, 能够反映用户对其得到的资源的满意度, 在地面已得到广泛研究^[5,6]。

本文将对卫星小区的资源借用策略进一步展开研究, 提出了一种基于效用和资源借用的移动卫星系统接入控制算法 UBCB。针对文献[4]所出现的问题, 引入权重函数作为资源借用的依据来改善呼叫阻塞率和业务掉线率, 提高系统资源利用率和系统效用, 保证了卫星系统的 QoS 要求。

本文第2节讨论 LEO 卫星运动模型及基于效用的用户业务模型, 第3节详细介绍 UBCB 算法, 第4节对算法进行仿真分析, 同几种常用的算法进行

了比较；最后得出结论。

2 LEO 卫星运动模型和基于效用的用户业务模型

2.1 LEO 卫星运动模型

为了便于描述，本文作了以下假设：

(1) 卫星以恒定速度 v 运动，地面用户沿平行于卫星轨迹方向移动，移动速度相对于卫星可忽略不计，等效于卫星静止，地面用户以 v 运动；

(2) 卫星所有的点波束大小形状相同，用户穿越整个点波束覆盖的卫星小区的时间为 $t_s = w/v$ ， w 为小区宽度；

(3) 用户呼叫在第一次切换以后的切换间隔均为 t_s ，直到呼叫结束；

(4) 对于呼叫持续时间 h ，服从负指数分布。

当一个呼叫 m 产生于波束 N ，其运动轨迹如图 1 所示。该呼叫 m 在波束 N 内驻留时间 t_1 在 $[0, t_s]$ 内均匀分布，用户发生第一次切换时间为 t_1 ，第 i 次切换时间为 $t_i = t_1 + i \cdot t_s (i \neq 1)$ 。

2.2 基于效用的用户业务模型

在通信领域中，效用表示用户对分配带宽总数的满意程度^[7]。为了描述不同的业务类型，相关文献中已经提出了多种效用函数^[7-9]。

本文主要将卫星业务划分为实时和非实时两类业务，前者具有较高的优先级，包括音频/视频电话、视频会议等，后者包括 Email、文件传输等。

实时业务对时延性能要求比较严格，需要一个最小带宽分配，以保证其最低性能，因此它的 QoS 要求包括最小带宽 r_{1_min} 以及期望带宽 r_{1_req} ，其效用函数如图 2(a) 所示，用公式(1)表示：

$$u(r) = 1 - e^{-ar^2/b+r} \tag{1}$$

其中 a ， b 是由业务实际占用带宽范围决定的参数。

非实时业务对时延性能要求不如实时业务高，没有带宽下限，因此它的 QoS 要求只有期望带宽 r_{2_req} ，如图 2(b) 所示，用公式(2)表示，

$$u(r) = 1 - e^{-ar/r_{max}} \tag{2}$$

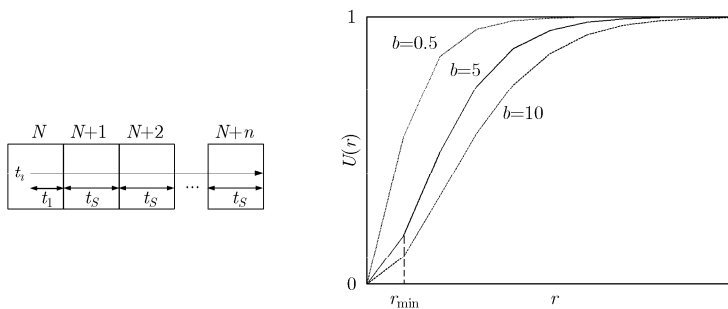


图 1 呼叫 m 运动轨迹

其中 r_{max} 表示业务要求的最大带宽。

为了便于定量描述业务特性，本文引入了业务净效用，定义为业务的效用函数乘以为该业务分配的带宽：

$$U_i(r_i) = u_i(r_i) \cdot r_i \tag{3}$$

考虑到低轨卫星的运动特性，本文将业务的小区驻留时间引入到净效用函数中，并定义为该业务在该小区得到的服务价值：

$$S_{value}(i, t) = U_i(r_i) \cdot t_{stay} \tag{4}$$

其中 t_{stay} 为该呼叫在当前卫星小区得到服务的时间。

3 基于效用和资源借用的接入控制策略

在卫星通信系统中，由于切换而造成的用户呼叫中断比新呼叫阻塞更不能忍受，故卫星系统一般给予切换呼叫比新呼叫更高的优先级，本文提到的接入控制策略均遵循这一原则。

资源借用的策略是指当实时业务切换时，若星上的带宽无法满足实时业务的最小带宽要求，可以适当移出部分非实时业务的带宽来提供给实时业务，根据 LEO 卫星通信的特点，非实时业务减少传输带宽只是相应的增加了传输延时，并不会使其通信中断。由于不需事先预留资源，该策略可以显著提高星上资源利用率，降低呼叫阻塞率。但是资源借用策略也会带来公平性和优先级相冲突的问题。因此，问题关键就在于如何在两者之间取得平衡。

本文提出的接入控制策略(UBCB)在系统负载较大时采用资源借用的方式保证高优先级业务的接入概率。与文献[4]的不同之处在于引入权重函数作为资源借用的依据。所谓权重函数是指决定对象借用先后次序的指标，定义如下：

$$weight(i) = d \cdot S_{value}(i, t)^{(1+n)} \tag{5}$$

其中 d 为业务因子， n 代表该呼叫在整个通信过程中资源被借用的次数。当星上资源不足时，系统优先选择权重函数低的对象进行资源借用。

为了防止因网络负载过大而造成的网络拥塞的

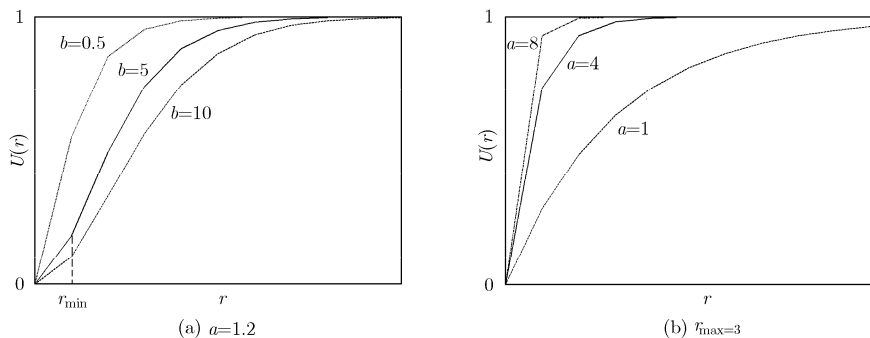


图 2 不同业务的效用函数

情况, 接入控制前将事先计算在星上资源允许的范围内该呼叫的最小净效用(min-net-utility), 通过合理设置呼叫接入的门限(即参数 u_1 , u_2)来改善网络拥塞的情况。

本文具体的接入控制算法如图 3 所示。

(1) 切换呼叫请求接入处理

(a) 若该呼叫业务为非实时业务, 系统计算在 $(0, r_{2_req})$ 范围内业务的最小净效用 $net-utility_{min}$, 若 $net-utility_{min} \geq u_2$, 进行下一步判断; 否则拒绝该接入请求。

(a₁) 系统判断星上剩余资源是否满足 $r_{unused} > 0$, 若不满足, 则拒绝该呼叫; 若满足进行下一步判断:

(a₂) 星上剩余资源是否满足 $r_{unused} \leq r_b$ (其中 r_b 为表示呼叫加入到信道借用库的门限), 若满足, 接入该呼叫请求, 系统将其分配资源 r_{2_req} , 计算该呼叫的借用权重, 并将其加入到信道借用库中; 否则, 进行下一步判断:

(a₃) 系统计算在 $(0, \min(r_{unused}, r_{2_req}))$ 范围内业务的最大净效用, 接入该呼叫请求, 为其分配最大净效用对应的资源数;

(b) 若该呼叫业务为实时业务, 系统计算在 (r_{1_min}, r_{1_req}) 范围内业务的最小净效用 $net-utility_{min}$, 若 $net-utility_{min} \geq u_1$, 进行下一步判断; 否则拒绝该接入请求。

(b₁) 系统判断星上剩余资源是否满足 $r_{unused} \geq r_{1_min}$, 若不满足, 进入步骤(b₂); 若满足进入步骤(b₄);

(b₂) 判断星上资源借用库是否为空, 若为空, 则拒绝接入请求, 否则进入步骤(b₃);

(b₃) 系统将从信道借用库中选择借用权重最小的业务作为新切换呼叫的资源借用对象, 该对象将

让出部分其占用的星上资源, 加入到 r_{unused} 中, 同时该对象从库中被移除, 转到步骤(b₁);

(b₄) 系统计算在 $(r_{1_min}, \min(r_{unused}, r_{1_req}))$ 范围内业务的最大净效用, 接入该呼叫并为其分配最大净效用对应的资源数。

(2) 新呼叫请求接入处理

(a) 若该呼叫业务为非实时业务, 处理过程与上文“切换呼叫请求接入处理”中完全一致, 因此不再赘述。

(b) 若该呼叫业务为实时业务, 系统计算在 (r_{1_min}, r_{1_req}) 范围内业务的最小净效用 $net-utility_{min}$, 若 $net-utility_{min} \geq u_1$, 进行下一步判断; 否则拒绝该接入请求。

(b₁) 系统判断是否满足 $r_{unused} \geq r_{1_min}$, 若不满足, 则拒绝该新呼叫; 若满足进行下一步判断;

(b₂) 系统计算在 $(r_{1_min}, \min(r_{unused}, r_{1_req}))$ 范围内业务的最大净效用, 接入该新呼叫请求, 为其分配最大净效用所对应的资源数。

4 仿真分析

参照铱星系统的参数, 将比较固定预留信道(FSCR)、自适应信道预留(ACR)、信道借用(CBS, 文献[4]给出的策略)以及本文提出的策略(UBCB), 具体仿真参数如下:

卫星轨道高度 780 km, 点波束直径 425 km, 卫星对地移动速度为 26600 km/h, 则用户在每个点波束小区的驻留时间为 65 s。不考虑点波束间信道的借用, 每个点波束的信道容量为 120, 对于实时业务, 最小信道要求为 2, 期望信道数为 4, 其效用函数参数 $a=1.2, b=5$, 业务因子 d 为 1.2; 对于非实时业务, 期望信道数为 3, 其效用函数参数 $a = 4.6$,

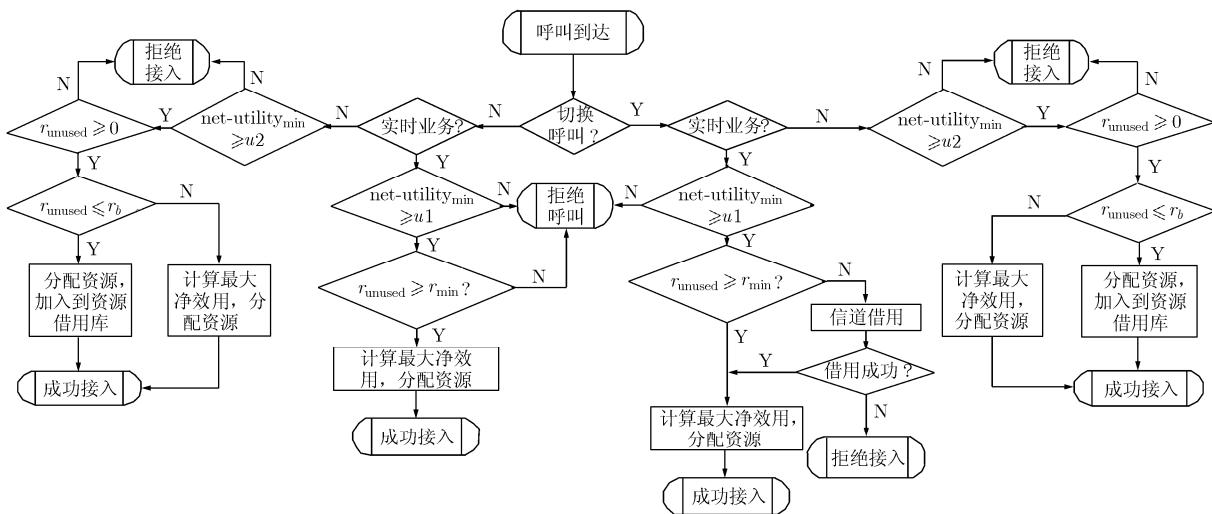


图 3 接入控制策略

业务因子 d 为 1.1; 加入资源借用库门限 n_b 为 110。同时两类呼叫到达过程均服从独立的泊松分布, 平均到达速率相同; 两类业务出现的概率相同, 且通信持续时间服从均值为 180 s 的负指数分布。

下面先定义仿真的指标参数:

(1) 实时(非实时)业务的新呼叫阻塞率 CBP_I (CBP_{II}) 和切换失败率 CDP_I (CDP_{II}), 反映了呼叫的阻塞率和业务的掉线率, 定义如下:

$$CBP_I(CBP_{II}) = \frac{\text{被阻塞的实时(非实时)业务新呼叫}}{\text{总的新呼叫}} \quad (6)$$

$$CDP_I(CDP_{II}) = \frac{\text{切换失败的实时(非实时)业务呼叫}}{\text{总的切换呼叫}} \quad (7)$$

(2) 系统服务等级 P_{QoS} 是为了评价新呼叫阻塞率和切换失败率的综合性能, 定义如下:

$$P_{QoS} = w \cdot CDP + (1 - w) \cdot CBP \quad (8)$$

w 为权重因子。因为呼叫掉线率具有比新呼叫阻塞率更高的优先级, 因此在本文中, 取 $w = 0.8$ 。

(3) 系统的信道利用率 η 指的是信道的有效占用时间, 定义如下:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_i}{S \cdot C} \quad (9)$$

其中 S 为系统仿真时间, C 为信道容量, N 为成功接入系统的呼叫数, 每个呼叫的服务时间为 μ_i , $i \in [1, N]$ 。

(4) 系统总的服务价值 S_{all} , 反映了点波束小区内所有用户的满意度, 定义如下:

$$S_{all} = \sum_{i=1}^N S_i \quad (10)$$

N 为成功接入系统的呼叫数, S_i 为每个呼叫得到的服务价值, $i \in [1, N]$ 。

(5) 公平性的评价指标—公平性因子 FI, 主要反映非实时业务中由于信道借用对其产生的影响, 定义为

$$FI = \frac{\sum AR(i) \sum AR(i)}{N \sum [AR(i) AR(i)]} \quad (11)$$

其中 $AR(i) = \frac{\text{非实时业务呼叫得到服务的时间}}{\text{该呼叫通信持续时间}}$, N 表示接入该点波束小区的非实时业务呼叫总数。

仿真结果如下: 图 4 和图 5 分别给出了实时和非实时业务的新呼叫阻塞率; 图 6 和图 7 给出了实时和非实时业务的切换失败概率。FSCR 由于需要预留固定比例信道, 新呼叫阻塞率最大、非实时业务切换失败率最高; CBS 和 UBCB 不需要预留信道, 所以性能优于 FSCR 和 ACR, 且 UBCB 在信道分配时不是尽可能分更多的信道, 而是分配效用最大的信道, 因而性能优于 CBS。

图 8 给出了几种策略的实时业务 P_{QoS} , 从图中可以看出, UBCB 的 P_{QoS} 明显优于 CBS。

如图 9 所示, 由于 CBS 和 UBCB 不需要预留信道, 呼叫阻塞率优于其它两种, 因而信道利用率较高。

图 10 反映了各种接入控制策略的系统总服务价值 S_{all} 。由于 CBS 和 UBCB 的 CBP 和 CDP 较低, 总的服务价值大于后两者。另外, UBCB 采用了效用作为其衡量指标, 因而它的 S_{all} 大于 CBS。

图 11 给出了 CBS 和 UBCB 两种策略公平性的比较。由于 CBS 是基于最小驻留时间, 因而其公平性优于 UBCB。但从图中可以看出, 两种策略的公平性相差不大。

5 结束语

本文提出了一种基于效用和资源借用的移动卫星系统接入控制算法(UCB), 与其它几种接入控制策略进行比较分析后可看出, 本策略在呼叫阻塞率、切换失败率和实时业务 P_{QoS} 以及系统服务价值优于其他策略, 在信道利用率、业务公平性上略低于 CBS 而高于其他策略, 有效解决了系统性能的综合问题, 提高了整体效用, 从而提高了卫星系统的整体性能。

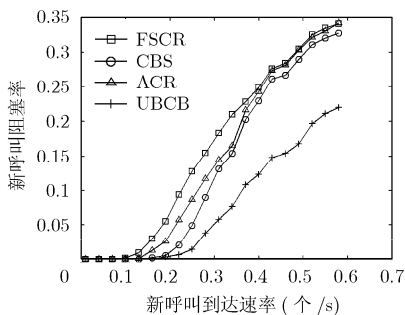


图 4 实时业务新呼叫阻塞率

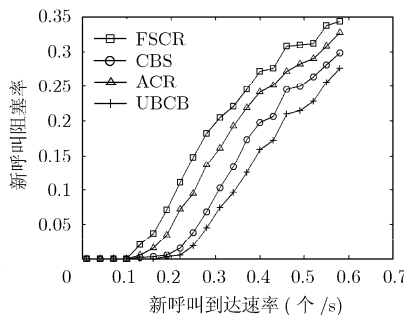


图 5 非实时业务呼叫阻塞率

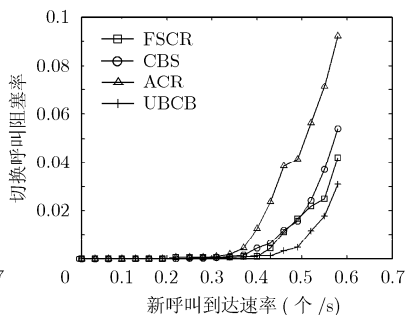


图 6 实时业务切换失败率

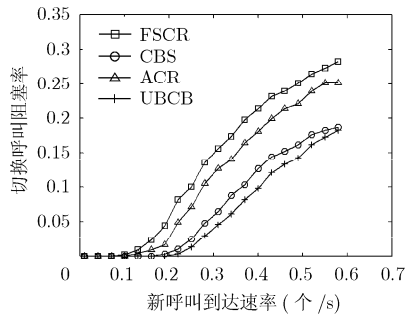


图 7 非实时业务切换失败率

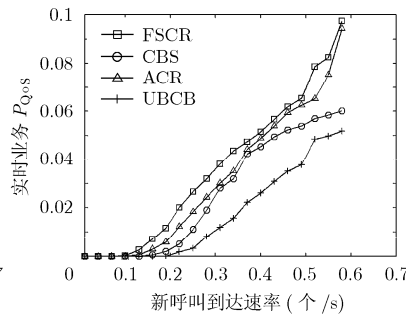


图 8 实时业务服务等级

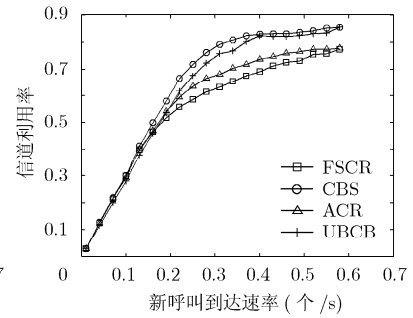


图 9 系统信道利用率

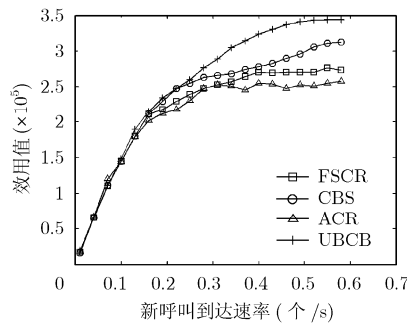


图 10 系统总服务价值

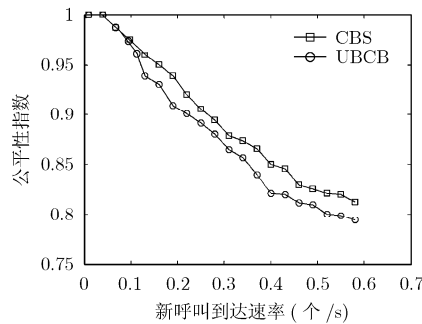


图 11 公平性比较

参 考 文 献

[1] Lariu S and Todorova P. QoS on LEO satellites. *IEEE Potentials Magazine*, 2004, 23(3): 11-17.

[2] Mertzanis I, Tatzoll R, and Evans B G. Connection admission control strategy and routing considerations in multimedia(non-GEO)satellite networks. Proc 47th IEEE Vehicular Technology Conference, Phoenix, 1997: 431-435.

[3] Olariu S and Todoroua P. Resource management in LEO satellite networks. *IEEE Potentials Magazine*, 2003, 22(2): 6-12.

[4] 黄飞, 徐辉, 吴诗其. 低轨卫星通信中基于公平性的信道借用策略. *通信学报*, 2006, 27(8): 9-17.
Huang Fei, Xu Hui, and Wu Shi-qi. Fairness based channel borrowing strategy for multimedia LEO satellite communications. *Journal on Communications*, 2006, 27(8): 9-17.

[5] Liao R R F and Campbell A T. A utility-based approach for quantitative adaptation in wireless packet networks. *ACM Wireless Networks*, 2001, 7(5): 541-557.

[6] Touati C, Altman E, and Galtier J. Utility based fair

bandwidth allocation. NPDPA 2002, Tsukuba, Japan, 2002: 126-131.

[7] Liu Kuang-Hao, Cai Lin, and Shen Xue-min. Multiclass utility-based scheduling for UWB networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2008, 57(2): 1179-1187.

[8] Cao Y and Li V. Utility-oriented adaptive QoS and bandwidth allocation in wireless networks. *IEEE ICC*, New York, 2002(5): 3071-3075.

[9] Lu Ning and Bigham J. Utility-maximization bandwidth adaptation for multi-class traffic QoS provisioning in wireless networks. 1st ACM International Workshop on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks, Montreal, Canada, 2005: 136-143.

章玉刚: 男, 1979年生, 硕士生, 研究方向为卫星网络接入。

张 军: 男, 1965年生, 博士, 电子信息工程学院院长, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为空中交通管理、卫星通信导航等。

张 涛: 男, 1973年生, 博士后, 研究方向为无线通信、卫星通信。