

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2015.08.014

引用格式:蒋静雅,张邦宁,郭道省,等.适用于平台摆动模型的 HAPS 通信系统信道分配算法[J].电讯技术,2015,55(8):906-912. [JIANG Jingya,ZHANG Bangning,GUO Daoxing,et al. A Channel Assigning Algorithm for Platform Displacement Model in HAPS Communication System[J]. Telecommunication Engineering,2015,55(8):906-912.]

适用于平台摆动模型的 HAPS 通信系统信道分配算法*

蒋静雅**,张邦宁,郭道省,叶展

(解放军理工大学 通信工程学院,南京 210007)

摘要:针对高空平台(HAPS)遭受平流层横风影响呈现水平摆动现象,引起地面呼叫用户为继续获得可靠服务在蜂窝间来回切换的问题,提出了平台摆动条件下区分用户优先级的信道预留和切换排队相结合的信道分配算法。该算法充分考虑了不同类型用户终端对服务等级的需求,对用户终端进行了优先级区分,且从降低切换失败率的角度,在信道预留基础上对切换呼叫用户进行排队。仿真结果表明,与传统的无优先级切换排队和区分优先级的固定信道预留算法相比,该算法能够显著降低切换掉话率,尤其是高优先级用户的切换掉话率,补偿了因平台运动所导致的系统性能损失。

关键词:高空平台通信系统;信道分配;信道预留;切换排队;切换掉话

中图分类号:TN927 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2015)08-0906-07

A Channel Assigning Algorithm for Platform Displacement Model in HAPS Communication System

JIANG Jingya,ZHANG Bangning,GUO Daoxing,YE Zhan

(College of Communications Engineering,PLA University of Science and Technology,Nanjing 210007,China)

Abstract: A high altitude platform station(HAPS) will move back and forth horizontally because of the crosswind in the stratosphere,causing a problem that ground call users should handover between cells to get continually dependable service. To solve the problem,a channel assigning algorithm combining channel reservation and handover queuing with priorities based on platform's horizontal movement is proposed. This algorithm takes full account of the needs of different types of user terminals on the service grade,prioritizes the user terminals,and introduces handover queuing based on channel reservation from the point of reducing the handover dropping rate. Simulation results show that,compared with no users priority handover queuing and only channel reservation with priorities,this algorithm can significantly reduce the handover dropping probability,especially the users with high priorities,to compensate system performance loss caused by the platform motion.

Key words: HAPS communication system;channel assigning;handover queuing;call blocking;handover dropping

1 引言

高空平台(High Altitude Platform Station,HAPS)通信是指由位于近地空间高度 17~22 km 且可保持准静止状态的高空平台通过多波束天线对地投射蜂窝进行通信的一种新的无线通信网络。与传统卫星通信和地面蜂窝通信相比,HAPS 通信主要有配置成本低、布网速度快、覆盖范围广、系统容量大、维护升级便利等特点^[1-2],尤其适用于抢险救灾、奥运会

* 收稿日期:2015-01-22;修回日期:2015-04-16 Received date:2015-01-22;Revised date:2015-04-16

** 通讯作者:duoduojjy@126.com Corresponding author:duoduojjy@126.com

• 906 •

等突发密集情况通信,引起了众多国家高度关注,世界电信联盟(ITU)已将 HAPS 通信系统作为无线通信服务 IMT-2000(International Mobile Telecom System-2000)的备选方案。

然而,受平台载体本身位置保持技术限制和平流层风力影响,其位置难以保持理想的对地静止状态。文献[3]提出了平台的准静止状态可以用三种运动方式描述,即水平、垂直和倾斜运动;文献[4]提出了一个平流层风速特性和 HAPS 不稳定性模型,指出水平运动比垂直运动对系统的影响更大,垂直方向的风可以忽略且平台倾斜可以通过位于平台底部的波束成型天线来补偿;文献[5]也提出了利用可控非定向天线来补偿平台运动的思想。

平台运动导致了多波束天线所投射蜂窝的相应移动,地面固定用户在呼叫过程中必须切换至新蜂窝才能继续获得可靠服务。文献[6]指出大部分用户在平台运动过程中需要通过切换来保持正常通信所需的载干比,一般而言,切换失败比新呼叫阻塞更叫人难以忍受,所以一般信道分配和切换算法都赋予了切换呼叫以更高的优先级;文献[7-8]分别提出了低轨卫星星座通信系统信道预留和切换排队策略,大大提高了系统的切换呼叫性能;文献[9]提出了低轨卫星系统中的一种带优先级的信道预留方案,有效提高了切换用户尤其是高优先级用户的切换性能。

以上相关算法大多适用于低轨卫星通信系统,而针对平台运动条件下的 HAPS 通信系统信道分配算法则较少。本文为进一步满足特殊用户终端对业务服务等级的更高需求,给予了特殊用户以更高的优先级,结合 HAPS 特殊的运动特性,提出了一种适用于平台水平摆动条件下的 HAPS 通信系统信道预留和切换排队相结合的信道分配方案,更大程度地降低了用户的切换掉话率,尤其是特殊用户的切换率,补偿了因平台运动所导致的部分性能损失。

2 HAPS 水平摆动模型

21 世纪初欧洲的 HeliNet 项目建议平台在 99% 的时间内应保持在一个高为 1 km、半径为 2.5 km 的圆柱内^[10]。在假设 HAPS 垂直和倾斜运动可以通过平台底部方向可控天线补偿的基础上^[11],建立平台水平摆动模型。HAPS 受平流层横风及其载体推

进装置制约呈水平来回摆动状态,所载多波束天线所投射的地面蜂窝也呈现出等距离的摆动状态,且蜂窝大小和形状不变,其蜂窝运动过程如图 1 所示。

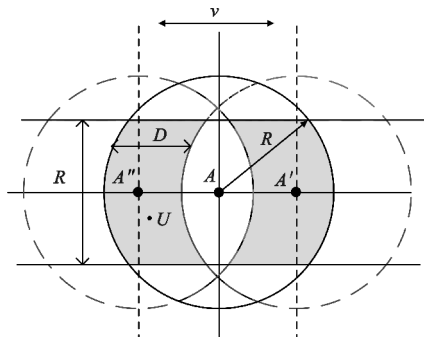


图 1 平台水平摆动模型
Fig. 1 Platform's horizontal movement model

设蜂窝 A 沿直线轨迹以平台水平运动速度 v 在蜂窝 A'、A'' 位置来回匀速摆动,蜂窝中心向两侧的最大偏移距离为 D ,有效蜂窝宽度等于蜂窝半径 R ,蜂窝内固定用户呈均匀分布。在平台运动过程中,图 1 内阴影部分正在通话中的用户在经过蜂窝边界时须切换至运动方向相反的邻蜂窝以获得继续服务。设用户呼叫持续时间 t_u 服从均值为 μ 的负指数分布, t_{hi} 为用户第 $i-1$ 、 i 次经过蜂窝边界的时间间隔, p_{hi} 为相应的用户切换概率, t_{h1} 是参考用户 U 从发起呼叫到蜂窝 A 左边界经过该用户所用的时间,因为地面用户在蜂窝小区中服从均匀分布,所以 t_{h1} 亦服从 $(0 \sim D/v)$ 上的均匀分布。用户 U 可能在当前蜂窝小区内结束通话,也可能需要越区切换来获得继续通话,因此,该呼叫第一次需要越区而请求切换的概率 p_{h1} 为

$$p_{h1} = P\{t_u > t_{h1}\} = \int_0^{D/v} P\{t_u > t/t_{h1} = t\} dP\{t_{h1} \leq t\} = \frac{v}{D} \mu (1 - e^{-\frac{D}{\mu v}})。(1)$$

如果该用户在经历了一次成功切换后通话仍在继续,那么根据平台水平摆动特性,在平台向右运动再回摆至该用户点所用的时间 t_{h2} 为

$$t_{h2} = 2(D/v) - t_{h1}。(2)$$

由于负指数分布的无记忆性,用户在经历第一次成功切换后其剩余呼叫时间仍服从均值为 μ 的负指数分布,所以用户 U 在第一次成功切换后再次发生切换的概率 p_{h2} 为

$$p_{h2}=P\{t_u>t_{h2}\}=\frac{v}{2D}\mu(1-e^{-\frac{2D}{v\mu}})。$$
 (3)

同理,可得第三次切换参数 t_{h3} 、 p_{h3} 为

$$t_{h3}=(2D/v)+t_{h1},$$
 (4)

$$p_{h3}=P\{t_u>t_{h3}\}=\frac{v}{D}\mu(e^{-\frac{2D}{v\mu}}-e^{-\frac{3D}{v\mu}})。$$
 (5)

根据运动特性可知,阴影左右部分相互对称,且在呼叫过程中一方以概率 p_{h2} ,另一方必以概率 p_{h3} 再次发生切换;阴影部分占所在蜂窝面积比为 p_s 。设蜂窝 A 内用户新呼叫和切换呼叫请求均以泊松流到达且相互独立,平均到达率分别为 λ_n 、 λ_h 。其中呼叫切换请求由两部分组成,一为新呼叫在小区边界到来需要发起的切换请求,二为前一切换请求再度跨越小区边界而发起的切换请求。所以在一定呼叫到达率 λ_n 的情况下,可得 λ_h 为

$$\lambda_n p_{h1} + \lambda_h (\frac{p_{h2} + p_{h3}}{2}) = \lambda_h p_s,$$

$$\lambda_h = \frac{\lambda_n p_s p_{h1}}{1 - (\frac{p_{h2} + p_{h3}}{2})}。$$
 (6)

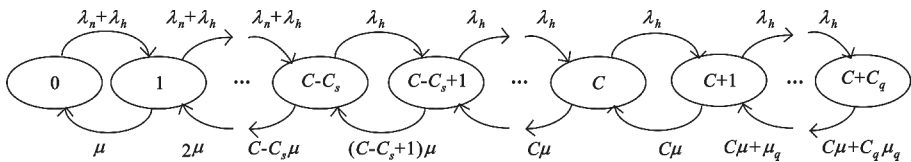


图 2 基于信道预留的切换排队算法状态转移图
Fig. 2 The state transition diagram of handover queuing based on channel reservation

设该小区中有 n 个信道被占用时的统计平衡概率为 $P_n(n=0,1,2,\cdots,C+C_q)$,由状态转移图列生灭方程求解可得式(7)和式(8):

$$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} P_0, & 1 \leq n \leq C - C_s \\ \frac{\lambda_h^{n-(C-C_s)} (\lambda_n + \lambda_h)^{(C-C_s)}}{n! \mu^n} P_0, & C - C_s \leq n \leq C \\ \frac{\lambda_h^{n-(C-C_s)} (\lambda_n + \lambda_h)^{(C-C_s)}}{C! \mu^C \prod_{k=C+1}^n [C\mu + (n-C)\mu_q]} P_0, & C+1 \leq n \leq C+C_q \end{cases};$$
 (7)

$$P_0 = (1 + \sum_{i=1}^{C-C_s} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^i}{i! \mu^i} + \sum_{j=C-C_s+1}^C \frac{\lambda_h^{j-(C-C_s)} (\lambda_n + \lambda_h)^{C-C_s}}{j! \mu^j} + \sum_{m=C+1}^{C+C_q} \frac{\lambda_h^{m-(C-C_s)} (\lambda_n + \lambda_h)^{(C-C_s)}}{C! \mu^C \prod_{k=C+1}^m [C\mu + (k-C)\mu_q]})^{-1}。$$
 (8)

3 HAPS 通信系统信道分配算法

3.1 基于信道预留的切换排队算法

用户在当前波束覆盖的小区内发起新呼叫却未获得服务为新呼叫阻塞,用户在呼叫过程中由于越区切换失败而未能获得继续服务为切换呼叫失败,一般而言,切换失败比新呼叫阻塞更让人难以接受,所以一般信道分配和切换算法都赋予了切换呼叫以更高的优先级,主要方案有信道预留、对切换呼叫排队等。本算法将两者结合,即一方面预留部分信道专门用于切换呼叫,其余信道由新呼叫与切换呼叫共享;另一方面再对未能及时获得信道的切换呼叫进行排队,以降低切换掉话率,获得高切换性能。

假设单蜂窝小区信道总数为 C ,预留 C_s 个信道给切换呼叫专用,切换呼叫排队长为 C_q 。当信道占用数大于或等于 $C-C_s$,新呼叫被阻塞;当信道占用数大于 C ,切换呼叫进入队列排队,排列为先入先出方式。用户呼叫持续时间和用户切换排队等待时间分别服从均值为 μ 、 μ_q 的负指数分布,图 2 表示其状态转移过程。

故有新呼叫阻塞率

$$P_b = \sum_{n=C-C_s}^C P_n,$$
 (9)

切换掉话率

$$P_d = \sum_{k=1}^{C_q} P_{C+k} P_{d/k},$$
 (10)
$$P_{d/k} = 1 - \prod_{i=1}^k P_{i-1/i} P_{\text{get}}, P_{0/1} = 1。$$
 (11)

式中, $P_{d/k}$ 表示队列缓冲区中第 k 位切换排队用户切换失败的概率, $P_{i-1/i}$ 表示在离开切换缓冲区之前第 i 位排队用户成功进入第 $i-1$ 位的概率, P_{get} 表示位于队首的排队用户成功获得信道的概率。

队列中第 i 位切换排队用户要在切换缓冲时间内进入第 $i-1$ 位,则其驻留时间 T 需满足两个条件:一是要大于排在其前面的任一用户的剩余时间 $T_j(j$

重新标记信道预留数,分配 C'_m 条信道专用于特殊用户切换呼叫, C'_n 个信道给普通用户切换呼叫, C''_s

个信道给特殊用户新呼叫,剩余信道由所有呼叫请求共用,状态转移过程如图 4 所示。

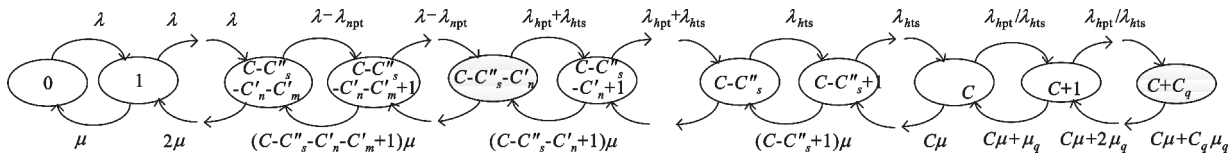


图 4 用户带优先级的信道预留和切换排队相结合算法状态转移图

Fig. 4 The state transition diagram of the algorithm combining channel reservation and handover queuing with priority

在本算法中,在当前小区没有空闲信道时,普通用户切换请求和特殊用户切换请求共同排队,当特殊用户切换请求进入队首,只要服务中的信道一旦被释放,即获得服务;因为特殊用户切换呼叫优先级高于普通用户切换呼叫,所以当进入队首的是普通用户切换请求,则只有当至少有 C'_m+1 个信道释放时才能获得服务。

本算法状态转移图下统计平衡概率 P_n 求解思路同 3.2 节算法。为计算方便,设 C'_m 为 1,则普通切换排队用户在进入队首时,只有在当前小区正在服务的用户至少有 2 条信道释放时才能获得服务,即

$$P_{\text{get}}=P\{T>T_{(2)}\}=1-\frac{2\mu_q}{\mu_q+\mu}+\frac{\mu_q}{\mu_q+2\mu}。 \quad (20)$$

式中, $T_{(2)}$ 表示正在服务的 C 个用户中第 2 个最小的用户服务时间。故普通用户切换掉话公式可另写为式(21),特殊用户切换掉话公式及系统服务等级公式不变。

$$P_{\text{dpt}}=P_{C+1}(\frac{2\mu_q}{\mu_q+\mu}-\frac{\mu_q}{\mu_q+2\mu})+\sum_{k=2}^{C_q}P_{C+k}\left[1-\prod_{i=1}^k(1-\frac{\mu_q}{2^i(C\mu+\mu_q)})(1-\frac{2\mu_q}{\mu_q+\mu}+\frac{\mu_q}{\mu_q+2\mu})\right]。 \quad (21)$$

4 仿真结果分析

根据相关文献资料^[12],选取新呼叫到达率为 0.03~0.08 call/s,即为爱尔兰数 5~14 Erl,其他仿真参数设置如表 1 所示。图 5 和图 6 给出了仅采用信道预留方式系统的阻塞概率和服务等级。由图可知,当平均呼叫到达率较小即业务量较少时,系统的新呼叫阻塞和切换掉话率均很小,系统有着很高的服务质量;随着业务量的增大,各种性能曲线迅速上升。当系统没有预留信道时,呼叫阻塞率和切换掉

话率曲线完全重合,系统切换性能很差;当系统采用信道预留策略后,虽然新呼叫阻塞率有所上升,但其切换掉话率却有明显下降,由于在实际应用中用户对切换失败的反感程度更甚于新呼叫阻塞,所以预留信道方案符合实际应用;且信道预留数越多,虽然切换掉话率改善越大,但同时付出的新呼叫阻塞代价也越大,综合两者在现实生活中的应用情况,我们利用服务等级来衡量整个系统质量,由图 6 可知,在本文设定的条件下,当预留信道数为 2 时,系统获得最佳服务等级。

表 1 仿真参数

Table 1 Simulation parameters

参数	值
小区半径 R/km	3
平台运动速率 $v/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	100
平台最大偏移距离 D/km	2
小区信道总数 C	20
平均通信持续时间 $(1/\mu)/\text{s}$	120
平均排队等待时间 $(1/\mu_q)/\text{s}$	30
切换排队长 C_q	5

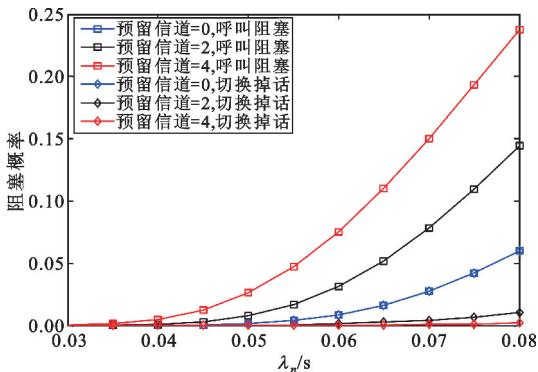


图 5 预留信道算法性能曲线

Fig. 5 The characteristic curve of channel reservation

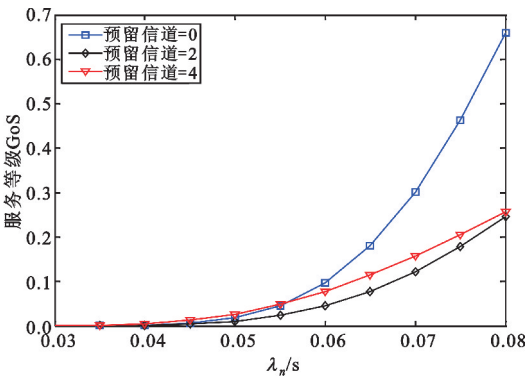


图 6 预留信道策略服务等级
Fig. 6 The grade of service of channel reservation

为衡量本文算法的合理性,在 3.1 节算法中取预留信道数为 2;在 3.2 节算法中采用预留信道数为 $C'_s=1, C'_n=1, C'_m=1$;而在 3.3 节算法中采用预留信道数为 $C''_s=1, C''_n=1, C''_m=1$,其中切换排队长 $C_q=5$,其余仿真参数参照表 1,仿真本文三种算法性能。

图 7 为无优先级不采用信道预留、仅信道预留和本文三种算法下用户新呼叫阻塞率对比,由图可知,无优先级不采用信道预留时新呼叫阻塞率最小;采用信道预留后新呼叫阻塞率有明显升高;在信道预留基础上采用切换排队方案时,对新呼叫阻塞率基本没有影响;在用户区分优先级后,特殊用户的阻塞率有较大改善,但这也是以普通用户的阻塞率上升为代价。同样地,在继续采用切换排队即本文第三种算法后,两种用户的阻塞率变化不大。

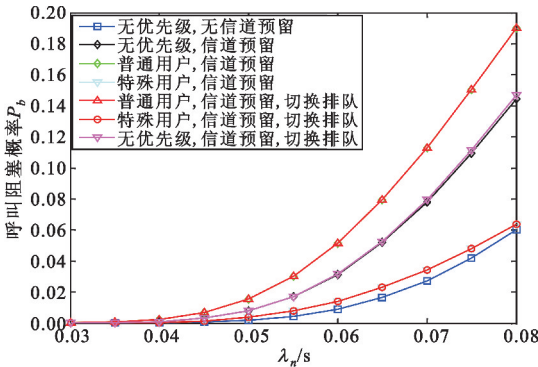


图 7 新呼叫阻塞率
Fig. 7 The new call blocking probability

图 8 为五种方案下系统切换掉话率对比曲线,由图可见,无优先级无信道预留时,切换掉话率最大,切换性能最差,采用信道预留后次之,再在信道预留基础上采用切换排队可进一步获得切换掉话性能的改善;当对用户进行优先级区分且分别进行信

道预留后,系统的切换掉话性能得到了明显改善,且特殊用户较之普通用户有了更大的改善量;再在两种用户信道预留的基础上进行切换排队,则可以获得更好的切换性能。结合图 7 可知,3.3 节所提算法可以在基本不影响新呼叫阻塞率情况下,较大程度地降低切换掉话率,且显著提高系统切换掉话性能。

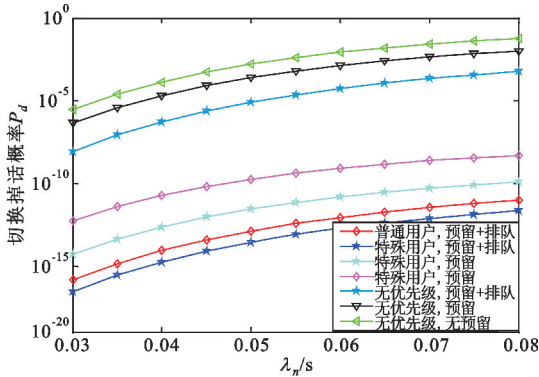


图 8 切换掉话率
Fig. 8 The handover dropping probability

图 9 给出了五种策略下的系统服务等级比较,由图可以看出,系统的服务等级在无优先级无信道预留时最差,采用信道预留方案或区分用户优先级均能获得一定程度改善,且在 3.3 节算法下取得了最大改善量,该图进一步说明了该算法能使系统获得最好性能。

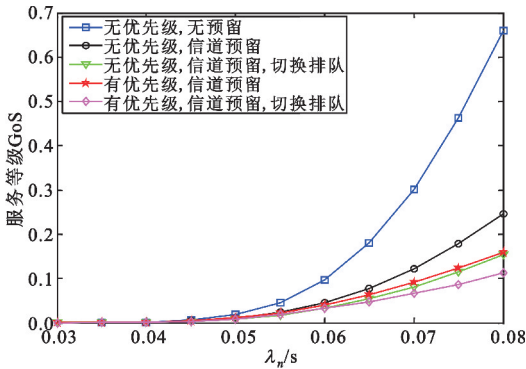


图 9 服务等级
Fig. 9 The grade of service

5 结束语

本文在高空平台通信系统的特殊背景条件下,提出了一种在基本不影响新呼叫阻塞率前提下,有效降低切换掉话性能的信道分配算法。在传统信道预留或切换排队方案基础上,根据实际需要,对用户

进行优先级区分,并建立切换呼叫缓冲区对切换用户进行排队。根据对比结果可知,本文所提算法能够有效降低用户切换掉话率,尤其在多种类型用户共存系统中特殊用户的切换掉话率,提高了系统整体服务等级,对高空平台通信系统的研究有一定参考意义。该算法适用于高空平台或低轨卫星等对地相对运动基站组成的通信系统,具有一定的通用性。

参考文献:

- [1] Wang W Q, Jiang D D. Integrated Wireless Sensor Systems via Near-Space and Satellite Platforms: A Review [J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(11): 3903-3914.
- [2] Vaiopoulos N, Sandalidis H G, Varoutas D. Using a HAP Network to Transfer WiMAX OFDM Signals: Outage Probability Analysis [J]. IEEE Optical Communication Network, 2013, 5(7): 711-721.
- [3] Iskandar, Arief K Z. Effect of HAPS Movement on the Performance of Downlink Power Control CDMA System [C]//Proceedings of 2010 10th International Conference on Information Sciences Signal Processing and their Applications. Kuala Lumpur: IEEE, 2010: 682-685.
- [4] Axiotis D I, Theologou M E, Sykas E D. The Effect of Platform Instability on the Sstem Level Performance of HAPS UMTS [J]. IEEE Communication Letters, 2004, 8(2): 111-113.
- [5] Li H, Xu X, Yang M C, et al. Compensative Mechanism Based on Steerable Antennas for High Altitude Platform Movement [C]// Proceedings of 2011 6th International ICST Conference on Communications and Networking in China. Harbin: IEEE, 2011: 870-874.
- [6] Thornton J, Grace D. Effect of Lateral Displacement of a High Altitude Platform on Cellular Interference and Handover [J]. IEEE Transactions on Wireless Commnincations, 2005, 4(4): 1483-1490.
- [7] Ruiz G, Doumi T L, Gardiner J G. Teletraffic Analysis and Simulation of Mobile Satellite Systems [C]// Proceedings of 1996 IEEE 46th Vehicular Technology Conference. Atlanta, GA: IEEE, 1996: 252-256.
- [8] Tonguz O K, Yanmaz E. The Mathematical Theory of Dynamic Load Balancing in Cellular Networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing 2008, 7(12): 1504-1518.
- [9] 李庆, 朱立东, 吴诗其. 低轨卫星系统中的一种带优先级的信道预留策略[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(8): 1820-1823.

LI Qing, ZHU Lidong, WU Shiqi. A Channel Reservation Algorithm with Priorities in LEO Satellite System [J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2008, 30(8): 1820-1823. (in Chinese)

- [10] Zong R, Gao X B, Wang X Y, et al. Deployment of High Altitude Platforms Network: A Game Theoretic Approach [C]// Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications. Maui, HI: IEEE, 2012: 304-308.
- [11] Li H, Xu X, Yang M C, et al. Compensative Mechanism Based on Steerable Antennas for High Altitude Platform Movement [C]// Proceedings of 2011 6th International Conference on Communication and Networking in China. Harbin: IEEE, 2011: 870-873.
- [12] Li S F, Grace D, Liu Y C, et al. Overlap Area Assisted Call Admission Control Scheme for Communications System [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2010, 47(4): 911-2918.

作者简介:



蒋静雅(1983—),女,浙江台州人,硕士研究生,主要研究方向为高空平台通信、卫星通信;

JIANG Jingya was born in Taizhou, Zhejiang Province, in 1983. She is now a graduate student. Her research concerns high altitude platform communication and satellite communication.

Email: duoduojjy@126. com

张邦宁(1963—),男,安徽含山人,教授、博士生导师,主要研究方向为卫星通信抗干扰、卫星通信传输技术和卫星天线技术;

ZHANG Bangning was born in Hanshan, Anhui Province, in 1963. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research concerns satellite communication anti-jamming communication and signal processing.

郭道省(1973—),男,河南南阳人,教授、博士生导师,主要研究方向为卫星通信、通信抗干扰、信号处理等;

GUO Daoxing was born in Nanyang, Henan Province, in 1973. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research concerns satellite communication, anti-jamming communication and signal processing.

叶展(1978—),男,江西人,博士,副教授,主要研究方向为卫星通信抗干扰、同步技术、信号处理等。

YE Zhan was born in Jiangxi Province, in 1978. He is now an associate professor with the Ph. D. degree. His research concerns satellite anti-jamming communication, synchronization technology and signal processing.