

文章编号: 2095-4980(2019)05-0765-06

卫星通信系统多优先级信道预留分配策略

汤 辉¹, 邹钦羊^{1,2}, 朱立东^{1,2}, 李 婷¹

(1.中国电子科技集团公司 第十研究所, 四川 成都 610036;
2.电子科技大学 通信抗干扰技术国家级重点实验室, 四川 成都 611731)

摘 要: 随着通信系统的不断发展, 对融合地面系统的天地一体化网络的研究越来越多, 而卫星通信系统中, 由于卫星高速移动等特性, 不可避免需要对呼叫的接入切换进行研究。针对天地一体化信息网络需要支持多场景多业务情况下的通信需求, 考虑不同呼叫优先级不同, 对多优先级的多种呼叫业务进行考虑。根据信道预留的思想, 对不同优先级接入与切换呼叫设定不同的可用信道数, 优先级越高的呼叫, 为其留更多的可用信道以确保其接入信道成功。同时, 由于动态信道预留较固定信道预留能够更好地利用信道资源, 最终考虑多优先级下的动态信道预留策略。对多优先级动态信道预留与多优先级固定信道预留策略进行仿真验证, 发现动态预留方案得到的系统服务质量更好。对于单一策略, 发现优先级越高的用户接入与切换呼叫接入信道失败率更低。

关键词: 低轨卫星通信系统; 多优先级; 信道资源分配; 信道预留策略

中图分类号: TN927

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201905.0765

Channel allocation strategy for multi-priority terminals in satellite communication systems

TANG Hui¹, ZOU Qinyang^{1,2}, ZHU Lidong^{1,2}, LI Ting¹

(1.The 10th Research Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu Sichuan 610036, China;
2.National Key Laboratory of Science and Technology on Communication, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu Sichuan 611731, China)

Abstract: With the development of communication systems, the integration of terrestrial communication systems and satellite communication systems is put forward to provide better quality of communication services. When users are communicating by the satellite communication systems, considering the characteristics such as high-speed of the satellite, the call access and switching problems are impossible to avoid, so it is necessary to study the technologies about access and handover to the terminals that are communicating depending on the satellite communication system. Because the world integration information network should be able to support the communication requirements of multiple scenarios and multiple services, it is important to distinguish different calls by their characteristics. According to their different types, multiple priorities are utilized to classify those calls and then channel allocation strategies are researched in this scenario. The dynamic channel reservation strategy is studied and simulated under the multi-priority.

Keywords: Low Earth Orbit(LEO) satellite communication system; multi-priority; channel resource allocation; channel reservation strategy

卫星通信系统由于覆盖范围大、通信距离远、通信容量大、不受地理条件影响等优点, 得到广泛应用^[1-2]。在卫星通信系统中, 常用的是圆形轨道, 根据卫星轨道高度可将其分为低轨(LEO)卫星系统、中轨(Medium Earth Orbit, MEO)卫星系统以及静止轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO)卫星系统。LEO系统的卫星轨道高度范围为500~1500 km, MEO的轨道高度为10 000~20 000 km, GEO的轨道高度为35 786 km^[3]。卫星通信系统可以提供全球无缝覆盖, 服务范围宽且不受地理条件限制, 一般来说, 一颗GEO卫星即可以覆盖地球表面的1/3左右, 因此3颗GEO卫星即可有效覆盖除两极地区以外的所有地球表面^[2-5]。而随着轨道高度的降低, 每颗卫星可覆盖

的范围变小,但是适当的卫星星座的建立可以完全实现全球无缝覆盖,当然如果轨道越低,要满足全球覆盖所需要的卫星颗数也就越多。通常,每颗卫星使用多波束天线进行覆盖,每个波束将形成一个小小区,因此地球表面将由同一卫星的不同波束以及不同卫星的不同波束完全覆盖,而卫星的移动以及部分用户终端的移动,会导致用户在不同波束覆盖区域之间使用,由此必将导致接入切换问题。

呼叫在卫星通信系统中进行接入与切换需要考虑信道是否可接入,因此信道分配问题是接入与切换技术研究的一个重要方向,信道分配策略可以分为波束间信道分配以及波束内信道分配,波束间信道分配涉及到一颗卫星对于每个波束进行信道数量的分配,波束内信道分配主要是对波束覆盖范围内的终端进行信道分配。

现阶段不断进行研究的与地面系统融合的天地一体化网络中,需要满足的场景各种各样,不同的用户希望在这样一个系统中进行质量更好的完整通信,因此在接入切换问题中,对不同业务类型进行优先级划分,考虑对不同优先级业务进行波束内的信道分配。同时,由于呼叫的中断较呼叫未接入成功更让人难以接受,通常考虑切换呼叫较新呼叫接入的优先级更高,信道预留策略会有更好的效果。因此,对多优先级的多业务情况下的信道预留策略进行了研究。

1 卫星覆盖模型

对于在卫星通信系统中,由于卫星位于地球上空,因此与地面系统的基站不同,地形的不同不会对其覆盖造成影响。单颗卫星的天线覆盖范围与最小仰角、卫星高度等因素有关。

单颗卫星对地面的几何如图 1 所示。 E 是地面对卫星的最小仰角; R_e 为地球平均半径; h 为卫星轨道高度; α 为覆盖地心角的一半,即星下点和最小仰角对应地面点相对于地心的夹角,此地心角 α 为:

$$\alpha = \arccos \left[\frac{R_e}{R_e + h} \cos E \right] - E \quad (1)$$

X 为卫星的覆盖半径:

$$X = R_e \sin \alpha \quad (2)$$

卫星的覆盖面积为:

$$A = 2\pi R_e^2 (1 - \cos \alpha) \quad (3)$$

卫星覆盖情况可以分为地球固定小区、卫星固定小区系统 2 种。地球固定小区系统是指对于地球表面来说,卫星覆盖区域范围不变,而对于卫星来说,其波束指向不断变化;卫星固定小区系统是指相对于卫星,其波束指向不变,而对于地面的覆盖范围会根据卫星的移动而变化。目前,包括铱星和全球星在内的大多通信系统卫星都采用卫星固定小区系统(Satellite Fixed Cell System, SFCS),以及多波束阵列天线技术来实现星地通信^[6]。由于多波束天线具备提供更高的增益、实现对地面的等通量覆盖等优势,在卫星通信技术的研究中得到不断发展^[7]。多波束技术的使用,将一个卫星覆盖范围分为多个波束小区,一般相邻波束之间有重叠部分。

考虑圆轨道卫星绕地球运动具有其周期性,以及固定轨道运动带来的轨道可预测性,对单颗卫星覆盖模型进行简化,如图 2 所示,以最简单的 7 小区模型为例。假设每个波束覆盖范围简化为矩形,卫星覆盖范围内用户满足均匀分布,其运动速度一定,与卫星运动呈反向运动,始终是从第 $i(i=N, N+1, \dots, N+5)$ 个小区切换到第 $i+1$ 个小区,同时第 $N+6$ 个小区内用户切换到的下一个小区为第 N 个小区。

2 信道资源分配

2.1 典型信道分配策略^[5-15]

1) 无优先策略

无优先策略是指将新呼叫与切换呼叫同等对待,呼叫到达时,一个新呼叫接入成功的概率与一个切换成功的概率相同,2 种呼叫均根据呼叫的先后顺序共同竞争使用系统所有信道资源。因此,假设一个波束覆盖小区内一共有 C 个信道,当呼叫到达时,不管该呼叫是新呼叫还是切换呼叫,若是该波束存在空闲信道,则可以成功接入该呼叫,否则,则呼叫阻塞。

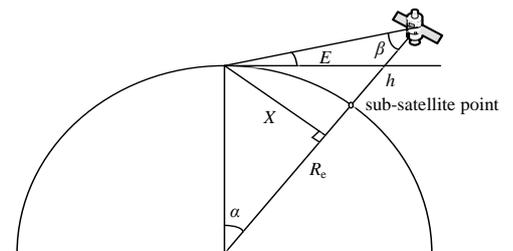


Fig.1 Circular orbit satellite's coverage characteristics
图 1 圆轨道卫星覆盖特性示意图

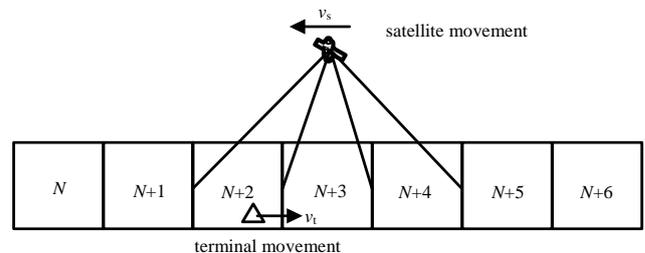


Fig.2 7 Cells' coverage model of satellite
图 2 卫星 7 小区覆盖模型

2) 信道预留策略

在通信服务中, 对于一个完整的呼叫来说, 呼叫中断比起一开始呼叫就未接入更让人难以接受, 为了使切换呼叫更好地接入系统, 提出了信道预留策略。该策略是预留小区中的一部分信道只为切换呼叫提供服务, 而其余信道为新呼叫和切换呼叫公平竞争使用。假设一个波束覆盖小区内一共有 C 个信道, 其中预留 K 个信道为切换专用, 剩余 $(C-K)$ 个信道为新呼叫和切换呼叫共同竞争使用。当一个呼叫申请接入时, 若该呼叫为新呼叫, 当剩余 $(C-K)$ 个信道有空闲信道, 则接入成功, 否则, 新呼叫阻塞; 若该呼叫为切换呼叫, 首先查看 $(C-K)$ 个普通信道是否有空闲信道, 若有空闲信道则成功切换, 若无空闲信道, 则再查询 K 个预留信道是否存在空闲信道, 若有则切换成功, 否则切换失败。

信道预留策略根据其预留信道数是否可变分为 2 种, 即固定信道预留策略和动态信道预留策略。固定信道预留策略首先根据实际通信情况通过计算得到信道预留数, 一旦设定将不再进行改变。这种策略在某种程度上对于切换失败率可以有效抑制, 但是依旧存在缺陷, 当切换呼叫过少时, 会造成信道资源浪费, 而切换呼叫过多时, 依旧会产生较高的切换失败率。因此, 在固定信道预留的基础上, 开始研究动态信道预留策略。动态信道预留实时对预留的信道数进行改变, 根据实际情况动态确定预留信道数, 相较于固定信道预留, 能够减少信道资源的浪费。动态信道预留根据确定预留信道的标准的不同, 分为逐呼叫预留和基于参数预测的预留 2 种类型。逐呼叫预留要求一个呼叫接入系统前, 必须先确定其可能切换到的小区中同样存在空闲信道并为其进行预留, 该方法同样会造成信道资源浪费; 基于参数预测的预留策略通过系统参数的实时预测调整预留信道数。

3) 排队策略

由于信道预留策略降低了新呼叫接入成功率, 为了提高新呼叫接入成功率, 提出一种针对新呼叫的排队策略。当呼叫所在波束覆盖小区的普通信道无空闲时, 首先将该新呼叫进行排队, 相对应设置可接受的排队等待时间, 在等待时间内, 若有信道释放, 则可以依据排队次序接入, 若等待时间结束依旧没有可用空闲信道, 则接入失败。

2.2 多优先级用户终端信道预留策略

对于融合 5G 的天地一体化的信息网络相关技术的研究, 其应用场景多种多样, 机载、船载、车载、手持终端等均希望可以得到该网络的通信服务, 而不同的呼叫对于通信服务质量的需求是不同的。因此, 对于各种不同的终端进行其呼叫的接入、切换考虑时, 根据各自不同的呼叫服务需求进行优先级排序, 优先级越高, 考虑其服务质量需求更高。在此, 考虑信道预留的方法, 对于每一种呼叫类型及其切换呼叫类型进行可接入信道数门限值的设定, 而根据门限值是否可以动态变化, 分为固定信道预留策略与动态信道预留策略。

假设一个波束覆盖小区下一共有 C 个信道, 在该覆盖范围内一共有 s 种呼叫类型, 根据呼叫类型划分为 s 个优先级, 表示为 $S=(1,2,\dots,s)$ 。每个类型的呼叫根据是否为新产生的分为新呼叫和切换呼叫, 考虑切换呼叫比新呼叫的优先级高, 因此设定 $2s$ 门限值, 表示为 $K=(k_1,k'_1,k_2,k'_2,\dots,k_s,k'_s), 0 \leq k_1 \leq k'_1 \leq k_2 \leq k'_2 \leq \dots \leq k_s \leq k'_s \leq C$ 。一般考虑小区信道利用率尽量大, 设定 $k'_s=C$ 。当一个呼叫 i 需要接入的时候, 若该呼叫为新呼叫, 当空闲信道数低于门限值 k_i 时, 可以成功接入, 否则失败; 若该呼叫为切换呼叫, 当空闲信道数低于门限值 k'_i 时, 可以成功切换, 否则失败。

1) 多优先级固定信道预留

多优先级固定信道预留与固定信道预留策略类似, 将门限值 K 提前设定好, 不考虑不同时期的通信量问题, K 在之后的运行过程中不再进行改变。策略流程图如图 3 所示。

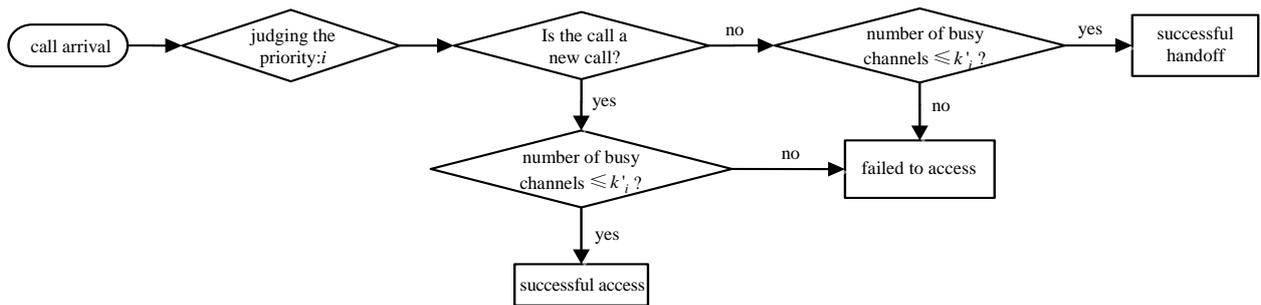


Fig.3 Flow chart of multi-priority fixed channel reservation strategy
图 3 多优先级固定信道预留策略流程图

2) 多优先级动态信道预留

固定信道预留由于其门限值 K 不可改变, 若某一时刻产生某一类需要接入呼叫数很多, 而其余种类呼叫中存在呼叫数较少的情况, 则可能导致呼叫接入切换成功率不理想同时信道利用率过低, 即可能导致增加接入阻塞率以保证切换成功率。而换一个角度进行思考, 当产生接入阻塞率过高, 导致接入的新呼叫数量过少的情况时, 由于新呼叫接入过少, 会导致切换呼叫总数减少, 切换呼叫的失败率很低, 但是预留给切换呼叫的专用信道一定, 可能产生信道浪费过多的现象。因此考虑使用动态信道预留, 根据不同时刻不同种类的呼叫数的情况对门限值 K 进行划分, 尽可能使得各优先级的接入切换阻塞率更低, 服务质量更好。

多优先级动态信道预留策略根据不同时间下各类呼叫服务的通信量情况对门限值 K 进行动态调整。以 dt 为参考时间步长, 对于每一个 dt 时间段内的各类呼叫接入、切换数进行统计, 根据各自优先级新呼叫与切换呼叫总体比例情况进行信道预留门限值 K 的确定。预留 B 个信道为基础普通信道, 将剩余 $(C-B)$ 个信道用于分配预留信道。假设呼叫比例 R 表示为 $R=[r_1, r_2, \dots, r_{2s}]$, 根据优先级 K 的表示, R 中下标为奇数的表示新呼叫数比例, 下标为偶数的表示切换呼叫数比例, 相邻门限值之间的差由 $R \times (C-B)$ 获得, 由此得到每一时刻的动态门限值。

另外, 考虑更好的通信质量, 需要对系统的服务质量进行计算。定义服务质量 Q_{os} 受新呼叫接入阻塞率以及切换失败率影响, 公式如下:

$$Q_{os} = \alpha_0 \sum_{i=1}^s \beta_i P a_i + \alpha_1 \sum_{i=1}^s \beta_i P h_i \quad (4)$$

式中: α_0, α_1 分别为新呼叫与切换呼叫在服务质量中的权重系数; $\beta_i (i=1, 2, \dots, s)$ 为每个优先级对应的权重系数; $P a_i, P h_i$ 分别为接入阻塞率和切换失败率。由于该服务质量由接入阻塞率以及切换失败率构成, 所以对应的服务质量数值越低, 其服务质量越高。

3 仿真结果及分析

针对卫星通信系统中多业务场景下的仿真, 假设卫星轨道高度 800 km 左右, 即卫星速度约为 7.44 km/s, 考虑不同用户终端速度不同, 为仿真相对简便, 设定 3 个优先级, 对应为普通用户、高级用户以及特殊用户, 并分别为 3 个优先级中的用户设定 3 个速度 0 m/s, 30 m/s, 1500 m/s。每颗卫星含 7 个波束覆盖小区, 小区模型如图 2 所示, 每个波束相对于用户的覆盖范围大小半径设定为 330 km, 用户位置均匀分布。呼叫到达服从泊松过程, 每个呼叫通话持续时间满足负指数分布, 同时考虑每个优先级中的用户终端个数差异, 设定各类终端呼叫个数占比(根据优先级由低到高)为 0.6, 0.3, 0.1。具体参数设置统计如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

Table 1 Simulation parameter settings

parameter	value	parameter	value
number of low orbit satellites	120	average call duration/s	180
number of orbits	12	simulation time/s	360
type of orbit	polar orbit	channel number of single beam	50
height of orbit/km	800	beam number of single satellite	7
satellite speed/(km/s)	7.44	user priority series	3
UE speed/(m/s)	0,30,1 500	percentage of calls per priority user(priority from low to high)	0.6,0.3,0.1
single beam coverage radius/km	330	fixed channel reserved threshold K	[20 26 32 38 44 50]

针对不同的呼叫到达率(从每个波束每秒平均 0.5 个新呼叫到达到每个波束每秒平均 10 个新呼叫到达), 分别对多优先级固定信道预留(Multi-Priority Fixed channel Reservation, MPFR)以及多优先级动态信道预留(Multi-Priority Dynamic channel Reservation, MPDR)进行仿真, 最终得到仿真结果如图 4、图 5 所示。

另外, 考虑服务质量的计算, 在仿真中, 对服务质量进行求解, 根据各类优先级情况以及切换比新呼叫更让人看重 2 方面进行考虑, 设定各个系数值为: $\alpha_0=0.4, \alpha_1=0.6, \beta_1=0.2, \beta_2=0.2, \beta_3=0.2$ 。

图 4 为各优先级用户的新呼叫接入阻塞以及切换失败率情况, 并对 2 种预留策略下的接入阻塞率以及切换失败率分别进行比较。由仿真结果可以发现, 对于普通用户以及高级用户的接入、切换性能来说, 多优先级动态信道预留策略较固定信道预留得到的结果稍好, 接入阻塞率以及切换失败率均有所下降; 对于特殊用户来说, 其接入阻塞率得到了降低, 而切换失败率随着业务量的增加有所上升, 但是根据其具体数值可以发现, 上升得并不多, 同时直到业务量达到 10 个/s, 其切换失败率依旧处于 10% 以下, 且 2 种策略下的切换失败率在动态情况下相对于固定预留只提高了约 1%。

图 5 为根据接入阻塞率和切换失败率计算得出的服务质量数值, 可以发现多优先级固定信道预留与多优先级下的动态信道预留策略服务质量相差不大, 但是多优先级动态信道预留策略下的服务质量更好。

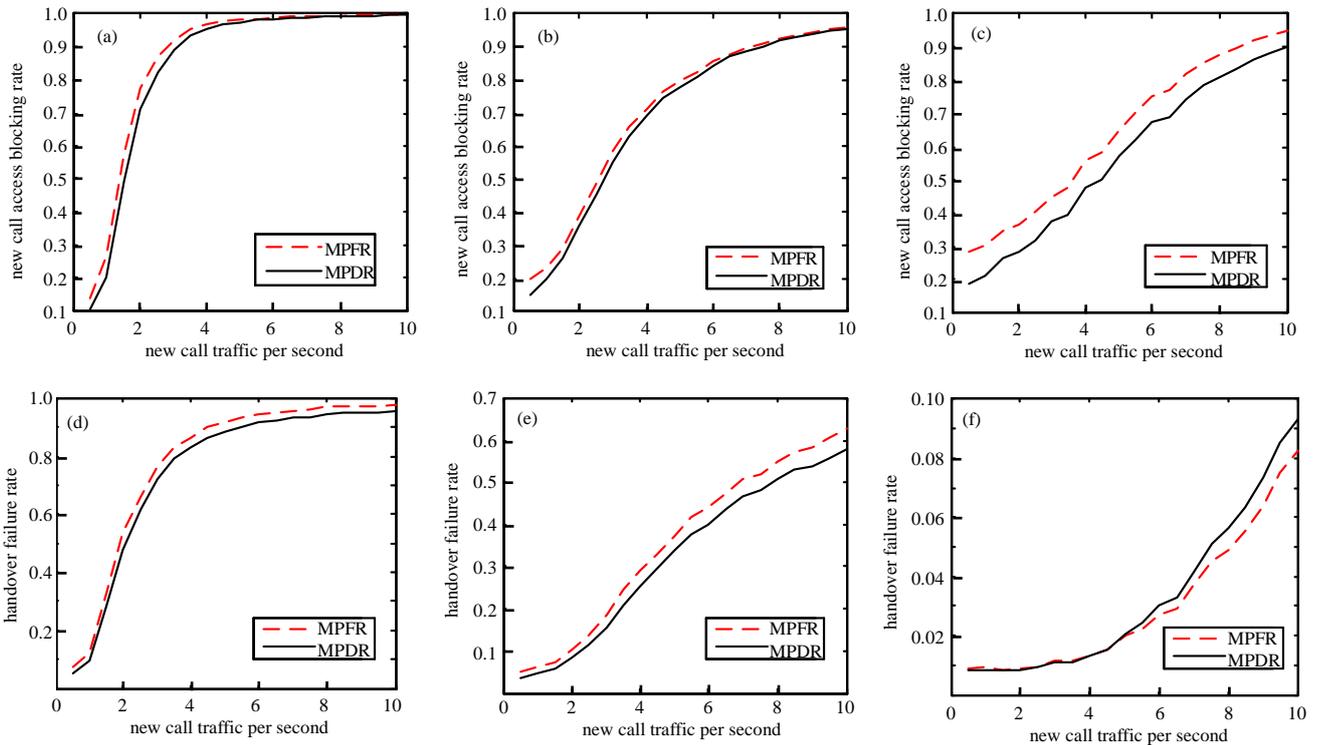


Fig.4 Simulation comparison of MPFR and MPDR
图 4 多优先级固定信道预留与动态信道预留仿真比较

4 结论

本文基于与地面融合的天地一体化网络技术的研究,对多场景下卫星通信系统中的接入切换进行了研究,考虑多用户场景,对各用户终端进行优先级划分,对多优先级的信道分配策略进行仿真分析。以新呼叫到达率(平均每秒钟到达新呼叫数)作为变量,对多优先级固定信道预留策略与多优先级动态信道预留策略下的接入阻塞率以及切换失败率进行仿真,并根据接入阻塞率与切换失败率计算得到服务质量曲线。随着用户新呼叫业务量的增加,接入阻塞率和切换失败率均不断增加。对比 2 种预留策略,单独观察每个优先级用户的接入切换情况,如第 3 节所分析,大部分性能得到提升,有的性能存在下降的情况,但整体来说,根据服务质量曲线来看,多优先级动态信道预留策略得到的效果要更好一些。

参考文献:

[1] ZHOU Jian, YE Xiaoguo, PAN Yong, et al. Dynamic channel reservation scheme based on priorities in LEO satellite systems[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2015, 26(1):1-9.
 [2] 刘为, 温文坤. 卫星通信系统中基于小区间协作的切换方法[J]. 计算机工程与设计, 2015(8):2040-2044, 2068. (LIU Wei, WEN Wenkun. Inter-cell collaboration based handover scheme in satellite mobile communication system[J]. Computer Engineering and Design, 2015(8):2040-2044, 2068.) DOI:10.16208/j.issn1000-7024.2015.08.008.
 [3] 朱立东, 吴廷勇, 卓永宁. 卫星通信导论[M]. 4 版. 北京:电子工业出版社, 2015. (ZHU Lidong, WU Tingyong, ZHUO Yongning. Introduction to satellite communication[M]. 4th ed. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2015.)
 [4] ELBERT B R. The satellite communication applications handbook[M]. 2nd ed. Boston, London:Artech House Incorporated, 2004.
 [5] ELBERT B R. Introduction to satellite communication[M]. 2nd ed. Boston, London:Artech House Incorporated, 1999.

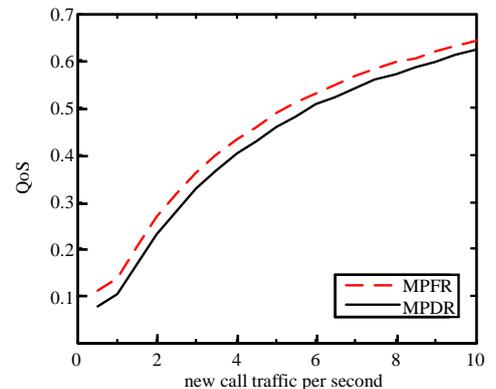


Fig.5 Quality of Service(QoS)
图 5 服务质量

- [6] 杨斌,何锋,靳瑾,等. LEO 卫星通信系统覆盖时间和切换次数分析[J]. 电子与信息学报, 2014,36(4):804–809. (YANG Bin, HE Feng, JIN Jin, et al. Analysis of coverage time and handoff number on LEO satellite communication systems[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2014,36(4):804–809.)
- [7] 赵星惟,吕源,刘会杰,等. LEO 通信卫星多波束天线构型方案设计[J]. 中国科学院研究生院学报, 2011,28(5):636–641. (ZHAO Xingwei, LYU Yuan, LIU Huijie, et al. Design on configurations of multi-beam antenna of LEO communication satellite[J]. Journal of Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2011,28(5):636–641.)
- [8] 董燕. 低轨卫星移动通信系统中的信道分配策略研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2007. (DONG Yan. Research on channel allocation strategy in LEO satellite mobile communication systems[D]. Wuhan, China: Huazhong University of Science and Technology, 2007.)
- [9] 阳宇伽. 低轨卫星通信系统的信道分配[D]. 成都:电子科技大学, 2009. (YANG Yujia. Channel allocation for LEO satellite communication systems[D]. Chengdu, China: University of Electronic Science and Technology of China, 2009.)
- [10] YI Xu, DING Quanlong, CHI Chung Ko. Dynamic channel reservation in satellite-based wireless personal communication networks[J]. Integrated Computer-Aided Engineering, 2002,9(4):345–362.
- [11] 王益辉,朱立东,吴诗其. LEO 卫星通信系统中的一种信道动态预留策略[J]. 电子科技大学学报, 2006,35(5):721–724. (WANG Yihui, ZHU Lidong, WU Shiqi. A dynamic channel reserve strategy for LEO communication system[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2006,35(5):721–724.)
- [12] RAHMAN M, WALINGO T, TAKAWIRA F. Adaptive handover scheme for LEO satellite communication system[C]// IEEE Africon2015. Addis Ababa, Ethiopia: IEEE, 2015:1–5.
- [13] 陈立明. 低轨卫星移动通信系统的信道分配与切换管理策略研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2010. (CHEN Liming. Research on the channel allocation and handover management scheme of LEO satellite mobile system[D]. Harbin, China: Harbin Institute of Technology, 2010.)
- [14] 唐良瑞,杨安坤,杨雪. 基于信道预留和强占优先的接力切换策略[J]. 电子学报, 2011,39(6):1285–1290. (TANG Liangrui, YANG Ankun, YANG Xue. A baton handover strategy based on channel reservation and preemptive priority[J]. Acta Electronica Sinica, 2011,39(6):1285–1290.)
- [15] 王晶,管雪涛,杨春,等. CBLA:多信道无线网状网络负载感知的分簇式信道分配[J]. 电子学报, 2010,38(3):546–551. (WANG Jing, GUAN Xuetao, YANG Chun, et al. CBLA: cluster-based load-aware channel assignment for multi-channel wireless mesh networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2010,38(3):546–551.)

作者简介:



汤 辉(1985–), 男, 南昌市人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为测控通信. email: balatanghui@163.com.

邹钦羊(1984–), 女, 重庆市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为卫星接入切换技术.

朱立东(1968–), 男, 四川省邻水县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为卫星通信、资源管理和移动性管理、信号处理、信道建模与仿真等.

李 婷(1986–), 女, 湖南省衡阳市人, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为卫星通信、天地一体化网络等.