

低轨星座卫星通信系统中多业务条件下的非充分保证切换策略

刘彦辰^① 马东堂^① 丁丁^① 蔡理金^②

^①(国防科技大学电子科学与工程学院 长沙 410073)

^②(通信指挥学院 武汉 430010)

摘要: 该文提出了一种适用于低轨星座卫星通信系统多业务条件下的非充分保证切换策略。该策略在小于一个小区最大驻留时间的间隔内为到达小区的呼叫安排和预定信道,在呼叫结束环节作为补充策略对存在切换失败风险的信道进行调整。提出了策略在多业务条件下具体的实施方法,根据实时的切换呼叫性能调整策略的非充分程度。通过仿真,分析比较了不同程度非充分保证切换策略的QoS性能,验证了动态自适应调整非充分程度值的IGH策略的有效性。仿真结果表明,相对于保证切换策略,新策略以存在微小切换失败概率为代价,换取了新呼叫阻塞概率的显著降低,是一种适用于多业务低轨卫星通信系统的信道分配策略。

关键词: 低轨星座通信系统; 信道分配; 切换管理; 非充分保证切换策略

中图分类号: TN927

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)07-1565-06

An Insufficiently Guaranteed Handover Scheme Used in Multi-service LEO Constellation Communication System

Liu Yan-chen^① Ma Dong-tang^① Ding Ding^① Cai Li-jin^②

^①(School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

^②(Commanding Communication Academy, Wuhan 430010, China)

Abstract: A non-sufficiently guaranteed handover scheme for multiple services is proposed in this paper. Under this scheme, the channels will be allocated and reserved for the arriving calls to be served when an interval is less than the maximum cell residence time. And when the calls are terminated, the allocation strategy will be adjusted for those associated channels facing the risk of handover failure. At the mean time, the degree of non-sufficient guarantee is adjusted periodically according to real-time performance of the handover calls. Through simulation, the QoS of the proposed strategy are analyzed under different degrees of non-sufficient guarantee, and the efficiency for multiple services is thus verified. The simulation results show that, the proposed channel allocation strategy (IGH) can significantly reduce the new call blocking probability, at the expense of slight handover failure probability. Therefore, compared with the guaranteed handover scheme, IGH is more suitable for multi-service LEO constellation communication system.

Key words: Low earth orbit constellation communication system; Channel assignment; Handoff management; Insufficiently Guaranteed Handover (IGH) scheme

1 引言

在低轨(Low-Earth Orbit, LEO)星座卫星通信中,卫星相对地面高速运动,导致呼叫用户在卫星多波束间频繁切换,低轨星座通信的这一特点决定了信道切换策略的重要性。传统策略通过保证切换或优先切换等手段降低呼叫切换失败概率,保证通话服务质量^[1-4]。在保证切换(Guaranteed Handover, GH)策略中,当新呼叫到达并请求系统分配信道时,系统仅当能够保证新呼叫在本小区和下一小区都享有空闲信道时才接受此呼叫^[1]。作为

一种典型的保证切换策略,在基于时间信道预留算法(Time-based Channel Reservation Algorithm, TCRA)中,系统仅需保证新呼叫在一个小区最大驻留时间间隔内无掉话,即可接入此呼叫。与传统的GH相比,该策略在保证呼叫零切换失败的同时,大幅降低了新呼叫阻塞概率^[2]。然而,这类策略的新呼叫性能仍旧不够理想,不能有效利用有限的信道带宽,且基于TCRA的研究仅停留在单一的语音业务方面。为满足现阶段LEO星座卫星通信要求,寻求一种多业务条件下可均衡系统切换成功率和呼叫阻塞两方面性能的信道分配策略是有意义的。

本文提出的非充分保证切换(Insufficiently

表1 GH策略与IGH策略对比情况

小区信道	GH策略				IGH策略			
	使用记录		预定记录		使用记录		预定记录	
	开始时间	结束时间	开始时间	结束时间	开始时间	结束时间	开始时间	结束时间
A小区c信道	T_{now}	T_{ho}	空	空	T_{now}	T_{st2}	空	空
B小区d信道	空	空	T_{ho}	T_{st1}	空	空	空	空

Guaranteed Handover, IGH)策略, 在小于一个小区最大驻留时间的时间间隔内为到达小区的呼叫安排和预定信道, 在呼叫结束环节对信道的预定记录进行调整, 通过阶段性测量系统切换失败概率动态调整策略的非充分程度。仿真结果表明, 新策略在增大了系统可容纳用户数量的同时, 保证较低的切换失败概率, 且在多业务条件下性能良好, 切实可行。

2 非充分保证切换策略

2.1 移动性模型

目前, 已提出多种适用于LEO星座通信系统仿真分析的移动性模型^[5-7]。为节约资源和时间, 又不失研究结果的准确性, 本文选择一种简化的一维LEO卫星通信系统移动性模型。如图1, A-G为卫星多波束天线在地面形成的彼此相连的方形小区。模型假设小区固定不动, 小区中所有用户沿着与卫星相对于地面运动方向相反的方向以相同的速率运动。由于LEO卫星波束相对地面运动速率很高, 呼叫用户的运动速率可忽略不记, 因此模型中用户运动速率大小与卫星星下点速率相同。模型中假设用户位置信息可知, 那么在明确了用户的移动速率和方向后, 其即将穿越的下一小区和切换的时间都可被预测。针对低轨卫星通信用户实时位置的确定性, 可采取相应的策略为本小区和即将切换至本小区的用户在对应的时间间隔内准确地安排信道。

2.2 非充分保证切换(IGH)策略

类似于GH策略, IGH策略也为新到达呼叫在本

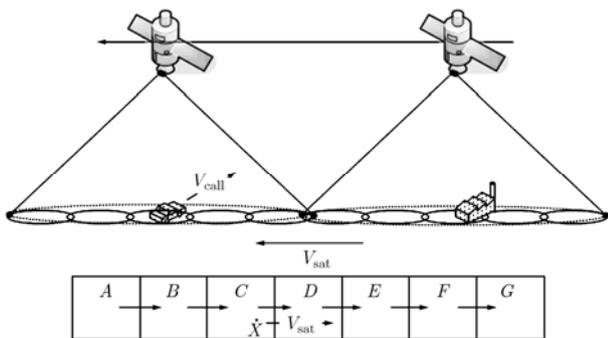


图1 低轨卫星通信系统移动性模型

小区和下一切入小区预定信道。但不同的是, 新策略为呼叫安排预定信道的总时间 T 为 $T_{max} \times ratio$ 。其中, $T_{max} = R/V_{sat}$, R 为小区直径, V_{sat} 为卫星移动速度; $ratio$ 被称为分配信道的非充分程度值, 它的取值范围为 $(0, 1]$ 。表1举例说明某时刻GH与IGH两种策略为同一类型呼叫安排信道的情况, 其中, GH策略采用TCRA这一改进算法。如表1所示, 两种策略在同一个小区A中的通话呼叫都使用c信道, 如果需要在B小区预定, 使用B中的d信道。GH策略为呼叫安排c信道的起止时间为 (T_{now}, T_{ho}) , 为呼叫预定d信道的起止时间为 (T_{ho}, T_{st1}) ; IGH策略为呼叫在小区A中安排c信道的起止时间为 (T_{now}, T_{st2}) 。其中, T_{now} 为当前时间, T_{ho} 为呼叫的下一切换时间, GH策略中系统为每次呼叫安排信道的总时间 $T_{max} = T_{st1} - T_{now}$, IGH策略中系统为呼叫安排信道的总时间 $T = T_{st2} - T_{now}$ 。例子中IGH为用户安排预定信道的结束时刻 T_{st2} 小于用户切换时刻 T_{ho} , 因此系统无需在小区B中预定信道。实际情况若满足这一条件, 相比GH策略, IGH策略使得小区B中的信道d没有使用和预定的记录, 则该信道仍可接受新到达呼叫使用或预定信道的请求。新策略增大了系统可接纳的呼叫个数。

IGH策略的非充分预定信道这一特点, 决定了其为呼叫安排预定信道的总时间小于一个小区最大驻留时间。虽然此做法增大了系统可容纳用户的数量, 但却为个别呼叫切换失败留下隐患。为了弥补新策略的这一不足, 策略在呼叫结束阶段采取补充策略对小区信道进行调整。补充策略原理如图2, 其中 U, V, W 等分别为小区中正在通话用户; CN_i 和 CN_j 等为用户使用和预定信道的信道编号。表2代表非充分预定信道数据库。如图假设, 根据策略的非充分特性, 信道 CN_i 被用户 U 预定的开始时间 T_3 小于被用户 V 使用的结束时间 T_2 , 这表明用户 U 存在切换失败风险。系统为每个小区建立一个非充分预定信道数据库, 记录由于非充分预定导致的存在切换失败风险的信道编号, 及这些信道被预定的起止时间, 称为风险预定时间。当 W 结束呼叫并释放信道资源时, 系统对充分预定信道数据库进行搜索, 若发

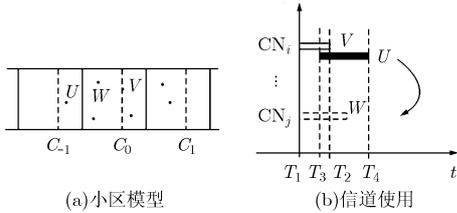


图2 非充分保证切换的补充策略

表2 非充分预定信道数据库

信道编号	预定开始时间	预定结束时间
...
CN _i	T ₃	T ₄
...

现释放信道在风险预定时间内空闲，调整相应信道至被释放信道，清除信道库中相应记录。

IGH 策略在降低 GH 策略的新呼叫阻塞概率的同时，影响了其呼叫切换性能。应用补充策略可有效降低新策略的切换失败率，进一步提高新策略的 QoS。图 3 为相同模型下分别使用 GH 策略、未使用补充策略的 IGH 策略和使用补充策略的 IGH 策略作为信道分配策略时，系统新呼叫阻塞概率(P_n)和切换失败概率(P_h)两方面性能的仿真比较(模型参数参考第 4 节)。仿真在同等条件下进行，只考虑单一的语音业务。结果表明，两种 IGH 策略都降低了新呼叫阻塞概率，但未使用调整补充策略的 IGH 切换失败率很高，业务量密度为 12 erl(爱尔兰)时其达到 2.9×10^{-3} 。而最终使用了呼叫结束后调整信道方法的 IGH 策略表现出较好的切换性能，切换失败率在业务量为 12erl 时仅为 8.5×10^{-4} ，且相比 GH 策略也能较为明显地降低系统新呼叫阻塞概率，可作为提高 GH 策略资源利用率的改进策略。

3 多业务条件下的非充分保证切换策略

随着卫星通信技术的发展，单一的语音通话业务已经无法满足人们的需要，多业务条件下的卫星通信技术日趋成熟。目前，可将提供给低轨卫星通信系统的业务分为第 1 类实时业务(Class I)和第 2

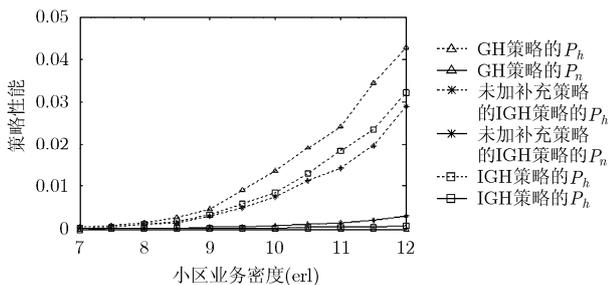


图 3 几种策略切换和新呼叫性能比较

类非实时业务(Class II)两种^[8]。第 1 类业务主要包括语音和视频应用等，其对于时延更加敏感，且要求通信系统能为其提供持续的信道带宽保证；第 2 类业务主要包括电子邮件和短消息服务等，其对于数据的传输时延要求相对宽松。

对于第 1 类业务，本文提出的 IGH 策略主要采取第 2 节介绍的分配和预定信道方法。针对第 2 类业务的特点，策略对其采取不预定信道的方法。当第 2 类业务新呼叫到达时，如果系统在本小区中能够为呼叫提供期望的带宽信道数量 M_1 就将其接入系统，但不在下一小区预定信道；当切换呼叫到达时，如果小区能够为业务提供其要求的最小信道数量 M_2 即接受呼叫的切换请求，否则拒绝请求。此做法节省了信道资源，使第 1 类业务的切换性能尽量少受第 2 类业务接入的影响，同时，由于接入时考虑了第 2 类业务的期望带宽要求，因此也为第 2 类业务提供了较好的 QoS 保证。

下面在多业务条件下，就新呼叫到达、切换呼叫到达和呼叫结束 3 个具体环节对 IGH 策略具体实施过程进行描述。

新呼叫到达阶段，如图 4，系统首先判断新呼叫为何种业务。当新呼叫为第 1 类业务时，系统首先安排本小区中已被预定但在(T_{now}, T_{ho})内空闲的信道。其中， T_{now} 和 T_{ho} 可由新呼叫接入时用户的位置确定。若系统不存在此类信道，则为呼叫安排完全空闲没有预定记录的信道。若小区中没有上述两类信道，则新呼叫被阻塞。之所以首先使用有预定记录的信道，是为尽量空出空闲信道，进而使系统能够接受更多的新呼叫请求。在确定本小区存在可为呼叫分配的信道后，系统在下一小区查找($T_{handoff}, T_{now} + ratio \times T_{max}$)时间段内是否存在没有

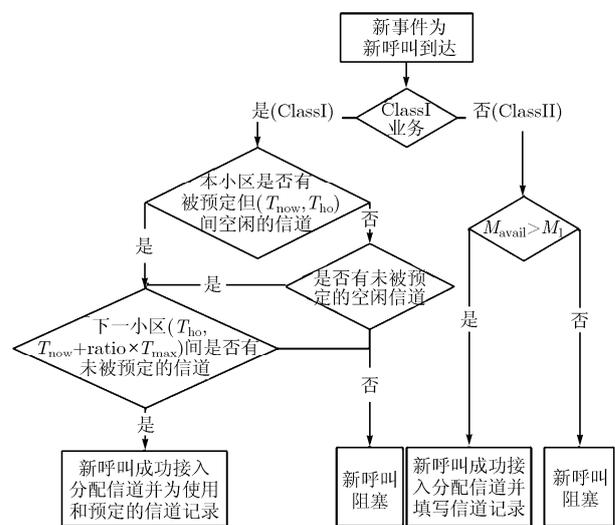


图 4 新呼叫接入流程框图

预定记录的信道。若存在，接受新呼叫请求，分配相应信道，并在相应信道记录被使用和预定的起止时间；否则阻塞新呼叫。当新呼叫为第2类业务，若空闲信道数量 $M_{avail} > M_1$ ，则新呼叫成功接入，分配信道，并填写信道记录；否则阻塞新呼叫。

切换到达阶段，如图5。当到达为第1类切换业务时，判断切入小区在 $(T_{now}, T_{now} + T)$ 间是否存在空闲信道，存在空闲信道则切换成功，分配信道并填写信道记录，否则切换失败。当到达为第2类切换业务时，若 $M_{avail} >$ 第2类业务所要求的最小信道数量 M_2 ，则切换成功并尽量为业务分配其期望的 M_1 个信道，为信道记录使用相关时间；否则第2类业务切换失败。

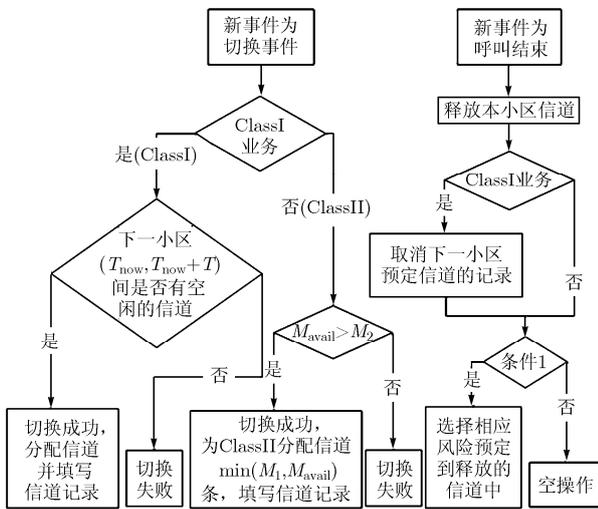


图5 切换接入和呼叫结束流程框图

在切换阶段，IGH策略不在下次切入小区为呼叫预定信道，这由策略的非充分特点决定，也是与GH的不同之处。当第1类业务距切换剩余时间为 T 时，系统向下一小区发送预定信道请求。由于IGH的非充分预定，小区中的信道存在这样的记录，即使用信道的终止时间 $>$ 其他呼叫的预定开始时间。系统根据新呼叫、切换时使用和预定信道的记录，找到这些信道，在每个小区建立存在切换失败风险的信道库 D ，记录此类预定的起止时间。

当呼叫结束时，如图5，系统释放呼叫所使用的信道。如果呼叫为第1类业务，需清除预定信道记录。在相应小区的非充分预定信道库 D 中进行搜索，寻找 D 中预定起止时间在释放信道的空闲时间以内的信道(图5中条件1)，若存在这类信道，将其预定记录调整至呼叫结束所释放的信道中。

为了在实际应用中确定一个合适的 $ratio$ 值，策略采用一种自适应确定 $ratio$ 值的方法，即根据实时

的切换失败概率值调整 $ratio$ 取值。确定 $ratio$ 值的具体方法如下：在采用IGH策略进行信道分配的过程中，每经历一个时间间隔 T_x ，计算 T_x 间系统产生的切换失败概率 P_h 。若 P_h 大于系统所要求的切换失败概率值 P_x ，令 $ratio$ 增加一个梯度值 Δr ；否则，策略认为仍可进一步充分利用信道，令 $ratio$ 减小一个梯度值 Δr 。

4 仿真与分析

4.1 仿真模型

本文中的仿真建立在7小区网络模型之上，如图1，在7小区模型中用户终端按照从小区A到小区G的顺序切换，G中用户的目的切换小区是A。7小区模型可为仿真提供足够的精度，且复杂度低于采用98小区的移动性模型^[7]。

仿真中假设：小区长度为250 km，卫星星下点速度为27000 km/h，采用固定信道分配，每个小区平均分配20条信道。两种业务的新呼叫到达时间都服从泊松分布，新呼叫用户出现位置服从均匀分布；用户通话持续时间服从负指数分布。第1类业务持续呼叫的平均时长为180 s；第2类业务单信道持续呼叫平均时长为60 s，业务期望信道数 $M_1 = 3$ ，业务要求的最小信道数 $M_2 = 1$ 。

4.2 仿真结果和分析

首先，比较固定 $ratio$ 值的IGH和GH两种策略在通信过程中新呼叫阻塞概率和切换失败概率两方面性能。仿真时间为24 h，第2类业务的业务量取4，观察不同策略在第1类业务量变化的情况下的两种业务的切换失败概率和新呼叫阻塞概率的变化，结果符合理论分析。如图6， $ratio$ 取值为1的IGH策略(即为GH策略)，第1类业务无切换失败，但新呼叫失败概率较高。随着 $ratio$ 值的降低，第1类业务的切换失败概率有所升高，但新呼叫阻塞概率显著降低。图7为第2类业务量不变，第1类业务量升高时，第2类业务的新呼叫和切换性能。几种策略对于第2类的QoS性能几乎一样，这是由于策略对第2类业务采取的信道分配方法相同。

之后，本文对自适应调整 $ratio$ 值的IGH策略进行仿真。仿真中IGH策略测量切换失败概率的时间间隔 T_x 取2 h，系统要求的 P_h 最大值取 10^{-3} ， $\Delta r = 0.02$ ，仿真时间为48 h， $ratio$ 的初始值取1。两次仿真的第1类业务量密度分别取10和15 erl，第2类业务量密度取4 erl。如图8，当第1类业务量密度取10 erl时，随着仿真时间的推进， $ratio$ 值不断减少，直至0.72上下趋于稳定。第1类业务的切换失败概率保持在 10^{-3} 上下，新呼叫阻塞率比GH

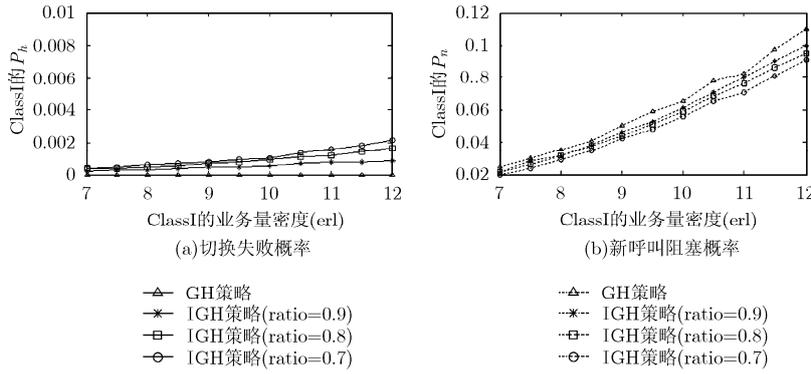


图 6 IGH 策略与 GH 策略在第 1 类业务方面的性能比较

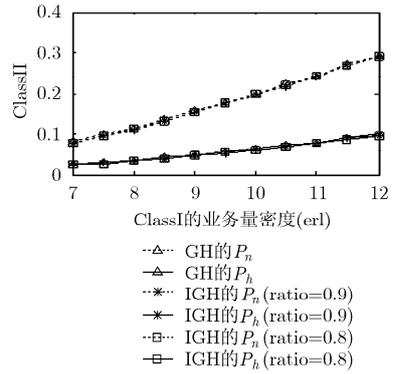


图 7 IGH 策略与 GH 策略在第 2 类业务方面 QoS 性能比较

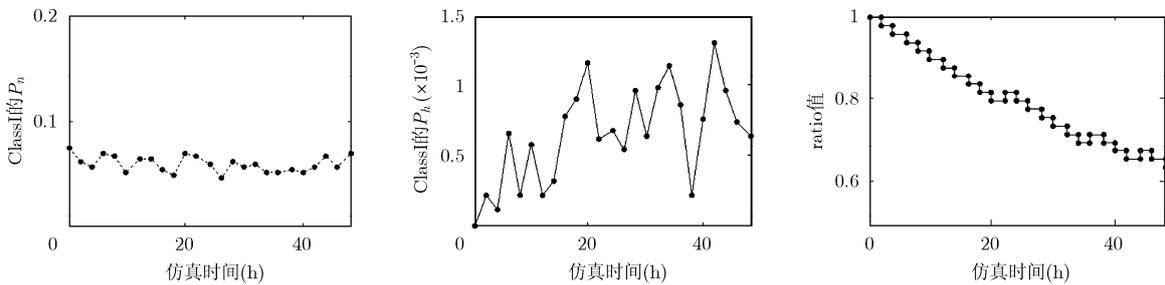


图 8 Class I 类, Class II 类业务密度分别取 10 和 4 时, Class I 类业务性能及 ratio 值的变化

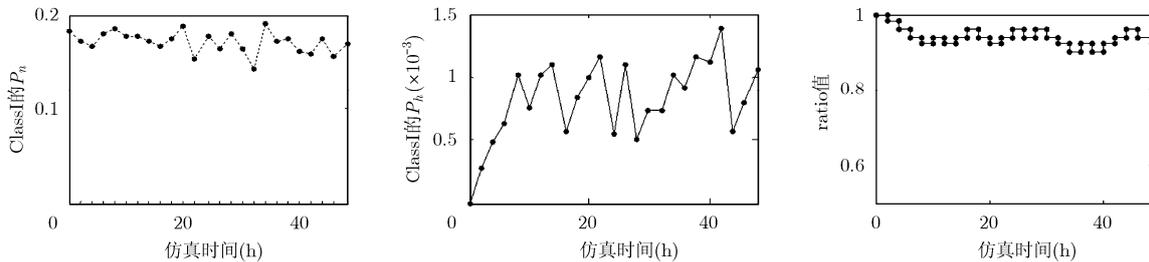


图 9 Class I 类, Class II 类业务密度分别取 15 和 4 时, Class I 类业务性能及 ratio 值的变化

策略的新呼叫阻塞概率有所降低。如图 9, 当第 1 类业务密度增至 15 时, ratio 值最终在 0.92 上下趋于稳定, 第 1 类业务切换失败率基本满足系统要求。由于业务量增大, 新呼叫阻塞概率高于第 1 类业务量密度为 10 的情况。可见, 当业务量增大时, 为保证良好的切换性能, ratio 的取值会有所升高。结果表明, 这种自适应的 IGH 策略在提高第 1 类业务的新呼叫性能, 增大系统可容纳用户数量的同时, 也保证了系统的切换性能。

5 结论

为进一步提高低轨星座通信系统的信道利用率, 本文提出了一种多业务条件下的非充分保证切换策略。该策略依据低轨卫星系统和两类业务的特点, 考虑通话服务质量的要求, 在允许少量切换失败的情况下, 较大幅度地提升了信道利用率。通过

仿真, 对不同程度的 IGH 策略同 GH 策略在系统产生的切换和新呼叫两方面性能进行了比较, 且在不同业务量密度下, 对自适应调整非充分值的 IGH 策略的有效性进行了验证。仿真结果表明, 该策略是一种既保证多业务的 QoS, 又能进一步充分利用信道资源的低轨星座通信系统信道分配策略。

参考文献

- [1] Chowdhury P, Atiquzzaman M, and Ivancic W. Handover schemes in satellite networks: state-of-the-art and future research directions[J]. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2006, 8(4): 2-14.
- [2] Boukhatem L, Gaïti D, and Pujolle G. A channel reservation algorithm for the handover issue in LEO satellite systems based on a "satellite-fixed cell" coverage[C]. *IEEE Vehicular Technology Conference*, Atlantic City, NJ, Oct., 2001, 4:

- 2975-2979.
- [3] Karapantazis S and Pavlidou F N. Dynamic time-based handover management in LEO satellite systems[J]. *IEE Bibliographic Details*, 2007, 43(5): 298-299.
- [4] 张涛, 张军. 移动卫星网络中基于最小费用的切换算法[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(4): 924-928.
Zhang Tao and Zhang Jun. A minimum cost handover algorithm for mobile satellite networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(4): 924-928.
- [5] Wang Zhi-peng and Mathiopoulos P. Analysis and performance evaluation of dynamic channel reservation techniques for LEO mobile satellite systems[C]. IEEE 53rd Vehicular Technology Conference, Rhodes City, Greece, 2001, 4: 2985-2989.
- [6] Chen Bing-cai, Zhang Nai-tong, and Nie Bo-xun. An efficient handover scheme for multimedia application using LEO/MEO double-layer satellite network[C]. IEEE 63rd Vehicular Technology Conference, Melbourne City, Australia, 7-10 May 2006, 6: 2602-2606.
- [7] 秦勇, 张军, 张涛. 低轨卫星网小区移动性对切换的影响[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(12): 2960-2964.
Qin Yong, Zhang Jun, and Zhang Tao. Impact of cell mobility on handovers in low earth orbit satellite systems[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2007, 29(12): 2960-2964.
- [8] 黄飞, 许辉, 吴诗其. 低轨卫星通信中基于公平性的信道借用策略[J]. 通信学报, 2006, 27(8): 10-17.
Huang Fei, Xu Hui, and Wu Shi-qi. Fairness based channel borrowing strategy for multimedia LEO satellite communications[J]. *Journal on Communications*, 2006, 27(8): 10-17.
- 刘彦辰: 男, 1982 年生, 硕士, 研究方向为通信信号处理与通信网络、无线资源管理.
- 马东堂: 男, 1969 年生, 副教授, 从事通信信号处理与通信网络研究.
- 丁 丁: 女, 1982 年生, 博士, 从事通信信号处理与通信网络研究.
- 蔡理金: 男, 1979 年生, 讲师, 从事通信信号处理与通信网络研究.