

# 一种基于 TCRA 的低轨星座通信系统的强占预留信道策略

刘彦辰, 丁丁, 袁琼清, 马东堂

(国防科技大学 电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘要:** 在基于时间信道预留算法的基础上, 提出了一种改进的低轨星座通信系统信道分配策略——强占预留信道策略。讨论了策略的基本原理, 并通过仿真, 比较分析了该策略与 TCRA 和固定信道预留策略对系统新呼叫阻塞概率、切换失败概率和服务等级的影响。仿真结果表明, 与 TCRA 策略相比, 该策略有效降低了新呼叫阻塞, 同时为网络提供更好的 QoS 保证。

**关键词:** 低轨星座通信系统; 信道分配; 切换管理; 基于时间信道预留算法

## A preempting reserved channel mechanism based on TCRA in LEO constellation communication system

LIU Yan Chen, DING Ding, YUAN Qiong Qing, MA Dong Tang

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

**Abstract:** Based on time-based channel reservation algorithm (TCRA), this paper proposes an improved channel assignment strategy in LEO constellation communication system——preempting reserved channel mechanism. The basic principles of this strategy are discussed. And through simulation, the impacts of the proposed strategy to the new call blocking probability, the handoff failure probability and the grade of service are analyzed and compared with those of TCRA and the guard channel method. The simulation results show that, compared to TCRA, the proposed strategy can effectively decrease the new call blocking probability, and at the same time provide better QoS guarantees for the network.

**Key words:** low earth orbit constellation communication system; channel assignment; handoff management; TCRA

在低轨(LEO)星座卫星通信中, 目前已有的信道分配策略一般强调具有较低的切换失败概率, 以保证正在通话的呼叫的服务质量。信道预留策略是降低呼叫切换失败概率的有效方法之一<sup>[1]</sup>。其中, 基于时间的信道预留算法(TCRA)<sup>[2]</sup>提前一个小区为切换呼叫预留信道, 可以实现零切换失败。但该策略导致了较高的新呼叫阻塞概率, 造成了信道资源利用率的降低。参考文献[3]提出了超额预留的基于时间信道预留算法(TCRA-O), 它假设在每个小区固定分配  $C$  个信道的基础上, 还存在  $S$  个虚拟信道。这种做法也提高了信道利用率, 但并未考虑用户的位置信息, 造成了一些不必要的切换失败。参考文献[4]中, 算法的预留信道的数量考虑了用户位置信息和呼叫已经历的时长, 但在呼叫持续时长服从负指数

分布的模型中, 该策略不够准确。

本文提出一种基于 TCRA 的强占预留信道策略, 它在 TCRA 的基础上, 有效地利用了用户的地理位置信息。该策略本着少影响甚至不影响正在通话用户的服务质量的原则, 尽量接受具有小切换失败风险的新呼叫请求, 提高了系统的资源利用率。

### 1 基于时间的信道预留算法(TCRA)

#### 1.1 移动性模型

目前已提出很多适用于 LEO 星座通信系统仿真分析的移动性模型<sup>[4-5]</sup>, 本文采用图 1 中所描述的一维移动性模型<sup>[4]</sup>。其中, A-G 为卫星多波束天线在地面上形成的彼此相连的方形小区。假设这些方形小区固定不动, 小区中所有用户以相同的速度沿着与卫星相反的方向运动, 速度大小与卫星星下点速度相等。模型假设用

\* 基金项目: 国防科技重点实验室基金(51435050105KG0102)

# 通信与网络 Communication and Network

户配置有定位系统,则在呼叫开始时用户的位置就被确定。对于明确了移动速度、方向和位置的用户,其即将穿越的下一小区和切换的时间是可以预测的。

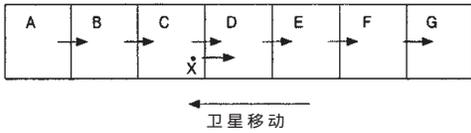


图1 移动性模型

## 1.2 TCRA-1

TCRA 是一种有效的信道预留策略,它要求只有当系统能够提前一个小区为新到达用户预留信道时,才接受此新呼叫请求。TCRA-1 是明确用户确切位置信息模式下的 TCRA 策略,下面是 TCRA-1 的具体实施过程:

**呼叫建立阶段:** 在呼叫建立时间  $T_{setup}$ , 一个用户  $U$  要求一个新呼叫连接。系统向用户呼叫发起的源小区  $C_0$  和第一个穿越的小区  $C_1$  发送一个信道预留请求, 分别在两小区时间间隔  $[T_{setup}, T_{setup}+T_0+\sigma t]$  和  $[T_{setup}+T_0-\sigma t, T_{setup}+T_0+T_1+\sigma t]$  中预留一个信道。其中,  $T_0$  和  $T_1$  分别为用户在源小区和穿越小区中的驻留时间,  $\sigma t$  为事先设定的一个允许的误差量。如果两个请求都能被满足, 则呼叫请求被接受。

**每个切换阶段:** 当一个正在通话用户完成从  $C_i$  至  $C_{i+1}$  的一次切换, 系统将  $C_{i+1}$  中为其预留的信道分配给此用户, 释放  $C_i$  中信道, 并向  $C_{i+2}$  发出一个新请求, 在  $C_{i+2}$  中时间间隔  $[T_{Hox}+T_1-\sigma t, T_{Hox}+2T_1+\sigma t]$  内为用户预留一个信道。其中,  $T_{Hox}$  为用户在  $C_i$  中发生切换的时间。

**呼叫终止阶段:** 当用户在  $C_i$  中终止呼叫时, 它会释放当前占用的信道, 并向  $C_{i+1}$  发送取消预留信道的命令。

此策略能够保证用户在其通话持续时间内不发生切换失败, 原理在参考文献[2]中已被说明, 在此不再阐述。

## 2 基于 TCRA 的一种强占预留信道策略

### 2.1 算法原理

虽然 TCRA 策略保证了切换失败率为零, 但造成了系统容量的浪费, 下面说明这一问题。

如图 2, 假设每小区有 2 个可用信道, 3 个相连的小区 ( $C_i, C_{i+1}$  和  $C_{i+2}$ ) 中对应的位置分别有 3 个正在通话用户 (用户 1、用户 2 和用户 3)。图 3 为用户在相应小区中相应时间段内的信道使用和预留情况, 横坐标代表时间, 纵坐标代表相应小区及相应信道。  $t_0$  时刻处于  $C_{i+1}$  的用户  $U$  向系统发出新呼叫请求, 虽然此时小区  $C_{i+1}$  存在未被使用的信道, 但根据 TCRA-1, 系统在  $[t_1, t_3]$  已经

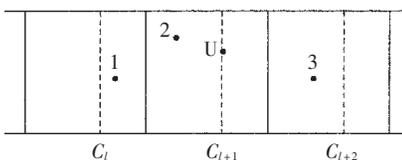


图2 TCRA 策略中的小区

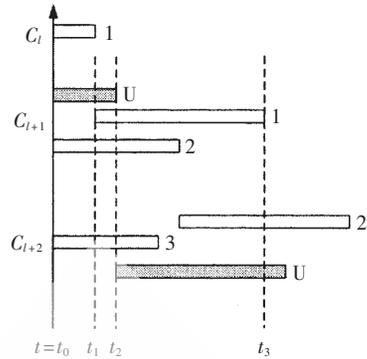


图3 用户在小区中使用和预留信道情况

为用户 1 预留信道, 无法在  $[t_0, t_2]$  为用户  $U$  进行正常的信道预留, 因此系统拒绝用户  $U$  的新呼叫请求。分析此情况, 如果在用户 1 到达  $C_{i+1}$  小区之前, 即  $[t_0, t_1]$  间, 用户 1、用户 2 和用户  $U$  三者中任意一个用户结束其通话, 则即使系统接受用户  $U$  占用为用户 1 预留信道的请求, 也不造成系统的切换失败。TCRA 的预留策略没能充分利用系统容量, 造成了资源的浪费。以此类推, 如果系统信道容量增大至 20 甚至更高, 此类资源浪费的现象将更加严重。

基于 TCRA 的强占预留信道策略是基于 TCRA-1 的改进, 其基本思想如下:  $t_0$  时刻, 一个新呼叫用户向系统发出使用本小区信道的请求, 如果在其驻留本地小区内所有信道都有被预留的记录, 假设系统接受此新呼叫, 根据目前正在通话用户的位置信息, 预测最坏情况 (即使用和预留本小区信道的所有用户一直保持通话) 下, 造成用户切换呼叫掉话的时间  $t_1$ , 记  $\Delta\tau = t_1 - t_0$ 。如果  $\Delta\tau$  大于某时间门限值  $\Delta T$ , 则认为占用或预留本小区信道的用户在时间间隔  $[t_0, t_1]$  内结束呼叫的可能性较大。此时, 只要系统能够在下一小区相应的时间间隔内为新呼叫预留信道, 则接受用户  $U$  的新呼叫请求。否则, 拒绝此次新呼叫请求。这样的策略增加了新呼叫请求的成功数量, 进而更加有效地利用了系统的信道资源。  $\Delta T$  的大小由业务模型的选取和服务质量的定义共同决定。下面推导合适的时间门限值  $\Delta T$ 。

假设呼叫持续时间满足均值为  $T_m$  的负指数分布, 则呼叫持续时间分布概率密度  $p(t)$  为:

$$p(t) = \frac{1}{T_m} \exp\left(-\frac{1}{T_m}t\right) \quad (1)$$

负指数分布的无记忆特性, 决定了对于呼叫持续时长遵循此分布的正在通话用户, 它的呼叫结束时间不受其已经历通话时长的影响。设已经历通话时长  $T_1$  的正在通话用户在  $T_1 + \Delta\tau$  时刻以后呼叫结束的概率为  $P_o$ , 则:

$$P_o = \frac{\int_{T_1+\Delta\tau}^{+\infty} p(t) dt}{\int_{T_1}^{+\infty} p(t) dt} = \exp\left(-\frac{1}{T_m} \Delta\tau\right) \quad (2)$$

## 通信与网络 Communication and Network

由于通话用户间的呼叫持续时长相互独立,则  $n$  个活动用户继续保持通话时间大于  $\Delta\tau$  的概率  $P_o(n)$  为:

$$P_o(n) = (P_o)^n = (\exp(-\frac{1}{T_m} \Delta\tau))^n = \exp(-\frac{n\Delta\tau}{T_m}) \quad (3)$$

由此可以认为:在所有信道都被用户使用或是预留的信道容量为  $C$  的小区中,  $T_0$  时刻一个新呼叫到达,如果系统可以预测到接受此次新呼叫在  $T_0 + \Delta\tau$  时刻存在切换失败的可能,那么采取强占预留策略允许此新呼叫接入,将导致系统切换失败的概率为  $P_o(C+1)$ 。

参考文献[6]推导得到,在由方形小区组成的一维移动性模型中,如果新呼叫阻塞概率  $P_n$  和切换失败概率  $P_h$  都为 0,则系统中每次呼叫需要经历的平均切换次数  $n_k$  为:

$$n_k = \frac{T_m V_{sat}}{R} \quad (4)$$

其中,  $V_{sat}$  为低轨卫星的星下点移动速度,  $R$  为方形小区长度。

服务等级 (GoS) 是反映 QoS 的一个重要指标,它由新呼叫阻塞概率和切换失败概率决定<sup>[6]</sup>:

$$GoS = P_n + k P_h \quad (5)$$

其中,  $k > 1$ , 是新呼叫与切换呼叫 GoS 之间的平衡因子,在一些文献中通常取 10。服务等级越低,通信质量越好,说明信道分配策略越好;切换失败概率对于服务等级的影响是新呼叫阻塞概率对其影响的  $k$  倍。

为保证改进的策略具有更好的 QoS,要求改进策略的 GoS 更低,结合 GoS 定义可得:

$$P_{n2} + k P_{h2} < P_{n1} + k P_{h1} \quad (6)$$

其中,  $P_{n2}$  和  $P_{h2}$  分别为策略改进后系统产生的新呼叫阻塞概率和切换失败概率;  $P_{n1}$  和  $P_{h1}$  分别为原策略产生的新呼叫阻塞概率和切换失败概率。为更清楚地表述算法,本文将相应的呼叫统计数量引入计算, (6) 式即可表示为:

$$\frac{N_{nb2}}{N_{n2}} + k \frac{N_{hb2}}{N_{h2}} > \frac{N_{nb1}}{N_{n1}} + k \frac{N_{hb1}}{N_{h1}} \quad (7)$$

其中,  $N_{nb1}$ ,  $N_{ni}$ ,  $N_{hb1}$ ,  $N_{hi}$  分别为采取原策略 ( $i=1$ ) 和采取改进策略 ( $i=2$ ) 时一段时间内系统中产生的新呼叫阻塞数量、新呼叫数量、切换失败数量、切换数量。可令  $N_{n1}$  和  $N_{n2}$  相等,记为:

$$N_n = N_{n1} = N_{n2} \quad (8)$$

本文采用的移动性模型满足参考文献[6]提出的假设要求,近似为 0,根据参考文献[6],有:

$$\frac{N_{hi}}{N_{ni}} \approx n_k \quad (9)$$

由式(7)、(8)、(9),得到:

$$\frac{N_{hb2} - N_{hb1}}{N_{nb1} - N_{nb2}} > \frac{n_k}{k} \quad (10)$$

不等式左侧分母表示新策略减少的新呼叫阻塞数量,即增加的新呼叫接入数量,分子表示新策略增加的切换失败的数量。又有采用强占信道策略允许新呼叫接入所导致的切换失败概率为  $P_o(C+1)$ ,则有:

$$(N_{nb1} - N_{nb2}) P_o(C+1) = N_{hb2} - N_{hb1} \quad (11)$$

由式(3)、(4)、(10)、(11),得出:

$$\Delta\tau > \frac{T_m}{C+1} \ln \left( \frac{kR}{V_{sat} T_m} \right) \quad (12)$$

这里称不等式(12)右侧的时间门限为强占信道时间门限,用  $\Delta T$  表示。只有满足  $\Delta\tau > \Delta T$ ,才能保证改进的策略具有更好的服务质量。

### 2.2 算法描述

在执行基于 TCRA 的强占预留信道的信道分配策略时,首先根据实际低轨星座卫星的移动性参数、小区信道数量以及业务模型的相关参数,按(12)式计算强占信道时间门限  $\Delta T$ 。在一个呼叫的生命周期中主要执行的算法如下:

**新呼叫到达阶段:** 当  $T_0$  时刻新呼叫发出信道请求时,系统首先执行 TCRA-1 策略,如果满足此策略,系统分配给新呼叫一个合适的信道并实施预留,如果新用户驻留本小区时间间隔内所有信道都有被预留的记录,则搜索最迟被预留的信道,假设其预留开始时间为  $T_1$ ,则  $\Delta\tau = T_1 - T_0$ 。如果  $\Delta\tau > \Delta T$  且可在下一小区实施预留,则接受新呼叫请求;否则,新呼叫失败;如果系统没有空闲信道,也阻止新呼叫接入。

**呼叫切换阶段:** 切换后用户使用事先系统为其预留的信道;系统预测未来切换的时刻,并且在未来小区中相应的时间间隔内预留一个信道。如果以上条件系统无法满足,则此呼叫切换失败,解除为其预留的信道。无论切换是否成功,此呼叫都释放目前小区占用信道。

**呼叫终止阶段:** 当用户结束本次呼叫时,释放目前小区占用的信道,解除下一小区相应信道的预留请求。

## 3 仿真结果与分析

### 3.1 仿真模型和基础假设

本文中的仿真建立在 7 小区网络模型之上进行,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 小区模型可以为仿真提供足够的精度,且复杂度要低于采用 98 小区的模型<sup>[5]</sup>。

仿真中假设:模型中新呼叫到达时间服从泊松分布,小区中的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,呼叫平均持续时长为 180s;小区长度为 250km;卫星星下点速度为 27000km/h;采用固定信道分配,每个小区平均分配 20 条信道;TCRA-1 中的错误差量  $\sigma t$  取 0;GoS 平衡因子  $k$  取 10;仿真时间为 24h。

### 3.2 仿真结果

本文在固定信道分配的基础上,分别采用了 TCRA、基于 TCRA 的强占预留信道策略、预留信道数量为 2 和 3 的固定信道预留策略对通信过程进行仿真。对应不同的业务量,对几种策略的切换失败概率、新呼叫阻塞概率和 GoS 三项指标进行比较,如图 4、图 5、图 6 所示对比几种策略,TCRA 不产生切换失败,这是此算法的优

《电子技术应用》2008 年第 12 期

## 通信与网络 Communication and Network

势,但其产生的新呼叫阻塞率较高;固定预留 2 个信道策略的切换失败率最高;固定预留 3 个信道策略的新呼叫阻塞率最高;提出的新策略产生一定的切换失败,但即使是在业务量为 12 爱尔兰时切换失败率也仅有  $7.7 \times$

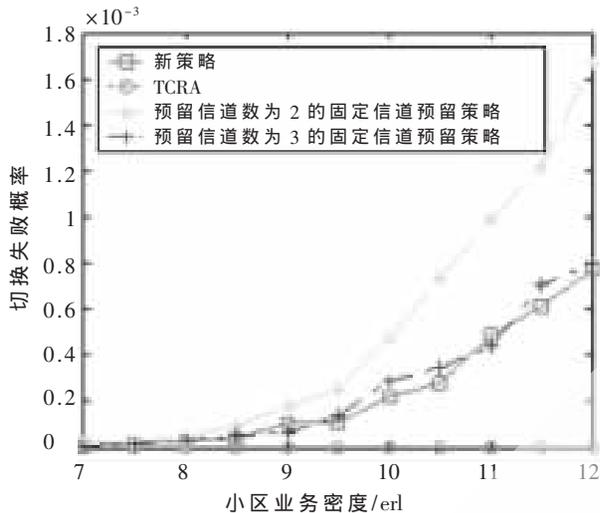


图 4 新策略与其他策略在切换失败率上的比较

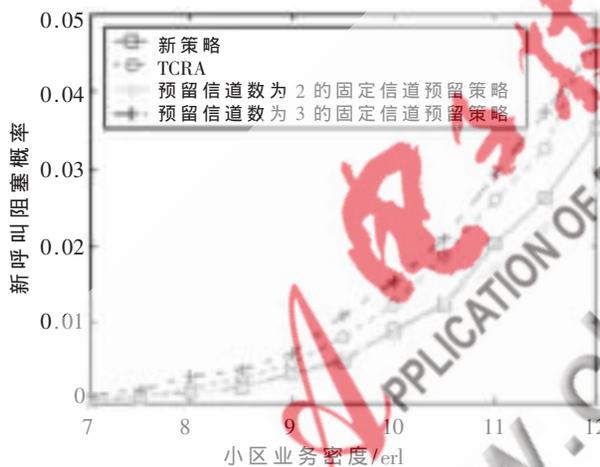


图 5 新策略与几种策略在新呼叫阻塞率上的比较

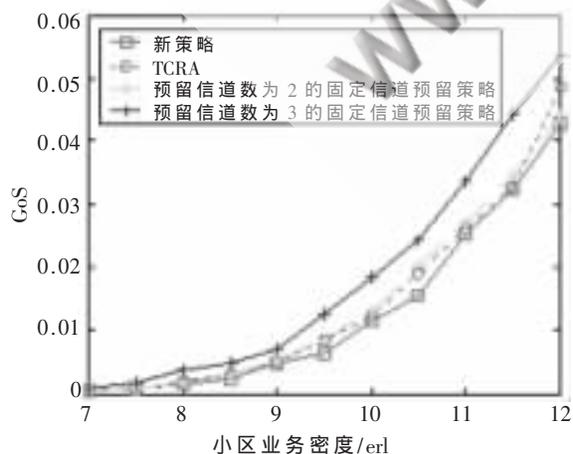


图 6 新策略与其他策略在 GoS 上的比较

$10^{-4}$ , 在新呼叫阻塞概率方面,明显优于固定预留 3 个信道的预留策略和 TCRA 策略,对应不同的业务量,策略几乎都能比 TCRA 降低 20% 的新呼叫阻塞概率。几种策略中,本文提出的新策略具有最低的 GoS。综上,与 TCRA 和两种固定信道预留策略相比,新策略都具有更好的 QoS,且能较好地利用系统的信道资源。

为进一步提高低轨星座通信系统的信道利用率,本文提出了基于 TCRA 的强占预留信道的信道分配策略。该策略有效利用了呼叫时长负指数分布模型的无记忆特性,考虑了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,在切换和新呼叫两方面性能上对该策略与 TCRA 算法和固定信道预留算法进行了比较。仿真结果表明,该策略是一种既保证通话 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,IVANCIC W. Handover schemes in satellite networks: State-of-the-Art and future research directions, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 2006,8(4).
- [2] BOUKHATEM L, GAITI D, PUJOLLE G. A channel reservation algorithm for the handover issue in LEO Satellite Systems based on a "Satellite-Fixed Cell" Coverage, IEEE Vehic. Tech. Conf., Atlantic City, NJ, Oct. 2001:2975-2979.
- [3] BOUKHATEM L, GAITI D, PUJOLLE G. Resource reservation schemes for handover issue in LEO satellite systems. Wireless Personal Multimedia Communications, 2002. The 5th International Symposium on Volume 3, Issue, 27-30 Oct. 2002:1217-1221.
- [4] WANG Zhi Peng, MATHIOPOULOS P T. Analysis and performance evaluation of dynamic channel reservation techniques for LEO mobile satellite systems. Vehicular Technology Conference, 2001. VTC 2001 Spring. IEEE VTS 53rd Volume 4, Issue, 2001:2985-2989.
- [5] CHEN Bing Cai, ZHANG Nai Tong, BOXUN N. An efficient handover scheme for multimedia application using LEO/MEO double-layer satellite network, Vehicular Technology Conference, 2006. VTC 2006 Spring. IEEE 63rd Volume 6, Issue, 7-10 May 2006:2602-2606.
- [6] RE E D, FANTACCI R, GIAMBENE G. Characterization of user mobility in low earth orbit mobile satellite systems satellite systems. Wireless Networks, 2000,6(3):165-179.

(收稿日期:2008-06-02)