

LEO 卫星通信系统中的一种信道动态预留策略

王益辉, 朱立东, 吴诗其

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】针对具有点波束的低轨卫星移动通信系统, 提出了一种信道动态预留策略。该策略不必记录地面通信终端的实时位置, 利用低轨卫星通信系统中用户移动性特点, 根据点波束间用户分布情况即可实时计算出点波束内应预留的信道数。通过计算机仿真, 该策略与固定信道预留策略相比较, 可以动态地调整小区预留的信道数, 使系统的性能得到改善。

关键词 低轨; 点波束; 动态; 信道预留
中图分类号 TN 927+.23 **文献标识码** A

A Dynamic Channel Reserve Strategy for LEO Communication System

WANG Yi-hui, ZHU Li-dong, WU Shi-qi

(School of Communication and Information Engineering, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China Chengdu 610054)

Abstract A dynamic channel reserve strategy for LEO communication system with spot-beam is proposed. It does not need to record the location of the mobiles. Using the characteristic of mobile, we proposed a way to predict the number of channels those should be reserved in a spot-beam by the distribution of subscribers between spot-beams. The comparison between our strategy and the fixed channel reserve strategy through simulation shows that the former can automatically adjust the number of reserve channels, and improve the performance of the system.

Key words low earth orbit; spot-beam; dynamic; channel reserve

本文考虑点波束在地面的覆盖区域随着卫星的运动而一同运动的卫星固定小区系统。此类系统中, 地面用户在通话期间要多次进行小区切换^[1-3]。为了降低切换掉话率, 地面移动通信系统常用的信道预留策略, 在卫星通信系统中也被广泛考虑。文献[4]提出了一些信道预留策略, 如固定信道预留策略和ADCA策略等。但是信道预留策略的信道预留结果不够理想, ADCA要求系统有移动台位置记录和管理功能, 增加了系统开销。本文的策略是, 在不记录移动台位置的情况下, 通过分析点波束间用户数的分布情况, 从而决定各点波束内应预留的信道数。

1 理论分析

1.1 移动模型

图1为一颗低轨卫星覆盖下的多个小区, 用六边形的区域来表示一个点波束的覆盖范围。由于地面移动台的移动速度相对于卫星小区的运动速度较慢, 因此地面用户可以近似被看成是静止的^[5], 从而可以认为所有移动台相对于卫星是以相同的速率向着同一个方向运动的。

1.2 基本思想

在图1中, 如果一个移动台在小区9内, 那么下一次切换时它最可能被切入的小区就是10号小区。把类似这种关系的小区分别叫作前继小区(小区9)和后续小区(小区10)。每个小区切入的用户大多来自它的前继小区, 只要能知道前继小区的用户情况就可以预测切换发生的强度, 对尽量准确地预留信道有很大

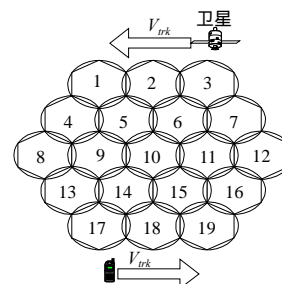


图1 卫星点波束覆盖示意图

收稿日期: 2004 - 06 - 03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60372013)

作者简介: 王益辉(1980 -), 男, 硕士生, 主要从事卫星移动通信方面的研究。

帮助。

在考虑一个小区应预留的信道数量时,只需查寻该小区(如小区10)的前继小区(如小区9)的用户数量,这很容易做到,因为这些小区的用户都要通过同一颗卫星作中继。这些用户大部分将在一定的时间,即卫星下点移动一个小区的直径的时间内切入所考虑的小区(如小区10)。假设用户是均匀分布的,就能估计出从前继小区(如小区9)切入小区(如小区10)的切换呼叫到达率。同时由于本小区(如小区10)的呼叫数已知,也可以估计出从本小区切出的呼叫切出率。根据这两个参数的情况来决定小区应预留的信道数是合理的。当本小区的用户多,前继小区用户少时,应预留较少的信道;反之则应预留较多的信道。

1.3 数学模型

1.3.1 小区用户数状态转移图

假设一个小区内的信道总数为 C ,要解决的问题是如何确定一个门限值 S ,当小区占用的信道数大于等于 S 时,则不再接入新呼叫,剩下的 $C-S$ 个信道只用于切换呼叫使用,即应预留 $C-S$ 个信道。用一个马尔可夫链来描述这个问题,如图2所示。从图中看出所画的是一个小区(如小区10)的信道占用状态转移图。 λ_n 表示新呼叫到达率, λ_h 表示本小区切入呼叫到达率, $1/\mu$ 表示平均通话持续时间, μ_l 表示小区内的呼叫切出小区的切换离开率。

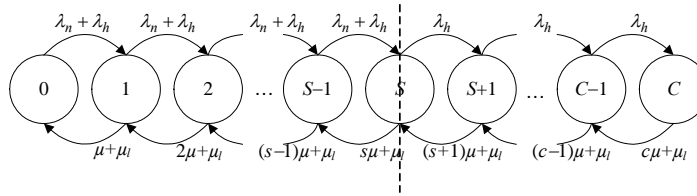


图2 一个小区的信道占用状态转移图

1.3.2 求解预留信道数

在考虑预留信道的数量时,通常使用服务等级(GoS)来考察预留信道的算法是否良好, GoS 定义为:

$$GoS = P_b + \alpha_0 P_d \quad (1)$$

式中 P_b 为新呼叫阻塞率; P_d 为切换呼叫掉话率; α_0 为比例因子,通常取10; GoS 值越低说明信道分配的效果越好。

如何确定 S 才能使 GoS 最小,求解如图2的生灭过程,有^[6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_0 = \left(1 + \sum_{i=1}^S \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^i}{\prod_{j=1}^i (j\mu + \mu_l)} + \sum_{k=S+1}^C \frac{\lambda_h^{k-S} (\lambda_n + \lambda_h)^S}{\prod_{j=1}^k (j\mu + \mu_l)} \right)^{-1} \\ \pi_i = \begin{cases} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^i}{\prod_{j=1}^i (j\mu + \mu_l)} \pi_0 & (1 \leq i \leq S) \\ \frac{\lambda_h^{i-S} (\lambda_n + \lambda_h)^S}{\prod_{j=1}^i (j\mu + \mu_l)} \pi_0 & (S+1 \leq i \leq C) \end{cases} \end{array} \right. \quad (2)$$

式中 π_i 为用户数为 i 的状态的平稳概率。用户数大于等于 S 时就不能再接入新呼叫,而用户数等于 C 时切换呼叫也不能接入,所以有:

$$P_b = \sum_{i=S}^C \pi_i = 1 - \sum_{i=0}^{S-1} \pi_i \quad (3)$$

$$P_d = \pi_c \quad (4)$$

根据式(3)、(4)和式(1)可以估计出在预留信道数为 $C-S$ 的情况下的 GoS 估计值 GoS' :

$$GoS' = 1 - \sum_{i=0}^{S-1} \pi_i + \alpha \pi_c \quad (5)$$

式中 参数 α 体现了系统自身认定的切换呼叫相对于新呼叫的优先等级, 可以根据系统需要进行调整。

理论上只要对式(5)的两边求导, 求出使系统的 GoS 估计值 GoS' 取得最小值的 S 即可。但是由于无法写出关于 S 的闭合表达式, 所以在实际策略的应用中只有对 S 查询, 看哪一个 S 对应的 GoS' 最小。

2 动态信道预留策略

2.1 计算的参数确定

假设系统内各小区的新呼叫到达是独立的泊松过程, 具有相同的到达率 λ_n 。呼叫持续时间是相互独立的负指数分布, 均值为 $1/\mu_c$ 。在式(2)中使用到的 λ_h 等于前继小区的 μ_i , 即是在本算法中假设小区的切入呼叫到达率就等于它前继小区的呼叫切出率, 且该切出率等于该小区内按概率会进入下一小区的用户数除以卫星星下点移动过一个小区直径的时间:

$$\mu_i = (N_i P_{nh} + H_i P_{hh}) / (2R / V_{rk}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

式中 n 表示一颗卫星的小区总数; V_{rk} 表示卫星星下点移动速度; R 为小区半径; μ_i 表示第 i 小区的呼叫切出率; N_i 表示第 i 小区内新呼叫个数; H_i 表示第 i 小区内的切换呼叫个数; P_{nh} 和 P_{hh} 分别表示小区内新呼叫和切换呼叫切出小区进入下一小区的概率, 根据文献[4]有: $P_{hh} = e^{-\beta}$ 和 $P_{nh} = (1 - e^{-\beta}) / \beta$, 其中, β 定义为 $\beta = 2R\mu V_{rk}$ 。由此可以看出, 该策略为了使预留结果更加准确, 要求系统记录每个呼叫是其所在小区的新呼叫还是切换呼叫, 将少量地增加系统开销。

2.2 信道预留策略

本文提出的策略按以下步骤进行:

- (1) 小区 i 有新呼叫接入申请时按步骤(2)~(4)进行。
- (2) 小区 i 如果没有前继小区即按固定信道预留算法预留固定数目信道, $C - S = n_0$ (n_0 为事先设定)。
- (3) 小区 i 如果有前继小区, 把 $S = 1, 2, \dots, C$ 和各参数分别代入式(5)计算, 并且查找使 GoS 估计值 GoS' 最小的 S 。
- (4) 小区内现有的信道占用数如果小于 S , 则接入该新呼叫, 如果小区内占用的信道数大于等于 S , 则阻塞新呼叫。
- (5) 小区 i 有切换呼叫申请时按步骤(6)进行。
- (6) 小区 i 内如果有可用信道即接入该切换呼叫, 如果没有可用信道则该切换呼叫掉话。

3 仿真结果与分析

3.1 仿真参数

对上文中提到的策略进行编程仿真, 仿真的模型为图1中 $n = 19$ 小区的系统, 假定每个小区有 $C = 100$ 个信道。仿真不同的呼叫到达率, 统计不同到达率情况下各小区的新呼叫阻塞率, 切换呼叫掉话率和 GoS 的平均值。使用的仿真参数如表1所示。表1中的仿真参数基本按该系统的参数设置, n_0 为固定预留的信道数。 α_0 是最后计算 GoS 结果时的因子, 通常取值为10。 λ_n 是新呼叫到达率的估计值, 因为根据实际情况, 系统无法知道实时的新呼叫到达率, 仿真时始终按表中所设定的到达率来进行计算。仿真中的切换都是硬切换。

表1 仿真参数

R/m	$1/\mu_s$	$V_{rk}/m \cdot s^{-1}$	$n_0 / \text{个}$	α	α_0	$\frac{1}{\lambda_n} / s$
212 500	180	7 388.9	8	8.5	10	1.8

3.2 仿真结果

仿真对所有小区在不同的到达率情况下的 P_b 、 P_d 和 GoS 的平均值进行记录, 与本文的策略结果对比的是使用固定信道预留算法的结果。图3~图5分别展示了在业务量较轻时(新呼叫到达率 $1/2.05 \sim 1/1.6(1/s)$)的动态预留算法和固定预留算法的 P_b 、 P_d 和 GoS 的对比。图6~图8也分别展示了在业务量较重时(新呼叫到达率

1/1.55 ~ 1/1.0(1/s)的对比情况。

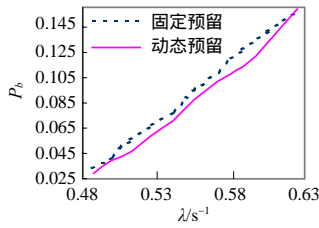


图3 业务量较轻时的新呼叫阻塞率

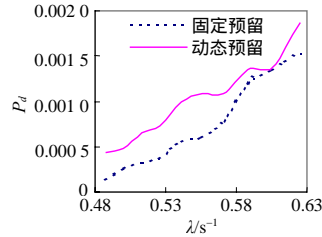


图4 业务量较轻时的切换呼叫掉话率

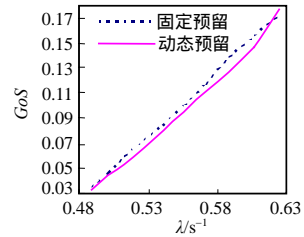


图5 业务量较轻时的GoS

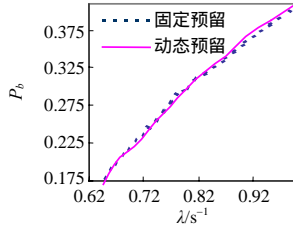


图6 业务量较重时的新呼叫阻塞率

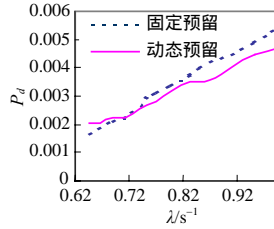


图7 业务量较重时的切换呼叫掉话率

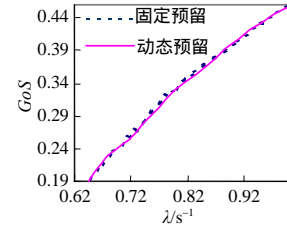


图8 业务量较重时的GoS

3.3 仿真结果分析

通过以上的图表可以看出,在业务量较轻时,动态预留策略侧重于降低占了GoS主要部分的新呼叫阻塞率 P_b ,使动态预留策略的 P_b 小于固定预留策略的 P_b ,而切换呼叫掉话率 P_d 高于固定预留策略的 P_d ,但最终使GoS比固定预留策略的低。

在业务量较重时,动态预留策略可以自动将优化重点放在降低 P_d 上,虽然动态预留策略的 P_b 略高于固定预留策略的 P_b ,不过其 P_d 明显低于固定预留策略的 P_d ,最终使GoS比固定预留策略的略有降低。

4 结论

本文提出的动态信道预留策略可以自动地调整预留的信道数,以此来适应不同的业务量,并使GoS有一定降低。本策略实现简单,无需实时记录用户位置信息,虽然增加了系统计算量,但这些计算只有在新呼叫接入请求到来时才需进行。本策略中有两个参数可自由调整:体现系统对切换呼叫重视程度的 α 和系统设定的新呼叫到达率 λ_n ,通过对这两个参数的设置可以适应不同的环境。

参考文献

- [1] Gerard M, Joaquin R, Enrico D R, et al. Performance analysis for a guaranteed handover service in an LEO constellation with a 'satellite-fixed cell'system[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1998,47(4): 23-25.
- [2] Restrepo J, Maral G. Coverage concepts for satellite constellation providing communications services to fixed and mobile users[J]. Space Commun., 1995,13(6):453-471.
- [3] Enrico D R, Romano F, Giovanni G. Queuing of handover requests in low earth orbit mobile satellite systems[C]// IEEE GLOBECOM '96, London, 1996.
- [4] Sungrae C. Adaptive dynamic channel allocation scheme for spotbeam handover in LEO satellite networks[D]. IEEE VTC, Boston 2000.
- [5] Enrico D R, Romano F, Giovanni G. Efficient dynamic channel allocation techniques with handover queuing for mobile satellite networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in communications, 1995, 13(2): 79-85.
- [6] 唐应辉, 唐小我. 排队论-基础与应用[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2001.

编辑 刘文珍