

多业务低轨道卫星通信系统的一种切换方案

吴 乐, 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】提出了语音和数据综合业务LEO卫星通信系统的一种切换方案-动态信道抢占优先方案。该方案考虑了数据业务特性和语音切换业务的高优先级, 并使用排队策略, 为语音切换业务提供抢占优先权。该方案还采用了动态阈值的保护信道策略, 保证了新呼叫和切换呼叫之间的优先级和公平性。通过计算机仿真, 与无优先方案和传统保护信道方案进行比较, 该方案使系统的服务等级和信道利用率性能得到了改善。

关键词 非静止轨道卫星; 切换; 抢占优先; 动态阈值

中图分类号 TN927+.23 文献标识码 A

A Handoff Scheme in Multi-Service LEO Satellite Systems

WU Le, ZHU Li-dong, WU Shi-qi

(School of Communication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract A handoff scheme is introduced in this paper, which considers the dynamic thresholds and preemptive priority level in intergrated voice and data LEO(Low Earth Orbit) satellite systems. Taking into account the characteristic of data calls and the higher priority of handoff voice calls, this scheme gives handoff voice calls a preemptive priority with combination of queuing strategy. A Guard Channel scheme based on dynamic thresholds is used in the scheme. It guarantees the priority and fairness between new calls and handoff calls. By simulation, it can be seen through comparison with the non-priority and guard channel handoff scheme that the proposed handoff scheme improves the performance of system in grade of service and channel utilization.

Key words low earth orbit; handoff; preemptive priority; dynamic thresholds

在低轨道(LEO)卫星系统中, 呼叫在通话过程中切换频繁, 同时用户对多业务服务的需求不断提高, 因此能在多业务条件下适用的切换算法对于未来卫星通信有相当重要的意义。现有文献提出了多种切换方案, 如信道预留方案、排队方案和动态信道分配方案等^[1-4]。这些切换算法基本上都以新呼叫阻塞率的增加为代价换取切换呼叫失败率的降低。但从系统承载业务量的角度来看, 只有减少新呼叫阻塞率, 才能提高系统实际所承载的业务量。本文在语音和数据业务并存的条件下, 提出了基于动态阈值保护信道和排队的抢占优先方案。参考了文献[5]提出的地面无线多媒体网络中的动态信道分配方案, 本文的动态信道抢占优先方案在此基础上, 结合排队策略和抢占优先思想, 做了一定的改进, 能根据当时的业务量动态分配信道, 得出适用于LEO卫星通信系统切换方案。通过计算机仿真, 与传统的保护信道方案和无抢占优先方案进行比较, 结果显示, 动态信道抢占优先方案改善了系统性能, 更加适应高业务量的情形。

收稿日期: 2004-04-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60372013)

作者简介: 吴 乐(1982-), 女, 硕士生, 主要从事卫星通信、移动通信方面的研究。

1 理论分析

考虑一个具有多个点波束的LEO卫星通信系统, 每个点波束在地面的投影区就是系统的一个小区。由于系统小区是均匀分布的, 所以只重点讨论一个小区的情形。

假设每个小区总共有 C 个信道, 在话音业务和数据业务并存的条件下, 根据各业务所处状态的不同, 将其分成了话音新呼叫、话音切换呼叫、数据新呼叫和数据切换呼叫。它们都按Poisson过程到达, 到达间隔时间服从到达率分别是 λ_{mv} 、 λ_{hv} 、 λ_{nd} 和 λ_{hd} 的负指数分布, 服务时间也服从负指数分布。 $1/\mu_d$ 和 $1/\mu_v$ 分别为数据业务和话音业务的平均服务时间。数据呼叫和话音呼叫分别占用2个和1个信道。各类型呼叫对时延的要求不同, 其中话音切换呼叫最为严格, 设其优先级最高; 对于数据业务, 数据切换呼叫比数据新呼叫优先级要高些; 话音新呼叫和数据新呼叫处于同一优先级。

1.1 系统模型

图1为系统模型。系统分别为话音业务和数据业务设定了信道阈值的初值 C_v 和 C_d , 其中 $C_v > C_d$ 。 C_v 至 C 是 λ_{mv} 和 λ_{hv} 公用的信道, 1至 C_d 是 λ_{nd} 和 λ_{hd} 公用的信道, $C_d + 1$ 至 $C_v - 1$ 是预留给 λ_{hd} 和 λ_{hv} 的可抢占信道, 是数据切换呼叫和话音切换呼叫的专用信道。系统为所有的呼叫都设置了各自相应的队列, 存放无法立即被服务的呼叫, 这样降低了呼叫阻塞率。呼叫进入队列的同时, 启动定时器, 呼叫排队等待超时后就将其从队列中清除。话音呼叫和数据呼叫的定时时间分别为100 ms和1 s。

当话音切换呼叫到达某个目标小区时, 首先占用 C_v 至 C 的公用信道中的空闲信道, 若 C_v 至 C 中无可用公共信道, 则去占用 $C_d + 1$ 至 $C_v - 1$ 的公用信道中的空闲信道; 若 $C_d + 1$ 至 $C_v - 1$ 中也无空闲信道, 但是有正被服务的数据切换呼叫, 则可以抢占其信道, 而被抢占了的数据切换呼叫进入其队列等待。若 $C_d + 1$ 至 C 的信道均被话音业务占满了, 则后面到来的话音切换呼叫业务将无法立即被服务。它将进入话音切换呼叫队列, 在允许的等待时间内等待, 若超时, 则该话音切换呼叫切换失败, 导致掉话。

对于初始话音呼叫, 当信道 C_v 至 C 中无空闲信道时, 可以先进入其队列等待, 超时后才被阻塞; 同样地, 对于初始数据呼叫, 当信道1至 C_d 中无空闲信道时, 也进入其队列等待, 超时后被阻塞。对于切换数据呼叫, 当信道1至 C_d 中无空闲信道时, 可以接入可抢占信道 $C_d + 1$ 至 $C_v - 1$; 若可抢占信道中也无空闲信道, 则进入队列等待直至超时。

1.2 动态阈值的保护信道方案

本文所提的动态阈值的保护信道方案是指在保护信道策略的基础上, 系统为每个小区中的每类业务的呼叫设置一个信道阈值 CH , 并且该阈值是动态变化的。当某类业务的新呼叫的阻塞个数超过新呼叫的阻塞阈值 T_n 时, 则调整 CH 一个步长 t_a , 使公共信道数增加; 当某类业务切换呼叫的阻塞个数超过切换呼叫的阻塞阈值 T_h 时, 则调整 CH 一个步长 t_b , 使公共信道数减小, 相应的切换呼叫专用信道数增加。

由此可见, 动态阈值的保护信道方案有自调节功能, 它可以平滑业务量变化时导致的呼叫阻塞率的突变, 保证了两种呼叫的优先级和公平性。在文献[5]中详细论证这种方案的可行性及性能改善。

1.3 数学分析

对于有排队模型的呼叫业务, 系统为话音切换呼叫、数据切换呼叫、数据新呼叫和话音新呼叫业务分别设置了队长为 M_1 、 M_2 、 M_3 和 M_4 的队列。话音业务和数据业务的信道阈值分别为 C_v 和 C_d , 则各呼叫进入M/M/N/K混合制排队系统。对于话音切换呼叫, N 、 K 的取值分别为 $C - C_d$ 、 $C - C_d + M_1$; 对于数据切换呼叫, N 、 K 的取值分别为 $C_v - 1$ 、 $C_v - 1 + M_2$; 对于数据新呼叫, N 、 K 的取值分别为 C_d 、 $C_d + M_3$; 对于话音新呼叫, N 、 K 的取值分别为 $C - C_v + 1$ 、 $C - C_v + 1 + M_4$ 。

设 $N(t)$ 表示时刻 t 系统的忙信道数, 若 $N(t) \leq N$, 则 $N(t)$ 为呼叫实际占用小区信道数; 若 $N < N(t) \leq K$, 则 $N(t)$ 为呼叫实际占用信道数与队列中呼叫占用的排队信道数之和。对于话音新呼叫, 状态空间 $E = \{0, 1, 2, \dots, C - C_v +$

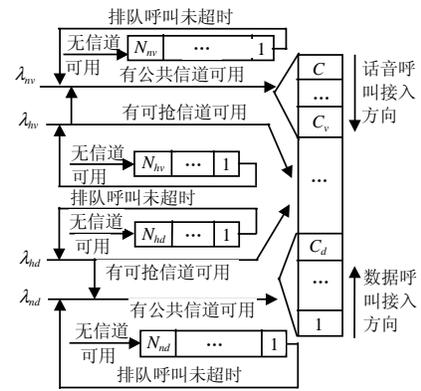


图1 系统模型

$1+M_4$ }; 对于语音切换呼叫, 状态空间 $E = \{0, 1, 2, \dots, C-C_d, C-C_d+1, \dots, C-C_d+M_1\}$; 对于数据业务, 新呼叫状态空间 $E = \{0, 1, 2, \dots, C_d, C_d+1, \dots, C_d+M_3\}$, 切换呼叫状态空间 $E = \{0, 1, 2, \dots, C_v-1, C_v, \dots, C_v-1+M_2\}$ 。 $N(t)$ 是一维齐次马尔柯夫过程。设 $p_{ij}(\Delta t)$ 表示 Δt 时间段内系统忙信道数从 i 变到 j 的概率, 即: $p_{ij}(\Delta t) = p\{N(t+\Delta t) = j | N(t) = i\}$, $i, j = 0, 1, 2, \dots, K$, 有:

1) 对于语音切换呼叫, 其状态转移概率为:

$$p_{ij}(\Delta t) = \begin{cases} (\lambda_{nv} + \lambda_{nv})\Delta t + 0(\Delta t), j = i+1, i = 0, 1, \dots, C-C_v \\ \lambda_{nv}\Delta t + 0(\Delta t), j = i+1, i = C-C_v+1, \dots, C-C_d+M_1-1 \\ 2i\mu_d\Delta t + 0(\Delta t), j = i-1, i = 1, 2, \dots, C-C_d-1 \\ 2(C-C_d)\mu_d\Delta t + 0(\Delta t), j = i-1, i = C-C_d, \dots, C-C_d+M_1 \\ 0(\Delta t), |i-j| \geq 2 \end{cases}$$

2) 对于语音新呼叫, 其状态转移概率为:

$$p_{ij}(\Delta t) = \begin{cases} (\lambda_{nv} + \lambda_{nv})\Delta t + 0(\Delta t), j = i+1, i = 0, 1, \dots, C-C_v \\ \lambda_{nv}\Delta t + 0(\Delta t), j = i+1, i = C-C_v+1, \dots, C-C_v+M_4 \\ 2i\mu_d\Delta t + 0(\Delta t), j = i-1, i = 1, 2, \dots, C-C_v \\ 2(C-C_v+1)\mu_d\Delta t + 0(\Delta t), j = i-1, i = C-C_v+1, \dots, C-C_v+1+M_4 \\ 0(\Delta t), |i-j| \geq 2 \end{cases}$$

3) 对于数据切换呼叫, 其状态转移概率为:

$$p_{ij}(\Delta t) = \begin{cases} 2(\lambda_{nd} + \lambda_{nd})\Delta t + 0(\Delta t), j = i+2, i = 0, 1, \dots, C_d-2 \\ 0(\Delta t), j = i+2, i = C_d-1 \\ 2\lambda_{nd}\Delta t + 0(\Delta t), j = i+2, i = C_d, \dots, C_v+M_2-3 \\ 4 \times \lfloor (i/2) \rfloor \mu_d \Delta t + 0(\Delta t), j = i-2, i = 1, 2, \dots, C_v-2 \\ 4 \times \lfloor ((C_v-1)/2) \rfloor \mu_d \Delta t + 0(\Delta t), j = i-2, i = C_v-1, \dots, C_v+M_2-1 \\ 0(\Delta t), |i-j| \geq 3 \end{cases}$$

4) 对于数据新呼叫, 其状态转移概率为:

$$p_{ij}(\Delta t) = \begin{cases} 2(\lambda_{nd} + \lambda_{nd})\Delta t + 0(\Delta t), j = i+2, i = 0, 1, \dots, C_d-2 \\ 0(\Delta t), j = i+2, i = C_d-1 \\ 2\lambda_{nd}\Delta t + 0(\Delta t), j = i+2, i = C_d, \dots, C_d+M_3-1 \\ 4 \times \lfloor (i/2) \rfloor \mu_d \Delta t + 0(\Delta t), j = i-2, i = 1, 2, \dots, C_d-1 \\ 4 \times \lfloor (C_d/2) \rfloor \mu_d \Delta t + 0(\Delta t), j = i-2, i = C_d, \dots, C_d+M_3 \\ 0(\Delta t), |i-j| \geq 3 \end{cases}, \text{其中 } \lfloor X \rfloor \text{ 为小于等于 } X \text{ 的最大整数。}$$

由于 $N(t)$ 具有遍历性, 极限分布等于平稳分布, 有:
$$\begin{cases} \pi_j = \sum_{i \in E} \pi_i p_{ij} \\ \pi_j > 0, \sum_{j=0} \pi_j = 1 \end{cases}$$
 解方程组可求出平稳分布 π_j , 即

系统内忙信道数为 j 的概率, 则: $\pi_{C-C_v+1+M_4}$ 为语音新呼叫的阻塞概率, $\pi_{C-C_d+M_1}$ 为语音切换呼叫的切换失败概率, 类似地, $\pi_{C_d+M_3}$ 为数据新呼叫的阻塞概率, $\pi_{C_v+M_2}$ 为数据切换呼叫的阻塞概率。

2 计算机仿真

在计算机仿真时, 系统参数如下: 小区的信道总数是150个。 $1/\mu_d$ 为250 s, $1/\mu_v$ 为125 s。假定数据业务和语音业务的新呼叫到达率都为 λ , λ 的取值的改变反应了业务量强度的改变; 切换呼叫到达率的取值约为新呼叫到达率的一半。数据业务和语音业务分别占用2个和1个信道。对于传统保护信道方案, 考虑信道预留数约占各业务可用信道总数的10%, 设置语音业务和数据业务的信道门限分别为106和90。对于动态阈值

抢占优先方案, 话音业务和数据业务的初始信道阈值分别为101和98, 而信道阈值改变步长分别为 $t_a^v = t_b^v = 1$ 和 $t_a^d = t_b^d = 2$ 。最后从服务等级(Grade Of Service, GOS)和信道利用率两个指标来对比各种方案。

2.1 服务等级

定义 $GOS = \alpha P_{hf} + P_{nb}$, 其中 P_{hf} 为切换掉话率, P_{nb} 为新呼叫阻塞率, 系数 α 体现了切换呼叫相对于新呼叫的优先级别, 通常取10, GOS越小则系统性能越好。图2和图3分别显示了两种业务的GOS与业务量强度的关系曲线。从图2中看出, 随着业务量强度的增加, 无优先方案的数据业务GOS显著增加, 其他两种方案的GOS较小。动态信道抢占优先方案的GOS几乎一直比传统保护信道方案的GOS要小, 后面稍有点增加。这是因为随着话音切换呼叫的增加, 数据切换呼叫可能会被它抢占了, 这样使得数据切换呼叫的切换失败率增大。图3为动态信道抢占优先方案的话音业务的GOS明显比其他两个方案的话音业务GOS要低很多。这是因为此方案赋予话音切换呼叫高优先权, 使得其切换失败概率非常低。

因此, 从GOS角度来看, 随着业务量强度的增加, 动态信道抢占优先方案显著地改善了系统的性能。

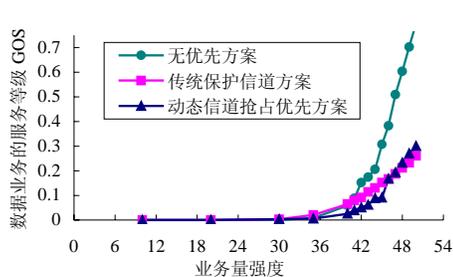


图2 数据业务 GOS 与业务量强度的关系

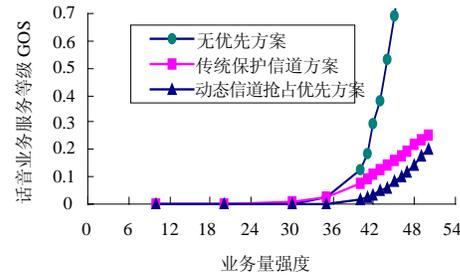


图3 话音业务 GOS 与业务量强度的关系

2.2 信道利用率

图4为信道利用率与业务量强度的关系曲线。可以看出, 信道利用率随着业务强度的增加而增加。在业务强度比较大时, 动态信道抢占优先方案比传统保护信道方案的信道利用率高, 且稍优于无优先方案的信道利用率。

3 结论

针对话音和数据综合业务的LEO卫星通信系统, 本文提出了动态信道抢占优先方案, 话音切换呼叫可抢占数据切换呼叫的信道, 同时采用动态阈值的保护信道策略, 保证了新呼叫和切换呼叫之间的优先级和公平性问题。通过计算机仿真, 与无优先方案、传统保护信道方案进行比较, 可以看到动态信道抢占优先方案在GOS和信道利用率上有很大优势, 该方案的GOS值比其他两方案低, 而其信道利用率比传统保护信道方案高, 接近无优先方案, 这都表明此方案使系统的性能得到了改善。

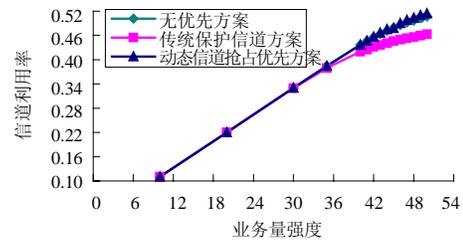


图4 信道利用率与业务量强度的关系

参考文献

- [1] Boukhatem L, Gaiti D, Pujolle G. Resource reservation schemes for handover issue in LEO satellite systems [C]. Wireless Personal Multimedia Communications, The 5th International Symposium, 2002, (3): 1 217-1 221
- [2] Beylot A L, Boumerdassi S. Adaptive channel reservation schemes in multitraffic LEO satellite systems [C]. GLOBECOM, 2001, (4): 2 740-2 743
- [3] Enrico D R, Romana F, Giovanni G. Different queuing policies for handover requests in low earth orbit mobile satellite systems [J]. IEEE Trans. on Veh. Tech, 1999, 48 (2): 448-458
- [4] Wang Zhipeng, Takis M P. A novel traffic dependent dynamic channel allocation and reservation technique for LEO mobile satellite systems [C]. VTC, 2002, (3): 1 652-1 656
- [5] 魏丫丫, 林 闯, 任丰原, 等. 无线多媒体网络中动态越区切换方案[J]. 软件学报, 2003, 14 (7): 1 310-1 315