

LEO卫星通信系统中的信道预留和排队策略

吕智勇¹，丁 锐²，汪宏武¹，沈 健¹

(1. 中国电子设备系统工程公司研究所 北京 丰台区 100039; 2. 军事科学院科研指导部 北京 海淀区 100091)

【摘要】在低地球轨道卫星通信系统中，可根据低地球轨道卫星移动的特点，对信道预留策略加以改进，使其以小区中业务量的大小动态的调整预留的信道数量，降低切换业务中断概率。此外，将信道预留与新的到达业务排队策略相结合，可以进一步提高低地球轨道卫星移动通信系统的整体性能。

关 键 词 低地球轨道卫星；移动通信；保护信道；排队
中图分类号 TN92 文献标识码 A

Guard Channel and Queuing Strategy in the LEO Satellite Communication System

Lü Zhi-yong¹，DING Rui²，WANG Hong-wu¹，SHEN Jian¹

(1. China Electronic System Engineering Company Fengtai Beijing 100039,
2. Academy of Military Science Department of Science and Research Dircion Haidian Beijing 100091)

Abstract It is well known that the Guard channel is an important method for the mobile communication systems, which can greatly improve the system performance by decreasing the probability of forced termination. Guard channel is hard to be adopted in the terrestrial communication system because of unpredicted traffics. We change the strategy based on the characters of LEO satellite and get a good performance. Moreover, the queuing of the new traffic has been taken to improve the performance of the whole LEO satellite communication system.

Key words low earth orbit satellite; mobile communication; guard channel; queuing

衡量一个移动通信系统指标的主要参数有：呼叫的阻塞概率、进行中呼叫的中断概率、以及呼叫不成功概率等。从移动用户角度来看，正在进行的通话被阻断比一个新的呼叫被阻断更加令人难以接受。因此提出了保护信道(guard channel)和切换排序的方法来降低切换阻塞概率^[1-3]。在执行保护信道策略时，很难预测保留的信道数，当预留的信道过多时，会造成信道利用率降低，增大新到达呼叫的阻塞概率；当预留信道过少时，起不到降低切换呼叫阻塞概率的作用。正是由于这个原因使保护信道的应用受到了限制。在低地球轨道(Low Earth Orbit, LEO)卫星通信系统中，却可以充分利用LEO卫星移动的特点，根据小区业务量的变化动态调整预留的信道数目，从而取得良好的效果。

1 保护信道

保护信道是指系统预留了一定的信道专门用于切换请求，而将剩余的信道由切换呼叫和新到达呼叫共享。在该方式中，系统是以牺牲新到达呼叫的接通概率来提高切换呼叫成功概率，但这一缺点可以通过对新到达呼叫排队来加以解决。在通常情况下，采用保护信道算法时，一般是通过统计分析的方法来确定通信系统中保留的信道数。设单个小区中的可用信道数为 C ，保留信道数为 C_g (专门用于切换业务)，小区中有 j 条业务信道的概率为 P_j ^[3]，切换请求被阻塞概率为 P_{fh} ^[3]，则通信业务最终被中断的概率为 P_F (该通信业务成功的执行了 $l-1$ 次切换，在第 l 次切换时被阻塞)：

$$P_F = \sum_{l=1}^{\infty} P_{fh} \left[P_N (1 - P_{fh})^{l-1} P_H^{l-1} \right] = \frac{P_{fh} P_N}{1 - P_H (1 - P_{fh})} \quad (1)$$

式中 $P_{fh} = P_C$ 表示切换业务阻塞概率； P_N 表示一个没有被阻塞的新到达呼叫产生至少一次切换请求的概

收稿日期：2003-12-29
作者简介：吕智勇(1974-)，男，博士，工程师，主要从事卫星通信和移动通信系统中信息分配和切换技术方面的研究。

率; P_H 表示已经成功切换的呼叫产生另一次切换请求的概率。

1.1 保护信道数目的选择方法

$P_F < P$ (可以接受的掉话率) 可将该条件代入式(1)中求出保护信道 C_g ; 设系统性能为:

$$C_F = (1 - a)P_n + aP_F \quad (2)$$

式中 $P_B = \sum_{j=C-C_g}^C P_j$ 表示新到达呼叫阻塞概率; a 表示 P_B 与 P_F 的相对比重, 其取值范围在 $[0, 1]$ 之间。通过对 C_F 求导, 令 $C_F' = 0$, 可得出 C_g 值。

小区中的状态和业务量是不断变化的, 因此如何动态调整小区中的保护信道, 使系统性能得到改善, 是一个非常困难的问题。在LEO卫星系统中, 却可以充分利用LEO卫星的特点, 使得动态调整保护信道的数量成为可能。

2 保护信道在LEO系统中的应用

2.1 LEO卫星通信系统的特点

(1) LEO卫星相对于地面快速移动(25 000 km/h), 因此可忽略地面移动用户移动速度。例如: 在铱系统中, 卫星相对地面的运动速度为26 676 km/h, 而移动用户的平均运动速度为90 km/h。因此, 在LEO系统中, 通信用户的移动速度相对于移动卫星来说可以忽略不计^[4-5]; (2) 在同一轨道平面上的卫星是以相同的速度, 沿着相同的方向快速移动的。因此根据移动的相对性, 可以假设卫星小区是固定的, 而所有移动台都是以相同的固定速度25 000 km/h, 沿着同一方向移动。由于LEO卫星系统的这一特点使得可以根据前一卫星小区的业务量预测将要到达本小区的切换业务, 从而动态调整预留的保护信道数量

2.2 卫星系统中的信道保护策略

假设: (1) 单个小区中业务是均匀分布的; (2) 新业务产生符合泊松分布; (3) 通话持续时间符合负指数分布, 均值为 T_m ; (4) 相邻两个小区是相互重叠的, 重叠区域占整个小区的1/10。设卫星通信系统中, 新到达呼叫的速率为 A , 呼叫离开速率为 u , 小区1中正在通信的业务数量为 i , 小区2中正在通信的业务数量为 j 。移动台的相对移动方向为: 从低标号小区向高标号小区移动; A_h 表示切换到达速率。在状态 (i, j) 条件下, 相邻小区状态关系图如1所示。根据移动的相对性, 假设卫星小区固定不动, 移动台以26 600 km/h的速度沿着小区运动, 从小区1进入小区2。在小区1中, 新的呼叫业务以速率 A 到达, 并且均匀分布在小整个区中。切换业务以速率 A_h 到达低标号小区1。当小区1中有 i 条正在进行的通信业务时, 其业务离开速率为 iu ; 在 i 条通信业务中将有 $iy = iP_N$ 条通信业务会进入小区2。在小区2中, 新的呼叫业务到达速率为 A , 且均匀分布在小区2中, 切换业务从小区1中进入, 其到达速率与小区1的状态 i 有关; 当小区2中有 j 条正在进行的通信业务时, 其业务离开速率为 ju ; 在 j 条通信业务中将有 $jy = jP_N$ 条通信业务会进入小区3。图1中虚线所示区域为小区之间的重叠区域。

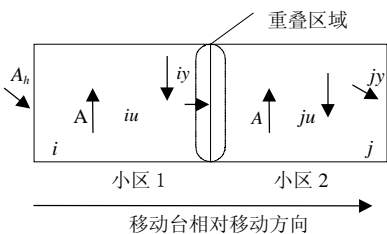


图1 卫星小区业务切换模拟

由于所有的移动台都以相同的速度, 沿着一个方向移动, 因此切换业务只可能由前一个小区中的业务产生, 即本小区切换呼叫的到达率仅与前一个小区的状态有关。由于负指数分布的无记忆性, 因此在任意时刻, 未中断通话的持续时间都符合均值为 U_m 的负指数分布。由于在单个小区中业务是均匀分布的, 因此一个未中断通话产生至少一次切换的概率为:

$$P_N = Pr\{T_M > T_n\} = \int_0^{\infty} [1 - F_{T_M}(t)] f_{T_n}(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-U_M t} f_{T_n}(t) dt \quad (3)$$

式中 T_M 为通话持续时间, 符合均值为 U_m 的负指数分布; T_n 为用户在小区中停留时间, 符合 $[0, 2R/V]$ 中均匀分布, R 为小区半径, V 为卫星移动速度; F_{T_M} 为 T_M 的概率分布函数; f_{T_n} 为 T_n 的概率密度函数。所以当前一小区的状态为 i 时, 可能切换到下一个小区的业务量为 iP_N 。根据以上条件, 设定下一个卫星小区中保留的信道数为:

$$C_g = NP_N b = iP_N b/10 \quad (4)$$

式中 N 为重叠区域中的业务; b 为切换业务与新到达业务之间的比重关系 (b 与式(2)中的 a 意义不同)。

下面以Iridium系统为例,对卫星小区模型(参见图1)进行仿真,设小区半径 $R=212.5$ km,卫星移动速度 $V=26\ 600$ km/h,通话持续时间的均值 $U_m=3$ min,小区中的信道数 $C=60$;则系统阻塞概率如图2所示(所有仿真在MATLAB平台上实现):在图2中,横坐标表示新业务的到达时间间隔,即: $1/\lambda$;纵坐标表示业务阻塞概率。从图中可看出,预留一部分信道专门用于切换业务会降低切换业务的阻塞概率,但它同时会增加新到达业务的阻塞概率。预留的保护信道越多,切换业务的阻塞概率越低,同时新到达业务的阻塞概率越高。从图2中还可看出:当系统通信业务量较小时,采用动态保护信道的切换业务阻塞概率大于采用 $C_g=4$ 的固定保护信道的切换业务阻塞概率;而当系统通信业务量增大到一定的程度时,动态保护信道的切换阻塞概率小于 $C_g=4$ 时固定保护信道的切换阻塞概率。与此相反,当系统通信业务量较小时,动态保护信道的新业务阻塞概率小于 $C_g=4$ 的固定保护信道的新业务阻塞概率;而当系统通信业务量增大到一定的程度时,动态保护信道的新业务阻塞概率大于 $C_g=4$ 时固定保护信道的新业务阻塞概率。这是由于在LEO卫星通信系统中,采用动态保护信道后,系统会根据切换业务的到达速率自动调整保护信道的数量。当切换业务量较小时,预留较少的保护信道,使更多的信道可以用于新到达业务;当业务量较大时,预留较多的信道,用以降低切换业务阻塞概率,但它同时减少了用于新到达业务的信道。从图2中可以看出,不管是采用动态保护信道还是采用固定保护信道,总是以增加新到达业务的阻塞概率为代价来降低切换业务阻塞概率的。此时可以通过对新到达业务排队来降低新到达业务的阻塞概率。

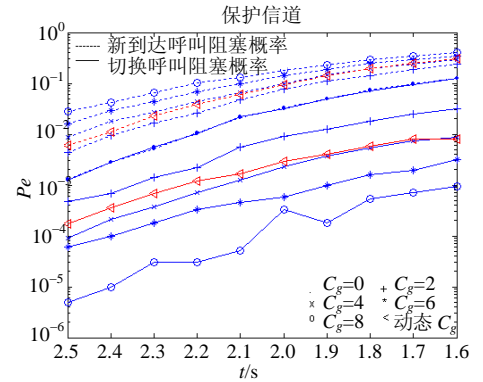


图2 动态保护信道与固定保护信道的比

3 新到达业务排队

3.1 新到达业务排队策略

(1) 切换业务到达小区时,如小区中有空闲信道则分配给该切换业务,如小区中没有空闲信道则该切换业务被阻塞;(2) 新业务到达小区时,首先检查小区中的空闲信道数是否大于保护信道 C_g ,如空闲信道大于 C_g ,则分配给该新到达业务一条空闲信道,否则对新到达业务进行排队;(3) 当接受服务的通信业务离开小区(由于通话完毕或切换到下一个小区)时,首先检查当前小区的状态,如空闲信道大于 C_g ,且有新到达业务在排队等待服务,则从排队等待服务的新到达业务中选择一个业务分配刚刚释放的信道;如空闲信道小于等于 C_g 或没有新到达业务在排队,则释放服务完毕的信道。(4) 设用户可忍耐的等待时间 T 是有限的,当新到达业务在排队等待 T 时间后,仍没有得到服务,则该业务自动离开等待队列。设小区半径 $R=212.5$ km,卫星移动速度 $V=26\ 600$ km/h,通话持续时间均值 $T_m=3$ min,小区中的信道数 $C=60$,保护信道数为 C_g ,用户忍耐的等待时间均值为 $T=2$ min,(等待时间是指用户可以等待的系统反馈时间)。则系统阻塞概率如图3所示(所有仿真在MATLAB平台上实现):在图3中,横坐标表示新业务的到达时间间隔,即: $1/\lambda$;纵坐标表示业务阻塞概率。从图中可以看出:采用保护信道后可以降低切换业务的阻塞概率,但同时也增大了新到达业务的阻塞概率;而采用综合的保护信道和新到达业务排队策略后,在降低卫星系统切换业务阻塞概率的同时也降低了新到达业务的阻塞概率。当且仅当卫星通信系统负载较大时,新到达业务的阻塞概率才比无保护信道条件下新到达业务的阻塞概率高。这是由于采用对新到达业务排队策略后,更加有效地利用了系统的信道,提高了信道利用率。当系统负载较小时,系统中信道在大部分时间都是空闲的,让新到达业务在小区忙碌时暂时等待,等小区空闲时再为其提供服务,充分利用了信道的空余时间,降低了新到达业务的阻塞概率。当系统负载较高时,系统中的信道在大部分时间都是忙碌的,即使新到达业务等待一段时间后,发现信道仍然忙碌,从而被阻塞。因此在系统负载较大时,采用新到达

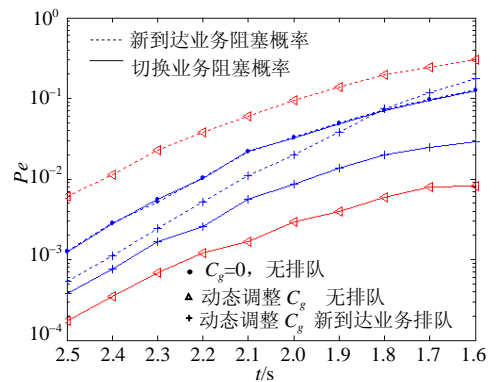


图3 新到达业务排队算法对系统性能的影响

业务排队策略所取得的效果比系统负载小时的效果差。另外，在采用排队等待策略后，由于增加了进入系统中的新到达业务，增加了信道占用时间，因此会影响到切换业务的阻塞概率，这些都从系统仿真中得到了完整的体现。

4 结 论

通过前面的分析和仿真，可以看到：在LEO卫星移动通信系统中采用保护信道策略可以大大降低通信业务的中断概率，但它是增大新到达业务的阻塞概率为代价的。而采用新到达业务排队策略却恰恰可以降低新到达业务的阻塞概率。将这两种策略综合运用可以全面提高LEO卫星通信系统的性能。

参 考 文 献

[1] Tripathi N D, Reed N J H. Handoff in cellular systems[J]. IEEE Personal Communication, 1998, 5(6):27-37.
[2] Ebersman H G, Tonguz O K. Handoff ordering using prediction priority queuing in personal communication systems[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,1999, 48(1): 21-35.
[3]Hong D , Rappaport S S. Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology,1986, VT-35(3): 132-146.
[4] Enrico D R, Giambene G. Handover queuing strategies with dynamic and fixed channel allocation techniques in low earth orbit mobile satellite systems[J]. IEEE Transactions on Communications,1999, 47(1): 89-101.
[5] GMaral G, Jean-Jacques de Ridder.Low earth orbit satellite systems for communications[J]. International Journal of Satellite Communications, 1991, 9: 209-225.

编 辑 孙晓丹

(上接第170页)

4 结 论

本文研究了频率选择性瑞利衰落信道中MIMO-OFDM系统的非相干空时频分组编码，分析和仿真结果表明，这种编码方法可以充分利用空间和频率分集，并且接收机不需要信道信息。提出码的另一个好处是通过子载波分组大大减小了编码和解码的复杂性。本文提出的分析方法是基于各天线间独立的信道假设，不同天线信道间的相关性对码的性能影响还有待进一步研究。

参 考 文 献

[1] Bolcskei H, Paulraj A J. Space frequency coded broadband OFDM systems[J]. IEEE WCNC-2000, 2000,1: 1-6.
[2] Lu B, Wang X. Space time code design in OFDM systems[J]. IEEE Globecom ,2000, 2: 1 000-1 004.
[3] Liu Z, Xin Y, Giannakis G B. Space-time-frequency coded OFDM over frequency-selective fading channels[J]. IEEE Trans. Signal processing , 2002 ,50 (10): 2 465-2 476.
[4]Bolcskei H, Borgmann M. Code dsign for non-coherent MIMO-OFDM systems[C]. Allerton Conf. on Communication, Control, and Computing, Monticello, IL,2002, 345-352.
[5] 宋高俊，无线MIMO信道的分集技术研究[D]. 成都:电子科技大学, 2005.
[6] Tarokh V, Seshadri N, Calderbank A R. Space time codes for high data rate wireless communication: performance criterion and code construction [J]. IEEE Trans. Inform. Theory ,1998, 46(10): 744-765.
[7] Hughes B L. Differential space time modulation[J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 2000, 46: 2 567-2 578.
[8] Hochwald B M, Marzetta T L, Richardson T J, et al. System design of unitary space time constellations[J]. IEEE Trans. Inf. Theory , 2000, 46(6): 1 962-1 973.

编 辑 孙晓丹