

一种适用于 NGSO MSS 网络的混合信道分配方案

刘光辉* 朱中梁**

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

【摘要】 针对 NGSO MSS 网络的动态特性,提出了一种适用于该网络的混合信道分配方案。在该方案中,固定信道采用非均匀压缩图案分配算法分配给各小区作为标称信道专用,并定期根据变化了的业务条件进行重新分配,动态信道的指派采用最先可行 FA(First Available)算法。仿真结果表明,在较宽的负载范围内,运用该方案比固定信道分配方案均有更好的性能,并能有效地降低切换呼叫和信道更新期间的呼损率,从而显著提高网络的业务承载量。

关键词 非静止轨道移动卫星; 卫星业务网络; 混合信道分配; 压缩图案分配; 服务等级
中图分类号 TN919

对于地面蜂窝移动通信网的信道分配问题,有关学者已经对其进行了大量的研究和报道,其中主要有固定信道分配 FCA 方案、动态信道分配 DCA 方案和混合信道分配方案 HCA 等^[1]。尽管目前很多非静止轨道移动卫星业务(NGSO MSS)网络都处于计划和发展之中,但是关于其信道分配问题研究的文献却很少,文献[2]对 DCA 方案的性能进行了分析研究,指出在低负载的情况下 DCA 方案比 FCA 有更好的性能,然而其仿真的结果是在假设网络中各小区的业务分布是均匀不变的理想条件下得到的;文献[3]提出了一种 FLEXCA-LP 算法,它运用线性规划和 GOS 控制技术,实现了对频率资源的有效管理,但该算法主要针对弯管式系统,处理也较复杂。文献[4]根据 MSS 网络业务非均匀及过区切换频繁的特点,提出了一种采用非均匀压缩图案分配算法分配固定信道的 HCA 方案,但是该方案没有考虑 MSS 网络的动态特性。在 MSS 系统中,由于卫星相对于地面高速运动,卫星上的点波束照射区域的业务负载和点波束之间的信道重用图案都在发生巨大的变化,具有很强的时变和动态特性。本文在文献[4]的基础上,针对 NGSO 网络的时变和动态特性,对 HCA 方案进行了改进,其基本思想是根据点波束覆盖小区动态变化的非均匀业务,动态地分配 HCA 的固定信道以适应这种剧烈变化。

1 NGSO MSS 网络的动态特性

NGSO MSS 网络由一个卫星星座组成,通常用大量的点波束实现对地面的大范围覆盖,这些点波束可以看成是倒悬在天空中高速运动的无线基站,点波束的脚印相当于地面移动通信网络的蜂窝小区。因此,卫星移动通信网也可以采用一些同陆地移动通信网相类似的信道分配技术,特别是 GEO 系统,其特点同地面蜂窝网络很类似。但是,在 NGSO MSS 网络中,由于卫星相对于地球高速运动,其也呈现出一些与地面蜂窝网不相同的特点。

1.1 时变的业务负载

卫星蜂窝通信网络覆盖的地域非常广阔,处于城市、乡村、沙漠、海洋和极地的不同覆盖小区,其忙时业务负载差别很大,网络的业务分布极不均匀。同时,在一天之内,小区本地的业务负载也在发生着很大的变化,其变化的曲线如图 1 所示, r 为不同时刻的负载变化率。从图 1 可以看出,一天中两个业务峰值时间均位于本地白天的上班时间内,由于受时差因素的影响,点波束覆盖小区中有的可能处于业务繁忙的上班时间内,而有的则可能处于夜深人静的午夜。对于 NGSO MSS 系统而言,卫星相对地面高速运动,星上的点波束在短时间内快速地扫过地球表面,其服务小区的业务剧烈变化,具有很强的动态特性。

1998年10月13日收稿,1998年11月9日修改定稿

* 男 25岁 硕士生

** 男 60岁 教授级高工 博士生导师

1.2 点波束间的信道重用条件

同地面蜂窝网一样，脚印相隔足够距离远的卫星点波束之间也可以重用相同的信道。在NGSO MSS网络中，不同轨道平面的不同卫星上的点波束的相对位置随时都在发生变化，当然这些波束之间的信道重用条件也随时在发生变化。而同一卫星或同一轨道平面上的卫星的点波束之间的相对位置保持不变，因而它们之间的信道重用条件则是保持不变的。为简化起见，本文没有针对点波束而是点波束覆盖的小区来进行信道分配，这样就不用考虑点波束间的信道重用条件的变化问题。

2 改进的混合信道分配方案

为了适应NGSO MSS网络动态变化的业务负载条件，HCA和DCA方案由于都具有动态信道，因而可以在一定范围内适应这种业务条件的动态变化。虽然DCA方案在负载较轻时具有较好的性能，但是在高负载条件下，DCA方案的性能急剧下降。HCA方案正是一种介于FCA和DCA方案之间的折衷方案，它是两种方案的结合。在HCA方案中，系统的所有全双工业务信道被分为A、B两组，其中A组的信道采用FCA方案，称为固定信道；B组的信道采用DCA方案，称为动态信道。固定信道和动态信道的分配比例将对混合信道分配方案的性能产生影响。假设用a来表示固定信道数和动态信道数的比，则 $a=C_f:C_d$ ，其中 C_f 为固定信道数， C_d 为动态信道数，且 $C_f+C_d=T$ ，T为系统的全部业务信道数。

文献[4]介绍了采用非均匀压缩图案分配算法分配固定信道的HCA方案，为了适应动态变化的业务条件，我们对该算法进行了改进。这里，假设考虑的是一个共有N个小区，M条固定信道的NGSO MSS网络。

2.1 压缩分配图案

如果系统的第K条信道分配给系统中的某些小区而又没有引起同信道干扰，则称这些小区为信道K的同信道小区。在时刻t，信道K分配给各同信道小区所形成的一个分配图案，称为信道K的分配图案，记为 $\pi_k(t)$ 。这里， $\pi_k(t)$ 可以描述为集合 $I_1(k,t), I_2(k,t), \dots, I_N(k,t)$ ，其中

$$I_i(k,t) = \begin{cases} 1 & \text{信道K被分配给小区i} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

使用相同信道的小区间均保持最小的重用距离的分配图案叫做压缩分配图案。假设最小的同信道重用距离为 $\sqrt{2}R$ ，R为小区的半径。图2所示为两个压缩分配图案(一个为顺时针，另一个为逆时针)，标有X的小区为同信道小区。当中央小区向其相邻的六个方向移动时，就可以得到其他12个分配图案，因此整个压缩分配图案共有14个。用G表示压缩分配图案集合，则 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_{14}\}$ 。

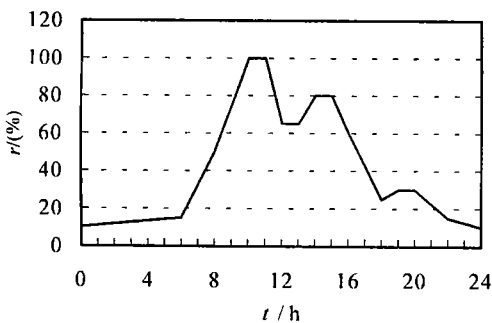


图1 本地业务负载变化率

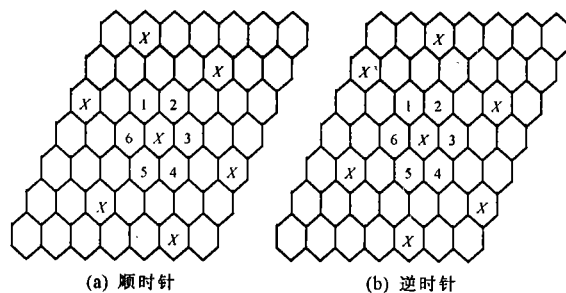


图2 压缩分配图案

2.2 信道更新时刻T和信道更新间隔时间ΔT

为了处理连续变化的业务负载条件，我们引入了信道更新时刻T和更新间隔时间ΔT的概念。在每个信道更新时刻，网络都要对各小区的业务进行统计采样，再根据所得到的业务分布执行压缩图案分配算法对系统的固定信道进行重新分配，经过信道更新间隔时间ΔT后，到达下一个信道分

配更新时刻 $T + \Delta T$ ，然后再重复以上处理过程。信道更新间隔时间 ΔT 的选取很重要， ΔT 太小势必引起频繁的信道更新，这将会大大增加网络的处理开销而又不能显著改善网络的性能； ΔT 太大则不能真实地反映业务条件连续的变化过程。

2.3 系统的平均阻塞率

定义时刻 t 系统的平均阻塞率为

$$PB(m, t) = \sum_{i=1}^N W_i(t) P(\lambda_i(t), n_i(m, t)) \quad (2)$$

其中

$$n_i(m, t) = \sum_{k=1}^m I_i(k, t) \quad (3)$$

为假设已经分配了 m 条信道后第 i 个小区中已经分配到的信道数； $W_i(t)$ 为业务权重因子，由下式(4)给出

$$W_i(t) = \frac{\lambda_i(t)}{\sum_{j=1}^N \lambda_j(t)} \quad (4)$$

$$P(\lambda_i(t), n_i(m, t)) = \left[\sum_{k=0}^{n_i(m, t)} \frac{\lambda_i^k(t)}{k!} \right]^{-1} \frac{\lambda_i^{n_i(m, t)}(t)}{n_i(m, t)!} \quad (5)$$

式(5)为 Erlang-B 公式， $\lambda_i(t)$ 为小区 i 在时刻 t 的业务量。

2.4 改进的压缩图案分配算法

算法的基本步骤如下：1) 在信道分配更新时刻 T ，首先考虑分配第一条信道，设第 1 条信道的最优分配图案用 $\pi_1^*(T)$ 表示， $\pi_1^*(T) \in G$ ，且使平均阻塞率 $PB(1, T) = \sum_{i=1}^N W_i(T) P(\lambda_i(T), n_i(1, T))$ 最小；2) 设前 m 条信道的最优分配图案为 $\Gamma_m(T)$ ， $\Gamma_m(T) = \{\pi_1^*(T), \pi_2^*(T), \dots, \pi_m^*(T)\}$ ，当分配第 $m+1$ 条信道时，前 m 条信道的分配保持不变。假设第 $m+1$ 条信道的最优分配图案用 $\pi_{m+1}^*(T)$ 表示， $\pi_{m+1}^*(T) \in G$ ，且使得 $PB(m+1, T) = \sum_{i=1}^N W_i(T) P(\lambda_i(T), n_i(m+1, T))$ 最小，其中 $n_i(m+1, T) = n_i(m, T) + I_i(m+1, T)$ ；3) $\Gamma_{m+1}(T) = \Gamma_m(T) \cup \{\pi_{m+1}^*(T)\}$ ；4) m 从 1 到 $M-1$ ，重复 2)、3)，直到求得 $\Gamma_M(T)$ ，即可完成 M 条固定信道的分配。

2.5 最先可行算法 FA

在动态信道分配方案中，常见的有最先可行 FA 算法、均方法、最近距离算法、最近距离+1 算法等，我们拟在 HCA 方案中采用 FA 算法。其基本思想是：在搜索满足同信道约束条件的可用信道中，最先找到的可用信道即为所要分配的信道。这种算法虽然不是最佳的，但是它非常简单、计算量很小、易于实现。有研究表明，该算法同其他算法相比性能相差不多，但却比后几种算法简单。

3 GOS 性能参数及网络仿真模型描述

3.1 GOS 性能参数

在以上讨论的信道分配方案中，我们仅仅考虑了新呼叫产生的业务负载。然而在 NGSO MSS 网络中，还存在着切换呼叫和正在进行的呼叫。在一些信道分配的更新时刻，某些点波束分配到的信道数目可能减少，这一现象可能导致两种不好的情况发生：当正在进行的呼叫超过了下一更新时刻所分配的信道容量时，一些正在进行的呼叫将被呼损，同样，切换呼叫也可能因此而阻塞。从移动用户的角度来看，正在进行的呼叫和切换呼叫的呼损远比新呼叫被拒绝更难以接受。一个好的信道分配方案应能保证正在进行的呼叫和切换呼叫的性能^[4]。对于正在进行的呼叫，由于 HCA 方案具有动态信道，当信道更新使得某些小区中正在由固定信道服务的呼叫超过了所分配到的信道容量

时，一些呼叫可以切换到空闲的动态信道上而去而不至于发生阻塞。

为了充分调查和评价信道分配方案的性能，执行一个基于呼叫的事件驱动的计算机仿真是必要的。本文定义了一组 GOS 性能参数，包括新呼叫阻塞率 B_f ，过区呼叫阻塞率 B_h ，信道分配更新时刻呼损率 B_u ，分别定义如下

$$B_f = \frac{F_b}{F_b + F_s} \times 100\% \tag{6}$$

$$B_h = \frac{H_b}{H_b + H_s} \times 100\% \tag{7}$$

$$B_u = \frac{C_b}{C_b + F_b + F_s + H_b + H_s} \times 100\% \tag{8}$$

式中 F_b 为阻塞的新呼叫数； F_s 为成功的新呼叫数； H_b 为阻塞的切换呼叫数； H_s 为成功的切换呼叫数； C_b 为信道分配更新时刻阻塞的呼叫数。

3.2 仿真模型描述

所要仿真的 NGSO MSS 系统的点波束照射区域由 49 个六角形小区构成，如图 3 所示，并遵从以下假设：1) 系统中各小区的新呼叫到达为相互独立的泊松过程，到达率从 20 呼叫/小时到 200 呼叫/小时不等为系统的忙时基本业务负载，如图 3 各小区中的数字所示，本地业务负载变化规律遵循图 1 所示，呼叫保持时间服从均值为 3 min 的负指数分布；2) 系统全双工业务信道总数 $T=70$ ，小区半径 R 为 689 km；3) 网络小区间的最小同信道重用距离 $D=\sqrt{21}R$ (即区群数为 7 的复用)，信道分配采用混合信道分配方案，其中固定信道利用压缩图案分配算法分配，动态信道采用 FA 算法指派，信道更新间隔时间 ΔT 为 10 min；4) 仅考虑移动台相对于卫星的运动，移动台的相对速度和地球的自转不予考虑，这里假设移动台均沿着 y 方向运动，运动速度为 26 820 km/h；5) 以坐标为(3, 3)的小区的时间为标准时间，相邻小区间时差为 0.5 h，仿真时间从 8:00 到 16:00 共 8 个小时；6) 考虑到边缘效应的影响，仿真结果仅从被边缘小区包围的中央小区中统计。

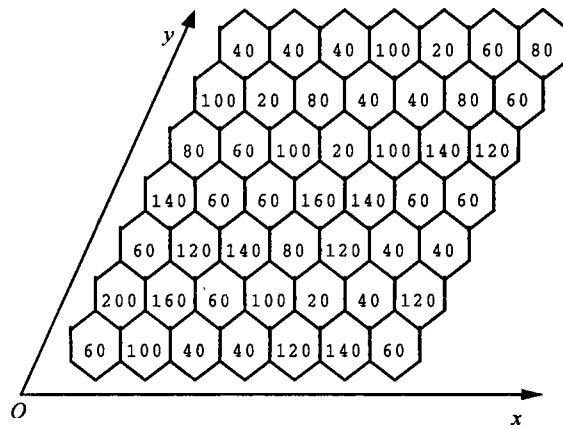


图 3 业务分布非均匀的蜂窝小区

基于以上假设的网络仿真模型，我们开发了一个基于呼叫的事件驱动的仿真系统，对所提出的 HCA 方案的性能进行了仿真。

4 仿真结果及讨论

根据上面所描述的系统仿真模型，我们对该模型进行了计算机仿真，所得结果如图 4 和图 5 所示，其中横坐标 p 代表在忙时基本负载基础上的负载增长系数。文献[4]指出 $a=56:14$ 的 HCA 方案是一种较好的方案，在这里仅对 FCA 方案和 $a=56:14$ 的 HCA 方案进行了考察。从仿真结果可以看出：对于 FCA 方案，由于一个小区中的信道分配同其相邻的小区无关，因此新呼叫和过区呼叫的阻塞率相差无几，由于没有动态信道，大约有 0.03% ~ 0.05% 的呼叫在信道分配更新时刻呼损。而对于 HCA 方案，在负载增长较大的情况下，新呼叫和过区呼叫的性能均有很大改善，特别是在负载较低时，其阻塞率很小。由于动态信道的存在，其 DCA 技术隐含地给予过区呼叫更高的优先权，所以 HCA 方案能够有效地降低切换呼叫的阻塞率，并且随着负载的增加，其性能的改善越显著；同时，信道分配更新时刻的呼损率也有不同程度的减少。当 B_f 为 5% 时，HCA 方案比 FCA 大概能多承载 60% 的业务，其性能的改善是很可观的。因此，对于大规模的 NGSO MSS 网络，我们所提

出的 HCA 信道分配方案是合适的。

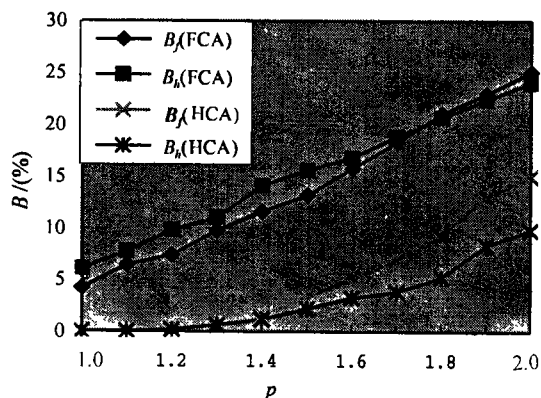


图4 新呼叫和切换呼叫的平均阻塞率

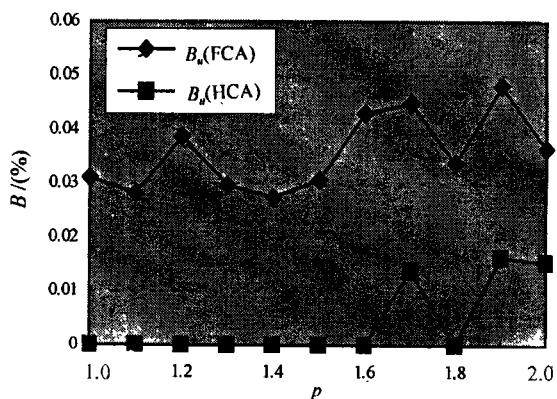


图5 信道分配更新时刻的平均阻塞率

参 考 文 献

- 1 Katzela , Naghshineh M. Channel assignment schemes for cellular mobile telecommunication systems: a comprehensive survey. IEEE Personal Commun, 1996,3(3):10~31
- 2 Del Re E. Performance analysis of a dynamic channel allocation technique for satellite mobile cellular networks, Int Jour Satellite Commun,1994,12:25~32
- 3 Konishi Satoshi, Mizuike Takeshi. Flexible transmission bandwidth management with effective channel reservation techniques for NGSO MSS networks. IEEE Journal on Selected Areas in Commun, 1997, 15(7): 1 197~1 206
- 4 刘光辉, 曹世文. 低轨卫星蜂窝移动通信网混合信道分配(HCA)方案的性能分析研究, 1998 年中国空间电子学年会论文集, 西安, 1998:83~86
- 5 吕洪生, 杨新德. 实用卫星通信工程. 成都: 电子科技大学出版社,1994

A Hybrid Channel Assignment Scheme for NGSO MSS Networks

Liu Guanghui Zhu Zhongliang

(National Key Lab of Broadband Optical Trans. and Commun. Systems, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract According to the dynamic features of NGSO MSS networks, this paper puts forward a hybrid channel assignment scheme. In the scheme, fixed channels are allocated to cells for exclusive use as nominal channels and reallocated after periodic time in terms of time-variant traffic distribution using ununiform compact pattern allocation algorithm. Available algorithm is used to assign dynamic channels. Computer simulation results show that the HCA scheme has better performance compared with FCA scheme and can effectively reduce handover failure and call disruption rates on channel updating times, thus greatly improve network traffic-carrying capacity.

Key words nongeostationary orbit mobile satellite; mobile satellite networks; Hybrid channel assignment; compact pattern allocation; grade of service