

一种新的优化动态信道分配策略及建模分析

党安红¹, 张 敏², 朱世华³, 汤俊雄¹

(11 北京大学电子学系, 北京 100871; 21 西安工业学院计算机系, 陕西西安 710032;

31 西安交通大学信息与通信工程系, 陕西西安 710049)

摘 要: 本文提出一种新的动态信道分配策略,称之为分级紧致的动态信道分配(CCDCA),所谓分级就是基于引入的冷态0和热态0的概念,将小区所处的状态分为冷态与热态;所谓紧致就是对处于不同状态的小区给出不同的紧致模型.该策略在对热态0的处理过程中利用了冷态0的先验信息,有机地结合了局部信息与整体信息,同时能保证小区间有较小的服务偏差,提高了整个系统的服务质量.文中还从理论上给出了冷、热态阈值的分析模型,计算出了模型的主要参数,该模型也可以用来分析系统性能.仿真结果证明该方案有较小的呼阻率和较高的频谱利用率,所提出的模型比较接近实际系统.

关键词: 蜂窝移动通信; 动态信道分配; 马尔科夫链

中图分类号: TN914.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2004)07-1152-04

A Novel Optimal Dynamic Channel Assignment Scheme and Its Performance Evaluation

DANG Anzhong¹, ZHANG Min², ZHU Shi2hua³, TANG Jun2xiong¹

(11 Electronics Dept., Peking Univ., Beijing 100871, China; 21 Comp. Dept., Institute of Xi'an Technology, Xi'an, Shaanxi 710032, China;

31 Dept. of Information and Communications Engineering, Xi'an Jiaotong Univ., Xi'an, Shaanxi 710049, China)

Abstract: The paper presents a novel channel assignment scheme, namely classified compact dynamic channel assignment (CCDCA) scheme for cellular mobile communications systems. The so-called classification is that a cell is classified as the hot and cold based on the definition of 0cold0 and 0hot0. The so-called CCDCA is that different compact strategies and allocation are thus derived, then the information obtained from the previous 0cold0 state is used for channel assignment in the 0hot0 state. The scheme combines local information with the whole, and can guarantee high quality of service (QoS) and low service deviation (SD). A two-dimensional Markov chain model is developed to analyze the threshold and its main parameters are derived for the scheme, though it is also applicable to analyze channel assignment schemes. By simulation, the CCDCA is shown to be superior in terms of call blocking probability and spectrum utilization. The simulation also shows that the model can match practical system quite well.

Key words: cellular mobile communications; dynamic channel assignment; markov chain

1 引言

随着移动通信用户的急剧增加,如何提高现有频率资源的利用率已成为制约移动通信发展的瓶颈,而良好的信道分配是解决这一问题的有效措施之一.固定信道分配不能有效地处理热点问题;而动态信道分配虽能较好地跟踪话量的变化,但当不采用其它优化措施时,仅在业务量较小时才有较低的呼阻率^[1,2].为此,有许多紧致措施被应用于动态信道分配技术^[2,3].一种典型的、理想化的动态信道分配方案是MP (Maximum Packing)算法^[4].其基本思想是进行全局信息优化,即当某小区有呼叫到达时,若有可用信道则予以分配,若无,则对所有小区实行信道重新分配,以便为新的呼叫调整出一个可用信道.采用动态信道分配技术时存在的另一个问题是,在不同的蜂窝小区间存在着不平衡的服务性能^[5,6].

动态信道的紧致分配是国内外许多学者一直致力研究的一个重要课题^[1~3],也就是说究竟采取什么样的紧致措施以达到或接近系统优化的整体性能.从大的方向来看,笔者认为该领域的研究可以归纳为两类,一类是分配方案方面的研究,也就是说当有呼叫来临时,采取什么样的措施,选择哪个信道响应呼叫;另一类是将信道分配归为一种最优化问题,也就是说在多种制约因素限制下,如何将现有的有限资源分配给用户,使得系统能够容纳尽量多的用户.显然后者是以整体性能优化为目的,而不去考虑具体选择哪个信道响应呼叫,这方面比较典型的是神经网络算法^[8]、模糊控制算法^[9]等,前面提到的MP算法^[4]属于第一类,MP算法尽管可以达到良好的整体性能指标,但它是以频繁地信道重新分配为代价,有较大的盲目性,计算量相当大,只能作为一个理想的参考值,根本无法操作.如何实现优化的紧致分配,以取得优化的性能指标一直

是该领域重要的研究方向^[2,3,7,8]。本文提出一种新的动态信道分配思路,称之为分级紧致的动态信道分配方案,首先根据小区中的信道使用情况与业务量的关系,将小区所处的状态分成冷态0和热态0,然后对处于不同状态的小区给出不同的紧致措施,构造了相应的数学模型。该方案由冷态0紧致处理得到一个初步的系统资源分布结构,而热态0处理利用了已有的冷态信息尽量达到整体优化,与现有方案^[1,2,7]相比,该方案有机地结合了局部信息与整体信息,在不降低灵活程度的基础上,充分利用尽可能多的信息完成整体优化的信道分配,提高了系统的服务质量。这里冷态0和热态0的概念与一般认为的热区0、冷区0的概念^[10]是不一样的,处于热态0的小区本身很可能是冷区0,而属于热区0的小区却可能处于冷态0。此外,本文针对小区冷、热态的特点构造了一个分析模型,估计出了其主要参数,尽管该模型是用来分析优化阈值的,但显然也可用于评估系统性能。

本文的其他部分是这样安排的,第2节建立一个分析模型来优化选择冷、热态阈值,第3节给出分级紧致方案的主要思想,第4节对方案进行仿真,最后是结论。

2 建模分析

在该方案中,需要根据小区中的信道使用情况与业务量的关系,将小区所处的状态分成冷态0和热态0,然后对处于不同状态的小区给出不同的紧致模型。也就是说,对一个小区来说,为了保证整个服务系统的服务质量,基于该小区的业务量情况,对应一个阈值0。当其正在占用的信道数低于该阈值,称作冷态0;否则称为热态0。显然对这样一个分配策略来说,有两个关键问题需要解决:一个是小区所处状态的判定,即冷态0/热态0阈值的求解;另一个就是对处于不同状态的小区给出怎么样的紧致模型,达到整个系统的性能优化。下面先理论上探讨阈值的选取,下一节将给出分配方案模型。

设小区到达的呼叫符合参数为 K 的泊松分布^[3]

$$p_k(t) = [(K/k)!] e^{-K} \quad (1)$$

呼叫持续时间满足参数为 L 的负指数分布^[3]

$$f(t) = L e^{-Lt} \quad (2)$$

为了从理论上探讨问题,引入一个二维状态变量(i, j),并用 p(i, j)表示小区处于状态(i, j)的概率,其中 i, j 分别表示本小区正在使用的信道数量及小区禁用信道数量,令 j 的最大值为 J,对一个复用模式为 K 的蜂窝有

$$J = N - \sum_{g=1}^K m_g$$

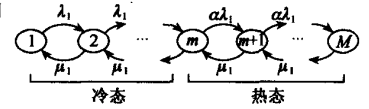
其中 m_g 为小区 g 的冷态阈值。

令 m 为小区的冷、热态阈值, N 为小区可用的信道数, N 为系统提供的信道总数。同时作如下假定,

- (1) 呼叫的到达呈参数为 K₁ 的泊松分布,呼叫持续时间满足参数为 L₁ 的负指数分布;
- (2) 禁止使用的信道的到达符合参数为 K₂ 的泊松分布,持续时间满足参数为 L₂ 的负指数分布;
- (3) 当小区达到热态0时,呼叫成功的概率为 A

如图 1 表示了该二维状态向量(i, j)中 i 的变化情况,正是 i 的大小决定了小区处于何种状态,而 j 代表了所研究小

区的呼叫情况,同时直观地给出一个冷态0/热态0的关系示意。假定呼叫的到达和持续时间满足(1)、



(2), 对于研究的小区, 时有呼叫到达, 也时有呼叫离去, 可以有一个短时动态平衡状态, 同时也时时存在禁用信道的到达与结束, 利用状态(i, j)转移的马尔科夫链模型可以得到如下一组关系式:

- (1) 当 0 ≤ i < m, 0 ≤ j < J, 0 ≤ i + j ≤ N,

$$(K_1 + K_2 + iL_1 + jL_2)p(i, j) = (i + 1)L_1p(i + 1, j) + K_1p(i - 1, j) + (j + 1)L_2p(i, j + 1) + K_2p(i, j - 1) \quad (3)$$
- (2) 当 m ≤ i < M, 0 ≤ j ≤ J, 0 ≤ i + j ≤ N,

$$(iL_1 + aK_1 + K_2 + jL_2)p(i, j) = (i + 1)L_1p(i + 1, j) + aK_1p(i - 1, j) + (j + 1)L_2p(i, j + 1) + K_2p(i, j - 1) \quad (4)$$
- (3) 当 i = M, 0 ≤ j ≤ J, 0 ≤ i + j ≤ N,

$$(ML_1 + K_2 + jL_2)p(M, j) = K_1p(M - 1, j) + (j + 1)L_2p(M, j + 1) + K_2p(M, j - 1) \quad (5)$$
- (4) 当 0 ≤ i ≤ m, j = J,

$$(K_1 + iL_1 + JL_2)p(i, J) = (i + 1)L_1p(i + 1, J) + K_1p(i - 1, J) + K_2p(i, J - 1) \quad (6)$$

显然对研究的小区, K₁、L₁ 属已知量, 下面重点估计 K₂、L₂、A 等未知参量。假定分别为某小区信道数 i > m 时平均到达率和平均占有的信道数, 则

$$K = aK_1 \sum_{j=0}^J \sum_{i=m}^{m+J-j-1} p(i, j), \quad N = \sum_{j=0}^J \sum_{i=m}^{m+J-j} (i - m)p(i, j) \quad (7)$$

由 Little 公式, $N = KW_q = K/L_2$ (8)

代式(7)入式(8), $L_2 = \frac{aK_1 \sum_{j=0}^J \sum_{i=m}^{m+J-j-1} p(i, j)}{\sum_{j=0}^J \sum_{i=m}^{m+J-j} (i - m)p(i, j)}$ (9)

考虑呼叫到达与禁用信道的关系, 即守恒定律有

$$KaK_1 \sum_{j=0}^J \sum_{i=m}^{m+J-j-1} p(i, j) = K_2 \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{i=0}^{m+J-1-j} p(i, j) \quad (10)$$

从而 $K_2 = \frac{KaK_1 \sum_{j=0}^J \sum_{i=m}^{m+J-j-1} p(i, j)}{\sum_{j=0}^{J-1} \sum_{i=0}^{m+J-1-j} p(i, j)}$ (11)

当小区达到热态0时, 呼叫能够成功的概率 A 可表示为 $A = \text{prob}(i + j < J + m) / \text{prob}(i < M)$

$$\text{又 } \text{prob}(i + j < J + m) = 1 - \text{prob}(i + j = J + m) = 1 - (K_1 + K_2)^{J+m} e^{-(K_1 + K_2)} / (J + m)!$$

因此

$$\begin{aligned} \text{prob}(i < M) &= \text{prob}(i - m < M - m) \\ &= \text{prob}(j < J - (M - m)) \\ &= 1 - \text{prob}(j = J - (M - m)) \\ &= 1 - K_2^{J - (M - m)} e^{-K_2} / (J + m - M)! \end{aligned}$$

$$a = \left[1 - \frac{(K_1 + K_2)^{J+m} e^{-(K_1+K_2)}}{(J+m)!} \right] \# \left[1 - \frac{K_2^{J-(M-m)} e^{-K_2}}{(J+m-M)!} \right] \quad (12)$$

又概率之和为 1, 即

$$\sum_{j=0}^J \sum_{i=0}^{m-j} p(i, j) = 1 \quad (13)$$

这样优化阈值的选取, 可归结为如下的优化问题,

$$\begin{aligned} \min J &= \min p(m) \\ \text{s.t. } & (3) - (13) \end{aligned} \quad (14)$$

也就是说, 当该小区呼阻率最小时, 得到的 m 值为最优的/冷态0/热态0 阈值, 用数值计算的方法不难获得. 显然对一个冷、热态阈值确定的蜂窝系统, 上述表达式(1)~(13)同样可以用来分析系统的服务性能.

3 分级紧致的动态信道分配策略

设蜂窝系统的复用模式为 K , 则在一个区群中可以使用信道数的极限就是该系统所能提供的信道总数 N . 上一节给出了优化阈值的求解表达式, 但相对较繁, 下面给出实际应用中一种阈值的选取思路.

如图 2 考察一个规则正六边形蜂窝系统, 图中小区 A 属于六个区群. 在某个区群中, 一种理想的信道分配满足

$$\left. \begin{aligned} P_1 U P_2 U, \quad U P_K \\ N_1 + N_2 + \dots + N_K = N \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

其中 $1, 2, \dots, K$ 为一区群中蜂窝小区的编号, P_1, P_2, \dots, P_K 及 N_1, N_2, \dots, N_K 分别为相应小区的呼阻率及所需信道数. 这样对小区 A 来说, 假如系统有一个区群, 则由式(15)可以得到小区所需的信道数; 假如有多多个区群, 从图中可以看出, 对小区 A 来说可以得到六组值, 记为 $N_{A_i} (i=1, 2, \dots, 6)$. 令

$$\left. \begin{aligned} m &= \min_i (N_{A_i}) \\ M &= \max_i (N_{A_i}) \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

也就是对小区 A 来说, 至少需要的信道数为 m , 而最大需求量为 M .

这样可以根据小区中正在使用信道的数量与业务量的关系将小区所处的状态分成/冷态/和/热态/. 如对小区 A 来说, 当使用的信道少于 m , 称之为/冷态0; 当大于 m 小于 M 时称之为/热态0, 称 m 为冷、热态阈值. 从而可以有针对性地采取一些优化的分配策略. 本文提出一种分级紧致的动态信道分配方案. 具体描述如下.

3.1.1 /冷态0 小区信道分配

在信道分配时, 优先保证冷区的信道请求. 对动态信道分配来说, 当有呼叫来临时, 控制中心就从所有可用信道中选择一个合适的信道为其服务, 因此每个小区所用的信道数是不固定的: 当该区某时刻业务量较大时, 使用的信道数就多, 否则便少. 若不采用一些优化措施, 则仅当业务量较低时, 动态信道分配方式才有较低的呼阻率^[1,2]. 本文对冷态的处理采取如下紧致措施^[2]. 如图 3 所示, 对于紧致动态信道分配, 当选择信道响应呼叫时, 有两种可能的紧致模式供选择. 在信道

分配时选择一种对呼损率降低贡献最大的紧致模式^[2], 用 K_p 表示蜂窝 p 的业务量, n_p 表示蜂窝 p 当前分配的信道数, 则呼阻率可表示为

$$R_p(n_p) = K_p \left[\sum_{k=0}^{n_p} \frac{K_p^k}{k!} \right]^{-1} \frac{K_p^{n_p}}{n_p} \quad (17)$$

统计模式中小区的呼阻率之和, 比较小区所属的两个模式, 按照式(18)选择下降值较大的模式, 新的呼叫将被指定工作在这一模式下.

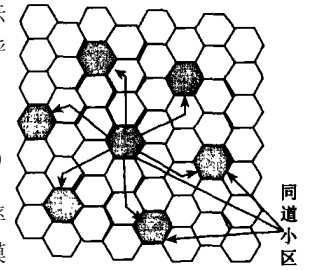


图 3 同道小区示意图

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \sum_{p \in X_1} R_p(n_p) - \sum_{p \in X_1} R_p(n_p + 1) \\ S_2 &= \sum_{p \in X_2} R_p(n_p) - \sum_{p \in X_2} R_p(n_p + 1) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

其中 X_1, X_2 对应两种紧致模式. 对处于/冷态0 的小区, 如在每次呼叫到达时都能有意识地按照这样的紧致模式分配信道, 则信道利用率将得到提高, 大大改善了系统性能.

3.1.2 /热态0 小区信道分配

对一个达到/热态0 的小区来说, 因为经过前面/冷态0 的分配, 可以得到整个蜂窝系统中信道分布情况的整体信息, 这样可以为下一步, 即/热态0 的信道分配提供很好的借鉴, 即从整体性能出发, 选择使系统更加优化的措施. 为此我们构造如下的分配代价函数. 在呼叫到达时, 计算使用各可用信道的代价函数, 选择代价函数最小的信道响应呼叫.

假定研究的小区为 i , 当有呼叫到达时, 首先求出其可用信道集 $8(i)$, 为了使系统的性能最优, 需要在 $8(i)$ 中动态地寻找一条最优信道 p . 为了寻求最优信道响应呼叫, 利用/冷态0 分配提供的整体信息, 提出下面的寻优代价函数

$$C(i, p) = \sum_{l \in I(i)} U(l, p) + \sum_{l \in I(i)} \sum_{j \in S(i)} V(j, l, p) - \sum_{k \in S(i)} W(k, p) \quad (19)$$

其中 $p \in 8(i), S(i)$ 为小区 i 的同道小区集, $I(i)$ 为小区 i 的干扰小区集.

当 k 小区正在使用 p 信道, 则 $W(k, p) = 1$, 否则为 0; 当 $p \in 8(i)$ 时, $U(l, p) = 1$, 否则为 0; 当信道 p 正在小区 l 的同道小区中占用时, $V(j, i, p) = 1$, 否则为 0. 显然式(19)右边三个变量的取值以及三个集合的大小、取值等都是由/冷态0 得到, 因此 CCDCA 中代价函数结合了/冷态0 处理的优势, 从可用信道集中动态地选择一个对系统整体性能最优的信道而不是仅仅根据一些局部信息进行决策.

这样, 当呼叫到达时, 如果小区的相应的可用信道集不空, 则依据式(19)选择代价函数最小的信道响应呼叫. 若有多个信道的代价函数同时具有最小值, 则从中随机地取一个信道来使用.

3.1.3 信道释放

当有呼叫结束时, CCDCA 根据信道释放代价函数选择最佳的信道予以释放. 设 $5(i)$ 为 i 小区正在使用的信道集, 构造释放代价函数如下

$$R(i, q) = \sum_{m \in S(i)} W(m, q) - \sum_{j \in I(i)} \sum_{l \in S(l)} V(j, l, q) \quad (20)$$

式中 $q \in S(i)$ 。

呼叫结束后, 求得代价函数最小的信道予以释放, 如果结束呼叫所占用的信道不是计算得到的最佳信道 q , 则将 q 上的呼叫切换到结束呼叫所占用的信道上, 并且释放 q 。

4 方案仿真

仿真模型如图 4, 信道的复用模式为 7, 呼叫的到达呈泊松分布, 服务时间为负指数分布, 平均时间为 120 秒。

首先, 验证当业务量增加时蜂窝的呼阻率情况, 图 5 是将本文方案与固定信道分配方案 (FCA) 以及动态信道分配方案 (DCA) 的仿真比较, 可以看出, 无论是话务量较低时及较大时, 采用 CCDCA 方案, 系统性能都有很大的改善。图 6 是当业务量取另外一组值时呼阻率情况, 同时利用前面给出的理论模型计算出对应情况的呼阻率, 可以看出两者吻合得比较理想, 同时该方案较固定信道分配 (FCA)、优化的混合信道分配 (HCA) 有较好的呼阻率性能。

其次, 检验方案的服务偏差。图 7 所示为蜂窝系统中三个小区在分别采用动态信道分配 (DCA) 方案及 CCDCA 方案时相应的服务偏差比较, 可以看出后者能有效地降低服务偏差, 从而提高整个系统的服务性能, 由式 (21) 计算得到两者的平均服务偏差分别为 0.18442、0.11685, 其中采样点数取为 10, 可以看出后者有明显的优势。

$$\overline{SD} = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left[\frac{\sum_{i=1}^M (p_{it} - \bar{p}_i)^2}{M-1} \right] \quad (21)$$

其中 $\bar{p}_i = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M p_{li}$ 为 t 时刻系统的平均呼阻率, p_{li} 为 t 时刻 l 小区的呼阻率, M 为系统小区个数, T 为采样点数。

有两点需要说明, 一个是图 5 至图 7 中横坐标是业务量的增加量, 而不是业务量的大小, 另外, 在图 5 与图 6 的仿真中, 小区中的初始业务量并不相等, 目的是为了观察多种业务量情况下的呼阻率变化情况。

5 结论

本文提出一种分级紧致的动态信道分配 (CCDCA) 方案, 该

方案基于引入的“冷态”/“热态”的概念, 对处于不同状态的小区给出不同的紧致模型, “冷态”处理得到一个初步的系统资源分布结构, 而“热态”处理利用了已有的信息尽量达到整体优化, 在不降低灵活程度的基础上, 充分利用尽可能多的信息完成整体优化的信道分配, 有机地结合了局部信息和整体信息, 提高了信道的利用率、降低呼阻率, 方案同时保证小区内较小的服务偏差。文中还根据冷、热态的特点建立了一二维马尔科夫链模型, 并估计出模型的主要参数, 仿真表明该模型比较接近实际系统, 这样就可以用得到的模型来研究系统性能。

参考文献:

- [1] YEUNG K L, YUM T P, Phantom cell analysis of dynamic channel assignment in cellular mobile systems [J]. IEEE Trans Veh Technol, 1998, 47(1): 190- 195.
- [2] YEUNG K L, YUM T P, Compact pattern based dynamic assignment for cellular mobile systems [J]. IEEE Trans Veh Technol, 1994, 43(4): 892- 896.
- [3] ZHANG M, YUM T P, Comparisons of channel assignment strategies in cellular mobile telephone systems [J]. IEEE Trans Veh Technol, 1989, 38(4): 211- 215.
- [4] Raymond P A, Performance analysis of cellular networks [J]. IEEE Trans Commun, 1991, 39(12): 1787- 1793.
- [5] KAHWA T J, GEORGANAS N D, A hybrid channel assignment scheme in large scale cellular structured mobile communication systems [J]. IEEE Trans Commun, 1978, COM- 26(4): 432- 438.
- [6] 党安红, 朱世华, 程江, 模块化分类紧致的信道分配方案及性能分析 [J]. 电子学报, 1999, 27(11A): 148- 150.
- [7] BAIIOCCHI A, PRISCOLI F D, et al. The geometric dynamic channel allocation as a practical strategy in mobile networks with bursty user mobility [J]. IEEE Trans Veh Technol, 1995, 42(1): 14- 23.
- [8] Funabiki N, et al. A three stage heuristic combined neural network algorithm for channel assignment in cellular mobile systems [J]. IEEE Trans Veh Technol, 2000, 49(2): 397- 403.
- [9] Sung C W, et al. Channel assignment and layer selection in hierarchical cellular system with fuzzy control [J]. IEEE Trans Veh Technol, 2001, 50(3): 657- 663.
- [10] 党安红, 朱世华, 程江, 蜂窝移动通信中流动性业务的信道分配 [J]. 西安交通大学学报, 2000, 34(10): 39- 42.

作者简介:



党安红 男, 1969 年生于陕西澄城, 复旦大学学士, 西安交通大学硕士、博士, 北京大学博士后, 主要研究方向为扩频通信、无线光通信、卫星通信等, 已发表学术论文二十余篇。

张敏 女, 1971 年出生于陕西西安, 西安工业学院计算机学讲师, 主要研究方向图像处理、计算机软件等。