

# 蜂窝移动通信系统中的一种新的优化信道分配模型

党安红<sup>1</sup>, 汤俊雄<sup>1</sup>, 朱世华<sup>2</sup>

(1 北京大学电子学系, 北京 100871; 2 西安交通大学信息与通信工程系, 陕西西安 710049)

摘要: 本文提出了一种新的蜂窝移动通信系统最优信道分配模型. 首先根据信道分配的特点构造了一种信道分配方程模型; 进而建立了信道分配最优模型, 利用 Pontryain 最小值原理获得了模型的最优解; 给出的仿真结果验证了分析结论的正确性. 该模型可以用来有效地研究信道分配问题的宏观性能, 并提供了一种高效、快速的算法.

关键词: 蜂窝移动通信; 信道分配; 优化

中图分类号: TN914.4 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112 (2003) 07-1002-03

## A New Model of Optimum Channel Assignment in Mobile Communications Systems

DANG Anzhong<sup>1</sup>, TANG Junxiong<sup>1</sup>, ZHU Shihua<sup>2</sup>

(1 Electronics Dept., Peking Univ., Beijing 100871, China;

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

Abstract: A new channel assignment (CA) model named optimum channel assignment (OCA) model is presented. First, the difference equations for the general CA problem is established from the features of channel assignment practice, then the OCA model is formulated and its solution is derived by using the Pontryagin minimum principle, these analytically derived results are then further validated by our computer simulations. The new model provides a fast, efficient CA algorithm, and remedies the current shortage of the overall performance evaluation for channel assignment schemes.

Key words: cellular mobile communications; channel assignment; optimization

### 1 引言

作为提高蜂窝移动通信系统容量的措施之一, 信道分配技术得到了国内外众多学者广泛的研究, 至今仍然热度不减. 信道分配是一个优化问题<sup>[1~3]</sup>, 关键是如何有效地得到优化解. 所以神经网络技术<sup>[2]</sup>、模拟退火技术<sup>[3]</sup>、遗传算法<sup>[4]</sup>、禁忌搜索算法<sup>[5]</sup>等被广泛应用于信道分配领域. 文献[1]给出的优化模型与最简单的神经网络的能量函数<sup>[2]</sup>是完全等价的, 但后者有更好的操作性, 而前者仅仅是将信道分配的最基本问题用一组数学表达式表示出来. 在这类算法中优化的目标是尽量满足某时刻、某小区需要的信道数, 而不是从系统的整体服务性能出发<sup>[2~5]</sup>, 因而不是不完全的, 因为并不是某小区某时刻需要多少信道就实际提供多少信道才最好. 本文将对给出的模型的稳定性及存在性进行讨论, 同时给出一种高效、快速的算法.

在信道分配的几种措施中, 固定信道分配不能处理热点问题<sup>[6]</sup>, 动态信道分配和混合信道分配方案可以在一定程度上较好地处理热点问题, 但很难保证系统中同道复用距离达到最小值, 而且有较高地实现复杂度<sup>[7]</sup>. 因此, 借用策略<sup>[8]</sup>作

为一种重要的处理非均匀业务的手段得到了深入的研究, 目前主要有简单借用<sup>[7]</sup>、优先级借用<sup>[7,8]</sup>到带方向性闭锁的借用等方案<sup>[7]</sup>. 文献[6]提出一种无需锁定的信道借用方案, 它允许从相邻小区中借用信道, 而无需将该信道锁定. 该方案具有较高的频谱利用率, 且易于实现.

目前信道分配问题的发展, 迫切需要建立具有良好整体性能的信道分配模型和高效快速地算法. 本文从信道借用方案出发, 在理论上构造了一种信道分配最优模型, 进而利用 Pontryain 最小值原理得出了一种最优分配模型的解. 尽管该最优分配模型是从借用方案<sup>[6~8]</sup>导出, 但它具有一般性, 对于其它方案也可做类似处理. 此外, 文中还为宏观评价、把握系统性能, 并作出最优选择提供了一种思路.

### 2 信道分配模型

假定所研究的系统共有 M 个小区. 首先按固定信道分配的思想为每个小区设置相等数量的信道 (当然也可以不相等), 这样可以保证初始状态是最紧凑的; 借用信道采用 CBWL 分配<sup>[6]</sup>. 记 t 时刻系统的业务量分布为

$$A(t) = (A_1(t), A_2(t), \dots, A_M(t))^T \quad (1)$$

相应地代价函数分布为

$$C(A(t)) = (C_1(A_1(t)), C_2(A_2(t)), \dots, C_M(A_M(t)))^T \quad (2)$$

信道借用<sup>[7]</sup>的基本思想是, 当本小区无可信道分配时, 可以向最富有0的邻区借用空闲信道. 那么对两个相邻的小区 u、v 来说, 若 u 从 v 借用信道, 便相当于蜂窝 u 的业务利用蜂窝 v 的资源服务, 因此对 u、v, 若  $C_u(A_u(t)) > C_v(A_v(t))$ , 则一定存在业务转移流  $R(R > 0)$ , 从小区 u 转移到小区 v, 其中 R 的大小与

$$\$C = C_u(A_u(t)) - C_v(A_v(t)) \quad (3)$$

有关. 若不存在借用, 则  $\$C = 0$ . 现引入 M 维向量  $X_{pq}$ ,

$$X_{pq} = \begin{cases} (0, 0, \dots, 1, 0, \dots, -1, 0, \dots, 0)^T & (p, q \text{ 为相邻小区}) \\ (0, 0, \dots, 0, 0, \dots, 0, 0, \dots, 0)^T & (\text{否则}) \end{cases} \quad (4)$$

即 p、q 为相邻小区时,

$$X_{pq}(j) = \begin{cases} 1, & (j = p) \\ -1, & (j = q) \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (5)$$

于是相邻小区的业务转移可以表示为

$$\sum_{u \in R(v)} (C(A(t)), X_{uv}) X_{uv} \quad (6)$$

其中  $(C(A(n)), X_{uv})$  表示  $C(A(n))$  同  $X_{uv}$  的内积,  $R(v)$  表示小区 v 的邻区的集合, 显然

$$X_{vu} = -X_{uv}$$

因此整个系统的业务转移可表示为,

$$W(A(t)) = \sum_v \sum_{u \in R(v)} (C(A(t)), X_{vu}) X_{vu} \quad (7)$$

式中 W 为 M 维向量, 其分量  $w_i(A(t))$  反映了某时刻第 i 小区的业务变化趋向和大小程度. 这样第 i 小区业务转移量  $\$A_i(t)$  可看成与  $w_i(A(t))$  成比例. 设比例因子为  $A_i > 0, i = 1, 2, \dots, M$ . 则

$$\$A_i(t) = A_i w_i(A(t)) \quad (8)$$

令  $\# = \text{diag}(A_1, A_2, \dots, A_M)$ , 即可构造业务量寻优的方程模型:

$$A(n+1) = A(n) + \#W(A(n)) \quad (9)$$

当  $A_i = A_0 (i = 1, 2, \dots, M)$  时, 式(9)可简化为

$$A(n+1) = A(n) + A_0 \#W(A(n)) \quad (10)$$

式(9)、(10)即信道分配问题业务量变化的非线性方程模型, 其中的加权因子的大小与系统要求的服务性能以及业务量转移所带来的对代价函数的修正等因素有关.

### 3 最优模型的建立及最优解的确定

上节给出了  $\$A(n)$  的表达式, 显然在实际中是无法操作的, 也无法确定解的优劣性, 因为上面的方程模型无法保证怎样定向选取并且取值多大最佳. 下面将建立最优模型并确定最优解.

为便于表述, 用  $U(n)$  代替  $\$A(n)$ , 即

$$A(n+1) = A(n) + U(n) \quad (11)$$

同样地,  $A(n) = (A_1(n), A_2(n), \dots, A_M(n))^T$  表示服务系统中小区的 业务量分布; 而小区转移的业务量用  $U(n) = (u_1(n), u_2(n), \dots, u_M(n))^T$  表示.

问题的初始条件为

$$A(0) = A_0 = (A_1(0), A_2(0), \dots, A_M(0)) \quad (12)$$

而业务守恒约束可表示为

$$U^T(k) + = 0 \quad (+ = [1, 1, \dots, 1]^T) \quad (13)$$

对所研究的蜂窝系统来说, 优化信道分配的目的是希望整个系统的服务性能尽量优良. 对于不同的目的要求, 存在着多种代价函数, 如文献[9], 一般来说, 它是关于业务量非负、递增的. 所谓最优信道分配, 就是求解

$$\min J = \min \{ W_1 \# \sum_n C(A(n)) + W_2 \# \sum_n U^T(n) Q U(n) \} \quad (14)$$

其中  $C(A(n))$  表示代价函数分布; P、Q 分别为 M 阶加权矩阵, 前者为半正定阵, 表示对不同小区服务性能要求的差异; 后者是正定阵, 反映了研究者对不同小区业务转移的重视程度. 式右边第一部分保证整个蜂窝系统有一个较小的代价函数; 第二部分则为了转移业务尽量少. 矩阵 P、Q 可以是常数阵也可以是时变的. 权值系数  $W_1$ 、 $W_2$  影响着寻优的收敛速度, 两者比值较小时, 收敛的较慢; 较大时, 收敛速度较快, 但太大有可能引起振荡.

现构造 Hamilton 函数

$$H(A(n), U(n), K(n+1), n) = W_1 \# C^T P + W_2 \# U^T Q U + K^T(n+1) [A(n) + U(n)] + B(n) U^T(n) \quad (15)$$

式中:  $K(n+1)$  为协态变量;  $B(n)$  为约束变量. 为便于讨论, 取 P、Q 为单位矩阵(这种情况相当于对各小区的重视程度一样并且采取一致的策略), 由 Pontryagin 最小值定理, 得到:

$$(1) \text{ 协态方程 } K(n) = W_1 \# C(A(n)) + K(n+1) \quad (16)$$

$$(2) \text{ 耦合方程 } 2W_2 \# U(n) + K(n+1) + B(n) + = 0 \quad (17)$$

$$(3) \text{ 状态方程 } A(n+1) = A(n) + U(n) \quad (18)$$

$$(4) \text{ 边界条件及约束条件 } U^T(n) + = 0 \quad (19)$$

$$A(0) = A_0 = (A_1(0), A_2(0), \dots, A_M(0)) \quad (20)$$

$$\text{其中 } C(A(n)) = \left( \frac{9C_1(A_1(n))}{9A_1(n)}, \frac{9C_2(A_2(n))}{9A_2(n)}, \dots, \frac{9C_M(A_M(n))}{9A_M(n)} \right)^T.$$

由式(16)~(19)得到

$$A(n+1) - 2A(n) + A(n-1) = \frac{1}{2\#W_2} (W_1 \# C(A(n)) - \frac{+^T C(A(n)) +}{M}) \quad (21)$$

根据这个迭代方程, 可以用试差法求得优化值.

### 4 方案仿真

本文仿真所用的蜂窝结构如图 1 所示, 代价函数取为呼阻率, 其关系式见(22). 呼叫的到达按泊松分布, 呼叫持续时间为指数分布, 平均时间为 120 秒.

$$C(A) = (A^L / L!) / \left( \sum_{l=0}^L A^l / l! \right) \quad (22)$$

式中 C、A、L 分别为小区的呼阻率、业务量及可用信道数.

为了验证方案的有效性, 首先对算法收敛性作了仿真研

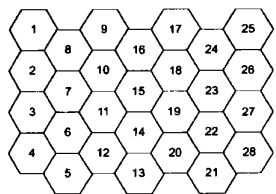


图1 蜂窝示意图

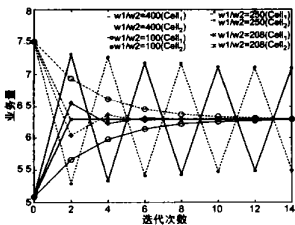


图2 业务量迭代过程示意图

究. 图2显示了系统中两个小区业务量变化的收敛过程, 它给出了其中的权值系数之比分别是400、250、208和100等四对值. 图中清楚地反映了式(14)中权系数  $W_1$ 、 $W_2$  的比值对收敛速度的影响程度: 若  $W_1$ 、 $W_2$  太大, 则收敛速度较快, 但可能引起振荡; 若太小, 则收敛较慢. 从图中  $W_1$  :  $W_2$  的四对比值可以看出, 只要系数选择恰当, 可以在两、三步内甚至一步就收敛. 文中给出的优化解在保证收敛的方向性方面还是相当得好.

图3给出的是在收敛过程中呼阻率的变化, 图中显示也是权值系数之比分别是400、250、208和100等四对值的情况, 可以看出呼阻率选择最佳值的过程与权值的选取也有关, 只要系数选择恰当, 可以在两、三步内甚至一步就收敛.

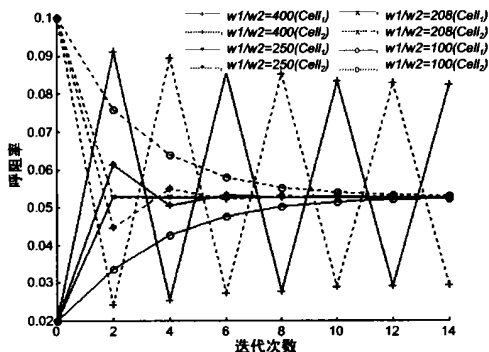


图3 迭代过程中呼阻率的变化

图4是本文优化方案性能与固定信道分配方案性能的比较. 图中显示的是其中四个小区分别采用固定信道分配(FCA)及采用优化模型方案(OCA)时呼阻率的比较. 可以看出, 优化方案能有效地提高了整个系统的服务性能.

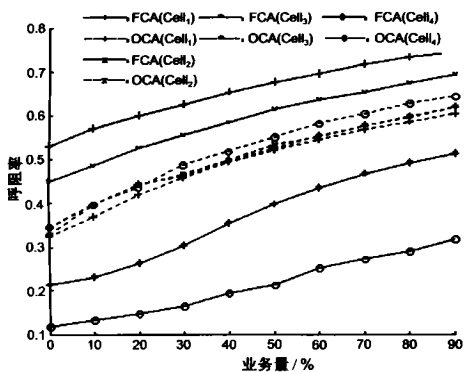


图4 呼阻率比较

### 5 结论

本文提出了一种最优信道分配模型. 文中从信道分配的特点出发, 构造了一种理论模型, 并利用 Pontryain 最小值原理获得了模型的最优解. 所给出的是通用模型, 主要目的是对信道分配问题从宏观上进行把握, 在实际应用中可以是针对某个性能的优化, 也可以是多个性能的组合优化. 给出的算例仿真验证了模型的有效性. 该模型可以用来研究信道分配问题的宏观性能, 并提供了一种高效、快速的算法. 本文的模型也为研究智能信道分配的特性提供了一种有效途径.

### 参考文献:

- [ 1 ] Giortzis, A I, et al. Application of mathematical programming to the fixed channel assignment problem in mobile radio networks [J]. IEE Proc Commun, 1997, 114( 4): 257- 264.
- [ 2 ] Kunz D. Channel assignment for cellular radio using neural networks [J]. IEEE Trans Veh. Technol, 1991, 40( 2): 188- 193.
- [ 3 ] Anton, M D, et al. Channel assignment for cellular radio using simulated annealing [J]. IEEE Trans Veh. Technol, 1993, 42( 1): 356- 361.
- [ 4 ] Beekmann, D, et al. A new strategy for the application of genetic algorithms to the channel assignment problem [J]. IEEE Trans Veh. Technol, 1999, 48( 4): 1261- 1265.
- [ 5 ] Capone, A, et al. Channel assignment problem in cellular systems: a new model and Tabu search algorithm [J]. IEEE Trans. Veh. Technol, 1999, 48( 4): 1252- 1260.
- [ 6 ] Jiang, H, et al. CBWL: a new channel assignment and sharing method for cellular communication systems [J]. IEEE Trans Veh. Technol, 1994, 43( 2): 313- 321.
- [ 7 ] Zhang, M, et al. Comparisons of channel assignment strategies in cellular mobile telephone systems [J]. IEEE Trans Veh. Technol, 1989, 38( 4): 211- 215.
- [ 8 ] Elnoubi, S M, et al. A new frequency channel assignment algorithm in high capacity mobile communication systems [J]. IEEE Trans Veh. Technol, 1982, VI231( 3): 125- 131.
- [ 9 ] Re E D, et al. Handover and dynamic channel allocation techniques in mobile cellular networks [J]. IEEE Trans Veh. Technol, 1995, 44( 2): 229- 236.

### 作者简介:



党安红 男, 1969 年出生于陕西澄城, 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.

汤俊雄 男, 1941 年出生于湖南省浏阳县, 北京大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为自由空间光通信等.

朱世华 男, 1950 出生于浙江省义乌县, 西安交通大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为移动通信、数据传输等.