用于GSM信道分配中的一种改进组合遗传算法*

廖国强，倪志，吴志忠
（南京邮电学院 通信工程系，江苏 南京 210003）

摘　要：由于可用的频率范围是有限的，所以在移动通信中信道分配问题变得很重要，而获得一种最优的信道分配方法就更为重要。在组合遗传算法(CGA)的基础上提出一种改进方法——改进组合遗传算法(MCGA)。这种算法不但对较容易的基准信道分配问题获得了较好的结果，而且解决了对分配难度较大的信道分配问题，同时具有收敛率高、计算时间短的优点。

关键词：移动通信；蜂窝系统；信道分配；遗传算法
中图分类号：TN929.5　　文献标识码：A　　文章编号：1004-5694(2003)03-0018-05

Cellular Radio Channel Assignment Using a Modified Combined Genetic Algorithm

LIAO Guo-qiang, NI Zhi, WU Zhi-zhong
(*Department of Communication Engineering*, *NJUPT*, *Nanjing* 210003, *P. R. China*))

Abstract: The channel-assignment problem (CAP) is important in mobile telephone communication. Since the usable range of the frequency spectrum is limited, the optimal channel-assignment problem has become increasingly important. In this paper, a new channel-assignment algorithm using a Modified combined Genetic Algorithm (MCGA) is proposed. The algorithm not only gets good results for some easy benchmarks of CAP but also has an excellence of high convergence rate and short computing time for some difficult benchmarks.

Key words: mobile communication; cellular system; channel assignment; genetic algorithm

0　引　言

随着科学技术的进步和人们生活水平的提高，移动通信正在逐步走进千家万户，因此无线用户数正随着移动通信的迅速发展和普及，以惊人的速度增长。高速增长的无线用户数与有限的频率资源之间的矛盾变得更加突出，人们不得不将分配给无线通信的有限频率资源进行有效复用。因此，如何提高频率利用率就成为移动通信当前发展的关键所在，而采用合理的信道分配技术就能够有效解决频率利用问题。笔者提出一种新的信道分配方法——改进组合遗传算法(MCGA)，通过与一些经典的信道分配算法进行比较，它不但收敛率高，而且计算时间短。这证明了该算法的有效性。信道分配问题(CAP)就是在满足一定的干扰约束矩阵下，高效而无冲突地把信道分配给移动用户，通常在CAP中考虑以下3种约束：

1）同信道约束(CCC)：一个信道不能在同信道干扰范围内再次使用。同一簇小区必须分配不同的信道；

2）邻信道约束(ACC)：相邻信道不能同时分配给相邻小区使用；

* 收稿日期：2002-10-15
作者简介：廖国强(1975-)，男，湖南衡南人，南京邮电学院硕士研究生，研究方向为移动通信。

3)同小区约束(CSC):同一个小区内的所有信道之间也必须要有一定的频域间隔,通常要大于邻信道约束(ACC)所要求的数值。

对于一个有 N 个小区的蜂窝系统,通常可以用一个 $N \times N$ 维的兼容矩阵 $\boldsymbol{C}=[c_{ij}]$来表示以上3种约束。矩阵$\boldsymbol{C}$ 中的非对角元素$c_{ij}(i \neq j)$表示分配给小区#i 中的信道与小区#j 中的信道之间最小间隔,而$\boldsymbol{C}$ 对角线元素 c_{ii}表示分配给小区#i 的一组信道之间的最小间隔。因此CCC 可以用$c_{ij}=1$ 来表示,而ACC 和CSC 可以分别定义 $c_{ij} \geqslant 2$ 和 $c_{ii} \geqslant 1$ 来表示。

$$\boldsymbol{C}=\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2N} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{N1} & c_{N2} & \cdots & c_{NN} \end{bmatrix} \tag{1}$$

定义一个 N 维的矢量 $\boldsymbol{D}$ 来表示系统中每个小区的信道需求。$\boldsymbol{D}$ 中的第i 个元素d_i 表示小区#i 中需要的信道数。令 f_{ik}为分配给小区#i 的第k 个信道,其中$i=1,2,\cdots,N,k=1,2,\cdots,d_i$。这样系统所需总信道数可以表示为:

$$M=\max\{f_{ik}\},i=1,2,\cdots,N,k=1,2,\cdots,d_i \tag{2}$$

若已知兼容矩阵 $\boldsymbol{C}$ 和需求矢量 $\boldsymbol{D}$,信道分配问题(CAP)的主要目的就是希望找到这样一种信道分配方案$\{f_{ik}\}$,它具有最少的总信道数M,并且服从下列约束:

$$\begin{aligned} & |f_{ik}-f_{jl}| \geqslant c_{ij} \\ & i,j=1,2,,\cdots,N,k=1,2,\cdots,d_i, \\ & l=1,2,\cdots,d_j,(i,k) \neq (j,l) \end{aligned} \tag{3}$$

为了更加简洁地表示信道分配问题,可以将CAP 作为一个组合优化问题表示:

$$\begin{aligned} & \min M=\max_{i,k}\{f_{ik}\} \\ & \text{subject to} \quad |f_{ik}-f_{jl}| \geqslant c_{ij} \\ & \qquad 1 \leqslant i,j \leqslant N \\ & \qquad 1 \leqslant k \leqslant r_i, l \leqslant l \leqslant r_j \\ & \qquad (i,k) \neq (j,l) \end{aligned} \tag{4}$$

式(1)~式(4)所描述的离散最优化问题已经被证明为"NP 类完备"问题[1]。这也意味着这种方法找到最优解所需的时间将随着问题大小成指数增长。因此,有必要找出一种近似算法,它能够在合理的时间内找到最优解或者至少是近似最优解。

1 排序算法

用排序算法解决信道分配问题的方案提出得比较早[2,3],它首先产生一个包含所有呼叫的列表。用 m 来表示系统中总的呼叫数,即:

$$m=\sum_{i=1}^{N} d_i \tag{5}$$

用连续数字将所有呼叫进行标号,这些数字将在列表中使用。这个列表可用一个包含着m 个不同呼叫数字的向量$\boldsymbol{L}$ 来表示:

$$\boldsymbol{L}=(l_i),l_i,i \in [1,m],\text{且对于所有 } i \text{ 和 } j,\text{都有 } l_i \neq l_j$$

一旦已知这样一个呼叫列表,就可以按照一定的试探性算法[2]来进行信道分配。这种分配算法中比较有名的有"频率穷举法(FEA)"和"需求穷举法(REA)"。

1)频率穷举法(FEA)

频率穷举法(FEA)从列表 $\boldsymbol{L}$ 的顶部开始,将当前信道分配给当前呼叫,如果信道不与已经分配好的信道发生冲突,则将该信道分配给当前呼叫,否则试探下一个信道是否合适,直到所有信道全部试探完毕。接着对下一个呼叫重复以上步骤,直到所有呼叫全部分配完毕。因此频率穷举法分配给当前呼叫的信道将是不违犯干扰约束的最小信道。

2)需求穷举法(REA)

需求穷举法(REA)将从第一个信道开始,将当前信道按照呼叫列表的顺序逐一进行试探性地分配,如果当前信道能够对已经分配好的信道不产生干扰,则将该信道分配给当前呼叫,否则继续试探下一个呼叫是否合适,直至所有呼叫试探完毕。接着,算法将下一个信道重复以上的步骤,直到所有的信道全部试完。

2 改进组合遗传算法(MCGA)

在组合遗传算法(CGA)[4]信道分配中,利用遗传算法强大的搜索能力来确定最佳呼叫列表 $\boldsymbol{L}$,然后用FEA/REA 算法进行信道分配。在此,先对"热点"小区进行优先分配,通过注入一定的导向性信息来加快组合遗传算法(CGA)的收敛时间,提高它的收敛率,称之为改进组合遗传算法(MCGA)。算法

流程图如图 1 所示，有关步骤介绍如下。

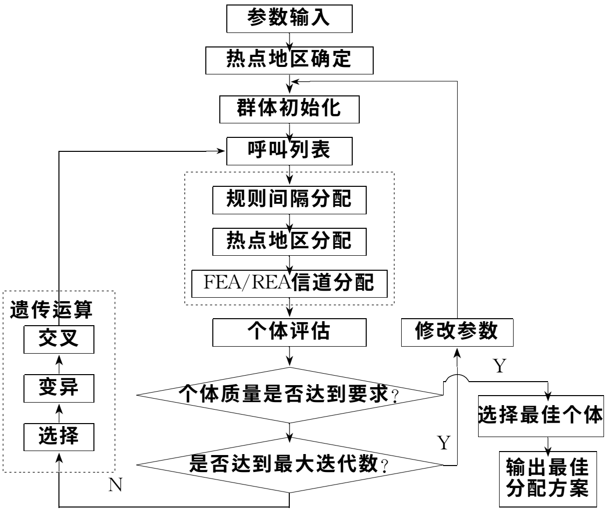

图1　MCGA算法结构

Fig. 1　Structure of MCGA Algorithm

1）初始群体产生

应用遗传算法通常首先需要初始化群体，也就是需要随机产生一定数目的个体。在 MCGA 算法中，这些个体对应着一组随机产生的呼叫列表 L。首先用 1，2，…，等正整数将系统所有呼叫请求依次标号，然后随机地排序生成一个呼叫列表，一共生成 S 个这样的随机呼叫列表。

2）信道分配与评估

初始化生成的或者是由遗传算法（GA）产生的呼叫列表将交给 FEA/REA 算法进行信道分配。在分配完后，要看这个结果是否符合要求，因此引入一个评估算子：

$$q = k \cdot b + \sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{j=1 \\ f_{i,j}=1}}^{M} j \tag{6}$$

式（6）中，

$$k = M \cdot \sum_{i=1}^{N} d_i \tag{7}$$

$$f_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{第 } j \text{ 个信道分配给第 } i \text{ 个小区} \\ 0, & \text{第 } j \text{ 个信道未分配给第 } i \text{ 个小区} \end{cases} \tag{8}$$

b 表示阻塞的呼叫数，小的 b 值对应着高的分配质量。

3）选择算子

选择算子从给定大小 S 的群体中选择一些个体来进行变异和交叉。这里采用赌轮选择的方法，即每个个体 L_i 被选择的概率 p_i 与它的质量测度值 $q(L_i)$ 成比例：

$$p_i = \frac{q(L_i)}{\sum_{i=1}^{s} q(L_i)} \tag{9}$$

这种随机选择策略确保低质量的个体能被选择用来产生新的个体。这种方法能够使过快收敛于某个局部最优解的危险性降低。

4）热点地区确定

“热点”小区信道分配质量的好坏往往将决定整个系统分配方案的优劣，因此定义了“分配难度”这样一个测度，假设蜂窝系统共有 N 个小区，小区 $\# i$ 的信道需求为 d_i，则小区 $\# i$ 的信道分配难度定义为：

$$\deg_i = \Big(\sum_{j=1}^{N} d_j c_{ij} \Big) - c_{ii}, 1 \leqslant i \leqslant N \tag{10}$$

当式（10）右边中 c_{ii} 项对于所有小区都相等时，可以将这一项移去得到简化后的定义：

$$\deg_i = \sum_{j=1}^{N} d_j c_{ij}, 1 \leqslant i \leqslant N \tag{11}$$

由式（10）可以计算出每个小区的分配难度，选出具有最大分配难度的小区 $\# i_{\max}$，这时就将小区 $\# i_{\max}$ 与所有相邻小区组成的区域定为“热点”地区。

5）规则间隔分配阶段

在这个分配阶段，首先将对属于具有最大信道需求的小区进行信道分配，因为这个小区信道需求决定了系统总的信道数，用 M 来表示。为了使 M 最小，按照满足同小区信道干扰约束条件（CSC）规则的间隔来进行分配，假设小区 $\# i$ 为最大信道需求小区，c_{ii} 和 d_i 分别表示小区 $\# i$ 的 CSC 和信道需求数。d_i 个呼叫将按照 c_{ii} 或 $(c_{ii}+1)$ 的规则间隔获得信道，其中，前 x 个呼叫将按照 c_{ii} 的间隔进行信道分配，而后，$(d_i - x)$ 个呼叫将按照 $(c_{ii}+1)$ 的间隔进行分配。即

$$\begin{aligned} & f_{ik} = 1 + c_{ii}(k-1), k = 1, \cdots, x \\ & f_{ik} = 1 + c_{ii}(x-1) + (c_{ii}+1)(k-x), \\ & \qquad k = x+1, \cdots, d_i \end{aligned} \tag{12}$$

其中，x 的值满足下列方程：

$$1 + c_{ii}(x+1) + (c_{ii}+1)(d_i - x) = M \tag{13}$$

6）参数选择

在组合遗传算法中，参数的选择很重要，例如初始群体的大小、变异概率和选择概率等，合适的参数

选择有时候可以提高收敛速度。但是在参数的最佳选择方面,很大程度上依赖于给定的问题,并不存在一种统一的准则。

3 算法模拟与数据分析

将组合遗传算法应用到一个由21个小区组成的蜂窝小区系统,许多在信道分配领域进行研究的专家都采用这个特定的例子,因此笔者也使用这个例子,便于与前人发表的结果进行比较。假设2个不同的需求向量 D_1 和 D_2 以及考虑不同的干扰条件,这样就可以得到一些不同的信道分配问题,见文献[4]。由小区结构图和干扰条件可以导出干扰矩阵 C,这些矩阵也可以在文献[5]找到。有了这些条件,就可以进行信道分配,在MCGA对呼叫列表进行信道分配时,采用了FEA算法,在表中用MCGA/FEA来表示。

3.1 信道分配结果

为了方便与文献[3,5,7-10]中不同算法之间的比较,在表1中给出了对应CAP的所需信道数下限(low bound)LB[6]。

表1 13个CAP的分配结果

Tab.1 Distribution Result of Thirteen CAPs

CAP	LB	MCGA/FEA		CGA/FEA		[3]		[5]	[7]	[8]	[9]	[10]
		最佳	平均	最佳	平均	最佳	平均					
#1	427	433	434.3	436	438.9	442	443.6	—	—	450	—	—
#2	427	427	427.0	427	429.1	442	443.4	—	433	444	—	—
#3	533	533	533.0	533	533.0	533	533.0	—	—	533	—	—
#4	533	533	533.0	533	533.0	533	533.0	533	533	533	533	—
#5	381	381	381.0	381	381.0	381	381.0	—	—	381	—	—
#6	381	381	381.0	381	381.0	381	381.0	381	381	381	381	—
#7	533	533	533.0	533	533.0	533	533.0	—	—	533	—	—
#8	533	533	533.0	533	533.0	533	533.0	533	533	533	533	—
#9	253	258	260.2	259	261.5	270	271.8	—	—	273	—	—
#10	253	253	253.0	253	257.6	260	261.8	—	263	268	—	268
#11	309	309	309.0	309	309.0	309	309.0	—	309	309	—	—
#12	309	309	309.0	309	309.0	309	309.0	309	309	309	309	309
#13	529	529	529.0	529	529.0	529	529.0	—	529	529	—	—

从表1中可以看出,对于这13种不同的信道分配问题,MCGA都能找到最佳的分配方案,而其它算法大多数只能确定其中的几种问题的最佳分配方案。对于问题#2和#10,这2个问题不仅考虑了所有的约束条件(CCC、ACC和CSC),而且CSC也比较小,分配起来比较困难,但是MCGA算法都能在最少信道数条件下确定最佳信道分配。而对于问题#1和#9,虽然无法在最少信道数条件下进行信道分配,但是与其它方法比较起来,笔者的结果还是最好的,并且离最优的解的距离又进了一步,这证明笔者的改进措施是有用的。至于为什么不能得到最优解,这个问题有待进一步研究。

3.2 算法收敛性和计算时间

评价像遗传算法这样的随机搜索策略的性能,收敛速度是一个很重要的方面。下面列出了CGA在不同信道数条件下对#2问题的收敛率和平均迭代次数,为了便于比较MCGA与CGA的收敛性,在这里给出了MCGA对这个问题的收敛率和平均迭代次数,以便于进行比较。从图2,图3中可以看出,MCGA在所有信道数条件下收敛率都为100%,而

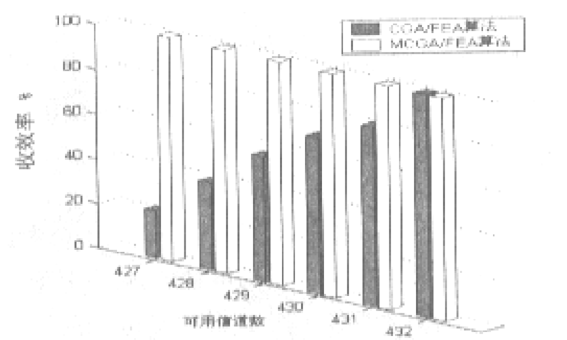

图2 CGA和MCGA对#2的收敛率

Fig.2 Convergence Rate of CGA and MCGA vs #2

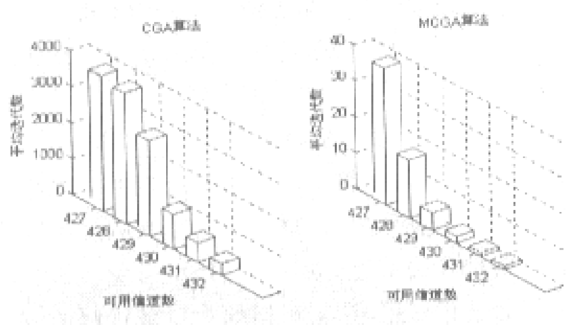

图3 CGA和MCGA对#2的平均迭代数

Fig.3 Average Iteration Number of CGA and MCGA vs #2

且迭代次数也大大减少,这表示对CGA的改进保证了其能够很容易收敛于最佳信道分配方案。在计算时间上,MCGA也大大缩减,因为首先对那些信道分配难度很大的小区进行分配,因而每个个体的分配质量得到了保证,这样在一定程度上避免了在遗传算法过程中的盲目性,加快了搜索最优解的过程,提高了搜索最优解的效率,大大减少了计算时间,这从图4中可以比较清楚地看到。

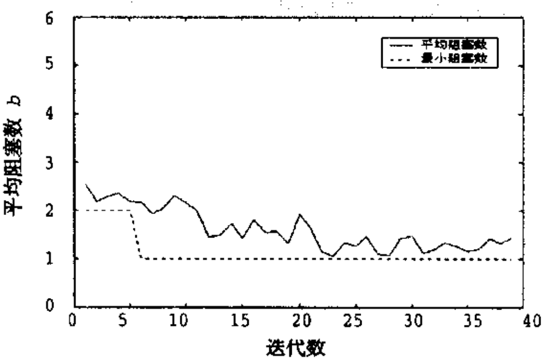

图 4　MCGA 对 #2 的收敛性

Fig. 4 Convergence of MCGA vs #2

4　结束语

针对组合遗传算法对较难的信道分配问题存在收敛率低、计算时间较长的缺点，笔者提出了一种改进算法——改进组合遗传算法（MCGA）。因为实际中每个小区的话务量是不均匀的，存在着由多个相连小区组成的“热点”，这些“热点”小区信道需求量非常大，而且相互之间干扰约束较多，信道分配比较困难，因此对这些“热点”小区的信道分配的好坏就成为解决信道分配问题的关键。在这种前提下，笔者引入了“信道分配难度”这个测度，提出在信道分配阶段对以信道分配难度最大的小区为中心的“热点”地区优先进行信道分配，这样就降低了“热点”地区中的呼叫由于在呼叫列表中的位置不佳而不能分配到信道的可能性，使得信道分配问题得以简化。笔者的算法结果表明，所提出的改进措施能够大大改善每次迭代中信道分配的总体质量，很大程度上降低了组合遗传算法信道分配的盲目性，避免了漫长的前期进化迭代过程，在较难问题中对最优解的收敛率得到提高，计算时间也大大缩短。

参考文献

[1] HALE W K. Frequency assignment: theory and application[J]. Proc. IEEE, 1980, 68(12):1497-1514.

[2] SIVARAJAN K N, McELIECE R J, LETCHUM J W. Channel assignment in cellular radio[C]. in Proc. IEEE Vehicular Tech. Conf. VTC'89, 1989,846-850.

[3] BOX F. A heuristic techniques for assignment frequencies to mobile radio nets[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech., 1978, 27(5):57-64.

[4] BECKMANN D,KILLAT U. A new strategy for the application of genetic algorithm to the channel assignment problem[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech.,1999,48(4):1261-1269.

[5] FUNABIKI N,TAKEFUJI Y. A neural network parallel algorithm for channel assignment problems in cellular radio networks[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech., 1992,41(4):430-437.

[6] E DEL Re, et al. Handover and dynamic channel allocation techciques in mobile cellular networks[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech.,1995,44(2):229-237.

[7] WANG W,RUSHFORTH C K. An adaptive local-search algorithm for the channel assignment problem (CAP)[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech.,1996,45(3):459-466.

[8] SUNG C W,WONG W S. Sequential packing algorithm for channel assignment under cochannel and adjacent-channel interference constraint[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech., 1997,46(3):676-686.

[9] KIM J S,PARK S H,DOWD P W,et al. Cellular radio channel assignment using a modified hopfield network[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech.,1997,46(4):957-967.

[10] NGO C Y,LI V O K. Fixed channel assignment in cellular radio networks using a modified genetic algorithm[J]. IEEE Trans. Vehicular Tech.,1998,47(1):163-172.

（编辑：刘勇）