

文章编号:1007-6735(2013)06-0547-05

基于改进的混合免疫算法的动态信道分配

王中伟¹, 夏晓燕², 覃锡忠¹, 贾振红¹

(1. 新疆大学 信息科学与工程学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 中国移动通信集团新疆有限公司, 乌鲁木齐 830063)

摘要: 为保证在蜂窝移动通信网络中信道间最大程度的紧致分配,降低语音呼叫堵塞率和掉话率,提出了一种改进的混合免疫算法,并将其应用于动态信道分配中.该算法采用自适应的初始化种群、交叉和重组算子、改进的选择性变异技术和改进的疫苗接种方法.在话务量增加80%时,算法的堵塞率和掉话率分别为3.48%和1.90%,平均收敛代数仅为9.98次.仿真结果表明,改进后的算法有效地提高了收敛率,减少了算法收敛所需的运行代数;明显地降低了语音呼叫的堵塞率和掉话率,有更强的话务携带能力.

关键词: 免疫算法;交叉和重组算子;选择性变异算子;信道分配;堵塞率和掉话率

中图分类号: TN 91 **文献标志码:** A

Dynamic Channel Allocation Based on Improved Hybrid Immune Algorithm

WANG Zhong-wei¹, XIA Xiao-yan², QIN Xi-zhong¹, JIA Zhen-hong¹

(1. School of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Subsidiary Company of China Mobile in Xinjiang, Urumqi 830063, China)

Abstract: In cellular mobile communication network, for ensuring greatest compact assignment and reducing the blocking rate and dropping probability of calls, an improved hybrid immune algorithm was presented and applied to dynamic channel allocation. In the algorithm an adaptive population initialization, a crossover and reorganization operator, an improved selection mutation technique and an improved vaccination method were adopted. When traffic increases by 80%, the blocking rate, the dropping probability and the average number of convergence generation of the algorithm are respectively 3.48%, 1.91% and 9.98 times. The simulation results show that the modified algorithm can improve the convergence rating and reduce the number of running generation required for convergence, significantly reduce the blocking rate and dropping probability of calls, and has more traffic carrying capacity.

Key words: immune algorithm; crossover and reorganization operator; selection mutation operator; channel allocation; blocking rate and dropping probability

在蜂窝移动通信网络中,由于频谱资源日益紧缺以及日益增长的移动通信业务需求,最大限度地

提高频谱的利用率和系统容量变得越来越重要,而采用一种较优的信道分配策略是一种行之有效的方

收稿日期:2012-08-12

基金项目:中国移动新疆分公司研究发展基金资助项目(xjm2011-1)

第一作者:王中伟(1986-),男,硕士研究生.研究方向:移动通信. E-mail:zhongwei91862121@163.com

法. 信道分配问题(CAP)是指在多信道共用的情况下, 寻找满足小区信道需求和电磁兼容(EMC)限制的最小信道数. 此问题已经被证明为多项式复杂程度的非确定性(NP)问题. 对于NP问题, 目前国内外出现了多种优化算法, 如遗传算法、免疫算法、贪婪算法及人工鱼群算法^[1-11]等. 其中, 很多学者使用这些算法解决固定信道分配(FCA)和动态信道分配(DCA)问题. 虽然在一定程度上降低了语音呼叫堵塞率, 但这些算法在搜索过程中依然存在收敛率低、容易陷入或者难以摆脱局部最优解等缺点. 针对上述问题, 本文在考虑所有的EMC限制和切换呼叫的基础上, 提出了一种改进的混合免疫算法(IIA), 并将其应用于动态信道分配中, 记作(IIADCA). 算法将禁忌搜索(TS)算法引入到免疫算法进化搜索过程中, 构造出新的禁忌搜索重组(TSR)算子; 将个体交叉重组后的适应度最好的个体的全部基因作为疫苗提取, 并用交叉之后的最小适应度值去控制变异算子的前进方向, 在选择个体时还采用精英保护机制; 为保证最大程度的紧致分配, 采用改进的变异算子; 在疫苗接种时, 为保证种群的多样性, 采用一种新的疫苗接种方法. 仿真结果表明, 改进后的算法提高了收敛率, 减少了算法收敛所需的运行代数; 有效地降低了语音呼叫的堵塞率和掉话率.

1 动态信道模型

研究以图1的49个小区为例, 各个小区的话务量分布如图1所示. 系统中语音呼叫平均到达率为91.83个/h, 灰色小区为同道紧致小区, 可以使用同样的信道, 每个小区周边的第一层小区和第二层小区为该小区的同道干扰小区.

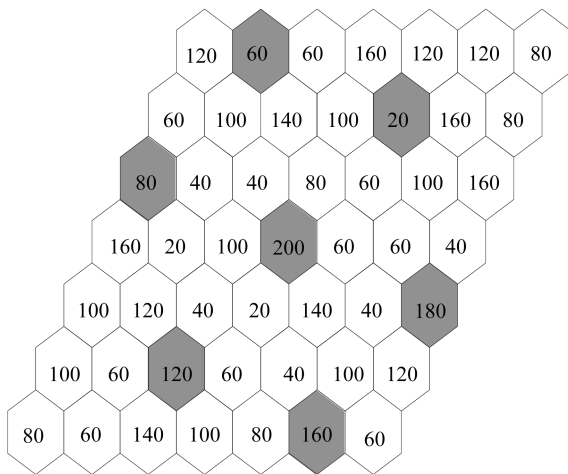


图1 49个小区蜂窝网络

Fig.1 49 cell cellular network

1.1 EMC限制

EMC限制主要体现在以下3个方面:a. 同信道约束(CCC), 同一频率必须在大于它的复用距离后才能被再次使用;b. 邻信道约束(ACC), 相邻频率不能同时分配给相邻小区;c. 同小区约束(CSC), 分配给同一小区的频率必须有一个最小的频率间隔.

对于有 N 个小区和 M 个信道的蜂窝系统, 采用 $N \times M$ (N 为矩阵的行数, M 为矩阵的列数)的二维矩阵 $\mathbf{F} = (f_{ij})$ 来表示信道分配方案, 矩阵的行代表小区数目, 矩阵的列代表信道数目. 若信道 j 分配给小区 i , $f_{ij} = 1$; 否则, $f_{ij} = 0$. 针对每个小区的话务需求, 建立一个需求向量 $\mathbf{D} = (d_i)$, $1 \leq i \leq N$, $\mathbf{D}$ 中的元素 d_i 表示第 i 个小区所需的信道数, 当小区 i 的话务量变化时, d_i 也随着变化. 由于采用二进制的最小间隔编码方案^[12], 信道分配矩阵 $\mathbf{F}$ 满足各个小区的话务需求和CSC限制, 适应度函数 V 定义为

$$V = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^M x_{ij} f_{ik} f_{jl} \quad (1)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 & f_{ik} \text{ 与 } f_{jl} \text{ 满足 EMC 限制} \\ 1 & \text{其它} \end{cases}$$

V 值越小, 适应度值越高, 当所有的限制都满足时, 适应度值 $V = 0$, 获得信道分配的最优解.

1.2 语音呼叫的堵塞率和掉话率

设语音呼叫的持续时间 T_d 服从参数为 u_d 的负指数分布, 在一个小区的驻留时间 T_s 服从参数为 u_s 的负指数分布. 语音呼叫切换时以同样的概率向临边小区切换, 其中, 语音呼叫的切换概率 $P_h^{[13]}$ 为

$$P_h = P(T_d > T_s) = \frac{u_s}{u_s + u_d} \quad (2)$$

语音呼叫的堵塞率 P_{bn} 和掉话率 P_{dh} 分别为

$$P_{bn} = \frac{B_{bn} + B_{dh}}{A_{an}} \quad (3)$$

$$P_{dh} = \frac{B_{dh}}{A_{dh}} \quad (4)$$

式中, B_{bn} 为新语音呼叫的总堵塞数; B_{dh} 为切换呼叫的总掉话数; A_{an} 为语音呼叫的到达总数; A_{dh} 为切换呼叫的总数.

2 改进的混合免疫算法

改进的混合免疫算法分为7步.

a. 自适应的种群初始化. 利用先验知识生成适应度较小的个体能提高免疫算法的收敛速度. 在信道分配问题中, 具体方法如下: 根据最大信道需求小区的需求信道数确定是计算 N 个信道需求大的小

区,还是计算 P_1 个具有分配难度大的小区;首先为这 N 或者 P_1 个小区分配信道,分配的信道应当使这 N 或者 P_1 个小区之间满足 ACC 和 CCC 约束;为剩下的小区分配信道,分配的信道要与前 N 或者 P_1 个小区之间满足 ACC 和 CCC 约束,直到所有的小区都分配到所需的信道为止.当信道需求最多的小区的需求信道数较少时,应选择 P_1 个分配难度大的小区;当信道需求最多的小区的需求信道较多时,应选择 N 个信道需求大的小区,本文所说的最大信道数需求以 11 为界限.

b. 选择算子.选择方法采用轮盘赌选择法,其基本原理是根据个体适应度值大小进行选择,适应度值大的个体被选中的概率大,所以,在文中对 $1/V$ 用轮盘赌法,为防止最佳个体在交叉、变异后丢失,采用了精英保留策略.

c. 交叉和重组算子.交叉操作是免疫算法中重要的遗传操作,而多点交叉比单点交叉具有更好的性能.本文在最小间隔编码的基础上,采用一种特殊的两点交叉方式,保证交叉操作后的个体仍然满足小区信道需求和 CSC 的隐含条件,交叉必须在同一行的不同位中进行,具体方法参考文献[12].

但交叉算子使群体中的染色体有局部相似性,父代染色体信息交换量小,从而使搜索停滞不前.禁忌搜索重组(TSR)算子使用禁忌表,可以减小适应度值较小种群出现的次数,尽可能地保持种群的多样性,在一定程度上可以避免算法陷入局部最优解.在本文算法中,重组算子 TSR 使用长度为 P 的禁忌表,其中, P 为种群个数,表中记录各个种群的适应度值,渴望水平使用父代群体适应度的平均值.交叉后子代的适应度值同渴望水平相比较,如果比渴望水平差,则破禁,子代进入下一代中;如果子代比渴望水平差,但又不在于禁忌列表中,使用藐视准则,接受子代进入下一代中;若是属于禁忌列表,则选择最好的父代进入下一代中.现介绍 TSR 重组算子程序.交叉和重组算子的步骤为:生成 $0 \sim 1$ 之间的随机数 $r_i, 1 \leq i \leq P/2$,如果 $r_i < P_c$ (P_c 为已经设定概率),则在交配池中随机选择两个父代;对每对双亲进行交叉操作;调用 TSR 对交叉后的子代和父代进行重组. TSR 重组算子程序如下:

Flag = 0;

for $i = 1 : 2$

if ($X(i) < \text{average fitness}$) % $X(i)$ 为交叉后子代

接受 $X(i)$;

else if $X(i)$ 不在禁忌列表中

接受 $X(i)$

else if (Flag == 0)

Flag = 1;

选择父代中最好的一个进入下一代

else 选择父代中最差的一个进入下一代

end

end

end

end

d. 提取疫苗.计算交叉后的种群中的个体适应度,找出种群中适应度最小的个体,将其全部基因作为疫苗.

e. 改进的选择性变异算子.选择性变异技术就是把不符合 EMC 限制的那些元素变异,符合 EMC 限制的元素不变.具体步骤为:

(a) 计算能量控制函数 $P^{(m)}$ [14], $P^{(m)}$ 是受 m_v 和 I_v 的控制的一个变量.

$$P^{(m)} = \begin{cases} \lfloor N \times 0.6 \rfloor & m_v^{(m)} > I_v \times 0.75 \\ \lfloor N \times 0.7 \rfloor & 6 < m_v^{(m)} \leq I_v \times 0.75 \\ 3 & 2 < m_v^{(m)} \leq I_v \times 0.75, \# \\ \lfloor N \times 0.8 \rfloor & 2 \leq m_v^{(m)} \leq 6 \\ 1 & m_v^{(m)} = 2, \# \\ 0 & m_v^{(m)} = 1, \# \\ \lfloor N \times 0.35 \rfloor & m_v^{(m)} = 1 \end{cases} \quad (5)$$

式中, I_v 为种群初始化后最小适应度值; m_v 为第 m 代种群交叉后的个体最小适应度值; $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示取整; N 为小区数; $\#$ 表示当算法运行到 3 的整数倍时最小适应度已经连续 3 代没有变化,算法陷入了局部最优,需要减少 $P^{(m)}$ 数,以跳出局部极小.

(b) 替换干扰信道,从第一个小区的第一个信道开始检查该小区的信道与其它小区的信道是否满足 EMC 限制.如果不满足 EMC 限制,找到与本小区满足 CSC 限制以及与前 $P^{(m)}$ 小区满足 EMC 限制的所有信道集合 H ,在算法没有陷入局部最优的情况下,选择 S_{ik} 值最大的那个信道替换该干扰信道 (S_{ik} 为小区 i 的第三层小区中正在使用信道 k 的紧致小区数),否则从集合 H 中任意选择一个信道替换该干扰信道;如果满足 EMC 限制,对第二个频点进行检查,直至检查到最后一个小区的最后一个频点.

$$S_{ik} = 5n_1(k) + 2n_2(k), \quad k \in H \quad (6)$$

式中, $n_1(k)$ 为小区 i 的第三层小区中正在使用信道 k 的同道紧致小区数; $n_2(k)$ 为小区 i 的第三层小区中正在使用信道 k 的非同道紧致小区数.

这样算法收敛时在一定程度上能保证系统中信道最大程度的紧致分配.

f. 疫苗接种和免疫选择. 从变异后的种群中按一定比例选取一定数量的个体, 为保证小区需求的信道数不变, 任意地选取疫苗中的 M_1 个小区基因将待接种个体相对应的 M_1 个小区基因覆盖, 然后计算改变后的适应度值, 与接种前的适应度值进行比较. 如果接种后的个体适应度值小于接种前的个体适应度值, 那么用接种后的个体替换接种前的个体; 如果接种后的所有个体的适应度值均大于接种前的适应度值, 为保持种群多样性和防止算法陷入局部最优, 用接种后适应度值最小的那个个体去替换相对应的个体.

g. 更新种群. 计算适应度函数, 查看最小适应度函数是否为零, 为零则算法收敛, 退出循环; 不为零, 用精英策略替换疫苗接种后的最大适应度值的个体, 形成新一代种群, 继续迭代, 直到主题循环运行到最大次数为止.

免疫算法的基本流程图如图2所示.

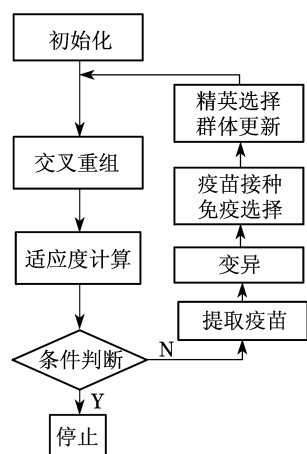


图2 免疫算法的流程图

Fig.2 Flow chart of immune algorithm

3 IIADCA 算法

现介绍 IIADCA 步骤.

a. 设定参数: 种群大小 P , 迭代次数 CN , EMC 限制, 交叉概率 P_c , 动态信道分配时系统抽样时间间隔 t_s , 系统仿真时间 T , 免疫算法优化间隔时间 t_m , 新呼叫平均持续时间 u_d , 新呼叫和切换呼叫在小区的平均驻留时间 u_s .

b. 在抽样时刻 t , 如果到达免疫算法优化时间, 用免疫算法进行优化; 否则, 在该抽样时间段内, 如果有新呼叫到达或者有呼叫需要切换, 为语音呼叫或者切换呼叫动态地分配信道.

c. 抽样时刻是否达到仿真时间 T , 如果达到, 算法结束; 否则, 抽样时刻加 1, 返回步骤 b.

4 实验仿真结果与比较

本文采用 Matlab 软件进行仿真, 系统模型如图1所示, 包含 49 个小区, 每个小区都为等六边形蜂窝, 各个小区到达的语音呼叫服从泊松分布, 新呼叫的持续时间和在小区的驻留时间都服从负指数分布, 平均持续时间 $u_d = 180$ s, 新呼叫和切换呼叫在小区的平均驻留时间都为 $u_s = 240$ s, 种群个数 $P = 30$, 交叉概率为 $P_c = 0.7$, 变异概率为 1, 迭代次数为 50, 抽样时间间隔 $t_s = 0.1$ s, 系统仿真时间为 6 h, 免疫算法优化间隔时间为 3 min, 种群初始化时 $N = 1, P_1 = 4$. EMC 限制——CSC 限制数为 3, ACC 限制数为 1, CCC 限制数为 1. 在 FCA 中, 每个小区分配的信道数为 9 个. 仿真时系统还满足以下条件:

- 语音呼叫和切换呼叫时一个接一个地到达;
- 忽略两个边界的交叉效应;
- 仿真时为了更接近实际系统, 剔除前半个小时的数据;
- 如果免疫算法达到最大迭代次数仍不收敛, 则放弃这次优化.

表1 为本文算法与文献[10]中的遗传算法(GA)的比较. 图3 为本文算法与 FCA、DCA、文献[10]中的基于遗传算法的动态信道分配(GA-DCA)算法的语音呼叫堵塞率的比较. 图4 为本文算法与 FCA、DCA 语音掉话率的比较. 由表1 可知, 本文算法比 GA 有更高的最优解搜索能力, 这是由于本文采用了 TSR 重组算子和改进的免疫接种策略, 保持了种群的多样性, 在一定程度上可以避免算法陷入局部最优解; 采用选择性变异技术, 有效地降低了变异的盲目性, 又能够比较轻松地跳出局部最优解; 再采用精英保留策略, 加快了算法收敛速度.

图3 和图4 的仿真结果表明, 本文算法 IIADCA 的话务携带能力明显高于 FCA、DCA 和 GA-DCA, 且话务量越高, 在同样的话务量下有最低的堵塞率和掉话率, IIADCA 算法的优势越明显. 在话务量增加

表1 2种仿真结果比较

Tab.1 Comparison of two simulation results

话务增加率/%	GA		本文算法	
	收敛率/%	平均收敛代数	收敛率/%	平均收敛代数
0	—	20.48	100	1.92
20	—	34.33	100	2.20
40	—	66.69	100	3.07
60	—	83.78	100	6.74
80	—	90.58	100	9.98
100	—	77.58	86.47	15.23

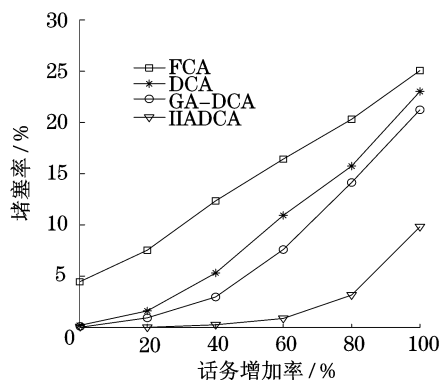


图3 话务量与堵塞率(含切换)之间的关系

Fig.3 Relationship between traffic and blocking rate (including handoff)

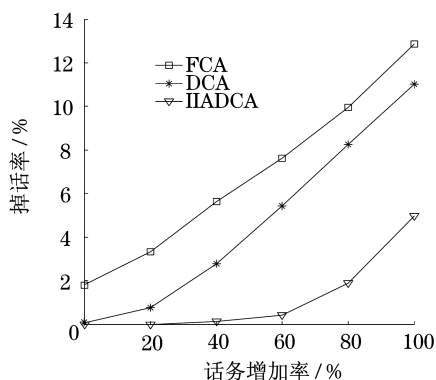


图4 话务量与掉话率之间的关系

Fig.4 Relationship between traffic and dropping rate

20%时,IIADCA的堵塞率比FCA,DCA,GA-DCA分别低7.53%,1.57%,0.90%,掉话率比FCA,DCA分别低3.32%,0.75%;在话务量增加到80%时,IIADCA的堵塞率比FCA,DCA,GA-DCA分别低16.85%,12.27%,10.69%,掉话率比FCA,DCA分别低8.05%,6.35%。这是由于本文采用了改进的选择性变异算子,在一定程度上保证了最大程度的信道紧致分配,提高了信道利用率和系统容量。

5 结束语

提出了一种改进的混合免疫算法,并将其应用于DCA中。自适应的初始化种群方法提高了初始种群的质量;TSR重组算子和改进的疫苗接种保证了种群的多样性;改进的选择性变异技术和精英保留策略加快了免疫算法的收敛速度。实验仿真结果表明,IIADCA与FCA,DCA,GA-DCA相比,有较小的堵塞率和掉话率;与GA相比,收敛率和收敛速度有了明显的提高。

参考文献:

- [1] 柳毅,马慧民,叶春明,等. 免疫算法在柔性 Job-shop 调度问题中的应用[J]. 上海理工大学学报,2005,27(5):393-396.
- [2] Ali A. A probabilistic greedy algorithm for channel assignment in cellular radio networks [J]. IEEE Transactions on Communications, 2010, 59(11): 3286-3295.
- [3] 石飞,贾振红,覃锡忠,等. 改进的人工鱼群算法在频率分配中的应用[J]. 计算机工程与应用,2011,47(34):90-92.
- [4] 朱志宇,姜长生. 基于混沌神经网络移动通信信道分配方法研究[J]. 电子与信息学报,2005,27(9):1429-1432.
- [5] 朱晓锦,陈艳春,邵勇,等. 面向信道分配的分段退火混沌神经网络模型[J]. 通信学报,2008,29(5):122-127.
- [6] 朱晓锦,陈艳春,马世伟,等. 一种基于改进暂态混沌神经网络的信道分配算法[J]. 电子与信息学报,2007,29(9):2230-2234.
- [7] 徐俊杰,忻展红. 基于微正则退火的频率分配方法[J]. 北京邮电大学学报,2007,30(2):67-70.
- [8] Lutfi M O K, Deo P V. A GA-based effective fault-tolerant model for channel allocation in mobile computing [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2008, 57(3): 1823-1833.
- [9] 杨钦民,刘海林. 基于遗传算法的蜂窝网络动态信道建模及算法实现[J]. 山东大学学报(工学版),2011,41(2):85-90.
- [10] Lima M A C, Araujo F R, Cesar A C. Adaptive genetic algorithms for dynamic channel assignment in mobile cellular communication systems vehicular technology [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2007, 56(5): 2685-2696.
- [11] 尹燕飞,张远平. 基于免疫策略的信道资源分配算法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(29):125-127.
- [12] Chiu Y, Victor O. Fixed channel assignment in cellular radio networks using a modified genetic algorithm[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1998, 47(1):163-172.
- [13] Romano F. Performance evaluation of prioritized handoff schemes in mobile cellular networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2000, 49(2): 485-493.
- [14] 何迪,贾振红,覃锡忠. 一种基于选择性变异技术的频率分配方法[J]. 计算机应用与软件,2011,28(10): 220-222.

(编辑:石 瑛)