

## 基于免疫计算的 WCDMA 网络基站选址优化

朱思峰\* 刘芳 柴争义

(西安电子科技大学计算机学院 西安 710071)

**摘要:** 为了解决 WCDMA 网络基站选址优化问题, 该文给出了一个基于免疫计算的选址优化方案。研究了容量约束下的小区面积, 给出了免疫优化算法框架, 并与文献算法进行了对比实验。实验结果表明: 该文算法方案能以较小的网络建设代价满足覆盖要求, 具有较好的应用价值。

**关键词:** 宽带码分多址接入(WCDMA)网络; 基站选址优化; 免疫优化算法

中图分类号: TN929.5; TP18

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2011)06-1492-04

DOI: 10.3724/SP.J.1146.2010.01108

## A Novel Immune Algorithm for WCDMA Base Station Locations Optimization

Zhu Si-feng Liu Fang Chai Zheng-yi

(School of Computer Science & Technology, Xidian University, Xi'an 710071, China)

**Abstract:** To solve the optimization locations of base station in Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) network, a solution of optimization locations based on immune algorithm is proposed. The cell area subject to cell capacity is expounded, the framework of immune optimization algorithm is given, and simulation experiments are done to validate algorithm. Experimental results show that the proposed solution of optimization locations can meet the coverage needs with low cost of network construction relatively, has the advantages of good application value.

**Key words:** Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) network; Base station locations optimization; Immune optimization algorithm

### 1 引言

移动通信在近几年得到了飞速发展, 作为第三代移动通信系统标准之一的宽带码分多址接入方案(WCDMA), 在许多国家得到了部署。WCDMA 网络规划的一个重要内容就是基站规划, 即在考虑信号质量、建设代价、覆盖约束以及其他网络参数的情况下规划基站的数目和位置。怎样用较低的网络建设代价来获得一个较高质量的网络是移动运营商最感兴趣的话题。WCDMA 网络基站选址优化问题是一种 NP 难问题, 引起了国内外学者的广泛关注, 文献[1]给出了 WCDMA 网络基站选址优化的数学模型及启发式优化算法, 但是其模型中, 没把容量这个重要的要素考虑进去; 文献[2]基于滚动窗优化方法, 把全局优化问题分解成一个个局部优化子问题, 解决的是宏区域 WCDMA 网络基站优化问题, 但是其优化性能尚需进一步提高; 文献[3]给出了一

种基于遗传算法的 WCDMA 网络基站选址优化方案, 其缺陷是算法收敛速度较慢, 不适宜解决大规模基站优化问题。

在 WCDMA 系统中, 基站规划的主要目标是: 在保证所有的测试点都被覆盖的情况下, 从候选站址集合中选择一个最小规模的子集合来建设基站, 从而使基站的建设代价最小。本文认为, WCDMA 网络基站选址优化问题是一个约束多目标优化问题。由于免疫优化算法具有寻优能力强、收敛性能好等优点, 近几年得到了迅速的应用推广<sup>[4-7]</sup>。基于此, 本文构造了一种基于免疫计算的 WCDMA 网络基站选址优化方案。

### 2 WCDMA 网络的容量约束

#### 2.1 链路预算

基站选址优化的目标是确定满足覆盖和容量需求的最小基站数目。由于 WCDMA 网络存在较明显的呼吸效应, 即容量与覆盖相互影响, 这使得基站规划问题变得很复杂。本文使用了链路预算及负载因子来评估容量约束下需要的基站数目。

链路预算用于确定 WCDMA 网络的最大可接受路径损耗, 使用合适的传播模型和路径损耗, 可以计算出小区的最大半径。本文用链路预算来确定

2010-10-15 收到, 2011-01-03 改回

中央高校基本科研业务费专项资金(JY1000090300772105476), 博士面上基金(20090461283), 博士点新教师基金(20090203120016), 国家自然科学基金(61003199), 资助课题

\*通信作者: 朱思峰 zhusifeng@163.com

一个基站的最大覆盖面积。对于宏小区蜂窝网络覆盖情况, 普遍采用的传播模型是 Cost 231 Hata 模型<sup>[8]</sup>, 该模型路径损耗计算公式为

$$PL = 46.3 + 33.9 \lg f - 13.82 \lg h_b - \alpha(h_t) + (44.9 - 6.55 \lg h_b) \lg r + C_{\text{cell}} + C_{\text{terrain}} + C_m \quad (1)$$

其中  $f$  是基站的工作频率;  $h_b$  是基站天线的有效高度, 即基站天线实际海拔高度与天线传播范围内平均地面海拔高度之差;  $h_t$  是终端天线的有效高度, 即终端天线高出地表的高度;  $r$  是基站天线与终端天线间的水平距离;  $\alpha(h_t)$  为终端天线的修正因子, 其数值与所处的无线环境相关;  $C_{\text{cell}}$  为小区类型修正因子;  $C_{\text{terrain}}$  为地形校正因子;  $C_m$  为大城市中心校正因子。当给定 WCDMA 网络工作参数后, 式(1)可以简化为

$$PL = \lambda \lg r + \theta \quad (2)$$

式中  $\lambda$  为基站半径项的系数;  $\theta$  为一个常数。当给出网络可接受的最大路径损耗功率值(分贝)后, 利用式(2)就可得到基站的最大覆盖半径  $r$ 。小区的最大面积用式(3)计算。

$$CA_{\text{PL}} = (3\sqrt{3}/2)r^2 \quad (3)$$

## 2.2 上下行链路负载因子

负载因子用于估计每个基站支持的用户的总数目。负载因子确定后, 就可以确定一个基站支持的用户数目。上行链路负载因子计算公式如式(4)所示。

$$\eta_{\text{UL}} = (1 + \xi) \sum_{j=1}^N \frac{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j}{(E_b / N_0)_j \cdot R_j \cdot v_j + W} \quad (4)$$

其中  $\xi$  为其他小区干扰与本小区干扰的比值;  $N$  为每小区用户数目;  $(E_b / N_0)_j$  为第  $j$  用户的每比特信号能量;  $R_j$  为第  $j$  用户的比特速率;  $v_j$  为第  $j$  用户的激活因子;  $W$  为码片速率。

假定每个用户的每比特信号能量、比特速率及激活因子都相同, 当给定 WCDMA 网络工作参数后, 可得到上行链路支持的最大用户数目为

$$N_{\text{UL}} = \lambda_1 \eta_{\text{UL}} \quad (5)$$

同样的方式, 得到下行链路支持的最大用户数目为

$$N_{\text{DL}} = \lambda_1 \eta_{\text{DL}} \quad (6)$$

由于 WCDMA 网络的上下行采用了频分复用, 因此每小区支持的用户数目应取  $\min(N_{\text{UL}}, N_{\text{DL}})$ 。负载因子约束下小区面积为

$$CA_{\text{UD}} = \frac{\min(N_{\text{UL}}, N_{\text{DL}})}{\text{UD}} \quad (7)$$

其中 UD 为用户密度。

考虑到 WCDMA 网络运营商的运营效益, 设其

可接受的最小用户密度为  $\text{UD}_{\text{min}}$ , WCDMA 系统支持的最大用户密度为  $\text{UD}_{\text{max}}$ , 则负载因子约束下的小区面积应满足式(8)。

$$\frac{\min(N_{\text{UL}}, N_{\text{DL}})}{\text{UD}_{\text{min}}} \leq CA_{\text{UD}} \leq \frac{\min(N_{\text{UL}}, N_{\text{DL}})}{\text{UD}_{\text{max}}} \quad (8)$$

## 2.3 容量约束下的小区面积

考虑到 WCDMA 系统的呼吸效应<sup>[9,10]</sup>, 即小区容量越大, 其网络支持的小区面积越小。由于呼吸效应的影响, 在基站规划时小区面积取值如式(9)。

$$CA = \min(CA_{\text{PL}}, CA_{\text{UD}}) \quad (9)$$

从式(9)可以看出, 在容量约束下小区面积取的是较小值, 即在一个规划区域中, 基站的数目应取较大值。

## 3 基于免疫计算的基站选址优化

### 3.1 编码方案及种群初始化

由于在选址优化中每个候选站址只有被选中与没被选中两种情况, 采用二进制编码是适宜的。在免疫算法中, 把要解决的问题看作抗原, 把问题的解看作抗体。每个抗体对应一种选址优化方案, 每个候选站址对应基因座的值表示了该站址被选中情况。设候选站址集为 BSs, 每个候选站址  $i (i \in \text{BSs})$  被选中情况为

$$b_i = \begin{cases} 1, & \text{站址 } i \text{ 被使用} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (10)$$

抗体记作  $\text{Ab} = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ , 其中  $b_i \in \{0, 1\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 为第  $i$  个基站站址被选择情况,  $n$  为基站候选站址数目。

免疫算法必须要有一个初始种群, 本文采用随机方式产生整个初始种群。由于呼吸效应的影响, 小区容量制约了基站的覆盖面积。当给定待规划区域的链路预算值、上下行负载因子及小区用户密度等相关参数后, 根据本文前节的讨论结果, 可以得到该区域需要的最少基站数目。为了提高算法的收敛性能, 在随机产生抗体时, 把每个抗体基因座值为 1 的总位数大于或等于该区域需要的最少基站数目。把初始化时抗体基因座值为 1 的总位数与抗体编码长度的比值, 称为初始化概率。

### 3.2 抗体亲和度

把优化问题看作抗原, 把问题的解看作抗体, 则抗体亲和度是衡量解质量的一个主要指标。设基站候选站址集为 BSs, 基站  $i$  的建站代价为  $c_i$ , 测试点集合为 TPs, 测试点  $j$  没被基站覆盖所产生的损失为  $l_j$ 。测试点  $j$  被基站  $i$  覆盖情况为

$$x_j = \begin{cases} 1, & d_{i,j} > \varepsilon, \forall i \in \text{BSs} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (11)$$

其中  $d_{i,j}$  为基站与  $i$  测试点  $j$  之间的距离,  $\varepsilon$  为距离阈值。

本文设计的抗体亲和度评价函数为

$$f(\text{Ab}_p) = \lambda_1 \sum_{i=1}^n c_i^p b_i^p + \lambda_2 \sum_{j=1}^m l_j x_j \quad (12)$$

其中  $\lambda_1$  为建站代价权重系数;  $\lambda_2$  为覆盖损失的权重系数。

### 3.3 抗体浓度

从抗体编码形式可以看出, 两个抗体的差异性表现为所有基站被选择情况的差异, 本文把抗体编码中差异值作为抗体间的距离, 其计算公式为

$$d(\text{Ab}_p, \text{Ab}_q) = \sum_{i=1}^n |b_i^p - b_i^q| \quad (13)$$

抗体间距离小于阈值  $\theta$  时, 互为邻居抗体, 如式(14)所示。

$$nb(\text{Ab}_p, \text{Ab}_q) = \begin{cases} 1, & d(\text{Ab}_p, \text{Ab}_q) < \theta \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (14)$$

抗体  $\text{Ab}_p$  的浓度指在抗体种群中邻居数目与种群规模的比值为

$$g(\text{Ab}_p) = \sum_{q=1}^N nb(\text{Ab}_p, \text{Ab}_q) / N \quad (15)$$

其中  $N$  为抗体种群的规模。

### 3.4 算子设计

本文算法使用了克隆变异和抗体浓度抑制 2 个算子:

克隆变异: 对抗体  $\text{Ab}_p$  产生  $M$  个克隆副本, 记作  $\text{Ab}_p^{(1)}, \text{Ab}_p^{(2)}, \dots, \text{Ab}_p^{(M)}$ 。对抗体  $\text{Ab}_p$  的克隆副本  $\text{Ab}_p^{(i)}$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) 的所有基因位, 按照概率变异得到  $\text{Ab}_p^{(i)'}$ 。

抗体浓度抑制: 计算抗体种群及克隆副本种群中各个抗体的浓度, 选取浓度较低且亲和度较高的  $N_p$  个抗体和随机产生的  $N - N_p$  个抗体共同组成新一代种群。

### 3.5 算法框架

本文设计的算法框架如下:

步骤 1 输入抗体种群规模  $N$ , 记忆种群规模  $W$ , 克隆母体种群规模  $X$ 。

步骤 2 初始化抗体种群。随机产生  $N$  个抗体构成初始种群  $A_0$ ; 从种群  $A_0$  中取  $W$  个抗体构成记忆种群。

步骤 3 从第  $t$  代种群  $A_t$  中选择前  $X$  个抗体构成克隆母体种群  $B_t = \{\text{Ab}_1, \text{Ab}_2, \dots, \text{Ab}_X\}$ ; 对  $B_t$  中抗体进行克隆变异得到克隆副本种群  $C_t$ 。

步骤 4 计算  $A_t \cup C_t$  中每种抗体亲和度, 按照亲和度值降序排列。

步骤 5 从  $A_t \cup C_t$  中选取亲和度高的一些抗体去替换记忆种群中的部分抗体。

步骤 6 对种群  $A_t \cup C_t$  实施抗体浓度抑制操作生成新一代种群, 置  $t \leftarrow t + 1$ 。

步骤 7 若满足终止条件, 则输出记忆种群中亲和度最高的那个抗体, 算法结束; 否则转到步骤 3。

## 4 仿真实验

为了验证本文算法的性能, 对本文算法及文献[3]算法的性能进行对比实验。采用文献[3]的实验数据: 一个  $20 \times 20 \text{ km}^2$  平坦区域, 上行链路速率为 64 bps, 下行链路速率为 144 bps, 单载频, 128 个测试点。设该区域基站候选站址集合为  $\text{BSs} = \{1, 2, \dots, 60\}$ , 测试点集合为  $\text{TPs} = \{1, 2, \dots, 128\}$ , 并假定每个候选站址的建站代价相同, 每个测试点没被覆盖所产生的损失相同, 基站候选站址及测试点分布如图 1 所示。该规划问题是从 60 个基站候选站址中至少选 32 个。其目标是: 最小化建站代价; 最大化网络覆盖率。

两种算法的种群规模均取 100, 最大进化代数均取 1200, 个体均采用二进制编码, 编码长度为 60 位。文献[3]算法的初始化概率取 0.9, 变异概率取 0.6, 交叉功率取 0.8; 本文算法的基站与测试点的距离阈值  $\varepsilon$  取 0.5 km, 抗体间距离阈值  $\theta$  取 50, 初始化概率取 0.6, 克隆变异概率取 0.6, 记忆种群规模  $W$  取 30, 克隆母体种群规模  $X$  取 60, 克隆副本个数  $M$  取 10。

需要说明的是: 本文算法考虑了呼吸效应的影响, 根据文献[3]的实验环境参数, 通过本文第 3 节的计算公式得出了该  $20 \times 20 \text{ km}^2$  平坦区域至少需要为 32 个全向天线基站。本文算法的初始化概率取 0.6; 而文献[3]没考虑呼吸效应的影响, 初始化概率

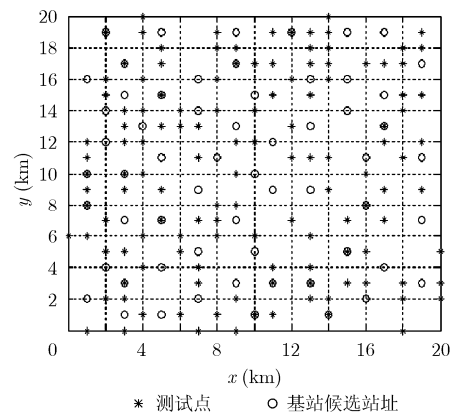


图 1 测试点及候选基站分布图

取 0.9。

在 Pentium IV 2.0GHz 主频 CPU, 2GB 内存的 IBM 兼容机器上, 依次对文献[3]算法和本文算法各运行 10 次, 取平均值, 两个算法的优化效果如图 2 所示。

从图 2 可以看出: 随进化代数的增加, 本文算法的平均优化方案代价下降速度较快, 这说明了本文算法的收敛性能优于文献[3]算法。

衡量基站规划方案优劣的另一个主要指标是覆盖率与所用基站数的比值, 其比值反映了规划方案的性价比。两种算法规划方案覆盖率与所用基站数的比值如图 3 所示。

从图 3 可以看出, 本文算法所得规划方案的性价比一直高于文献[3]算法。这说明本文算法具有较

强的局部寻优能力, 可以用较少的基站获得同样的覆盖率。

本文算法的最终优化结果是使用基站数目为 32, 测试点覆盖率为 91.5%, 如图 4 所示。

## 5 结束语

基站选址优化是 3G 无线网络规划中的重点和难点, 也是贯彻建网策略的重要环节。由于 WCDMA 系统存在较显著的呼吸效应, 其基站规划较为困难。本文讨论了给定网络链路预算及链路负载因子下的小区理论面积, 给出了一种基于免疫计算的 WCDMA 网络基站选址优化方案。与文献[3]算法对比实验表明: 本文算法的收敛性和解的质量均优于文献[3]算法, 可以有效地解决 WCDMA 网络基站选址优化问题。

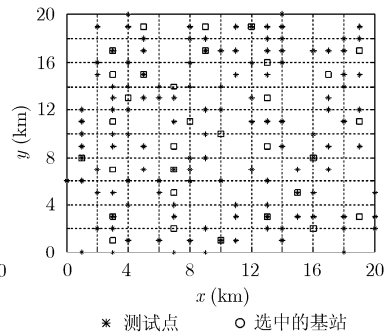
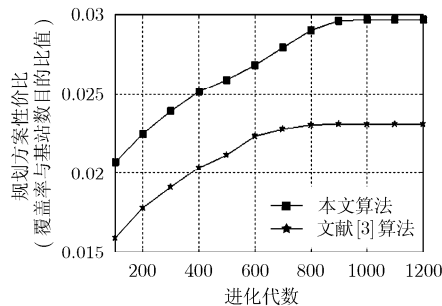
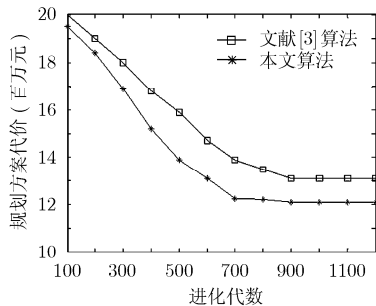


图 2 两种算法方案代价随进化代数的变化

图 3 两种算法方案性价比随进化代数的变化

图 4 测试点及候选基站分布图

## 参考文献

- [1] Yang J, Aydin M E, and Zhang J. UMTS base station location planning: a mathematical model and heuristic optimisation algorithms[J]. *IET Communications*, 2007, 1(5): 1007-1014.
- [2] Zhang H Y, Xi Y G, and Gu H Y. A rolling window optimization method for large-scale WCDMA base stations planning problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 183(2): 370-383.
- [3] Munyaneza J and Kurien A. Optimization of antenna placement in 3G networks using genetic algorithms[J]. *Communications & Information Technology*, 2009, 36(3): 70-80.
- [4] Gong M, Jiao C, and Du H, et al. Multi-objective immune algorithm with nondominated neighbor-based selection [J]. *Evolutionary Computation*, 2008, 6(2): 225-255.
- [5] 朱思峰, 刘芳, 柴争义. 免疫聚类算法在基因表达数据分析中的应用[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(2): 54-58.  
Zhu S F, Liu F, and Chai Z Y. Application of immune clustering algorithm to the analysis of gene expression data[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2010, 33(2): 54-58.
- [6] Zuo X Q, Mo H W, and Wu J P. A robust scheduling method based on a multi-objective immune algorithm [J]. *Information Sciences*, 2009, 179(19): 3359-3369.
- [7] 杨咚咚, 焦李成, 公茂果, 等. 求解偏好多目标优化的克隆选择算法[J]. 软件学报, 2010, 21(1): 14-33.  
Yang D D, Jiao L C, and Gong M G, et al. Clone selection algorithm to solve preference multi-objective optimization[J]. *Journal of Software*, 2010, 21(1): 14-33.
- [8] Wang P. Path loss modeling and comparison based on the radio propagation measurement at 3.5 GHz[J]. *High Technology Letters*, 2009, 23(3): 120-145.
- [9] 姚立, 何晨. 一种新的用于 WCDMA 基站布局规划的移动台分配方法[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(5): 25-29.  
Yao L and He C. A novel mobile assignment method for WCDMA base station location planning[J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2007, 41(5): 25-29.
- [10] 朱科. WCDMA 网络规划中的小区呼吸效应[J]. 信息通信, 2009, 9(5): 42-53.  
Zhu K. The cell breathing effect in WCDMA network planning[J]. *Information & Communications*, 2009, 9(5): 42-53.

朱思峰: 男, 1975 年生, 博士生, 研究方向为 3G 网络优化、仿生学算法、免疫计算等。

刘芳: 女, 1963 年生, 教授, 博士生导师, IEEE 高级会员, 研究方向为自然计算。

柴争义: 男, 1976 年生, 博士生, 研究方向为计算智能、认知网络等。