



基于自适应遗传算法的无线网络智能选频技术研究

王文君

(中国电波传播研究所 青岛 266107)

摘要:针对无线网络使用频率日益紧张的现状,提出了一种基于自适应遗传算法的智能选频技术,从智能优化的角度考虑对无线网络进行整体选频,在基本遗传算法的基础上,对遗传操作进行改进,对最优个体进行保护以确保收敛性,从而克服了传统选频算法的不足,可有效避免陷入局部最优并最终趋于全局优化。理论分析和仿真研究表明,与传统选频算法相比,新算法在解决大规模网络选频问题时,效率和精度更高,且稳定性也显著增强。

关键词:智能选频;遗传算法;种群;自适应

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015056

Research on Radio Network Intelligent Frequency Selection Technology Based on an Adaptive Genetic Algorithm

Wang Wenjun

(China Research Institute of Radiowave Propagation, Qingdao 266107, China)

Abstract: In order to solve the problem of selecting frequency more and more difficultly for radio network, an intelligent frequency selection technology based on an adaptive genetic algorithm was proposed. Frequencies were selected for whole radio network from the perspective of intelligent optimization. On the basis of the standard genetic algorithm, this novel method improved genetic operators, and the preservation of the optimal individual algorithm to ensure the diversity of the population was introduced. Therefore, the arithmetic which did well in avoiding some deficiencies of the traditional frequency selection algorithm prevented local optimization and ran into overall optimization ultimately. Theoretical analysis and simulation results show that the new algorithm in solving the problem of frequency selection for large-scale network has higher efficiency and precision than the traditional algorithm, and stability is significantly enhanced.

Key words: intelligent frequency selection, genetic algorithm, population, adaptive

1 引言

随着无线电业务的迅速发展与普及,各类无线电设备

的数量与日俱增,电磁环境日益复杂,频率拥挤问题受到广泛关注。造成这种用频紧张的状况主要有两个原因:一是频率资源少;二是频率使用效率低。因此,必须考虑将现

收稿日期:2014-10-22;修回日期:2015-02-03

基金项目:国家科技重大专项基金资助项目(No.2010ZX03006-002),NSFC-广东联合基金重点资助项目(No.U1035002)

Foundation Items: The National Science and Technology Major Project (No.2010ZX03006-002), NSFC-Guangdong Mutual Fund Key Project (No.U1035002)

论文引用格式:王文君. 基于自适应遗传算法的无线网络智能选频技术研究. 电信科学, 2015056

Wang W J. Research on Radio Network Intelligent Frequency Selection Technology Based on an Adaptive Genetic Algorithm. Telecommunications Science, 2015056

有的频率资源进行有效的利用和科学的管理,智能选频技术正是优化频率资源分配、有效利用频率资源的一种有效手段。通常解决无线网络选频问题的传统方法主要有顺序选频法^[1]和穷举搜索法^[2]。对于中小规模无线网络,一般采用顺序选频法根据设备频段对链路进行逐一选频;而对于大规模无线网络,则采用穷举搜索法进行选频。这种传统的确定性算法在寻找最优解时会耗费大量的计算时间,而且选频结果对于单设备或中小网络也适用,但对于大规模用频网络还无法实现频率的整体协同使用,仍然存在着用频冲突的问题。鉴于此,本文提出一种全新的智能选频算法,结合全局搜索的智能优化思想,考虑对大规模网络进行整体配置频率优化,根据当时当地电磁环境的复杂程度和实时网络用频状态自适应地选择设备使用频率。

遗传算法^[3,4](genetic algorithm, GA)作为一种智能优化算法,具有内在的隐并行性和良好的随机搜索能力,近年来已被广泛应用于系统优化工程。基本遗传算法存在整体寻优能力差、局部搜索能力低的不足,由于在选择过程中种群适应度过于集中,在进行遗传迭代过程中容易发生过早收敛的现象。本文提出的基于自适应遗传算法的智能选频技术,主要是以遗传算法为基础,针对基本遗传算法的不足,对遗传编码、适应度函数的设计、遗传操作的设计和算法参数控制进行改进,从而提高了遗传迭代的效率,较好地避免了在搜索过程中出现的过早收敛现象,明显改善了计算稳定性,使选频结果的质量大大提高,在解决大规模无线网络选频问题时较大的优势。

2 系统模型

所谓无线网络选频,是指在无线网络中,给网络中的所有用频设备指定使用频率,使其在规定的条件下正常工作。选频的最终目的是减少用频设备之间的互扰和自扰,规避网络中的用频冲突现象,以最大限度地提高频率使用效率。在选频过程中一般遵循以下原则。

- 对选频网络进行详细的电磁兼容性(EMC)分析^[5]。进行电磁兼容性分析需要大量的地理高程数据和收发设备特性参数,其计算量是非常大的。很多人都想避开详细的 EMC 分析,于是做了理想的假定或以简单保守的算法进行代替,而建立在此基础上的选频模型很多时候并不是相对最优的。因此,既要避免用频冲突,又要提高频率使用效率,必须进

行 EMC 分析,通过精确的电波传播预测模型和高效的数值计算方法来使其实用化。

- 选频的依据是以网络中的干扰程度作为依据。产生用频冲突的原因很多,系统互扰和自扰是其中之一。当干扰总功率比较小时,干扰对用频的影响较小,这将大大提高选频的自由度,提高频谱利用率。

在选频过程中,通常用干扰余量(IM)来表示干扰程度,干扰余量可表示为^[5]:

$$IM(f, t, d, p) = P_T(f_E) + G_T(f_E, t, d, p) - L(f_E, t, d, p) + G_R(f_E, t, d, p) - P_R(f_E) + CF(B_T, B_R, \Delta f) \quad (1)$$

其中, $P_T(f_E)$ 为发射机功率(dBm), $G_T(f_E, t, d, p)$ 为接收天线方向的发射天线增益(dB), $L(f_E, t, d, p)$ 为收发天线间的传播路径损耗(dB), $G_R(f_E, t, d, p)$ 为发射天线方向的接收天线增益(dB), $P_R(f_E)$ 为接收机灵敏度门限(dBm), $CF(B_T, B_R, \Delta f)$ 为校正系数(dB)。

3 算法设计与参数控制

基于基本遗传算法的智能优化思想,结合遗传算法的全局搜索机制,通过对遗传算法各遗传要素的改进与参数的控制,实现对网络选频技术的数学建模,具体算法设计思路如下。

3.1 遗传编码的设定

采用实数编码^[6],设置个体的长度为 N ,即网络中的用频设备数为 N 。个体中的每一个元素对应一个可用频率,即存在以下映射 A :

$$\{1, 2, \dots, N\} \rightarrow \{f_1, f_2, \dots, f_N\} \quad (2)$$

其中, $f_i(i=1, 2, \dots, N)$ 代表设备所选的频率。

3.2 初始群体的设定

候选群体中每个个体对应一种选频方案的编码表示(即映射 A),每一次新的选频方案的产生则代表一个新个体的生成。初始群体是随机产生的,即对于每一个个体,从可用频率集合中为每个用频设备随机选择一个频率。假设种群规模为 M ,则初始种群如下:

$$\begin{aligned} v_1 &= [f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1N}] \\ v_2 &= [f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2N}] \\ &\vdots \\ v_M &= [f_{M1}, f_{M2}, \dots, f_{MN}] \end{aligned} \quad (3)$$

3.3 适应度函数设计

对指定地域范围内的所有用频设备进行电磁干扰分析。根据干扰总功率,可将适应度函数设计如下:



$$eval = (-0.001) \cdot \sum_{i=1}^N P_i \quad (4)$$

其中, $eval$ 为适应度值, P_i 为设备 i 所受的干扰总功率。

3.4 交叉概率和变异概率设计

本文提出了改进的交叉概率和变异概率,是根据种群适应度值的集中程度,自适应地对整个群体的交叉概率和变异概率进行调整。按照当代种群适应度值的分布情况,交叉概率和变异概率设计如下^[7]:

$$p_c = \begin{cases} \frac{k_{c1}(f_{avg} - f') + k_{c2}(f' - f_{min})}{f_{avg} - f_{min}}, & f' < f_{avg} \\ \frac{k_{c2}(f_{max} - f') + k_{c3}(f' - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}}, & f' \geq f_{avg} \end{cases} \quad (5)$$

$$p_m = \begin{cases} \frac{k_{m1}(f_{avg} - f) + k_{m2}(f - f_{min})}{f_{avg} - f_{min}}, & f < f_{avg} \\ \frac{k_{m2}(f_{max} - f) + k_{m3}(f - f_{avg})}{f_{max} - f_{avg}}, & f \geq f_{avg} \end{cases} \quad (6)$$

其中, p_c 为交叉概率, p_m 为变异概率, f_{max} 为种群中最大的适应度值, f_{avg} 为当代种群中的平均适应度值, f_{min} 为种群中最小的适应度值, f' 为待交叉个体中较大的适应度值, f 为待变异个体的适应度值, $k_{c1} > k_{c2} > k_{c3}$, $k_{m1} > k_{m2} > k_{m3}$ 且为 $(0,1)$ 的随机值。

(1) 选择

采用赌盘算法^[8]进行选择操作。应该满足的条件的数学描述为:

$$\begin{cases} P_i - L_i < 0 \\ \min \sum_{i=1}^N P_i \end{cases} \quad (7)$$

其中, P_i 为设备所受的干扰总功率, L_i 为设备 i 的接收机干扰门限, $i=1,2,\dots,N$ 。

进行选择操作 M 次,产生种群 $v'_1, v'_2, \dots, v'_M$ 。

(2) 交叉

采用算术交叉^[8]方法,对 $v'_1, v'_2, \dots, v'_M$ 进行交叉操作。产生随机数序列 $r_1, r_2, \dots, r_M$, 若 $r_i < p_c$, 则 v_i 被选出参与交叉,产生个体 v_1'', v_2'', v_3'' 和 v_4'' 。

(3) 变异

采用非均匀变异^[8],根据变异概率对该种群进行变异操作。假设个体 $v=[f_1, \dots, f_k, \dots, f_N]$ 中的基因 f_k 被选中进行变异,则产生的后代为 $v'=[f_1, \dots, f'_k, \dots, f_N]$ 。

4 无线网络智能选频算法实现流程

基于以上算法设计思路,设定种群规模为 M ,算法实现流程如下。

(1)对于网络中给定的 N 个用频设备,在已知设备频段或频点中随机产生 M 种选频方案,即随机产生一个初始种群: $v_1, v_2, \dots, v_M$, 其中个体长度为 N 。

(2)进行电磁干扰分析,计算每种选频方案所对应的干扰功率。

(3)根据干扰功率计算群体中的个体适应度值,并计算选择概率和累积概率。

(4)对初始种群进行选择操作 M 次,生成种群 $v'_1, v'_2, \dots, v'_M$ 。

(5)对种群 $v'_1, v'_2, \dots, v'_M$ 进行交叉操作。

(6)对种群 $v'_1, v'_2, \dots, v'_M$ 进行变异操作。

(7)在步骤(5)和步骤(6)后的子代和父代中选择适应度最大的 M 个个体组成新的种群,并在新种群中用最优个体替换最差个体。

(8)判断:若当前进化代数小于最大进化代数,则转到步骤(2),并继续进行下一次遗传迭代;否则,算法终止,返回当前最优解,从而得到最优选频方案。

5 仿真实验及结果分析

5.1 收敛性

为了分析验证算法的收敛性,在山东青岛和河南郑州两个地区分别采用传统选频算法(以下简称传统方法)、粒子群优化(particle swarm optimization, PSO)算法^[9](以下简称粒子群算法)、贪心算法^[10]和基于自适应遗传算法的智能选频算法(以下简称本文算法)进行无线通信网络选频仿真实验。

5.1.1 青岛地区

在青岛地区分别部署中波通信网、短波通信网、超短波通信网和微波接力网(其中各含 50 个台站),采用传统方法、贪心算法、粒子群算法和本文算法分别对这 4 种网络进行选频仿真实验,结果如图 1 所示。对于中波通信网,传统方法在 120 代达到收敛,贪心算法在 110 代达到收敛,粒子群算法在 140 代达到收敛,本文算法在 160 代达到收敛;对于短波通信网,传统方法在 140 代达到收敛,贪心算法在 120 代达到收敛,粒子群算法在 150 代达到收敛,本文算法在 170 代达到收敛;对于超短波通信网,传统方法在 150 代达到收敛,贪心算法在 130 代达到收敛,粒子群算法在 160 代达到收敛,本文算法在 180 代达到收敛;对于微波

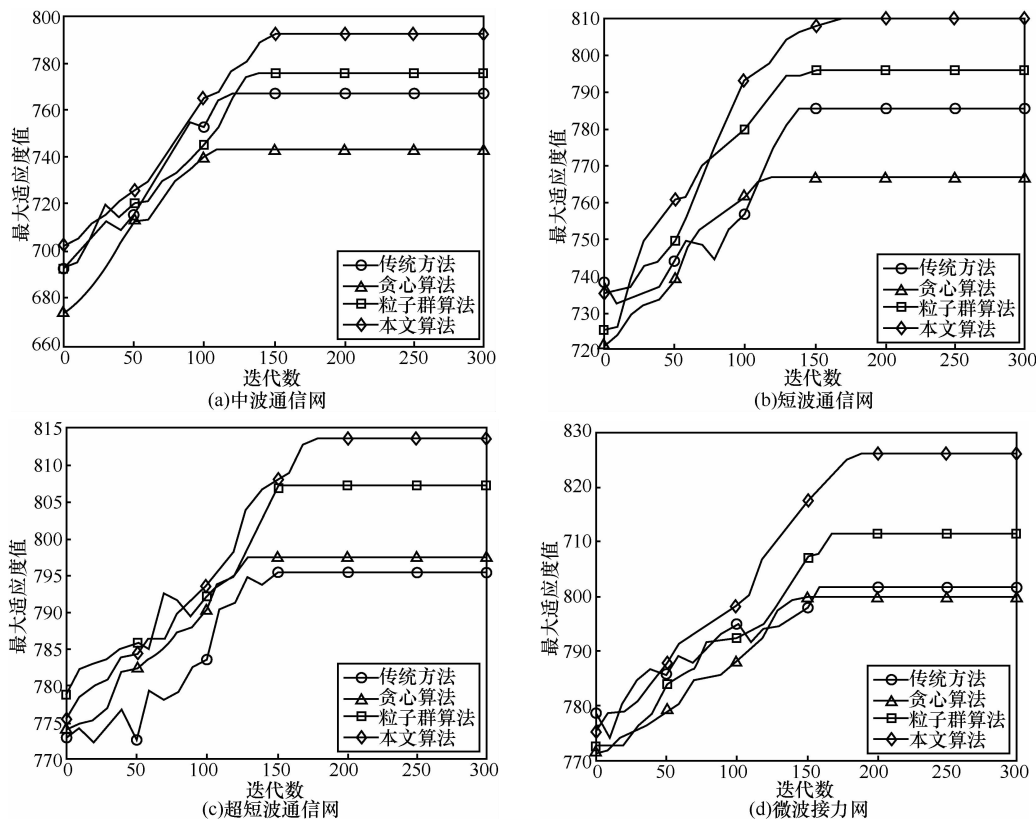


图 1 青岛地区最大适应度对比

接力网,传统方法在 160 代达到收敛,贪心算法在 150 代达到收敛,粒子群算法在 170 代达到收敛,本文算法在 190 代达到收敛。结果数据统计见表 1~表 4。

5.1.2 郑州地区

在郑州地区分别部署中波通信网、短波通信网、超短波

通信网和微波接力网(其中各含 50 个台站),采用传统方法、贪心算法、粒子群算法和本文算法分别对这 4 种网络进行选频仿真实验,结果如图 2 所示。对于中波通信网,传统方法在 150 代达到收敛,贪心算法在 130 代达到收敛,粒子群算法在 170 代达到收敛,本文算法在 190 代达到收敛;对于短波通信网,传统方法在 160 代达到收敛,贪心算法在 150 代达到收敛,粒子群算法在 180 代达到收敛,本文算法在 200 代达到收敛;对于超短波通信网,传统方法在 180 代达到收敛,贪心算法在 160 代达到收敛,粒子群算法在 210 代达到收敛,本文算法在 220 代达到收敛;对于微波接力网,传统方法在 200 代达到收敛,贪心算法在 180 代达到收敛,粒子群算法在 220 代达到收敛,本文算法在 230 代达到收敛。结果数据统计见表 5~表 8。

通过以上仿真实验可以看出,用传统方法和贪心算法进行选频时,算法收敛速度较快,多数情况下只能得到局部最优解,寻优效率比较低;用粒子群算法进行选频时,寻

表 1 青岛地区中波通信网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	120	110	140	160
最优解的适应度值	767.3	742.7	775.8	793.2

表 2 青岛地区短波通信网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	140	120	150	170
最优解的适应度值	785.5	766.8	796.4	809.7

表 3 青岛地区超短波通信网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	150	130	160	180
最优解的适应度值	795.5	797.4	807.2	813.6

表 4 青岛地区微波接力网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	160	150	170	190
最优解的适应度值	801.6	799.7	811.3	825.8

表 5 郑州地区中波通信网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	150	130	170	190
最优解的适应度值	775.6	752.7	796.3	813.9

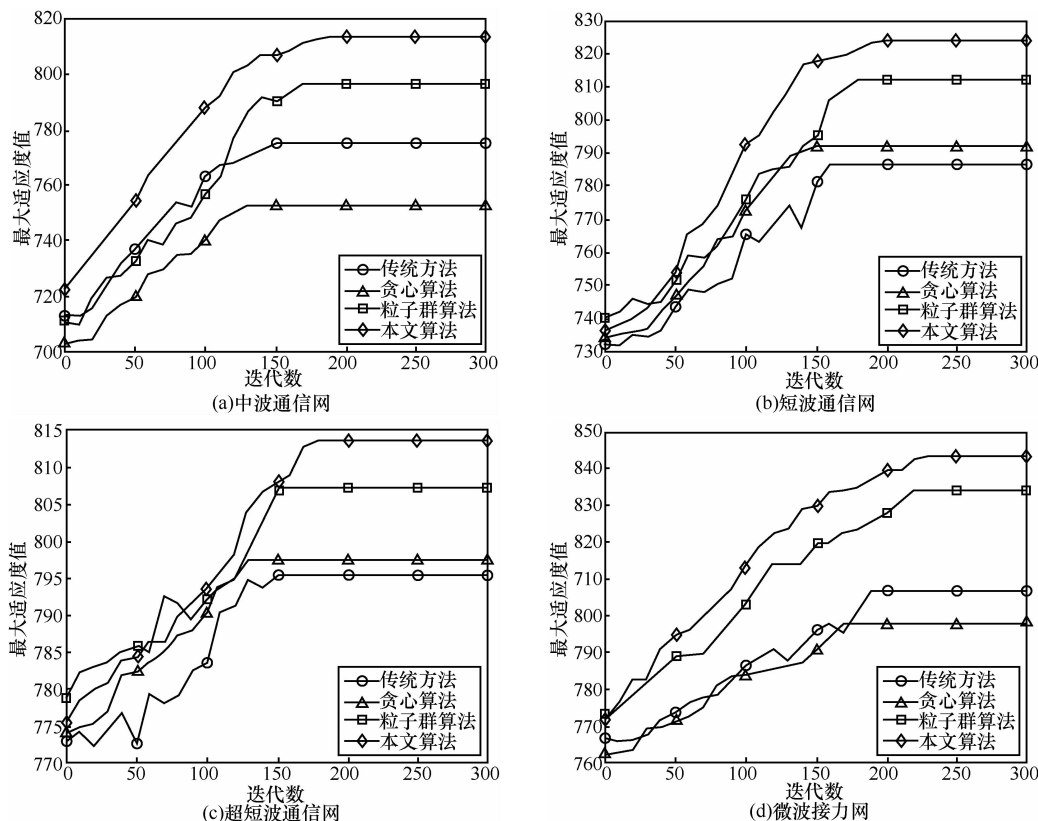


图2 郑州地区最大适应度对比

表6 郑州地区短波通信网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	160	150	180	200
最优解的适应度值	786.3	792.0	812.1	824.3

表7 郑州地区超短波通信网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	180	160	210	220
最优解的适应度值	791.6	800.8	798.3	827.7

表8 郑州地区微波接力网仿真实验结果数据统计

	传统方法	贪心算法	粒子群算法	本文算法
出现最优解的代数	200	180	220	230
最优解的适应度值	807.1	798.3	834.7	843.9

优效果比传统算法和贪心算法好,但最终得到的选频结果也很难达到全局最优,在求解大规模无线网络选频问题时存在缺陷。而用本文算法进行选频时,算法在进行遗传迭代过程中最大适应度值曲线比较平滑,收敛速度比较平稳,最终得到的选频结果的适应度值也比前面3种算法高。由此可见,本文提出的基于自适应遗传算法的智能选频算法有较强的寻优能力,其收敛性能优于前面3种算法。

5.2 稳定性

为了分析验证算法的稳定性,在以东经 120° 、北纬 36°

为中心的区域内随机部署中波通信网、短波通信网、超短波通信网和微波接力网,分别采用传统方法、贪心算法、粒子群算法和本文算法进行100次300代迭代的选频仿真实验,其结果如图3所示。

不难看出,用传统方法和贪心算法进行选频时,每次试验得到的最大适应度值都比较低,最优解适应度曲线波动较大,稳定性较差;用粒子群算法进行选频时,虽然最大适应度值比传统方法和贪心算法高,在稳定性上也有所增强,但还是没有达到理想要求;相比之下,本文算法得到的最优解适应度曲线比较平稳,而且最大适应度值基本保持在一个很高的水平,可以满足目前无线网络选频工程计算的要求。因此,从算法稳定性的角度看,本文提出的基于自适应遗传算法的智能选频算法优于前面3种算法。

6 结束语

无线网络选频是电磁频谱管理领域中非常重要且困难的研究课题,前人在此项研究上也做出了很多努力,取得了一些可喜的成果。在此基础上,本文从智能优化的角度提出了一种新的智能选频技术,结合遗传算法的全局搜索机制,通过对遗传操作的改进和搜索过程的

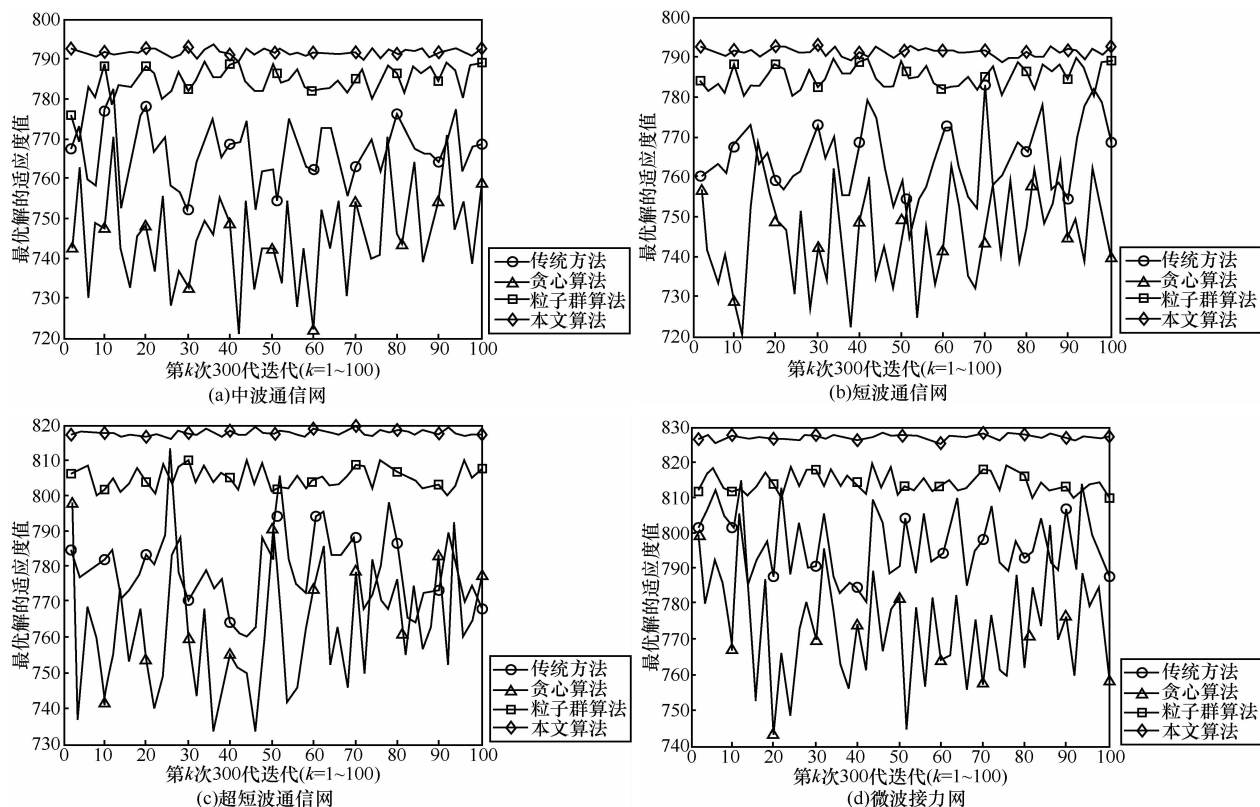


图3 算法稳定性曲线对比

控制来寻求最优选频结果。仿真结果证明,该技术不仅能够满足大规模无线网络选频的要求,而且寻优速度快、精度高,有较强的通用性和稳定性,可应用于目前的频谱管理工程计算。

参考文献

- Maniezzo V, Carbonaro A. An ants heuristic for the frequency assignment problem. *Future Generation Computer Systems*, 2000, 16(8): 927~935
- Prosser P. Hybrid algorithm for the constraint satisfaction problem. *Computational Intelligence*, 1993, 9(3): 268~297
- Holland J H. *Adaptation in Nature and Artificial System: an Introductory Analysis with Application to Biology, Control, and Artificial Intelligence*. MI: The University of Michigan Press, 1975
- 王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现. 西安: 西安交通大学出版社, 2002
- Wang X P, Cao L M. *Genetic Algorithm——The Theory, Application and Software Implementation*. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002
- 陈穷. 电磁兼容性工程设计手册. 北京: 国防工业出版社, 1993
- Chen Q. *Electromagnetic Compatibility Engineering Design Manual*. Beijing: National Defense Industry Press, 1993
- Alabau M, Idoumghar L, Schott R. New hybrid genetic algorithms for the frequency assignment problem. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2002, 48(3): 27~34
- 闫妍. 一种新的自适应遗传算法 (硕士学位论文). 哈尔滨工程大学, 2007
- Yan Y. *A new adaptive genetic algorithm (master dissertation)*. Harbin Engineering University, 2007
- 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化. 北京: 清华大学出版社, 2004
- Xuan G N, Cheng R W. *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*. Beijing: Tsinghua University Press, 2004
- Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. *Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Neural Networks*, Dallas, Texas, USA, 1995: 1942~1948
- Cormen T H, Leiserson C E, Rivest R L, et al. *Introduction to Algorithms (the Second Edition)*. Cambridge: The MIT Press, 2001

[作者简介]



王文君,男,中国电波传播研究所工程师,主要研究方向为电磁频谱管理、电波传播和智能优化算法。