

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.009

复杂电磁环境下电台频率规划和布阵

金卫同, 刘春茂, 王晓攀, 王国民

(中国人民解放军 63888 部队 技术室, 河南 济源 454650)

摘要: 针对在复杂电磁环境下较小区域内装备之间的干扰问题, 对电台频率规划和布阵进行研究。在分析接收机 4 种干扰的基础上, 研究如何在复杂电磁环境下合理进行选频, 并利用遗传算法对同频同时工作的电台在较小区域内的优化布阵进行分析, 利用 matlab 软件仿真计算出了 7 部电台较为合理的布阵方案。结果表明, 该方案能在一定程度上降低电台间的干扰, 可为在较小区域内布阵电台提供参考。

关键词: 频率规划; 遗传算法; 变异; 干扰

中图分类号: TM15; TN975 **文献标识码:** A

Research on Frequency Planning and Optimizing Station Distributing in Complex Electromagnetic Environment

Jin Weitong, Liu Chunmao, Wang Xiaopan, Wang Guomin

(Technique Department, No. 63888 Unit of PLA, Jiyuan 454650, China)

Abstract: Frequency planning and optimizing station distributing are researched to decrease the interference between stations in small region in complex electromagnetic environment. The method of frequency selection of station in complex electromagnetic environment was researched, with four kinds of interference between receivers analyzed. Genetic algorithm is used to design optimum distribution of stations which use the same frequency in the same time. The optimum distribution of 7 stations was given by using matlab software. The solution calculated by genetic algorithm can decrease the interference in certain degree and can provide reference when distributing stations in small area.

Keywords: frequency planning; genetic algorithm; mutation; interference

0 引言

随着信息技术的发展, 如何提高作战部队在复杂电磁环境下的作战能力越来越重要。由于在复杂电磁环境下, 经常会在较小区域内集中部署大量通信装备, 这些装备之间容易形成干扰, 严重影响了试验训练任务的顺利开展。为了发现这些干扰并及时采取措施, 使干扰影响降到最低, 可以从 2 个角度进行分析: 1) 电台在不同频率工作时, 合理规划频率, 使电台间的干扰达到最小; 2) 若多个通信网络采用相同频率进行通信, 合理分布电台, 使各通信网络间的干扰最小。故采用遗传算法, 以电台接收到其它电台的信号幅度作为判断准则, 在较小区域内合理分布电台, 使电台接收到本通信网络的信号尽可能大, 接收其它通信网络的信号尽可能小。

1 频率规划

在复杂电磁环境下, 由于大量电台和雷达的存在, 无线电信号密度大, 信号分布范围广, 接收机在接收有用信号的同时, 也可能会接收到许多多余

信号, 其中有一部分会进入接收机, 在接收机中形成干扰。这些干扰包括中频干扰、象频干扰、邻道干扰、互调干扰等。因此, 多部电台在不同频率工作时, 要合理的选择频率, 避免相互间形成干扰, 影响正常通信。

1.1 中频干扰

外来干扰信号频率等于或近似等于接收机的中频时, 经输入电路、高放而不经混频级的混频作用直接进入中放, 在中放放大后, 再经解调、低放输出, 形成干扰。在通信选频时, 要避免使用区域内电台的中频频率值进行通信。

1.2 象频干扰

如果某一干扰信号频率为 $f_J = f_s + 2f_i$ (f_s 为接收信号的频率, f_i 为接收机中频), 则此干扰信号在接收机混频器中与本振信号相混频后, 得到的差额信号频率也为中频, 即 $f_J - f_L = f_s + 2f_i - f_L = f_i$, 则此干扰信号称为象频干扰或镜像干扰。在通信选频时, 区域内电台

收稿日期: 2010-05-03; 修回日期: 2010-06-11

作者简介: 金卫同 (1983-), 男, 河北人, 硕士, 从事通信对抗研究。

发射信号的频率不要选择 $f_s + 2f_i$, 以避免对接收机形成象频干扰。

1.3 邻道干扰

当干扰频率与所需信号频率相同或非常接近时, 则干扰与所需信号一起进入接收机通带而形成干扰, 这种干扰称为邻道干扰。对于超短波信号, 如果区域内某电台发射信号的频率在区间 $(f_s - 0.025, f_s + 0.025)$ 内, 可能会对区域内接收机形成邻道干扰 (频率单位为 MHz)。在通信选频时, 不要使用区间内的频率发射信号。

1.4 互调干扰

互调干扰是指 2 个或多个干扰信号同时进入接收机时, 由于高频放大器或混频器的非线性作用, 产生这些干扰信号频率间的组合频率, 若其中某些组合频率等于或接近有用信号频率, 就会在接收机中形成干扰, 称为互调干扰。在对接收机形成的非线性产物中, 危害最大的是三阶互调干扰。在通信选频时, 要对区域内每 2 个发射信号的频率进行分析, 分析发射信号的频率间的组合频率, 是否会对接收机使用的频率形成三阶互调干扰, 要坚决避免这种干扰的产生。

另, 在通信选频时, 要对区域内的背景噪声进行监测, 及时避开可能会对接收机形成干扰的频率。

由于电磁环境很复杂, 信号种类多、变化快, 选择频率时即使考虑到了上述情况, 有时也会出现一些干扰。但这种分析方法可以减少通信选频的盲目性, 在一定程度上可减少干扰、提高通信质量。

2 电台布阵研究

在较小区域内布置多部电台, 使用同一频率进行通信, 各个通信网络中的电台在收到本网络内电台信号的同时, 也会接收到其它网络电台的信号, 为使区域内电台总体达到较好的通信效果, 需要合理布阵各个电台。采用遗传算法强大的优化功能, 可以较好地解决这一问题。

2.1 遗传算法

遗传算法 (Genetic Algorithm, 简称 GA) 是以自然选择和遗传理论为基础, 将生物进化过程中适者生存规则与群体内部染色体的随机信息交换机制相结合的高效全局寻优搜索算法。它模拟了自然选择与自然遗传过程中发生的繁殖、交换、变异现象,

根据预定的目标适应度函数对每个个体进行评价, 利用遗传算子: 选择、交叉、变异逐代产生、优选个体, 最终搜索到满足要求的最优解。

2.2 适应度函数设计

因为遗传算法根据适应度大小来选择个体, 故合理地设计适应度函数很重要。设计适应度函数的原则是: 使电台接收到本通信网络的信号尽可能大, 接收其它通信网络的信号尽可能小。

如电台 A 和 B 组成通信专向, 对电台 A 而言, 应使其接收到电台 B 的信号尽可能大, 接收到区域内其余电台 (除 B 外) 的信号尽可能小。

通信电台天线有全向和定向天线 2 种。首先分析使用全向天线的情况。

为简化问题, 采用理想模型。根据自由空间损耗公式, 电台 X 发射的信号到达电台 A 处的信号电平为:

$$P = 10 \lg(1000W_X) - 32.45 - 20 \lg(f) - 20 \lg(d_{XA}) \quad (1)$$

其中, W_X 为电台 X 的发射功率, f 为通信频率, 单位 MHz, d_{XA} 为 2 个电台间的距离, 单位为 km。由于区域内电台在同一频率工作, 根据式 (1), 只需考虑:

$$10 \lg(1000W_X) - 20 \lg(d_{XA}) = 10 \lg\left(\frac{1000W_X}{d_{XA}^2}\right) \quad (2)$$

根据上述分析, 对于电台 A, 设计适应度函数:

$$F_A = \frac{W_B}{d_{AB}^2} \quad (3)$$

其中, W_B 为电台 B 的发射功率, d_{AB} 为电台 A、B 间的距离。

对区域内的电台依次进行分析, 得到总适应度函数为:

$$F = \sum_{i=1}^N F_i \quad (4)$$

其中, F_i 为各个电台的适应度函数。

如果电台使用定向天线, 分析方法与使用全向天线的分析方法相同, 但适应度函数中的参数 W 不应是电台的发射功率, 而是电台朝某个方向辐射的功率, 需要结合天线的增益、方向图、天线的指向与电台间连线的夹角进行分析。

2.3 遗传算法运算流程

遗传算法模拟了自然选择和遗传中发生的复制、交叉和变异等现象，从任一初始种群出发，通过选择、交叉和变异操作，产生一群更适应环境的个体，一代代地繁衍进化，最后收敛到一群最适应环境的个体，求得问题的最优解^[2]。遗传算法的运算流程如图 1。

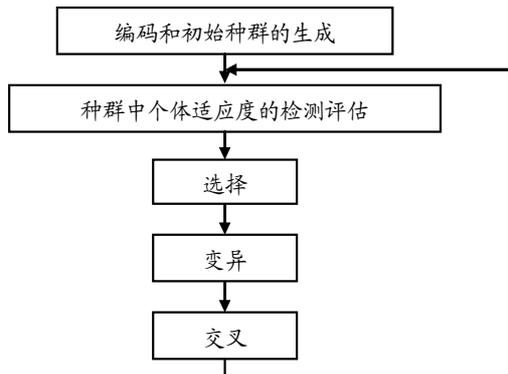


图 1 遗传算法运算流程

1) 编码

基本遗传算法使用固定长度的二进制符号串来表示群体中的个体，其等位基因由二值 (0, 1) 组成，初始种群中各个个体的基因可用均匀分布的随机数来生成。

设某寻优参数 a 的变化范围是 $[a_{\min}, a_{\max}]$ ，若用 m 位二进制数 b 来表示，则 b 可由下式求得：

$$b = (2^m - 1)(a - a_{\min}) / (a_{\max} - a_{\min}) \quad (5)$$

再将所有寻优参数得二进制数串联成 1 个二进制的字符串 s ，又称为样本。若有 r 个寻优参数，每个参数都用 m 位二进制数表示，则字符串 s 共有 $m \times r$ 位。

合理分布电台的实质是在区域内为各个电台分配 1 个坐标，因此，在区域内建立直角坐标系，分别用长度为 k 的二进制编码符号表示各个电台所在位置的横坐标值、纵坐标值。将这些二进制数串联起来，表示群体中的 1 个个体，对应着电台的一种布阵。

2) 初始种群的生成

随机产生 N 个初始二进制串结构数据，每个串结构数据称为 1 个个体， N 个个体构成了 1 个群体，对应着电台的 N 种布阵。

3) 计算适应度

适应度函数表示个体或解的优劣性。利用前文

中设计的适应度函数计算种群中个体的适应度，需要将群体中的个体，换算成电台的坐标值，以方便计算电台间的距离。

4) 选择

为了从当前群体中选出优良的个体，使它们有机会作为父代为下一代繁殖子孙，根据各个个体的适应度值，按一定的规则或方法从上一代群体中选择出一些优良的个体遗传到下一代群体中。选择操作算子有轮盘赌选择、随机竞争选择、最佳保留选择、无回放随机选择等。笔者采用随机竞争选择。

5) 交叉

交叉操作是遗传算法中最重要的遗传操作。通过交叉操作可以得到新一代个体，新个体组合了父辈个体的特性。交叉操作包括单点交叉、两点交叉、均匀交叉、多点交叉等。笔者采用单点交叉。

6) 变异

变异操作首先在群体中随机选择 1 个个体，对于选中的个体以一定的概率随机改变串结构数据中某个串的值。遗传算法中变异发生的概率很低，变异为新个体的产生提供了机会。

至此完成了遗传算法的第一代流程，然后进行步骤 3)，直至完成规定的进化代数，遗传算法结束，得到最佳个体，对应最合理的电台布阵。

2.4 电台布阵寻优仿真研究

根据上述算法，模拟 7 部电台在较小区域内的布阵。在边长为 20 km 的正方形区域内，合理布置 7 部电台，电台分别用 A、B、C、D、E、F、G 表示，电台在同一频率进行工作。电台 A、B 进行通信，电台 C、D 进行通信，电台 E、F、G 组成通信专网。为便于分析，7 部电台都使用相同的发射功率，都使用全向天线。

利用 matlab 遗传算法工具箱中的函数编写遗传算法程序，种群数目为 400，进化代数为 100，代沟设置为 0.9，交叉概率为 0.7，变异概率为 0.001。计算后得到的结果如图 2。另外，通过图 3 可以看出，当进化到 100 代时，适应度值不再变化，表示进化 100 代后，遗传算法已经找到了最优解，即电台最佳的布阵方案。

值得注意的是，遗传算法每次的计算结果不一定相同，图 4 是另一种优化布阵方案，这说明合理的布阵有许多种。

(下转第 38 页)

$$d_{32}^+ = 0, \quad d_{34}^- = 0.030 \ 2, \quad d_{34}^+ = 0, \quad d_{41}^- = 0.034 \ 5,$$

$$d_{41}^+ = 0, \quad d_{42}^- = 0, \quad d_{42}^+ = 0.005, \quad d_{43}^- = 0, \quad d_{43}^+ = 0,$$

5) 最后得到的“指挥控制能力 C11”、“组织协调能力 C12”、“计划调度能力 C13”、“辅助决策能力 C14”相对于上层指标“指挥决策能力 C1”的权重系数为:

$$w_1 = 0.452 \ 3, \quad w_2 = 0.180 \ 9,$$

$$w_3 = 0.241 \ 2, \quad w_4 = 0.125 \ 6$$

同理，可以求得其他各子指标体系的权值。

4 结束语

算例结果证明，该方法能有效地综合考虑多专家经验信息，充分利用现有不完全数据，有效地消除不一致性，求得最满意的权重结果，对 C⁴ISR 系统实际应用有借鉴意义。

参考文献:

[1] Department of Defense. Department of Defense Dictionary of Military and Associated Terms: Joint Publication 1-02[R]. Department of Defense, 2009.

[2] 肖慧鑫, 王静滨, 崔首东, 等. AHP-Fuzzy 法评估 C⁴ISR

系统作战效能中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2006, 31(12): 105-111.

[3] 俞静, 张勇涛, 张松良. 基于灰色聚类理论的 C⁴ISR 系统效能评估研究[J]. 现代防御技术, 2009, 37(3): 64-67.

[4] 袁诗龙, 王金山. 基于熵权理想解法的炮兵 C⁴ISR 系统效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(12): 81-83.

[5] 孟庆均, 宋爱斌, 朱立民. 群体可拓层次分析法在 C⁴ISR 系统效能指标赋权中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2008, 22(2): 25-29.

[6] 刘俊先, 姜志平, 舒振. 对抗条件下 C⁴ISR 系统效能指标权重确定方法[J]. 系统工程与电子技术, 2009, 31(10): 2418-2421.

[7] Fan ZP., Ma J., Jiang Y.P., et al. A goal programming approach to group decision making based on multiplicative preference relations and fuzzy preference relations[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 174(1): 311-321.

[8] Xu Z.S. Multiple-attribute group decision making with different formats of preference information on attributes[J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics Part B: Cybernetics, 2007, 37(6): 1500-1511.

[9] Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process[M]. New York: McGraw-Hill, 1980.

[10] 刘文博, 耿艳栋. 美国 C⁴ISR 系统发展及启示[J]. 四川兵工学报, 2009(9): 140-142.

(上接第 34 页)

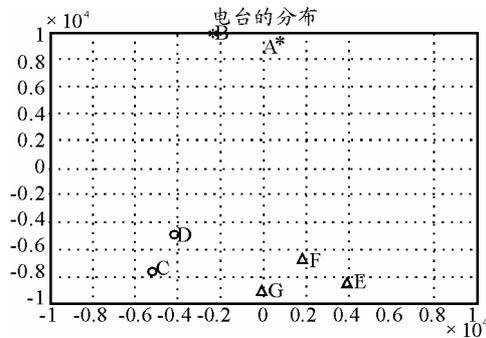


图 2 电台的一种优化分布

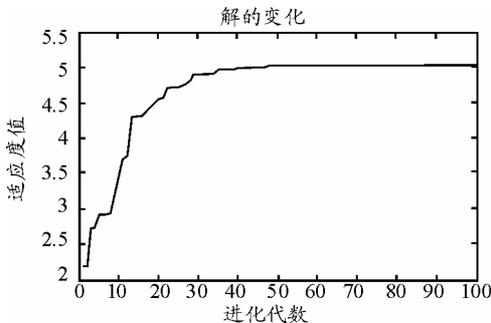


图 3 解的变化

3 结束语

该研究为在较小区域内布阵电台提供了参考。

由于采用了理想化的模型，只考虑了定频通信的情况，未考虑跳频电台通信，且忽略了部分影响因素如建筑物遮挡等，故还有待进一步研究。

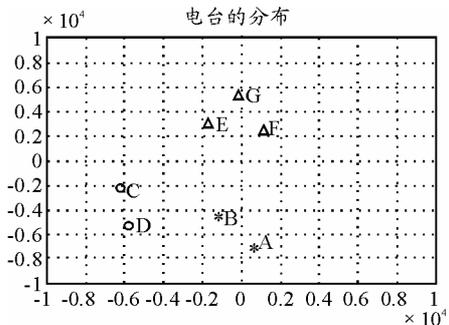


图 4 电台的另一种优化分布

参考文献:

[1] 陈涛, 郑巧珍. 编队通信网频率规划的建模与仿真[J]. 舰船电子工程, 2009, 29(10): 141-143.

[2] 雷英杰, 张善文, 李续武, 等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004: 11-16.

[3] 龚纯, 王正林. 精通 MATLAB 最优化计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 317-321.

[4] 张继敏, 杨金虎, 冯志强. 复杂电磁环境对炮兵作战的影响及其对策[J]. 四川兵工学报, 2009(12): 131-132.