

8-19-2021

Method of Battlefield Frequency Allocation Based on Chaotic Perturbation Mechanism Particle Swarm Optimization Algorithm

Niu Kan

Unit 31007 of the Chinese PLA, Beijing 100079, China;

Li Bing

Unit 31007 of the Chinese PLA, Beijing 100079, China;

Fu Qiang

Unit 31007 of the Chinese PLA, Beijing 100079, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Method of Battlefield Frequency Allocation Based on Chaotic Perturbation Mechanism Particle Swarm Optimization Algorithm

Abstract

Abstract: In order to carry out the frequency allocation in the electromagnetic environment of battlefield and reduce the frequency equipment interference of various forces, *a frequency allocation method based on chaotic perturbation mechanism particle swarm optimization algorithm is proposed*. Which transforms battlefield frequency allocation into the optimal spectrum resource search and solution problem with constraints. *The frequency allocation model with the lowest interference cost is built and the frequency allocation through the improved particle swarm optimization algorithm is carries out. The chaotic perturbation mechanism is introduced to improve the population diversity and the global optimization ability of the algorithm, which avoids the algorithm falling into the local optimization.* Experiments show that the algorithm is feasible and the convergency and diversity of the solution are obviously better than those of particle swarm optimization algorithm.

Keywords

frequency allocation, Particle Swarm Optimization(PSO), chaotic perturbation, interfere with the price, constraint condition

Recommended Citation

Niu Kan, Li Bing, Fu Qiang. Method of Battlefield Frequency Allocation Based on Chaotic Perturbation Mechanism Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(8): 1905-1913.

基于混沌扰动机制粒子群算法的战场频率分配方法

牛侃, 李冰, 付强

(中国人民解放军 31007 部队, 北京 100079)

摘要: 为在战场电磁环境下进行科学分配频率, 减少各部队用频设备之间的相互干扰, 提出一种基于混沌扰动机制粒子群算法的频率分配方法, 将战场频率分配转化为带约束条件的最优频谱资源查找求解问题, 建立以干扰代价最低为目标的频率分配模型, 通过改进的粒子群算法进行频率分配。该算法引入混沌扰动机制, 提高种群多样性和算法全局寻优能力, 避免算法陷入局部最优。通过实验表明, 在频率分配过程中该算法是可行的, 并且其收敛性和解集的多样性均明显优于粒子群算法。

关键词: 频率分配; 粒子群算法; 混沌扰动; 干扰代价; 约束条件

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 08-1905-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0336

Method of Battlefield Frequency Allocation Based on Chaotic Perturbation Mechanism Particle Swarm Optimization Algorithm

Niu Kan, Li Bing, Fu Qiang

(Unit 31007 of the Chinese PLA, Beijing 100079, China)

Abstract: In order to carry out the frequency allocation in the electromagnetic environment of battlefield and reduce the frequency equipment interference of various forces, a frequency allocation method based on chaotic perturbation mechanism particle swarm optimization algorithm is proposed. Which transforms battlefield frequency allocation into the optimal spectrum resource search and solution problem with constraints. The frequency allocation model with the lowest interference cost is built and the frequency allocation through the improved particle swarm optimization algorithm is carries out. The chaotic perturbation mechanism is introduced to improve the population diversity and the global optimization ability of the algorithm, which avoids the algorithm falling into the local optimization. Experiments show that the algorithm is feasible and the convergency and diversity of the solution are obviously better than those of particle swarm optimization algorithm.

Keywords: frequency allocation; Particle Swarm Optimization(PSO); chaotic perturbation; interfere with the price; constraint condition

引言

频谱是宝贵的资源, 需要高效利用。随着无线电技术的快速发展, 无线通信设备越来越多, 用频矛盾日益突出。如果不对频谱资源进行高效管理, 势必造成频谱利用率降低, 浪费资源, 甚至用频设备间会相互产生干扰, 影响正常使用。在未来联合

作战环境中, 陆、海、空、天等多军种协同作战和合同指挥, 导航定位、军事通信、预警探测、指挥控制等多种武器装备和系统平台同时运用, 势必导致战场电磁环境极其复杂和频谱资源紧张。若无有效的战场电磁频谱管理方法, 不同武器系统将会不可避免地产生不同程度的相互干扰, 影响作战效能

收稿日期: 2020-06-11

修回日期: 2020-08-04

第一作者: 牛侃(1988-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电磁频谱管控、信息系统安全。E-mail: niukan_nk@sina.com

发挥,严重地将会丧失作战能力。因此,联合作战中必须保证电磁频谱的科学管理和频谱资源的有效使用^[1]。战场电磁频谱管理手段方法主要是频率分配,即将有限的频谱资源分成不同频段,并分配给不同武器系统,防止用频设备之间相互干扰,确保武器系统正常使用。

频率分配问题属于 NP-hard 问题,计算出最优解需要庞大的运算量^[2]。目前常用的频率分配方法是运用启发类算法求取逼近最优解的近似解,例如遗传算法、蚁群算法、模拟退火算法、粒子群算法等,这些算法各有优缺点。遗传算法^[3]在全局内随机搜索,但没有充分考虑到个体间的联系,缺乏对个体多样性和群体收敛动态平衡等因素的调整。文献[4]将蚁群算法应用于解决海战场的频率分配问题,但蚁群算法往往会陷入局部优化,导致收敛时间过长。文献[5]通过模拟退火算法实现战场频率资源分配,该算法虽然能从绝大多数局部点中脱离出来,同时具有全局搜索的特性,但其导致了过多的无用迭代和求解效率低下。文献[6]在考虑部队用频设备约束条件下,提出基于粒子群算法的频率分配方法,粒子群算法在于研究粒子的个体性与群体性之间的关系,其概念简单直观,收敛速度快,但容易陷入局部寻优。因用频设备间的相互干扰会降低通信、数据传输质量,甚至造成通信网络瘫痪,影响武器系统效能发挥,文献[7]以干扰度最低为目标函数,综合使用粒子群和蚁群算法进行频率分配,提高了分配效率和效果,但在频率分配模型中未考虑互调干扰,存在局限性。

为此,本文以干扰代价最小为目标,综合考虑同频干扰、邻频干扰和互调干扰因素,建立频率分配模型,提出一种基于混沌扰动机制粒子群(Chaotic Perturbation Mechanism Particle Swarm Optimization, CPMP SO)算法的频率分配方法。将频率分配问题转化为目标寻优问题,通过优化目标参数,最终产生一组满足约束条件的最优解。该算法相比传统粒子群(Particle Swarm Optimization, PSO)算法能有效避免陷入局部最优,具有更强的全局寻

优能力,有效提升频率分配的科学性。

1 战场频率分配工作流程

联合作战下的战场电磁环境复杂,各类武器装备、系统平台密集部署,敌我、军地使用的频谱相互交叠,导致频谱资源可用频率有限、军地之间协调工作繁重。因此,需要在有限的频谱资源下通过统一的频率分配来消除我方用频设备间的相互干扰,确保武器系统的正常运用,维护战场用频秩序。

战场频率分配的模型图如图1所示,其主要工作流程为:

(1) 汇总各部队用频需求,即根据各部队上报的武器装备使用频率范围,查询相应我军频率规划,核对上报频率是否符合用频规划,对于符合规划的用频需求则给予分配频率,不符合规划的不给予分配频率或者重新上报使用频率;

(2) 掌握战场可用频谱资源,即剔除已占用频率和保护/禁用频率,形成可用于分配的频率资源;

(3) 在掌握用频需求、可用资源的基础上,建立存在潜在干扰影响的频率分配模型,优化设计频率分配算法,确定我方用频设备的频率分配方案;

(4) 将分配方案下发至各部队执行。

本文主要是针对流程(3)的频率分配模型和优化算法进行研究。

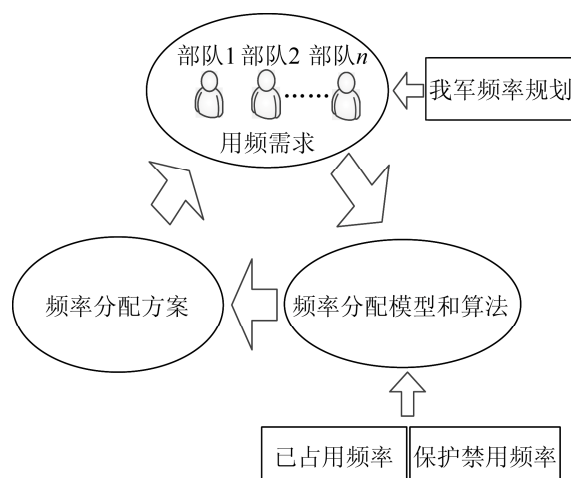


图1 战场频率分配工作模型图

Fig. 1 Battlefield frequency distribution working model diagram

2 频率分配模型

2.1 问题描述

根据文献[8]可以将频率分配问题分为 4 类, 分别是最少频率分配(MO-FAP)、最小跨度频率分配(MS-FAP)、最小阻塞频率分配(MB-FAP)和最小干扰频率分配(MI-FAP)。由于战场频率分配目的主要是减少各部队用频设备之间的干扰, 使武器装备发挥作战效能, 所以战场频率分配问题一般属于最小干扰频率分配(MI-FAP)这一类, 即找到一个频率分配方案, 使得相互之间的干扰最低。

2.2 约束条件

实际战争中根据作战任务、武器装备部署区域等可以将战场分为 n 个不同的作战区域, 任意 2 个作战区域或用频设备 i, j 之间的距离 d 可以在二维平面中近似计算为:

$$d(i, j) = \sqrt{(x(i) - x(j))^2 + (y(i) - y(j))^2} \quad (1)$$

按照电磁辐射原理可知, 作战区域之间距离一定的情况下, 频率间隔越大、干扰越小; 作战区域间频率间隔一定的情况下, 作战区域之间距离越大、干扰越小。距离和频率间隔可以作为一对衡量作战区域之间干扰大小的指标。

战场电磁环境下的频率干扰主要有 3 个: 同频干扰、邻频干扰和三阶互调干扰。

2.2.1 同频干扰

因不同任务部队的同型用频设备部署使用, 一般会部署在间隔一定的距离后使用, 防止产生同频干扰。随着作战过程演变, 用频设备部署位置发生变化, 即使在不同的作战区域, 也可能因为间隔距离近而产生相互干扰。

同频干扰可用式(2)表示:

$$S(f_i, f_j) = \begin{cases} 1, & f_i = f_j \cap d(i, j) < D \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

式中: $S(f_i, f_j)$ 为用频设备 i, j 的同频干扰; f_i 为用频设备 i 的频率; f_j 为用频设备 j 的频率; $d(i, j)$ 为用频

设备 i, j 之间的实际距离; D 为理论上的安全距离。

2.2.2 邻频干扰

邻频干扰是指相邻或相近的频道的信号之间的相互干扰, 即相邻的信号泄漏到了接收机传输带宽内引起的干扰。

邻频干扰可表示为:

$$A(f_i, f_j) = \begin{cases} 1, & |f_i - f_j| \leq m \cdot \Delta f \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $A(f_i, f_j)$ 为用频设备 i, j 的邻频干扰, f_i 为用频设备 i 的频率, f_j 为用频设备 j 的频率; m 为信道数; Δf 为信道间隔。

2.2.3 三阶互调干扰

互调干扰是指当 2 个或 2 个以上的频率信号同时进入传输信道, 由于非线性电路的作用, 产生很多谐波和一些频率组合分量, 与监测目标相近的频率组合分量可以顺利通过接收机, 从而造成干扰影响。由于高阶互调产生的强度低于低阶互调的强度, 并且三阶互调干扰与基波信号相距最近, 通常干扰危害最大^[9]。因此, 战场频率分配主要考虑三阶互调干扰影响。

三阶互调干扰可表示为:

$$I(f_i, f_j, f_k) = \begin{cases} 1, & 2f_i - f_j = f_k \cup f_i + f_j - f_k = f \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $I(f_i, f_j, f_k)$ 为用频设备 i, j, k 之间的三阶互调干扰; f_i 为用频设备 i 的频率; f_j 为用频设备 j 的频率; f_k 为用频设备 k 的频率, f 为互调频率。

2.3 模型构建

将战场频率分配表示为以下四元组:

$$M = (R, F, T, \theta)$$

式中: R 为由任务部队提交的 n 个武器装备用频需求集合; F 为战场可用频谱资源集合; T 为频率分配模型的目标函数, 即用频设备间相互干扰最小; θ 为解决该频率分配模型采用的智能寻优算法。模型的具体特征描述如下:

(1) 用频需求集合 $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$, 由所有任务部队提交的 n 个用频需求组成, 其中第 r_i 个需求表示第 i 个任务部队的用频需求。而 $r_i = (f_1^i, f_2^i, \dots, f_n^i)$, 其中 f_n^i 表示第 i 个任务部队用频设备 n 的频率。

(2) 频谱资源集合 $F = (s_1, s_2, \dots, s_m)$, 除去已占用频率和保护/禁止频率后, 由 m 个可用频谱资源组成。

(3) 频率分配是使用频设备之间相互产生的干扰最小化, 因此引入干扰代价函数 $T = \text{cost}(f)^{[10]}$, 根据2.2节干扰主要存在的3种情况, $\text{cost}(f)$ 可表示为:

$$\begin{aligned} \text{cost}(f) = & \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \sum_{m=1}^n S(f_i^m, f_j^m) + \beta \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \sum_{m=1}^n A(f_i^m, f_j^m) + \\ & \gamma \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \sum_{k=j+1}^n I(f_i^m, f_j^m, f_k^m) \end{aligned} \quad (5)$$

式中: α 为同频干扰系数; β 为邻频干扰系数; γ 为三阶互调干扰系数。显然, 找到一组频率使得干扰代价函数值最小就是最优解, 即 $\min[\text{cost}(f)]$ 。

频率分配的目标是对用频需求和可用频谱资源进行最优匹配, 要求在满足特定约束的条件下, 使频率分配方案最优, 属于带约束条件的寻优问题。

本文将同频干扰、邻频干扰、互调干扰作为3个约束条件, 将干扰代价 $\text{cost}(f)$ 作为目标, 希望得到最小的 $\text{cost}(f)$ 。因此求解算法在频率分配过程中能够在约束条件下进行目标寻优, 为此, 基于粒子群算法(PSO), 提出混沌扰动机制的粒子群算法(CPMPSO)进行问题求解。

3 混沌扰动机制的粒子群算法

粒子群算法^[11] (PSO)是模拟鸟类群体觅食提出的。鸟类寻找食物, 总是以一个群体进行搜寻的, 并且不知道食物具体位置, 而且食物分散广阔, 但是最后总能找到大量符合鸟类需求的食物。因此, 通过模拟鸟类群体觅食提出的算法具有群体寻优、并行计算、寻找快速等特点。

但是, PSO 算法也存在一些局限性, 算法得到的解集多样性较差, 容易陷入局部寻优。针对 PSO 算法的不足, 本文拟采用混沌扰动机制, 提高解集的多样性, 使算法跳出局部寻优, 增强全局寻优能力。

3.1 初始化粒子种群

初始化粒子种群需要保证其在解空间中分布均匀、广泛, 可以更好地找到频率分配的最优解, 即最优的频率分配方案, 用粒子的位置表示。

为此, 引入混沌序列, 提高随机性, 采用 Logistic 方程(式(6))对粒子种群进行初始化^[12], 可以保证粒子种群在解空间中分布广泛、均匀。

$$\alpha_{(h+1)j} = \varepsilon \alpha_{hj} (1 - \alpha_{hj}), \quad h = 1, 2, \dots, \alpha_j \in (0, 1) \quad (6)$$

当 $\varepsilon \geq 4$ 时, 式(6)进行混沌扰动, 其中 h 表示算法重复查找次数, α_j 表示粒子在第 j 维上的混沌变量。初始化后得到 n 维 $[0, 1]$ 随机变量 $\alpha_{ij} = \text{Rand}(), (j = 1, 2, \dots, n)$, 运用式(6)对粒子种群进行 $n-1$ 次重复查找, 可得 $\alpha_{(i+1)j} = \varepsilon \alpha_{ij} (1 - \alpha_{ij})$, $i \in [1, n-1], j \in [1, n]$, 运用式(7)将变量 α_{ij} 映射到粒子的位置变量, 并向上取整数。

$$x_{ij} = \lceil 1 + (m-1)\alpha_{ij} \rceil \quad (7)$$

3.2 更新粒子的速度和位置

初始化完成后, 进行粒子速度和位置更新。按照频率分配的涵义, 用频设备所需的频率定义为粒子的位置, 频率的变化定义为粒子的速度。粒子的位置由其速度决定, 而频率分配方案由所有粒子的位置代表。在频率分配过程中, 第 h 次重复查找时用式(8)更新粒子速度, 用式(9)更新粒子位置。

$$v_{ij}^{h+1} = \varphi v_{ij}^h + d_1 R_1 (P_{ij}^h - x_{ij}^h) + d_2 R_2 (P_{gj}^h - x_{ij}^h) \quad (8)$$

$$x_{ij}^{h+1} = \left\lceil (x_{ij}^h + v_{ij}^{h+1}) \% m \right\rceil \quad (9)$$

式(8)中, φ 为查找速度权重; d_1 和 d_2 为因子变量且 $d_1 = d_2 = 2$, R_1 和 R_2 是 $[0, 1]$ 整数范围内的随机数, P_i 代表了个体粒子的最优位置, P_g 代表了全局最优位置, 粒子在不同维上的查找速度不同, 且速

度分量的最大值是 $v_{\max}$ ($v_{\max} > 0$), 当速度向量方向一致且 $v_{ij}^h > v_{\max}$ 时, 令 $v_{ij}^h = v_{\max}$; 当速度向量方向不一致且 $v_{ij}^h < -v_{\max}$ 时, 令 $v_{ij}^h = -v_{\max}$ 。式(9)中, 需要对每一维的位置变量进行 m 求余数, 若结果是正数, 直接向上取整数; 若结果是负数, 取其绝对值, 然后向上取整数。

3.3 更新与维护优质解集

适应度是粒子群算法的基本属性之一, 通过计算粒子适应度值, 比较适应度大小, 筛选出优质粒子, 剔除劣质粒子, 从而选出解集。适应度大小代表了频率分配中干扰代价的高低, 它受粒子多样性好坏的影响, 本文提出的 CPMP SO 算法通过信息熵理论得到适应度, 通过预设阈值淘汰解集中粒子适应度值较小的, 保持粒子的多样性, 效果较好。设定 FN_i 是粒子 x_i 的适应度, 则频率分配中每个粒子的信息熵为:

$$IE_{i,j} = -P \cdot \ln P, \quad (i=1, 2, \dots, n_s) \quad (10)$$

式中: $IE_{i,j}$ 为粒子信息熵; P 为粒子 x_i 和 x_j 具有的共同节点比例; n_s 为解集中包含解的数量。

粒子的相似度 $SL_{i,j}$ 由 $IE_{i,j}$ 获得:

$$SL_{i,j} = 1 / (1 + IE_{i,j}) \quad (11)$$

得到 $IE_{i,j}$ 和 $SL_{i,j}$ 后, 需要计算粒子 x_i 在解集中的密度:

$$D_i = m / n_s \quad (12)$$

式中: D_i 为粒子 x_i 的密度; m 为在优质解集中与粒子 x_i 的 $SL_{i,j}$ 不低于 0.9 的粒子的个数。

x_i 适应度的值由 D_i 计算得到:

$$FN_i = 1 / D_i = n_s / m \quad (13)$$

3.4 选择粒子最优位置

频率分配过程中确定粒子的最优位置主要分为 2 个步骤, 首先是选取其局部最优位置, 然后选取全局最优位置, 获得最优的频率分配方案。

(1) 局部最优位置的选取。假设粒子 x_i 原位置为 P_i , 现在位置为 P'_i 。对于目标函数而言, 若 P'_i 优于 P_i , 或 P'_i 和 P_i 一样, 则 P_i 被 P'_i 替代, P'_i 作为

x_i 的新位置; 若 P_i 优于 P'_i , 则 x_i 位置无变化。

(2) 全局最优位置的选取。采用文献[13]方法计算每个粒子的 Sigma 值 α_i 及解集中所有粒子的 Sigma 值 β_i , 然后计算 α_i 与 β_i 在解空间的距离 $d_i = \sqrt{|\alpha_i^2 - \beta_i^2|}$, 解集中距离最小的粒子位置为全局最优位置。

3.5 引入混沌扰动机制

若算法解集中粒子种群的多样性较差, 则容易得到局部最优位置, 获得的频率分配方案局限在某些频段范围内分配频率。因此, 通过混沌扰动机制使每个粒子附近随机产生多个领域点, 再进行比较选取优质粒子, 得到全局最优位置, 使获得的频率分配方案在全部已有频谱资源下分配频率。具体步骤如下:

(1) 按照式(14)求解种群多样性, 若多样性低于设定阈值, 则启动混沌扰动机制, 否则不启动。

$$div(h) = \frac{1}{n} \frac{1}{r} \sum_{i=1}^n \sqrt{\sum_{j=1}^D (x_{ij}^h - \bar{x}_j^h)^2} \quad (14)$$

式中: h 为算法重复查找的次数; n 为粒子的数量; r 为查找半径的最大值; x_{ij}^h 为在第 h 次查找时第 i 个粒子的第 j 维上的值; $\bar{x}_j^h$ 为粒子种群的第 j 维的平均值, 而阈值 $\partial = \eta \cdot div(0)$, 其中 $\eta=0.4$, 文献[14]说明此阈值可以使此刻种群趋于停滞状态。

(2) 启动混沌扰动机制后, 提取解集中 FN 排在前半一半的粒子, 通过式(6)对这些粒子进行混沌扰动, 得到混沌变量 α_{ij}^h , 其中 h 为重复查找次数。

(3) 按照式(15)求解混沌扰动偏差 $CDD(x_{ij})$, 其决定了粒子的扰动强度, 通过 $CDD(x_{ij})$ 可以合理控制混沌扰动的影响。

$$CDD(x_{ij}) = \lceil \delta(H - h)Rand() \rceil \quad (15)$$

式中: H 为混沌重复查找的最大次数; h 为当前查找次数; δ 为比例因子; $Rand()$ 为 $[0,1]$ 区间上的随机数。

(4) 计算粒子的新位置变量, 优质粒子 x_i^* 由每个优质资源类附近产生 H 个领域点

$x_i^{(h)*} = (x_{i1}^{(h)*}, x_{i2}^{(h)*}, \dots, x_{im}^{(h)*}), (h=1, 2, \dots, H)$ 确定, 如式 (16)。将得到一半的新粒子随机替代原粒子。

$$x_{ij}^{(h)*} = x_{ij} - CDD(x_{ij}) + \left\lceil 2CDD(x_{ij})\beta_{ij}^{(h)} \right\rceil \quad (16)$$

经过上述计算, 可在质量不高的粒子附近产生多个新领域点, 增强粒子种群多样性, 提高算法的全局寻优能力, 摆脱陷入局部寻优困局。

3.6 混沌扰动机制的粒子群算法流程

混沌扰动机制的粒子群算法流程如图 2 所示。

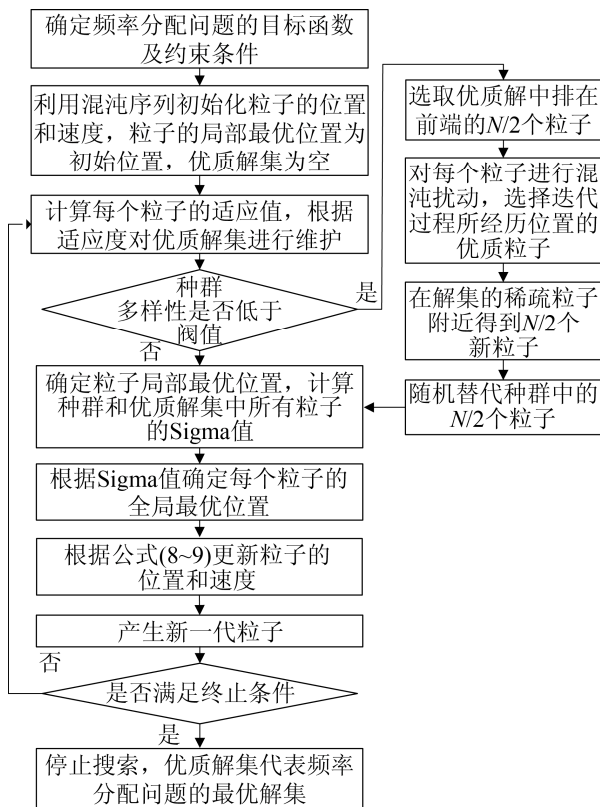


图 2 算法流程

Fig. 2 Algorithm process

具体步骤描述为:

(1) 确定频率分配问题的目标函数及约束条件, 即考虑同频干扰、邻频干扰和三阶互调干扰的影响, 并以最小干扰为目标。

(2) 一个粒子代表一个用频设备, 利用混沌序列初始化粒子的位置和速度, 即随机给出每个用频设备所需频率和频率的变化。假设初始化后的粒子位置为局部最优位置, 目前优质解集为空集, 即分配给用频设备干扰代价较小的频率集为空集。

(3) 计算每个粒子的适应度值, 即计算分配给每个用频设备某个频率后的干扰代价值。再与预设阈值进行比较, 适应度值较大的粒子组成优质解集。

(4) 若粒子种群多样性低于阈值, 则按照 3.5 节对粒子种群进行混沌扰动, 防止频率分配方案局限在某些频段范围内分配频率, 再按照 3.4 节确定每个粒子的局部最优位置和全局最优位置, 即目前分配给每个用频设备干扰代价最小的频率; 若粒子种群多样性不低于阈值, 则按照 3.4 节找到分配给每个用频设备的干扰代价最小的频率。

(5) 根据式(8)和(9)更新粒子的位置和速度, 重复步骤(3)和(4)直至达到全局收敛或最大迭代次数, 得到的粒子优质解集即为以最小干扰代价为目标的频率分配方案。

根据算法流程可知, 无论是否对多样性低的种群进行混沌扰动, 该算法时间复杂度 $T(n)$ 主要是与种群规模 N 和迭代次数 m 有关, 则 $T(n)=O(N \cdot m)$ 。

4 仿真实验与分析

通过本文提出的 CPMP SO 算法与 PSO 算法实验对比, 验证 CPMP SO 的优越性。频率分配的目标是在已知的频谱资源下, 尽可能以最小的干扰代价来完成频率分配。

4.1 实验设计

实验用计算机配置为 I7-7700 处理器, 16G 内存, Windows 7 操作系统, 算法在 Matlab2016a 下实现。设置本次实验的查找速度权重 $\varphi=0.7$, 混沌重复查找的最大次数 $H=9$, 比例因子 $\delta=0.85$, 迭代次数为 100, 任务部队用频需求数量为 50。实验 1 对比 2 个算法求解的收敛性, 实验 2 对比 2 个算法最优解的分布情况。

4.2 实验 1: 求解的收敛性对比

设定频谱资源数量为 60, 2 个算法求解的收敛性如图 3 所示。

当 CPMP SO 算法重复查找到第 35 次时, 算法收敛, 找到最优解集。而 PSO 算法重复查找到第

41 次时, 算法收敛, 找到最优解集。

将频谱资源数量设定为 80, 110, 130, 再进行仿真实验, 结果如表 1 所示。

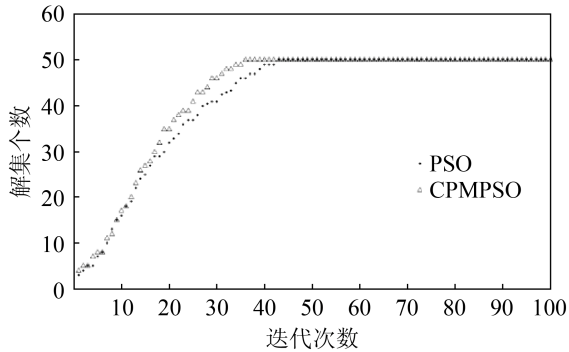


图 3 CPMPPO 和 PSO 算法求解的收敛性对比

Fig. 3 Comparison of convergency between CPMPPO and PSO algorithms

表 1 算法收敛性对比

Tab. 1 Algorithm convergency comparison

序号	频谱资源 数量	收敛时的迭代次数	
		CPMPPO	PSO
1	60	35	41
2	80	45	55
3	110	63	77
4	130	76	96

由图 4 可知, 随着频谱资源数量增加, 求解空间变大, 算法收敛时的迭代次数增大。本文提出的 CPMPPO 算法在所有实验中收敛速度均明显优于 PSO 算法, 能够更快地得到最优解, 即频率分配方案。

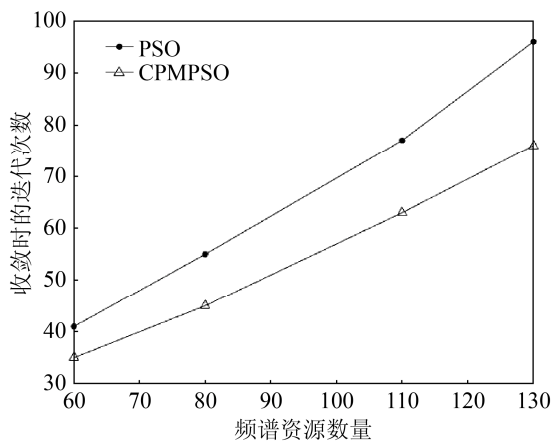


图 4 算法收敛速度对比

Fig. 4 Comparison of convergency speed of algorithm

4.3 实验 2: 最优解的分布情况对比

算法的最优解的分布越广泛、均匀, 说明算法求解的是全局最优, 算法的优越性高, 实验 2 是在相同的频谱资源数量下对 CPMPPO 算法和 PSO 算法进行实验对比。

图 5, 6 是算法在频谱资源数量为 60 时的最优解的分布情况。通过比较可以看出, CPMPPO 算法搜索到最优解的分布均匀性更好, 具有更强的多样性, 分配的频率在频谱资源中分布更均匀, 不局限于某一频段内, 即表明得到的频率分配方案能够更充分利用频谱资源。

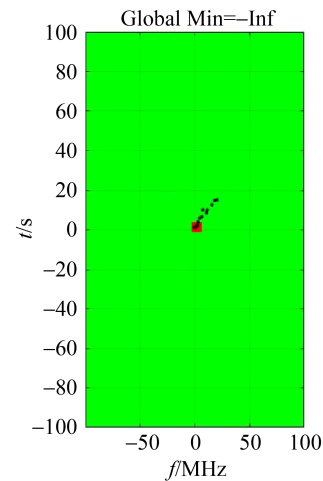


图 5 CPMPPO 算法干扰代价函数取最小值时的最优解分布
Fig. 5 Optimal solution distribution of CPMPPO algorithm when interference cost function taking minimum value

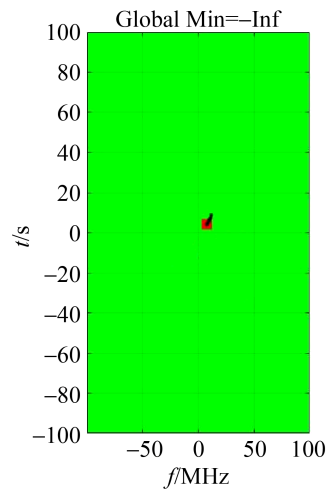


图 6 PSO 算法干扰代价函数取最小值时的最优解分布
Fig. 6 Optimal solution distribution when interference cost function of PSO algorithm being minimized

将频谱资源数量设定为 80, 110, 130, 再进行实验, 仿真结果均显示 CPMP SO 算法相比 PSO 算法找到的最优解分布更广泛、更均匀, 求解的是全局最优, 避免陷入局部寻优的困局, 解集质量更高, 能够从全部已有频谱资源中得到最优的频率分配方案。

5 结论

本文基于混沌扰动机制的粒子群算法, 将战场频率分配转化为带约束条件的最优频谱资源查找求解, 实现了可用频谱资源的高效分配。该算法首先计算粒子的信息熵, 增强多样性, 引入混沌扰动机制, 使求解的分配方案更具优越性, 强化了算法的全局寻优能力。实验通过与 PSO 算法对比, 本文改进的算法求解的收敛性和解集的分布情况优于 PSO 算法, 能更好地提升战场频率分配科学性, 确保各部队用频设备之间干扰最小。但是, 本文建立的最小干扰代价模型主要是解决同一地域上的频率分配问题, 暂未充分考虑不同地域或同一地域不同时间的频率复用情况, 下一步将根据用频设备部署地域和使用时机, 研究频率复用下的以最小干扰代价为目标的频率分配方法。

参考文献:

- [1] 罗文坚, 曹先彬, 王煦法. 用一种免疫遗传算法求解频率分配问题[J]. 电子学报, 2003, 31(6): 915-917.
Luo Wenjian, Cao Xianbin, Wang Xufa. Solving Frequency Assignment Using an Immune Genetic Algorithm[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(6): 915-917.
- [2] Ngo C Y, Li V O K. Fixed Channel Assignment in Cellular Radio Networks Using a Modified Genetic Algorithm[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology (S0018-9545), 1998, 47(1): 163-172.
- [3] 王云璐, 戴伏生, 李怀远. 遗传粒子群算法在频率分配中的应用[J]. 信息技术, 2016(7): 168-171, 175.
Wang Yunlu, Dai Fusheng, Li Huaiyuan. Application of Genetic and Particle Swarm Algorithm in Frequency Assignment[J]. Information Technology, 2016(7): 168-171, 175.
- [4] 王川, 张剑. 一种基于蚁群算法的海战场分布式频率分配方法[J]. 计算机与数字工程, 2018, 46(2): 281-283.
Wang Chuan, Zhang Jian. A Method of Ant Algorithm in Distributed Frequency Assignment on Sea Battlefield[J]. Computer & Digital Engineering, 2018, 46(2): 281-283.
- [5] 于江, 贺赛飞, 张凤霞, 等. 模拟退火算法在战场频率资源分配中的应用[J]. 中国无线电, 2018(1): 34-38.
Yu Jiang, He Saifei, Zhang Fengxia, et al. Application of Simulated Annealing Algorithm in Battlefield Frequency Resource Allocation[J]. China Radio, 2018(1): 34-38.
- [6] 王新增, 刘佳楠, 肖金保, 等. 基于粒子群算法的电磁频率分配方法研究[J]. 现代电子技术, 2013, 36(17): 5-8.
Wang Xinzeng, Liu Jia'nan, Xiao Jinbao, et al. Method of Electro-magnetism Frequency Assignment Based on Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36(17): 5-8.
- [7] 李东海, 王勇军. 基于粒子群优化的蚁群算法在战场电磁频率分配中的应用[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(2): 48-51.
Li Donghai, Wang Yongjun. Application of Ant Colony Algorithm Based on Particle Swarm in Frequency Assignment on Battlefield[J]. Command Control & Simulation, 2016, 38(2): 48-51.
- [8] Aardal K I, Hoesel S M, Mannino K C. Models and Solution Techniques for Frequency Assignment Problems[J]. Quarterly Journal of the Belgian, French and Italian Operations Research Societies (S1619-4500), 2003, 1(4): 261-317.
- [9] 牛侃, 董旭, 吴天昊. 调频广播互调信号对军队航空通信频段的干扰分析[J]. 数字通信世界, 2019(1): 57.
Niu Kan, Dong Xu, Wu Tianhao. Interference analysis of FM Radio Intermodulation Signal to Military Aviation Communication Frequency Band[J]. Digital Communication World, 2019(1): 57.
- [10] 徐雪飞, 李建华, 沈迪, 等. 基于量子遗传算法的航空通信频率动态分配[J]. 电讯技术, 2015, 55(12): 1311-1317.
Xu Xuefei, Li Jianhua, Shen Di, et al. Dynamic Aeronautical Communication Frequency Assignment Based on Quantum Genetic Algorithm[J]. Telecommunication Engineering, 2015, 55(12): 1311-1317.
- [11] 黄澄. 基于粒子群优化的毫米波通信网络资源分配方法[J]. 物联网技术, 2019(11): 33-35.
Huang Cheng. Resource Allocation Algorithm for

- Millimeter Wave Communication Network Based on Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Internet of Things Technologies, 2019(11): 33-35.
- [12] 牛侃. 基于博弈模型的云服务资源调度技术研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2017.
- Niu Kan. Research on Scheduling Technology of Cloud Service Resource Based on Game Model[D]. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2017.
- [13] Mostaghim S, Teich J. Strategies for Finding Good Local Guides in Multi-objective Particle Swarm Optimization[C]// 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium Indianapolis. Dallas: ACM Press, 2003: 26-33.
- [14] Fang Y Q, Wang F, Ge J W. A Task Scheduling Algorithm Based on Load Balancing in Cloud Computing[C]// 2th International Conference on Web Information Systems and Mining, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2010: 156-162.