

求解电子对抗兵力规划问题的改进型混合遗传算法*

赵禄达¹, 王 斌^{1,2*}, 巴根那³

(1.国防科技大学电子对抗学院,合肥 230037;2.国防科技大学第三学科交叉中心,合肥 230037;

3.解放军 77126 部队,云南 开远 661699)

摘要:从现代战争指挥运用角度出发,通过分析电子对抗作战筹划和战斗实施全过程,理清电子对抗在战争中的任务及指挥需求;通过对实际电子对抗作战行动的抽象,充分考虑环境、资源等因素,建立电子对抗兵力规划模型;运用 Lanchester 信息战模型对电子对抗筹划阶段兵力进行初始化处理,进而提出改进型混合遗传算法,对模型进行求解。通过对实际模型算例进行求解,得到了电子对抗兵力规划结果,表明构造算法的有效性,为指挥员运用电子对抗分队提供了指导性依据。与同类型的 3 种遗传算法进行对比,表明所构造算法能够快速解决此类问题并且在算法稳定性上有相对的优势。

关键词:电子对抗;兵力规划;Lanchester 信息战模型;改进型遗传算法

中图分类号:TJ01

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1002-0640.2022.05.013

引用格式:赵禄达,王斌,巴根那.求解电子对抗兵力规划问题的改进型混合遗传算法[J].火力与指挥控制,2022,47(5):86-92.

An Improved Hybrid Genetic Optimization Algorithm for Electronic Countermeasure Dynamic Force Formation Problem

ZHAO Luda¹, WANG Bin^{1,2*}, BA Genna³

(1.School of Electronic Engineering,National University of Defense Technology,Hefei 230037,China;2.Third Interdisciplinary Center,National University of Defense Technology,Hefei 230037,China;3.Unit 77126 of PLA,Kaiyuan 661699,China)

Abstract:From the perspective of modern warfare command application,this article analyzes the entire process of electronic countermeasures combat planning and combat implementation to clarify the tasks and command requirements of electronic countermeasures in war. By abstracting the actual electronic countermeasures combat operations,fully considering the environment,resources and other factors ,Establishment of dynamic model of electronic countermeasures force. Through the use of Lanchester information warfare model to estimate the force of electronic countermeasures planning stage,and then an improved hybrid genetic algorithm is proposed to solve the model. By solving the actual model calculation example,the electronic warfare force formation plan that can directly guide the combat shows the effectiveness of the algorithm constructed is obtained in this paper,and provides a guiding basis for the commander to use electronic warfare units,and compares it with three genetic algorithms of the same type. The results show that this paper Constructing algorithms can quickly solve such problems and has a relative advantage in algorithm stability.

Key words:electronic countermeasures;force planning;Lanchester information warfare model;improved genetic algorithm

Citation format:ZHAO L D,WANG B,BA G N.An improved hybrid genetic optimization algorithm for electronic countermeasure dynamic force formation problem [J].Fire Control & Command Control, 2022,47(5):86-92.

收稿日期:2021-03-03

修回日期:2021-05-24

* 基金项目:解放军军事类研究生基金(JY2019C055);湖南省研究生科研创新基金资助项目(CX20200029)

作者简介:赵禄达(1992-),男,四川峨眉山人,硕士研究生。研究方向:电子对抗作战运筹分析,作战任务规划,效能评估等。

* 通信作者:王 斌(1977-),男,安徽合肥人,博士,副教授。研究方向:作战效能分析,军事应用评估,运筹优化等。

0 引言

兵力规划问题的核心就是在作战全过程动态、变化地调整兵力的分配、部署和运用,以适应现代化作战需求,保持部队战斗力^[1]。电子对抗作为现代智能化战争的重要组成部分,其作战过程中的兵力规划就显得尤为重要。电子对抗兵力规划问题是武器目标分配问题(weapon target assignment, WTA)的一种拓展形式,且 WTA 被证明是 NP 难问题^[2]。近年来,许多中外学者对此问题进行了深入研究。主要集中在两个方面,即不同作战样式、武器下的建模问题和解决 WTA 问题的算法研究。文献[3]建立了现代战争中密集型空对地武器的目标编成模型,并加入了干扰约束条件,但文章解法较为简单且推广性不够;文献[4]在总结一般 WTA 的基础上推广了 S-WTA 模型,并提出了加入修复机制的改进型遗传武器编成算法(GA-SWTA),得到了比较好的收敛解空间;在此基础上文献[5-6]将表征主观因素的信念熵和优化装备系统的数据进行融合研究,结合免疫算法提出了改进的分解协同算法(DCEA-AGWTA)和混合遗传算法(HGA),使算法性能在原模型基础上有所改进;文献[7]将启发式遗传算法和量子遗传算法相结合,提出了多目标量子启发式遗传算法(Mo-QIGA),较好地解决了战场武器规划问题;文献[8]将混合灰狼算法(DGWO)运用到 WTA 问题的求解中,经验证算法收敛性较好。在研究电子对抗兵力规划问题上,文献[9-10]采用改进的自适应遗传算法对雷达对抗干扰系统进行了兵力分配问题的讨论;文献[11]采用量子遗传算法,研究了电子对抗兵力在地空反辐射群编组中的编成优化问题,但由于初始样本是随机产生的,有可能最终得不到全局最优解,算法的全局寻优能力需要进一步加强;文献[12]利用混沌搜索算法对雷达干扰兵力进行了优化分配,但由于算法中加入了雷达威胁主观系数因子,导致算法的客观实际应用性降低。

1 任务背景构建

在以任务为牵引的作战背景下,从作战实际出发将整个问题背景空间分为作战筹划空间、战斗实施空间和算法空间 3 部分,如图 1 所示。

作战筹划空间是指合成部队从受领作战任务开始的一系列作战准备工作,电子对抗分队需要从合成部队总体筹划中确定自身的初始情报和作战参数。在我方受领作战任务后,电子对抗分队需要

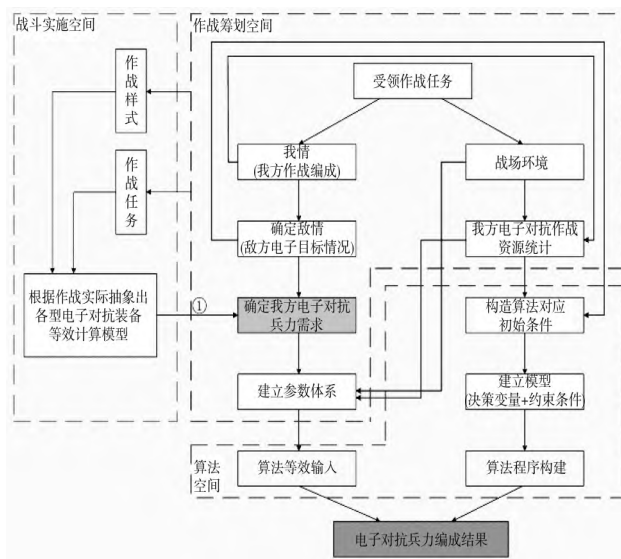


图1 作战任务背景空间组成示意图

确定我方任务中电子对抗兵力作战编成(装备数量、人员等),敌方电子目标相关情况(类型、数量等)以及作战地域战场环境相关参数(地形、天气等)。另外,在作战筹划的过程中需要确定战斗的作战样式及作战具体任务,为具体实施作战时能够正确选择恰当的作战模型。

战斗实施空间是指在战斗发起后(T 时后)电子对抗分队指挥员根据战场实际,结合我方作战任务和作战筹划选定的作战样式,选择电子对抗装备的等效计算模型,快速得出我方作战效能。另外通过改进的 Lanchester 信息战模型(图1中箭头①)得出敌我双方电子兵力比,从而得到兵力编成的初始兵力集合。

算法空间是指在作战筹划空间和战斗实施空间间接续实施的并行空间,输入为战斗实施空间得出的兵力编成初始集合和作战筹划空间得出的模型构建初始条件。一方面建立初始条件作为约束的电子对抗兵力编成模型,另一方面建立改进型遗传算法结构,最终将模型输入带入算法进行解模,得到最终的电子对抗兵力编成结果,为电子对抗指挥员提供快速可靠的决策建议。

2 电子对抗兵力规划模型

2.1 模型符号说明

电子对抗兵力编成模型及本文中相关符号含义及其说明如下页表1所示。

2.2 模型构建

本文中电子对抗兵力编成模型建立如下:

$$\min Z = \lambda \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} - (1-\lambda) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} E_j \quad (1)$$

表 1 符号含义及说明

符号	解释
e_{ij}	1 表示第 i 型电子对抗装备对敌第 j 类电子目标实施进攻;0 表示第 i 型电子对抗装备不对敌第 j 类电子目标实施进攻
Z	模型的目标函数值, 由装备数量和作战效能两部分组成
λ	模型的目标函数中装备数量的权重值, 相对的, 作战效能的权重值为 $1-\lambda$
E_j	我方第 j 类电子对抗装备作战中的实际作战效能
x_{ij}	模型决策变量, 表示我方第 i 型电子对抗装备对敌第 j 类电子目标实施进攻的装备数量
S_j	进攻敌方第 j 类电子目标的装备效能需求
A_i	我方第 i 型电子对抗装备的数量约束
DK_j	我方进攻敌电子目标的电子对抗兵力编成方案
r, b	Lanchester 信息战模型中敌我双方的平均拥有信息量, r, b 为其最大值
ρ_r, ρ_b	Lanchester 信息战模型中由于敌我双方的电子对抗行动产生的电子战效能损耗系数
μ_r, μ_b	Lanchester 信息战模型中由于战场环境引起的双方信息量损耗
V_r, V_b	Lanchester 信息战模型中双方信息量补充
$\varepsilon_r, \varepsilon_b$	改进的 Lanchester 信息战模型中双方在电子对抗因素影响的作战效能因子
N	遗传操作时每代种群的种群数目
$S(t)$	遗传操作中每代种群的二进制染色体

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} E_j \geq S_j \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq A_i, i=1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m e_{ij} \geq 1, j=1, 2, \dots, n \\ x_{ij} (1 - e_{ij}) = 0, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \\ x_{ij} \in N, \text{且} x_{ij} \geq 0, i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2)$$

其中, 式(1)为模型目标函数, 表示电子对抗进攻的效能需求和装备的数量需求。式(2)为模型的约束条件, 共有 5 个约束, 第 1 个约束表示我方对敌方第 j 类电子目标实施进攻的总效能不低于对敌方第 j 类目标有效干扰的效能阈值; 第 2 个约束表示我方参与电子进攻的第 i 型电子对抗装备数量不得超过我方编成内第 i 型电子对抗装备总数量; 第 3 个约束表示将我方电子对抗装备利用率达到最大(至少有 1 型电子对抗装备对敌第 j 类目标实施进攻); 第 4 个约束为等式约束, 表示 0~1 变量 e_{ij} 与决策变

量 x_{ij} 之间的等式关系; 第 5 个约束为决策变量 x_{ij} 的取值约束, 要求其为大于等于 0 的正整数。

3 基于改进型混合遗传算法的兵力规划模型解法

遗传算法模拟生物自然选择进化过程, 进行不同代数解集的优胜劣汰, 在规划寻优问题上得到了广泛应用。算法过程一般为确定初始种群、确定适应度函数和个体的适应度值、遗传操作(选择、交叉、变异等)、种群优化判断等步骤。本文将利用改进的 Lanchester 信息战模型对初始种群进行初始化, 改变传统的随机选择和自适应选择的种群不确定性, 并将传统遗传操作进行改进, 让遗传操作的种群与父代中延续的种群进行混合, 增加父代个体的延续性, 目的是提高模型算法的全局收敛能力和收敛速度。改进型混合遗传算法步骤如图 2 所示。

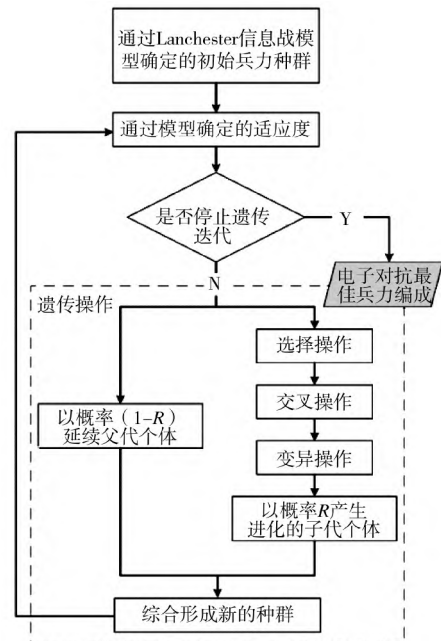


图 2 算法步骤示意图

3.1 种群初始化

种群的初始化编码目的是为了建立满足约束条件的电子对抗兵力编成方案与便于遗传操作的染色体之间的关系, 本文采用二进制编码手段对初始种群进行编码, 如图 3 所示。

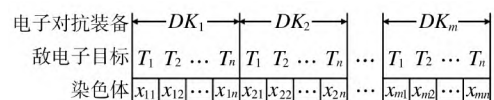


图 3 种群编码方式

敌方电子目标数量为 n , 将染色体编码为 m 段, 每一段表示我方电子对抗装备的一个进攻组合(编成)方案, 遗传操作(选择、交叉、变异)均在段内进行。可以得出, 每个电子对抗装备对应的染色体基

因 x_{ij} 长度为 $\log_2 x_{ij}$, 整个初始种群对应的染色体长度为 $m \cdot \sum_{i=1}^n \log_2 x_{ij}$ 。在确定初始种群时,考虑算法的收敛速度,本文不采用随机生成和自适应产生的方法,对种群的产生主要基于以下两种方法:

1) 在电子对抗战斗行动前,根据以往作战数据和作战经验形成兵力编成的预案,按照方案中的兵力编成对染色体进行初始化,接着按照等距离分布产生整个初始化染色体,从而确定初始种群。

2) 在没有预案的情况下,通过战前情报得到进攻敌方电子目标的电子对抗装备效能需求 S_j , 再通过改进的 Lanchester 信息战模型求得敌方的电子作战能力(我方电子进攻至少需具备的电子对抗装备效能需求) $\sum_{j=1}^n S_j$, 进而求出进攻敌方电子目标的效能需求比例 $P_j = S_j / \sum_{j=1}^n S_j$ 。通过比值分配每种装备,形成兵力编成初始方案;行动前,根据以往作战数据和作战经验形成兵力编成的预案,按照方案中的兵力编成对染色体进行初始化,接着按照等距离分布产生整个初始化染色体,从而确定初始种群。

1980 年 Moose 将混合战斗的微分方程应用在信息战上,提出了 Lanchester 方程的信息战模型^[13],此模型以作战双方信息量作为作战双方的对抗信息,建立了线性微分方程组,如式(3)所示。

$$\begin{cases} \dot{r} = -\mu_r r - \rho_b (r_0 - r) b + V_r \\ \dot{b} = -\mu_b b - \rho_r (b_0 - b) r + V_b \end{cases} \quad (3)$$

式中, r_0-r 和 b_0-b 表示我方和敌方信息战总体能力的变化。由于双方的信息对抗,我方的信息量损耗率与我方信息损耗变化值和敌方信息对抗引起的信息量损耗率之积成比例,也和信息的自然损耗和补充有关。在信息战模型的基础之上,考虑电子对抗因素,加入由于电子对抗引起的信息量变化系数 ε , 得到改进的 Lancaster 信息战模型,如式(4)所示。

$$\begin{cases} \dot{r} = -\mu_r r - \varepsilon_b \rho_b (r_0 - r) b + V_r \\ \dot{b} = -\mu_b b - \varepsilon_r \rho_r (b_0 - b) r + V_b \end{cases} \quad (4)$$

其中, $\varepsilon = (\lambda_1 P_{\text{Light}} + \lambda_2 P_{\text{Radar}} - \lambda_1 \lambda_2 P_{\text{Light}} P_{\text{Radar}}) \cdot \lambda_3 P_{\text{Com}}$; P 表示 3 种类型(光电、雷达、通信)的电子设备正常工作的概率; λ 表示 3 种类型的电子对抗效能因子,取值范围为 $\lambda_i \in [0,1]$ 。

这样,通过式(4),即可得出敌方的电子作战能力(我方电子进攻至少需具备的电子对抗装备效能需求,此处考虑 10% 的冗余量) $\sum_{j=1}^n S_j = 1.1b$ 。

3.2 适应度函数的确定

适应度函数是为了对初始种群和遗传操作后的种群进行目标函数值判断寻优而建立的。而文中建立的模型中目标函数为最小值目标,在算法过程中一般采用最大值进行寻优筛选,则将适应度函数定义为式(1)的相反函数,如式(5)所示。

$$f(C) = 1 - \lambda \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}(C) + (1 - \lambda) \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}(C) E_j \quad (5)$$

3.3 遗传操作

在确定了初始种群和适应度函数后,对种群进行选择、交叉、变异等遗传操作,在规定的最大遗传代数约束下最终停止遗传操作。现将其中的核心操作选择、交叉、变异简述如下,其操作如图 4 所示。

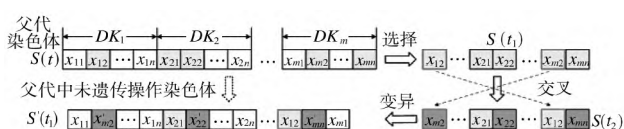


图 4 模型遗传操作示意图

1) 选择:通过无回放式余数随机采样法选择优良种群个体^[14]。通过计算种群之中的每一个个体适应度和种群适应度比值得到个体相对适应度 $f_i / \sum_{i=1}^m f_i$, 再以此比值为种群选择概率进行个体随机

保留得到下一代种群的期望数目 $N_i = M \cdot \sum_{i=1}^m f_i / f_i$

(M 为下一代种群的个体数目), 接着使用 $f_i - \lfloor N_i \rfloor$

$\sum_{i=1}^m f_i / M$ 更新个体的适应度值,使用轮盘赌选择法即可得到本次选择后的种群 $S(t_1)$ 。

2) 交叉:采取双点交叉的方式进行操作^[13]。在选择出的种群(染色体)中随机选择两处基因进行交叉互换操作,得到新的种群 $S(t_2)$ 。

3) 变异:采取有效基因突变方法进行。将交叉得到的种群进行随机基因位突变,由于编码采取二进制,突变基因只需进行 0 或 1 的变化,即得到新种群 $S(t_3)$,与父代中为进行遗传操作的基因进行综合就可得到最新的种群。

4) 种群的综合:按照概率 R 对父代种群和经过以上 3 步后的变异种群进行混合,得到适应性函数求解的种群 $S(t_4)$ 。

4 算例仿真与分析

这一部分主要分为以下两个方面:一是对本文建立的模型和提出的改进型遗传算法进行算例仿真,表明模型有效性和算法可行性;二是对算法进

行性能对比仿真,通过与标准的遗传算法(GA)^[15]、免疫遗传算法(IGA)^[16]以及自适应遗传算法(AGA)^[17]进行对比,表明不同算法在解决相同模型上的优劣。仿真实验采用的仿真平台 CPU 为 i7-5580 H, 2.60 GHz, 16.0 GB RAM, 操作系统为 Windows10, 仿真实验工具为 Matlab R 2018a。

4.1 任务背景构建及仿真

首先根据任务背景构建作战筹划空间和实施空间数据:我方在任务中派遣光电对抗装备 18 台,雷达对抗装备 16 台,通信对抗装备 12 台;根据先期情报敌方光电设施(装备)6 台,雷达设施(装备)5 台,通信设施(装备)3 台;由于战场环境影响造成的双方电子信息损耗系数为 $\mu_r=\mu_b=0.5$;不同类型电子对抗装备对应的电子战效能损耗 $\rho_r=0.4, \rho_b=0.5$ 。其次设定遗传算法输入数据:种群数量为 100;遗传代数为 200;总变量个数为 $3 \times 3=9$ 个;目标数量为 3;选择概率为 0.8;交叉概率为 0.7;变异概率 0.03;种

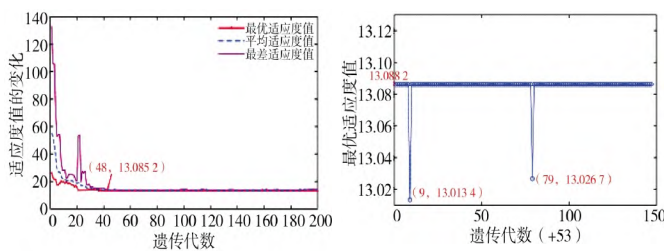
群混合概率 R 为 0.3;假设双方没有信息支援力量,信息补充量 $V=0$;电子对抗影响下的作战效能因子 $\varepsilon_r=0.8, \varepsilon_b=0.7$ 。

仿真得到的结果如表 2 所示,算法运行结果如图 5 所示。其中图 5(a) 表示随着遗传代数的增加种群适应度值的变化,将每代种群中的最优、最差以及平均适应度值进行统计,绘制而成 3 条曲线。可以看出,在遗传代数达到 48 代之后,种群适应度趋于稳定,最优适应度值为 13.086 2。图 5(b) 表示在种群达到了最优适应度值后的每一代最优适应度值连线,可以看出,除了第 62 代和 132 代以外,达到稳定后的各遗传代数均达到了全局最优的适应度值,使用改进型的遗传算法解决本模型获得很高的成功率。此外,对模型进行计算时对每一代进行程序调试,除第 62 代和 132 代以外,其余代数的迭代时间最多为 4.61 s,最少为 2.15 s,可见算法的效率很高。

表 2 仿真得到的电子对抗兵力规划结果

电抗装备	敌电子目标													
	T_{L1}	T_{L2}	T_{L3}	T_{L4}	T_{L5}	T_{L6}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}	T_{R4}	T_{R5}	T_{C1}	T_{C2}	T_{C3}
DK_1	2	1	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
DK_2	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1	2	0	0	0
DK_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3

表中, T_{Lj} 代表敌光电目标, T_{Rj} 代表敌雷达目标, T_{Cj} 代表敌通信目标; DK_1 代表我光电干扰装备, DK_2 代表我雷达电干扰装备, DK_3 代表我通信干扰装备。



(a) 种群适应度值的变化曲线 (b) 最佳适应度值的变化曲线

图 5 算法运行仿真结果

4.2 算法性能对比

本节主要对本文建立的改进型遗传算法进行算法对比仿真,通过与 GA、IGA 和 AGA 3 种遗传算法进行对比,体现本文构建的算法在解决电子对抗兵力编成模型时的高效性和准确性。

首先按照对比试验的要求,生成 5 个想定,如下页表 3 所示。

表 3 中, $\text{rand}(1)$ 函数返回值为均匀分布在 0~1 的随机数, $\text{randi}(x)$ 函数返回值为均匀分布在 1~ x 之间的随机正整数, $\text{sign}(x)$ 为符号函数, $\text{sign}(x)=$

$$\begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}$$

其次,设定作为对比的 3 种遗传算法输入参数。为严格控制变量,参数与本文构设的改进型遗传算法输入数据与 4.1 节中一致(种群数量为 100;遗传代数为 200;选择概率为 0.8;交叉概率为 0.7;变异概率 0.03;信息补充量 $V=0$;电子对抗影响下的作战效能因子 $\varepsilon_r=0.8, \varepsilon_b=0.7$)。

对模型进行仿真得到的数据进行分析,取每种遗传算法适应度函数值趋于稳定后的数据(趋于稳定的代数为:本文算法 48, GA 为 59, IGA 为 47, A-GA 为 51。综合选择 60 代之后的数据),共 4 组,每组 160 个数据,进行方差分析^[18],得到分析结果如表 4 和下页图 6 所示。

表中共有 3 个方差分析指标,分别为[最大值,最小值]、平均值+方差和算法平均运行时间。在每个想定下将方差和平均运行时间的最优值加粗表示,可以看出,本文构设的改进型混合遗传算法具有数据的绝对优势,在种群最佳适应度值达到稳定后波动很小,并且在进行遗传操作前将初始种群经过 Lanchester 信息战模型的优化,使得每一代

表 3 5 组想定对比仿真数据生成

		仿真条件				
	兵力条件	λ	$[S_j]_{1 \times n}$	$[E_j]_{1 \times n}$	$[A_i]_{1 \times m}$	$[e_{ij}]_{m \times n}$
想定 1	$m=n=12$					
想定 2	$m=n=26$					
想定 3	$m=n=64$	rand(1)	randi(16)	randi(6)	randi(20)	$\frac{\text{sign}[\text{rand}(1)-0.6]+1}{2}$
想定 4	$m=n=100$					
想定 5	$m=n=190$					

表 4 仿真数据方差分析结果

算法	方差分析项目	想定 1	想定 2	想定 3	想定 4	想定 5
本文算法	[min,max]	[13.12,13.27]	[27.36,27.77]	[70.92,71.31]	[127.43,127.83]	[241.30,241.89]
	Avg+Var	13.176+ 0.002	27.59+ 0.003	71.18+ 0.006	127.63+ 0.005	241.62+ 0.004
	平均时间 /s	1.01	10.27	30.07	50.68	102.18
GA	[min,max]	[13.05,13.37]	[27.10,27.67]	[70.59,71.16]	[127.29,127.69]	[241.11,241.71]
	Avg+Var	13.198+0.152	21.44+0.166	70.99+0.179	127.61+0.143	241.40+0.181
	平均时间 /s	1.201	15.01	36.09	57.90	118.18
IGA	[min,max]	[13.02,13.29]	[27.29,27.69]	[70.78,71.14]	[127.31,127.70]	[241.30,241.74]
	Avg+Var	13.148+0.052	27.60+0.043	70.91+0.068	127.60+0.055	241.65+0.049
	平均时间 /s	1.105	13.41	33.13	52.43	109.21
AGA	[min,max]	[12.91,13.26]	[27.18,27.57]	[70.68,71.09]	[126.96,127.57]	[241.59,241.99]
	Avg+Var	13.101+0.044	27.49+0.039	70.78+0.021	127.42+0.023	241.81+0.049
	平均时间 /s	1.103	10.27	32.49	51.00	107.44

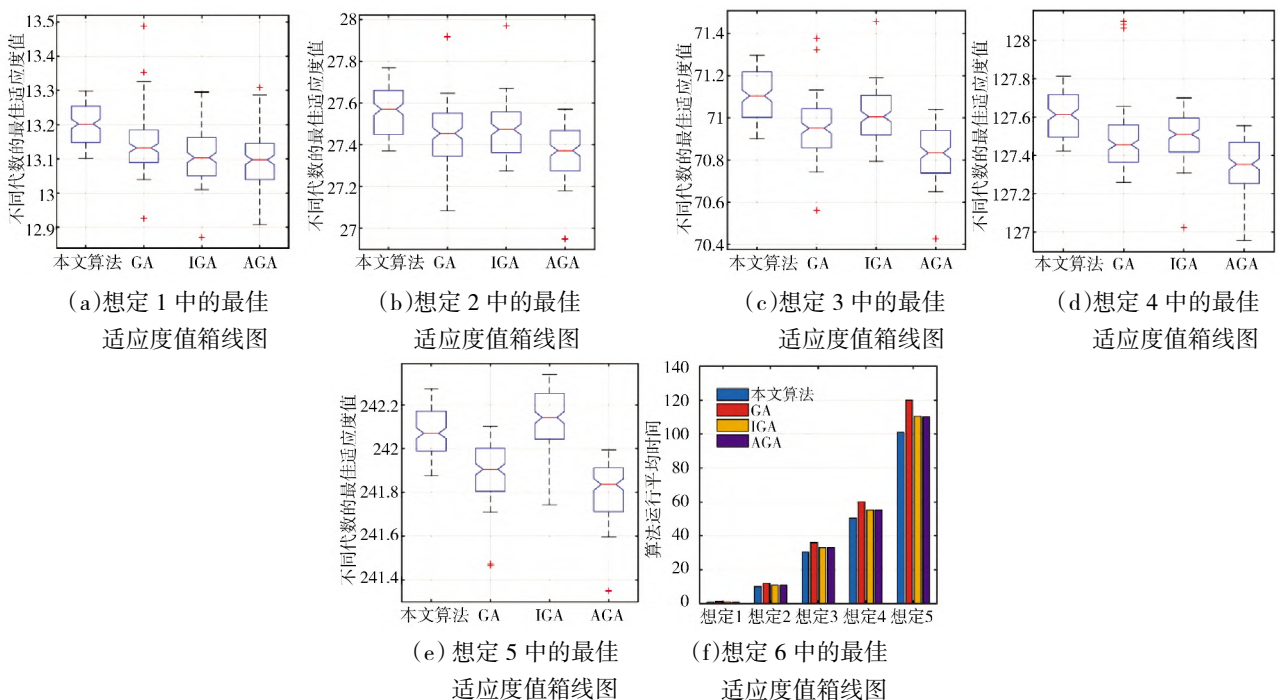


图 6 算法运行仿真结果

的种群很快就能达到约束要求, 算法运行时间也具有优势。

图 6(a)~图 6(e)是 5 个想定条件下每代最佳适应度值的箱线图, 反映出每个想定条件下每代最佳适应度值的方差关系; 图 6(f)是算法平均运行时间的柱状图, 可以直观地看出对比的 4 种算法之间的性能差异。通过以上对比说明, 可以看出本文构设的改进型混合遗传算法能够有效解决电子对抗兵力规划问题, 并且在同类型算法中性能较好。

5 结论

本文从作战指挥需求角度出发, 通过作战筹划和作战实施过程的研究, 对电子对抗运用提出具体需求, 建立了电子对抗兵力的动态编成模型。在求解模型时将 Lanchester 信息战模型运用到电子对抗兵力比的求解, 进而优化了传统的遗传算法。通过合理设置 5 个想定条件使用改进的算法对模型进行仿真求解, 得到了电子对抗兵力编成结果, 为直接指导作战指挥提供依据, 并将本文算法与同类算法进行比较, 说明了算法的可行性和优越性。在仿真实验过程中, 仅通过计算机随机生成了一系列模型数据进行仿真, 没有考虑实际作战过程中的适应性战场数据, 为了解决这一问题, 可以增加弹性作战知识库进行数据的自适应处理^[19-20]。下一步, 要深入研究提出的问题, 比如在具体作战实施中出现的兵力、环境和其余突发条件变化对模型带来的影响, 求解模型时使用更加优越的算法等。

参考文献:

- [1] 张最良. 军事战略运筹分析方法[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009.
- [2] CAI H, LIU J, CHEN Y, et al. Survey of the research on dynamic weapon-target assignment problem[J]. J. Syst. Eng. Electron, 2006, 17(3): 559-565.
- [3] LEE D, SHIN M K, CHOI H L. Weapon target assignment problem with interference constraints [C]//Orlando: AIAA Scitech 2020 Forum. 2020.
- [4] LI X, ZHOU D, YANG Z, et al. A novel genetic algorithm for the synthetical sensor-weapon-target assignment problem [J]. Applied Sciences, 2019, 18(9): 3803.
- [5] WANG J, LUO P, ZHANG L, et al. A hybrid genetic algorithm for weapon target assignment optimization [C]//Phuket: Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Systems, Metaheuristics and Swarm Intelligence. 2018: 41-47.
- [6] PAN Q, ZHOU D, TANG Y, et al. A novel antagonistic weapon-target assignment model considering uncertainty and its solution using decomposition co-evolution algorithm [J]. IEEE Access, 2019, 11(1): 37498-37517.
- [7] KONAR D, SHARMA K, SAROGI V, et al. A multi-objective quantum-inspired genetic algorithm (mo-qiga) for real-time tasks scheduling in multiprocessor environment [J]. Procedia Computer Science, 2018, 131: 591-599.
- [8] WANG J, LUO P, HU X, et al. A hybrid discrete grey wolf optimizer to solve weapon target assignment problems [J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2018, 15(4): 1-17.
- [9] 潘伟. 基于自适应遗传算法的雷达干扰系统兵力分配 [J]. 电子信息对抗技术, 2014, 29(3): 38-41, 46.
- [10] 李菱歌, 丁轶. 一种基于改进遗传算法的防空兵力优化分配 [J]. 电子质量, 2019, 40(11): 90-94.
- [11] 季军亮, 汪民乐, 商长安, 等. 一种改进量子遗传算法在地空反辐射混编群兵力配置优化中的应用 [J]. 西北工业大学学报, 2019, 63(5): 14-16.
- [12] 张帅, 刘忠, 石健迈, 等. 基于混沌搜索算法的雷达干扰兵力优化分配 [J]. 四川兵工学报, 2012, 33(8): 12-14.
- [13] MOOSE, PAUL H. A dynamic model for C³ information incorporating the effects of counter C³ Monterey [M]. California: Naval Postgraduate School Press, 1980.
- [14] 张怀强, 卢远超, 王孟. 混合遗传算法的战时舰艇伴随保障人员优化配置 [J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(4): 37-43.
- [15] LU Y M, MIAO W Q, LI M. The air defense missile optimum target assignment based on the improved genetic algorithm [J]. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2013, 48(2): 809-816.
- [16] 孙鹏, 武君胜, 廖梦琛, 等. 基于自适应遗传算法的战场资源动态调度模型及算法 [J]. 系统工程与电子技术, 2018, 40(3): 72-78.
- [17] YANG S, YANG M, WANG S, et al. Adaptive immune-genetic algorithm for weapon system portfolio optimization in military big data environment [J]. Cluster Computing, 2016, 19(3): 1359-1372.
- [18] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [19] 黄红兵, 潘显军, 李贤玉, 等. 作战数据知识化: 需求与方法 [J]. 指挥与控制学报, 2015, 1(4): 361-374.
- [20] 刘超. 基于改进遗传算法的多无人机航路规划方法 [J]. 火力与指挥控制, 2019, 44(1): 18-22.