

基于遗传算法的防空部署优化方法

冯 卉¹,刘付显¹,毛红保²

(1.空军工程大学 导弹学院,陕西 三原 713800; 2.空军工程大学 工程学院,陕西 西安 710038))

摘 要:针对防空部署的特点,建立了防空部署优化的数学模型,提出了一种初始种群产生方法,设计了求解防空部署优化模型的遗传算法,并用一个实例进行验证,取得了良好的优选效果。

关键词:防空部署;遗传算法;组合优化

中图分类号: O224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)04-0032-04

防空部署是防空作战的物质基础,部署的优劣直接影响到防空作战的进程和结局。防空部署优化是各级指挥员指挥作战面临的首要问题,也是相关人员研究的重点难点问题。目前,在此方面取得了较丰富的研究成果,但满意的定量研究成果不多。困扰定量研究的主要问题是优化算法的问题。近年来逐渐成熟起来的遗传算法为防空部署优化问题的解决提供了新的方法。遗传算法(GA-genetic algorithms)是一种全局优化搜索算法,简单实用,搜索能力强,适合于目标函数复查、约束条件多等类似于防空部署优化这类问题的求解。本文就防空部署优化问题进行了较深入的分析,建立了数学模型,并将遗传算法用于防空部署优化问题的求解,取得了较理想的效果。

1 防空部署优化模型

防空部署是指为了遂行防空任务而对承担任务的防空兵力的区分、编组和配置。防空部署优化的实质是充分发挥防空火力,保卫我要地之目的。为了建立部署优化的数学模型,对部署优化问题抽象如下:

设防空部署可投入的武器系统有 m 种,第 $i(i=1,2,\dots,m)$ 种武器系统有 n_i 套可供使用,用来保卫 r 个要地。要地的重要性权系数 $w_j(j=1,2,\dots,r)$ 用要地等级描述,保卫性系数用 e_{ij} 表示。其中 $w_j(j=1,2,\dots,r)$ 为第 j 个要地的重要性系数, $e_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,r)$ 为第 i 种武器系统对第 j 个目标成功保卫的概率。防空武器部署可用矩阵 $X=(x_{ij})_{m \times r}$ 来描述,其中 x_{ij} 为用于保卫第 j 个要地的第 i 种武器系统的数量。

最优部署的目标函数是对要地的保卫效能指标达到最大。该保卫效能指标以成功保卫要地数的数学期望为基础。通常,用一定数量的第 i 类武器系统成功保卫第 j 个要地的概率可表示为: $P_{ij} = 1 - (1 - e_{ij})^{x_{ij}}$ 。

因而,所有 m 类武器系统成功保卫要地的概率为 $P_j = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - e_{ij})^{x_{ij}}$ 。成功保卫要地数的数学期望 M 为

$$M = \sum_{j=1}^r (1 - \prod_{i=1}^m (1 - e_{ij})^{x_{ij}}) \quad (1)$$

所以最优化的目标函数为

$$\max F = \sum_{j=1}^r w_j [1 - \prod_{i=1}^m (1 - e_{ij})^{x_{ij}}] \quad (2)$$

同时,还应满足下列约束条件:

$$\sum_{j=1}^r x_{ij} = n_i, i = 1, 2, \dots, m; \quad x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, r \quad (3)$$

收稿日期:2005-10-21

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:冯 卉(1982-),女,浙江嵊州人,硕士生,主要从事防空作战决策分析、作战仿真等方面的研究;

刘付显(1962-),男,山东曹县人,教授,博士,主要从事防空作战决策分析,防空作战建模与仿真的应用研究。

2 防空部署优化问题的 GA 求解

根据遗传算法的相关理论^[1],结合防空部署优化问题的特点,设计了编码方法和遗传算子。为了更好的说明问题,考虑下面的具体实例。

假设有 A、B 两种型号的导弹,共 10 个作战单元(A 型 6 个,B 型 4 个)用于保卫 3 个目标要地,其权重依次为 0.2,0.2,0.6;部署 A 型武器系统保卫要地成功的概率依次为 0.30,0.20,0.50,部署 B 型武器系统保卫要地成功的概率为 0.20,0.50,0.30。试求目标要地保卫效能指标达到最大的防空部署分配方案。

下面利用遗传算法求解上述防空部署优化问题。

2.1 编码

防空部署优化问题的编码方法设计的出发点是表达能力强、编码解码运算简单、遗传算子操作简单、迭代效率高。根据前文给出的防空优化部署模型,首先对决策变量 x_{ij} 进行二进制编码。每个变量编码的串长取决于所有变量的最大可能取值。因为 x_{ij} 只能取非负整数,设 x_{ij} 的最大可能取值为 $Q = \max_{1 \leq i \leq m} \{n_i\}$, $B(Q)$ 表示将整数 Q 表示为二进制时需要的位数,则每个染色体(部署方案)需要的串长可计算为 $L = B(Q)mr$ 。根据前面的数学模型,产生的第 k 个个体的表示为

$$T_k = (x_{11}^k \cdots x_{1r}^k, x_{21}^k \cdots x_{2r}^k \cdots x_{m1}^k \cdots x_{mr}^k) \quad (4)$$

在上例中, x_{ij} 的最大可能取值为 6,故每个变量只需用 3 个二进制位表示即可,因此每个染色体的串长为 $L = 3 \times 2 \times 3 = 18$ 位。

2.2 初始种群的产生

初始种群是遗传算法迭代的起点,它选择的好坏直接影响算法的效率^[2]。所以,总希望将初始群体选在最优解的附近,这样不需很多次迭代即可达到满意解。根据防空作战部署原则^[3],我们提出如下按要地等级比例产生初始种群的方法:

- 1) 计算 r 个要地的重要等级的比例。不妨假设为 $d(1):d(2):\cdots:d(r)$ 。
- 2) 计算要地的相对重要程度。第 j 个要地的相对重要程度 $rd(j)$ 为

$$rd(j) = d(j) / \sum_{k=1}^r d(k) \quad (j = 1, 2, \cdots, r) \quad (5)$$

- 3) 计算按比例分配到第 j 个要地的武器系统数量。即

$$x_{ij} = \lfloor rd(j)n_i \rfloor \quad (i = 1, 2, \cdots, m; j = 1, 2, \cdots, r - 1) \quad (6) \quad x_{ir} = n_i - \sum_{k=1}^{r-1} x_{ik} \quad (7)$$

根据上述方法产生的初始种群必定满足约束条件式(3)。

对于 $x_{ij}(j = 1, 2, 3)$ 来讲,其变化范围为 0 - 6,同时再考虑到 A 型武器系统对第 j 个要地成功保卫的概率,分配其作战单元数分别为 1, 2, 3,转化为初始种群串为 001010011。同理可得 B 型武器系统对第 j 个要地初始种群串为 000011001。基于同样道理,可生成第 2 组初始种群串 010001011010001001,第 3 组初始种群串 001001100001010001,第 4 组初始种群串 100010000010000010。

2.3 计算适应值

在这里,将防空部署优化模型中的目标函数值作为个体的适应值,适应度的计算公式如下:

$$F = \sum_{j=1}^r w_j [1 - \prod_{i=1}^m (1 - e_{ij})^{x_{ij}}] \quad (8)$$

对于上例按照式(8)计算,其结果如表 1 所示。

表 1 初始种群及其相关数据

串号	初始种群	数值	F 值	选择概率	选择次数
1	001010011000011001	1,2,3,0,3,1	0.792	0.26	1
2	010001011010001001	2,1,3,2,1,1	0.805	0.27	1
3	001001100001010001	1,1,4,1,2,1	0.822	0.28	2
4	100010000010000010	4,2,0,2,0,2	0.558	0.19	0

2.4 选择

选择操作是个体串按照它们的适应值进行选择,每个个体的选择概率为 $P_k = F_k / \sum F_i$ 。选择操作可以通过随机方法来实现,使用计算机程序首先产生 0-1 之间均匀分布的随机数,若某串的选择概率为 30%,则产生的随机数在 0-0.3 之间时该串被选择,否则被淘汰^[4]。一个串被选中时,是被完整地选择,并将其添入匹配池,初始种群的选择情况如表 1 所示。

2.5 交叉

交叉是产生新个体的主要途径,是全局收敛的重要保障^[5]。防空部署问题对交叉的基本要求是两个可行方案通过交叉产生出的两个新方案应该是可行的。采用常规单点交叉的方法如下:

- 1) 对选择出的个体序列 $\{T_k\}$ 进行随机两两配对;
- 2) 对每一对个体实施单点交叉运算。

设 T_0 与 T_r 为一对一且

$$T_0: n_1 n_2 \cdots n_s n_{s+1} \cdots n_M$$

$$T_r: m_1 m_2 \cdots m_s m_{s+1} \cdots m_M$$

通常根据问题的特定交叉点是确定的,如第 s 位,则交叉如下:

$$T T_0: n_1 n_2 \cdots n_s m_{s+1} \cdots m_M$$

$$T T_r: m_1 m_2 \cdots m_s n_{s+1} \cdots n_M$$

$T T_0, T T_r$ 为交叉产生的两个新个体。将交叉后新产生的个体的集合记为 S 。

本例中交叉点选择在第 9 位和第 10 位之间。将串 1、3 和串 2、3 配对,交叉运算之后产生的新种群及其 F 值如表 2 所示。

表 2 交叉运算结果

原串号	被选择的种群	交叉后的种群	交叉后的数值	F 值
1	001010011 000011001	001001100 001010001	1,2,3,1,2,1	0.804
3	001001100 001010001	001001100000011001	1,1,4,0,3,1	0.814
2	010001011 010001001	010001011001010001	2,1,3,1,2,1	0.829
3	001001100 001010001	001001100010001001	1,1,4,2,1,1	0.804

在每次交叉运算之后要进行可行性检验,以确保新产生的方案是可行的。

2.6 变异

变异也是产生新个体的一种方法,但一般变异概率都非常小,故不是产生新个体的主要方法。通过变异操作可以改变遗传算法的局部搜索能力。假设变异概率为 $P, T \in S$ 。 $T: n_1 n_2 \cdots n'_s n_{s+1} \cdots n_M$ (n'_s 为变异后的基因),变异的具体操作过程是:

- 1) 依次指定 T 中每个基因作为变异点。

2) 对每个变异点以概率 P 按原来的基因值取反。通过变异得到的新个体也可能是非可行的,故应对新个体进行可行化检验。

对于该例,设变异概率为 0.002,由于种群共有 18 位,所以期望的变异串位数为 $0.002 \times 18 = 0.036$ (位),故本例中没有串位值改变。

按照以上步骤运行遗传算法程序,直到得出问题的最优解为止。对于本例,经过若干次迭代选优,可得最终结果为: $X = (x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23})^T = (2, 1, 3, 0, 3, 1)^T$, $\max F = 0.830$ 。即第 1 个要地部署 A 型导弹 2 个单元,第 2 个要地部署 A 型导弹 1 个单元和 B 型导弹 3 个单元,第 3 个要地部署 A 型导弹 3 个单元和 B 型导弹 1 个单元。该结果与使用传统的非线性规划或动态规划方法求得的最优解完全一致。值得注意的是,对于本例,如果初始种群选择不合适的话可能无法迭代到全局最优解,因为约束条件的存在使得在选择交叉点、交叉方式和变异算子上都受到制约。为了避免这个问题,一方面可以在产生初始种群的时候使用先验知识而不是随机产生,另一方面可以适当增大初始种群中个体的数量,并且使各个体之间的差异明显化,从而更容易达到全局最优解。

3 结束语

本文将遗传算法应用于防空部署优化,建立了防空部署方案的组合优化模型,为该问题的解决提供了一

个有效的途径。实例证明,该方法能够取得良好的部署效果,在有限的时间(遗传代数)内搜索到全局或近似全局最优解,从而为防空作战指挥自动化决策的制定提供科学的、有效的支持。

参考文献:

- [1] 李敏强. 遗传算法的基本理论与应用[M]. 北京:科学出版社. 2002.
- [2] 张 雷,郑泽席,宋万德. 一种基于遗传算法的决策支持系统建模方法[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2000,1(3):27-29.
- [3] 王颖龙,李为民. 防空作战指挥学[M]. 北京:解放军出版社. 2004.
- [4] 周创明,华继学,李成海. 具有禁忌算子的遗传算法目标优化分配[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2005,6(2):87-90.
- [5] 刘付显,邢清华. 基于遗传算法的目标优化分配[J]. 系统工程理论与实践. 2002,22(7):84-88.

(编辑:田新华)

Genetic Algorithms Applied to Air Defense Optimization Disposition

FENG Hui¹, LIU Fu-xian¹, MAO Hong-bao²

(1. The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

Abstract: A mathematical model of air defense optimization disposition is established. In view of air defense disposition characteristics, the paper puts forward the generation method of initial population, and designs a genetic algorithm to solve the model, and finally achieves ideal optimization verified by an example.

Key words: air defense disposition; genetic algorithms; combinatorial optimization

(上接第27页)

参考文献:

- [1] Kase msan S. Study of system instability in current mode convent power systems operating in solar array voltage regulation mode [A]. IEEE Applied Power Electronics Conference[C]. 2000. 228-235.
- [2] 张卓然. 飞机发电机电压调节系统数学模型的建立与研究[J]. 航空学报,2004,25(5),490-494.
- [3] 刘勇智. 通用型炭片调压器自动调测系统设计[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(4),26-28.
- [4] 刘勇智. 基于虚拟平台的飞机电压调节器动态性能测试研究[D]. 西安:空军工程大学工程学院,2005.

(编辑:姚树峰)

Study for the Dynamic Performance Test of Voltage Adjustor Based on a Simulator for DC Generating System

LIU Yong-zhi, YANG Dong-chao, LI Xiao-yong

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, Shaanxi, China)

Abstract: In order to test the dynamic performance of voltage adjustor under the environment of disengaging generator drag test - bed, this paper designs a simulator based on magnetic amplifier, which, in combination with automatic test technology of computer, can achieve the purpose in testing the dynamic performance of voltage adjustor under the environment of disengaging generator drag test - bed. It is demonstrated by trial result that this method achieved the purpose, and the feasibility of this scheme is verified.

Key words: simulate; generating system; voltage adjustor; dynamic performance; testing