

基于遗传算法的常规弹道导弹火力分配^{*}

高桂清, 向进, 董承博

(第二炮兵工程学院, 西安 710025)

摘要: 弹道导弹武器系统是一个非常复杂的系统, 在对打击目标进行火力分配时, 需要综合考虑武器性能和目标特性等因素, 使得打击效果最佳。根据地地导弹武器系统特点建立了火力分配模型, 并运用遗传算法进行了求解计算。仿真计算结果表明, 该算法能较快地收敛到最优解, 且更加节约计算机资源。

关键词: 火力分配; 遗传算法; 弹道导弹

中图分类号: T811

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)11-0009-03

常规弹道导弹打击目标射程远、精度高、威力大, 已经成了现代战争中的远程精确打击的主战武器。特别是近些年来, 随着导弹武器技术的发展, 导弹的类型越来越多样, 射程、精度、战斗部的类型都有了很大的增加, 在未来高技术局部战争中发挥着“杀手锏”作用。另一方面, 导弹武器本身造价高昂, 而且数量有限, 因此在对打击目标进行火力分配时, 需要综合考虑各个因素, 使得打击效果最佳。这就存在一个火力最优分配的问题, 所谓导弹的火力分配是指对于给定的打击目标和导弹型号、数量, 要确定攻击目标的导弹型号和数量, 使导弹对目标的毁伤效能达成最佳。因此, 导弹的火力分配不仅要确定每种型号导弹的攻击目标, 而且还要确定攻击给定目标的导弹枚数。火力分配模型一般为整数规划问题, 在导弹类型和目标个数比较少时, 可以用枚举法、0-1整数规划法等方法, 得到满意解, 但是, 当问题规模较大, 上述方法的计算量就会很大, 实现起来将很困难。但遗传算法因其独特的优点为解决此类问题提供了一个有效的途径。

1 火力分配模型

常规弹道导弹突击目标火力最优分配问题有3个基本要素: 火力单位特性, 主要有型号、数量、位置, 对各种目标的毁伤效能以及可用弹药量等; 目标单位特性, 主要有目标类别、数量、位置、价值、威胁程度、易损性等; 最优准则, 主要有对目标的毁伤程度(或毁伤目标数)要大, 所用的火力单位数目和弹药消耗要小等。这些要素的不同组合, 构成了多种多样复杂的火力最优分配问题。本研究是对上述各种要素进行合理抽象后建立其模型^[1]。

设有 m 种类型的导弹, 用来打击 n 个目标。第 i 种导弹的数量为 m_i ($i = 1, 2, \dots, m$) 个, 导弹的总数量为 sum 。用 v_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 表示第 j 个目标的价值(即权值)。这里的目标价值实际上是目标重要程度的一种量度, 取决于目标的价值系数、威胁程度等因素, 可以通过专家打分法、模糊评判法、层次分析法或其它方法确定。

目标易损性系数为:

$$e_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

它表示第 i 种类型的导弹对第 j 个目标的单位毁伤概率。

导弹武器的火力分配可用矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$ 来描述, 其中: x_{ij} 表示用于第 j 目标的第 i 种类型的导弹武器的数量。

最优分配对目标的毁伤效能指标应该达到最大, 即: 其目标函数值应该最大。该毁伤效能指标以毁伤目标数的数学期望为基础。通常, 用一定数量的第 i 种导弹武器毁伤第 j 个目标的概率可表示为:

$$p_{ij} = 1 - (1 - e_{ij})^{x_{ij}} \quad (1)$$

因而, 所有 m 类导弹武器对目标 j 的毁伤概率 p_j 为: $p_j =$

$$1 - \prod_{i=1}^m (1 - e_{ij})^{x_{ij}}. \text{ 毁伤目标数的数学期望 } M \text{ 为:}$$

$$M = \sum_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^m (1 - e_{ij})^{x_{ij}}] \quad (2)$$

所以, 最优化的目标函数为:

$$\max F = \sum_{j=1}^n v_j [1 - \prod_{i=1}^m (1 - e_{ij})^{x_{ij}}] \quad (3)$$

同时, 还应该满足下列约束条件

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = m_i, & i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} \geq 0, & i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4)$$

* 收稿日期: 2009-09-05

作者简介: 高桂清(1969—), 男, 湖南常德人, 教授, 主要从事导弹作战指挥运筹研究。

2 遗传算法^[2-6]

2.1 编码方案

遗传算法对于具体的问题,需采用具体的编码方式.对于本文所论述的问题,采用了十进制编码.编码长度 L_c 由导弹的类型的种类 m 和目标的数量 n 确定,其值为:
$$L_c = m \times n.$$
 编码的形式为:

$$X = (x_{1,1}, \dots, x_{1,n}, x_{2,1}, \dots, x_{2,n}, \dots, x_{m,1}, \dots, x_{m,n})$$

即个体 X 也可以表示为:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_{m \times n}).$$

2.2 初始种群的产生

初始种群中的个体是随机产生的,并且每个个体都满足约束条件.产生过程如下:将第 i 种类型的导弹的每一枚随机的分给每个目标,直至该类型的导弹分配完为止.

用此方法所产生的解均满足条件:
$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = m_i,$$
 故均为可行解.

2.3 适应值的计算

个体的适应值就是目标函数的值,其值可由式(3)计算得出.

2.4 选择算子

选择即从当前群体中选择适应值高的个体以生成交配池(mating pool)的过程.本文中采用适应值比例选择,并采用精英保留策略.适应值比例选择是最基本的选择方法,其中每个个体被选择的期望数量与其适应值和群体平均适应值的比例有关,通常采用轮盘赌(roulette wheel)方式实现.精英保留策略是群体收敛到优化问题最优解的一种基本保障.如果下一代群体的最佳个体适应值小于当前群体最佳个体的适应值,则将当前群体最佳个体直接替代下一代群体中最差的个体.选择过程体现了生物进化过程中“适者生存,优胜劣汰”的思想,保证了优良基因遗传给下一代个体.

2.5 交叉算子^[7-9]

交叉操作是进化算法中遗传算法具备的原始性的独有特征.GA交叉算子是模仿自然界有性繁殖的基因重组过程,其作用在于将原有的优良基因遗传给下一代个体,并且生成包含更复杂基因结构的新个体.交叉操作一般分为以下几个步骤:

- 1) 从交配池中随机的取出要交配的一对个体;
- 2) 根据位串长度 L_c ,对要交配的一对个体,随机选取 $[0, L_c - 1]$ 中一个或多个基因位作为交叉位置.
- 3) 根据交叉概率 p_c ($0 < p_c < 1$) 实施交叉操作,配对的个体在交叉位置处,相互交换各自的部分内容,从而形成一对新的个体.

本文中所论述的问题,采用 n 点交叉,保证进行交叉

操作后形成的新个体仍为可行解.如,父代个体 1 为:

$$X_1 = (x_{1,1}^1, \dots, x_{1,n}^1, x_{2,1}^1, \dots, x_{2,n}^1, \dots, x_{m,1}^1, \dots, x_{m,n}^1);$$

父代个体 2 为:

$$X_2 = (x_{1,1}^2, \dots, x_{1,n}^2, x_{2,1}^2, \dots, x_{2,n}^2, \dots, x_{m,1}^2, \dots, x_{m,n}^2),$$

在 $[1, m]$ 区间上生成均匀分布的整数 i ,将两个父代第 $i \times n + 1$ 位至第 $(i + 1) \times n$ 位进行交换,可以得到 2 个子代.

子代个体 1 为:

$$X_1 = (x_{1,1}^1, \dots, x_{1,n}^1, x_{i,1}^2, \dots, x_{i,n}^2, \dots, x_{m,1}^1, \dots, x_{m,n}^1);$$

子代个体 2 为:

$$X_2 = (x_{1,1}^2, \dots, x_{1,n}^2, x_{i,1}^1, \dots, x_{i,n}^1, \dots, x_{m,1}^2, \dots, x_{m,n}^2).$$

2.6 变异算子

变异操作模拟自然界生物体进化中染色体上某位基因发生的突变现象,从而改变染色体的结构和物理性状.发生突变的基因位 i 随机产生,并且在同一段内的其后面的基因位 $i + 1$ 也相应发生变异.若 i 为该段最后一位,则其前面的基因位 $i - 1$ 相应发生变异.

2.7 终止

遗传算法的终止,一般采用设定最大代数 T 的方法,若达到最大代数 T ,则输出结果. T 一般取 100 次至 1 000 次.

3 算例与结果分析

假定使用 2 种不同型号的弹道导弹,对 4 个目标进行打击.其中第 1 种导弹的数量为 16 枚,第 2 种导弹的数量为 12 枚,4 个目标的综合价值指标经评价计算的结果为:
$$v_1 = 0.3, v_2 = 0.2, v_3 = 0.1, v_4 = 0.4.$$
 求最优分配方案,使导弹对目标的综合毁伤指标最大.

3.1 计算的初始条件

由算例可得, $m = 2, m_1 = 16, m_2 = 12, n = 4, j = \{0.3, 0.2, 0.1, 0.4\}$. 目标的综合价值指标及导弹对目标的毁伤概率见表 1.

表 1 目标的重要程度及导弹对目标的毁伤概率

目标编号	1	2	3	4		
重要程度	0.3	0.2	0.1	0.4		
毁伤概率	导弹	1	0.4	0.2	0.5	0.1
率 e_{ij}	类型	2	0.3	0.2	0.5	0.2

目标函数为:

$$\max F = \sum_{j=1}^4 j \prod_{i=1}^2 (1 - e_{ij})^{x_{ij}} = 1 - 0.3 \times 0.6^{x_{1,1}} \times 0.7^{x_{2,1}} - 0.2 \times 0.8^{x_{1,2}} \times 0.8^{x_{2,2}} - 0.1 \times 0.5^{x_{1,3}} \times 0.5^{x_{2,3}} - 0.4 \times 0.9^{x_{1,4}} \times 0.8^{x_{2,4}} \quad (5)$$

同时还应满足约束条件:

$$\begin{cases} x_{1j} = 16 \\ x_{2j} = 12 \\ x_{ij} = 0, (i = 1, 2; j = 1, 2, 4) \end{cases} \quad (6)$$

3.2 初始种群的产生

随机生成初始种群,其编码方式为:

$$X = (x_{1,1}, \dots, x_{1,n}, x_{i,1}, \dots, x_{i,n}, \dots, x_{m,1}, \dots, x_{m,n}).$$

初始种群的规模 pop 为: $pop = Lc \times 4$.

3.3 适应度计算

根据式(5)可计算出各个个体的目标函数值,即其适应值.

3.4 遗传参数的选择

遗传参数可以根据所获得的经验确定.本算例的遗传参数为:

交叉概率 $p_c = 0.8$; 变异概率 $p_m = 0.05$; 群体规模 $pop = Lc \times 4 = 32$; 最大迭代次数 $T = 100$.

3.5 计算结果分析

利用 VC++ 编程,得到该算例的计算结果如下:

表2 程序运行结果

迭代次数	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	$\max F$
1	6	6	2	2	0	3	1	8	0.892 30
2	6	6	3	1	0	2	1	9	0.897 88
3	6	6	4	0	1	1	0	10	0.899 06
4	6	6	3	1	0	1	1	10	0.899 15
5	6	8	2	0	0	1	1	10	0.903 71
...	6	8	2	0	0	1	1	10	0.903 71
100	6	8	2	0	0	1	1	10	0.903 71

由表2可知,第5代得到最优解: $X = \{6, 8, 2, 0, 0, 1, 1, 10\}$, 最优目标函数为: $\max F = 0.903 71$. 经过多次运行,本程序运行稳定,得到最优解的平均代数均在8代以内.

4 结束语

导弹武器火力分配是现代作战部署中极为重要的一环.本研究在建立了导弹武器火力分配模型的基础上,对遗传算法在火力分配中的应用进行了研究.计算结果表明,遗传算法是一种快捷、简便、容错性强的算法,而且它的应用范围比较广泛^[4].只需确定目标函数、编码方案,选择较合适的遗传算子,就可算得较优解.与传统的解析法、枚举法和随机搜索法相比,遗传算法计算更加简单,所得到的解都是可行解,避免了大量不可行解的产生,节约了计算机资源,对于解决作战运筹领域的类似问题提供了一种新思路,具有一定的实用价值.

参考文献:

[1] 毕义明,高桂清.第二炮兵运筹学[M].北京:军事科

学出版社,2005.

- [2] 冯杰.遗传算法及其在导弹火力分配上的应用[J].火力与指挥控制,2004,29(2):43-45.
- [3] 贺新峰,原清,陈昊明.改进的遗传算法在导弹火力分配中的应用[J].火力与指挥控制,2007,32(3):68-71.
- [4] 张红文,陈智江,郝林.基于自适应遗传算法的导弹火力优化分配[J].战术导弹技术,2007(4):28-30.
- [5] 杨懿,武昌,刘涵.改进型粒子群算法在导弹火力分配中的应用[J].火力与指挥控制,2007,32(1):34-36.
- [6] 李敏强,寇纪淞,林丹,等.遗传算法的基本理论与应用[M].北京:科学出版社,2004.
- [7] 钟晓声,李应歧.一种基于遗传算法的防空导弹火力分配优化方法[J].四川兵工学报,2009(7):20-23.
- [8] 徐志伟,张耀坤,张勇.一种基于遗传算法的防空火力分配方案[J].兵工自动化,2009(2):25-26.
- [9] 曹伟华,焦红革,魏建辉.遗传算法在武器目标分配中的应用[J].四川兵工学报,2008(5):118-121.