

基于改进单亲 GA 的多波次攻击最优火力分配

汪民乐, 房茂燕

(第二炮兵工程学院, 西安 710025)



摘 要: 多波次攻击是现代空袭中的重要作战模式, 而多波次对地攻击的火力分配问题属于有序组合优化问题, 至今尚无有效算法。针对一类多波次对地攻击火力分配问题提出了一种改进单亲遗传算法, 该算法不采用交叉算子, 而代之以换位算子, 但保持了交叉算子的进化功能。通过对仿真实例的分析表明, 该算法与标准遗传算法相比更加有效和简便。

关键词: 对地攻击; 火力分配; 单亲遗传算法; 组合优化; 遗传算子

中图分类号: TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-731X (2009) 23-7697-03

Allocation of Firepower for Multiple Waves Air-to-Land Attack
Based on Advanced One-Parent GA

WANG Min-le, FANG Mao-yan

(The Secondary Artillery Engineer Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract: Multiple waves attack is an important fighting pattern of air-to-land attack, and the allocation problem of the firepower for multiple waves air-to-land attack belongs to the Combinatorial Optimization. There is no efficient algorithm to solve the problem until now. An advanced GA, One-parent GA was proposed, to solve one kind of allocation problem of the firepower for multiple waves air-to-land attack. In the one-parent GA, the Transposition operator replaced the Crossover operator, but the evolutionary function of Crossover operator was kept. The results of simulation experiments show that the One-parent GA is more efficient and concise than standard GA.

Key words: Air-to-Land Attack; firepower allocation; One-parent GA; Combinatorial Optimization; genetic operator

引 言

分波次攻击是现代空袭中的重要作战模式, 无论是海湾战争、随后的“沙漠之狐”(Desert Fox)行动还是近期发生的伊拉克战争都提供了大量的战例。之所以采用多波次攻击方式, 是由其在多种情形下的必要性和有效性决定的, 如下列情况: 保持可用状态的飞机数量有限或是为了增加隐身效果, 提高突防能力而限制每次出动的飞机数; 目标坚固以至于单波次不能确保摧毁; 作战飞机的携弹量有限以及单枚空——地导弹、空射巡航导弹或制导炸弹(以下统称为导弹)的威力有限; 采用“边打边看”(射击效果检查)策略时; 需要长时间袭扰对方, 以造成广泛的心理影响, 并阻滞对方的战争行动。多波次对地攻击火力分配问题属于有序组合优化问题, 通常采用的方法是整数规划, 但整数规划已被归于 NP-hard 类问题, 至今尚无有效的求解方法。遗传算法是一种仿生类寻优算法, 具有全局最优性和高度的鲁棒性, 且不依赖于问题本身, 不要求目标函数连续、可导, 甚至不要求有明确的目标函数表达式, 几乎适合任何优化问题。但对于有序组合问题, 遗传算法的交叉算子在操作上很不方便, 在

此利用一种新的遗传算法——单亲遗传算法实现多波次对地攻击的最优火力分配, 并对单亲遗传算法做出改进。

1 多波次攻击最优火力分配的改进单亲遗传算法

本文研究这样一类多波次攻击问题: 对于单个目标实施多波次攻击, 波次数 k 已知, 每一波次最大投射量不超过某一定值 m , 各个波次之间相互独立, 每一波次所有导弹采用齐射方式。现代轰炸机由于弹舱的扩大以及外挂点的增多, 携弹量大为增加, 使齐射成为可能。设整个射击所用的总弹数为 N , 第 i 枚导弹的威力(以当量表示)及精度(以 cep 表示)分别为 T_i 、 r_i ($i=1, 2, \dots, N$), 试决定 N 枚导弹对各波次的分配以使总的毁伤效果最优。

对该问题采用单亲遗传算法进行优化。与传统的遗传算法相比, 单亲遗传算法具有许多优点, 如: 所有遗传操作均在同一条染色体上进行, 不采用传统遗传算法的交叉算子, 代之以移位、换位算子, 因而更适合于有序组合优化问题; 不要求初始种群的多样性, 不存在早熟问题; 遗传操作更简单。将单亲遗传算法应用于多波次攻击火力问题须根据问题特点, 对单亲遗传算法做出改进。

1.1 编码方案

对于多波次攻击这样的有序组合问题, 采用自然数直接编码是比较方便的, 首先对全部 N 枚导弹进行编号, 分别

收稿日期: 2008-07-01

修回日期: 2008-09-12

作者简介: 汪民乐(1964-), 男, 安徽枞阳人, 博士, 教授, 研究方向为导弹作战建模与仿真; 房茂燕(1979-), 男, 山东汶上人, 硕士, 讲师, 研究方向: 导弹作战建模与仿真。

标识为 $1, 2, \dots, N$ 。根据条件, 每波次用弹量最大为 m , 与之对应设置 m 个基因位构成一个基因串, 由于波次数为 k , 这样整个染色体需由 km 个基因构成。若第 j 个基因串中某个基因位码为 $i (1 \leq i \leq N, \text{且为整数})$ 则表示第 i 发弹分配于第 j 波次, 特别地, 码值为 0 的基因位表示不分配导弹。一个染色体事例如图 1 所示。

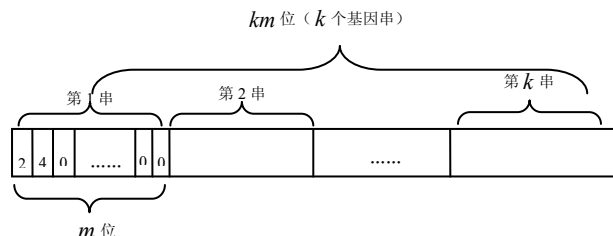


图 1 染色体示例

由图 1 的第一个基因串看出, 编号为 2、4 的导弹被分配在第一波次。必须指出的是, 由于同波次导弹采用齐射方式, 因此, 同一基因串内各基因的排列没有实际意义。

1.2 适应度函数

选择合适的指标函数度量整个射击的毁伤效果, 将此指标函数定义为个体的适应度函数。

对目标的毁伤分析一般在两种情形下进行。第一种情形, 不考虑毁伤程度的差异, 各种程度的毁伤均视为同一的击毁状态, 射击效果与波次排序无关, 此时可用击毁概率作为适应度。第二种情形, 考虑毁伤程度的差异, 即认为射击结果可能使目标处于不同会上状态, 此时射击效果与波次顺序有关。在此仅考虑第一种情形, 以下是该情形下适应度计算的具体描述。

设第 i 波次投射的导弹共 n_i 发, 此 n_i 枚导弹重新编号为 i_1, i_2, \dots, i_{n_i} 。

对第一种情形, 第 i 波次射击击毁目标的概率不仅与该波次发射弹数有关, 还与各弹之间精度、威力有关, 可表示为:

$$P_i(n_i; T_{i_1}, T_{i_2}, \dots, T_{i_{n_i}}; r_{i_1}, r_{i_2}, \dots, r_{i_{n_i}})$$

为描述方便, 忽略各弹威力、精度的差异, 此时, 某一波次击毁目标的概率可以表示为该波次发射弹数的函数, 并且在不考虑毁伤积累的条件下, 各个波次击毁概率的表达式是相同的, 第 i 波次的击毁概率可以表示为 $P_i(n_i)$, 由于各波次相互独立, 则整个射击过程击毁目标概率为:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^k [1 - P_i(n_i)] \quad (1)$$

以此作为个体的适应度值。关于 $P_i(n_i)$ 的具体值, 可由全概率公式计算得到:

$$P_i(n_i) = \sum_{r=1}^{n_i} P_{n_i, r} G(r) \quad (2)$$

式中 $P_{n_i, r}$ 为 n_i 枚中命中 r 枚的概率, $G(r)$ 为齐射命中 r 枚的条件毁伤率, 须由试验统计得到。 $P_{n_i, r}$ 的计算方法如下:

当同波次内各弹射击相互独立 (如各弹由不同平台同时发射) 时:

$$P_{n_i, r} = C_{n_i}^r P_{m_i}^r (1 - P_{m_i})^{n_i - r}$$

式中 P_{m_i} 为第 i 波次各弹的命中概率。

当同波次内各弹射击相关时:

$$P_{n_i, r} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} C_{n_i}^r [P_{n(i)}(x_g, y_g)]^r \cdot [1 - P_{n(i)}(x_g, y_g)]^{n_i - r} \phi(x_g, y_g) dx_g dy_g \quad (3)$$

式中 $P_{n(i)}(x_g, y_g)$ 为第 i 波次内各弹在固定的集体误差 (x_g, y_g) 下的命中概率, $\phi(x_g, y_g)$ 为集体误差的分布密度函数。

1.3 选择算子

采用基于适应度函数的赌轮选择算子, 但同时进行优良个体保护, 以保证单亲遗传算法的全局收敛性。

由于根据(1)式计算出的个体适应度为概率值, 相互之间差异不大, 在采用赌轮选择时, 优秀个体的优势不明显, 种群进化很慢, 这样将导致遗传算法的搜索过程出现所谓“漫游”(roam)现象, 因此, 应对适应度作变换, 在此采用如下的模拟退火拉伸方法^[4]。

$$f_j = e^{f_j/T}, \quad T = T_0(0.99^{g-1}) \quad (4)$$

式中 f_j 为由(1)算出的适应度, f_j 为拉伸后第 j 个个体的适应度, g 为遗传代数, T 为温度, T_0 为初始温度。由(4)可知, 拉伸作用随遗传代数而加强, 正好满足遗传算法的需要, 因为越到遗传算法后期, 适应度越趋于一致, 就越需要通过适应度更换保持优秀个体的优势。

经过适应度变换后, 第 j 个个体的选择概率为:

$$P_{sj} = \frac{f_j}{\sum_{i=1}^M f_i} \quad (5)$$

(注: 适应度比例变换尚可采用指数方法: $f_j = \exp(-\beta f_j)$, 其中取 $\beta = -0.5$)

1.4 换位算子

1.4.1 基因换位算子

在一条染色体上进行换位操作, 而这种换位隐含了在两条染色体上进行的交叉操作的进化功能, 这正是单亲遗传算法的特点之一。

对本问题而言, 换位只能发生于不同基因串之间, 因为相同基因串内的基因换位不产生进化作用, 其对应的物理意义是: 同波次内导弹采用齐射方式, 不存在设计顺序 (即一个波次的毁伤效果与射击顺序无关)。

在每一代中, 以一定的换位算子执行概率 p_c 对每一个体作用换位操作, 执行流程如下:

- (1) 随机选择两个基因串。
- (2) 在两个基因串中, 各随机选择一个基因。
- (3) 若在(2)中选出的两个基因位码值不全为 0, 则直接进行换位; 若选出的两个基因位码值均为 0, 则在其中任一个基因串中任选一个码值非 0 的基因, 再进行换位操作。

1.4.2 基因串换位算子

当射击效果与攻击波次顺序有关时（即多毁伤状态情形），需要引入一个新的换位算子：基因串换位算子，以随机地对某两个基因串进行换位，其物理意义是两个波次交换攻击顺序。

采用基因串换位算子是为了加速单亲遗传算法的收敛速度。

事实上，基因换位算子可以实现基因串换位算子的功能，但遗传操作的次数要多得多。

2 单亲遗传算法流程

在对单亲遗传算法做出以上改进后，提出算法执行流程如下：

- (1) 随机生成 M 个个体构成初始种群。
- (2) 计算每一个体的适应度。
- (3) 对当前群体作用选择算子，选择出 M 个个体，构成繁殖下一代的中间群体。
- (4) 以一定的换位算子执行概率 p_c 作用于每一个体，进行遗传操作，得到新一代种群。
- (5) 若以达到设定的遗传代数 g ，则输出当前最优解，终止进化；否则转(2)。

3 算例及分析

3.1 算例

假设利用常规导弹打击敌方机场跑道，各波次相互独立，导弹对目标的毁伤概率以导弹对机场跑道的毁伤面积与机场跑道面积的比值来度量，同波次内各弹射击相互独立，假设导弹的命中概率为 0.8，单发导弹对目标的毁伤概率为 0.01，利用 200 枚导弹分 5 个波次对目标进行打击，每个波次的导弹数量不超过 60 枚，利用标准遗传算法，种群的规模为 50，交叉概率为 0.6，进化 50 代，进行 50 次运算，这 50 次的运行结果分布如表 1：

表 1 常规遗传算法的求解结果	
最佳适应度区间	对应的运行次数
0.86-1 (含 0.86)	3
0.85-0.86 (含 0.85)	3
0.84-0.85 (含 0.84)	17
0.83-.084 (含 0.83)	10
0.82-0.83 (含 0.82)	13
0.81-0.82 (含 0.81)	3
0.80-0.81 (含 0.80)	1
最大值	0.8657 (1 个)
最小值	0.8073

其中，最优毁伤效果对应的分配方案如表 2。

在利用单亲遗传算法计算的过程中，将优良解传给下一代的比例为 0.1，换位操作执行概率为 0.5，其他参数不变，得到的 50 次运行结果分布如表 3。

其中，最优毁伤效果对应的分配方案如表 4。

表 2 最佳毁伤效果对应的分配方案

方案序号	第一波次	第二波次	第三波次	第四波次	第五波次
1	37	36	43	34	50
2	38	37	42	37	46
3	40	34	44	36	46
4	40	35	39	40	46
5	40	39	40	36	45

表 3 单亲遗传算法求解的结果

最佳适应度区间	对应的运行次数
0.87-1 (含 0.87)	6
0.86-0.87 (含 0.86)	10
0.85-0.86 (含 0.85)	16
0.84-.085 (含 0.84)	16
0.83-0.84 (含 0.82)	2
最大值	0.8761 (4 个)
最小值	0.8359

表 4 最佳毁伤效果对应的分配方案

方案序号	第一波次	第二波次	第三波次	第四波次	第五波次
1	36	40	38	34	52
2	36	40	37	35	52
3	37	40	36	41	46
4	37	41	35	41	46
5	35	37	39	43	46
6	36	40	36	42	46
7	38	39	38	33	52

3.2 算例分析

对于两种算法，从以上结果可以看出：

(1) 在优化的质量方面，单亲遗传算法大大优于标准遗传算法：标准遗传算法得到的最好打击效果为 0.8657，而且在 50 次中只有 1 个最优解，50 次的运算结果大都集中在 0.82-0.85 之间，而单亲遗传算法的最好打击效果为 0.8761，50 次中有 4 个最优解，优于标准遗传算法，而且 50 次的运算结果大都集中在 0.84-0.87 之间。

(2) 在算法的收敛性方面：图 2 列出了两种遗传算法的一次运行结果：

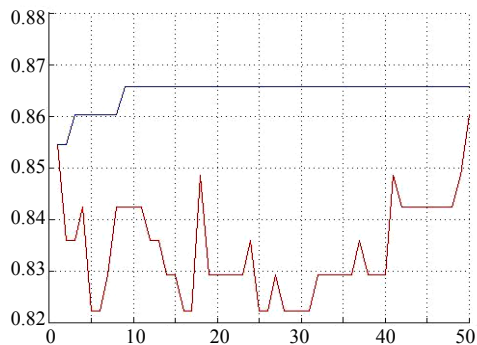


图 2 两种遗传算法每代最佳适应度曲线

下方折线为标准遗传算法一次 50 代进化过程中，每代最佳适应度对应的曲线；上方折线为单亲遗传算法一次进化 50 代，每代最佳适应度对应的曲线。由图 2 可以看出：标准遗传算法容易出现“震荡现象”，而单亲遗传算法通过采取

(下转第 7702 页)

4 仿真一强有力的动态试验手段

仿真学科中的半实物仿真实验系统,是一种特殊的基于模型的实验方法。其特点是建立产品的实际工作环境模型,如:各种传感器工作所需要的电磁环境、运动环境、光学环境等等,让产品实物沉浸在其实际工作时所处的环境中,从而可更真实地考察产品在未来实际工作状态时的性能,并具有周期短、费用低的特点,表现出独特的优势。

我国各高等院校、科研院所建立了一大批高水平的仿真实验室,其中不少为国家(或省部级)重点实验室,如:航天二院的北京仿真中心、航天 502 所的北京卫星仿真中心、北京航空航天大学虚拟现实技术实验室、清华大学、中科院生态环境研究中心、北京大学、北京师范大学共建的模拟与污染控制联合实验室、大连海事大学的航海动态仿真与控制实验室和上海海事大学的航运仿真中心、中国电力科学院的国家电网仿真中心等等。它们服务于航空航天、环境污染治理、海运、水产、国家大规模电网安全运行等国民经济各个领域。

(上接第 7699 页)

选择一定比例的优良个体进入下一代而避免了这种现象。而且单亲遗传算法的收敛速度也远远快于标准遗传算法。

4 结论

本文提出的求解多波次对地攻击问题的改进单亲遗传算法,通过实例计算进行了验证。计算表明该算法除像传统遗传算法收敛速度快,能够获得全局最优解的优点外,比传统遗传算法更为简便、有效,且避免了早熟问题。与整数规划方法相比,其优势更为明显,因为对多波次对地攻击这样的 NP-complete 问题,用整数规划求解的可能性至今尚未得到证明;此外,即使能够用整数规划求解,当问题规模较大(波次多,弹数多)时,计算量将是指数增长,从而耗费大量计算资源。此外,在各攻击波次之间相关时,情形比较复杂,主要表现在适应度计算困难,对此须作进一步研究。但一般情况下,攻击波次之间相互独立的假设是成立的,因为波次之间有一定时间间隔,且每一波次射击均须重新瞄准。

综上所述,仿真一方面为多学科耦合的复杂系统提供了理解、认识和设计系统的强有力的工具,另一方面为各应用领域提供了一个可控、可重复的多学科模型的集成实验、实物(或模型与实物混合)动态试验的环境。

它将系统模型与动态实验紧密结合的方法为复杂系统的设计问题提出了有效的解决方案。随着仿真学科主动与计算机及数据处理、图形图像等相关学科飞速发展的新技术相结合,激发出仿真技术新的飞跃,仿真学科与应用领域的紧密结合,使得仿真正在从实验室走向国民经济的主战场,成为各行各业竞相应用的有力工具。可以预见,在不久的将来,仿真学科必将为科技进步和国民经济的发展做出令人瞩目的贡献。

参考文献:

- [1] 刘藻珍,魏华梁. 系统仿真[M]. 北京:北京理工大学出版社,1998.
- [2] 刘藻珍. 仿真学科的研究[J]. 科技导报,2007,25(2): 14-21.
- [3] 李伯虎,柴旭东,熊光楞,等. 复杂产品虚拟样机工程的研究与初步实践[J]. 系统仿真学报,2002,14(3): 336-341.

参考文献:

- [1] Goldberg D E. Genetic Algorithms in search, optimization and Machine Learning [M]. USA: Addison Wesley Publishing Company, 1989.
- [2] 李茂军,童调生. 单亲遗传算法及其应用[J]. 湖南大学学报,1998,25(6): 56-59.
- [3] 李茂军,樊韶胜,童调生. 单亲遗传算法在模式聚类中的应用[J]. 模式识别与人工智能,1999,12(1): 32-37.
- [4] Srinivas M, Paznaikl M. Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms [J]. IEEE Trans on Syst man Cybernetics (S0018-946429), 1994, 24(4): 656-667.
- [5] 欧阳森,王建华,耿英兰,等. 一种新的改进遗传算法[J]. 计算机工程与应用,2003,(11): 13-15.
- [6] 袁礼海,宋建设,毕义明,等. 混合遗传算法与标准遗传算法比较研究[J]. 计算机工程与应用,2003,(12): 124-125.
- [7] 杨丽娜,刘刚,王秋生. 一种改进的遗传算法及其应用[J]. 郑州大学学报,2005,(9): 98-101.
- [8] 张明威,高扬,周伟贵. 基于双种群演化的遗传算法研究[J]. 计算机时代,2006,(5): 3-4.
- [9] 余新宇. 并行遗传算法的研究[J]. 电脑知识与技术,2006,(23).

《湖北航天科技》是中国航天科工集团所属中国三江航天集团和湖北省宇航学会联合创办的省级综合性双月刊。本刊宗旨是为国防现代化建设服务,为导弹武器系统的研制与生产服务,为军品研制、民品开发提供科技情报,广泛传播国内外航天科技知识与信息,交流科技成果,活跃学术气氛,启迪广大科技工作者的思路,为我国的现代化建设做出应有的贡献。本刊登载的主要内容有国内外战术导弹武器系统研制、生产、质量管理等方面的论文;推进与燃料、导航与制导、战斗部与引信、结构与强度、地面设备与发射装置等方面的研究报告;世界航天高技术发展动向与趋势;航天工业新技术、新工艺、新材料和新产品介绍;军工技术转民用以及各国导弹武器系统研制、生产、军贸动态等。《湖北航天科技》登记号为鄂内资准印证第 2063/ZY 号。1985 年创刊,双月刊,16 开本,49 页码,期定价 4 元,年定价 24 元,逢双月 20 日出刊。投稿及交换刊物联系方式的通讯地址:武汉市常青路 45 号《湖北航天科技》编辑部(430023)。电话:027-83562129;邮箱:hbhtkj@sohu.com。

《江南航天科技》由中国航天科工集团所属中国江南航天工业集团公司主办,1975 年创刊,季刊,系内部刊物。贵州内部报刊准印证号:第 07-KO78 号。投稿与交换刊物,请与贵州省遵义市北京路 36 号(563003)联系,电话:(0852) 8611282。