

考虑发射区部分重叠的防空作战目标分配

刘旭¹, 李为民², 宋文静¹

(1. 空军工程大学防空反导学院, 陕西西安, 710051; 2. 空军工程大学训练部, 陕西西安, 710051)

摘要 为了研究多个地空导弹武器系统对多个来袭目标防空作战目标分配问题, 考虑了部署中存在的发射区部分重叠问题, 通过分析来袭目标群在飞越发射区时, 不同发射区对不同目标覆盖状态的变化, 将整个目标分配区间分为若干个分配子区间, 通过比较拦截方在各个分配子区间所能获得的最大毁伤效果值, 得出最佳分配子区间及其对应的分配方案。设计了基于捕食搜索策略的遗传算法(PSGA), 并经过示例仿真, 验证了模型和算法的可行性。

关键词 防空作战; 目标分配; 发射区; 部分重叠; PSGA

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2013.06.008

中图分类号 TJ762.3 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2013)06-0030-04

Target Assignment of Air Defense Combat in Overlapping Shooting-Area

LIU Xu¹, LI Wei-min², SONG Wen-jing¹

(1. Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China;

2. Department of Training, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)

Abstract: In order to study target assignment problems of multi-ground-to-air-missile-weapon-system to multi-aggressive-target, the factor of overlapping shooting-area is considered, wreathe status's changes of different shooting-areas to different aggressive targets are analyzed, and the target assignment progress is also fractionized. The best assignment method is found out through shooting-value's comparison between sub-zones. On the basis of the above, a genetic algorithm based on predatory search strategy (PSGA) is designed. The simulation results shows that the model and the algorithm are feasible.

Key words: air defense; target assignment; shooting-area; overlapping; PSGA

现代防空战争中, 一般有多个型号(每个型号有多个目标通道)地空导弹武器系统联合抗击多个来袭目标, 作战过程中的武器-目标分配(Weapon-Target Assignment, WTA)是影响作战效果的关键因素。针对 WTA 问题, 文献[1~2]对单型号多目标通道武器防空作战 WTA 问题做了研究, 研究对象已不合时宜, 文献[3~5]对多型号多目标通道武器防空作战 WTA 问题做了研究, 但前提是假设发射区完全重叠。而在现代防空作战中, 多个型号地空导弹武器构成的发射区通常只有部分重叠, 这些

重叠的区域取决于武器的部署位置以及各个发射区的大小形状。

在 WTA 求解方法上, 近年来诸多学者将遗传算法(Genetic Algorithm, GA)、禁忌搜索算法(Tabu Search, TS)、微粒群算法(Particle Swarm Optimization, PSO)、蚁群算法用于该问题的求解。遗传算法存在早熟“收敛”和局部寻优能力差的缺点; PSO 算法有操作简单易实现的优点, 但是算法运行到后期时收敛速度较慢, 求解精度不高; TS 算法收敛速度快, 但收敛结果受初始解影响较大, 如果初始

收稿日期: 2012-11-23

基金项目: 国防科技重点实验室基金资助项目

作者简介: 刘旭(1987-), 男, 湖南湘潭人, 博士生, 主要从事防空作战建模与仿真研究。

E-mail: liuxu193@126.com

解选取不好,极易陷入局部最优^[6-8]。考虑上述算法的不足,本文选择了基于捕食搜索策略的遗传算法(Predatory Search Genetic Algorithm, PSGA),能较好地平衡算法中对最优解的全局搜索能力和局部搜索能力^[9]。

1 考虑发射区部分重叠目标分配模型

1.1 问题的提出

有 θ 个不同型号的地空导弹武器系统相邻部署,每个武器系统的部署位置和发射区大小各不相同,发射区之间存在重叠,将单个型号武器系统对应的发射区称为子发射区,将所有子发射区构成的区域称为总发射区。第 $h(0 < h < \theta)$ 个型号的地空导弹有 N_h 个目标通道,总共有 $m = \sum_{h=1}^{\theta} N_h$ 个目标通道。有 n 个来袭目标将穿越总发射区对保卫目标进行攻击。在穿越过程中,子发射区对目标的覆盖状态会有变化。那么,在目标穿越发射区的过程中,选择哪种分配策略,在哪个时刻进行发射,才能使拦截方对目标的总体毁伤效果达到最大。

1.2 相关假设

基于现代防空作战实际情况,为了简化问题,便于研究,假设:① 来袭目标飞行航迹固定,不会中途变化;② 当所有目标都进入总发射区时,目标分配开始,当有任意目标飞离总发射区时,目标分配结束,中间的过程称为目标分配区间;③ 每个目标通道只构成一次拦截条件;④ 不同目标通道之间的射击是独立的。

1.3 解决思路

发射区存在重叠现象时,总发射区由非重叠发射区和重叠发射区构成。来袭目标在飞越总发射区的过程中,有的目标从非重叠发射区进入重叠发射区,有的目标从重叠发射区进入非重叠发射区。根据这种发射区与来袭目标之间覆盖状态的变化,将目标分配区间细分为多个分配子区间,每个分配子区间内发射区与目标之间的覆盖状态是不变的。分别计算出每个子区间的最优分配方案及由最优分配方案得到的目标毁伤效果,然后进行比较,得出最大的目标毁伤效果及其对应的子区间和分配方案。

1.4 模型建立

根据假设② 划定分配起始线和分配终止线,确定目标分配区间,根据 1.3 节中的思路将目标分配区间细分为 j 个分配子区间 (S_1, S_2, \dots, S_j) , 其中:

$$S_i = \begin{bmatrix} s_{i1} & \cdots & s_{in} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{im1} & \cdots & s_{imm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, s_{ikl} 为第 i 个分配子区间中,第 $k(1 \leq k \leq m)$ 个目标通道的发射区对第 $l(1 \leq l \leq n)$ 个目标的覆盖状态。 $s_{ikl} = 0$ 为第 i 个分配子区间中,第 k 个目标通道的发射区不覆盖第 l 个目标, $s_{ikl} = 1$ 为第 i 个分配子区间中,第 k 个目标通道发射区覆盖第 l 个目标。

建立目标分配模型为:

$$\begin{aligned} \max Z_i &= \max[\max z_i(\mathbf{W}, \mathbf{U})] = \\ & \max\left\{\max\left[\sum_{l=1}^n p_l \left[1 - \prod_{k=1}^m (1 - s_{ikl} \tau_{kl})^{u_{kl}}\right]\right]\right\} \\ \text{s. t. } & \begin{cases} u_{kl} = \{0, 1\} \\ \sum_{l=1}^n u_{kl} = 1, 0 \leq \sum_{k=1}^m u_{kl} \leq m \end{cases} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\text{式中: } \mathbf{W} = \begin{bmatrix} \tau_{w_{11}} & \cdots & \tau_{w_{1l}} & \cdots & \tau_{w_{1n}} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ \tau_{w_{k1}} & & \tau_{w_{kl}} & & \tau_{w_{kn}} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ \tau_{w_{m1}} & \cdots & \tau_{w_{ml}} & \cdots & \tau_{w_{mm}} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{11} & \cdots & u_{1l} & \cdots & u_{1n} \\ \vdots & \ddots & & & \vdots \\ u_{k1} & & u_{kl} & & u_{kn} \\ \vdots & & & \ddots & \vdots \\ u_{m1} & \cdots & u_{ml} & \cdots & u_{mm} \end{bmatrix};$$

τ_{kl} 为第 k 个目标通道对第 l 个目标的毁伤概率; u_{kl} 为第 k 个目标通道对第 l 个目标的分配数量; $u_{ij} = 0$ 为第 i 个目标通道不分配给第 j 个目标, $u_{ij} = 1$ 为第 i 个目标通道不分配给第 j 个目标; p_l 为第 l 个目标的危险性系数; $z_i(\mathbf{W}, \mathbf{U})$ 为第 i 个分配子区间中,由分配方案 \mathbf{U} 得出的毁伤效果值; Z_i 为第 i 个分配子区间中,由其最优分配方案所得到的毁伤效果值。

2 基于捕食搜索策略的遗传算法

捕食策略在遗传算法上具体体现为,首先以较大的交叉概率 p_{c-GA} 和较小的变异概率 p_{m-GA} 进行全局搜索;一旦发现一个较优解,则改变为以较大的变异概率 p_{m-PSGA} 和较小的交叉概率 p_{c-PSGA} 进行局部搜索;如果在一定次数的搜索过程中较优解得不到改善,则恢复以较大的交叉概率和较小的变异概率进行全局搜索。PSGA 算法的流程如下:

- 1) 规定方案群的规模程度 x , 产生 x 个初始分配方案,并设定迭代次数 n ;
- 2) 计算每个分配方案的毁伤效果值,比较得出最大的效果值以及其对应的分配方案;
- 3) 对方案群进行选择,复制毁伤效果值较高的分配方案,删除毁伤效果值较低的分配方案,种群总

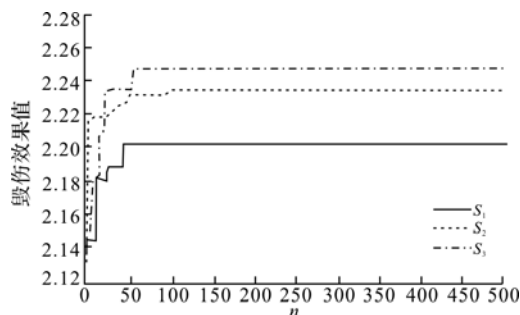


图2 PSGA算法搜索较优解的过程

Fig. 2 The searching process of better solution with PSGA algorithm

分析以上结果,可以得出以下结论:

1)假设指挥员不考虑发射区重叠问题,以相同概率随机在一个分配子区间进行目标分配,则毁伤效果期望值为 $E(z) = (z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5)/5$,而考虑发射区重叠问题的毁伤效果期望值为 $E(z) = \max(z_1, z_2, z_3, z_4, z_5)$ 。很明显, $E(z) \leq E'(z)$,所以,考虑发射区重叠问题的防空作战对来袭目标的总体毁伤效果要优于不考虑发射区重叠问题的防空作战对来袭目标的总体毁伤效果。

2)PSGA算法在迭代100次后3条曲线达到最大值并收敛,说明PSGA算法具有不错的最优解搜寻速度。

4 结语

本文在考虑发射区重叠的情况下,通过建立新的目标分配模型,尝试解决了多个地空导弹武器系统对多个来袭目标作战中的目标分配问题。另外,基于捕食搜索策略对遗传算法进行了改进,改进后的算法在示例仿真部分有良好表现。在以后的研究中,还可以在以下方面深入:①如果目标的飞行轨迹不是固定的,如何进行实时目标分配;②如果发射区纵深满足多次拦截,如何进行目标分配;③如何进行多个地空导弹武器系统部署,才能使得对目标的毁伤概率最大。

参考文献(References):

- [1] 赵晨光,耿奎,李为民,等.防空导弹武器系统目标分配的多种算法[J].现代防御技术,2001,29(3):7-9.
ZHAO Chenguang, GENG Kui, LI Weimin, et al. Algorithms of target allocation in air defense missile system[J]. Modern defence technology, 2001,29(3): 7-9. (in Chinese)
- [2] 郭张龙,李为民,王刚.基于遗传算法的目标分配问题研究[J].现代防御技术,2002,30(6):3-7.
GUO Zhanglong, LI Weimin, WANG Gang. The tar-

get allocation problem based on genetic algorithm[J], Modern defence technology, 2002,30(6):3-7. (in Chinese)

- [3] 杨飞,王青,侯砚泽.基于整数域改进粒子群优化算法的多平台武器目标分配[J].兵工学报,2011,32(7):906-912.
YANG Fei, WANG Qing, HOU Yanze. Weapon-target assignment in multi-launcher system based on improved integer field particle swarm optimization algorithm[J]. Acta armamentarii, 2011,32(7): 906-912. (in Chinese)
- [4] 林锋,卢发兴,孙亚东.基于目标概率威胁值评估的多平台分布式目标分配[J].舰船电子工程,2011,31(7):49-51.
LIN Feng, LU Faxing, SUN Yadong. A method for distributed target allocation between multiple platforms based on targets probabilistic threat estimation[J]. Ship electronic engineering, 2011,31(7):49-51. (in Chinese)
- [5] Ravindra K Ahuja, Arvind Kumar. Exact and heuristic methods for the weapon target assignment problem [J]. MIT sloan working paper, 2003(7): 4464-4467.
- [6] Parsopoulos K E, Vrahatis M N. Particle swarm optimization method in multi-objective problems[C]//Proceedings of the ACM symposium on applied computing. Madrid, Spain: [s. n.],2002: 603-607.
- [7] Coello C A C, Pulido G T, Lechuga M S. Handling multiple objectives with particle swarm optimization [J]. IEEE transactions on evolutionary computation, 2004, 8 (3):256-279.
- [8] Znejung Lee, Shunfeng Su, Chouyuan Lee. A genetic algorithm with domain knowledge for weapon-target assignment problems[J]. Journal of the Chinese institute of engineers, 2002, 22(4): 287-295.
- [9] 王萍萍,陈进东,潘丰.采用捕食搜索策略的遗传算法改进[J].东南大学学报:自然科学版,2010,40(增刊1):223-227.
WANG Pingping, CHEN Jindong, PAN Feng. Improvement of genetic algorithm based on predatory search strategy[J]. Journal of southeast university: natural science edition, 2010, 40 (SI): 223-227. (in Chinese)

(编辑:田新华)