# 空面多目标攻击中武器--目标最优 分配



孟靖昊

航空工业第一飞机设计研究院,陕西西安 710089

**摘 要:**在多目标空对地攻击中,合理高效的武器-目标分配能显著提升飞机的攻击效率,降低飞机在战场滞留的时间,对 于提升飞机的作战效率与生存性能有着重要的意义。本文基于攻击模式、目标毁伤概率、武器成本、飞行航路等约束,构建 武器-目标最优分配模型,设计了一种强化局部搜索能力的自适应遗传算法,解决了求解复杂规划问题时的过量冗余迭代 与停滞问题。对多组随机目标进行了仿真验证,仿真结果证明,改进算法能够为作战任务提供优质的武器-目标分配方案, 且明显提升了求解的运行效率与质量。

关键词:空面作战;多目标攻击;任务规划;武器-目标分配;自适应遗传算法

#### 中图分类号:022

#### 文献标识码:A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2024.08.012

自现代以空中力量为主体获取战争胜利逐渐成为各军 事强国的重点关注后,高性能作战飞机与精确制导武器的 使用模式已经成为了世界军事强国的重点研究方向。而随 着作战飞机的性能不断提升,打击任务逐渐复杂化,作战飞 机在单次任务中打击多个目标的能力越发重要,能够显著 减少作战飞机出动架次,提升作战飞机的攻击效率<sup>[1]</sup>。

成功实施空面多目标攻击的关键在于能够针对不同的 目标、挂载武器类型和作战任务,规划出合理的多目标攻击 分配方案,辅助飞行员做出正确的攻击决策<sup>[2]</sup>。为了充分 发挥作战飞机的性能,不仅要考虑目标攻击数量,还需要综 合考虑目标价值、毁伤特性、武器性能与作战飞机的性能制 订攻击方案,以提高整体作战效能<sup>[3]</sup>。

武器-目标分配问题是根据作战体系的作战目标、平台 武器配置情况,按照最优化分配原则,将不同武器分配给不 同目标,从而实现最大作战效能的过程。国外对其的研究 已经实现了工程应用,如美国空军配备的战斗武器投放系 统(CWDS),能够支持美军现役的几乎所有具有对地打击 能力的机型和武器<sup>(1)</sup>,美国B-1B、B-2A飞机上还具备了飞 行中任务重规划能力,B-2A飞机具备面向动态威胁的实时 威胁评估和规避能力。而国内也已提出了很多理论模型, 如寇英信等<sup>[4]</sup>建立了多目标攻击的任务分配模型;石章松 等<sup>[3]</sup>建立并求解了基于最小资源损耗的分配模型;张先剑<sup>[5]</sup> 从博弈论的角度对武器-目标分配进行了分析;王顺宏等<sup>[6]</sup> 使用粒子群算法提高了对地打击武器-目标的分配问题的 求解速度;杨进帅等<sup>[7]</sup>将直觉模糊理论与遗传算法结合,提 升了求解效率与收敛速度;但工程应用案例较少,与国外先 进水平仍有明显差距。

本文从作战任务的需求出发,对空面多目标攻击任务 中的火力分配、航路规划与毁伤概率展开需求捕获分析,并 构建相应的数学模型综合描述攻击过程,建立多约束下的 空面多目标攻击武器-目标分配模型,并针对传统遗传算法 处理复杂规划问题时容易陷入停滞、难收敛导致算法效率 低、求解质量差的问题,设计了一种强化局部搜索能力的自 适应遗传算法。仿真结果表明,改进算法拥有更高的运行 效率与求解质量,初步满足工程应用需求<sup>[8]</sup>。

# 1 多约束下的武器-目标分配问题建模

# 1.1 火力分配模型

在空面多目标攻击中,攻击任务规划的主要目标是获 得最优攻击效果,并将作战成本降至最小,属于优化决策

收稿日期: 2023-12-13;退修日期: 2024-04-18;录用日期: 2024-05-16 基金项目: 航空科学基金(2016ZC03004)

引用格式: Meng Jinghao. Optimal apportion of weapon-target assignment in multi-target air-to-surface attack[J]. Aeronautical Science & Technology, 2024, 35(08): 104-110. 孟婧昊. 空面多目标攻击中武器-目标最优分配[J]. 航空科学技术, 2024, 35(08): 104-110.

问题,需要首先建立火力分配与飞行航路规划模型,再根据 攻击任务约束与合理假设对模型进行合理简化,最终符合 真实作战情况的武器-目标分配模型。

火力分配是空面多目标攻击分配问题的核心,其核心 即为对敌方造成的毁伤最大,且己方的攻击成本最小。

假设有不同类型的制导炸弹共N枚,用于打击M个地面目标。每枚炸弹只能攻击一个目标,每个目标可以分配 多枚炸弹。令布尔变量x<sup>a</sup><sub>kim</sub>表示第k架飞机是否采用第1类 炸弹攻击第m个目标。令p<sub>it</sub>表示第1类炸弹对第t类目标的 毁伤概率,则所有炸弹对第m个目标的毁伤概率为

$$p_m = 1 - \prod_{k=1}^{K} \prod_{l=1}^{L} (1 - p_{lm} x_{klm}^a)$$
(1)

合理利用飞机挂载的各种武器,使其以最小的成本来 取得最大的打击效果也是攻击火力分配所追求的一个目 标<sup>[9]</sup>,使用最少的武器数量和花费来达到理想的作战效果。

令 $v_l$ 为第l类炸弹的价值,令CostW为武器成本

$$\text{Cost}W = \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L} (v_l \cdot \sum_{m=1}^{M} x_{klm}^a)$$
(2)

且火力分配应满足以下约束条件:(1) $\sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L} x_{klm}^{a} \ge 1$ ,每

个目标至少分配一颗炸弹;(2) $\sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L} \sum_{m=1}^{M} x_{klm}^{a} \leq N$ ,被分配的 炸弹数不能超过总的炸弹数目。

# 1.2 飞行航路模型

结合参考文献[10]和[11]与攻击规划需求,建立航路成本模型。

令布尔变量 $x_{ijk}^{b}$ 表示第k架飞机是否从第i个目标飞往 第j个目标。令 $c_k$ 为第k架飞机的使用成本,u为单位航程 消耗, $d_i$ 为从目标i到目标j的距离,CostR为航路成本

$$\operatorname{Cost} R = \sum_{k=1}^{K} c_k + u \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=0}^{M} \sum_{j=1}^{M+1} d_{ij} x_{ijk}^b$$
(3)

式中,*i*=0、*j*=1代表飞机*k*从机场出发至第一个目标,*i=M*、 *j=M*+1代表飞机*k*从第*M*个目标返回机场。

# 1.3 多约束下的武器-目标分配模型

在实际作战中,对于目标价值的判断往往受任务需求、 战场态势与决策者的偏好动态变化,无法通过数学模型来 衡量。考虑到在绝大多数情况中,对目标造成有效毁伤,破 坏或瘫痪其作战能力所获得的价值远远超过发动打击的成 本。因此,在任务规划中,任务规划的首要条件是完成对所 有设定的敌方目标进行打击。

在多目标攻击任务中,作战飞机需要深入敌方控制区 域对大量高价值目标进行打击,危险性与飞行员受到的生 理心理负担远超传统攻击方式,因此,在规划中应尽量降低 作战飞机在敌方控制区域中的停留时间。通过使用一次攻 击即造成毁伤的攻击方式进行规划,降低作战飞机在敌控 区域的停留时间,保障作战飞机的安全。

在分配模型中,设置*p*<sup>\*</sup>为第*m*个目标可接受的毁伤概率值,将毁伤问题转换为弹-目分配问题

 $p_m \ge p_m^* \tag{4}$ 

根据上述假设与条件,对空面多目标攻击规划进行建模分析:(1)对所有目标造成有效毁伤;(2)选择一次攻击即 毁伤的攻击方式;(3)已知武器毁伤概率*p*<sub>lm</sub>与最小可接受 的毁伤概率*p*<sub>m</sub>;(4)飞机存在航程上限*B*、载弹数目上限*W*; (5)飞机完成作战后需要返航。令Cost为则攻击方案成本

$$Cost=CostW+CostR$$
(5)

得出多约束下的空面多目标攻击的武器--目标最优化 分配模型

$$\min \operatorname{Cost}\left(x_{klm}^{a}, x_{ijk}^{b}\right)$$

$$\operatorname{Cost} = \operatorname{Cost} W + \operatorname{Cost} R$$

$$\operatorname{Cost} W = \sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L} (v_{l} \cdot \sum_{m=1}^{M} x_{klm}^{a})$$

$$\operatorname{Cost} R = \sum_{k=1}^{K} c_{k} + u \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=0}^{M} \sum_{j=1}^{M-1} d_{ij} x_{ijk}^{b}$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L} x_{klm}^{a} \ge 1, \ m = 1, \cdots, M$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{l=1}^{L} \sum_{m=1}^{M} x_{klm}^{a} \le N$$

$$(6)$$

$$1 - \prod_{k=1}^{K} \prod_{l=1}^{L} (1 - p_{lm} x_{klm}^{a}) \ge p_{m}^{*}, \ m = 1, \cdots, M$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{i=0}^{M} x_{ijk}^{b} = 1, \ j = 1, \cdots, M + 1$$

$$\sum_{i=0}^{M} \sum_{j=1}^{M-1} d_{ij} x_{ijk}^{b} \le B, \ k = 1, \cdots, K$$

$$\sum_{l=1}^{L} \sum_{m=1}^{M} x_{klm}^{a} \le W, \ k = 1, \cdots, K$$

最后4个约束分别是:(1)每个目标的毁伤概率不能小 于其可接受毁伤概率值;(2)以每个目标作为终点的航路段 只有一条,且只有一架飞机通过,代表一次攻击即造成毁伤 的攻击方式;(3)飞机总航程不能超过航程上限;(4)飞机总 载重不能超过载重上限。

# 2 自适应遗传算法

遗传算法是受自然进化理论启发的一系列搜索算法。 通过模仿自然选择和繁殖的过程,遗传算法可以为涉及搜 索、优化和学习的各种问题提供高质量的解决方案。同时, 它们类似于自然进化,因此可以克服传统搜索和优化算法 遇到的一些障碍,尤其是对于具有大量参数和复杂数学表 示形式的问题。在求解复杂问题时,传统遗传算法鲁棒性 强,全局搜索能力优秀。但面对目标数量大、武器种类多, 还要考虑毁伤效果的火力分配模型求解问题,传统遗传算 法在确定最优解的收敛区域后,会因为其局部搜索能力不 足导致算法难以迅速缩小、确认最优解,导致运行效率低, 求解质量差,难以证明模型的可行性。定义几种局部搜索 操作对遗传算法进行改进,仿真结果证明,改进算法大幅提 升了运行效率与求解质量。

#### 2.1 遗传算法设置

(1)编码

将起飞机场编号为0,1~M为目标标号,采用M+K-1维 矢量来表示一个攻击航路规划方案。

 $\boldsymbol{t} = \left(t_{11}, t_{12}, \cdots, t_{1m}, 0, \cdots, 0, t_{k1}, t_{k2}, \cdots, t_{tm}, 0, \cdots\right)^{\mathrm{T}}$ 

式中,0的个数有K-1个,而其余的非零数字为1~M的一个 排列, $t_{k1}$ , $t_{k2}$ , …,  $t_{km_k}$ 为第k架飞机的航路经过的目标, $m_k$ 为 该航路上的目标个数。另外,定义矢量s表示一个分配 方案。

 $s = (s_{11}, s_{12}, \dots, s_{1m_{1}}, 0, \dots, 0, s_{k1}, s_{k2}, \dots, s_{km_{k}}, 0, \dots)^{1}$ 式中,0的位置与矢量*t*相同,其余编码如下:第*k*架飞机攻 击其航路上经过的第*m*个目标时所用的类型*l*武器数量为  $n_{l}, \text{则} s_{km} = \sum_{l=1}^{L} n_{l} W^{l}$ 。

令矩阵**r**=(s,t)为一条染色体,表示一个完整的攻击 方案。

(2)适应度

定义染色体r的适应度为f=1/Cost。适应度越高,方案 越优。

(3)选择算子

随机生成 P个染色体形成初始种群 { $r^{p}$ } $_{p=1}^{p}$ , 计算其适应度 { $f_{p}$ } $_{p=1}^{p}$ , 以及每个染色体的选择概率  $\operatorname{Prob}_{p}=f_{p}/\Sigma f_{p}$ ,依照选择概率,用轮盘赌方法随机抽取 Q条染色体,记作 { $r^{q}$ } $_{q=1}^{Q}$ ,随后进行交叉与变异。

(4)交叉算子

不放回两两抽取{**r**<sup>*q*</sup>}<sup>*q*</sup><sub>*q*=1</sub>中的染色体**r**<sup>*i*</sup>和**r**<sup>*i*</sup>,随机选择每条染色体中某一行,分为

$$\mathbf{r}^{i} = \begin{pmatrix} \mathbf{r}^{i1} \\ \mathbf{r}^{i2} \end{pmatrix}$$
和 $\mathbf{r}^{j} = \begin{pmatrix} \mathbf{r}^{j1} \\ \mathbf{r}^{j2} \end{pmatrix}$ ,并生成 $\begin{pmatrix} \mathbf{r}^{j1} \\ \mathbf{r}^{i} \end{pmatrix}$ 和 $\begin{pmatrix} \mathbf{r}^{j1} \\ \mathbf{r}^{i} \end{pmatrix}$ 

这两个新序列,去掉航路中重复的数字所在的行,生成 新染色体**r**<sup>i</sup><sub>new</sub>和**r**<sup>j</sup><sub>new</sub>。选择4条染色体中适应度最高的两条 为下一代。

(5)变异算子

对上面得到的每条染色体,随机选择一个行片段,将其 重新排列,然后随机选择一行,改变该行弹目匹配部分s上 的值为其他武器类别,生成新的染色体。

#### 2.2 强化局部搜索能力

遗传算法通过变异算子对解进行局部搜索,变异算子 是基于随机思想,随机改变编码中目标点的位置,实现局部 搜索操作。基于改变编码中目标点位置的原理,通过特定 方法将目标点移出与放回代表当前解的编码,从而改变目 标点的位置,定义以下局部搜索算子。

2.2.1 随机搜索

随机搜索的基本思想即对编码进行随机改变,包括随 机移出算子和随机放回算子两部分:(1)随机移出算子,随 机选择目标点移出编码;(2)随机放回算子,将被移出目标 点随机放回。

与变异相同,主要作用是增加搜索的多样性。假设移 出的目标点在放回后从第*i*个变成了第*j*个,则相应染色体**r** 的第*i*行和第*j*行互换。

2.2.2 贪婪搜索

贪婪搜索的基本思想即尽可能将每个高成本目标点移出,将低成本目标点移入<sup>[12]</sup>。

(1)贪婪移出算子

从当前解中移出一些导致攻击成本Cost增幅较大的目标点。令Cost(r,i)为染色体r移出第i行之后的攻击成本, 令Cost\_i为两者差值

$\text{Cost}_{-i} = \text{Cost}(\mathbf{r}) - \text{Cost}(\mathbf{r}, i)$	(7)
则移出算子的目标点为	

 $i^* = \arg\max\left(\operatorname{Cost}_{-i}\right) \tag{8}$ 

反复移出,直到得到所需的移出目标点合集I。

(2)贪婪放回算子

针对1中每个移出的目标点,计算其最佳插入位置,使得 插入后攻击成本增量最少。从1中选择在其最佳位置成本增 量最少的目标点第一个插回,重复至所有目标点都被插回或 没有可插入位置。目标点的最佳插入位置计算公式为

$$\underset{i \in I}{\operatorname{arg\,min}} \operatorname{Cost}(\mathbf{r}, i, j) \tag{9}$$

式中,*I*为被移出的目标点合集,*J*为可能插入的位置集合, Cost(*r*, *i*, *j*)为将目标点*i*插入染色体*r*中第个*j*位置时的 成本。 2.2.3 相关性与让步搜索

贪婪思想往往无法从全局最优的角度出发搜索结果。 即求解中,在高成本节点被选出后,却发现任意变动都会导 致总成本增加,最后只能将这些节点原封不动放回。为了 弥补贪婪算子带来的搜索缺陷,本文设计一种基于相关性 与让步的搜索算子。

(1)相关性移除算子

定义相关性函数

$$R(i,j) = \frac{1}{(d'_{ij} + V_{ij})}$$
(10)

 $d'_{ij} \in (0,1)$ 为i,j两点欧氏距离的标准化处理, $V_{ij} \in \{0,1\}$ 判断i,j是否位于同一攻击航路。

首先随机移出一个目标点,根据相关性大小将编码中 剩余的目标点进行排序。但因不存在能够完美描述相关性 的函数,为避免产生类似贪婪算法的问题,建立与R相关的 概率函数 e<sup>1/a(-R)</sup>,判断目标点是否被移出,使相关性越大的 目标点有更大的可能被移出,有效解决贪婪算法在优化中 无视问题后效性的缺陷<sup>[13]</sup>。

(2)让步放回算子

总是将攻击成本高的节点放在后面放回,会使得编码 中的可放回位置变得很少,产生数个目标点争夺一个最优 位置的情况<sup>[14]</sup>。计算被移出目标插回到*M*个次优位置时其 攻击成本与最优位置攻击成本的差之和,然后选择差之和 最大的节点及其最优位置。即最优位置与*M*个次优位置相 比,攻击成本相差极大的点更需要插入最优位置中

$$\arg\max_{i \in I} \left\{ \sum_{j=2}^{M} (\operatorname{Cost}(\boldsymbol{r}, i, j) - \operatorname{Cost}(\boldsymbol{r}, i, 1)) \right\}$$
(11)

式中,Cost(**r**,*i*,*j*)-Cost(**r**,*i*,1)为将第*i*个目标点插入染色体 **r**中的最优位置和第*j*个次优位置时攻击成本的差值。

# 2.3 自适应设置

根据每种算子的运算情况进行评分并动态更新算子权 重,由权重决定算子被使用的概率。

在获得一个劣于当前解的新解时,以概率 e<sup>-Cost\*</sup>接收 其作为解。Δ为最优解与新解的目标函数差值,Cost\*为最 优解的目标函数值,即二者差值越少,新解被接受的概率越 大。以解的质量作为算子的评分标准:R1为获得新的全局 最优解;R2为获得新解,但劣于当前解;R3为获得新解,且 劣于当前解,但被接受。R1会使算法的更新倾向于追求优 质解,R2会使算法的更新倾向于追求搜索多样性,R3则兼 顾了两个方面,但受限较多,通过调整三种情况的得分,即 可引导算法迭代的侧重方向。 权重更新操作:每执行 Max 次局部搜索操作,根据算子 评分更新其权重

$$w(h) = \begin{cases} (1-\rho)w(h) + \rho \frac{\sigma(h)}{n(h)}, & n(h) > 0\\ (1-\rho)w(h), & n(h) = 0 \end{cases}$$
(12)

式中,w(h)为算子h的权重, $\rho$ 为衰减系数, $\sigma(h)$ 为算子h的总得分,n(h)为算子被选中次数。

在改进算法迭代中,根据算子权重进行轮盘赌选择并 执行局部搜索,将搜索结果作为下一次迭代的初始种群继 续进行遗传算法操作。总流程如图1所示。



# 3 仿真分析

### 3.1 改进算法仿真验证

结合上文的模型与算法,在仿真软件环境下进行仿真, 以100个随机目标的攻击规划为例:随机生成100个目标 点,目标点信息包括目标序列号、坐标方位与目标类型;目 标序号为1~100;坐标信息在200×200的区域中随机选择; 目标类型为1~3;武器类型为1~2,可接受毁伤概率为0.95, 对应毁伤概率见表1。

假设作战飞机载弹量为36枚;单机使用成本为200;航

表1 毁伤概率

Table 1Damage probability

目标武器	1	2	3
1	0.5	0.05	0.3
2	0.05	0.4	0.3

程上限为600km;单位航程成本为1(成本为相对值,无单位);假设作战场景为临空轰炸,武器的射程与飞行航路相比忽略不计,航路规划的武器投放点近似于目标点。

考虑到武器-目标分配的复杂度远低于飞机的参考航路 规划,并存在最优解,且任务需求为对所有目标造成有效毁 伤,在此基础上尽量降低攻击成本。将单枚弹药的参考成本 设置为10,使其小于飞机的使用成本,使算法的优化更侧重 于提升飞机的载荷效率。仿真结果如图2、图3所示。



前进机场的坐标为(100,0),三类目标数分别为44、33、 26,规划使用飞机18架,消耗弹药634枚,参考航程 6988.24,参考成本16928,载荷率97.84%。

#### 3.2 算法改进效果分析

使用传统遗传算法对算例进行求解,两种算法优化过 程的对比情况如图4所示。

图4展示了两种算法的迭代过程。很明显,改进算法



Fig.4 Comparison between optimization of two algorithms

在20次迭代后就确定了收敛区域,且优化效果较好。而传 统遗传算法却在500次迭代后才确定收敛区域,且优化结 果较差。仅更改目标数量后分别对两种算法进行多次仿真 并分析其规划结果,分析结果见表2。

可以看出,随着问题的复杂化,传统遗传算法的求解质 量与改进算法的差距越来越大,可见改进算法在处理复杂

	表2	2 仿真结果	
Table	2	Simulation results	S

算法类型	目标/	平均	平均航程/	平均成本	平均	载荷
	个	编队/个	km		弹药/个	率/%
改进 遗传算法	100	19.6	7789.1	18407.1	669.8	94.93
	75	14.5	5794.6	13689.6	499.5	95.67
	50	10.1	3906.5	9318.5	339.2	93.29
	25	5	2039.2	4727.2	168.8	93.78
传统 遗传算法	100	21.5	10891.8	21889.8	669.8	86.54
	75	15.6	7696.4	15811.4	499.5	88.94
	50	10.6	5072.6	10584.6	339.2	88.89
	25	5	2352.4	5040.4	168.8	93.78

的规划问题时更具优势。

在求解复杂问题时,传统遗传算法往往需要进行大量 迭代才能收敛到最优解的范围内,其中存在过多的冗余迭 代,甚至在求解中会陷入停滞。而通过局部搜索算子对种 群的邻域进行搜索操作,为算法的遗传操作提供优质基因, 解决了冗余与停滞问题,加快算法的收敛速度,改善了求解 质量。仿真结果证明,改进算法综合了全局搜索与局部搜 索的优势,提升了运算效率与求解质量。

# 4 结论

本文针对空面多目标攻击的工程应用问题,做出了如 下研究:(1)捕获了作战飞机典型空对面多目标攻击场景对 火力控制的具体需求;(2)结合作战场景,以攻击成本为约 束,构建了基于成本最低的空面攻击综合火力分配优化模 型;(3)基于火力分配模型的具体需求,改进了遗传算法,通 过构建多种局部搜索算子与自适应操作,并通过大量的作 战仿真算例,证明了模型的可行性,改进算法可显著提升求 解质量与运算效率。

继续改进的方向:(1)现实作战中的毁伤效果的描述涉 及很多因素,关于毁伤效果的建模研究仍有很大的改进空 间;(2)仍有许多优化思想可应用于局部搜索算子的设计, 故而改进算法的框架构建仍可改进,算法的求解质量与运 行效率还有进一步提升的空间。

#### 参考文献

- 【1】张轮,郭双文,邓森,等.轰炸机近距空中支援优势及发展现 状分析[J].火力与指挥控制, 2022, 47(10): 175-179.
   Zhang Lun, Guo Shuangwen, Deng Sen, et al. Analysis of bomber close air support superiority and development status[J]. Fire
- Control & Command Control, 2022, 47(10): 175-179.(in Chinese) [2] 张艳霞, 吕辉, 孙兆雨.基于公共投放区的空面多目标攻击研 究[J].电光与控制, 2022, 29(4): 44-47.

Zhang Yanxia, Lyu Hui, Sun Zhaoyu. Air-to-surface multitarget attacks based on common release zone[J]. Electronics Optics & Control, 2022, 29(4): 44-47.(in Chinese)

[3] 石章松, 吴鹏飞, 刘志超.基于最小资源损耗的武器目标动态 分配[J].海军工程大学学报, 2019, 31(4): 64-71.

Shi Zhangsong, Wu Pengfei, Liu Zhichao. Dynamic weapontarget assignment based on minimum resource depletion[J]. Journal of Naval University of Engineering,2019, 31(4): 64-71. (in Chinese)

- [4] 寇英信, 王琳, 周中良.多目标攻击条件下的作战任务分配模型研究[J].系统仿真学报, 2008(16): 4408-4411.
   Kou Yingxin, Wang Lin, Zhou Zhongliang. Study of combat task allocation model in multi-target attack condition[J]. Journal of System Simulation, 2008(16): 4408-4411.(in Chinese)
- [5] 张先剑.空陆攻防博弈的动态武器目标分配[J]. 国防科技大 学学报, 2019, 41(2): 185-190.
   Zhang Xianjian. Land defense weapon versus target assignment against air attack[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2019, 41(2): 185-190.(in Chinese)
- [6] 王顺宏,杨奇松,王然辉,等.对地打击武器-目标分配问题的 粒子群算法[J].电光与控制,2017,24(3):36-40.
  Wang Shunhong, Yang Qisong, Wang Ranhui, et al. Particle swarm optimization based weapon target assignment for attacking ground targets[J]. Electronics Optics & Control, 2017, 24(3): 36-40.(in Chinese)
- [7] 杨进帅,李进,王毅,等.基于直觉模糊遗传的武器-目标分配 问题优化[J].计算机应用研究, 2018, 35(1): 31-34.
  Yang Jinshuai, Li Jin, Wang Yi, et al. Optimization of weapon target assignment problem by intuitionistic fuzzy genetic algorithm[J]. Application Research of Computers, 2018, 35(1): 31-34.(in Chinese)
- [8] 孙永强.空面多目标攻击火控系统设计[J].工业技术创新, 2018,5(1):13-17.

Sun Yongqiang. Design on air to surface muti target attack for fire control system[J]. Industrial Technology Innovation, 2018, 5(1): 13-17.(in Chinese)

[9] 李天龙,张军超.基于融合算法的空一地多目标攻击火力分 配[J].电光与控制,2019,26(11):56-59.

Li Tianlong, Zhang Junchao. Air-to-ground multi-target attack firepower assignment based on fusion algorithm[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(11): 56-59.(in Chinese)

[10] 池怿, 余磊. 民用飞机航路智能规划技术研[J]. 航空科学技 术, 2020, 31(10): 46-50.

Chi Yi, Yu Lei. Research on intelligent route planning technology of civil aircraft[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31 (10): 46-50. (in Chinese)

 [11] 李海, 郭水林, 周晔. 融合动态风险图和改进 A\*算法的动态 改航规划[J]. 航空科学技术, 2021, 32(5): 61-71.
 Li Hai, Guo Shuilin, Zhou Ye. Dynamic diversion planning integrating dynamic risk map and improved A\* algorithm[J].Aeronautical Science & Technology, 2021, 32(5): 61-71. (in Chinese)

[12] 陈宇恒,陈进朝,陈雪聪.基于改进贪心算法的无人机集群协同任务分配[J].航空科学技术, 2022, 33(4): 13-18.
Chen Yuheng, Chen Jinchao, Chen Xuecong. Cooperative task allocation of UAV cluster based on improved greedy algorithm
[J]. Aeronautical Science & Technology, 2022, 33 (4): 13-18.

(in Chinese)

- [13] Nabila A, Michel G. An adaptive large neighborhood search for a vehicle routing problem with multiple routes[J]. Computers and Operations Research, 2014, 41: 167-173.
- [14] Li Baoxiang. An adaptive large neighborhood search heuristic for the share-a-ride problem[J]. Computers and Operations Research, 2016, 66: 170-180.

# Optimal Apportion of Weapon-Target Assignment in Multi-Target Air-to-Surface Attack

Meng Jinghao

AVIC The First Aircraft Institute, Xi' an 710089, China

**Abstract:** Reasonable and efficient weapon-target assignment is an important part to improve combat effectiveness and aircraft safety in multi-target air-to-surface attack. Based on the constraints of attack mode, damage probability, weapon cost and flight route, the weapon-target assignment model is established. An adaptive genetic algorithm is designed to enhance local search ability, and solves the problem of excessive redundant iterations and stagnation in operation. The simulation results show that the improved algorithm can provie high quality scheme, and obviously improve the operational efficiency and solution quality.

**Key Words:** air-to-surface attack; multi-target attack; mission planning; weapon-target assignment; adaptive genetic algorithm