

# 基于改进模拟退火算法的防空武器 集群打击目标动态分配

王浩博, 刘建涛

(陆军炮兵防空兵学院 郑州校区, 郑州 450052)

**摘要:** 传统的防空武器集群打击目标动态分配方法由于设定的约束条件不够全面, 导致该方法在分配效果上表现不佳; 因此, 文章提出了一种基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法; 该方法综合考虑作战效果、作战成本和作战效率等多个因素, 确定了相应的目标函数, 并设定了相应的约束条件; 通过计算打击目标的状态转移概率, 并对打击目标的状态准则进行判定, 定义了打击目标的状态转移方程; 在改进的模拟退火算法的指导下, 确定了最优的打击目标分配方案; 实验结果表明, 与传统的防空武器集群打击目标动态分配方法相比, 文章设计的基于改进模拟退火算法的方法在实际应用中表现出较低的资源损耗量, 均不高于4%, 且具有良好的分配效果。

**关键词:** 改进模拟退火算法; 防空武器; 武器集群; 打击目标; 动态分配; 分配方法; 方法设计

## Dynamic Allocation on Air Defense Weapon Cluster Striking Targets Based on Improved Simulated Annealing Algorithm

WANG Haobo, LIU Jiantao

(Zhengzhou Campus of Army Academy of Artillery and Air Defense, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract:** Traditional dynamic allocation methods for air defense weapon cluster striking targets is not comprehensive enough due to the setting constraints. Therefore, this article proposes a dynamic allocation method for air defense weapon cluster attack targets based on an improved simulated annealing algorithm. This method comprehensively considers multiple factors such as combat effectiveness, combat cost, and combat efficiency, determines the corresponding objective function, and sets the corresponding constraints. The state transition equation of striking targets is defined through calculating the state transition probability and determining the state criteria of striking targets. Under the guidance of the improved simulated annealing algorithm, the optimal allocation scheme for striking targets is determined. The experimental results shows that compared with traditional dynamic allocation methods for air defense weapon cluster attack targets, the improved simulated annealing algorithm has lower resource loss in practical applications, with a loss of below 4%, and has a good allocation effect.

**Keywords:** improve simulated annealing algorithm; air defense weapons; weapon cluster; striking target; dynamic allocation; allocation method; method design

### 0 引言

随着科技的进步, 现代战争的特点变得越来越高技术化和快速变化。在这种背景下, 防空武器集群作为保卫国家安全的重要力量, 其打击目标的分配策略变得尤为关键。传统的静态分配方法通常基于预先设定的固定规则和模式, 无法充分适应战场上快速变化的情况和不确定性因素。这种静态分配方法难以应对实时战场态势的变化, 也缺乏灵活性和鲁棒性。同时, 传统静态分配方法在分配效率上存在一定的局限性。由于未能充分考虑到不同目标的优先级、打击能力和战场态势的变化等因素, 导致分配结果可能无法达到预期的战损比。这对于防空武器集群来说是一种极大的资源浪费, 同时也可能影响到防空任务的完成。为了应对这一挑战, 许多研究学者开始关注动态分配方法, 并

提出了一系列创新想法。

文献 [1] 提出了一种针对无人机群分配打击任务的方法。该方法首先考虑到情报信息中可能存在误差, 需要进行滤波处理, 然后根据战场环境和目标情况构建相应的动态模型。接下来利用优化算法为无人机群分配打击任务, 并根据分配方案进行实时调整。这种方法能够根据战场环境的实时变化快速调整目标分配。但是, 该方法依赖于稳定的通信网络支持, 在复杂的战场环境中, 通信可能会受到干扰或阻塞, 导致方法的实用性不强。文献 [2] 介绍了一种先构建无人机通信网络, 然后进行节点聚类, 并根据无人机集群的特点和当前战场环境设计合适的分配算法。该方法能够根据战场环境和目标的实时变化进行快速调整, 提高了适应性和实时性。然而, 该方法对初始参

收稿日期: 2024-01-29; 修回日期: 2024-05-06。

作者简介: 王浩博(1994-), 男, 硕士生, 助教。

引用格式: 王浩博, 刘建涛. 基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(7): 196-202.

数比较敏感,不同的参数设置可能导致不同的聚类结果,进而影响目标分配的有效性。文献[3]聚焦于明确目标分配的需求,构建相应的契约网络,并计算无人机的权重值,确定对应的动态调整机制。然后对每个无人机的任务进行动态分配,以确保任务的有效执行。该方法充分考虑了无人机之间的协同关系,能够实现更好的整体效果。然而,该方法的计算复杂度较高,其实时性较差。文献[4]采取了一种对网络中各个节点进行能力评估,并动态分析节点资源的方法,构建一个可动态分配的视频流资源池。根据节点能力和动态需求,设计相应的动态分配算法,提高网络资源的利用率。该方法能够根据节点的实际能力和动态需求进行资源分配,从而提高网络资源的整体利用率。然而,该方法对通信机制的要求较高,方法的运行成本也较高。

通过设定相应的约束条件,计算打击目标的状态转移概率,并基于此对打击目标的状态进行判定,从而定义了改进后的模拟退火算法中的打击目标状态转移方程。这种改进使算法具有更强的全局搜索能力,不易陷入局部最优解,且在一定概率下接受较差解,从而更有可能找到全局最优解。这样的优化能够有效提高算法的搜索效率和准确性,为解决问题提供更好的解决方案。其次,该算法适用于处理非凸优化问题,可以跳出局部最优解,逐渐靠近全局最优解。此外,改进模拟退火算法灵活性强,对数学模型和约束条件没有严格要求,且对初始解的选择比较宽容,对噪声和扰动也较鲁棒。不依赖于导数信息使得这种方法适用于实际问题,并可以处理大规模问题。因此,为解决上述方法中存在的问题,本文设计了基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法。根据防空武器集群的实际情况,设计打击目标动态分配的目标函数,并定义对应的状态转移方程,在上述基础上,结合改进模拟退火算法,确定最优的打击目标动态分配方案。本文设计的方法通过引入改进模拟退火算法,为防空武器集群打击目标的动态分配问题提供了一种新的解决思路,能够提高打击目标的分配效率和适应性,有助于降低作战成本、提高作战效果<sup>[5-6]</sup>,为军事决策者提供科学、有效的支持,对于提升国家安全具有重要意义。

## 1 防空武器集群打击目标动态分配方法设计

基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法具有全局搜索能力、灵活性和适应性,可以避免陷入局部最优解并适用于大规模问题。这使得该方法能够有效地探索和发现潜在的高质量解,并提供更优化和有效的资源分配方案。通过随机选择和接受劣解的概率机制,它能够在搜索过程中兼顾全局和局部搜索,并逐渐收敛到更优解,以提升防空系统的作战效果和资源利用效率。因此,该方法在应对复杂的防空武器集群打击目标动态分配问题时具有独特的优势,能够为实际应用中的资源分配提供可行且高效的解决方案。

### 1.1 防空武器集群打击目标动态分配目标函数设计

为实现对防空武器集群打击目标的动态分配,需要对防空武器集群打击目标的具体情况进行分析,并确定对应的目标函数。在设计目标函数时,需要从多个方面进行考量,综合考虑作战效果、作战成本、作战效率等多个因素,根据实际的打击任务,计算不同因素的权重值,由此构建对应的目标函数<sup>[7]</sup>。确定的目标函数具体如下所示:

$$\begin{cases} F = \omega_1 f_1 + \omega_2 f_2 + \omega_3 f_3 \\ f_1 = \frac{n_c}{n_t} \times \alpha_1 + \frac{n_k}{n_t} \times \beta_1 \\ f_2 = \frac{m_c}{m_t} \times \alpha_2 + \frac{k_r}{k_t} \times \beta_2 \\ f_3 = \frac{t_c}{t_e} \times \alpha_3 + \frac{v_k}{v_t} \times \beta_3 \end{cases} \quad (1)$$

在上述公式中, $F$ 表示设计的防空武器集群打击目标动态分配的目标函数, $f_1$ 表示目标动态分配的作战效果, $f_2$ 表示目标动态分配的作战成本, $f_3$ 表示目标动态分配的作战效率, $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 分别表示不同影响因素的权重值, $n_c$ 表示作战过程中摧毁的目标数量, $n_t$ 表示总目标数量, $\alpha_1$ 表示目标摧毁率, $n_k$ 表示作战过程中瘫痪的目标数量, $\beta_1$ 表示目标瘫痪率, $m_c$ 表示弹药的使用量, $m_t$ 表示弹药的总数量, $\alpha_2$ 表示防空武器的弹药消耗量, $k_r$ 表示人员伤亡数量, $k_t$ 表示总人数, $\beta_2$ 表示人员伤亡率, $t_c$ 表示防空武器集群打击时间, $t_e$ 表示总的作战时间, $\alpha_3$ 表示防空武器集群打击时间效率, $v_k$ 表示防空武器集群打击目标的响应速度, $v_t$ 表示总的响应速度, $\beta_3$ 表示响应速度效率。通过上述公式,完成对防空武器集群打击目标动态分配目标函数的确定,以此为基础,为保证设定的目标函数满足实际需求,需要设定相应的约束条件。在设定约束条件时,根据实际情况,从防空武器的射程、目标优先级、防空武器的数量和时间4个方面入手,设置相应的约束条件<sup>[8]</sup>。其具体设置结果如下所示:

$$\begin{cases} 0 < L < L_{\max} - L_1 \\ 0 < p < p_1 - p_{\min} \\ 0 < m < m_t - m_1 \\ 0 < t < t_1 - t_0 \end{cases} \quad (2)$$

在上述公式中, $L$ 表示防空武器的射程限制, $L_{\max}$ 表示防空武器的最大射程, $L_1$ 表示防空武器距离目标的位置, $p$ 表示目标优先级限制, $p_1$ 表示当前目标的优先级, $p_{\min}$ 表示最低目标优先级的阈值, $m$ 表示防空武器数量的限制, $m_t$ 表示当前可用的防空武器数量, $m_1$ 表示已经使用的防空武器数量, $t$ 表示打击时间限制, $t_1$ 表示当前的时间, $t_0$ 表示打击任务结束的时间。通过上述公式,为确定的目标函数添加约束条件,确保目标函数的可行性<sup>[9]</sup>。至此,防空武器集群打击目标动态分配目标函数的设计完成。

### 1.2 防空武器集群打击目标状态转移方程定义

防空武器集群打击目标状态转移方程的定义旨在描述和模拟防空武器对目标的动态分配过程。通过计算打击目标的状态转移概率,并结合一定的状态准则判定,该方程

可以评估目标的优先级、调整防空武器的分配策略，以提高集群打击效果。其主要目标是优化资源分配，提高打击效率和目标摧毁率，以最大程度地保护防空系统并增强作战能力。通过防空武器集群打击目标状态转移方程的应用，能够实现更准确、灵活的资源分配，从而提升防空武器的响应能力和作战效果，使得打击目标更加精准、有效。将上述设计的目标函数作为基础，考虑到防空武器集群打击目标的状态处于动态变化中，因此，需要定义状态转移方程，对防空武器集群打击目标从一个状态转移到另一个状态的过程进行合理描述，并分析防空武器集群与打击目标之间的动态关系，以便制定更加切实有效的分配方案<sup>[10]</sup>。在定义防空武器集群打击目标状态转移方程时，需要先确定打击目标的状态，并根据目标的状态及其状态变化，先制定对应的状态转移规则，分析目标状态的变化规则，由此计算打击目标状态转移的概率。在上述过程中，打击目标状态转移概率的具体计算公式如下所示：

$$P = f * e^i * t_c + \sum_{k=1}^N e^{i^k} * t_c \quad (3)$$

在上述公式中， $P$  表示当前打击目标的状态， $f$  表示影响目标状态转移的因素， $e^i$  表示当前目标的重要性， $t_c$  表示当前的环境温度， $e^{i^k}$  表示第  $k$  个打击目标的重要性， $N$  表示打击目标的数量。通过上述公式，完成对打击目标的状态转移概率的计算，以此为基础，对目标函数值进行计算，并根据计算结果，对目标是否接受新的状态准则进行判定<sup>[11]</sup>。其具体判定过程如下所示：

$$\begin{cases} K = g(x_i) \\ d = f(S_i) * P - f(S_j) \end{cases} \quad (4)$$

在上述公式中， $K$  表示计算的目标新状态函数值， $g(x_i)$  表示打击目标新状态评估函数， $x_i$  表示打击目标状态变量， $d$  表示状态准则， $f(S_i)$  表示新状态的参数值， $f(S_j)$  表示当前状态的目标函数值。通过上述公式，完成对打击目标状态的处理。根据上述处理结果，对打击目标的实时状态进行更新，并根据更新结果，得到最终的打击目标状态转移方程<sup>[12]</sup>。其定义的打击目标状态转移方程具体如下所示：

$$\begin{cases} x_n = ax_c + b \\ a = d * C * e^{-\sigma} \end{cases} \quad (5)$$

在上述公式中， $x_n$  表示定义的打击目标状态转移方程， $a$ 、 $b$  分别表示打击目标转移的常数， $C$  表示归一化常数， $\sigma$  表示目标状态的标准差。通过上述公式，完成对打击目标状态方程的定义，为后续确定最优分配方案奠定基础。至此，防空武器集群打击目标状态转移方程定义的设计完成。

### 1.3 基于改进模拟退火算法的最优分配方案确定

#### 1.3.1 改进模拟退火算法

改进算法通过调整邻域结构和降温策略，实现更快的收敛速度和更好的全局搜索能力，能够更快地找到最优解或更好的近似解。同时，改进算法结合其他优化算法的优点，提高了求解质量，并增强了通用性，能够适应更广泛的优化问题类型和求解需求。此外，改进算法通过并行化

处理和分布式计算，扩展了可扩展性，有效处理大规模数据和复杂问题。因此，改进模拟退火算法成为解决各种优化问题的强大工具之一。降温策略决定了算法的收敛速度和解的质量，因此合理地调整降温策略是至关重要的。一种常见的降温策略是线性降温，其公式为

$$T(t) = T_0 * (1 - t/T_{max}) \quad (6)$$

其中： $T(t)$  表示当前温度， $T_0$  表示初始温度， $T_{max}$  表示最大迭代次数。通过逐渐降低温度，可以使算法逐步逼近最优解。改进模拟退火算法作为一种启发式搜索算法，它具有全局搜索能力，不容易陷入局部最优解，并以较大概率接受较差解，从而更可能找到全局最优解。其次，该算法适用于处理非凸优化问题，可以跳出局部最优解，逐渐靠近全局最优解。此外，改进模拟退火算法灵活性强，对数学模型和约束条件没有严格要求，且对初始解的选择比较宽容，对噪声和扰动也较鲁棒。不依赖于导数信息使得这种方法适用于实际问题，并可以处理大规模问题<sup>[13-14]</sup>。将其应用到最优分配方案的确定中，能够有效避免陷入局部最优解的情况，以便找到最优的分配方案。

#### 1.3.2 最优分配方案确定

在上述设计的基础上，利用设计的打击目标动态分配目标函数，结合定义的打击目标状态转移方程，在改进模拟退火算法的作用下，确定最优分配方案。在上述过程中，改进模拟退火算法的计算公式如下所示：

$$\begin{cases} P(dE) = \exp\left(\frac{dE}{kT}\right) \\ T(t) = K * T(n-1) \end{cases} \quad (7)$$

在上述公式中， $P(dE)$  表示利用改进模拟退火算法计算出的打击目标新旧状态之间的目标函数数值差， $k$  表示滤波常数， $T$  表示打击目标当前所处环境的温度， $K$  表示随机常数， $T(n-1)$  表示前一时刻的温度。通过上述公式，完成对打击目标状态的计算，以此为基础，计算出最优的分配方案<sup>[15-17]</sup>。其得到的最优分配方案如图 1 所示。

如图 1 所示，在防空武器集群打击目标动态分配方法的设计过程中，首先要确定打击目标动态分配的目标函数和约束条件。这些目标函数和约束条件通常基于防空武器集群的实际情况和战术需求。接下来，需要对参数进行初始化处理，并计算相应的目标函数值。参数的初始化可以根据经验或者问题的特点进行设置。计算目标函数值是为了衡量当前解的优劣程度，从而在搜索过程中能够判断邻域解是否更优。然后，根据定义的状态转移方程生成对应的邻域解。邻域解是通过当前解进行局部调整产生的新解，用于探索潜在的更优解。状态转移方程可以根据问题的特性灵活选择，以确保得到多样而有效的邻域解。根据当前解的目标函数值，判断是否接受邻域解<sup>[18-20]</sup>。如果邻域解更优，则接受该解作为新的当前解；否则，根据一定的概率选择是否接受邻域解。这个概率依赖于目标函数值的差异以及退火参数的设定，它允许算法在搜索过程中有一定的机会接受较差的解，以跳出局部最优解并继续寻找

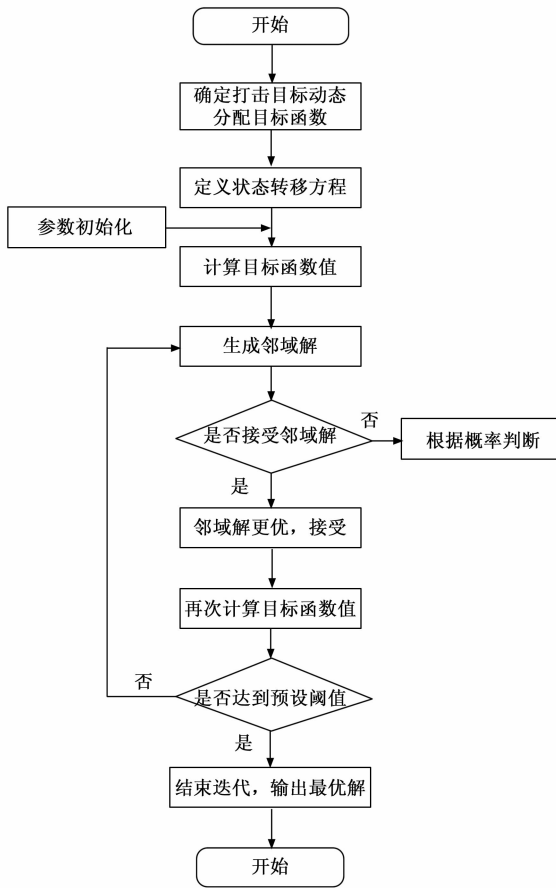


图 1 退火算法的最优实现流程图

全局最优解的可能性。根据设定的迭代条件对算法进行迭代操作, 直到达到预设的目标函数阈值或达到最大迭代次数。迭代过程中, 算法不断地试验和调整解, 并根据邻域解的优劣逐步接近或者超越全局最优解。最后, 输出达到预设阈值的最优解作为最终的分配方案。这个最优解是经过改进模拟退火算法优化得到的, 在解决防空武器集群打击目标动态分配问题时具有较高的效果和可靠性。

综上所述, 基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法通过迭代搜索和优化的方式, 能够在复杂的战场环境中得到最优的分配方案, 提高防空武器的作战效能。

## 2 仿真实验

为提高实验结果的可信度, 将以往的分配方法和设计的分配方法进行对比。其中, 本文设计的基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法为方法 1, 传统的打击目标动态分配方法为方法 2, 基于改进蚁群算法的打击目标动态分配方法为方法 3。为对比上述 3 种方法在实际应用中的效果, 设计的对比实验具体如下。

### 2.1 实验准备

为验证本文设计的基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法在实际应用中的效果, 进行仿

真实验测试。实验中, 利用编程语言及现有数据库构建仿真环境, 在该仿真环境中, 进行后续实验测试。其具体的实验环境如图 2 所示。



图 2 实验环境

在实验环境中, 为了获取大量的防空武器集群和打击目标的数据, 并确保数据质量, 在图 2 中设置了一个数据采集器。该数据采集器可以收集来自于实际战场环境的各种数据, 并将其汇集到计算机中进行后续实验的数据处理和数据分析。通过计算机对采集的数据进行处理和提高, 可以确保实验的数据质量和准确性。数据处理过程可能包括数据清洗、去噪、归一化等操作, 以确保数据符合实验的需求和要求。在上述实验环境中, 还设置了一系列实验参数, 这些参数用于控制实验的各个方面, 如资源分配规则、目标优先级、成本权重等。具体的实验参数如表 1 所示。

表 1 实验参数

序号	实验参数	参数设置
1	初始温度	1 000
2	退温系数	0.95
3	最小温度	0.01
4	最大迭代次数	100
5	计算机内存	16 GB
6	防空武器集群数量	1 000
7	目标数量	300

以上述实验环境和实验参数设置为基础, 在可控和可重复的条件下进行对比实验, 进一步评估和比较不同方法在防空武器集群打击目标动态分配中的效果。通过充分利用数据采集器和计算机数据处理技术, 能够得到更准确、可靠的实验结果, 为后续的实验和研究提供更有力的数据支持。在实验中, 首先获取被打击目标的基本数据, 如坐标、速度和威胁优先级等信息。然后设置相应的武器性能参数, 例如防空武器的射程、精度和响应时间等。同时, 对战场环境的数据进行设置, 包括地形和气象条件等信息。通过这些信息构建一个虚拟的仿真实验环境。在该环境中, 利用本文设计的方法构建动态分配目标函数, 并设定相应的约束条件。接着, 对于被打击目标的状态变化进行分析,

并设定相应的状态转移方程。借助改进模拟退火算法的作用，在多个方案中确定最优的分配方案。希望这样修改的话更符合语法和流畅度。在上述过程中，为确定最优分配方案，需要计算对应的适应度函数。该适应函数如图 3 所示。

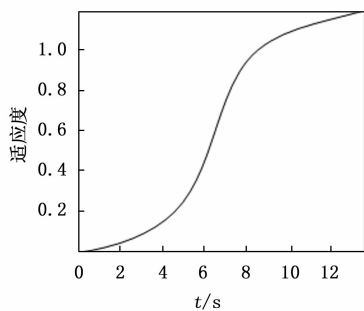


图 3 适应度函数

根据图 3 所示的结果，可以观察到上述适应度函数呈现非线性变化的特征。在这个基础上进行后续实验测试，进一步验证了适应度函数在目标分配过程中的有效性和准确性。适应度函数的非线性变化可能反映了实际战场情况的复杂性和多样性。通过考虑多个因素并赋予它们不同的权重，适应度函数能够更好地模拟目标威胁程度、资源利用效率等关键因素间的非线性相互关系。这使得方法能更准确地评估每种资源分配方案的优劣，并为优化寻找更优解提供了有力的指导。在后续的实验测试中，通过对适应度函数的非线性变化进行进一步分析，可以更全面地评估方法在不同战场环境下的性能表现。这有助于优化资源分配策略，提高防空武器集群的作战效能，并为决策者提供更精准的决策支持。

### 2.2 实验结果讨论

为验证上述 3 种方法在实际应用中的效果，以方法的资源损耗量为评价指标，对比 3 种方法的性能。实验中，利用 3 种方法进行多次实验，统计其资源损耗量。其具体统计结果如表 2 所示。

表 2 3 种方法的分配结果

实验次数	3 种方法的资源损耗量/%		
	方法 1	方法 2	方法 3
1	1.23	15.69	25.64
2	2.22	14.87	22.96
3	2.45	16.32	24.57
4	3.21	17.12	26.18
5	1.96	15.69	26.54
6	2.25	13.54	24.87
7	3.64	16.58	23.98
8	2.58	17.11	22.18
9	2.65	18.21	27.45
10	2.36	17.36	21.96

根据表 2 所示的实验结果，在多次实验中观察到方法 1 的资源损耗量占比相对较低，并且这种较低的趋势在不同实验中均得以保持。相反，方法 2 和方法 3 的资源损耗量占比较高，并且在不同实验中呈现大幅波动的情况。这表明方法 1 在目标分配过程中能够更有效地利用有限的资源，减少资源的浪费和损耗。因此，可以得出结论认为本文所设计的方法在实际应用中具有较好的分配效果。方法 1 的资源损耗率较低可能是由其采用了先进的优化算法和灵活的资源调度策略所致。该方法能够根据实时信息和任务需求优化资源配给，避免了资源的过度使用和浪费。相反，方法 2 和方法 3 可能受限于静态规则或传统算法的限制，无法很好地适应战场动态变化和不确定性因素，导致资源损耗量较高，并且波动性也较大。

为进一步验证上述 3 种方法在实际应用中的效果，以方法的收敛性为评价指标，对比 3 种方法的性能。方法的收敛性越高，说明该方法能够更快得到最优的分配方案，分配效果较好。实验中，利用 3 种方法进行分配，统计其分配过程中的收敛性。其具体统计结果如表 3 所示。

表 3 3 种方法的分配结果

实验次数	3 种方法的资源损耗量/%		
	方法 1	方法 2	方法 3
1	99.23	85.69	65.64
2	92.22	84.87	62.96
3	98.45	86.32	64.57
4	93.21	87.12	66.18
5	97.96	85.69	66.54
6	92.25	83.54	66.87
7	93.64	86.58	63.98
8	92.58	87.11	62.18
9	94.65	88.21	67.45
10	92.36	87.36	61.96

在上述实验结果中，通过进行多次实验可明显观察到方法 1 的收敛性表现较为强劲，而方法 2 和方法 3 的收敛性则显著低于方法 1。这意味着方法 1 在目标分配过程中能够更快速地达到稳定状态，并且具有更高的精确度。因此，可以得出结论认为本文所设计的方法在实际应用中具有更好的分配效果。方法 1 的高收敛性可能是由其自适应性和优化算法的特点所致。该方法采用了先进的智能算法，能够根据实时信息和任务需求动态调整资源分配策略，并通过不断迭代优化来实现更高效的分配结果。与之相比，方法 2 和方法 3 可能受制于静态规则或传统算法的限制，无法很好地应对战场动态变化和不确定性因素，导致收敛性较低。

为了进一步验证本文方法的可行性，以方法分配时间作为评价指标，对比 3 种方法的性能。实验中，利用 3 种方法进行多次实验，统计其资源分配时间。其具体统计结果

如表4所示。

表4 3种方法的资源分配时间

实验次数	3种方法的资源损耗量/%		
	方法1	方法2	方法3
1	1.23	25.69	25.64
2	2.22	24.87	32.96
3	2.45	26.32	34.57
4	3.21	27.12	26.18
5	1.96	25.69	26.54
6	2.25	23.54	34.87
7	3.64	26.58	23.98
8	2.58	27.11	32.18
9	2.65	28.21	27.45
10	2.36	27.36	31.96

根据表3的实验结果,可以观察到多次实验中方法1的资源分配时间相对较短,表明该方法具有高效和快速响应的特点。而相比之下,方法2和方法3的资源分配时间较高,并且在不同实验中呈现大幅波动的情况。这种波动可能暗示着这些方法在某些实验条件下存在不稳定性或难以准确调配防空武器资源。综上所述,尽管方法1的资源分配时间较短,但还需综合考虑其他指标来评估各种方法的优劣和适用性。

为了进一步验证本文方法的可靠性,文章以资源分配误差率作为实验指标,对比3种方法的性能。误差率越低,则说明分配效果越好。实验中,利用3种方法进行多次实验,统计其资源分配误差率。其具体统计结果如表5所示。

表5 3种方法的资源分配误差率

实验次数	3种方法的资源损耗量/%		
	方法1	方法2	方法3
1	15.8	85.69	87.11
2	14.5	84.87	88.21
3	13.5	86.32	87.36
4	14.3	87.12	66.18
5	15.3	85.69	66.54
6	16.8	83.54	66.87
7	15.3	86.58	63.98
8	13.2	65.64	62.18
9	10.9	62.96	67.45
10	15.9	64.57	61.96

根据表5的分析结果,可观察到本文方法的资源分配误差率与传统方法相比较低,均不超过20%。而其他两种方法的资源分配误差率高于60%。这表明本文方法在资源分配方面展现出较好的效果和准确性。较低的误差率意味着本文方法能更精确地将防空武器分配给目标,减少了资源的浪费和冗余。相对而言,其他两种方法的较高误差率

可能暗示着它们在资源分配过程中存在较大的偏差或不足。

综上所述,本文设计的基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法在实际应用中表现出了一系列优势和特点。首先,该方法在资源损耗方面较低。通过改进模拟退火算法的优化策略,能够有效避免不必要的资源浪费,确保防空武器集群在打击目标时的精确性和效率性。因此,在实施作战任务时能够最大限度地节约资源投入,提高资源利用效率。其次,该方法具备较高的收敛性。改进模拟退火算法能够通过随机搜索和接受次优解的策略,逐步调整分配方案并不断接近最优解。这使得防空武器集群打击目标的分配过程具有良好的收敛性,能够在相对短的时间内找到一个满足需求的最优或接近最优解,从而提高作战效果。此外,该方法在分配效果上也表现出较好的性能。通过充分考虑多个因素(如目标集群的重要性、执行任务的可行性、战场态势和环境适应性等),该方法能够综合多个指标和要素进行决策,确保分配的目标能够在最佳的条件下被打击。因此,在实际应用中,该方法能够实现精准且高效的目标分配,提高作战的成功率和效果。

### 3 结束语

科技的快速发展和军事需求的增加使得防空武器集群打击目标动态分配方法变得越来越重要。在这一背景下,改进模拟退火算法作为一种启发式搜索算法被广泛应用于实际应用中,以提高分配效果和优化资源利用。通过深入探讨改进模拟退火算法的原理和特点,本文设计的基于改进模拟退火算法的防空武器集群打击目标动态分配方法在实验中表现出良好的性能。该方法不仅可以处理大规模问题,而且能够适应不同的战场环境,为防空武器集群的作战效能提供了有效的支持。然而,尽管本文所设计的方法在实践中取得了较好的结果,但仍存在进一步改进的空间。在未来的研究中,可以进一步探索改进模拟退火算法的改进策略,以更好地适应复杂多变的战场环境,提高防空武器集群的打击效能和保卫国家安全的能力。

#### 参考文献:

- [1] 郑傲宇,梁晓龙,黄 骁,等.非精确情报信息环境下跨区域无人集群动态目标分配算法研究[J].空军工程大学学报,2023,24(5):23-32.
- [2] 赵 拓,邓汉强,高佳隆,等.基于网络节点聚类的多无人机动态目标分配[J].系统仿真学报,2023,35(4):695-708.
- [3] ZHEN Z, WEN L, WANG B, et al. Improved contract network protocol algorithm based cooperative target allocation of heterogeneous UAV swarm [J]. Aerospace Science and Technology, 2021, 119(6): 10-54.
- [4] LU J, GAO H. Online teaching wireless video stream resource dynamic allocation method considering node ability [J]. Scien-

tific Programming, 2022, 12 (15): 1-8.

- [5] 邱少明, 王雪珂, 杜秀丽, 等. 基于改进多目标简化群优化算法求解动态武器目标分配问题 [J]. 计算机应用与软件, 2023, 40 (6): 242-249.
- [6] 刘攀, 徐胜利, 张迪, 等. 基于粒子群优化的多导弹动态武器目标分配算法 [J]. 南京航空航天大学学报, 2023, 55 (1): 108-115.
- [7] 宋晓程, 李陟, 任海伟, 等. 目标动态威胁度驱动的分布式组网相控阵雷达资源优化分配算法 [J]. 雷达学报, 2023, 12 (3): 629-641.
- [8] 姜广胜, 史宪铭, 陈静, 等. 基于不完全信息博弈的动态武器目标分配 [J]. 指挥控制与仿真, 2022, 44 (3): 20-24.
- [9] 邵世文, 商剑平, 饶卫振. 煤炭码头船货匹配下泊位动态分配多目标优化模型及算法 [J]. 运筹与管理, 2022, 31 (1): 14-21.
- [10] 王丽萍, 沈笑, 吴洋, 等. 基于动态分配邻域策略的分解多目标进化算法 [J]. 浙江工业大学学报, 2021, 49 (3): 237-244.
- [11] 白建保, 尹栋, 谢海斌, 等. 基于命中概率模型的反舰导弹——目标分配方法研究 [J]. 舰船电子工程, 2021, 41 (7): 34-39.
- [12] 易凯, 张修社, 胡小全, 等. 多特征融合与深度学习的防空目标分配方法 [J]. 战术导弹技术, 2023, (4): 165-172.

- [13] 段恒宇, 赵爽宇, 纪德东, 等. 基于拍卖算法的传感器协同目标分配方法 [J]. 电讯技术, 2023, 63 (6): 889-894.
- [14] 李振宇, 李保刚, 雷瑶. 基于改进蚁群算法的防空作战武器目标分配方法 [J]. 舰船电子工程, 2023, 43 (3): 36-39.
- [15] 刘兴宇, 郭荣化, 任成才, 等. 基于身份匈牙利算法的无人机蜂群分布式目标分配方法 [J]. 兵工学报, 2023, 44 (9): 2824-2835.
- [16] 丘腾海, 胡佳斌, 蒲志强, 等. 通信拒止环境下的导弹集群多目标分配与决策方法 [J]. 航天控制, 2022, 40 (6): 30-38.
- [17] 高磊, 刘也墨, 尚腾, 等. 基于交叉熵优化的多飞行器在线协同目标分配方法 [J]. 导弹与航天运载技术 (中英文), 2022, (6): 26-29.
- [18] 常雪凝, 石建迈, 陈超, 等. 基于匈牙利一模拟退火算法的多阶段武器目标分配方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2023, 45 (11): 3516-3523.
- [19] 王楠, 戴江斌. 基于 INSGA-II 算法的武器一目标分配方法 [J]. 云南大学学报 (自然科学版), 2022, 44 (6): 1155-1165.
- [20] 刘俊贤, 王宏强, 陶新龙. 基于改进多目标粒子群优化算法的雷达资源分配方法 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2022, 17 (6): 549-556.

(上接第 195 页)

## 7 结束语

针对处于危险区的高温承压破碎机械控制系统, 本文重点阐述了防爆处理思路, 并通过冗余电源、CPU、通信和硬接线回路等, 保证了几乎“绝对”的可靠性。通过采用模块化编程、用户数据结构、多重背景、永久区域、堵转高效算法等手段, 对程序进行标准化处理, 准确性更佳、调试效率更高、可移植性更好。通过 MODBUS RTU 通信使中控系统可监视设备运行状态, 减少现场巡检周期; 同时中控系统可记录运行状态历史趋势, 方便故障的“重现”和解决。通过时钟同步保证了控制系统时间的准确性。通过现场运行反馈, 控制系统各项参数稳定, 操作、维护方便, 能保证设备的安全、可靠运行。

## 参考文献:

- [1] 李建法. 煤化工概论 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- [2] 申峻. 煤化工工艺学 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2020.
- [3] 何存兴, 张铁华. 液压传动与气压传动 (第二版) [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2008.
- [4] 陆德民. 石油化工自动控制设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [5] 马振福. 液压与气压传动 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [6] GB/T 3836.1/2/5-2021, 爆炸性环境 [S]. 北京: 国家标准化管理委员会, 2021.

- [7] 何军红. 西门子 PLC 编程与工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [8] 王永华. 现代电气控制及 PLC 应用技术 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [9] 江海蛟, 常明伟, 袁志林. 多工段多工位泵试验台控制方案设计 [J]. 计算机测量与控制, 2017, 25 (11): 69-70.
- [10] S7-1500 PLC 项目设计与实践 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [11] 深入浅出西门子人机界面 [M]. 北京: 西门子 (中国) 有限公司, 2012.
- [12] 崔坚, 李佳. 西门子工业网络通信指南 (下). 北京: 机械工业出版社 [M]. 2004.
- [13] 廖长初. S7-300/400PLC 应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [14] 张硕. TIA 博途软件与 S7-1200/1500 PLC 应用详解 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [15] 高钦和. 可编程控制器应用技术与设计实例 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [16] 崔坚. SIMATIC S7-1500 与 TIA 博途软件使用指南 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [17] LEWIS R W. The new IEC1131 standard for programmable controller languages brings the benefits of ‘open systems’ to industrial control systems [C] // Advances in Software Engineering for PLC, IEEE, 1993: 1/1-1/6.
- [18] 王振力. 工业控制网络 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012.