

基于改进 PSO 非均匀不规则目标瞄准点选择研究

李亚雄¹, 刘新学¹, 王增产², 舒健生¹, 武健¹

(1 第二炮兵工程大学 906 室, 陕西 西安, 710025; 2 96101 部队, 辽宁 沈阳, 110000)

摘要: 建立了基于目标功能体系结构的网络图评估模型, 利用集对分析对毁伤效果进行量化。研究了基于网格法的非均匀不规则子目标的毁伤计算模型。将人工免疫思想引入粒子群算法, 并将该改进算法用于瞄准点优化, 仿真结果表明该算法可有效解决瞄准点寻优问题。

关键词: 非均匀不规则, 网络图, 集对分析, 人工免疫, 粒子群

中图分类号: TJ765

文献标识码: A

0 引言

随着导弹武器作战效能的提高和打击范围的拓展, 摧毁集群目标将成为未来战场的主要作战模式。集群目标是指由多个子目标构成的目标系统, 它具有形状不规则, 结构复杂, 功能多样等特点。同时, 随着战场评估技术的不断发展, 未来战场上还存在着在对集群目标进行补充打击的作战样式。

以上两个作战样式都可以看成非均匀不规则目标 (Non-uniform and Irregular Area, NUIA) 的打击问题。作为火力运用研究的重要方面, 瞄准点选择直接影响导弹的作战效果。瞄准点优化选择主要涉及的问题有: 目标毁伤的描述, 优化函数的选择, 优化算法的选取和算法的实现。相对于点、线、面等典型目标而言, NUIA 瞄准点选择是一个非线性, 多峰值的优化问题。对 NUIA 的瞄准点优选是本文研究的重点。

1 基于网络图的毁伤效果评估模型

假设 n 枚导弹打击某 NUIA 目标时, 该瞄准点优选问题可描述如下: 在目标区域 S 内如何选择瞄准点, 使得对 NUIA 目标的打击效果最佳, 即在导弹数量 n 一定的情况下, 计算每发导弹的瞄准点, 使其对 NUIA 目标的毁伤价值 F 最大, 目标模型为:

$$\max F = f((x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots (x_n, y_n))$$

式中: $(x_i, y_i) \in S$ ——第 i 枚导弹的落点。

一般情况下, 目标由若干个子目标组成, 对 NUIA 目标的毁伤效果即为对组成其子目标群的综合毁伤。考虑到一般目标组成的复杂性, 本节在建立子目标毁伤模型的基础上, 利用网络图模型对 NUIA 目标的毁伤效果进行了研究。

1.1 目标功能体系结构分析

对于 NUIA 目标, 导弹命中在不同的区域上, 最终毁伤效果一般不同, 同时由于子目标之间的相互关联和影响, 因此需要对目标进行功能结构分析。

作战过程中, 有些子目标或部件的毁伤将导致整个集群目标毁伤或主要功能丧失, 这些子目标或部件称作关键部件。进行目标易损性分析与评估时, 一般只考虑关键子目标或部件。对 NUIA 目标区域划分的尺度与子目标的易损性和尺寸直接相关; 划分层次与计算量有关。在实际运用中结合该 NUIA 目标系统的有关技术说明, 确定要害区域的空间位置分布和大小尺寸。

1.2 基于网络图模型毁伤效果评估模型的构建

NUIA 目标由于其结构复杂性, 子目标之间可能相互联系和影响, 传统的加权求和模型和串并联模型只能处理关系相对简单的目标, 在大多数目标的毁伤效果计算可能不准确。相反, 网络图模型从因果联系入

手, 刻画了原因对结果的作用。网络图模型能够体现子目标间的复杂关系, 在计算毁伤效果时具有累积、级联等多种作用。对 NUIA 目标的毁伤效果计算更加准确合理。本节在 1.1 节的基础上, 利用网络图构建目标的毁伤效果评估模型[4]。

1.2.1 子目标毁伤效果计算

文献[2]中给出了工程上易于实现的基于计算机模拟的任意形状面目标毁伤效果计算方法。本文采用该方法对子目标毁伤效果进行计算。

1.2.2 基于集对分析毁伤评估和量化

网络图模型的构建为毁伤效果评估提供了基础框架, 在此基础上, 还存在毁伤效果的量化与评估问题。传统的评估多采用“定值法”, 而由于评估中存在诸多不确定性因素且子目标间关系复杂, 毁伤效果具有累积、级联、多次等多种作用, 本文引入集对分析中的联系数来对毁伤效果进行量化计算。集对分析是赵克勤在 1989 年提出的处理随机、模糊、信息不完全等不确定性所导致的综合不确定性问题的方法。集对分析的一般表达式为:

$$V = a + bi + cj$$

式中, a ——同一度; b ——差异度; c ——对立度; 一般情况下 $j = -1$, $i \in [-1, 1]$, $a, b, c \in [0, 1]$ 且满足 $a + b + c = 1$ 。

对于 NUIA 目标来说, 对其遭受火力打击后效能下降进行评估时, 部分效能与毁伤效果是可以确定的, 对于另一部分效能则不能确定。本文中定义 a 表示目标被打击后的效能; b 表示不能确定的效能, $b = 1$ 为乐观估计, $b = -1$ 则为悲观估计; c 表示目标遭受打击的损失效能, 即毁伤效果。毁伤效果可用集对分析进行量化和计算。

设联系数 $V_1 = a_1 + b_1i + c_1j$, $V_2 = a_2 + b_2i + c_2j$, 其中 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2 \in [0, 1]$, 具有以下加法和乘法运算法则:

加法法则:

$$V_1 + V_2 = (a_1 + a_2) + (b_1 + b_2)i + (c_1 + c_2)j$$

乘法法则:

$$V_1 \cdot V_2 = a_1a_2 + (a_1b_2 + a_2b_1 + b_1b_2)i + (b_1c_2 + b_2c_1 + a_1c_2 + a_2c_1 + c_1c_2)j$$

则目标毁伤效果的计算公式为:

$$V = \begin{cases} V_r & k = 0 \\ V_r[(1-k) + V' \cdot k] & 0 < k < 1 \\ V_r \cdot V' & k = 1 \end{cases}$$

式中, V_r 为终节点毁伤效果, V' 为始节点毁伤效果, k 是始节点对终节点的关联度。

2 基于改进 PSO 瞄准点选择模型

由于瞄准点选择在空间上的连续性和计算的复杂性, 因而求解具有很大的难度。考虑瞄准点选择的连续性, 因此, 本文用粒子群优化(Particle Swarm Optimization, PSO)算法进行求解。PSO 算法是计算智能领域除蚁群算法的另一种智能算法, 它同遗传算法类似, 通过个体间的协作和竞争实现全局搜索。系统初始化的一组随机解, 称之为粒子。通过粒子在搜索空间的飞行完成寻优, 在数学公式即为迭代, 它没有交叉算

子和遗传算子，而是粒子在解空间追随最优的粒子进行搜索。该模型中的每个个体都有感知自己周围的局部最好位置的个体和调整种群的全局最好位置的粒子存在，同时根据自己的状态调整自己的行为。PSO 原理上十分简单，所需参数也较少，并且易于实现。但 PSO 算法存在收敛速度慢，容易出现过早收敛的缺点，针对这些不足，本文将人工免疫的思想引入 PSO 算法来研究瞄准点的优选问题。

2.1 人工免疫网络算法

人工免疫网络算法(Artificial Immune Network algorithm, AINet)是在人工免疫系统基础上发展起来的一种智能算法，是由一些以一定连接强度联系起来的抗体群组成的网络，主要基于克隆选择、高频变异及免疫网络等免疫学原理实现【8】。AINet 将要分析的数据看作抗原，将算法产生反映抗原特征的数据看作抗体，模拟免疫网络抗体抗原之间的相互刺激和作用，按照一定的算法实现数据处理。用人工免疫算法求解实际问题首先需要将问题的有关描述与免疫系统的有关概念及免疫原理对应起来，定义免疫元素的数学表达或编码，然后再设计相应的免疫算法。

人工免疫算法的基本流程如图 1 所示。该算法由以下几个步骤组成：

(1)定义抗原：本文中抗原为要解决的问题。抗原识别对应瞄准点方案的产生。

(2)产生初始抗体群体：将抗体的群体定义为瞄准点选择方案，抗体与抗原之间的亲和力对应对系统目标的毁伤效果，亲和力越高，说明毁伤效果越好。

(3)计算亲和力：计算抗原与抗体之间的亲和力。

(4)克隆选择：与抗原有较大亲和力的抗体优先得到繁殖，抑制浓度过高的抗体(避免局部最优解)，淘汰低亲和力的抗体。为获得多样性，抗体在克隆时经历变异(如高频变异等)。在克隆选择中，抗体促

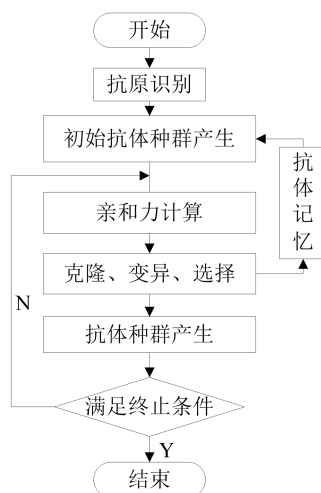


图 1 人工免疫算法流程

进和克隆删除对应优化解的促进与非优化解的删除等。

(5)抗体记忆：为初始抗体的产生提供指导，并对克隆选择后好的抗体进行记忆。

(6)评估新的抗体群体：若不能满足终止条件，则转向(3)，重新开始；若满足终止条件，则当前的抗体群体则为问题的最佳解。

2.2 基于人工免疫原理的改进 PSO 算法描述

本文在 PSO 算法的基础上，引入免疫系统的克隆处理机制，从而提高了 PSO 算法的全局搜索的能力和收敛速度。

(1) 初始化各种参数及终止条件。则每个粒子对应 k 枚导弹的瞄准点位置，记为 $(x_{i1}, y_{i1}), (x_{i2}, y_{i2}), \dots, (x_{ik}, y_{ik})$ ，并且给定粒子的初始速度 V_{i0} 。

(2) 计算 m 个粒子在此代的适应度，本文将所研究的打击效果即作战效能作为粒子的适应度。即利用

Monte-Carlo 计算毁伤效果。同时记录每个粒子在迭代中的最优解 M_{id} 及全局最优解 M_g 。其中表征对应于粒子的一组瞄准点坐标。

(3) 更新粒子的位置和速度

$$v_{id} = \omega \cdot v_{id} + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{id} - M_{id}) + c_2 \cdot r_2 \cdot (p_{id} - M_g)$$

$$p_{id} = p_{id} + v_{id}$$

式中： i ——粒子； d ——粒子的维数； p_{id} ——对应于粒子的一组瞄准点坐标； ω ——惯性权重； c_1 ,

c_2 ——加速系数； r_1, r_2 ——[0,1]范围内变化的随机数。

(4) 将每一粒子视为抗体，产生克隆变异集合，克隆数目与粒子的当前适应度成比例(粒子克隆)；

(5) 对每一粒子选择一个对该抗原具有最高亲和力的克隆(粒子选择)；

(6) 对原粒子和克隆粒子根据刺激阈值，检查各自所受刺激程度，受刺激强烈的抗体在群体中保持，而不受刺激或刺激较弱的粒子被替换（粒子抑制）；

(7) 重复步骤 (2)~ (6)，直至满足结束条件为止。

3 仿真算例及结果分析

设某次作战时，对敌方某 NUIA 目标实施打击。给定武器参数：精度 $CEP = 100m$ ；抛撒半径 $R = 100m$ ；导弹数量为 4 发，战斗部类型为整体爆破弹。为简化计算，本文假定单个子目标上的相对价值均匀分布，采用 0-1 毁伤率，即以相对毁伤面积作为子目标的毁伤效果。打击的 NUIA 目标共三类功能区域，五个子块，具体分布见图 2。在对目标分析的基础上，建立目标的网络图模型如图 3 所示。

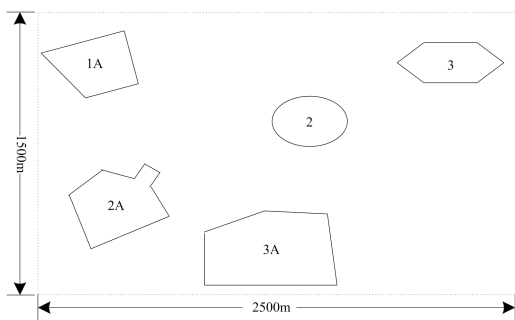


图 2 某 NUIA 目标分布图

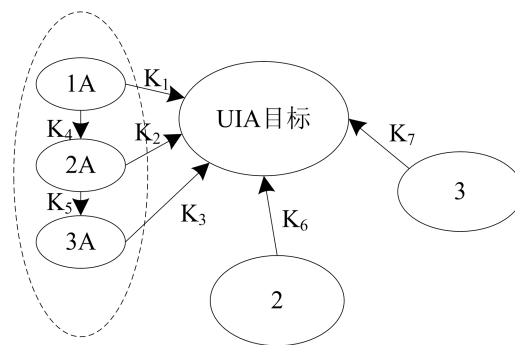


图 3 NUIA 目标网络图评估模型

为了简化计算，本文中将联系系数进行简化，取联系系数如表 1 所示。同时，把联系系数简化为 $V = a + cj$ 的形式。

表 1 联系系数取值

序号	数值	序号	数值
K1	0.3	K4	0
K2	0.3	K5	0
K3	0.4	K6	1
K7	1		

以该区域的中心点为原点，单位为 m 建立直角坐标系瞄准点初值设为：(1250, 750)，(1250, -750)，

(-1250, 750), (-1250, -750), 利用本文的模型进行计算得到效果值随粒子迭代次数的变化曲线如图 7 所示, 得到最优瞄准点为: (-49.4, -533.3), (219.5, 131.2), (870.9, 435.7), (-799.1, -562.5)。

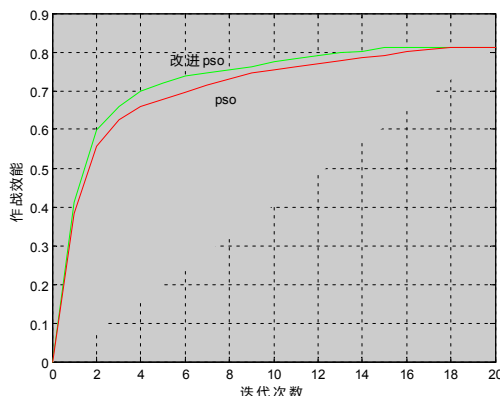


图 4 作战效能优化曲线

从图 4 中可以看出, 利用基于人工免疫的 PSO 算法在简化的情况下可以解决 NUIA 目标的瞄准点选择问题, 算例中 4 枚导弹对该 NUIA 目标的作战效能达到了 0.813。同时, 基于人工免疫的 PSO 算法在 14 代后达到了收敛, 而 PSO 算法则需要 18 代, 证明该改进 PSO 算法具有更好的收敛性。

4 结束语

瞄准点选择是导弹火力计划中的一个重要部分, 为了适应作战的需要, 必须同时满足时间要求和精度要求。通过实例验证, 本文所建立的模型能够有效的解决非均匀不规则的面目标瞄准点寻优问题。文中模型通过建立网络图建立毁伤评估模型, 在此基础上, 建立了基于改进 PSO 的瞄准点优选模型。最后通过算例证明了模型的有效性。文中方法具有一定的实际价值, 为导弹的瞄准点的选取提供了可行方法。

参考文献

- [1]赵焯, 时敏目标打击体系建模与评估方法研究[D], 国防科技大学, 2009.
- [2]李亚雄, 刘新学. 任意形状非均匀面目标毁伤效果计算方法[J], 火力指挥与控制. Vol.33, April, 2008.
- [3]黄寒砚, 王正明, 吴福强. 系统目标瞄准点优选方法[J], 弹道学报, Vol.22No.1 Mar.2010.
- [4]李大伟, 赵文杰. 基于网络图的机场目标毁伤效果评估[J], 兵工自动化, Vol. 28, No.1 Jan.2009.
- [5]曹强, 张明智. 人工免疫算法在火力分配上的应用[J], 现代防御技术, V01. 37 NO. Jun. 2009.
- [6]邢文训, 谢金星. 现代优化计算方法[M], 清华大学出版社.2005.
- [7]李建勇, 粒子群优化算法研究[D], 浙江大学, 2004.
- [8]颖, 徐晓晖, 李志全. 基于免疫克隆原理的改进粒子群优化算法的研究[J], 系统仿真学报, Vol.20 No.6.Mar.2008.
- [9]黄大荣, 郭安学, 李云生, 徐红兵, 霍勇谋. 基于专家知识属性重要度的集群目标威胁评估方法[J], 兵工学报, Vol.30.No.10.Oct.2009.
- [10]陈智江, 毕义明. 多枚导弹打击复杂形状面目标毁伤面积解析算法[J], 火力与指挥控制, Vol.33 No.10.Oct.2008.
- [11] WANG Rong-ji, WANG Ling-ling, ZHAO Li-hua. Rapid prototyping process by neural network[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2005, 15(3): 452—457