

复杂地形条件下激光假目标布设问题研究

辛 诚,汪亚夫,周 权

(电子工程学院,安徽 合肥 230037)

摘 要:合理布设激光假目标是成功实施激光角度欺骗干扰的关键环节。复杂地形条件下,假目标布设往往受到地物、建筑物和车辆等因素影响,存在多个禁布区域,从而导致人工决策难以快速形成最佳布设方案。本文在分析假目标布设原则的基础上,利用粒子群算法对可布设区域受限情况下的假目标布设方案进行了优化,并针对三种应用场景验证了优化算法的可行性和适应性。

关键词:假目标布设;禁布区域;粒子群算法;激光角度欺骗干扰

中图分类号:TN977 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2017.07.017

Research on layout of laser fake targets in complex terrain

XIN Cheng, WANG Ya-fu, ZHOU Quan

(Electronic Engineering Institute, Hefei 230037, China)

Abstract: Rational layout of laser fake targets is a key link in the process of successful implementation of laser angle deception jamming. Under the condition of complex terrain, false target setting is often affected by environment factors, such as surface features, buildings and vehicles. There are many forbidden areas, which will cause that human decision-making is difficult to form the best layout scheme quickly. Through analyzing the principles of false target deployment, fake target layout scheme in complex terrain is optimized using particle swarm algorithm, and the feasibility and adaptability of the algorithm are verified according to three kinds of application scenarios.

Key words: fake target layout; forbidden area; particle swarm algorithm; laser deception jamming

1 引 言

作为对抗激光半主动制导武器的主要技术手段之一,激光角度欺骗干扰技术已经广泛应用于多种光电对抗地面武器平台上。假目标布设是激光角度欺骗干扰手段中的一个重要环节。合理的布设方案应采用最少数量的假目标完成指定空域的全面防护。之前有关假目标布设问题的研究^[1-2]都针对理想地形条件下进行分析,其假目标布设方位不受限制,制定布设方案时只须考虑假目标的防护范围和过顶区因素,进而确定假目标个数和相互之间的位

置关系即可实现全方位的目标防护。但在实际的布设过程中,假目标的可布设区域往往受到诸如地形、建筑物和车辆遮挡等复杂条件的限制,无法实现自由排布,导致以往的假目标布设方案失效。尤其在多个禁布区域同时存在的情况下,方案制定人员很难快速做出计算和判断并得到最佳的布设方案。

针对以上问题,本文提出利用粒子群算法对复杂地形条件下的假目标布设问题进行优化,能够快速给出最佳的布设方案和有效防护区域,为方案制定者提供参考和辅助决策。

2 激光假目标布设的基本原则

激光假目标的布设原则应从激光角度欺骗干扰的原理出发进行考虑。激光角度欺骗干扰过程中,干扰激光器将相同编码的干扰激光信号投送到假目标。经假目标漫反射后,干扰激光信号弥散分布在该假目标的防护区域。处于该区域的激光半主动制导武器大概率会被诱骗至假目标位置,从而达到对保护目标的防护目的。

激光假目标一般选取制式的假目标板,其表面反射率较高,能够实现更大的防护区域覆盖。在不具备布设固定假目标板的条件下,也可选取反射率较高的地物作为自然地物假目标。通常情况下,对方激光制导武器的攻击方向无法预知,应在保护目标周围布设多个假目标使其防护范围能够覆盖整个空域。在保护目标周围有天然屏障遮蔽或具备空情报支援的条件下,若能预知对方的攻击方向,则防护范围仅覆盖部分空域。

假目标的布设位置应考虑三方面的因素:一是假目标与保护目标之间的距离应大于激光半主动制导武器的杀伤半径,且保证假目标的反射信号能进入制导武器的导引头视场。二是假目标的布设方位。理想条件下应保证多个假目标的综合防护范围能够覆盖整个空域,且没有过顶区存在。三是假目标的布设位置要保持与干扰激光器和防护区域的通视。

3 利用粒子群算法求解复杂地形条件下的假目标布设问题

3.1 粒子群算法的基本原理

粒子群优化算法^[3](Particle Swarm Optimization, PSO)起源于对鸟群觅食行为的模拟,具有求解简单、参数调整少、收敛速度快等优点。在PSO系统中,每个备选解被看作在 n 维搜索空间中以一定速度飞行的一个粒子,其位置向量 $P_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$,速度向量 $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ 。迭代过程中,每个粒子的飞行速度根据其自身的飞行经验以及粒子群的飞行经验进行动态调整。粒子速度和位置的更新方法如下:

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + c_1r_1(p_i^{best} - p_i^t) + c_2r_2(p_g^{best} - p_i^t)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}$$

其中, p_i^t 和 v_i^t 分别为第 i 个粒子当前的位置和速度; p_i^{best} 为该粒子经历过的最好位置,该位置具有历史上的最佳适应值; p_g^{best} 为粒子群中所有粒子经历过的最好位置; w 为惯性权重,代表粒子保持自身运动

的惯性,使其有能力探索新的区域,通常可取固定值或随迭代次数逐渐减小; c_1 和 c_2 为学习因子,其作用是使粒子分别向 p_i^{best} 和 p_g^{best} 位置加速运动,通常取 $c_1 = c_2 = 2$, r_1 和 r_2 为 $[0,1]$ 之间的随机数。

初始状态下,若干粒子随机分布在解空间中,粒子速度也分布在合适的随机区间。迭代过程中,粒子群中的每个粒子根据个体最优解和种群最优解来更新自己的速度和位置,在解空间中进行搜索,实现待求解问题的优化。

3.2 复杂地形条件下的假目标布设问题

复杂地形条件下,由于受到地形或障碍物限制,假目标的布设方位可能存在若干个禁布区域,设禁布区域集合为:

$$F = [F_1, F_2, \dots, F_k]$$

对所有禁布区域取并集,有:

$$F_{combined} = \bigcup_{i=1}^k F_i$$

待布设的假目标个数为 n ,某布设方案中假目标的布设方位向量为:

$$P = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

其中, $x_i \in F_{combined}$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。相应的防护区域集合为:

$$A_p = [A_1, A_2, \dots, A_n]$$

对所有假目标的防护区域取并集可以得到总的防护区域范围:

$$A_{combined}^p = \bigcup_{i=1}^n A_i$$

定义期望防护的空域范围为 $A_{expected}$,若要实现全空域防护,则 $A_{expected} = [0, 360]$ 。最佳布设方案对应的最优解 P_{best} 应使得有效防护区域最大,即:

$$A_{combined}^{P_{best}} = \text{Max}(A_{combined} \cap A_{expected})$$

利用粒子群算法优化上述复杂地形条件下的假目标布设问题。算法流程如图1所示。

3.3 算例分析

为了验证上述算法的可行性和适应性,在不同的应用场景中采用随机生成多个批次的禁布区域集合进行布设方案生成。

3.3.1 良好地形条件

多数情况下禁布区域的产生是由于保护目标周围车辆和小型建筑物遮挡,或小范围不利于假目标架设的地形造成的。禁布区域的范围较小,数量不多。该应用场景的验证可以通过随机生成多个范围

在 $[5^{\circ}, 10^{\circ}]$ 的禁布区域来进行模拟。

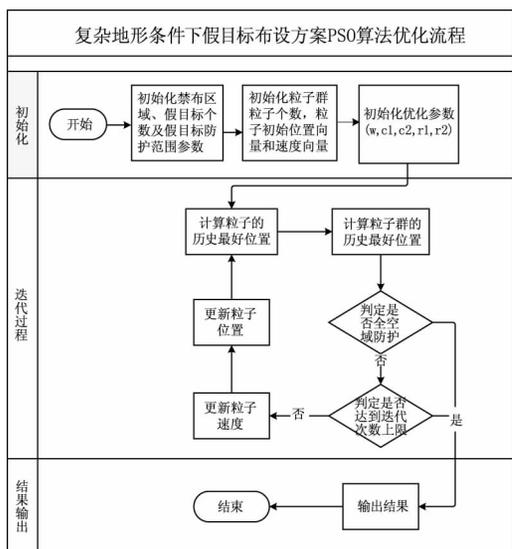


图1 PSO 算法优化流程

Fig.1 PSO algorithm's flow diagram

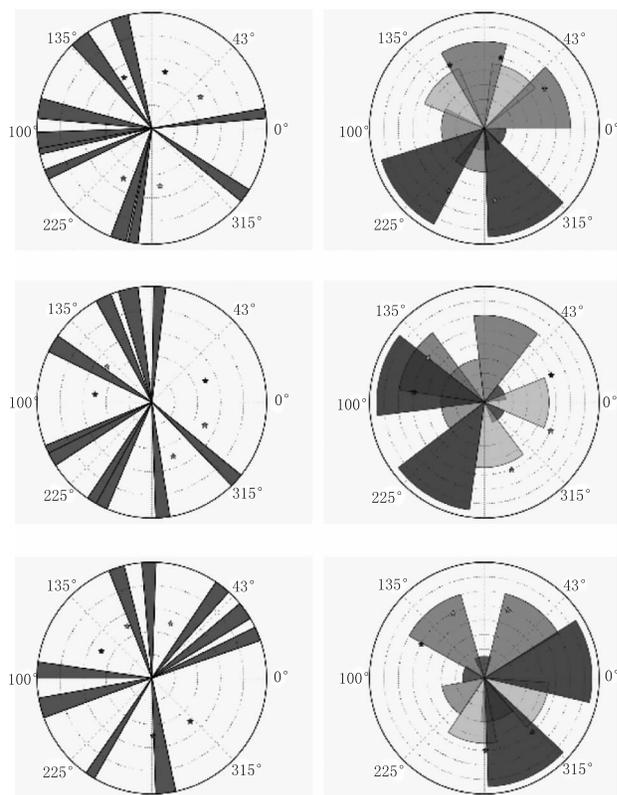


图2 良好地形条件下假目标布设方案生成

Fig.2 Optimization results of fake target layout in normal terrains

如图2所示,其左侧图像为随机生成的三组禁布区域集合,右侧为粒子群算法生成的布设方案和相应的防护区域示意图。假目标布设方位用 \star 标记标出。相同半径的扇形表示同一个假目标的防护区

域,其半径大小仅用来标记对应的假目标,而与防护距离无关。从图上可以看出,所有的假目标均位于禁布区域以外,且构成的防护范围能够覆盖整个空域,实现了最优的布设方案。

3.3.2 恶劣地形条件

恶劣地形条件下,可能有大型建筑物遮挡或大范围不适合布设假目标的地形障碍,容易产生范围较大,分布密集的禁布区域。采用随机生成多个范围在 $[30^{\circ}, 50^{\circ}]$ 的禁布区域来模拟该应用场景,如图3所示。

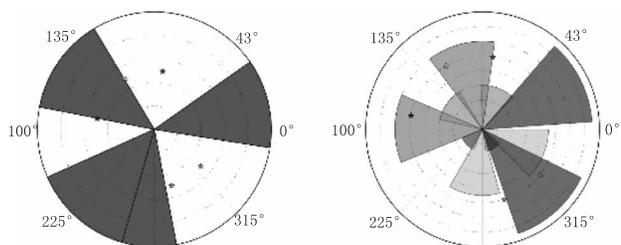


图3 恶劣地形条件下假目标布设方案生成

Fig.3 Optimization results of fake target layout in rough terrain

算法给出了假目标个数为5时的最优布设方案,使得防护范围达到最大,但该条件下无法覆盖整个空域。方案制定者可根据给出的方案做出下一步判断,调整干扰激光器或周边车辆位置,或者改变阵地开设区域。

3.3.3 指定空域防护

在有天然屏障保护或友军支援的情况下,假目标的布设可只对指定空域进行防护。该场景下最优布设方案是使用最少的假目标完成相应区域的防护任务。同样随机生成若干 $[5^{\circ}, 10^{\circ}]$ 范围的禁布区域,假设指定防护空域为 $[0^{\circ}, 180^{\circ}]$,进行方案生成。

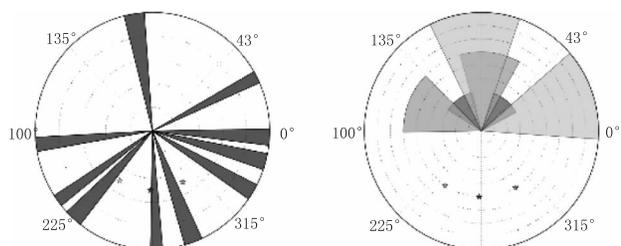


图4 指定空域防护时的假目标布设方案生成

Fig.4 Optimization results of fake target layout for designated protection regions

如图4所示,优化算法给出利用最少数量假目

标对指定空域进行防护的布设方案。

4 结 论

利用粒子群算法对复杂地形条件下的激光角度欺骗干扰假目标布设问题进行了最佳布设方案的优化求解。针对良好地形条件、恶劣地形条件以及指定区域防护三种应用场景所生成的布设方案表明,优化算法对假目标布设问题的可行性和适应性较好,其优化结果能够给决策人员提供辅助和参考。

参考文献:

- [1] SUN Chunsheng, ZHANG Xiaohui, RAO Jionghui, et al. Layout of diffuse reflection board used for laser decoying [J]. *Laser & Infrared*, 2013, 43(3): 252 - 255. (in Chinese)
- [2] LÜ Song, YANG Wen, YANG Baoqing, et al. Research on flawless deployment of decoys in laser angle cheating jamming [J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2016, 14(5): 38 - 42. (in Chinese)
- [3] Kennedy J, Eberhart R C. Particle Swarm Optimization [C]. *Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks*, 1995: 1942 - 1948.