

引用格式:黄思源,李兵,刘东升.基于DRFM的假目标威胁等级提升方法[J].电光与控制,2018,25(7):8-13,28. HUANG S Y, LI B, LIU D S. Promoting the threat level of false targets based on DRFM[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(7):8-13, 28.

基于DRFM的假目标威胁等级提升方法

黄思源, 李兵, 刘东升
(军械工程学院导弹工程系, 石家庄 050003)

摘要: 针对干扰机难以对雷达产生具有较高威胁程度的假目标的情况,为提高假目标对真实目标的掩护效果,提出基于数字射频存储(DRFM)的假目标威胁等级提升方法。根据DRFM干扰原理归纳了3种干扰模型,结合“功率颠倒转发”的高度欺骗方法,调整干扰模型参数并完善假目标各方面信息。干扰实施流程的仿真计算结果显示,该干扰方法可以形成连续平稳的虚假航迹,且假目标威胁等级高于真实目标,验证了该方法的有效性。

关键词: 数字射频存储; 目标威胁等级; 多属性决策; 旁瓣干扰; 高度欺骗; 虚假航迹

中图分类号: TN974 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.07.002

Promoting the Threat Level of False Targets Based on DRFM

HUANG Si-yuan, LI Bing, LIU Dong-sheng

(Missile Engineering Department of Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: It is difficult for the jammer to generate a false target with a high degree of threat to interfere the radar. In order to improve the sheltering effect of false targets on real targets, a method for promoting the threat level of false target based on Digital Radio Frequency Memory (DRFM) is presented. According to the operating principle of DRFM, three kinds of interference models combined with power reverse forwarding deception jamming are summed up. By adjusting the parameters of the interference model, all aspects of the false targets are improved. According to simulation calculation result of the interference implementation process, this method can form continuous and stable false tracks, and the threat level of false targets is higher than that of the real targets. Therefore, the validity of the method is proved.

Key words: digital radio frequency memory; target threat level; multi-attribute decision making; sidelobe interference; height deception jamming; false track

0 引言

现代防空系统为保卫目标空域提供完全覆盖,突防飞行器已无法做到完全回避威胁^[1]。在雷达对抗中,数字射频存储(DRFM)干扰机作为一种有源欺骗干扰电子战部件,通过产生一定数量与目标雷达回波信号高度逼真的假目标^[2],在敌方雷达PPI显示器上产生持续或间断的假目标航迹,降低或破坏敌方各种雷达尤其是地面预警雷达对空袭飞机的探测和跟踪能力^[3],掩护高威胁环境中突防飞机实现突防攻击。DRFM干扰机对敌方雷达成功欺骗需要调制假目标在距离、速度、方位、

高度等各方面的信息。一方面,欺骗干扰的效果以雷达将假目标作为真目标处理的概率为准则,不符合真实目标运动规律的假目标即使进入了雷达数据处理环节,也可用动力学模型匹配鉴别法和雷达滤波鉴别法等方法对假目标进行鉴别剔除,导致干扰无效^[4];另一方面,防空武器系统处理目标的优先顺序取决于雷达采用的目标威胁等级评估方法,例如多属性决策方法、神经网络方法、贝叶斯网络等^[5],若假目标的威胁等级低于真实目标,不能被雷达优先处理,不仅造成干扰资源的浪费,还可能使突防失败。所以,提升干扰效果需要同时提高假目标运动信息的逼真程度和威胁等级,目前对于假目标威胁等级提升方法和以假目标威胁等级作为欺骗干扰评估准则的相关研究还比较少。

针对上述问题,本文首先分析DRFM干扰机关键参数并建立3种干扰模型,通过调整干扰模型各参数

收稿日期:2017-07-18

修回日期:2017-08-21

基金项目:军队科研项目(装司[2015189]号)

作者简介:黄思源(1993—),男,河南漯河人,硕士生,研究方向为数字射频存储及雷达电子对抗技术。

产生相应的假目标信息,针对典型的方位机械旋转俯仰顺序波瓣法测角的三坐标雷达和多属性决策威胁等级评估方法进行欺骗干扰仿真实验,验证了假目标威胁等级提升方法的有效性。

1 目标威胁等级量化函数

决定空中进攻目标威胁等级的属性主要有:目标高度、目标距离、目标速度、目标航路捷径和目标类型。各种威胁等级评估方法依据决策方对某属性的偏好建立知识库,具有不同的定性推理过程^[6]。多属性决策法基于对多因素的评估,在威胁评估方法中具有典型性,该方法评估的目标威胁值为

$$U = \sum_{i=1}^5 x_i w_i \quad (1)$$

式中: x_i 为目标属性威胁程度量化值; w_i 为目标属性的权重,由专家经验确定,满足

$$\sum_{i=1}^5 w_i = 1 \quad (2)$$

对于雷达而言,飞行高度越低的目标,被探测发现的概率越低,威胁等级就越高^[7]。目标高度威胁量化函数可看作偏小型的降半正态分布函数^[8],即

$$x_1 = \begin{cases} 1 & 0 < h \leq h_1 \\ e^{-0.0005(h-h_1)} & h > h_1 \end{cases} \quad (3)$$

式中: h 为目标高度; h_1 为威胁最大高度。

目标与雷达阵地的距离可以反映空中目标的攻击企图,目标距离越远,威胁越小,其威胁等级量化函数符合降岭形分布,即

$$x_2 = \begin{cases} 1 & d \leq 100 \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \left[\frac{d - (d_1 + d_2)/2}{d_1 - d_2} \pi \right] & d_2 < d \leq d_1 \\ 0 & d_1 < d \end{cases} \quad (4)$$

式中: d 为目标距离; d_1 为威胁最小距离; d_2 为威胁最大距离。

目标飞行速度越快,到达雷达阵地时间越短,雷达对其跟踪的精确性和稳定性越差,威胁等级就越高。根据模糊数学原理^[8],速度威胁等级量化函数符合升岭形分布,即

$$x_3 = \begin{cases} 0 & v \leq v_2 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \left[\frac{v - (v_1 + v_2)/2}{v_1 - v_2} \pi \right] & v_2 < v \leq v_1 \\ 1 & v_1 < v \end{cases} \quad (5)$$

式中: v 为目标速度; v_1 为威胁最大速度; v_2 为威胁最小速度。

航路捷径反映空中目标的攻击意图,航路捷径越小,在接近雷达阵地时实施攻击的可能性就越高,应该

优先攻击。航路捷径威胁等级量化函数为

$$x_4 = e^{-q \cdot p^2} \quad 0 < p \leq p_1, \quad q = -\ln(0.001)/p_1^2 \quad (6)$$

式中: q 为指数系数; p_1 为威胁最小航路捷径; p 为目标航路捷径。

不同类型目标的威胁等级也不同,来袭目标的作战效能越强,威胁程度越大,反之越小。目标类型威胁等级量化值 x_5 如表1所示^[9]。

表1 目标类型威胁等级量化

Table 1 Target type threat-level quantification

目标类别	目标名称	威胁程度	威胁等级
第1类	战术弹道导弹	最大	0.55
第2类	空地导弹、反辐射导弹	很大	0.50
第3类	巡航导弹、隐身飞机、轰炸机	较大	0.45
第4类	歼轰机、指挥机	一般	0.40
第5类	小型机、直升机、侦察机	小	0.30

2 DRFM 欺骗干扰原理及干扰模型

2.1 DRFM 欺骗干扰原理

突防作战中通常采用携带DRFM干扰机的电子战飞机在预定空域飞行,根据预先侦察的敌方雷达信息,有规律地发射干扰信号^[10]。干扰信号主要从雷达天线旁瓣进入接收机,若信号能量大于雷达检测门限,雷达就会确认假目标的方位为当前主瓣指向的方位,从而形成预期的航迹欺骗^[11]。

如图1所示,DRFM干扰机接收到雷达某旋转周期内的脉冲信号后,一路信号将射频信号以数字形式存储,另一路信号(a)经过放大检波后分别进行脉冲延迟(b)和方波延迟(c)^[12]。然后干扰机将信号恢复加以调制(d):选通电路用延迟的方波选通延迟后的脉冲,将功率放大后输出,对雷达造成方位和距离同时干扰。

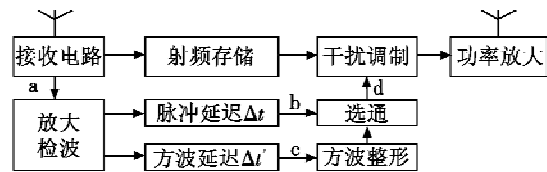


图1 DRFM旁瓣干扰原理

Fig. 1 Sidelobe jamming principle of DRFM

如图1所示,DRFM干扰机的脉冲(距离)延迟时间为 Δt ,方波(方位)延迟时间为 $\Delta t'$ 。 T_0 为雷达天线旋转周期,干扰机发射一次信号产生的距离欺骗量为

$$R = R_0 + \Delta R \quad (7)$$

式中: R_0 为干扰机与雷达之间的距离; ΔR 为雷达天线在该旋转周期内的欺骗距离,则相对于探测波束到达时刻的脉冲延迟时间为

$$\Delta t = 2 \cdot \Delta R / c \quad (8)$$

在精确掌握雷达扫描规律的情况下,干扰机可以

实现导前脉冲干扰^[13],此时,假目标回波相对于雷达探测波束发射时刻的延迟量为

$$\Delta t_1 = (2R - R_0)/c \quad (9)$$

干扰机发射一次信号产生的角度欺骗量为

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta \quad (10)$$

式中: θ_0 为雷达前一旋转周期的角度总偏移量; $\Delta\theta$ 为雷达本旋转周期的角度偏移量。对于方位距离两坐标雷达, $\omega = 2\pi/T_0$ 为天线转速,干扰机转发方波延迟时间为

$$\Delta t' = \Delta\theta/\omega \quad (11)$$

对于三坐标警戒雷达,设雷达侦察设备侦察到的每旋转周期探测波束发射时刻矩阵为

$$(t_{i,j})_{n \times m} \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m \quad (12)$$

当 $\Delta t' = t_{i,j}$ 时,假目标在第 j 方位角和第 i 俯仰角同时产生欺骗。

2.2 基于 DRFM 的干扰模型

根据上述干扰原理,DRFM 干扰机在实施干扰时起决定因素的变量主要是 Δt 和 $\Delta t'$,而制定干扰策略时需要考虑的变量主要是 ΔR 和 $\Delta\theta$ 。本文针对 PPI 显示器,在雷达每旋转周期方位延迟量 $\Delta\theta$ 固定的情况下,模拟飞行器不同的运动状态,归纳了 3 类干扰模型,分别为距离延迟量固定的干扰、点迹间距离固定的干扰、飞行方向固定的干扰。

2.2.1 距离延迟量 ΔR 固定的干扰模型

雷达每旋转周期距离干扰量 ΔR 值和角度偏移量 $\Delta\theta$ 值固定的旁瓣干扰是最典型的旁瓣干扰样式,干扰模型如图 2 所示。

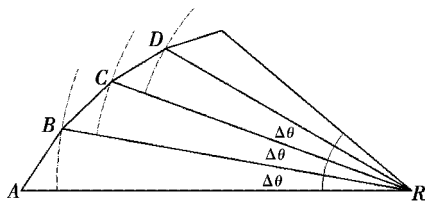


图 2 第 1 种旁瓣干扰模型

Fig.2 The first sidelobe jamming model

为简化模型,设 R 为雷达所处位置, A 为雷达天线旋转第 1 个周期时假目标的位置, B, C, D 依次为雷达天线旋转第 2,3,4 个周期时的位置, AB, BC, CD 为产生的假目标之间的距离,满足 $\Delta R = AR - BR = BR - CR = CR - DR$ 。对 DRFM 干扰机而言,脉冲延迟时间 Δt 和方波延迟时间 $\Delta t'$ 都是定值,在干扰方案确定后不需要干扰控制器反复运算。假目标相邻两点之间的距离通过三角余弦定理计算得到。

2.2.2 点迹间距离 S 固定的干扰模型

距离延迟量固定的干扰简单易实现,但产生的假目标对雷达所形成的是非匀速曲线运动,与真实的飞

行器运动状态差异明显,为了产生能让雷达判断为匀速运动的假目标,在 $\Delta\theta$ 为固定值的情况下,设相邻两个假目标之间的距离为固定值 S ,即 $S = AB = BC = CD$,则 $\Delta t'$ 和 v 为定值,即假目标做匀速的曲线运动。干扰模型如图 3 所示。

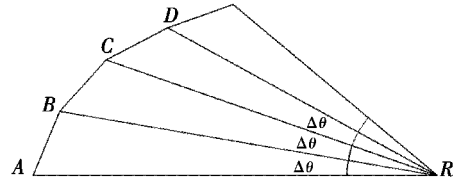


图 3 第 2 种旁瓣干扰模型

Fig.3 The second sidelobe jamming model

可得 BR 的表达式为

$$BR = AR \cdot \cos \Delta\theta - \sqrt{AR^2 \cdot \cos^2 \Delta\theta - AR^2 + AB^2} \quad (13)$$

则 $\Delta R = AR - BR$ 。 ΔR 和 Δt 需由干扰控制器根据干扰点数迭代计算得到。

2.2.3 运动方向固定的干扰模型

以上两种干扰模型形成的航迹是逐渐接近或远离雷达的曲线,其假目标运动方向可控性不强,运动方向固定的干扰模型通过准确控制 $\Delta\theta$ 和 ΔR ,能够产生点迹为直线运动的虚假航迹。设假目标运动方向始终与 AR 保持夹角为 α_1 。干扰模型如图 4 所示。

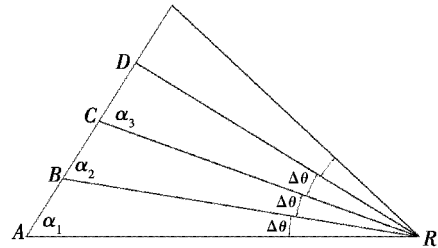


图 4 第 3 种旁瓣干扰模型

Fig.4 The third sidelobe jamming model

根据三角正弦定理可知

$$BR = AR \cdot \sin \angle \alpha_1 / \sin(\pi - \angle \alpha_1 - \Delta\theta) \quad (14)$$

则 $\Delta R = AR - BR$,脉冲延迟时间 Δt 同样由干扰控制器根据干扰点数迭代计算得到。

3 威胁提升方法的假目标信息调制

3.1 假目标高度控制

俯仰顺序波瓣法测角体制被广泛应用于三坐标搜索警戒雷达,该体制雷达在极短的时间内先后向不同的仰角发射两个波束,通过比较两个波束回波信号的功率来测量目标角度信息。经实验验证,“功率颠倒转发”^[14]的干扰方法可在两个雷达探测波束中心形成假目标。设雷达分别在不同的仰角 θ_1 和 θ_2 发射两个波束,在不考虑水平方向图的情况下,目标仰角为 θ_i 时,雷达的两个探测波束的接收功率为

$$\begin{cases} P_1 \propto (G^2(\theta_i - \theta_1) \times P_i) \\ P_2 \propto (G^2(\theta_i - \theta_2) \times P_i) \end{cases} \quad (15)$$

对仰角的测量为

$$\theta_i = f\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = f\left(\frac{G^2(\theta_i - \theta_1)}{G^2(\theta_i - \theta_2)}\right) \quad (16)$$

当 DRFM 实施欺骗干扰时, 设干扰机相对雷达的仰角为 θ_j , 发射脉冲功率 P_{j1} 和 P_{j2} 满足

$$\begin{cases} P_{j1} = P_2 \propto (G^2(\theta_i - \theta_2) \times P_i) \\ P_{j2} = P_1 \propto (G^2(\theta_i - \theta_1) \times P_i) \end{cases} \quad (17)$$

则雷达的仰角测量结果如下

$$\theta'_i = f\left(\frac{P'_{j1}}{P'_{j2}}\right) = f\left(\frac{G(\theta_j - \theta_1) \times P_2}{G(\theta_j - \theta_2) \times P_1}\right) = f(1) = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} \quad (18)$$

测量结果认为目标仰角在两个波束中间, 由雷达测高公式可知目标高度的实际表达式为

$$H = R \times \sin\left(\frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right) + \frac{R^2}{17000} \quad (19)$$

3.2 假目标多普勒信息调制

具有速度和距离二维跟踪能力的雷达能够判断是否受到单一的距离欺骗干扰, 采用单一的距离干扰对多普勒雷达进行欺骗易被雷达识别, 必须实施附加多普勒频率的距离—速度同步干扰措施。

当干扰模型选定后, DRFM 干扰机根据所搭载飞机的速度和预先设定的假目标速度计算附加多普勒频率的大小, 对截获的敌方雷达信号用直接数字频率合成器(DDS)产生相应多普勒频率并叠加到中频信号上^[15]。多普勒频移分量 f_d 的计算主要考虑假目标速度 v 和双方位置角度关系, 目标速度为

$$v = S / (T + \Delta t' + \Delta t) \quad (20)$$

根据预设假目标相对雷达的坐标, 通过坐标系转换矩阵计算雷达相对目标的坐标, 进一步计算距离 r 、雷达在目标坐标系中的方位角 φ 和俯仰角 θ 。干扰机移动速度为 v_i , 其相对雷达径向速度 v_1 为

$$v_1 = v_i \cdot \cos \varphi_i \cdot \cos \theta_i \quad (21)$$

根据干扰方案计算的假目标速度为 v_f , 其相对雷达径向速度 v_2 为

$$v_2 = v_f \cdot \cos \varphi_f \cdot \cos \theta_f \quad (22)$$

根据单程多普勒计算公式, 干扰机接收的雷达探测波已经叠加了其运动产生的多普勒频移, 接收频率为 f'_r , DDS 应产生的多普勒频率 f'_d 为^[14]

$$f'_d = \frac{2(v_2 - v_1)c}{(c + v_1)^2} f'_r \approx \frac{2(v_2 - v_1)}{c} f'_r \quad (23)$$

3.3 假目标类型信息调制

防空雷达通过雷达方程计算出目标散射截面积(RCS), 提取并分析目标回波起伏施威林分布的差异,

结合目标飞行高度区间、速度区间等飞行特点, 初步判定目标类型^[16]。为欺骗雷达对目标类型的识别, 在保证干扰功率有效的前提下, 干扰机参考特定目标的 RCS 值改变干扰发射功率, 但由于飞行目标 RCS 特征受方位角影响较大, 统计参数又需要较长的观测时间和较大的存储空间^[17], 干扰机通常使用具有通用性且能够精确表述各类目标统计性能的 RCS 统计模型, 控制假目标 RCS 符合该目标类型的概率分布。假目标类型模拟不是本文研究重点, 相关文献已做具体介绍^[18], 在此不做深入讨论。

3.4 假目标威胁提升干扰实施流程

假目标威胁等级提升方法的干扰实施流程如图 5 所示。当突防飞机执行任务时, 负责掩护的远距离支援干扰机实时接收突防飞机传送来的位置、高度、速度等信息, 在参考预先侦察的雷达信息和接收雷达信号后, 由干扰策略生成器制定干扰策略, 包括选择威胁程度较高的目标类型并匹配与其飞行状态相符合的干扰模型, 设定比突防飞机距离更近的假目标位置, 设定比突防飞机更低的假目标高度等。干扰策略生成器根据已确定的干扰方案计算发射功率、延迟时间附加频率, 在射频存储部分接收并存储雷达射频信号后, 控制干扰机在预定时机向雷达发射假目标回波信号。

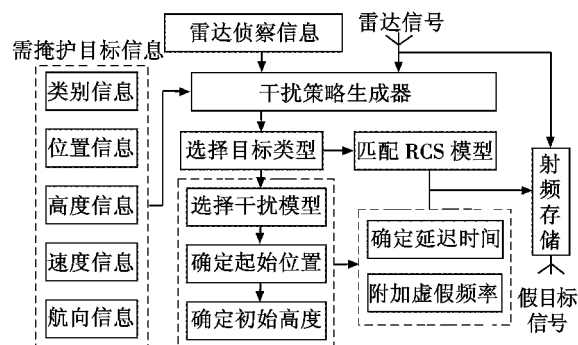


图5 干扰实施流程图

Fig. 5 Flow chart of interference implementation

4 仿真实验与结果分析

为检验假目标威胁等级提升方法的有效性, 对比该方法产生的假目标与真实目标在威胁程度上的差异, 采用 Matlab 软件对以上干扰流程进行仿真。雷达仿真采用方位机械旋转加俯仰顺序波瓣测角体制, 航迹仿真采用模拟雷达 PPI 显示屏的形式, 参数如表 2 所示。

雷达仰角波束中心角度依次为 $[3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38, 43, 48, 53]$ (单位 $(^\circ)$), 仿真雷达工作时间为 160 s。由于远距离支援干扰机需要产生距离雷达较近的假目标, 所以采用导前脉冲干扰。为充分测试

该威胁等级提升方法的效果,突防飞机参数由计算机在合理范围内随机产生,假目标参数由干扰策略生成器控制产生,仿真参数如表3所示。考虑到干扰方不可能直接从敌方雷达上获取目标威胁判断时各属性的权重^[19],仿真采用蒙特卡罗仿真的方式随机产生总和为1的权重并进行多次仿真。本次仿真中,目标属性权重分别为 $[w_1, w_2, w_3, w_4, w_5] = [0.2531, 0.2212, 0.0889, 0.2331, 0.2036]$ 。

表2 雷达仿真参数设置

Table 2 Parameter setting of radar simulation

雷达工作参数设置		威胁等级评估参数设置	
雷达旋转周期/周	4	h_1/km	3
雷达探测距离/km	150	d_1/km	150
雷达工作频率/GHz	3	d_2/km	50
方位驻留间隔/(°)	1	$v_1/(m \cdot s^{-1})$	1000
仰角波束中心数量	11	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	20
方位转换时间/ms	1.11	q	0.0028
方位驻留时间/ms	11.11	p_1/km	50

表3 目标仿真参数设置

Table 3 Parameter setting of targets simulation

批次	飞行目标仿真参数设置				
	1	2	3	4	5
目标性质	真实目标	假目标1	假目标2	假目标3	假目标4
目标类型	歼轰机	轰炸机	轰炸机	侦察机	空地导弹
类型	第4类	第3类	第3类	第5类	第2类
仿真模型	匀速直线等高	模型1	模型2	模型3	模型1
初始距离/km	130	100	100	75	100
初始角度/(°)	175	185	175	180	180
初始高度/km	6.0	5.83	5.83	4.26	5.83
初始速度/ ($m \cdot s^{-1}$)	300	663.35	879.88	1376.16	601.23

假设干扰信号能成功被雷达处理且判别目标类型,航迹仿真结果如图6所示,目标航路捷径威胁程度见图7。

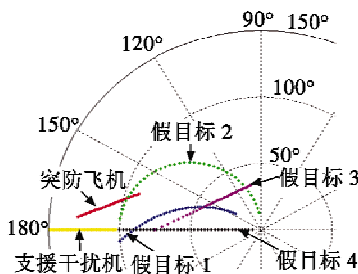


图6 航迹仿真结果

Fig. 6 Results of track simulation

图6、图7显示:突防飞机做匀速直线等高运动,在PPI显示器上航迹为一条直线。假目标1,2的航迹呈逐渐接近雷达的曲线,随着其飞行方向与雷达之间的夹角、距离不断缩小,其相对雷达的航路捷径在不断减小,航路捷径威胁值迅速上升;假目标3的航迹为一条非匀

速且方向固定的直线;假目标4与假目标1同属第1类干扰模型,但每周期方位延迟为0,其航迹呈径直接近雷达的直线,相对雷达的航路捷径始终末为0;假目标3,4航路捷径威胁值始终保持固定值。所有假目标在仿真时间内所形成的点迹基本覆盖了突防飞机所处雷达扫描扇区。

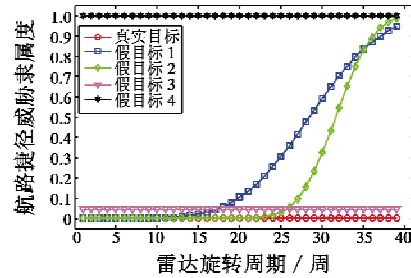


图7 航路捷径威胁等级

Fig. 7 Threat level of airway shortcut

图8为目标速度威胁程度。在假目标威胁等级提升方法的控制下,假目标的初始速度均高于真实目标。在各模型参数的控制下,假目标1,3随着与雷达距离的逐渐接近而下降,威胁量化值下降,其中,假目标3的速度下降明显,但保持最小值不低于真实目标匀速飞行的速度;假目标2,4保持匀速,威胁量化值保持不变。图9显示干扰机转发雷达信号时附加的多普勒频率,说明了传统的随机移频和步进移频方式与目标速度信息不相符,精确调制的多普勒频率可以提高假目标的逼真度。

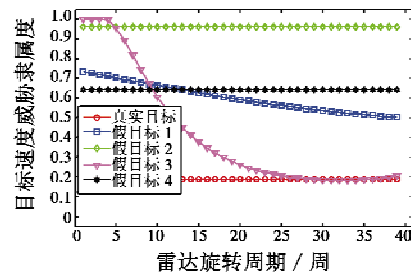


图8 目标速度威胁等级

Fig. 8 Threat level of target speed

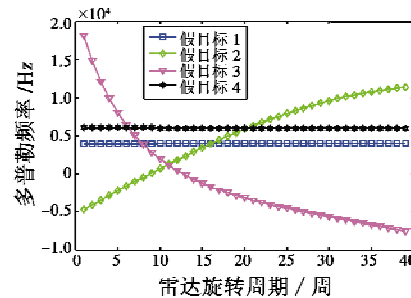


图9 附加多普勒频率

Fig. 9 Doppler frequency of false targets

目标距离威胁值与目标距离的变化趋势相反,图10为目标距离威胁值趋势图,干扰机产生的所有目标

均保持距离始终小于真实目标与雷达间的距离且不断接近雷达,使得距离威胁值不断上升,其中假目标3最早达到距离威胁最大值。

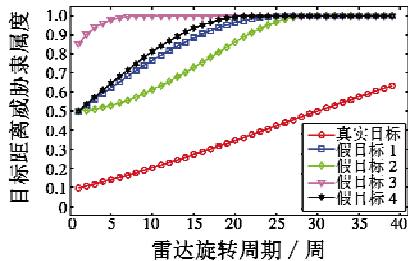


图10 目标距离威胁等级

Fig. 10 Threat level of target distance

图11为目标高度威胁程度。目标高度威胁值与目标高度的变化趋势相反,假目标的起始高度值均不大于真实目标,真实目标做等高飞行,高度距离威胁值不变。所有假目标的高度在“功率颠倒转发”的控制下,假目标在雷达探测波束中心随着与雷达距离的缩小而下降,所以假目标高度威胁值变化趋势与图10中假目标距离威胁值变化趋势接近。

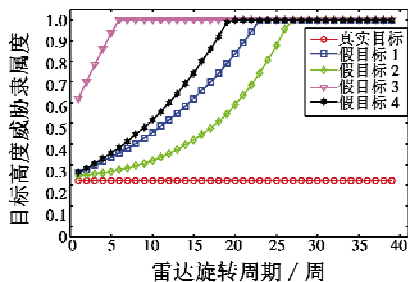


图11 目标高度威胁等级

Fig. 11 Threat level of target height

图12为多属性决策目标威胁评估方法的计算结果。易知在假目标威胁等级提升方法的控制下,假目标受干扰模型和参数影响,威胁等级呈平稳变化,威胁等级均高于需掩护的真实目标,假目标4说明在选择的假目标类型威胁等级不高于真实目标的情况下,仍然可以通过调整其他参数使其威胁等级高于真实目标。经过200次仿真计算,假目标威胁等级比真实目标平均提升了0.375,说明了假目标威胁等级提升方法的有效性。

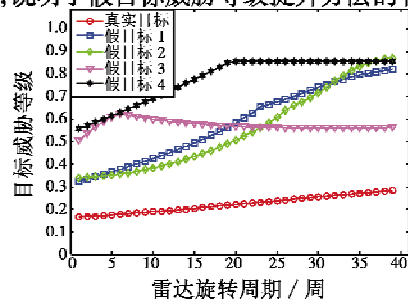


图12 目标威胁等级

Fig. 12 Threat level of targets

5 结束语

假目标威胁等级提升方法的优点是干扰模型可根据战场态势等相关信息进行选择,模型参数灵活可调整,假目标信息更接近真实目标。在保证假目标威胁程度始终高于突防飞机的情况下,可以将飞行任务一定程度上简化,增大任务成功的可能性,具有一定的理论与应用价值。本方法主要针对独立雷达的情况,下一步的研究方向是通过多部干扰机的协同配合提升假目标对组网雷达的威胁等级。

参考文献

- [1] 唐隆,鲁艺,陈中起. 电子干扰条件下飞机突防方向研究[J]. 电光与控制,2013,20(8):75-78,99.
- [2] FARAN A B, MADIHA J. An overview of electronic warfare in radar systems [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 2013, 12(8):213-217.
- [3] 李世晓,朱凡,张健,等. 基于遗传算法优化的压制干扰协同UCAV航迹规划[J]. 计算机应用与软件,2013,30(11):251-254,269.
- [4] 钟林,饶彬,李永祯. 基于运动学调制的高逼真度有源假目标航迹研究[J]. 兵工学报,2016,37(6):1138-1143.
- [5] 麻士东,韩亮,龚光红,等. 基于云模型的目标威胁等级评估[J]. 北京航空航天大学学报,2010,36(2):150-153,179.
- [6] 王毅,刘三阳,张文,等. 属性权重不确定的直觉模糊多属性决策的威胁评估方法[J]. 电子学报,2014,42(12):2509-2513.
- [7] 张志强,钱建刚,周志强. 不完全信息下目标威胁等级判断模型[J]. 火力与指挥控制,2014,39(3):514-517.
- [8] 杨纶标,高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 4版. 广州:华南理工大学出版社,2005.
- [9] 张善文,刘进忙. 以目标类型为主的一种威胁评估方法[J]. 系统仿真学报,2002,14(8):1109-1111.
- [10] 龙世敏,彭世蕤,王振华,等. 基于航迹协同的相控阵雷达干扰方法研究[J]. 现代防御技术,2016,44(1):175-179,212.
- [11] 倪建春,王宝. 有源欺骗干扰及雷达反对抗策略研究[J]. 舰船电子对抗,2011,34(3):5-8.
- [12] 韩晓东,郁文贤,舒汀,等. 对线性调频信号雷达的噪声干扰方法研究[J]. 计算机仿真,2014,31(12):5-8.
- [13] 陈明辉. 弹道导弹防御相控阵雷达欺骗干扰效果仿

种算法都能够完成全部目标的打击。对比 MSOCFA, 并行 NSGA-II 能够更好地利用资源, 任务完成率更高。

5 结束语

本文采用联盟的思想来解决未知环境下异构多无人机协同搜索打击时的任务分配问题, 建立了多无人机协同打击组建联盟的多目标优化模型。采用并行 NSGA-II 算法求解组建联盟优化模型, 用具体的仿真算例验证了算法的合理性, 分析了算法在不同规模无人机下的运行速度, 证明了算法具有良好的实时性, 最后通过蒙特卡罗方法与传统方法进行比较, 证实了通过并行 NSGA-II 算法组建联盟能够显著提高任务的完成效率。在本文中, 没有考虑诸如通信距离、通信时延等通信约束对联盟组建的影响, 后续工作可以针对该问题展开研究。

参 考 文 献

- [1] RASMUSSEN S, SHIMA T, RASMUSSEN S J. UAV cooperative decision and control: challenges and practical approaches[M]. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009.
- [2] SCHUMACHER C, CHANDLER P R, RASMUSSEN S R. Task allocation for wide area search munitions via network flow optimization [C] // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Montreal, Canada, 2001: AIAA 2001-4147.
- [3] SCHUMACHER C, CHANDLER P R, RASMUSSEN S J. Task allocation for wide area search munitions via iterative network flow [C] // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Monterey, California, 2002: AIAA 2002-4586.
- [4] SCHUMACHER C, CHANDLER P R, PACTER M, et al. UAV task assignment with timing constraints [C] // AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit, Austin, 2003: AIAA 2003-5664.
- [5] SCHUMACHER C, CHANDLER P R, PACTER M, et al. UAV task assignment with timing constraints via mixed integer linear programming [C] // The 3rd Unmanned Unlimited Technical Conference, Workshop and Exhibit, Chicago, 2004: AIAA 2004-6410.
- [6] YANG L C. Practical problems and solutions in age trend-line analyses for energetic components [C] // The 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, Cincinnati, 2007: AIAA 2007-5135.
- [7] ALIGHANBARI M, HOW J P. Decentralized task assignment for unmanned aerial vehicles [C] // Proceedings of the 44th IEEE Conference on Decision and Control, and the European Control Conference, Seville, 2005: 5668-5673.
- [8] SHIMA T, RASMUSSEN S J, SPARKS A G, et al. Multiple task assignments for cooperating uninhabited aerial vehicles using genetic algorithms [J]. Computers & Operations Research, 2006, 33(11): 3252-3269.
- [9] 钱艳平, 夏洁, 刘天宇. 基于合同网的无人机协同目标分配方法 [J]. 系统仿真学报, 2011, 23(8): 1672-1676.
- [10] DEB K, AGRAWAL S, PRATAB A, et al. A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II [R]. Kanpur: KanGAL Report 200001, Indian Institute of Technology, 2000.
- [11] MUHLENBEIN H, SCHOMISCH M, BORN J. The parallel genetic algorithm as function optimizer [J]. Parallel Computing, 1991, 17(6): 619-632.
- [12] 刘重, 高晓光, 符小卫, 等. 未知环境下异构多无人机协同搜索打击中的联盟组建 [J]. 兵工学报, 2015, 36(12): 2284-2297.
- [13] (上接第 13 页)
真与评估研究 [D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2003.
- [14] 陈斐. 无人机载的雷达欺骗设备研究与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2015.
- [15] 戴小军. 对脉冲多普勒雷达干扰技术研究 [D]. 镇江: 苏科技大学, 2013.
- [16] 陈绪龙, 高剑, 韩星. 空中目标威胁等级评估方法研究 [J]. 火控雷达技术, 2015, 44(1): 19-23.
- [17] 黄培康, 殷红成, 许小剑. 雷达目标特性 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [18] 胡小川. 机载相控阵雷达模拟器系统设计与实现研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2003.
- [19] 李潮, 周金泉. 基于干扰方的干扰效果评估研究 [J]. 电子信息对抗技术, 2008, 23(2): 46-49.