

引用格式:欧阳志宏,丁锋,马奎.电子防空光电对抗目标识别与威胁评估方法[J].电光与控制,2018,25(10):6-9. OUYANG Z H, DING F, MA K. Electro-optical countermeasure target recognition and threat assessment method in electronic air defense[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(10):6-9.

电子防空光电对抗目标识别与威胁评估方法

欧阳志宏, 丁锋, 马奎
(国防科技大学电子对抗学院, 合肥 230037)

摘要: 机载光电观瞄设备和光电制导武器导引头是区域电子防空光电对抗的直接对象,而快速准确的目标识别与威胁评估是干扰指挥决策并形成有效干扰的基本前提。分析了电子防空光电对抗目标的特征,针对区域电子防空存在的战场态势模糊情况,提出基于行为推理的目标识别方法识别目标类型并预测目标行动,再进一步建立结合降效分析的多属性决策目标威胁评估模型计算目标威胁程度。仿真实例表明,所提方法在支援情报缺失的情况下,能够准确判定目标属性和威胁等级,为干扰目标分配提供依据。

关键词: 电子防空; 光电对抗; 行为推理; 目标识别; 威胁评估

中图分类号: V271.4 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-637X.2018.10.002

Electro-Optical Countermeasure Target Recognition and Threat Assessment Method in Electronic Air Defense

OUYANG Zhi-hong, DING Feng, MA Kui

(Electronic Engineering Institute, National University of Defense Technology, Hefei 230037, China)

Abstract: The airborne electro-optical sighting devices and seekers of the electro-optical guided weapons are the direct targets of the electro-optical countermeasure system in regional electronic air defence combat. Rapid and accurate target recognition and threat assessment form the basis for command decision-making and effective implementation of jamming. In this paper, the characteristics of the targets in the countermeasure are analyzed firstly. Considering the ambiguous battlefield situation, a target recognition method based on action reasoning is proposed to identify the target type and predict its next action. Finally, a multi-attribute decision-making threat assessment model is established, and used together with the effectiveness reduction analysis, to calculate target threat level. The simulation shows that, this method can make accurate judgment of target attribute and threat level and provide a basis for target assignment in jamming when there is no external intelligence support.

Key words: electronic air defense; electro-optical countermeasure; action reasoning; target recognition; threat assessment

0 引言

电子对抗目标识别与威胁评估是电子干扰指挥决策的基础和依据,影响着干扰目标分配的准确程度以及干扰效能的发挥程度^[1]。区域电子防空光电对抗目标主要是空袭战机和光电精确制导武器,干扰直接对

象是机载光电观瞄设备和光电制导武器导引头。然而,由于空中目标进袭速度极快,在没有情报支援的情况下,光电对抗侦察手段难以及时发现并捕捉目标光学特征,即使发现目标,由于信息积累较少,目标识别和威胁评估的准确度也不高,必然导致干扰目标分配合理性和实时性降低。

现有的目标识别方法多是通过对比目标观测数据与目标特征数据库信息,形成可靠的识别结果^[2-6]。然而,在支援情报受阻、目标观测信息不全面的情况下,只能依据现有少量目标信息进行知识推理和行动分析,获取目标类型并预测目标下一步作战行动。再根据目标识别结果,以多属性决策目标威胁评估方法

收稿日期:2017-10-30

修回日期:2017-11-21

基金项目:中国博士后科学基金(2015M572673);国家社科基金军事学项目(15J003-122)

作者简介:欧阳志宏(1983—),男,河南确山人,硕士,讲师,研究方向为电子战作战仿真,复杂电磁环境构建。

为基础,扩充目标受扰后效能降低这个威胁评估影响因素,建立区域电子防空光电对抗目标威胁评估模型,以使评估结果更为科学。

1 目标分析与识别方法

从国际上近几年局部战争可以发现,源于不同发射平台、运用光电制导手段的精确制导武器使用比率逐渐增大,已经成为区域电子防空光电对抗的核心作战对象。光电制导武器在制导方式和平台来源上存在明显的多样性特征。典型代表 BGM-109“战斧”巡航导弹属于潜射或水面舰艇发射的远程攻击武器,AS-30L 属于空地激光制导导弹,AGM-65“幼畜”属于战机发射的近程攻击武器,其中,A/B 型为空地电视制导导弹,D/F 型为红外成像制导导弹。此外,对武器机载平台光电探测系统的压制和欺骗也是区域电子防空光电对抗的重要内容,目的是使其无法准确获知侦察和打击目标的位置和属性信息,破坏射击诸元的完整性。

图 1 是典型光电对抗干扰手段与作战对象的对应关系。可见,应对特定目标只有正确选择干扰手段才能实现有效干扰,这就对目标识别的准确性提出了要求。

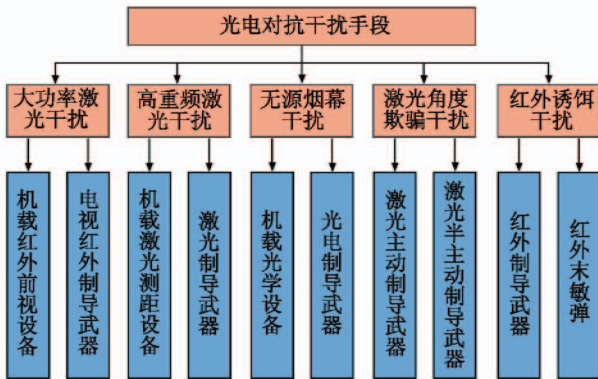


图 1 干扰手段与作战对象对应关系

Fig. 1 Correspondence between jamming measures and objects

目标识别结果很大程度上影响着目标威胁评估。区域电子防空光电目标识别不仅要识别出目标类型(平台属性),还要分析飞机目标的工作状态和光电制导武器目标的制导方式。目标特征信息的可靠来源为上级支援情报,考虑到战时可能出现信息传输链路受扰和指挥协同中断,只能基于历史知识或目标的其他信息进行知识推理和行动分析获取。

光电对抗侦察系统具有较强的激光告警能力,能够及时准确地获取辐射激光的方位信息和激光信号参数信息。因此,可以通过目标辐射的激光类型来预测目标平台属性,并在已知平台属性的条件下结合辐射激光情况,对目标具体类型和行动进行合理推断,如表 1 所示。

表 1 目标类型与行动的推理结果

Table 1 Reasoning results of target type and action

平台类型	辐射激光	推理预测结果
未知	测距激光	飞机,激光测距
	制导激光	飞机,激光引导 激光主动制导导弹,激光制导
	未辐射激光	电视/红外制导导弹 激光半主动制导导弹 飞机,光学观瞄 其他
飞机	测距激光	飞机,激光测距
	制导激光	飞机,激光引导
导弹	制导激光	激光主动制导导弹,激光制导
	不辐射	电视/红外制导导弹 激光半主动制导导弹

2 威胁评估模型

目标威胁评估是干扰目标分配的基础。以往的目标威胁评估方法没有考虑到在目标威胁程度确定后己方行动对目标威胁度的影响。在区域电子防空光电对抗干扰环境下,目标受扰后必然引起作战效能降低,威胁程度随之下降,具体影响程度由干扰效能辅助分析确定。因此,本文运用多属性决策目标威胁评估方法,充分考虑目标受干扰程度威胁评估要素,建立区域电子防空光电对抗目标威胁评估模型。目标威胁评估的要素与信息来源如表 2 所示。

表 2 目标威胁评估要素

Table 2 Factors of target threat assessment

要素名称	来源	相关要素
①照度变化	光电对抗系统	④⑤⑥
②辐射激光情况	光电对抗系统	④
③角跟踪偏差	光电对抗系统	
④目标类型	防空支援情报	
⑤目标距离	防空支援情报	
⑥飞行速度	防空支援情报	
⑦飞行高度	防空支援情报	
⑧受干扰程度	干扰辅助计算	

建立威胁要素模糊隶属函数。对于要素①,飞机和导弹目标作为红外辐射源,经理论推导和约简近似,其红外辐射特性在本文场景下的目标照度变化 ΔR_l 为

$$\Delta R_l \approx K \times \frac{V}{R^3} \tag{1}$$

式中: V 为目标逼近速度; R 为目标距离; K 为常数。可见,照度增加,变化剧烈,表明目标正高速逼近,目标威胁增大;反之,照度减少,表明目标正远离飞行,目标威胁减小。因此,要素①的隶属函数为

$$\tilde{\mu}(\Delta R_l) = e^{-l(\Delta R_l - a)^2} \tag{2}$$

式中, l 和 a 为常数,经验取值为 $l = 2 \times 10^{-5}$, $a = 200$ 。

对于要素②,辐射激光的情况只有 3 种可能,按威

胁大小排序分别为辐射制导激光、辐射测距激光和不辐射激光。其隶属函数为

$$\tilde{\mu}(L_T) = \begin{cases} 1 & \text{制导激光} \\ 0.6 & \text{测距激光} \\ 0.2 & \text{不辐射激光} \end{cases} \quad (3)$$

对于要素③,角跟踪偏差反映目标航向偏离我重点保护对象的程度。显然,目标指向保护目标,威胁最大;偏离保护对象越多,威胁越小。设目标航向相对保护对象的方位角偏差和俯仰角偏差对保护对象战场生存的影响相同,且某个偏差较大显著弱化该影响,定义角跟踪偏差 $\Delta\Psi$ 及其隶属函数为

$$\Delta\Psi = \sqrt{(\Delta\alpha)^2 + (\Delta\beta)^2} \quad (4)$$

$$\tilde{\mu}(\Delta\Psi) = e^{-\Delta\Psi/\theta} \quad (5)$$

式中: $\Delta\alpha$ 和 $\Delta\beta$ 分别为方位角偏差和俯仰角偏差; θ 为常数。

对于要素④,目标类型按威胁大小排序分别为激光制导武器、电视/红外制导武器和作战飞机。其隶属函数为

$$\tilde{\mu}(T_Y) = \begin{cases} 1 & \text{激光制导武器} \\ 0.8 & \text{电视/红外制导武器} \\ 0.5 & \text{作战飞机} \\ 0.2 & \text{不明飞行物} \end{cases} \quad (6)$$

对于要素⑤,⑥和⑦,目标距离、飞行速度和飞行高度的隶属函数分别为

$$\tilde{\mu}(D) = e^{-k(D-d)^2} \quad (7)$$

$$\tilde{\mu}(V) = 1 - e^{-\delta V} \quad (8)$$

$$\tilde{\mu}(H) = \begin{cases} 1 & 0 < H \leq h \\ e^{-m(H-h)^2} & h < H \leq 20\,000 \end{cases} \quad (9)$$

式中: k, d, δ 和 m 为常数,经验取值为 $k = 5 \times 10^3, d = 0, \delta = -0.005, m = 1; h$ 为高度阈值,可设为1000 m。

对于要素⑧,目标受到干扰导致威胁降低的程度以百分比形式表示,假设干扰有效作用于目标,并鉴于光电干扰普遍作用距离较近,此处不再区分目标进入有效干扰范围后的受扰程度细微变化,经干扰效能辅助计算与专家决策,目标受扰类型与威胁度降低的关系如表3所示, $J_1 \sim J_5$ 分别表示大功率激光干扰、高重频激光干扰、无源烟幕干扰、激光角度欺骗干扰以及红外诱饵干扰。

表3 干扰类型与目标威胁度降低的关系

Table 3 Relationship between jamming type and target threat level reduction %

目标类型	干扰类型				
	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5
飞机	30	10	20	0	0
电视/红外制导武器	30	0	10	0	30
激光制导武器	0	20	10	30	0

显然,要素⑧是在由要素①~⑦计算得出的威胁程度基础上对目标威胁的修正。那么,目标最终归一化威胁度可表示为

$$\begin{cases} U = U_{17} \left(1 - \sum_{i=1}^k p_{i1}\right) \\ U_{17} = \sum_{j=1}^7 \omega_j \tilde{\mu}_j \quad \sum_{j=1}^7 \omega_j = 1 \end{cases} \quad (10)$$

式中: U_{17} 为由要素①~⑦计算得出的归一化威胁度; $\tilde{\mu}_j$ 为要素 j 的隶属函数取值; ω_j 为要素 j 的归一化权重; p_{i1} 为第 i 类干扰对目标威胁度的降低比例; k 为干扰手段数量。

目标归一化威胁程度经区间量化处理,形成目标威胁等级,威胁等级的排序结果用于拟制支撑干扰目标分配方案。

3 实例分析

为检验本文方法对目标识别和威胁评估的准确性,进行作战仿真实验。选取仿真中5个典型时刻点检验目标识别与威胁等级判定情况,目标状态如表4所示。

表4 典型时刻的目标状态数据与识别结果

Table 4 Target state data of typical moments and the recognition result

时刻	编号	类型	激光类型	距离	目标识别结果
t_1	101	飞机	—	中	未知
	102	飞机	—	中	未知
	103	飞机	—	远	未知
t_2	101	飞机	测距激光	近	飞机
	102	飞机	—	中	未知
	103	飞机	—	中	未知
t_3	101	飞机	制导激光	近	飞机
	1011	导弹	—	近	激光制导导弹
	102	飞机	—	近	飞机
t_4	103	飞机	—	中	飞机
	101	飞机	制导激光	近	飞机
	1011	导弹	—	近	激光制导导弹
t_5	102	飞机	—	近	飞机
	1021	导弹	—	近	红外/电视制导导弹
	103	飞机	—	近	飞机
t_5	1031	导弹	—	近	红外/电视制导导弹
	101	飞机	制导激光	近	飞机
	1011	导弹	—	近	激光制导导弹
	102	飞机	—	近	飞机

假设蓝方多批次战机携弹进入红方作战范围,红方仅获知目标来袭大致方位范围,持续进行电视、红外侦察和激光告警。蓝方战机到达指定空域发射光电制导武器,红方发现目标后进行目标识别和威胁评估,并依据目标威胁等级排序结果形成干扰目标分配方案,然后实施光电对抗干扰。仿真设置蓝方战机3架,型号、

速度、飞行方向相同,编号分别为 101,102 和 103,其中,101 与红方保护目标距离最近,103 距离最远。101 最先逼近红方保护目标,立即进行激光测距,随后发射激光半主动制导导弹 1011;之后,102 发射红外成像制导导弹 1021;最后,103 发射电视制导导弹 1031。

设目标威胁等级 1 级最高,5 级最低。上述典型时刻的目标威胁等级判定结果如图 2 所示。

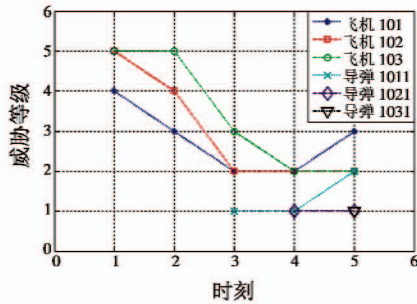


图 2 目标威胁等级的计算结果

Fig.2 Calculation result of target threat level

具体分析各时刻目标识别与威胁评估情况如下。

1) t_1 时刻,蓝方 3 架飞机目标距离红方防区较远,由于缺乏情报支援,未能识别目标,目标威胁等级较低。

2) t_2 时刻,蓝方飞机目标持续逼近,红外特征愈发明显,且飞机 101 辐射测距激光,识别系统可判定其为飞机目标,威胁等级提高。

3) t_3 时刻,飞机 101 辐射制导激光,并发射激光制导导弹。从光电对抗侦察系统角度来看,已识别的 1 个飞机目标拆分为 2 个目标,且探测到制导激光,可推断飞机目标发射精确制导武器,且为激光制导武器。显然,具有毁伤威胁的导弹目标威胁更大,光电对抗系统立即启动多手段光电对抗干扰。同时,经过对未识别目标的持续观测,其与已识别的飞机目标光学特征相似,亦可判定为飞机目标,威胁程度提升。

4) t_4 时刻,飞机 102 发射光电精确制导导弹。与上一时刻相同,存在目标拆分问题,光电对抗侦察系统可将新目标识别为机载武器目标,由于未探测到激光信号,暂时认定为电视/红外制导导弹,威胁等级最高。

5) t_5 时刻,飞机 103 发射的机载武器目标同样可

被认定为高威胁度的红外或电视制导导弹。需要强调的是,由于飞机目标 101 和激光制导导弹 1011 受到激光致盲与扰乱、无源烟幕迷茫、激光角度欺骗等多手段干扰,作战效能降低,威胁度有所下降。

综上所述,本文方法在支援情报缺失的情况下,依靠光电对抗侦察手段获取的少量信息,通过行动分析和科学预测,能够准确判定目标类型并掌握目标作战行动,威胁评估在考虑干扰降效因素后,评估结果更为合理。

4 结束语

本文针对区域电子防空光电对抗目标识别与威胁评估问题,提出了基于行为推理的目标识别方法,并融入降效分析对多属性决策目标威胁评估模型进行有效改进,在目标信息不完整的情况下能够准确识别目标类型并判定目标威胁等级。后续将进一步结合对抗理论和专家经验,挖掘目标行动推理规则,提升目标识别准确度。

参考文献

- [1] 柯宏发,陈永光. 电子战干扰目标的多属性多层次威胁评估模型[J]. 系统工程与电子技术,2006,28(9): 1370-1373.
- [2] 代进进,李相民. 舰艇编队网络化防空作战空袭目标威胁评估[J]. 系统工程与电子技术,2013,35(3):532-538.
- [3] 栗飞,姜青山,闫艳坤. 基于 ANFIS 和攻防对抗的空袭目标威胁评估[J]. 火箭与制导学报,2013,33(5):196-198.
- [4] 张堃,王雪,张才冲,等. 基于 IFE 动态直觉模糊法的空战目标威胁评估[J]. 系统工程与电子技术,2014,36(4):697-700.
- [5] 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.
- [6] 郝志伟. 空战中的多目标威胁评估方法[J]. 火箭与制导学报,2016,36(1):177-181.