

基于电火一体防空的目标威胁评估模型构建

彭 涛

(陆军炮兵防空兵学院郑州校区, 郑州 450052)

摘要:根据雷达探测、光电探测、电子对抗侦察获取的空情信息特征,从综合运用空中目标特征的电磁空间信息角度出发,对基于电火一体防空的目标威胁评估模型构建问题进行了研究,提出了一种立足目标航迹特性进行威胁程度初步估计,通过区分目标类型修正威胁排序的威胁评估新方法,仿真分析结合表现,该方法既能较客观地反映出空袭兵器对地面目标的威胁程度,又能体现出对空抗击的紧迫性,对防空指挥信息系统辅助决策软件设计,具有一定参考价值。

关键词:电火一体防空,目标威胁评估,模型构建,指挥信息系统

中图分类号:TJ01;TN97

文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.1002-0640.2020.03.018

引用格式:彭涛.基于电火一体防空的目标威胁评估模型构建[J].火力与指挥控制,2020,45(3):100-104.

Research on Target Threat Assessment Model Based on Integrated Fire and Air Defense

PENG Tao

(Army Artillery Antiaircraft Academy Zhengzhou Campus, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: According to the characteristics of the air information acquired by radar detection, photo-electric detection and electronic counter reconnaissance, the problem of building the target threat assessment model based on the electric fire integrated air defense is studied from the angle of the electromagnetic space information which is integrated with the characteristics of the air target, and a threat based on the target track characteristics is proposed. This method can not only reflect the threat degree of the air raid weapons to the ground targets, but also reflect the urgency of the air attack, and the design of the auxiliary decision software for the air defense command information system. There is a certain reference value.

Key words: integrated fire and air defense, target threat assessment, model building, command information system

Citation format: PENG T. Research on target threat assessment model based on integrated fire and air defense[J]. Fire Control & Command Control, 2020, 45(3): 100-104.

0 引言

目标威胁评估,是指来袭目标对被保卫对象威胁程度的预测,是指挥信息系统辅助决策的重要内容之一。防空作战过程中,对突袭兵器进行合理的目标威胁评估,是防空指挥员正确判断空情、实施科学决策的重要前提。长期以来,防空兵主要基于火力防空作战模式遂行对空作战任务。依靠雷达和

光电探测设备实施空情探测,目标威胁评估模型只能建立在目标运动参数及航迹规律判断基础上,很难准确反映空袭兵器的真实企图。电子防空力量编入防空兵部队后,电子火力一体防空将成为未来防空兵对空作战的主要模式。电火一体防空作战空情信息来源渠道更加多样,既包括雷达和光电探测手段获取的空间目标物理空间信息,也包括电子对抗侦察手段获取的空袭兵器电磁空间信息。雷达对抗

收稿日期:2018-12-25

修回日期:2019-03-14

作者简介:彭 涛(1986-),男,江西泰和人,硕士研究生。研究方向:电子防空、指挥信息系统辅助决策。

侦察^[1]设备可及时截获空袭兵器机载多功能雷达对地探测时的电磁辐射信号,光电对抗侦察设备可及时截获空袭武器平台投射光电制导武器时发射的激光照射信号。根据这些信息,可以较为准确地判断出空袭兵器的攻击企图。为此,本文从综合运用空中目标物理空间信息和空袭兵器电磁空间信息的角度出发,根据雷达探测、光电探测、电子对抗侦察获取的空情信息特征,对基于电火一体防空的目标威胁评估模型构建问题进行研究,旨在为防空兵指挥信息系统辅助决策软件设计提供借鉴。

1 电火一体防空目标威胁评估思路

1.1 电子与火力防空空情效用分析

传统火力防空主要基于雷达和光电探测装备实施空情探测,获取的是空中目标的物理空间信息,包括相应目标相对探测器所在位置的方位角、高低角、距离以及目标架数、目标回波类型等信息。指挥信息系统根据探测的位置分布和空情探测信息,经过对各类空情信息的时空统一和整合处理后,可得到各批目标的航迹信息,包括各批目标的飞行速度、高度及相对被掩护目标(或指挥控制站)所在位置的航路捷径、飞临时间等信息。通常认为:目标飞临时间越小,对其抗击的紧迫性越强,目标的威胁程度越高;目标高度越低,说明敌机越想隐蔽空袭企图,其威胁程度越高;目标航路捷径越小或同一目标架数越多,对掩护颇具目标的破坏力越大,目标的威胁度越高,然而,上述认知毕竟是对空袭兵器攻击企图的一种推理,很难保证预测结果与实际情况相吻合。

电子防空基于电子对抗侦察获取空袭兵器的电磁空间信息,利用这些信息可以较为准确地判断出空袭兵器的攻击企图。例如,当敌机实施远程攻击时,通常需要开启机载多功能雷达搜索地面目标或雷达制导导弹实施跟踪制导,利用雷达对抗侦察手段截获机载雷达的辐射信号,便可较为容易地判断敌远程攻击企图;当敌机基于光电告警手段及时截获敌激光照射信号,便可较为容易地判断敌近程攻击企图。然而,上述敌机电磁辐射信号的随机性较强,且存在时间短,也给目标威胁程度判断带来困难。

1.2 电火一体防空目标威胁评估构想

本文提出一种“初评+修正”的目标威胁评估方法。电火一体防空将空中目标的航迹信息和电磁信息融合一体。能综合运用电火一体防空空情信息进行威胁评估。空中目标的航迹信息连续、实时,是

防空侦察的主要信息。电磁信息突发强、持续时间短暂,但反应了空中目标的攻击企图。因此,本文提出一种目标威胁评估方法,首先以空中目标航迹信息为主进行初步评估;然后以空中目标的电磁信息和航迹运动特征判断目标攻击企图,根据目标攻击企图区分目标类型;最后根据目标类型对目标航迹信息威胁度排序进行修正。

基于空中目标的航迹信息进行威胁度初评。即根据空中目标的飞临时间、高度、航路捷径、目标架数等信息进行威胁程度初步评估。飞临时间主要以指挥控制中心为基准考虑,首先飞临至指挥控制中心捷径处的目标威胁程度高。由于目标并非直行临近,通常以目标现在位置沿飞行航路至指挥控制中心捷径处所需时间计算飞临时间;航路捷径以各掩护目标位置为基准,通过飞行航路与各被掩护目标位置相应的航路捷径数值综合考量,航路捷径偏小者威胁程度高;目标高度越低,威胁程度越高;目标架数越多,该批目标威胁程度越高。

基于空中目标的目标类型进行威胁排序修正,即根据目标攻击企图进行目标类型区分。本文提供一种根据目标企图进行目标类型区分的方法,将空中目标的企图分为“正在实施攻击”、“即将实施攻击”、“进行辅助攻击”和“无明显攻击企图”。根据空中目标的活动规律分析,“正在实施攻击”类目标主要以导弹为主,可归纳为“导弹类目标”,因其正在实施攻击,威胁度极大;“即将实施攻击”的目标可通过截获空中目标的机载雷达信号或者激光照射信号确定,可归纳为“攻击类飞机”。因其即将实施攻击行为,并未真正实施攻击;进行辅助攻击类目标主要进行侦察预警类和电磁干扰,并未对我形成实质危害,可归纳为“特殊目标”;“无明显攻击企图”类目标主要是暂时没有侦察到其攻击信号的空中目标。暂时认定为没有明显攻击意图,因此,威胁度相对较低。实际作战中,上级会根据多种情报指定一些重点打击目标,此类目标往往对我方重点保卫目标危害极大,可归纳为“上级指定类目标”。上述目标类型威胁排序为“上级指定目标”>“导弹类目标”>“攻击类飞机”>“特殊目标”>“一般目标”。因此,可将上述目标类型指定为5个威胁层级,“上级指定目标”指定为一级威胁,“导弹类目标”指定为二级威胁,“攻击类飞机”指定为三级威胁,“特殊目标”指定为四级威胁,“一般目标”指定为五级威胁。

2 目标航迹特性的威胁评估模型构建

基于颇具规模航迹特性的威胁评估问题是一

个多属性决策问题^[2]。本文采用理想点法^[3]对空中目标威胁度^[4]进行初步评估。

2.1 建立目标航迹属性隶属函数

1) 航路捷径,航路捷径威胁隶属函数应满足航路捷径越小,威胁度越大;航路捷径越大,威胁度越小;当航路捷径为 0 时,威胁度最大;当航路捷径超出防空导弹最大航路捷径区间范围时,目标几乎没有威胁。因此,航路捷径隶属函数符合中间型分布函数形式。其威胁隶属度函数为:

$$\mu(d) = e^{-ad^2}, -50 \text{ km} \leq d \leq 50 \text{ km} \quad (1)$$

式中, $a=0.01$ 。

2) 高度,目标高度越低,威胁度越大。当高度小于 1 km,其威胁最大;当高度在 1 km 以上时,威胁值随高度值递减,威胁值隶属函数近似于偏小型的降半正态分布。其隶属函数为:

$$\mu(h) = \begin{cases} 1, & 0 \leq h \leq 1 \text{ km} \\ e^{-a(h-1)^2}, & 1 \text{ km} \leq h \end{cases} \quad (2)$$

式中, $a=0.015$ 。

3) 飞临时间,目标与保卫目标的距离越近,速度越大,同目标到达发射区远界时间越短,威胁程度就越大。其隶属函数为:

$$\mu(t) = e^{-at^2}, t \geq 0 \quad (3)$$

式中, $a=0.000\ 038$ 。

4) 目标架数,同一批目标,若架数越多,其威胁度必定越高。其隶属函数近似于偏小型的升半正态分布。隶属函数为:

$$\mu(x) = 1 - e^{-ax}, x \geq 1 \quad (4)$$

式中, $a=-0.5$ 。

2.2 建立威胁评估模型

步骤 1 建立决策矩阵。设发现 n 空中目标,记为 $T_i(i=1,2,\dots,n)$ 。空袭目标航迹特征要素为 $\mu_j(j=1,2,3,4)$ 。其威胁属性值为 μ_{ij} 。

步骤 2 构建加权处理标准化矩阵 $R = [r_{ij}]$,其中 $r_{ij} = w_j \mu_{ij}$ 。

步骤 3 确定参考的最大威胁值与最小威胁值。

$$r^+ = \max r_{ij} (j=1,2,3,4) = \{r_1^+, r_2^+, r_3^+, r_4^+\} \quad (5)$$

$$r^- = \min r_{ij} (j=1,2,3,4) = \{r_1^-, r_2^-, r_3^-, r_4^-\} \quad (6)$$

步骤 4 计算各目标到最大威胁值的距离 S^+ 和最小威胁值的距离 S^- 。

$$S^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^4 (r_{ij} - r_j^+)^2}, i=1,2,\dots,n \quad (7)$$

$$S^- = \sqrt{\sum_{j=1}^4 (r_{ij} - r_j^-)^2}, i=1,2,\dots,n \quad (8)$$

步骤 5 计算目标解相对于 S^+ 的贴近度 C_i ,即目标的航迹特征威胁值。

$$C_i = \frac{S_i}{S_i^+ + S_i^-}, i=1,2,\dots,n \quad (9)$$

3 目标类型区分的威胁排序修正方法

3.1 目标类型识别

目标类型识别因素集^[15]包括目标回波类型(大型机、小型机)、激光照射信号、机载雷达开机信号、目标速度、高度、距离、载机机型(由雷达告警设备识别空中目标雷达信号判定)、上级指令等。主要靠指挥信息系统根据专家制定的识别规则自动识别完成,必要时可人工干预。

其识别流程是:

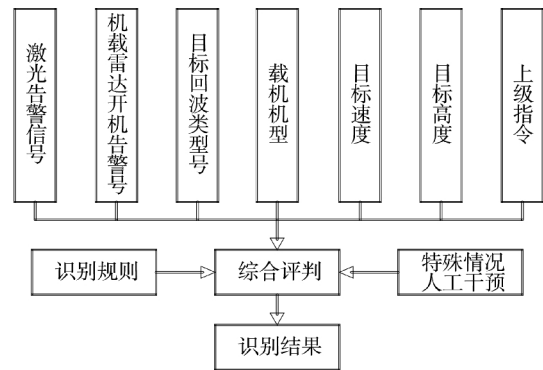


图 1 目标类型识别流程图

其识别规则是:

“上级指定目标”由上级指令确定;

“导弹类目标”主要包括战役战术导弹、巡航导弹和空地导弹。规则 1:目标回波类型为“小型机”,速度达 2 MHz 以上;规则 2:目标回波类型为“小型机”,目标速度为 200 m/s ~ 300 m/s,高度 150 m 以下。

“攻击类飞机”是准确实施对地攻击的飞机类目标。规则 1:已截获机空中目标机载雷达电磁信号(如火控雷达信号、制导雷达信号),并识别其机型为对地攻击飞机;规则 2:截获空中目标激光照射信号,可直接判定。

“特殊目标”主要包括预警机、电子战飞机等目标。规则为:目标回波类型为“大型机”,高度 8 000 m 以上,目标速度为 250 m/s ~ 400 m/s,同时电子对抗侦察设备侦察到其电磁信号,并识别其机型为预警机或电子干扰机,可判定为“特殊目标”。

“一般目标”指未列入上述类型的其他目标。

3.2 基于目标类型区修正威胁排序

由上文 1.2 节所述,上述 5 种目标类型分别为

5 个威胁层级^[5],其目标类型威胁排序为“上级指定目标”>“导弹类目标”>“攻击类飞机”>“特殊目标”>“一般目标”。为了使各个目标类型威胁值不相互干扰,其各层级目标类型修正量化直之差必须大于或等于 1。因此,可以指定“上级指定目标”威胁量化值为 4;“导弹类目标”威胁量化值为 3;“攻击类飞机”威胁量化值为 2;“特殊目标”威胁量化值为 1;“一般目标”威胁量化值为 0。然后根据目标量化值在目标航迹威胁度上进行修正,得出新的威胁排序。具体方法如下:

上级指定目标

一级威胁

$C_i + 4$

导弹类目标

二级威胁

$C_i + 3$

攻击类飞机

三级威胁

$C_i + 2$

特殊目标

四级威胁

$C_i + 1$

一般目标

五级威胁

C_i

(10)

4 仿真实验

假设在防空作战中,侦察到 6 批空中目标,各目标属性指标如表 1 所示。

4.1 计算目标航迹信息威胁度

权值可参考文献[6]中方法确定,可得权值为 $w=\{0.3,0.4,0.2,0.1\}$;按照其论述的基本步骤可得到表 2、表 3、下页表 4 和表 5。

从表中可以看出,传统方法仅根据空袭兵器的速度、高度、飞临时间、架数、航路捷径等信息进行威胁评估是不合理的,比如用理想点法得出目标威胁排序为 $T1>T3>T5>T2>T4>T6$ 是不合理的。 $T6$ 为上级通报的一级威胁目标,威胁度必然最大; $T4$ 已开启火控雷达即将实施攻击行为,威胁度必然比无攻击行为的 $T5$ 要大; $T2$ 正在实施地对空侦察,威胁必然比无明显攻击行为的 $T5$ 要大。

表 1 空中目标特征属性值

属性目标	载机机型	速度(ma)	高度(km)	飞临时间(s)	架数	航路捷径(km)	告警信号	目标回波类型	上级指令
T1	不明机	1.2	0.3	49	4	0.5	无	小型机	
T2	E-2 预警机	1.1	9	90	1	1	机载雷达告警	大型机	
T3	F-15E	0.8	3	55	3	1.5	激光告警	大型机	
T4	F-15E	0.8	8	150	1	20	机载雷达告警	大型机	
T5	F-16	0.9	2	120	2	1	无	大型机	
T6	不明机	2	20	100	1	20	无	大型机	一级威胁

表 2 空中目标航迹属性威胁度

	高度	飞临时间	架数	航路捷径
T1	1	0.912 800 439	0.864 664 717	0.997 503 122
T2	0.382 892 886	0.735 062 316	0.393 469 34	0.990 049 834
T3	0.941 764 534	0.891 410 713	0.776 869 84	0.977 751 237
T4	0.479 505 459	0.425 283 191	0.393 469 34	0.018 315 639
T5	0.985 111 94	0.578 567 534	0.632 120 559	0.990 049 834
T6	0.004 449 338	0.683 861 409	0.393 469 34	0.018 315 639

表 3 加权处理后目标航迹属性威胁度

	高度	飞临时间	架数	航路捷径
T1	0.3	0.365 120 175	0.172 932 943	0.099 750 312
T2	0.114 867 866	0.294 024 926	0.078 693 868	0.099 004 983
T3	0.282 529 36	0.356 564 285	0.155 373 968	0.097 775 124
T4	0.143 851 638	0.170 113 276	0.078 693 868	0.001 831 564
T5	0.295 533 582	0.231 427 013	0.126 424 112	0.099 004 983
T6	0.001 334 801	0.273 544 564	0.078 693 868	0.001 831 564

表 4 正负理想点

	高度	飞临时间	架数	航路捷径
正理想点	0.034 460 36	0.117 609 971	0.015 738 774	0.009 900 498
负理想点	0.001 334 801	0.170 113 276	0.078 693 868	0.001 831 564

表 5 空中目标的 S_+ , S_- 和 C_i 值

	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
S_+	0	0.219 567	0.026 280 1	0.284 392 4	0.141 624 26	0.340 670 1
S_-	0.381 703	0.194 130 1	0.359 053 486	0.142 516 88	0.319 426 3	0.103 431 2
C_i	1	0.469 26	0.931 8	0.333 83	0.692 82	0.232 9

4.2 区分目标类型对目标航迹信息威胁值进行修正

根据建立的识别规则,由系统识别判定,“上级指定目标”为 T_6 ,“导弹类目标”为 T_1 ,“攻击类飞

机”为 T_3 、 T_4 ,“特殊目标”为 T_2 ,“一般目标”为 T_5 。用目标类型量化值进行修正,威胁排序为: $T_6 > T_1 > T_3 > T_4 > T_2 > T_5$ 。如表 6 所示。

表 6 修正后空中目标威胁度

T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6
导弹类目标	特殊目标	攻击类飞机	攻击类飞机	一般目标	上级指定目标
二级威胁	四级威胁	三级威胁	三级威胁	五级威胁	一级威胁
4	1.46926	2.9318	2.33383	0.69282	4.2329

可以看出,经目标类型量化值修正后的威胁排序,明显能够反应上级意图和敌空袭兵器企图对计算威胁度的影响,能够较真实地反应敌空袭兵器对我保卫目标的威胁度。

5 结论

实际作战中,空中目标在飞临我保卫目标过程中,特征逐渐显现,攻击意图逐渐暴露,其威胁度随之动态变化。本文提供的方法,既反应了上级指定目标对威胁评估的影响,又能根据目标的攻击企图将急需抗击的目标区分出来;同时在目标特征属性不完整的情况下,也能正常进行威胁评估。例如在无上级指令或者空中目标无机载雷达开机信号等情况下,可按“一般目标”进行威胁排序。此方法比较贴近实战,具有一定实用参考价值。

参考文献:

- [1] 熊群力.综合电子战[M].北京:国防工业出版社,2010.
- [2] 马亚龙,邵秋峰,孙明,等.评估理论和方法及军事应用[M].北京:国防工业出版社,2013:68-69.
- [3] 申卯兴,曹泽阳,周林.现代军事运筹[M].北京:国防工业出版社,2014:347-249.

- [4] 李春芳,赵虹,巴宏欣,等.基于多属性分类决策的空中目标威胁评估模型[J].指挥信息系统与技术,2011,2(12):55-58.
- [5] 张松涛,王公宝.基于分层防御的舰艇编队空中目标威胁排序模型[J].兵工自动化,2009,28(1):22-31.
- [6] 徐南荣,钟伟俊.现代决策理论与方法[M].南京:东南大学出版社,2001.
- [7] 罗金亮,杨健,宿云波.精确电子防空作战运用研究[J].电子工程,2015,25(1):34-37.
- [8] 刘冰雁,刘湘伟,郝成民,等.电子防空威胁等级评估模型研究[J].舰船电子对抗,2014,37(2):57-61.
- [9] 王长春,刘隆和.多传感器目标模糊识别技术研究[J].海军航空工程学院学报,2003,20(9):587-510.
- [10] 张贺,张昕.基于区间数层次分析法的空战对抗威胁估计[J].指挥信息系统与技术,2015,6(8):58-62.
- [11] 原晓波,王昆,顾建伟.突袭兵器威胁程度综合判断[J].舰船电子对抗,2011,34(7):35-38.
- [12] 付涛,王军.防空系统中空中目标威胁评估方法研究[J].指挥控制与仿真,2016,38(6):63-71.
- [13] 王汝群.防空作战革命[M].北京:解放军出版社,2009.
- [14] 周立伟,刘玉岩.目标探测与识别[M].北京:北京理工大学出版社,2004.
- [15] 金先仲.机载制导武器[M].北京:航空工业出版社,2009:125-159.