

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.06.009

## 基于作战辅助决策系统的目标威胁评估排序模型

姜文志<sup>1</sup>, 刘涛<sup>2</sup>, 栗飞<sup>2</sup>

(1. 海军航空工程学院 兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院 指挥系, 山东 烟台 264001)

**摘要:** 为提高防空武器系统对付多目标的能力, 建立了基于辅助决策系统的目标威胁判断排序模型。首先简述了其理论概念, 然后介绍了威胁判断排序的辅助决策系统模型, 并建立了知识库, 分析了空中目标威胁的因素。该模型具有较好的人机交互功能和自学习功能, 可自动获取或修改知识库中的知识, 能够智能地确定目标的威胁程度, 为指挥员进行作战指挥提供了有效的决策工具。

**关键词:** 辅助决策系统; 威胁判断; 知识库; 目标类型

**中图分类号:** C934; O223 **文献标识码:** A

## Threat Estimation and Sequencing to Targets Model Based on Assistant Decision Making Systems

JIANG Wen-zhi<sup>1</sup>, LIU Tao<sup>2</sup>, LI Fei<sup>2</sup>

(1. Dept. of Ordnance Science & Technology, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Dept. of Command, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** To prove the ability that air defense system deals with multi objects, Threat estimation and sequencing to targets model based on assistant decision making systems is established. At first, simple states theory and concept, then introduces threat estimation and sequencing model based on assistant decision making systems, establishes knowledge base and analyses the threat factor of air target. The model has man-machine alternating function and self-learning function, it can obtain or modify the knowledge automatically and can intelligently ascertain the threat degree of targets. The model can offer the effective decision tool for commander to carry on operational command.

**Keywords:** Assistant decision making system; Threat estimation; Knowledge base; Target type

### 0 引言

近年空袭兵器及其战术活动样式向着多样化、综合化、一体化和系统化优化发展, 使未来的空中威胁更加复杂、多变。在多批次、多方向、多层次、连续饱和攻击等情况下, 地面指挥员很难做出合理的射击决策。为提高防空武器系统对付多目标的能力, 必须对空中目标的威胁程度做出准确的判断。故建立基于辅助决策系统的目标威胁判断排序模型, 以满足对空中目标的实时威胁判断与排序。

### 1 辅助决策的任务

辅助决策是作战指挥员分析判断情况、确定作战方针、定下作战指挥决心和制定实现决心的行动计划的重要手段。辅助决策系统以人工智能、军事运筹学和信息技术作为工具, 以数据库、专家系统和数学模型为基础, 通过计算、推理和仿真等辅助手段来实现上述功能。根据防空作战的特点, 防空导弹武器系统作战辅助决策系统应包括战前、作战实施及作战结束整个作战过程各类决策问题, 其中以作战实施过程实时辅助决策为重点<sup>[1]</sup>。

作战实施过程实时辅助决策的主要内容有空情态势辅助分析, 目标辅助综合识别, 武器系统工作状态转换方案辅助决策, 火力运用决心和射击决心辅助生成, 战斗等级转进辅助分析, 战斗准备辅助分析以及射击过程的辅助分析等。防空作战过程中情况瞬息万变, 因此, 防空作战实时辅助决策尤为重要, 其中尤以目标的威胁判断排序为甚。

### 2 威胁判断排序的辅助决策系统模型

辅助决策系统通过接收空中情报和技侦情报等信息, 经数据融合等预处理后, 获得目标的综合信息, 如图 1。根据当前国际关系、敌方近期活动情况、目标态势、保卫目标位置等进行企图判断。如果目标有企图, 则进行拦截适宜性检查, 然后对可拦截目标进行威胁评估排序和火力分配。

各类目标的威胁判定排序模型则保存在威胁判断排序模型库里。推理机根据目标类型调用该类目标的威胁判断模型, 然后再调用知识库里的知识, 综合数据库的数据和实时情报进行推理。推理机采用知识库控制下的双向混合推理, 以适应威胁判断

收稿日期: 2010-01-19; 修回日期: 2010-02-21

基金项目: 装备预研基金项目(40108040402)

作者简介: 姜文志(1964-), 男, 山东人, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事武器装备信息化方向教学与研究。

辅助决策系统实时性和动态性的特点和要求。通过人机交互可使用户及时了解决策系统的推理原则和推理过程，并为指挥员进行干预提供条件；也为知识库提供和修改知识，实时更新获取的知识，以满足防空作战的要求。其体系结构如图 2<sup>[2]</sup>。

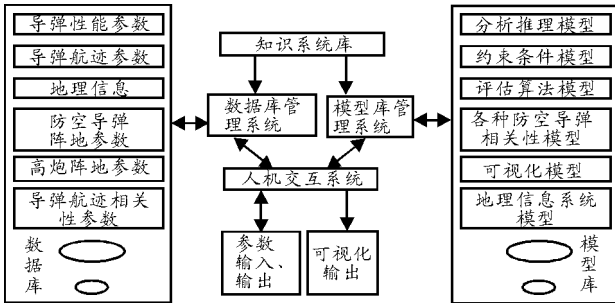


图 1 决策系统结构简图

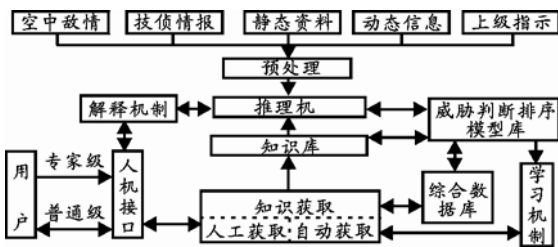


图 2 威胁判断排序辅助决策系统

### 3 知识库的建立

知识库作为辅助决策系统核心部分，可由事实性知识和推理性知识组成。目标的拦截条件及目标威胁判断排序准则是知识库里的重要知识，用产生式规则来表示，其中包括知识对象的建立与表达、各类知识对象的组织及实例化等<sup>[3]</sup>。

#### 3.1 目标的拦截条件

目标可拦截性判断是火力单元拦截目标的必要条件。根据目标位置、属性识别结果和武器控制状态，决定是否适宜进行拦截，是对来袭目标进行粗略的约束检验，即物质约束条件检验、空间约束条件检验和时间约束条件检验。

##### 1) 空间约束条件

空间约束条件是指目标必须能够经过防空区域某一火力单元的杀伤区。第  $j$  批目标能被第  $i$  火力单元拦截的条件为：

$$|P_{ij}| \leq P_{\max}, H_{i\min} \leq H_j \leq H_{i\max}, v_j < v_{i\max}$$

式中， $P_{ij}$ 、 $H_j$ 、 $v_j$  分别表示目标  $j$  对导弹营  $i$  的航路捷径、目标  $j$  的飞行高度和速度； $P_{\max}$ 、 $H_{i\max}$ 、 $H_{i\min}$ 、 $v_{i\max}$  分别是导弹营  $i$  可射击目标的最大航路捷径、最大高度、最小高度和可拦截目标最大速度。

##### 2) 时间约束条件

时间约束条件描述了目标的飞抵发射区时间与导弹营的最小射击周期之间的关系。设第  $j$  批目标到达导弹营  $i$  发射区远界的时间为  $t_{j1}$ ，导弹近界的时间为  $t_{j2}$ ，火力单元发射导弹的时间为  $t_{jf}$ ，对第  $k$  批目标发射导弹的时间为  $t_{kf}$ ，最小射击周期为  $t_c$ ，则有  $t_{j1} \leq t_{jf} \leq t_{j2}$ 、 $|t_{jf} - t_{kf}| \geq t_c$  ( $k \neq f$ )。

##### 3) 物质约束条件

物质约束条件是指防空导弹营处于正常战斗状态，而非故障状态，并且在射击过程中作战资源是否满足射击拦截目标的条件。

只有满足上述约束条件目标才会进行威胁评估排序和目标分配，提供防空作战指挥控制辅助决策。

### 3.2 空中目标威胁判断准则

#### 3.2.1 空中目标威胁因素分析

空袭目标特征一般可以描述为目标类型、距离、速度、高度、数量、方位、遂行任务企图等多个属性。而在实际作战过程中，作为防空方，只能根据雷达探测信息和平时掌握的敌我信息进行判断，一般可以得到目标的类型、速度、航向角、高低角、距离、干扰能力、空袭样式等信息<sup>[4]</sup>。其中，空中目标的速度、距离、高度决定了目标到达导弹发射区近界的时间；相对方位角决定了来袭目标的航路捷径或航向角；目标类型以及目标运动加速度或高度上是否机动在一定程度上表明目标的攻击意图。对于较严格的威胁判断还应考虑敌目标作战性能和攻击火力、首次截击位置和目標架次等，但为了提高威胁判断的实时性，可忽略某些次要因素。因此，对地面防空来说，估计空中目标对被保卫目标的威胁程度，可归纳为 5 个方面：

##### 1) 目标类型数量

目标类型不同，其飞行速度和攻击能力也不同，对被保卫对象的威胁程度也不同。对防空方来说，适时、准确判断空中目标的类型已很不容易，适时、准确判定其携带空袭武器的类型和数量则更为困难。由于目标类型中已包含有该目标引起毁伤能力的基本信息，故在进行目标威胁评估时，进行简化处理，只考虑目标的类型特征信息。根据防空作战的实际情况和人的偏好信息，目标类型划分如表 1。

根据目标作战使用情况，确定威胁程度由高到低排列的顺序是：战术弹道导弹 (TBM)；空地导弹 (AGM)、反辐射导弹 (ARM)；干扰载机；巡航

导弹、隐形机、轰炸机、歼击轰炸机、强击机、歼击机; 武装直升机、侦察机、加油机等。

表 1 空中目标类型划分

类别	主要目标	主要特征
A 类	A1 类 预警机、侦察机、加油机、干扰机	对要地不构成直接威胁, 但 A1 类对敌空袭具有重要意义。
	A2 类 运输机	具有重要意义。
B 类	B1 类 歼击机、歼轰机、强击机、轰炸机、隐形机	可以构成直接威胁, 是来袭主要作战平台。
	B2 类 武装直升机	
C 类	空地导弹、反辐射导弹、巡航导弹、战术弹道导弹	严重的现实威胁
D 类	不明类型的飞行目标、虚假目标、诱饵	特征参数不明确

2) 目标对保卫要地的航路捷径或航向角

航路捷径越小, 攻击意图越明显, 攻击后对被保卫要地的毁伤概率越大, 故威胁程度越高。目标相对于被保卫要地的航路捷径可按下式计算:

$$P_{ij} = \sqrt{D_j^2 - H_j^2} \sin q_j = \frac{|-z_{j1}x_{j2} + x_{j1}z_{j2}|}{\sqrt{(x_{j2} - x_{j1})^2 + (z_{j2} - z_{j1})^2}} \quad (1)$$

其中:  $D_j$  为第  $j$  批目标相对于被保卫要地距离;  $q_j$  为第  $j$  批目标相对于被保卫要地的航路角 ( $0^\circ \sim 180^\circ$ );  $(z_{j1}, x_{j1}), (z_{j2}, x_{j2})$  为第  $j$  批目标在  $t_1, t_2$  时刻在以被保卫要地为圆心的  $Ozx$  平面内的坐标。

3) 目标到达导弹发射区近界的时间以及目标在发射区的停留时间

目标到达导弹发射区近界的时间越短, 威胁越大; 目标在发射区内的停留时间越短, 威胁越大。目标到达发射区近界时间  $t_{j2}$  可由下式计算:

$$t_{j2} = \frac{\sqrt{d_j^2 - P_{ij}^2} - \sqrt{d_{j0}^2 - P_{ij}^2}}{v_j'} \quad (2)$$

其中:  $d_j$  为第  $j$  批目标到火力单元的水平距离;  $d_{j0}$  为第  $j$  批目标到发射区近界的水平距离;  $v_j'$  为第  $j$  批目标的水平速度。

4) 目标遂行任务的企图, 包括机动性、干扰程度、空袭样式

目标的机动特征、干扰程度以及空袭样式很大程度上决定了目标遂行任务的企图。根据防空导弹作战理论: 目标机动比不机动威胁程度大; 而电子干扰会破坏雷达对目标信息的探测, 并会干扰地空导弹上的电子设备, 使导弹失控, 降低命中概率, 所以空中目标的电子干扰程度越强, 对我方的威胁程度就越大; 目标低空飞行, 受到防空导弹拦截的概率较低, 即对防空方的威胁程度就越大。

5) 被保卫要地的重要程度

对我方不同的被保卫要地而言, 同一目标的威

胁程度是不同的。对重点被保卫要地的威胁程度大一点。重点被保卫要地是上级指定的要地或具有战略意义的要地。

3.2.2 目标威胁因素的数学处理

计算某一目标对特定火力单元或被保卫要地的威胁程度, 步骤如下:

- 1) 确定火力单元或被保卫要地的权重。
- 2) 据获得信息, 经推理机推理, 确定目标类型。
- 3) 由知识库和综合数据库得到目标的属性威胁程度, 如图 3。
- 4) 计算目标的威胁程度。

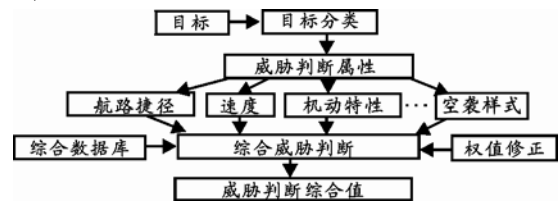


图 3 目标属性威胁判断框图

由于目标的威胁程度本身是一个模糊的概念, 影响目标威胁程度的各个因素又具有一定的不确定性, 因此, 对空中目标的威胁判断应综合考虑各种影响因素, 以提高目标威胁程度判断的科学性和正确性。对空中目标威胁程度的判断是一个定性、定量相结合的过程。为确保定性指标量化的科学性, 借鉴 G.A.Miller 的 9 级量化理论, 引入定性指标量化语气算子, 其备择集及其含义如表 2。

表 2 定性指标量化集

标度	0	1	3	5	7	9
含义	无	极小	较小	中	较大	极大

注: 标度 2、4、6、8 是上述相邻判断中间值

不同类型目标的影响权值是不同的。系统通过对各类目标进行大量的样本学习, 智能地确定各类目标的权值大小, 保存在威胁判断排序模型库。用户也可以通过人机接口来调整、修改。在进行目标威胁判断时, 推理机首先根据综合数据库里的数据和实时情报确定目标的类型, 然后调用威胁判断排序模型库里该类目标的威胁判断模型和知识库里的知识, 对目标进行威胁程度判断。

很多专家都曾对具体计算方法做过具体阐述。文献[5]采用 D-S 理论和 AHP 相结合的方法进行空中目标威胁程度估计并排序, 其解算方便, 操作性强, 便于计算机辅助决策; 文献[6]基于排列法建立的综合评判模型能够比较准确地对来袭目标进行威胁评估, 符合防空作战的实际, 其计算速度快, 适应现代防空作战的需求。

根据计算得到的加权偏离度  $\theta = -0.2166$ , 即距离理想状态下的加权偏离度为  $-0.2166$ 。数字化装甲团指挥决策时效性的效能值为  $1 + (-0.2166) = 0.7834$ 。将其输入到图 1 云发生器之后, 将激活“较好”和“很好”2 个云对象, 介于“较好”和“很好”之间, 偏于很好。结果表明, 该方法能评估数字化装甲团指挥决策时效性, 可以为完善指挥决策系统、优化指挥决策活动、增强决策的科学性以及提高指挥效能提供依据。

参考文献:

[1] 屈洋, 孙文纪, 秦伟, 等. 数字化装甲团指挥信息系统

\*\*\*\*\*

(上接第 29 页)

3.3 空中目标威胁排序准则

威胁排序是根据威胁程度的大小对空中目标进行排序, 为目标优化分配和拦截决策提供基本依据。威胁程度排序是一个动态变化的过程, 在防空作战过程中, 不断地有目标退出战斗, 同时会有新目标加入战斗。因此, 对空中目标的威胁判断排序, 需要及时更新目标的变化而引起的排序问题。排序的一般准则<sup>[6]</sup>如下:

1) 上级或本级指挥员指定的待拦截目标排在队首, 如果指定多个目标时, 按指定的先后顺序排列; 其他目标按模型计算出的威胁程度次序由大到小排列; 对威胁值相同或相近的空中目标先到先打。

2) 当目标到达发射区近界时间与导弹飞到发射区近界时间之差  $\leq t_0$  时 ( $t_0$  视具体防空导弹武器系统而定), 导弹拦截飞行短且时间差小的目标排在前面; 时间差为负值时, 排在最后。

3) 多目标通道火力单元, 对处于有效发射区内拦截警戒线外威胁值相等或相近的多个空中目标, 应按先打远、后打近进行排序。当一个或多个空中目标处于拦截警戒线与有效发射区近界之间的, 应优先拦截, 并按先打近、后打远排序。当一个或多个空中目标进入有效发射区近界之内, 但尚处于火力单元发射区近界之外的, 只有在有空闲目标通道时才容许进行拦截, 并且按先打远、后打近排序。

4) 当出现以下情况时, 需要将目标从排序队列中删除: 本火力单元已将目标分配并拦截; 较高优先级的目标插入后, 队列中目标数大于武器系统可拦截目标数时, 以后的目标应出队; 分配时目标属性识别或武器的控制状态变更, 目标不适宜自动

作战效能评估研究[R]. 蚌埠: 蚌埠坦克学院, 2008.  
 [2] 李洪峰, 冯传茂, 杨和梅, 等. 基于云重心评判法的炮兵指挥训练水平评估[J]. 指挥控制与仿真, 2007, 6(4): 90-92.  
 [3] 邵杰, 曹延平, 时佳佳. 云重心理论在装甲机械化部队射击指挥能力评估中的应用[J]. 兵工自动化, 2009, 12(8): 91-93.  
 [4] 陈利, 尤峰. 基于 AHP 和云重心方法的装甲兵指挥信息系统效能评估[J]. 指挥控制与仿真, 2008, 6(4): 59-64.  
 [5] Li Deyi, Di Caichang, Li Deren, et al. Ming Association Rules with Linguistic Cloud Models[J]. Journal of Software, 2002, 126(2): 143-158.  
 [6] 李振波, 陈绍山, 李柏. 信息化条件下装甲机械化部队装备保障[J]. 四川兵工学报, 2009(2): 111-113.

拦截时; 目标已飞出发射区; 指挥员命令进行人工威胁判断的目标; 已证实被毁伤的目标。

随着空情的变化, 目标威胁判断与排序处于动态可变过程, 有一定的更新周期, 要视武器系统类型而定。目标威胁程度排序应随时调整, 但排序的准则不变。

4 结束语

该模型能根据目标类型的不同而调用不同的威胁判断模型, 确定各类目标的权重, 保证了评价的客观性和辅助决策的实时性, 适应现代防空作战的需要, 能够满足指挥员指挥决策使用, 并为研究基于辅助决策系统的防空导弹武器系统作战使用提供了一种思路。

参考文献:

[1] 张多林, 吕辉, 王刚, 等. 防空指挥自动化指挥控制系统[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2006.  
 [2] 曾繁伦, 刘进忙, 惠永辉. 基于智能决策支持系统的目标分配模型[J]. 火箭与制导学报, 2007, 27(3): 261-263.  
 [3] 李书涛. 决策支持系统原理与技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.  
 [4] 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): 999-1111.  
 [5] 余勇, 易华辉. 证据理论与层次分析法相结合的威胁评估排序模型[J]. 电子信息对抗技术, 2006, 21(5): 40-43.  
 [6] 刘玉全, 李为民, 王君. 基于排列法的目标威胁评估模型[J]. 现代防御技术, 2004, 32(1): 20-23.  
 [7] 徐品高. 防空导弹火力单元对空中目标的拦截排序问题[J]. 战术导弹技术, 2007, 28(2): 1-9.  
 [8] 赵田, 曾前腾. 高炮群抗击巡航导弹阵地配置辅助决策模型分析[J]. 四川兵工学报, 2009(11): 75-77.