

基于动态贝叶斯网络的防空作战威胁估计

赵建军¹, 王毅², 杨利斌¹, 付龙文³

(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 研究生管理大队, 山东 烟台 264001;

3. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 准确的对战场目标威胁等级进行评估, 是战场辅助决策系统的重要环节。通过对威胁估计过程的理解, 全面分析了影响威胁等级的评估参数, 建立了威胁估计的贝叶斯网络模型, 并采用动态贝叶斯网络推理方法进行威胁估计, 使目标的各个特征因素以及不同时间片的同一特征因素相互修正, 克服了由于专家系统的评估所造成的不确定性和主观性, 最后进行了仿真。仿真结果表明, 基于动态贝叶斯网络的威胁等级评估算法是一种有效的评估算法, 其结果能够比较准确地反映威胁源的真实威胁程度。

关键词: 威胁估计; 动态贝叶斯网络; 概率推理

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)11-0138-03

Air Defense Threat Assessment Based on Dynamic Bayesian Network

ZHAO Jian-jun¹, WANG Yi², YANG Li-bin¹, FU Long-wen³

(1. Department of Ordnance Science and Technology, Naval Aeronautic and Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. Graduate Student's Brigade, Naval Aeronautic and Astronautical University, Yantai 264001, China;

3. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

Abstract: It is important to get an exact threat level about the targets in the tactical aiding system. By understanding the process of threat assessment, the evaluation parameters, which affect threat level, have been analyzed comprehensively. Then the threat assessment of the Bayesian network model has been established. The dynamic Bayesian network reasoning method is used to estimate threat so that the objective factors of individual characteristics and the same characteristics of different time slices can correct each other. This method overcomes the subjectivity and uncertainty of expert assessment partially. Simulation results show that the threat level based on dynamic Bayesian network evaluation algorithm is an effective assessment algorithm, the results can more accurately reflect the true source of the threat level of threat.

Key words: threat assessment; dynamic Bayesian network; probabilistic reasoning

0 引言

现代海战中, 来袭目标的攻击大多来自各个方向, 采用多层次、多批次、饱和攻击方式进行进攻。因此, 我方在拦截来袭目标时, 必须充分利用有限的火力单元, 最大限度地拦截目标。鉴于此, 在对来袭目标进行拦截前, 必须进行威胁判断, 确定来袭目标的威胁程度, 以取得最佳的拦截效果。

关于威胁评估的方法, 已知的文献中有基于模糊

综合评判的方法^[1]、神经网络法^[2]、灰色关联度方法^[3]等。但是, 模糊综合评判方法计算结果有可能与实际情况不符, 神经网络法在实际应用中必须采用大量可靠的训练集, 灰色关联法没有对数据本身进行分析, 对数据缺少定性的描述。同时, 现有的防空目标威胁评估方法多数都是基于静态情况下的评估, 各次评估之间是独立的, 没有考虑在防空作战周期内目标信息变化对威胁评估的影响。而且忽略了敌方目标本身的攻击企图、编队成员重要度等重要影响因素, 因此所得的结果略显粗略, 仅能适应单舰、近程点防空或编队成员较少、防空火力通道数量少的情况。

鉴于此, 文中采用动态贝叶斯网络对来袭目标进行威胁估计。在静态贝叶斯网络模型的基础上加上时间向量, 使整个推理过程更完整、更连续, 同时有效地

收稿日期: 2012-03-16; 修回日期: 2012-06-20

基金项目: 山东省科技攻关计划项目(2008GG20005005)

作者简介: 赵建军(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为武器装备与作战指挥一体化技术; 王毅(1983-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为武器装备与作战指挥一体化技术。

降低推理过程中的不确定性,从而为指挥员的指挥决策提供帮助^[4,5]。

1 贝叶斯网络模型

贝叶斯网络是根据变量之间的联合概率分布建立的一种概率图模型。它包含两个部分,一个是贝叶斯网络结构图,这是一个有向无环图(DAG),图中每个节点代表相应的变量,而节点之间的连接关系代表了各节点的继承关系及独立关系。另一部分,就是节点和节点之间的条件概率表(CPT)。一个贝叶斯网络是可计算的、可推理的,它必须具有以上两个条件^[6,7]。

2 动态贝叶斯网络模型

动态贝叶斯网络(DBN)模型是通过把静态贝叶斯网络模型与时序信息相结合,将静态网络的概率分布扩展到时态领域的模型。文中在建立模型前先进行以下假设:

1)假设在一个有限的时间内条件概率变化过程对所有 t 是一致平稳的。

2)假设动态概率过程是马氏的(markovian),即满足:

$$P(X[t] | X[1], X[2], \dots, X[t]) = P(X[t+1] | X[t])$$

也就是说未来时刻的概率只与当前时刻有关而与过去时刻无关。

3)假设相邻时间的条件概率是平稳的,即 $P(X[t+1] | X[t])$ 与时间 t 无关,可以容易地得到不同时间的转移概率 $P(X[t+1] | X[t])$ 。

基于以上假设,建立在随机过程时间轨迹上的联合概率分布的 DBN 就由两部分组成:

1)先验网 B_0 ,定义在初始状态 $X[1]$ 上的联合概率分布;

2)转移网 B_{-} ,定义在变量 $X[1]$ 与 $X[2]$ 上的转移概率 $P(X[t+1] | X[t])$ (对所有 t 都成立)。

因此,若给定一个 DBN 模型,则在 $X[0], X[1], \dots, X[t]$ 上的联合概率分布为:

$$P(X[1], X[2], \dots, X[t]) = P_{B_0}(X[1]) \prod_{i=1}^t P_{B_{-}}(X[i+1] | X[i])$$

3 贝叶斯网络推理机制

贝叶斯网络推理是传统统计推断的发展,能够充分利用变量之间的条件独立信息,提高边缘和条件分布的计算效率。文中采用树状贝叶斯网络作为推理模型,假设节点 X 有 m 个子节点 Y_1, Y_2, \dots, Y_m 和一个父节点 u ,其树状结构如图 1 所示:

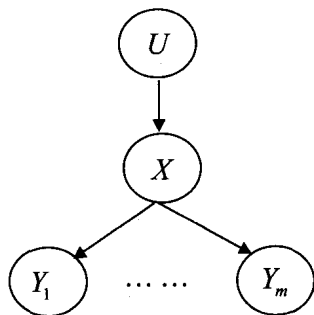


图 1 树状贝叶斯网络结构图

其中各变量定义如下:

Bel :节点的状态概率分布;

λ :从子节点获取的诊断信息;

π :从父节点获取的因果信息。

算法以单个节点为中心,通过计算 Bel 、 λ 和 π 进行更新,当所有节点的后验概率与先验概率相等时,整个网络即达到新的平衡状态。具体步骤如下:

(1)更新自身的置信度:

$$Bel(x) = \alpha \lambda(x) \pi(x)$$

$$\lambda(x) = \prod_j \lambda_{Y_j}(x)$$

$$\pi(x) = \pi_x(u) \times M_{x|u}$$

(2)自底向上更新:

$$\lambda_x(u) = \lambda(x) \times M_{x|u}$$

(3)自顶向下更新:

$$\pi_{Y_i}(x) = \alpha \pi(x) \prod_{k \neq j} \lambda_{Y_k}(x)$$

4 基于威胁估计的动态贝叶斯网络

4.1 影响威胁等级的因素分析

对空袭目标威胁程度的判断基本目的是区分目标对我方威胁程度的大小和次序,以便指挥员迅速、正确地做出相应决策。因此,对空袭目标威胁程度的判断及排序结果将直接影响着对空防御的整体作战效果^[8,9]。当采用贝叶斯网络进行威胁估计时,必须确定来袭威胁目标的各个组成要素的关系,按照要素间的关系建立对应的贝叶斯网络模型,然后确定网络模型中各节点的先验概率和条件概率,最后选择合适的推理算法进行推理^[10,11]。

空中目标的威胁程度是由多种因素决定的,总的来说主要包括目标速度、距离、加速度、方位、高度、航向、航路捷径、目标类型、攻击企图、电子干扰、毁伤能力等。这些因素之间相互影响、相互关联,构成了对编队的攻击企图和威胁程度。文中选取了能够明显反映来袭目标攻击威胁的相关目标属性(目标类型、距离、速度、高度以及航路捷径)因素进行研究^[12,13]。

根据以上特征因素,结合编队防空作战的指挥控制结构化事件循环周期,将作战过程中的威胁判断和

拦截排序分为多个时间片。各个时间片的循环周期一般与传感器目标数据更新周期或防空武器射击周期一致。因此建立威胁评估的动态贝叶斯网络模型见图 2。

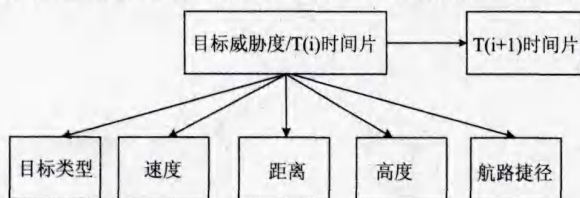


图 2 威胁估计的贝叶斯网络模型

图 2 模型中各个变量状态集合为：

目标类型: ID =

{导弹, 歼击机, 电子战飞机}; 速度: $V =$

{高速; 中速; 低速}; 距离: $R =$

{远; 中; 近}; 高度: $H =$

{低空; 中; 高空}; 航路捷径: $P =$

{范围内; 边缘; 范围外}。

4.2 模型参数确定

上述的变量状态集合反映的是领域专家的经验知识。

如高度, 超低空飞行

的一般是反舰导弹,

低空飞行一般为直升机或巡航导弹, 轰炸机要实施准确轰炸, 需要俯冲降低到中等高度, 而电子干扰机和预警机高度都比较高。依据领域专家知识得到的主要节点条件概率如表 1、表 2 所示。

如高度, 超低空飞行

的一般是反舰导弹,

低空飞行一般为直升机或巡航导弹, 轰炸机要实施准确轰炸, 需要俯冲降低到中等高度, 而电子干扰机和预警机高度都比较高。依据领域专家知识得到的主要节点条件概率如表 1、表 2 所示。

如高度, 超低空飞行

的一般是反舰导弹,

低空飞行一般为直升机或巡航导弹, 轰炸机要实施准确轰炸, 需要俯冲降低到中等高度, 而电子干扰机和预警机高度都比较高。依据领域专家知识得到的主要节点条件概率如表 1、表 2 所示。

表 1 动态贝叶斯网络状态转移概率表

T_{i+1}/T_i	H	M	L
H	0.7	0.15	0.15
M	0.35	0.40	0.25
L	0.15	0.35	0.50

表 2 威胁评估模型条件概率表

威胁度	类型(K)	速度(V)	距离(R)	高度(M)	航路捷径(L)					
高(H)	H/K_1	0.7	H/V_1	0.7	H/R_1	0.2	H/M_1	0.2	H/L_1	0.2
	H/K_2	0.2	H/V_2	0.2	H/R_2	0.2	H/M_2	0.2	H/L_2	0.2
	H/K_3	0.1	H/V_3	0.1	H/R_3	0.6	H/M_3	0.6	H/L_3	0.6
中(M)	M/K_1	0.2	M/V_1	0.2	M/R_1	0.2	M/M_1	0.2	M/L_1	0.2
	M/K_2	0.6	M/V_2	0.6	M/R_2	0.6	M/M_2	0.55	M/L_2	0.6
	M/K_3	0.2	M/V_3	0.2	M/R_3	0.2	M/M_3	0.25	M/L_3	0.2
低(L)	L/K_1	0.1	L/V_1	0.1	L/R_1	0.7	L/M_1	0.65	L/L_1	0.6
	L/K_2	0.2	L/V_2	0.2	L/R_2	0.2	L/M_2	0.25	L/L_2	0.2
	L/K_3	0.7	L/V_3	0.7	L/R_3	0.1	L/M_3	0.1	L/L_3	0.2

5 仿真实例

假设在我驱护舰编队探测到 1 个目标, 对于目标观察 3 个时刻。根据所得到的目标特征数据, 得到推理参数如表 3 所示。

经推理计算, 可得目标分别在 3 个时刻属于高、中、低 3 个等级的威胁度概率。

从仿真结果可见: 随着来袭目标距离、高度和航路捷径的逐渐减小, 目标对我方的威胁也在逐渐增大, 威胁等级为高的概率也从 0.823 急剧上升到 0.947, 这与实际作战情况是吻合的。如图 3 所示。

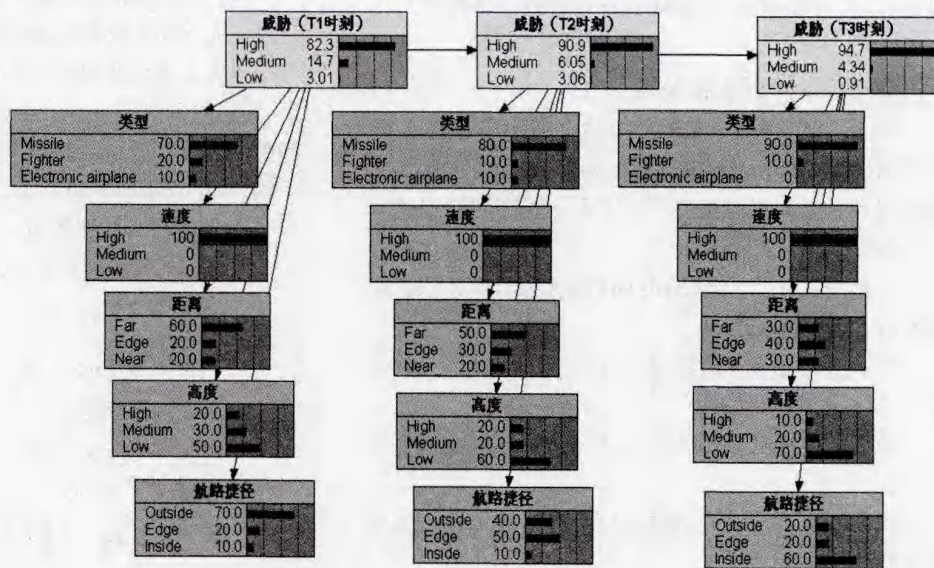


图 3 目标威胁度的概率推理

表 3 推理的数值表

	类型(K)	速度(V)	距离(R)	高度(M)	航路捷径(L)
目 时刻 1	(0.7, 0.2, 0.1)	(1, 0, 0)	(0.6, 0.2, 0.2)	(0.2, 0.3, 0.5)	(0.7, 0.2, 0.1)
标 时刻 2	(0.8, 0.1, 0.1)	(1, 0, 0)	(0.5, 0.3, 0.2)	(0.2, 0.2, 0.6)	(0.4, 0.5, 0.1)
1 时刻 3	(0.9, 0.1, 0)	(1, 0, 0)	(0.3, 0.4, 0.3)	(0.1, 0.2, 0.7)	(0.2, 0.2, 0.6)

6 结束语

针对来袭目标的多样性和动态性, 文中构建了基于动态贝叶斯网络威胁评估模型, 并根据实时获取数据进行了推理计算。仿真结果表明: 动态贝叶斯网络可以实时动态地处理数据, 有效地评估来袭目标的威胁程度, 更好地帮助指挥员进行作战指挥决策。

参考文献:

- [1] 武传玉, 刘付显. 基于模糊评判的新防空威胁评估模型[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(8): 1068-1071.
- [2] 钱江, 许江湖. 基于 BP 神经网络的空中目标威胁排序[J]. 现代防御技术, 2001, 29(6): 56-58.
- [3] 骆文辉, 杨建军. 灰色逼近理想解排序法在目标威胁评估

(下转第 144 页)

