

doi: 10.7690/bgzdh.2015.06.005

# 基于动态贝叶斯网络的舰艇防空作战威胁评估研究

卞泓斐<sup>1</sup>, 杨根源<sup>2</sup>

(1. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001; 2. 海军信息化专家委员会, 北京 100073)

**摘要:** 为解决防空作战中在数据不完备及不确定条件下的威胁评估推理问题, 采用动态贝叶斯网络的目标威胁评估模型。详细分析影响舰艇编队防空作战威胁评估的因素, 根据军事专家的领域知识构建相应的状态转移矩阵, 分析动态贝叶斯网络的推理过程, 运用模糊分类技术处理输入的连续数据。根据所建立的动态贝叶斯网络模型及相应的推理算法得到目标识别、目标意图、目标毁伤能力、目标威胁程度的变化趋势。仿真结果表明该方法科学、有效, 其计算结果符合客观实际。

**关键词:** 动态贝叶斯; 防空作战; 威胁评估

**中图分类号:** TJ85 **文献标志码:** A

## Threat Assessment on Ship Air Defense Based on Dynamic Bayesian Network

Bian Hongfei<sup>1</sup>, Yang Genyuan<sup>2</sup>(1. *Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China;*  
2. *Naval Information Expert Committee, Beijing 100073, China*)

**Abstract:** In order to solve reasoning problem of threat assessment with incomplete data and uncertain conditions in air defense, target threat evaluation model of dynamic Bayesian network is put to use. Influence factor of threat assessment for air defense of ship formation is analyzed in detail. Corresponding state transition matrix is constructed according to domain knowledge of military experts. Reasoning process of dynamic Bayesian network is analyzed. Continuous input data is dealt with by applying fuzzy classification technique. Target recognition, target intention, target damage ability and change trend of target threat degree is obtained based on established dynamic Bayesian network model and corresponding reasoning algorithm. The simulation results show that the method is scientific, effective and the calculation results accord with objective reality.

**Keywords:** dynamic Bayesian; air defense; threat assessment

### 0 引言

目标的威胁程度是指空袭兵力、兵器对我编队舰艇进行侵袭成功的可能性以及侵袭成功可能造成的破坏程度的数量表示。编队对空袭目标威胁判断的基本目的是对来袭目标进行威胁程度排序, 为火力分配和舰艇机动指挥决策提供依据。对空袭目标威胁评估的准确性与及时性对火力分配及防空作战整体效能将产生较大的影响, 因而威胁评估在编队防空作战中具有重要的地位。

由于在编队防空作战过程中, 空袭目标的信息很难完全获得, 因此仅凭观测到的战场态势信息进行目标威胁估计是不够的; 此外, 由于空中目标具有高机动性以及敌方干扰的影响, 使得防空作战信息同时也具有高度的不确定性, 因而海上防空作战的威胁估计应能对不完备、不确定信息进行推理。目前常用的威胁估计方法主要有层次分析法、模糊集方法、粗糙集方法、神经网络、云模型理论方法、灰色关联度分析、多属性决策或多种方法的合成等,

尽管这些方法有一定的针对性, 但都不能很好地解决在数据不完备性及不确定性条件下进行威胁评估的推理问题。贝叶斯网络 (Bayesian Network) 作为一种概率网络模型, 能够运用概率论表达威胁评估过程中的不确定知识, 并且由于知识之间的推理是运用可视化的网络方法来表达, 因而能够很好地结合防空作战的历史数据及专家经验应对不完备的知识。笔者采用动态贝叶斯网络建立海上防空作战空中目标威胁评估模型, 能够有效解决威胁评估中的关键问题。

### 1 贝叶斯网络概述

#### 1.1 贝叶斯网络

贝叶斯网络是一种带有概率注释的有向无环图 (directed acyclic graph, DAG)。考虑一个随机变量集合  $U = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , 每个变量  $X_i$  具有有限个状态。一个贝叶斯网络可以由二元组  $S = (G, P)$  来表达。其中, 第 1 部分  $G$  是一个有向无环图, 图中用节点

收稿日期: 2015-01-16; 修回日期: 2015-03-13

作者简介: 卞泓斐(1982—), 男, 山东人, 博士, 从事海军兵种信息作战研究。

表示随机变量  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ，代表了海上防空作战中的事件；有向边表示事件之间的条件依赖关系。它蕴含了下面的条件独立假设：给定其父节点集，每一个变量独立于它的非子孙节点。第 2 部分  $P$  是网络参数，是网络中条件概率的集合，网络中的每一个节点  $X_i$  都有一个条件概率表，用来表示其与父节点  $Pa(X_i)$  的相互关系，条件概率的大小表征了事件之间关系的强弱。

图 1 是一个经典的贝叶斯网络的示意图。

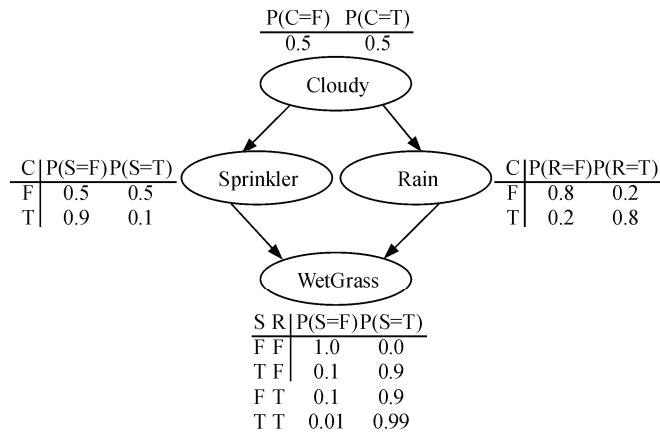


图 1 贝叶斯网示意图

图 1 中节点  $C, S, R, W$  表示不同的事件， $P(S/C)$ ， $P(R/C)$ ， $P(W/S, R)$  分别表示事件  $C$  发生的条件下事件  $S$  发生的条件概率、事件  $C$  发生的条件下事件  $R$  发生的条件概率、事件  $S, R$  发生的条件下事件  $W$  发生的条件概率。表明了事件  $C, S, R, W$  之间关系的强弱。

### 1.2 动态贝叶斯网络

动态贝叶斯网络是将静态贝叶斯网络与时间信息相结合，加入前后时间片的状态转移概率，从而使模型能够考虑前一时间片对其后续事件的影响，提高了模型的鲁棒性。加入了时间变量的动态贝叶斯网络更加复杂，为了能够对其进行建模研究，笔者考虑做必要的假设与简化处理。

1) 假设动态概率过程满足马尔科夫 (Markovian) 性，即满足：

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

也就是说  $t+1$  时刻的状态概率只与  $t$  时刻相关，而与其他时刻无关。

2) 假设在有限时间范围内，相邻时间的条件概率是平稳的，即  $P(X[t+1] | X[t])$  对于任意时刻  $t$  都是相同的，也就是说  $P(X[t+1] | X[t])$  为一独立于时间的常量。

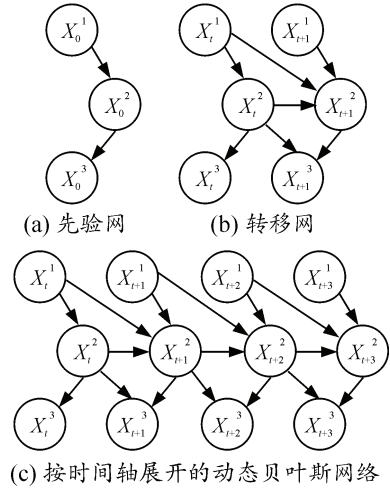


图 2 动态贝叶斯网模型示意图

基于上述假设，建立在随机过程时间轨迹上的联合概率分布的动态贝叶斯网络由 2 部分构成：

1) 先验网  $B_0$ ，如图 2(a) 所示，即初始状态的概率分布；

2) 转移网  $B_t$ ，如图 2(b) 所示，即定义在变量  $X[t]$  与  $X[t+1]$  上的转移概率。

由此，对于一个给定的动态贝叶斯模型，在  $X[0], X[1], \dots, X[t]$  上的联合概率分布为

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

### 1.3 动态贝叶斯网络推理机制

动态贝叶斯网络推理的依据是贝叶斯公式及其条件独立假设，即

$$p(x/y) = \frac{p(xy)}{p(y)} = \frac{p(xy)}{\sum_x p(xy)}$$

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n p(x_i / pa(x_i))$$

式中： $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  表示网络中的节点集合； $p(x_1, x_2, \dots, x_n)$  表示网络中所有节点的联合分布； $pa(x_i)$  是节点  $x_i$  的父节点的集合。

对于一个含有  $n$  个隐藏节点和  $m$  个观测节点的贝叶斯网络，结合贝叶斯公式及条件独立假设，可得其推理算法为

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n / y_1, y_2, \dots, y_m) = \frac{\prod_j p(y_j / pa(y_j)) \prod_i p(x_i / pa(x_i))}{\sum_{x_1, x_2, \dots, x_n} \prod_j p(y_j / pa(y_j)) \prod_i p(x_i / pa(x_i))}$$

( $j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n$ )

式中  $pa(x_i)$ ， $pa(y_j)$  分别表示  $x_i$ ， $y_j$  的父节点的集合，

下标  $i, j$  表示各自的节点数。

以上静态贝叶斯网络的推理公式可以扩展到含

$$p(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}, \dots, x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{Tn} / y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}, \dots, y_{T1}, y_{T2}, \dots, y_{Tm}) = \frac{\prod_{k,j} p(y_{kj} / pa(y_{kj})) \prod_{k,i} p(x_{ki} / pa(x_{ki}))}{\sum_{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}, \dots, x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{Tn}} \prod_{k,j} p(y_{kj} / pa(y_{kj})) \prod_{k,i} p(x_{ki} / pa(x_{ki}))} \quad (k = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n)$$

式中  $x_{ki}, y_{kj}$  的第 1 个下标都表示第  $k$  个时间片, 第 2 个下标分别表示该时间片下的第  $i$  个隐藏节点和第  $j$  个观测节点,  $pa(x_{ki}), pa(y_{kj})$  分别表示  $x_{ki}, y_{kj}$  父节点的集合。

$$p(x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}, \dots, x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{Tn} / y_{110}, y_{120}, \dots, y_{1m0}, \dots, y_{T10}, y_{T20}, \dots, y_{Tm0}) = \sum_{y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1m}, \dots, y_{T1}, y_{T2}, \dots, y_{Tm}} \frac{\prod_{k,j} p(y_{kj} = y_{kjo} / pa(y_{kj})) \prod_{k,i} p(x_{ki} / pa(x_{ki}))}{\sum_{x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}, \dots, x_{T1}, x_{T2}, \dots, x_{Tn}} \prod_{k,j} p(y_{kj} = y_{kjo} / pa(y_{kj})) \prod_{k,i} p(x_{ki} / pa(x_{ki}))} \times \prod_{k,j} p(y_{kj} = y_{kjo}) \quad (k = 1, 2, \dots, T; j = 1, 2, \dots, m; i = 1, 2, \dots, n)$$

式中  $p(y_{kj} = y_{kjo})$  表示第  $k$  个时间片里第  $j$  个观测节点  $y_{kj}$  处于状态  $o$  的概率。

## 2 基于贝叶斯网络的战场威胁估计

### 2.1 贝叶斯网络进行威胁评估的步骤分析

运用贝叶斯网络进行海上防空作战威胁评估时, 首先需要确定影响威胁估计的要素以及要素的状态, 即贝叶斯网络中的事件节点及其对应的状态, 并按照各事件之间的因果关系建立节点间的有向弧, 这些有向弧表示事件之间的层次关系; 然后确定贝叶斯网络参数, 即网络模型中各节点的先验概率或条件概率; 最后选择合适的推理算法进行推理。其具体步骤如图 3 所示。

### 2.2 确定网络模型

海上防空作战中, 影响空中目标威胁程度的因素是多样的, 根据目标威胁估计的准则, 结合海上防空作战的实际, 得到影响目标威胁估计的因素主要包括攻击企图、毁伤能力、飞行高度、航路捷径、目标航向角、距离、目标身份、目标类型、飞行加速度、对海雷达状态、飞行速度、对空雷达状态和雷达反射截面积。根据是否能被我方直接探测到, 可把因素细分为原子事件和复合事件。复合事件就是运用事件之间的因果或时间关系将低层次的、孤立的原子事件聚合为高层次的、更为直观反应目标对编队的攻击企图和威胁程度。贝叶斯网络模型也就是从原子出发, 逐层推理, 最终得到代表目标威胁程度的复合事件的过程。

$T$  个时间片的动态贝叶斯网络。当观测值只有一种组合状态时, 在此观测值下隐藏变量的分布为

但在动态贝叶斯网络中, 一般情况下观测值的组合都不是唯一的, 应根据概率原理对其进行加权, 由此得到动态贝叶斯网络的推理算法为

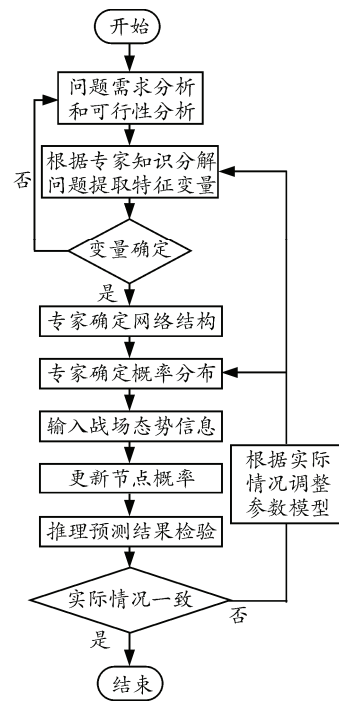


图 3 贝叶斯网威胁评估的步骤

根据以上特征因素, 利用专家经验的先验知识可构建静态贝叶斯网络模型, 然后将静态贝叶斯网络按时间序列展开可构建动态贝叶斯网络模型, 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。按照上述方法建立的动态贝叶斯网络威胁评估模型见图 4。

为了体现复合事件和原子事件的层次关系, 图 4 中用圆形节点表示复合事件, 用矩形节点表示原子事件。

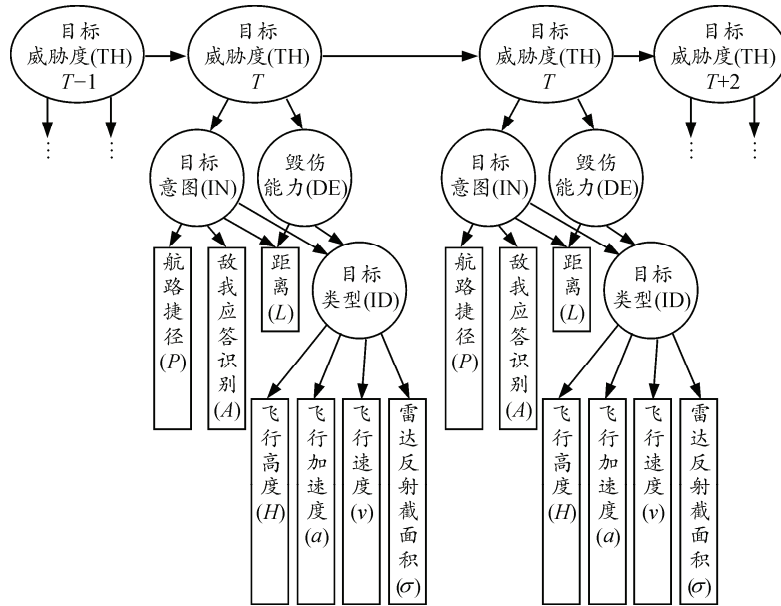


图 4 目标威胁度动态贝叶斯网络结构

图 4 中模型各变量的状态集合为：

目标威胁度 (TH)={高威胁度 (H)；中威胁度 (M)；低威胁度 (L)}；目标意图 (IN)={攻击目标 (A)；侦察监视 (S)；辅助进攻 (P)；商业运输 (C)}；毁伤能力 (DE)={毁伤能力强 (S)；毁伤能力中 (M)；毁伤能力弱 (W)}；飞行高度 (H)={高空 (H)；中空 (M)；低空 (L)；超低空 (S)}；航路捷径 (P)={范围内 (I)；边缘 (B)；范围外 (O)}；距离 (L)={远距 (F)；中距 (M)；近距 (N)}；敌我应答识别 (A)={有应答 (Y)；无应答 (N)}；目标类型 (ID)={导弹 (M)；轰炸机、歼轰机、歼击机 (B)；预警机、侦察机 (S)；加油机、干扰机 (J)；运输机、民用飞机 (C)}；飞行加速度 (a)={一般 (G)；中等 (M)；明显 (O)}；飞行速度 (v)={低速 (L)；中速 (M)；高速 (H)；超高速 (S)}；雷达反射截面积 (σ)={小 (S)；中 (M)；大 (B)}。

### 2.3 模型参数的设定

威胁评估贝叶斯网络中条件概率矩阵反映的是军事专家的经验知识，体现了现实问题中关联变量之间因果关系。如速度较快的一般是反舰导弹或歼击机；雷达辐射截面积较小的一般是隐身飞机或导弹。依据专家经验知识得图 4 中贝叶斯网络的条件概率表如表 1~表 5 所示。

表 1 动态贝叶斯网络状态转移概率

$(T+1)/T$	H	M	L
H	0.70	0.15	0.15
M	0.35	0.40	0.25
L	0.15	0.35	0.50

表 2 威胁度评估条件概率

TH	IN				DE		
	[A	S	P	C]	[S	M	W]
H	0.85	0.1	0.05	0	0.85	0.15	0
M	0.4	0.3	0.3	0	0.3	0.4	0.3
L	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.5

表 3 目标意图评估条件概率

IN	P		
	[I	B	O]
A	0.8	0.15	0.05
S	0.4	0.3	0.3
P	0.2	0.2	0.6
C	0.1	0.1	0.8

表 4 目标意图及毁伤能力联合条件概率

IN	DE	A		L			ID				
		[Y	N]	[F	M	N]	[M	B	S	J	C]
A	S	0.02	0.98	0.2	0.3	0.5	0.55	0.25	0.1	0.1	0
A	M	0.05	0.95	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.1	0.2	0
A	W	0.1	0.9	0.7	0.2	0.1	0.15	0.25	0.25	0.25	0.1
S	S	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
S	M	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
S	W	0.2	0.8	0.65	0.25	0.1	0	0.2	0.55	0.25	0
P	S	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
P	M	0.1	0.9	0.5	0.3	0.2	0	0.15	0.35	0.6	0
P	W	0.2	0.8	0.65	0.25	0.1	0	0.2	0.3	0.5	0
C	S	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
C	M	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
C	W	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

表 5 目标类型评估条件概率

ID	H				a		
	[H	M	L	S]	[G	M	O]
M	0	0.1	0.4	0.5	0.2	0.3	0.5
B	0.25	0.3	0.35	0.1	0.3	0.5	0.2
S	0.5	0.3	0.15	0.05	0.8	0.2	0
J	0.5	0.3	0.15	0.05	0.8	0.2	0
C	0.6	0.25	0.1	0.05	0.9	0.1	0

ID	v				σ		
	[L	M	H	S]	[S	M	B]
M	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	0.2	0.1
B	0.2	0.3	0.4	0.1	0.5	0.3	0.2
S	0.4	0.4	0.2	0	0.2	0.4	0.4
J	0.3	0.5	0.2	0	0.2	0.4	0.4
C	0.4	0.5	0.1	0	0.1	0.2	0.7

需要指出的是：条件概率矩阵由军事专家凭经验知识给出，难免会掺杂主观因素，我们可以对样本数据反复调试，对条件概率矩阵中的数据适度调整，以提高数据的准确性，提升评估结果的可信度。

### 3 实例分析

想定在某时刻，发现有 4 个不明目标向我方舰艇编队飞来，我方雷达对其进行连续跟踪，记录 8 个时刻的观测数据，现选定具有代表性的目标 1 进行分析。

对于一级融合传来的目标数据，从图 4 贝叶斯网络所包含的威胁估计因素可以看出，部分因素的数据是离散的，如敌我应答识别；大部分因素的数据都是连续的，如速度、高度和加速度等。而由 2.2 节可知每个因素的状态都是离散的，因此应将数值连续的数据进行模糊离散化，模糊离散化的结果方便作为贝叶斯网络的输入。例如航路捷径  $P$  的取值状态为  $P = \{in, border, out\}$ ，对航路捷径的模糊子集采用三角形隶属度函数，如图 5 所示，图中  $x$  轴表示航路捷径。

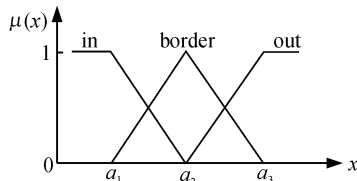


图 5 威胁因素模糊子集

定义航路捷径  $P$  的隶属度函数如下：

$$\mu_{(in)}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} & a_1 < x \leq a_2 \\ 0 & x > a_2 \end{cases}$$

$$\mu_{(border)}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_2 - b \\ \frac{x - a_2 + b}{b} & a_2 - b < x \leq a_2 \\ \frac{a_2 + b - x}{b} & a_2 < x \leq a_2 + b \\ 0 & x > a_2 + b \end{cases}$$

$$\mu_{(out)}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a_2 \\ \frac{x - a_2}{a_3 - a_2} & a_2 < x \leq a_3 \\ 1 & x > a_3 \end{cases}$$

对于不同的参数和取值范围，式中的参数

$a_1, a_2, a_3$  和  $b$  应该选取不同的取值。例如对于航路捷径  $P$ ，可以选取  $a_1=10$  km,  $a_2=35$  km,  $a_3=60$  km,  $b=25$  km。对于距离  $L$ ，可以选取  $a_1=100$  km,  $a_2=200$  km,  $a_3=300$  km,  $b=100$  km。模糊离散化后的 8 个时刻数据如表 6。

表 6 不同时刻证据信息的模糊概率

$T$	$H$	$P$	$A$	$L$
1	(0,0.403,0.597,0)	(0,0.425,0.575)	(0,1)	(0.786,0.214,0)
2	(0,0.321,0.679,0)	(0,0.209,0.791)	(0,1)	(0.635,0.365,0)
3	(0,0.193,0.817,0)	(0,0.009,0.901,0)	(0,1)	(0.412,0.588,0)
4	(0,0.0.765,0.235)	(0.276,0.724,0)	(0,1)	(0.232,0.768,0)
5	(0,0.0.610,0.390)	(0.595,0.405,0)	(0,1)	(0.812,0.188)
6	(0,0.0.438,0.562)	(0.736,0.264,0)	(0,1)	(0.621,0.379)
7	(0,0.0.325,0.675)	(0.798,0.202,0)	(0,1)	(0.309,0.691)
8	(0,0.0.296,0.704)	(0.804,0.196,0)	(0,1)	(0.0.103,0.897)

$T$	$a$	$v$	$\sigma$
1	(0.406,0.594,0)	(0,0,0.683,0.317)	(0.632,0.368,0)
2	(0.252,0.748,0)	(0,0,0.683,0.317)	(0.709,0.291,0)
3	(0.252,0.748,0)	(0,0,0.421,0.679)	(0.782,0.218,0)
4	(0.198,0.802,0)	(0,0,0.421,0.679)	(0.698,0.302,0)
5	(0.198,0.802,0)	(0,0,0.421,0.679)	(0.814,0.186,0)
6	(0.198,0.802,0)	(0,0,0.365,0.635)	(0.715,0.285,0)
7	(0,0.365,0.635)	(0,0,0.252,0.748)	(0.783,0.217,0)
8	(0,0.391,0.609)	(0,0,0.202,0.798)	(0.801,0.199,0)

根据图 4 的目标威胁评估动态贝叶斯网络结构模型以及相应的概率转移矩阵，采用动态贝叶斯网络推理机制，进行舰艇编队防空作战的目标威胁评估。设定初始时刻无证据输入时目标威胁处于高、中、低的概率分别为 0.3, 0.4, 0.3，证据输入后，便可触发贝叶斯网络的推理过程， $T_8$  时刻的推理结果以及各时刻的目标识别结果变化趋势、目标意图变化趋势、目标毁伤能力变化趋势、目标威胁度变化趋势如图 6~图 10 所示。

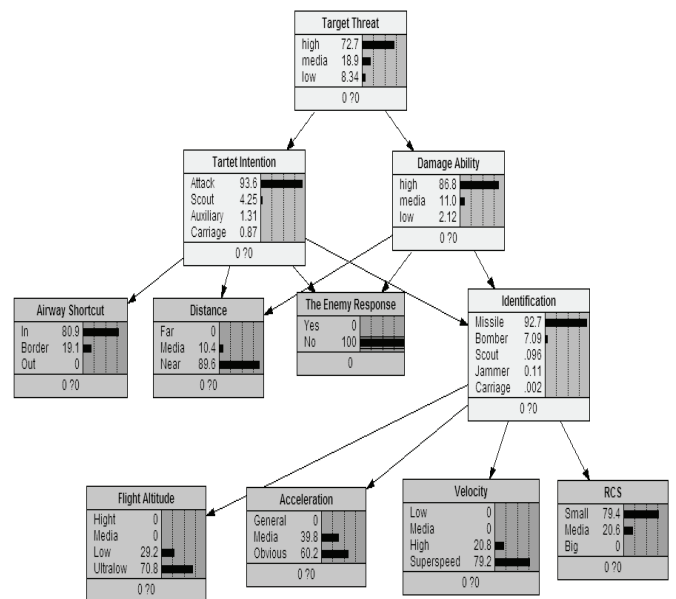


图 6 贝叶斯网络  $T_8$  时刻的推理结果



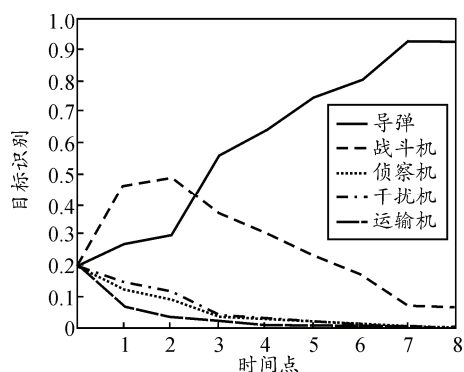


图7 目标识别结果变化趋势

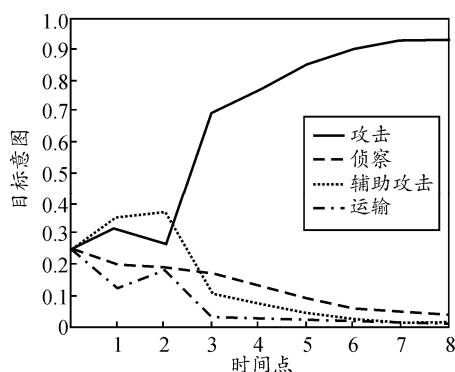


图8 目标意图变化趋势

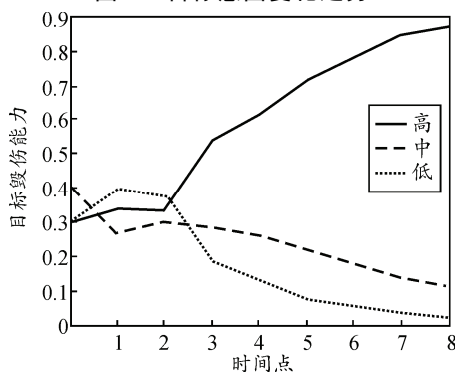


图9 目标毁伤能力变化趋势

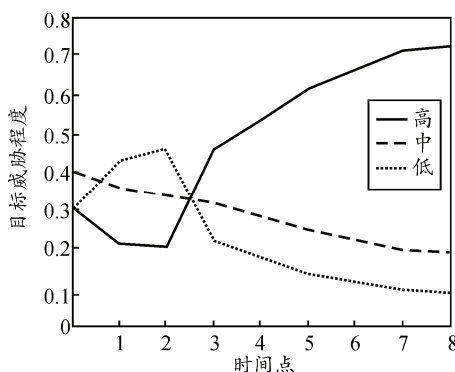


图10 目标威胁程度变化趋势

从仿真结果可以清楚地看出：目标的身份、意图、毁伤能力及威胁程度变化的过程，在初始时刻，由于缺乏必要的证据，各项待评估因素的各属性值都较为接近，随着证据的输入及时间的推移，经过

动态贝叶斯网络的综合，目标身份判断为“导弹”的概率、目标意图判断为“进攻”的概率、目标毁伤能力判断为“高”的概率以及目标威胁程度判断为“高”的概率均逐渐增大，可以清楚地判明目标的身份及威胁程度。仿真结果符合实际情况，说明动态贝叶斯网络用于目标识别及威胁评估是可行的。基于动态贝叶斯网络的仿真结果，可以进行空中目标威胁排序，为防空作战指挥人员提供必要的参考依据。

#### 4 结束语

笔者研究了运用动态贝叶斯网络进行防空作战威胁评估的方法，详细分析了影响舰艇编队防空作战威胁评估的因素，构建了动态贝叶斯网络模型，并根据军事专家的领域知识构建了相应的状态转移矩阵，分析了动态贝叶斯网络的推理过程，然后运用模糊分类技术处理输入的连续数据，最后根据所建立的动态贝叶斯网络模型及相应的推理算法得到结果。仿真结果表明该方法计算结果符合客观实际，证实了该方法科学、有效。需要说明的是：该方法中贝叶斯网络状态转移矩阵的确定是依据军事专家的领域知识，这难免会带有主观因素。如何能够更加合理、科学地确定模型中的概率转移矩阵，提高概率转移矩阵的客观性、可信性将是笔者在下一步工作中需要研究和解决的关键问题。

#### 参考文献：

- [1] 肖秦琨, 高嵩, 高晓光. 动态贝叶斯网络推理学习理论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 11-90.
- [2] 李京, 杨根源. Netica 的信息作战目标预排序清单分析[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(10): 169-172.
- [3] 丁达理, 罗建军, 王铀, 等. 基于模糊贝叶斯网的威胁等级评估研究[J]. 电光与控制, 2014, 21(9): 7-10.
- [4] 邸若海, 高晓光. 模糊离散动态贝叶斯网络的目标威胁等级评估[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(4): 14-17.
- [5] 吴天佑, 张安, 李亮. 基于离散模糊动态贝叶斯网络的空战威胁估计[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(10): 56-59.
- [6] 税薇, 葛艳, 韩玉. 基于贝叶斯网络的火力威胁等级评估算法[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(15): 4625-4631.
- [7] 孟光磊, 龚光红. 基于混合贝叶斯网的空域目标威胁评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(11): 2398-2401.
- [8] 刘振, 彭军, 胡云安. 一种新型动态贝叶斯网络及其在威胁评估中的应用[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(2): 16-20.
- [9] 赵建军, 王毅, 杨利斌, 等. 基于动态贝叶斯网络的防空作战威胁估计[J]. 计算机技术与发展, 2012, 12(11): 138-140.