

基于贝叶斯网络的 TBM 拦截效果评估*

胡晓伟,胡国平,王宇晨

(空军工程大学导弹学院,陕西三原 713800)

摘要:反导过程中,为解决用于 TBM 拦截效果评估的信息存在不完整、不准确的问题,提高评估的准确性、时效性,首先分析了影响 TBM 拦截效果评估的因素,提出了基于贝叶斯网络的 TBM 拦截效果评估方法,构建了基于贝叶斯网络 TBM 拦截效果评估模型,之后通过实例仿真分析,验证了模型在 TBM 拦截效果评估中的有效性和可行性。

关键词:贝叶斯网络;反导系统;TBM 拦截;效果评估

中图分类号:TJ761.7 **文献标志码:**A

TBM Intercepting Effect Assessment Based on Bayesian Networks

HU Xiaowei, HU Guoping, WANG Yuchen

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Shaanxi Sanyuan 713800, China)

Abstract: In anti-TBM system, in order to solve the problem on TBM intercepting effect assessment based on insufficient and inaccurate message, and to improve assessment accuracy and timeliness, the factors affecting TBM intercepting effect assessment were analyzed firstly, and application of Bayesian networks to the assessment system was put forward, the TBM intercepting effect assessment model was built based on Bayesian networks, then the model was verified to have good validity and feasibility by stimulation and analysis on specific example.

Keywords: Bayesian networks; anti-TBM system; TBM interception; effect assessment

0 引言

在弹道导弹防御中, TBM 拦截效果评估是一个十分重要环节。及时的、准确的评估结果可以为指挥人员准确判明战场态势、及时进行二次拦截决策提供重要依据。目前国内外关于 TBM 拦截效果评估的研究多是在假设获取了多种 TBM 毁伤信息,而忽略了战场上获取的信息多是不完整或不准确的。贝叶斯网络是近几十年来人工智能领域中最重要研究成果之一,它能够根据不确定或不完整的观测信息对所研究的问题做出相对准确的推理^[2],同时它还具有数据挖掘能力可以从复杂的战场环境中采集不完整的信息。文中将研究基于贝叶斯网络的 TBM 拦截效果评估。

1 TBM 拦截效果评估影响因素分析

1.1 TBM 拦截效果评估方法分析

目前已有一些关于 TBM 拦截效果评估方法的研究。可采用提取 KKV 与 TBM 撞击前下传图像信息

和地面雷达跟踪目标轨迹变化信息的方法进行 TBM 毁伤效果评估^[1]。将 ISAR 成像技术应用于飞机目标的打击效果评估中^[3],对 TBM 目标的打击效果评估也有一定的指导作用。

综合现有打击效果评估方法,结合 TBM 目标拦截效果评估问题的具体特点,文中将综合运用红外成像、ISAR 成像和机动目标跟踪三种方法进行反导系统拦截效果评估的研究。

1.2 影响 TBM 拦截效果评估的因素

在 TBM 拦截效果评估过程中,除选取的评估方法外,影响评估的因素主要还有两大类。

一种是 TBM 拦截效果评估系统的性能。评估系统性能的好坏,既取决于系统中各分系统的目标获取能力,同时还取决于评估系统作为一个整体协同各分系统、融合各种信息的能力。

另一种影响评估结果的因素是 TBM 目标的特性。在 TBM 拦截效果评估中,目标的特性主要反映在目标反拦截能力上。包括 TBM 机动能力、隐身能力、自卫式干扰能力、多弹头能力、弹体结构设计等方

* 收稿日期:2012-01-10

作者简介:胡晓伟(1987-),男,河北邢台人,硕士研究生,研究方向:反导拦截效果评估。

面。TBM 这些自身的特性会对拦截效果评估产生重要的影响,反拦截能力强弱直接关系到评估结果的好坏。

2 基于贝叶斯网络 TBM 拦截效果评估模型

2.1 贝叶斯网络模型构建原理^[5]

贝叶斯网络理论将先验知识与样本信息相结合、依赖关系与概率表示相结合,是数据挖掘和不确定知识表示的理想模型。贝叶斯网由代表变量的结点以及连接这些结点的有向弧线和每个变量结点的条件概率表组成。假设有随机变量 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, 则贝叶斯网中的每个结点与 A 中的随机变量一一对应。网络中的每个节点表征实际中的一个具体情况。结点间的有向弧线代表了不同情况间的相互关系。如果从 A_j 到 A_i 存在有向弧线,则称 A_j 为 A_i 的父结点,用 $P(A_i | A_j)$ 表示关联强度。任一节点变量只与它的父节点变量有关,而与其他节点条件独立。贝叶斯网络中另一个组成部分是变量节点的条件概率表,如果一个结点 A_i 没有父结点,则表中只包含先验概率 $P(A_i)$;如果结点 A_i 只有一个父结点 A_j ,则表中包含条件概率 $P(A_i | A_j)$;如果结点 A_i 有多个父结点(将所有父节点的集合表示为 $P_a(A_i)$),则表中包含条件概率 $P(A_i | P_a(A_i))$ 。 A 的联合概率分布可表示为:

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i | P_a(A_i)) \quad (1)$$

2.2 基于贝叶斯网络的 TBM 拦截效果评估模型

由 2.1 中讨论可知,构建一个应用于 TBM 拦截效果评估的贝叶斯网络,需要进行三方面工作,一是确定与拦截效果评估有关的节点变量;二是确定模型中各个节点变量之间的相互关系;三是确定每个节点的条件概率表。下面一一进行分析。

1) 与拦截效果评估有关的节点变量即影响评估结果的因素,在 TBM 拦截效果评估影响因素分析一节中已经进行了详细讨论,主要包括评估系统性能、TBM 特性、采用的三种评估方法以及 TBM 最终拦截效果。前面在分析各种因素的影响时都是定性的描述,现在由于建模需要,要把各个因素进行等级量化,以确定贝叶斯网络中各个节点变量的状态。具体量化情况如下。

A:评估系统性能。根据评估系统对 TBM 拦截效果评估所能提供的支持程度,将评估系统性能变量分

为 3 个状态:优(A_1)、中(A_2)、差(A_3)。

B:TBM 特性。根据 TBM 目标反拦截能力强弱,将 TBM 目标特性变量分为 3 个状态:强(B_1)、中(B_2)、弱(B_3)。

C:红外图像信息。采用红外成像方法进行 TBM 拦截效果评估时,不同图像信息反映不同拦截效果,所以根据图像的不同将红外图像信息变量分为 3 种状态:命中致命部位(C_1)、命中一般部位(C_2)、脱靶(C_3)。

D:ISAR 图像信息。采用 ISAR 成像方法进行 TBM 拦截效果评估时,拦截前后图像对比差异程度反映拦截效果的差异,根据图像对比程度不同,将 ISAR 图像信息变量分为 3 种状态:对比强烈(D_1)、对比中等(D_2)、对比较弱(D_3);。

E:机动目标跟踪信息。采用机动目标跟踪进行 TBM 拦截效果评估时,目标运动轨迹参数变化程度反映拦截效果的好坏,所以依据运动参数变化程度,将机动目标跟踪信息变量分为 3 种状态:剧烈变化(E_1)、弱变化(E_2)、无变化(E_3)。

F:TBM 拦截效果。根据 TBM 拦截效果的好坏,将 TBM 拦截效果变量分为 3 种状态:成功拦截(F_1)、任务拦截(F_2)、失败拦截(F_3)。

2) 确定贝叶斯网络中各节点间的相互关系,就是通过节点与节点间的有向弧线建立起一个条件独立的有向无环图。通过以上分析可以看出,在贝叶斯网络的各个评估节点中,直接影响最终的 TBM 拦截效果的节点有红外图像信息节点、ISAR 图像信息节点和机动目标跟踪信息节点,而这三个节点相互之间可认为是条件独立的。评估系统性能节点和 TBM 特性节点对以上 3 个节点都有直接影响,对最终的拦截效果具有间接的作用,所以在此也可看作是条件独立的。

3) 贝叶斯网络中条件概率表征各个节点对其父节点的依赖程度。在效果评估系统模型中,任一节点的条件概率表都不会是固定不变的,各节点对其父节点的依赖程度随战场实际情况变化而变化;对没有父节点的节点,其先验概率也往往因拦截系统的临战状况和对敌前期情报的不同而不同。通常,各个节点的条件概率表由领域内专家依据实际情况和专家经验进行确定。

通过以上步骤便可建立起基于贝叶斯网络的 TBM 拦截效果评估模型,如图 1 所示。

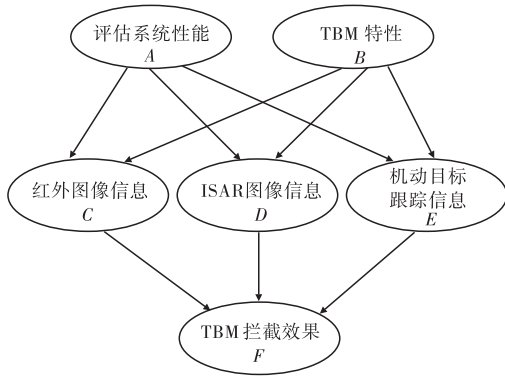


图1 TBM拦截效果评估贝叶斯网络模型

3 实例分析

本节将模拟具体作战情况,通过实例的仿真计算,分析TBM拦截效果评估贝叶斯网络模型的实际性能。

a) 贝叶斯网络模型处理不完整信息实例

假设在进行拦截作战前,战场信息严重不足,各个传感器的拦截效果信息还未获取,敌我双方情报信息也没有准确得到,此时以往的评估方法都已无法使用。

采用基于贝叶斯网络的评估方法,各节点变量的概率分布可由专家通过经验确定。表1~表6给出了一组各节点的概率分布。

表1 评估系统性能节点先验概率表(%)

A		
A ₁	A ₂	A ₃
80	15	5

表2 TBM特性节点先验概率表(%)

B		
B ₁	B ₂	B ₃
40	32	28

表3 红外图像信息节点条件概率表(%)

	A ₁			A ₂			A ₃		
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃
C ₁	10	30	80	11	28	75	8	25	70
C ₂	40	50	15	37	49	14	30	47	16
C ₃	50	20	5	52	23	11	62	28	14

表4 ISAR图像信息节点条件概率表(%)

	A ₁			A ₂			A ₃		
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃
D ₁	5	10	30	3	9	25	2	8	26
D ₂	10	41	50	9	40	54	7	32	49
D ₃	85	49	20	88	51	21	91	60	25

表5 机动目标跟踪信息节点条件概率表(%)

	A ₁			A ₂			A ₃		
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃	B ₁	B ₂	B ₃
E ₁	6	15	25	4	10	20	2	7	25
E ₂	15	40	55	10	45	50	10	30	44
E ₃	79	45	20	86	45	30	88	63	31

表6 TBM拦截效果节点条件概率表(%)

	C ₁								
	D ₁			D ₂			D ₃		
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃
F ₁	99	80	50	75	39	15	80	12	6
F ₂	0.8	15	30	16	55	51	13	55	15
F ₃	0.2	5	20	9	6	34	7	33	79

	C ₂								
	D ₁			D ₂			D ₃		
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃
F ₁	90	50	27	49	8	6	34	3	3
F ₂	9	45	40	44	90	48	29	45	16
F ₃	1	5	33	7	2	46	37	52	81

	C ₃								
	D ₁			D ₂			D ₃		
	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃	E ₁	E ₂	E ₃
F ₁	82	32	4	32	5	2	2	1	0.1
F ₂	10	40	12	35	49	20	19	16	0.9
F ₃	8	28	84	33	46	78	79	83	99

根据各节点间相互依赖关系可以计算出最终的拦截效果,由于篇幅原因,具体计算过程这里不再给出。该条件下计算出的TBM拦截效果的概率分布为:

$$P(F) = (16.53\% \quad 30.82\% \quad 52.65\%)$$

从结果可以看出,失败拦截(F₃)概率较大,成功拦截(F₁)的概率较小。

由此可以得出结论:虽然进行评估的信息严重不足,但通过文中建立的贝叶斯网络评估模型仍可计算出所需的拦截效果,且具有一定的参考价值。

b) 贝叶斯网络模型信息更新实例

1) 假设在战前通过侦查情报已获取了敌方TBM特性(B)状态为:弱(B₃)。则a)例中,仅表2更新为表7,其他状态不变。

表7 TBM特性节点先验概率表(%)

B		
B ₁	B ₂	B ₃
0	0	100

此时可计算出拦截效果概率分布为:

$$P(F) = (44.17\% \quad 36.70\% \quad 19.13\%)$$

从结果可以看出,较a)例中的拦截效果,失败拦截(F₃)概率有所降低,而成功拦截(F₁)概率提高。

2) 在1)例基础上,假设作战过程中,由战场传感器探测到机动目标跟踪信息(E)状态为:剧烈变化(E₁)。则1)例中,表5将更新为表8,其他状态不变。

此时可计算出拦截效果概率分布为:

$$P(F) = (76.54\% \quad 14.78\% \quad 8.68\%)$$

以上结果与1)例中结果对比可以看出,实时评估信息的获取大大提高了拦截效果中成功拦截(F₁)

的概率,降低了失败拦截(F_3)的概率。

表 8 机动目标跟踪信息节点条件概率表(%)

	A_1			A_2			A_3		
	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3
E_1	100	100	100	100	100	100	100	100	100
E_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

通过 1)、2)两个实例可得出:贝叶斯网络评估模型具有较强的数据挖掘能力,可以根据实时获取的战场信息动态更新拦截效果,从而提高了评估结果的有效性和实时性。

c) 贝叶斯网络模型处理不准确信息实例

在 b)中 2)例基础上,假设由于种种原因导致战场传感器探测的信息有误,ISAR 图像信息(D)本该显示状态:对比强烈(D_1),结果显示的状态却是:对比较弱(D_3),相应条件概率表 4 更新为表 9。

表 9 ISAR 图像信息节点条件概率表(%)

	A_1			A_2			A_3		
	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3	B_1	B_2	B_3
D_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D_3	100	100	100	100	100	100	100	100	100

其他状态不变。此时计算结果为:

$$P(F) = (68.19\% \quad 15.77\% \quad 16.04\%)$$

虽然与 b)中 2)结果相比,成功拦截(F_1)的概率有所下降,但总体上看成功拦截的概率仍远大于失败拦截的概率,所以计算结果仍可较好的反映真实拦截效果。

由以上分析可知,贝叶斯网络模型具有良好的处理不准确、甚至错误信息的能力,通过融合多种评估信息,可以减小错误信息的影响,得到相对准确的拦截效果,从而提高了评估结果的可靠性。

4 小结

为进行基于贝叶斯网络的 TBM 拦截效果评估研究,首先分析了影响评估的因素有评估系统性能、TBM 特性和三种评估信息,进而构建了基于贝叶斯网络 TBM 拦截效果评估模型。仿真实例验证了该评估模型可以解决以往评估方法难以处理不完整、不准确信息的问题。文中的研究为将贝叶斯网络这一理论更好的应用于 TBM 拦截效果评估领域进行了初步尝试。

参考文献:

[1] 王森,杨建军,孙鹏. 反导作战指控系统对 TBM 毁伤效果评估[J]. 指挥控制与仿真,2011,33(2):14-17.

[2] 王凤山,张宏军. 基于贝叶斯网络的军事工程毁伤评估模型研究[J]. 计算机工程与应用,2011,47(12):242-248.

[3] 翁弘,任毅,孙进平. 一种基于 ISAR 的目标打击效果评估方法[J]. 遥测遥控,2008,29(3):54-59.

[4] 李正东,雍松林,彭文. 空中目标毁伤评判问题的探讨[J]. 系统工程与电子技术,2002,24(8):24-27.

[5] 许梅生,王瀛. 基于贝叶斯网络的目标功能毁伤评估[J]. 四川兵工学报,2011,32(5):134-137.

(上接第 166 页)

的高精度参数,利用相位差变化率信息的定位方法可在降低参数测量要求的同时提高定位跟踪精度,而基于平方根 UKF 的滤波方法则保证了跟踪算法的稳定性,有利于基于空频域信息的定位方法在机载无源定位中的应用。文中假设目标作匀速直线运动进行仿真,但在实际空战中目标可能机动飞行,如何提高对机动目标的跟踪精度和稳定性还需要深入研究。

参考文献:

[1] 王起飞. 机载单站无源定位技术及其在远程空空导弹中的应用前景[J]. 航空兵器,2003,39(2):39-42.

[2] 曲长文,徐征,苏峰. 利用空频域信息的固定单站无源跟

踪算法[J]. 电光与控制,2010,17(11):13-16.

[3] 刘学,焦淑红. 基于新的数值积分粒子滤波的机载无源定位算法[J]. 宇航学报,2011,32(7):1478-1485.

[4] 周峰,焦淑红. 基于平方根 UKF 的机载单站无源定位算法[J]. 应用科技,2010,37(11):40-44.

[5] 郁春来. 利用空频域信息的单站无源定位与跟踪关键技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2008.

[6] 李望西,黄长强,王勇,等. 一种利用相位差变化率的机载单站无源单位方法[J]. 电讯技术,2012,52(1):13-17.

[7] 姜勤波,杨利锋,马红光. 机载单站多目标无源定位算法[J]. 系统工程与电子技术,2006,28(7):946-948.