

基于贝叶斯网络的UUV威胁评估^{*}

洪卫,李长军,李卓

(海军潜艇学院 战术教研室,山东 青岛 266071)

摘要:对UUV执行战术任务的威胁评估进行了分析,构建了UUV执行战术任务的威胁等级评估贝叶斯网络框架,并针对UUV执行某种特定战术任务的简化情形进行了实例仿真计算。

关键词:水下无人作战平台;贝叶斯网络;威胁评估

中图分类号: T0; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)03-0089-03

水下无人作战平台(unmanned undersea vehicle, UUV)主要以潜艇作为搭载平台,可携带不同传感器执行多种作战任务^[1]。为使UUV可靠高效的完成作战任务,必须对海战场条件下的UUV威胁进行评估,依据评估结果对其作战行动生成科学决策。常用的威胁评估方法主要有:多属性决策方法、神经网络方法和专家系统方法等。其中,多属性决策方法简便灵活,便于工程实践,缺点是对数据的缺失比较敏感;神经网络方法具有很好的自学习能力,但需要通过训练数据来获取知识,同时训练样本的获取也较为困难;专家系统方法通过对专家的知识进行建模形成知识库,缺点是不能自动更新知识,对于全局性知识的处理也具有局限性。贝叶斯网络方法适用于不确定性和概率性对象,将其用于量化描述威胁评估,具有明显优点:能够反映威胁评估的连续性和累积性;贝叶斯推理可以有效的将先验信息和后验数据统一起来,评估结果在时间上具有连续性和记忆性。本文中构建了海战场环境下UUV执行战术任务的威胁等级评估贝叶斯网络框架,并基于贝叶斯网络推理对UUV执行特定战术任务的简化情形进行了仿真计算。

1 UUV威胁评估分析

UUV威胁评估是指UUV在执行战术任务的过程中,通过感知动态作战环境及潜在作战威胁,形成对威胁等级的主观看法。UUV威胁评估涉及的因素众多,其中起主要作用的因素有:战术任务,参考美海军发布的《海军无人驾驶水下运载工具总体规划》,UUV明确执行的几项基本任务包括水上和水下的情报搜集、监视与侦察,水雷侦察和摧毁,战术海洋学信息收集,反潜作战等;探测敏感性,是指UUV可探测信号水平,包括雷达特征、红外特征、光学特征、水声特征和电磁信号特征等;对抗能力,指UUV自身性能,如发现能力(包括自身侦察器材的敏感性、分辨

率和作用范围等)、机动能力、对抗能力等;威胁源类型,UUV威胁源的分布十分复杂,包括来自空中、水面和水下的各种威胁;海战场环境,海战场环境对UUV的作战活动有重大影响,如战场水声环境对UUV探测和识别概率有重要影响,战场水深、海底类型和温度、盐度、密度等水文条件同样是影响UUV执行战术任务的重要因素;突发威胁,UUV执行战术任务过程中由不可预知的不确定因素引起的不确定威胁。

2 基于贝叶斯网络的UUV威胁评估

2.1 贝叶斯网络及推理

贝叶斯网络是由节点和有向线段组成的有向非循环图,是一种特殊的因果推理网。网络中每一个节点代表一个随机变量,其概率分布表明该变量处于其状态集合中每个状态的概率值,网络中有向线段代表两节点之间的依赖关系,可由条件概率矩阵定量描述^[2]。贝叶斯网络推理是在给定网络模型和已知条件的情况下,利用条件概率计算出感兴趣节点的发生概率,推理模式主要有因果推理和诊断推理。本文中仅对简单树状贝叶斯网络模型的推理算法进行说明,以图1所示的简单树状贝叶斯网络模型为例。

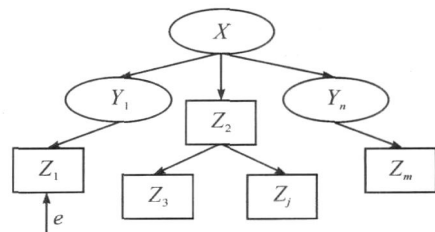


图1 简单树状贝叶斯网络模型

图1中,圆形结点代表某种态势,表示主观认识,方形

* 收稿日期:2008-11-03

作者简介:洪卫(1967—),男,湖北荆州人,正团职教员,主要从事潜艇战术、潜艇作战与训练研究。

节点代表事件,表示客观事实,即证据. 节点之间有向弧的连接关系分为3类:态势-态势、态势-事件、事件-事件,其间的关联程度用条件概率矩阵来描述^[3]. 该树状贝叶斯网络模型可利用单连通图的特点进行推理^[4]. 假定网络接收到证据 e , 其非证据节点 Y 的后验分布 $P(Y|E)$ 称为该节点的置信度 $Bel(Y)$, 根据贝叶斯网络推理的特点^[5]:

$$Bel(Y_i) = \frac{1}{\sum_j (Y_j)} (Y_i) (Y_j) \quad (1)$$

其中: $\frac{1}{\sum_j (Y_j)}$ 为归一化因子; (Y_j) 为从子节点获得的融合信息.

$$(Y_j) = \sum_j (Y_i) (Y_j) \quad (2)$$

其中: $\sum_j (Y_i) (Y_j)$ 为节点 Y_i 的第 j 个子节点传递的信息; (Y_i) 为从父节点和兄弟节点获得的融合信息.

$$(Y_i) = \sum_j P(Y_i | X_j) \sum_j (X_j) \quad (3)$$

其中: $P(Y_i | X_j)$ 为节点变量 Y_i 在父节点集 X 下的条件概率.

$$\sum_j (X_j) = \sum_m (X_j) \sum_m (A_j) \quad (4)$$

其中: $\frac{1}{\sum_m (X_j)}$ 为归一化因子; m 为 Y 的兄弟节点; $\sum_m (X_j)$ 为节点 Y_i 的父节点 X 传递的融合信息.

这样, 贝叶斯网络的推理机制可描述为: 对于网络内部的任一节点, 当输入证据时, 其置信度发生改变, 并向该节点的相邻节点传播; 相邻节点重新计算自身的置信度, 然后将结果向自己的相邻节点传播, 如此继续下去直到证据的影响传遍所有的节点. 任一节点在内部运算时都只是使用自身的条件概率表和相邻节点传递来的信息, 所

有节点的后验概率与先验概率相等时, 运算终止, 网络达到新的平衡状态.

2.2 UUV 威胁等级评估的贝叶斯网络模型框架

UUV 威胁评估是一个典型的诊断推理过程, 即将态势看作推理的结果, 事件看作原因, 而从传感器和其它军事单元获得的信息则看作是检测到的证据. 利用贝叶斯网络进行 UUV 威胁评估, 首先必须解决网络的构建问题. 网络的构建围绕着战场事件展开, 主要可分为3个步骤: 确定节点变量; 建立网络模型; 对节点进行概率分配.

贝叶斯网络中不同的节点对应不同的事件, 事件以态势事件为核心, 包括全局态势事件、子态势事件、具体的作战行动事件. 确定了节点内容之后, 需要确定节点之间的因果关系. 不但不同层次之间的事件具有因果关系, 同一层次之间的事件也可能存在因果关系. 网络模型的建立就是通过有向边将存在因果关系的节点变量连接起来, 节点内容和节点之间的因果关系构成了贝叶斯网络的结构. 贝叶斯网络中所有节点都需要给定条件概率, 其中概率分配包括两部分内容: 对没有父节点的顶层事件指定先验概率, 对有父节点的事件指定条件概率. 条件概率可以通过样本学习和专家估计获得. 因此, 贝叶斯网络在建成的同时, 包含了领域专家的知识, 存在一定的主观性. 上面3个步骤可以交叉进行, 经反复修正完成网络的构建. 据上述分析, 建立图2所示的 UUV 威胁等级评估的贝叶斯网络模型.

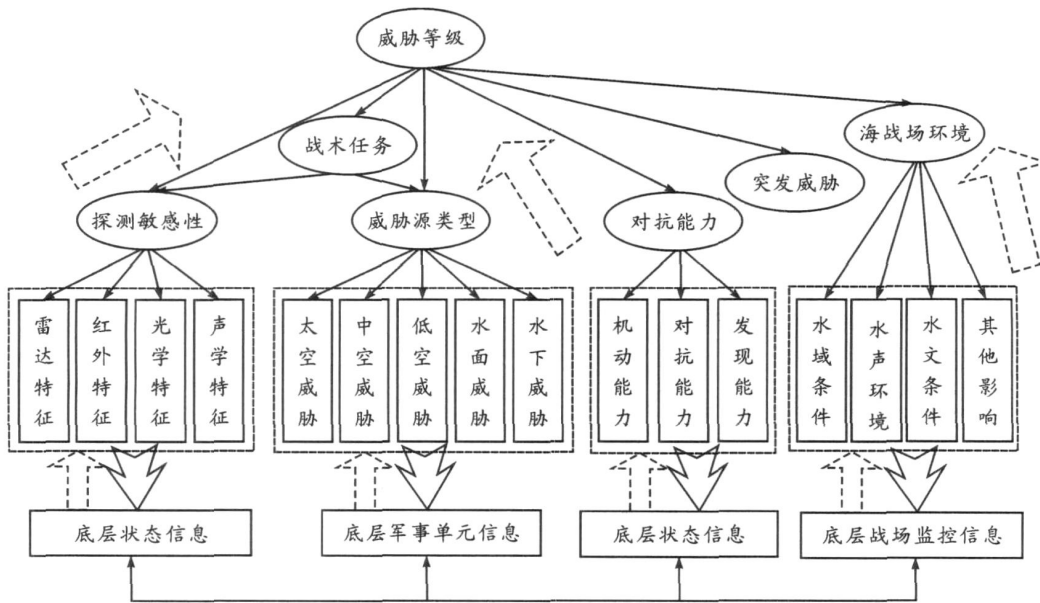


图2 UUV 威胁等级评估贝叶斯网络模型

图2中, 高层圆节点表示威胁等级评估的全局态势, 中间圆节点表示影响全局态势的各子态势, 对各子态势的分析识别可为全局态势的理解提供证据. 下方的方形节点表示影响 UUV 威胁等级评估的战场事件, 对事件的了解来自底层具体军事单元的状态信息和对战场监控所得的数据. 连接各节点之间的有向弧表示节点间的因果关系, 其强度用

条件概率表来描述. 图2中, 有向弧旁边的虚线箭头表示证据传播的信息流, 根据建立的评估模型, 通过自底向上的推理, 逐级达到对战场环境、发生事件和子态势的识别, 进而获得对 UUV 威胁等级的掌握, 从而可为决策提供依据.

2.3 应用示例

由上述分析, 利用贝叶斯网络进行 UUV 威胁评估的研

究,需要建立复杂的贝叶斯网络结构,而且UUV威胁评估问题存在着众多的制约和限制.限于篇幅,文中仅对UUV执行某种特定战术任务的简化情形进行实例仿真计算.考虑UUV在某一特定海域执行水下侦察监视任务,自身探测敏感性和对抗能力稳定,且海战场环境变化有限(不考虑对UUV执行战术任务的动态影响).执行任务海域敌方威胁源类型通过预先侦察已知,在此条件下,UUV威胁等级评估的贝叶斯网络模型如图3.

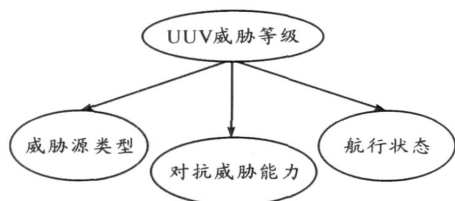


图3 简化的UUV威胁等级评估贝叶斯网络模型

图3中,UUV威胁等级(Threat Level)表示UUV执行任务所受到的威胁程度,该节点变量的状态集合可分为 $TL = \{高,中,低\}$.威胁源类型(Threat Identification)可由己方侦察情报得到,状态集合为 $ID = \{舰载直升机,水面作战舰艇,$

潜艇,固定式水下侦察系统\}.UUV对抗威胁能力(ability to counter)是UUV本身所具有的或者通过对抗行动体现出来的削弱敌方威胁的能力,包括探测敏感性和自身性能,其状态集合可简要分为3类: $ATC = \{好,中,差\}$.UUV航行状态具体可包括航深、航向、航速,在战场自然环境和执行任务类型确定的情况下,航行状态(navigation state)主要取决于威胁源的位置和性能,考虑UUV威胁等级评估的需求,主要关注UUV相对威胁源有效威胁区域的位置和方位关系,因而其变量集合简化为 $NS = \{位于范围内,位于范围边缘,位于范围外,只存在方位关系\}$.(注:变量具体分类情况可由相关的数学运算得出)

根据军事专家推理,得到表1的条件概率矩阵.(文中涉及的数据均为演示性目的,不具真实性)

假定评估前未取得任何先验信息,设定网络节点各种状态出现概率相同(见表2).初始化完毕,网络进入等待状态.当某一事件发生,网络则被触发进入推理过程,传播新插入的证据,更新整个网络节点状态的概率分布,完成对UUV威胁等级的一次评估.若有传感器以一定概率检测到关于威胁的新的信息,同时UUV对抗威胁能力和UUV航行状态分别发生变化,则根据网络推理,在先验概率假定的条件下,进行推理计算.表2为仿真部分结果.

表1 条件概率矩阵

矩阵 威胁	$P(ID TL)$ [直升机 舰艇 潜艇 水下侦察系统]				$P(ATC TL)$ [好 中 差]			$P(NS TL)$ [内 边缘 外 方位]			
	中 低	0.50	0.15	0.25	0.10	0.15	0.25	0.60	0.75	0.15	0.10
	0.25	0.20	0.45	0.10	0.30	0.50	0.20	0.45	0.35	0.15	0.10
	0.10	0.30	0.15	0.45	0.60	0.25	0.15	0	0.10	0.35	0.55

表2 UUV威胁等级评估的部分仿真结果

初始化	$(ID) = (1, 1, 1, 1)$, $(ATC) = (1, 1, 1)$, $(NS) = (1, 1, 1, 1)$	$Bel(TL) = (1, 1, 1)$
输入证据1	$(ID) = (0.6, 0.2, 0.1, 0.1)$, $(ATC) = (0.3, 0.2, 0.5)$, $(NS) = (0.5, 0.3, 0.1, 0.1)$	$Bel(TL) = (0.66, 0.21, 0.07)$
输入证据2	$(ID) = (0.15, 0.15, 0.3, 0.4)$, $(ATC) = (0.3, 0.4, 0.3)$, $(NS) = (0.15, 0.15, 0.4, 0.3)$	$Bel(TL) = (0.58, 0.27, 0.15)$
输入证据3	$(ID) = (0.1, 0.1, 0.2, 0.6)$, $(ATC) = (0.6, 0.3, 0.1)$, $(NS) = (0.1, 0.1, 0.2, 0.6)$	$Bel(TL) = (0.15, 0.22, 0.63)$

由仿真结果可知,新证据的加入不断影响UUV的威胁等级.随着威胁源的变化、UUV航行状态的变化以及相关变化对UUV对抗能力的影响,UUV的威胁程度不断降低,有利于UUV进行合理的战术决策.由推理过程可知,在先验信息由军事专家合理确定的条件下,贝叶斯推理可以将先验信息和样本数据统一起来,通过样本信息使先验信息得以改善.理论上,在样本充分的条件下,即使任意估计先验信息,多次使用贝叶斯定理后也可以得到接近实际的结果.

3 结束语

贝叶斯网络高效的推理算法非常适合解决不确定军事知识的估计问题,在UUV威胁评估问题上会有广泛的应用.文中涉及的UUV威胁评估的贝叶斯网络模型还存在许多不足.首先,在模型的构建问题上,如何构建基于“网络中心战”条件下的UUV威胁评估模型将是(下转第102页)

```

{
    .....
}
foreach (XmlNode xxxx in doc. ChildNodes) // 再遍历
Document 对象的所有节点
{
    .....
}
MessageBox. Show ( 文件生成成功! , Text , Message-
BoxButtons. OK,
    MessageBoxIcon. Information) ; // 显示文件生成成功! 对
话框
}
catch (Exception ex)
{
    MessageBox. Show( 生成失败:  + ex. Message ,Text ,Mes-
sageBoxButtons. OK,
    MessageBoxIcon. Information) ; // 显示生成失败对话框
}

```

通过以上步骤,生成的 Word 文档的界面,如图 3 所示.

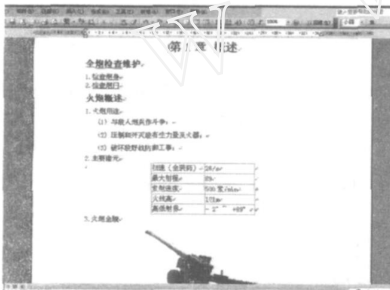


图 3 显示生成的 Word 界面

4 结束语

多文档生成单文档在线性 IETM 中的应用研究符合我国国情和产品用户习惯,系统用 XML 组织数据^[4],采用通用资源数据库管理数据,提高了数据的共享性和复用性.省去采用传统方法编写装备技术手册这一环节,节省了大量的人力物力资源,缩短装备电子技术手册研制时间,用户获得更及时、更准确、更廉价的电子技术手册^[5],对提高装备保障能力和加快部队战斗力的形成步伐有重要意义.

参考文献:

- [1] 左伟明. XML 数据标记语言参考手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [2] 杜晓明,王丹,常雷. 集成化的交互式电子技术手册技术研究[J]. 装备指挥技术学院学报,2006,17(3):77-80.
- [3] 李宗亮. 基于 S1000D 标准的 IETM 系统技术研究[D]. 广州:广州工业大学,2006.
- [4] 欧阳寰,陈钧,谢振华,等. XML 文档化的交互式电子技术手册设计[J]. 航空计算技术,2006,36(1):52-55.
- [5] 高万春,朱兴东,宋建华,等. S1000D 下 IETM 的研究与实践[J]. 微计算机信息,2007,23(6-3):1-3.

(上接第 91 页)未来研究的重点;其次,文中涉及的贝叶斯网络是基于“静态假设”的条件下进行分析的,未来将引入时间滞后和信息延迟的概念,基于动态条件下对 UUV 威胁评估的贝叶斯网络进行研究.

参考文献:

- [1] Dunn. Navy unmanned undersea vehicle (UUV) master plan [C]//Unmanned Underwater Vehicle Showcase 2000 Conference Proceedings. [S. l.]:[s. n.],2000.

- [2] 厉海涛,金光,周经伦,等. 贝叶斯网络推理算法综述[J]. 系统工程与电子技术,2008,5:935-939.
- [3] 李伟生,王宝树. 基于贝叶斯网络的态势评估[J]. 系统工程与电子技术,2003,25(4):480-483.
- [4] Pearl J. Fusion, Propagation, and structuring in belief networks[J]. Artificial Intelligence,1986,29(3):241-288.
- [5] Guo H P, Hsu W. A survey of algorithms for real-time bayesian network inference available[EB/OL]. [2008-11-01]. <http://www.cs.usask.ca/grads/jiz194/References/RTDS2002-GH01.pdf>.