

基于贝叶斯网络的声呐系统战场损伤评估及修复模型

孙开艳 刘旺锁 王平波

海军工程大学 电子工程学院, 湖北 武汉 430033

摘要: 为了解决战场环境下的声呐系统损伤评估及修复(SSBDAR)问题, 本文研究了战场损伤评估及修复模型。针对舰艇声呐系统战场损伤评估的因果推理特性, 建立了基于贝叶斯网络的战场损伤评估模型, 提出了基于贝叶斯网络的评估流程, 给出了基于贝叶斯网络的评估决断算法。该模型利用贝叶斯网络对各评估修复节点进行分析, 能够解决损伤信息不确定性, 而且充分利用舰艇声呐系统各节点的损伤信息, 提高了模型评估及修复效率, 是解决舰艇声呐系统战场损伤评估及修复问题的一个有效途径。

关键词: 舰艇声呐系统; 战场损伤; 评估及修复; 贝叶斯网络

中图分类号: E92

文献标志码: A

文章编号: 1673-3185(2009)03-62-04

The Model for Damage Assessment and Repair of the Sonar System in Battlefield Based on Bayesian Networks

Sun Kai-yan Liu Wang-suo Wang Ping-bo

College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China

Abstract: This paper proposes a model in order to solve the problem of Sonar System Battlefield Damage Assessment and Repair (SSBDAR) in battlefields. According to causal reasoning of sonar system for warships, a battlefield damage evaluation model is developed based on Bayesian networks and the related evaluation procedure is put forward, as well as the related algorithm for decision-making is presented. With this model, each repair site is evaluated and the uncertainty of damage information is determined. This can make the process of evaluation and repair more efficient, and can be an effective way to handle such problems in the sonar system of warships.

Key words: warship sonar system; battlefield damage; assessment and repair; Bayesian networks

1 引言

装备大量高科技设备的舰艇, 其作战环境特殊, 在没有评估及修复专家的特殊情况下如何实施战场损伤修复成为一个难题。目前, 国内多所院校开展了有关战场损伤评估及修复(Battlefield Damage Assessment and Repair)的研究与应用, 由于缺乏实际战场的数据、装备结构功能的日益复杂和战争模式的改变增大了装备 BDAR 的难度, 使 BDAR 实效性不高。对于由复杂电子与机械混合装备组成的舰艇声呐系统遭遇战场损伤后, 舰艇需组织迅速判定损伤情况、确定抢修任务、决断抢修顺序和预测保障资源等一系列技术活动, 如

何实施高效、快速、准确的评估和损伤修复是整个损伤评估过程的重要环节^[1-7]。

采用适当的人工智能技术来进行智能损伤定位研究, 是提高损伤评估准确性和效率的重要途径^[8]。采用基于贝叶斯网络的图模型来建立声呐系统战场损伤评估及修复模型(Sonar System BDAR), 可以充分利用有关装备的损伤信息, 提高定位速度, 更加高效地组织系统的评估与修复, 本文建立了基于贝叶斯网络的舰艇 SSBDAR 模型。

2 舰艇声呐系统组成情况

现代电子装备发展迅速, 为了在技术上达到要求, 系统均设计得复杂而庞大。舰艇声呐系统也

收稿日期: 2009-01-14

作者简介: 孙开艳(1981-), 男, 硕士研究生。研究方向: 水声装备及其作战效能研究。E-mail: sky_cisco@sina.com

刘旺锁(1965-), 男, 副教授, 硕士生导师。研究方向: 水声装备

王平波(1976-), 男, 博士研究生。研究方向: 水声信号处理

是由多个相干设备组成的(如图1),而各个设备又由若干部件、组件及元器件构成,且安装、运行环境和操作程序均有不同要求,任一元器件、组件、部件乃至分机遭遇战场损伤,都会导致相应战斗功能的变化或缺失,从而影响声呐系统整体战斗性能。在稍纵即逝的战场上,快速、有效地评估声呐系统装备受损情况并做出决断显得尤为重要。

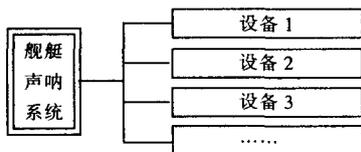


图1 舰艇声呐系统组成示意图

3 基于贝叶斯网络的声呐系统战场损伤评估及修复模型

3.1 贝叶斯网络分析原理

贝叶斯网络是一个带有概率注释的有向无环图,从定性的角度分析,贝叶斯网络中的有向弧表示直接因果关系,并且因果关系对应了条件独立的断言^[9-12]。因此,贝叶斯网络能够表达和解释那些相关关系无法表示和处理的模式。从定量的角度,贝叶斯网络是概率信息的载体,是联合概率分布的图形表示方式,并且是可以计算的概率模型。通过这种网络,可以综合各种来源的数据,并对这些数据进行综合的推理。

给定一个联合概率分布 $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 以及变量的一个排序 d , 将 X_1 作为根节点开始,并赋予 X_1 以先验概率分布 $P(X_1)$ 。然后用一结点表示 X_2 , 如果 X_2 与 X_1 有关, 从 X_1 到 X_2 建立一联结, 并用 $P(X_2|X_1)$ 表示联结强度; 如果 X_2 与 X_1 无关, 则赋予 X_2 以先验概率分布 $P(X_2)$ 。在第 i 级从 X_i 的父结点集合为 $\prod X_i [\prod X_i \subseteq \{X_1, X_2, \dots, X_{i-1}\}]$, 画一组方向线联结到 X_i , 并用 $P(X_i | \prod X_i)$ 条件概率定量表示, 结果可以得到一个有向非循环图, 可用于表示 $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 中所体现的许多独立关系, 该图就称作贝叶斯网络。

反过来, $P(X_i | \prod X_i)$ 包含有重构原始分布函数所必需的所有信息, 在排序 d 下, 有如下关系:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = P(X_n | X_{n-1}, X_{n-2}, \dots, X_1) \cdot P(X_{n-1} | X_{n-2}, \dots, X_1) \cdot P(X_{n-2} | X_{n-3}, \dots, X_1) \cdot \dots \cdot P(X_2 | X_1) \cdot P(X_1)$$

$$= \prod_{i=1}^n P(X_i | \prod X_i)$$

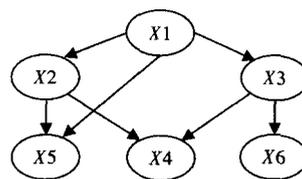


图2 典型的贝叶斯网络

图2是一个典型的贝叶斯网络, 它的联合分布函数为:

$$P(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6) = \prod_{i=1}^n P(X_i | X_{i-1}) = P(X_6 | X_3) \cdot P(X_5 | X_2, X_1) \cdot P(X_4 | X_3, X_2) \cdot P(X_3 | X_1) \cdot P(X_2 | X_1) \cdot P(X_1)$$

贝叶斯网络在表示领域内一般知识的同时可以作为—种计算策略对这些知识进行推理。

3.2 声呐系统战场损伤模型

基于贝叶斯网络的模型战场损伤模型的建造其实就是专家系统中的知识获取问题, 而知识获取问题正好是损伤系统的瓶颈之一, 对于贝叶斯网络也是如此。特别是在SSBDAR中, 贝叶斯网络的建立既要考虑装备正常工作时各个功能模块之间的信息流程, 又要分析其遭受损伤后的牵连关系。当然这两个方面也是相互关联的, 但可以非常肯定的是其中的工作量很大, 另外模型的建立也需要一个反复迭代的过程, 本节简要阐述针对舰艇声呐系统建立的贝叶斯网络模型。

建立贝叶斯网络包括两个部分的内容, 一个是网络结构的建立, 这是一个定性建模的过程; 一个是网络参数(条件概率表)的确定, 这属于定量建模部分。根据装备特点建立基于贝叶斯网络的SSBDAR模型的步骤如下:

1) 确定网络中的节点(变量), SSBDAR的贝叶斯网络中主要有以下3类节点:

- 损伤源、损伤模式节点: 此类节点是装备损伤的原因, 不同的威胁机理(即损伤源)及损伤模式会对装备造成不同类型、程度的损伤。
- 损伤节点: 它可能是装备完成当前任务的某个系统、组合、分组合或关键器件, 也可能是经过抽象处理后的某种电路类型。
- 交互节点: 它主要包括检查操作节点和询问—回答节点, 这类节点的作用是与评估人员进行交互, 确定当前的某种状态。

2) 确定节点间的因果关系: 考虑事件的直接影响、间接影响及多种事件间的相互影响来确定相互关系。

