

doi: 10.7690/bgzdh.2019.10.018

基于贝叶斯网络的战时装备维修保障效能评估

谷亚辉, 程中华

(陆军工程大学石家庄校区装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

摘要: 从战时装备维修保障效能定义入手, 深入剖析装备维修保障效能和装备维修保障能力的区别, 以贝叶斯网络理论为基础, 结合装备维修领域专家经验知识, 建立以装备指挥效能、供应保障效能、装备维修效能等为主要评估指标的战时装备维修保障效能评估模型。依托 Netica 软件实现战时装备维修保障效能评估贝叶斯网络构建, 采用梯度下降法进行网络参数学习, 并结合实际案例证明模型的可行性。

关键词: 装备维修; 装备保障; 效能评估; 贝叶斯网络; 战时装备维修

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Effectiveness Evaluation of Wartime Equipment Maintenance Support Based on Bayesian Network

Gu Yahui, Cheng Zhonghua

(Department of Equipment Command & Management, Shijiazhuang Campus of Army Engineering University, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Starting with the definition of wartime equipment maintenance support effectiveness, deeply analyses the difference between equipment maintenance support effectiveness and equipment maintenance support capability. Based on Bayesian network theory and experts experience knowledge in the field of equipment maintenance, an evaluation model of wartime equipment maintenance and support effectiveness is established, which takes equipment command efficiency, equipment maintenance efficiency, and supply efficiency as main evaluation indicators. Based on Netica software, the Bayesian network for evaluating the effectiveness of wartime equipment maintenance support is constructed. The gradient descent method is used to learn network parameters. Finally, the feasibility of the model is proved by a practical case.

Keywords: equipment maintenance; equipment support; effectiveness evaluation; Bayesian network; wartime equipment

0 引言

战时装备维修保障系统是一个复杂系统, 其评估问题是一个多属性问题, 受战场环境、作战对象、保障部署和作战指挥等诸多因素影响^[1]。当前对维修保障系统的评估研究大多是能力评估, 而针对战时效能的评估研究还不多, 从实际作战出发, 指挥人员更关注于战时装备维修保障效能高低, 从而对作战方案进行决策。由于在装备维修保障效能评估中, 维修保障任务完成概率是效能高低的重要考量因素; 因此, 采用贝叶斯网络理论能够客观评估战时装备维修保障效能, 为选择和优化维修保障策略提供重要依据。

1 贝叶斯网络概述

贝叶斯网络 (Bayesian network, BN) 以概率论和贝叶斯理论为基础, 融合图论相关知识, 兼具数学上的严谨性和表达上的直观性, 建立基于图形的

概率推理方法, 是解决不确定性问题的重要工具。

贝叶斯网络是以图形模式描述变量或节点间的概率关系并进行推理的模型, 可表示为

$$B = \langle G, \theta \rangle. \quad (1)$$

1) $G = \langle V, A \rangle$ 表示一个有向无环图, V 是网络中各节点的集合 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, A 表示节点间有向边的集合。贝叶斯网络中的有向边表示 2 个节点间有直接的概率依赖关系, 依赖程度取决于条件平概率。

2) 参数 θ 是与每一个变量相联系的条件概率分布, 用条件概率表来表示, 其中 $P(V_i | P_a(V_i))$ 表示节点 V_i 与其父节点 $P_a(V_i)$ 间的条件概率。

有了节点、节点网络结构和节点间的条件概率分布, 贝叶斯网络就可以计算出网络中所有节点的联合概率, 并可以根据先验概率和某些节点的取值计算其他节点取值的概率。由概率论的链式规则可得节点 $V_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的联合概率为:

收稿日期: 2019-05-22; 修回日期: 2019-06-28

作者简介: 谷亚辉(1987—), 男, 河北人, 硕士, 从事装备保障理论及应用研究。E-mail: guyahui2008@163.com。

$$P(V_1, V_2, \dots, V_n) = \prod_{i=1}^n P(V_i | B(V_i)) \quad (2)$$

Netica 软件是一款专门用于解决贝叶斯网络问题的专用软件，具有丰富而强大的功能，能够以直观的图形界面进行贝叶斯网络结构创建，可以运用多种方法进行网络结构和网络参数学习；因此，笔者采用 Netica 软件进行贝叶斯网络模型构建与仿真。

2 战时装备维修保障效能评估贝叶斯网络

2.1 评估模型的拓扑结构

战时装备维修保障效能是指在预定或规定的作战使用环境以及所考虑的组织、战略、战术、生存能力和威胁等条件下，装备维修保障系统完成规定任务的能力(其中规定任务主要指装备抢救、抢修、后送以及器材供应等)，或者说装备维修保障系统被用来执行特定维修保障任务所能达到预期目标的有效程度^[3]。战时装备维修保障效能是维修保障系统在战场条件下完成作战进程所赋予维修保障任务的能力，而战时装备维修保障能力是指装备维修保障系统在战场条件下将损坏的装备修复到规定状态的本领；因此，在战时装备维修保障效能评估中，首先评估装备维修保障任务的完成概率，并对装备维修保障系统发挥作用，乃至对整个作战进程造成的影响进行评估。

作战条件下，装备维修力量根据上级命令进行力量编组，通过伴随或定点保障模式对损坏装备进行修理，同时由于装备维修是一种消耗性行为，必须及时补充所需备件才能顺利完成任务；因此，供应保障也是装备维修当中的重要环节。在分析战时装备维修保障系统运行的基础上，咨询装备维修保障领域专家后，得到影响战时装备维修保障效能的主要因素有：

装备指挥效能：包括指挥决策效能、指挥作业效能、信息保障效能。

装备维修效能：包括技术保障效能、装备抢救效能、装备抢修效能。

供应保障效能：包括器材准备效能、野战收发效能、野战供应效能。

战时装备维修保障效能及其影响指标均采取 3 级评定制，由高、中、低 3 级组成，且所发挥效能依次递减。如图 1 所示，指挥决策效能等 9 类指标通过采集数据，对比评估标准得出效能高低。

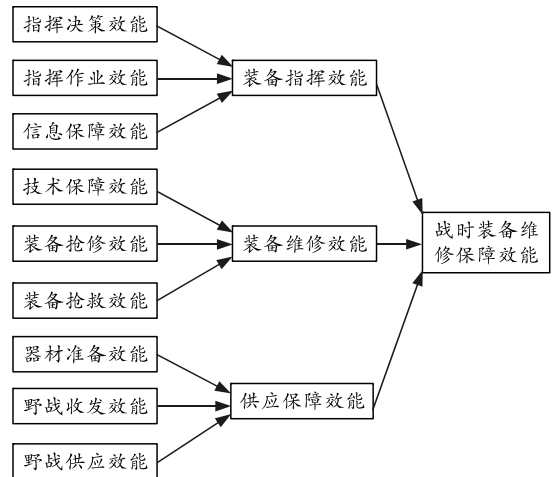


图 1 战时装备维修保障效能评估网络拓扑结构

2.2 评估模型的网络参数

贝叶斯网络参数可以对先验数据或者实验数据进行统计分析，利用机器学习方法予以确定，也可以邀请相关领域专家进行概率估计。当数据不完备或者数据存在错误项时，数据学习的难度较大，而专家估计会使网络参数受到很强的主观因素影响，从而造成与客观实际的偏差。笔者采用两者结合的方式，以历史数据为基础，结合专家修正。

由装备维修保障领域专家对以往实战化演练评估数据进行更正，剔除错误数据，补充缺失数据，得到样本数据集。如表 1 所示，列出一级指标样本数据集，包括装备指挥效能、装备维修效能、供应保障效能等不同类型的 13 个样本数据。

表 1 贝叶斯网络参数学习样本数据

序	装备指挥效能	装备维修效能	供应保障效能	战时装备维修保障效能
1	高	高	高	高
2	高	高	中	高
3	高	中	高	中
4	高	中	中	中
5	高	中	低	中
6	高	低	中	低
7	中	高	中	中
8	中	中	高	中
9	中	中	中	中
10	中	低	中	低
11	中	低	低	低
12	低	中	中	中
13	低	中	高	中

使用 Netica 软件，建立战时装备维修保障效能评估贝叶斯网络结构，并利用梯度下降法对以上样本数据集进行学习，得出各个节点的概率分布如图 2 所示。

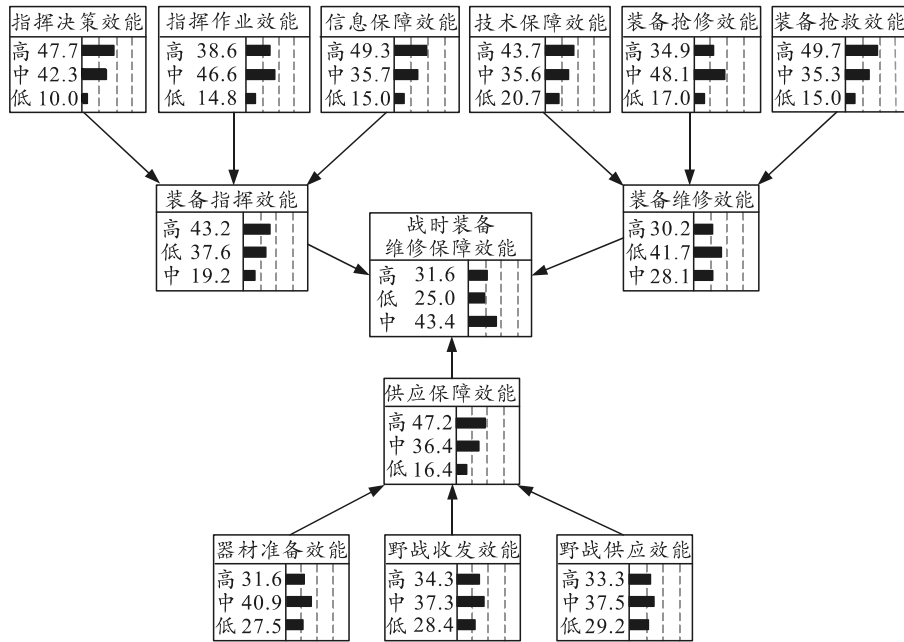


图 2 贝叶斯网络结构

3 战时装备维修保障效能评估模型实例论证

以战时装备维修保障效能评估模型中的一级指标为例进行测试评估，以陆军某合成旅实战化演练采集数据为测试样本，对照评估标准进行专家评估后，得出装备指挥效能、装备维修效能、供应保障效能等级，并将此作为测试样本数据如表 2 所示。

表 2 战时装备维修保障效能评估测试样本

指标类别	装备指挥效能	装备维修效能	供应保障效能
评估等级	中	高	高

将样本数据输入贝叶斯网络，得到战时装备维修保障效能评估结果如表 3 所示。相关领域专家依据评分标准对战时装备维修保障效能各指标打分后加权评估结果为 90 分，效能等级为高，与贝叶斯网络模型评估结果完全吻合。由此可见，笔者建立的贝叶斯网络评估模型，能够准确评估战时装备维修保障效能等级。

表 3 战时装备维修保障效能评估测试结果 %

评估等级	高	中	低	综合评定
概率	37.2	31.7	31.1	高

4 结论

笔者以贝叶斯网络理论为基础，进行战时装备维修保障效能评估，依据专家经验建立贝叶斯网络结构，采用梯度下降法进行贝叶斯网络参数学习，得出贝叶斯网络节点概率分布，实现了对战时装备维修保障效能的有效评估，为提升装备维修系统效能和选择战时装备维修保障策略提供决策依据。

参考文献:

- [1] 刘长泰, 杜晓明, 李锋. 装备维修保障效能评估指标体系[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(10): 120-123.
- [2] 焦跃, 李德毅. 一种评价 CaI 系统效能的新方法[J]. 系统工程理论与实践, 1998, 56(12): 68-73.
- [3] 刘伟, 贾希胜, 胡起伟, 等. 战时装备维修保障效能及评估指标体系研究[J]. 军械工程学院学报, 2010, 22(6): 1-6.
- [4] 陈富坚, 柳本民, 郭忠印, 等. 基于贝叶斯分析的道路交通系统可靠性模型[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011(2): 220-225.
- [5] 胡鑫. 基于贝叶斯网络的高铁岩溶隧道风险分析[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2014.
- [6] 田福平, 汶博, 郑鹏鹏. 基于贝叶斯网络的作战目标评估[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(2): 79-82.
- [7] PEARL J. Fusion propagation and structuring in belief networks[J]. Artificial Intelligence, 1986, 29(3): 241-288.
- [8] PEARL J. Belief networks revisited[J]. Artificial Intelligence, 1993, 59(1): 49-56.
- [9] DARWICHE A. A differential approach to inference in Bayesian networks[C]//Proceedings of the 16th conference on uncertainty in artificial intelligence. San Francisco: Morgan Kaufman, 1995: 1146-1152.
- [10] 史志富, 张安. 贝叶斯网络理论及其在军事系统中的应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 54-76.
- [11] 杜元伟, 石方园, 杨娜. 融合专家相对推断的贝叶斯网络构建方法[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(22): 105-112.

4 结束语

新型陆军装备向多功能、综合化、模块化方向发展。传统维修人员评估方法已经很难完成装备的保障要求。研究复杂任务的装备维修人员仿真评估方法，对于丰富和发展我军装备维修理论，提高装备维修人员需求决策及评估的科学性和合理性，适应新形势编制体制改革，都具有较为重要的现实意义和实际应用价值。

参考文献：

[1] DUFFUAA S, BEN-DAYA M, AL-SULTAN K, et al. A generic conceptual simulation model for maintenance systems[J]. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 2001, 7(3): 207-219.

[2] PALL R. On the availability of the CH149 Cormorant fleet[C]. Paper presented at the Simulation Conference, 2008. WSC 2008. Winter.

(上接第 82 页)

[12] 孙兆林, 杨宏文, 胡卫东. 基于贝叶斯网络的态势估计方法[J]. *计算机应用*, 25(4): 745-747.

[13] 杜晓明, 古平, 高鲁, 等. 基于仿真的装备保障效能评估[M]. 北京: 国防工业出版社, 2017: 1-10.

[14] NIELSEN S H, NIELSEN T D. Adapting Bayes network structures to non-stationary domains[J].

[3] ROSSETTI M D, THOMAS S. Object-oriented multi-indenture multi-echelon spare parts supply chain simulation model[J]. *International journal of modeling & simulation*, 2006, 26(4): 359.

[4] PERSSON F, SACCANI N. Managing the After Sales Logistic network a Simulation Study[J]. *Production Planning & Control*, 2009, 20(2): 125-134.

[5] PERSSON F, SACCANI N. Managing the after-sales logistic network a simulation study[J]. *Production Planning and Control*, 2009, 20(2): 125-134.

[6] 王亚彬. 典型通用装备维修资源需求仿真研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2005.

[7] 李晓宇, 王新阁, 张磊, 等. 面向任务的航空备件需求仿真[J]. *系统仿真技术*, 2011, 7(4): 294-298.

[8] 林云. 一种基于多线程的仿真引擎研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2012.

[9] 王文鼎, 陈邦文, 韩鹏, 等. 采用多线程并行调度的网络仿真加速[J]. *南京邮电大学学报(自然科学版)*, 2015, 35(1): 33-37.

International Journal of Approximate Reasoning, 2008, 49(2): 379-397.

[15] BRESSAN G M, OLIVEIRA V A, HRUSCHKA J R E R, et al. Using Bayesian networks with rule extraction to infer the risk of weed infestation in a corn-crop[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2009, 22(4/5): 579-592.