

Air Ammunition Equipment Damage Orientation Based on Bayesian Network

Tao Li^{1*}, Mei Li², Li Chen³, ZhiJun Ma¹

¹Security Department of Air Ammunition, Air Force Service College, Xuzhou Jiangsu

²PLA 95855, Beijing

³PLA 93685, Zhangjiakou Hebei

Email: *jiangnanlt@sina.com

Received: Aug. 6th, 2019; accepted: Aug. 19th, 2019; published: Aug. 26th, 2019

Abstract

Fault location for the ammunition equipment is an important step in equipment condition assessment and equipment maintenance. The advantage of Bayesian network in ammunition equipment fault location is expounded and the method and flow path is discussed based on the Bayesian network. Taking the example of the nitrogen supply equipment for the missile, the process of the fault location is analyzed, and the conclusion is indicated corrective and effective.

Keywords

Bayesian Network, Damage Orientation, Air Ammunition Equipment, Equipment Maintenance, Nitrogen Supply Unit

基于贝叶斯网络的航空弹药装备故障定位

李 涛^{1*}, 李 梅², 陈 丽³, 马志军¹

¹空军勤务学院航空弹药保障系, 江苏 徐州

²中国人民解放军95855部队, 北京

³中国人民解放军93685部队, 河北 张家口

Email: *jiangnanlt@sina.com

收稿日期: 2019年8月6日; 录用日期: 2019年8月19日; 发布日期: 2019年8月26日

摘 要

航空弹药装备故障定位是装备状态评估及装备维修的重要环节。文中论述了利用贝叶斯网络进行航空弹药装备故障定位的方法及流程。以导弹的氮气供应装备为例, 分析了故障定位的过程, 并得出结论是纠正和有效的。

*通讯作者。

药装备故障定位的优势,探讨了基于贝叶斯网络的航空弹药装备故障定位方法及流程。并以导弹供氮装置为例,分析了基于贝叶斯网络的航空弹药装备故障定位过程。

关键词

贝叶斯网络, 故障定位, 航空弹药装备, 装备维修, 供氮装置

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着航空制导弹药的日益复杂,航空弹药装备的零备件多达到成千上万,给故障定位越来越困难,目前常用的智能故障定位方法有故障树、基于案例的故障定位等方法,但它们在应用中都存在一定的缺陷[1][2]。故障树的树结点只有真与假两种状态,只适用于航空弹药装备处于好与坏两种状态的情况,由于航空弹药装备故障的复杂性,在使用故障树进行故障定位时,求顶事件发生的最小交集,在实践中也是一件非常困难的事情。基于案例的故障定位方法虽然使用简便,但它要受案例数量的限制,如果没有案例及大量的经验数据信息则推理失败[3]。

贝叶斯网络是一种智能推理工具,适合处理概率性事件,它可以根据航空弹药装备的故障信息,快速、准确的进行推理,逐步判断航空弹药装备故障的根源及故障部位[4][5][6]。贝叶斯网络用于航空弹药装备故障定位可以在航空弹药装备故障信息不充足或不完整时,对航空弹药装备的故障原因及故障部位做出相对准确、快速的分析判断。贝叶斯网络中各结点都可包含多种故障状态,可以通过结点间的有向弧表达航空弹药装备各功能单位之间的影响关系,当故障信息加入到贝叶斯网络后,可以快速更新网络中各结点的状态,确定故障原因及部位[7][8]。贝叶斯网络具有双向推理功能,它不仅可以由上向下推理,由航空弹药装备的某故障事件推导出引起该故障的原因及故障部位,而且可以由下向上推理,由某故障事件推导出该故障事件对整个系统功能的影响,进而判断故障等级及其发生的概率,从而可以确定航空弹药装备是否可以继续使用,还是需要维修后使用或是报废[9]。

2. 贝叶斯网络原理

2.1. 贝叶斯网络的数学描述[2][10]

贝叶斯网络(Bayesian Network)是一种有向无环图(有向图模型),它由两部分构成,一部分是贝叶斯网络结构,用 S 表示,其中结点代表了属性域中的变量,结点间的有向弧代表了变量间的因果关系;另一部分是局部条件概率分布(或密度函数)集,用 S_p 表示,表达了变量间因果关系的强度,贝叶斯网络可用元素对 (S, S_p) 表示。关于变量集 $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 的贝叶斯网络就是图形化的变量集的联合概率分布。从理论上讲,给定一个变量集合的联合概率分布,就可以计算出所有的边缘概率分布和低阶的联合概率分布,也就是我们所关心事件发生的概率。但当变量集中变量的数目很大时,变量集合的联合概率分布往往很难求[10]。而如果变量集中的变量满足条件独立定理,则其概率分布可由链路定理求得:

链路定理: 令 BN 为关于 $U = \{A_1, \dots, A_n\}$ 上的贝叶斯网络,则联合概率 $P(U)$ 可表示为 BN 中所有条件概率的乘积:

$$P(u) = \prod_i P(A_i | Pa(A_i)) \quad (1-1)$$

这里 $Pa(A_i)$ 是 A_i 的所有父结点的集合。

2.2. 贝叶斯网络的更新[11] [12] [13]

根据观察到的信息判断事件发生的概率时,需要用观测信息更新贝叶斯网络,以反映变化了的情况。令 A 为一个具有 n 种状态的变量, $P(A) = (x_1, \dots, x_n)$ 。假设得到关于 A 的观测信息 e , A 只可以处于 i 和 j 状态,而其它状态不出现,则有联合概率 $P(A, e) = (0, \dots, x_i, 0, \dots, 0, x_j, 0, \dots, 0)$ 。观测值 e 的概率 $P(e) = x_i + x_j$, 即所有可能状态的概率之和。根据贝叶斯定理,在观测值条件下, A 的条件概率为:

$$P(A|e) = \frac{P(A, e)}{P(e)} = \frac{P(A, e)}{\sum_A P(A, e)} \quad (1-2)$$

观测值 e 加入到网络中的方式可解释为 $P(A)$ 与概率表 $\underline{e} = (0, \dots, 1, 0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$ 的乘积。 A 的观测值为 A 的某可能状态的状态值。

令 U 为所有变量的整体,依据链路定理可以求得其联合概率 $P(U)$,把观测值 e 加入到网络中,则 $P(U, e)$ 可以通过将 $P(U)$ 中与 A 相关的非 i 和 j 的元素变为 0,而其它的元素不变求得。 $P(e)$ 仍为所有观测值在 $P(U, e)$ 中的概率之和,则在观测值条件下, U 的概率为:

$$P(U|e) = \frac{P(U, e)}{P(e)} = \frac{P(U, e)}{\sum_A P(U, e)} \quad (1-3)$$

其中 $P(U, e)$ 为 $P(U)$ 与观测值 \underline{e} 的乘积,如果 e 包括许多的观测值 $\{f_1, \dots, f_m\}$, 每个变量的观测值可以分别加入:

$$P(U, e) = P(U) \cdot f_1 \cdots f_m \quad (1-4)$$

有了在观测信息条件下,所有变量的联合概率,则可以很容易的由此联合概率求出我们所关心任何一个变量的边缘概率,即事件发生的概率。

3. 基于贝叶斯网络的航空弹药装备故障定位

3.1. 航空弹药装备故障定位原理

利用贝叶斯网络进行故障定位,是针对航空弹药装备的某一特定故障事件,根据收集到的故障信息,借助贝叶斯网络的推理功能,逐步判断故障原因及部位的过程。基于贝叶斯网络的航空弹药装备故障定位包括以下内容: 1) 充分收集航空弹药装备的各种故障信息,以及各种仪器仪表的指示信息,分清损伤事件的故障原因及损伤现象。2) 确定重要功能产品[14]。战时由于时间紧迫,所以只对那些具有重要功能的系统或部件进行抢修,只分析重要功能单元故障的原因及部位。3) 对航空弹药装备进行详细的故障模式与影响分析,透彻了解各种故障事件的可能原因,为构建装备的贝叶斯网络模型奠定基础。4) 根据故障原因的分析结果,构建的功能影响图,在影响图中描绘了装备各单元的各种功能故障之间的影响关系,并由影响图构建航空弹药装备的贝叶斯网络图。5) 根据现有的数据、案例、专家的经验或故障仿真结果确定网络中各结点的条件概率及装备底层各单元各种损伤模式发生的概率。6) 应用贝叶斯网络进行故障定位。建立了航空弹药装备的贝叶斯网络模型后,将故障信息输入到网络模型,借助贝叶斯网络的推理功能,将故障信息在网络中传播,更新网络中各结点处于各种故障状态的概率,选取具有最大概率的故障原因作为首选损伤原因,进行相应的维修或检测,确定航空弹药装备的故障原因及损伤部位[15]。

3.2. 故障定位流程[16] [17] [18]

基于贝叶斯网络的航空弹药装备故障定位流程包括如下步骤:

- (1) 根据故障模式与影响分析及故障模型与影响分析分析结果, 建立贝叶斯网络模型;
- (2) 收集故障信息, 包括各种故障原因信息及故障现象信息;
- (3) 将故障信息加入到贝叶斯网络中, 借助贝叶斯网络的推理功能将该信息在网络中传播, 更新网络中各结点处于各种故障状态的概率;
- (4) 判断航空弹药装备故障是否是由具有最大概率的故障原因引起的, 如果是则进行维修, 否则排除该原因, 返回(2), 重新进行故障定位;
- (5) 对特定故障部件进行维修;
- (6) 对故障部件维修后, 观察装备的运行状态, 如果航空弹药装备仍不能正常工作, 继续收集故障信息, 返回(2), 重新进行故障定位。如果航空弹药装备工作正常, 则故障定位结束[16]。

4. 案例分析

下面以“某导弹供氮装置系统不受控制系统控制”这一故障为例, 说明利用贝叶斯网络进行装备故障排除的流程。

问题描述: 某导弹供氮装置, 已知有一路氮气 A 不受控制, 维修人员欲判断其故障根源。

1) 根据上述分析方法, 建立导弹供氮装置的贝叶斯网络如图 1 所示。系统各单元状态定义如下: 氮气 A、B、总配气箱及控制系统都定为正常和故障两种状态; 通信电缆的状态定为正常与短路; 分离器与过滤器分为 SI (正常)、SII (元器件无故障, 但无信号输入)、SIII (有信号输入, 但元器件故障)、SIV (元器件故障, 同时也无信号输入)四种状态[19] [20]。网络参数如表 1 所示。

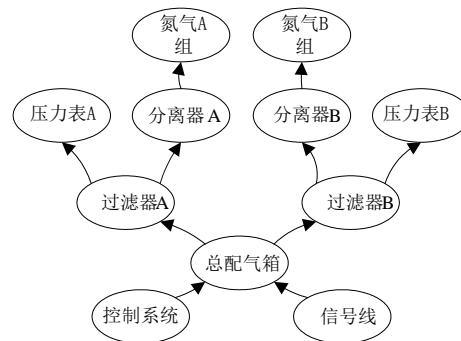


Figure 1. Missile nitrogen supply unit Bayesian network

图 1. 某导弹供氮装置贝叶斯网络图

2) 收集故障信息, 进行损伤定位

情况 1: 假设观察到氮气 B 组正常, 则将此信息加入到网络中, 更新网络, 系统各单元各种状态发生的概率如表 2 所示, 选取具有最大故障概率的单元作为最可能的故障单元进行检测。由表 2 可知故障原因可能发生在分离器 A 或过滤器 A 上。为进一步确定故障原因, 可查看压力表 A, 发现压力表 A 正常, 说明过滤器 A 正常, 将此观测信息再次加入到网络中更新网络, 系统各元各种状态发生的概率如表 3 所示。从表中可以看出, 氮气 A 组不受控制系统控制的根本原因是由于分离器 A 发生了故障[21] [22]。

情况 2: 假设氮气 B 组也不受控制系统控制时, 同上面的诊断过程一样, 可以不断的将观测到的信息加入到贝叶斯网络中, 更新网络, 在贝叶斯网络的指导下不断的进行损伤定位, 向故障根源逼近。

Table 1. Bayesian network probability tables**表 1.** 贝叶斯网络概率表

概率		条件	
控制系统 = 正常	0.9	控制系统 = 故障	0.1
信号线 = 短路	0.1	信号线 = 正常	0.9
总配电箱 = 正常	1	总配电箱 = 故障	0
	0		1
	0		1
	0		1
.....

Table 2. Nitrogen B normal system unit under all kinds of situations probability**表 2.** 氮气 B 正常时系统各单元处于各种状态的概率

分离器 A				过滤器 A			
SI	SII	SIII	SIV	SI	SII	SIII	SIV
0	0.4737	0.4737	0.0526	0.4737	0	0.5263	0
氮气 A 正常		氮气 B 正常		控制系统正常		信号正常	
0		1		1		1	

Table 3. Filter A normal system under all kinds of situations probability**表 3.** 过滤器 A 正常时系统各单元处于各种状态的概率

分离器 A				过滤器 A			
SI	SII	SIII	SIV	SI	SII	SIII	SIV
0	0	1	0	1	0	0	0
氮气 A 正常		氮气 B 正常		控制系统正常		信号正常	
0		1		1		1	

5. 结论

案例分析表明, 航空弹药装备故障信息不确定或不完整的情况下, 利用贝叶斯网络进行故障定位, 可以充分利用先验信息与后验信息(收集到的各种装备故障数据信息), 借助贝叶斯网络的推理功能快速、高效地确定航空弹药装备的故障原因及故障部位。随着计算机技术的不断发展、贝叶斯网络各种算法的不断改进, 贝叶斯网络在航空弹药装备故障定位及故障诊断领域中将会有更加广泛的应用前景。

参考文献

- [1] Yenkin, O. (2016) An Efficient Approximate Markov Chain Method in Dynamic Fault Tree Analysis. *Quality & Reliability Engineering International*, **32**, 1509-1520. <https://doi.org/10.1002/qre.1861>
- [2] 樊冬明, 刘林林, 等. 基于动态贝叶斯网络的可修 GO 法模型算法[J]. 北京航空航天大学学报, 2015, 41(11):

2166-2176.

- [3] 高晓光, 陈海洋, 符小卫, 等. 离散动态贝叶斯网络推理及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 44-46.
- [4] Jensen, F.V. (2012) An Introduction to Bayesian Networks. Aalborg University, Denmark.
- [5] Stephenson, T.A. (2010) An Introduction to Bayesian Network Theory and Usage. IDLAP-RR 00-03.
- [6] Jensen, F.V. (2013) Bayesian Network and Decision Graphs.
- [7] 李建平, 石全, 甘茂治. 装备战场抢修理论与应用[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
- [8] 陈鹏, 袁雅婧, 桑红石, 等. 一种可扩展的并行处理器模型设计及性能评估[J]. 航空兵器, 2011(5): 56-61.
- [9] 程海彬, 江云, 鲁浩, 等. 基于 DGPS 的弹载捷联惯导系统性能评估技术研究[J]. 航空兵器, 2015(3): 23-26.
- [10] Gaver, D.P. (2009) Patricia A. Jacobs Probability Models for Battle Damage Assessment (Simple Shoot-Look-Shoot and Beyond).
- [11] Franzen, D.W. (1999) Captain, USF A Bayesian Decision Model for Battle Damage Assessment AFIT/GOA/ENS/99M-05.
- [12] 朱正福, 李长福, 何恩山, 等. 基于马尔科夫链的动态故障树分析方法[J]. 兵工学报, 2008, 29(9): 1104-1107.
- [13] 聪林虎, 徐廷学, 董琪, 等. 基于改进证据理论的导弹状态评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2016, 38(1): 70-76.
- [14] 王亮, 吕卫民, 腾克难. 基于测试数据的长期贮存装备实施健康状态评估[J]. 系统工程与微电子学, 2013, 35(6): 1212-1217.
- [15] 马波. 基于图像分析的机场打击效果评估研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [16] 范瑞彬. 遥感图像中机场识别与毁伤分析研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2004.
- [17] 肖龙. 信息系统风险分析与量化评估[D]: [博士学位论文]. 成都: 四川大学, 2006.
- [18] 谭达明, 秦萍, 余欲为. 柴油机工作过程故障振动诊断的基础研究[J]. 内燃机学报, 1992, 10(4): 342-344.
- [19] Mendel, J.M. (1995) Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. *Proceedings of the IEEE*, **83**, 345-377. <https://doi.org/10.1109/5.364485>
- [20] 范志锋, 崔平, 文健, 吕静. 基于退化敏感参数的弹药控制系统储存寿命评估[J]. 火箭与制导学报, 2017, 33(5): 109-111.
- [21] 田中大, 高宪文, 李琨. 基于 KPCA 与 LSSVM 的网络控制系统时延预测方法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(6): 1281-1285.
- [22] 李玲玲, 马东娟, 李志刚. 基于状态监测数据的电器电接触性能评估[J]. 机械工程学报, 2015, 51(9): 198-203.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-1476, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/> 顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: orf@hanspub.org