

doi: 10.7690/bgzd.2016.11.004

基于规则的牵引车故障诊断专家系统设计

王云翔, 杨茂胜, 欧海英, 李居伟
(海军航空工程学院青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 针对某型舰船出海期间牵引车故障多、维护难的问题, 开发一种基于规则的牵引车故障诊断专家系统。介绍牵引车故障诊断专家系统的基本架构、功能模块, 结合产生式规则给出知识库与规则库的结构, 同时运用混合推理技术设计推理机, 详细描述推理算法, 利用 Access 数据库和 VB 可视化编程技术实现专家系统。分析结果表明: 该系统能够较为准确地判断出故障原因并提出故障解决方法, 维护简单, 实用高效, 易于部队接受。

关键词: 故障诊断; 专家系统; 产生式规则

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Design of Tractor Fault Diagnosis Expert System Based on Rule

Wang Yunxiang, Yang Maosheng, Ou Haiying, Li Juwei
(Qingdao Branch of Naval Aeronautical Engineering Academy, Qingdao 266041, China)

Abstract: In view of the problems of multiple faults and bad maintenance of a certain type of ship during the voyage to the sea, an expert system for tractor fault diagnosis based on rules is developed. Introduce tractor fault diagnosis expert system's basic structure, function modules, combine it with production rule to give structure of knowledge library and rule library, at the same time, use the mixed reasoning technology in the design of reasoning machine, describe reasoning algorithm in detail and realize expert system based on access database and VB visual programming technology. The analysis results show that: the system can accurately determine the cause of failure and put forward the solution method, which is simple, practical and efficient, and is easy to accept by army.

Keywords: fault diagnosis; expert system; production rule

0 引言

飞机牵引车是舰载机在舰船上行走的关键设备, 也是制约战斗力生成的重要因素。目前, 某型舰船由于舰载机数量多, 出海时间长, 对牵引车的维修保养能力稳定要求较高。为了快速提升一线装备执掌人员的维修水平, 笔者设计基于规则的牵引车故障诊断专家系统。专家系统是一种基于知识规则和人工智能的诊断方法, 能充分利用人类专家的经验知识, 对复杂大型系统进行快速有效的诊断, 结合移动终端的应用, 可以方便日常维修的开展^[1]。

1 专家系统结构

牵引车故障诊断专家系统主要由人机接口、知识获取、推理机、解释子系统和知识库构成^[2], 其基本框架如图 1 所示。知识库包括专家知识、领域知识和元知识, 按照知识的表示形式、性质、层次、内容来组织, 以文件的形式存放在外部介质上, 运行时被调入内存。本系统中的知识库主要指牵引车故障的事实及规则。知识获取包括对知识库的建立、删除、重组及维护、查询、更新和检查。推理机是

使用知识库中的知识进行推理而解决问题的, 是专家分析问题、解决问题的机器实现。本系统中推理机基于产生式规则操作。人机接口是用户与专家的交互界面, 用户可以提出问题, 向系统提供原始数据和事实, 系统回答问题, 输出结果^[3]。

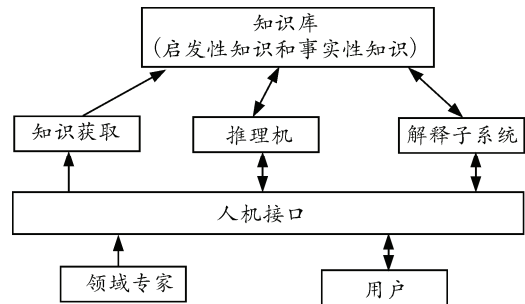


图 1 故障诊断专家系统框架

2 专家系统设计

系统使用需求是: 用户通过人机接口输入一个或者多个故障事实, 推理机在模糊控制策略下依据数据库中的规则, 获取知识库中有用的事实信息, 通过人机接口反馈给用户; 同时, 专家也可以通过知识获取模块添加和删除知识库中的事实。

收稿日期: 2016-08-01; 修回日期: 2016-09-22

作者简介: 王云翔(1981—), 男, 黑龙江人, 博士, 讲师, 从事计算机虚拟仿真、军事运筹研究。

2.1 知识库

1) 知识规则表示。

牵引车故障诊断知识涉及机械、液压和电气 3 方面，数据量大、种类多，但形式上看，比较容易表示成因果关系，适合用产生式规则方法^[4]。产生式规则基本形式是：IF P THEN Q。其中：P 代表一组前提或状态；Q 代表若干结论或动作。如果前提 P 满足，则可得出结论 Q 或 Q 所规定的动作。显然，在实际工作中，很多故障现象与故障原因不能一一对应，通常都会包含不确定因素。比如“发动机不能启动”的故障事实，根据修理经验，“进气截止阀锈蚀”的原因占到 50%，“电气系统故障”的原因占到 30%；因此，在用产生式描述规则时，要增加可信度条件，也就是将前面的形式改写为：IF E THEN H(CF(H,E))^[5-6]。

故障诊断专家系统的知识与规则对可以用上述产生式规则表示，但数据的存储通常采用关系数据库，其二维表结构对于元组与属性的描述非常有效。但是，产生式规则的数据结构是不规范图型，必须进行必要的处理，将混合逻辑关系中的“或”拆分，等价转换为只包含逻辑“与”的单纯关系^[7]。其等

价转换关系如下式所示：

$$\text{OR}_{i=1}^n \left(\text{AND}_{j=1}^m E_{ijk} \right) \longrightarrow C_k \begin{cases} \text{AND}_{j=1}^{m_1} E_{1j} \rightarrow C \\ \text{AND}_{j=1}^{m_2} E_{2j} \rightarrow C \\ \text{AND}_{j=1}^{m_n} E_{nj} \rightarrow C \end{cases} \quad (1)$$

转换后，非规范性图型结构被转换为线性表结构。线性表结构包含 2 层意思：一是指规则与规则之间是线性的；二是指同一规则之间的前提是线性的。这样，故障诊断专家系统的知识与规则就可以以产生式规则的方式存放在关系数据库中。

2) 知识库设计。

牵引车故障诊断专家系统知识库由故障字典库和规则库 2 部分组成。字典库用于存放故障现象和故障结论，规则库包括规则前件库和规则后件库。故障结论有可能仍然是故障现象，所以规则前件用于存放规则的前提条件和前提规则号，规则后件库用于存放规则的结论部分和后推规则号。这样，结论部分仍为故障现象的规则，可以用于深层次的推理。以“牵引车不能启动”故障为例，其领域专家给出故障树如图 2 所示。

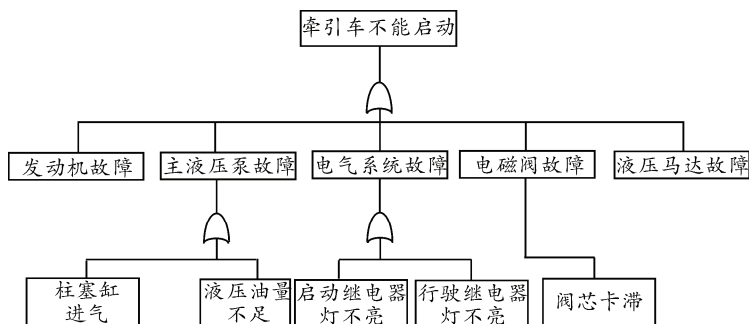


图 2 “牵引车不能启动”故障树示例

根据故障树，可以总结出如下规则：

规则 1：发动机正常工作且行驶电磁阀动作，则主液压泵故障；

规则 2：主液压泵故障且液压油充足，则主液压泵柱塞腔进气，建议加注液压油给柱塞腔排气；

规则 3：行驶继电器灯亮且主液压泵有压力且主油路无压力，则电磁阀故障，建议维修电磁阀；

规则 4：牵引车通电且电磁阀无吸力，则电气系统故障；

规则 5：电气系统故障且行驶继电器灯不亮，则行驶继电器故障，建议更换行驶继电器；

规则 6：电气系统故障且启动继电器灯不亮，则启动继电器故障，建议更换启动继电器；

规则 7：液压系统主油路压力正常，则液压马达故障，建议维修液压马达。

由以上规则建立知识库如表 1 所示。

表 1 故障诊断专家系统知识库示例

Fact_ID	Rank	Position	Description	Repair
F1001	牵引车	发动机	发动机正常	
F1002	牵引车	液压系统	行驶电磁阀动作	
F1003	牵引车	液压系统	主液压泵故障	
F1004	牵引车	液压系统	液压油充足	
F1005	牵引车	液压系统	主液压泵柱塞腔进气	建议加注液压油，给柱塞腔排气
F1006	牵引车	电气系统	行驶继电器灯亮	
F1007	牵引车	液压系统	主液压泵有压力	
F1008	牵引车	液压系统	主油路无压力	
F1009	牵引车	液压系统	电磁阀故障	建议维修电磁阀
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表 1 中包含了故障现象和故障结论，归纳其可以形成规则前提，即形成某些中间结论的前提条件，如表 2 所示。

表 2 故障诊断专家系统前提库示例

Rule_No	Number	Rule_Pre1	Rule_Pre2	Rule_Pre3	Symbol
R1001	2	F1001	F1002		False
R1002	2	F1003	F1004		False
R1003	3	F1006	F1007	F1008	False
R1004	2	F1010	F1011		False
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

故障结论应包含该结论的置信度，用于在结论中进行有效筛选，如表 3 所示。

表 3 故障诊断专家系统结论库示例

Rule_No	Number	Fact_ID	Rule_Act	Reliability	Symbol
C1001	1	F1003	...	0.85	False
C1002	1	F1005	...	0.60	False
C1003	1	F1009	...	0.60	False
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

2.2 推理机

推理机是故障诊断专家系统实现人工智能的关键，其主要的工作方法是根据用户输入的故障现象，模拟专家思考过程，智能地在知识库中匹配知识点，匹配相应规则，寻找最优结论^[8-9]。推理机设计时应从推理方法、推理方向、推理策略 3 方面入手。在推理方法上，根据前面知识库的设计，采用带有置信度的结论，本系统选择不确定性推理；在推理方向上，采用混合推理方式，先从用户输入的故障现象入手，进行正向推理，如果正向推理找不到完全匹配的规则，选择置信度较高的结论，反向进行推理，根据用户补充的故障现象，再正向推理，直到找到完全匹配的规则，输出结论；在推理策略上，需要根据装备的特点，由于牵引车这型装备目前服役时间较短，故障经验总结深度不大，整个故障树呈现“扁平”的特点，因此采用“深度优先”的搜索策略，使用关系型数据索引、排序和检索等技术，便于快速找到故障结论。推理机推理逻辑如图 3 所示。

具体方法步骤如下：

- 1) 用户进入故障诊断界面，知识库、规则库初始化；
- 2) 用户输入已经查明的故障现象；
- 3) 根据已经输入的故障现象，进行正向推理；
- 4) 推理机后台自动连接数据库，匹配相应的规则；
- 5) 如果没有找到完全匹配的规则，则寻找置信度最高的结论，进行反向推理；
- 6) 如果找到完全匹配的规则，转入步骤 7；
- 7) 反向推理时，根据待确认的知识点，提示用户补充知识，转入步骤 2；
- 7) 推理机找到故障结

论后，查询是否还有未使用故障现象，如果还有，则转入步骤 3；否则，推理结束。

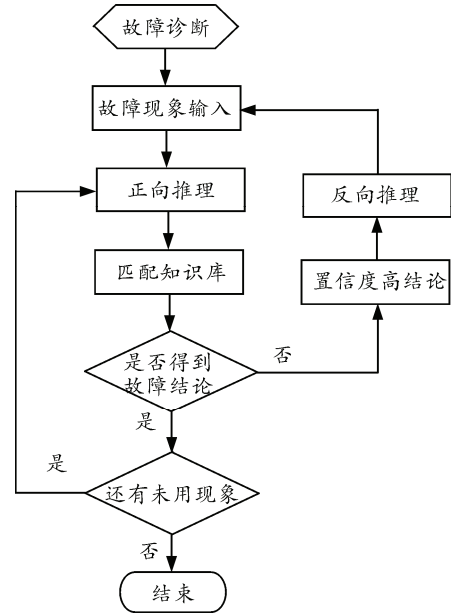


图 3 故障诊断专家系统推理机逻辑

3 故障诊断实例

牵引车故障诊断专家系统采用 C/S 体系结构，人机界面由 Visual Basic 语言编写，数据库采用 Access 来实现。系统包含 4 个主要功能模块：一是用户管理，用于区分角色，一线装备执掌人员主要运用故障诊断功能，同时可对知识库进行管理，中队领导或者领域专家主要可查看故障日志，分析故障数据，同时也可对故障知识库进行管理；二是知识库管理模块，用于对已有的知识库进行维护，同时可录入新知识；三是故障诊断模块，是本系统的主要功能，用于辅助装备执掌人员维修设备；四是故障日志模块，用于记录故障发生时间、过程，便于领导决策。

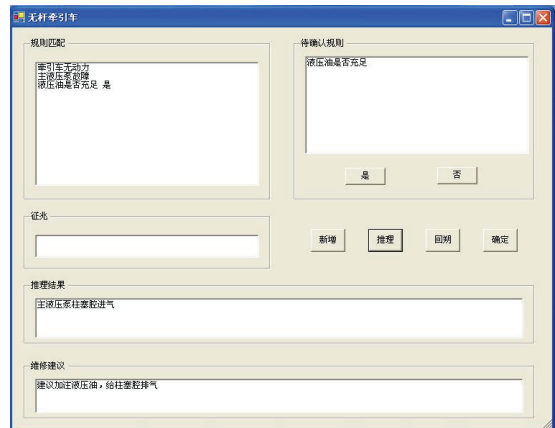


图 4 故障诊断专家系统故障诊断界面

图 4 是故障诊断模块界面，用户根据观察到的

故障现象录入知识, 推理机自动选择推理方式寻找故障原因, 同时进行补充追问, 直到正确输出结论。

4 结束语

笔者运用基于规则的方法对牵引车故障知识进行描述, 给出了知识库设计实例, 并设计相应的推理算法, 实现了牵引车故障诊断专家系统。该系统根据故障现象能较为准确地判断出故障原因并提出故障解决方法^[10], 减少了维修工作的盲目性, 提高了维修质量。该系统知识库维护简单, 推理系统实用高效, 系统容量小, 易于部队装备执掌人员接受。

参考文献:

- [1] 敖志刚. 人工智能及专家系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010: 33-34.
- [2] 边肇祺, 张学工. 模式识别[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 13-15.
- [3] 赵鹏, 蔡忠春, 李晓明, 等. 某型飞机发动机故障诊断

(上接第 3 页)

因此, 在瞬态分析时重点分析升降轴的相位差。瞬态分析有很多和静态分析相似的地方, 比如约束条件和俯仰门架所受到的载荷种类都是一样的, 唯一改变的是 4 种载荷都是随时间变化的(非线性变化)。分析动能弹发射时完成整个从后座到复进的时间, 得到非线性有限元动力学计算的时间为 0.48 ms, 同时, 由于此次分析是非线性的; 所以, 在分析时对有限元模型的单元类型也做了改变。经过分析得到了 2 种方案在 $\varphi=40^\circ$ 时升降轴的相位差变化图, 如图 7。

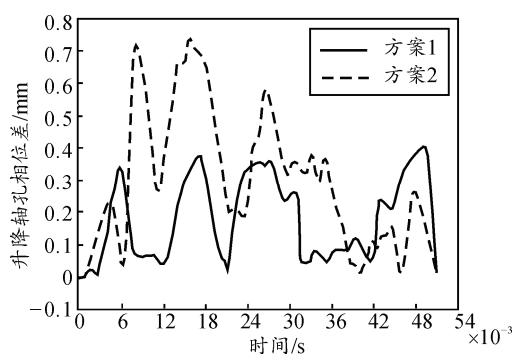


图 7 $\varphi=40^\circ$ 时 2 种方案的相位差变化

从上图可以发现: 方案 2 的升降轴孔相位差明显小于方案 1, 且方案 1 相位差最大值为 0.74 mm, 而方案 2 相位差的最大值为 0.42 mm。

5 结论

笔者以动能弹模拟发射装置的俯仰门架为例, 分析了利用有限元进行设计的方法。通过对由经验

专家系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(12): 3850-3852.

- [4] 张耀辉, 李浩, 李林宏, 等. 基于案例推理的装甲装备故障诊断方法[J]. 兵工自动化, 2014, 33(9): 21-22.
- [5] 邓天鹏, 韩艳. 基于产生式规则专家系统在结构损伤诊断中的应用[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2007, 26(2): 202-206.
- [6] shi H, Gong G F, Yang H Y. Compliance of Hydraulic System and Its Applications in Thrust System Design of Shield Tunneling Machine[J]. Science China, 2013(9): 2124-2131.
- [7] 饶正周, 马永一, 杨兴锐. 基于知识规则的 2.4 m 风洞控制开车参数自动生成专家系统[J]. 兵工自动化, 2015, 34(6): 94-96.
- [8] 贾京州, 赵惠燕. 基于混合推理技术的蚜虫危害专家系统研究[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(6): 1515-1517.
- [9] 黄务兰. 一种新的基于产生式规则的推理树结构[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(4): 76-81.
- [10] 邓冠前, 邱静, 李智, 等. 间歇故障诊断技术研究综述[J]. 兵工自动化, 2015, 34(1): 15-20.

设计出的方案 1 中的俯仰门架进行有限元分析, 发现了设计的薄弱及冗余的地方, 并对方案 1 模型进行改进, 得到了方案 2 中改进后的模型, 并再次通过有限元软件进行分析。实验结果表明: 方案 2 不但使俯仰门架的质量有所降低, 而且也改变了其力学性能, 使得刚度和强度有所提高, 减小了变形; 使频率有所提高, 减小了共振的可能。

参考文献:

- [1] 孙远孝, 潘学文. 炮架及总体设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995: 20-158.
- [2] 楚志远. 自行火炮非线性有限元动力学仿真[D]. 南京: 南京理工大学, 2001.
- [3] 王世圣, 冯玮, 时钟民, 等. 基于框架优选的钻机底座结构动态设计研究[J]. 力学与实践, 2004, 26(3): 22-24.
- [4] 张月林. 火炮反后座装置设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984: 80-87.
- [5] 张晓东, 张培林, 傅建平, 等. 基于两相内弹道的火炮炮膛合理计算[J]. 火炮发射与控制学报, 2010, 2(6): 70-73.
- [6] 张相炎, 郑建国, 杨军荣. 火炮设计理论[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005: 170-297.
- [7] 葛建立, 杨国来, 陈运生, 等. 基于弹塑性接触/碰撞模型的弹炮耦合问题研究[J]. 弹道学报, 2008, 20(3): 103-106.
- [8] 钱辉仲. 超轻型火炮摇架结构优化[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [9] 敖勇. 柔性多体系统动力学和动态子结构方法及其在火炮动力学仿真中的应用研究[D]. 南京: 南京理工大学, 1997.
- [10] 王长武. 自行火炮非线性有限元模型及可视化技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2002.