

Fault Diagnosis Expert System Design for Integrated Electronic System of a Certain Type of Equipment Based on Binary Tree

Zheping Ren, Chungping Niu, Yousong Guo

The Academy of Armored Forces Engineering, Beijing
Email: rzp_byrant@yahoo.com.cn

Received: Mar. 12th, 2013; revised: Apr. 1st, 2013; accepted: Apr. 17th, 2013

Copyright © 2013 Zheping Ren et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: Based on the analysis of expert system development and its application in fault diagnosis of electronic systems, in view of some problems that advanced fault diagnosis methods are difficult to timely apply for current electronic system fault diagnosis of armored equipments, fault characteristic data can not be effectively accumulated, fault diagnosis software hierarchy is not clear and the systematicness, commonality, expansibility are weak, etc., taking integrated electronic system of a certain type of equipment as the object, the knowledge base and inference engine are designed, and the corresponding fault diagnosis expert system is constructed with the system-level fault knowledge and the fault data combined according to fault binary tree structure.

Keywords: Integrated Diagnosis; Fault Diagnosis; Binary Fault Tree; Expert System

基于二叉树的某型装备综合电子系统故障诊断专家系统设计

任哲平, 牛春平, 郭友松

装甲兵工程学院, 北京
Email: rzp_byrant@yahoo.com.cn

收稿日期: 2013年3月12日; 修回日期: 2013年4月1日; 录用日期: 2013年4月17日

摘要: 在分析专家系统发展及其在电子系统故障诊断中应用状况的基础上, 针对当前装甲装备电子系统故障诊断中先进的故障诊断方法难以及时应用, 故障特征数据不便于有效积累, 故障诊断软件层次性不够明确, 系统性、通用性、扩展性不强等问题, 以某型装备综合电子系统为对象, 将系统级故障知识、故障数据按照故障二叉树结构进行融合处理, 在基于规则的专家库框架结构下, 进行了知识库和推理机设计, 构建了相应的故障诊断专家系统。

关键词: 综合诊断; 故障诊断; 二叉故障树; 专家系统

1. 引言

随着计算机技术的不断发展, 专家系统的研究与应用也日臻完善和成熟^[1]。目前, 其应用领域已涉及农业、商业、化学、通信、计算机系统、医学等多个方面; 处理的问题已扩展至解释、预测、诊断、规划、

设计、教学、控制等多种类型; 其系统模型已发展至基于规则、案例、框架、模糊逻辑、遗传算法等多种模型。

对于故障诊断问题, 不同模型结构的专家系统, 其适用性也有所不同。比如, 基于规则的专家系统容

易使知识与专家经验结合、便于管理、推理,但在推理灵活性、诊断实时性方面则有所欠缺;基于案例的专家系统知识获取难度低、开放性好,但也存在案例特征选取、权重分配难的问题;基于模糊逻辑的专家系统鲁棒性、启发性、灵活性较好,但也有模糊推理知识获取困难、征兆模糊关系较难确定的问题。

近年来,由于电子系统特别是装备电子系统或设备的维修保障需要,电子系统故障诊断技术在理论研究方面有着不少进展,但真正在工程实践中成功应用的相应故障诊断系统还较少^[2]。考虑到电子系统设计理念、故障特征以及各种诊断方法的深入研究,参考基于模糊故障树和故障字典的某型导弹综合诊断系统^[3]、基于二叉树的某型船柴油机控制系统故障诊断专家系统^[4]等诊断系统的设计思想,在基于规则的系统模型基础上,采用故障树或二叉树进行故障知识描述和推理设计,构建相应故障专家系统,可有效融合各种诊断方法产生的知识和专家经验,提高电子系统故障诊断效率,是目前比较可行的故障诊断应用系统的构建思路。

本文以某型装备综合电子系统为对象,采用二叉故障树模型,重点对故障树转化、知识存储与推理机制等问题进行了研究与设计,确保了相应专家系统的开放性和通用性,增强了诊断效率。

2. 故障诊断系统设计方案

知识库和推理机制是专家系统的基本要素。知识库是基于某种表示方法或表示形式而形成的专家知识、经验的集合。知识的表示方法有多种,故障树由顶现象、故障中间现象、中间原因及底层原因组成,以树状流程图的形式表示故障因果逻辑关系,可模拟专家的真实诊断过程。基于故障树的分析是大型复杂系统可靠性、安全性分析以及故障诊断的有力工具之一。传统的故障树同一节点可能含有两个以上的子节点,模型结构复杂、主干不突出,不能正确反映故障原因和故障现象之间的联系,而且由于诊断的规则数目较多,当添加修改规则时,易出现规则之间的冲突和冗余^[5]。二叉树(Binary tree)是树的一种,它的特点是每个节点至多只能有两个子树,并且子树有左右之分,其次序不能任意颠倒,便于数据库存储和推理算法的实现,容易被计算机表达和处理。

推理机效率的高低直接影响到专家系统的性能,其推理机制设计与知识表示紧密相关。在二叉故障树知识表示的基础上,故障诊断推理过程实际就是二叉树的遍历过程。二叉树是一种非线性结构,决定推理机制高效的关键,就是遍历算法。推理的方法有很多,按照推理的方向可以分为正向推理、反向推理和正向-反向混合推理^[4]。

本文研究的系统是一种总线式结构综合电子系统,考虑到此类系统的设计思想与系统各终端的设计原则,以及相应诊断专家系统的诊断目标的层次要求和应用使用场合。综合电子系统故障诊断专家系统知识表示采用二叉树结构模型,遍历算法采用推理比较直观的正向推理方法。专家系统结构如图1所示。

3. 故障树模型建立及二叉故障树转化

故障树的正确构造是关键,其完善程度将直接影响诊断系统的推理效率及正确性。故障树建造过程的实质就是寻找出所研究的系统故障和导致系统故障的诸多因素之间的逻辑关系,并把这种关系用故障树的图形符号表示出来。这常常是一种反复的过程,要在广泛吸取系统设计、使用过程的知识经验并深入进行系统分析的基础上不断修改完善。

对装备综合电子系统,首先要对专家经验、使用过程中总结的知识以及根据系统模型所分析的结果数据进行故障现象、原因分析,找出顶事件、中间事件和底层事件,构建故障树。其次,对于多叉结构的故障树,按照各节点为父节点,其最左边的下级节点为该节点左子节点,右边相邻节点(没有可以为空)为该节点右子节点的原则,多叉故障树转换为二叉树。

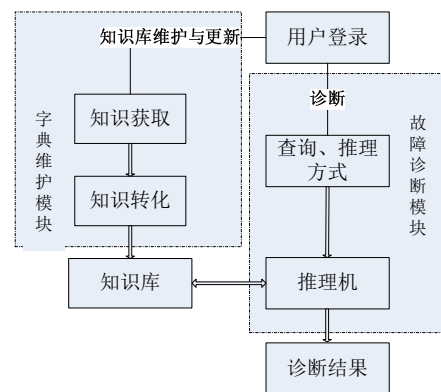


Figure 1. Fault diagnosis expert system structure diagram
图 1. 故障诊断专家系统结构示意图

某型装备综合电子系统“开机后××面板指示灯不亮且系统不工作”的故障原因可能为保险丝坏、电缆连接不可靠和电源短路等原因，根据专家知识和经验，可构建图 2 所示的二叉故障树。

4. 二叉故障树的存储

根据对装备电子综合系统相关知识、经验梳理和各种故障机理分析，各个故障树层数、诊断所需步数都不尽相同，必须进行良好的数据库设计，以保证知识库的开放性和专家系统的通用性。

4.1. 二叉故障树数据库设计

整个知识数据库按 3 级设计，分别为车型列表数据库(vehicle_list)、系统列表数据库(lib_list)和分系统数据库，每种车型对应一个车型列表、系统列表和分系统数据库。车型列表数据库存储故障知识所属的车型信息，系统列表数据库存储该车型系统信息，分系统数据库主要由子系统信息、待选故障信息、故障树逻辑信息和测试节点信息四个数据表构成，存储具体的故障知识。各数据表结构设计如表 1~表 6。

其中，待选故障信息表中存放了各个子系统的的所有故障现象，包含了故障所属的子系统的编号、故障编号、故障名称、故障描述以及故障的图片等信息，其中子系统的编号是将该表和上级数据库建立联系的纽带。

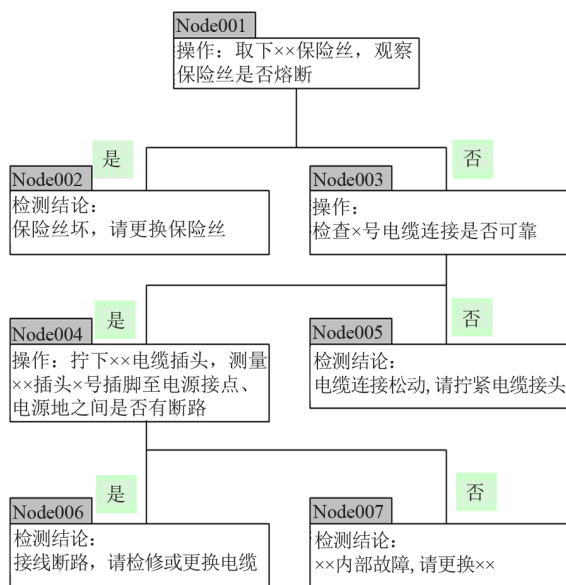


Figure 2. Binary fault tree example
图 2. 二叉故障树示例

故障树逻辑信息表存放的是待选故障信息表中所有故障的故障字典，即诊断流程。把诊断流程中各个过程定义为各个节点，即 Node001, Node002, ……。可以把所有的节点分成三类：首节点、尾节点和过程节点。首节点为每个故障诊断的第一步，首节点只有一个；尾节点即结束节点，没有枝杈，通常是诊断结论和建议的内容；过程节点是诊断的中间过程，有二叉树的枝杈，诊断时需要进行“是”与“否”判断。

各测试节点信息表存放该节点的具体内容，如检测人员需要进行的检查，观察等信息。表中字段包括：子系统编号、故障编号、节点编号、节点描述 1、节点描述 2、节点图片和节点标志。其中，节点描述 1 是必须的，节点描述 2 是补充内容，可存放对应的操作提示或注意事项等内容。节点标志则用来区别首节点、过程节点和尾节点。在进行字典维护时，当输入节点信息并选择节点的类型后，程序自动添加节点标志字段(其中，1：首节点；2：过程节点；3：尾节点)。

4.2. 故障字典(诊断树)预览

为保证良好的人机交互性，专家系统软件中专门设计了故障二叉树显示设计，即对应二叉树结构的图形化显示功能。图 3 即为对应“××显示异常”这一故障现象，对应数据库所存储故障信息而得到的该故障

Table 1. Vehicle information table
表 1. 车型信息表(table_all_vehicles)

Vehicle_index (车型编号)	Vehicle_name (车型名称)	Vehicle_graph (车型图片)	Vehicle_drive (车型数据所在路径)
1	某型坦克		..\某型坦克
.....

Table 2. System information table
表 2. 系统信息表(table_lib_list)

lib_index (系统编号)	lib_name 系统名称)
1	××控制系统
.....

Table 3. Subsystem information table
表 3. 子系统信息表(table_subsys_list)

subsys_index (子系统编号)	subsys name (子系统名称)
1	××控制装置
.....

Table 4. Faults information table
表 4. 待选故障信息表(table_all_faults)

SubSys_index (子系统编号)	Fault_index (故障编号)	Fault_name (故障名称)	Fault_description (文字描述)	Fault_graph (图形描述)
2	1	××仪表显示异常
用户可任意添扩展				

Table 5. Fault tree logic information table
表 5. 故障树逻辑信息表(table_fault_trees)

SubSys_index (子系统编号)	Fault_index (故障编号)	Node_current (当前节点)	Node_next_ifyes (满足条件后的目标节点)	Node_next_ifno (不满足条件后的目标节点)
2	1	1	2	3
用户可任意添加扩展				

Table 6. Each test node information table
表 6. 各测试节点信息表(table_all_nodes)

SubSys_Index (子系统编号)	Fault_Index (故障编号)	Node_Index (节点编号)	Node_desc1 (文本描述 1)	Node_desc2 (文本描述 2)	Node_Graph (图片描述)	Node_remark (节点标志)
2	1	1	按屏幕四周的功能键, 有反应吗?			1
用户可任意添加扩展						

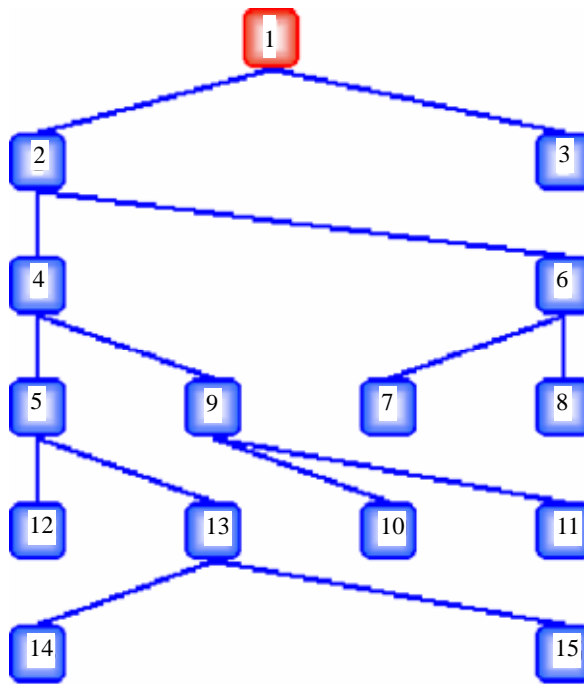


Figure 3. Fault dictionary (diagnosis binary tree) example
图 3. 故障字典(诊断二叉树)示例

的二叉树。图 4 则展示了故障树节点逻辑信息维护的方法。

5. 故障诊断推理

本系统故障诊断流程如图 5 所示。具体步骤如下：

- 1) 根据故障现象或特征，确定故障树首节点；
- 2) 将首节点确定为诊断当前节点，根据节点知识内容提示，判断故障原因；
- 3) 判断当前节点是否为故障树尾节点。否，转移到下一个子节点，并重复 2、3 步骤；是，则给出诊



Figure 4. Logic information maintenance interface of fault tree node
图 4. 故障树节点逻辑信息维护界面

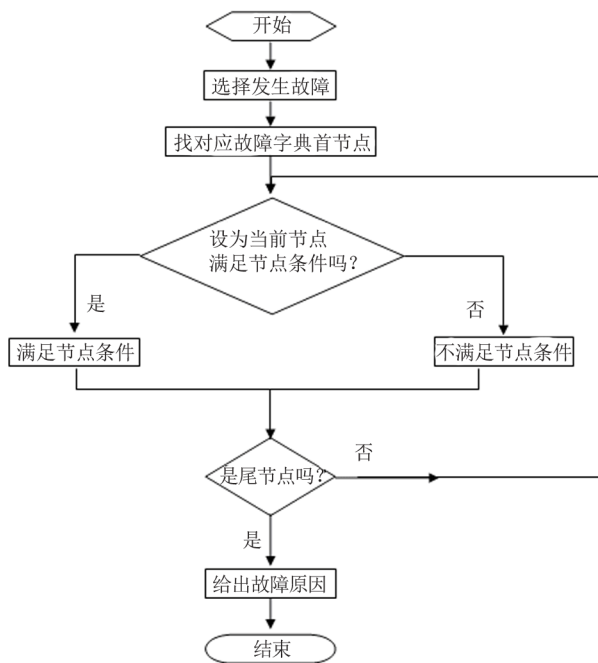


Figure 5. Fault diagnosis flow chart
图 5. 故障诊断流程图

断结果。

6. 总结

试用表明, 该系统知识存储结构简单, 扩展性强, 有利于系统调试、使用阶段的故障知识积累; 推理规则简洁清晰, 透明性好, 可满足装备综合电子系统故障的准确诊断、快速定位的需要。

参考文献 (References)

- [1] 杨兴, 朱大奇, 桑庆兵. 专家系统研究现状与展望[J]. 计算机应用研究, 2007, (5): 4-8.
- [2] 安吉永, 李应红, 苏长兵. 航空电子设备故障诊断技术研究综述[J]. 电光与控制, 2006, 13(3): 5-10.
- [3] 姜会霞, 孟晨, 杨锁昌. 基于模糊故障树和故障字典的导弹保障装备综合诊断方法[J]. 仪表技术, 2010, (6): 4-6.
- [4] 王学杰, 贺国, 陈连树. 基于二叉树的某型船柴油机控制系统故障诊断专家系统[J]. 中国舰船研究, 2009, 4(6): 34-37.
- [5] 汪子皓, 莫易敏. 基于故障诊断二叉树的内燃机车故障诊断专家系统, 2008, 29(5): 98-101.