



# 一种基于故障逻辑解释器的电源电路故障诊断模型

## 摘要

设计了一个基于故障逻辑解释器的电路故障诊断模型,结合传统的故障树分析方法和脚本语言分析方法的优点,以XML技术构造故障树,用脚本语言配合故障树节点的故障逻辑推理,为实现自动推理过程,创建了一个故障逻辑解释智能组件,对故障树和脚本语言进行解释,形成一套智能故障分析模型.在软件工程师实现软件系统后,建立、维护知识库及推理测试的过程只需电子工程师和录入员进行,分工明确.该系统方便灵活,在实际应用中,取得了良好的效果.

## 关键词

虚拟仪器;故障树;故障诊断;诊断策略

中图分类号 TP393.17;TM930

文献标志码 A

收稿日期 2014-12-13

资助项目 江苏省高校“青蓝工程”培养对象

作者简介

朱节中,男,硕士,副教授,主要研究计算机软件.zhujielong@126.com

1 南京信息工程大学 滨江学院,南京,210044

2 南京信息工程大学 电子与信息工程学院,南京,210044

## 0 引言

计算机技术在系统故障自动测试中已得到了很好的应用,但雷达系统供电电源的种类繁多,对于出现故障后的维修,一般维修人员难以解决.利用计算机进行电源故障测试主要先根据电源的实物图、原理图和PCB图等建立故障专家知识库,在电源出现故障后,利用计算机软件按照故障专家知识库的流程对其进行辅助测试,判断定位故障.

基于故障逻辑解释器的电路故障诊断方法的基本思想是先建立计算机专家库系统,计算机连接 GPIB(通用接口总线)接口卡,再通过 GPIB 标准总线连接各个智能仪表设备,如电流源、电压源、负载、数字示波器、数值万用表和输出设备等.这些数字智能仪表再通过被测对象适配器与被测对象(即 UUT)相连接,从而构成一个电路故障专家诊断测试平台.一个专家故障知识库的建立,不仅要求理论上的分析,而且要进行大量的实践测试,选用最好的方法、流程和数据建立专家库,进行辅助测试,判断定位故障,引导维修人员解决问题.

故障诊断方法主要研究系统组成单元诊断的先后顺序问题.传统的故障诊断方法存在故障原因处理没有区分,诊断程序固化,没有突出各故障原因发生的实际环境的差异,不能灵活修改专家库等缺点.文献[1-2]单纯使用故障树,研究了静态树和动态树的算法,故障推理死板,不能解决电路故障树中出现重复枝干的情况,故障树臃肿,需要实现故障树推理的程序代码编写工作量大,在故障树的解析时,程序和案例被捆绑一起,不具有通用性.另外故障树节点的判断不够灵活,需要其他技术方法补充.文献[3-4]中研究的采用脚本语言或流程实现故障推理,单纯使用脚本语言,建立推理流程相当复杂,结构性差,脚本语言和流程图本身正确性检查就是一个难题,编写对脚本的解释程序工作量大,不易实现大量推理规则.

本文针对以上方法的局限,提出了一种新的方法,通过对专家库系统的优化,使得推理系统的建立、使用、修正、维护和移植都很方便.

## 1 模型构思

在电子设备的故障诊断和维修实践中,积累了很多有用的诊断维修经验,可以进行广泛收集并整理成规则,建立规则库(产生式规则)<sup>[5]</sup>.建立规则库的另一个途径是通过设备的设计资料、技术说明

书、使用说明书、故障模式及危害度分析、安装调试记录及运行记录分析等建立规则,这样获取的规则相对更为可靠.此外,对于一些能够建立数学模型的故障分析方法,可以将其特征值、诊断结论,再辅以可信度值,即可形成一对有效的规则<sup>[6-7]</sup>.

基于规则推理的故障诊断方法是故障诊断技术发展的必然<sup>[8]</sup>.但基于规则推理的产生式系统在进行故障诊断时不是完美的,它也存在不足之处,因此在建立故障诊断系统时需要与其他诊断方法进行综合<sup>[9-10]</sup>.使用合理的方法建立规则库,并实现规则的推理尤为重要<sup>[11]</sup>.

通过 XML 故障树和故障树节点诊断流程代码共同形成故障诊断决策规则集.经过故障逻辑解释器对该规则集进行解释执行,实现故障诊断.在故障诊断时,电子技术人员可以根据实际情况随时对规则集进行改变,不需改变软件系统的程序代码.

图 1 为软件系统总体结构.它提供了一种基于故障逻辑解释器的电路故障诊断方法,包括 XML 故障树数据库、节点流程推理代码库、故障逻辑解释器、故障显示模块、性能指标采集单元等.

某一案例的故障推理规则实现是由用户建立的 XML 故障树,以及脚本语言编写的节点流程代码共同实现的.用依据 XML 建立的故障树为主干,以脚本语言编写的节点流程代码对该节点信息进行分析解释,实现故障推理.故障逻辑解释器不涉及某一具体故障推理,它是一个通用解释器,对故障树和节点流程代码进行解释.

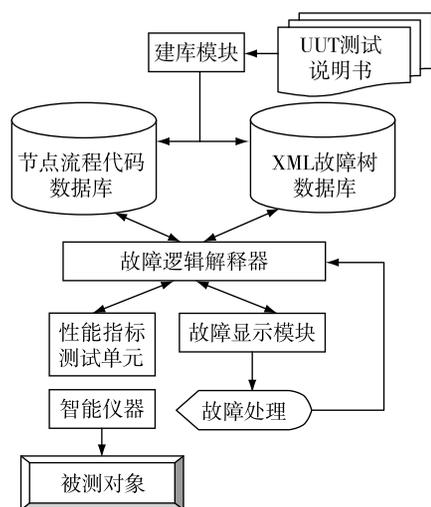


图 1 软件系统总体结构

Fig. 1 Overall structure of the software system

## 2 主要设计

模型中包括 3 个主要的模块设计,即 XML 故障树、故障树节点流程代码和故障逻辑解释器.

XML 故障树和故障树节点流程代码一起构成了故障推理规则和逻辑推理.故障诊断时,故障逻辑解释器负责对它们进行解释执行,形成故障诊断的推理流程.

### 2.1 XML 故障树的构建

XML 故障树信息库使用 XML 语言存储,故障树是故障推理的一种规则,是故障推理的原理,也是绘制可视化故障树视图的依据,用于存储用户从界面上绘制的故障树,故障树信息库中的信息可以转化为规则,然后存储于知识库中.

基于 XML 的故障树信息表例子如下:

```
<? xml version="1.0" encoding="UTF-8" ? >
<faultList>
  <fault id="10001" name="故障 1" info="232">
    <node name="1" type="volt" pcbID="12" schXY="121,40,121,32" pcbXY="1,4,23,45" patent="12" pIndex="2432" subnodesum="0" subnodeop="+" code="yes">
    </node>
    <node name="3" type="volt" pcbID="15" schXY="161,56,141,32" pcbXY="55,4,230,75" patent="12" pIndex="2343" subnodesum="0" subnodeop="+" code="yes">
    </node>
  </fault>
  <fault id="10031" name="故障 2">
    <node name="4" type="volt" pcbID="142" schXY="34,34,111,32" pcbXY="1,1,34,45" patent="12" pIndex="2432" subnodesum="0" subnodeop="+" code="yes">
    </node>
  </fault>
</faultList>
```

XML 代码中依次描述了节点编号 (node)、节点类型 (type)、电路板 ID (pcbID)、原理图位置 (schXY)、PCB 图位置 (pcbXY)、父节点号 (patent)、节点性能指标号 (pIndex)、子节点数 (subnodesum)、子节点运算符 (subnodeop)、是否有节点流程代码 (code).其中故障树中的节点编号、节点的父节点号信息、子节点数目用于存储故障树的拓扑信息.

故障树为最简树,去除了重复分支.重复分支的情况由故障树节点流程代码中的跳转语句优化,完成其所实现的功能.

## 2.2 故障树节点流程代码

节点流程代码使用自定义脚本语言的语句结构,包括以下语句块:

1) 分支语句使用 If (条件) then (执行语句块) End Else (执行语句块) End;

2) 多分支语句使用 Switch(条件) Case:(执行语句块) break; Case:(执行语句块) break; Default:(执行语句块) break; End;

3) 循环使用 While (条件) (执行语句块) End;

4) Goto (N 节点号) 或(L 代码行号);

5) Alarm(信息).

表 1 给出了节点流程代码数据库的存储实例.该实例是针对测试某电源电路板的节点号 200 和节点号 201 的测试代码.

表 1 节点代码  
Table 1 Node codes

行序号	节点	代码行	备注
1	200	If ( Volt1>4.5 and Volt1<5.5) then	判断节点性能指标(电压)
2	200	Alarm(电压正常)	显示信息
3	200	Goto N201	跳转到第 201 节点号
4	200	Else	
5	200	Alarm(电压不正常)	提示框
6	200	End	
7	201	If ( Volt24<3.5) then	
8	201	Goto L20	跳转到第 20 行
9	201	End	

每个故障树节点都有相应的流程语句提供自动判断故障,以及故障树的下一步的走向.避免故障树产生分支重复的现象,可在建立故障树时进行剪接、重复存储、重复显示等.

## 2.3 故障逻辑解释器

由故障树和节点流程代码组合形成了电路故障的推理机.故障逻辑解释器的功能,是用来依据 XML 建立故障树,和脚本语言编写的节点流程代码进行分析解释,实现故障推理.故障逻辑解释器不涉及某一具体故障推理,某一案例的故障推理过程实现由用户建立的 XML 故障树,以及脚本语言编写的节点流程代码实现.故障逻辑解释器是一个通用解释器.

在使用故障逻辑解释器后,使得本文设计的诊断模型可以实现软件代码与具体某个实例的故障规则和逻辑完全分离.

故障逻辑解释器的内部构造是使用 C++ 编写一个控件,并封装成 ActiveX 控件形式,方便程序调用,其中包括一个故障逻辑解释器类和一个 LEX 词法分析器类.LEX 词法分析器对脚本语言进行词法分析,以供故障逻辑解释器类对节点流程代码的解释执行.

## 2.4 算法实现

根据模型所设计的电路故障诊断方法的算法流程图如图 2 所示.

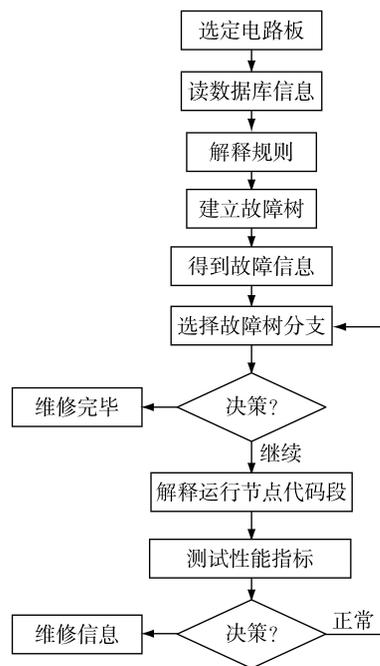


图 2 应用流程

Fig. 2 Flow chart of circuit fault diagnosis

1) 电子技术人员根据编制好的 UUT 测试说明书,即某一电路的故障推理流程卡片,绘制故障推理流程图.

2) 转换故障树和节点流程代码.

3) 将故障树、节点代码段、电路板 SCH 图、电路板 PCB 图、实物图和电路被测试点性能指标参数,通过自编的故障推理系统中可视化软件界面录入数据库,即图 1 中的故障推理专家系统中的知识库.

在进行故障维修时,主要由故障解释器对故障规则进行解释,引导维修人员进行故障推理及维修电路板(图 2).选择好相应的电路板型号,软件系统从数据库中调入相应的故障树和节点流程代码.

故障解释器解释规则,建立故障树,预处理节点代码流程代码段.测试员根据得到的电路板的故障

状态信息,选择故障树的分支,根据故障树的引导进行判断,故障逻辑解释器对节点流程代码的逐步解释.测试节点的性能指标值后,由节点流程代码段判断进入到故障树的哪个分支,或是何种故障,需要何种维修等信息.根据故障推理规则,经过故障解释器的反复解析引导,直到故障排除.最后系统给出排错报告.

在每次诊断结束后,要根据计算机专家库系统实际运行情况,对 UUT 测试说明书进行修正,并通过计算机专家库系统软件界面修改 XML 结构的故障树和节点流程代码,完善系统.

### 3 总结

本系统采取了新颖的设计方案,具有以下优点:

1) 软件通用性强,一劳永逸.开发完毕后,在电路模块改变时不需要修改系统软件代码,只要利用软件界面重新构建故障树,编写节点流程代码.

2) 故障推理规则的实现得到精简,故障树和节点流程代码都很简练.

本文所述的方法已在某型雷达电源测试台和雷达系统测试台软件研发过程中得到了应用.主要针对的电源模块有:整流电源、线性电源、开关电源和稳压单元,实践证明使用效果良好,减小了系统的诊断故障树的枝叶,增加了系统的灵活性.另外,该方法在智能测试中具有良好的应用价值.本文提出的方案适合于建立多个同类的故障诊断系统,值得在理论上进一步加以分析研究.

### 参考文献

#### References

- [ 1 ] 姜涛,周西峰,郭前岗. Win CE 平台下嵌入式故障诊断专家的设计[J]. 电子技术应用, 2011, 37(8): 36-38  
JIANG Tao, ZHOU Xifeng, GUO Qian' gang. An embedded fault diagnosis expert system based on WinCE platform[J]. Application of Electronic Technique, 2011, 37(8): 36-38
- [ 2 ] 陶勇剑,董德存,任鹏. 采用故障树分析诊断系统故障的改进方法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(1): 143-147  
TAO Yongjian, DONG Decun, REN Peng. An improved method for system fault diagnosis using fault tree analysis [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2010, 42(1): 143-147
- [ 3 ] 李志华,沈祖谟. 基于脚本语言的雷达故障诊断通用平台设计[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(4): 1021-1024  
LI Zhihua, SHEN Zuyi. Design of general test platform for RFDI based on description language [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(4): 1021-1024
- [ 4 ] 王胜文,张凤斌,郑纬民. 采用数据流图的故障模型生成算法及其应用[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(1): 118-121  
WANG Shengwen, ZHANG Fengbin, ZHENG Weimin. A generation algorithm and its application for fault model established with data flow graph [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(1): 118-121
- [ 5 ] 刘东,邢维艳,赵忠文,等. 动态故障树割序集分析的模块化方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(7): 10-11  
LIU Dong, XING Weiyan, ZHAO Zhongwen, et al. Modularization method for cut sequence set analysis of dynamic fault tree [J]. Computer Engineering, 2011, 37(7): 10-11
- [ 6 ] Pan H X, Huang J Y, Liu G M. Fault diagnosis of circuit board based on fault tree [C] // 10th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, 2008: 1666-1671
- [ 7 ] 袁静,胡昌华,徐瑞,等. 一类改进故障树分析法的可靠性仿真及应用[J]. 计算机应用研究, 2006, 23(11): 167-169  
YUAN Jing, HU Changhua, XU Rui, et al. Method and application of reliability simulation using improved fault tree analysis [J]. Application Research of Computers, 2006, 23(11): 167-169
- [ 8 ] 张红林,付剑,张春元,等. 基于同构节点的动态故障树分析方法[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(1): 1-4  
ZHANG Honglin, FU Jian, ZHANG Chunyuan, et al. Dynamic fault tree analysis method based on isomorphic node [J]. Computer Engineering and Design, 2011, 32(1): 1-4
- [ 9 ] 黄政庭,王仲生. 基于 DFT 的飞机电源网络化故障诊断方法[J]. 计算机工程, 2011, 37(24): 233-235  
HUANG Zhengting, WANG Zhongsheng. Networked fault diagnosis method of aircraft power supply based on dynamic fault tree [J]. Computer Engineering, 2011, 37(24): 233-235
- [ 10 ] 张红林,张春元,刘东,等. 一种适用于具有相互依赖基本事件和重复事件的动态故障树独立模块识别方法[J]. 计算机学报, 2012, 35(2): 230-243  
ZHANG Honglin, ZHANG Chunyuan, LIU Dong, et al. An identification method of independent module applying to dynamic fault tree with interdependent basic events and repeated events [J]. Chinese Journal of Computers, 2012, 35(2): 230-243
- [ 11 ] 陶勇剑,董德存,任鹏. 基于故障树的系统可靠性估计不确定性分析[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2010, 38(1): 141-145  
TAO Yongjian, DONG Decun, REN Peng. Uncertainty analysis of system reliability estimate based on fault tree [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2010, 38(1): 141-145

## A power circuit fault diagnosis model based on fault logic parser

ZHU Jiezhong<sup>1</sup> MEI Yong<sup>2</sup> ZHOU Xiaoyan<sup>2</sup>

1 Binjiang College, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 School of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** The traditional fault tree diagnosis and the script language analysis method are combined to design a circuit fault diagnosis model based on fault logic interpreter. The XML technology is employed to construct the fault tree, which is then reasoned logically by script language. An intelligent component for fault logic interpretation is created to explain the fault tree and the script language, all of which form a set of intelligent fault analysis model. After the successful software construction, the following establishment and maintenance of knowledge base and reasoning tests can be realized by electronic engineer and operator, which is clear in labor division. This power circuit fault diagnosis system is flexible and convenient in practical applications.

**Key words** virtual instrument; fault tree; fault diagnosis; diagnosis tactic