

基于 IEEE1232 的模拟电路 TPS 自动生成系统开发

王月海¹, 徐梦寒¹, 张宏斌¹, 冯建呈², 潘国庆²

(1. 北方工业大学 信息工程学院, 北京 100144;

2. 北京航天测控技术开发公司, 北京 100037)

摘要: 目前在模拟电路故障诊断及测试过程中存在两个问题: 测试信号的连续性及容差特性造成的测试信号数量巨大, 故障知识表示复杂, 测试程序 (Test Program, 简称 TP) 的编写多用基于决策知识的人工生成方法; 通过对 IEEE1232 标准的体系结构和诊断推理机要求的分析, 论文对 IEEE1232 模型体系进行扩充, 提出一种包含特征提取技术和多种 AI 诊断方法的诊断知识库生成协议, 设计并实现了符合 1232 标准知识库的 TPS 自动生成测试系统; 提高了诊断知识的移植性, 实现了 TPS 的自动生成; 仿真结果证明了该方案的可行性。

关键词: 模拟电路故障诊断; IEEE1232; 测试程序集生成

Development of Automatic Analog TPS Generating System Based on IEEE 1232

Wang Yuehai¹, Xu Menghan¹, Zhang Hongbing¹, Feng Jiancheng², Pan Guoqing²

(1. College of Information Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

2. Beijing Aerospace Measurement & Control Corp, Beijing 100037, China)

Abstract: Currently there are two problems in analog circuit fault diagnosis and testing process: test signal continuity and tolerance characteristics of the test signal caused a huge number of test signals, the representation of fault knowledge is complex, compile test program mostly based on the decision knowledge of artificially generated. To analysis the IEEE1232 standard architectures and the requirements of inference engine, this article expand the IEEE1232 model system for expansion, propose a diagnose knowledgebase generating protocol which contains feature extraction technology and various AI diagnostic methods, comply with 1232 standards diagnose knowledgebase design and implement the automatic analog TPS generating system. Improve the portability of diagnostic knowledge, achieve the TPS automatically generated. The simulation results demonstrate the feasibility of the scheme.

Keywords: analog circuit fault diagnosis; IEEE1232; generate test program set

0 引言

模拟电路故障诊断领域中由于模拟电路信号的连续性及容差性造成测试采样信号数量巨大, 智能诊断算法的应用越来越广泛使故障知识表示复杂, 难以移植或共享, TP 测试过程中结点选择多依赖于测试员的专家知识与经验。这些问题导致了多数 TP 的开发难以实现测试的自动化, 测试的准确率很难提高, 测试的通用性、移植性都较差。本文通过对 IEEE1232 标准的结构分析, 提出 IEEE1232 模型体系的扩展方案和诊断知识生成协议, 通过符合 1232 标准的推理机调用该协议与诊断知识库交互, 完成 TPS 的自动生成, 代替了原来基于决策知识人工生成 TP 的过程, 减少了对测试人员的依赖, 提高了 TPS 的通用性、移植性。

1 IEEE1232 标准

为了规范测试诊断过程和实现诊断知识的共享, IEEE 制订了全测试环境人工智能交换与服务标准 (Artificial Intelli-

gence Exchange and Service Tie to All Test Environments, 简称 AI-ESTATE 标准) ——也称作 IEEE1232 标准。该标准定义了诊断推理机、用户、测试信息知识库和传统数据库之间的接口, 主要定义了一系列形式化的数据格式与被测系统诊断信息进行交互。除了定义接口标准之外, IEEE1232 标准还包括形式化的数据规范集与接口函数来简化与规范测试系统之间的数据交换与访问方法。

1.1 IEEE1232 模型体系

1232 数据交换技术通过在符合 AI-ESTATE 标准的诊断系统中使用诊断数据和知识的标准表示帮助在无管理信息系统辅助下完成诊断推理机间知识库的交互。图 1 给出了 1232 标准用来规范该领域的数据和知识的结构。最顶层为通用元素模型 (Common Element Model, 简称 CEM), 它定义了 AI-ESTATE 域中诊断和测试设备的全部公用元素。CEM 模型下方是一组数据和知识模型, 它们构成了 CEM 的结构体系。该结构也可针对应用程序特定的推理需求进行增减^[1]。

从图 1 模型结构可以看出, 1232 标准对模拟诊断中应用越来越广泛的 SVM、BP 等 AI 诊断方法没有提供集成技术。随着人工智能诊断方法在模拟电路领域的推广, 现有的 AI-ESTATE 模型结构已不能满足测试需求。为此, 利用 AI-

收稿日期:2014-09-13; 修回日期:2014-10-17。

作者简介:王月海(1975-),男,山东莒南人,博士,副教授,主要从事计算智能和智能机器人方向的研究。

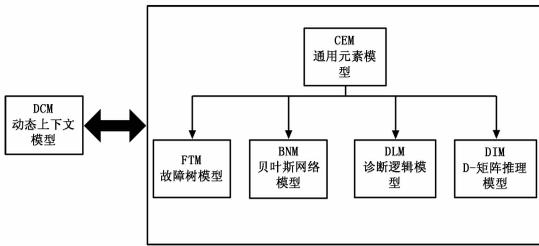


图 1 AI-ESTATE 模型结构层次

ESTATE 模型的扩充性, 提出包含 AIS 模型、BP 模型、SVM 模型的 AI-ESTATE 扩充模型结构。

1.2 AI-ESTATE 扩充模型结构

通过对 AI-ESTATE 模型结构的研究及模型的可扩充性, 我们提出图 2 所示的扩充方案。在 CEM 层的下层扩充了三种与该层模型并列的新模型——人工免疫系统模型 (Artificial Immune System Model, 简称 AISM), 神经网络模型 (Back Propagation Model, 简称 BPM), 支持向量机模型 (Support Vector Machine Model, 简称 SVM)。

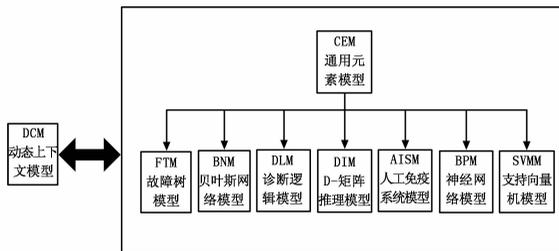


图 2 AI-ESTATE 扩充模型结构层次

下面为引用 BP 模型的伪代码与 BP 模型依赖元素的伪代码。

```

EXPRESS specification
*)
SCHEMA AL_ESTATE_BP;
  REFERENCE FROM AL_ESTATE_CEM;
(*)
EXPRESS specification
*)
TYPE Dependent Element=SELECT
(Back Propagation Test,
Back Propagation Diagnosis,
Back Propagation Fault,
Back Propagation Failure);
END_TYPE;
(*)

```

采用 AI-ESTATE 扩充模型结构进行智能诊断过程为: 选择诊断所用的主诊断模型 (SVM 模型、BP 模型、AIS 模型三种之一), 采集测试信号, 根据诊断算法约定及参数提取测试信号特征 (如小波基波, 分解层次, 系数选取方法, SVM 参数, AIS 参数等), 生成诊断知识 (训练时) 或给出测试结果 (诊断时)。由于 IEEE1232 标准没有明确规定特征提取方法及参数, 模型选择, 网络拓扑, 测点选取等细节, 导致 1232 标准难以推广到 AI 诊断算法。为此, 提出一套诊断知识

生成协议规定上述细节。

1.3 诊断知识生成协议

诊断知识生成协议明确规定了测试过程中特征提取方法及参数, 主知识模型选择, 网络拓扑, 测点选取等详细信息, 赋予了 1232 标准兼容 AI 诊断算法的能力。如图 3 所示, 诊断知识生成协议由一串二进制字符串组成, 特定位置二进制串的组对应知识生成协议中特定属性的状态。该协议可根据推理需求对任意字符串进行扩充与删减。

以调用选择 SVM 模型的标准诊断知识生成协议为例。自左边起, 首位为标示位 (S (standard) 表示调用标准诊断知识生成协议, E (extend) 标示调用扩充诊断知识生成协议)。除标示位后, 第 1 位表示是否采用 BP 模型 (1 采用, 0 不采用, 下同), 第 2 位表示是否采用 SVM 模型, 第 3 位表示是否采用 AIS 模型, 第 4-8 位表示 SVM 参数的个数, 9-11 位表示分解层次的层数, 12-14 位表示选用的波形, 15-17 位表示系数的选取方法, 18-30 位前 4 位表示具体的参数后 9 表示参数值。

由于需要调用仪器进行数据提取, 协议引入子字符串确定具体测试信息。1-3 位表示激励类型, 4-7 位表示测试所需仪器, 8-18 位表示具体仪器的具体仪器量程, 19-22 位表示仪器通道。

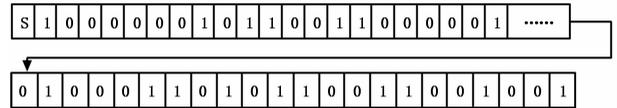


图 3 诊断知识生成协议

通过符合 IEEE1232 标准的诊断推理机调用一套规范的诊断知识生成协议, 实现了对实测数据的智能选择, 完成了与诊断知识库中数据的对比, 达到了功能测试与故障诊断的目的。

2 模拟电路 TPS 自动生成系统

诊断知识生成协议中规定了特征提取方法及参数、模型选择、通道选择等测试细节, 保证了测试程序能按照诊断程序同样的过程提取特征。符合 1232 标准的诊断知识库中保存了故障特征与故障的关系, 保证了测试程序能够完成故障诊断。诊断推理机调用该协议与诊断知识库实现交互, 完成了 TPS 的自动生成, 取代了以往的由决策知识人工生成 TPS 的过程^[2]。图 4 所示为 TPS 自动生成系统与训练阶段的关系框架。

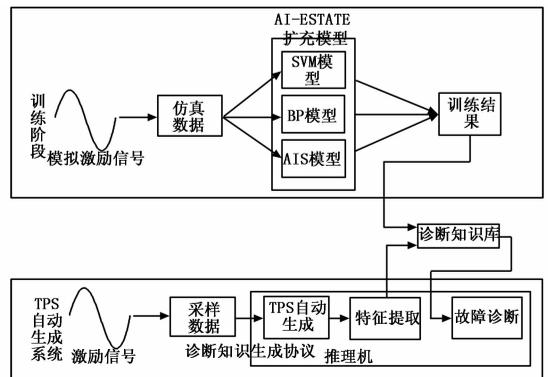


图 4 训练数据阶段与 TPS 自动生成系统的关系框架

系统采用基于 1232 的故障诊断技术，首先由推理机调用诊断知识生成协议生成 TPS^[3-4]，然后通过诊断知识库进行故障推理诊断服务，最后检测电路具体故障并得出结论。图 5 给出 TPS 自动生成系统流程图。

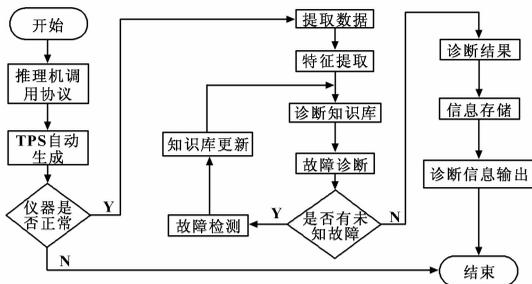


图 5 TPS 自动生成系统流程图

3 仿真与实验

为了证明该方法的可行性，采用图 6 所示的四运放高通滤波器电路作为诊断电路，注入到 UUT 的故障共 12 种见表 1。

表 1 四运放电路注入故障列表

| 故障序号 | 故障器件 | 故障类型 |
|------|------|------|
| F1 | C1 | H |
| F2 | C1 | L |
| F3 | R4 | H |
| F4 | R4 | L |
| F5 | C2 | H |
| F6 | C2 | L |
| F7 | R3 | H |
| F8 | R3 | L |
| F9 | R2 | H |
| F10 | R2 | L |
| F11 | R1 | H |
| F12 | R1 | L |

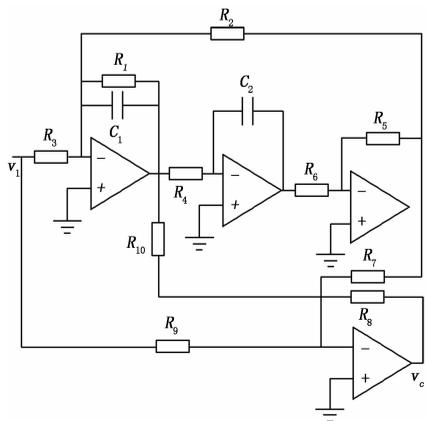


图 6 四运放高通滤波器电路原理图

激励信号采用幅度为 5 V，脉宽为 10 μ s 的脉冲电压，使用 p-spice 仿真软件对每种故障模式及正常模式各进行 50 次，共 650 次蒙特卡洛分析，其中 390 次进行故障模拟，调用 AI-ESTATE 扩充模型结构中的 SVM 模型，BP 模型，AIS 模型进行训练，260 次用来测试。推理机调用数据交换流程协议对实测数据进行提取，对该电路进行测试，实验结果见表 2。结果表明，与免疫算法和神经网络相比诊断率分别提高了 0.6% 和 5.4%^[5]。

表 2 本方法与免疫算法和神经网络的诊断率对照表

| 故障序号 | 免疫算法/(%) | 神经网络/(%) | TPS 自动生成/(%) |
|------|----------|----------|--------------|
| F1 | 92 | 86 | 92 |
| F2 | 89.5 | 89 | 90 |
| F3 | 87 | 92 | 92 |
| F4 | 96 | 82.5 | 94 |
| F5 | 88 | 75.5 | 90 |
| F6 | 86.5 | 62.5 | 88 |
| F7 | 89.5 | 87.5 | 90 |
| F8 | 90 | 86.5 | 90 |
| F9 | 89 | 90 | 88 |
| F10 | 87.5 | 89.5 | 90 |
| F11 | 86 | 85 | 84 |
| F12 | 86.5 | 87 | 88 |
| 平均值 | 89 | 84.4 | 89.6 |

4 结论

论文研究了在模拟电路测试中测试信号数量巨大，故障知识表示复杂，TP 的编写多用基于决策知识的人工生成方法的问题。对 IEEE1232 模型体系进行扩充，提出一种包含特征提取技术和多种 AI 诊断方法的诊断知识库生成协议，解决了模拟电路测试中测试信号数量巨大与故障知识表示复杂的问题。由符合 1232 标准的推理机调用诊断知识库生成协议与诊断知识库交互，实现了 TPS 的自动生成，解决了 TP 的编写多用基于决策知识的人工生成方法的问题。仿真结果证明该方法提高了故障诊断率，加强了 TPS 通用性。

参考文献：

[1] The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std 1232 - 2010. IEEE Standard for Artificial Intelligence Exchange and Service Tie to All Test Environments (AI-ESTATE) [S]. New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.

[2] 黄建国, 王雪锦. 基于 IEEE1232 协议的电路故障诊断软件开发 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

[3] 赵 鞭, 王国华, 唐俊等. 基于 AI-ESTATE 的远程故障诊断系统 [J]. 计算机测量与控制, 2010 (5): 974-977.

[4] 蔡 亮. 基于 IEEE1232 协议的电路故障诊断技术研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.

[5] 彭良玉. 基于小波分析和克隆选择算法的模拟电路故障诊断. 电子技术学报, 2007 (6): 22-6.