

基于虚拟测试仪器的诊断技术及在 VMTS 中应用

史永胜, 祖以慧

(中国民航大学 航空工程学院, 天津 300300)

摘要: 故障诊断是一门交叉学科, 广泛应用于各个领域, 在飞机维修虚拟训练系统 (VMTS, virtual maintenance training system) 平台上, 提出基于虚拟仪器进行测试、故障定位的仿真训练策略, 构建了基于需求的虚拟测试仪器模型框架, 并在 VMTS 系统中得到应用; 通过虚拟测试仪器与推理模块协同配合的方法解决了维修虚拟训练过程中普遍存在的故障诊断类型套路化问题, 并且能够完成复杂状态下的故障诊断任务, 满足各种故障诊断训练要求, 最后以尾桨故障诊断为例, 证明该方法的可行性。

关键词: 虚拟仪器; 故障诊断; 模块化; 虚拟维修; 训练系统

Diagnostic Techniques Based on Virtual Test Instrument and Its Application in VMTS

Shi Yongsheng, Zu Yihui

(College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In this paper, on the basis of the Virtual Maintenance Training System platform, it presents a simulation training strategy which is based on virtual instrument testing and fault location, builds a virtual test instrument model framework and applies in VMTS. Virtual testing instrument coordinates with inference modular solves the routine problems of fault diagnosis in the process of virtual maintenance training system, and it can complete fault diagnosis task in the complex state and meet the requirements of various diagnostic training. Finally, it demonstrates the feasibility of the method which takes a tail rotor fault as an example.

Keywords: virtual test instrument; fault diagnosis; modularization; virtual maintenance; training system

0 引言

维修虚拟训练技术的发展已经历了虚拟环境下的认知学习、操作仿真训练等阶段, 现正朝着将基于可视化技术的虚拟诊断方法纳入到虚拟训练过程中^[1-2]。本文在直升机维修虚拟训练系统基础上, 提出了基于需求的虚拟仪器技术与推理机相结合的故障诊断思想, 旨在机务日常训练中能够真实地模拟常见故障, 然后通过计算机上模拟维修操作增强机务人员对操作流程的熟悉程度, 提高维修人员的理论水平和操作能力。基于需求的虚拟仪器设计改变了传统仪器功能的单一性和不可更改性, 是一种柔性、可重构的虚拟仪器设计, 采用面向对象语言 C++ 和面向对象的设计方法进行开发,

它强调的是不仅可以重构与现实仪器功能相似的检测仪, 同时用户也可以根据检测需求定义个性化功能, 建立与现实仪器面板相似的软面板, 即谓为“软件即仪器”^[3]。虚拟维修系统的故障诊断过程中以推理机为核心, 以虚拟仪器检测为辅助工具, 完整的模拟现实环境排除故障的过程, 促使维修从经验维修到科学维修的转变^[4]。

1 系统结构及原理

维修虚拟训练系统是为了模拟现实维修的过程从而提高维修人员的操作技能, 为了更加逼真的模拟现实排除故障过程, 我们针对系统某一故障现象采用虚拟仪器与推理机结合的方式进行故障诊断。实现这一思想主要涉及两个问题: 第一, 在确定需要检测的节点后, 检测该节点的虚拟仪器是否已经存在, 如果不存在如何解决; 第二, 虚拟仪器与推理机怎么配合进行诊断, 系统是如何运行的。为了解决第一个问题, 我们设计了一套虚拟仪器开发平台, 它具有可视化、交互图形界面控制按钮进行各种仪器功能设计, 用户可根据检测需求直观地构造虚拟仪器, 完成对被测试对象的数据分析处理, 数据存储, 结果显示等功能。整个过程如图 1 所示。第二个问题的解决办法是当虚拟仪器检测时, 应用程序会读取系统数据库该节点的信息, 通过数据分析模块进行对比、计算等分析返回数据, 同时反映到虚拟仪器的面板上, 依据相应数据, 进行推理。

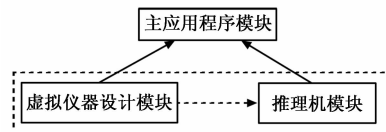


图 1 系统总体模块关系

收稿日期: 2014-09-01; 修回日期: 2014-09-30。

基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国民用航空总局联合资助 (61179048); 天津市支撑计划项目 (11ZCKFGX04100); 中央高校项目 (ZXH2012D003)。

作者简介: 史永胜 (1965-), 男, 辽宁锦州人, 博士, 教授, 主要从事结构智能化设计、故障诊断与结构修理、专家系统及知识表示方向的研究。

2 模块化设计

在 VMTS 中, 为了使系统易于修改和扩展, 以及各个功能部分更加独立, 系统采用模块化设计方法, 整个系统主要分为主应用程序模块、虚拟仪器设计模块和推理机模块, 主应用程序模块的作用主要是通过调用各个模块的接口函数协调模块

之间的合作, 以及对系统的资源进行可视化管理。本小节主要介绍虚拟仪器设计和推理机模块。

2.1 虚拟仪器设计模块

虚拟环境下测试仪器的设计依赖于用户的需求分析, 用户的需求分析是软件开发的基础, 也是核心步骤之一。通过函数库、元件库、以及需要的辅助资源库的组合可构成不同的功能模块, 每一个功能模块包括一种功能, 各个功能模块用户可根据需要自行设计, 最终构成需要的成品。图 2 是虚拟仪器设计的原理图。

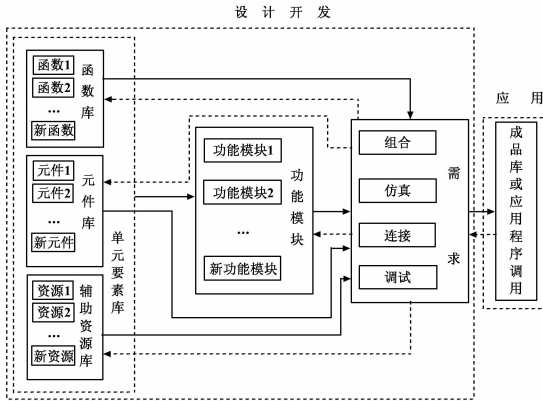


图 2 虚拟仪器设计原理图

由图 2 可见, 从要素到仪器成品的设计过程主要分为 4 个部分, 分为单元要素库、功能模块、“仪表需求”最后形成完整的产品。函数库、元件库以及辅助资源库作为单元要素库, 每一个功能模块都是由以上三部分构成。函数是定义在元件以及其他资源之上的动作, 函数库不仅包含常用的函数, 也要包含各个领域的适应不同仪器的函数。元件库包含各种以软件形式存在的虚拟仪器和控制元件。虚拟仪器包括示波器、相位仪、扫描仪、电压表等上百种仪器; 控制元件包括量程开关、波段选择开关、旋钮等。辅助资源包括增强虚拟效果的资源如声音警报、指示灯显示等通用资源。

设计人员或用户将各个功能模块与单元要素库按照实际需要的逻辑关系或技术要求进行重组、装配, 并进行相应的连接、调试, 集成为一个功能齐全的成品虚拟仪器。两种模式如图 3 所示。

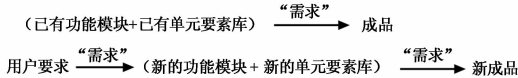


图 3 两个方向设计框图

2.2 推理机模块

推理机是在虚拟维修训练系统中故障诊断的重要手段, 而在推理机中知识库是其核心部分。故障知识库是根据实装的结构以及工作原理, 分析出常见故障的原因所建立的知识树, 系统采用基于故障树的可视化推理机设计, 知识以故障树的形式表现出来, 故障树的清晰的层次结构使用户能够直观的看到子事件与顶事件的因果关系。当故障已经生成时, 推理机读取故障知识库从而建立故障树, 从故障知识库中寻找对推理过程有推动意义的叶子节点, 采用广度优先搜索正向推理的控制策略, 从底事件逐步推理到顶事件, 进行故障定位和排除。此外, 推理中引入最小割集重要度概念, 用户可根据最小割集重

要度选择最先测量的节点, 也就是最有可能导致顶节点发生的测量点, 进而缩短故障定位时间。

推理机接收虚拟仪器检测结果, 结合推理知识, 逐步进行推理。例如, 如果推理机接收的是数字信息, 则判断该数值是不是在正常区间, 系统根据其正常与否对故障树节点进行涂色。如果所检测点是故障节点, 系统会将非正常值标识递给推理机, 推理机获得该值, 进行回溯, 完成推理过程。

虚拟仪表设计和推理过程涉及的主要数据表以及之间的关联如图 4 所示。

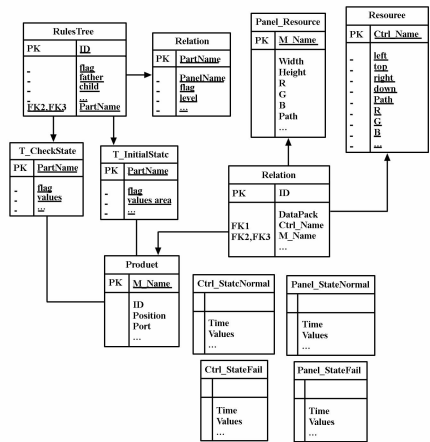


图 4 数据库模型图

推理机根据知识库 RulesTree 的规则进行推理, 在后台数据库需要有两张表 T_CheckState 和 T_InitialState, T_InitialState 是叶子节点数据信息已知的数据表, 是推理的条件, 推理之初系统会查询这张表, 根据知识库中节点的逻辑关系判断其父节点的信息。T_CheckState 是叶子节点信息未知的数据表, 也就是需要虚拟仪表需要测量的节点, 当推理到需要测量的节点信息时, 系统会读取 T_CheckState 表的数据, 通过数据分析模块进行汇总和分析得出检测结果, 传递给推理机继续推理, 同时, 将该节点的记录加到 T_InitialState 表中, 此做法目的是为推理机自动推理模式服务。

虚拟仪表的数据表主要是存放虚拟仪表参数, 虚拟仪器参数有很多种, 与虚拟仪器控制相关的参数, 虚拟仪表自身的属性参数, 与分析模块相关的参数等, 根据这些参数的特点分为三类: 固有属性参数、选择量和数字量。

固有属性参数指仪器使用条件和注意事项等, 包括环境、温度、电压等。

选择量指参数值在已知参数数量中选择, 如量程的选择, 旋钮和滑块度的调节。

数字量指参数值在某一区域内不断波动的量, 如曲线的峰值。

3 虚拟故障定位与排故工作原理

在虚拟维修训练系统中, 当故障生成后, 推理机根据故障现象运行内部推理机制, 根据已有的信息与知识库进行匹配和触发给出诊断结果, 当推理到未知节点影响了推理机进程时, 用户需根据节点属性选择合适的虚拟仪器进行检测, 如果没有在成品库中没有合适的虚拟仪器, 用户需根据检查需求设计一套仪器, 该虚拟仪器将检测后的值传给推理机。故障定位后, 在虚拟场景中进行可视化虚拟拆装和更换。更换新零件后, 操

作者根据系统运行状态判断故障是否已经排除，整个过程如图 5 所示。

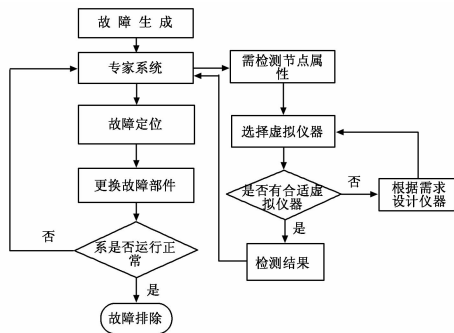


图 5 故障定位与排查过程逻辑图

当发现功能性故障时，维修人员在故障定位以后，借助专业的维修工具，根据部件的结构和逻辑关系进行虚拟拆装和更换，然后重新对系统进行功能检测和性能检测，直到所有功能完好。虚拟仪器与推理机结合的过程可分为三部分，配置仪器参数、数据分析模块和推理诊断。虚拟仪器与推理机协同完成故障诊断过程如图 6 所示。

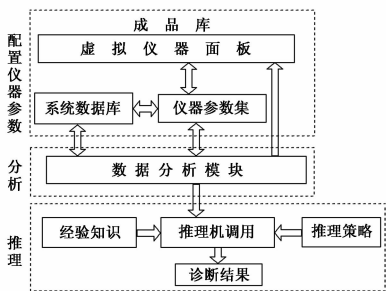


图 6 两者协同配合过程图

在图 6 中，虚拟仪器面板为逻辑最上层，用户通过配置虚拟仪器参数实现虚拟仪器功能的使用。仪器参数集位于仪器面板与数据分析模块的中间位置，是仪器面板与数据分析模块的桥梁。数据分析模块根据所获得的输入参数，连接系统数据库，进行相应分析计算。分析方法如阈值比较、对比分析、功能检测等，计算结果即为仪器输出的检测结果。该结果以推理机可以接收的参数形式，同时，在反馈到虚拟仪表面板上。用户不仅可以看到检测结果，同时可以看到仪表的运行仪表的运行状态。整个过程需要的部分函数如下：

```
void SelectShowDlg(CRect rect, COLORREF panel_clr, CString
folderName, CString DBName);
void SetStr(CString leafStr);
//获得已知叶子节点的值传递给推理机,所有已知叶子节点的值以
字符串的形式传参
void ShowInference(void);
//推理机模块封装在 DLL 内,在接受叶子节点后显示推理机主
界面
void CheckLink(bool Check);
//被测对象与虚拟仪器连线检测函数,只有当参数为 true 时代表
连线正确,检测动作才可以进行。
void SetState(CString state);
//该函数接收检测结果,更新仪表反映。
```

4 应用实例

以直升机尾桨故障为例进行虚拟仪表诊断分析。首先，驾

驶舱产生振动响应的同时仪表参数也不正常，反映在模拟实物的仪表面板上，维修人员可以根据经验直接进行排故分析，或采用推理机进行辅助诊断分析，这里采取推理机辅助诊断。在推理机界面，选择匹配度高的故障现象，采取手动推理诊断，在推理的过程中，维修人员需要检测部件的振动频率和以及观察仪表的压力值，根据用户的需求分析利用软件开发平台设计的多功能仪表，该仪表不需要输入任何参数，直接读取被测对象的数据显示在仪表上，系统读取后台数据库中的数据，检测值传给推理机，故障定位后，选择合适的拆卸工具在虚拟场景中进行虚拟拆装更换旧的零部件，如图 7 所示，重新观察仪表面板的各个参数，直到系统正常运行，完成故障诊断的过程。

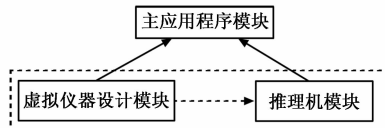


图 7 虚拟交互式拆装

4 结论

本文以虚拟维修训练系统中的故障诊断为背景，提出了基于需求的虚拟仪器技术，系统通过调用不同的功能模块组成不同功能的检测仪，极大地降低了系统研究和制作成本。虚拟仪器技术与推理机结合的思想在 VMTS 中故障诊断模块中得到了很好的应用也收到很好的培训效果，同时该思想对其他领域的故障诊断也有很好的借鉴意义。

参考文献：

- [1] Jose G M, Angel A A, Marta F G. Training of differential diagnosis of dissociative disorders with virtual reality simulations effectiveness and usability [A]. ICCE [C]. 2012, 432-434.
- [2] Julia C, Jaime R, Angélica D A. Applying a student modeling with non-monotonic diagnosis to Intelligent Virtual Environment for Training/Instruction [J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41 (2): 508-520.
- [3] 李云飞, 陈小平. 一种可复用虚拟仪器软件的设计方法 [J]. 仪器仪表学报, 2008, 29 (2): 349-353.
- [4] 谢辉军, 丑力. 基于故障树的短波通信虚拟维修训练系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (6): 1495-1497.
- [5] 杨磊, 李海涛, 杨乐平. 基于参数的虚拟仪器设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2004, 12 (9): 891-894.
- [6] 李博. 基于虚拟仪器技术的故障诊断专家系统的实现 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (7): 1258-1260.
- [7] Aguirre I J O, Ruiz M B, Diaz J I S M. Platform for testing and measuring Based on Virtual Instrument [J]. IEEE-RITA Latin American Learning Technologies Journal. 2013, 143-151.
- [8] 朱东方, 苏群星, 刘鹏远, 等. 虚拟维修仿真模型实时交互控制方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (2): 403-405.
- [9] 沃兆铭. 基于 NI 虚拟仪器技术的多种速度传感器信号检测系统的设计与实现 [J]. 仪表技术, 2014 (3): 31-33.
- [10] 刘瑾, 杨海马, 张菁. 虚拟仪器在变压器故障诊断中的应用 [J]. 自动化仪表, 2010, 31 (10): 16-18.
- [11] 扶碧波等. 虚拟仪器软件开发方法研究 [J]. 计算机应用, 2002, 29 (3): 40-43.
- [12] 秦树人. 虚拟仪器——测试仪器从硬件到软件 [J]. 振动. 测试与诊断, 2000, 20 (1): 1-6.