

多信号模型在虚拟故障建模与仿真中的应用

矫永康, 李小民, 毛琼

(军械工程学院 无人机工程系, 石家庄 050000)

摘要: 在分析虚拟维修训练需求和故障机理的基础上, 提出基于多信号模型的电子装备故障建模方法, 研究了虚拟环境中故障数据生成与实时检测、故障现象模拟及仿真运行流程等问题; 在 VC++ 环境下开发虚拟仪表, 并借助实时通信模块获取 Virtools 环境中虚拟样机上的测试信号; 最后, 在 Virtools 中实现了某型无人机飞行指挥与控制系统故障建模与仿真, 验证了该方法的可行性; 多信号模型可以完整地描述故障的传递轨迹, 高效、灵活地构建故障机理模型, 为受训人员提供了一个实施诊断逻辑的良好训练环境。

关键词: 故障建模; 多信号模型; 虚拟维修; 虚拟仪表

Application of Multi-signal Model in Virtual Fault Modeling and Simulation

Jiao Yongkang, Li Xiaomin, Mao Qiong

(Department of UAV Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Based on the analysis of the demand of virtual maintenance training and failure mechanism, the method based on multi-signal modeling for electronic equipment is put forward. The paper researches the problems of fault data generation and real-time detection, simulation of fault phenomena and flow of simulation running model in virtual environment. Virtual instrument developed in the environment of VC++ is used to get the test signal of virtual prototyping with the real-time communication module. Finally, a certain type of UAV command and control system fault modeling and simulation is achieved in Virtools, which verifies the feasibility of the method. The multi-signal model can describe the track of fault transfer completely and construct fault mechanism model efficiently and flexibly. It provides a favorable maintenance environment for implementation of logic diagnosis.

Key words: fault modeling; multi-signal model; virtual maintenance; virtual instrument

0 引言

当前大多数的虚拟维修训练系统^[1]偏重于对机械设备的拆卸与安装过程, 而电子装备最常见的“致命”故障往往不是机械故障, 而是电气故障, 目前对电气故障排除过程的重视程度不足。针对这一现状, 本文提出了电子设备虚拟维修训练中故障建模与仿真的技术方案, 解决了实时生成故障现象和故障数据的问题, 使训练人员能够实施其真实的诊断逻辑或操作过程。

1 建模分析

1.1 虚拟维修训练需求分析

在进行故障诊断的虚拟维修训练过程中, 故障现象是训练人员需要获取的第一手资料, 是对故障进行分析定位的切入点; 在故障排除的过程中也必须对可能发生故障的部位进行检测, 以判断部件状态, 定位故障源。

1.2 故障机理分析

虚拟维修训练不仅需要逼真的人机界面, 更重要的是建立一个能够产生故障现象并且输出可测故障信息的故障机理模型。

虚拟维修训练的理想模式是在装备的虚拟样机上进行, 但

这种模式受成本、信息支持等方面的限制, 实现比较困难; 专家系统、故障树等知识系统, 只能做到“现象”模拟, 测量点有限且操作的灵活性差^[2]。多信号模型是一种故障信号传播模型, 描述了故障发生时的故障现象和测量数据, 可以高效、灵活地构建电子装备的故障机理模型^[3]。因此, 本文基于多信号模型提出一种面向信号的电子装备故障建模方法。

2 基于多信号模型的故障建模

基于多信号模型的故障仿真可以获取在某一故障原因时装备的故障征兆和测试结果, 这就为装备故虚拟维修训练过程中的故障建模提供了技术支持。它以子系统框图的形式表示系统结构, 以信号流程的形式表示系统组成单元之间的连接关系和信号传播方向, 既适用于单故障系统, 也适用于多故障系统。

2.1 多信号模型

多信号模型^[4-5]的基础是对系统功能特性和模块特殊属性的建模。模型中的信号是指表征系统或其组成单元的特征、状态及参量, 既可以是定量的参数值, 也可以是定性的特征描述, 并且能够区分为正常和异常两种状态, 相应的测试结论为通过或不通过。

2.2 建模前提^[6]

本文故障建模的前提是:

- (1) 系统部件只有正常和故障两种状态;
- (2) 故障单元与其他组成单元之间仅存在故障关联关系;
- (3) 对于多输入部件, 只要其中任何一个输入存在故障, 则认为该部件是故障状态; 当且仅当所有输入均正常时, 该部件状态才正常。

收稿日期: 2013-12-26; 修回日期: 2014-02-17。

基金项目: 十二五装备预研项目(51325056101)。

作者简介: 矫永康(1988-), 男, 山东烟台人, 硕士研究生, 主要从事无人机虚拟维修训练系统仿真方向的研究。

2.3 建模步骤^[7]

(1) 构建系统结构模型:

建立模块之间的信号连接关系, 得到故障源集合 C 。

(2) 添加故障模式:

设置底层测试单元的故障状态, 忽略不会造成系统故障的故障模式和那些发生概率极小的故障。

(3) 添加信号测试点:

信号测试点是故障模型中用来检测信号的测试位置, 根据实际装备故障诊断测试点的位置和具体故障诊断的需要来设置。故障模型的全部信号测试点构成测试点集合 TP 。由信号的特性决定了信号测试点与测试信号的一对一关系, 对应于测试点集合有信号集 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 和测试集 $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$, 其中 T_i 表示在 TP_i 处测试信号 s_i 。

(4) 添加测试单元的系统功能:

为测试单元添加系统功能的目的是建立故障模型中各个测试单元与系统功能之间的依赖关系。如表 1 所示, 建立测试单元与系统功能的对应关系表。

表 1 测试单元与系统功能的对应关系

	C1	C2	C3	C4
功能 F1	√	—	√	—
功能 F2	—	√	√	√
功能 F3	√	—	√	√

(5) 生成故障测试依赖矩阵:

依赖矩阵表示的是测试与故障之间的依赖关系。依据测试单元与系统功能的对应关系表建立依赖矩阵 D , 将故障模型的故障关联关系推理转化为数学问题。依赖矩阵的数学描述如下:

$$D_{m \times n} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

在依赖矩阵中,

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & T_j \text{ 与故障 } F_i \text{ 相关} \\ 0 & T_j \text{ 与故障 } F_i \text{ 不相关} \end{cases}$$

3 故障仿真

故障仿真是利用系统故障模型的正向模拟过程, 即从故障源生成相应的故障现象和故障数据。

3.1 故障数据生成

根据系统故障模型, 在正常工作状态下, 测试单元均为正常值。当发生故障时, 其中一些测试点将测得故障数据。本文首先假设某测试单元为故障源, 并引发某功能失效, 以该测试单元作为起点, 以该条信号流的末端作为终点, 根据信号流程以及测试单元与系统功能的对应关系, 认为该信号流上的测试单元均是故障点, 获得其当前的故障状态信息, 从而生成故障数据。

3.2 故障数据的实时检测

如何在虚拟环境下测得故障数据是整个故障诊断训练的关键。现实中故障数据的检测主要依靠万用表、示波器等相关检测设备来完成, 针对于虚拟维修训练, 本文拟采用虚拟仪表从系统故障模型中实时获取故障数据。

虚拟仪表在 VC++ 环境编译完成, 可以模拟真实仪表的功能来检测和显示故障数据。然而, 本文的虚拟维修训练在 Virtools 环境中展开, Virtools 自带的网络模块只能在 Virtools 软件环境下发挥作用, 无法与其他软件平台进行信息交互。因此, 必须在 Virtools 与 VC++ 软件平台间搭建桥梁完成通信, 才能实时获取故障数据。为解决这一问题, 本文利用 Virtools SDK 开发了实时通信模块来实现数据传输, 包括串口初始化、消息接收和消息发送三部分, 如图 1 所示。

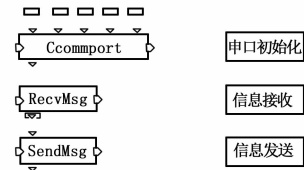


图 1 实时通信模块

3.3 故障现象模拟^[8]

故障现象主要包括装备显示屏或信号灯报警、功能中止、功能结果异常等。在虚拟环境中通过声音、图像和动画等方式能较好地可以实现故障现象的再现。

(1) 声音模拟:

声音模拟主要包括对装备不同运行状态下噪声模拟及各种报警声音的模拟, 提供听觉上的“真实感”, 给受训人员传达装备运行的状态信息, 增强其分辨装备是否发生故障的能力。声音模拟的实现主要依靠 Virtools 中 Wave Player 行为模块, 它可以控制声音的播放。

(2) 异常功能结果模拟:

异常功能结果的模拟主要是针对指令传输不正常、按键无反应、指示灯显示异常等方面进行的模拟, 利用各种图像和动画对功能结果进行模拟, 有利于受训人员及时的发现故障现象, 并以此为切入点展开排查训练。

3.4 仿真运行流程

故障仿真运行流程如图 2 所示。用户通过操作界面点选故障源后, 交互信息管理响应其操作, 启动故障库、故障数据库和故障现象脚本库, 从中选取相应的装备三维实体模型和故障现象脚本, 尔后将故障数据库中相应的故障数据和故障现象仿真脚本加载到装备三维实体模型中, 得到最终的故障模型。

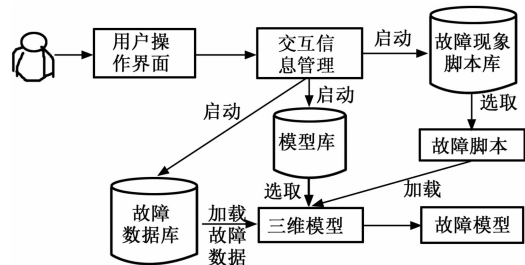


图 2 故障仿真运行流程

4 实例开发

4.1 飞行指挥与控制系统故障模型

本文以某型无人机飞行指挥与控制系统为例, 进行该方法的验证。常见的故障源为: 操纵台按键, 操纵台控制器, 实时处理计算机, 连接导线。指令按键按下后综合显示计算机上无

指令输出显示是系统常见的故障现象, 本文以该常见故障为例建立飞行指挥与控制系统的故障模型, 如图 3 所示。

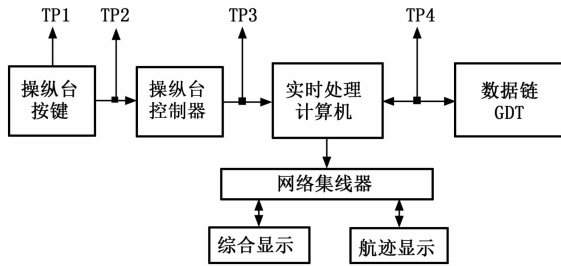


图 3 飞行指挥与控制系统故障模型

飞行指挥与控制系统故障模型的要素如下:

(1) 故障源集合 $C = \{C_1, C_2, C_3\}$ 。 C_1 为操纵台按键, $SC(C_1) = \{s_1, s_2\}$; C_2 为操纵台控制器, $SC(C_2) = \{s_3\}$; C_3 为实时处理计算机, $SC(C_3) = \{s_4\}$ 。

(2) 信号测试点集合 $TP = \{TP_1, TP_2, TP_3, TP_4\}$, 见图 3 中的黑色信号测试点。 $SP(TP_1) = \{T_1\}$; $SP(TP_2) = \{T_2\}$; $SP(TP_3) = \{T_3\}$; $SP(TP_4) = \{T_4\}$ 。

(3) 与故障案例相关的独立信号集 $S = \{s_1, s_2, s_3, s_4\}$ 。其中 s_1 为操纵台按键损坏情况; s_2 为按键电源线电压值; s_3 为操纵台控制器输出遥控帧; s_4 为实时处理计算机输出遥控帧。

(4) 测试集合 $T = \{T_1, T_2, T_3, T_4\}$ 。 T_1 为操纵台按键损坏情况测试, $ST(T_1) = \{s_1\}$, 按键按下后电平改变时测试通过, 反之不通过; T_2 为按键电源线电压值测试, $ST(T_2) = \{s_2\}$, 电压值为 12 V 测试通过, 反之不通过; T_3 为操纵台控制器输出遥控帧测试, $ST(T_3) = \{s_3\}$, 输出遥测帧“EB90...55...”测试通过, 反之不通过; T_4 为实时处理计算机输出遥控帧, $ST(T_4) = \{s_4\}$, 输出遥测帧“EB90...55...”测试通过, 反之不通过。

飞行指挥与控制系统故障模型在仿真运行时, 通过模型控制信号管理 4 个故障源的工作模式 (正常或故障), 并由虚拟仪表从信号测试点输出测量数据。受训者通过测量数据推断故障产生的原因, 进而排除故障。

4.2 Virtools 中故障仿真实现

(1) 故障现象仿真脚本设计:

在 Virtools 中故障现象的表现主要依靠脚本编写实现。 Show BB (Building Block) 和 Hide BB 实时控制显示屏和指示灯的纹理; Replace Rendering BB 控制报警灯的闪烁; Wave Player BB 控制声音的播放。利用以上的 BB 组合, 编写故障现象的脚本程序。如图 4 所示。

(2) 基于虚拟仪表的故障数据测试:

(上接第 1602 页)

参考文献:

[1] 王勇, 朱华, 王永胜, 等. 煤矿救灾机器人研究现状及需要重点解决的技术问题 [J]. 煤矿机械, 2007, 28 (4): 107-109.

[2] 朱建国, 李科杰, 高峻峤. 煤矿探测与救援机器人分布式控制系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, (11): 2686-2688.

[3] 李允旺, 葛世荣, 朱华, 等. 煤矿救灾机器人隔爆壳体的设计与加工 [J]. 煤矿机械, 2009, 30 (2): 104-106.

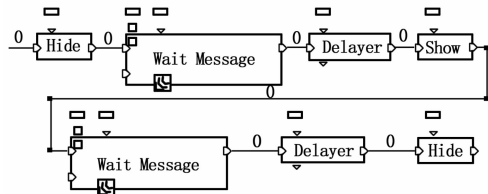
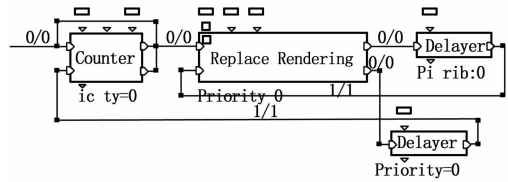


图 4 故障现象脚本程序

本文以 VC++ 环境开发的虚拟仪表为检测工具, 借助自主开发的实时通信模块, 完成对虚拟样机上故障数据的获取。每个测试点均包括正常与故障两组数据, 并存储于 Virtools 中的 Array 阵列中。在故障仿真时, 通过脚本设计有选择地改变信号流程上测试点的当前数据。

5 结论

文章从工程角度提出了基于多信号模型电子装备故障建模方法, 建立了系统的故障模型, 并解决了测试数据的生成与实时检测问题, 最后以某型无人机飞行指挥与控制系统为例, 验证了该方法的可行性。

参考文献:

[1] 郝建平, 蒋科艺, 王松山, 等. 虚拟维修仿真实理论与技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.

[2] 朱元昌, 邸彦强, 全厚德. 通用雷达装备模拟训练系统及其关键技术研究 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17 (11): 2633-2637.

[3] 赵春宇. 电子装备故障诊断虚拟训练技术研究与应用 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2009.

[4] 贾晨星. 电子装备模拟训练系统机理建模方法研究与应用 [D]. 石家庄: 军械工程学院, 2011.

[5] 林志文, 贺喆, 刘松风. 基于多信号模型的系统测试性分析与评估 [J]. 计算机测量与控制, 2006, 14 (2): 222-224.

[6] 刘颖, 朱元昌, 邸彦强. 面向维修训练的故障建模、仿真与评估 [J]. 计算机工程, 2007, 13 (33): 245-247.

[7] 王红霞, 叶晓慧, 田树新. 复杂电子装备故障诊断建模方法研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2007, 6 (29): 62-64.

[8] 王上军, 时和平, 赵兴业. 虚拟维修训练中故障建模与仿真 [J]. 军械工程学院学报, 2010, 22 (6): 50-53.

[4] 李岩, 杨向东, 陈恩. 履带式移动机器人动力学模型及其反馈控制 [J]. 清华大学学报, 2006, 46 (8): 1377-1380.

[5] 吴卫国, 陈辉堂, 工月娟. 移动机器人的全局轨迹跟踪控制 [J]. 自动化学报, 2001, 27 (3): 326-331.

[6] 王一川, 单甘霖, 童俊. 改进离散粒子群优化算法求解广义指派问题 [J]. 科技通报, 2013, 8 (29): 130-132.