



某型导弹检测维修训练的半实物仿真

杨雨迎^{1,2}, 高玉水¹, 王晓栋³, 邵云峰⁴, 杨 军¹

1. 装甲兵工程学院兵器工程系, 北京 100072
2. 北京理工大学机电学院, 北京 100081
3. 装甲兵工程学院政治部, 北京 100072
4. 炮兵指挥学院, 河北廊坊 065000

摘要 针对某型导弹装备检测维修训练实际问题, 本文在深入研究检测维修对象和操作过程的基础上, 提出了半实物仿真的总体技术方案, 设计了基于 C8051F040 的半实物仿真适配器并给出了适配器硬件结构及软件流程, 实现了模拟训练系统对检测维修对象的信号采集和串口通信; 建立了基于扩展 Petri 网的检测维修操作过程模型, 采用虚拟现实技术实现了该过程模型并给出了软件结构及具体实现流程, 进而构建了虚拟检测维修环境。作为检测维修模拟训练系统的一部分, 半实物仿真设计将检测维修对象加入到虚拟检测维修环境, 解决了实际训练问题的同时也提高了模拟训练系统的真实感。

关键词 检测维修; 适配器; 虚拟现实; Petri 网; 半实物仿真

中图分类号 TP391.9

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)11-0029-04

Hardware-in-the-Loop Design of Testing and Maintenance Training for a Certain Type of Missile

YANG Yuying^{1,2}, GAO Yushui¹, WANG Xiaodong³, SHAO Yunfeng⁴, YANG Jun¹

1. Department of Arms Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China
2. School of Mechatronic Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China
3. Department of Political, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China
4. Artillery Command College, Langfang 065000, Hebei Province, China

Abstract For the testing and maintenance training concerning a certain type of missile equipment, this paper proposes an overall scheme for a hardware-in-the-loop simulation, designs a hardware-in-the-loop simulation adapter based on C8051F040 MCU, and presents the hardware structure and software flowchart of the adapter, including the signal acquisition and serial port communication. A testing and maintenance operation process model is also built based on the extended Petri net, and is implemented by using virtual reality technology. The software structure and the detailed flowchart of the process model are given, for the virtual testing and maintenance environment. As a part of the testing and maintenance simulation training system, in the design of the hardware-in-the-loop simulation, the testing and maintenance object is added to the virtual testing and maintenance environment to improve the fidelity of the simulation training system and to solve the practical training problems at the same time.

Keywords testing and maintenance; adapter; virtual reality; Petri net; hardware-in-the-loop simulation

0 引言

某型导弹是光、机、电综合的复杂系统。受使用条件和可靠性等影响, 导弹在储存和执行任务前必须检查测试; 检测

或发射时出现故障, 要求操作人员能快速准确识别并排除故障、更换零部件和修理校验等。检测与维修训练是有效发挥装备效能的关键一环, 但在实装训练中存在问题:

收稿日期: 2009-10-16

作者简介: 杨雨迎, 讲师, 研究方向为导弹检测与维修, 电子信箱: wonder1982@sina.com



1) 装备数量和训练场地有限, 受训人员培训周期长、有效训练时间短, 训练效率低。

2) 实际操作中出现的故障现象和检测维修操作种类有限, 多数只能从教材中抽象理解。

3) 导弹功能结构复杂, 造价较高, 实装检测维修训练成本太高; 训练中畏惧装备损坏等心理负担较为普遍。

仿真技术是各国部队训练普遍采用的解决方案: 利用计算机并行处理技术、网络技术、图像图形生成技术以及虚拟现实(VR)技术等产生动态的、直观的环境, 配合仿真的装备和环境, 从而建立人-机一体的训练仿真系统, 是部队经济而有效的训练手段。当前军事仿真技术研究的热点集中于先进武器系统研制半实物仿真技术、分布交互仿真技术(DIST)、环境仿真技术和仿真支撑平台技术等方面, 仿真技术正逐渐成为面向武器装备全寿命和全系统的综合应用。

文中提出的检测维修模拟训练系统是以装备检测维修训练为研究对象, 主要以虚拟现实技术(VR)为基础, 在计算机等硬件设备平台上构建实装、实地、实战的装备检测维修训练仿真环境, 有效解决了实装检测维修训练中的实际问题。但是虚拟环境缺乏实装训练的真实感, 为此在允许情况下将实物接入虚拟环境以代替部分数学模型成为各国研究的热点。基于上述思路, 本文设计了半实物仿真适配器, 建立了基于检测维修知识的操作过程模型, 配合实装的模拟装置, 构建了导弹检测维修训练的半实物仿真环境。

1 检测维修模拟训练系统

检测维修模拟训练系统硬件平台如图 1 所示。

系统为基于 HLA 的分布式交互仿真系统。5 台计算机通过集线器组成局域网, 中央管理计算机负责系统监控与管理; 1、2、3 号计算机分别用于构建导弹、制导装置和制导装置电源变换器的虚拟检测维修环境; 为获得更真实的训练环境, 加入部分实装模拟装置, 由 4 号计算机、半实物仿真适配器

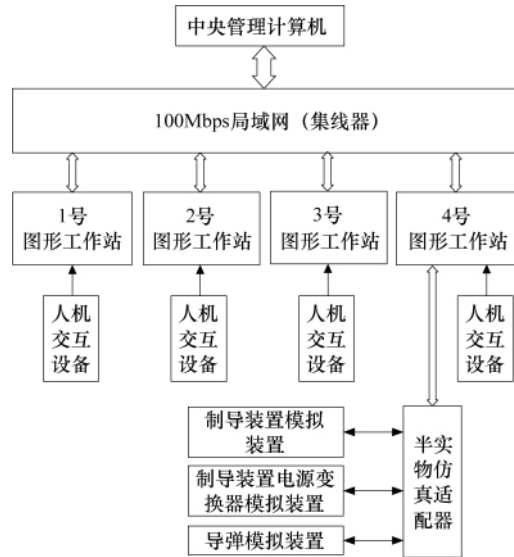


图 1 系统硬件平台

Fig. 1 Hardware platform of the system

器和系统实装模拟装置组成半实物仿真平台。

2 半实物仿真适配器设计

半实物仿真适配器是系统实装模拟装置和仿真计算机的纽带和桥梁, 主要完成如下功能。

1) 采集、接收导弹、制导装置和制导装置电源变换器模拟装置发送的各种信息, 并将其进行处理, 发送至仿真计算机。

2) 接收仿真计算机发送的数据, 识别后分发给相应的模拟装置。

半实物仿真适配器采用 2 片 Cygnal C8051F040 单片机作为主、从处理器, 通过全双工同步串行总线 SPI 建立通信; 采用 RS-232 串行总线标准实现与仿真计算机、模拟装置的通信, 波特率 9600bps。适配器与外部设备连接关系见图 2^[1]。

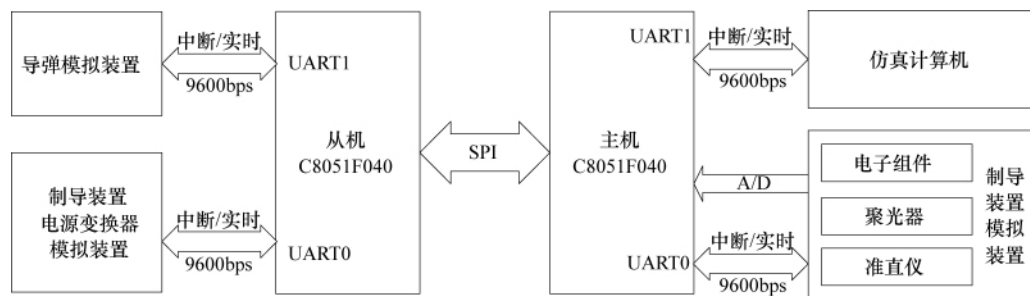


图 2 适配器与外部设备连接关系图

Fig. 2 Connections between adapter and peripheral equipment

2.1 通信协议

半实物仿真适配器与模拟装置、仿真计算机的串口通信协议定义为: 设备代码占 2 位, 00 为仿真计算机, 01 为导弹模拟装置, 10 为制导装置模拟装置, 11 为制导装置电源变换器

模拟装置; 信号编码占 3 位, 不同编码值分别代表电压、电流、开关量、光电编码等类型的信号, 其余为数据部分。

2.2 软件设计实现

半实物仿真对适配器信号的实时性要求较高, 需要快速

响应, 故软件设计中采用中断请求方式进入服务程序, UART0、SPI、UART1 中断优先级分别为 4、6、20。图 3 为适配器主机软件流程。

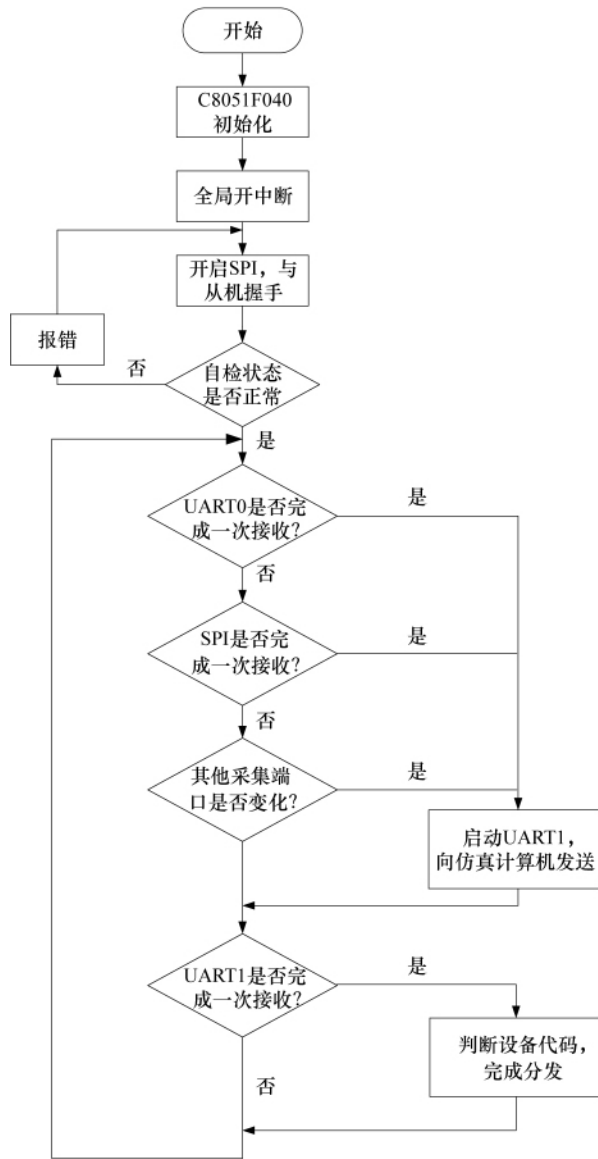


图 3 适配器主机软件流程

Fig. 3 Host computer software flowchart of the adapter

3 虚拟检测维修环境的建立

虚拟检测维修是一种人机闭环过程仿真系统, 主要包括虚拟环境、人机交互、任务控制、虚拟装备及工具行为和状态控制模块。每个模块完成的功能如下^[2]。

1) 虚拟环境模块。该模块完成功能包括: 生成车场和工作间地形、地物, 建立虚拟检测维修训练操作仿真环境; 虚拟装备、工具置入虚拟环境; 根据检测维修模型、任务控制仿真模型、虚拟装备及工具行为和状态控制模型实时刷新虚拟环境。

2) 人机交互模块。该模块完成功能包括: 根据操作手与

虚拟人手的映射关系, 跟踪操作手动作; 对检测维修动作实时判断, 实现人机协同; 建立与半实物仿真适配器的串口通信, 形成实装模拟装置与虚拟环境的实时“映射”。

3) 任务控制模块。该模块主要完成: 检测维修任务知识描述, 包括检测维修操作过程动作序列的生成和对检测维修过程的监控、记录与指导。

4) 虚拟装备及工具行为和状态控制模块。该模块主要完成: 虚拟装备及工具行为模型, 主要实现虚拟装备和工具的状态更新与管理; 响应人机交互模块的输入; 完成虚拟装备响应动作。

任务过程建模应用到虚拟检测维修技术中是实现检测维修操作过程的关键。笔者重点研究了基于检测维修知识的虚拟检测维修任务控制模块, 采用扩展 Petri 网完成了检测维修操作过程建模。

3.1 基于扩展 Petri 网的操作过程模型

描述一项检测任务时, 一般先将任务分解为多个子任务的组合, 然后将每个子任务再分解, 直到该检测维修任务可以通过一系列不可分解的基本操作单元按一定顺序完成。检测维修操作过程仿真是基于此思想, 将某型导弹检测维修训练过程分解、组合形成扩展 Petri 网中的变迁, 根据实施的检测维修操作产生相应的响应, 完成训练过程的仿真。

3.1.1 扩展 Petri 网定义

扩展 Petri 网方法是在 Petri 网的基础上进行延伸而形成的一种检测维修操作知识描述方法。其形式化定义为^[3]

$$N = \langle P, T, I, O, M_0, D, E \rangle$$

式中, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ ($m = |P|$) 为对象 (例如文中部件等) 的集合, 是库所 (文中表示对象或状态) 的有限集; I 为变迁 t 的输入库所, 与文中操作部件相关; O 表示变迁 t 的输出库所, 与文中操作影响部件相关; M_0 为扩展 Petri 网系统的初始标识; $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ 为所有变迁的随机时延集, 服从指数分布, 对于 Petri 网 (PN) 可视为 e_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 全部为零^[4]。

在 PN 定义中, 系统 $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ ($n = |T|$) 为变迁 (文中代表事件, 即一项操作作业或操作) 的有限集。扩展 Petri 网描述方法对 T, D 的定义进行了延伸, 在扩展 Petri 网定义中, 变迁 T 定义为

$$T = T_{\text{oper}} \oplus T_{\text{item}} \oplus T_{\text{switch}} \oplus T_{\text{event}}$$

式中, $\oplus$ 为不相交并集; T_{oper} 为单一操作集对应变迁集合, 可以直接触发, 无需再分解; T_{item} 为复合操作集对应变迁集合, 变迁需要再分解; T_{switch} 为开关变迁集合, 对应检测维修仿真环境中如电源开关、仪器控制面板各类开关等操作; T_{event} 为“事件”变迁集合, 对应检测维修仿真环境中如点亮指示灯等事件^[5]。

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$ 为所有变迁的时延集, 其中 d_j ($j = 1, 2, \dots, n$) 为变迁 t_j 的时延, 为常量。 d_j 为变迁 t_j 在触发前的等待时间与操作时间 (由操作规程规定) 之和。

3.1.2 检测维修操作过程建模

以该型导弹制导装置聚光器维修子任务为例 (图 4)。维

修任务下达后,首先准备各类维修资源,包括不变资源(如装备、工具、人员)和可变资源(如灯泡、导线等备用件);资源准备到位后,查询不变资源是否被占用,若被占用则等待其被释放后开始维修操作;在上述准备工作基础上,更换故障部件(灯泡、导线),可变资源被消耗,完成维修过程^[3]。

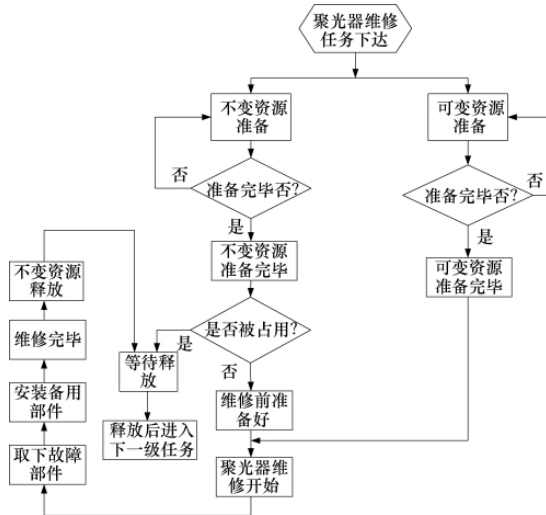


图4 制导装置聚光器维修子任务流程图

Fig. 4 Maintenance subtask flowchart of the guiding device condenser

在综合检测维修资源、操作、资源状态、约束条件、误操作和延迟等操作过程因素的基础上,建立基于扩展 Petri 网过程建模的规则,部分规则如下^[5]:

1) 每项任务均建立一个起始状态库所,作用到基本操作单元。即将对象在过程模型中可能的状态列出来,确定其状态的变化;可变维修资源,将其状态分为“有”或“无”两种情况;不变维修资源,将其状态用“忙”或“闲”表示。在扩展 Petri 网中将这些状态用“0”或“1”表示。

2) 每个操作单元均用变迁 $t_i (i=1, 2, \dots, n)$ 描述,为每个操作单元变迁建立触发后状态库所。

3) 全面考虑能够触发变迁所需的各种条件,并建立变迁的“变迁解释库所”表达。

4) 将基本动作对应的变迁替换为“开关”变迁,并给它增加几个分支。“开关”变迁存储着操作控制型知识,多以产生式的形式进行表达。

5) 为库所到变迁的有向弧赋权值。

6) 针对需要展开的节点,按照步骤 1)~5) 逐步展开,实现层次化的建模。

3.2 检测维修训练仿真实现

某型导弹检测维修操作仿真软件设计流程图如图 5 所示。

4 结论

在研究检测维修模拟训练系统操作对象和过程的基础上,对系统半实物仿真关键技术进行研究,设计完成的半实

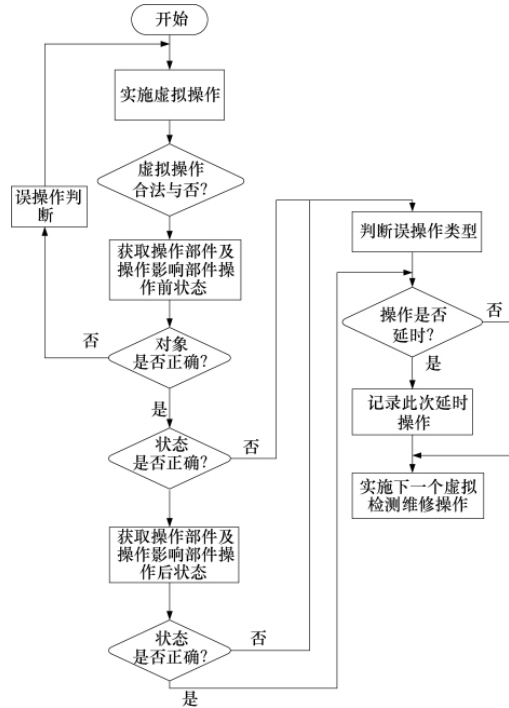


图5 检测维修过程仿真流程图

Fig. 5 Simulation flowchart of the testing and maintenance process

物仿真适配器实现了装备模拟装置和半实物仿真虚拟检测维修训练环境的实时交互,有效提高了模拟训练的真实感。

参考文献 (References)

- [1] 童长飞. C8051F 系列单片机开发与 C 语言编程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
Tong Changfei. C8051F MCU development and C language programming [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2005.
- [2] 杨军. 某型炮射导弹虚拟检测维修训练系统总体技术研究 [J]. 军械工程学院学报, 2006, 19(6): 20-24.
Yang Jun. Journal of Ordnance Engineering College, 2006, 19(6): 20-24.
- [3] 刘鹏远, 张锡恩, 刘玉海. 虚拟维修训练中基于知识的操作响应机制研究与实现[J]. 计算机工程, 2003, 29(1): 253-255.
Liu Pengyuan, Zhang Xi'en, Liu Yuhai. Computer Engineering, 2003, 29(1): 253-255.
- [4] 郭齐胜, 杨秀月. 系统建模原理与方法 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2003.
Guo Qisheng, Yang Xiuyue. System modeling principles and methods[M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 2003.
- [5] 刘鹏远, 李瑞华, 马立元. 复杂武器系统虚拟操作过程建模技术研究 [J]. 军械工程学院学报, 2007, 19(6): 12-16.
Liu Pengyuan, Li Ruihua, Ma Liyuan. Journal of Ordnance Engineering College, 2007, 19(6): 12-16.

(责任编辑 代丽)