

基于 ARM+WinCE 的某自行火炮火控系统 模拟训练与考核系统设计与实现

程治新, 张 瑞, 黄丽娟, 文谷生

(武汉军械士官学校 自行火炮系, 武汉 430075)

摘要: 针对实装训练带来的数量不足、组织难度大、综合成本高等现实问题, 构建了一套基于“ARM+WinCE”的自行火炮火控系统模拟训练设备; 以 ARM 集成控制板为基础, 设计了集信号采集与处理, 计算、控制等功能于一体的火控系统基本电路; 设计了基于 WinCE、DSP、XML 故障诊断硬件与软件, 使得系统具有操作使用、理论与操作考核、故障诊断等功能; 应用证明该模拟训练系统运行稳定可靠, 极大提升了装备训练的效益。

关键词: 自行火炮; 火控系统; ARM; WinCE; XML

Design of Self-Propelled Gun Fire Control System Virtual Training and Testing System Based on WinCE and ARM

Cheng Zhixin, Zhang Rui, Huang Lijuan, Wen Gusheng

(Self-propelled Artillery Department, Wuhan Ordnance Non-commissioned Officer Academy, Wuhan 430075, China)

Abstract: In order to solve the problem of quantity insufficiency, the group is difficult and the comprehensive cost higher, building a set of self-propelled gun fire control system virtual training and testing system based on "ARM + WinCE", designing integrates signal acquisition and processing, computing, control, and other functions in one of the basic circuit of fire control system based on ARM; Design hardware and software of fault diagnosis based on the WinCE, DSP, XML, bring up the operation system, the theory and operation evaluation, fault diagnosis, etc. Practice proves that the simulation training system is stable and reliable operation, greatly improved the benefit of the equipment training.

Keywords: self-propelled gun; fire control system; ARM; WinCE; XML

0 引言

实装训练具有形象直观、学用一致等优势, 但也存在着装备数量有限、组织难度较大、维修保障任务重等现实问题, 而且实装通常不具备训练考核和故障诊断的工作方式, 难以实现操作使用、故障诊断训练与考核的结合^[1]。为提高教学训练的效率与效益, 本文开发了一套基于 ARM 处理器、Windows CE 嵌入式操作系统的自行火炮火控系统操作使用与检测维修模拟训练系统。

1 总体设计

系统以完成某型自行火炮火控系统的操作使用、检测、维修训练与考核为基本目标, 以实装结构为参考和基础, 以各模拟单体为支撑, 在完成实装基本功能的基础上, 通过预留接口、设置故障诊断开关与监控电路、计算机软件等方法手段实现操作使用、检测维修、故障诊断的训练与考核^[2]。

1.1 功能设计

一是实现火控系统的计算、控制、交互等基本功能。主要以“ARM+WinCE”构成的软硬件为基础, 在原理、结构、关键件、接口等方面与实装保持一致^[3]。

二是正常操作使用的训练。以前述基本功能为基础, 为受

训者提供与实装一致的操作界面与环境, 从而实现正常的操作使用训练。

三是理论考核。利用系统强大的计算机功能, 通过建立理论试题库, 开发基于可扩展标记语言 (XML) 的理论考核模块, 完成对受训者的理论考核。

四是操作使用的考核。通过设计操作跟踪模块, 记录受训者在操作过程中的动作及数据, 并给出操作成绩, 以此达到对操作使用的考核。

五是故障诊断训练与考核。在主要节点电路设置开关电路, 模拟故障状态, 通过状态监控电路监控主要电路工作情况, 从而实现故障诊断的训练与考核。

1.2 结构设计

模拟训练与考核系统以火控操作显示台为核心, 包括火控计算机模拟设备、瞄准手显示器模拟设备、定位导航系统模拟设备, 药温实时测量装置模拟设备, 初速测量雷达模拟设备, 姿态角传感器, 高低测角器, 方位测角器等, 系统结构如图 1 所示。

2 主要硬件设计

硬件是系统实现训练与考核功能的基础, 整个系统包括 10 个单体或系统, 如图 1 所示。

2.1 火控操作显示台

火控操作显示台主要完成与各下位机通信, 数据计算, 人机交互, 控制各分系统上电等功能, 是系统进行训练、考核的主体。

收稿日期: 2015-10-19; 修回日期: 2015-12-04。

作者简介: 程治新(1978-), 男, 湖北公安人, 硕士, 讲师, 主要从事自行火炮火控与电气系统方向的研究。

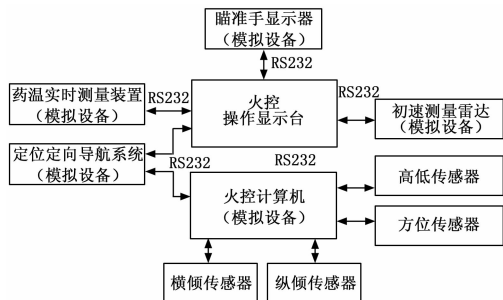


图 1 模拟训练系统结构图

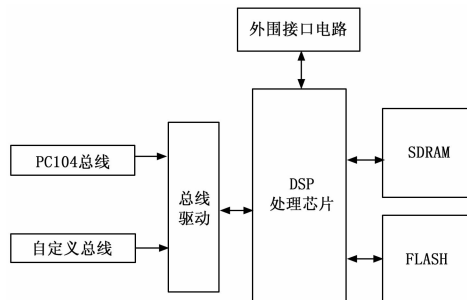


图 4 火控计算机主控板原理图

火控操作台控制原理如图 2 所示，其核心部分为连接有 LVDS 驱动板的 ARM 集成控制板，通过 SD 卡可以加载 WINCE 系统以及操控平台软件。

选用 WinCE 嵌入式开发单板机 SBC8600B 作为火控操作显示台核心板，CPU 为 ARM3359。它提供了丰富的板对板输出信号接口，包括 McASP 信号、SPI 信号、UART 信号、TFT LCD 信号、以太网 MAC (EMAC) 信号等等，使系统开发和硬件信号连接便捷可靠^[4]。

DSP 作为协处理器，用于故障模拟操作控制，检测模拟故障并将信息通过串行数据接口送给 ARM 控制板。

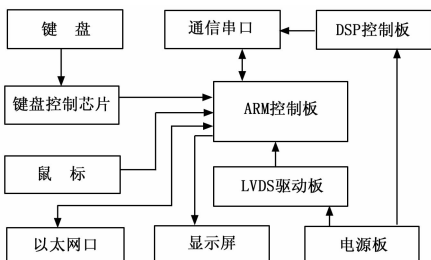


图 2 火控操作显示台原理框图

2.2 火控计算机模拟设备

火控计算机模拟设备主要完成数据采集与转换，与其他设备进行数据通信，完成操瞄解算并输出随动控制信号控制调炮。其原理框图如图 3 所示。

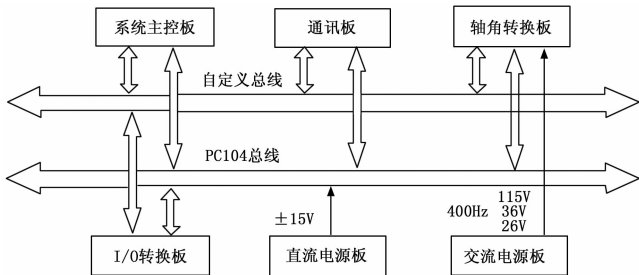


图 3 火控计算机原理框图

火控计算机采用功能意群设计，共由 7 块电路板组成。包括一块 6 块功能电路板和一块母板，其中系统主控板是该设备核心，采用高性能的数字信号处理器 (DSP) TMS320F2812 作为核心 CPU，它具有高速度、高精度、并行性、高集成度和高性能价格比等优点，主控板原理如图 4 所示。

轴角转换板的主要功能是将双通道的高低测角器（旋变器）及方位测角器（自整角机）信号引入，转换成高低角、方

位角数字信号。轴角转换的方法较多，单片机、FPGA、专用转换模块均可完成，为提高开发速度和系统可靠性，本文采用中船 716 所的 12ZSZ-02 和 12XSZ02 系列芯片。

通信板主要功能是与火控系统其他模拟设备单体进行串行数据与命令的传输。通过串行口通信的单体有炮火控操作显示台、瞄准手显示器、定位定向导航系统、初速雷达等模拟设备。通信方式采用标准 RS232C 串行通信，采用五线制，通信速率为 9 600 b/s，为了保证模拟设备与各单体之间数据发送和接收的实时性，串行口接收数据均采用中断方式。

I/O 转换板主要完成系统开关量的输入输出以及姿态角传感器轴角信号（旋变器）的转换，转换芯片选用中船 716 所的 12XSZ-02 系列。

直流电源板和交流电源板分别为系统提供 +5 V、±15 V、26 V/400 Hz、36 V/400 Hz、115 V/400 Hz 等电源。

2.3 故障诊断电路设计

故障诊断电路主要有三大功能：一是针对典型电路提供人为可控的故障环境；二是为故障修复提供操作环境；三是通过特制信号对典型电路的工作状态进行判定。以轴角转换电路为例的故障诊断电路如图 5 所示^[5]。

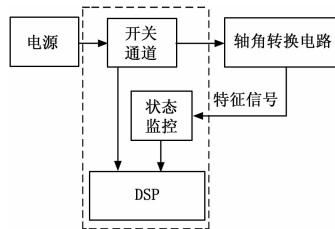


图 5 故障诊断电路

3 软件设计

系统的软件主要完成数据计算，数据与命令通信，人机交互（界面），理论考核，操作考核，故障诊断训练与考核等功能。

系统软件的结构如图 6 所示，它是分 4 层编写，以提高程序的可管理性、实效性和协同性，它由底层向上依次是底层数据和通讯、设备和数据处理层、中间管理层、图形操作层。

1) 底层程序需要记录并存储具体的用户窗体操作数据、完成模拟器软件和硬件的通讯，处理用户定制的配置数据，并完成按键处理等。

2) 设备和数据处理层包括设备模块和数据处理模块，本层提供了数据的处理方法，包括存储、读取和解算等，还有硬件层设备的管理方法，包括数据通讯和按键处理等。

3) 中间管理器实现程序设备和数据处理统一管理并为上层窗体提供管理接口。

4) 图形操作界面是与用户发生直接交互的界面, 在具体的界面中实现所有的程序功能, 包括状态监控、故障诊断、操纵控制、数据存取和数据测量等功能。

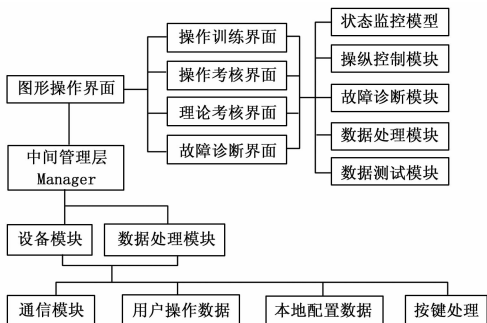


图 6 系统软件结构图

3.1 通信设计

系统串口通讯连接关系如图 1 所示。各模拟设备之间 RS232 通讯接口均采用光电隔离。

各单体之间通信以报文的形式进行, 按信息传送方向分为命令和响应两类报文, 火控操作显示台发往各其他单体的为命令报文。反之, 称为响应报文。两类报文数据结构相同, 由 Head、Address、Command、Length、Data、Check 和 End 等 7 个部分共 N+10 个字节组成, 数据包结构如图 7 示。



图 7 报文结构图

系统各单体的通信以数据包的形式进行。考虑到于通信的命令种类多, 且每一包的数据长度并不一致, 如果按照选择判断模式编程, 软件工作量大, 且易出错, 故笔者采用了有限状态机的解决方案。该方案降低了程序编写复杂度, 增强了软件系统的可维护性, 便于后期扩展, 如图 8 所示^[6]。

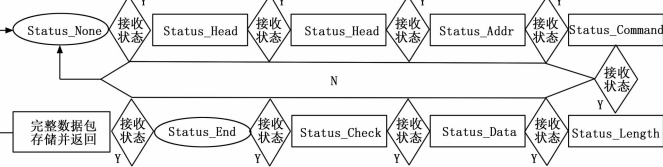


图 8 有限状态机的状态转移图

3.2 基于 XML 的数据存储

模拟训练与考核系统主要通过显示器显示界面进行人机交互, 为完成数据输入输出、操作使用与考核、故障诊断训练与考核, 共需要 100 多组显示界面。

我们采用可扩展标记语言 XML 的方法将这些界面进行分类成 7 大类, 每类中都由若干个子界面组成, 每个界面的数据又可以分类保存。

可扩展标记语言 XML (Extensible Markup Language) 是 SGML (Standard Generalized Markup language) 的子集, 提供了统一的方法进行结构化数据的描述和交换。这样将所有数

据都按结构分类存储后, 读取数据时也可以按图索骥, 使存储和读取都变得便捷且不易出错。另一方面, 由于 XML 具有独立于应用平台, 具有便于传输的特性, 并不依赖于开发环境, 用户可以方便的按照设计的格式自定义考试内容和软件配置文件, 并保存为 XML 文件, 将该文件存于程序的配置目录中程序会自动读取并配置, 这为用户和软件开发方提供了便捷的数据处理手段^[7-8]。

XML 主要用于处理存储界面显示参数, 包括用户自定义输入参数和通过通信读取的瞄准手、分系统、传感器数据等, 如图 9 和图 10 所示。在数据存储和读取过程中, 数据主要由数据存储路径、节点描述 (属性名称) 和数据 (value) 3 个特性来表述, 存储和读取过程的区别即在于: 存储是使用 XML 合成模块按上述 3 个特性来将数据合成为 XML 格式的数据, 读取是按图索骥的将数据解析成节点描述和数据值, 将 XML 数据解析成界面的参数, 整个数据的处理过程非常有效率, 并且也保证了正确性^[9]。

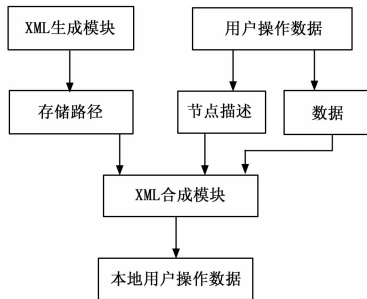


图 9 XML 数据保存流程

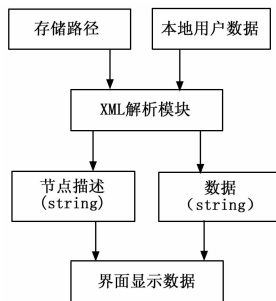


图 10 XML 数据读取流程

界面元素是系统监控功能和人机界面的一个较丰富和较集中体现。界面元素可以实时显示数据并刷新数据。界面信息用文件存储以便读取。为了规范性和兼容性, 界面文件 (包含界面元素信息) 用 XML 文档格式存储和读取。界面元素类设计形式如下:

```

class Cxxx:public Cyyy
{
    //Cyyy 为相关界面元素类
public:
    bool Load From XMLFile (TiXmlElement * itemElement)//读 XML 文件
    void
    RefreshShow (void); //界面刷新
protected;
...
};

```

使用抽象工厂方法管理 Cxxx 的创建与销毁。工厂类设计如下:

```

Class GraphicsAbstractFactory
{
public:
Object * Create Cxxx 0;//创建界面元素对象 Cxxx
...
}

```

界面组件分别提供初始化接口和销毁接口 Initialize () 和 Destroy ()。系统启动后, 点击窗口菜单栏中的某个菜单项时, 界面组件会自动解析相应的 XML 文件, 将解析得到的界面元素显示出来, 由界面元素完成对数据的显示和刷新。

3.3 操作考核模块设计

对受训者进行操作使用的考核是本系统的重要功能, 我们选取了火控系统 10 个典型操作使用科目。在考核模块中, 将教员总结出的最优操作方案转化为程序的操作评估算法, 并在考核模块中设计操作跟踪模块, 记录学员在操作过程中的界面及操作数据, 包括界面跳转顺序、界面参数值输入等, 最后用评估算法对学员专项操作数据进行评估, 并给出学员操作成绩, 考核模块流程如图 11 所示^[10]。

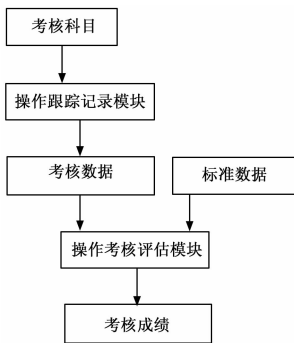


图 11 操作考核流程

3.4 故障诊断模块设计

随着科技的发展, 特别是信息技术的广泛应用, 大型复杂装备的功能越来越强大, 结构越来越复杂, 自动化、智能化程度越来越高, 故障的产生因素也变得错综复杂, 使得故障诊断的训练日益重要, 故障诊断模拟训练为此提供了很好的解决途径。完成故障诊断模拟训练主要有两种方式: 基于虚拟样机的故障诊断训练及基于实物的故障诊断训练。前者具有低成本、表现力好等优势, 而后者更贴近实际。考虑到本系统已经有了接近实装的硬件基础, 可提供显示、交互、接口等必要的测试判断环境, 选择基于实物的故障诊断训练^[11]。

本模块主要涉及故障诊断的训练与考核两个模块。

在训练模块, 通过开关电路控制关键模块或电路的工作情况, 提供真实的故障环境, 使得受训者能够充分体验故障状态下的系统表现, 做出诊断判断, 积累故障诊断经验。

在考核模块中, 主要利用相应电路获取状态及动作信息, 给出故障诊断训练与考核环境, 并对受训者故障诊断能力进行评估。软件流程如图 12 所示。受训学员进入故障诊断考核模块后, 首先选择考核科目, 在确定系统各项功能正常后, 由教员进行故障设置, 可手动和自动进行, 完毕后系统给出故障设置完毕的提示。学员进入答题模式后, 可转入正常操作使用界面, 通过操作, 观察故障现象, 分析故障原因, 形成故障结

论, 并手动完成故障排除操作。在提交后, 系统监控对应电路工作情况, 完成对学员故障排除情况的评判。软件流程如图 12 所示^[12]。

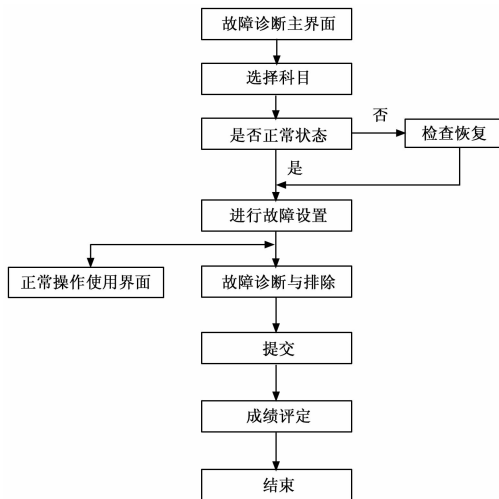


图 12 故障诊断流程

3.5 操作界面

模拟训练系统操作使用、操作考核、理论考核、故障诊断操作界面如图 13 所示。



图 13 软件界面

4 试验结果与分析

应用表明, 系统设计的交流信号源、信号采集与转换、通信、计算、控制、接口、人机交互、系统操作考核、理论考核、故障诊断训练与考核等功能正常实现, 系统运行稳定可靠, 具体见表 1 所示。

5 结语

构建了一套基于“ARM+WinCE”的自行火炮火控系统模拟训练系统, 在实现实装火控系统信息采集、计算、控制、人机交互等功能的基础上, 通过硬件电路及软件系统使得系统具备操作使用与理论考核、故障诊断训练与考核等功能, 应用证明该模拟训练系统运行稳定可靠, 极大提升了装备训练的效益。

从表 1 中可以明显看出, 项目组 B 的耗时短, 效率高, 并且两个项目组在进行测试结果汇总时, 发现测得的问题均相同, 都没有漏测、误测的情况。

此外, 以已经测试完成的多个项目为样本, 对测试效率进行分析。表 2 中左侧为采用传统测试平台进行测试的项目规模、项目耗时和千行代码耗时率, 右侧为采用自动化测试平台完成的同等规模的项目耗时和千行代码耗时率。

从表 2 中可以分析出, FPGA 通用自动化测试平台在配置项测试中的使用能够降低千行代码耗时率, 提高测试效率, 从而节约测试成本。

4.2 回归测试耗时分析

回归测试是指修改了旧代码后, 重新进行测试以确认修改是否达到了预期的更改要求并证明修改对原有功能、性能没有损害。

FPGA 自动化测试平台的使用能提高测试效率, 不仅体现在配置项测试中, 在回归测试中体现的更为突出。对于回归测试的传统做法是重新搭建测试平台, 并编写测试用例, 过程复杂。而在使用自动化测试平台时, 只需简单的 2 步即可完成。

步骤 1: 将被测件的版本升级。

步骤 2: 选择测试类型并执行测试用例。

简单的 2 步操作之后, 就可以对回归测试结果进行分析, 确认修改的正确性。

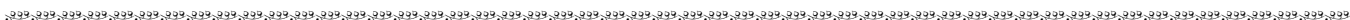
综上所述, FPGA 自动化测试平台的使用, 能够使回归测试的工作量最大化压缩, 并在实践中验证测试效率能够提高 60% 以上。

5 总结

本文设计的自动化验证平台结构简单, 操作方便, 并且具有测试过程自动执行, 测试结果自动保存的功能, 自动化程度极高, 能够在保证测试质量的情况下提高测试效率。

参考文献:

[1] 张 焱, 任勇峰, 齐 蕾, 等. 基于 FPGA 的 CRC 校验算法的实现 [J]. 电子器件, 2015, 38 (1): 223-226.
 [2] 杨 东, 张超英. 基于 FPGA 的电子表决器电路的设计与实现 [J]. 电子科技, 2015, 28 (1): 61-63.
 [3] 邱云峰, 秦鲁东. FPGA 可编程逻辑单元测试方法研究 [J]. 计算机与数字工程, 2015, 43 (1): 65-69.
 [4] 刘子宜, 刘 畅, 郑 军. 基于软件测试技术的 FPGA 测试研究 [J]. 电子技术应用, 2011, 37 (5): 28-30.
 [5] 毕泗国, 王力生. 基于硬环境的动态 FPGA 测试平台架构设计 [J]. 计算机工程应用技术, 2013, 9 (1): 198-199.
 [6] 孙 黎, 张 涛, 周 珊. 基于 ATE 的 FPGA 软件自动化测试技术的研究 [J]. 计算机技术与发展, 2014, 24 (8): 6-9.
 [7] 杜小平, 周顺平, 赵秋荣. 一个 Linux 下 makefile 文件的分析 [J]. 现代电子技术, 2004. (7): 61-63.



(上接第 138 页)

表 1 试验结果

功能描述	指标要求	实际值
交流信号源	26V、36V、115V/400Hz 电源(±10%)	26.7V、37.2V、 117V/401Hz
轴角转换 (S/D)	1 密位	0.46 密位
轴角转换 (R/D)	1 密位	0.35 密位
控制信号 (PWM)输出	-15v~+15v,线性输出	-14.96v~+14.96v, 线性输出
温度传感器	0.5 ℃	0.45 ℃
接口	与实装一致,方便测试	与实装一致
通信	异步方式,波特率:9 600 bps	通信正常,满足需要
数据及显示	实时显示与更新	更新与显示良好
键盘响应	满足正常交互需要	工作良好,满足需求
操作考核 *	能完成规定科目环境设置、 学员操作判定与赋分	工作良好, 满足指标要求
理论考核	随机形成题库, 实现考核赋分	工作良好, 满足指标要求
故障诊断 训练	能够设置典型电路故障, 展现真实故障场景	工作良好, 满足指标要求
故障诊断 考核	能完成规定科目环境设置、学员 故障排除操作的判定与赋分	工作良好, 满足指标要求

操作考核*: 该模块评估算法基于标准化的操作路径设置, 在受训学员较为熟练的情况下, 考核结果能正确反映, 但对于不熟练的操作者, 经过多个不必要的界面跳转之后, 尽管其操作结果正确, 但考核结果判断错误。此模块评估算法还需要进一步优化, 以便更加客观反映操作水平。

参考文献:

[1] 朱克夫. 装甲兵作战模拟训练装备综述 [J]. 现代军事, 2005, 12: 15-19.
 [2] 吴佳楠, 王 伟. 基于任务设备模拟的新型无人机训练模拟器研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (12): 3105-3110.
 [3] 李尔超, 王耘波, 高俊雄, 等. 某型地空导弹作战模拟训练器的系统设计 [J]. 舰船电子工程, 2011, 31 (3): 126-129.
 [4] 常 丽, 刘英超, 许 会, 等. 嵌入式 WinCE6.0 步进电机系统设计 [J]. 沈阳工业大学学报, 2013 (1): 104-108.
 [5] 李亚辉, 罗卫东, 颜圣耘. 某型工程车配电箱故障诊断系统设计与仿真 [J]. 制造业自动化, 2014, 36 (3): 149-151.
 [6] 张 菁. 基于有限状态机的 UDP 传输设计 [J]. 计算机工程, 2011, 37 (17): 52-54.
 [7] 孔令波, 唐世渭, 杨冬青, 等. XML 数据的查询技术 [J]. 软件学报, 2007, 18 (6): 1400-1418.
 [8] 孟小峰, 王 宇, 王小锋. XML 查询优化研究 [J]. 软件学报, 2006, 17 (10): 2069-2086.
 [9] 朱亚雄, 李星新, 郝建平, 等. 基于 XML 的故障诊断虚拟训练描述模型研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (6): 1875-1877.
 [10] 赵春宇, 郝建平, 李星新, 等. 基于电子装备虚拟样机的故障诊断训练设计 [J]. 计算机工程, 2010, 36 (11): 226-228.
 [11] 李向荣, 岳彩岩, 王国辉. 乔小蒙装备半实物维修训练考评系统设计与开发 [J]. 四川兵工学报, 2013, 34 (6): 11-13.
 [12] 吕秀平, 闫英敏, 刘正春. 闫建生某型装备电气模拟维修训练平台研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (9): 2486-2489.