【**Abstract**】The weapon system has too many fault diagnosis systems and is invested too much in re-development. To solve those problems, the design of the platform is analyzed. The hardware of it consists of a control computer with PC104 structure and multi-type signal test interface boxes of equipments. The software of it synthesizes the methods of expert system, neural networks and signal process. The system model of the weapon system is abstracted. The particularity that there is no diagnosis interface and can not plug in or pull out the connectors frequently is proposed. A principle that it is better to diagnose without the direct connect and the order of fault diagnosis is from electrical control system to hydraulic system is summarized. The platform is used in practical equipment and a better effect is achieved.

装备部队的某武器系统，随着使用时间的延长，部分型号已经达到或接近服役的寿命周期，再加上使用的环境条件比较恶劣，因此，在使用过程中不可避免地会出现各类故障，由于设备的复杂性和维修保障设备的限制，出现的故障往往难以在短时间内得到排除。为了保障武器装备的战备完好率，以往的思路是：针对每一种型号的装备，都研制一套相应的故障诊断系统。但是武器系统型号较多，并且还会不断增加，不同型号的装备之间相似的地方也较多，这就造成了武器系统的故障诊断系统繁多，重复开发和研制的经费投入过多等现象。为了解决这个问题，本文研制了某武器系统通用型故障诊断与测试平台，该平台经过简单的增减和修改，就能在多种型号的装备上完成故障诊断和信号测试的任务，较好地解决了这个问题。

1 对象分析和总体方案

1.1 诊断测试对象分析

不同型号的装备虽然在结构或者具体的实现部件上有所区别，但是它们的功能基本上一样，系统的结构、工作流程、控制方式在本质上是相同的，都是一个闭环控制系统，由自动控制机构、手动控制机构、执行机构、被控对象以及测量反馈机构等组成。它们的系统模型可抽象，如图 1 所示。其中，自动控制机构是装备的控制核心，由工业控制计算机或 PLC 构成；手动控制机构作为自动控制机构的补充，一般是带有人工按压按钮的继电器控制电路；执行机构通常是液压元件(电磁阀等)或者是电机等电动设备；被控对象是直接完成装备功能的机械部件；测量(反馈)机构一般为压力、位置或角度等各种传感器。装备的这种相似性为通用型诊断与测试平台的研制提供了可能性。

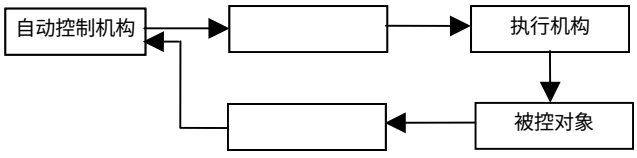


图 1 系统模型

1.2 总体设计方案

平台研制的总体思路是：综合考虑各种型号装备的特点，以某一型号的装备为背景，研制出一种只需在硬件上经过简单的模块化的替换、软件上经过用户简单的增减和修改，就能适用于多种型号装备的通用型故障诊断与测试平台。

根据以前研制的各种型号装备故障诊断系统的实际使用经验，总结出武器系统在进行故障诊断时必须注意的一些问题：(1)武器系统没有预留诊断接口，许多与定位故障有关的测试点无法直接测量，必须在有一定程度把握的前提下，对该测试点实施技术处理(开盖、解脱密封等)后才能进行测量；(2)不能频繁地插拔武器系统上的连接器，信号的提取和测量

作者简介：郭晓松(1957－)，男，教授、博导，主研方向：光电瞄准技术，自动检测技术在武器系统中的应用，故障诊断；于传强，博士生；张　安，副教授；陈德国，硕士生

一般都是从连接器插头与插座的交汇处引出的，但是对它们的插拔次数过多，会造成装备连接器的损坏；(3)武器系统是机电液一体化的大型复杂设备，工作中经常牵涉到大电流(十几个安培)、高压(十几个兆帕)、强力(几十吨等)，在出现故障且故障原因不明的情况下工作或盲目测试，有可能将故障扩大甚至酿成事故；(4)武器系统经常在野外作业以及使用对象的文化程度不高。

根据以上问题，在建立故障诊断与测试平台时，设置了以下几条特殊的原则：(1)尽量在与武器系统不发生物理连接的情况下，定位故障。这条原则主要指当武器系统出现故障时，首先想到的不是测量何处的信号，而应充分利用以往的经验，并结合武器系统本身提供的信息(装备的状态、压力表的示数、指示灯等)来定位故障，只有对故障部位有一定把握的情况下，才进行测试，并且要确保测试不会对武器系统造成危害；(2)武器系统出现故障时，尽量不启动执行机构；(3)故障排查的顺序是：先电控系统后液压系统，先积极元件后消极元件，先失效故障后指令故障。这条原则主要是从故障排除的方便性和故障的概率大小两方面考虑的；(4)研制的诊断系统必须具有便于携带、操作简单等特点[1]。

针对以上思路和特点提出了以 20X 型号装备为背景，硬件上采用 PC104 结构的主控计算机加各种型号装备的信号测试接口箱组成，软件上综合采用专家系统、神经网络以及信号处理等故障诊断方法的平台研制方案。

2 硬件设计方案[2]

2.1 测试信号分类

武器系统上需要测试和采集的信号很多，并且不同型号装备的信号定义、大小等也有所不同，在硬件设计上不考虑信号的实际意义，信号的实际意义由软件系统来定义，只需完成信号的采集任务即可。综合分析各种型号装备的信号的特点，将需要采集的信号分为以下几类：(1)0V～28V 的模拟量信号，主要是各执行机构、测量反馈机构的工作电压等；(2)标准 TTL 电平信号，主要包括测量反馈机构中的到位开关等的动作信号，以及控制机构发出的部分控制信号等；(3)非标准电平信号，比如高电平为 8V～12V，低电平为 0V～4V 的特殊电平信号，主要是测量反馈机构中的角度传感器的输出信号等；(4)压力信号，主要是压力传感器采集的液压系统中的压力数据等；(5)电阻信号，主要是测量反馈机构中水平度传感器发出的信号等。

2.2 硬件设计方案

采用 PC104 结构的主控计算机的设计方案，采用 PC104 结构的目的主要是为了减少平台体积和重量，另外它的各种性能也满足使用要求。主控计算机主要包括：(1)1 块带 PC104 总线的嵌入式主板(ECM－3610)；(2)1 块 PC104 总线的 16 模拟量采集卡(PEMAIO)，用来采集 0V～28V 的模拟量信号、压力信号、电阻信号等的采集；(3)2 块 PC104 总线的共 96 路数字量输入输出卡(PCM－3721)，用来完成对标准和非标准电平信号的采集，以及对信号测试接口箱的控制；(4)2 块自制的信号调理电路板，主要用来完成信号的分压、保护、限幅、比较等，使得各种采集板能够正确测试信号；(5)操作、存储以及显示等外围设备。

20X 型号装备的信号测试接口箱由 1 块 885 继电器板和 2 块 788 继电器板组成，外部有 8 个测试插头，用来实现被测信号与主控计算机测试接口的正确连接。

图 2 为 20X 型号装备诊断与测试平台的硬件原理。当装备的型号变化时，对于用户只需将信号测试接口箱换成对应型号的接口箱就能实现信号测试的功能。

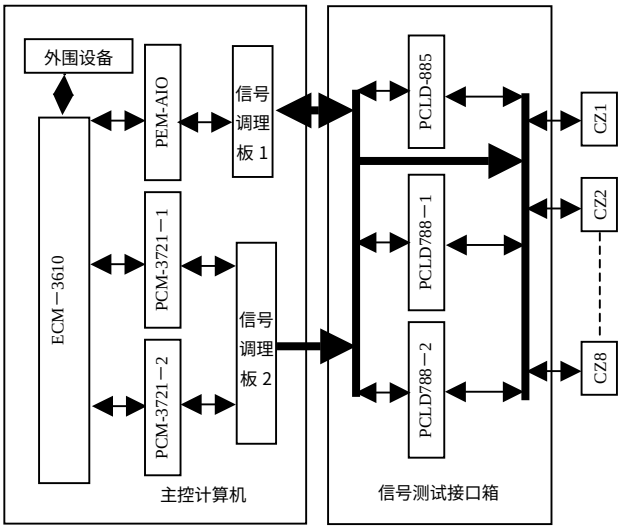


图 2 20x 型号装备诊断与测试平台硬件原理

3 软件设计方案

3.1 诊断方法的选取

有关故障诊断的方法可以为 3 大类：

(1)基于信号处理的方法，通常是利用信号模型，如相关函数、频谱、自回归滑动平均、小波变换等，直接分析可测信号，提取诸如方差、幅值、频率等特征值，从而检测出故障；

(2)基于解析模型的方法，是在明了诊断对象数学模型的基础上，按一定的数学方法对被测信息进行处理诊断，它可分为状态估计法、等价空间法和参数估计法，在实际情况中，常常难以获得对象的精确数学模型，这就大大限制了基于解析模型诊断方法的使用范围和效果；

(3)基于知识的故障诊断方法，由于不需要对象的精确数学模型，而且具有某些“智能”特性，因此是一种很有生命力的方法，基于知识的故障诊断方法主要可以分为：专家系统故障诊断方法，模糊故障诊断方法，故障树故障诊断方法，神经网络故障诊断方法和数据融合故障诊断方法等[3]。

由于武器系统的复杂性和跟新换代的快速性，使得建立武器系统故障的数学模型基本不可能，因此基于解析模型的方法在这里不适用；基于知识的专家系统故障诊断方法，可以充分利用航天工业部门和部队专家的经验，随时向用户索取必要的信息，进行一系列的推理，快速地找到最终故障或最有可能的故障，再由用户来证实，是一种较好的方法，因此，平台采用以专家系统为主的诊断方法。但是专家系统存在自学习能力差，遇到新故障无法诊断，知识获取困难等问题，为了解决这个问题，在建立专家系统的同时还建立了神经网络诊断模块，用来诊断专家系统中没有涵盖的故障；基于信号处理的方法，直接利用信号的某些特征，如相关函数、频谱等进行分析，回避了建立对象数学模型的难点，平台采用信号处理的方法对装备的某些部件(继电器、电磁阀等)进行分析，通过对输出信号的变化反推出对应的故障模式，有效地提高故障检测的准确性[4]。

3.2 软件系统组成

以 20X 型号装备为背景的平台的软件由平台自检、部件测试和诊断、在线检测、系统故障诊断、信号测试模拟、健康管理以及电气信号图等几大模块组成，如图 3 所示。

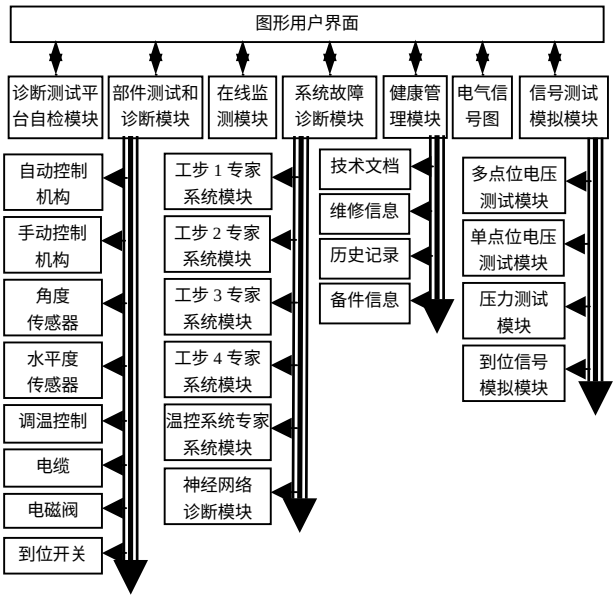


图 3 软件系统组成

(1)部件测试和诊断模块，主要用来完成 20X型号装备中主要设备或部件的测试与诊断，它采用基于信号处理的诊断方法：对于结构简单、信号耦合关系弱的的设备采用阈值判断方法，来确定故障；对于机构复杂，信号耦合关系强的设备通过频谱分析、相关函数分析等方法发现隐藏在数据背后的故障。该模块的通用化的实现可以通过更改阈值和频谱、相关函数等的标准图形等方式来实现[5]。

(2)系统故障诊断模块，主要包括按照装备工作阶段划分的专家系统模块和神经网络模块：专家系统模块采用基于数据库的方式实现，向其它型号装备扩展时只需更改数据库中的内容即可；神经网络模块对遇到专家系统无法诊断的故障时，提供给用户一个参考的诊断方案。网络采用 BP 神经网络，在平台的使用过程中，自动从每次故障诊断的实例中提取有用的知识进行学习和更新。

(3)健康管理模块，用来调阅查看装备的各种技术文档，包括各分系统的技术说明书及图纸资料、使用说明书、操作规程、操作注意事项等帮助说明性图文资料；查看和添加维修信息，包括记录、保存和管理维修的过程资料、采集的数据、维修建议、维修帮助指导以及各种备附件信息等。

(4)信号测试模拟模块，该模块与部件测试和诊断模块相比，具有更大的灵活性，能够根据用户的需要在不同部位测试或模拟信号，并能同时测试多个信号，具有对测试数据的查看、分析和保存等功能，就是一个可以测量多种信号的“ 高级万用表 ”。

4 结束语

目前以 20X 为背景的通用型某武器系统故障诊断与测试平台的研制已经完成，在实际装备上的试用也已完成，取得了良好效果，并得到试用单位的认可。如何改进通用平台的诊断测试效果，提高诊断测试的精度是下一步研究的重点。

参考文献

1 于传强, 郭晓松, 张　安. 电控系统故障诊断装置的系统设计[J]. 计算机工程, 2003, 29(14): 163-165.

2 樊友平, 陈允平. 运载火箭控制系统漏电故障诊断研究[J]. 宇航学报, 2005, 25(5): 507-513.

3 于传强. 20X 武器系统电控温控及液压系统故障诊断装置的实现[D]. 西安: 第二炮兵工程学院, 2003.

4 Simon H. Neural Networks[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

5 郑小霞, 钱　锋. 动态系统故障诊断技术的研究与发展[J]. 化工自动化及仪表, 2005, 32(4): 1-7.

(上接第 233 页)

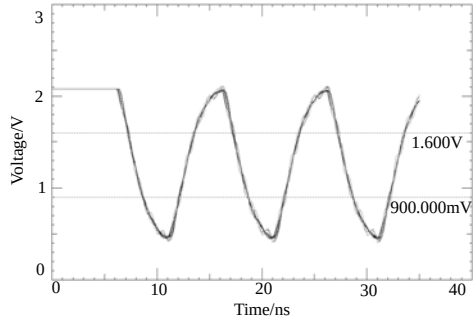


图 10 DDR(D1-D16)接收受端波形

5 评测

图 11 显示了设计制作的 SoPC 电路板，其层数为 16 层，并且一次成功。

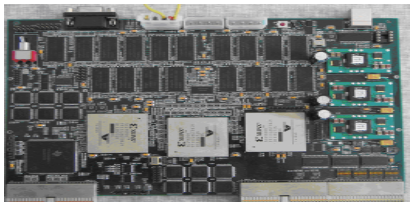


图 11 SoPC 板

使用 Verilog 语言编写 DDR 控制器，在 FPGA 内部运行，对板上 DDR 存储系统进行控制；往 1GB 的 DDR 存储系统的每个 8bits 的存储空间写入多种测试数据，然后读回，与原先写入的测试数据比较，测试多种读写方式下 DDR 存储系统的运行情况，来判断 DDR 存储系统是否工作正常。

当时钟频率为 166MHz 时，经测试 DDR 存储系统工作正常。

6 结论

本文基于 SoPC 技术，采用信号完整性仿真的方法，成功设计了一块带有高速 DDR 存储系统的嵌入式处理板，测试速度达到 DDR333，系统工作稳定。信号完整性仿真分析作为辅助设计方法，不可能做得面面俱到，需要设计者更多地积累信号完整性方面的理论知识，并在实际的高速数字设计中，积累更多的经验。

参考文献

1 Stephen H Hall, Garrett W H, James A. High-speed Digital System Design[M]. Wiley-interscience Publication, 2000.

2 Johnson H, Graham M. High-speed Digital Design——A Handbook of Black Magic[M]. Prentice Hall PTR, 1993.

3 Green L. Modeling and Simulation for Signal Integrity[Z]. Cadence Design Systems Inc., 2000

4 Hynix Inc.. 512Mbits DDR SDRAM HY5DU12822B(L)T Specificaions[Z]. 2002.