

嵌入式雷达综合诊断系统的设计与实现

徐玉芳

(南京电子技术研究所 南京 210039)

摘要: 为了满足雷达日益增长的对故障检测、诊断和维护的迫切需求,同时以提升雷达综合竞争力为研究目的,设计研制了一套针对雷达综合故障诊断的嵌入式系统。本文分别从系统框架和软件架构方面详细介绍了系统的设计原理、诊断策略和实现方法。该系统采用嵌入式的测试系统体系结构,结合基于构件技术的软件设计思想和开发方式,完成雷达 BIT 状态监测和性能自动化测试两大功能,实现对雷达故障的综合诊断能力,使得该诊断系统具有良好的通用性、可移植性和扩展性。实际应用证明该系统性能稳定,操作简单,使用维护方便,具有较高的实际应用价值。

关键词: 综合诊断;嵌入式;构件

中图分类号: TP277 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Design and implementation of embedded radar integrated diagnostics system

Xu Yufang

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: One embedded diagnostics system for radar is designed based on the requirements of fault detection, diagnosis and maintenance. The paper introduces the theory of design, diagnosis strategy and method of realization from system frame and software architecture two aspects. The system realized BIT monitor, automatic testing and integrated fault detection via an embedded structure design and philosophy of software refer to constructional element. The system is provided with generality, portability and expansibility. The application has proved the system stable performance, easy operation and maintenance, has a higher application value.

Keywords: integrated diagnostics; embedded; constructional element

1 引言

随着现代雷达装备竞争激烈性的不断增加,对雷达保障性和维护性的要求也越来越高。雷达故障检测的快速响应和诊断的准确定位直接影响到了装备的使用与维护性能。一套性能可靠、操作便捷的综合诊断系统已经成为现代雷达装备必不可少的组成部分。综合诊断是指将构成装备诊断能力的各要素进行综合,即通过有效的组织和配置使各组成单元成为一个整体协同发生作用,以达到以最低的费用最有效地检测、隔离系统内已知的或预期发生的所有故障,获得所要求的诊断能力^[1]。作为雷达组成部分的嵌入式综合诊断系统在雷达系统的设计之初便综合考虑诊断性设计的设计思想和实现方法,相较于独立于雷达的诊断系统具有诊断性能最优化和测试覆盖最大化的优点。基于嵌入式的系统框架设计和构件式软件开发相结合的方式使得该系统在很好地满足现代雷达装备维护性和保障性需求的同时具备了开放、通用、易于升级的特点。因此,组建

这样一套雷达综合诊断系统具有十分重要的现实意义。

2 系统概述

基于雷达本身特性和故障诊断实际应用的考虑,该综合诊断系统包括雷达 BIT 状态的监测和雷达功能、性能的自动化测试两大部分。BIT 状态监测即通过雷达内网接收并获取雷达各分系统 BIT 信息进行显示和故障告警,属于雷达内部测试,它将结果综合应用于检测、诊断和维护等方面,不仅提高了整个系统的故障诊断能力还强化了雷达 BIT 的综合效果^[2]。自动测试设备是综合诊断系统的另一重要组成,是检验雷达装备完好性,提高雷达诊断技术的重要途径。它通过对功能或性能参数的自动化测试和分析,给出雷达系统功能的完备性、性能的下降程度的评价,这种外部测试比 BIT 具有更强的诊断能力和更高的测试准确度。

该综合诊断系统具备故障检测和隔离能力,不仅能用

于雷达系统工作中的性能监测和故障诊断,也可用于雷达系统在执行任务前的测试准备和校验工作,不仅能够大大缩短雷达的平均维修时间(MTTR),还提高了雷达系统的可使用度,降低了用户检修和排故的难度。该系统集合了测试诊断领域的 BITE 和 ATE 的方式,实现了对雷达各分系统的主要工作状态、性能等的监测和故障诊断。当雷达出现需操作人员注意的情况或有故障存在时,能够以最直观明了的方式进行指示和预警。

3 系统设计

以往的雷达综合诊断设备是作为独立于雷达的系统而进行设计的,通常不需要在雷达设计的同时就被过多地考虑诊断设计的优化和实现方法。实际上这样的综合诊断系统是在基于雷达已设计定型的基础上作出的适应性设计,某种程度上会因为是在雷达设计时缺乏对测试及诊断设计的考虑而削弱了系统的部分诊断功能而采取的妥协式开发,不可避免的牺牲了诊断的主动性设计。如果采用将综合诊断系统作为被测雷达系统的一部分进行设计,通过事前介入达到综合诊断测试的最优化设计,可大大提高诊断设计的主动性,使系统的诊断能力和故障检测覆盖率得到极大提升,实现嵌入式诊断。所谓嵌入式诊断,是指嵌入到被测

对象中的专用测试诊断系统,一般用于实时控制、监测和管理的设备^[3]。“嵌入”意味着系统本身与其所控制和管理的系统是融为一体的,具有专用性强、实时性高等优势。嵌入式综合诊断系统可以分别实现雷达系统在线、离线工作模式下,利用自身的检测诊断能力,监测雷达当前的运行状态,检测并定位产生故障的部位及原因,以声、光和显示器等多种形式进行告警,并提示和指导操作人员和维修人员采取必要的防护措施和解决方法。嵌入式诊断是提高系统装备测试性、维修性和提升系统快速维修能力的最为简单有效的技术手段^[4]。

作为嵌入式综合诊断系统,在硬件设计时,就将设备与雷达其他分系统一样加入雷达内网系统中,实现了与被测系统的 BIT 数据共享,可直接并实时地对数据进行检测和诊断。该诊断系统在汇总雷达 BIT 测试数据的同时可进行自动化测试。基于嵌入式设计的优势,自动化测试结果能实时传送并上报至雷达终端,及时给出告警,便于雷达系统本身对故障的监测和管理。通过综合 BIT 状态与自动化测试两方面的结果,以及故障隔离软件模块对故障点的隔离与定位,可对故障模式、故障原因等进行综合分析,实现综合诊断的目的。该嵌入式综合诊断系统设计如图 1 所示。

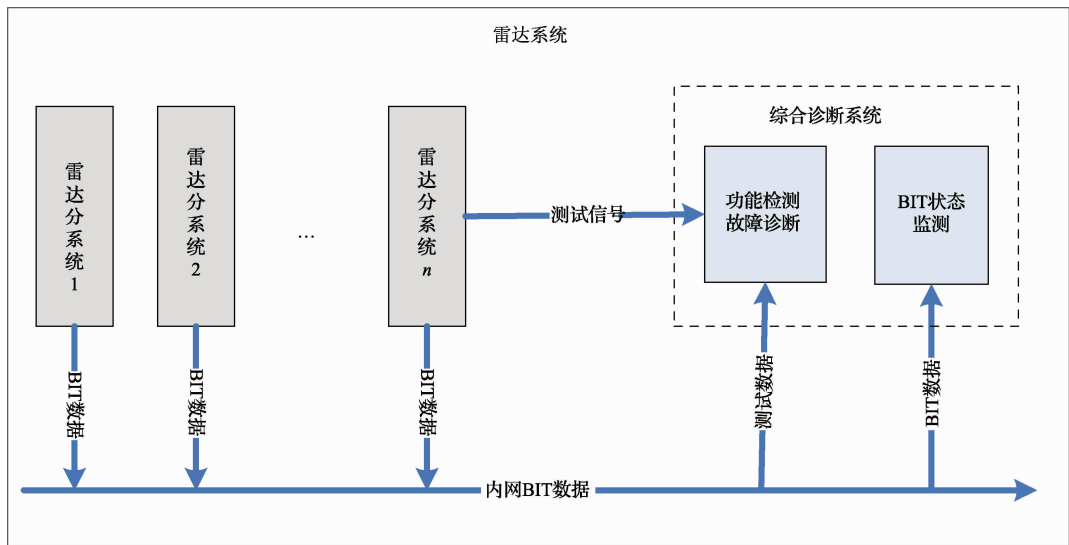


图 1 系统设计

3.1 功能组成

当雷达启动并初始化后,综合诊断分系统先执行加电测试,若测试不通过则提醒用户立即对雷达进行检修。加电测试通过后,分系统再执行在线测试,当所有测试项均通过时,雷达系统进入正常的工作状态。在雷达工作方式下,综合诊断分系统通过 BIT 状态数据和自动化测试结果综合进行故障诊断。当异常发生时,综合诊断分系统根据诊断结论,触发雷达作出相应的响应。对于轻度故障,用

户可选择雷达停机检修或继续工作。对于已严重到影响雷达正常工作性能的故障,综合诊断分系统会触发脱机请求,使雷达置于脱机模式。

在系统诊断功能上可分为内部诊断和外部诊断。内部诊断是指在雷达工作状态下,综合诊断系统根据接收到的雷达工作定时信号周期性地通过网络接收各分系统的报文,然后从网络报文中按照数据严格的定义格式,提取和解析分系统 BIT 信息以及与之相关的控制和状态信息,

并将来自雷达不同分系统的 BIT 数据格式转换成诊断分系统软件内部使用的统一的数据格式进行定义,最后以图形和表格两种形式进行直观地显示结果信息,包括系统组成框图故障指示,分系统、单元状态实物图故障指示,以及故障信息“实时”更新显示等。外部诊断是指诊断计算机通过连接的测试仪器设备对雷达性能指标如波形参数、频谱等进行的自动化测试。被测信号首先通过测试电缆从其他分系统连接至诊断系统的转接板,经过通道切换分别进入示波器和频谱仪进行测试,计算机对测试结果进行显示和保存,并同时将结果上报至雷达^[5]。综合诊断分系统根据故障模式自动获取相应的处理方法,并进行故障隔离。若在雷达工作状态下检测到存在影响雷达正常工作的故障模式,那么直接将雷达切换至脱机模式,保证雷达运行安全。在脱机模式下,可选择自动运行必要的脱机测试项,与在线测试项的测试结果进行综合,再对雷达系统进行故障隔离。

3.2 诊断策略

诊断推理是指依据一定的原则通过观测系统不同测试点上的故障现象组合进而确定故障原因的过程^[6]。诊断是在对象发生故障时,采用某种策略运用知识库的相应知识,对诊断对象进行检测分析与隔离,直至定位到故障源。本综合诊断系统采用逻辑综合和故障字典相结合的方法实现故障诊断功能。

对于内部诊断采用了逻辑综合的策略,在检测出测试项(BIT 数据中的开关量、数据量)发生异常时,通过对 BIT 数据的异常判定,对 LRU、分系统状态进行逻辑综合,通过配置“分系统状态与 LRU 以及监测、诊断项”的关联关系,实现故障状态的层级间传递给出故障诊断结论。

对于外部诊断则采用了故障字典及专家经验的方法,将雷达故障知识精炼成维修事例,收集各类自动化测试结果,征兆获取,确定测前故障集,建立故障字典,以循环故

障匹配的方法进行故障诊断。该方法大大减少了测试时间和测后分析计算量,加快实时诊断能力。

4 软件功能实现

4.1 软件架构

本综合诊断系统软件主体框架的构思是具有明确对象性的,即根据对被测雷达功能特征的分析而制定的。通常认为在软件设计中形式应当服从功能,因此依据被测对象雷达的主要功能而设计的诊断系统框架的主要组成部分包括了 BIT 状态参数的解析、自动化测试过程的控制、诊断界面的人机交互以及测试数据的统筹管理几个部分,这几部分作为软件主框架的功能点,是测试系统里较为通用普遍的几个功能划分。因而在进行主体框架设计时,最基本的环节就是对于测试领域的选取,并针对领域内部所要解决的问题进行系统的提前规划,易于软件框架的实现。

本系统软件的设计采用了面向对象的设计思想和层次化、构件化的程序结构,可实现状态监测数据的解析和自动化测试流程的分离^[7]。系统软件设计采用了三层结构,分别为用户接口层、测试构件层和仪器驱动层^[8-9]。用户接口层用于人机交互界面,直接面向用户,供用户执行测试和故障诊断的操作;测试构件层是测试流程和测试方法的程序集;仪器驱动层是最底层的仪器控制 API,直接对测试仪器进行操作,供上层构件调用。这三层结构依次调用、相互依赖,具有鲜明的层次关系。

该综合诊断系统软件的工作状态与雷达系统同步,当雷达系统处于在线模式时,测试系统同处于在线模式,当雷达系统处于脱机模式时,测试系统同处于脱机模式。在不同模式下自动测试系统采用相同的工作模式,但可接收的测试数据不同。仅在脱机模式下,测试系统方可接收脱机测试数据。

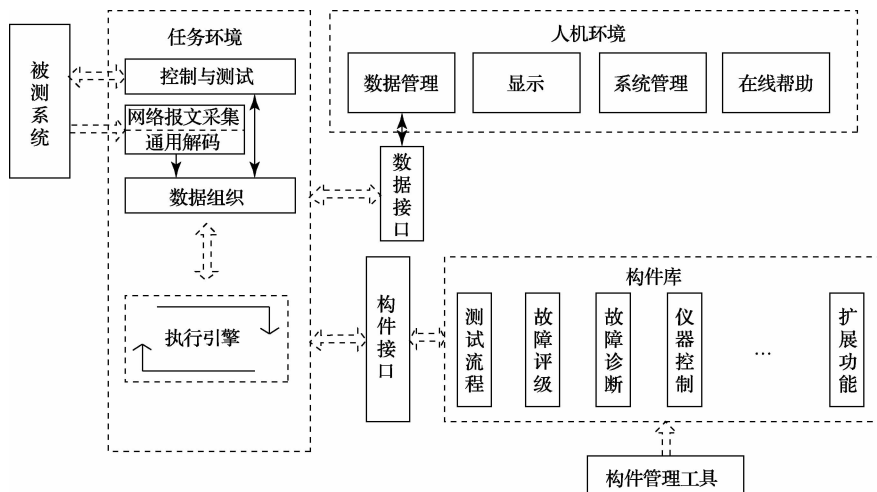


图2 系统软件架构组成

系统软件主要包含以下功能模块:网络报文采集、通用解码、控制与测试、数据组织与管理、故障评级、故障诊断、定制测试、综合显示、系统管理、结果上报等。上述功能模块中,测试流程、仪器控制方法、数据处理流程等独立出来,形成构件动态加载,与交互界面程序相脱离,实现了测试流程的模块化开发。并可根据其他雷达的不同测试任务要求,通过对流程构件的注册和卸载实现任务的定制。构件与整个软件平台的融合是通过设置“执行引擎”和“构件接口”完成的。平台根据构件的注册及配置信息组织数据结构,对各类构件进行解析和执行,并监控各类构件的运行情况。软件架构的层次关系如图 2 所示。

4.2 功能开发

本节主要阐述构件的具体实现。根据功能的不同,构件的类型分为算法模型类、测试流程类和仪器控制方法类,一般以动态库,COM 组件和 ActiveX 控件的形式来实现。通常构件可以利用 VC++、Matlab 等编程环境,根据规定的协议、接口标准等进行开发和编译而成^[10]。本系统采用了 Visual Studio 2005 环境下生成的动态链接库来创建测试构件,然后通过构件管理工具进行加载、管理、维护和释放来实现测试构件与软件平台的交互。构件管理工具负责将来自不同软件开发环境中生成的构件进行注册,复制到指定的库文件夹中实现版本的控制,也支持构件的卸载和删除。

构件的开发需要按照软件平台定义的接口标准执行。一般的构件只需用到系统模块管理接口和测试结果传递接口,当测试构件需要实现绘制信号波形时,还应增加波形显示控制接口的调用,所有测试构件都应具备这些接口标准。构件接口的部分代码实现如下所示:

1) 系统模块管理接口

```
[
object,
uuid(22DA886A-678D-467B-B258-F9E80D033ACD),
helpstring(“系统模块管理接口”),
pointer_default(unique)
]
interface IBitModuleManager;IUnknown{
[id(80020201), helpstring(“插入接口”)] HRESULT
InsertModuleI([in] GUID _guid, [in] IUnknown * _
Iinterface);
[id(80020202), helpstring(“启动加载模块”)]
HRESULT StartLoadModules();
```

2) 测试结果传递接口

```
[
object,
uuid(6020ED8B-29E2-4442-B363-CE1573EEB15F),
helpstring(“测试结果传递接口”),
pointer_default(unique)
```

```
]
HRESULT IsReadyToWrite ([ out ] BOOL *
IsReady);
[id(80032001), helpstring(“写入数据”)] HRESULT
AddGenData([in]BIT_TestProcedureData data);
[id(80032002), helpstring(“传递数据”)] HRESULT
InputFameData ([ in ] DWORD dwOffsetBytes, [ in ]
DWORD dwBytesOfData, [in, size_is(dwBytesOfData)]
char * data, [out]int * Value);
3) 波形显示控制接口
[
object,
uuid(CF715382-9850-4fd1-ADB9-3EEF41464669),
helpstring(“波形显示控制接口”),
pointer_default(unique)
]
interface IWaveCtrl;IUnknown{
[id(90020001), helpstring(“按照 XY 数组显示波
形”)] HRESULT SetDataPlotXY ([in] BSTR PlotItem,
[in, size_is(XSize)] DOUBLE * Xdata, [in, size_is
(YSize)] DOUBLE * Ydata)
```

5 应用实例

针对某地面雷达的综合诊断系统软件运行后的工作界面如图 3 所示。工作界面分为:菜单区、操作视图区和诊断

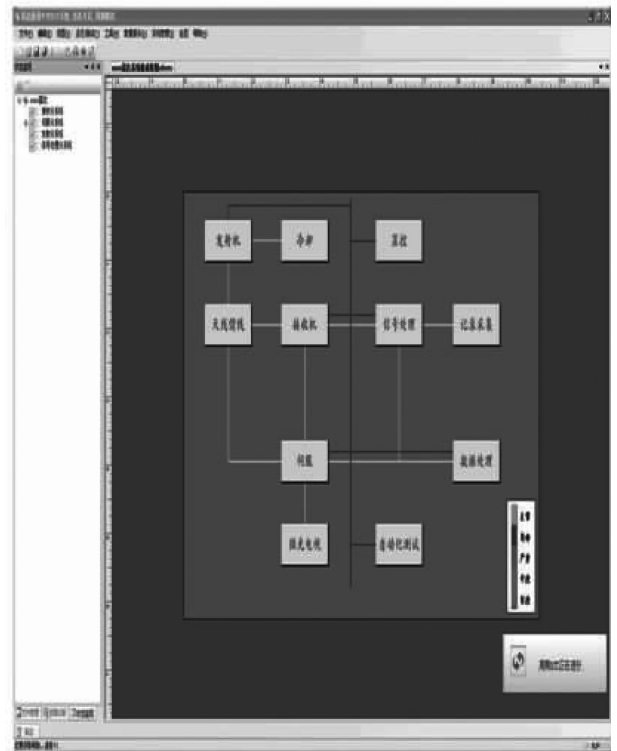


图 3 系统软件界面

结果显示区。该故障诊断系统在雷达执行任务过程中可实时监测雷达各分系统的 BIT 状态并进行判断,一旦出现“故障”等异常信号,将自动给出诊断结论,并根据用户需求提示雷达进入脱机测试模式,进一步进行故障定位,同时系统软件还提供了生成详细诊断结果报告的功能。

为了验证该系统诊断结果的正确性,通过人为地从某分系统拔出一块印制板制造了一处故障,结果显示,该故障诊断系统的诊断结果与实际一致。经过实验,充分表明了该嵌入式综合诊断系统诊断结果的正确性和有效性,达到了预期的设计目的。

6 结 论

该综合诊断系统利用硬件上嵌入式设计的实时和便利性优势,结合软件上构件式的开发方式,使故障诊断具有灵活、高效、便捷的特点,同时实现了测试方法的标准化、模块化,开发时只需从构件库中选择相应的测试构件,通过对构件进行注册和受控管理就可以进行测试程序的开发及故障诊断,便于软件的管理、移植和升级。目前,该诊断系统已在多个产品上应用,实际结果证明系统运行稳定、诊断结果可靠、大大提高了开发效率和调试成本,具有较为广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 林典雄,李岩,张勇. 航空装备综合诊断的现状与发展设想[J]. 航空工程进展,2011,2(3):349-353.
- [2] 王香,汪远银,徐忠锦. 机载电子设备 BIT 技术研究

[J]. 国外电子测量技术,2014,33(8):57-60.

- [3] 刘萌萌,李瑶,曾照洋,等. 基于仿真的嵌入式诊断设计方法[J]. 测控技术,2013,32(10):136-140.
- [4] 邓森,景博. 基于测试性的电子系统综合诊断与故障预测方法综述[J]. 控制与决策,2013,28(5):641-647.
- [5] 王燕,宋小安,曹子剑. 某两型雷达综合测试系统设计与实现[J]. 电子测量技术,2014,37(11):117-121.
- [6] 韩斌,陈宁. 机载系统多故障诊断推理方法研究[J]. 计算机测量与控制,2011,19(11):2613-2615.
- [7] 孙小进,郭恩全. 基于 IEEE1232 的故障诊断系统的软件架构设计[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(1):36-41.
- [8] 郭素敏,徐克宝,吴波,等. 基于构件技术的通用自动测试系统软件设计[J]. 计算机测量与控制,2013,21(10):2859-2861.
- [9] 李树彪,韩敬伟. 基于多任务的智能测量仪器嵌入式软件设计[J]. 仪器仪表学报,2013,34(12):1-7.
- [10] 吕永乐. 雷达通用中央 BIT 软件集成平台[J]. 现代雷达,2014,36(9):1-5.

作者简介

徐玉芳,1982 年出生,工程师,硕士研究生。主要研究方向为雷达测试系统设计与综合诊断。
E-mail:jssuxyf@163.com

(上接第 78 页)

的优化,所以对于 GPU 程序的编写,应该根据算法并且结合 GPU 的结构特点来编写并优化程序,使得程序在运算过程中能最大程度的使用 GPU 资源,从而满足更高的实时性要求,更好更快的完成任务。

参考文献

- [1] CUMMING I G, WONG F H. Digital processing of synthetic aperture radar data: algorithms and implementation[M]. Artech house, 2005.
- [2] 冯颖,袁庆华,沈健炜. 基于 CPU+GPU 异构计算的编程方法研究[J]. 通信技术,2011(2):141-143.
- [3] 张艳,代巧莲,黄奇珊,等. 高性能运算之 CUDA 应用分析[J]. 电信技术研究,2011(3):42-46.
- [4] 井丽红,张朝路,高飞. 基于线性调频信号的 ISAR 成像仿真[J]. 信息技术,2010(11):182-184.
- [5] 俞翔,朱岱寅. 一种 ISAR 二维压缩感知成像的运动补偿方法[J]. 电子学报,2012(9):1784-1789.
- [6] 杨国军,贺志毅. 改进的逆合成孔径雷达成像包络对

齐方法[J]. 系统工程与电子技术,2012,3:482-488.

- [7] 於建生,张静,尹治平. 太赫兹单频雷达的二维成像仿真[J]. 太赫兹科学与电子信息学报,2014,4:501-504.
- [8] 阙晓博,宁宇. 逆合成孔径雷达相位补偿算法研究[J]. 国外电子测量技术,2012,29:33-35.
- [9] 彭勃,张磊,王广生. GPU 协同处理在全景视频生成系统中的应用[J]. 国外电子测量技术,2009,28(5):78-82.
- [10] 江艳阳,黄双华,刘峰. 基于 cuda 的雷达线性调频信号脉冲压缩实现[J]. 舰船电子工程,2011(11):76-78.

作者简介

刘百玲,在读硕士研究生。
E-mail:liubailing@bit.edu.cn
江海清(通讯作者),讲师。
E-mail:haiqingd99@bit.edu.cn