

文章编号:1671-4598(2012)07-1880-03

中图分类号:TP206.3

文献标识码:A

面向服务的装甲装备 PHM 体系结构研究

李 勇¹, 常天庆¹, 白 帆^{1,2}, 张 雷¹, 张 波¹

(1. 装甲兵工程学院 控制工程系, 北京 100072; 2. 海军第 92373 部队, 辽宁 大连 116001)

摘要: 为适应装甲装备维修保障方式改革的需要, 提出一种面向服务的装甲装备故障预测与健康管理 (PHM) 体系结构; 分析了几种典型 PHM 体系结构, 得出 PHM 体系结构应具备的共性特征; 结合面向服务架构的原理和装甲装备综合电子信息系统的特点, 研究和设计了面向服务的装甲装备 PHM 体系结构, 详细阐述了其组成、功能及特点; 该结构具有分布式、层次化、开放性等特点, 满足装甲装备 PHM 系统分布式应用环境要求。

关键词: 面向服务体系结构; 装甲装备; 故障预测与健康管理

Research on Service-oriented PHM Architecture of Armored Equipment

Li Yong¹, Chang Tianqing¹, Bai Fan^{1,2}, Zhang Lei¹, Zhang Bo¹

(1. Department of Control Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China;

2. Unit 92373 of Navy, Dalian 116001, China)

Abstract: A kind of service-oriented PHM architecture of armored equipment is proposed in the paper to adapt to demand of maintenance support reformation. Common characteristics are obtained by analyzing several kinds of typical PHM architecture. Service-oriented PHM architecture of armored equipment is designed combined the principle of service-oriented architecture and the characteristics of integrated electronic information system. The components, functions and characteristics are introduced detailed. This architecture has the distributed, hierarchical and open features and meets distributed environment demand of armored equipment PHM system.

Key words: service-oriented architecture; armored equipment; PHM

0 引言

现役装甲装备设计之初主要关注装备自身的战术技术性能, 顶层设计时较少考虑装备的自主维修保障, 从而导致其维修保障方式主要采用定期维修或修复性维修。由于不考虑装备实际技术状态, 这种维修保障方式往往造成维修过剩 (规定的检修期已到, 装备并未损坏, 但不得不按制度进行例行检修) 或维修不足 (规定的检修期未到, 但装备已出现故障), 既严重影响了装备的战备完好性, 也造成人力和物力的极大浪费。近年来, 随着装备技术的发展, 新型装甲装备总线化、模块化、综合化程度越来越高, 逐步具备了机内自诊断和故障预测能力。装甲装备保障方式也开始由传统的状态监测和故障诊断向 PHM 方向发展。

目前在国外尤其是美国, 各种 PHM 系统已经逐步得到应用。国防部门和各军种, 先后开发应用的有飞机状态监测系统、发动机监测系统、综合诊断预测系统以及海军的综合状态评估系统等, 而针对装甲装备的 PHM 应用研究较少。针对这一现状, 本文提出了面向服务 (Service-oriented Architecture, SOA) 的装甲装备故障预测与健康管理 (PHM) 体系结构, 为实现装甲装备 PHM 工程化提供了有益的参考。

1 典型 PHM 体系结构分析

1.1 视情维修的开放体系结构

OSA-CBM 由美国机械信息管理开放系统联盟 MIMOSA 综合所有 PHM 系统的设计思想和技术方法所指定和发布, 可用于指导实际构建机械、电子和结构等应用领域的 PHM 系统^[1]。目前, 该体系结构已在包括美国海军舰船系统、飞机、民用车辆以及其它工业领域在内的诸多系统中得到初步应用验证^[2-3]。OSA-CBM 如图 1 所示。

图 1 所示体系结构的特点包括:

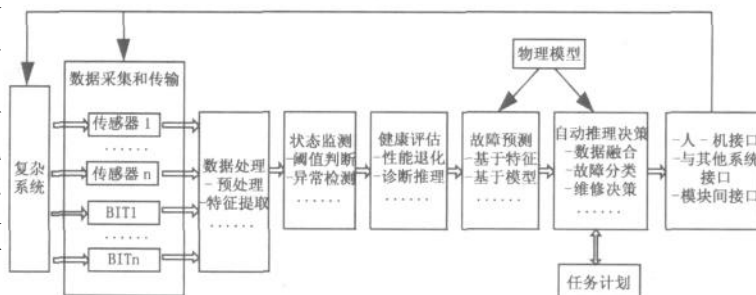


图 1 OSA-CBM 体系结构

- (1) 功能上分成数据采集和传输、数据处理、状态监测、健康评估、故障预测、自动推理决策以及人机接口等 7 层;
- (2) 能对系统状态和性能劣化进行灰度建模;
- (3) 支持多源信息融合及跨部件/子系统信息融合;
- (4) 具备控制功能, 能主动指挥诊断、预测以及健康评估过程。

收稿日期:2012-02-12; 修回日期:2012-04-05。

作者简介: 李 勇 (1983-), 男, 湖南浏阳人, 博士研究生, 主要从事装备智能故障诊断方向的研究。

常天庆 (1963-), 男, 河南郑州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事装备维修保障, 智能火控系统方向的研究。

1.2 JSF飞机的预测与健康管理体系结构

JSF飞机的PHM用于机载信息的监控、存储、传送以及故障预测与诊断,是一种综合运用多种诊断和预测技术构成的部件、分系统和系统级状态监控策略的一体化建模结构。它采用基于人工智能的方法,将来自传感器或BIT的数据传给事先已构造和训练好的智能推理机软件,智能推理机利用基于模型的推理、神经网络和模糊逻辑之类的智能数学模型来模仿物理系统的工作状态,对各个分系统和整个系统即将发生的故障进行检测和隔离,并根据部件或分系统当前的诊断状态和现有使用数据来预计其未来的健康状况和故障模式^[4]。JSF飞机的PHM体系结构如图2所示。

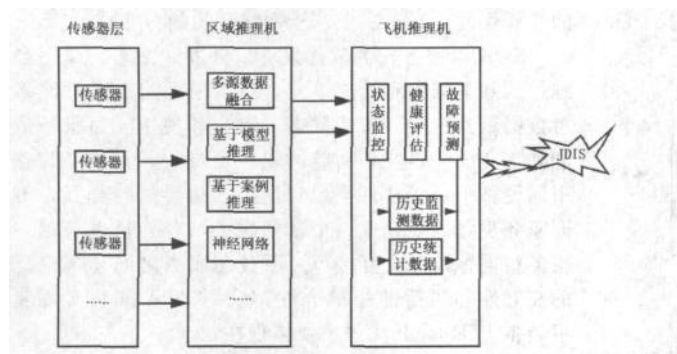


图2 JSF飞机的PHM体系结构

JSF飞机的PHM是一种基于区域管理器的体系结构,以区域管理器为核心分成三层:第一层为传感器层,完成数据采集功能;第二层为区域管理器层,由多个区域管理器构成。区域管理器由软件推理机或功能软件模块组成,利用数据融合、神经网络、基于模型或案例的推理技术,完成多信源的数据融合;第三层为飞机推理机,用于综合飞机各个子系统的信息,得到飞机整体的健康评估信息。此外,JSF飞机的PHM体系结构还包括地面推理机系统以及与JDIS(联合分布式信息系统)的接口^[5]。

该PHM体系结构具有如下特点:

- (1) 针对不同的功能子系统,设计专门的区域管理器。每个区域管理器具有不同的计算功能和软件算法,用于对特定子系统进行连续监测;
- (2) 高层数据融合统一在飞机管理器中进行,可以消除单个传感器故障引发的虚警现象;
- (3) 决策支持工具在JDIS中实现,PHM为决策支持系统提供必要的辅助决策的数据和信息。

1.3 面向机载PHM的分层融合式体系结构

空军工程大学的张亮等人针对新一代作战飞机的技术特点以及在维修保障方面的需求,提出了一种集成的分层融合式体系结构,如图3所示。

从图3中可以看出,该体系结构实现了模块/单元级PHM、子系统级PHM、区域级PHM、平台级PHM等4层。各个层次PHM之间提供独立的、标准的软/硬件接口。对于飞机上的每个分系统,均采用3种分离的推理机,分别是异常检测推理机(AR)、故障诊断推理机(DR)和故障预测推理机(PR)。另外还包括3种信息流:各层之间纵向数据流,同一层次上不同推理机之间横向数据流,以及包括控制信息和知识信息的反馈流。

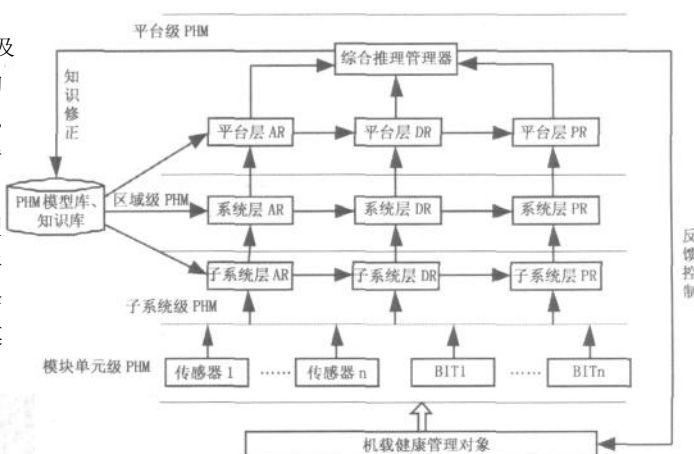


图3 面向机载PHM的分层融合式体系结构

该体系结构的特点包括:

- (1) 在较低层次由各个子系统收集、解释用于本子系统状态评估所有信号,然后在较高层次将诊断/预测结果集中交由中央管理控制器进行记录和决策。
- (2) 可在子系统级和系统级两个层次进行融合,更加全面地利用了冗余层次状态信息,从而能更加有效地降低系统虚惊率问题^[6]。

通过对以上3种PHM体系结构的分析可以看出,PHM体系结构应具备的共性特征包括:

- (1) 分布式、跨平台构架,保证各个子系统能独立完成相应的功能,并能实现不同平台之间的互操作,保证系统的可重用性;
- (2) 采用层次化结构设计,减小复杂模型的耦合程度,能显著降低系统开发的复杂度;
- (3) 开放性、标准化实现方法使得层次之间、模块之间都按照标准进行数据交换和信息共享,并能集成来自不同供应商的软硬件组(部)件。

2 面向服务的装甲装备PHM体系结构设计

随着装备技术的发展,装甲装备的数字化、信息化、综合化程度越来越高,综合电子信息系统应运而生。装甲装备综合电子信息系统是应用计算机控制和数字通信等技术,采用多路传输数据总线,实现车内电子系统综合化,达到信息资源共享,使目标探测、识别、跟踪、火力控制、火力打击、作战指挥、战场机动、综合防护和故障诊断、后勤保障等形成一体化的作战系统。综合电子信息系统大大提高了装甲装备对战场实时信息的获取、管理、控制和利用能力,使装备在未来战争体系对抗中的综合作战效能得到明显提高。

PHM在装甲装备中的应用离不开综合电子信息系统。一方面,综合电子信息系统是PHM实现的物理基础,其数据总线是PHM各个功能模块之间进行数据交换的通道。另一方面,PHM也是综合电子信息系统的所必须具备的重要功能。因此,PHM的应用不仅提高了装甲装备的故障检测和诊断能力,同时也提高了综合电子信息系统自身的可靠性。

综合电子信息系统的构建要求满足网络中心化的分布式应用环境,使用者能按不同地点、不同应用环境、不同需要灵活进行业务操作,共享系统资源和信息资源。SOA以服务为中心,网络

化、开放性的特点使得其成为了综合电子信息系统理想的软件架构,是综合电子信息系统服务功能实现的最佳软件方式。

因此,面向服务的装甲装备 PHM 体系结构建立在装甲装备综合电子信息系统基础之上,其功能单元主要参考 OSA—CBM 体系结构。具体结构如图 4 所示。

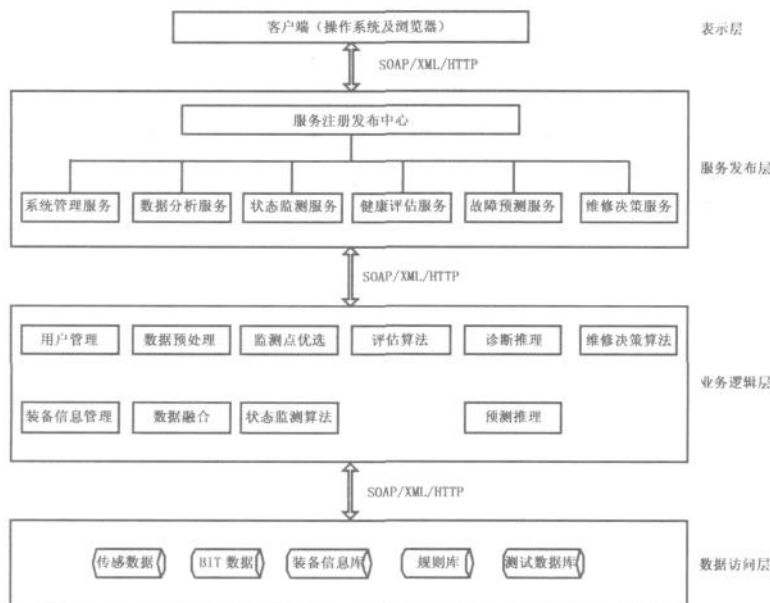


图 4 面向服务的装甲装备 PHM 体系结构

该体系结构采用分层式设计,各层的功能及联系描述如下。

(1) 表示层:实现用户交互界面,如车载嵌入式操作系统(如 VxWorks),嵌入式 Web 浏览器等,通过用户交互界面,实现用户对数据的操作及判断。

(2) 服务发布层:将业务逻辑层中的各种细粒度服务封装成粒度较大的、易用的粗粒度服务,通过 Web Service 发布各种服务,接受表示层的调用。

该层是面向服务的一层,通过该层实现 SOA 架构的服务发布功能。服务类型参考 OSA—CBM 体系结构,主要包括 6 类服务:系统管理服务,主要完成对用户及装备信息的管理;数据分析服务,主要完成对采集的信号进行分析处理,从而获得反映装备状态的特征信息;状态监测服务,主要完成对装备实际运行状况的监测,并根据预定的各种参数指标极限值/阈值来提供故障报警;健康评估服务,主要评估被监测系统的健康状态,如是否有参数退化现象等;故障预测服务,综合运用各种规则进行故障诊断,实现故障定位,并利用历史数据预测装备未来的变化趋势;维修决策服务,根据状态监测、健康评估和故障预测服务的数据来产生更换、维修活动等建议措施。

(3) 业务逻辑层:将各种业务逻辑封装成相互独立的细粒度服务,并接受上层粗粒度服务的调用。例如:故障预测服务包括多个细粒度服务,对应各种预测推理方法。该层被设计成面向服务的模式,通过该层实现 SOA 架构的服务功能。

(4) 数据访问层:该层数据主要以数据库的形式存在。数据访问逻辑组件从数据库中检索数据供业务逻辑层调用并将处理后的数据返回到数据库中,同时对传感器和 BIT 模块获取的数据进行存储和管理。

从图 4 中可以看出,服务发布层和业务逻辑层是整个面向服务的装甲装备 PHM 体系结构的核心,业务逻辑层包含很多细粒度的服务,每个服务完成一定的任务和功能。业务逻辑层中的细粒度服务又被封装成完成复杂功能的粗粒度服务。最终,这些服务被发布到业务服务总线上成为面向 PHM 应用的业务处理服务。

另外,面向服务的装甲装备 PHM 体系结构利用 XML 进行数据交换;利用 SOAP 封装调用服务;使用 HTTP 等标准协议作为实体通信协议。同传统的分布式计算模式相比,利用标准网络协议和 XML 数据格式进行通信,能很好地解决不同中间件平台上服务的互操作性,真正实现基于网络环境的分布式计算。

SOA 以服务作为软件设计、开发、部署、调用和维护的基本结构和功能单元,可以根据需求通过网络对数据服务进行分布式部署、组合和使用。而服务是能独立完成一定业务功能的粗粒度模块,它可以跨越不同硬件平台、软件平台和网络的边界进行交互,不同服务也可以聚合成一个新的服务,对外呈现与单一服务相同标准的交互接口,服务与服务之间体现广泛的交互性和灵活的松耦合性。采用 SOA 架构实现装甲装备 PHM,其优势主要体现在:

(1) 基于组件的开发方式,使得服务的设计和实施更加灵活,在不改变服务接口的前提下,实现细节和方法的改变不会对整个业务流程造成影响。因此,在进行装甲装备 PHM 总体功能规划时,可以将重点放在整个业务流程设计上,而不必过于关注每个服务模块的具体设计细节,降低了设计难度。

(2) SOA 系统建立在大量的开放标准和协议之上,可通过引入和增加新的服务模块来实现装备 PHM 系统的功能扩展和升级,增加了系统的灵活性。

(3) SOA 采用分布式架构实现网络资源的有机整合和透明访问,使得装备的状态信息能无缝地融入国防综合电子信息网,实现节点和系统之间信息的互联互通和互操作,加强了整个战场的信息感知能力。

(4) SOA 强调对服务的重用,能够动态地将各种服务按需进行封装,使资源的利用更加高效,降低开发成本。

3 结论

本文就 PHM 系统设计的首要问题——体系结构问题进行了深入研究。通过分析几种典型 PHM 系统结构,得出 PHM 应具有分布式、层次化、开放性等特点。结合装甲装备综合电子信息系统的特征,提出了一种面向服务的装甲装备 PHM 体系结构。该结构参考 SOA 软件架构,将 PHM 中的功能模块封装成粗细粒度不同的服务,通过调用不同的服务来实现装备的状态监测、故障诊断和故障预测等功能。下一步工作中,我们将在面向服务的装甲装备 PHM 体系结构框架下,重点研究具体的系统、部(组)件的状态监测、健康评估、故障诊断和预测等方法,从技术上实现装甲装备的 PHM 系统。

参考文献:

- [1] 郭伟,唐西平,张佳佳,等.大型飞机的 PHM 健康监控技术研究[J].民用飞机设计与研究,2009,(S):159-162.

(下转第 1903 页)

构成, 结合 Skyworks 的先进半导体技术和低价位的封装工艺, 其频率可以到 10GHz, 能广泛应用于无线通信系统的设计中。

2.2.5 直流放大、取模与数据采集

经过选频与检波之后得到近似直流的信号, 其幅度还很小, 如果直接对其采样会带来比较大的误差, 其准确度难以保证, 因此进一步检波后信号进行放大、取模然后再送入数据采集芯片进行采样^[5]。直流放大与数据采集功能框图如图 7 所示。检波直流信号首先通过一级射随器, 然后进行直流放大, 经 AD637 取模后送到 AD1674 进行数据采集, 采集后的数字量送到接口电路。



图 6 噪声系数测试模块选频与放大功能框图

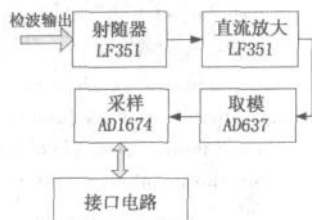


图 7 直流放大、取模与数据采集框图

信号采集电路采用 12 位精度的并行采集芯片 AD1674 实现。AD1674 有两种工作模式, 一是完全控制模式, 一是独立工作模式。在完全控制模式下, 使用了所有的控制信号, 该模式用于当系统中地址总线上挂接有多个设备的情况。独立工作模式用于系统中有专门的输入端口, 无需全部的总线接口功能。在这里采用的是完全控制模式工作的。

2.3 软件设计

应用程序用虚拟仪器软件 LabWindows/CVI 编写, 其功能主要是完成对 AD 芯片、继电器的控制, 读取超噪比并计算噪声系数测试结果, 软件流程图如图 8 所示。

3 结论

利用该测试模块对多型雷达接收机进行了噪声系数测试, 计测试了 3 种典型雷达装备, 实测值与 Agilent8975A 测试结

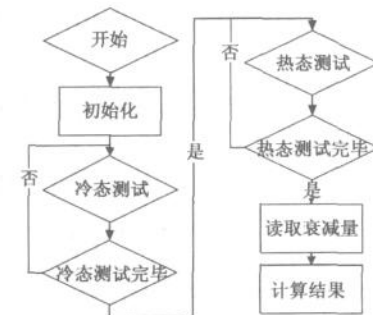


图 8 噪声系数测试模块应用程序软件流程

果对比曲线如图 9 所示, 其中实线表示的为模块测试结果, 虚线表示的是 8975A 噪声系数测试仪测试的结果, 测试最大误差为 0.19dB。误差表明该模块作为虚拟仪器式的测试设备能够满足部队测试需求。同时, 该模块与雷达的接口简单, 全自动测量, 测量结果全自动显示。因此, 非常适合作为雷达的随机设备, 供雷达维修人员使用。

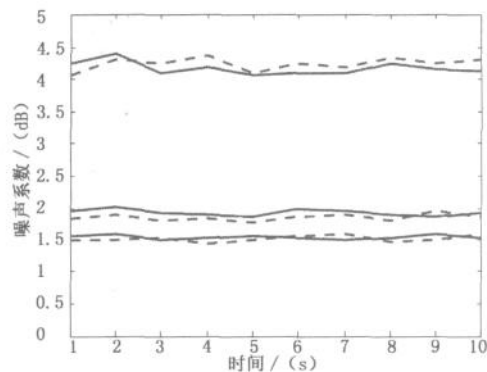


图 9 三种雷达装备噪声系数测试误差曲线

参考文献:

- [1] 弋 稳. 雷达接收机技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [2] 李合平, 和志强. 雷达接收机噪声系数测试仪的研究与设计 [J]. 计算机自动测量与控制, 2001, 9 (2): 57.
- [3] PLX Technology. PCI 9030 Data Book Version 1.4 [R]. 2002.
- [4] Fundamentals of RF and Microwave Noise Figure Measurements. Application Note 57-1, literature number 5952-8255E [Z] 2010.
- [5] 寇琼月, 张 磊, 等. 对空警戒雷达接收机噪声系数测试仪的设计. 电子测量与仪器学报 [J], 2009, (s).

~~~~~

(上接第 1882 页)

- [2] Bengtsson M, Olsson E, Funk P, et al. Technical design of condition based maintenance system—A case study using sound analysis and case-based reasoning [A] // Maintenance and Reliability Conference / Proceedings of the 8th Congress [C]. 2004.
- [3] Disenzo F M, Nickerson W, Mitchell C E, et al. Open systems architecture enables health management for next generation system monitoring and maintenance [R]. Development Program White Paper, 2001.
- [4] 郭阳明, 蔡小斌, 张宝珍, 等. 故障预测与健康状态管理技术综述

[J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (9): 1213-1216.

- [5] 潘全文, 李 天, 李行善. 预测与健康管理系统体系结构研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2007, (S): 32-37.
- [6] 张 亮, 张凤鸣, 李俊涛, 等. 机载预测与健康管理 (PHM) 系统的体系结构 [J]. 空军工程大学学报 (自然科学版), 2008, 9 (2): 6-9.
- [7] 刘福军, 孟 晨, 孙香冰, 等. 面向服务的军用 ATS 软件体系结构设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (7): 1774-1777.
- [8] 沈 涛, 周 曼, 周荣坤, 等. 面向服务的综合电子信息系统软件策略 [J]. 中国电子科学研究院学报, 2008, 3 (2): 158-164.