

· 总体工程 ·

中图分类号: TN956

文献标志码: A

文章编号: 1004-7859(2011)06-0020-05

健康管理在机载雷达中的应用研究

王 宏

(南京电子技术研究所, 南京 210039)

摘要: 复杂系统健康管理是测试技术、人工智能和信息技术的综合应用,它是由故障检测、故障隔离和重构(FDIR)技术演变而来,并且运用先进的推理技术,将管理功能从FDIR扩充到系统自主重构、系统资源重组,以安全、可靠地实现系统任务目标,减少维修人力和保障费用。文中对健康管理在机载雷达中的应用进行了研究。

关键词: 预测与健康管理; 故障检测; 隔离和重构; 机载雷达

A Study of Health Management in Airborne Radar

WANG Hong

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

Abstract: Complex system integrated health management(CSIHM) integrates artificial intelligence with test and information technologies. It has evolved from fault detection, isolation and reconfiguration(FDIR) and its function of management is developed to autorromy reconfiguration and resource assignment from FDIR by appling advanced reasoning technologies, which can accomplish task object safely and efficiently and decrease maintenance manpower and support coat. Applicaiton of health management in airborne radar is studied in this paper.

Key words: prognostic and health management; fault detection; isolation and reconfiguration; airborne radar

0 引言

随着科学技术的迅速发展,现代工程系统越来越复杂,特别是在航空、航天、军事、电子信息等高新技术领域,大量的复杂系统(Complex System,CS)已经成为主力技术装备。这类系统科技含量高,在航空、航天及军事领域具有重要作用。然而这类系统在功能/性能大幅提高的同时,由于组成环节和影响因素的增加,发生故障/失效的潜在可能性也越来越大。个别部件故障常常会引起链式反应,导致任务失败,可见CS在提高性能/功能的同时,带来了可靠性、安全性、可用性等方面一系列难题。为提高CS的故障诊断能力,在进行了大量研究的基础上,提出了基于案例的推理、贝叶斯网络等新的诊断技术。复杂系统健康管理就是在这种背景下,综合利用现代信息技术、人工智能技术的研究成果而提出的一种全新的管理CS健康状态的解决方案。其目标是提高系统的可用性、可靠性和效能,减少维修人力和保障费用,使大型CS能够更安全、更可靠、更高效地运转。复杂系统健康管理由在线智能检测、系统级评估、控制和管理功能所构成,目的是为任务执行者提供信息和辅助决策,降低寿命周期成本,避免一些不可预料的危险事故,可靠地完成系统预期任

务。复杂系统健康管理负责收集、处理和综合整个系统的健康信息,并以健康信息为依据做出决策,确保系统任务成功。系统健康管理以故障检测、故障隔离和系统重构技术为基础,将管理功能扩充到系统自主重构以及为安全有效地实现任务目标而分配系统资源。也就是说,复杂系统健康管理能够提供更大的自主性、更好的在线检测方法、更完善的决策能力以及更高的可靠性。基于核电站、航天、航空、民用航空等大型复杂系统对高任务可靠性的要求,健康管理得到了应用。机载雷达属于复杂电子信息系统,目前对任务可靠性要求愈来愈高,同时要求减少维修人力和保障费用,基于一系列的更高要求,本文引入健康管理设计理念,并对其在机载雷达中的应用进行了研究探索。

1 复杂系统健康管理的研究现状

复杂系统健康管理是在太空飞行计划、民用航空中面临不断增长的安全性、任务成功性和降低成本的需求背景下提出的,复杂系统健康管理以现代信息技术为手段,采用定性定量相结合的综合集成方法对CS关键组成部分和全寿命周期过程各个阶段进行健康管理。复杂系统健康管理以可承受性为核心,综合提高CS的可靠性、安全性和完好性,同时降低全寿命周期成本。针对不同的对象,复杂系统健康管理的具体实现方式可能不同,但其基本思想都是一致的。复杂系

统健康管理强调的是整个系统的健康状态,而在子系统级别,健康管理与故障检测、隔离和重构(FDIR)的区分界限是模糊的。虽然目前对复杂系统健康管理还没有统一的定义,但从国外研究现状可以看出复杂系统健康管理具备以下内涵:

(1) 从系统功能角度看,复杂系统健康管理能够在线监测、评估系统健康、检测故障、预报失效、评估任务能力、预报关键部件剩余可用寿命,并通过实时智能推理、信息融合给出决策建议,触发后勤保障系统产生高效的维护动作。

(2) 从应用价值看,复杂系统健康管理可以提高系统安全性、任务可靠性、降低全寿命周期成本,提高系统完好性。

(3) 从技术组成看,复杂系统健康管理包括异常检测、故障诊断、预测技术、智能推理、决策技术、数据传输技术等。

(4) 从技术沿革看,复杂系统健康管理是传统BIT技术的全面提高,集成了智能诊断/预测、决策支持等,最终实现整个系统健康状态的全面管理。

(5) 从实现角度看,复杂系统健康管理物理上分为机载、地面2大组成部分;逻辑上往往划分为多个组织层次,逻辑的划分可从信息流角度考虑,从信号、数据、信息、知识、及决策的智慧,不同的层面之间设计成相对独立功能单元;从系统构成角度,将复杂系统健康管理分解为部件级、子系统级、系统级。

(6) 从工程设计看,要求健康管理系统作为系统设计的一个有机组成部分,从系统设计之初就作为系统的一项设计特性给予考虑,而不是事后设计成附加系统;

(7) 从全局角度看,复杂系统健康管理将系统本身和维修保障统筹考虑,淡化以往系统主体与保障系统之间的界限,使信息在系统与保障系统之间流通更加流畅,尽量利用现有的保障模式来提高系统使用维护的经济性;

(8) 从应用领域看,复杂系统健康管理遍及航空、航天等军事领域,此外在核电站等国民经济关键部门都有应用。目前,美国及一些欧洲国家已经进入复杂系统健康管理的工程验证阶段。

预测与健康(Prognostic and Health Management, PHM)和联合分布式信息系统(Joint Distributed Information System, JDIS)是美军正在大力开发的适应21世纪高技术局部战争的自主后勤系统的两大重要基础。早在2000年7月,PHM技术就被列入美国国防部的《军用关键技术》报告中,它是一种能显著地降低系统的使用和保障成本,提高系统安全性和可用性

的综合性技术。从美国的SH-60直升机使用和状态管理系统到波音公司在民航领域的飞机状态管理系统到美国海军的综合状态评估系统、陆军的嵌入式诊断和预测,再到海、陆、空三军通用的联合攻击战斗机(Joint Strike Fighter, JSF)的PHM系统,国外对PHM技术的研究和应用表明PHM正在成为新一代大型复杂装备系统设计的关键技术。

JSF飞机的PHM体系结构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为3层:

(1) 传感器层由飞机现有的传感器加上数量尽可能少的专用传感器,以及一些由高级算法构成的虚拟传感器组成,用于完成原始数据收集;

(2) 由多个区域管理器构成,负责处理来自传感器层的数据,获取飞机相应子系统的健康信息。区域管理器由软件推理机或功能软件模块组成,利用模糊逻辑、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;

(3) 是飞机推理机,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JDIS(联合分布式信息系统)的接口。PHM体系结构具有以下特点^[1]:

(1) 专用传感器用量少,这不但减轻了重量、降低了成本,而且提高了飞机系统的可靠性;

(2) 针对不同的功能子系统(如推力系统、飞机结构、飞机管理系统等),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;

(3) 高层数据融合统一在飞机管理器中进行,可以消除由于单个传感器故障引发虚警的现象;

(4) 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。

2 机载雷达健康管理系统

故障预测与健康(PHM)技术是对机载雷达传统BIT和状态监控功能的进一步拓展,承担着对机载雷达状态的监控和健康评估,PHM技术是压缩维修保障费用,减小保障规模,降低雷达寿命周期费用的重要手段。机载雷达健康管理系统具有以下技术特点^[2-3]:

(1) 机载雷达PHM采用模块和系统的二级结构,模块级可进行测试信息获取、存储和上传,系统级将模块级信息进行综合故障诊断和推理,并将结果上传至飞机PHM系统;

(2) 天线单元健康管理通过对天线收发单元的状态监测和天线的仿真模型,预测出天线的增益、辐射功率、副瓣电平等参数的变化,实现天线的性能评估;

(3) 放大单元、接收单元、信号处理单元、数据处理单元、电源单元健康管理可根据模块的实时状态对处理、通道等进行系统重构;

(4) 雷达系统健康管理综合天线、放大、接收、信号处理、数据处理、电源单元的健康状态对雷达的性能进行评估,实现雷达作用距离预测、雷达工作方式决策、雷达工作参数选择、模块重构等健康管理功能。

2.1 机载雷达 PHM 系统框架

如图 1 所示,飞机故障预测与健康管理系统分 3 个层次:

(1) 最低层是分布在各分系统部件(称作成员级)中的软、硬件监控程序,作为识别故障的信息源,借助传感器、BIT、模型等检测故障,将有关信息直接提交给中间层的区域管理器;

(2) 中间层为区域级,具有信号处理、信息融合和区域推理机的功能,是连续监控飞机相应分系统运行状况的实时执行机构;

(3) 顶层为飞机级,接收来自各区域管理器信息,

通过对所有系统的故障信息的相互关联,确认并隔离故障,最终形成维修信息和供飞行员使用的知识信息,传给地面。

机载雷达系统 PHM 分为 2 个层次,分别是模块级、系统级^[4]。(1) 模块级主要进行各类测试信息采集、上传测试信息、预留测试维护端口,并可根据用户需求进行简单的故障处理,如故障告警、故障隔离等;(2) 系统级接收来自模块级的嵌入式测试信息并进行故障诊断推理,根据推理结果对功能模块进行故障处理,并将处理结果上传至飞机 PHM 系统。

基于总线的雷达 PHM 系统有正常和维护 2 种工作模式。加电启动、整个工作阶段都采用正常模式,直到维护模式功能被选择。在正常工作模式下,PHM 进行系统、模块故障处理,连续监控并报告已发生故障的模块,将故障数据保存,并根据系统健康状况进行决策,实现系统重构,以有效地完成系统任务;维护模式仅在地面进行,该模式执行指令性维护任务,提供交互式用户接口显示维护数据,维护模式功能包括输出飞行报告,提供最后一次保存和分析的飞行数据等。

雷达 PHM 系统主要由在线故障诊断子系统和故障预测子系统组成,其总体设计结构如图 2 所示。

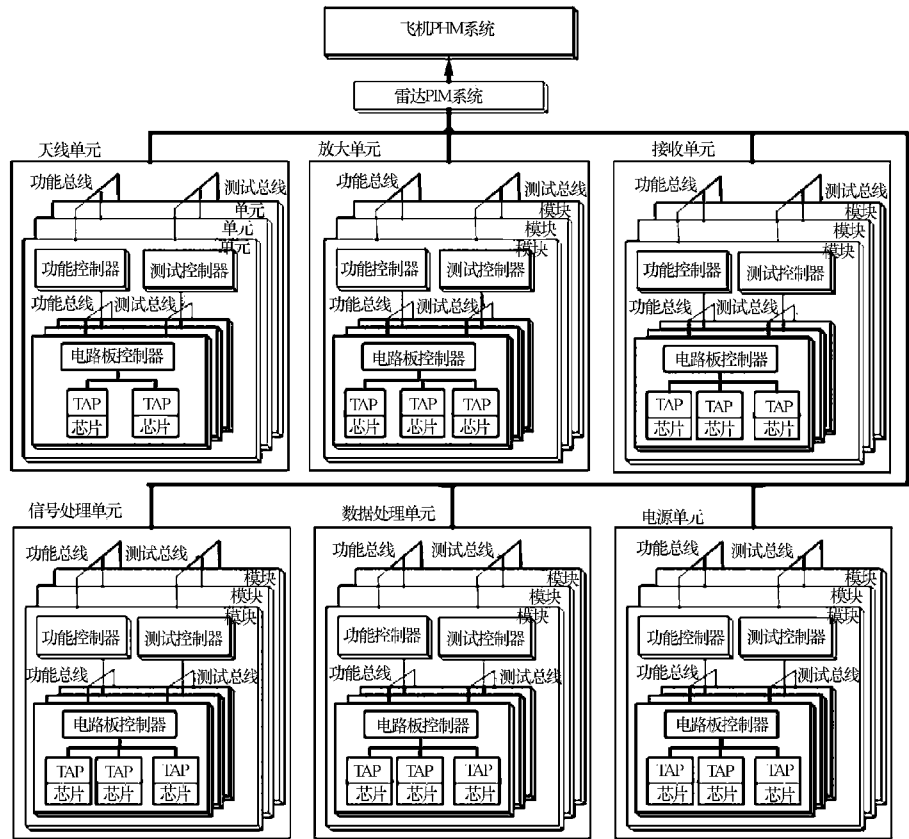


图 1 雷达 PHM 系统框架

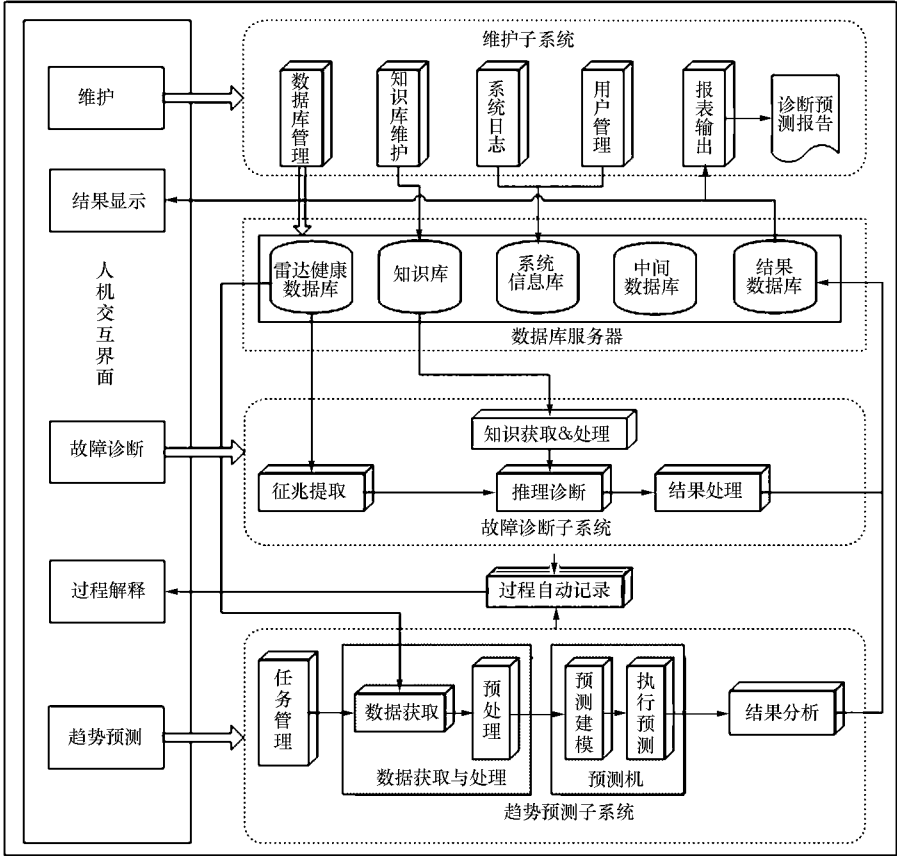


图 2 雷达 PHM 系统的设计结构

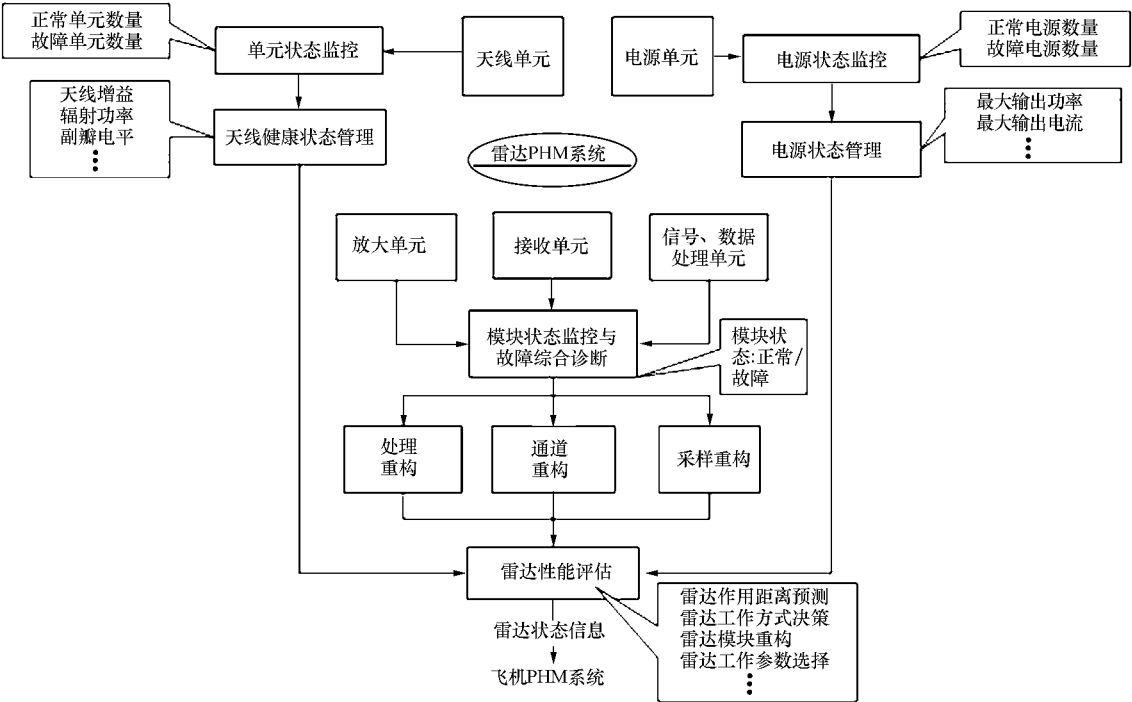


图 3 雷达健康管理系统

2.2 雷达 PHM 功能

雷达 PHM 技术能使雷达在线诊断自身的健康状况 ,并能使得采用最少的维修活动实现维修。主要包括: 故障检测、故障诊断、故障隔离、故障预测、性能监

测、资源与信息管理、重构支持等功能。图3为雷达健康管理结构框图。

雷达 PHM 根据功能划分,由3个部分组成,分别承担着雷达3个主要组成部分的状态监测与健康管理,并将各自的状态信息上报飞机 PHM 系统,并通过雷达性能的评估和预测给出雷达健康状态的评价。

1) 天线单元健康状态管理:基于天线的可测试性设计,实现对天线组件的状态进行故障检测与隔离,判断出组件的状态,通过天线的仿真模型,可计算出天线的增益、辐射功率、副瓣电平参数的变化,实现天线的健康状态管理;

2) 电源单元健康状态管理:通过雷达 BIT 状态实时获取各电源的状态,对输出电压、输出电流、负载状况等进行实时监控,可为雷达性能评估、工作方式决策、工作参数选择等提供信息基础;

3) 放大单元、接收单元、信号处理单元、数据处理单元健康状态管理:通过雷达 BIT 实时获取各模块测试点的数据,应用故障综合诊断技术将故障隔离至单个模块。(1) 处理模块故障时可实现快速重构,确保雷达性能不受影响;(2) 某一通道故障时可由其他通道实现快速重构,确保通道正常工作;(3) 采样模块故障时,可实现重构,使雷达性能影响较小。

2.3 雷达 PHM 系统软件流程

模块级测试软件驻留在各模块中,雷达 PHM 系统的一般工作流程如图4所示。

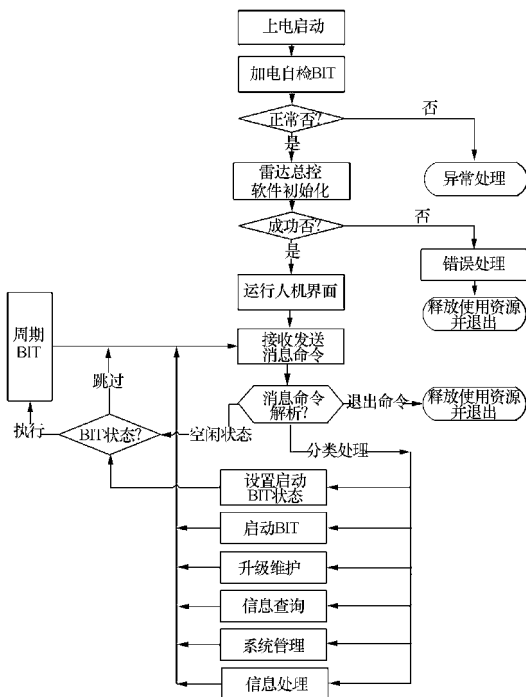


图4 PIM 软件工作流程图

随着雷达设备的开机,各模块上电启动。首先运行的是上电 BIT 程序,完成对模块硬件状态的检查,存储测试结果,确定该模块是否达到正常工作状态。

若模块可以进行正常的工作,机内测试软件将进行总控软件的初始化并运行人机界面,进入接收发送消息命令例程。这些消息命令可以来自总控软件的人机交互界面、模块内或通信总线上的其他软件。

总控软件将实时进行消息命令解析,并进行分类处理。可能处理的任务包括设置 BIT 状态、启动 BIT、升级维护、信息查询、系统管理与信息处理等。

总控软件在执行空闲时将周期性执行周期 BIT 软件。并且周期 BIT 的执行状态包括是否执行、执行间隔等可以被实时更改。

3 结束语

复杂系统健康管理是利用现代信息技术、人工智能技术的研究成果,给出的一种全新的管理复杂系统健康状态的综合解决方案,其目标是提高系统的可用性和效能,减少维修人力和保障费用,使大型复杂系统更加安全可靠。本文对复杂系统健康管理的概念及国内外研究现状进行了介绍,并对 PHM 系统在机载雷达中的应用进行了分析研究。

参考文献

- [1] 张宝珍. 基于信息的综合诊断体系结构及其在 F-35 联合攻击机研制中的应用[J]. 测控技术, 2005, 24(3): 13-16.
Zhang Baozhen. Open architecture for integrated diagnostics and its application to the development of F-35(JSF) [J]. Measurement and Control Technology, 2005, 24(3): 13-16.
- [2] 贲德. 机载相控阵火控雷达[J]. 现代雷达, 2001, 23(1): 1-5.
Ben De. Airborne phased array fire-control radar[J]. Modern Radar, 2001, 23(1): 1-5.
- [3] 张光义. 相控阵技术在机载火控雷达中的应用[J]. 现代雷达, 1995, 17(2): 1-10.
Zhang Guangyi. The application of phased-array technology in airborne fire-control radar[J]. Modern Radar, 1995, 17(2): 1-10.
- [4] 龙凤, 王忠, 程绪建, 等. 航天电子产品的 PHM 技术研究[J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(10): 96-100.
Long Feng, Wang Zhong, Cheng Xujian, et al. Research prognosis and health management of space-borne electric products [J]. Microelectronic and Computer, 2010, 27(10): 96-100.

王宏男, 1965年生, 高级工程师, 硕士。研究方向为可靠性工程与质量管理、控制工程。