

电子产品健康监控和故障预测技术框架

张叔农, 谢劲松, 康 锐

(北京航空航天大学 工程系统工程系, 北京 100083)

摘要: 针对我国在电子产品健康监控和故障预测 (PHM) 方面开展的研究较少的现实情况, 在对国外 PHM 技术进行大量调研并清理和总结大量的 PHM 理论研究和实际工程实践的基础上, 明确了 对电子产品进行健康监控和故障预测的技术框架, 它包括电子产品 PHM 软硬件系统的体系结构框图及其关键技术要素、主要相关环节的技术细节和实施方案。并通过 对实际 PHM 软硬件系统的工程设计和研究, 明确了对电子产品进行健康监控和故障预测主要相关环节的技术细节, 验证了电子产品 PHM 技术框架在工程上的可行性, 完成了构建复杂电子产品 PHM 系统的第一步。

关键词: 电子产品; 健康监控; 故障预测; 框架

中图分类号: TN606 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8829(2007)02-0012-05

Framework of Prognostic and Health Monitoring Technologies of Electronic Products

ZHANG Shu-nong, XIE Jin-song, KANG Rui

Dept. of System Engineering of Engineering Technology Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China

Abstract: Because of less research on prognostic and health monitoring PHM technologies of electronic products in our country, the framework of PHM technologies of electronic products is indicated by investigating many foreign PHM technologies and summarizing many PHM theories and engineering activities. It includes system architecture of hardware and software, key technologies, some main relative details and implementing steps. And main technology details are indicated by designing and researching hardware and software system. The framework is verified and the first step of establishing PHM system of electronic products is finished.

Key word: electronic product, health monitoring, prognostic, framework

随着各种大型复杂系统性能的不断 提高以及复杂性的不断增加, 系统的测试性、故障诊断以及维修保障等问题越来越受到人们的重视。视情维修由于具有后勤保障规模小、经济可承受性好、高效率以及可避免重大安全事故等显著优势而具有很好的前景。视情维修要求对系统的故障可进行预测并具有对系统的健康状态进行管理的能力, 由此产生了故障预测与健康管理 / 监控 (PHM, prognostic and health management/monitoring) 的概念。

在国外尤其是美国, PHM 技术早期首先在陆军装备的直升机上得到了应用, 形成了健康与使用监测系统 (HUMS health and usage monitoring system)^[1~2]; 航天领域早于 20 世纪 70 年代提出了航天器集成健康管理 (IVHM, integrated vehicle health management) 的概念^[3~5]; 各军种和国防部门随着故障监测和维修技术的迅速发展, 先后开发应用了飞机状态监测系统 (AGMS aircraft condition monitoring system)、发动机监测系统 (EMS

engine monitoring system)、综合诊断预测系统 (IDPS integrated diagnostics and prognostics system)、海军的综合状态评估系统 (ICAS integrated condition assessment system) 等大量的应用 PHM 技术的系统^[6~11]。目前各种 PHM 系统虽然各具特色, 但基本思想和设计方法相似, 区别主要表现在不同领域其具体应用的技术方法有所不同, 其中, 以视情维修的开放体系 (OSA-CBM, open system architecture for condition based maintenance) 为典型, 它很好地综合了这些系统共同的设计思想和设计方法。该体系结构主要由 7 个主要部分构成: ①数据采集模块; ②数据预处理模块; ③状态监测模块; ④健康评估模块; ⑤预测模块; ⑥自动决策支持模块; ⑦人机接口模块。其中, 预测模块和自动决策支持模块是基于故障物理模型的。体系结构中的各部分没有明显的界限, 而存在大量的数据信息的交叉反馈, 如图 1 上半部分所示^[12~13]。

我国在 PHM 方面的早期应用主要在民航, 如 COMPASS、ECM、ADEPT 等。自主研发有一些, 主要是飞机或发动机的性能状态监控的软件系统, 但与硬件系统贯穿在一起的整套解决方案的可应用的成果较少。对于电子产品的 PHM, 目前我国在这方面的研究还极少。

1 电子产品 PHM 体系结构

由于 OSA-CBM 较为典型, 可以 OSA-CBM 为参考, 构建电子产品 PHM 系统。如图 1 下半部分所示, 体系结构由数据采集

收稿日期: 2006-07-12

作者简介: 张叔农 (1968—), 女, 江西人, 在职博士, 现主要从事电子产品可靠性工程、可靠性物理、故障预测和健康监控等方面研究; 谢劲松 (1966—), 男, 北京人, 副教授, 博士, 现主要从事可靠性工程、电子元器件可靠性、可靠性物理、故障预测和健康监控等方面研究; 康锐 (1966—), 男, 辽宁人, 教授, 博士生导师, 现主要从事可靠性系统工程、综合保障、测试性设计与故障诊断技术等方面研究。

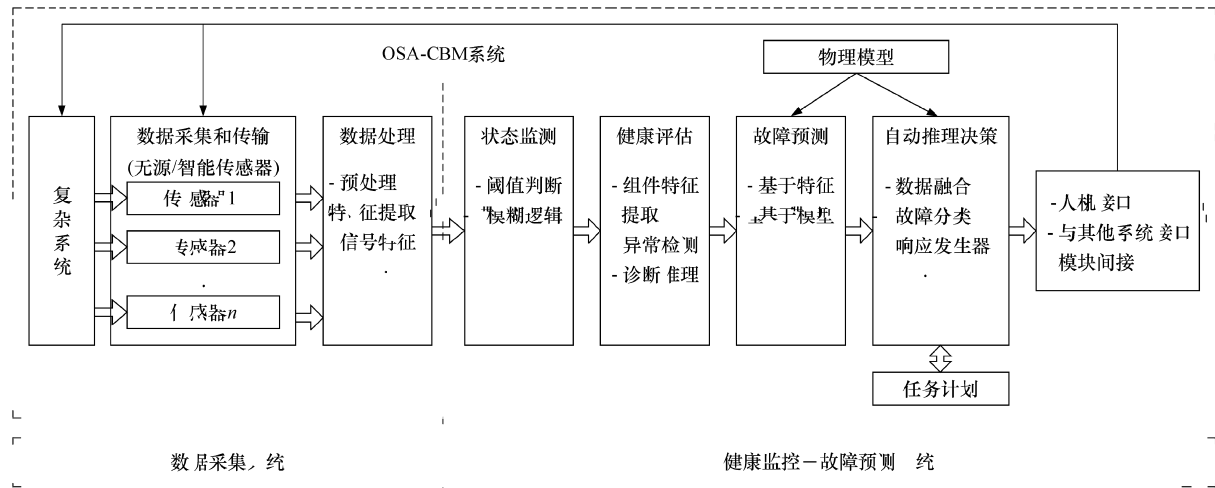


图 1 电子产品 PHM 体系结构

系统和实时监控-故障预测系统两大部分组成，它们分别对应着 OSA-CBM 系统的上述①~②，③~⑦ 模块。两系统的主要功能如下：

- ①数据采集系统。主要包括数据的采集、转换、传输以及集成控制等功能，通过数据采集系统获得 PHM 实时的监测数据。
- ②实时监控-故障预测系统。将数据采集系统获得的实时监测数据同期望的参数指标极限值（阈值）进行比较进而判断系统的状态；综合利用前述各部分的数据信息，评估被监测电子系统的健康状态是否退化，并确定故障发生的可能性，预测被监测电子系统的未来健康状态，如剩余寿命的预测等。

1.1 数据采集系统技术框架

电子产品 PHM 系统数据采集系统技术框架包括了硬件层次和软件层次两方面。

1.1.1 数据采集系统硬件系统框图及关键技术要素

(1)硬件系统框图。

构成电子产品 PHM 系统中数据采集系统的硬件系统主要包括：传感器、数据传输网络（包括有线和无线方式）、数据集成控制系统、机接口等，硬件系统总体框图如图 2 所示。

数据采集部分位于远端待监测的部位，主要根据 PHM 的系统需求以及采用的不同方法和技术选择相应的待监测的各种参数信息，选定待监测的参数后，据此选用各种传感器。采集到的各种数据信息传输到 PHM 的集成控制系统可以通过有线和无

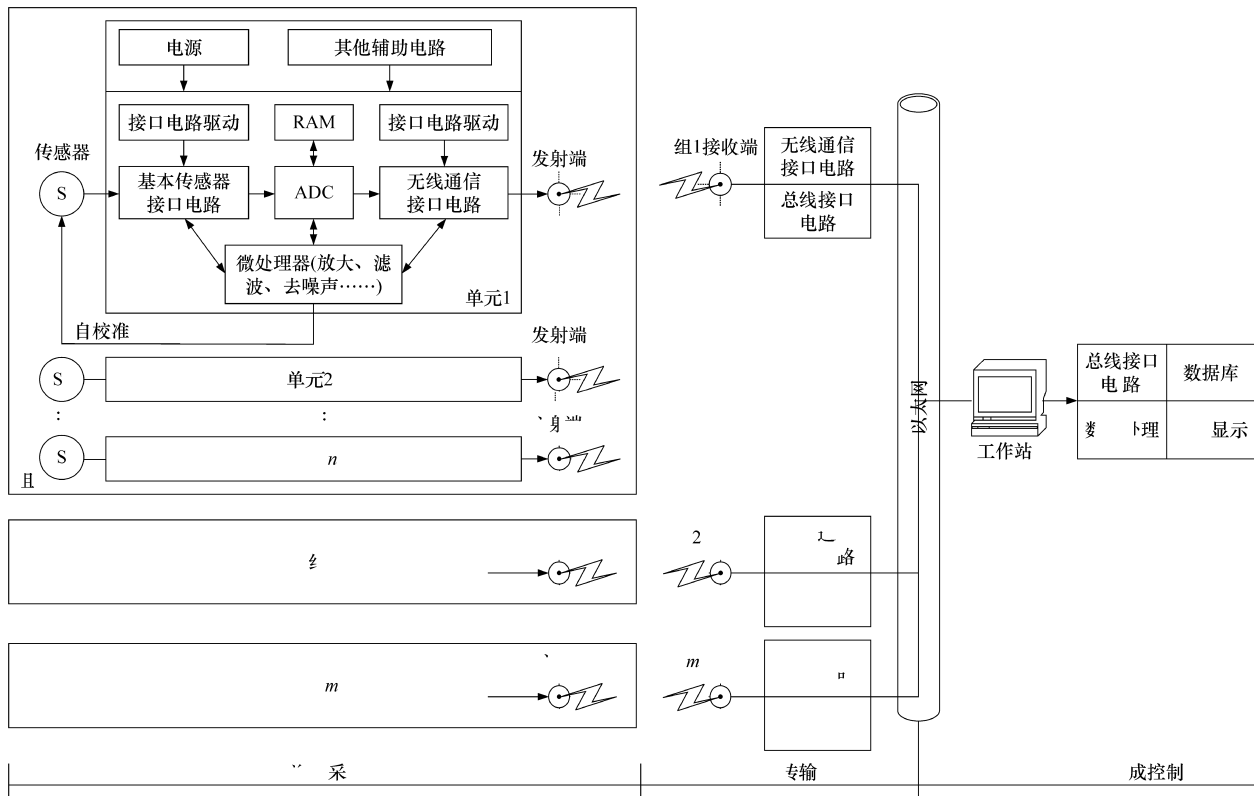


图 2 PHM 数据采集硬件系统总体示意图

线相结合的方式。如在不同舱体内进行数据传输时可以采用有线方式,并可以同被监测系统的其他电缆线共同布置在一起。而在同一舱体内的时候,则可选用无线的方式,避免了同一舱体内的复杂走线,这样可以简化设计,同时也会提高被监测系统的可靠性。数据集成控制系统需要配置同各数据采集点数据传输总线的接口,通过数据接口驱动程序来实现数据源与数据采集系统之间的数据通信。PHM系统主机需安装数据采集及发送客户端软件,通过数据接口采集实时数据,并做数据缓存处理,将采集到的监测数据接收到PHM系统主机实时数据库中。同时主机内还应该配置反馈控制单元,以实现对各个数据采集点传感器单元的行为进行控制。数据处理单元用于支持PHM系统的“推理预测”软件系统,监测当前的健康状态,预测剩余寿命等。

(2) 硬件系统关键技术要素。

传感器技术和数据传输网络技术是数据采集系统中硬件系统的关键要素,对电子产品PHM硬件系统的构建至关重要。

① 传感器技术的应用主要包括选择待监测的参数(包括工作参数、环境参数以及性能参数等),选用传感器的类型,传感器安放的位置,传感器的数量,传感器的精度和带宽,以及数据采集、存储和传输的硬件装置等。目前,用于PHM系统的可供选用的传感器类型很多^[23~25],通常有温度传感器、振动传感器,以及冲击传感器等,此外,还有一些更专用的传感器,如声学发射传感器、腐蚀传感器等,如光纤传感器、压电传感器、碳纳米管、干涉测量、超声波、微电子机械系统(MEMS)技术传感器、智能传感器、内建传感器等。选择传感器既可以采用目前技术比较成熟的产品,一般来说,有相应的标准和大量的工程实践确定了各种类型传感器的选择;也可以根据不同需求开发出有一些“数据预处理”、“数据存储”、“推理”等功能的智能化的专用传感器。数据经预处理后可转换为便于传输和后续处理的统一格式。

② 数据传输网络技术:目前主要有两种数据传输方式将传感器采集得到的数据进行传递,即有线传输和无线传输。有线数据传输是通过各种有线数据总线和各种网络如Internet、Ethernet LAN(local area network)等进行数据的传输。目前这方面的技术较为成熟,并且大多都有各种通信标准、网络协议如TCP/IP、UDP/IP等可以遵循。无线数据传输系统由一系列的分布式布置的传感器组件构成,这些组件通过组件内部的无线Modem进行数据通信^[23]。

这部分一般侧重于现有技术的应用,在应用时主要考虑经济性和适用性。

1.1.2 数据采集系统软件关键技术要素

软件设计直接决定着硬件是否能正常工作,以及能否充分发挥硬件的性能。数据采集软件系统的设计与选用的硬件、传输的方式密切相关,数据采集程序框图也因此而不同。电子产品PHM数据采集软件系统设计应考虑以下几个要素:多线程的实时数据存储、健壮性、抗干扰性、容错性、故障处理等。其中,多线程的实时数据存储技术为关键技术要素。

多线程的实时数据存储软件设计:在要求高速、实时和连续采集和存储的情况下,一方面要求系统不间断地进行数据采集,同时还要进行数据实时地存储,否则将会丢失数据,造成数据不完整。如可在软件实现中引入了Windows的多任务处理技

术,在程序里创建两个工作线程分别完成数据采集和数据存储工作,保证数据的实时性、完整性和连续性^[21~22]。

1.2 健康监控-故障预测系统技术框架

由于健康监控-故障预测系统应用的硬件主要为PC机,因而健康监控-故障预测系统技术框架仅针对软件系统而言。

(1) 软件系统体系结构框图。

电子产品健康监控-故障预测软件系统体系结构包括系统基础框架、失效物理模型模块、健康监控、故障预测方法模块、PHM实时数据库和PHM关系数据库、用户界面等,如图3所示。整个系统为开放式的体系结构,即失效物理模型模块、健康监控、故障预测方法模块可随着对电子元器件机理研究的不断深入、各类方法的不断研究而增加。

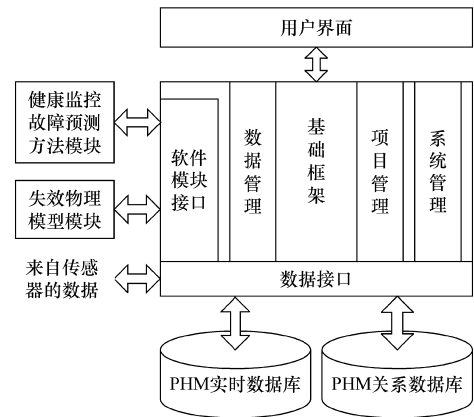


图3 电子产品健康监控-故障预测系统体系结构示意图

基础框架是整个PHM软件的总体控制模块,是为软件的各模块服务的基础模块,主要功能包括:系统管理(如用户管理、密码修改、数据备份等);任务调度(根据软件运行状态和用户要求,进行软件模块的调用和协调);数据管理(包括在健康监控和故障预测之前预先设定的某些信息管理、产品基本信息管理、历史监测数据管理、历史结果信息管理等);数据接口(包括来自传感器的数据与数据库的接口和基础框架中各模块与数据库的接口);软件模块接口(包括失效物理模型模块、健康监控、故障预测方法模块等与基础框架的接口及与数据库的接口);产品项目管理(包括对每一个复杂电子产品进行健康监控和故障预测项目提供完整的信息管理和PHM流程管理,是基础框架的核心部分)。失效物理模型模块是一系列的电子元器件失效物理模型软件模块;健康监控、故障预测方法模块是一系列的方法模型软件模块。这些模块以构件(.ocx文件)或动态链接库(.dll文件)的形式存在,模块可随着对电子元器件失效物理模型研究的不断深入而不断增加。用户界面包括各类人机接口(如数据管理界面、项目管理界面、流程管理界面、状态监测警告信息显示等等)。PHM数据库包括实时数据库和关系数据库,实时数据库装载来自传感器的实时数据(如各类对应监控部位的监控参数记录);关系数据库装载其他与整个软件运行相关的数据(如电子产品项目信息、电子产品基本属性信息、监控参数指标、失效判据信息、监控部位-失效类型-失效判据-监控方法逻辑对照信息、故障预测结果、监控预测报告、系统预设信息、代码信息等)。基础框架的运行由PHM实时数据库和关系数据库、用户界面、失效物理模型模块、健康监控、故障预测方法模型模块支持实现。

(2) 软件系统关键技术要素。

电子产品健康监控—故障预测软件系统关键技术要素包括: 电子产品失效模型、失效判据、实时 PHM 方法及其之间的关系表述; 电子产品 PHM 预测的流程; 电子元器件失效物理模型。

① 电子产品失效模型、失效判据、实时 PHM 方法之间的关系表述, 包括失效类型与相应的失效模型、失效判据的形式; 健康监控预测的基本方法和各方法所需要的输入信息; 数据处理技术和在健康监控预测中的适用范围; 不同失效判据中相关变量的随机性; 失效概率和残余寿命针对不同形式失效模型和判据的确定等^[15], 这些方面随电子产品的不同而不同。

② 电子产品 PHM 流程如图 4 所示^[14]。

首先需要确定以下信息: 监控部位(数据采集点)、监控参

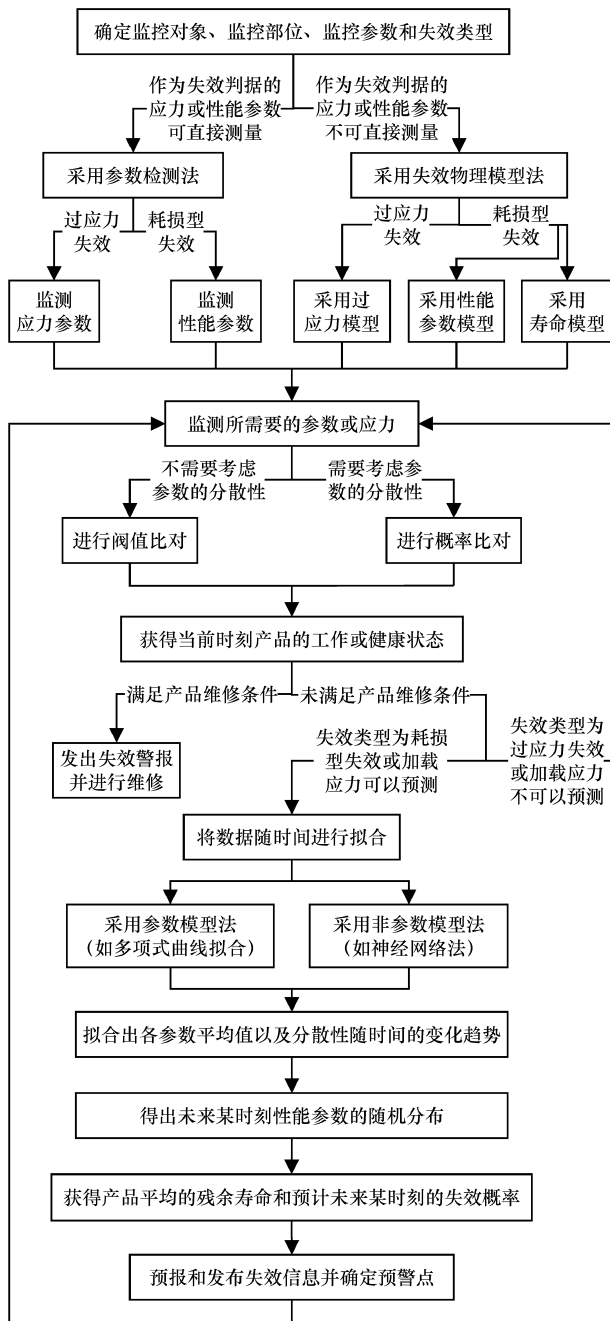


图 4 电子产品 PHM 流程

数、失效类型。然后以应力或性能参数作为失效判据, 选择适当的方法以进行实时健康监测: 当应力或性能参数可直接进行监测时, 选择参数检测法(对于过应力失效, 系统将监测应力参数, 而对于耗损型失效, 系统将监测性能参数); 当应力或性能参数不可直接进行监测时, 选择失效物理模型法(对于过应力失效, 系统将采用过应力模型, 而对于耗损型失效, 系统将采用性能参数模型和寿命模型)。这些步骤确定后, 再确定一定的监测时间, 系统将进入实时监测状态, 在规定的监测时间后, 系统将获得监测得到的参数或应力数据。对于实时健康监测得到的参数或应力数据, 若选择不考虑参数的分散性, 则系统将采用阈值对比法获得当前时刻产品的工作或健康状态; 若选择需要考虑参数的分散性, 则系统将采用概率对比法获得当前时刻产品的工作或健康状态。若该状态满足产品维修条件, 则发出失效警报并通知维修。若该状态未满足产品维修条件, 失效类型为过应力且加载应力不可预测, 则系统将对被监测参数或应力继续进行监测; 如果失效类型为耗损型失效且加载应力可预测, 则将数据与时间进行拟合, 通过参数模型法或非参数模型法拟合出各参数平均值以及分散性随时间的变化趋势, 得出未来某时刻性能参数的随机分布, 获得产品平均的残余寿命, 并预计未来某时刻的失效概率, 预报和发布失效信息并确定预警点, 然后系统将对被监测参数或应力继续进行监测。

③ 电子元器件失效物理模型: 国内外已知的失效物理模型以及在此基础上不断深入研究的各类失效物理模型, 如集成电路电迁移失效模型、与时间相关的栅氧化层击穿模型、热载流子效应模型、模拟集成电路 ESD 失效模型、焊点失效模型、镀通孔失效模型、印制电路板振动模型、印制电路板热传导模型等。

1.3 构建电子产品 PHM 系统的技术实施方案

根据电子产品 PHM 系统技术框架, 对于构建电子产品 PHM 系统的实施应考虑以下几个主要方面:

① 需求分析: 针对具体需要监控的复杂电子产品, 研究并确定监控部位、监控参数、监控指标、失效模型、失效判据、监控方法, 确定数据传输方式等;

② 调研最新技术现状, 选择合适的硬件技术如传感器技术、数据传输技术、数据集成控制技术、接口技术等;

③ 构建电子产品 PHM 硬件系统, 包括数据采集硬件系统和与之相连的 PC 机和外围设备等;

④ 开发和配置相应的电子产品 PHM 软件系统, 包括数据采集软件系统和健康监控—故障预测软件系统。

⑤ 软硬件调试、试用和使用。

2 电子产品 PHM 技术框架的可行性分析

对于电子产品的 PHM 系统构建, 笔者已进行了大量理论研究和实际工程实践, 如图 5 所示(图中实线为系统结构, 虚线为实际工程实践活动), 验证了该技术框架在工程上的可行性。主要理论研究和实际工程实践包括:

① 电子产品健康状态监测和故障预测方法的案例研究。

② 失效模型的形式与实时故障诊断预测的基本方法和技术研究^[15]。

③ 电子产品健康监控和故障预测的流程和案例^[14]研究。

④ PHM 硬件应用技术(传感器、数据传输技术等)调研。

⑤ 数据处理技术的调研^[20]。

⑥ 电子元器件失效物理模型研究: 包括国内外已知的失效机理调研和在此基础上的深入研究^[16, 18~19]。

⑦ 与失效物理模型相关的独立软件模块的设计和开发。

⑧ 构建了 PHM 部分软件原型, 可进行环境应力监测, 并将环境应力监测数据分解到每个待预测的失效位置或对象, 最后针对每个对象的某特定失效机理, 利用获得的环境应力监测数据, 结合故障物理模型, 可以预测被监测对象在该机理下的寿命损耗, 进而实现对故障的预测和健康状态的监控。

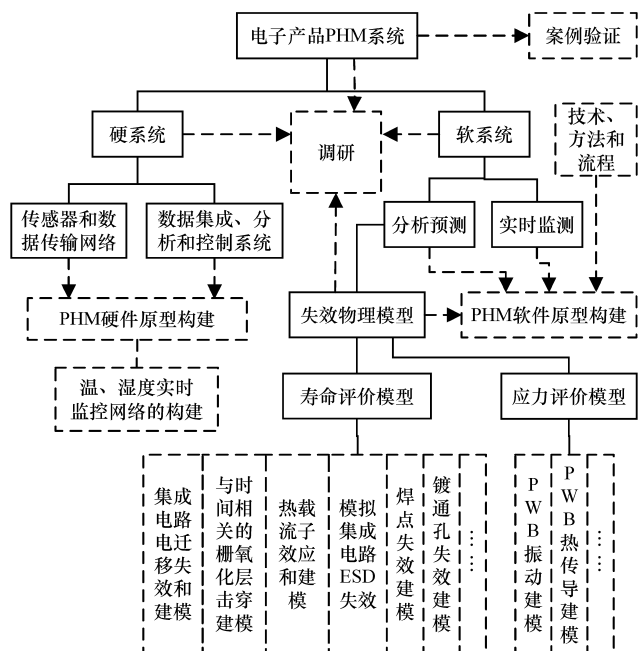


图5 电子产品 PHM 系统工程研制实施方案

⑨ 数据采集和无线传输硬件原型的设计与实现: 构建了一个实验室温湿度实时监控无线网络系统的 PHM 硬件原型。整个系统设计由远程终端(数据采集)单元 RTU (remote terminal unit)设计、中央监控系统 CM S (central monitoring system)设计、PC 端软件设计几部分组成。系统通信架构采用多频点多地址方式, 以接收系统主动查询方式工作。实践了 PHM 硬件系统中数据采集和无线网络传递等关键硬件技术。

⑩ 以典型电子产品如闪存为实验对象, 考察了上述电子产品 PHM 系统的理论、方法和技术在实际健康监控和预测中的具体应用, 实践了对电子产品进行健康监控和故障预测的一个具体案例^[17]。

3 结束语

以上介绍了电子产品健康监控和故障预测的技术框架, 以及对电子产品进行健康监控和故障预测的各个技术细节和环节, 并验证了该电子产品 PHM 技术框架在工程上的可行性。因此, 在实际工程中, 可以按此技术框架构建电子产品 PHM 系统, 以对电子产品进行健康监控和故障预测。

参考文献:

[1] Forsyth G F. DSTO international conference on health and usage monitoring proceedings [A]. DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory [C]. 2001.

[2] Dickson B, Cronkhit J, Bielefeld S, et al. Feasibility study of a motor

craft health and usage monitoring system (HUMS): usage and structural life monitoring evaluation [R]. NASA Report 198447. 1996.

- [3] Baroth E, Powers W T, Fox J. IVHM (integrated vehicle health management) techniques for future space vehicles [A]. 37th Joint Propulsion Conference & Exhibit [C]. 2001.
- [4] Pettit C D, Barkhoudarian S, Daumann A G. Reusable rocket engine advanced health management system: architecture and technology evaluation summary [A]. 35th AIAA ASME SAE ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit [C]. 1999.
- [5] Olfstun S. Integrated vehicle health management for aerospace platforms [J]. IEEE Instrumentation & Measurement Magazine. 2002. 5 (3): 21-24.
- [6] Turner I, Bajwa A. A survey of aircraft engine health monitoring systems [A]. 35th AIAA ASME SAE ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit [C]. 1999.
- [7] Roemer M J, Kacprzynski G J. Advanced diagnostics and prognostics for gas turbine engine risk assessment [A]. Aerospace Conference Proceedings [C]. 2000.
- [8] Nickerson B, Lally R. Development of a smart wireless networkable sensor for aircraft engine health management [A]. Aerospace Conference Proceedings [C]. 2001.
- [9] Andrew S L, Green J. Future direction and development of engine health monitoring (EHM) within the united states air force [Z]. ADA347976F. 1998.
- [10] Nieto M E. Naval aviation aging wiring prognostic and diagnostic solutions [D]. Naval Postgraduate School. 2000.
- [11] Murphy B P. Machinery monitoring technology design methodology for determining the information and sensors required for reduced manning of ships [D]. Massachusetts Institute of Technology. 2000.
- [12] Bengtsson L M, Olsson E, Funk B, et al. Technical design of condition based maintenance system—a case study using sound analysis and case based reasoning [A]. Proceedings of the 8th Maintenance and Reliability Conference [C]. 2004.
- [13] Disenzo F M, Nickerson W, Mitche H C, et al. Open system architecture enables health management for next generation system monitoring and maintenance [R]. The Office of Naval Research and the PEO Carriers Office Development Program White Paper. 1999.
- [14] 马静华, 谢劲松, 康锐, 吕瑞. 电子产品健康监控和故障预测的流程和案例 [A]. 中国航空学会可靠性工程委员会第 10 届学术年会论文集 [C]. 2006-07.
- [15] 谢劲松. 失效模型的形式与实时故障诊断预测的基本方法和技术 [A]. 第 11 届全国可靠性物理学术讨论会论文集 [C]. 2005. 1Q. 283-290.
- [16] Xie J A. PTH reliability model considering barrel stress distributions and multiple PTHs in a PWB [A]. Proceedings of the 44th Annual International Reliability Physics Symposium (IRPS 2006) [C]. 2006. 03. 256-265.
- [17] 孙博, 黄伟, 赵宇, 谢劲松. 电子产品故障诊断和预测的实验验证案例 [A]. 中国航空学会可靠性工程专业委员会第 10 届学术年会论文集 [C]. 2006. 07.
- [18] 赵宇, 谢劲松. 半导体器件的通用电迁移失效物理模型 [A]. 第 11 届全国可靠性物理学术讨论会论文集 [C]. 2005. 77-83.
- [19] 孙博, 谢劲松, 康锐. 印制电路板镀通孔应力-应变分布的简化模型 [A]. 第 11 届全国可靠性物理学术讨论会论文集 [C]. 2005. 1Q. 102-111.

(下转第 18 页)

下变频、上变频,在上下变频过程中近载频 $\pm 200\text{MHz}$ 内没有3.5.7阶交调。

③在上变频模块中滤波器选用YIG。由于输出信号频率可能为 $8\sim 18\text{GHz}$ 之间任意频率,普通的滤波器中心频率一般不能移动,为了满足此要求,采用了YIG滤波器形式,实践证明,采用此方法可以满足宽频带要求,同时有效地抑制了杂散。

3.2 低杂散技术

带内杂散信号的主要来源是单音交调和双音交调信号。

①降低单音交调杂散指标。当输入信号是点频信号时,经过混频器后会和本振信号产生交调,为了达到输出信号有用带宽内的杂散低于主信号60dB混频器全部采用双平衡混频器,偶数阶交调信号受到有效抑制,所以只考虑奇数阶交调即可。要求3.5.7阶交调不在带内就可以使单音交调分量抑制在 -60dBc 以下。

②降低双音交调杂散指标。输入信号为双音信号时,例如杂波信号,经过非线性环节,如放大器、混频器会使输出信号失真,产生寄生信号,系统要求杂波信号寄生分量小于主瓣杂波 -50dB 。为了达到该指标需要降低输入信号电平,使其相对IP3值低25dB左右,对于混频器也可以采用高功率本振的器件,以提高IP3值。

3.3 高相噪技术

引起相噪恶化的主要环节是混频,当输入信号和本振信号相噪指标相当时,输出信号的相噪电平恶化3dB。当输入信号和本振信号相噪指标相差1个数量级时,输出信号相噪指标与相噪较差的输入信号或本振信号相当,本系统要求单边带相位噪声不大于 $-77\text{dBc/Hz}@100\text{Hz}$ 、 $-98\text{dBc/Hz}@1\text{kHz}$ 、 $-115\text{dBc/Hz}@10\text{kHz}$ 、 $-120\text{dBc/Hz}@1\text{MHz}$ 。为了使输出信号达到该指标,需要使链路的前面几级中频信号相噪指标超过输出信号要求的相噪指标10倍,由于中频信号相对射频信号频率较低,采用相噪指标为 $-150\text{dBc/Hz}@1\text{kHz}$ 的 100MHz 恒温晶振合成可以满足要求,选择末级射频本振使其指标等于或超过输出信号相噪指标即可,经调研选用Agilent的E8257D^[2]可以满足要求。

3.4 多普勒频率实现

为了复现目标回波的多普勒频率特性,采用DDS(直接数字合成)产生调制在低中频上的多普勒频率信号,与高中频信号混频、滤波,保证回波多普勒频率信号在脉冲之间的连续性。在本方案中拟采用AD9954^[3]实现该功能,很方便实现多普勒频率的实时变化。

3.5 延迟技术

采用对雷达视频基准信号采集、存储、再生的方法实现脉冲信号的延迟,用延迟后的脉冲控制脉冲调制器,然后调制射频连续波信号,实现目标回波延迟。

3.6 脉压技术

雷达常用的脉压形式有线性调频、非线性调频、相位编码等,采用上述DDS一般可以实现以上功能,将调制在一定载频上的脉压信号与信号中的其他信号混频,实现脉压功能,脉压形式和参数需要由雷达同步控制。

3.7 捷变频频综实现

捷变频频综要求响应速度、相噪指标和杂散都较高,为了达到这些要求,采用直接频率合成的方法,切换时间取决于微波开关的切换时间和拨码的响应时间,频率码输入到频率控制之间采用纯逻辑电路,响应时间可以做到很短。杂散主要由锁相环保证,可以满足 -60dBc 的抑制。

相位噪声保证主要靠晶振指标和直接合成频综指标保证,晶振选用进口恒温晶振,可以实现 $-150\text{dBc/Hz}@1\text{kHz}$ 的相噪指标,在频率合成过程中尽量减少相噪恶化。

4 结束语

采用以上方法,实现了雷达回波信号的多普勒频率特性、延迟特性和幅度特性模拟,同时转发了雷达的脉压、载频等固有信息,硬件相对简单,关键技术指标较高,但与雷达交联相对较多,适用于雷达研制单位做产品调试。

参考文献:

- [1] Reinhold Ludwig, Pavel Bretchko. 射频电路设计——理论与应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2002: 05.
- [2] Agilent Frequency agile signal simulators datasheet[Z]. 2001.
- [3] AD AD9954 datasheet[Z]. 2001.

(上接第16页)

- [20] 张叔农, 黄明晟. 数据挖掘技术综述[A]. 中国航空学会可靠性工程委员会第10届学术年会论文集[C]. 2006: 07.
- [21] 沈羽, 齐伟民, 张毅. 实时高速数据采集与存储系统的一种实现方法[J]. 微计算机信息, 2006, 22(1): 83-85.
- [22] 苏岳龙, 李贻斌, 宋锐. 基于VC++6.0的高速串口通信数据采集系统[J]. 微计算机信息, 2005, 21(5): 147-148.
- [23] LA-13976-MS. A review of structural health monitoring literature 1996-2001[R]. Los Alamos National Laboratory Report, 2003.
- [24] Lewis S A, Edwards T G. Smart sensors and system health management tools for avionics and mechanical systems[A]. Digital Avionics Systems Conference[C]. 1997: 10.
- [25] Xie J, Pecht M. Application of in situ health monitoring and prognostic sensors[A]. 9th Pan Pacific Microelectronics Symposium Exhibits & Conference[C]. 2004.

泰克 DPO7000数字荧光示波器 荣获《EE评测工程》杂志读者选择奖

1月17日,全球领先的测试测量和监测解决方案供应商泰克公司宣布,DPO7000系列数字荧光示波器荣获《EE评测工程》(EE Evaluation Engineering)杂志颁发的仪器类“读者选择奖”最佳产品。这一奖项共分7大产品门类,每一类的2006年度最佳产品均由读者投票选出。

《EE评测工程》已连续第12年组织年度读者评选,读者通过投票的方式从大量设备制造商于本年推向测试测量市场上的众多产品中选出年度最佳。在评选过程中,《EE评测工程》评选的第一步是汇聚在自动测试设备、通信测试、数据采集、环境测试、仪器仪表、PC测试和软件门类中具有代表性的产品,而选择的参考标准是基于RS Leads项目在全年中对每个产品收到的反馈数量。