

文章编号: 2095-4980(2019)04-0686-05

基于大数据的雷达健康管理系統

夏 勇, 丁岐鵑, 尤 路

(中国电子科技集团公司 第三十八研究所, 安徽 合肥 230088)

摘 要: 武器装备全寿命周期管理的需求推动了雷达故障预测与健康管理系统的研究和发展, 雷达装备也逐步由原先的预防性维修和事后维修模式向视情维修模式转变。大数据技术和雷达健康管理系统的有机结合, 可以有效地整合雷达在役阶段的数据资源, 与设计、制造、售后等其他寿命周期阶段串联在一起, 真正实现雷达装备的全寿命周期管理。提出一种基于大数据的雷达健康管理系统的网络平台框架, 并介绍了雷达健康管理系统的核心技术。

关键词: 大数据; 故障预测与健康管理系统; 视情维修; 全寿命周期

中图分类号: TN958

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201904.0686

Radar Prognostic and Health Management technology based on big data

XIA Yong, DING Qijuan, YOU Lu

(The 38th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Hefei Anhui 230088, China)

Abstract: The requirement of weapon life cycle management promotes the research and development of radar Prognostic and Health Management(PHM) technology. And the maintenance pattern of radar equipment has gradually turned from preventive maintenance and corrective maintenance to Condition-Based Maintenance(CBM). By means of combining big data and PHM technology, the data resource of in-service stage can be integrated with other stages in radar life cycle, such as design, manufacture and after-sales service, etc. The whole life cycle management for radar equipment can be realized thoroughly. A kind of network platform architecture is proposed for radar PHM system based on big data, and a brief introduction on the key technologies is provided.

Keywords: big data; Prognostic and Health Management; Condition-Based Maintenance; life cycle

随着大型武器系统的性能不断提升, 组成日益复杂, 在可靠性、故障诊断、维修保障等方面暴露的问题也日渐突出。传统的维修模式很难避免“过维修”和“欠维修”, 因此基于状态的视情维修(CBM)模式得到了重视和应用, 同时也推动了故障预测与健康管理系统(PHM)技术的研究和发展。通过提高维修保障能力, 可以保证装备的完好性和可用度水平, 使新装备尽快形成战斗力。

故障预测, 即预计性诊断部件或系统完成功能的状态, 包括部件的剩余寿命或正常工作时间。健康管理是根据诊断、预测信息、可用资源和使用需求对维修活动做出适当决策的能力^[1-2]。综合以上两方面的功能, PHM是指利用各种传感器在线监测、定期巡检和离线检测相结合, 广泛获取设备的状态信息, 借助多种智能推理算法评估设备的健康状态; 对故障进行预测, 提供维修保障决策、实施计划以实现系统的视情维修^[3]。

1 PHM 架构设计

1.1 视情维修开放式体系架构

健康管理系統一般采用视情维修开放式体系结构(Open System Architecture for Condition-Based Maintenance, OSA-CBM), 该体系架构可用于指导武器装备的健康管理系统设计。健康管理體系架构如图1所示, 分为7个功能模块: 数据采集模块、数据处理模块、状态监测模块、健康评估模块、故障预测模块、决策支持模块、接口模块^[4]。该体系架构的各模块之间并没有明显的界限, 存在着数据信息的交叉反馈。

收稿日期: 2017-12-22; 修回日期: 2018-03-05

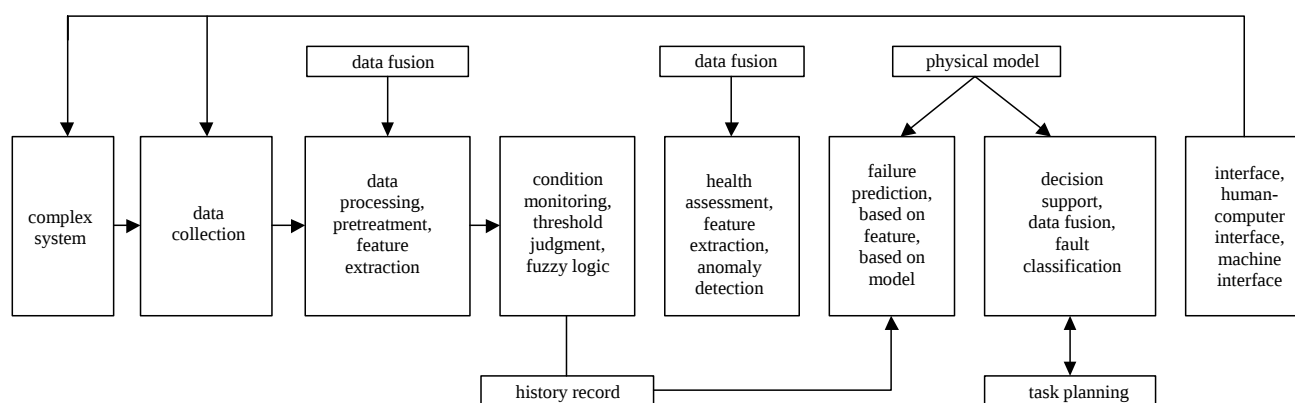


Fig.1 Architecture of PHM system

图1 健康管理體系架构图

1.2 数据采集模块

使用传感器获取产品生命周期各阶段的运行信息和性能参数变化情况，包括环境和系统各部件的运行参数，如信号的幅度、峰值及变化速率等。

1.3 数据处理模块

雷达状态参数虽经选取，但实际采集的数量仍很庞大，而且数据还存在一定程度的重叠。这就需要进行预处理和特征提取，用远少于原始数量的特征来充分、准确描述装备的运行状态，从而降低故障诊断的复杂度。由于雷达装备故障形式的多样性，状态和原因之间往往是一种复杂的非线性映射关系。因此，必须进行多状态的综合才能有效推断装备故障^[5]。

1.4 状态监测模块

状态监测采用基于门限的故障检测算法，实现雷达设备的故障判断。如果参数值偏离门限阈值，则判为设备或传感器状态异常，然后调用基于合成运算的推理方法进行模糊推理，采用最大隶属度阈值原则对故障原因向量进行处理，判断故障特征与之对应的故障原因。

1.5 健康评估模块

健康评估需要先构建雷达装备健康评估指标体系，对雷达探测能力、保障能力等指标进行评估。健康评估是通过可靠的评价方法和完整的数据来判断装备所处的状态，查明故障隐患和初期异常，鉴定和定位故障的根源。

1.6 故障预测模块

故障预测主要通过历史数据和实时监测数据，利用信号分析、故障诊断、可靠性评估、寿命预测等技术，判断装备的状态，对故障部位及其严重程度、发展趋势做出判断，预测的类型主要是基于特征和模型。

1.7 决策支持模块

决策支持主要是根据故障诊断、健康评价和状态预测结果，辅助提出装备维修保障方案。维修保障方案主要包括维修内容、方式、人员、器材和步骤等，为雷达的现场维修提供决策依据。

1.8 接口模块

接口模块主要包括：人机接口、机机接口和模块间接口。在接口模块设计中，数据总线的设计和选择非常重要。

2 大数据网络平台设计

由于雷达装备分布位置广，综合保障要求高，需要构建雷达全寿命过程的海量数据库，实现装备的远程和深度诊断功能。因此，实施多个现场的综合诊断与系统健康管理必不可少，大数据网络平台为实现这种要求提

供了可能。大数据网络平台一般采用浏览器/服务器(Browser/Server, B/S)模型,如图 2 所示。建立三级系统架构:表示层、功能层和数据层^[6]。

B/S 模型结构可实现数据管理与用户管理更大的灵活性与开放性。在 B/S 结构下,在客户端只需要安装浏览器及相关协议软件,即可访问服务器。软件的开发、维护与升级只需在服务器端操作,缩短了系统开发周期,降低了维护费用。

在物理部署层面,大数据网络平台可以划分为现场监测层(雷达站点)和远程诊断层(旅团或战区级监控中心)两层。现场监测层主要负责对雷达设备或传感器输出的各类数据信息进行获取、监视、处理,通过健康管理单机系统进行诊断、分析评估及综合管理,为雷达设备运行提供近程、就地的技术保障。远程诊断层利用异地网络平台、应用服务器、显示系统等硬件平台,以及包括外部远程代理服务器在内的远程故障诊断客户端服务,通过有线或无线方式,获取雷达输出的各种状态数据,构建覆盖雷达装备全寿命周期的海量数据库及综合知识库,实现区域内所有雷达的远程及深度诊断,评估雷达健康状态,预测雷达网探测与保障能力,为维修保障活动提供支撑^[7],如图 3 所示。

3 关键技术

3.1 大数据技术在雷达健康管理系统的應用

下一代主战雷达要求对装备实施全寿命周期管理,健康管理系统必须具备海量数据的处理能力和大数据的深度挖掘功能,能够利用先进算法,建立相应的模型,对雷达系统或组件的运行趋势进行预判,为维修保障做出决策依据。通过大数据技术与健康管理系统的有机结合,可以使雷达具备战场环境的智慧感知能力,拥有在线智能决策,离线自主学习的功能;可以有效地整合雷达在役阶段的数据资源,将设计、生产、售后等其他寿命周期阶段串联在一起,真正实现雷达装备的全寿命周期管理。

大数据技术在雷达健康管理系统上的应用还需要解决以下几个问题:首先是要解决目前较窄的监控数据总线带宽和健康海量数据之间的矛盾;另外海量数据中必然存在大量与雷达健康状态关联性不高的低质数据,如何降低低质数据对决策产生的影响?这就需要识别雷达中故障率高的设备或部件,对其故障模式进行辨识,采集与之相关的数据,避免采集无效或关联度不高的数据,从而提高数据的利用率^[8]。

3.2 雷达状态指标动态评估技术

雷达状态指标一般包括雷达的探测性能和保障能力,探测性能包括雷达基本性能和情报质量,雷达基本性能指标又分为:探测威力、探测精确度、跟踪能力、抗干扰能力等^[9-10]。

以相控阵雷达天线系统为例,天线系统中的收发(Transmitter-Receiver, TR)组件很难避免损坏,损坏组件的位置分布对天线整体效能的影响也不尽相同^[11]。系统通过收发校正的方法生成天线的幅度分布图,实时计算方向系数,通过与预存的正常状态下的天线方向系数进行对比,可以得出天线发射增益、接收增益、副瓣、波束指向等性能指标的变化情况。最后经性能评估后,将健康评价和状态预测结果送至决策支持模块,为视情维修提供决策依据^[12-13]。如图 4 所示。

3.3 以可靠性为中心的维修保障策略

以可靠性为中心的维修保障(Reliability Centered Maintenance, RCM)决策,通过产品构型、操作卡、履历和

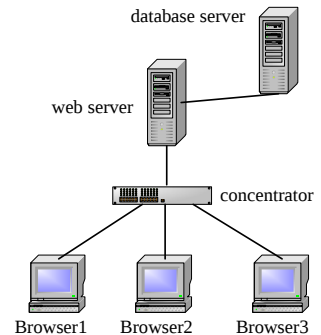


Fig.2 Block diagram of B/S model
图2 B/S模型示意图

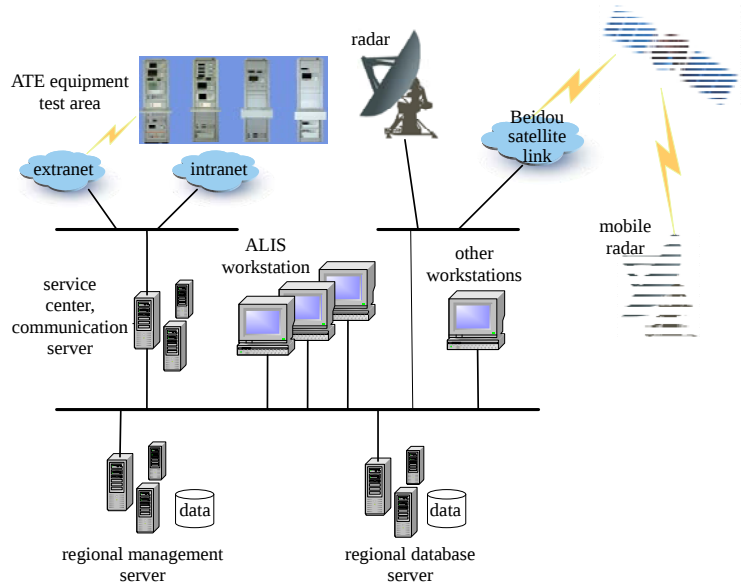


Fig.3 Sketch diagram of big data network platform
图3 大数据网络平台示意图

状态管理, 衔接了维修设计、维修计划、维修过程、分析评价、维修改进等各个环节, 实现了产品的动态维修和全寿命周期跟踪管理^[14-15]。

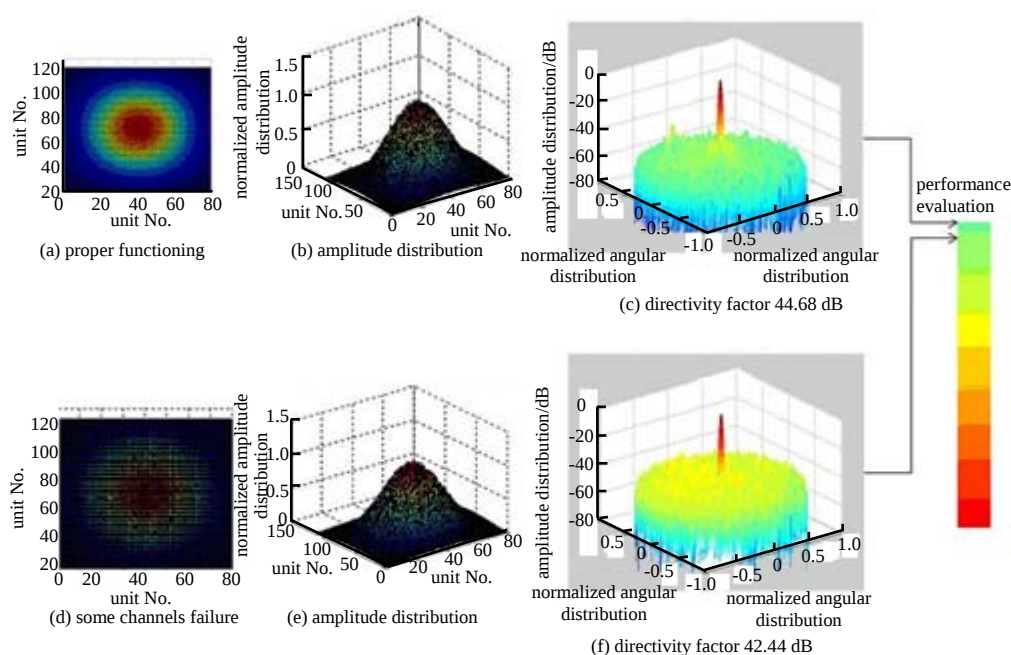


Fig.4 Dynamic performance evaluation system of phased array antenna based on TR calibration

图 4 基于收发校正的相控阵天线指标动态评估

维修保障任务的动态生成过程如图 5 所示, 以维修操作卡的操作为核心, 具体包括维修操作卡的生成、变更和维护等。首先通过可靠性分析、故障分析、过程跟踪、方案拟制等任务流程的细化, 获得各项维修工序的操作步骤和所需资源, 这是生成维修操作卡的基本条件。如果上述任务流程的具体内容发生了变化, 会触发相应维修操作卡的变更操作。在生成维修操作卡时, 可以将 1 个或多个任务组合在一起, 根据任务涉及的维修项目, 预先置入任务策略, 也支持任务生成自学习策略, 在使用过程中进行补充和丰富。

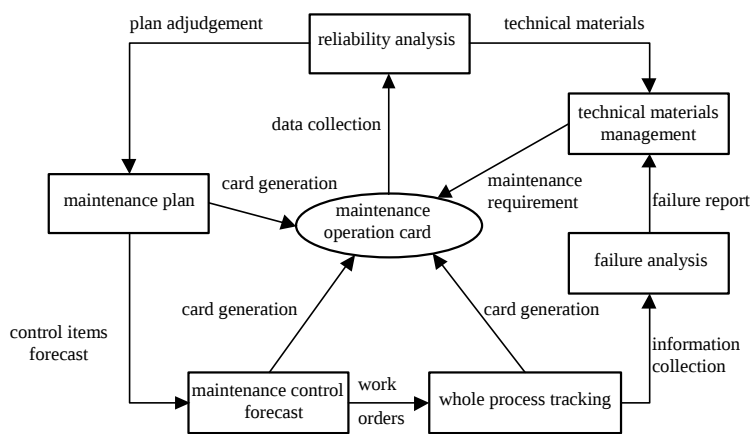


Fig.5 Flow chart of dynamic creation of maintenance support task

图5 维修保障任务动态生成流程

4 结论

通过基于大数据的雷达健康管理系统的构建, 实时采集装备状态信息, 判断、定位故障, 评估雷达健康状态, 预测故障趋势和装备寿命, 为雷达维修保障决策提供了依据。故障预测是 PHM 技术中的难点, 需要长时间积累雷达的状态数据, 建立预测模型, 采用深度数据挖掘技术, 实现对雷达系统或部件运行趋势的预判; 同时还要依据装备实际运行状况, 对算法和模型进行调整, 以提高预测的准确度。

参考文献:

- [1] 张宝珍,李想,韩峰岩. 国外新一代战斗机综合保障工程实践[M]. 北京:航空工业出版社, 2014. (ZHANG Baozhen,LI Xiang,HAN Fengyan. Practice on integrated support engineering for new generation foreign fighter[M]. Beijing:Aviation Industry Press, 2014.)

- [2] 马飒飒,陈国顺,方兴桥. 复杂装备故障预测与健康管理系统初探[J]. 计算机测量与控制, 2010,18(1):1-4. (MA Sasa,CHEN Guoshun,FANG Xingqiao. Research on prognostic and health management system of complex equipment[J]. Computer Measurement & Control, 2010,18(1):1-4.)
- [3] STEPHEN B Johnson. Introduction to system health engineering and management in aerospace[C]// First international forum on integrated system health engineering and management in aerospace. Napa,California,USA:[s.n.], 2005.
- [4] 刘志伟,刘锐,徐劲松,等. 复杂系统故障与健康(PHM)技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2010,18(12):2687-2689. (LIU Zhiwei,LIU Rui,XU Jinsong,et al. Research of complex system's prognostic and health management[J]. Computer Measurement & Control, 2010,18(12):2687-2689.)
- [5] 张秋菊,张冬梅. 电子系统故障预测与健康(PHM)技术研究[J]. 光电技术应用, 2012,27(1):19-24. (ZHANG Qiuju,ZHANG Dongmei. Study on prognostic and health management of electronic system[J]. Electro Optic Technology Application, 2012,27(1):19-24.)
- [6] 李书杰,李志刚. B/S三层体系结构模式[J]. 河北理工学院学报, 2002,24(增刊):25-28. (LI Shujie,LI Zhigang. B/S 3-ties system structure mode[J]. Journal of Hebei Institute of Technology, 2002,24(supplement):25-28.)
- [7] 杨洲,景博,张劼,等. 飞机故障预测与健康(PHM)应用模式研究[J]. 计算机测量与控制, 2011,19(9):2061-2063. (YANG Zhou,JING Bo,ZHANG Jie,et al. Research on implementation modes of airborne PHM system[J]. Computer Measurement & Control, 2011,19(9):2061-2063.)
- [8] 赵宁社,翟正军,王国庆. 新一代航空电子综合化及预测与健康(PHM)技术[J]. 测控技术, 2011,30(1):1-5. (ZHAO Ningshe,ZHAI Zhengjun,WANG Guoqing. Technologies of new generation avionics integration and prognostics and health management[J]. Measurement & Control Technology, 2011,30(1):1-5.)
- [9] 卢雷,杨江平. 雷达装备PMS参数体系论证[J]. 现代防御技术, 2013,41(3):160-165. (LU Lei,YANG Jiangping. Demonstration of radar RMS parameter system[J]. Modern Defense Technology, 2013,41(3):160-165.)
- [10] 王爱亮,郑玉航,王爱丽. 复杂武器系统健康管理指标体系构建方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2013,21(10):2744-2746. (WANG Ailiang,ZHENG Yuhang,WANG Aili. Constructing method for health management index system of complex weapon system[J]. Computer Measurement & Control, 2013,21(10):2744-2746.)
- [11] 夏勇,张浩,李晓娟,等. 二次雷达波束控制系统设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2012,10(3):266-269. (XIA Yong,ZHANG Hao,LI Xiaojuan,et al. Design of beam steering system for secondary surveillance radar[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2012,10(3):266-269.)
- [12] 刘应刚,于兴伟. 雷达健康管理的性能评估方法[J]. 现代雷达, 2015,37(11):12-15. (LIU Yinggang,YU Xingwei. Performance evaluation method for radar health management[J]. Modern Radar, 2015,37(11):12-15.)
- [13] 高洪青. 有源相控阵雷达状态检测与健康(PHM)管理技术[J]. 计算机测量与控制, 2016,24(9):146-148. (GAO Hongqing. Research on architecture of condition monitoring and health management of active electronically scanned array radar[J]. Computer Measurement & Control, 2016,24(9):146-148.)
- [14] 马麟. 保障性设计分析与评价[M]. 北京:国防工业出版社, 2012. (MA Lin. Design,analysis and evaluation of supportability[M]. Beijing:National Defense Industry Press, 2012.)
- [15] 曹振华. 雷达综合保障信息系统研究[J]. 现代雷达, 2013,35(10):9-12. (CAO Zhenhua. A study on integrated logistic support information system of radar equipment[J]. Modern Radar, 2013,35(10):9-12.)

作者简介:



夏 勇(1972-), 男, 合肥市人, 硕士, 研究员, 主要研究方向为雷达健康管理、自动测试.email:xiayong168@163.com.

丁岐鹏(1972-), 男, 安徽省天长市人, 硕士, 研究员, 主要研究方向为雷达终端系统.

尤 路(1984-), 男, 安徽省寿县人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为雷达监控系统.