

# 雷达系统故障预测及健康管理总体架构设计探讨

蒋庆丰

南京电子技术研究所 江苏南京 210019

**摘要:** 雷达利用无线电以及电磁波来发现并测定目标在空间的位置,因此雷达也通常被称为“无线电定位”。雷达技术的发展带动了雷达系统的综合性、智能化程度得到了大幅提升。雷达系统总体设计中优秀的系统故障预测与健康管理的架构设计对雷达系统应用的可靠性具有重要意义。基于此,本文在对雷达系统故障预测及健康管理所包含的内容分析基础上,对雷达系统故障预测及健康管理总体架构设计进行了探讨,拟提出了一种总体架构设计,以供探讨。

**关键词:** 雷达系统; 故障预测及健康管理; 总体架构设计

## Discussion on the overall architecture design of radar system fault prediction and health management

Qingfeng Jiang

Nanjing Institute of Electronic Technology Nanjing, Jiangsu 210019

**Abstract:** Radar utilizes radio and electromagnetic waves to detect and determine the spatial location of targets, hence it is often referred to as “radio detection.” The development of radar technology has significantly improved the integration and intelligence of radar systems. In the overall design of radar systems, an excellent architecture for system fault prediction and health management holds vital significance for ensuring the reliability of radar system applications. Based on this, this paper analyzes the contents of radar system fault prediction and health management and discusses the overall architecture design for radar system fault prediction and health management, proposing a design framework for further exploration.

**Keywords:** Radar system; Failure prediction and health management; Overall architecture design

雷达系统故障预测及健康管理技术是一种测试性技术,近年来受到相关学者和研究人员的关注与青睐,在很多领域中得到了广泛应用,在提升装备可靠性方面发挥了重要作用。故障预测与健康管理的对传统的测试性设计的扩展,并且将状态处理监测、健康状态评估、故障状态预测等自动分析和报告生成融入了系统中,实现了对设备运行情况的监控、维修和管理。研究人员需要对雷达系统的故障预测及健康管理总体架构设计思路进行分析和探讨,设计出功能全面,高度智能化,运行可靠的健康管理系统。

### 一、雷达系统故障预测及健康管理包含的内容

#### 1. 故障预测与健康功能

故障预测与健康功能的主要功能有以下内容。第一,故障的检测和隔离。对雷达各系统存在的故障进行自动检测,并进行故障隔离,尽量抑制故障对雷达系统工作

以及设备的负面影响,降低次生灾害发生的风险。第二,增强诊断推理。预测与健康功能技术在雷达系统总体架构中进行应用时,进一步增强了故障的诊断和推理能力。第三,性能状态评估。依据原始性能参数数据对雷达的性能以及各系统运行状况进行评估。第四,任务可执行度分析。就是通过对雷达探测性能的数据进行分析,以此对任务是否可以顺利执行的程度进行判断。第五,使用寿命跟踪预计。主要对雷达系统以及设备的使用寿命进行跟踪和预估。第六,预防性维护维修策略。对雷达进行系统性的检测,并对设备进行测试,避免雷达系统及设备功能故障的出现,有助于延长雷达的使用时间和质量。第七,故障维修方案。根据检测和评估的情况,出具故障维修的方案,辅助各项维修决策。另外,还有性能退化失效预计、容错重构处理、数据库管理及信息融合处理等功能。<sup>[1]</sup>

## 2. 雷达系统故障预测与健康特点分析

故障预测及健康管理最早应用于航空航天系统，近年来已经开始在雷达领域进行了应用，但是在雷达系统总体架构设计中运用的过程中存在以下特点：第一，在航空、航天系统应用的过程中由于涉及到人员安全方面，其传感器的设置相对更为健全和完善。<sup>[2]</sup>而不同领域中对故障预测及健康管理的需求也存在一定差异的，但是雷达系统应用中涉及到资金、应用环境等多种因素的影响，导致传感器的配置还存在严重的不足，在一定程度上影响了雷达系统应用的有效性。第二，为了保障系统应用的安全性，航空系统中对故障检测的需求较雷达系统更为强烈。而航天系统由于行业自身的高要求性，因此其各方面的配置以及质量更好，所以其对故障检测的要求会更低。雷达系统故障预测与健康系统可以实现对自身系统以及设备故障、运行情况的检测，提升雷达系统的稳定性及寿命，促进维修管理智能化水平，有助于

降低用户维修的人力及物力，提升设备可靠性和确保顺利完成各项任务具有重要的价值。

## 二、雷达系统总体架构设计

当前，故障预测与健康领域状态维修的开放式架构应用相对较多，这种开放式的架构通常是基于信息交换的角度进行构建。而雷达系统故障预测与健康系统总体架构设计的过程中，要重视各环节状态的设计和控制，从而确保雷达系统的正常运行。

雷达系统故障预测与健康管理系统，首先从底层收集数据，发送给第二层的分系统模块，分系统模块数据再发送给上一级系统级，最后系统级发送给雷达整机，雷达健康状态评估综合整机及各级的数据，自动生成评估报告，并给出故障预测，供用户参考决策。数据库中存储原始数据及检测数据等数据，为各级状态检测以及评估提供数据支撑。雷达系统故障预测与健康系统总体架构设计，如下图1所示：

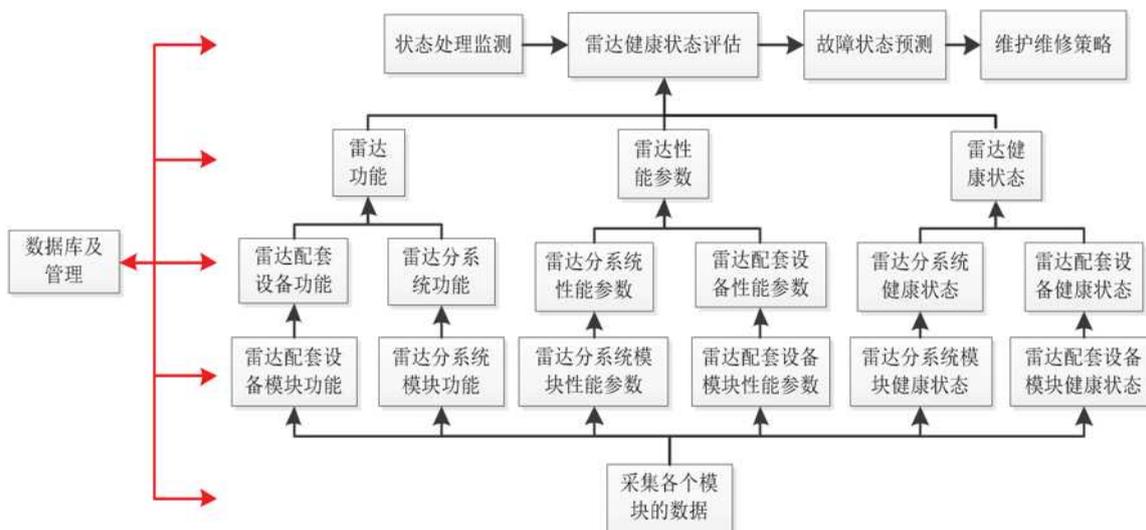


图1 故障预测与健康管理系统总体架构

### 1. 状态处理监测

雷达系统故障预测及健康管理总体架构设计中的状态处理监测设计内容包含有以下三方面。第一，和传统的雷达系统设计相比，要在传统机内测试的基础上，对系统中的测试数据采集进行扩充，因此在设计的过程中需要应用专用的传感器，还要结合雷达系统的需求设置一些运用高级算法组件的虚拟传感器，从而实现对数据的采集，并将各项数据录入到系统的数据库中。第二，在对状态处理检测模块进行设计的过程中还需要适当的健全并增添一些必要的信号处理，主要目的是对获取到的信号进行预处理，保障获取到信息的清晰性，并实现对信息的归类以及特征提取。然后在对已经初步处理过

收集的信号进行状态检测分析，结合原始数据去对阈值进行判断，并对设备中参数偏离量进行计算，为后续的工作提供数据支撑。第三，结合原始数据进行处理，得到结果后，还需要进行故障的决策和分类，对故障的具体位置和类型进行判断和明确，同时根据数据库中的模型去对故障进行诊断。在状态处理监测的过程中，会根据参数的情况输出故障状态，设备运行正常，故障状态显示为正常，但是设备的性能如果出现下降，接近故障阈值时就会呈现出告警的故障状态，而故障则是明确位置以及故障类型。<sup>[3]</sup>

### 2. 健康状态评估

健康状态评估的过程中，需要结合系统的原始数据

去进行状态处理, 根据情况进行检测和评估。

### (1) 主要设计内容

健康状态评估雷达总体系统以及各分系统的性能、安全性等进行多方位的评估, 保障雷达系统运行状态可以满足设备运行的需求。健康状态评估对系统的可靠性以及设备本身的故障情况进行分析, 为雷达系统提供全面的健康评估。健康状态评估应能对系统的工作状态进行评估和测试, 为雷达系统提供系统性能评估。另外还能进行系统以及设备运行过程中的异常进行检测, 并发出“告警”信号。雷达系统中的健康状态评估在设计的过程中要注意, 确保可以实现对雷达总体性能的全面评估, 确保其性能状态可以满足设备正常工作的条件。性能状态评估主要是对雷达系统的有关指标进行性能评估, 并将最终评估的具体数据和报告进行输出。<sup>[4]</sup>而最终评估的也会设置等级, 从而为设备应用以及维修等提供参考。主要可以分为可执行、有限执行、无法执行等等级, 在评估的同时也会分析并提出雷达系统工作以及参数配置建议。在设计的过程中需要充分考虑到评估的时效性, 同时要避免资源占用率过高, 管理人员根据情况可以对评估的过程中进行干预, 从而保障最终健康状态评估结果的可靠性和准确性。

### (2) 任务执行下的健康评估设计

雷达系统总体以及分系统的任务执行存在差异, 因此健康状态评估设计也要结合具体系统情况进行设计和优化。首先, 雷达总体性能的状态评估, 在评估的过程中需要对雷达的作用距离、探测角度、精度以及任务的可执行情况进行评估。<sup>[5]</sup>根据具体的评估内容去明确健康状态评估设计的方向以及参数。其次, 雷达作用距离评估设计的过程中需要根据分系统的各项参数检测值以及雷达探测的类型等, 去对雷达作用的距离进行评估, 并将评估值和设计值进行对比和分析。

### 3. 故障状态预测

这一模块主要是对雷达工作过程中的状态数据以及故障数据进行收集, 并对故障可能发生的时间以及部位进行预测。

#### (1) 主要设计内容

对健康状态检测评估的数据进行分析, 并纳入到故障预测的模块中, 主要处理的内容包含两方面。一方面是用于设备和系统, 通过对性能退化以及失效的模块、部件等数据收集, 并将当前检测得到的数据和过去的的数据进行分析和对比, 结合数据中的退化失效模型, 对相应模块和部位的状态、性能进行评估和预测。如果最终

的预测评估结果在原定的使用区间内, 就需要不断进行状态故障预测, 而对于已经超出使用范围以及寿命阈值情况的部位, 则需要输出“告警”信息, 对应用人员进行提示, 然后将最终预测的结果输出, 并通过维护维修策略模块为工作人员提供预防性的维修策略和建议, 不仅可以避免故障的发生, 同时也可以保障设备应用的安全性。另一方面, 要对异常情况进行故障状态预测, 就是借助智能监测识别技术去对数据进行收集和积累, 发现系统中存在的异常情况, 并进行异常分析, 找到出现故障的原因, 结合综合模型库的内容, 去优化雷达系统预测及健康管理总体架构设计。<sup>[6]</sup>

#### (2) 基于预测方法的故障预测设计

故障状态预测中的预测方法主要包含预置使用范围及寿命阈值、环境应力监测、性能状态监测等, 在设计故障预测模块的过程中需要根据具体的情况去对这些方法进行选择和应用。<sup>[7]</sup>首先, 预置使用范围及寿命阈值方法主要是应用于预测对象有着不同性能退化以及失效的模块、部件中, 对检测的部位在使用过程中的性能退化以及失效情况进行连续性的定量监测。其次, 环境应力监测在应用的过程中主要是对系统工作过程中的环境以及工作应力情况进行检测, 然后根据性能退化实效模型去预测产品的剩余寿命。最后, 性能状态监测在工程中应用的较多, 在应用的过程中主要是对系统故障的敏感度、受到影响的性能参数或状态等进行预测。其中性能状态检测方法在对关键参数进行分析的过程中, 主要是在原始健康数据的基础上去进行设计。

### 4. 维护维修策略

雷达系统预测及健康管理过程中, 系统通过对故障检测和诊断的结果, 去对存在故障的部位去进行维修和管理, 而在执行任务的过程中可以发现当前雷达系统中故障部分出现重构冗余设计时, 需要启动容错重构处理, 从而确保设备在任务执行过程中不会出现问题 and 错误, 保障任务执行的成功性, 同时在对雷达系统进行故障检测后, 会结合模式数据以及检测数据情况去生成维护和维修的策略, 可以提升维修人员的维修效率。另外如果“告警”状态的模块、部件, 在健康检测的过程中发现了故障, 会生成预防性的维修策略和分析, 为管理人员提供维护、维修的建议。<sup>[8]</sup>维护维修策略在雷达系统预测及健康管理总体构架中进行设计的过程中, 需要与交互式电子技术手册进行协同设计和开发, 在具体运用的过程中则需要根据诊断的各项数据, 确定故障模式, 自动关联调用IETM的数据库并形成具有针对性的维护维

修方法。与此同时,维护维修策略在形成后还可以将其传输到信息库中,并输出在故障维修的过程中需要应用的设备替换和更新的资源,并为工作人员提供当下系统中资源量和具体在仓库中的放置位置。

### 5. 数据库及管理

雷达系统故障预测及健康管理中为了实现智能化监测、预测、评估和维修管理,建立了健康数据库、综合模型库、结果报告库、系统支持库、产品信息库等数据库。其中健康数据库中主要是对雷达系统的原始数据以及测试参数等进行记录,为状态检测以及评估提供数据支撑。<sup>[9]</sup>而综合模型数据库则对系统中的特征进行了记录,并建立了正常运行的数据模型,同时也可以在整个系统运行以及健康管理的过程中去对模型进行修整,为故障状态预测以及维修决策提供了重要的保障。结果报告库是用来储存雷达系统预测及健康管理过程中各种检测、诊断、评估以及维护策略的各项结果,然后根据结果去输出数据以及报告等,为工作人员提供管理和维修的方向和策略。系统支持库主要是雷达系统预测及健康管理的用户对系统进行管理。产品信息库主要是储存雷达的各项保障资源、使用状况以及维修保养信息等。数据库的有效设计和应用为预测及健康管理提供了重要的保障,极大程度的提升了雷达系统的智能化和自动化管理程度。

### 三、结束语

当前雷达技术的不断发展,雷达系统中也开始应用到了预测及健康管理,本文探讨分析了其关键技术的功能和设计,提出了一种总体架构设计,实现了雷达系统

故障预测及健康管理功能。在实际具体应用中还需要有关研究人员要充分明确故障预测及健康管理的功能,结合雷达的总体系统以及分系统,去开展雷达系统故障预测及健康管理总体架构设计,全面提升雷达系统故障预测及健康管理应用的有效性。

### 参考文献:

- [1] 张志富.系留气球雷达系统空中结构总体设计[J].西安航空技术高等专科学校学报, 2019, 037(001): 37-41.
- [2] 邵威,许厚棣,金贤龙.基于模糊准则的雷达健康评估方法研究[J].雷达科学与技术, 2021, 19(02): 152-155+162.
- [3] 秦赟,王飞,李伟等.雷达系统预测与健康管理总体架构设计[J].雷达与对抗, 2020, 40(03): 1-5+19.
- [4] 昌卓.雷达操作系统架构设计研究[J].数字化用户, 2019, 000(011): 243.
- [5] 渠浩,吕永乐,吴婕等.基于Logistic回归的雷达健康评估模型[J].电子测量技术, 2022, 45(04): 175-178.
- [6] 徐频频,刘传保.雷达预测与健康管理系统设计[J].现代雷达, 2019, 41(11): 77-84.
- [7] 夏勇,丁岐鹃,尤路.基于大数据的雷达健康管理系统的[J].太赫兹科学与电子信息学报, 2019, 17(04): 686-690.
- [8] 雷正伟,王晓莉,冀鑫炜.现代雷达系统抗干扰设计需求分析[J].现代雷达, 2020, 42(2): 6.
- [9] 王蕾,赵子睿,林涛等.雷达装备的状态支持系统设计及实现[J].电子技术, 2023, 52(02): 22-25.