

# PHM 在装甲车辆指控通信系统维修保障中的应用

王青海, 常成, 李闯

(装甲兵工程学院, 北京 100072)

**摘要:**针对现行装甲车辆指控通信系统维修保障模式存在的不足,阐述了当前最新的维修保障技术——故障预测与健康管理(PHM)的内涵、结构、功能、技术特点和技术要素,提出合理使用 PHM 技术是改进当前维修保障模式的有效途径,设计了针对装甲车辆指控通信装备的 PHM 系统的整体架构,指出了装甲车辆指控通信系统维修保障中引入 PHM 技术的发展方向。

**关键词:**PHM; 维修保障; 装甲车辆指控通信系统

**中图分类号:**TJ07

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2012)02-0038-04

当前,我军装甲机械化部队指控通信装备发展异常迅速,大量配备有新式指控通信设备的装备列装部队。随着新技术的不断加载,特别是计算机、微电子、信息处理等高新技术的广泛应用,装甲车辆指控通信装备的性能日益提高,复杂性和集成度也急剧增加,传统的维修保障模式越来越无法适应复杂电磁环境下装甲车辆指控通信系统的维修保障需求,呈现出诸多弊端,面临着巨大的挑战<sup>[1]</sup>。

## 1 传统维修保障模式面临的问题

维修是装备在存储和使用(服役)过程中,使装备保持或恢复其有关技术文件所规定的状态,以达到预期作战效能所进行的全部技术和管理活动。维修保障中所追求的目标是:选择最合适的维修技术、以最佳的经济效益形式保障设备的正常运行。传统装甲车辆指控通信装备的维修保障方法主要有事后维修和计划维修。事后维修仅适用于对可靠性、安全性要求不高的系统;计划维修适用于零部件可靠性较为规律的系统,按照固定的修理周期结构安排维修工作。传统的维修保障方式主要存在着以下问题<sup>[2-4]</sup>。

1) 装备的诊断能力不足问题越来越突出,维修的针对性不强,使得维修不足和维修过剩的情况时常发生。

2) 测试结果无法对其装备未来的技术状况进行准确预测,即不能对武器装备的总体质量和作战效能实现评估和预测。

3) 维修保障设备繁多,备件储备数量大,使得保障费用急剧增长。人力物力投入大且资源利用率不高,后方基地的维修保障为被动式供应保障,保障效率低。

与事后维修和计划维修不同,视情维修是通过随时监测和掌握装备的技术状况,对其可能发生的功能性故障作必要的预防维修。相对于事后维修和计划维修而言,视情维修针对性强,可以避免因为维修不足和维修过剩问题而导致的严重后果,可

以更准确地权衡安全和经济的矛盾,最大限度地降低维修风险,优化维修成本,提高设备的可用度,因而使维修的有效性、经济性大为提高。因此视情维修应用于装甲车辆指控通信系统的维修保障能够很好解决当前维修保障所面临的问题。视情维修的基本思想是根据对设备当前和将来状态的正确和可靠的预测来安排维修活动,所以对设备当前状态的描述,以及对下一时段状态和故障的预测是实现视情维修的根本,鉴于此,提出开发装甲车辆指控通信设备 PHM 系统。

## 2 故障预测和健康管理 PHM

实践表明:装备不同的故障部位和故障原因引发的故障征兆也不同,即故障征兆和故障原因、部位间存在某种线性或非线性的映射关系。因此通过故障征兆的采集、分析,利用它们之间的映射关系,就能在故障发生前,对可能发生故障的原因和部位进行预测。PHM 就是基于这个思想。洛克希德-马丁公司在美国国防部的支持下以联合攻击战斗机(JSF, joint striker fight)为背景提出了故障预测和健康管理(PHM, prognostics and health management)的概念<sup>[5-6]</sup>。PHM 主要是利用先进传感器采集系统的各种数据信息,并借助各种算法和智能模型来预测、监控和管理系统的健康状态,在系统发生故障前对其故障进行预测,并结合各种可利用的资源信息提供一系列的维修保障措施为主动维修提供决策支持。目前,比较成熟并进行了实际工程应用的 PHM 或者类 PHM 系统主要有美军的飞机状态监控系统(ACMS)、发动机监控系统(EMS)、综合诊断预测系统(IDPS),以及美海军的综合状态评估系统(ICAS)等。大量实例研究表明,它在三军中具有通用性,正在成为新一代飞机、舰船和车辆系统维修保障中的重要组成部分。

故障预测和状态管理(PHM)技术用于新一代武器系统的维修和管理,重点是利用先进的嵌入式测试诊断技术和信息管理

技术来预测、监控和管理装备的状态。其内涵主要包括:① 通过最大程度地利用传统的故障特征监测技术,并结合先进的传感器技术和先进的软件建模技术,来获得虚警率集合为零的故障检测结果。② 通过收集和處理关键部件的性能信息,用于预计这些部件的残余使用寿命,提前做好需要更换的零部件,为维

修实施提供参考。③ 通过专家系统或历史故障数据库进行维修保障决策并向后方维修机构传输故障信息。典型的故障诊断预测流程包含了数据采集、数据预处理、数据传输、特征提取、数据融合、状态监测、故障诊断、故障预测和保障决策等环节,如图 1 所示。

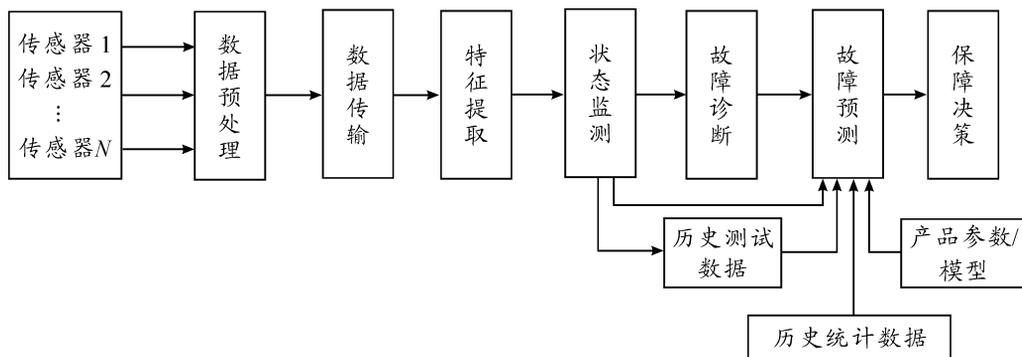


图 1 故障诊断预测流程

### 3 装甲车辆指控通信设备 PHM 系统的总体设计

#### 3.1 系统方案

以某型装甲车辆为例,其指控通信系统包括:计算机终端、车长终端、驾驶员终端、通信电台以及定位导航设备等。车辆内部装备有(controller area network, CAN)总线进行数据通信,CAN即控制局域网,用于车辆内部测量与执行部件之间的数据通信

协议。本系统就是依托车内 CAN 总线在车载指控通信系统的各设备上添加嵌入式传感器工况采集单元,将监测采集到的主要特征参数通过 CAN 总线网络传输至车内数据处理单元,对数据进行融合、特征提取以及转换;而后根据主要特征参数进行阈值判断,对当前各设备的健康状况、故障信息进行初步诊断与预测;并对设备或关键部件未来的健康状况或剩余寿命作出预测;最后参考当前的维修计划进行综合分析,以为当前的维修保障活动提供决策,其系统方案如图 2 所示。

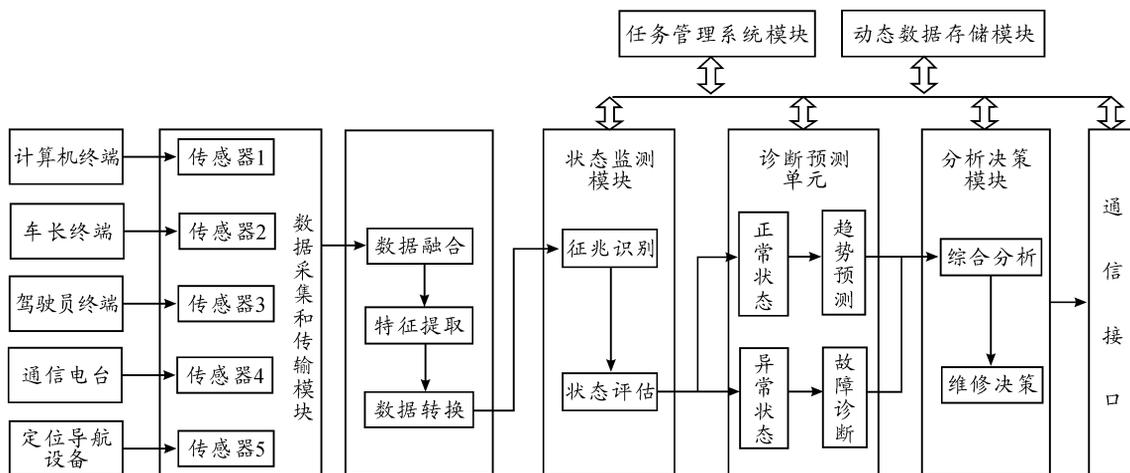


图 2 系统结构

依据装甲车辆指控通信系统 PHM 系统的信息流程及功能要求,将其设置为 8 个模块:① 数据采集和传输模块,主要负责从系统各设备处采集参数信息,并将信息通过车内 CAN 总线网络传输至数据处理模块;② 数据处理模块,主要完成采集数据的融合、特征提取和转换;③ 状态监测模块,完成征兆识别和状态评估任务;④ 诊断预测模块,包括故障诊断和故障趋势预测功

能;⑤ 分析决策模块,进行综合分析,形成最终诊断、预测结果,剩余寿命估计和最佳维修保障方案;⑥ 任务管理系统模块,提供用户与 PHM 系统的接口,协调控制完成各项功能;⑦ 动态数据存储模块,主要存储装甲车辆指控通信系统各设备的部件结构、特征参数信息,故障机理,专家知识以及各类诊断、预测推理模型和分析规则等,以便于数据库知识的不断更新和完善;⑧ 通信

接口,主要负责 PHM 系统与后方维修保障机构进行通信,协同工作,构成网络化、一体化的维修保障体系。

### 3.2 系统流程

装甲车辆指控通信系统 PHM 系统的工作流程如图 3 所示,主要分为状态监测阶段、故障诊断预测阶段及维修分析与决策阶段。

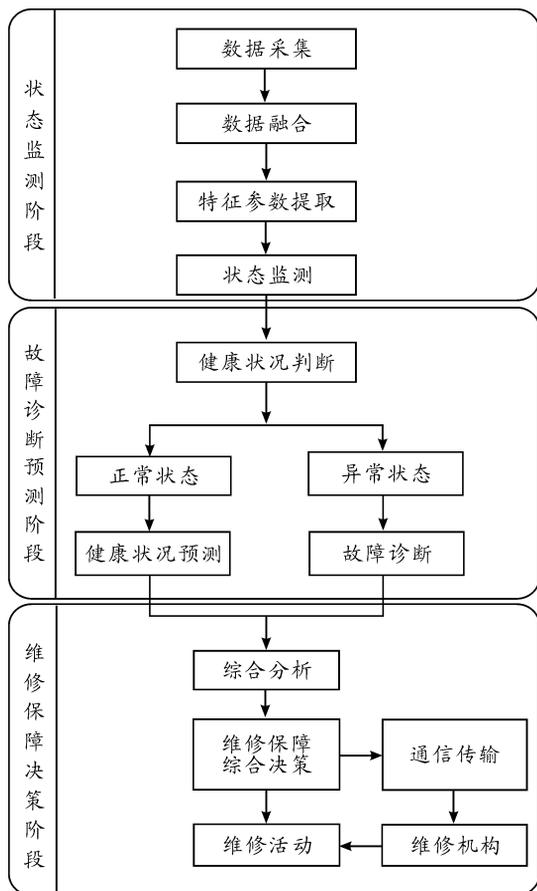


图3 系统流程

1) 在状态监测阶段,数据采集与传输模块从各设备的采集单元处采集数据,对数据进行融合、转换处理,进行特征提取;并将处理过的数据传输至诊断预测模块。

2) 在故障诊断预测阶段,对接收到的数据进行综合分析,对特征信息进行辨识,并结合动态数据存储模块中的专家知识和系统数据库以及各类诊断、预测推理模型,对当前设备的健康状况进行评估,对故障进行识别、推理,判断其故障模式、原因和位置,并对设备的未来健康状况进行趋势分析,计算故障征兆的发展趋势、影响和估计剩余寿命等。

3) 最后,在维修分析与决策阶段,分析决策模块,根据诊断和预测的结果,利用专家系统、历史故障数据库以及当前的维修保障情况综合分析,进行维修保障决策,并通过通信接口向远程(后方)维修机构传输维修方案,为维修活动的安排调整、装备后勤的器件调拨调配提供可靠依据。

### 3.3 主要模块实现分析

#### 3.3.1 数据采集和传输模块

数据采集和传输模块是整个 PHM 系统的核心模块。只有及时准确地在线采集监测数据,评价装备的运行状况,判断故障的发生及发展趋势,诊断故障的部位和类型,才能为维修保障提供及时可靠的决策依据。

数据的采集。装甲车辆指控通信设备多为复杂的电子设备,其内部主要有大量的电子元器件和电路,能够表征其健康状态的基本参数主要有电压、电流、阻抗、功率、频率、相位等。电子产品随着使用时间的增长会逐渐老化,且外部工作环境应力必然对电子器件造成损失,其电路特性也随之变化。根据设备的运行经验,其状态监测的重点是对电台中的信号和影响设备出现故障的重要环境因素进行监测。由于装甲车辆指控通信系统的各设备多为模块化单元组成,所以在测试点的选择上,要利于找出故障源的部位、故障隔离。因此监测参数的采集包括 2 个方面的内容:① 根据要测量的参数在各设备特征信号输出端放置数据采集传感器对设备的运行参数进行采集;② 在主要设备内部根据需要采集的参数安放相应的传感器,对主要的失效表征参量和电子器件的环境应力参数(温度、湿度、压力、电磁场强度等)进行采集。

数据的传输。分别使用有线传输和无线传输两种方式。装甲车辆指控通信系统各设备采集单元处放置 CAN 收发控制器,各设备通过 CAN 收发控制器成为 1 个 CAN 节点,接入车内的 CAN 总线网络,进行数据采集的传输;在与后方维修机构进行通信传输数据信息时可以通过车内的通信电台等进行无线通信。

#### 3.3.2 数据处理模块

数据处理模块以微处理器为主体,包括了前置放大器、采样/保持器、多路开关等部件,主要完成采集数据的融合、特征提取和数据转换。从装甲车辆指控通信系统各设备处采集到的电信号多为模拟信号、脉冲信号,在进入微机前需要经过信号预处理调理放大和 A/D 转换。① 首先来自传感器的模拟信号一般都是比较弱的低电平信号,前置放大器的作用是将传感器输出的微弱信号放大到系统所要求的电平,以便充分利用 A/D 转换器的满量程分辨率。② 由于 A/D 转换需要一定的转换时间,在此期间输入信号电压如有变化,则会产生较大的误差,因此,在 A/D 转换之前需接入采样/保持器。③ 多路开关是数据采集系统的主要部件之一,其作用是切换各路输入信号,完成由多路输入到一路输出的转换。最后将处理过的数据送至微处理器。如图 4 所示。

#### 3.3.3 诊断预测模块

故障预测及剩余寿命估计是 PHM 系统最显著的特点。诊断预测模块是运行在终端计算机上的诊断预测系统。在 PHM 系统中广泛应用的故障预测方法主要有:基于模型的故障预测方法与基于数据驱动的故障预测方法。针对装甲车辆指控通信设备特征信号和工作环境的特点,本系统综合运用两种方法对设备的健康状况进行诊断预测。

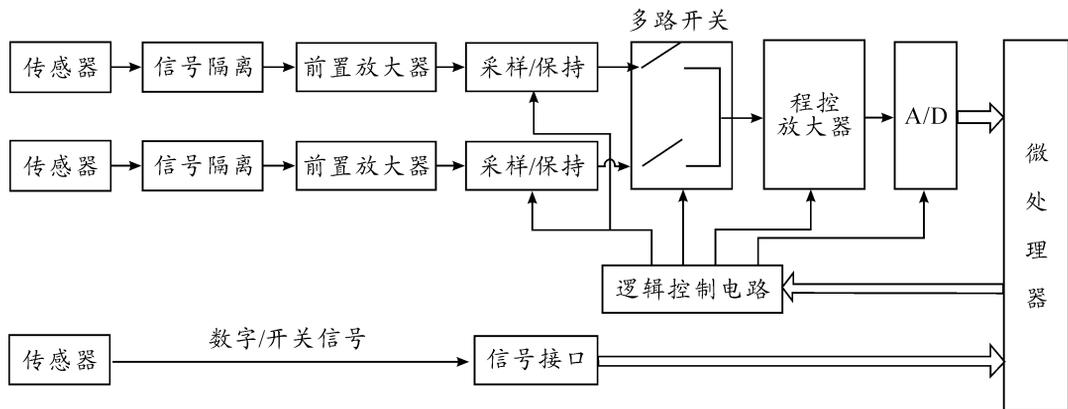


图4 数据处理流程

由于装甲车辆指控通信各设备内部都具有 (built-in test, BIT) 功能,当设备出现较为明显的功能性故障无法正常工作时,设备会自动报警提醒操作人员,提示设备出现故障。如果设备运行正常,则将监控得到的数据与数据库中存储的设备健康基线数据实时对比来确定是否发生异常。以电台为例,可以表征其健康状态的运行参数有接收灵敏度、静噪灵敏度、最大音量、频率误差、发射功率、音频频偏和驻波比等。通信电台由各模块化单元组成,各单元完成特定的功能,在对运行参数进行初步异常诊断后,将导致系统异常的参数分离出来,对设备进行故障单元级的隔离定位,如最大音量超出正常范围,则说明音频单元出现异常,根据参数分离之后得到的信息,从数据库中选择合适的故障模型,根据音频单元运行参数、环境参数以及数据库中存储的故障阈值、故障模式、退化程度确定当前音频单元的健康状况,结合数据库中的历史维修记录,专家系统等运用数据挖掘、信息融合等方法对设备的故障趋势进行预测,并进一步定位可能发生故障的电子元件,为维修决策提供更加详实的依据。其流程如图5所示。

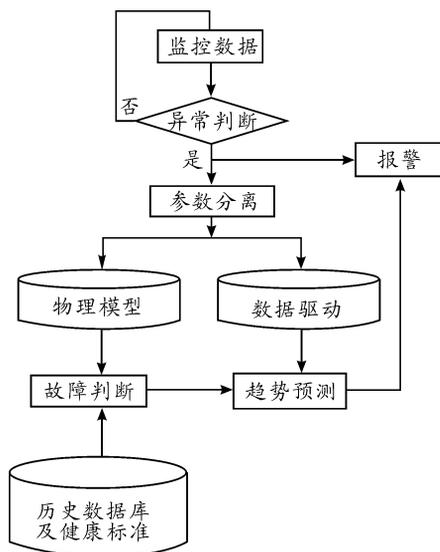


图5 诊断预测流程

### 3.4 关键技术

#### 3.4.1 传感器应用技术

在系统状态参数的采集时,实施故障预测和状态管理,传感器技术的应用将直接影响 PHM 系统数据采集的精确性和及时性。根据装甲车辆指控通信装备待监测参数(电压、电流、阻抗、功率、频率、相位等)的特点,选择所需传感器的类型。装甲车辆的工作环境恶劣,对传感器的要求较为严格,在考虑传感器的数据采集精度、稳定性和传输带宽的同时也要求其小、轻,防尘抗震,同时不易受电磁干扰,易与 CAN 总线联网等。

#### 3.4.2 信息融合技术

信息融合是 PHM 设计中最基础的应用。信息、数据融合是指多传感器的信息数据在一定准则下加以自动分析、综合以完成所需的决策和评估而进行的信息处理过程。装甲车辆指控通信系统中各设备电路集成度高,特征参数信息较多,仅对一种或几种信息进行分析和观察,将使系统的故障诊断存在一定的局限性。如果对多个传感器采集到的数据进行有效地继承与融合,则能够较为准确和可靠地实现系统状态评估和故障的诊断预测。

#### 3.4.3 数据挖掘技术

所谓数据挖掘,就是从数据库中抽取隐含的、以前未知的、具有潜在应用价值的信息的过程。数据挖掘是知识发现的关键步骤,可以从数据中自动地抽取模式、关联、变化、异常和有意义的结构。由于装甲车辆指控通信各设备的工作环境较为恶劣且现代电子设备结构越来越复杂,对设备产生影响、引发故障的因素较为复杂繁多,其可能出现的故障或引发故障的原因难以预测。在对信息源提供的各项数据进行预处理的基础上利用算法挖掘其隐藏的信息,可为设备维修保障决策提供更加可靠的依据。

#### 3.4.4 故障预测技术

PHM 系统显著的特征就是具有故障预测的能力。故障预测是指综合利用各种数据信息,如监测的参数、使用情况、当前的环境和工作条件、早先的实验数据和历史经验等,借助各种推理技术,如数学物理模型和人工智能技术等,评估部件或系统的剩余使用寿命,预计其未来的健康状况。本系统综合运用基于模型和基于数据驱动两种故障预测方法。前者(下转第 53 页)