

轨道交通装备故障预测与健康管理系统分析

张 波

(中车长春轨道客车股份有限公司,130062,长春//高级工程师)

摘 要 总结了轨道交通装备故障预测与健康管理(PHM)技术的发展现状。介绍了 PHM 系统的体系结构,分析了 PHM 系统的特点。结合目前国内轨道交通装备的运营现状,对 PHM 技术在我国轨道交通装备领域内的应用进行了分析和展望。

关键词 轨道交通装备;故障预测与健康管理;安全性;可靠性

中图分类号 F530.6

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.038

Analysis on the Prognostic and Health Management System of Rail Transit Equipment

ZHANG Bo

Abstract The development of prognostic and health management(PHM) technology in recent years is summarized, the structure and characteristics of PHM technology are analyzed. Combined with the status of urban rail transit operation in China, the application of PHM in rail transit equipment field of China and the development of PHM technology in the future are forecasted.

Key words rail transit equipment; PHM; safety; reliability

Author's address CRRC Chang Chun railway vehicle Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着我国高速铁路列车速度的不断提升,用于控制列车安全、可靠、平稳、高速运行的基础装备和列车运行控制系统正向电子化、智能化、复杂化方向发展。这些日益复杂的装备和系统自身的安全性和可靠性,是技术人员非常关心的问题。高铁列车的基础装备和运行控制系统虽在设计之初都遵循了“安全指标”原则,但仍存在发生故障的可能性,因为越复杂的系统发生故障的概率也会越高。这些装备或系统在实际运行中一旦发生故障会极大地影响运营效率,在极端情况下甚至会导致安全事故的发生。因此,提高高铁列车基础装备和运行控制系统在运行过程中的安全性及可靠性,已日益受到关注,PHM(故障预测与健康管理)技术也日益

得到重视。

1 PHM 技术的发展及现状

PHM 的概念首先出现在美国军方在 20 世纪末的 JSF 联合攻击战斗机项目中,最初是基于视情维修(CBM)而提出的。PHM 对于提高战斗机的维修保障能力、减少飞机维保费用有着重大意义。如今随着技术的不断发展,如何通过对设备状态信息的采集、处理、分析,来准确评估设备的健康状况,并及时对将要发生的故障进行精准的预测,已经成为亟待解决的新问题。CBM 技术在过去几十年中,作为安全性和可靠性评估的工具已经取得了一定的成效,但它仍然是一个相对静态的过程,并不能够动态监视并预测系统的真实健康状态,而 PHM 技术则能够很好地解决此问题。

目前,国外几种典型的 PHM 系统(如 PHM Design TM)的设计、开发及验证都是服务于航天领域。为提高 PHM 技术在我国大型复杂装备领域的应用,研制一款设计、开发及验证功能一体化的 PHM 系统具有重要意义。本文以轨道交通装备为研究对象,针对 PHM 系统设计的关键技术及其体系结构进行论述,分析了适用于轨道交通装备的 PHM 系统的结构体系;并应用该系统动态监测关键部件及系统的健康状态,以提高列车运营期间的安全性。

2 PHM 系统体系结构

轨道交通装备关键系统(如转向架、牵引、主供电等系统)的可靠性直接影响列车的整体安全性和可用性。这些系统的故障可能会产生巨大的经济损失。计划外停车也将导致更为严重的后果,甚至威胁安全。因此,选择合适的 PHM 体系结构对于轨道交通装备的主机厂和运营单位来说至关重要。目前 PHM 系统的体系结构主要有集中式、分布式

和分层融合式 3 种类型,其结构特点及不足之处如表 1 所示。

表 1 PHM 系统的体系结构及特点

体系结构类别	特点
集中式	各子系统收集、解析用于子系统故障诊断及状态评估的所有信号,在较高层次将故障诊断/预测结果集中到中央控制器进行记录和决策 ^[2] ;适合不复杂且可靠性程度要求低的系统
分布式	在子系统和系统两个层级上对信息进行融合,但不能够有效地利用冗余层次状态信息;集成难度高,实现困难
分层融合式	拥有 PHM 数据库及专家知识库,能够对系统信息进行诊断、预测、评估,适用于轨道交通大型复杂装备;需要先进的传感器,对模型算法要求较高

(1) 集中式体系结构:是一种广泛应用于小型装备系统的典型结构。其关键在于一个用于收集、存储、解析系统所有状态信号的中央控制器。在大型复杂装备的故障预测与健康管理体系设计中,这种设计结构的弊端显露无疑:由于系统检测部件与信号采集数量的增加,对信息的处理、分类和解析也变得更加复杂,系统控制问题也无法解决,这也导致 PHM 系统的执行效率低下^[2]。因此,这种结构不适用于大型复杂装备。

(2) 分布式体系结构:能够在子系统级别上实现健康状态信息的采集、处理、分析及决策,由各子系统独立完成对设备的监控和故障诊断,并能将子

系统的健康状态信息传输给驾驶室显示装置。这种结构往往需要各子系统测试结果的高度集成^[3],这样才能使得诊断/预测结果具备一定的可信度。

(3) 分层融合式体系结构:本质上是一种集中式和分布式相结合的方式,其拥有的 PHM 数据库及专家知识库,能够对系统信息进行诊断、预测、评估。在较低的层次上,各子系统能够自行收集、解析所有用于子系统本身的状态诊断及评估信息,并将诊断/预测结果传输至较高层次的中央控制器,对其进行记录和决策^[4]。该结构能够在子系统级和系统级两个层次进行融合,可更加全面地利用冗余层次状态信息,同时有效地降低系统虚警率问题,适用于轨道交通等大型复杂装备。

3 PHM 技术在轨道交通装备领域的应用

3.1 PHM 系统的组成及接口

由于轨道交通装备具备大型复杂装备的特点,因此 PHM 系统应由车上部分(简称“车载 PHM”)和车下部分(简称“地面 PHM”)以及车地传输装置构成。其中,车载 PHM 可在无需人工参与的情况下将列车部件或系统的健康状态信息通过车地传输装置提供给地面系统人员,并结合地面系统建立的模型实现设备的预测评估和健康管理体系,以实现提高系统可靠性、可用性和安全性的目的。

图 1 为轨道交通装备车载 PHM 的体系结构,包含了状态检测、故障诊断、故障预测、健康管理功能。

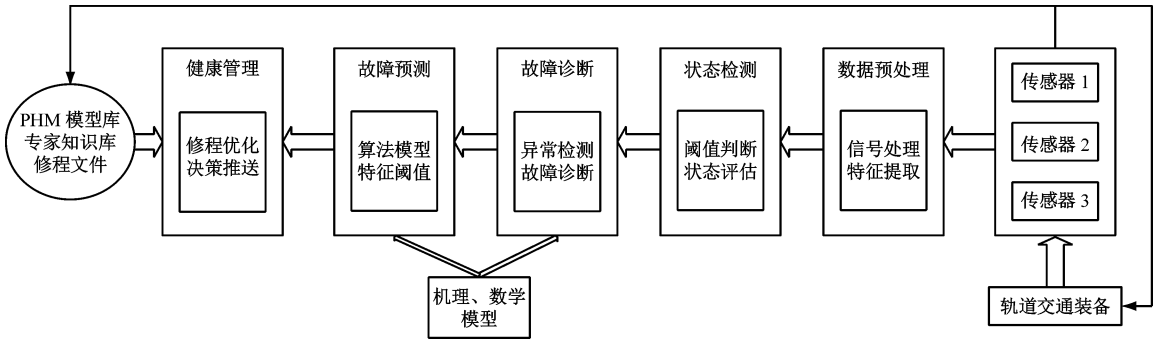


图 1 轨道交通装备车载 PHM 体系结构图

轨道交通装备 PHM 系统与各模块之间的接口是实现 PHM 系统的关键。主要模块接口包含:部件级 PHM 与子系统级、系统级之间接口,人机接

口,PHM 系统与决策支持、库存业务等系统接口。

3.2 PHM 系统主要功能

(1) 故障诊断:采用基于分层模型的诊断预测

程序,准确地检测故障,同时有效减少虚警。

(2) 故障预测:对装备实际状态进行预测,包括设备的确定使用寿命和剩余寿命。

(3) 健康管理:在诊断预测信息基础上,对设备状态做出正确的评估,并匹配适当的修程修制对设备进行合理的管理。

(4) 运维决策:根据设备的健康状态,做出合理的维修决策建议,保障设备运行的安全性。

3.3 PHM 系统结构优势

轨道交通装备 PHM 系统应采用开放式体系结构,可“即插即用”,可不断更新或加入新模型,并可增强与其他系统进行信息交互和集成的能力。其主要优势包含以下几点:

(1) 分布式、跨平台构架能够保证各个子系统独立完成相应的功能,并能实现不同平台之间的互操作,保证系统的可重用性。

(2) 采用层次化结构设计,减小了复杂模型的耦合程度,可显著降低系统开发的复杂度。

(3) 开放性、标准化的实现方法使层次之间、模块之间都能够按照标准进行数据交换和信息共享,并能集成来自不同供应商的软硬件。

(4) 通过对潜在故障的实时诊断和定位,以及进一步对部件剩余寿命的评估,能够大大增强列车运行的安全性。

(5) 车载 PHM 系统能够自动对部件及设备健康状态进行诊断并做出相应的决策建议;可在列车

入库前自动完成大多数测试诊断工作,缩短地面诊断时间;可减少故障误报率;提高维修效率的同时,可降低对外部维保人员及备件的需求,实现设备资源保障和经济效益提升。

4 结语

本文主要从部件、子系统、系统 3 个层次对轨道交通装备 PHM 技术体系进行了总结分析;论述了大型轨道交通装备 PHM 系统的体系架构,分析了其主要技术难点和优势,对我国轨道交通行业的 PHM 技术体系发展具备一定的参考价值。但本文也存在一定的不足,例如对先进的预测诊断算法的实现以及在经济成本的投入上欠缺考虑。这也是本文作者下一步的研究方向。

参考文献

- [1] HESS A, FILA L. The Joint Strike Fighter (JSF) PHM concept: Potential impact on aging aircraft problems[C]// Aerospace Conference. Big Sky, Montana:IEEE, 2003.
- [2] 张亮, 张凤鸣, 李俊涛. 机载预测与健康管理系统(PHM)的体系结构[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2008, 9(2):6.
- [3] 王锬, 王洁, 冯刚, 等. 复杂装备故障预测与健康管理体系结构研究[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(7):1740.
- [4] 黄璞. 基于 PHM 的无人驾驶车载 ATC 维护系统研究[C]// 第十一届中国智能交通年会. 重庆:中国智能交通协会, 2016.

(收稿日期:2019-01-20)

(上接第 170 页)

3 结语

室内定位导航技术的出现完善了导航精准化。随着蓝牙技术日益成熟,一些大型企业推出了各自基于蓝牙设备的室内定位解决方案。本文针对复杂的多线路车站室内导航需求,进行蓝牙定位导航系统建设。经实际使用,该系统可实现精准定位、导航,满足为乘客提供目的地指引的室内定位导航需求。

参考文献

- [1] 方诗虹,陈浩. 基于蓝牙 4.0 的室内定位及信息服务应用模型

研究[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2015, 41(6):727.

- [2] 石志京,徐铁峰,刘太君,等. 基于 iBeacon 基站的室内定位技术研究[J]. 移动通信, 2015, 39(7):88.
- [3] 莫倩,熊硕. 基于蓝牙 4.0 的接近度分类室内定位算法[J]. 宇航计测技术, 2014, 34(6):66.
- [4] 赵永翔,周怀北,陈森,等. 卡尔曼滤波在室内定位系统实时跟踪中的应用[J]. 武汉大学学报(理学版), 2009, 55(6):696.
- [5] 王郑合. 基于智能手机的惯性导航轨迹生成算法[J]. 工矿自动化, 2015, 41(5):87.

(收稿日期:2018-10-15)