

介绍了 PHM 技术的概念和功能。研究了对 PHM 技术在机载机电执行部件中的应用。设计了 PHM 系统的功能框图,探索了如何实现对 PHM 系统预测推理方法。表明了 PHM 技术在机载机电执行部件中有着广阔的应用前景。

PHM 技术在机载机电执行部件中的应用研究

PHM Technology Application in Aircraft Electromechanical Actuator

◎赵 鹄 李颖晖 郭 创 / 空军工程大学工程学院

PHM 技术研究

1. PHM 的概念

故障预测与健康管理(Prognostics and Health Management, PHM)技术早在 2000 年就被列入美国国防部的《军用关键技术》报告中。联合攻击战斗机(JSF)在设计时,引入了 PHM 设计,其有关测试性能的指标都是针对 PHM 提出的,PHM 已经成为国外新研战斗机的固有性能要求之一。目前,国内相关标准还没有 PHM 的统一定义。

有文献指出,PHM 是指装备(飞机)能够在使用中自动完成故障检测、预测、隔离和监控,并及时进行故障影响评价、故障报告和飞机状态监控管理的功能。完成故障预测与健康管理功能的系统可称为 PHM 系统。PHM 具有故障诊断、故障预测和配置管理功能。PHM 能够提高装备(飞机)的任务可靠性和可用性,并为飞机的使用和维护计划提供信息资源。

2. PHM 应用于机载机电执行部件中的意义

传统意义上,机载机电执行部件这些关键部件的可靠性是按照统计学

规律进行估计的,按照设计好的较为保守的时间或使用次数进行拆装更换的。然而,历史证据证明,执行部件的实际使用情况是完全不同于事先预计的,执行部件的不可预测性、极端性工作状况是导致不定期维修事件的主要原因。在线的不可预测性故障会带来严重的维修问题,如安全性、任务的完成、维护费用等。一般条件下,基于统计规律的预防性更换部件并不能有效地限制不可预测性故障的发生,更为可惜的是高可靠性要求下的更换部件带来的往往是部件寿命的浪费。PHM 技术的出现引领了机电执行部件维修方法的变革,即从传统的基于传感器或 BIT 的诊断转向基于系统的测试,在提高执行部件使用的可靠性的同时,减少了维修工时和成本,降低了执行部件寿命周期费用。PHM 利用先进的灵巧传感器(如涡流传感器、小功率无线综合微型传感器、无线微机电系统 MEMS)的集成,并借助各种算法(如 Gabor 变换、快速傅里叶变换、离散傅里叶变换)和智能模型(如专家系统、神经网络、模糊逻辑等)来预测、监控和管理飞机的状态。

PHM 技术不但促进了视情维修取代事后维修和预防性维修的进程,而且从根本上实现传统飞机保障体系的变革(如图 1 所示),取消中继级维修,将减少故障机电部件的维修环节,提高维修效率,缩短飞机故障状态时间,使三级保障体系转变为两级保障可能。

机载机电执行部件的特点

机载机电执行部件是飞机各个系统的关键执行部件,是完成各系统任务操作的最后环节。飞行控制系统的舵机、作动器,燃油/滑油控制系统中的电磁阀、泵,发动机控制系统中的电磁开关、电动机都属于机电执行部件。这些器件遍布飞机机体全身,数量较多,种类繁多,但余度设计少,例如,飞行/推进控制系统的回路和控制计算机一般都采用余度备份,但其执行机构(如图 2 所示)包括舵机、作动器(助力器)、控制电机及相应电气部件,这些作为飞行/推进系统十分重要的核心部件,却由于空间位置少、供压、供电难和超重等原因,一般没有余度备份。执行部件的故障往往给战机带来

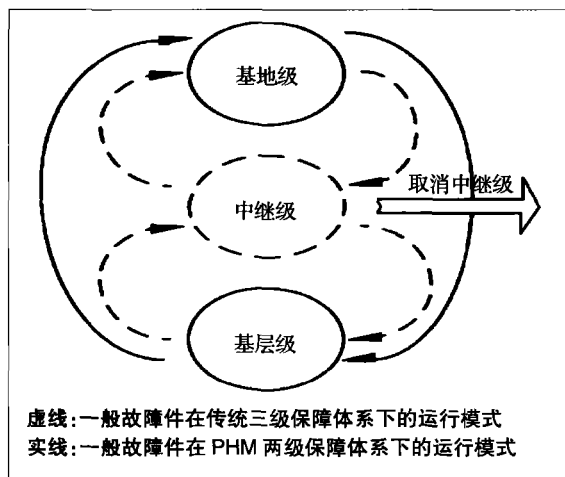


图1 飞机保障体系的转变

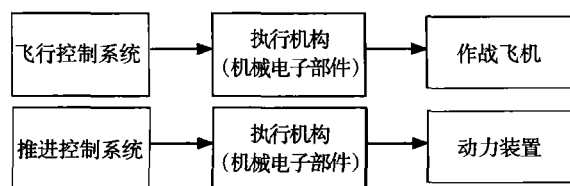


图2 飞行控制与推进控制的原理图

难以克服的“硬伤”，其一次故障可能会引起飞行任务的中止，甚至导致灾难性的后果，造成巨大的经济损失和极其恶劣的负面影响。

此外，机载机电执行部件作为执行环节，其工作条件一般比较恶劣。高温、高压、高作动性是其工作环境的一般特点。在如此恶劣的条件下，作经常性、重复性的作动一定会对部件的健康

康状态带来影响，不可预测的故障的产生同样也是无法避免的。同时，机载机电执行部件的维修工艺要求高，操作步骤繁琐，所在机体位置又比较特殊，给维护人员的维护工作带来了极大的不便。因此，预防性维修的更换部件对提高机电执行部件的可靠性作用有限，而且在更换部件的过程中出现不必要的人为差错，影响维修效果。

PHM 技术在机载机电执行部件中的应用设计

1. 机电执行部件的 PHM 系统的功能

机电执行部件的 PHM 系统的功能主要有：一是状态检测，包括对机电执行部件有效信号的采集、测试、传输、转换等；二是故障诊断，包括各种信号的特征提取、状态识别、故障匹配、故障决策、故障隔离、故障定位等；三是健康管理，包括对各部件残余使

用寿命预计、寿命跟踪、性能降级趋势跟踪、保证其跟踪等；四是维修决策，包括维修机电部件过程中的故障信息报告、维修资源管理、维修指导、维修调度等。

2. 机电执行部件的 PHM 系统的结构

根据 PHM 系统的功能并结合有关资料，构建如图 3 所示的由四个层面组成的机电部件健康管理系统。第一层为数据处理层，包括有效信息获取、数据的预处理及信息融合、特征提取；第二层为状态监测层，包括阈值确定和模糊逻辑判断；第三层为健康评估层，包括故障诊断、健康状态预测和健康指标决策；第四层为人机交互层。从低层获取的数据用于将来健康状态预测以及自主决策推理。

3. 机电执行部件 PHM 系统预测方法的实现

机载机电执行部件长期处于工作状态，为对其可靠性进行准确的预测，为进一步的维修保障提供准确可靠的信息，机电执行部件的 PHM 系统采用智能推理机（如专家系统、神经网络、机器学习、模糊逻辑或遗传算法）对可靠性、健康性进行推理。

近些年来，以统计学理论为基础的支撑向量机(SVM)理论以其良好的泛化能力和全局最优解的特点得到快速的发展，在故障分类、状态预测等领域中得到了广泛的应用。由于所监控的机电部件的特征信息有限，所以对于小样本学习的支撑向量机理论来说，对机电执行部件健康状态预测是有着广阔的应用空间。为提高 SVM 的运算速度，克服冗余信息，将粗糙集(RS)理论与其结合应用。利用 RS 理论能有效地分析和处理不精确、不一致、不完整等各种不完备信息，并从中发

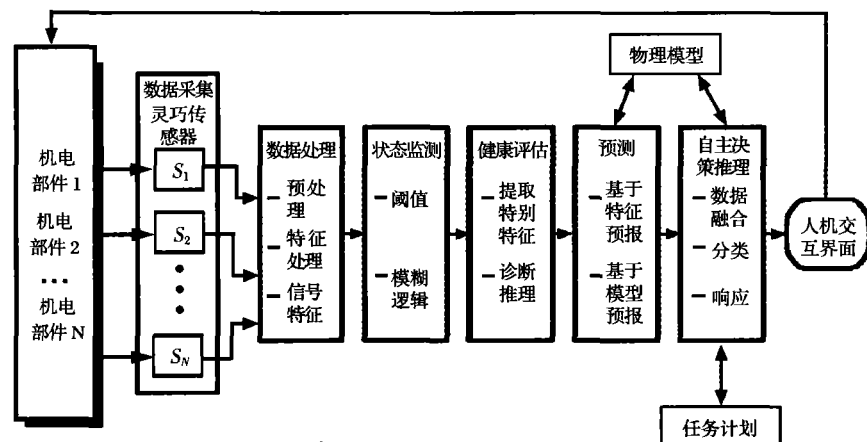


图3 机电部件健康管理系统功能图

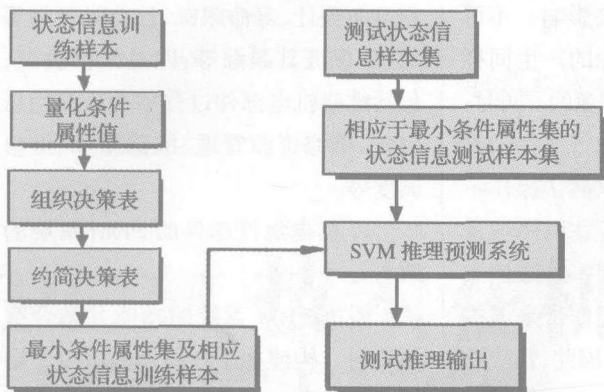


图4 基于RS预处理的SVM状态预测推理系统

现隐含的知识,揭示潜在的规律能力,结合SVM,设计RS前置系统,剔除冗余状态信息,将利用RS方法预处理后的状态信息作为训练样本,构成SVM状态预测推理系统(如图4)。

记录,调整使用计划,生成机电执行部件的维修工作项目,以及分析部件的状况。

在预测推理的过程中,确定从部件故障到系统失效的进程,是预测推理过程中最不确定的一步,其原因在

机电执行部件的PHM系统不断地采集信号和数据进行分析判断,汇总到PHM系统推理机进行信息融合,并输出决策数据和措施建议,传给信息处理系统,据此来判断部件的可靠性,实施技术状态管理,更新状态

于未来事件的变数极大,且非线性强,因此,智能推理机的推测结果往往需要利用跟踪与趋势算法来决策健康状态,从而量化输出机载机电执行部件的健康及受损级别。

结束语

PHM技术的应用将大幅提高装备维修保障的及时性、有效性和经济性。虽然目前将PHM技术应用于机载机电执行部件中还处于理论探索阶段,但随着传感器、信息融合等技术的成熟和进步,PHM技术在机载机电执行部件的维修保障中必将得到充分的应用,进而引发整个综合保障技术的变革。□

国际会展信息 Aerospace Calendar

国航会展信息

- 2008年9月24-26日
- 2008年无人机系统峰会
- 地点:北京
- 2008年10月14-16日
- 2008亚洲航空维修国际会议与展览
- 地点:新加坡
- 2008年11月3日
- 第四届航空航天月桂奖颁奖典礼
- 地点:珠海
- 2008年11月3日
- 2008中国国际航空航天高峰论坛
- 地点:珠海
- 2008年11月4-9日
- 第七届珠海航展
- 地点:珠海

航展动态

2008北京国际机场技术、设备和服务展览会12月将在京召开

据主办方透露,经中国民用航空局批准,由中国航空器材集团公司、北京博联天地展览服务有限公司和英国Mack-brooks Exhibitions Ltd共同主办,中国民航技术装备有限责任公司承办的北京国际机场技术、设备及服务展览会将于2008年12月2-4日在北京中国国际展览中心举行。

继该展览会在04、06年在京成功举办后,再次登陆北京。据统计,2004年,来自国内的2800名专业人士参观了此展览,其中82%的观众来自国内企业;2006年,有来自23个国家和地区的134家公司参展,吸引了3572人专业人士前来参观,其中90%的专业人士来自民航总局各司局的领导和专家、国内主要机场的

负责人等。

中国是世界上最大的民用航空市场之一,根据中国民用航空局的《全国民用机场布局规划》,至2020年,布局规划民用机场总数达244个,其中新增机场97个,并形成北方、华东、中南、西南、西北五大区域机场群,共同构成现代综合交通运输体系。专家预测,中国国际航空旅行和货物运输需求将以20%的年增长率全面发展。

在中国民用航空局、中国航空器材集团公司和中国民航技术装备有限责任公司支持下,本次北京国际机场技术、设备及服务展览会将为中国市场带来世界领先的机场设备和服务。而国际上的机场设备制造商和供应商的到来,将为中国机场管理者提供更多的选择和更广阔的视野。该活动将持续三天,预计来自国内的机场建设的专业人士近5000人将到会。