

直升机状态与使用监控系统开放式体系结构研究

Research on Open Structure of Helicopter Healthy and Usage Monitoring Systems

刘立生^{1,2} 李宗原² 杨宇航²

1 南京理工大学自动化学院 2 总参陆航研究所

摘 要: 本文描述了HUMS发展历程和HUMS系统结构, 介绍了HUMS各部分的功能, 根据国外HUMS的发展历程和最新研究成果, 提出了适合国内技术水平的HUMS开放式体系结构, 并对系统的开放性进行了深入的研究。

关键词: HUMS; 开放式体系; 机载系统; 地面系统; 状态监控; 使用监控

Keywords: HUMS; open structure; airborne systems; ground systems; healthy monitoring; usage monitoring

1 HUMS 定义和发展历程

直升机状态与使用监控系统(Healthy and Usage Monitoring Systems, 简称HUMS)是一个集航空电子设备、地面支持设备及机载计算机监视诊断产品于一体的复杂系统。它包含一系列的传感器, 并通过各种算法监控发动机、传动系统、旋翼系统和机架的状态, HUMS主要由状态监控和使用监控两部分组成。

1984年秋, UKOOA和英国政府发起了HUMS的研究^[1]。1991年, 英国北海直升机公司在直升机上安装了首套HUMS。1997年美国海军提出了IMD-HUMS计划, 同年美国国防部确立了JAHUMS先进概念技术论证项目。2000年, 美国国防部的《军用关键技术》报告中提出了与HUMS相似的PHM(Prognostics and Health Management)技术。2002年古德里奇公

司为陆军航空兵开发了第一个基于状态的维修(CBM)系统。2002年11月, 美国负责后勤和器材战备的国防部副部长在政策备忘录里提出了CBM+方针, 该计划预计2015年实现。

以上所有项目其实都是用来压缩维修保障费用和提高安全性、有用性的有效手段, 是对直升机“五性”(可靠性、维修性、安全性、测试性、保障性)不断重视的标志,

F-14 Aircraft Lateral-Directional Axis During Powered Approach[J]. Journal of Guidance, Control and Dynamics, 21 (6): 899-908, 1998.

[9] Painter W.D., AD-1 Oblique Wing Research Aircraft Pilot Evaluation Program[R]. AIAA-83-2509, 1983.

[10] Michael J. Hirschberg, David M. Hart, Thomas J. Beutner. A Summary of A Half-Century of Oblique Wing Research[R]. <http://www.desktopaero.com/>, June 2005.

[11] Thomas M. Seigler, David A. Neal, Jae Sung Bae, et al. Modeling and Flight Control of Large-Scale Morphing Aircraft[J]. Journal of Aircraft, 44 (4): 1077-1085, July-August 2007.

[12] Anna Maria R. McGowan, Dan D. Vicroy, Ronald C. Busan, et al. Perspectives on Highly Adaptive or Morphing Aircraft[R]. NATO-RTO-MP-AVT-168, 2009.

[13] Mujahid Abdulrahim, Rick Lind. Control and Simulation of a Multi-

Role Morphing Micro Air Vehicle[R]. AIAA-2005-6481, 2005.

[14] 丛延. 智能可变外形导弹的气动外形总体设计研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.

[15] 王旭刚, 周军. 变后掠翼战术巡航导弹动力学控制及仿真[J]. 计算机仿真, 2008, 25 (6): 62-65.

作者简介: 段朝阳, 研究员, 从事飞行器控制系统设计工作。

HUMS、IMD-HUMS、JAHUMS、PHM、CBM、CBM+等可以看作是对HUMS功能的不断完善和扩展,标志着HUMS正在朝智能化、信息化、网络化和一体化方向发展。

2 HUMS 的功能

对HUMS的研究和应用已近30年,它对直升机的安全性所做出的贡献已经在实践中得到了证明,随着HUMS系统的不断发展,其功能将更加强大,总体性能将会得到进一步提升,但是其状态监控和使用监控的主要功能并没有改变,图1所示是典型的维恩图, HUMS将各个独立的单元集成在一个可以持续监控的模块上^[2]。

文献[3]对HUMS的功能进行了详细划分,其包含的主要功能如图2所示。

由图1可以看出HUMS由状态监控、使用监控、振动控制和事故数据记录4个部分组成。状态监控包括在持续和实时状态下旋翼同锥度和动平衡,发动机实时检查和状态跟踪的评估,传动装置、轴承、齿轮的机械诊断,还为座舱语音/飞行数据记录(CVFD R)提供一系列接口。

使用监控是通过监控实际的损伤来评估关键部件、系统和结构的寿命损耗,从而直接获得飞行中各元件实际使用/损害情况,而不是最差的那个元件的使用情况。通过测量直升机上各元件的实际使用情况,就可以得到它们的实际寿命。

所有元件的诊断指示值、状态数据、选择的原始数据都通过数据传输模块传到地面系统,进行分析、报告、操作、存档。地面站可为直升机维修人员和技术人员提供诊断指南和在线报告。同时,系统支持工程师和

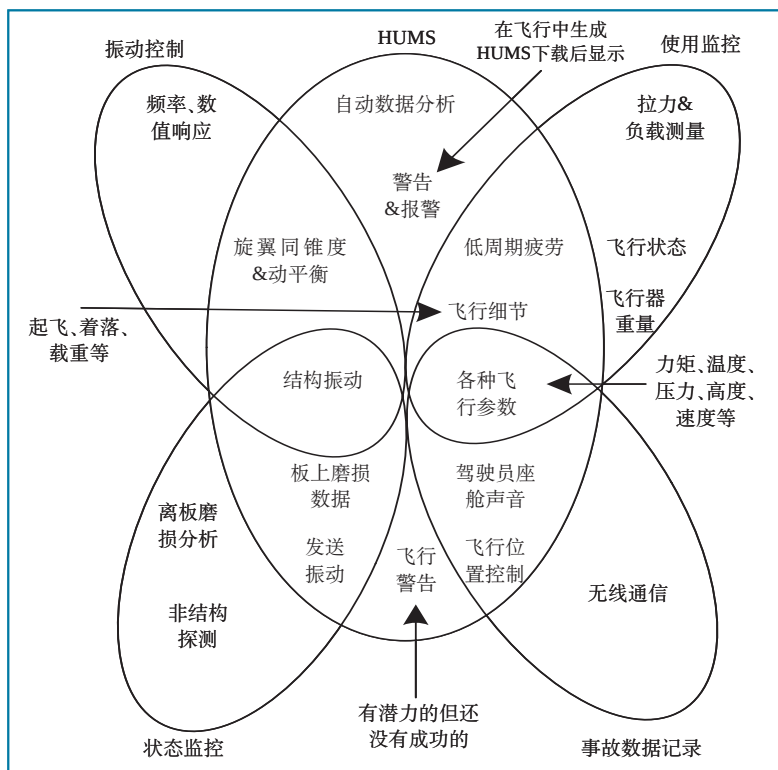
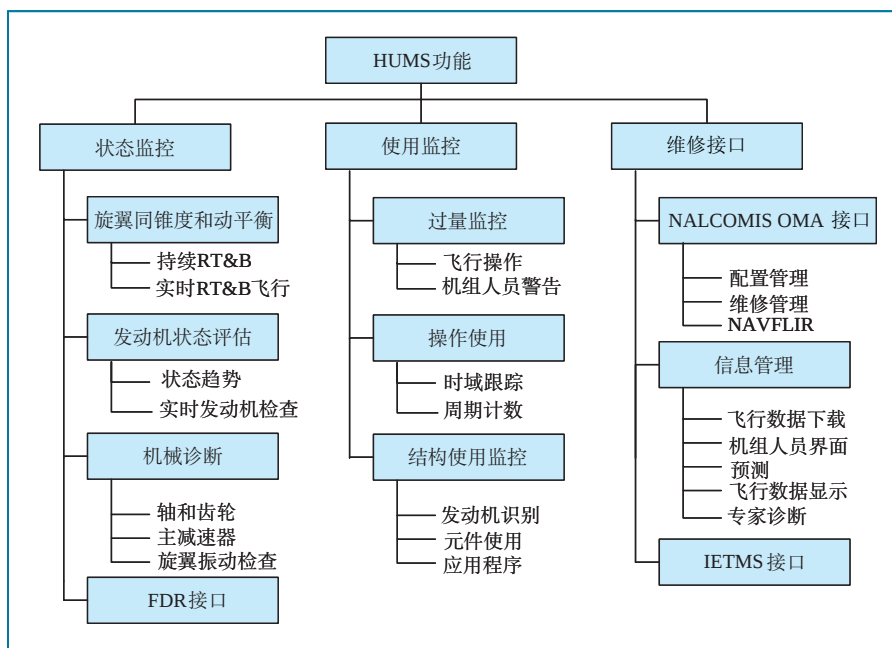


图1 HUMS 的维恩图



注：NALCOMIS为海军航空后勤指挥管理信息系统； FDR为飞行数据记录

图2 开放式HUMS的功能

分析人员评价算法并开发出新的优化诊断程序。

机载系统采集和处理的数据涉及

过量监控、机械诊断、旋翼同锥度和动平衡、使用寿命等4个特殊领域。系统的数据主要来自状态传感器、加速

传感器和轴位置传感器。

3 HUMS 开放式体系结构

HUMS开放式体系结构把数据采集、数据分析、状态的选择和提炼、故障诊断、故障预测、数据存档和后勤维修囊括在一个平台上的,扩展了HUMS的规模,提高了信息收集、发送、分析处理的能力,这样的体系结构使数据的分析更快、更准确,维修更快速,直升机的安全性将得到进一步的提高,人员分配将更加合理,而且降低了维修的成本。

开放式系统方便了HUMS使用人员应用新的诊断技术和传感器技术,并可以将不同领域的技术融入到HUMS里来。新技术融合之前,必须对HUMS集成控制、飞行安全进行论证,将导致开放式系统的执行过程变得非常复杂,典型情况有,不论集成的过程或系统的体系多么开放,HUMS板上元件都必须进行飞行需求论证,而这可能阻碍系统许多部分的升级。但对于HUMS的地面站的论证却没有如此严格,因此可充分地实现系统的开放。HUMS开放式体系应用的有利之处在于^[4]:易于新技术的嵌入、增强竞争力、提高执行需求、提高协调能力、扩展系统领域、降低维修费用、改进供应渠道、延伸装备使用寿命。

美军对嵌入式诊断和基于状态维修(CBM)技术的研究和应用引发了一系列的改革。正在发展的诊断技术已被应用于各种商业系统和军用系统中,尤其是陆上、空中、海上的交通工具和工业设备。

开放式系统的快速发展和应用,有利于诊断技术和预测技术的集成。微机电系统(MEMS)传感器技术和无线

数据传输技术的发展仅是未来HUMS技术快速发展的两个方面。很显然,嵌入HUMS系统中的这些新技术的发展带动了HUMS自身的发展。

HUMS是“系统中的系统”,它比其他系统拥有更广泛的功能。HUMS里的各种功能模块共享一个处理器来执行算法,共享一个数据模块来存储数据,共享一个数据发送模块。在开放式环境下,一些功能模块可以共享传感器的数据。

开放式系统的目标是提供必要的接口、开发环境和开发工具,易于集成第三方技术,促进新技术的发展,鼓励第三方引入他们各自的技术。例如,MEMS传感器的开发商可以方便地将他们为工业设备状态监控设计的传感器技术接入开放式HUMS中。而高级诊断算法,如基于模型的诊断和人工智能技术可以直接嵌入HUMS系统中来评估其算法,而不影响直升机的功能。HUMS开放式体系的基本要求如图3所示。标准接口包括物理接口和知识库,物理接口包括软件接口和硬件接口,知识库包括进程描述和数据描述。

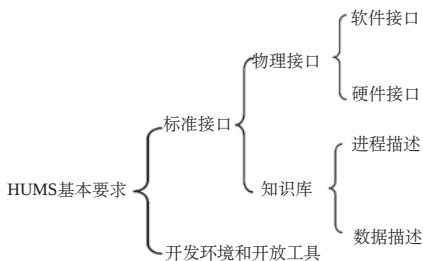


图3 HUMS开放式体系要求

文献[10]中对HUMS开放式体系5个方面的接口进行了规定。

- 1) 机载PPU中软件的嵌口;
- 2) 机载VPU中软件的嵌口;
- 3) 机载主处理模块中嵌入数据采集和处理模块接口;
- 4) 连接外部或远程数据采集和

处理系统的接口;

5) 地面系统对HUMS飞行数据进行分析的软件接口。

开放式体系有利于军用HUMS系统的升级和新技术的引进。结合国外HUMS的结构框图,设计出适合国内技术水平的开放式体系结构,如图4所示。

该系统由机载系统和地面系统两部分组成,机载系统包括旋翼跟踪系统和动平衡监控、发动机监控、传动系统振动监控、外部传感器、主处理器、数据总线、座舱显示模块、数据传输模块、技术模块和外部接口(传感器、数据总线、座舱显示、技术模块、数据传输等)。

主处理器(MPU)由初级模块(PPU)和振动处理模块(VPU)组成,PPU是多用途处理器,并作为控制器管理信息的存储与进出,接收数据集中器和VPU的信息;VPU提供可以选择的原始数据信号,也提供处理信号,并为高频加速传感器提供接口。座舱显示模块(CDC)提供的界面使操作人员实时地看到获得的数据,根据机组人员的要求,MPU发送信息给CDC,原始数据和处理后的数据通过数据传输模块(DTU)和技术模块转移到地面系统,地面系统提供用户接口。

地面系统主要由网络系统、地面站和维修站组成,地面站对接收到的信息进行便携式显示、存储并将数据送入网络系统以进行进一步的故障诊断。网络系统进行数据的诊断、预测、自动检测,并查看飞行过程中的数据统计和报告,网络系统完成数据的处理后对数据进行存档,并生成维修报告,维修部门根据维修报告查看各元件的剩余寿命和故障情况,进而进行相应的地面维修。地面维修部门

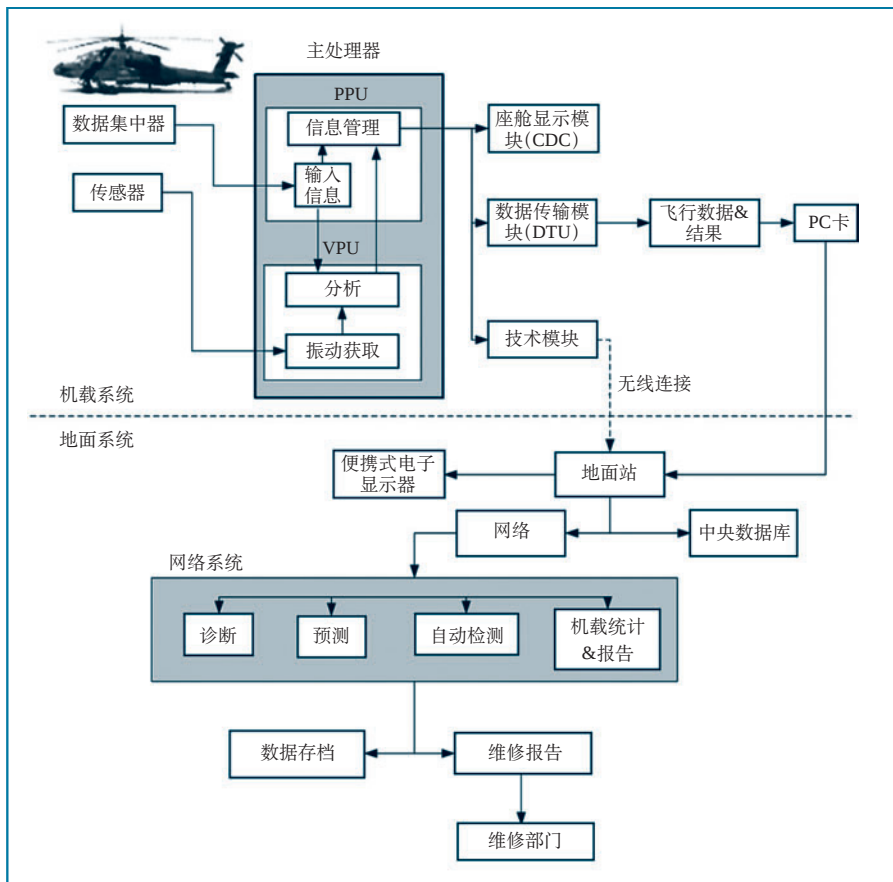


图4 HUMS 开放式体系结构框图

包括外场维修保修基地、后方维修保障中心、地方民用维修保障体系、飞行器研制生产工厂。其中外场维修保修基地和后方维修保障中心是维修保障中的核心。

4 结论与展望

HUMS开放式体系为第三方提供通用接口,方便了新型传感器技术、新型处理器技术和新一代算法的引入,进一步提高直升机安全性能、维修性和保障性,降低了维修费用。开放式体系使HUMS功能由故障诊断逐渐向故障预测、系统集成方向发展。随着信息技术的飞速发展,开放式的HUMS将进一步朝着智能化、信息化、网络化和一体化方向发展。

HUMS是一个复杂的系统工程,

其体系结构及功能必须在新机设计时就加以考虑,我国对HUMS系统的研究起步较晚,对其开放式体系的研究与设计依然是任重而道远。

参考文献

- [1] James E. Land. HUMS—The benefits—past, Present and Future[J]. IEEE, 2001.
- [2] Jonathan Cook. Reducing military helicopter maintenance through prognostics [J]. IEEE, 2007.
- [3] Richard C. Muldoon, John Gill, Larry D. Brock. Integrated mechanical diagnostic (IMD) health and usage monitoring system (HUMS) : An Open System Implementation Study [J]. IEEE, 1999.

[4] Brock. Transition to an open system architecture. Philadelphia: In Proceedings of the 19th Digital Avionics Systems Conference, October 7–13, 2000.

[5] Muldoon, R. C. Gill, J. Brock. L.D. Integrated mechanical diagnostic (IMD) health and usage monitoring system (HUMS): an open system implementation case study [J]. IEE/IEEE, 1999(2).

[6] R. Mukkamala, V. Adavi etc. HADL: HUMS Architectural Description Language [J]. IEEE, 2003

[7] Paul Grabill & Tom Brotherton, Jonathan A Keller. Helicopter structural life modeling: Flight Regime and Gross Weight Estimation [J]. IEEE, 2007.

[8] David J. Haas, Carl G. Schaefer. JAHUMS ACTD—A case study in open systems from a technology insertion perspective [J]. IEEE, 1999.

[9] Michael J. Augustin. Diagnostics for Light Helicopters [J]. IEEE, 2003.

[10] Cargill, Carl F. Open systems standardization: a business approach. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, N.J., 1997.

作者简介: 刘立生, 硕士研究生, 主要研究方向: 模糊控制, 直升机可靠性。

李宗原, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向: 复合材料和直升机可靠性。

杨宇航, 博士, 高级工程师, 主要研究方向直升机寿命与可靠性。