

直升机健康管理系统体系结构研究

茹常剑¹, 景 博¹, 张 劼², 贾 俊¹

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038;

2. 空军驻兰州军事代表室, 甘肃 兰州 730058)

摘要: 提出通过构建直升机健康管理系统(HUMS), 对整个直升机的运行状态进行实时监控, 及时发现并预测故障, 为操作人员 and 维修人员提供技术支持; 介绍了该系统的发展历史和趋势, 提出了 HUMS 系统的总体方案; 设计了开放式体系架构的 HUMS 处理单元, 分布式体系架构的地面站和无线数据传输通信系统; 对构建我国直升机 HUMS 系统提供了一定的参考价值。

关键词: 直升机; 健康管理系统; 开放式体系架构; 专家系统; 数据库; 通信系统

Research on Architecture of Helicopter's HUMS

Ru Changjian¹, Jing Bo¹, Zhang Jie², Jia Jun¹

(1. Engineering college, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. Air Force Military Representatives Office in Lanzhou, Lanzhou 730058, China)

Abstract: In this article, we put forward the establishment of HUMS of helicopter which can monitor operating condition of helicopter instantly, find and predict faults, and provide maintenance policy for servicemen. First, we give an overview of development history and trend of HUMS. Second, we have proposed an overall solution of HUMS. Finally, we have designed processing unit of HUMS which has an opening architecture, distributed architecture ground station and wireless data communication system. What we have done above provides a certain reference to establishment of HUMS of our country's helicopters.

Key words: helicopter; HUMS; open architecture; expert system; database; communication system

0 引言

由于直升机灵活、机动的作战模式, 在地形复杂的丛林战中表现出色, 因而确立了直升机在现代战争中不容忽视的地位, 同时也推动了直升机的发展。直升机作为一个复杂的装备, 其机载系统日趋复杂、功能日臻完善, 自动化程度不断提高, 从而对直升机的后勤保障和维护提出了更高的要求。当前, 我国主要是针对直升机的传动系统, 在其执行完飞行任务后, 进行事后的维护保障, 并且这些检测设备只是地面设备, 不能对整个直升机的运行状态进行实时监控。因此, 为了提高直升机的可靠性和安全性, 迫切需要构建一个先进的用于对整个直升机的关键结构部件进行状态监控和健康管理。

本文提出通过构建直升机 HUMS 系统, 对整个直升机的运行状态进行实时监控。该系统能维修费用及提高对维修人员的技术要求^[1]; 解决传统故障诊断与预测技术的局限, 适应先进直升机的技术发展; 大幅提高主战装备的作战完好率、再次出动能力。本文设计的 HUMS 系统由机载设备、地面支持设备和通信系统 3 部分组成, 可以连续观察、自动记录和分析飞

机机载设备的性能特征, 检测直升机运行的相关信息, 判断是否存在故障以及故障原因和部位, 为操作人员和维护人员提供技术支持。其中, 机载设备采用开放式的体系架构, 地面站采用分布式的体系结构, 通信系统采用无线数据传输方式。

1 HUMS 系统的发展和趋势

直升机产业界大约在 20 世纪 60 年代提出了状态监控这个概念, 主要关注直升机某个部件的性能。随着对飞机安全性的日益关注, 诞生了飞机综合数据系统(AIDS)和新一代飞机条件监控系统和飞机数据获取系统(ACMS/ADAS)^[2]。

然而, 这种监控技术, 直到 20 世纪 80 年代英国北海一场严重的空难后才付诸实施。当时 1 架波音民用型“支奴干”直升机坠入北海, 造成机上近 50 人丧生。同时, 英国在北海油田工作的直升机频频发生飞行事故, 引发了人们对直升机飞行安全的高度关注。为此 1982 年英国成立了直升机适航审查专家组, 揭开了 HUMS 研制的序幕^[3]。

目前国外直升机 HUMS 已经发展到第三代。和第一代 HUMS 相比, 第二代 HUMS 更小、更轻, 可靠性更高, 功能也更加强大, 具有升级容易、安装简便、效率高等特点, 可以给驾驶员提供实时信息。第三代最先进的 HUMS 使用工业标准的处理器和模块化的软件系统降低了成本, 变成一个功能强大的综合状态监测与故障诊断系统^[4]。进入 21 世纪后, 国外的 HUMS 开始向综合化方向发展, HUMS 由状态与使用监测系统逐渐转化为状态与使用管理系统^[5], 称之为第四代产品。

未来 HUMS 系统将朝着智能化, 开放式的体系架构, 可升级、通用化的方向发展。

收稿日期:2011-02-22; 修回日期:2011-04-02。

基金项目:航空科学基金项目(20101996012);中国博士后基金项目(20090460115)。

作者简介:茹常剑(1986-),男,河南人,硕士研究生,主要从事故障预测与健康管理、分布式信息处理与远程故障诊断方向的研究。

景 博(1965-),女,河北人,教授,博士生导师,主要从事故障预测与健康管理、无线传感器网络方向的研究。

2 系统的设计与研究

2.1 总体设计

目前,国外主流的HUMS系统主要由下列几部分构成^[6]:

- (1) 一个数据采集系统;
- (2) 一个飞行数据计算机提供基本飞行数据,包括空速、气压、温度和高度等;
- (3) 一个座舱显示器和驾驶员输入面板;
- (4) 一种数据记录方式;
- (5) 一个抗坠毁座舱音频记录器和飞行数据记录器;
- (6) 昼夜光敏旋翼轨迹仪;
- (7) 不同的传感器,包括安装在重心的加速度传感器和温度、压力传感器,测量驾驶员输入的位移传感器等;
- (8) 合适的接线及安装方式。

HUMS系统示意图如图1所示。

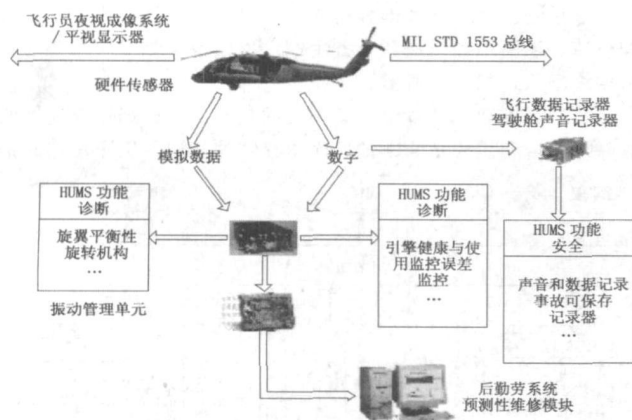


图1 HUMS系统示意图

该系统的优点在于:

- (1) 具有模块化的结构;
 - (2) 可以实现对旋翼、传动机构及引擎的健康与使用监控;
 - (3) 可以记录飞行数据和语音,便于飞行后维护;
 - (4) 能与后勤维护系统交互,实现辅助诊断维修;
 - (5) 可以通过1553总线实现与其他机载设备的通信。
- 其不足之处在于:

- (1) 仅通过数据记录卡和飞行数据记录器/驾驶员声音记录器与地面后勤维修服务站进行数据的传输,通信能力较差,传输速率较慢;
- (2) HUMS核心处理模块不具有可扩展性和可升级性,不能用在其他的HUMS产品中;
- (3) 后勤维修站采用集中式的结构,一旦某个部件出现问题,整个系统将会瘫痪。

本文借鉴上述国外主流HUMS系统的优点,同时针对其不足之处,构建了一种通用型直升机HUMS系统的模块化、开放式体系结构,该系统由3大部分组成:机载监测系统;地面监控系统;连接前两个系统的通信系统。其结构如图2所示。

其中,机载监测系统负责直升机飞行中相关参数的监测,主要包括飞行数据记录系统(FDR)、动力、传动系统以及旋

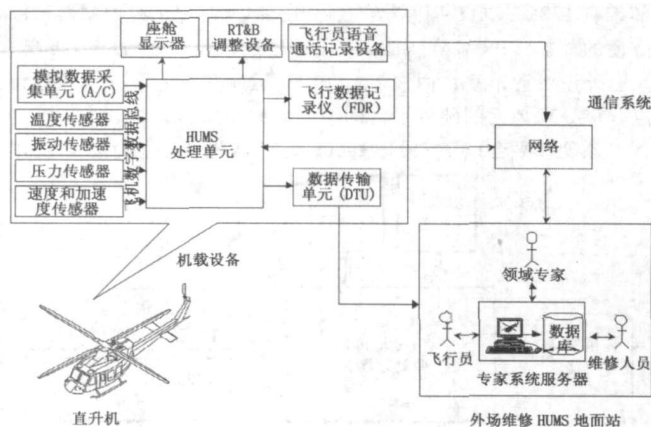


图2 直升机HUMS系统结构图

翼系统。它们通过测量直升机的相关参数,利用机载计算机处理数据、显示结果,并将监测信号发送到地面监控系统和接收地面监控指令。

机载监测系统是整个直升机HUMS的核心,HUMS能否有效运行,主要取决于机载监测系统能否准确监测直升机状态、及时识别故障。

地面监控系统接收直升机发送的监测信号并作进一步处理,全面评价直升机状态。

通信系统负责机载系统和地面系统的信息交流。

2.2 机载设备模块:开放式的体系架构的HUMS处理单元

由于直升机型号多样,如果没有统一标准必然使得使用维护不便,成本上升,这将会与开发HUMS的初衷背道而驰。开放式系统可以让不同直升机很容易交流HUMS信息,利于扩展HUMS数据库,便于系统的改进和升级。RTA协会推荐的通用HUMS处理单元采用开放式接口标准^[7]。与其相一致的由RTA协会推荐的结构示于图3。

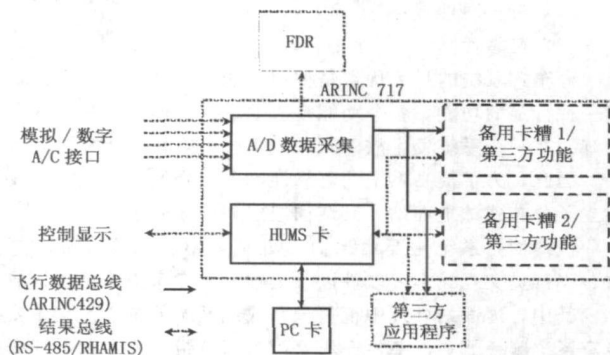


图3 RTA HUMS开放式结构建议

鉴于嵌入式系统具有良好的可扩展性、可升级性,符合开放式体系架构的要求。我们在设计通用HUMS处理单元时,选取AT91RM9200作为该处理单元硬件平台的处理器。AT91RM9200处理器是ATMEL公司专门针对工业应用推出的一款基于ARM920T内核的嵌入式处理器^[8]。它具有工作速度快,具有5级流水线,具有完善的MMU内存管理单元;内

部带有 12k BOOT ROM 和 1k SRAM，通过总线控制器可以方便的外扩 SDRAM，SRAM，NOR Flash，NAND Flash 等；片上外设资源丰富；内嵌 Bootloader 程序和其他服务软件等特点。该处理单元的硬件平台的结构如图 4 所示。

该硬件平台以 AT91RM9200 处理器为核心，存储模块用

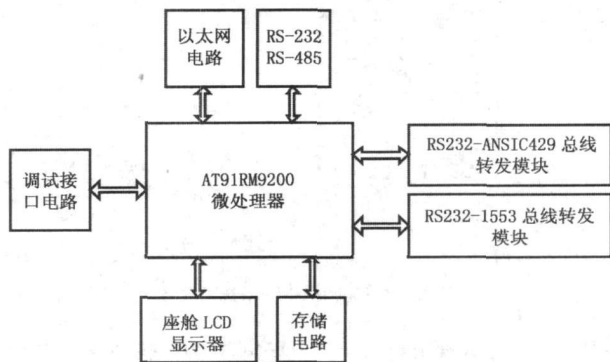


图 4 嵌入式 HUMS 硬件平台结构

于存储程序和飞机的相关数据，LCD 液晶模块与座舱显示器相连，用于显示信息，便于飞行员操作飞机，串口扩展电路用于接收传感器数据，RS-232 串口用于与 429 模块，1553B 模块进行通信。为了增强系统的通信能力，系统还设计有以太网电路和 RS-485 电路等。ANSIC 429，1553 总线转发模块是相对独立的功能模块，分别负责系统与机载 429 总线，1553B 总线之间的数据通信。

2.3 地面监控系统：分布式地面站的体系结构

与集中式系统相比较，分布式系统具有以下优点：

- (1) 经济性：较高的性价比；
- (2) 性能：能产生单个大型设备不能达到的绝对性能；
- (3) 应用的固有的分布性；
- (4) 总的计算能力更强；
- (5) 可扩展性强；
- (6) 可靠性高。

分布式系统的最大优点是按照功能进行划分。一个模块完成一种特定的功能，各个功能模块通过总线连接成一个统一的系统。在一个系统发生故障时，只需要更换损坏的模块即可。

因此，为了提高系统的可靠性，以及降低运行成本，我们建立了分布式的地面站。其结构组成如图 5 所示。

该地面站系统主要由地面站处理中枢、维护人员决策模块、飞行员交互式学习软件以及远程领域专家决策模块构成。

其中，地面站处理中枢是分布式地面站的核心。它主要有专家系统服务器和设备生产厂家两大部分组成。专家系统服务器用于数据和信息的综合处理，管理数据库，并与设备生产厂家相连，二者之间使用基于 TCP/IP 协议的通信方式进行信息的交互。

2.3.1 专家系统构建

该专家系统是基于规则的产生式系统，在系统开发时，主要考虑用数据库为载体的构造模型。本文研究开发的直升机故障诊断专家系统的开发环境是 Windows XP，建立一个基于

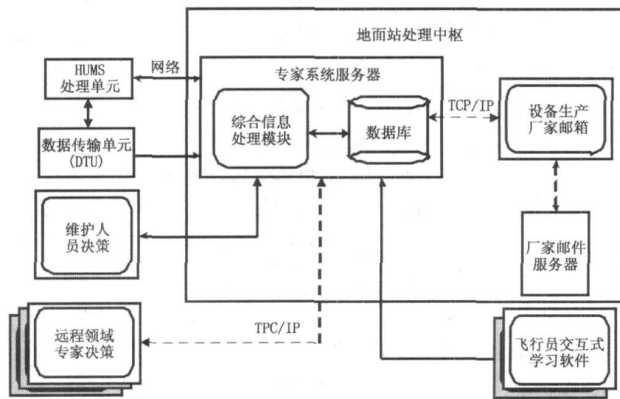


图 5 分布式地面站的体系结构

Oracle 数据库的故障诊断系统。

该系统主要有 5 大部分构成：人机界面、知识库、知识处理模块、诊断推理模块和设备生产厂家模块。该专家系统总体结构框图^[9]，如图 6 所示。

其中，推理机是整个专家系统的核心。它根据用户提供的故障征兆，利用故障诊断知识库中存贮的知识，按照一定的推

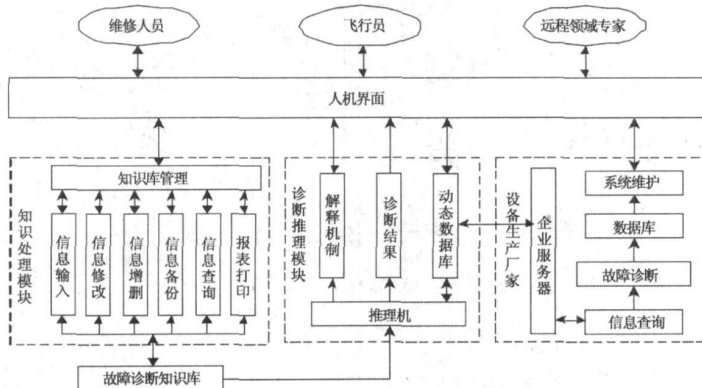


图 6 专家系统结构框图

理策略对用户的故障进行推理，直到得出相应的结论。

人机界面用来与维修人员、飞行员以及远程领域专家进行交互，可以进行数据查询与故障诊断、浏览飞行和维修日志、访问数据库等。

故障诊断知识库用来存放直升机故障诊断专家知识，是故障诊断的重要依据。知识处理模块对故障信息进行输入、修改、增删、备份、查询和打印故障信息报表。

设备生产厂家与诊断推理模块交互，获取故障诊断信息，用于改进产品，提高产品的可靠性，同时也可以作为系统维护的辅助手段。

2.3.2 辅助诊断技术与直升机故障诊断数据库构建

作为辅助诊断技术，数据库是地面站的重要组成部分。用于存储飞机维修工程所需的飞机部件设计数据、飞行日志、部件维修履历、与飞机维修技术资料以及数据趋势能力以做出重要的诊断决策和维修计划；提供专家飞机的健康模型、故障辞典、诊断知识与经验、维修方法/方案等^[10]。数据库的建立过程，如图 7 所示。

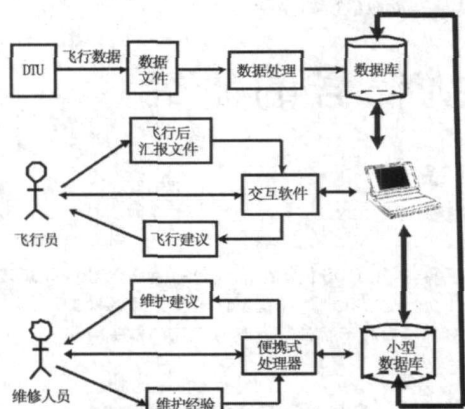


图7 地面站数据库建立流程

由于现役直升机在设计之初,并未考虑到故障预测,在某型关键部件仅仅依靠现有传感器很难对故障数据进行有效监测,进而实现预测,因此必须加装带有HUMS功能的传感器来进一步完善故障诊断数据库^[11]。

3 通信系统

未来的战争是高技术条件下的局部战争,战场形势瞬息万变,信息和数据传输的快速性和实时性,直接关系到战场的胜负。目前主要有两种数据传输方式,即有线传输和无线传输。无线传输相对于有线传输的优点表现在:

- (1) 成本廉价,无需架设电缆,只需要在每个终端连接无线数据接收器和适当高度的天线即可;
- (2) 适应性好,几乎不受地理环境的限制;
- (3) 扩展性好,只需将新增设备与无限数据接收器相连接即可;
- (4) 易于维护。只需维护数据传输模块,出现故障时则能快速找出原因,恢复线路正常运行。

鉴于无线数据传输的优点,本文提出采用无线数据传输方式,主要通过卫星实现,图8为该通信系统的结构。

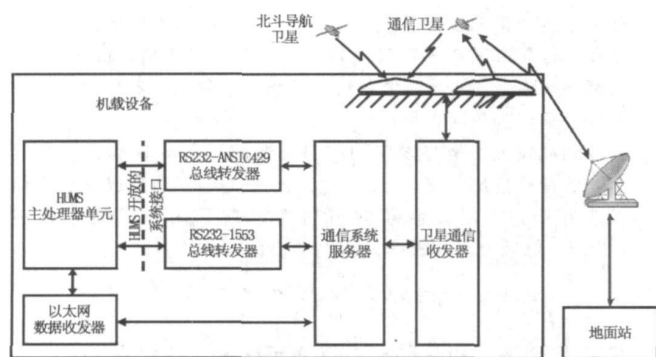


图8 通信系统结构

其中,RS 232-ANSI C 429 总线转发器和 RS 232-1553 总线转发器与 HUMS 主处理器单元进行交互,用于数据格式的转换,便于通信和提高传输速率。

通信系统服务器是通信系统的核心部件,负责数据和信息的管理。卫星通信收发器,与通信卫星和北斗导航卫星互联,可以实时地对直升机进行定位和收发信息,是无线通信的中转站。机载设备上的通信服务器与地面站通过卫星实现信息传输和通信。

4 结束语

直升机健康管理对确保飞机的安全飞行发挥着重要作用,其技术主要掌握在英美等发达国家。和他们相比,我国的直升机状态监测与故障诊断技术研究还在初始阶段。开展我军直升机 HUMS 关键技术研究,研制自主知识产权的 HUMS 系统,能够解决传统故障诊断与预测技术的局限,适应先进直升机的技术发展。同时,为装备部门提供基于网络的信息化保障技术和优化技术,实现武器装备的远程状态健康监测、远程交互控制、远程协同控制、远程实时综合维修、远程实时故障预测、故障诊断与故障原位排除。本文给出了直升机 HUMS 系统设计方案和框架,但要想真正实现这个系统,还需进行更多研究和探索。

参考文献:

- [1] 张 华,姚 波,余建航.关于发展我国直升机状态与使用监测系统的几点建议 [A].第二届全国直升机年会论文 [C].2004: 74-78.
- [2] James E. Land. HUMS—The benefits—Past, present, and future [J].IEEE, 2001, P: 3083-3094.
- [3] Ramakrishnan A, Pecht M. A life consumption monitoring methodology for electronic systems [J]. IEEE Trans. Comp. Packag. Technol. 2003, 26 (3): 625-634.
- [4] Michael J. Augustin. In search of a common HUMS—meeting military and commercial requirements [A]. AHS 55th Annual Proceedings [C]. 1999, P: 1809-1817.
- [5] Vincent Rouet, Frederic Minault, Guillaume Dancourt, Bruno Foucher. Concept of smart integrated life consumption monitoring system for electronics [J]. Microelectronics Reliability 2007 (47), p: 1921-1927.
- [6] 左丽华.国外直升机 HUMS 系统的应用 [J].直升机技术, 2000, (3): 48-53.
- [7] L. Brian, A. Hesham, T. Charles, V. Gerald. Smith industry HUMS: Changing the M from monitoring to management [A]. the Proceedings of the 2000 IEEE [C]. p: 444-455.
- [8] Atmel Corporation. AT91RM9200 datasheet [EB/OL]. http://www.atmel.com, 2006. 9.
- [9] 明志茂,徐永成,陶利民,等.基于规则的某型直升机故障诊断专家系统研究 [J].航空计算技术, 2004, 34 (3): 61-64.
- [10] 赵瑞云.中央维护系统概念及应用 [J].航空电子技术, 2005, 36 (2): 14-18.
- [11] 杜鹏飞,陈同鹏,等.电子装备网络化测试诊断系统设计 [J].计算机测量与控制, 2010, 18 (11): 2457-2459.