

机载远程智能接口数据集中器研究与实现

李成文, 王卫东, 何立军, 湛文韬, 何小亚, 姜琳琳

(中国航空计算技术研究所, 西安 710119)

摘要: 文章研究目的是研究新一代飞机机载计算机中具有通用化、标准化的远程智能接口数据集中器, 以满足新一代飞机综合化航空电子系统要求; 文章首先描述了远程智能接口数据集中器功能原理, 然后重点介绍了 AFDX 网络通信、高速模拟信号采集、小信号处理、大功率控制、接口控制软件设计等远程智能接口关键技术, 最后给出远程智能接口数据集中器具体实现; 机载远程智能接口数据集中器已经在新一代飞机综合航电系统通过系统验证, 试验结果证明远程智能接口数据集中器实现了各种传感器信息就近采集、及时进行数据转换和驱动输出控制的功能要求。

关键词: 远程智能接口数据集中器; 网络通信; 小信号

Research and Implementation of Airborne Remote Intelligent Interface Data Concentrator

Li Chengwen, Wang Weidong, He Lijun, Zhan Wentao, He Xiaoya, Jiang Linlin

(Aeronautical Computing Technique Research Institute, Xi'an 710119, China)

Abstract: In order to satisfied requirements of the new generation airplane's integrated avionics, the purpose of this subject is investigating generalized and standardized airborne remote intelligent interface data concentrator of the new generation airplane. In this paper, the function and principle of Airborne remote intelligent interface data concentrator has been systemically described. This article introduces emphatically the AFDX network communications, the high-speed analog signals conversion, the low signals modulation, the high-power signals transition and the interface software design. Finally, this thesis puts forward a implementation technology for a remote intelligent interface data concentrator. Airborne remote intelligent interface data concentrator has been validated in the new generation airplane's integrated avionics system and this validation indicates that the remote intelligent interface data concentrator can collect signals from a sensor, transform the signals into data in Real-time and drive data to an actor.

Keywords: remote intelligent interface data concentrator; network communications; low signal

0 引言

波音公司最早提出远程智能接口数据集中器的概念, 形成了 ARINC655 规范^[1], 用于民用飞机、运输飞机等。在飞机航空电子系统高度综合化的背景下, 越来越多的飞机采用远程智能接口数据集中器^[2]。远程智能接口数据集中器可以解决直接布线带来的工程化问题, 同时解决了飞机上接口部件的互用性。我们国家的飞机的改进改型和新一代飞机的航空电子系统必须具备远程智能接口数据集中器的基础。

远程智能接口数据集中器对航空系统的可靠性、可维护性、通用化等方面有着重要的意义。机载嵌入式计算机两个极端的接口技术向来难度较大, 一个是高频小信号模拟量采集; 另一个是大电流强功率驱动接口电路设计。这两种电路在机载恶劣环境容易受到干扰或干扰到电子设备密集的整个系统。因此研究远程智能接口数据集中器相关技术为提高新一代飞机综合化航空电子系统的性能打基础。

1 远程智能接口功能原理

远程智能接口数据集中器具有就近采集、及时转换和分布

控制优势, 使系统很方便进行扩充升级。远程智能接口数据集中器把就近采集的信号预处理后通过高速网络输出给核心处理系统再进行综合处理, 这样各种模拟接口信号、离散接口信号以及传感器小信号转成数据信号传输免受干扰, 同时也减小功率输出接口给系统电磁兼容性带来压力, 提高系统可靠性; 另外远程智能接口数据集中器具有功耗低、体积小、重量轻的特点可以自然散热方式远程安装靠传感器和作动器比较近的位置, 这样减轻了电缆的重量, 提高了系统维护维修性能。

据国外飞机航空电子系统采用远程智能接口数据集中器后系统和不采用远程智能接口数据集中器的方案进行对比, 远程智能接口数据集中器具有如下功能优势^[3]: 减少飞机的电缆(60%~70% 信号连线); 重量减少; 节约成本; 潜在的减少了控制部件; 提高了诊断和测试能力; 提高了全系统的可靠性; 减少全生命周期的成本。

远程智能接口数据集中器具备传感器数据集中的能力, 输出接口驱动的功能, 综合化航空电子的必然产物。图 1 为远程智能接口数据集中器功能示意图。

该原理系统在进行输出处理时, 中央计算机把计算结果形成控制数据, 通过数据总线把代表控制受动器的控制数据, 如输入输出位置、方式、状态等数据传输到远程智能接口数据集中器, 远程智能接口数据集中器输出到相应的受动器。远程智能接口数据集中器进行输入处理时, 远程智能接口数据集中器更据内部设置工作模式对传感器进行数据获取、进行格式化、

收稿日期:2014-08-04; 修回日期:2014-10-10。

基金项目:航空重点基金项目(20111931001)。

作者简介:李成文(1975-),男,湖南临武人,硕士,高工,主要从事机载航电系统核心计算平台、综合任务管理系统方向的研究。

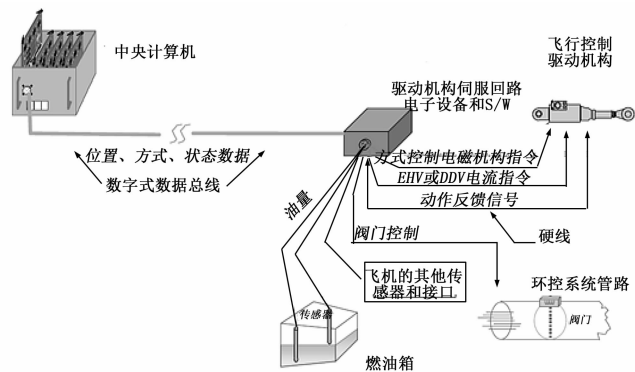


图 1 远程智能接口数据集中器功能示意图

预处理、添加标记信息形成表格传送到中央计算机。对于需要闭环控制的部件，远程智能接口数据集中器可以自主完成闭环的控制的反馈输入和激励输出。

中央控制计算机对系统的控制质量，直接依赖于传感器输入信号的准确程度。在飞机上电子设备众多，电磁环境复杂，因此对于输入的模拟信号、差分信号一般采用屏蔽电缆的方式输入到控制计算机，在信号数量多时电缆的单位长度重量大大增加，信号干扰和电缆的对立关系严重影响了航空电子系统的工程化。对于功率输出控制信号在输出状态切换时产生瞬间大电流，会引起电磁干扰，在进行飞机电缆布设时容易引起，输出信号干扰输入信号，输出信号干扰其他输出信号。远程智能接口数据集中器可以在形式上对输入和输出电缆进行复用，这种复用减少了电缆的数量和长度，解决了系统电磁兼容性问题，提高系统可靠性。

对重要的输入输出设备要求采用冗余设计，采用远程智能接口数据集中器方便提供冗余输入输出设计。通过远程智能接口数据集中器的数据格式化输入设备采用统一的输入接口，网络交换机可以把输入数据输入到任意前端处理模块，使中央控制计算机处理标准化。

2 远程智能接口关键技术

飞机的传感器众多带来远程智能接口数据集中器的功能复杂性，各种接口包括离散量接口、模拟量接口、热藕、油量测量电容传感器、振动和加速传感器、压力、加速度接口等，这些接口实现远程智能控制涉及到的关键技术包括 AFDX 网络通信、高速模拟信号采集、小信号处理、大功率控制、接口控制软件设计等技术。

2.1 AFDX 网络通信技术

集成化要求考虑实时、容错、重构、提高数据传输速度，同时对于航电系统的战术指标、任务可靠性、可维护性提出了更高的要求。航空电子通信网络上传输的不仅仅是命令和状态数据，对通信网络的性能需求急剧增长。新一代通信网络的要求具有低延迟、可伸缩性、可靠性、延迟确定性，还要符合高传输率和统一网络的发展趋势，AFDX 网络在这种应用要求中具有独特优势。

AFDX 网络符合实现了 ARINC664 标准^[4]，采用了全双工数据交换结构提供了保证实时性和通信带宽的数据传输通路，能满足民用飞机航空电子的通信系统要求。

针对实时任务的处理需要，AFDX 网络提供了保证实时控

制的策略：最大的网络传输延迟控制和时间邮戳。最大网络传输延迟保证了节点到节点的网络通信的延时的可确定性。时间邮戳为数据包传输提供了精确的计时。

AFDX 网络为任务提供了服务质量保证^[5]，由于传统以太网不具有服务质量保证，使得其在语音图像的数据传输应用领域被 ATM 网络技术取代。而 AFDX 网络则提供了服务质量保证。

AFDX 网络采用 TCP Off Engine (TOE) 技术，将 TCP/IP 协议栈从主机系统中划分出去，由网络适配器来实现。采用 TOE 技术后，网卡通过特定功能的集成电路或专用处理器实现打包和解包处理、数据包 DMA 拷贝和数据包拷贝。辅以适当的固件实现 TCP/IP 通信协议栈。这样主机可从繁重的 TCP/IP 协议处理过程解脱出来，完成关键的计算任务。

2.2 高速模拟信号采集技术

随着机载设备数字化要求的提高，各种系统增加高速模拟信号采集，以实现数字化传感器信息。防止信号失真，高速模拟信号采集要求和系统的输入带宽相匹配，要求模拟带宽和前端输入模拟信号 3 dB 匹配；在采样率要求上，还原调制信息要求符合奈奎斯特采样率，即窄带带宽的 2 倍以上。机载设备对视频采集的实时性和分辨率较高，对视频信号采集提出更高的要求，按照 1 024×768 分辨率、每秒 60 帧图像计算要求采样速率在 120 MSPS 以上。

对于中频数字化和射频数字化软件无线电处理要求具有更高的采样速率。对于采样时钟与被采样信号的相位差异带来的采样误差最终反映到信号的信噪比上，如我们用 100 MSPS 的采样率采样 10 MHz 的正弦信号，还原时由于频率差异问题，带来严重噪声。解决采样不同步问题，可以通过提高采样速度或采用同步采样的技术，对提高还原信号的信噪比非常重要。同步采样要求设计可配置的 PLL，使采样时钟工作在外部信号同步时钟的倍数上。

模拟信号采集要求高速、不丢失信息地进行处理后交信号处理，由信号处理解出有用信息给数据处理。在模拟信号采集后根据系统功能的差异，处理方式有多种多样，如编码、解码、滤波、加密、解密等，配套处理电路较为复杂。但通过总结多种应用，在硬件上主要包括缓冲处理、信号预处理、通用信号处理、触发电路等配套电路。处理结构较为通用，配置不同的预处理算法和信号处理算法实现多种多样的功能。

高速模拟信号处理包括高速 A/D 高速数字化流的处理、高带宽前端调理和抗干扰措施、高速数字化流的缓冲处理方法和高速处理机制、高速信号完整性分析，电路设计采用双通道高性能采样芯片，充分利用 FPGA 提供的高性能串行接口以达到高速的数据流的要求。高速模拟信号处理电路主要由时钟电路、运放电路、高速模数转换电路、FPGA 电路、信号处理器电路、存储器电路和总线接口电路组成，结构框图如图 2 所示。

2.3 小信号处理技术

机载小信号接口处理主要针对低电压、小电流型模拟信号，这些接口主要用在温度监测和控制、液体压力监控、变形压力传感监控等方面。这些接口信号电压低、电流小、电阻变化范围小，机载环境下小信号容易受到干扰，处理不当还可能淹没在外界噪声和自身处理电路的误差中。小信号处理方法包括信号抗噪声处理和自校准方法。

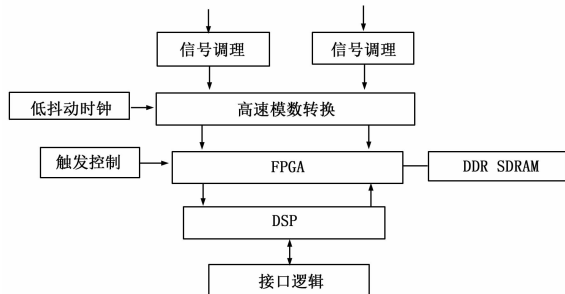


图 2 高速模拟信号处理框图

信号抗噪声处理：前级采用低噪声放大器，并提高放大倍数，提高信号噪声比；减少非信号有效通过的频带宽度；信号采用屏蔽措施，减少外界的干扰；信号接地良好；采用高精度的基准源、匹配电阻以及低漂移运算放大器。

自校准方法：零点温度漂移和时间漂移往往会对微弱信号的放大及模数转换过程产生重要影响，从而引起数据采集精度的降低。因此，为了提高精度，采用高精度的基准源、匹配电阻以及低漂移运算放大器，而长时间的时漂和温漂问题必须通过自校准解决。自校准方法有自校准放大器和自校准模数转换器。

小信号模拟量前端采用自校准放大器，通过电路控制下进行自校准模数转换。硬件放大方案通常有如下 3 种：积分放大器；电流 2 频率转换（I/F）放大器；电流 2 电压转换（I/V）放大器。积分放大器是在一定时间内，放大器的输出电压反映出积分电容两极板累积电荷的多少。这种放大器具有测量精度高，零点漂移小等优点，但响应时间长，不宜用于动态在线测量。I/F 转换放大器虽然较积分放大器响应速度快一些，零点漂移也比较小，但测量范围较窄，而且电路设计复杂，调试麻烦。而 I/V 转换放大器具有响应速度快，量程范围宽（可调）等优点，只要慎重选择运算放大器，并且在工艺上严格制作，其零点漂移、输入阻抗均能满足一般的测量要求。小信号的处理框图如图 3 所示。

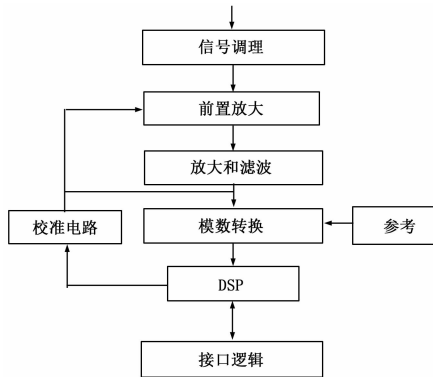


图 3 小信号处理原理框

2.4 大功率控制技术

飞机上最常用的大功率控制部件为电机、开关阀门、温度控制等部件。大功率接口由于电应力和环境应力较大，设计不完善会严重影响可靠性；为了提高控制的精度和防止故障的进一步扩大，需要给大功率接口提供适当的监控和反馈回路。大功率控制接口主要控制对象为大功率接触器、功率作动筒、电

机驱动等。大功率控制接口设计不当会严重影响系统的性能，如噪声、功耗、干扰、结构等，甚至影响系统可靠性安全性^[6]。设计需要考虑以下措施：

- 1) 专用大功率控制接口部件和其他计算机分离；
- 2) 消除瞬变电压和浪涌电压的电磁干扰；
- 3) 大功率驱动对象的大惯性问题带来的特性补偿和系统降噪；
- 4) 电机空间矢量脉宽调制（SVPWM）处理；
- 5) 采用热仿真的方法进行大功率控制的散热设计。

大功率控制接口处理原图见图 4 所示。大功率接口功率部件采用大功率 MOS 管和 PWM 进行控制。高压控制控制部分采用光电隔离设计。大功率驱动部分采用功率 MOS 管，可以使开关电流达到 20 A 以上，这时开关的毫欧级内阻也会产生较大的功率，设计时考虑功率部件的散热问题，使用仿真软件进行热分析。

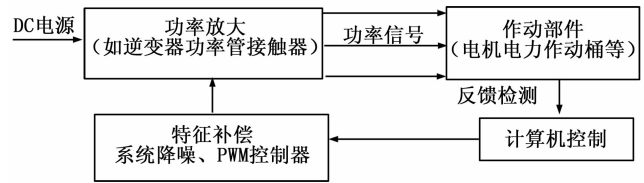


图 4 大功率控制处理原理

2.5 接口控制软件设计技术

外部接口千差万别，但它们的核心功能是相同，接口控制软件主要完成以下功能^[7]：

- 1) 采样各种输入接口信号，进行有效性检查和格式化等处理后，将其数字化后通过航电总线或其它数字总线传送给核心处理系统；
- 2) 通过航电总线或其它数字总线接收核心处理系统发送的各输出接口信号控制信息，校验和格式化处理后，控制各输出接口的状态。
- 3) 对于需要反馈控制的信号，根据反馈输入以及相应的算法调整输出状态。

系统中接口设备功能确定后，可以根据不同的应用设置，自动生成应用程序，为用户使用接口提供方便^[8]。接口控制软件设计功能块包括初始任务、周期采样任务、数据上报任务、中断处理功能、总线接收任务、消息处理任务、接口控制任务。

初始任务主要完成以下几项工作：按照应用配置表的初始设置输出接口的初始状态；根据应用配置表的信息初始化接口数据结构；创建任务间同步所需的各种同步信号量；创建周期任务看门狗，上报周期到达时，释放上报信号量，激活上报任务；激活周期采样任务，按照模拟量信号特性确定采样周期；上述工作完成后，撤销该任务。

周期采样任务：该任务由初始任务激活，根据用户输入的信号的频率特性，确定采样周期，按照该采样周期对信号进行采样，并更新存储的采样值。

数据上报任务：当上报周期到达或上报命令到达时，该任务被激活。数据上报任务处理对象包括模拟量输入，离散量输入以及数据通讯输入，根据信号属性的不同，采取不同的处理策略。模拟量数据上报为周期采样任务获取的最新数据上报。

离散量上报为即时采样离散量状态并上报。通讯数据上报为通讯数据接口采用中断方式随时接收数据并将其放入接收数据缓冲区中, 上报任务激活时将缓冲区中的数据上报给系统。

中断处理功能包含以下 3 方面的内容: 对设置为中断工作方式的接口进行管理, 当该接口中断产生时, 中断处理程序软件获取该接口数据, 按照规定的数据结构包装后, 激活总线发送任务发送数据; 对串行数据流进行处理, 当串行数据流设备中断产生时, 中断处理程序接收数据, 并将数据暂存在缓冲区中, 当上报周期到达或上报命令到达时, 数据上报任务从缓冲区提取数据上报; 对周期采样定时进行管理。

总线接收任务: 该任务由初始任务激活, 它检测总线消息, 激活消息处理任务。

消息处理任务: 当总线接收任务检测到总线消息时, 激活消息处理任务。该任务对消息进行解析, 将消息放到相应的接口缓冲区中, 设置相应设备的新数据信号量, 并激活接口控制任务进行接口输出控制。

接口控制任务: 接口控制任务由消息处理任务激活, 该任务获取接口的新数据信号量, 并从相应的接口的消息缓冲区中提取消息, 根据消息内容对相应接口进行控制。接口控制软件工作状态示意图如图 5 所示。

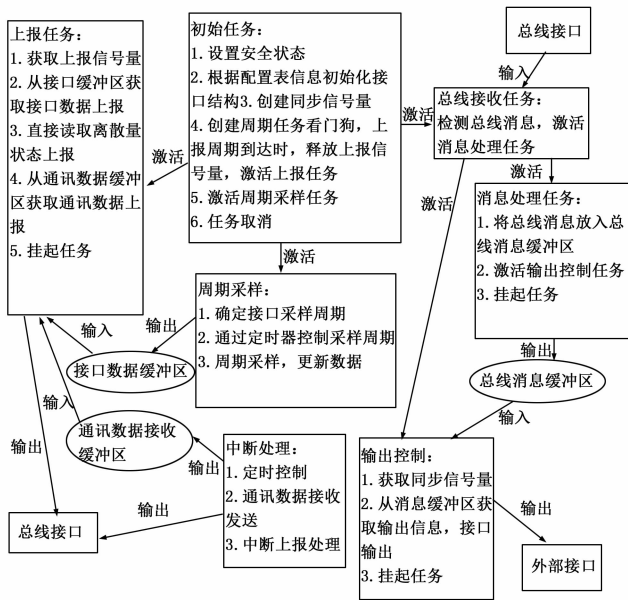


图 5 接口控制软件运行状态

3 远程智能接口数据集中器实现与功能验证分析

3.1 远程智能接口数据集中器实现

本文中的远程智能接口数据集中器实现座舱人机接口及其键盘操作处理, 采集 HOCAS、AAP 等设备输出的离散量、I/O 接口数据, 并进行处理。信号类型包括 RS422 接口, ARINC429 接口, 以及 27 V/地、27 V 脉冲、27V/开路、地/开离散量信号。采集的信号进行预处理后通过 AFDX 网络传给核心处理机进行综合处理, 核心处理控制输出信号通过 AFDX 网络传给远程智能接口数据集中器进行控制驱动输出。远程智能接口数据集中器功能结构框图如图 6 所示。

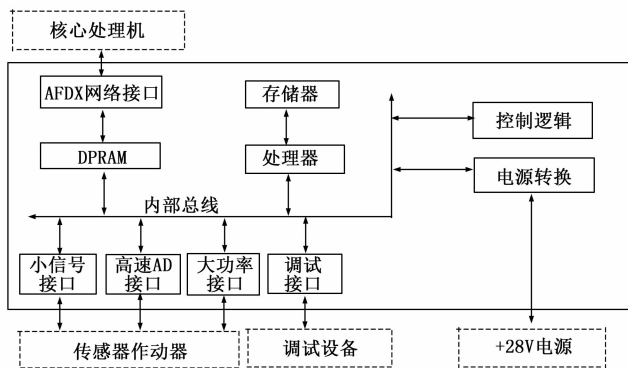


图 6 远程智能接口数据集中器功能框图

3.2 远程智能接口数据集中器功能验证分析

远程智能接口数据集中器功能验证硬件环境包括航电总线接口卡 (1394, AFDX 以及高速 1553B), AD/DA 接口卡, 离散量接口卡以及串行通讯接口卡; 软件环境包括配置软件和仿真测试软件。验证环境根据配置信息控制工控机的通用接口卡, 产生各种外部激励, 通过航电接口发送的各外部激励的状态, 并以直观形式显示, 验证对接口的采样及信息处理功能。通过航电总线发送用户对外部接口的控制信息, 控制外部接口, 在各种仪器或设备观测输出接口的状态, 验证对航电接口信息的分检及对外部接口的控制功能。通过详细充分的测试验证, 远程智能接口数据集中器功能性能满足新一代飞机综合化航电系统应用要求。

4 结束语

远程智能接口数据集中器具有就近采集、及时转换和分布控制的优点, 不仅能够提高机载系统的抗干扰性、可扩充性、可靠性、维修性以及减轻重量的目标, 而且能够实现机载系统接口通用化、标准化, 节约系统研制与维护成本。本文研究成果已经在新一代飞机综合航电系统中逐步得到广泛应用。

参考文献:

- [1] ARINC Specification 655: Avionics Remote Data Concentrator (RDC) Generic Description [Z]. 5 April, 1999.
- [2] 熊华钢, 王中华. 先进航空电子综合技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [3] Ian Moir and Allan Seabridge, Civil Avionics Systems [M]. Professional Engineering Publishing, UK, 2003.
- [4] ARINC. Arinc project paper 664: Aircraft data network, part7— avionics full duplex switched Ethernet (afdx) network [S]. 2005.
- [5] 杜亚娟. 航空全双工交换式以太网探究 [J]. 计算机工程, 2009, 35 (11): 77-79.
- [6] 张磊. 通用飞机航电系统安全性分析与设计方法研究 [J]. 航空计算技术, 2010 (1).
- [7] 崔西宁, 胡林平, 叶宏, 等. 综合化航空电子系统软件接口研究 [J]. 计算机科学, 2011, 38 (2): 122-126.
- [8] 张树兵, 叶宏, 戴小氏, 等. 面向 IMA 的机载分布式软件调试方法初探 [A]. 中国航空学会. 探索 创新 交流: 第四届中国航空学会青年科技论坛文集. 第 4 集 [C]. 北京: 航空工业出版社, 2010.