

小型综合座舱显示系统软件设计与实现

张双, 茹伟, 张磊
(中航工业西安航空计算技术研究所, 西安 710068)

摘要: 基于小型飞机综合航电系统的应用需求,通过分析小型综合座舱电子系统组成结构,设计了系统逻辑架构,给出了飞行显示器与综合处理机的顶层功能流框图。提出了多通道数据的实时采集、冗余路径实现、数据加卸载等3项关键技术,给出了具体的设计实现方法。该系统在 VxWorks 嵌入式实时操作系统上实现,已在海鹞300飞机综合航电系统项目中安装使用。

关键词: 通用航空; 综合航电系统; 显示系统; 数据采集; 冗余路径

中图分类号: V271.4; TP311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)06-0062-04

Design and Implementation of Small Integrated Cockpit Display System Software

ZHANG Shuang, RU Wei, ZHANG Lei
(Aeronautical Computing Technique Research Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: Based on the application requirements of small airplane avionic system, we designed a logical framework of the system, and put forward the top-level Functional Flow Block Diagram (FFBD) of flight display and integrated processed computer by analyzing the framework of small integrated cockpit avionic system. Three critical technologies were proposed, including real-time multi-channel data acquisition, redundancy path realization and data loading. Then the specific realization method was given. This system was implemented on VxWorks embedded real-time operating system, and has been applied in an integrated avionics project for a certain type of aircraft.

Key words: general aviation; integrated avionic system; display system; data acquisition; redundancy path

0 引言

中国经济的快速发展为通用航空业务带来巨大需求,新通用航空管理办法的实施和通用航空市场准入的放松,使得通用航空近年来进入了快速发展期。

在小型飞机综合座舱电子系统技术的发展中,欧美一直处于领先地位^[1]。我国目前在此类产品领域还处于起步阶段。

文献[2]提出了一种以安全性为中心的 IMA 软件体系结构设计方法;文献[3]采取数据驱动的方式,给出航空电子互连网络的设计方法;文献[4]针对航空电子系统的实时性需求,提出满足综合模块化航空电子 IMA 构架的双层任务调度算法;文献[5]针对航空电子系统安全关键性的要求,提出了基于 ARINC653

标准的分层分区的体系结构模型,该模型实现了不同安全关键级别应用软件之间的隔离;文献[6]定义了综合化航空电子系统性能评估模型,建立了综合化航空电子系统体系结构和功能软件的评估模型;文献[7]设计了一种可用于综合模块化航空电子系统的分布式 VxWorks653 分区操作系统应用开发平台。

在上述理论研究的基础上,结合小型飞机综合座舱显示控制系统的应用需求与成本控制,针对某通用飞机综合航电系统的具体应用需求,设计了小型综合座舱显示控制系统软件架构,给出了综合处理机软件与飞行显示器软件结构与设计方法,阐述了其所涉及的关键技术。

1 小型飞机综合座舱电子系统

综合航空电子系统是小型飞机的重要组成部分,功能主要包括导航、通信、飞行参数显示与告警、飞行管理、显示控制等,其设计必须以低成本、通用性、扩展性

与兼容性为准则。通过功能分析,将其系统结构分为综合显示层、综合数据处理层与数据采集设备层3个层次。

综合显示层主要完成综合显示、飞行管理、系统控制与系统告警显示等与显示有关的功能。该层与综合数据处理层之间通过以太网总线相连,与数据采集设备层的部分关键设备通过串行总线相连。综合显示层由两台软硬件配置完全一样的飞行显示器组成,根据其物理位置,分别作为主飞行显示器(PFD)和多功能飞行显示器(MFD)使用。

综合数据处理层主要完成飞行参数数据采集、数据综合与数据记录等功能,与综合显示层通过以太网连接,与数据采集设备层通过RS422与ARINC429总线交联。综合数据处理层由两台软硬件配置完全一样的综合处理机组成,其中,综合处理机1与PFD连接,综合处理机2与MFD连接。

数据采集设备层主要实现对大气数据、发动机数据、飞机状态数据、航线姿态数据、通信数据与导航数据等数据的采集功能,通过串行总线将数据传递给综合数据处理层,部分关键设备同时与综合显示层交联。

小型飞机综合座舱电子系统具体组成如图1所示,其中两台飞行显示器与两台综合处理机组成了小型飞机综合座舱显示控制系统。

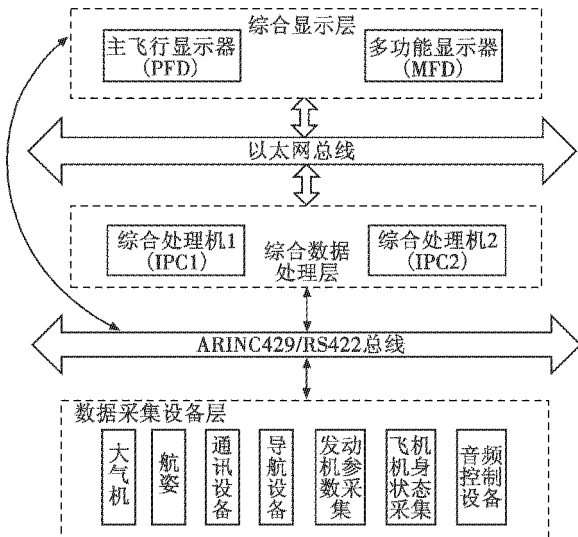


图1 小型飞机综合座舱电子系统组成

Fig.1 Architecture of small integrated cockpit avionics system

2 小型综合座舱显示控制系统逻辑架构设计

小型综合座舱显示控制系统作为小型飞机综合座舱电子系统的核心处理与显示子系统,其主要系统功能由软件实现。为了实现复杂的系统功能,综合处理机与飞行显示器均采用高速PowerPC处理器作为主处理器,搭载嵌入式实时操作系统VxWorks,在其上开发应用软件以实现各个功能。

小型综合座舱显示控制系统的主要功能分别在飞行显示器和综合处理机上部署,其逻辑架构如图2所示。

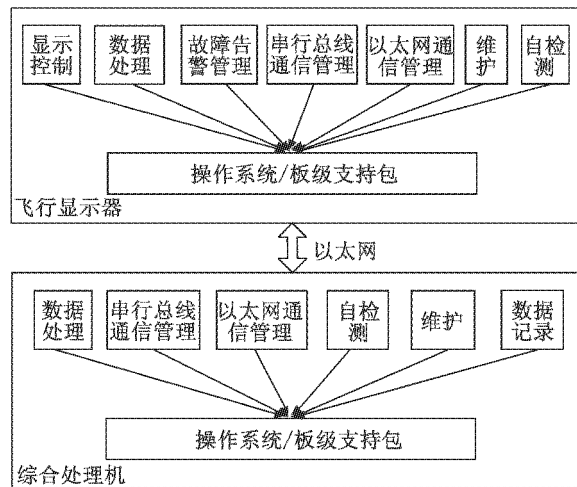


图2 小型综合座舱显示控制系统逻辑架构

Fig.2 Logical framework of small integrated cockpit display control system

飞行显示器上驻留的功能有:1)显示控制功能;2)数据处理功能;3)故障告警管理功能;4)串行总线通信管理功能;5)以太网通信管理功能;6)维护功能;7)自检测功能。

综合处理机上驻留的功能有:1)数据处理功能;2)串行总线通信管理功能;3)以太网通信管理功能;4)数据记录功能;5)维护功能;6)自检测功能。

根据小型综合座舱显示控制系统的逻辑架构设计,飞行显示器和综合处理机上分别驻留相应的功能。按照系统的顶层功能描述,需要对部署在飞行显示器和综合处理机上的功能进行功能流图(Functional Flow Block Diagram, FFBD)设计,具体如图3和图4所示。

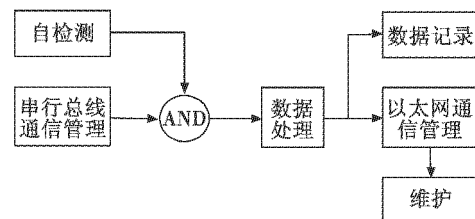


图3 综合处理机功能流框图

Fig.3 FFBD of integrated process computer

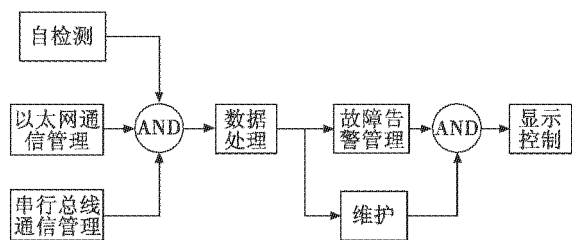


图4 飞行显示器功能流框图

Fig.4 FFBD of flight display

3 关键技术

在综合座舱显示控制系统软件设计与实现过程中,需要解决的技术难点主要有:1)多通道实时数据采集技术;2)冗余路径实现技术;3)数据加卸载技术。

3.1 多通道实时数据采集技术

综合处理机软件的主要功能之一是从数据采集设备层的各个设备采集各类飞行参数。由于系统接口控制文件中定义的数据采集设备层上传数据帧共三十多个,每个帧的数据长度与通信频率各不相同。如果用常用的设计方法,即对每个设备都启动相应的应用任务去进行采集,将至少需要十几个任务。这时对每个任务的调度优先级的设定将是一个难题,同时这些任务也会占用较多的操作系统调度时间。为了解决这个难题,设计采用单任务轮询各个设备的方式来实现。数据采集任务的主处理流程如图 5 所示。

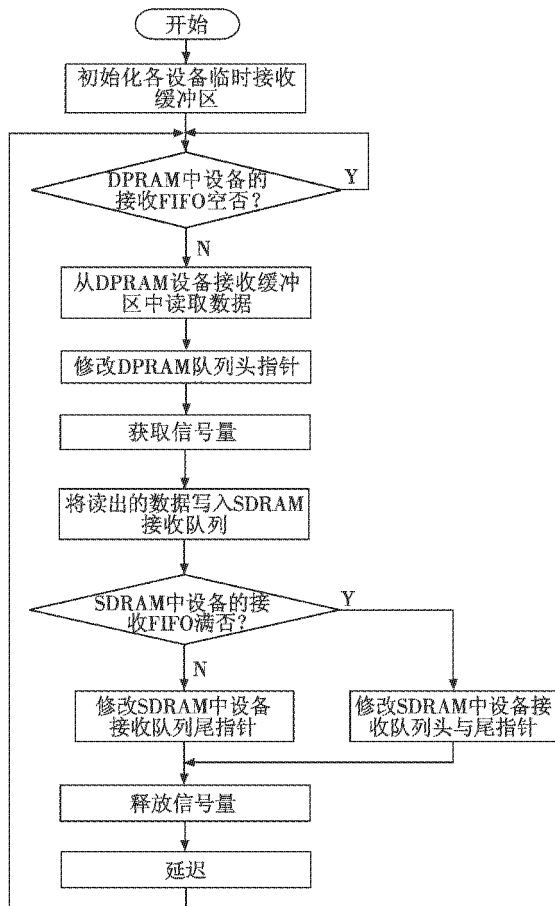


图 5 多通道实时数据采集任务处理流程

Fig. 5 Flow chart of multi-channel real-time data acquisition

数据采集任务将接收到的数据从任务内各设备临时数据缓存区复制到系统全局数据缓冲区中,供其他任务使用,通过信号量实现临界区同步。由于任务优先级较高,在单次查询采集任务完成后,必须挂起一段时间,让出处理器给其他低优先级任务使用。通过测

试比较,发现单任务轮询模型比多任务轮询模型在系统内存开销方面减少了 40%,在 CPU 占用率方面降低了 50%。

同时,在编码时发现,若对每个设备都单独编写接收函数,那么代码将非常庞大。通过分析发现,可将上述外围设备分为 ARINC429 设备、仅发送一种 RS422 数据帧设备与发送多种 RS422 数据帧设备等几类,针对每一类分别设计接收逻辑,通过这个优化大大提高了代码的通用性和复用性,代码量减少了 60%。

3.2 冗余路径实现技术

为了避免那些可能引起灾难性、危险性、严重性的功能失效,需要采用容错技术将故障的概率降低到相应的可靠性等级以下。为了提高系统的可靠性,采用冗余路径的方法来避免系统中出现单点故障。以大气数据计算机为例,设计有 4 路完全相同的 ARINC429 接口与综合处理机、飞行显示器交联,并同时上传空速、气压高度、大气温度、升降速度等数据,在系统正常显示界面与紧凑显示界面下分别存在多条可用的数据路径,共同构成了系统的全部数据路径。

由于每个外围设备通过与数据处理层和显示层结合可实现一组系统功能,只要在系统模型中找出一条从外围设备到显示层的路径,路径上各节点工作正常,就能够保证一组系统功能正确实现。

以大气数据指示功能为例,选择算法如图 6 所示。其中,FDx 与 FDy 表示两部飞行显示器,IPCx 与 IPCy 表示两部综合处理机,ADC 表示大气数据计算机。FDx 与 IPCx 交联,FDy 与 IPCy 交联,ADC 与飞行显示器和综合处理机之间用 4 路 ARINC429 接口分别连接。选路的优先顺序是:飞行显示器优先选择交联综合处理机上传的飞行数据,其次选择交联飞行显示器传来的飞行数据,再次选择外围设备直接上传的数据。

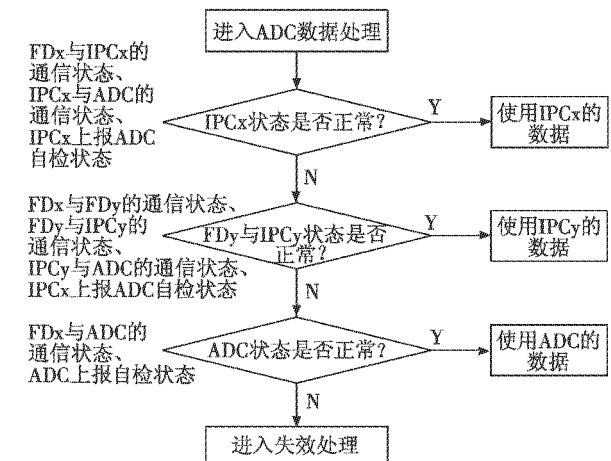


图 6 大气数据选择算法

Fig. 6 Air data selecting arithmetic

3.3 数据加卸载技术

小型综合座舱显示控制系统的记录数据与应用软件在外场维护时需要进行加卸载操作,针对这个需求,考虑到小型飞机的低成本特点,结合飞行显示器的存储器接口,参考 AC25-11A^[8]与 ARINC615A 标准^[9]设计了一套数据加卸载子系统。该系统分为加载端与目标端两部分软件,加载端软件运行在飞行显示器上,目标端软件运行在综合处理机上。软件采用分层与模块化设计思想,将视图、模型与应用逻辑分离,便于以后增加新的功能模块^[8]。

加载端软件包括4层。

1) 人机界面层:该层软件通过为操作者提供基于图形操作界面的人机对话窗口,处理用户的输入请求。

2) 管理控制层:该层软件以独立任务的方式运行,通过消息激活后工作。该层接收人机界面层发来的消息,通过对消息进行解码,获得操作字;然后通过UDP协议向目标端的管理控制层软件发送相应的加卸载命令消息数据包,同时通过应用程序接口调用协议处理层,开始加卸载操作。

3) 加卸载协议处理层:该层实现具体的加卸载操作流程中加载端的应用逻辑。

4) TFTP协议栈:该层以函数库文件的形式实现了RFC1350协议^[10],向高层提供TFTP协议应用程序接口。

目标端软件由于不需要与用户进行人机交互,因此,只需实现目标端管理层、加卸载协议处理层与TFTP协议栈等3层。各层的功能分别描述如下。

1) 管理控制层:该层软件以独立任务方式运行,处于UDP消息监听状态,当接收到加载端管理控制层发来的命令消息数据包后激活。通过对加卸载命令消息数据包解码,获取加卸载命令控制字后,通过应用程序接口调用加卸载协议处理层,开始加卸载操作。

2) 加卸载协议处理层:该层实现具体的加卸载操作流程中目标端的应用逻辑。

3) TFTP协议栈:同加载端软件设计。

通过实现数据加卸载子系统提高了外场维护的工作效率,降低了外场维护工作的难度,提高了综合座舱电子系统的可维护性。

4 结束语

针对小型综合座舱显示控制系统的设计要求与成本要求,结合功能需求,本文创新地设计了小型综合座舱显示系统的软件架构,提出并设计实现了多通道数据的实时采集、冗余路径实现、数据加卸载等关键技术。小型综合座舱显示控制系统软件架构基于层次化、模块化与松耦合设计思想,为以后增加新的功能模块提供了较好的扩展基础。系统在VxWorks嵌入式操作系统平台上使用、实现,遵循POSIX标准设计,具有良好的可移植性。本系统已在海鸥300水陆两栖飞机综合航电系统上安装使用并成功首飞。目前正在进行适航试验飞行,结果表明,该系统具有较好的应用效果。

参考文献

- [1] MOIR I, SEABRIDGE A. 民用航空电子[M]. 范秋丽,等译. 北京:航空工业出版社,2009.
- [2] 徐显亮,张凤鸣,褚文奎. 一种以安全性为中心的IMA软件体系结构设计方法[J]. 计算机科学,2012,39(3):128-130.
- [3] 王昊天,李峭,熊华钢. 航空电子互连网络的顶层设计架构与实现平台[J]. 电讯技术,2010,50(3):1-5.
- [4] 周天然,熊华钢. 航空电子系统混合实时任务的双层调度[J]. 航空学报,2011,32(6):1067-1074.
- [5] 李昕颖,熊华钢. 综合化航空电子分区隔离的建模与设计方法[J]. 北京航空航天大学学报,2011,37(1):31-35.
- [6] 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.
- [7] 王运盛,雷航. 面向综合化模块航电系统的驻留应用开发平台设计[J]. 计算机应用,2012,32(3):861-863.
- [8] CAST. AC25-11A electronic flight deck displays[S]. Federal Aviation. Administration,2007.
- [9] Airlines Electronic Engineering Committee. ARINC report 615A-3-2007, software data loader using Ethernet interface[S]. USA: Aeronautical Radio, INC, 2007.
- [10] SOLLINS K. RFC1350, the TFTP protocol[S]. Revision 2. USA: IETF, 1992.