

基于 CAIS 的机载设备系统

孙 科

(中国飞行试验研究院 西安 710089)

摘 要:针对当前机载设备领域的最新发展,为满足现代飞行试验测试设备通用性的需求,提出基于通过机载测试设备系统(common airborne instrumentation system, CAIS)的通用机载测试设备系统开放架构设计方法,使系统具有开放的架构,实现不同试飞测试系统内设备的通用性和可互换性,能应用于不同机型和不同的试飞科目。由该方法设计的测试系统已成功得到应用于飞行试验,结果表明,系统不仅能够满足该型参数测试的需求,且具有测试精度高、运行稳定、可扩展性好等特点,适应陆军、海军和空军的试飞测试任务。

关键词:机载测试系统;开放架构;CAIS;自动检测

中图分类号: TP274 **文献标识码:**A **国家标准学科分类代码:** 590.5040

Design and implementation on test equipment system based on CAIS

Sun Ke

(Flight Test Establishment of China, Xi'an 710089, China)

Abstract: Aiming at the testing requirement of an airborne system and the dissatisfactory of the present testing methods and devices in the field of flight-testing. The design method that the test equipment system have opens structure based on CAIS was put forwarded. Problems such as the various kinds of equipments could not compatibility and the difficulty of substitute in the test equipment system are solved. The required test items of the test equipment system based on CAIS are experimented and the self test succeeded. The test equipment system has been put into practice. It is indicates that system could satisfy the self testing, and it has the characteristics of high accuracy, reliable performance and being easily extended.

Keywords: airborne test system; opens structure; CAIS; auto test

1 引 言

应用于飞行试验工程的通用机载测试设备系统(common airborne instrumentation system, CAIS)一般包括从传感器、调节器、采集设备到遥测发射机、记录器之间所有的设备,其覆盖的面广,对功能要求复杂,20世纪90年代中国飞行试验研究院已经开发出了多种测试设备,已实现不同的功能。但随着飞行设计的综合程度日益提高而试飞周期不断缩减,给机载测试系统的灵活性和继承性带来了巨大的挑战,为满足现代飞行试验对测试设备的需求,提出基于CAIS的机载测试设备系统的研制设计思路,以实现硬件设备之间可灵活搭配,组成不同的系统,完成各自的特点应用,使其能够根据未来需求的发展而添加新的设备,以胜任不同的型号工程测试。

2 机载系统

2.1 典型机载系统

机载系统包括一系列的现代化功能模块,通过数字通讯总线相互连接。图1所示为一个典型的应用CAIS机载设备的战斗机飞行试验系统。系统采用开放的架构,模块化设计。用户可自由搭配并扩展,在飞机上添加额外的分布式数据采集系统。

2.2 CAIS 总线

机载系统运行的核心是CAIS总线,由它来完成控制单元和数采单元之间的数据通讯^[1]。CAIS总线为串行菊花链结构,使用分路器后,也可工作在星型连接模式。CAIS总线在电器特性上与空军先进机载测试系统(air force advanced airborne test instrumentation system, AATIS,

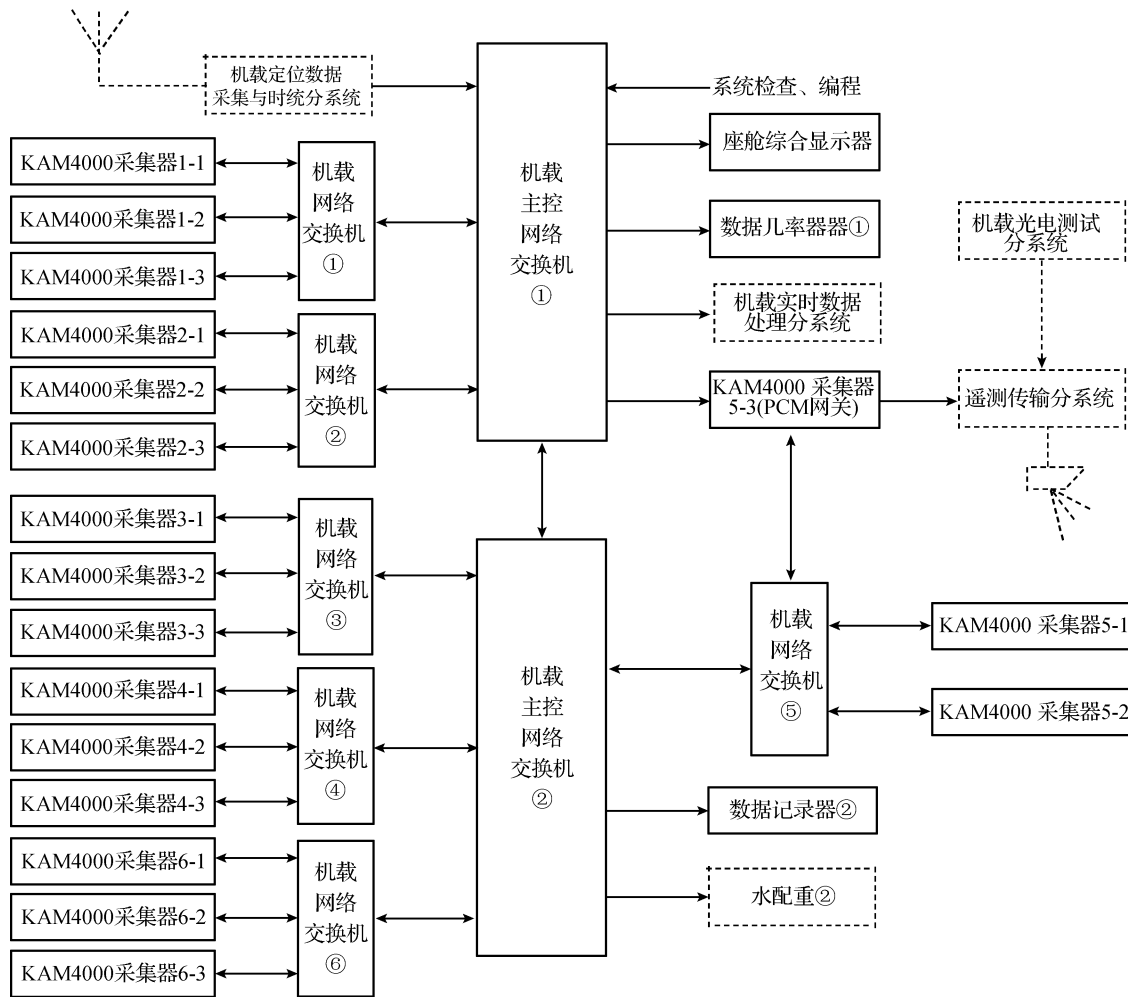


图1 基于CAIS的机载设备系统结构

此为美国空军提出的 21 世纪先进军机测试设备标准,与 CAIS 相比,最大码速率提高到 50 Mbps,且具备扩展能力)一致^[2]。

命令/响应总线将 ASC 发出的命令传达到多个 DAU,并将采集到的数据发送回控制器,以便进行格式编码和对外发送。总线式的操作确保了系统的开放性。命令总线采用 Bi-Phase 码(双向电平码),速率 10 Mbps/s。每个 ASC 到 DAU 的命令为 20 位,它在总线上出现的时刻,与 PCM 数据输出的时刻保持同步^[3]。命令总线上,两次命令之间(前一命令结束到下一命令开始)有填充位。如图 2 所示。

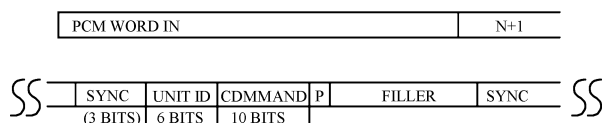


图2 CAIS 总线结构

3 机载硬件设计

3.1 机载系统控制器(ASC)

机载控制器(airborne system controller, ASC)负责

系统的中央控制,对所有 DAU 进行编程加载和数据采集,将所有 LRU(line replaceable units)连接在一起^[4]。PCM 输出速率从 2 Kbps 到 50 Mbps 可编程。模块化设计允许用户根据确定系统的码速率,并选择相应的硬件设备。推荐的系统控制器采用模块可扩展结构,允许最多同时控制 3 条 CAIS 总线,每条总线具有 5 Mbps 数据能力,产生最大 15 Mbps PCM 输出能力。3 条总线系统,外加 1 个 4 通道 PCM 合并模块,系统的 PCM 输出能力可扩展到超过 50 Mbps。除此之外^[5],ASC 使用者还可选择 1 个机载处理器和 1 个 MIL-STD-1553B 远程控制终端,它们均为模块化结构,可根据需要搭配组合。

3.2 独立式 PCM 合并器(PCMC)

4 路 PCM 合并器扩展组件可叠加到 ASC 核心机箱之外,构成小型系统。独立式 PCM 合并器(PCMC)具有更大的数据能力,主要满足大型系统的需求。它具有最多 16 条 PCM 信号(带时钟信号)的合并能力,输出的 PCM 信号相当于多条输入信号的总和。提供一个合成的串行输出和多个宽字节输出(byte-wide outputs),供高速数字记录器存储。

3.3 数采单元(DAU)

所有输入的数据通道都要依赖于对应的数采单元 DAU。CAIS 数据采集单元的家族,包括那些采集传统的模拟量和离散量的单元^[6],也包括那些从机载总线上提取数据的采集单元。主要的数采单元有模拟-离散量 DAU (ADAU);离散量 DAU (DDAU);航空总线系统 DAU (AVDAU)—与 MIL-STD-1553 总线、F-15 航空系统 H009 总线、F-16 武器系统总线连接;高速数据总线 DAU (HSDBDAU)—用于提供新型号飞机上(如 RAH-22 和 F22)光纤总线的的数据接口;GPS DAU(GDAU)—从 GPS 接收机上采集数据。

3.4 模拟/离散量采集单元 (ADAU)

用于采集模拟信号、串行或并行离散量、频率、同步器和其他信号源。同时他们提供各种输出信号,包括模拟电压和电流激励、1553 接口和控制信号。总体上看,ADAU 包括电源、格式存储器和控制电路,已容纳最多 10 块信号调理卡(支持 18 种类型)。信号调理器将随后说明。ADAU 的采样率为 417 KSPS,在 CAIS 总线中它可以作为一个远程终端,或者在一个小型的应用系统中作为其他 DAU 的控制器^[7]。

3.5 微型数据采集单元(MDAU)

用于采集模拟量、串行数据、并行离散量、频率、同步器和其他信号源。MDAU 是一种小型化、模块化且可扩展的数据采集单元,可以安装在飞行器远端空间狭小的地方。它由一套核心模块和若干信号调理模块组成。核心部分提供设备必须的电源、CAIS 总线接口、存储器和控制逻辑。信号调理单元完成信号的采样保持、滤波、采集,并提供必要的激励信号。MDAU 的编程和控制由 ASC 通过 CAIS 总线完成。MDAU 外形为 2.0 英寸高,1.78 英寸款,长度取决于所附带的信号调理模块的数量^[8],离散量采集单元(DDAU)—用于采集并行离散量。可作为 CAIS 系统的一个标准采集单元,或者作为一个小型应用系统的一个独立工作的节点。

3.6 航空总线采集单元(AVDAU)

由一个基础单元及多个附加功能模块,用于监听并采集航空总线上的数据。支持的总线包括:MIL-STD-1553 总线、H009 总线、F-16 武器系统总线。基于可重构的总线采集概念,用户可通过添加并编译加载专用总线采集/接口模块^[9],构建自己的总线采集单元。所有模块被连接到系统底板上。底板遵循模块化、可扩展的封装定义。其物理层面和功能层面均支持同时接入多种总线类型(MIL-STD-1553 总线、H009 总线、F-16 武器系统总线)。AVDAU 基础单元可被设置为监听两路 1553 总线,两路 H009 总线,或者一路 F-16 武器系统总线。附加一个功能模块可获得额外的监听两路 1553 总线的功能^[10]。基础单元上一共可以附加 3 个功能模块,此时能同时监听 8 条总线。

3.7 GPS 采集单元(GDAU)及高速数据总线采集单元(HSDB DAU)

用于接收 GPS 接收机输出的标准或非标准信息。该设备通过符合 ICD-GPS-215 标准的接口直接连接 GPS 接收机。GDAU 作为一个智能化中断,通过仪表接口向 GPS 接收机发布命令,索取特定数据^[11-12]。如时间、位置信息、速度等。高速数据总线采集单元(HSDB DAU)用于监听并采集来自高速(50 MHz)光纤航空总线的部分或全部数据。

3.8 ADAU 信号调理器

CAIS 信号调理电路被容纳在一块 4.9×3.0 英寸的印制电路板上。这些电路板可按照任意的组合方式被安放在 ADAU 的空插槽上。根据飞行试验的任务需求,共定义了 18 种不同类型的信号调理卡^[13-14]。总体而言,每块卡上均有特定的电路,可处理的通道数最多达 12 条。通过 ADAU 完成对调理器的编程设定。

4 测试结果与误差分析

在实验和机载环境下,对设计的基于 CAIS 的机载测试系统和传统的机载测试系统同时输入多路标准信号源(输出标准值),对其采集功能能的精度和响应时间两个指标进行考核和对比分析,具体测试结果如表 1、2 所示。

表 1 基于 CAIS 的机载测试系统与传统测试系统的测试精度结果

通道号	频率/Hz 标准值	传统测试系统		基于 CAIS 的测试系	
		采集值/ 码	偏差/ 码	采集值/ 码	偏差/ 码
1	250	263	13	252	2
2	500	492	8	499	1
3	1 000	1 012	12	1 004	4
4	1 500	1 489	11	1 498	2
5	2 500	2 490	10	2 497	3
6	3 500	3 521	21	3 501	1
7	4 500	4 511	11	4 500	0
8	5 500	5 523	23	5 502	2

表 2 基于 CAIS 的机载测试系统与传统测试系统的响应时间结果

通道号	脉宽/s 标准值	传统测试系统		基于 CAIS 的测试系	
		采集时间	偏差/ μ S	采集时间	偏差/ μ S
1	5	5.9	0.9	5	0
2	10	9.2	0.8	9.95	0.1
3	15	15.7	0.7	15	0
4	20	21.0	1.0	20.01	
5	25	24.4	0.6	25	0
6	30	30.88	0.88	30.02	0.02
7	35	34.2	0.8	35	0
8	40	40.9	0.9	40.001	0.001

通过对测量结果进行分析,可以得出基于 CAIS 的机载测试系统在采集精度和响应时间这两个关键指标方面明显优于传统的机载测试系统,而且具有继承性和灵活扩展功能。

5 结论

文章从飞行试验发展需求出发,设计了基于 CAIS 的通用机载测试系统硬件,设计 CAIS 系统时严格遵循了军用标准,改变以往传统各自参考本行业部门的规范,目的是建立一种在军标指导下的具有较好维护性、可靠性和易于生产的系统,且对设计的 CAIS 系统的每一个项目的平均无故障时间进行测试,均需超过 1 000 h。第一次提出系统具备两套 BIT(内置测试)功能,一种是周期性的 BIT,它连续运行但不干扰系统的正常工作。另一种是初始化 BIT,它将中断系统运行,测试内容全面,两个内置测试的结果在飞行过程中,通过 PCM 流发送至记录系统,是系统具备了稳定可靠、经济适用等特点的,它可满足今后先进飞行器飞行试验的需求。

参考文献

- [1] 娄柯,张艳,李浩. 移动传感器网络保持网络连通性控制[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(11): 1657-1663.
- [2] 窦文森,熊显名,郝建卫. 基于 FPGA 的蓄电池参数检测仪[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(11): 63-67.
- [3] 陈勐勐,王峰,张旭苹,等. POTDR 振动传感系统的数据处理与分析方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(11): 1671-1678.
- [4] 李洋,刘今越,郭志红,等. SMT 模板检测系统及误差校正方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(10): 1468-1474.
- [5] 李建忠. 单片机原理及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社, 2008.
- [6] 路振民,缪峰,符庆森,等. 基于 AM335X 和 Android 的北斗二代接收机设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(10): 82-86.
- [7] 罗苑棠. CPLD/FPGA 常用模块与综合系统设计实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社, 2007.
- [8] 梁伟,杨晓翔,姚进辉,等. 叠加式力标准装置系统误差修正研究[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(11): 2473-2481.
- [9] 万福,杨曼琳,贺鹏,等. 变压器油中气体拉曼光谱检测及信号处理方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(11): 2482-2488.
- [10] GAO J SH, DENG L W, SONG SH M. Fractional order nonsingular terminal sliding mode control for flexible spacecraft attitude tracking[J]. Instrumentation, 2016, 3(1): 21-29.
- [11] 汤一平,韩国栋,鲁少辉,等. 基于 ASODVS 的火炮身管损伤检测系统[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(10): 2324-2332.
- [12] 凌祥,张树森. 一种基于时间数字转换器的瞬时测频技术[J]. 电子测量技术, 2016, 39(11): 16-18.
- [13] 马潮. AVR 单片机嵌入式系统原理与应用实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2007.
- [14] 胡海涛,钟明琛,陈大为,等. 可测性设计测试向量低功耗设计方法[J]. 电子测量技术, 2016, 39(11): 46-50.

作者简介

孙科,1982 年出生,硕士,中国飞行试验研究院高级工程师,主要研究方向为飞机机载测试技术。
E-mail: sunke8295@126.com

(上接第 19 页)

- [6] 马维超,程晶晶,李学伟,等. 通用核磁共振测井脉冲序列发生器的逻辑设计[J]. 国外电子测量技术, 2015, (7): 37-42.
- [7] LIAO G, XIAO L, XIE R, et al. Influence factors of multi-exponential inversion of NMR relaxation measurement in porous media[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2007, 50(3): 796-802.
- [8] 李冰清,赵子健,常发亮. 超声波 CT 温度场重建算法研究综述[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(1): 1-10.
- [9] 王辉,赵静,赵吉文,等. 基于 SVD 的直线电机定子位置的高精度测量方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(9): 2101-2107.
- [10] 孟铎,程晶晶,张嘉伟,等. 随钻核磁共振井下快速反演算法设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(5): 35-39.
- [11] 李鹏举,魏佳音,刘焕焕. 核磁共振 T2 谱反演影响因素研究[J]. 核电子学与探测技术, 2012, 32(6): 701-705.
- [12] 刘喜梅,陈亚斐,覃庆良. 基于 DSP 和 FPGA 的 LVDS 高速串行通信方案设计[J]. 电子测量技术, 2016, 39(7): 178-182.
- [13] 胡辉,杨国艺,朱绍文. 基于 DSP 和 FPGA 的多通道 GPS 中频信号源设计与实现[J]. 中国测试, 2016, 42(11): 100-106.

作者简介

武雪强,1990 年出生,硕士研究生,主要研究方向为地层测试仪中井下地层流体分析模块的研制。
E-mail: wuxueqing_hust@163.com