

关键参数快速处理单元在飞行试验中的应用

霍朝晖

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 用于飞行试验的传统数据处理模式及流程的时间大致是飞行时间的 1.5~2 倍, 这种数据处理模式已经严重制约了型号的试飞效率; 针对新一代试验机测试参数海量数据快速处理的需求, 介绍了具有自主知识产权的关键参数快速处理单元的设计研制思路, 以及在新型号飞行试验过程中关键参数快速处理单元的应用情况, 实现了能对 1 200 路试飞关键参数数据实时处理, 达到试飞结束后及时获得试飞关键参数结果的目的。

关键词: 飞行试验; 机载测试; KAM4000; 数据预处理; IENA

Application of the Key Parameters Rapid Processing Unit in the Flight Test

Huo Zhaohui

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

Abstract: Traditional data processing model and data processing flow for flight test is about 1.5 to 2 times of flight time, this data processing model has severely restricted test efficiency of the flight test. According to the needing of rapid processing huge amounts of data in new generation airplane testing, it introduces the design and development idea of key parameters rapid processing unit with independent intellectual property rights, and the application in the new type flight test process, fulfill 1200 key parameters real-time processing and get flight test key parameters outcome immediately after flight test completing.

Key words: flight test; airborne testing; KAM4000; data processing in advance; IENA

0 引言

飞行试验是通过加装的机载测试系统获取飞行试验数据, 通过对数据的分析, 达到评价设计的过程。由于新一代飞机的飞行试验具有试飞周期短、科目多、飞行时间长、机载测试参数种类多及数据量大等特点, 这就要求必须改变现有模式, 从数据预处理的时间以及数据预处理软件效率上解决问题。

因此针对飞行试验大数据量测试参数的数据预处理, 提出一种新型的解决思路, 将原本的地面数据预处理系统移植到机载测试系统, 按照本架次课题需要将该课题所需数据预处理在机上同步完成。相比较现有模式, 可以减少数据预处理的部分中间环节、飞行和数据预处理同时进行, 大大缩短了数据预处理的时间, 提高试飞效率。在某重点型号定型试飞任务中, 提出了关键参数快速处理系统的设计思路, 快速处理单元成功研制之后, 通过了各类例行试验及实验室验证, 目前作为机载测试设备服务于型号定型试飞任务。

1 国内外现状

纵观国外飞机定型试飞情况, 无论是空客的 A380、A330、A400M 还是波音 787, 在试飞过程中都非常重视机载实时处理系统的作用。在国外大型运输类飞机的试飞以及基于运输类飞机的特种飞机试飞都无一例外的采用机载实时数据处理系统对整个试飞过程进行实时监控和数据实时处理。如波音公司进行 B747、777 等飞机的试飞时使用了在当时可谓功能强

大的“机载实时数据分析与监视系统”, 在试飞过程中不仅对一些关键参数进行实时监控, 同时在飞机上, 试飞工程师还可以对部分试验科目进行分析处理, 数据处理可达总量的 50%~60%。

我国从 20 世纪 80 年代末开始, 就已经在 Y7 飞机的定型试飞任务中采用机载实时系统执行实时监控任务, 但因受到技术的限制, 无法实现试验数据的机上实时同步处理, 并只能待飞行结束后, 才能进一步提取出各个课题所需的飞行试验参数数据, 延缓了下一次飞行试验计划的制定。

2 飞行试验关键参数快速处理单元设计

据统计, 现阶段试验机的测试参数已经达到 15 000 个左右, 加之飞行时间长, 机载数据记录文件占用空间大, 事后数据处理步骤繁多, 导致了数据处理用时长。为了解决这些问题, 飞行试验机载关键参数快速处理系统采用了实时操作系统下, 基于多核处理器的数据处理应用软件架构, 实现了机上网络数据的接收、解包, 以及实时数据的工程量转换、结果数据的分组记录等功能, 完成了关键参数的快速处理^[1]。

2.1 系统主要功能及技术指标

- 1) 数据采集、接收能力: 完成不低于 60 Mbps 的机载 IENA 数据流的采集和解包;
- 2) 实时处理参数个数: 经实测可以满足 1 200 个通道参数的实时处理、分组和存盘;
- 3) 参数采样率: 不低于 64;
- 4) 支持多种工程量转换算法, 包括线性、多项式、双曲线、抛物线及点对分段等;
- 5) 具有系统自检能力, 提供系统的状态显示, 具备无人

收稿日期: 2014-04-22; 修回日期: 2014-05-07。

作者简介: 霍朝晖(1971-), 男, 河北保定人, 硕士, 主要从事遥测与实时处理技术方向的研究。

值守功能；

6) 通过网络通讯接口，能够按照不同试飞科目任务需求进行处理参数的设置。

2.2 系统硬件设计

快速处理单元硬件包含了基于双核 1.8 GHz 处理器芯片、10 000 Mbps 以太网口的嵌入式计算机，以实现机载网络 IENA 数据流的实时采集、解包、校准、计算、分组和存储等功能。机载网络 IENA 数据流从以太网口输入，由嵌入式系统处理器内核 1 完成 IENA 网络数据流的解包，然后将解包后的数据通过 DMA 方式直接传输至处理器内核 2，接着由处理器内核 2 完成实时数据分析与处理工作，包括参数取位、拼接、工程量转换等，最后传送至嵌入式计算机的 RAM 中，并由嵌入式计算机将数据结果存盘至固态硬盘 SSD 中。快速处理系统硬件组成及逻辑关系图如图 1 所示。

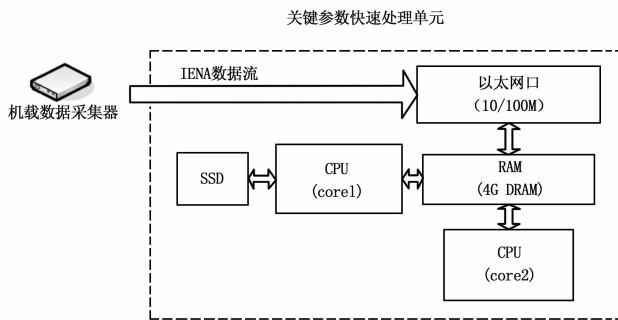


图 1 模块构成及数据流逻辑关系图

2.3 实时处理系统软件设计

快速处理单元的软件部分基于 Visual C++ 及 LabVIEW 平台开发^[2]，其核心的实时数据处理模块采用了目前较先进的嵌入式实时技术，以保证数据处理的实时性和高可靠性。系统采用 Pharlap ETS 嵌入式实时操作系统，关键参数快速处理单元配置软件的全部操作采用了图形化的人机界面，能方便、直接、快速完成机载系统的配置。待系统正常启动后，配置计算机将通过网络接口，完成对飞行参数的备份记录及快速处理系统的配置工作，这些工作包括：分析下载带头文件、选择提取参数通道、设定所需参数配置以及系统的各项配置参数。随后软件进入循环连续的数据采集、分析处理与存储流程^[3]。系统软件流程如图 2 所示。

关键参数快速处理单元系统软件可分为事先准备软件、采集信息管理模块、实时网络数据采集模块、IENA 数据解包模块、实时数据处理模块、实时数据存储模块组成，其结构组成如图 3 所示^[4]。

2.3.1 事先准备软件

飞行试验事先准备软件，读取 KAM4000 采集器编程所生成的格式格栅信息 *.XML 文件，导入采集参数信息，生成用于机载实时处理系统、地面实时监控、数据预处理系统和数据二次处理系统的 SETUP 文件。飞行试验事先准备软件由多个独立的模块组成，包括测试参数导入模块、测试参数编辑模块、提取参数名组模块和带头文件生成模块。

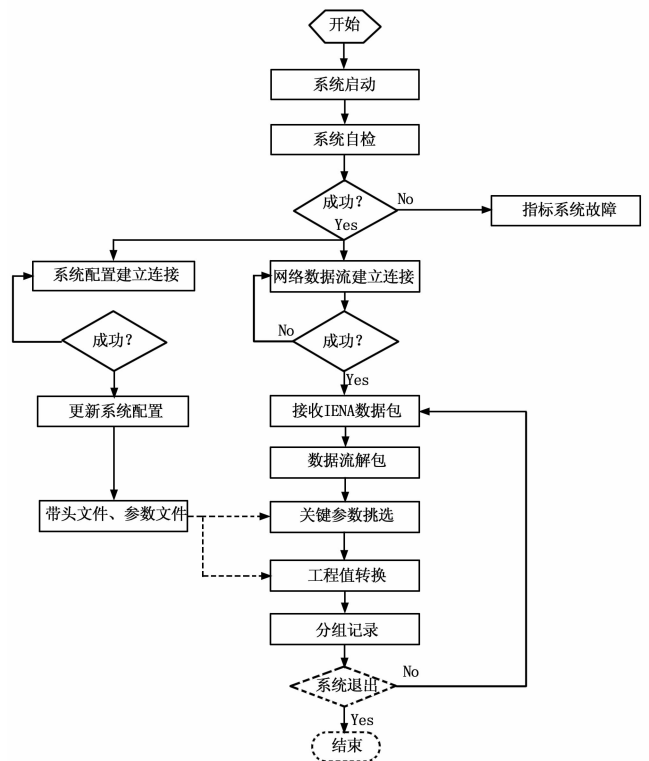


图 2 关键参数快速处理单元软件流程图

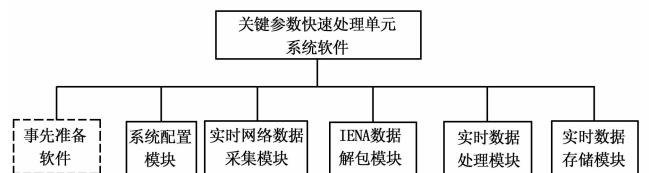


图 3 系统软件结构图

2.3.2 系统配置模块

系统配置软件通过网络接口，完成对飞行参数分组记录及快速处理器系统设置工作：下载带头文件、选择提取的参数通道、设定所需参数配置以及系统设置的各项配置参数。

2.3.3 实时网络数据采集模块

实时网络数据传输模块运用于关键参数快速处理单元中，完成基于实时系统的网络数据接收及发送工作；机载采集器将采集的数据以基于 UDP 协议的 IENA 数据包格式采用组播方式发送至机载测试网络，IENA 数据包以太网帧结构如图 4 所示。

低 16 位	高 16 位
MAC 层	...
...	MAC 层
IP 层	...
...	IP 层
UDP 头	...
...	UDP 头
IENA 关键字	包大小
时间戳	时间戳
时间戳	状态字
IENA 数据	...
...	...
IENA 数据 可选填充字	结束字

图 4 IENA 数据包以太网帧结构

2.3.4 网络数据流解包模块

在机载 KAM4000 网络测试系统中,采集器将采集到的数据以 IENA 网络数据包通过交换机发送至机载高采样实时处理单元。KAM4000 机载测试网络中一层交换机主要是采集器的接入点;二层交换机作为系统的时钟接入点、遥测数据和记录器的接入点、系统配置文件的加载点。机载网络测试系统的数据是由一个个 IENA 网络数据包组成,每个网络数据包的格式根据采集器的不同可以是不同的,但是都必须遵循如图 5 所示的 IENA 数据定义。

KEY	SIZE	TIME	STATUS	SEQ_NUM	DATA	END
(1 word)	(1 word)	(3 word)	(1 word)	(1 word)	(1 to 65,527 words)	(1 word)

图 5 IENA 数据包定义

KEY: 每种类型数据包的识别字; SIZE: 数据包的字数,从“KEY”到最后一个传输字; TIME: 自本年度 1 月 1 日 0 时 0 分开始计算的微秒时间; STATUS: 状态字(同步/异步); SEQ_NUM: 数据包计数器(记录每种 KEY 值的数据包的次数); DATA: 最多 65,527 个数据字(每种 KEY 值得数据包所含数据字的数目固定); END: 数据包结束特征字(典型值为 0xDEAD)。

2.3.5 实时数据处理模块

完成自定义通道的挑选、工程量转换等数据处理工作,软件流程如图 6 所示^[5]。

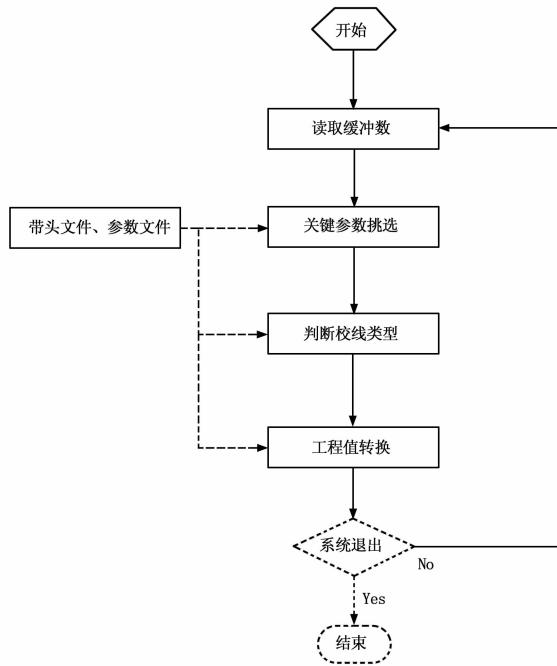


图 6 实时数据处理模块流程图

3 快速处理单元的应用

通过进行实验室测试和现场联测,关键参数处理单元设计实现了预期的功能要求和性能指标,满足使用需求,随后安装

在某试验机上进行飞行验证,完成了数架次的验证试飞,满足了机载测试产品的装机要求。现将使用情况总结如下:

1) 充分的例行试验,达到机载测试产品装机指标^[6]。在项目工程化研制初期,组织技术人员查看各类国标、国军标、航标、院标等各类标准,参考国内外机载设备研制的规范。如高低温、振动满足相关国军标以及航标、院标,电磁兼容性等要求进行例试,均满足。

2) 将快速处理单元处理结果选取部分参数与成熟的机载记录器处理后的结果数据进行对比。用记录器处理后的结果数据与关键参数快速处理单元的结果数据进行对比,计算同时刻差值与真实值的比值小于 5%,达到测试设备的精度要求。

3) 快速处理单元相比较国外引进的记录器而言。优点是:增加了数据预处理功能,直接得到的是物理量;直接成本比国外记录器价格低廉很多,算上间接成本,价格优势更大;由于是联合研制设备,维护性较好。缺点是由于增加了处理功能,记录的参数数量较机载记录器少,不过随着计算机配置的不断更新,日后选择更高配置的平台以及使用其它的技术手段可以增加处理能力。

4 结语

飞行试验机载关键参数快速处理系统基于对机载测试设备的深入分析研究,以飞行试验信号产生源 KAM4000 机载测试系统为切入点进行设计研发,采用了嵌入式多核处理器为硬件架构平台、实时系统为软件支撑环境,解决了飞行试验 IENA 数据采集、关键参数数据分析处理及连续不间断存储的难题。由于系统结合了嵌入式多核处理器硬件技术低功耗、小尺寸和高性能的硬件特性,及实时系统软件良好的实时处理特性,从而保证了关键参数快速处理单元从数据采集、处理到数据存储的实时性。同时,快速处理系统可以实现多路信号的实时监控,以针对不同试飞科目生成对应的结果文件,并在配置选项上,能够实现算法选择、处理参数选择以及数据处理结果存储格式选择。另外,快速处理系统相较于机载记录系统,增加了数据预处理功能,可以直接获得物理量,增强了维护性。

飞行试验机载关键参数快速处理系统不仅适用于飞行试验数据的快速处理,同时还可以应用到航天、舰船以及航空工业其他领域中,以作为装机的机载测试设备。

参考文献:

[1] 袁炳南, 霍朝晖, 白效贤. 航空飞行试验遥测标准概况 [J]. 测控技术, 2010, 29 (11): 10-14.
 [2] Getting Started with the LabVIEW FPGA Module [M]. National Instruments, 2008, 4.
 [3] Getting Started with the LabVIEW Real-Time Module [M]. National Instruments, 2007: 12-15.
 [4] 程佩青. 数字信号处理教程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
 [5] 高培先, 王 涛. 测控系统设计中的实时时钟研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (1): 239-241.
 [6] 高培先, 袁炳南, 霍朝晖. 飞行试验装机监控设备通用要求飞行试验研究院标准 [S]. 2011.