

机载关键参数实时处理系统设计

徐 茜, 宫海波

(中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089)

摘要: 飞行试验是鉴定飞机及航电设备等是否满足设计要求的关键环节, 为了解决飞行试验中传统数据处理模式严重制约试飞效率的问题, 从数据预处理的时间以及数据预处理的效率方面进行突破, 设计了一种飞行试验机载关键参数实时处理系统。在机载测试端完成飞行试验关键参数的处理工作, 实现关键数据的实时计算, 在飞行试验进行中可以完成部分关键数据的处理及数据结果的分类存储。系统采用模块化设计, 软件支持环境依托实时处理系统, 硬件平台基于嵌入式多核处理架构。基于嵌入式多核处理架构硬件平台构建的机载关键参数实时处理系统, 已成功应用于多个型号的试飞工作中, 试验结果表明, 该系统可以完成多通道关键参数的实时快速处理, 系统配置灵活, 有效提高了试飞效率。

关键词: 飞行试验; 参数; 嵌入式系统; 实时; 快速处理

中图分类号: TB22

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2019)07-0155-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2019.07.031

Design of Real Time Processing System for Key Airborne Parameters

XU Qian, GONG Hai-bo

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

Abstract: Flight test is the key step to judge whether the aircraft and avionics meet the design requirements. In order to solve the problem of traditional data processing mode seriously restricting the efficiency of flight test, we design a real-time processing system for airborne key parameters from data preprocessing time and data preprocessing efficiency. By moving the processing of key parameters to the airborne test end, the processing of some key data and the classified storage of data results can be completed during the flight test. The system adopts modular design, the software support environment relies on the real-time processing system, and the hardware platform is based on the embedded multi-core processing architecture. The real-time processing system for airborne key parameters based on embedded multi-core processing architecture hardware platform has been successfully applied to flight test of several models. The experiment shows that the system can achieve real-time and fast processing of multi-channel key parameters with flexible configuration, which effectively improves the efficiency of flight test.

Key words: flight test; parameters; embedded system; real time; fast processing

0 引言

飞行试验是鉴定飞机及航电设备等是否满足设计要求的关键环节, 飞行试验过程中通过机载测试系统获取飞行试验数据, 实时及事后对飞行数据进行分析, 从而完成鉴定设计的过程^[1-3]。随着航电系统的不断发展, 飞行试验的模式也在不断进步, 新一代飞机的试飞具有试飞周期短、试飞科目多、测试参数种类多、参数数量大等特点, 随着测试需求以及试飞模式的不断发展, 试飞数据的处理模式必须随之转变, 这就要求从数据预处理的时间以及数据预处理的效率方面进行突破^[4-8]。

传统试飞模式是飞行结束后检查分析飞行过程中的记录数据, 从而判断某科目试飞数据及飞行平台等参数是否满足试飞要求。这样的模式已经越来越不能满足高效的试飞进度, 尤其是一些关键试飞参数, 等待飞机结束再判断会严重耽误试飞进度^[9-12]。

针对传统事后分析数据的弊端, 提出一种将事后数据分析转移到实时数据分析的模式, 可以实现将部分数据的处理在机载测试系统中实时进行解算, 将处理结果实时遥测到地面, 以及完成一些参数的实时初级计算, 减少了记录数据事后解算的时间, 从而提高试飞效率。

收稿日期: 2018-08-10

修回日期: 2018-12-11

网络出版时间: 2019-03-06

基金项目: 国防基础科研项目 (JCKY2016205B006)

作者简介: 徐 茜 (1984-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为遥测监控与数据处理。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190306.0901.010.html>

1 实时处理系统设计

系统采用嵌入式系统硬件平台,选用实时操作系统运行平台,实时处理基于网络数据流格式的机载网络数据包,可连续不断地完成机载网络数据的采集和数据解包。系统具有对机载网络数据采集、解析、计算以及记录等多通道数据的实时处理能力,实时处理系统通过网络接口可以完成系统配置工作,进而实现不同任务所需参数的处理。

机载关键参数实时处理系统接通电源后,自动进入嵌入式实时系统,系统完成自检后运行应用程序,进而建立与机载网络数据链路链接,系统具有自检能力,可以提供系统的状态显示。系统采集机载网络系统传来的数据、进行网络数据的解包操作、关键参数实时挑选、数据的工程量转换以及连续不间断流盘存储等工作;断电后,机载关键参数实时处理系统停止运行。机载关键参数实时处理系统接通电源运行后,自动调用上次的系统参数配置,同时,在试飞任务所需测试参数有变化的情况下,通过调整并加载系统配置程序就可以修改本次测试参数采集工作。

1.1 系统硬件设计

实时处理系统是基于嵌入式计算机,系统具有双处理器芯片以及千兆以太网接口,实时处理系统主要实现对机载加装通用采集子系统输出的符合 IENA 标准的网络数据进行采集,同时实时进行网络数据的结算以及分组与存储等工作。系统的配置可以灵活更改,通过系统的网络接口利用便携式电脑即可完成系统配置文件的上传,同时也可利用同样方式实现系统配置文件及数据的下载。关键参数实时处理系统采用直流 20~33 V 供电,电路设计过程中在设备的前面板设计有正常工作指示状态显示。机载关键参数实时处理系统上电开机后,系统会自动加载自检软件,系统正常的情况下指示灯会闪烁,如果出现系统故障,系统正常指示灯停止闪烁。实时处理系统的硬件组成及数据处理流程如图 1 所示。

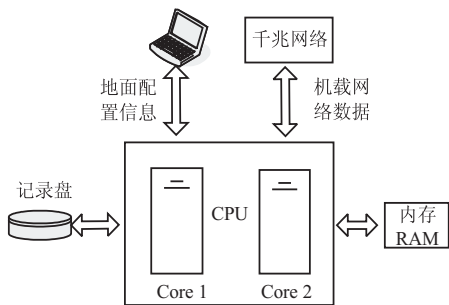


图 1 系统硬件组成示意

经千兆以太网接口输入的机载网络数据,由实时处理系统首先完成网络数据格式的解析,完成数据流的数据解析,利用 DMA 方式将解析后的数据进行处

理器内核间的数据传输,最终完成网络数据解析后的数据分析及数据处理。根据测试参数的测试要求,利用加载的配置文件完成数据的取位、拼位等数据处理工作,由嵌入式计算机系统完成数据的实时解析、分组记录、直接传输等工作,根据需要可将数据记录到记录盘中。机载关键参数实时处理系统的硬件核心包括千兆以太网接口芯片、串行通讯芯片和双核处理器芯片。机载关键参数实时处理系统硬件逻辑结构如图 2 所示。

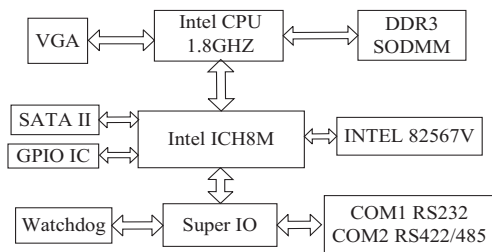


图 2 系统硬件逻辑结构

1.2 系统软件设计

系统软件部分采用 Visual C++、LabVIEW 进行开发。为了实现数据处理的可靠性以及实时性,实时数据处理模块采用了嵌入式实时技术来实现,系统运行平台采用在航空航天等领域应用广泛的 Pharlap ETS 嵌入式实时操作系统^[13-15]。机载关键参数实时处理系统上电后,系统配置软件会自动上电运行并完成系统自检工作,系统自检工作正常后,实时处理系统将处于等待系统配置软件建立链接状态,通过千兆以太网接口,使用配置电脑等地面配置装置可以完成机载关键参数实时处理系统各模块单元的详细配置工作,随后实时处理系统完成试验数据的采集记录与数据分析处理等工作。系统配置软件基于方便、快捷、有效的实现思路,界面采用图形化的人机操作界面。根据软件工作流程及功能不同的分工,系统的软件设计采用模块化设计思想。

1.2.1 实时处理系统事先准备软件

机载关键参数实时处理系统事先准备软件,读取并解析系统前端的机载通用数据采集器配置程序的格栅信息,完成采集参数信息的输入,用于生成地面实时监控、机载实时处理系统、数据预处理及数据二次处理系统的文件信息。实时处理系统事先准备软件采用模块化设计思路,各模块分别完成导入测试参数、测试参数输入、参数编辑及提取以及生成带头文件等功能。机载关键参数实时处理系统的事先准备软件模块流程如图 3 所示。

1.2.2 系统配置模块软件

通过地面配置装置的网络接口,系统配置模块软件可实现实时处理系统的系统配置工作。系统配置软

件模块的输入是快速处理器的 IP 地址,端口号, TIMEOUT 时间(ms)及飞行参数备份记录。输出结果是加载配置信息是否成功以及程序运行过程中的错误代码。

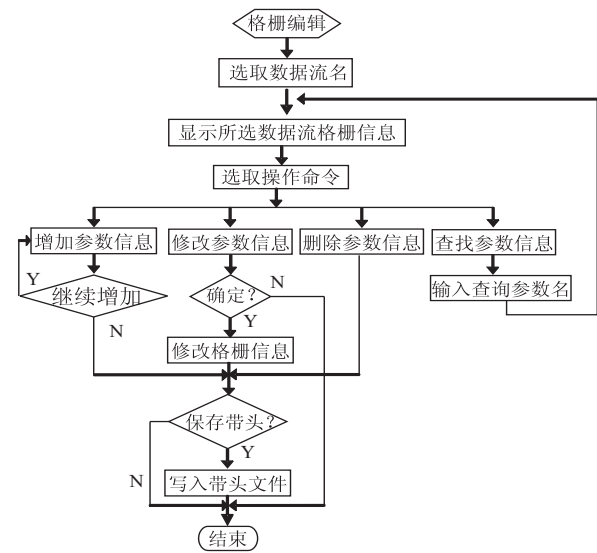


图3 事先准备软件模块流程

1.2.3 实时网络数据采集及解析模块软件

机载关键参数实时处理系统的实时网络数据采集模块针对实时处理系统中的网络数据进行数据采集和数据解析,完成数据的发送和接收,模块的输入是 IENA 数据流组播地址,端口号, TIMEOUT 时间(ms)。系统的采集模块发送给机载测试网络的数据是符合 UDP 协议的标准 IENA 格式的网络数据,模块输出结果是原始数据流、网络数据链接全程标识句柄和程序运行过程中的错误代码。

多通道网络数据接收和解调方面,根据系统配置情况的不同,系统具有同时完成上千动态通道的数据处理的能力, IENA 格式数据流解包模块流逻辑如图 4 所示。

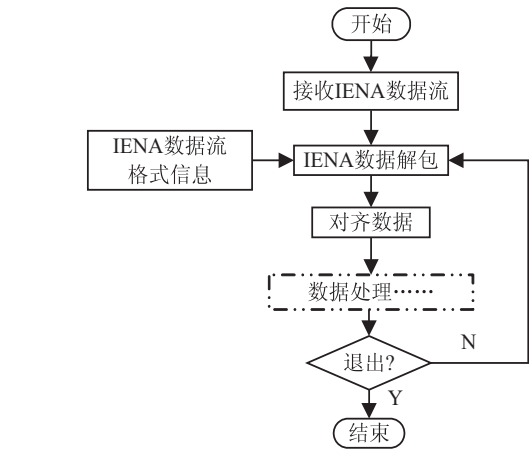


图4 IENA 数据流解包模块流程

系统中的实时网络数据解析模块负责完成缓冲区数据读取、数据通道挑选、关键参数挑选以及数据工程

量转换等数据的处理工作。实时数据处理模块流程如图 5 所示。

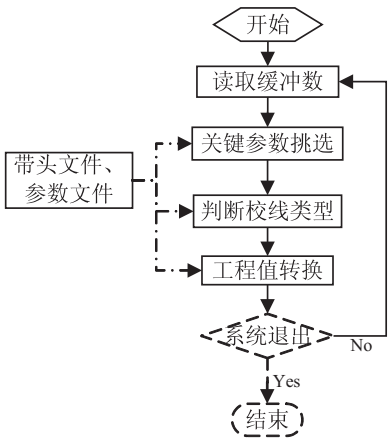


图5 实时数据处理模块流程

1.2.4 实时数据存储模块设计

飞行试验过程中试验数据的记录是在关键参数快速实时处理单元中的实时数据存储模块中完成的。系统运行过程中,首先进行磁盘空间的判定,检测结果显示容量不足时,会提示进行记录介质格式化,检测结果显示容量满足要求时,系统会新建一个数据文件并对文件的文件头信息进行初始化,接下来完成缓冲区数据的读取和数据的存盘写入操作。数据存储介质采用大容量固态硬盘,系统可实时不间断连续存储记录。

1.2.5 数据快速导出模块软件

机载关键参数实时处理系统中的数据快速导出模块设计主要完成飞行试验所需关键参数的数据快速输出功能,根据快速处理单元所记录的试验数据,参照系统加载的关键参数列表进行数据的工程量值转换以及数据输出工作。系统采用多线程并行工作模式,为了完成所需数据的快速有效处理,每个线程对应一个数据文件来进行操作。

飞行试验对数据的准确性和实时性要求很高,因此如何从海量飞行试验数据中快速有效地获取所需关键参数数据的信息是十分重要的一项工作。数据快速导出模块根据所记录数据的数据包信息以及预先配置的通道列表生成一个结构体数组,结构体数组包含解析后详细的数据包信息。数据文件的读取采取循环查询的方式,利用选取数据的包号与请求数据列表信息进行比对,数据包号不在数据选取列表中时,顺序读取数据直到最后结束。符合请求数据列表信息时,利用数据包号、通道在包中序号索引实际的数据连同实际采样率、时间等信息存入到结构体数组中。随后判断各通道数据点数是否满足采样率抽点或插值要求等条件是否满足,不符合要求的情况下会继续读取数据和插入数据到结构体数组中,直到满足要求。随后索引当前结构体数组中的数据,通过数据的实时解析,判断

并得到最先到达的包数据时间,依据新的采样率和新的数据点生成新的时间序列连同变采样率后的数据一同写入到 TXT 文件中。在提取的同时发送当前进度给上层调用线程,以显示当前进度。数据读取完成后,退出线程。

2 飞行试验应用与测试

机载关键参数实时处理系统工作流程的首要目的是要进行机载网络架构数据的采集和接收处理,因此,机载关键参数实时处理系统通过建立与机载测试网络的链接,进而完成机载通用采集器的机载网络 IENA 数据包的采集与解包;其次完成实时关键数据的处理与存储,在飞行试验过程中,机载关键参数实时处理系统可根据预先加载的系统参数配置文件以及参数组文件,进而完成对实时接收的机载网络数据包进行解包、参数挑选、校准、计算和无间断存盘任务。实现了多种工程量转换算法,其中包括双曲线、抛物线、线性、点对分段、多项式等。

基于嵌入式多核处理架构硬件平台构建的机载关键参数实时处理系统,已成功应用于多个型号的试飞工作中。目前大型飞机的试飞参数超过 20 000 个,每架次的试飞时间可达几小时,试飞测试的数据量是巨大的,同时由于测试参数的种类繁多,传统试飞数据处理模式下,飞行结束后需要飞行时间的近 2 倍时间才能把一个架次的试飞数据处理完毕。目前采用机载关键参数实时处理系统,可以在飞行结束后半小时内将关键参数呈现在课题人员面前,系统的实时计算功能、并行处理模式以及数据分组记录模式,大大提高了试飞效率。

系统采用多核并行处理模式,采用模块化的设计思路,保证了数据处理结果的实时性,机载关键参数的实时处理数据的时延保持在百纳秒级别,满足了试飞测试需求。

3 结束语

为了提高飞行试验数据处理效率,基于嵌入式多核处理架构硬件平台构建了机载关键参数实时处理系统,在系统总体架构方面采用了模块化的设计思路,工程应用方面系统具有配置简单、通用且灵活的特点。系统在机载测试端完成部分关键参数的实时计算,解决了传统试飞数据处理模式所带来的试飞效率低下的

问题,实现了关键参数的机载实时处理功能,极大提高了试飞数据的处理效率。该系统已成功应用于多个型号的试飞工作中,系统配置灵活且具有较强的通用性,对其他领域的实时处理数据工作具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 霍朝晖. 关键参数快速处理单元在飞行试验中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(6): 1830-1832.
- [2] 霍朝晖, 覃杨森, 祁 春. 飞行试验机载关键参数快速处理系统设计[J]. 现代电子技术, 2013, 36(5): 121-124.
- [3] FUSARO R, VIOLA N. Preliminary reliability and safety assessment methodology for trans-atmospheric transportation systems[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2018, 90(4): 639-651.
- [4] MATSUKI H, NISHIYAMA T, OMORI Y, et al. Flight test of fault-tolerant flight control system using simple adaptive control with PID controller[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2018, 90(1): 210-218.
- [5] 袁炳南, 霍朝晖, 白效贤. 飞行试验大数据技术发展及展望[J]. 计算机测量与控制, 2015, 23(6): 1844-1847.
- [6] BAGHERZADEH S A. Nonlinear aircraft system identification using artificial neural networks enhanced by empirical mode decomposition[J]. Aerospace Science and Technology, 2018, 75: 155-171.
- [7] 彭国金, 刘嫚婷. 非结构化海量网络数据处理技术研究[J]. 现代电子技术, 2011, 34(14): 121-123.
- [8] 党怀义. 航空飞行试验工程大数据管理与应用思考[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(11): 299-302.
- [9] 党怀义. 云技术在飞行试验数据处理中的应用[J]. 测控技术, 2014, 33(3): 49-52.
- [10] 彭国金, 刘嫚婷, 韩 璐. 基于飞行试验采集的 FC 数据检测分析技术[J]. 现代电子技术, 2016, 39(2): 92-94.
- [11] 冯晓林, 戴卫兵, 彭国金. C919 飞机航空总线采集和实时分析技术[J]. 飞行力学, 2016, 34(5): 73-76.
- [12] 王建军, 党怀义. 基于 WEB 的分布式试飞数据处理系统结构设计[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(6): 1452-1454.
- [13] FEOFANOV V. Differential evaluation of crew functional effectiveness[J]. Transport and Aerospace Engineering, 2017, 4(1): 88-95.
- [14] 郝 朝, 山 寿. 监控画面数据调度软件的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2018, 28(9): 172-175.
- [15] 张芹芹, 刘 丹. 基于 LabVIEW 的某航电系统监控软件设计[J]. 中国科技信息, 2014(19): 128-129.