

可视化振动参数校准设计及实现

朱 丽 蒋红娜 祁晓鹏

(中国飞行试验研究院测试所 西安 710089)

摘 要:针对目前试飞振动传感器校准故障频发、耗时较多的现象,提出设计一款软件在线监测振动参数波形并现场处理校准线。在对试飞振动参数系统校准进行分析,对机载测试使用的记录器的数据结构模式及接口技术进行研究的基础上,利用C++ Builder与MATLAB混合编程的方式实现软件开发。实践表明,该软件可实现对记录器通道数据的提取,在线监测振动参数校准波形、并从解析的数据中提取振动信号相对应的码值,存储校准数据,大大缩短了校准时间,提高了工作效率。

关键词:振动传感器;可视化;校准;系统设计

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

Design and implementation of visual vibration parameters calibration

Zhu Li Jiang Hongna Qi Xiaopeng

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

Abstract: The calibration of the vibration sensor of flight test is time consuming, and many fault occurred in the calibration. This paper proposed to design a kind of software to monitor the vibration graph of the vibration parameters. On the basis of the analysis of the calibration system, the data structure mode and interface technology of the recorder are studied, using the software C++ Builder and MATLAB mixed programming to develop and realize the function. The practice shows that the software can monitor the vibration parameters online, extract the data from the data of the recorder and the efficiency has been greatly increased.

Keywords: vibration sensor; visualization; calibration; system design

1 引 言

飞行试验中,振动参数是飞行安全比较重要的一类参数^[1]。飞机在起飞、降落、或者在空中续航时都有可能产生严重的振动问题。为全面掌握飞机的振动信号状态,飞行试验中一般通过加装传感器来测试振动参数^[2]。振动测量中所使用的传感器的性能如灵敏度、线性范围、频率响应等,对测量数据的精度和可靠性产生直接影响^[3]。因此,为了保证测试结果的正确性和统一性,满足一定的精度要求,测试中使用的传感器必须按照 GJB1692-93 的要求进行周期校准,一般校准周期为一年^[4]。

近几年,用于飞行试验的传感器及测试设备更新换代快,加之振动是速变参数,参数采样率高。振动校准时,产生干扰的源较多,如电源干扰、是否共地、采集记录器带来

的干扰、新型传感器与采集记录器是否匹配等问题,致使振动校准故障频发。目前,试飞振动校准数据分析多采用事后处理,一旦出现故障,需要二次校准,有时需要进行多次校准,校准时间长,故障不易现场发现,给校准工作带来诸多不便,严重影响飞行试验进度。在这种背景下,本文提出可视化振动校准,在线监控振动信号,并现场处理校准线,可大大提高工作效率。

2 振动参数校准

试飞振动参数校准是系统校准,由振动传感器、信号调节器(直流放大器、电荷放大器等)、采集记录器等测试仪器组成,通过对系统的校准,获取在规定条件下具有置信度概念的输入-输出特性,作为飞行试验数据处理的依据^[5-6]。振动参数的校准如图1所示。

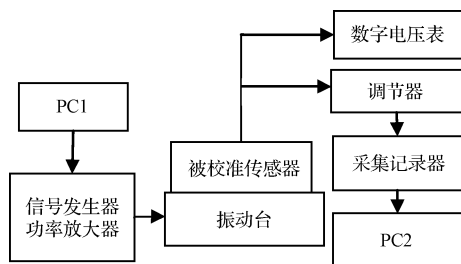


图1 振动校准示意

被校准振动传感器使用刚性连接方式安装在振动台的台面上,如图1所示。PC1(计算机1)通过信号发生器及功率放大器使标准振动台产生振动,被校准传感器感受振动信号后,输出至信号调节器,再将调节器的输出接至采集记录器。PC1通过控制中频振动台给出相应的标准振动信号,比如在频率为60 Hz,振动加速度分别为1g、2g、4g、8g的校准点时,记录器记录相对应校准点的输出信号。

以前,试飞振动参数校准是通过观察数字电压表的交流信号有效值输出来判断输出信号是否正常。若显示的电压值与理论输出值基本吻合,则进行系统校准。校准完成后,将记录器中的数据卸载并使用Origin软件回放,通过直观显示的信号图形来二次判断系统校准的数据是否正常,若发现有故障,需重新校准。若回放的数据正常,则在回放的数据中提取相应物理量及其对应的码值,生成校线,作为飞行试验的基准。这样的校准过程繁琐且耗时长。

因此,为了实时显示被校准传感器的输出信号,将PC2(计算机2)与采集记录器相连,在PC2上实时监测被校准传感器输出波形,并在线处理校准数据。

3 系统实现

3.1 功能设计

可视化振动校准软件主要由4大功能模块组成,包括波形显示模块、数据处理及FFT显示模块、校准数据处理及显示模块、数据回放模块。

首先,最主要的功能模块是实时显示被校准振动传感器波形的模块。其他模块的实现是以该模块为基础的。为了实现在线显示振动波形,需要从采集记录器的网络数据包中解析出振动参数校准数据,提取相应通道的原码数据,将提取的数据绘图直观显示在用户界面上。

其次,数据处理及FFT显示模块。为了更直观显示振动波形的频谱信号,满足排故需要,对提取的通道数据进行傅里叶变换。将其频谱图也直观显示在用户界面上。

第三,为了更易得到校准数据,省去卸载回放数据再得出校线的中间环节。通过提取每个校准点对应的码值,将物理量与码值以文档形式保存,同时将得到的校线也显

示在用户界面上。

最后,为了方便检查,该软件设计了数据回放功能,以备校准完成后数据回放检查使用。

可视化振动参数校准软件功能框架如图2所示。

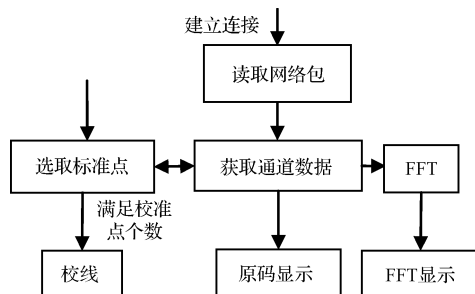


图2 可视化振动参数校准软件功能框架

3.2 混合编程

C++Builder是具可视化界面的面向对象编程语言,具有强大的用户界面开发功能,它以其功能强大、简便易用等诸多特性,深受编程人员的欢迎^[6]。振动信号的校准监控是属于动态信号处理范畴,处理较复杂,有许多严密的数学算法,程序编写比较繁琐。而MATLAB具有强大的数据处理功能,它有丰富的数字信号处理函数工具箱,但是程序的执行率较低。因此,本文采用C++Builder与MATLAB混合编程的方法来完成可视化振动软件的开发。

本文采用C++Builder与MATLAB混合编程,主要通过Matcom来实现C++Builder对MATLAB函数的调用^[7-8]。

Matcom是Mathworks公司开发的由MATLAB到C++的编译开发软件平台,它可以将m脚本文件和m函数编译成等功能的C++代码,并编译为.h文件和.cpp文件。通过将编译的文件添加C++Builder工程中实现调用。这样可以不用安装MATLAB程序,节约内存空间,且可完全脱离MATLAB运行环境,提高了代码的复用率和执行速度^[9]。

本文将利用MATLAB中的快速傅里叶变换编写脚本文件,通过Matcom将脚本文件转化为.h和.cpp文件,最终完成傅里叶变换的计算。

3.3 建立连接及数据提取

实现可视化校准的关键和难点在于建立通信连接及读取数据包。要实现PC2与采集记录器的连接,需要对采集记录器的端口进行研究。试飞测试中使用的采集记录器为美国Ampex公司的miniR700,通过AM-530a与AM-51b6组合的方式来记录振动信号。要实现提取振动信号,需要对IRIG106记录数据的模式进行研究。

miniR700是基于IRIG标准的记录器,其以太网端口是一个多种用途的IEEE802.3u端口(即“以太网”和“100时机”端口),具有多种功能,包括系统监视、配置、控制、状

态、升级和进入某些确定运行环境、数据传送等。这些端口都符合 IRIG106 网络标准。端口 5510 至 5519 都可用作数据端口。这些端口同样也可用作提取记录中的数据。

当记录器开始记录数据时,首先在 DOS 下打开端口进行监控,在 DOS 下输入相应的命令 telnet192.168.128.2 5540 确保网络连接通畅。只有网络通畅,才可以获取网络包数据,具体操作如图 3 所示。

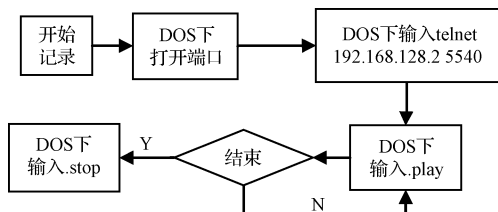


图3 建立连接流程

IRIG106 数字记录的数据标准是由基本的包元素构成的,其中包元素包括:包头、包体和包尾,及一个可选的第二包头。一个模拟量信号基本包元素的数据格式如表 1 所示^[10]。

表1 数据包结构

Packet Sync Pattern	2 字节	
Channel ID	2 字节	
Packet Length	4 字节	
Data Length	4 字节	
Data Type Version	1 字节	包头
Sequence Number	1 字节	
Packet Flags	1 字节	
Data Type	1 字节	
Header Check Sum	2 字节	
Channel Specific Data	通道总数 × 2 字节	
Data 1...Data n		包体
.....	模拟量为	
Data 1...Data n	2 字节	
Data Checksum	4 字节	包尾

包头信息包含了所有的判断信息,通过包头可以获得整个包的长度,也可得到包的数据长度。包体包含两部分:通道信息和通道对应的有效数据。包尾用于包的数据校验。可以通过 Channel Specific Data 来确定对应的通道号与通道数据,将不同通道的数据分别存储在不同文件,便于后期回放。

3.4 软件结构流程

当 PC2 与记录器连接通畅,用户通过软件界面来配置采集记录器的端口信息、通道信息、通道的采样率。配置完成后,开始连接网络,获取网络包及 IRIG 标准包数

据,分析通道数据并记录。当达到 1 024 个数据后便开始在界面上绘图,并进行快速傅里叶变换、绘图显示。具体软件流程如图 4 所示。

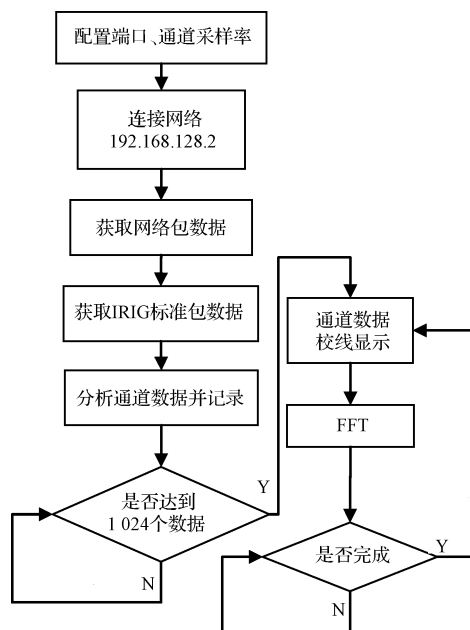


图4 软件流程

当校准完成时,校线会显示在用户界面上,会以数据及绘图两种方式同时显示。采集的通道数据将以 .txt 文档形式保存,以便后续检查或处理校线时再次使用。

3.5 软件实现

软件的用户操作界面主要分控制区、板卡信息设置区、数据回放区和采样率设置区,如图 5 所示。在设置好相应的通道、实时采集通道、采样率信息后,点击开始校准。界面上会出现模拟量实时显示的波形,并实时进行 FFT 转换,实时监控。

校准完成时,校准的曲线也会在界面上显示,校准点的码值是通过选取一段稳定波形的波峰值和波谷值,再取波峰平均和波谷平均的方法得出,得出的码值将在界面上显示。在校准曲线的右边是一条拟合的校线,该校线将作为飞行试验的基准。

实验室采用 356A15 三轴向传感器作为被校准传感器、miniR700 采集记录器作为机载振动测试的采集记录装置组成振动参数机载测试系统。该测试系统进行系统校准时,采用本文设计的软件实施监测。进行灵敏度校准时,频率为 60 Hz,振动加速度分别为 1g、2g、4g、6g、8g 进行校准。

由图 5 可见,模拟量实时显示可以直观显示振动传感器的输出信号、模拟量 FFT,校准曲线及拟合校线。

用传统校准方法,即通过从记录器中卸载数据后,通过 Origin 软件回放得到的校线如表 2 所示。

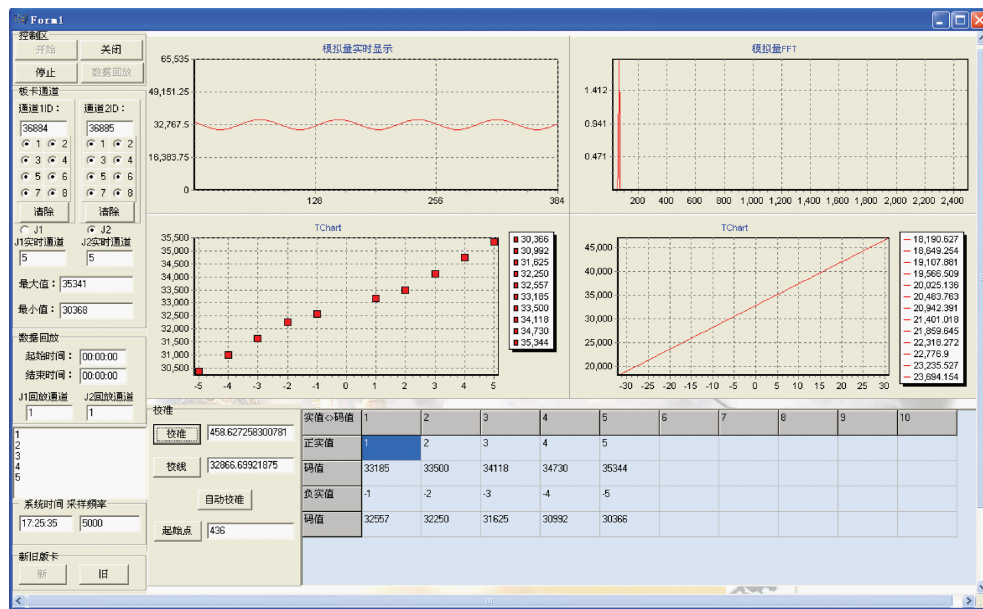


图5 可视化振动校准操作界面

表2 本文软件与传统得到的校线比对

码值	软件	回放	码值	软件	回放
g 值	数据	数据	g 值	数据	数据
-5	30 366	30 390	5	35 344	35 381
-4	30 992	31 024	4	34 730	34 751
-3	31 625	31 632	3	34 118	34 121
-2	32 250	32 251	2	33 500	33 500
-1	32 557	32 556	1	33 185	33 186

通过与传统校准方式的对比发现,在线显示的校准数据与传统的方法相比,数据完全可用。该法较传统方法效率得到极大提高。并且通过该软件中的模拟量FFT显示,可直观看出其频率点在60 Hz附近,给课题研究带来极大的便利,省去事后回放数据这一环节。校准数据的分析证明了该软件可用于试飞振动参数校准。

4 结 论

为了验证软件的可行性,本文进行了大量的实验。利用各种类型振动传感器与采集记录器连接进行校准,利用该可视化振动参数校准软件进行实时监测。实践证明,该软件可直观在线监测校准过程,大大提高了工作效率。并且,由于该软件的实用性,已在试飞校准中得到应用,为飞行试验提供了保障。

参 考 文 献

- [1] 白仲斐,周星星,张袁志. 颤振试飞测试系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制,2015,23(2):348-350.
- [2] 王真,朱丽,黎玮. 基于电磁振动台的振动传感器校准技术研究[J]. 中国科技信息,2013(14):140-141.
- [3] 杨晓伟. 振动校准现状及发展综述[J]. 宇航计测技术,2000,20(6):41-47.
- [4] GJB1692-93 试飞测试仪器校准规范[S]. 1992.
- [5] 毛宏宇,胡卓林,朱宇川,等. 一种提高振动传感器动态校准精度的方法[J]. 计测技术,2013,33(增刊1):94-96.
- [6] 潘大夫,汪渤,周志强. MATLAB与C/C++混合编程技术研究[J]. 计算机工程与设计,2009,30(2):465-468.
- [7] 袁辉. C++ Builder网络编程核心技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [8] 胡为,庄亦琪,包军林,等. 红外探测器低频噪声长时间监测系统[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(2):265-271.
- [9] 李凤保,李凌. 无线传感器网络技术综述[J]. 仪器仪表学报,2005,26(增刊2):559-561.
- [10] RCC Document 106-07. Telemetry standard [S]. 2007(9).

作 者 简 介

朱丽,1987年6月出生,硕士,工程师,主要研究方向为机载传感器测试技术研究。

E-mail: zll313427@163.com