

导波结构健康监测系统软件数据管理模块设计*

张申宇 邱 雷

(南京航空航天大学 机械结构力学及控制国家重点实验室 结构健康监测与预测研究中心 南京 210016)

摘 要:导波结构健康监测技术在国内外已得到了广泛而深入的研究。导波结构健康监测系统软硬件的研制对该技术的工程应用非常重要。针对导波结构健康监测系统产生的数据参数类型多、数据量大,缺乏统一的规范化的处理的问题,应用LabVIEW虚拟仪器平台设计了导波结构健康监测系统软件数据管理模块,提出了数据管理模块的整个架构,分别研制了数据管理模块中的功能子单元,包括数据接口层、功能驱动层、应用界面层,最后设计了模块主程序界面并对各个功能单元进行了集成。在复合材料机翼盒段上进行实验验证,实验结果表明数据管理模块可以实现相应的功能,该软件模块适用于结构健康监测工程化的需要。

关键词:结构健康监测;导波;数据管理;数据存储

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

Design of guided waves structural health monitoring system software data management module

Zhang Shenyu Qiu Lei

(Research Center of Structural Health Monitoring and Prognosis, State Key Lab of Mechanics and Control of Mechanical Structures, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

Abstract: Guided waves structural health monitoring (SHM) has been widely and deeply investigated at home and abroad. The development of integrated software and hardware for guided waves SHM system is very important for the engineering application of this technology. In this paper, a software data management module of the guided waves SHM system is designed based on the LabVIEW virtual instrument platform, aiming at the problems of a lot of data types, large amount of data, lacking standardized treatment. This paper proposed the whole structure of the data management module and developed functional subunits in data management module, including data interface layer, function driver layer and application interface layer. Finally, the module program interface is designed and the functional subunits are implemented. The experiments on the composite wing box and a series of tests on software performance are carried out, showing that the file management module can meet the requirements of all functions. Additionally, the software module is suitable for structural health monitoring engineering.

Keywords: SHM; guided waves; data management; data storage

1 引 言

结构健康监测(structural health monitoring, SHM)是一个多学科交叉的前沿研究领域,是智能材料结构研究的重要内容之一^[1]。基于导波的结构健康监测方法具有对结构中的小损伤敏感,可以对大面积区域实现监测的特点,该方法的上述优点使其既可以满足目前对复合材料结

构损伤监测的迫切需求,也可以满足大型航空结构损伤监测的需求,因此,该方法是国内外近年来的研究热点^[2]。目前,随着导波结构健康监测技术工程化应用的日益发展,导波结构健康监测系统所需要监测的结构面积逐步增大,对系统软件和硬件的要求也越来越高,因此,导波结构健康监测系统硬件和软件模块的研制对导波结构健康监测技术的工程应用非常重要^[3-4]。

收稿日期:2016-12

* 基金项目:国家自然科学基金杰出青年基金(51225502)、国家自然科学基金重点项目(51635008)、国家自然科学基金(51575263)、航空科学基金(20140952010)、江苏高校优势学科建设工程项目、江苏省青蓝工程资助

南京航空航天大学就航空智能结构与健康监测开展了长期的研究,研究了一套基于 PXI 总线的导波结构健康监测扫描系统,它由激励信号源模块、通道快速切换模块、响应信号调理模块、响应信号采集模块、PXI 总线控制器组成^[5-6]。

在工程实际应用中,功能性强的软件的各个模块是必不可少的。在每次系统硬件运行的过程中,激励信号源模块发出激励波形,响应信号采集模块根据不同的激励和传感通道产生包含有结构状态信息的数据信号。在硬件持续综合控制过程中,会产生大量的数据信号,为了后续算法处理的需要,在硬件运行的过程中需要实时地保存包含这样的数据信号和各个硬件设置参数组成的数据文件。随着监测面积的逐渐变大,监测的区域上会布置很多传感器,这样系统的激励—传感通道数目也会逐渐增加,产生的数据文件占用的内存会越来越大。例如对 100 个通道,每个通道中存在 10 个频率的扫描,那么硬件控制状态进行一个循环就会获取 1 000 个信号。以每组信号的采样长度为 5 000 点,那么产生的信号文件将会很大,大约有 400 MB。这样的大数据量会从两方面带来问题:首先,在产生大数据的时候会造成软件占用内存越来越大,从而使单次模块运行时间越来越长,软件运行效率降低。其次在载入大数据量数据时,会直接造成计算机占用内存过大而导致死机。

本文利用 LabVIEW 虚拟仪器平台设计了导波结构健康监测系统软件数据管理模块,它可以在软件运行中

系统产生的所有相关数据文件进行规范化的处理并且对数据进行读取和导出相关的参数等处理^[7-9]。本文提出了数据管理模块的整个架构,分别研制了数据管理模块中的功能子单元,最后设计了模块主程序界面并对功能单元进行了集成。在复合材料机翼盒段上进行实验验证,实验结果表明数据管理模块可以实现相应的功能,该软件模块适用于结构健康监测工程化的需要。

2 数据管理模块整体架构设计

拟在导波结构健康监测软件中用二进制文件取代文本文件作为数据保存的格式,二进制文件在存储内容中包含数字类型的情况下占用空间小,适合于连续大数据量存储。同时它的存储格式基本和数据在内存中的存储格式是一致的,因此无论是读取还是存储都是速度最快的,但是二进制文件格式并不能被计算机程序直接读取,可读性差,无法便捷查看数据,也不利于进一步的处理。另外,各个用户的存储习惯不同,或者每次保存数据文件的位置需要不同,分散的数据文件需要进行统一的规范化的处理,基于以上的 2 个问题,本文利用 LabVIEW 虚拟仪器平台设计了导波结构健康监测系统软件数据管理模块,它应能对在软件运行中系统产生的所有相关数据文件进行规范化的处理并且对数据进行读取和导出相关的参数等处理^[10-13]。

针对前面的需求分析,以及工程实际中的需要,整个数据管理模块的框架定义如图 1 所示。

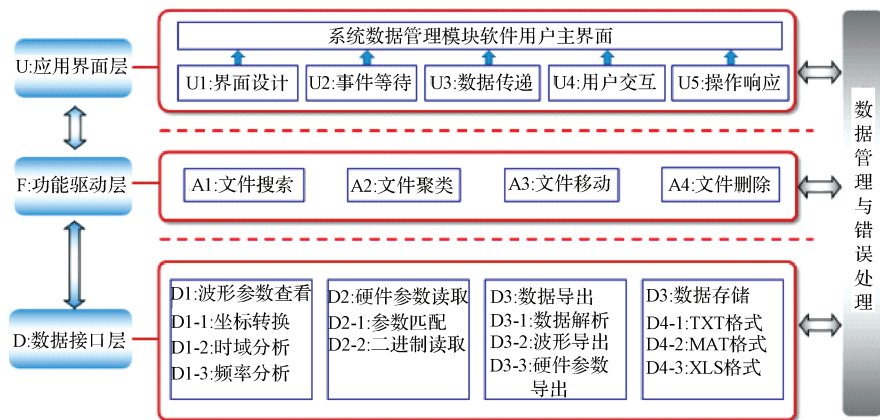


图 1 数据管理功能的框架层次

数据管理模块中实现的功能层次包括数据接口层、功能驱动层、应用界面层。数据接口层主要是对数据进行一系列操作,包括数据波形查看、数据参数读取、数据存储和数据导出。在 LabVIEW 中并没有集成的读取二进制文件的封装程序,本文拟根据 LabVIEW 软件的规则和二进制文件的读取方式自行编写一个读取二进制文件参数的程序,其可以通过二进制读取规则,对波形数据进行查看并对硬件的参数进行读取。用户需要在其他信号处理软件中对信号数据和硬件参数进行处理,应将二进制文件中

的关键参数导出,并保存为其他常见的格式,保存的格式可以设置为 MATLAB 文件、文本文件、表格文件的任意一种。功能驱动层包括文件搜索、文件聚类、文件移动和文件删除。文件搜索和文件聚类应实现搜索散落在整个计算机中不同文件夹内特定的后缀的二进制格式的文件,将包含特定后缀的文件聚集并显示出来。文件的移动和删除功能是仿照 Windows 对文件的操作,为了方便对相关的导波结构健康监测数据文件进行系统的操作。应用界面层应对各单元的功能进行集成,并提供用户交互的界面。

3 系统软件数据管理模块各个部分的实现

3.1 数据接口层

在 LabVIEW 中有这样的专门的二进制文件读写函数,在 LabVIEW 工具栏的 file I/O 中有如图所示的两个函数:“Write To Binary File”和“Read From Binary File”。这两个函数是多态函数,可以接受文件引用和文件路径两种输入。它们是专门为了写入二进制和读取二进制所创建的函数,在使用时主要是要注意其特殊的参数和使用方法。

根据二进制文件的读取方式对硬件参数进行查看。按照导波结构健康监测系统文件的组成部分依次读取每一部分,针对数据读取和写入过程中可能造成的内存过大问题,使用数据块策略,将大量的数据分为若干的小块,在此将结构健康监测文件分为 15 个部分,在读取的时候,根据需要的参数查看对应的部分,这样可以减少 LabVIEW 副本的数量。如图 2 所示,为信号各部分查看的主程序,通过给出的文件路径,打开文件,根据对文件保存内容的各个部分的了解,依次读取各部分参数到内存中,最后关闭文件。

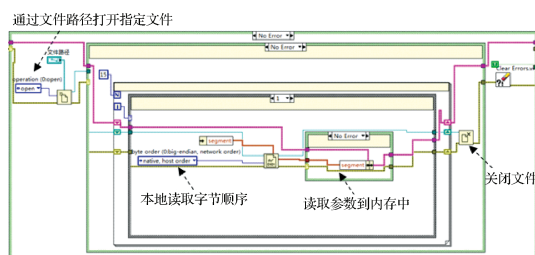


图2 数据文件中参数内容读取

波形数据为队列引用,里面保存的是队列中的多个波形信号元素,首先要读取的是一个数值量,里面保存的是队列元素个数的信息,并且以这个数值作为 for 循环的循环次数。接着将 signal 队列引用中的元素先清空,防止由于之前的误操作在队列中保存了其他的内容,接着依据监测波形信号引的格式依次读取每一个队列中的元素,并将其重新放到队列之中。具体过程如图 3 所示。

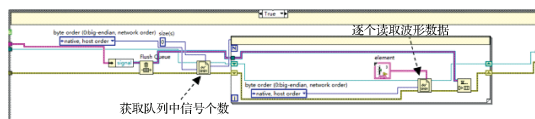


图3 数据文件中信号引用对象部分的读取

文件的其他格式导出表明软件支持以其他常见的格式导出信号数据文件,因为系统自定义的二进制文件格式(*.shmSIGNAL)并不能直接被 Windows 系统读取,为了增加系统文件的可读性和操作性,增加常见的文本文件(*.txt)和表格文件(*.xls)和 MATLAB 数据文件(*.mat)。

mat)。

文本文件的导出功能包含 2 个部分,1)文本文件的创建,以当前的时刻作为文本文件的名称,保存地址手动选择。在有了文件名称和文件地址之后,创建文本文件,并将输入文件的位置放在最开始。文本文件首先记录的是系统产生文件的时间,从系统文件中读取时间常数,并转换为字符串的方式,在字符串的末尾添加空字符,这样下一条记录就会从下一行的开始输入。2)从系统文件中读取监测信号引用对象中读取各部分的信号及其对应的硬件参数。从数组大小中可以获取信号个数的信息,作为 for 循环的次数,在循环之中根据索引和信号文件的地址依次获得信号的参数,并依照激励参数、数据采集参数、电荷放大器参数、通道切换参数的顺序依次写进已经命名好的 txt 文本中,在信号参数读取的尾部读取数据采集卡采集到的信号点的值。文件存储为 txt 格式如图 4 所示。

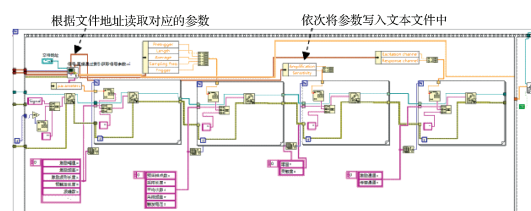


图4 数据文件存储为 txt 格式

以表格文件格式导出信号文件的原理和 txt 的方法类似,唯一不同的是,文本文件中的参数写入使用的 LabVIEW 中的 Write to Text File 函数,而在表格文件写入的过程中,使用的是 Write To Spreadsheet. vi 函数实现参数的写入。同样是要经历表格文件的创建和从系统文件信号引用对象中读取各部分的信号及其对应的硬件参数。

MATLAB 数据文件导出是使用的是 OpenG 中的工具包 matio,OpenG 是由 LabVIEW 爱好者设计的,是应用在 LabVIEW 开发环境下的实用工具包,免费提供给 LabVIEW 爱好者使用。OpenG 表示的为源代码公开的图形化编程语言。所谓源代码公开包含两个含义:1)对用户来讲必须是免费软件;2)必须允许用户查看、修改和改进源代码。matio 库支持提供了用 C++ 读写 MATLAB 下 .mat 文件的方法函数。因为 MATLAB 不是本文的重点,就不详细介绍库中的驱动函数,写入和前面的两种写入方法是相同的。

3.2 功能驱动层

功能驱动层设计需要搜索固定文件夹内,固定后缀的信号文件,并把它们显示出来。本功能选用 LabVIEW 的列表框作为显示的窗口,列表框的特点是可以根据鼠标点击框内对应的不同值的位置改变列表框本身属性的值,这样可以后台开发者知道用户点击的是列表框中的哪一行。在初始化条件下,设置数据库的路径为空,列

表框内容为空,不显示符号。用事件结构等待数据库的路径发生变化。当数据库的路径发生变化时,表明用户已经选择了一个路径,根据系统文件的特点,给数据文件设置快速监测文件和损伤诊断文件2个目录,并给它们的前面给一个系统符号“+”,并把列表框的值赋为-1。如图5所示,即为列表框的初始化和文件库路径变化时的程序。

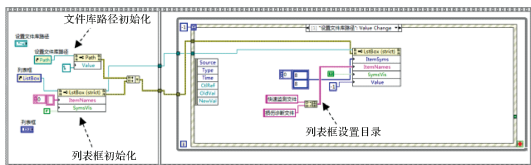


图5 列表框初始化和文件库路径变化时的程序

当用户点击列表框上的任意位置的时候,程序通过获得列表框当前的数值获得鼠标当前点击的位置对应的内容。然后通过当前数据库的路径在此路径内搜索鼠标对应内容是否为一个文件,这是判断鼠标点击的是快速监测文件和损伤诊断文件的目录还是点击的是某一个特定的信号文件名称,如果点击的是一个文件,则将菜单栏中的查看、移动、删除和导出的按钮变为可操作,并保存当前的文件地址。如果当前内容并不是一个文件,则认为点击的是目录,则更新目录内容。具体操作是首先在指定的数据库路径中搜索特定后缀的文件,搜索到文件之后,将文件分类为不同的部分。

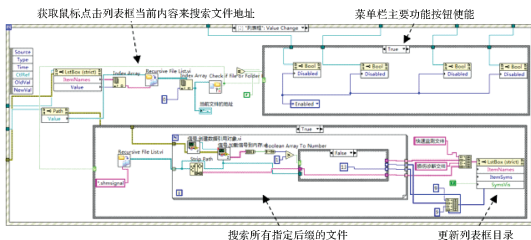


图6 文件搜索中的列表框数值变化的程序

文件操作包括文件的移动以及文件的删除。文件的移动是将当前指定的文件移动到用户需要的地址。在LabVIEW工具栏的file I/O下存在这样的控件 move.vi支持Windows系统文件的移动,控件的输入有2个,指定文件对应的文件地址和用户放置文件的新的位置,返回值是文件新的文件地址。

文件的删除是将当前指定的文件内容删除,在LabVIEW工具栏的file I/O下存在这样的控件 delete.vi支持Windows系统文件的删除,首先根据文件的地址检查文件是否存在,在文件存在的情况下根据文件的地址删除文件。

3.3 应用界面层

将所有控件的引用数值组成一个数值引用对象。此

后,界面上的所有操作都是在数值引用对象中实现的。界面搭建的第一步就是将所需要的控件放置在前面板上,并整理好控件之间的位置和显示界面的相关设置。图7所示为搭建的数据管理模块的前面板。软件界面分为4部分:数据库路径选择,是用户用于选择放置数据的文件夹的位置;文件显示列表框则是显示从特定的文件库路径内所有的信号文件对应的显示列表;菜单栏对列表框中某个特定的文件进行一系列的操作;功能显示界面则是针对菜单栏中的每一个功能按钮所对应的显示界面。

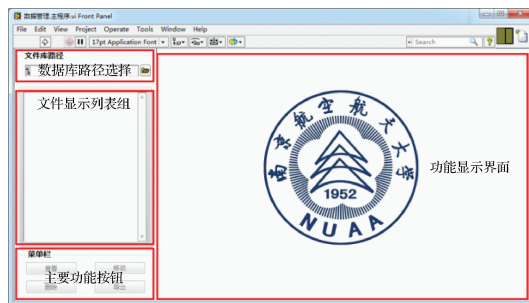


图7 数据管理模块搭建的应用层界面

4 实验验证

复合材料机翼盒段结构及实验装置如图8所示,实验设备主要由压电结构健康监测系统、功率放大器外置电源、信号端子板以及复合材料机翼盒段组成。压电传感器与信号端子板相连接,信号端子板与导波结构健康监测系统相连接,功率放大器外置电源给导波结构健康监测系统内部集成的功率放大器供电。



图8 导波结构健康监测系统实物连接图

选取复合材料机翼盒段结构中的18片压电元件作为激励和响应的传感器,数据管理模块持续运行24 h,系统无bug出现。采集10组不同的导波结构健康监测系统信号文件,放于电脑中的桌面上shm912文件夹下的多个小的子文件夹。

数据管理模块运行之后,各个部分均为空,菜单栏禁止。首先是文件夹路径选择,选择需要管理的文件存放的文件夹的路径,选择完之后,列表框感应到文件库路径发

生变化之后,事件结构中程序运行,程序自动搜索,并自动生成目录。点击列表框目录,目录展开,再次点击目录,目录收起。点击其中任意一个文件名称,通过文本框将得到当前点击的地址,并将菜单栏使能。点击“查看”按钮,软件会自动切换界面,将文件的信号参数按照保存的次序显示出来。查看功能如图9所示。因为本文文件每一个信号都是对应的一个固定的激励通道、传感通道和激励频率的组合。在激励通道、传感通道和激励频率的组合的表格中随意更换位置,信号及硬件参数会跟随鼠标点击位置所对应的参数而改变自身的参数。当选择列表框中其他的文件的时候,信号显示界面也会发生相应的变化,恢复到初始状态。选择其中任意一个文件名称,点击“移动”按钮,软件会自动切换到移动界面,将文件的原始地址显示出来。选择文件新的目标地址,点击“确认”按钮,如果程序在新的文件地址寻找到此名称的文件,则会弹出界面表明移动文件成功。点击取消则返回到初始显示界面。如图10所示。

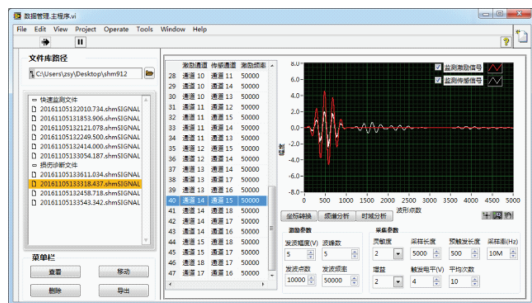


图9 系统软件数据管理模块的查看参数功能

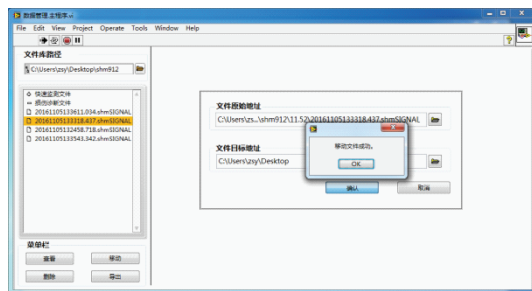


图10 系统软件数据管理模块的移动功能

同理是模块的删除功能。点击取消则返回到初始显示界面。选择任意一个文件名称,点击“导出”按钮,软件会自动切换到导出界面,此时用户需要选择存储的格式和存储的位置。点击“确认”按钮,如果程序检查到在对应的路径上存在着相同后缀格式的文件,则会弹出界面导出文件成功。点击取消则返回到初始显示界面。图11所示为

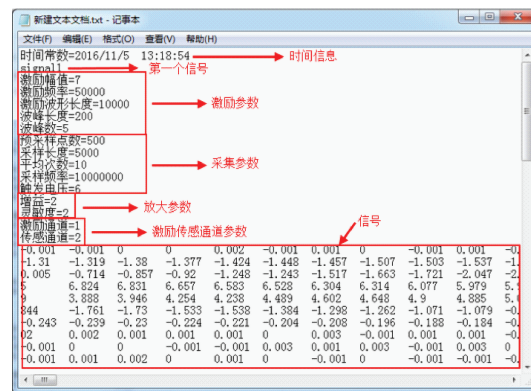


图11 以txt文件格式存储的信号文件

以txt格式存储的文本文件。

5 结 论

导波结构健康监测方法是国内外近年来的研究热点,系统硬件和软件模块的研制对导波结构健康监测技术的工程应用非常重要。针对系统产生数据信号量大,数据文件缺乏规范统一的管理的问题,本文设计了数据管理模块整体架构,并设计了对应的数据接口层、功能驱动层和应用界面层,可以搜索指定数据库路径下的所有导波结构健康监测的相关文件,依据不同的激励传感通道和激励频率查看波形和硬件参数,同时还可以实现对所有文件进行移动和删除的操作,支持导出为多种其他数据形式。经过复合材料机翼盒段实验验证,该软件模块适用于结构健康监测工程化的需要。

参 考 文 献

- [1] 袁慎芳. 结构健康监控[M]. 北京:国防工业出版社,2007.
- [2] STASZEWSKI W J, MAHZAN S, TRAYNOR R. Health monitoring of aerospace composite structures-Active and passive approach[J]. Composites Science & Technology, 2009, 69(11):1678-1685.
- [3] 彭宇, 刘大同. 数据驱动故障预测和健康管理综述[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(3):481-495.
- [4] QIU L, YUAN S F, WANG Q, et al, Design and Experiment of PZT Network-based Structure Health Monitoring Scanning System[J], Chinese Journal of Aeronautics, 2009, 22(5): 505-512.

(下转第77页)