

曹晓冉,谢建华,杨业龙,等. 基于 LabVIEW 的土槽车振动测试系统的开发与应用[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):386-389.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.119

基于 LabVIEW 的土槽车振动测试系统的开发与应用

曹晓冉, 谢建华, 杨业龙, 孙超伟, 王 坤
(新疆农业大学,新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:为了研究移动式土槽台车自身的机械振动对被测部件的影响程度,须要对土槽试验台车的振动情况进行测试、分析与处理,由于传统测试机械振动的方法存在测试成本高、累积误差大等缺点,本研究以 LabVIEW 为基础,配以压电式加速度传感器、IEPE 信号调理器和数字示波器等设计虚拟机械振动测试系统,并对土槽试验台车的机械振动情况进行测试分析。结果表明,LabVIEW 所分析的时域波形与示波器所显示的波形一致,经过快速傅里叶变换后所得到的频域波形与试验过程相符合,验证了该振动测试分析系统的可行性和合理性。

关键词:土槽试验台车;机械振动;测试系统;开发应用;时域波形;虚拟测试;示波器;LabVIEW;工作效率

中图分类号:S22 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)12-0386-04

近年来,土槽试验台车能够解决农业机械研究受季节时间约束的问题,并且具有结构相对简单、造价低等优点,是对农田作业机械整机或部件进行试验的有效装置^[1-3]。但是,由于移动式土槽台车自身的机械振动会激励被侧部件发生振动,影响试验机具的工作效率,因此需要对土槽台车自身的机械振动进行测试,分析研究移动式土槽台车自身的机械振动对被侧部件的影响程度。传统振动分析所需要的仪器种类繁多,得到的试验数据与真实数据偏差较大,并且价格相对贵^[4-5]。基于 LabVIEW 编程软件的虚拟振动测试分析方法

与其他振动测试分析方法相比,该振动测试系统充分考虑了振动测试的特点,所编写的程序具有多元化和开放性^[6-7]。本研究以 LabVIEW 为基础,配以压电式加速度传感器、IEPE 信号调理器和数字示波器等设计了虚拟机械振动测试系统^[7-9],并对土槽试验台车的机械振动情况进行了测试分析,为研究土槽试验台架的机械振动对试验机具工作效率的影响程度打下基础。

1 虚拟振动系统硬件部分设计

如图 1 所示,本振动分析系统硬件部分由加速度传感器、信号调节器、数据采集卡及计算机组成^[10],其作用是将被测部件机械振动的物理量转换成数字信号,再由振动系统软件部分进行分析研究。

1.1 加速度传感器

测量振动与冲击的核心部件是传感器,传统测量振动最常用的传感器是加速度传感器,加速度传感器可以将振动源

设计的模糊自整定 PID 控制器能够根据输入量温度误差的变化,实时调整 PID 控制器的参数 K_p 、 K_i 、 K_d ,并且相较于常规 PID 控制器系统具有更好的控制性能,满足温室温度控制系统的要求,具有现实可行性。

参考文献:

- [1]王 安,杨青青,闫文宇. 模糊自整定 PID 控制器的设计与仿真[J]. 计算机仿真,2012,29(12):224-228.
- [2]岳文杰,谢守勇,陈 翀,等. 基于模糊 PID 的温室温度控制器设计与仿真[J]. 农机化研究,2014,18(4):194-197.
- [3]王积伟,吴振顺. 控制工程基础[M]. 北京:高等教育出版社,2001:201-218.
- [4]张国良. 模糊控制及其 MATLAB 应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002:152-169.
- [5]贾芳云,王大为,屈 毅. 蔬菜大棚模糊 PID 温度控制系统的设计[J]. 湖北农业科学,2011,50(13):2746-2749.
- [6]王晓燕,周志文,吴 韬. 温室大棚温度控制系统的设计[J]. 自动化与仪器仪表,2013,32(3):63-64.

收稿日期:2015-11-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:51465057)。

作者简介:曹晓冉(1989—),男,河北唐山人,硕士研究生,主要从事机械结构及动力学研究。E-mail:ranhouyixue@163.com。

通信作者:谢建华,博士,副教授,硕士生导师,主要从事机械设计及理论研究。E-mail:xjh199032@163.com。

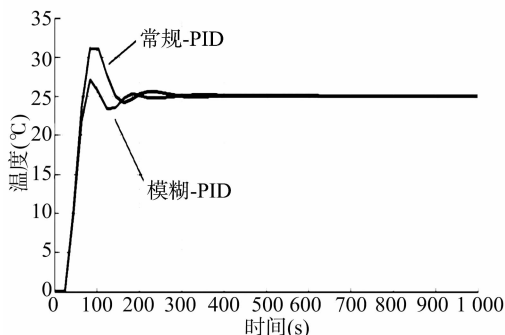


图8 仿真温度曲线

表 3 仿真结果对比

目标温度(℃)	算法	超调量(%)	峰值时间(s)	调节时间(s)	稳态误差(%)
25	PID 控制算法	24	100	360	0
	模糊自整定 PID 控制算法	8	80	360	0

发出的机械振动信号快速转换成微弱电信号。加速度传感器采用 IEPE 压电式加速度传感器(简称 IEPE,图 1-a),IEPE 相比其他类型的加速度传感器具有测量线性范围大、结构简单、工作可靠、抗干扰能力强、安装方便、频率范围宽等优点。

1.2 IEPE 信号调节器

IEPE 传感器存在不能直接输出电压信号、混入的杂波太多等缺点,须要在数据采集卡与 IEPE 传感器之间安装 1 个 IEPE 信号调节器(图 1-b),其主要目的是为 IEPE 传感器提供电能与放大 IEPE 传感器输出的微弱电压信号,并将经过

放大与滤波后的电信号输送到数据采集卡中进行存储。

1.3 数据采集

数据采集卡是传感器与计算机连接的一个桥梁,它采集传感器输出的电信号,并将电信号转换成数字形式保存为 SCV 格式文件,以便于后续分析与仿真。本试验系统采用 DS1022C 数字示波器(图 1-c)来代替数据采集卡对电信号进行采集与转换,并能把所采集的波形直接显示在示波器的显示屏上,以便于作波形对比。



a. IEPE 传感器



b. 信号调节器



c. DS1022C 数字示波器工作示意

图1 振动测试系统硬件部分

2 虚拟振动系统软件部分设计

虚拟仪器的核心内容是利用计算机软硬件系统将需要大量硬件才能完成的功能用软件来虚拟代替实现硬件系统软件化,以便最大限度地降低振动测试成本,并能增强测试系统的功能及其灵活性^[11]。根据 LabVIEW 程序设计的模块化思想,针对土槽试验台振动信号的特点,编写振动测试系统分析部分的软件模块。为了把各个模块集成起来,设计主界面来实现各模块的调用。振动测试分析系统总的设计方案(图 2)。

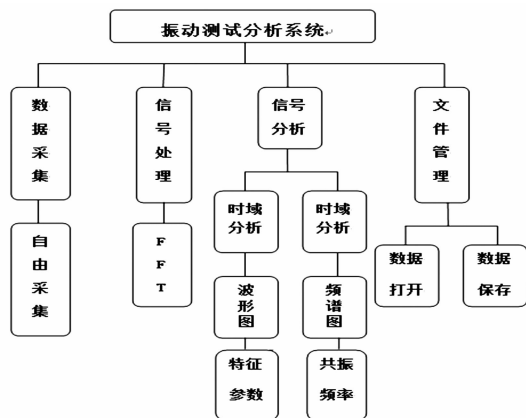


图2 虚拟振动测试分析系统软件设计方案

2.1 数据采集模块

振动测试系统主要是拾取土槽试验台的振动信号和实现对各种参数的控制^[12],如对数据采集卡、采集通道的选择以及采样率、点数、段数的控制等。测试系统使用的采集卡为一款基于笔记本计算机 PCMCIA 插槽技术的 DAQCARD - AI - 16E - 4 采集卡^[13],信号调理卡为 SC - 2040,可实现 8 通道同步采样和保持,而且各通道可以选择不同的增益。

假设传感器检测到的振动信号与采样信号分别用 $X(t)$ 和 $g(t)$ 表示,输入的振动信号用 $X(t)$ 表示,经过采样离散的振动信号用 $X(nT_s)$ 来表示,采样的脉冲序列周期用 T_s 来表示,则采样的表达式如下:

$$X_s(nT_s) = X(t) \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - nT_s) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} X(nT_s) \delta(t - nT_s)。(1)$$

其中: $\delta(t)$ 是单位脉冲序列,即采样函数,图 3 为数据采集模块采样过程。

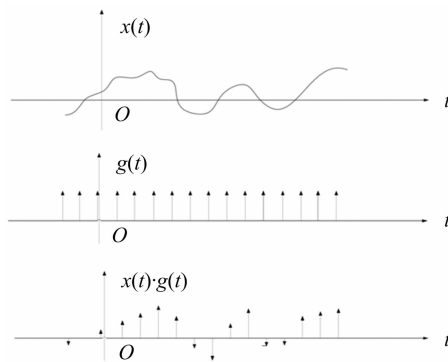


图3 数据采集模块采样过程

2.2 数据处理模块

采集的信号中即存在有用的信息(如试验台架最大振幅),也存在很多干扰信号(如噪声干扰)^[14],所以数据处理的首要任务是对所采集信号进行数字滤波处理。由于土槽试验台车的工作频率在 0 ~ 25 Hz,所以本系统在虚拟仪器软件平台所实现的滤波器为低通滤波器。

2.2.1 时域分析模块 时域分析是指振动信号在时间域进行的方法,此分析模块主要是显示振动波形、统计各种特征值^[15]。将滤波后的信号直接显示在 LabVIEW 前面板的示波器上,可以直观地对振动波形进行分析,此时的波形随时间变化而变化,在前面板中可以直接观察信号的变化情况和曲线的各个振动幅值。

2.2.2 频域分析模块 根据分析时域是很难对振动信号的特征作出准确判断的^[15],所以在分析振动信号的过程中,频域分析是一项关键的分析技术,而频谱分析是在频率域对信号分析的重要技术^[16]。相对于时域分析技术而言,频谱分析技术能够获得更多的有用信息,如各个频率成分的幅值分布、

频率成分的能量分布、振动信号的总振级、振动信号的最大值、频率、最大幅度值等。

2.2.3 功率谱分析 功率谱分析是由功率的形式分析频谱图幅值,是研究机具平稳性重要的分析技术。在无穷多个随机序列中随机找出 1 个样本序列,并不能代表这个随机过程。然而无论选择哪一个序列,其自相关函数都是一样的,也就是由某一个序列计算出来的自相关函数能够描述整个过程的本质特点。因此,功率谱问题可以从自相关函数入手分析。

自功率谱密度是信号 $X(t)$ 自相关函数的傅里叶变换,简称自功率谱。设 $X(t)$ 自相关函数是 $R_x(\tau)$,则 $X(t)$ 的自功率谱密度为:

$$P_x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau. \quad (2)$$

同时功率谱函数 $P(\tau)$ 为:

$$P_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(f) e^{j2\pi f\tau} df. \quad (3)$$

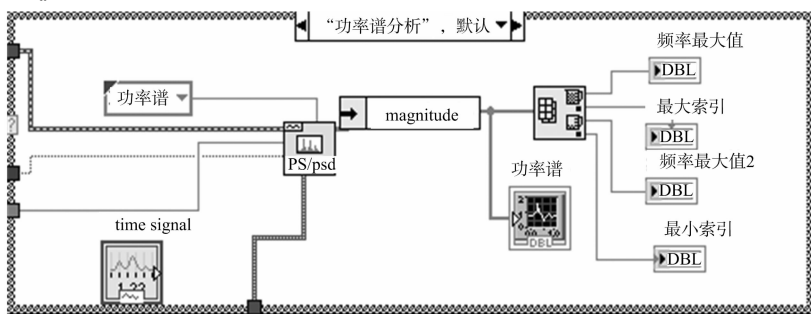
若 $\tau=0$,可得:

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T X^2(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} P_x(f) df. \quad (4)$$

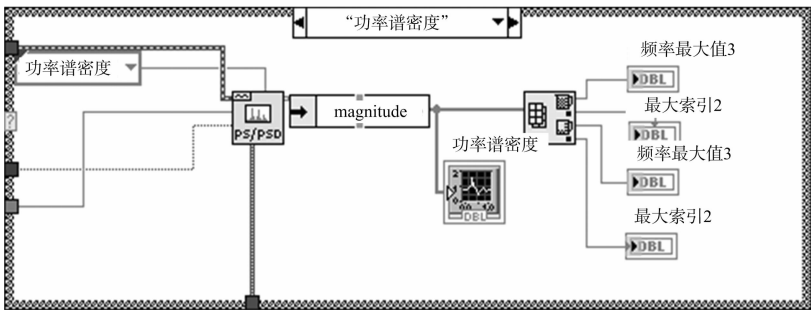
组土槽试验台车的自功率谱密度函数:

$$R_x(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} P_x(f) df = P_{av}. \quad (5)$$

即 $P_x(f)$ 曲线下和频率所包围的面积就是信号的平均功率, $P_x(f)$ 就是信号的功率密度沿频率轴的分布,自功率谱密度表示信号的功率随频率的分布情况^[17]。图 4 为功率谱分析程序框与功率谱密度程序框。



a.功率谱分析程序框



b.功率谱密度程序框

图4 功率谱分析程序框图与功率谱密度程序框

根据以上对振动信号的理论分析与 LabVIEW 编程软件的特点,编写了基于 LabVIEW 的虚拟软件系统,图 5 为该振动分析软件程序面板。从图 5 可以看出,该振动分析程序主要采用多个 Case 选择结构与 1 个 While 循环结构。Case 机

构是为了避免多个应用程序同时运行,使之符合实际测试中的需要;采用 Case 结构的目的是使用相同数据的 VI 在同一个 Case 结构中,达到程序结构化设计使得程序框图更清晰、明了。采用 While-loop 便于实现菜单操作,只有点击主界面上

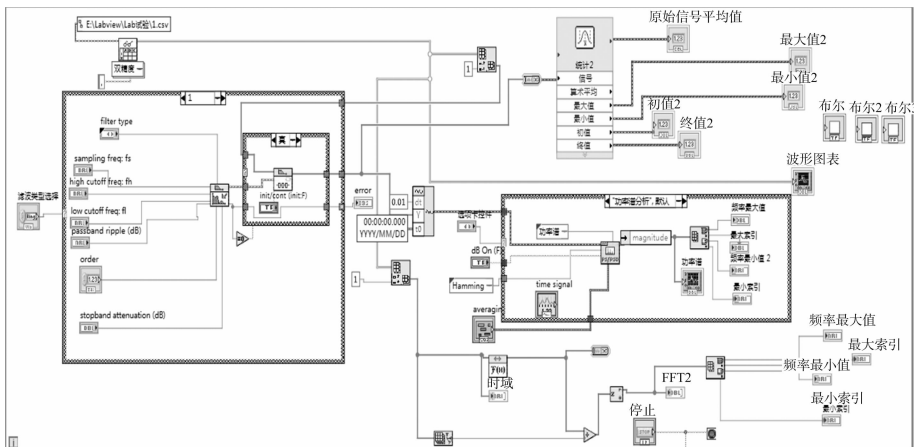


图5 振动分析软件程序面板

部菜单后才能运行程序,同时也使得数据在结构中循环可以随时使用。另外,本程序主要使用了应用程序控制子模块中的动态调用 VI (Open Application Reference) 的功能函数。

3 试验验证

为了验证本振动测试系统的可行性与正确性,对该系统进行试验和测试^[17-18],试验对象是土槽试验台车。在土槽试验台车行驶过程中对土槽车进行振动信号的采集并将所采集的信号转换成 CSV 格式的数据存储起来,导入到计算机中对振动信号进行各种分析与处理。图 6 为振动信号采集过程,图 7 为土槽试验台车在 1.0 m/s 车速下土槽车的波形图。

图 7-a 所示,波形图方框内的图形与试验时 DS1022C 型示波器波形一致,根据时域分析显示波形的振动最大幅值为 2.053 74 cm。图 7-b 为土槽试验台车在 1.0 m/s 车速下土槽车前端振动信号的经过快速傅里叶变换后的频谱图。土槽车前端的自功率谱可以显示出土槽车前端的振动频率为

8.87 Hz。从图 7-c 可以看出,在频率为 16 Hz 时振幅达到最大,为 8.8 mm,在 8.87 Hz 时功率最大,达到 8.5 W,这与上述给定的土槽车前端固有频率基本吻合。将以上对土槽试验台车振动数据的分析结果与实际情况作比较,发现该测试系统符合预期的试验结果,验证了该测试系统各程序模块的合理性与正确性,可见该测试系统可以广泛地用于农业机械的振动测试。



图6 振动信号采集过程

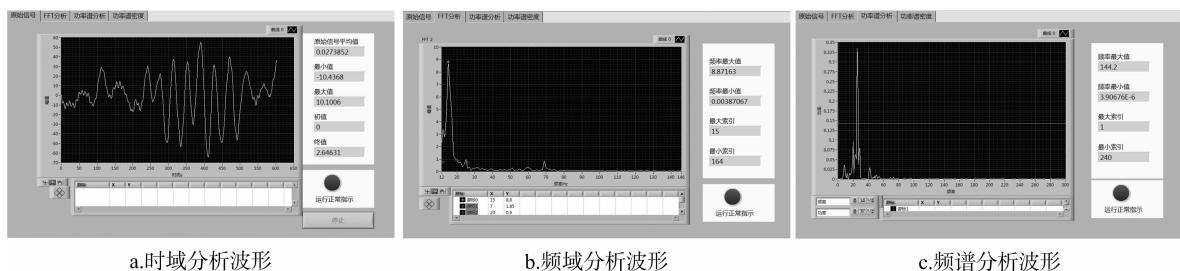


图7 土槽试验台车振动分析波形

4 结论

基于 LabVIEW 编程软件配以压电式加速度传感器、IEPE 信号调节器与数字示波器的虚拟振动测试分析系统的设计,并通过对土槽试验台车的振动信号提取、处理与分析得出以下结论:(1)通过振动分析,得出土槽试验台车工作过程中的时域波形、频域波形以及频谱分析波形。通过 LabVIEW 仿真分析,可得振动最大幅值为 2.053 74 cm,最大振动频率为 16 Hz,最大功率为 8.5 W。(2)通过对土槽试验台车的振动信号进行分析处理,为研究试验机具在不同工况下的振动情况进行研究打下良好基础。

参考文献:

- [1] 谢建华. 垄作残膜捡拾及脱卸装置的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014: 18-22.
- [2] 白圣男. 弹齿式收膜机拾膜装置的试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2006: 8-13.
- [3] 于艳, 尚书旗, 赵丽清, 等. 我国农机试验土槽研究现状分析[C]// 纪念中国农业工程学会成立 30 周年暨中国农业工程学会 2009 年学术年会论文集, 2009.
- [4] 齐振国, 侯睿, 崔根群. 基于 LabVIEW 的农业机械振动测试系统的开发及应用[J]. 农机化研究, 2010, 32(7): 197-200.
- [5] 丁宇. 基于 LabVIEW 的振动信号分析系统的设计[D]. 大庆: 东北石油大学, 2014: 5-10.
- [6] 王伟. 基于 LabVIEW 的开放式数控系统及其网络监控的初步

- 研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005: 25-28.
- [7] 盛兆顺, 尹琦岭. 设备状态监测与故障诊断技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 25-28.
- [8] 刘习军, 贾启芬, 张文德. 工程振动与测试技术[M]. 天津: 天津大学出版社, 1999: 2-6.
- [9] 李德葆, 张元润. 振动测量与试验分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992: 4-16.
- [10] 陶玉贵. 压电加速度传感器测量电路研究[J]. 科技信息, 2011(31): 472-473.
- [11] 周德照, 张进明, 江志农. 基于 LabVIEW 的旋转机械振动信号的采集与处理[J]. 自动化技术与应用, 2005, 24(3): 62-64.
- [12] 陈敏, 汤晓安. 虚拟仪器软件 LabVIEW 与数据采集[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(4): 501-503.
- [13] National Instruments corp. DAQ card E series user manual (multi-function I/O card for PCMCIA) [M]. Austin: Texas USA, 1999: 80-83.
- [14] 赵志宏. 基于振动信号的机械故障特征提取与诊断研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2012: 3-6.
- [15] 李舜酩, 郭海东, 李殿荣. 振动信号处理方法综述[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(8): 1907-1915.
- [16] 王金福, 李富才. 机械故障诊断的信号处理方法: 频域分析[J]. 噪声与振动控制, 2013(1): 173-180.
- [17] 张思. 振动测试与分析技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992: 123-148.
- [18] 殷红彩. 压电加速度传感器测量电路的研制[D]. 合肥: 安徽大学, 2007: 15-29.