

基于虚拟仪器的包装测试技术实验教学系统设计

谷吉海, 刘 钊, 孙智慧, 董文丽, 董 静, 田 野, 阿 伦

(哈尔滨商业大学, 哈尔滨 150028)

摘要: 针对课程教学中的信号分析与处理内容, 基于 LabVIEW 软件平台, 设计开发了测试技术虚拟实验教学系统。将抽象的概念、定理、数学变换、信号的时域分析和滤波去噪等理论, 形象直观地进行演示和验证, 既节省了实验经费, 又提高了教学效果; 系统的开放性和模块化设计特点, 又为学生的自主学习和创新实验设计提供了平台。

关键词: 虚拟仪器; 测试技术; 信号分析; 实验教学

中图分类号: TB487; TP302.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)07-0090-05

Experiment Teaching System Design for Packaging Test Technology Based on Virtual Instrument

GU Ji-hai, LIU Chai, SUN Zhi-hui, DONG Wen-li, DONG Jing, TIAN Ye, A Lun

(Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: Virtual experiment teaching system based on LabVIEW software platform was developed for teaching of signal analysis and process in packaging test technology. The system can make some theories, such as abstract concepts, theorems, mathematics transform, signal analysis of time domain and filtering denoising theory, more directly to perform and proving. By this way, funds were saved and teaching effect improved. The open and modular design characteristics of the system provide a platform for students' independent learning and innovation experimental design.

Key words: virtual instrument; test technology; signal analysis; experimental teaching

包装测试技术是包装工程专业重要的专业基础课^[1]。信号分析与处理是该课程的重要内容, 其概念抽象, 理论上具有相当的深度和广度, 学生普遍感到难度较大。要掌握该部分内容, 就要进行一定数量以验证理论为目的的实验, 帮助学生建立信号的合成与分解、傅里叶变换、信号的采样、相关分析、功率谱分析、滤波去噪等概念^[2]。由于实验条件和经费所限, 一般高校实验室很难满足教学实验要求。另外, 实验室教学与课堂理论教学不能同步, 对实验涉及的理论内容需重复讲解, 难度大效果差。虚拟仪器基于“软件即仪器”的思想, 在通用计算机平台上, 根据需要自行定义和设计仪器的测试功能, 利用软件建立虚拟实验仪器来完成数据采集、分析、管理和数据生成的任

务, 代表着仪器发展的最新方向和潮流^[3-4]。针对教学内容的需要以及实验条件的不足, 利用美国 NI 公司的 LabVIEW 软件平台, 设计开发测试技术虚拟实验教学系统, 将实验室搬进课堂, 既实现了理论教学与实验教学的同步衔接, 又便于学生课后利用虚拟实验平台进行操作练习, 从而加深对实验内容的理解, 激发学生的学习兴趣, 提高教学效果。

1 虚拟实验教学系统的总体设计

1.1 软件开发工具

虚拟仪器设计软件主要有 Microsoft 公司的 Visual Basic, Visual C++, HP 公司的 HP-VEE, NI 公

收稿日期: 2012-02-02

基金项目: 黑龙江省高等教育教学改革工程项目(8409), “包装工程专业应用型人才培养课程体系的改革与实践”; 黑龙江省高等教育学会“十二五”教育科学研究规划课题(HGJXH B2110791)

作者简介: 谷吉海(1964—), 男, 吉林人, 博士, 哈尔滨商业大学教授, 主要研究方向为工程测试技术、信号分析与处理等。

司的 LabVIEW, Lab windows/CVI 等。其中美国 NI 公司的 Lab VIEW 是虚拟仪器软件开发平台的佼佼者,目前已在很多学科领域都得到了广泛的应用^[5-7]。LabVIEW 具有强大的软件开发功能和丰富的函数库,开发效率高快且容易实现。LabVIEW 是一个完全开放的开发平台,支持多种文本语言编译的程序模块,便于集中各软件优势,使系统功能更加完善。它是基于 G 语言的图形编程开发环境,可用于数据采集及控制、数据分析和数据显示等领域。本文的虚拟实验教学系统利用 LabVIEW2010 软件平台进行设计。由于 LabVIEW 开发平台拥有大量与信号分析、处理相关的实用函数,并且在 Waveform Generation 子模板中的 VI,可产生各种常见信号,因此本系统信号的产生、采集、分析与处理全部由软件实现。

1.2 系统总体设计

虚拟仪器实验教学系统采用模块化设计方法,主要包括:周期信号的合成与分解、傅里叶变换的主要性质、采样混叠与采样定理、信号的相关分析与功率谱分析、信号的滤波去噪等功能模块。每个实验模块都由信号生成、数据处理、数据读取和存储、显示模块组成。各功能模块的设计包括前面板控件设计和程序框图设计。前面板是虚拟仪器与用户进行信息交互的界面,其设计主要根据实验项目的需要和操作的方便性进行输入输出控件布局设计,用户可通过输入控件(Control) 将信号输入到虚拟仪器内,程序运行的结果由输出控件(Indicator)显示器进行显示。程序框图是实现程序功能的图形化源代码,完成信号的采集、分析处理及控制功能。

2 系统功能模块的设计与实现

2.1 周期信号的分解与合成

周期信号的分解即周期信号的频谱分析,是将时域周期信号利用傅里叶级数变换到频域来考察信号的组成。一个周期信号,只要在 1 个周期内满足狄里赫利条件,即可按傅里叶级数展开成一系列频率($n\omega_0$)和幅值(A_n)不等的谐波叠加^[8],即:

$$x(t)=a_0+\sum_{n=1}^{\infty}A_n\sin(n\omega_0t+\varphi_n)\tag{1}$$
$$A_n=\sqrt{a_n^2+b_n^2}$$
$$\varphi_n=\arctan(a_n/b_n)\quad (a_n,b_n\text{ 为傅里叶系数})$$

$\omega_0=2\pi/T_0$, T_0 为信号的周期
该模块主要演示正弦波、方波、三角波、锯齿波等周期信号的频谱分析,图 1 是周期信号频谱分析实验

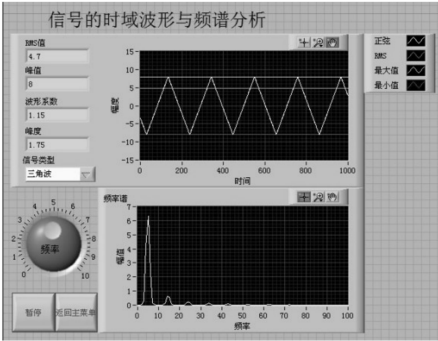


图 1 周期信号频谱分析实验
Fig. 1 Periodic signal spectrum analysis experiment

的前面板。由图 1 频谱分析可见,周期信号的频谱是离散的,每条谱线只出现在基频的整数倍上,谱线的高度表示合成该周期信号各谐波分量的幅值和相位角的大小。

周期信号的合成可理解成频谱分析的逆变换,即在频域内将一系列频率比成有理数的,幅值成一定比例的谐波叠加起来,得到的时域信号就是周期信号。式(2)和式(3)分别是周期方波和三角波的合成与分解表达式。

$$x(t)=\frac{4A}{\pi}\left(\sin \omega_0 t+\frac{1}{3} \sin 3 \omega_0 t+\frac{1}{5} \sin 5 \omega_0 t+\cdots\right)\tag{2}$$
$$x(t)=\frac{A}{2}+\frac{4A}{\pi^2}\left(\cos \omega_0 t+\frac{1}{3^2} \cos 3 \omega_0 t+\frac{1}{5^2} \cos 5 \omega_0 t+\cdots\right)\tag{3}$$

该实验模块主要演示周期方波、三角波和锯齿波信号的合成,图 2 是周期信号合成与分解实验的前面

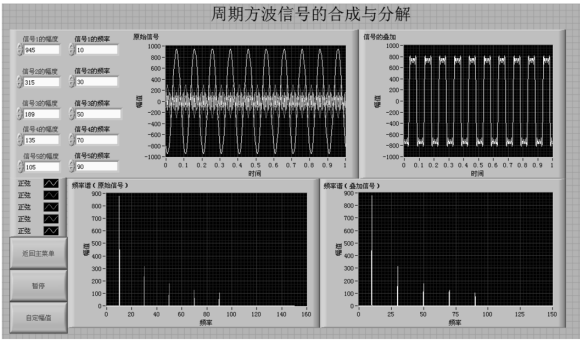


图 2 周期信号的合成与分解实验
Fig. 2 Composition and decomposition of periodic signal

板。图 2 中的方波是由(2)式的 5 项谐波合成,谐波

的阶次取得越大,合成的信号波形越接近方波。实验结果非常直观形象地验证了周期信号的合成与分解的理论。

2.2 傅里叶变换及主要性质

对于时域瞬态非周期信号,可通过傅里叶变换进行频谱分析。式(4)和(5)分别是傅里叶变换和逆变换的表达式。

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \tag{4}$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} df \tag{5}$$

式(4)表示 1 个非周期信号可以分解成无限多个频率无限接近即连续的频率成分组成,也即非周期信号的频谱是连续的, $X(f)$ 表示单位频宽上的幅值即频谱密度函数。(5)式则表示将无限多个频率连续的频率成分叠加起来就得到 1 个非周期信号。傅里叶正逆变换反映了信号时域与频域之间的转换关系。在信号分析的理论研究与实践设计工作中,经常需要了解当信号在时域进行了某种运算后,在频域发生了何种变化,或者反过来,从频域的运算推测时域的变化,因此,就需掌握傅里叶变换的一些基本性质。该模块可实现傅里叶变换线性叠加性、对称性、时移频移特性和卷积特性的验证实验。

2.2.1 傅里叶变换的线性叠加性

若 $x(t) \Leftrightarrow X(f), y(t) \Leftrightarrow Y(f)$ (6)

则: $ax(t)+by(t) \Leftrightarrow aX(f)+bY(f)$ (7)

式(6)和式(7)表明,若 2 个时域信号 $x(t)$ 和 $y(t)$,其傅里叶变换分别为 $X(f)$ 和 $Y(f)$,则将 2 个信号线性叠加后,其傅里叶变换为各自傅里叶变换的线性叠加。图 3 是傅里叶变换的线性叠加实验前面

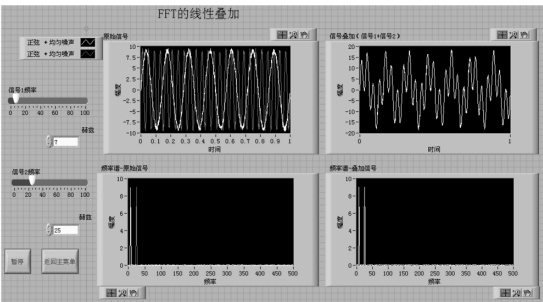


图 3 傅里叶变换线性叠加实验
Fig. 3 Experiment of Fourier transform linear superposition

板,实验演示了 2 个正弦信号各自的频谱以及 2 个信号相乘后的时域波形和频谱,其结果验证了式(6)、

(7)的正确性。

2.2.2 傅里叶变换的对称性

若 $x(t) \Leftrightarrow X(f)$, 则 $X(t) \Leftrightarrow x(-f)$ (8)

式(8)表明,若时域信号 $x(t)$ 的傅里叶变换为 $X(f)$,则将频域表达式中的变量 f 用 t 替换后得到的时域信号,其傅里叶变换即是原时域信号表达式中的变量 t 用 $-f$ 替换为即可。图 4 是 DTF 对称性实

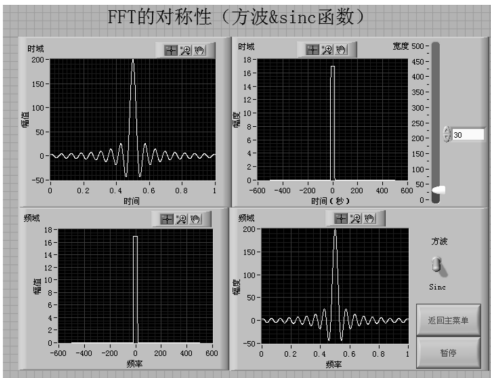


图 4 傅里叶变换对称性实验
Fig. 4 Experiment of Fourier transform
symmetrical characteristic

验前面板。由图 4 实验结果可见,时域矩形窗函数的傅里叶变换是一个 sinc 函数,反之,一个时域 sinc 函数的傅里叶变换是一个矩形窗函数。即傅里叶变换具有对称性。

2.2.3 傅里叶变换的卷积特性

$x_1(t) \Leftrightarrow X_1(f)$
若: $x_2(t) \Leftrightarrow X_2(f)$ (9)

则: $x_1(t) * x_2(t) \Leftrightarrow X_1(f)X_2(f)$
 $x_1(t)x_2(t) \Leftrightarrow X_1(f) * X_2(f)$ (10)

式(9)和式(10)表明,2 个时域信号卷积后的傅里叶变换等于各自傅里叶变换的卷积;反之,2 个时域信号乘积后的傅里叶变换等于各自傅里叶变换的卷积。利用这一性质,可以清楚地知道 2 信号在时域进行乘积运算后,在频域发生了何种变化。

图 5 是傅里叶变换卷积特性实验模块的前面板,图中左侧为频率分别为 10 Hz 和 50 Hz 2 个谐波的时域波形及频谱,右侧为 2 个谐波信号相乘后的时域波形和频谱。实验结果表明,2 时域信号乘积后的频谱等于 2 信号各自傅里叶变换的卷积,即将频率为 50 Hz 信号的频谱进行了频移,得到频率分别是 40 Hz 和 60 Hz 的 2 条谱线,表明 2 个时域信号作乘积运算后其频率组成发生了改变。

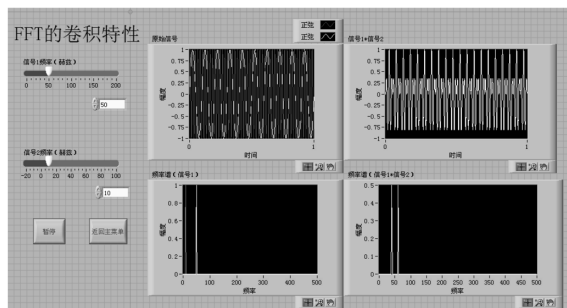


图 5 傅里叶变换卷积特性实验

Fig. 5 Experiment of Fourier transform convolution property

2.3 采样定理

把连续时间信号变成离散时间信号的过程称之为采样,信号采样时若采样频率 f_s 过低,将使采样后信号的频谱发生部分重叠,称之为采样混叠。发生混叠后,就不能从离散的采样信号准确地恢复原来的时域信号,因此信号的采样频率 f_s 必须大于被采信号最高频率的 2 倍,这就是采样定理。

该实验模块可通过改变采样频率 f_s 和对采样后信号的频谱分析来验证采样定理。图 6 是信号采样

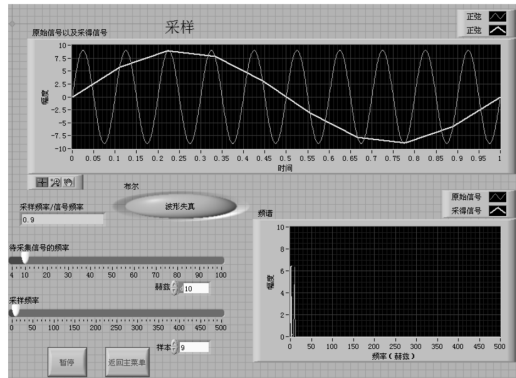


图 6 采样定理实验

Fig. 6 Experiment of sampling theorem

实验模块前面板,图 6 中被采谐波信号的频率为 10 Hz,而采样频率为 5 Hz,结果采样后信号的频谱与原信号频谱不一致,说明发生了采样混叠。

2.4 相关分析与功率谱分析

相关分析和功率谱分析分别是在时域和频域研究各态历经随机信号统计特征参数分布规律的重要工具。相关分析包括自相关和互相关分析,自相关函数描述同一随机过程的信号在一定时移前后的线性依从关系,互相关函数描述 2 个随机过程的信号在一定时移前后的线性依从关系。自功率谱描述信号的功率沿频率轴的分布,即信号功率随频率变化的

分布关系。互功率谱是在频域描述 2 个信号的线性相关程度。该实验模块主要演示自相关函数和互相关函数的性质以及信号的自功率谱和互功率谱的分析实验。

- 1) 自相关函数 $R_x(\tau)$ 在 $\tau=0$ 时为最大值,并等于该随机信号的均方值。
- 2) 周期信号的自相关函数仍为同频的周期函数,其幅值与原信号的幅值有关,而丢失了原信号的相位信息。
- 3) 若信号中含有周期成分,则自相关函数 $R_x(\tau)$ 在 τ 很大时都不衰减,且有明显的周期性。不含周期成分的随机信号,当 τ 稍大时自相关函数将趋近于 0。利用自相关函数的这一性质可检测随机信号中是否含有周期成分,见图 7。

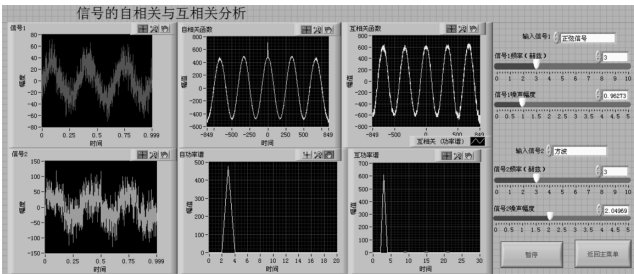


图 7 相关分析与功率谱分析实验

Fig. 7 Correlation and power spectral analysis experiment

- 4) 互相关函数 $R_{xy}(\tau)$ 在 $\tau=\tau_0$ 时呈现最大值,时移 τ_0 反映了信号 $x(t)$ 和 $y(t)$ 之间的滞后时间。这一性质可用于相关测速、无损探伤等。
- 5) 同频相关,不同频不相关,利用这一性质可实现相关滤波,为在噪声背景下提取有用信息提供了非常有效的手段。

该实验模块的可选信号波形包括正弦波、方波、锯齿波、三角波,同时可在信号中叠加均匀白噪声,信号的频率和噪声的幅度可以自行设定。利用该实验模块可对上述相关函数的性质进行演示验证,同时可对信号在频域进行自功率谱和互功率谱分析,该实验模块的前面板见图 7。

2.5 信号的滤波去噪

滤波器是一种选频装置,可使信号中特定频率的成分无衰减地通过,而极大地衰减其它频率成分,从而实现信号的滤除噪声。滤波器按频率特性分可分为高通、低通、带通和带阻滤波器,按实现方式分为模拟滤波器和数字滤波器。数字滤波器精度高且灵活

可靠,利用 LabVIEW 软件平台丰富的函数库,可以方便地设计出各种数字滤波器。

该实验模块对含有噪声的信号进行滤波去噪演示实验,滤波实验前面版见图 8。实验时首先通过面板

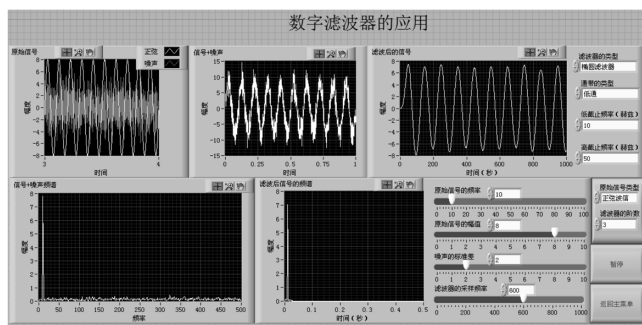


图 8 信号的滤波实验

Fig. 8 Experiment of signal filtration

上的控件按钮选择信号波形,设定噪声的类型和强度,然后选定滤波器类型并设定滤波器的截止频率、阶数等性能参数,确定后即可实现信号的滤波实验。实验中可同时显示信号和噪声的原始时域波形,含有噪声信号的时域波形和频谱以及滤波后信号的时域波形和频谱,实验形象直观,对于理解信号滤波去噪有极大的帮助。另外,实验模块设计了巴特沃斯(Butterworth)、切比雪夫(Cheby)和椭圆(Ellipse)等 3 种典型数字滤波器滤波器可供选择,通过实验学生还可直观地比较这 3 种滤波器的滤波性能和效果。

3 结语

虚拟仪器的优势在于用软件替代硬件来实现测试仪器的功能,能够集信号发生、数据采集、波形显示、数据处理和结果输出等多功能于一体。文中设计开发的虚拟仪器实验教学系统涵盖了周期信号的合成与分解、傅里叶变换的主要性质、信号的采样定理、信号的相关分析与功率谱分析、信号的滤波去噪等实验项目,将教学中抽象的概念、数学变换、定理、信号的时频域分析等理论形象直观地进行演示和验证,既节省了实验经费,又提高了教学效果。系统的开放性和模块化设计特点,又为学生的自主学习和创新实验设计提供了平台,今后将继续设计开发基于虚拟仪器的包装运输振动测试、包装件跌落和冲击实验项目,进一步扩充和完善实验系统的功能。

参考文献:

- [1] 孙智慧,张莉,刘壮,等. 包装工程专业学科体系研究[J]. 中国印刷与包装研究,2010,2(4):17-21.
SUN Zhi-hui, ZHANG Li, LIU Zhuang, et al. Study on Discipline System of Packaging Engineering Specialty [J]. China Printing and Packagwg Study, 2010, 2(4): 17-21.
- [2] 唐东炜,章敏,王宇华. 基于 LabVIEW 的信号分析与处理实验系统的开发[J]. 中山大学学报论丛,2006,26(1): 36-38.
TANG Dong-wei, ZHANG Min, WANG Yu-hua. Development of Signal Analysis and Processing Experimental System Based on LabVIEW [J]. Sun Yatsen University Forum, 2006, 26(1): 36-38.
- [3] 尤丽华,周洋. 基于虚拟仪器的测试技术实验教学系统建立[J]. 实验技术与管理,2011,28(2):83-86.
YOU Li-hua, ZHOU Yang. Building of Testing Technology Experimental Teaching System Based on Virtual Instrument [J]. Experimental Technology and Management, 2011, 28(2): 83-86.
- [4] 岳洪伟. 基于 LabVIEW 的数字信号处理虚拟实验平台实现[J]. 实验技术与管理,2011,28(8): 70-72.
YUE Hong-wei. Implementation of DSP Virtual Experiment System Based on LabVIEW [J]. Experimental Technology and Management, 2011, 28(8): 70-72.
- [5] 王武礼,杨华. 基于虚拟仪器技术的计算机测控实验平台[J]. 实验技术与管理,2010,27(1):80-82.
WANG Wu-li, YANG Hua. Computer Control Experiment Platform Based on Virtual Instrument Technology [J]. Experimental Technology and Management, 2010, 27(1): 80-82.
- [6] 黄骏,何岭松,史铁林. 基于虚拟仪器的机械程控制基础实验设计[J]. 实验技术与管理,2008,25(1):73-76.
HUANG Tao, HE Ling-song, SHI Tie-lin. Experimental Teaching of Mechanical Engineering Control Foundation Based on Virtual Instrument [J]. Experimental Technology and Management, 2008, 25(1): 73-76.
- [7] 岳晓东,孙运强,姚爱琴. 基于 LabVIEW 的医学信号处理程序设计[J]. 电子测试,2010(8):58-63.
YUE Xiao-dong, SUN Yun-qiang, YAO Ai-qin. Biomedical Signal Processing Design Based LabVIEW [J]. Electronic Test, 2010(8): 58-63.
- [8] 黄长艺,严普强. 机械工程测试技术[M]. 第 2 版. 北京:机械工业出版社,1994.
HUANG Chang-yi, YAN Pu-qiang. Mechanical Engineering Testing Technology (2nd edition) [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1994.