

一种基于 LabVIEW 的光谱仪设计

张登科 倪旭翔 石 岩

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 国家光学仪器工程技术研究中心, 杭州 310027)

摘 要 利用虚拟仪器开发软件 LabVIEW 设计了一台光谱仪, 使用 CCD 一次接收整个光谱, 同时利用 LabVIEW 高度集成化的模块进行显示、分析等处理, 效率高, 开发周期短, 仪器使用方便, 功能多且易于扩展。

关键词 光学技术与仪器; 光谱仪; 虚拟仪器; LabVIEW

中图分类号 TH741 **文献标识码** A

0 引言

随着计算机的普及和软件技术的发展, 越来越多的仪器功能可借助于计算机及相关软件来实现, 形成了“虚拟仪器”(Virtual Instruments)技术^[1]。目前已有不少学者利用这一技术进行研究, 如生物医学^[2,3]、检测测试^[4]等。它使用软件来替代传统仪器的大部分功能: 提供一套直接面向用户的操作面板, 其外观和操作几乎与实际仪器无异, 而程序的源代码则对用户隐藏。用软件来代替硬件, 可充分利用现有资源, 极大地节省成本。

本文基于虚拟仪器技术设计了一台光谱仪, 具有采集、显示、分析、保存等强大的功能, 而编程却非常简单, 一般实验室人员均可方便地定制所需程序。

1 系统构成

常见实验光谱仪多采用单色仪结构, 在出射狭缝后放置光电倍增管接收, 通过机械或电动方法转动分光元件实现各波长的扫描, 进而通过图像重建获得光谱图像。这种方法效率较低, 装置、处理都比较复杂; 目前 CCD 发展迅速, 应用越来越广泛, 已有不少光谱仪使用 CCD 来接收光谱^[5]。其光学装置使用多色仪, 在谱面位置放上 CCD 进行记录, 一次接收整个光谱, 不需机械扫描, 效率较高。本方案采用 CCD 接收光谱, 利用数据采集卡将数据传入计算机进行处理, 大大提高了效率; 利用 LabVIEW 的采集模块方便地获得数据, 进行处理。

系统装置如图 1。待测光进入色散系统(棱镜或

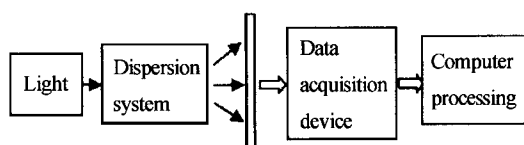


图 1 光谱仪的结构原理
Fig. 1 Structure and principle of spectrometer

光栅系统)分光, 出射像面放置线阵 CCD, 不同波长成分的光分布于 CCD 像面不同的位置。

以棱镜分光系统为例, 棱镜对某一波长处于最小偏向角时的角色散公式^[6]

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{2\sin\frac{\alpha}{2}}{\sqrt{1-n^2\sin^2\frac{\alpha}{2}}} \frac{dn}{d\lambda} \quad (1)$$

式中 θ 为偏向角, α 为棱镜的顶角, n 为棱镜材料的折射率。棱镜摄谱仪的线色散公式^[6]

$$\frac{dl}{d\lambda} = \frac{d\theta}{d\lambda} \cdot \frac{f'}{\sin\epsilon} \quad (2)$$

式中 l 为光谱面即 CCD 像面的坐标, f' 为物镜焦距, ϵ 为谱面与物镜光轴的夹角。

棱镜材料折射率与波长的经验关系式哈特曼公式^[6]

$$n = n_0 + \frac{C_0}{(\lambda - \lambda_0)^\alpha} \quad (3)$$

式中, n_0 , C_0 , λ_0 和 α 为常量, 在可见光区可取 $\alpha=1$ 。

对常用的 ZF1(重火石玻璃)材料, 根据其三组数据^[7]

$$\lambda_1 = 486.13 \text{ nm}, n_1 = 1.66120;$$

$$\lambda_2 = 546.07 \text{ nm}, n_2 = 1.65219;$$

$$\lambda_3 = 589.29 \text{ nm}, n_3 = 1.64750;$$

代入式(3), 即可得其折射率与波长的关系

$$n = 1.61194 + \frac{13.1924}{\lambda - 218.338}$$

综合式(1)、(2)、(3), 即可得到像面坐标与波长之间的关系式

$$l = \frac{2f'}{\sin\epsilon} \arcsin \left[\left(\sin\frac{\alpha}{2} \right) \left(n_0 + \frac{C_0}{\lambda - \lambda_0} \right) \right] + C \quad (4)$$

在计算机中可以得到每个像元接收的光强值 $I(i)$, i 为像元的坐标, I 为对应的光强。利用波长与坐标之间对应的关系式(4)并用此系统测量一个已知谱线分布的光源进行定标, 即可将像元坐标转化为波长坐标, 得到 $I(\lambda)$, 即待测光谱图像。

2 利用 LabVIEW 开发虚拟光谱仪

2.1 LabVIEW 的优势

目前数据的获取处理多采用 C 语言编程,需要编写从采集到处理、显示等各模块的大量代码,较为复杂,一般需要专业人员开发. 而美国 NI(National Instruments)公司的虚拟仪器开发环境 LabVIEW,使用一种被称为“G 语言”的图形化语言进行开发^[1],软件由前面板和程序框图组成:前面板面向用户,提供与用户的交互操作,外观和操作方式几乎与实际仪器面板无异,可以轻易实现友好的用户界面;程序框图类似于其他语言的源代码,但它是用图形符号描述的,稍有编程经验的人也很容易掌握.

使用 LabVIEW 进行开发几乎无需编程,因为它提供了包括采集、分析、显示、存储等数量庞大的

集成模块,极大地减轻了编程的复杂度. 一个图标就可以实现从数据采集卡采集数据并输出,一根连线就可以将数据送入显示控件(也是一个图标)实现曲线的显示. 整个采集、显示只需要两个图标和若干根连线即可完成,非常简洁直观,而且 LabVIEW 中的显示控件还集成了不少分析功能,减轻了编程负担. 这种完全模块化的开发方法使仪器设计者从编制与 CCD 的信息交互、处理显示等相关程序的复杂过程中解脱出来,专注于数据的分析处理. 一般实验人员可以自行编写相关程序进行分析而无需借助专业程序员,极大地节省了成本和时间,提高了工作效率.

2.2 程序设计示意图

图 2 为此光谱仪设计的程序.

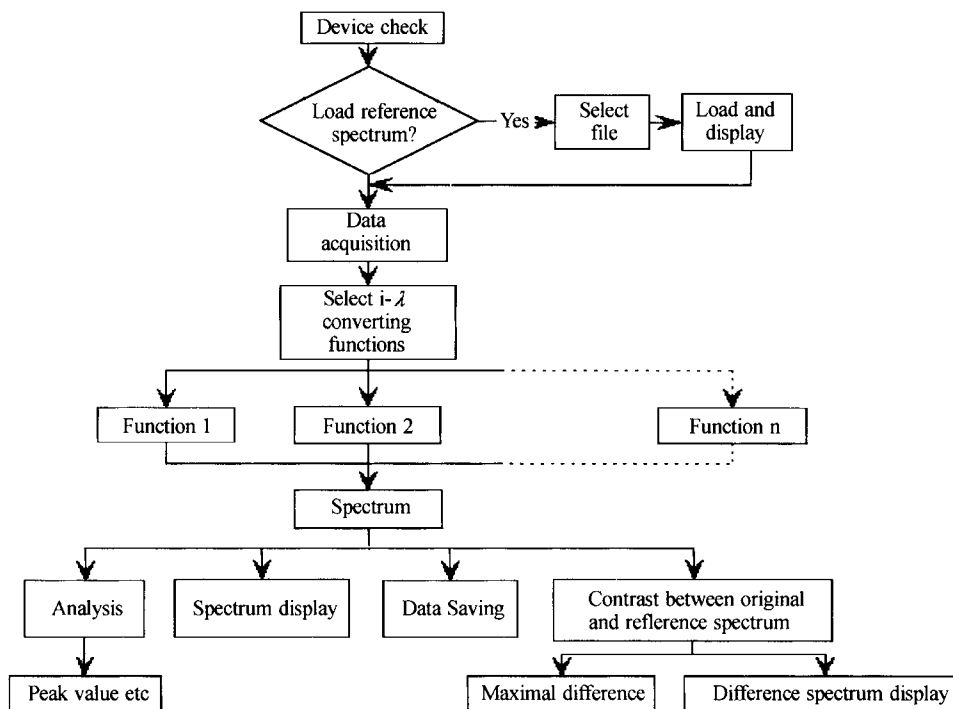


图 2 程序流程

Fig. 2 Flow chart of the program

2.3 虚拟光谱仪的设计

2.3.1 数据采集

如果使用的是 NI 公司的数据采集卡,由于 LabVIEW 对其提供了驱动程序,直接调用软件中的采集函数就可以获得数据;对于第三方的数据采集卡,用户可以利用其附带的 DLL 文件,一般这个文件含有初始化函数和采集函数,前者可设置 CCD 的积分时间等,后者将采集到的数据以数组形式保存. 在 LabVIEW 中使用“Call Library Function”模块^[8]调用 DLL 文件中的函数,就可以利用 LabVIEW 强大的数据处理功能. 目前已有一些公司的数据采集卡附带了针对 LabVIEW 的驱动程序.

值得说明的是,利用 LabVIEW 进行数据采集,需要先在集成化设置环境 MAX(Measurement & Automation Explorer)中设置数据采集卡的通道及其属性等. MAX 是交互式的,设置比较简单,在此不再赘述.

2.3.2 数据处理

由于 CCD 对不同波长的光响应不同,因此需对采集到的原始光强数据进行校正后再进行处理. 使用 LabVIEW 功能模板(Functions Palette)上“数组”(Array)和“分析”(Analyze)库中的众多模块可以方便地处理数据.“波峰检测”(Waveform Peak Detection)模块实现“带阈值的极值查找”功能,

只需设定查找目标(峰或谷)和阈值,输入数据,就会输出此阈值上的多个峰(谷)的位置、幅值等信息.如果仅需最大峰,则可以使用“数组最大值”(Array Max & Min)模块.利用其他模块可扩展更多的处理功能.“写电子表格文件”(Write To Spreadsheet File)模块可实现数据的保存,只需输入波长及对应光强组成的二维数组和文件路径(不设定则弹出对话框供选择),就可以将数据保存为文本文件;而“读

电子表格文件”(Read From Spreadsheet File)模块则可实现数据导入功能,设定已存数据文件路径、选择读取部分还是全部数据,就可以输出波长和对应光强组成的二维数据.

关键处理模块的后面板程序框图如图3,其上中下三部分分别对应“波峰检测”、“数据导入”和“数据保存”.

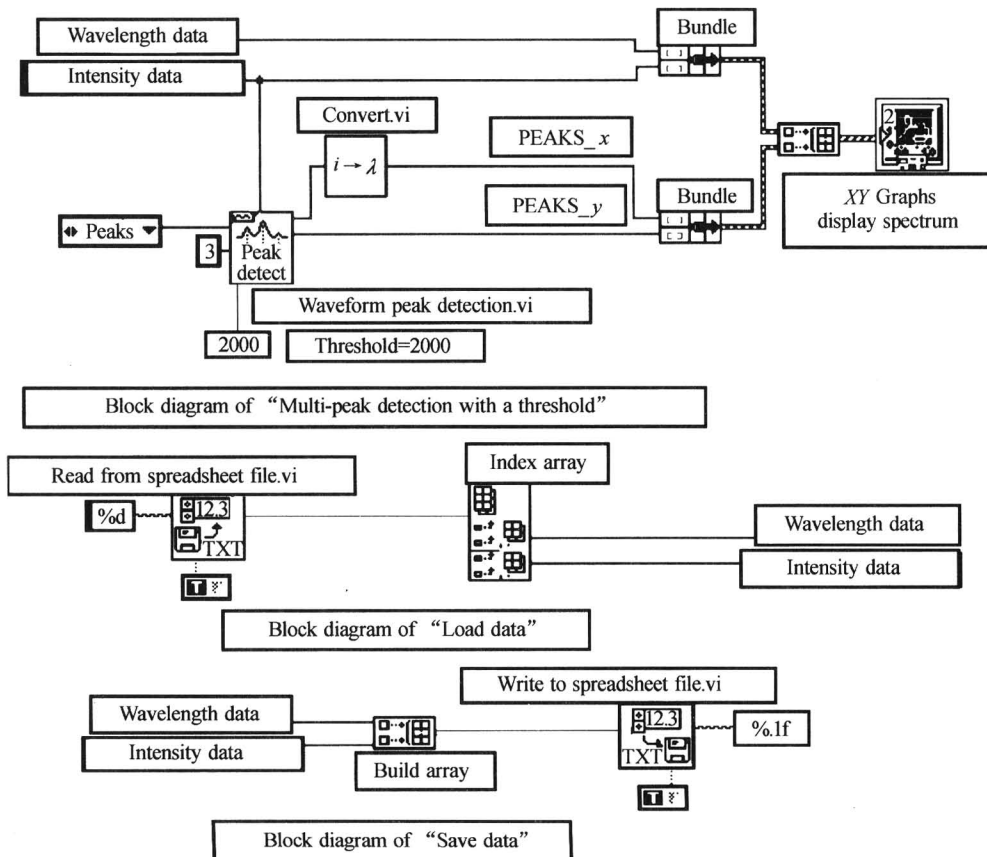


图3 虚拟光谱仪功能模块设计
Fig. 3 Design of functions of virtual spectrometer

2.3.3 图像显示

显示均匀分布的像元坐标-强度图像时可使用波形图(Waveform Graph)控件,只需将表示强度的一维数组接入显示控件即可.光谱图的显示需使用坐标图(XY Graph)控件,对于非线性变换(比如使用棱镜分光系统),由像元坐标变换成的波长分布不再均匀.将变换后的波长数据和对应光强数据打包(Bundle)后输入坐标图,即可显示出光谱图像.

2.4 虚拟光谱仪介绍

图4为所设计的虚拟光谱仪的界面.左半部分为控制分析面板,可以设置参量和显示分析结果;右半部分为图像显示,上窗口显示的是强度随像元的分布,下窗口显示的是强度随波长的分布(光谱).此仪器主要有如下功能:

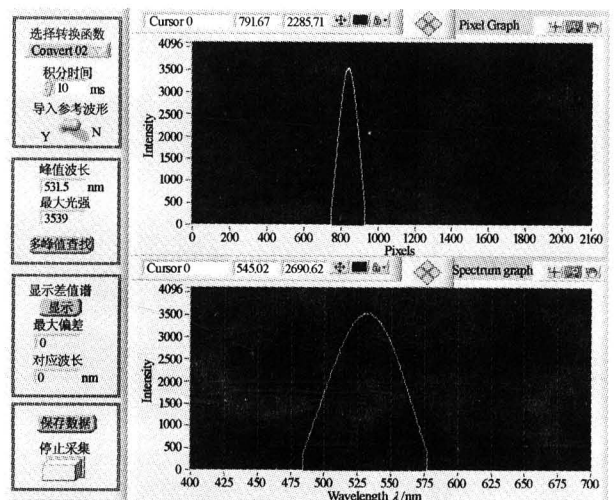


图4 虚拟光谱仪界面图
Fig. 4 Interface of virtual spectrometer

1)可设定 CCD 的积分时间;

2)光谱分析功能,如波峰值、待测光谱与参考光谱的最大差值和相应波长等;可检测出同一光谱某阈值下的多个波峰或波谷,如图 5(a),阈值为 2000 的两个峰值点已被标出;

3)可导入参考光谱,实现待测光谱与参考光谱的对比,方便进行物质分析等. 图 5(b)为导入参考光谱后的显示,光谱显示窗口中上、中、下三条曲线分别是采集光谱、参考光谱和二者的差值谱;

4)标记功能,可标记光谱图中多个、任意位置,方便分析. 如图 5(b)中十字线所示;

5)放大功能,可任意放大曲线中感兴趣的任何区域,并可选择横向、纵向、区域等多种放大方式. 图 5(c)为放大后的图像,中部标示有各种放大选项;

6)可以保存光谱数据;

7)可选择不同的像元坐标-波长变换函数.

另外,可以方便地扩展程序的功能.

2.5 仿真

选定 TCD1206 (2160 有效像元的 CCD)、12 位数据采集卡(满程 4096)进行仿真,仿真采集数据送入虚拟光谱仪,结果如图 4、图 5.

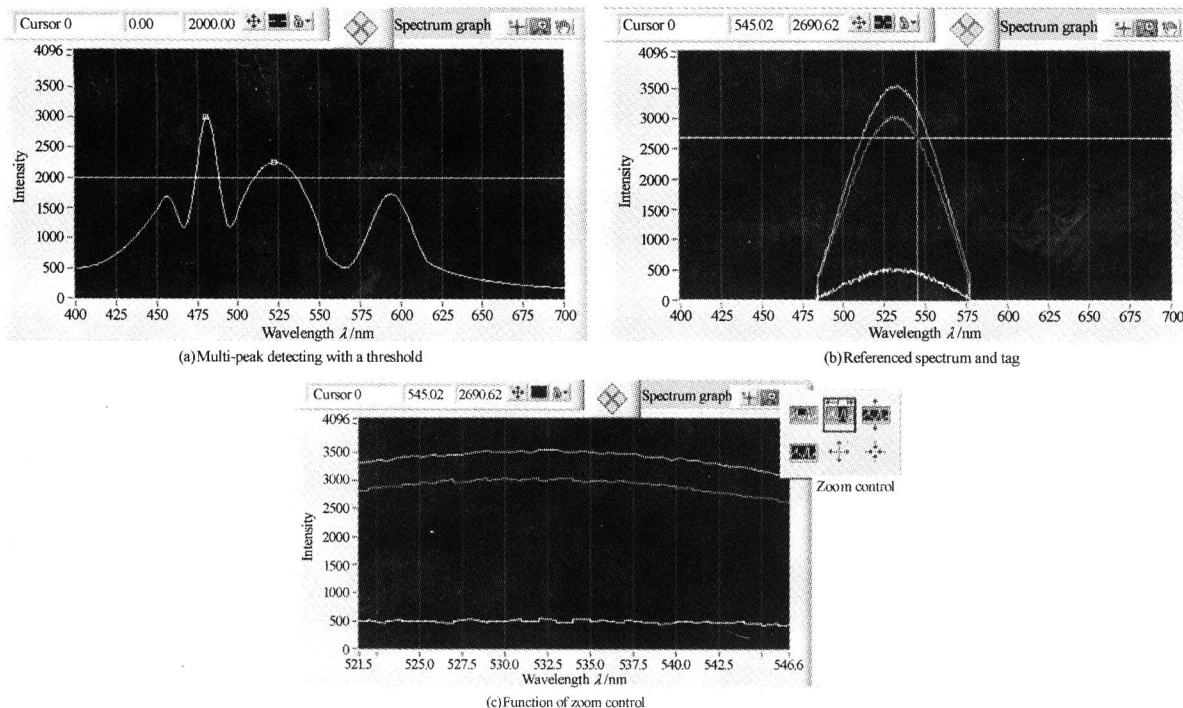


图 5 虚拟光谱仪功能
Fig. 5 Functions of virtual spectrometer

3 结论

用 LabVIEW 来实现光谱数据的采集、显示、分析,具有简单、易用、开发周期短的特点,而且界面友好,扩展性强. 它模块化的开发方法可轻易实现实际仪器或其他编程语言较难实现的功能,大大减轻工作量,方便研究. 基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术在传统光学仪器及生物医学、半导体等测试测量领域将会得到更加广泛和深入的应用.

参考文献

1 杨乐平,李海涛,肖相声,等. LabVIEW 程序设计与应用. 北京:电子工业出版社,2001. 2~4
Yang L P, Li H T, Xiao X S, et al. Program Design & Application with LabVIEW. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001. 2~4

2 胡志强,欧阳黎,张永林. 基于虚拟仪器的人体皮肤组织

吸收光谱检测平台. 光子学报,2002,31(11):1330~1333
Hu Z Q, Ou Y L, Zhang Y L. Acta Photonica Sinica, 2002,31(11):1330~1333

3 蔡声镇,李步洪,蔡坚勇,等. 鼻咽癌光谱诊断系统中的荧光光谱信号处理. 光子学报,2003,32(11):1375~1377
Cai S Z, Li B H, Cai J Y, et al. Acta Photonica Sinica, 2003,32(11):1375~1377

4 桂小琰,仲顺安,陈越洋. 稳像平台准确测试系统的研究和设计. 光子学报,2004,33(12):1497~1499
Gui X Y, Zhong S A, Chen Y Y. Acta Photonica Sinica, 2004,33(12):1497~1499

5 应朝福,金洪震,李勇. 线阵 CCD 棱镜光谱仪及其误差分析. 光学仪器,2001,23(1):27~28
Ying C F, Jin H Z, Li Y. Optical Instrument, 2001, 23(1):27~28

6 李全臣,蒋月娟. 光谱仪器原理. 北京:北京理工大学出版社,1999. 33~37

- Li Q C, Jiang Y J. The Principle of Spectral Instrument. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1999. 33~37
- 7 天津硅酸盐材料试验厂. 光学玻璃汇编. 北京: 机械工业出版社, 1977. 148
- Tianjin Silicate Material Trial Plant. Spectralite Compilation, Beijing: Mechanical Industry Press, 1977. 148
- 8 范凯, 傅志中, 梁锋. LabVIEW 平台下第三方硬件的 DAQ 系统实现方案. 自动化仪表, 2004, 25(3): 19~20
- Fan K, Fu Z Z, Liang F. *Process Automation Instrumentation*, 2004, 25(3): 19~20

Design of A Optical Spectrometer Based on LabVIEW

Zhang Dengke, Ni Xuxiang, Shi Yan

State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, CNERC for Optical Instrument, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Received date: 2005-03-10

Abstract The concept of Virtual Instruments (VI) and the advantages of VI development environment LabVIEW are introduced. A virtual spectrometer is designed with LabVIEW in which light is dispersed by a prism or a grating and the whole spectrum is detected by a CCD. The intensity of light is converted to digital signals and transferred to the computer by a data acquisition device. The spectrum data are analyzed and displayed by high-integrated modules in LabVIEW, using a graphical programming language called G-Language. It is high-efficient, timesaving, easily-used and easily-extended.

Keywords Optical technology & instrument; Spectrometer; Virtual instruments; LabVIEW



Zhang Dengke was born in 1981 in He'nan Province, China. He received his Bachelor's degree in Huazhong University of Science and Technology (HUST) in 2003. At present he is pursuing the Master's degree in Zhejiang University. His interests are in the fields of opto-electronic detection and image processing.