文章编号: 2095-4980(2018)01-0021-06

基于 LabVIEW 的太赫兹扫描成像系统设计

魏佳宾,邓 琥

(西南科技大学 信息工程学院, 四川 绵阳 621000)

摘 要: 针对太赫兹时域光谱扫描成像系统中对参数设置、运动控制、数据采集和数据处理的需求,利用虚拟仪器的相应指令、数据处理的相关算法和LabVIEW软件的特点,设计并实现了适用于本研究系统的独特软件系统,包括两轴平移台SHOT102的通信和控制、时频域波形和图像显示、数据离线调用和处理等功能。利用该软件对4种含能材料进行二维扫描,扫描范围14 mm×14 mm,扫描间隔0.4 mm,时间延迟线范围为11.3~13.3 mm,扫描步长0.002 mm,获得了其太赫兹扫描图像,从而实现含能材料种类辨别。

关键词:太赫兹扫描成像;LabVIEW软件;两轴平移台SHOT102;离线数据
 中图分类号:TN29;TN206
 文献标志码:A
 doi:10.11805/TKYDA201801.0021

Design of terahertz time-domain spectroscopy scanning imaging system based on LabVIEW

WEI Jiabin, DENG Hu

(Information Engineering Institute, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621000, China)

Abstract: The terahertz time-domain spectroscopy scanning imaging system requires parameter setting, motion controlling, data acquisition and data processing. According to the corresponding instructions of virtual instrument, the correlation algorithm of data processing and the characteristics of LabVIEW software, the suitable software for this research system is designed and completed, which includes the communication and control of two-axis translation stage SHOT102, the waveform and image display of time domain and frequency domain, the transfer and processing function of off-line data. Using the software in the circular hoop scanning, with the scanning range of 14 mm×14 mm, the scanning interval of 0.4 mm, the time delay line range of 11.3–13.3 mm, the scanning step size of 0.002 mm, the image in time domain and frequency domain are obtained, so as to distinguish the types of energetic materials.

Keywords: terahertz scanning imaging; LabVIEW; two-axis machine controller SHOT102; off-line data

太赫兹波的安全性、透视性和相干性等优点,决定了其在成像领域具有重要的研究意义,越来越多的研究机构在进行太赫兹成像技术的研究^[1]。太赫兹成像方法有实时成像、电荷耦合器件(Charge Coupled Device, CCD) 成像、近场成像和扫描成像等,其中扫描成像具有很好的相干性、较高的成像频率分辨力、很高的信噪比和容易操作的特点,能够对像素点少的样品进行很好的检测,本研究采用扫描成像的方法对4种含能材料进行成像辨别。 在太赫兹时域光谱扫描成像系统中,硬件设备包括有平移台延迟线、锁相放大器和两轴平移台控制器,需要通过软件程序将硬件和电脑有机地结合起来,方便实现整个系统的运动控制、图形显示和数据采集。

本文基于 G 语言设计了太赫兹扫描成像软件,包括程序框图和前面板:在程序框图中,根据硬件设备的代码和系统功能的要求进行程序设计;在前面板上,显示整个系统的控制和显示界面,控件规范,结构清晰,布局美观,为太赫兹时域光谱扫描成像系统提供了快速、方便和准确的操作体验。

1 太赫兹时域光谱扫描成像系统

太赫兹时域光谱成像系统是太赫兹相干探测技术的进一步发展,该系统可获得时域波形的振幅和相位信息, 并通过傅里叶变换得到被测样品的频域波形,从而对物质的幅值、相位、折射率和吸收系数等参数进行成像^[2-5]。 同时,太赫兹时域光谱扫描成像系统可以提高太赫兹成像的分辨力和成像速度,并广泛应用于生物医学、无损检 测、安全检查和军事侦查等领域。目前,研究并拥有太赫兹成像产品的有美国的 Thorlabs 公司和 Zomega 公司, 瑞士的 Rainbow 公司,日本的 Advantest 公司以及中国电子科技集团公司第 38 研究所等。

太赫兹时域光谱扫描成像技术的原 理见图1。由太赫兹发射元件产生的THz 波透射到置于二维平移台上的样品,由 于样品可以随平移台进行 *x-y* 轴上移 动,从而实现二维扫描。然后携带样品 信息的透射THz波被太赫兹探测元件收 集并检测,将得到的数据利用离线傅里 叶变换、时域光谱数据处理理论和相位 修正等理论方法进行提取和分析,从而 得到图像处理结果^[4-10]。



2 控制和显示设计

2.1 两轴平移台通信和控制程序

在太赫兹时域光谱扫描成像系统中,需要对样品进行二维成像,这就用到两轴平移台进行控制,本设计采用 了日本 Sigmakoki 公司生产的两轴平移台控制器 SHOT102 来控制 2 个步进电机平移台。

采用 RS232 协议的串口通信方式,通过 LabVIEW 中的 VISA 控件对 SHOT102 和 PC 机建立通信连接,完成 平移台控制器的初步通信配置,波特率为 19 200。通信建立成功后,在 PC 机上控制步进电机平移台的速度、位置、HOME(平移台归零)、步长、方向和显示等参数。在程序编写中,每个参数都对应相应的指令。图 2 是实现 平移台控制器的电机启动和当前脉冲数的读取功能的程序框图设计,子 VI-16 中包含"VISA 的写入和读取",将"Q?"指令写入,就可以读取当前脉冲数,并通过相应的公式,将当前脉冲数转换成当前位置,方便用户的操作和观察。图 3 以平移台 HOME 为例,将 HOME 的"H"指令连接到子 VI-4 的"VISA 写入缓冲区",通过子 VI-4 的写串口函数向控制器输入"H"指令,然后通过子 VI-3 的"VISA 读取缓冲区"函数就可以读取控制器返回的 HOME 数据信息,从而实现 HOME 功能^[11]。



Fig.2 Motor open and close and get the current pulse number 图 2 电机开闭和获取当前脉冲数

2.2 扫描成像波形和成像显示

在太赫兹时域光谱扫描成像系统中,将样品放置在二维扫描平移台上,样品可以在垂直于太赫兹波传输方向的 *x-y* 平面上移动,从而使太赫兹脉冲透射到样品的不同点,通过扫描样品上的每个点,记录每个点对应的时域 波形,再通过快速离散傅里叶变换得到频域波形,将每个点的波形信息提取出来,进行物体重构以实现二维扫描 成像^[12]。

本设计分别采用"混合波形 图"和"波形图表"对时域波形和 频域波形进行显示,时域波形由 "混合波形图"显示 CH1 和 CH2 2条曲线的幅值信息。频域波形由 "波形图表"显示通过傅里叶变换 得到的频率和幅值信息。同时,横 纵坐标设置为自动调整,波形曲线 会随着扫描的变化而自动变化。图 像显示采用"三维散点图"控件, 成像方式可按用户需求自由选择。 成像方式可分为2种模式:时域模 式和频域模式。其中时域成像方式



有:最大值、最小值、最大值时间点、最小值时间点、峰峰值、实时幅值和能量。频域成像方式有:折射率、吸收系数、实时快速傅里叶变换(Fast Fourier Transform, FFT)幅值和实时 FFT 相位。图 4显示扫描样品第 1 行时所呈现的波形和图像的信息。



Waveforms and image display in the front panel for scanning imag 图 4 扫描成像的波形和图像显示前面板

2.3 数据存储和离线调用

在数据保存方面,采用分类方式进行保存。"保存时域数据 ALL"是保存所有扫描点的"时间-幅值"数据; "保存频域数据 ALL"是保存所有扫描点的"频率-FFT 幅值"、"频率-FFT 相位"和"零频相位"的数据;"保 存参考数据"是保存参考样品时,特定频率下对应的"FFT 幅值"和"FFT 相位"的数据;"保存样品数据"是 保存有样品时,特定频率下对应的"FFT 幅值"和"FFT 相位"的数据。将采集到的数据进行分类存储,可以进 行在线数据调用和离线数据调用,数据精确,运行较快,操作简单。

通过数据的有效保存,可以对离线数据调用起到决定性的作用。离线数据调用可以不需要进行平移台和锁相 放大器端口的连接和通信测试,直接运用数据和程序框图的函数编程就可以实现数据的调用,从而得到样品的成 像显示。

3 含能材料应用研究

在太赫兹扫描成像系统应用研究实验中,样品选用 4 种含能材料,分别为: α-HMX(octagon,奥克托金,cyclotetramethylenete-tranitramine,环四亚甲基四硝胺)、 β-HMX、RDX(Hexogen,黑索金,环三亚甲基三硝胺)和 TATB(三氨基三硝基苯),实物见图 5。这 4 种含能材料在频域上存在不同的吸收点,可以从频域上进行辨别。

对这 4 种含能材料进行扫描,得到的时域波形见图 6。从时域波形上可以看出 TATB 和其他 3 种样品的最大值点存在细微差别, RDX 和其他 3 种的幅值大小存在差别。频域波形见图 7,从频域波形可看出,RDX,α-HMX,TATB 和 β-HMX 在 0.82 THz,1.51 THz, 1.71 THz 和 1.81 THz 处有比较明显的吸收峰,通过频域成像来对这 4 种样品进行辨别。



Fig.5 Samples 图 5 样品实物图

1) 时域成像

图 8 显示的是 4 种含能材料在时域上的幅值成像和相位成像,其中最大值、最小值、峰峰值的成像效果显著,

且稳定性好,能很好地观察到右上角样品与其他 3 种含能材料在幅值上的差异,这是因为振幅成像能够反映出样品的厚度和吸收特性,而相位成像能够反映出折射率和样品的厚度特性,同时时域成像是对样品成像的平均效果的反映,所以成像效果较好。图 6 样品的时域波形 图中,RDX 样品的幅值和其他 3 含能材料幅值差异较大,所以在时域成像中可以确定右上角的样品为 RDX。而在最大值时间点和最小值时间点上,由于上述 4 种含能材料的时域波形位置大致一致,所以看不出明显的区别,而且由于系统存在噪声和仪器的影响,波形会出现不同程度的抖动,所以在没有样品的区域,成像效果不稳定,有个别亮斑,但这并不影响系统的成像结果。

2) 频域成像

频域成像包含折射率、吸收系数、FFT 幅值、相位、 修正相位和能量的成像,见图 9。由于 0.82 THz 处 RDX 有很强的吸收峰,所以在吸收系数图和幅值图上 RDX 和 其他 3 种含能材料有比较明显的差异。同时可以看到, 利用相位修正算法得到的实时相位修正图像比没有经过 修正的相位成像,图像更清晰,效果更好。

同时,利用该软件可以任意选取某一频点,进行实时的频域成像。通过频域波形图可知,每个样品在每个频点上的效果不一样,所以成像效果也会随之变化。以FFT 幅值成像为例,观察随着频域不同,4种含能材料会呈现出不同的效果,利用这一变化,可以对4种含能材料进行分辨,见图 10,显示了从 0.3~0.81 THz 之间的 FFT 幅值成像。



将图 10 不同频点对应的频域成像结果图与图 7 的频域波形作对比分析,可以对 4 种样品进行分辨。随着频率越来越高,左上角样品直到 1.71 THz 之前没有太大的变化,但当频率达到 1.71 THz 时,颜色变深,当频率为 1.81 THz 时,颜色又变浅,这说明该样品在 1.71 THz 处有 1 个吸收峰,这与 TATB 样品的频域波形变化一致,所以确定左上角样品为含能材料 TATB。同样,随着频率的变化,右上角的样品颜色呈现由浅变深,再变浅,再变深的现象,第 1 次变深的频率为 0.82 THz,第 2 次变深的频率为 1.3 THz,然后就一直有明显的吸收现象,与 RDX 样品的频域波形一致,所以可以确定右上角样品为含能材料 RDX。随着频率的变化,左下角的样品颜色一直没有明显的变化,频率为 1.71 THz 时,颜色开始稍微变浅,直到频率为 1.81 THz 时,达到最强吸收,与 β-HMX 样品的频域波形一致,所以可以确定左下角样品为含能材料 β-HMX。鉴别完上述 3 种含能材料之后就可以判断 右下角样品为 α-HMX,同时,通过图像显示右下角样品当频率为 1.4 THz 时颜色开始变浅,直到 1.51 THz 时达 到最强吸收,然后开始逐渐变浅,与 α-HMX 样品的频域波形一致,所以可以确定右下角样品当频率为 3.4 THz 时颜色开始变浅,直到 1.51 THz 时达



Fig.8 Terahertz time domain imaging of the samples 图 8 样品的时域成像



Fig.9 Terahertz frequency domain imaging of the samples 图 9 样品的频域成像



Fig.10 Terahertz frequency domain imaging at different frequencies 图 10 不同频点的频域成像

通过上述对比分析,确定了可以利用该太赫兹时域光谱扫描成像系统得到的频率-FFT 幅值信息对含能材料的种类进行辨别。同时,可以提取出样品的其他信息,如吸收系数、折射率、相位等信息,与指纹谱作对比,对含能材料进行区分。

4 结论

根据太赫兹时域光谱扫描成像系统的功能要求,编写了基于 LabVIEW 的程序框图和前面板,完成了对平移 台 SHOT102 的运动控制、时域和频域的波形显示、扫描成像的图像显示和离线调用时域频域数据等功能,完成 了集参数设置、波形图像显示和离线数据调用于一体的软件程序设计。利用该系统对 4 种含能材料进行扫描成像, 得到了样品的时域和频域成像,通过成像结果可以对含能材料的种类进行辨别。验证了系统和程序的正确性,为 太赫兹时域光谱扫描成像系统提供了必要的支持。

参考文献:

- [1] 许景周,张希成. 太赫兹科学技术和应用[M]. 北京:北京大学出版社, 2007. (XU Jingzhou, ZHANG Xicheng. Terahertz science and technology and application[M]. Beijing:Peking University Press, 2007.)
- [2] 曹丙花. 基于太赫兹时域光谱的检测技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2009. (CAO Binghua. Based on the THz time-domain spectroscopy detection technology research[D]. Hangzhou, China: Zhejiang University, 2009.)
- [3] 张蕾,徐新龙,汪力,等. 太赫兹射线成像的进展概况[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2005,26(1):38-42. (ZHNAG Lei,XU Xinlong,WANG Li,et al. The progress of terahertz radiation imaging profiles[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2005,26(1):38-42.)
- [4] 杨昆. 太赫兹时域光谱成像的研究[D]. 北京:首都师范大学, 2009. (YANG Kun. THz time-domain spectroscopy imaging studies[D]. Beijing:Capital Normal University, 2009.)
- [5] 刘佳. 光纤集成化太赫兹时域光谱成像关键技术研究[D]. 西安:中国科学院研究生院(西安光学精密机械研究所),
 2014. (LIU Jia. Key techniques of optical fiber integrated terahertz time domain spectroscopy imaging[D]. Xi'an, China:
 Graduate School of Chinese Academy of Sciences(Xi 'an Institute of Optical Precision Machinery), 2014.)
- [6] 孟超. 脉冲太赫兹成像实验研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2011. (MENG Chao. Pulsed THz imaging experimental study[D]. Changsha, China: National University of Defense Technology, 2011.)
- [7] HU B B,NUSS M C. Imaging with terahertz waves[J]. Optics Letters, 1995,20(16):1716-1718.
- [8] KEMP M C,TADAY P F,COLE B E,et al. Security applications of terahertz technology[J]. The International Society for Optical Engineering, 2003(5070):44-52.
- [9] NAKAJIMA S,HOSHINA H,YAMASHITA M,et al. Terahertz imaging diagnostics of the cancer tissues with chemometrics technique[J]. Applied Physics Letters, 2007,90(4):041102/1-041102/3.
- [10] LEE K, JIN K H, YE J C, et al. Coherent optical computing for T-ray imaging[J]. Optics Letters, 2010,35(4):508-510.
- [11] 张泽林,尚丽平,邓琥. 基于 LabVIEW 的太赫兹时域光谱系统数据采集实现[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(4):491-495. (ZHANG Zelin,SHANG Liping,DENG Hu. The terahertz time-domain spectroscopy system based on LabVIEW data acquisition[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014,12(4):491-495.)
- [12] 刘传军. 太赫兹时域系统优化与控制程序设计[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学, 2015. (LIU Chuanjun. Terahertz time domain system optimization and control program design[D]. Harbin, China: Harbin University of Science and Technology, 2015.)

作者简介:



魏佳宾(1990-),女,河北省唐山市人,在 读硕士研究生,主要研究方向为太赫兹成像. email:18381641910@163.com. 邓 琥(1980-),男,四川省阆中市人,硕士, 副教授,主要研究方向为光谱传感及太赫兹技术.