

## AOTF 偏振光谱成像数据采集系统设计

姜庆辉<sup>1,2</sup>, 邱跃洪<sup>1</sup>, 文延<sup>1</sup>, 汪欢<sup>1,2</sup>, 许维星<sup>1,2</sup>

- (1. 中国科学院西安光学精密机械研究所 空间光学研究室 陕西 西安 710119 ;
2. 中国科学院研究生院 ,北京 100049)

**摘要:** 偏振超光谱成像技术是一个新兴的交叉技术领域,探索该技术在航天、民用等领域的应用已经成为国内外的重点研究课题,特别是基于声光可调谐滤波器(AOTF)的光谱成像仪,与传统仪器相比,在工作机制和仪器设计上都有着众多的优点。通过研究 AOTF 的工作原理,分析实验中 AOTF 偏振光谱成像仪的工作过程,制定了相应的数据采集系统设计方案,并且详细论述了系统基于 LabVIEW 平台的设计流程,同时给出了各模块的 LabVIEW 程序设计框图。经过实测实验对系统的功能进行了验证,结果表明:系统能够高效可靠地完成对图像数据的采集与相应仪器的控制,具有一定的研究价值和实用价值。

**关键词:** 光谱成像; 数据采集; LabVIEW; 偏振; 声光可调谐滤波器

**中图分类号:** TP732 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2012)01-0218-05

## Design of data acquisition system for AOTF polarization spectral imaging instrument

Jiang Qinghui<sup>1,2</sup>, Qiu Yuehong<sup>1</sup>, Wen Yan<sup>1</sup>, Wang Huan<sup>1,2</sup>, Xu Weixing<sup>1,2</sup>

- (1. Space Optics Laboratory, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The hyper-spectral imaging with polarization is an emerging cross-technology. It has been the key topic to explore the technology in the aerospace, civil and other areas at home and abroad. In particular, imaging spectrometer based on acousto-optic tunable filter (AOTF) has many advantages compared with the traditional imaging spectrometers both in running mechanisms and in the design of instrument. By studying the principle of AOTF, the working process of AOTF polarization spectral imaging instrument which was used in the experiment was analyzed, the data acquisition system matching with the instrument was made and the system design process based on LabVIEW platform was discussed in detail. At the same time, the LabVIEW program design diagram of each module was given. The function of system was verified through actual scene test. The final result shows that the system can complete the image data collection efficiently and reliably, as well as controlling the hardware of the instrument correctly. In a way, it is of research and practical value for the system.

**Key words:** spectral imaging; data collection; LabVIEW; polarization; acousto-optic tunable filter

收稿日期:2011-05-03; 修订日期:2011-06-13

基金项目:国家 863 计划(2006AA12Z133);西部之光联合学者项目(2007LH02)

作者简介:姜庆辉(1984-),男,硕士生,主要从事空间电子技术与智能信息处理方面的研究。Email:jiangqinghui1@126.com

导师简介:邱跃洪(1968-),男,研究员,博士生导师,主要从事空间电子技术与智能信息处理方面的研究。Email:yhqi68@opt.ac.cn

## 0 引言

光谱成像技术利用多个光谱通道进行图像数据的采集、显示、处理和分析,是图像分析技术与光谱分析技术的完美结合。随着光谱成像技术的发展以及声光可调谐滤波器(AOTF)的出现,AOTF 偏振光谱成像仪的研发已经成为国内外研究的热点。国外的许多科研机构已经开发了应用于不同领域的基于声光可调滤波技术的光谱成像仪<sup>[1]</sup>,国内的一些科研单位虽然也在此方面进行了积极的探索,但是还没有进入实用阶段的仪器产品问世。

AOTF 偏振光谱成像仪是目前获取信息最多的一种光学遥感器,具有结构简单、光谱波段宽、分辨率高等特点。其所获取的数据中不仅包含了空间信息和光谱信息,还包含了待测目标的偏振信息,增加了所获取待测目标的信息量<sup>[2-3]</sup>。通过对不同波段情况下的目标图像数据进行分析,可以获得目标物的物质成分和相对丰度,在军事、民用、航天等众多领域都有着重要应用<sup>[4]</sup>。

文中首先简要介绍了 AOTF 的工作原理,并对在实验中所搭建的 AOTF 偏振光谱成像仪的总体结构框架和工作过程进行了说明,然后重点描述了所设计的数据采集系统的实现,最后通过实际景物探测,验证了所设计系统的功能。系统设计所采用的平台为当前的最高版本 LabVIEW 2009。

## 1 AOTF 原理

AOTF 是根据各向异性双折射晶体声光衍射原理而制成的一种新型分光器件<sup>[5]</sup>,主要由声光晶体、超声换能器和声吸收体构成,其基本原理如图 1 所示。AOTF 有共线和非共线两种工作模式,通常处于反常布拉格衍射的非共线模式下进行工作。

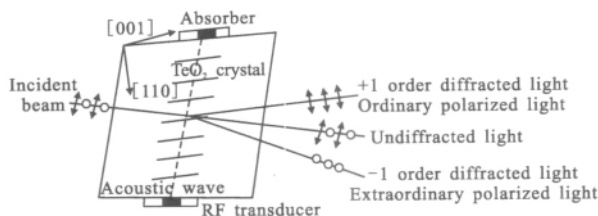


图 1 非共线 AOTF 结构示意图

Fig.1 Structure sketch of non-collinear AOTF

超声换能器能够将所加载的电信号转换为同频率的超声波,在声光晶体中超声波与入射光产生非线性效应。当超声波矢量与入射光矢量满足布拉格衍射条件时,入射光将发生布拉格衍射,且衍射光的偏振态与入射光的偏振态正交。当衍射发生时,入射光与衍射光必须满足波矢量动态匹配条件<sup>[6]</sup>:

$$\vec{k}_d = \vec{k}_a \pm \vec{k}_i$$

$$|\vec{k}_i| = \frac{2\pi n_i}{\lambda}, |\vec{k}_d| = \frac{2\pi n_d}{\lambda}, |\vec{k}_a| = \frac{2\pi f}{V_a} \quad (1)$$

式中:  $n_i$  为入射光折射率;  $n_d$  为衍射光折射率;  $\lambda$  为真空光波长;  $f$  为超声波频率;  $V_a$  为矢量方向的超声波速度值。

结合 AOTF 的平行切线波矢布局,可以得到超声波频率与衍射波长的对应关系:

$$f(\lambda) = V_a [n_i^2 + n_d^2 - 2n_i n_d \cos(\theta_i - \theta_d)]^{1/2} / \lambda \quad (2)$$

式中:  $\theta_i$  为入射光矢量与晶体光轴间的夹角;  $\theta_d$  为衍射光矢量与晶体光轴间的夹角。

由于超声波频率  $f$  取决于驱动电信号的频率,因此,通过改变激励声波的驱动信号频率,就可以实现对衍射光波长的控制,以达到滤波的目的。与传统分光器件相比,AOTF 具有体积小、无活动部件、通光孔径大、衍射效率高、调谐范围宽等众多优点,在光谱成像技术上有着巨大的应用潜力。

## 2 仪器结构

实验中所搭建的 AOTF 偏振光谱成像仪主要包括以下几部分:前置光学系统、AOTF 分光系统、CCD 成像系统、射频驱动系统、数据采集控制系统。其总体结构如图 2 所示。

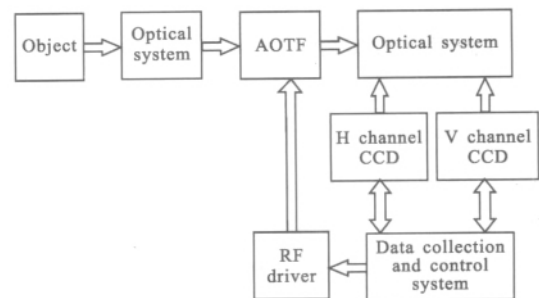


图 2 AOTF 偏振光谱成像仪结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of the AOTF based on polarization spectral imaging system

目标景物被光源照射后的反射光经过前置光学系统进行会聚、准直后进入到 AOTF 分光系统。由可控射频信号源产生的射频信号控制波长调谐,使入射光经过 AOTF 衍射后产生对应波段的零级衍射光和正负一级衍射光,正负一级衍射光即为偏振态正交的 O 光和 E 光。然后经过后续光学系统分别成像于 H 通道和 V 通道的 CCD 阵列上,获得单一波长的目标图像。通过操控 PC 机上的数据采集控制系统,一方面可以调整射频驱动器的驱动信号频率,另一方面可以控制 CCD 相机的工作状态,同时对相机所传回的采集数据进行接收,进而可以得到 AOTF 调谐波段范围内各波段的目标景物图像。最后,对所采集的各波段范围的图像数据进行存储。

### 3 数据采集系统的设计与实现

#### 3.1 LabVIEW 简介

LabVIEW 是当今最完善、影响力最大的一种图形化编程语言,具有易于理解、开发速度快和良好的平台一致性等优点,广泛应用于测试测量、控制、仿真等领域。基于 LabVIEW 开发的虚拟仪器平台主要用于仪器的监控,数据的采集、分析、处理和表达,总线接口、VXI 仪器以及 GPIB 与串口仪器的驱动<sup>[7]</sup>。

LabVIEW 中提供了一系列的硬件设备的驱动程序,其中 NI 公司的视觉采集软件提供的驱动和函数,既能够从数千种连接到 NI 帧接收器上的不同相机上采集图像,也能够从连接在 PC、PXI 系统或笔记本计算机上标准端口的 IEEE1394 和千兆以太网视觉相机采集图像。因此,通过调用驱动程序所提供的接口 VI(LabVIEW 代码模块),对相应的硬件设备进行控制与操作,具有很大的便利性和灵活性。

#### 3.2 系统的设计与实现

文中所设计的数据采集控制系统能够实时更新 AOTF 射频驱动器的驱动频率值,控制 CCD 相机的工作状态,并且能够实时显示采集到的图像,同时完成采集数据的接收与存储工作。考虑到实际需要,系统可以完成单频和扫频两种模式下的数据采集工作,以实现单一波长的目标图像和全波段的目标图像序列的采集。

系统主要由以下 3 大模块组成:射频驱动器控

制模块、相机控制与图像采集模块和数据存储模块。其总体设计程序框图如图 3 所示。

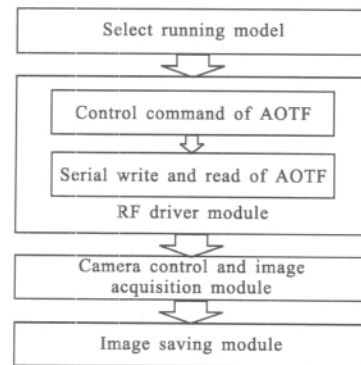


图 3 系统程序框图

Fig.3 Block diagram of system

#### 3.2.1 射频驱动器控制

由于实验中需要对 AOTF 的射频驱动器频率在 78.8~189.0 MHz 范围内进行实时调节,从而设计相应的控制模块实现驱动频率的实时更新和显示。控制操作通过 PC 机与驱动源之间的 RS232 串口通信实现。通信过程中的 CRC 校验码生成由类 C 代码编程实现。驱动器有两种工作模式:单频模式和扫频模式,相应的控制模块界面如图 4 所示。在单频模式下,依据输入的数据实时控制 AOTF 驱动频率;在扫频模式下,依据所设置的范围与步长实现 AOTF 驱动频率的自动更新。在实际软件设计中,利用波长与驱动频率的拟合关系,使用波数(即单位厘米内的整波数目)来调节驱动频率值。

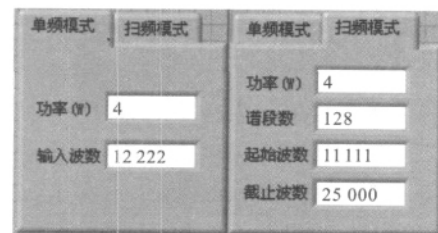


图 4 射频驱动器控制界面

Fig.4 Control interface of RF driver

控制模块主要包括控制命令串构建和串口通信两部分。首先读取操作界面上设置的参数信息,并依据通信协议对其进行编码,构建控制命令串;然后通过串口将携带有参数信息的控制命令串编码发送给 AOTF 射频驱动器,驱动器接收控制命令串编码后进

行解码,并且按其中所携带的参数信息完成设置,再次通过串口返回确认信号,从而实现串口通信控制。串口通信部分的实现借助于 VISA 的接口 VI 与公式节点编程。

### 3.2.2 相机控制与图像采集

偏振光谱图像数据的获取是所构建的成像仪的主要任务,也是后续数据处理分析得以实现的基础。图像的获取主要由仪器中的两个 CCD 相机来完成,所以采集控制模块的设计实现也就成为了整个数据采集控制系统的重要组成部分。模块通过 LabVIEW 软件平台调用相机所提供的 API 接口,实现系统与 CCD 相机之间的命令通信,以完成对相机的各项操作,控制由相机参数设置开始到所需图像数据采集结束。

采集控制模块主要完成了对所连接的 CCD 相机的控制以及目标图像的获取和显示,其对应的子 VI 设计程序框图如图 5 所示。模块功能的实现流程大体如下:借助 NI-IMAQ 所提供的驱动程序与接口 VI 连接并操作相机;依照系统界面的相应输入参数对相机进行必要的配置和操作;获取目标图像,并将所获得图像在操作界面上进行显示。

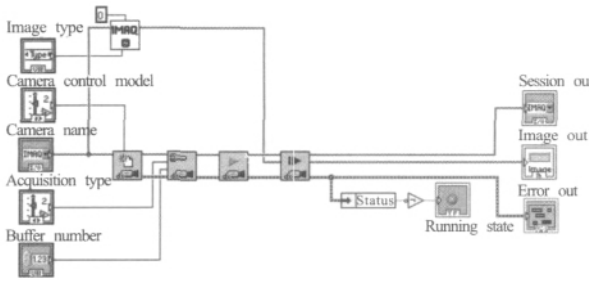


图 5 相机控制与图像采集子 VI

Fig.5 SubVI for camera control and image acquisition

### 3.2.3 数据存储

采集数据的存储主要从以下几方面考虑:数据文件的接收、存储格式、命名、存储路径。鉴于此实验后续图像数据处理的需要,所采集数据的存储格式设置为“.bmp”格式。同时,为了提高操作的简便性,根据所使用的相机名称、采集频率值、目标路径等信息,通过调用字符串连接模块和路径合成模块,实现文件的自动命名。在数据存储前,需要对文件的存储路径进行设置。

所设计的存储模块实现了相机所采集到的目标图像的自动存储。结合系统操作界面上所输入的存储路径信息,对采集模块所产生的数据文件进行自动命名后,将其转化为“.bmp”格式存储在所设定的目录下。对应的子 VI 设计程序框图如图 6 所示。

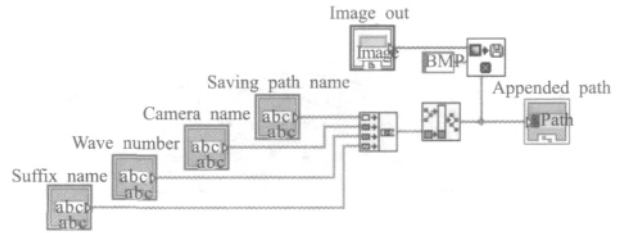


图 6 数据存储子 VI

Fig.6 SubVI for saving image

## 4 实验结果

实验前,需要对仪器进行定标<sup>[8]</sup>。仪器定标包括探测器定标、谱线位置定标、光谱相对定标和偏振光谱辐射度定标。通过定标主要修正探测器的固定模式噪声和光电响应非均匀性,检验标定仪器的谱段位置精度和光谱分辨率,确定仪器光谱幅亮度响应。仪器经过定标后,在晴朗的天气条件下进行系统功能验证,对远处景物目标进行凝视成像,光谱范围为 400~900 nm,谱段位置和宽度可编程,系统处于扫频模式时的运行界面如图 7 所示。结果显示:系统能够实现对相机和射频驱动器的实时控制,顺利完成实测偏振光谱图像数据的采集与存储,并且所获取的各波段的光谱图像成像清晰,具有较高的分辨率,部



图 7 系统实际运行界面

Fig.7 System interface when running

分图像数据如图 8 所示。其中,图(a)、(b)分别为 3 个波段 H、V 通道的光谱图像

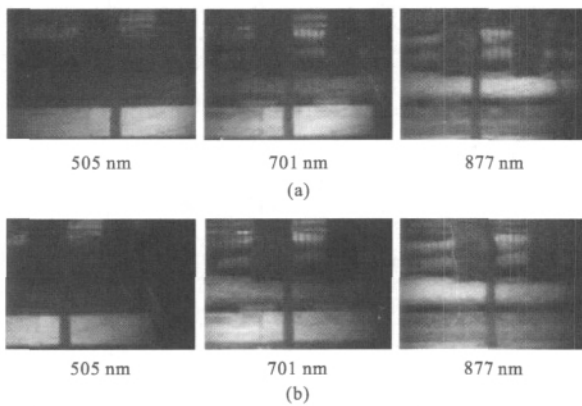


图 8 目标景物的光谱图像

Fig.8 Spectral images of actual scenery

## 5 结 论

实验结果表明,文中采用 LabVIEW 软件平台所设计的系统实现了对 AOTF 偏振光谱成像仪各部分硬件仪器的精确控制,并完成了对偏振光谱成像数据的实时采集与存储,具有交互性好、功能易于扩展、实用性强等特点,在实际的图像数据采集中具有 一定的实用价值。通过与相应硬件设备的连接运行,证明了该系统的稳定性和可靠性。

### 参考文献:

- [1] Nahum Gat. Imaging spectroscopy using tunable filters: a review[C]//SPIE, 2000, 4056: 50-64.
- [2] James Peterson. Imaging polarimetry capabilities and measurement uncertainties in remote sensing applications [C]// SPIE, 2000, 4133: 221-232.
- [3] Zhang Chunmin, Yang Jianfeng, Yuan Xinjing, et al. Research progress of polarization interference image spectroscopy [J]. *Journal of Optoelectronics · Laser*, 2000, 11(4): 562-568. (in Chinese)  
张淳民, 杨建峰, 原新晶, 等. 偏振干涉成像光谱技术研究进展[J]. *光电子·激光*, 2000, 11(4): 562-568.
- [4] Xu Hong, Wang Xiangjun. Application of multispectral/hyperspectral imaging technologies in military [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 35(1): 13-17. (in Chinese)  
许洪, 王向军. 多光谱、超光谱成像技术在军事上的应用[J]. *红外与激光工程*, 2007, 35(1): 13-17.
- [5] Zhang Chunguang, Zhang Zhonghua, Yang Yu, et al. Design and analysis of a noncollinear acousto-optic tunable filter[J]. *Optics Letters*, 2007, 32(16): 2417-2418.
- [6] Xu Jieping. Acousto-optic Device: Principle, Design and Application[M]. Beijing: Science Press, 1982: 56-57.  
徐介平. 声光器件的原理、设计和应用[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 56-57.
- [7] Ruan Qizhen. I and LabVIEW [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2009. (in Chinese)  
阮奇桢. 我和 LabVIEW [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009.
- [8] Zhao Huijie, Zhou Pengwei, Zhang Ying, et al. Acousto-optic tunable filter based spectral imaging technology [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2009, 38(2): 189-193. (in Chinese)  
赵慧洁, 周鹏威, 张颖, 等. 声光可调谐滤波器的成像光谱技术[J]. *红外与激光工程*, 2009, 38(2): 189-193.