

基于 LabVIEW 的高性能激光主动探测控制与处理系统设计

张来线¹, 孙华燕², 樊桂花², 赵延仲², 郑勇辉¹

(1. 装备学院 研究生院, 北京 101416; 2. 装备学院 光电装备系, 北京 101416)

摘要: 设计实现了基于 LabVIEW 的高性能激光主动探测控制与处理系统, 对系统设计基本原理、基本构成和系统架构进行了分析说明, 论述了基于 LabVIEW 多线程和模块设计的激光主动探测控制与处理系统架构具有功能完整、运行高效、扩展性强、稳定性好、人机交互性好等优点。最后利用该系统进行了激光主动探测实验, 结果表明: 该系统可以实时获取并处理实验数据并进行可视化显示, 满足激光主动探测应用需求, 为激光主动探测技术应用提供了一种新手段。

关键词: 激光主动探测; LabVIEW; 多线程; 模块化; 信号处理

中图分类号: TN247 文献标志码: A 文章编号: 1007-2276(2013)12-3239-06

High efficiency laser active detection controlling and processing system design based on LabVIEW

Zhang Laixian¹, Sun Huayan², Fan Guihua², Zhao Yanzhong², Zheng Yonghui¹

(1. Department of Post-gratitude Management, Academy of Equipment, Beijing 101416, China;

2. Department of Optical-Electronic, Academy of Equipment, Beijing 101416, China)

Abstract: A high efficiency laser active detection controlling and processing system based on LabVIEW was designed. The principle of system design was presented, as well as the basic construction and diagram of the system. The advantages of multi-thread and modulated designed method of LabVIEW such as function integrity, friendly user interface, strong extensibility, high efficiency and stability were discussed. Experiments were done using the system. The results show that using this system, the data could be acquired, processed and displayed visible in time, which could meet the need of laser active detection. The system designed provides a new way for laser active detection technology.

Key words: laser active detection; LabVIEW; multi-thread; modularization; signal processing

收稿日期: 2013-03-10; 修订日期: 2013-04-15

基金项目: 国防预研项目; “十一五”国防预研项目

作者简介: 张来线(1986-), 男, 博士生, 主要从事光电信息处理方面的研究工作。Email: zhanglaixian@126.com

导师简介: 孙华燕(1953-), 女, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事光电对抗和光电信息处理方面的研究工作。

Email: shy221528@vip.sina.com

0 引言

激光主动探测是以激光作为主动光源，利用光电装备的猫眼效应，对目标实施探测的技术^[1]。相比于被动探测，激光主动探测技术具有作用距离远、探测精度高等优点，受到世界各国的重视，已经将其应用于多种探测系统中。激光主动探测技术的核心是回波信号探测和信号分析，同时系统需要进行数据采集控制、激光器控制以及伺服系统控制。LabVIEW 是NI 公司开发的基于 G 语言的开发环境，具有软硬件接口丰富、信号处理功能强大、开发效率高、人机交互界面友好等优点，被广泛应用于测控系统设计^[2]。文中利用 LabVIEW 设计实现了激光主动探测控制与处理系统，充分利用 LabVIEW 多线程、模块化设计等设计方法，建立了一种具有强扩展性、稳定性和高效的控制处理系统，并利用该系统进行实验及数据分析，为激光主动探测技术应用提供支撑。

1 激光主动探测原理及系统构成

激光主动探测原理如图 1 所示。

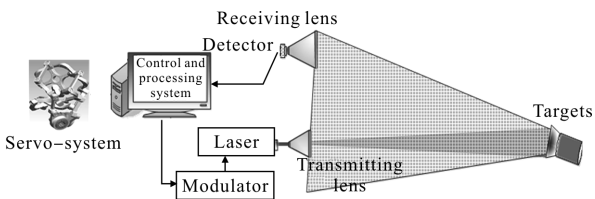


图 1 激光主动探测原理图

Fig.1 Principle diagram of laser active detection

激光器经调制器产生的电脉冲激励发射激光脉冲，激光脉冲通过发射光学系统后以特定形式照射到目标后上，一部分激光能量沿原路返回，经过接收系统后汇聚到光电探测器上，光电探测器输出的电信号经放大器到达控制处理系统，控制处理系统对接收到的信号进行处理，获取信号中的有用目标信息。

激光主动探测技术依据是否对目标成像分为成像探测和非成像探测两种，其中成像探测系统包括激光发射系统、激光接收系统、图像采集系统、图像处理系统以及同步控制系统；非成像探测两种系统包括发射系统、激光接收系统、信号采集系统、信号处理系统及同步控制系统。根据系统结构，系统软件

应具有复杂的外围模块、精确的系统同步控制和高效的信号处理效率^[3]。

2 激光主动探测控制与处理系统设计

根据激光主动探测控制处理系统工作特点及系统功能，系统软件设计划分为控制系统和信号处理系统两大部分，结合主动非成像探测和主动成像软件结构，主动探测控制与处理系统软件结构如图 2 所示。

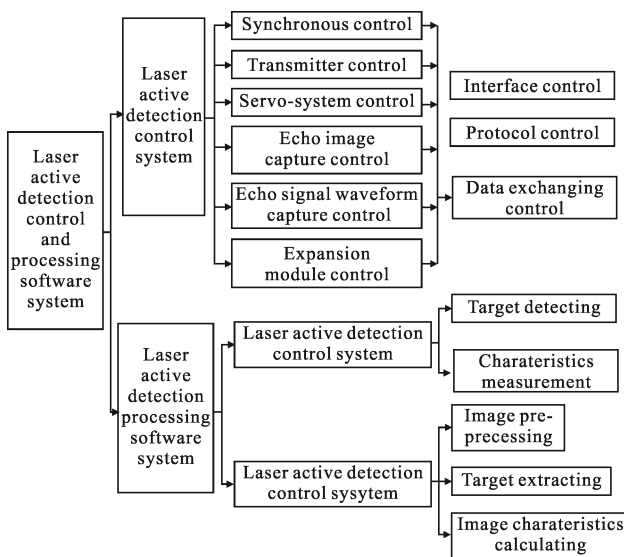


图 2 激光主动探测控制与处理系统软件结构

Fig.2 Software construction of laser active detection control and process system

2.1 控制模块设计与实现

控制模块设计包括三部分，驱动设计、过程控制和数据交换。系统硬件结构及接口定义如图 3 所示。系统外围控制主要包括四个部分，回波波形接收与采集模块、回波图像接收与采集模块、控制伺服系统和发射模块的同步控制模块以及功率能量采集模块。通过编写对应模块 LabVIEW 平台驱动，对设备进行过程控制及与主程序的数据交换，实现模块的完全控制。

为了提高系统运行效率，采用人机交互响应、模块控制、数据交换的多线程设计，交互响应线程与模块控制线程之间通过信号量进行同步控制，模块控制线程与数据交换线程通过 FIFO 队列进行同步和数据传输。控制模块结构如图 4 所示。实际系统中

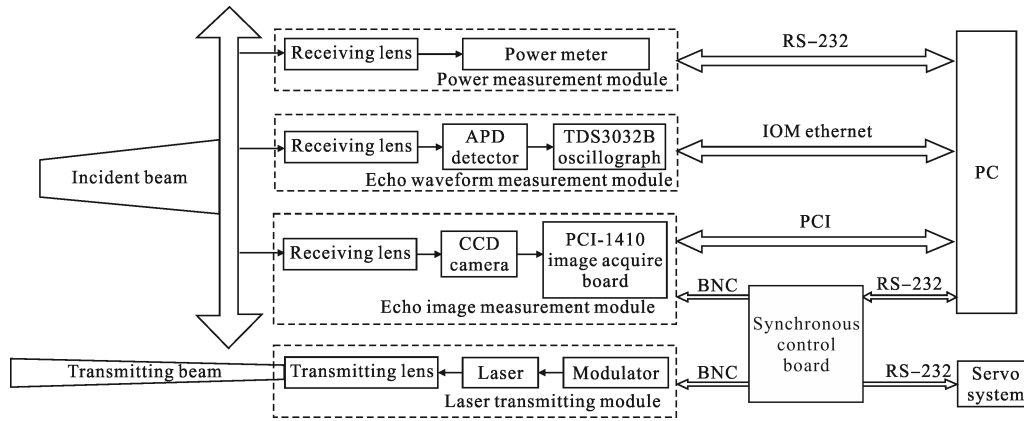


图 3 激光主动探测控制与处理系统硬件结构

Fig.3 Hardware construction of laser active detection control and processing system

PCI-1410 图像采集卡和 TDS3032B 数字示波器控制采用 NI 提供的驱动进行二次开发^[4],同步控制模块和功率能量采集模块根据协议开发驱动。经过测试,采集图片格式为 8 位灰度图像,图像分辨率 640×480 时,采集、处理、保存速率大于 25 f/s。设置回波波形为 10 000 点标准采集时,读取一次数据所需时间约为 0.6 s,时间由 10 Mbps 网络带宽限制。控制伺服系统进行方位 0°~180°、俯仰-3°~45°扫描需要时间约 3 s,扫描控制过程稳定。

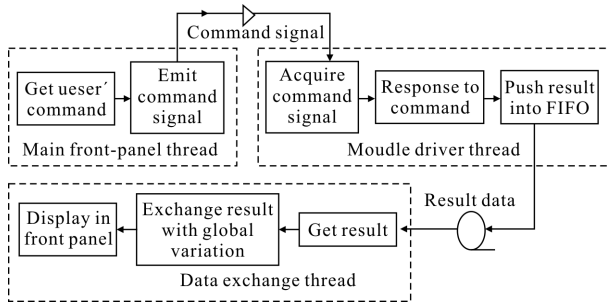


图 4 控制模块程序结构

Fig.4 Program construction of control module

2.2 信号处理模块设计与实现

信号处理模块包括图像信号处理和回波波形信号处理两部分,回波图像信号处理流程如图 5 所示。针对激光图像特点,采用基于模糊增强的预处理算法提高信噪比^[5],基于灰度累加的方法提取目标光斑,最后进行目标信噪比、灰度对比度和亮度失真度等特征参数计算^[6]。在 LabVIEW 平台利用 NI Vision 图像处理工具及通过 CIN 节点嵌入 C 语言代码完成算法实现,最大限度提高算法处理效率^[7]。

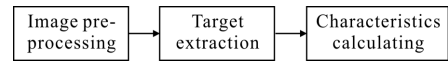


图 5 回波图像处理流程

Fig.5 Procedure of echo images processing

回波波形处理流程图如图 6 所示。根据系统特点,采用互相关算法进行目标信号探测,从激光器输出采样一路提取出参考信号,利用参考信号对目标回波进行互相关处理,根据噪声设定门限,判断目标是否存在并传递给交互面板进行探测结果显示,并对信号特征参量进行计算。处理中充分利用 LabVIEW 平台信号处理工具,提高信号处理效率。

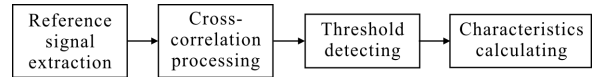


图 6 回波波形处理流程

Fig.6 Procedure of echo signal waveform processing

3 系统性能分析功能

运行时系统前面板如图 7 所示,面板分为系统



图 7 实验过程中的系统运行面板

Fig.7 Front panel of working system

控制及设备状态指示、功能模块选择和子模块控制显示三部分,完成人机交互和结果显示。

系统控制及设备状态显示部分用于对软件总运行状态进行控制,同时实时显示各主要设备的运行状态以及目标是否存在,通过 LabVIEW 子标签加载不同子模块控制显示界面进行操作和结果显示。通过界面可以实时控制转台、激光器,显示目标回波时域波形、图像、信号能量以及处理结果,根据用户要求对数据进行现场处理或存储后进行事后处理,并

可以对存储数据进行回放。

系统设计过程中利用事件结构以及信号量、队列等同步技术提高系统对用户指令的响应速度,利用多线程技术,提高系统并行度和执行处理效率。

系统软件整体架构如图 8 所示,利用主控线程获取用户指令,通过信号量将指令发送给相应子控制模块控制线程,通过数据交换线程实现主界面与各子模块的数据交换。利用这种架构保证系统具有强大的可扩展性,加入新模块时只需要在程序中加

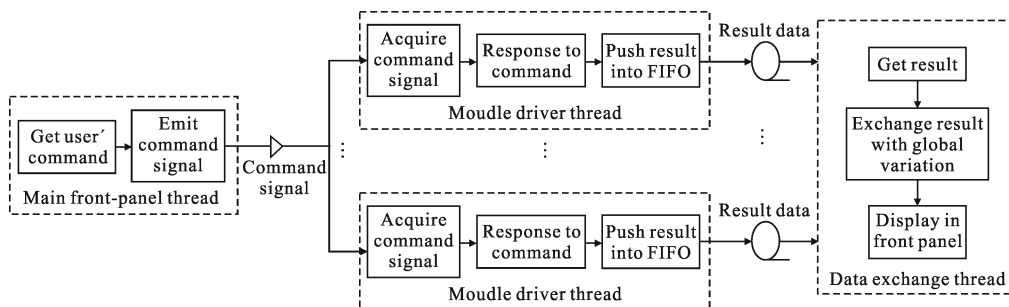


图 8 系统软件整体架构

Fig.8 Main construction of software system

入新模块的控制线程和主控的同步信号量,将新模块的交换数据加入到数据交换线程即可。

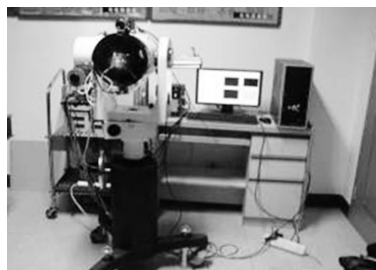
在信号处理时利用 LabVIEW 信号处理工具包及 CIN 节点等,最大限度提高计算速度。最后系统对各模块的异常情况进行判断,并作异常处理,使系统可以稳定运行。

4 实验验证

利用该系统进行激光主动探测实验,实验设备如图 9 所示,其中(a)为主动探测系统,包括伺服系统、激光光源、同步控制板、CCD、雪崩管探测器等,(b)为各类实验光学目标。

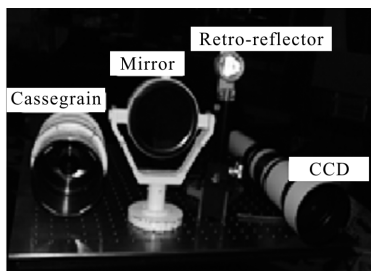
探测实验原理图如图 10 所示。532 nm 激光器发射调制激光脉冲,出射光通过 50/50 分束镜变成两路信号,一路通过探测器引入示波器作为参考信号,另一路经过扩束镜后发射至目标端,由于伺服系统硬件平台限制,在探测端不能再加入分光镜,所以在目标端平台上加入分束镜,目标反射光束一部分直接反射回成像探测系统,经 CCD 接入图像采集卡,另一部分由反射镜反射回非成像探测系统,经光电探测器接入示波

器作为回波信号,中心控制处理系统读取示波器和采集卡数据进行处理,分析目标特性。



(a) 成像探测平台

(a) Echo imaging detection platform



(b) 实验用探测目标

(b) Targets of experiment

图 9 主动探测实验设备

Fig.9 Experiment instruments of laser active detection

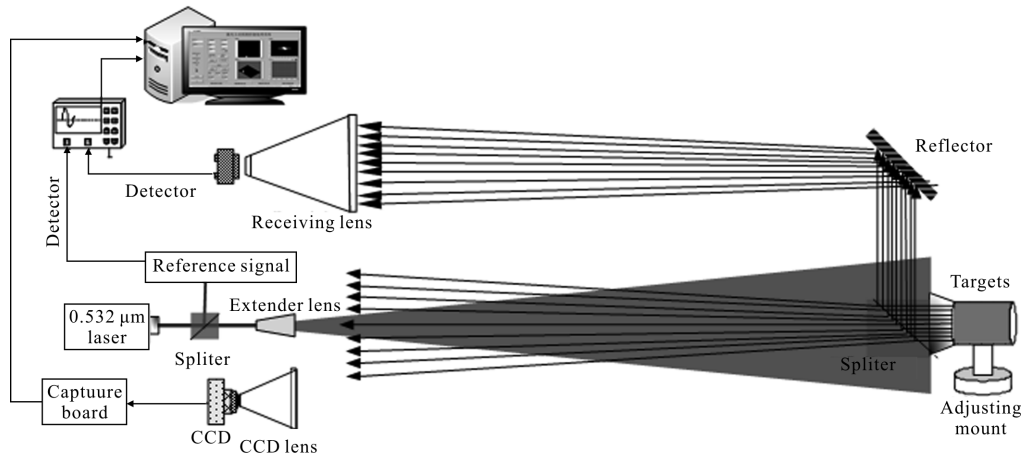


图 10 激光主动探测实验原理图

Fig.10 Principle diagram of laser active detection experiment

实验中目标距离约为 10m, 激光器波长 532 nm, 脉冲宽度 40 ns, 设置调制频率为 50 Hz, 出射激光功率 170 mW, 脉冲信号采样点数为 20, 分别对正入射下的角反射器、卡塞格伦镜头、平面镜和平板发射激光, 以分析不同目标的激光回波信号特性。

4.1 非成像探测结果

采集到的主波波形及提取的脉冲参考信号波形分别如图 11 中(a)、(b)所示。参考信号与漫反射板及卡塞格伦镜头回波信号的互相关信号波形分别如图 12 中(a)、(b)所示。

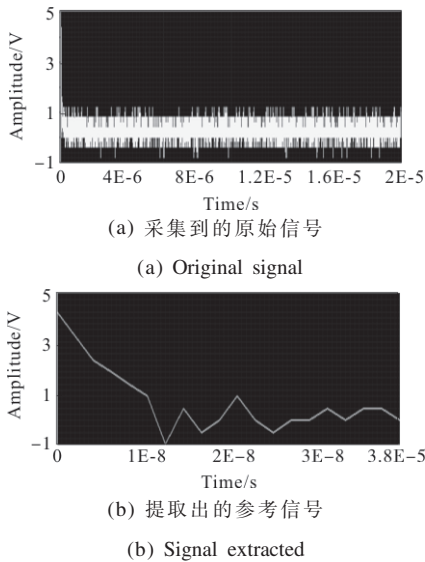


图 11 参考信号波形
Fig.11 Waveform of reference signal

从图中可以明显看出, 当有猫眼目标存在时, 参考信号与回波的互相关信号中出现明显的相关峰,

而漫反射目标信号则没有, 与理论相符。

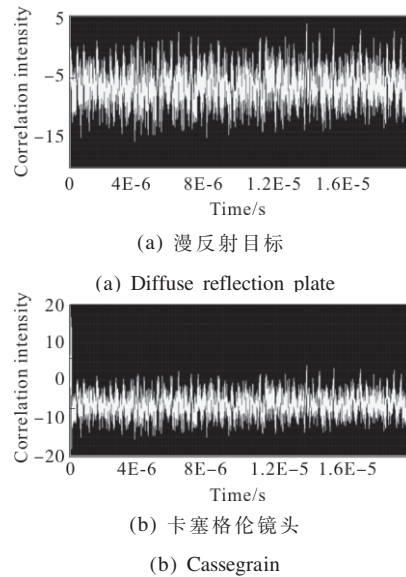


图 12 不同目标与参考信号的互相关波形
Fig.12 Cross-correlation waveforms of different targets' echo signal with reference signal

系统计算得到激光正入射不同目标时, 不同目标回波波形的特征参数如表 1 所示。

表 1 不同目标回波波形特征参数
Tab.1 Characteristics of different targets' echo signal waveform

	Max peak/V	Min peak/V	DC level/V	RMS/V
Cassegrain	2.4	-2.08	-0.19	0.58
Retro reflector	2.4	-2.36	-0.13	0.716
Mirror	2.6	-2.56	-0.14	0.71

激光正入射平面镜时,平面镜也表现出猫眼效应,所以从特征参数可以看出卡塞格伦镜头和角反射器与平面镜总体特征比较接近。由于平面镜有效面积比角反射器大,而角反射器大于卡塞格伦镜头,所以引起的闪烁效应平面镜最大,角反射器次之,卡塞格伦镜头最小,表现在回波幅值变化上与表 1 的数据一致。

4.2 成像探测结果

利用本系统控制 532 nm 激光器在实验室内进行主动成像探测实验,目标距离系统 10m,CCD 光学镜头口径 10cm。控制伺服系统进行方位扫描,得到不同入射角度目标反射回的激光光斑如图 13 所示。图中,(a)~(e)依次为 -5° , -2° , 0° , $+2^\circ$, $+5^\circ$ 入射角的 CCD 镜头回波图像。

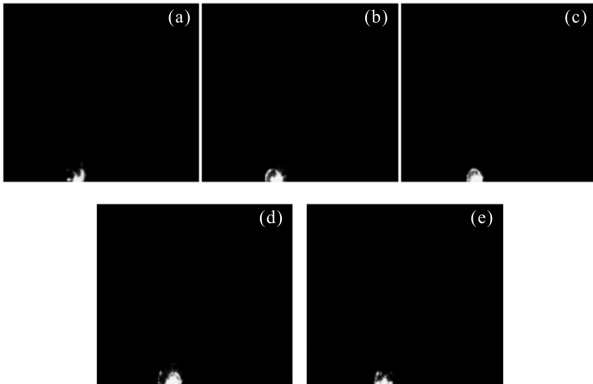


图 13 不同入射角度 CCD 镜头回波图像

Fig.13 CCD echo images at different incident angle

目标回波图像处理结果如表 2 所示,从结果可以看到,激光正入射 CCD 镜头时,回波功率最大,在噪声相当的情况下信噪比最高,对比度最高。入射角度越大,图像评价参数越差,入射角度大于 5° 时,回波信号极弱,用示波器不能探测到回波脉冲信号。探测结果与主动探测理论相符。

表 2 不同入射角度 CCD 镜头回波图像参数

Tab.2 Characteristics of CCD echo images at different incident angles

	-5°	-2°	0°	$+2^\circ$	$+5^\circ$
SNR	35.757 6	38.62	42.883 1	37.885	36.577 1
Gray	0.291	0.322 2	0.475 3	0.356	0.302 6
Intensity	0.996 1	0.993 1	0.981 3	0.993 8	0.995 4

5 结论

设计了基于 LabVIEW 平台的激光主动探测控制与处理系统,可以进行主动成像探测和非成像探测,通过前面板可以使用户进行探测过程控制,观测目标回波及回波信号特征。系统功能完整,扩展性强,运行效率高,稳定性好。经过测试,系统满足激光主动探测要求,现已用于激光主动探测实验研究。下一步可以改造目标回波波形接收系统,采用高速信号采集卡替代示波器,进一步提高系统性能。

参考文献:

- [1] Zhao Yanzhong, Sun Huayan, Song Fenghua, et al. Research and prospect of cat-eye effect used for active laser detection technique [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010(10): 38-47. (in Chinese)
赵延伸,孙华燕,宋丰华,等.猫眼效应用于激光主动探测技术的研究现状与发展趋势[J].*激光与光电子学进展*, 2010, (10): 38-47.
- [2] LabVIEW Basics I: introduction course [EB/OL]. <http://www.ni.com>. 2006. National Instruments Cooperation, 2006-03.
- [3] Zhang Laixian, Sun Huayan. Design of laser active detection platform based on LabVIEW[C]//ISTAI, 2010, 1: 266-271.
- [4] Zhang Laixian, Sun Huayan, Xu Jiawen. The design of laser atmosphere transmission characteristic measurement system based on virtual instrument [C]//SPIE, 2010, 7659: 76590G.
- [5] Zhang Zhiyang, Zhang Laixian, Liu Yao, et al. Laser atmosphere propagation spot image pre-processing method based on fuzzy enhancement [J]. *Microcomputer Applications*, 2011, 32(5): 27-31. (in Chinese)
张芝阳,张来线,刘垚,等.基于模糊增强的激光大气传输光斑预处理算法[J].*微计算机应用*, 2011, 32(5): 27-31.
- [6] Dai Dede, Sun Huayan, Han Yi, et al. Image quality assessment of laser active imaging system [J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(9): 986-990. (in Chinese)
戴得德,孙华燕,韩意,等.激光主动成像系统目标图像质量评价参数研究[J].*激光与红外*, 2009, 39(9): 986-990.
- [7] Cory L Clark. LabVIEW digital signal processing and digital communications [EB/OL].<http://dx.doi.org/10.1036/0071469664>. 2005.