

文章编号: 0258-7025(2008)06-0943-04

条纹管激光成像雷达数据处理系统分析与设计

李思宁 广宇昊 臧俊恒 刘金波

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘要 条纹管激光成像雷达(STIL)的大视场、高帧频、高空间分辨率和时间分辨率等特点要求其数据处理系统具有相应的高性能。通过简要分析条纹管激光成像雷达数据处理的内容及性能要求,对条纹管激光成像雷达数据处理系统进行了分析和设计。简要介绍了条纹管激光成像雷达的典型系统结构,通过详细分析条纹管激光成像雷达数据处理内容,将所需处理的数据分为延时触发信号和条纹图像两类分别进行研究。根据系统指标要求,对比不同时序控制方案的优缺点,设计了基于 Altera 可编程控制(CPLD)的高精度可调谐数字延时控制子系统,以保证系统各部件严格按既定时序运作,实时捕获目标条纹图像并进行处理;通过对比不同的图像处理系统实现方案,分析系统硬件成本、建立周期和开发难度等因素,设计了以智能相机为核心的条纹图像处理系统。在此基础上,初步建立起条纹管激光成像雷达数据处理硬件平台。

关键词 激光技术;激光成像雷达;条纹管;数据处理;系统设计

中图分类号 TN 958.98 **文献标识码** A

Analysis and Design of Data Processing System Based on Streak Tube Imaging Lidar

Li Sining Guang Yuhao Zang Junheng Liu Jinbo

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150080, China)

Abstract In view of features of streak tube imaging lidar (STIL), such as wide vision, high frame frequency, high spatial and time resolution, the corresponding high performance of the data processing system was demanded. By the analysis of the content and capability, the data processing system based on STIL was analyzed and designed. The structure of data processing system based on STIL was introduced, and by the detailed analysis of the content of data processing, the processing data styles including time-delayed trigger signal and streak imaging were separately studied. Then according to the demand of the system index and the contrast of different controlling methods, high precision and tuned digital time-delayed controlling sub-system based on Altera complex programmable logic device (CPLD) was designed in order to ensure every part of the system operating strictly on the timing, capture the streak imaging of the object real time and do the processing. By the contrast of different imaging system methods and the analysis of factors including the hardware cost, establishment cycle and exploitation difficulty, STIL system taking the smart camera for its core was designed. The hardware platform of data processing system based on STIL was initially built.

Key words laser technique; laser imaging lidar; streak tube; data processing; system design

1 引言

条纹管激光成像雷达(STIL)是一种新型的闪烁式非扫描激光成像雷达技术,相对于扫描式激光成像技术和传统的非扫描激光成像系统,它具有大视场、高帧频等优势,因此,对其数据处理系统硬件和软件的性能提出了比较高的要求。因此,需要开

展对条纹管激光成像系统硬件的研究工作,着重解决条纹管激光成像系统数据处理的硬件实现问题。

2 条纹管激光成像数据处理系统分析

条纹管激光成像雷达主要由发射系统、接收系统和数据处理系统等主要部分组成^[1],如图 1 所示,

收稿日期:2007-09-03;收到修改稿日期:2007-12-03

作者简介:李思宁(1968—),男,朝鲜族,黑龙江人,副教授,博士,主要从事激光成像雷达技术方面的研究。

E-mail: Siningli@sina.com

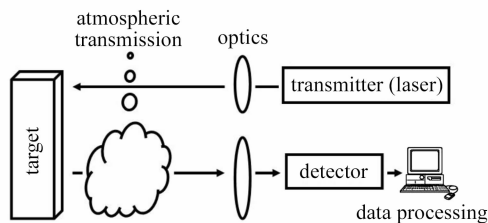


图 1 条纹管激光成像雷达结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the structure of STIL

其数据处理系统的主要任务是:1) 严格保证系统各器件的工作时序;2) 实时捕获目标条纹图像并进行处理,得到目标距离像和强度像。

条纹管激光成像体制具有大视场、高帧频的特点,对其数据处理系统硬件性能提出了以下几方面要求:

1) 速度要求

条纹管激光成像是一种非扫描快速成像技术,相对于点扫描式激光成像技术见诸报道的最高成像帧频 20 Hz 而言,其成像帧频可达上百赫兹。这就要求数据处理硬件具有卓越的处理性能和稳定的运行表现。

2) 时序要求

延时信号准确,达到系统延时精度要求,并且能够根据需要动态调整,保证条纹管激光成像系统各部件按确定时序正常工作。

3) 质量要求

图像采集与处理结果要能够准确、有效地反映目标特征信息,才能为后续目标特征识别及控制策略制定提供可靠依据,使处理结果真实可信。

4) 扩展性要求

数据处理硬件需要提供丰富的控制 I/O 接口,方便在后续工作中对系统进行扩展和升级,如数据处理硬件需要提供高速控制信号输出接口,根据数据处理结果向控制机构发送控制信号。

条纹管激光成像系统中需要处理的数据有两种类型:延时信号和条纹图像。延时信号为整个激光成像系统正常运作提供时序控制,条纹图像包含目标特征信息,是目标距离像和强度像重构的原始数据和目标特征分析的重要依据。因此,条纹管激光成像系统数据处理系统的关键部分为延时控制子系统和条纹图像处理子系统。

3 延时控制子系统设计

条纹管激光成像系统中激光器按脉冲方式工作,一个成像工作周期包括激光脉冲输出,目标反射

入射激光,条纹管对回波激光进行时间分辨,CCD 相机获取条纹图像,根据条纹图像进行目标距离像和强度像重构等过程。由于成像帧频高,需要严格同步激光器、条纹管和 CCD 相机的工作时序,才能成功获得条纹图像。

条纹管激光成像属于主动成像,每个成像工作周期都是从激光脉冲发射时刻开始的,所以系统选择激光脉冲输出时刻作为时间基准,根据系统探测距离的要求,通过延时器对基准信号作不同延时后分别输出到条纹管,CCD 相机和外触发电路,使条纹管和 CCD 相机在指定时序开始工作,从而保证预定探测距离的目标反射激光信号能够被条纹管感应,同时能够被 CCD 相机摄取。

通过以上分析,条纹管激光成像系统的延时控制子系统需要满足以下要求:

1) 接口要求:一路输入,两路输出;

2) 可调谐要求:两路延时时间能够动态调整;

3) 精度要求:延时控制精度达到系统时间分辨力指标要求。

一般的延时控制方案采用模拟电路延时或数字电路延时来实现。由于模拟电路延时精度难以达到系统指标要求,而且要实现手动和通过计算机接口可动态调谐会使电路结构十分复杂,设计和调试困难,而基于高频高稳定度的晶体振荡器的数字式延时控制方案则相对易于实现^[2]。

如图 2 所示,在数字式延时控制方案中,选择 Altera 公司生产的 EPM240T100C3 型高性能可编程控制(CPLD)芯片,配合高频晶体振荡器,并且考虑到了可调谐要求。

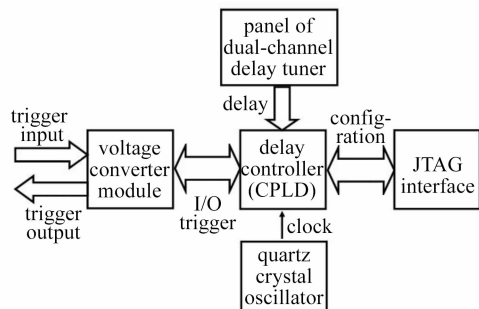


图 2 高精度、可调谐数字式延时控制子系统结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the structure of high-accuracy tunable digital delay controller

具体的实现方案中,可编程控制芯片作为该系统的核心器件,实现系统的延时逻辑与控制;高精度晶体振荡器提供系统工作的时钟信号;电压转换模块提供输入输出触发电压转换,即将输入触发信号

电压转换成可编程控制器标准输入电压 3.3 V, 将延时后的输出触发脉冲转换为标准的 TTL 制式; JTAG 接口用于将延时程序下载到可编程控制芯片中; 双路延时控制面板用于分别设定两路延时输出的延时时间, 提供通过拨码开关手动设置和通过输入接口利用计算机等其他设备设置两种方式。

4 条纹图像处理子系统设计

通常的图像数据处理系统由相机、图像采集卡、图像处理设备等三部分组成, 具体结构有:

- 1) 基于个人计算机(PC)的图像处理系统;
- 2) 基于嵌入式图像处理平台的图像处理系统;
- 3) 智能相机^[3]一体化图像处理系统。

前两种图像处理系统结构共同的缺点是图像感知、采集和处理分离, 存在图像格式转换和特定接口传输速度瓶颈的限制, 无法达到条纹管激光成像系

表 1 传统的分离式图像处理系统与基于智能相机的条纹图像处理系统的对比

Table 1 Comparison of classical separated image processing system and streak image processing system based on smart camera

Item	Traditional separated data processing system of streak	Streak data processing system using smart camera
Structure	Huge	Ultra-compact
Difficulty of hardware development	Difficult, high failure rate	Mature, stable, easy
Difficulty of programming	Difficult	Complete Lib&.operating system support, object oriented programming, easy
Development cycle	Long	Short
Scalability	Bad	Good

由表 1 可知, 由于智能相机除了提供强大的图像捕获和图像处理的硬件和软件支持外, 还提供了非常丰富的接口, 可以用来连接多种工业标准设备, 从而实现与外部设备的交互, 大大扩展了系统应用范围。因此, 基于智能相机建立起来的条纹管激光成像数据处理系统已经不仅仅是一个简单的图像处理系统, 它还可以完成根据条纹图像处理及目标识别的结果对外部设备进行实时控制的任务, 为条纹管激光成像系统数据处理技术的后续研究工作提供了可靠的支持, 能够满足条纹图像处理的任务要求。

由上述分析, 智能相机一体化图像处理系统是一种实际可行的条纹图像处理系统解决方案。根据市场调研结果, 德国 Vision Components 公司生产的智能相机性能卓越, 价格甚至比同帧频的模拟相机还要低, 因此, 选择 Vision Components 公司的最新产品 VC4458E 作为搭建条纹管激光成像数据处理系统的核心部件, 其主要性能参数为: 图像大小 640(H) Pixel \times 480(V) Pixel, 快门速度 5 μ s ~

统高帧频图像采集与处理的要求, 同时, 市场上达到 100 frame/s 以上的高帧频 CCD 相机价格昂贵, 系统搭建成本高。另外, 前两种图像处理系统主要用于在实验室中进行科学研究, 无法满足室外应用的稳定性、可靠性等要求, 构建时间较长, 调试和开发难度较大^[4~6]。

而智能相机的高度集成化解决了前两种的缺陷, 可以直接在内存中对图像传感器捕获的图像数据进行操作, 不需要进行图像格式转换和传输, 还可以直接与外部监视器连接进行实时显示处理结果, 与其他控制机构进行通信, 同时, 由于应用了最新的专用数字信号处理芯片, 其运算速度可与市场上最新的个人计算机媲美, 近年来, 已经在多个领域得到广泛应用^[7~10]。

表 1 给出了传统的分离式图像数据处理系统和以智能相机为核心的条纹图像数据处理系统的对比。

20 s, 成像帧频 242 frame/s (在 2 倍 binning 模式下可以达到 484 frame/s), 处理器 8000 MIPS, 1 GHz Texas Instruments TMS320C64xx, 通信接口 100 Mbit 以太网 + RS232, 配套软件为多任务、实时操作系统 VCRT5.25, 高性能图像处理库 VCLib3.03, 体积约 110 mm \times 50 mm \times 35 mm, 重量约 250 g。

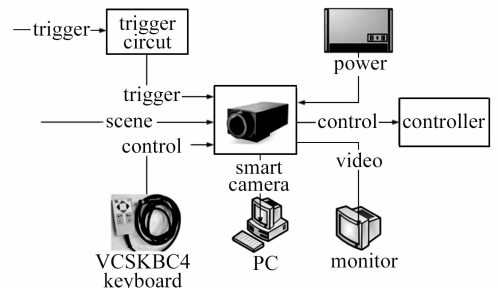


图 3 基于智能相机的条纹图像处理子系统结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the structure of streak image processing system based on smart camera

基于智能相机的条纹图像处理系统结构如图 3 所示,可以看到,该系统以智能相机为核心器件。智能相机可以接收前端荧光屏上的场景光信号,同时受外围的触发信号,现场控制信号,个人计算机消息控制,在智能相机内部完成条纹图像的处理后,将前端场景转化为视频信号输出,同时将对视频信号分析所得的控制信号传递给控制系统,从而完成条纹图像的处理过程。

通过上述设计,在延时控制子系统和条纹图像处理子系统的基础上搭建起一套条纹管激光成像数据处理系统,其能够完成条纹管激光成像数据处理的 100Hz 成像帧频;时序准确可调;成像质量优良;扩展性良好等要求,拥有系统所需的硬件性能,是一套可行的条纹管激光成像数据处理系统构建方案。

5 结 论

数据处理是条纹管激光成像系统的核心任务,其硬件平台的性能直接影响数据处理的速度和质量。对条纹管激光成像数据处理系统进行了详细的系统分析,综合考虑硬件性能、搭建成本、开发难度多种因素,并分别提出了延时控制子系统和条纹图像处理子系统的设计方案,从而,完成了条纹管激光成像数据处理系统的设计,为后续的数据处理系统构建和条纹图像处理软件的研究提供了一个必要的前提。

参 考 文 献

- 1 Sining Li, Qi Wang, Jinbo Liu. Research of range resolution of streak tube imaging system[C]. *SPIE*, 2007, **6279**:62790C
- 2 A. Yair, M. Steinkoler. Improved pulse delay circuit for phase-controlled rectifiers and AC voltage controllers [J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation*, 1977, **IECI-24**(2):200~202
- 3 W. Wolf, B. Ozer, T. Lv. Smart cameras as embedded systems [J]. *Computer*, 2002, (9):48~53
- 4 A. Mudassar, A. R. Harvey, A. H. Greenaway *et al.*. Resolution beyond classical limits with spatial frequency heterodyning [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(3):148~151
- 5 Sun Jianfeng, Li Qi, Lu Wei *et al.*. Implementing the algorithm of target recognition for laser imaging radar based on digital signal processing [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(11):1467~1471
孙剑峰,李琦,陆威等. 基于数字信号处理器的激光成像雷达目标识别算法实现[J]. *中国激光*, 2006, **33**(11):1467~1471
- 6 Li Sining, Wang Qi, Liu Jinbo *et al.*. Experimental research on resolution of streak tube imaging lidar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(6):1023~1026
李思宁,王 骐,刘金波等. 条纹管激光成像系统空间分辨力实验研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(6):1023~1026
- 7 M. Bramberger, A. Doblander, A. Maier *et al.*. Distributed embedded smart cameras for surveillance applications [J]. *Computer*, 2006, (2):68~75
- 8 F. Delgado, J. White, M. F. Abemathy *et al.*. Smart camera system for aircraft and spacecraft[C]. *SPIE*, 2003, **5081**:102~108
- 9 R. Kleihorst, M. Reavers, B. Kröse *et al.*. A smart camera for face recognition [C]. 2004 International Conference of Image Processing (ICIP), Singapore, 2004. 2849~2852
- 10 R. Kleihorst, B. Schueler, A. Danilin. Architecture and applications of wireless smart cameras (Networks) [C]. ICASSP 2007. 2007, (4):1373~1376