

激光距离选通成像同步控制系统的设计与实现*

赵岩^{1,2}, 翟百臣³, 王建立¹, 陈涛¹

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;
2.中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3.北京控制工程研究所, 北京 100080)

摘要: 针对传统的激光距离选通成像系统需要已知距离及精确的激光器传输时间延迟等先决条件, 设计并实现了一种基于 DSP 的激光距离选通成像系统, 并对其同步控制方法进行详细地探讨。该方案利用快速 DSP 控制器完成测距和距离延迟, 产生纳秒级的选通脉冲选通 ICCD 摄像机, 有效地实现了距离选通及精确的图像清晰度控制, 在无需任何先决条件的情况下, 可以获得目标的距离信息和距离选通图像。

关键词: 激光距离选通成像; 距离选通技术; 距离选通同步控制

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2005)05-0526-04

Design and implementation of the laser range-gating imaging synchronization control system*

ZHAO Yan^{1,2}, ZHAI Bai-chen³, WANG Jian-li¹, CHEN Tao¹

(1.Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China; 2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3.Beijing Institute of Control Engineering, Beijing 100080, China)

Abstract: To overcome many shortcomings of the conventional LRG imaging system, such as need to know preset range delay and laser inner time delay. A kind of LRG imaging system based on the DSP is designed and realized, and its synchronization control technique is researched. The fast DSP controller is used to accomplish range measurement and range delay and to provide several nanoseconds gated pulse to gate ICCD camera. Range-gating and the precision image definition control can be realized effectively, and the targets' range information and range-gating image are obtained without any preconditions.

Key words: LRG imaging system; Range-gating technique; Range-gating synchronization control

0 引言

在低照度条件下, 被动成像系统不能获得远距离暗目标的高分辨率, 限制了对远距离目标成像的测量和精确的跟踪能力, 且红外成像系统也受到温度对比低的限制。采用激光束主动照明, 是对远距离暗目标

进行成像探测和精确跟踪的有效途径。

根据激光距离选通成像系统的成像关系, 理论上, 与非距离选通方式相比, 距离选通技术可以有效地抑制后向散射等背景噪声且可提高激光成像系统的信噪比, 并且距离门宽越窄, 后向散射越小, 当门宽为零时, 后向散射趋于零, 故可在激光束主动照明中

收稿日期: 2004-12-28; 修订日期: 2005-02-21

* 基金项目: “十五”预研项目(41101050203)

作者简介: 赵岩(1975-), 女, 吉林长春人, 博士后, 主要从事 DSP 设计及数字信号处理等方面的研究。

得到有效的应用。传统的激光距离选通成像系统存在许多缺陷,例如需要已知距离及精确的激光器传输时间延迟等先决条件,才可以获得目标的距离信息和距离选通图像,这给实际操作带来许多不便。为此,设计了一种基于 DSP 的激光距离选通成像系统,在无需任何先决条件的情况下,可以获得目标的距离信息和距离选通图像,随后对其关键技术——同步控制方法进行了详细的研究。

一般的 CCD 摄像机,其帧扫描周期约为几十毫秒,而激光脉冲为纳秒级,再加上光脉冲到达 CCD 的随机性,导致激光脉冲可能有一部分落入 CCD 的积分时间区,探测不到目标反射回来的激光信号;并且由于积分时间为几十毫秒,即使探测到激光回波信号,也包含大部分后向散射光,不能起到选通的作用。所以必须缩短 CCD 的积分时间。为此选用 ICCD 摄像机和激光器构成了激光距离选通成像系统,实践证明它可以很方便地实现选通。在此基础之上,利用快速 DSP 控制器(TMS320F2812)产生的选通脉冲选通 ICCD 摄像机,并完成测距和距离延迟,有效地实现距离选通及精确的图像清晰度控制。在详细阐述了其实现过程的基础上,给出了具体的软件实现流程图。

1 激光距离选通成像原理^[1]

通过调节发射激光束的发散角,将目标全部或关键特征部位照亮,实现对目标的成像和精确跟踪测量。激光束在传输到目标的过程中,其能量被悬浮在大气中的气溶胶、灰尘、烟雾等微粒所散射,更有甚者,这种后向散射可能完全淹没目标回波信号。为了减小后向散射的影响,采用了距离选通技术。激光器发射很强的短脉冲,对目标进行照射,由目标反射的激光返回到摄像机。当激光脉冲处于往返途中时,摄像机选通门或光闸关闭,挡住了来自气体中的悬浮微粒的后向散射光。当反射光到达摄像机时,选通门开启,让来自目标的反射光进入摄像机。根据所要求的景深,摄像机快门开启一段时间,可以获得从目标反射回来的光所形成的图像,从而排除后向散射光(“雾效应”),这样形成的目标图像主要与距离选通时间内的反射光有关。可以实时改变激光脉冲的持续时间、快门开启之前的延迟时间和快门开启时间,对所定义

距离和所需景深的目标进行成像。距离分辨率由激光脉冲宽度和探测器选通门宽度决定,宽度为 1 ns 激光脉冲和宽度为 1 ns 成像仪结合,能提供 30~60 cm 的距离分辨率。如果选通门宽度和激光脉冲宽度足够短,那么就能去除大部分后向散射,大大提高返回信号的信噪比。

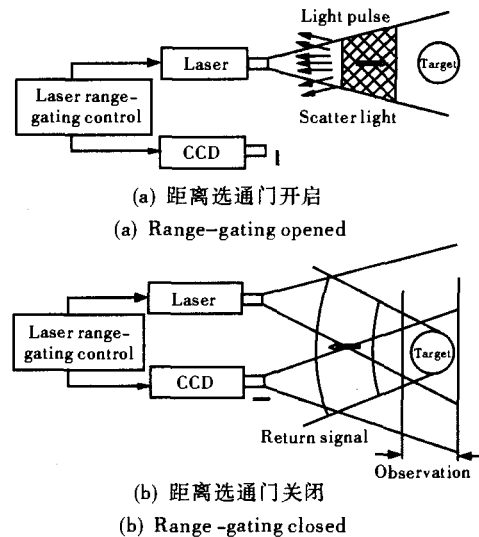


图1 距离选通成像原理图

Fig.1 Schematic representation of range-gating imaging

2 选通成像同步控制系统的设计

采用图 1 所示的同步控制方案必须考虑激光器、数字延迟脉冲发生器和像增强器驱动电路的时间延迟,并且不能提供距离信息。通常数字延迟脉冲发生器和像增强器驱动电路的时间延迟容易精确测量得到,但是激光器的时间延迟一般为几十毫秒,而且受到激光器的抖动和工作温度等多种因素的影响,很难得到可靠的精确时间延迟。为了克服激光器的时间延迟,并且提供距离信息,设计了一种新型的激光距离选通成像同步控制方案。在此方案中,控制核心为可以产生几十纳秒的选通脉冲的 DSP 控制器,它能够与激光器发出的激光脉冲和摄像机的选通门宽相匹配,系统框图如图 2 所示。

工作时激光器首先向目标发射脉冲激光束,两个 APD 管探测到的信号分别作为距离计数的开始和结束信号,由 DSP 控制器完成距离计数,把与距离对应的时间值装入 DSP 内部的定时器作为距离延迟时间初值。然后开始选通成像过程,激光器发射脉冲激光

束,经分光后,一小部分光被 APD 管接收,经触发电路为 DSP 控制器提供定时基准脉冲,启动 DSP 内部的定时器,以距离延迟时间为初值开始作递减计数。当从目标反射回来的脉冲激光到达摄像机时,距离延迟时间计数结束,DSP 控制器产生选通脉冲打开摄像机的选通门,让来自目标的反射光进入摄像机,输出信号经图像采集与处理后,计算机显示出距离选通图像。该方案中,APD 管和触发电路的时间延迟易测得,不需考虑激光器的时间延迟,而且能提供距离信息。

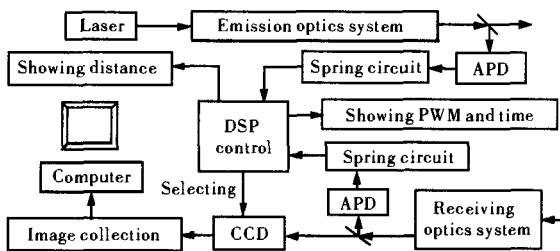


图 2 新型激光距离选通成像系统框图

Fig.2 Schematic diagram of novel laser range-gating imaging system

3 选通成像同步控制系统的实现

距离选通同步控制技术是激光距离选通成像系统的关键技术之一,直接关系到能否获得目标的选通图像。对于纳秒级脉冲激光,如果想获得照明目标的选通图像,首先需要解决激光器和摄像机的同步问题,其次需要在软件上对选通距离与延时时间进行严格的同步控制。

3.1 摄像机的选择

一般的 CCD 摄像机,其帧扫描周期约为几十毫秒,而激光脉冲为纳秒级,再加上光脉冲到达 CCD 的随机性,导致激光脉冲可能有一部分落入 CCD 的积分时间区,探测不到目标反射回来的激光信号;并且由于积分时间为几十毫秒,即使探测到激光回波信号,也包含大部分后向散射光,故无法与激光器同步,不能起到选通的作用,所以必须缩短 CCD 的积分时间。为此采用带电子快门的 CCD。但是目前最快的电子快门速度为几十微秒,与纳秒级激光脉冲相比,不能满足选通要求。而采用在 CCD 摄像机前加装选通像增强器,像增强器能够在很短的时间内(通常 5 ns)打开或关闭,可以实现纳秒级选通。由于选通减小了

CCD 的积分时间,相应降低了 CCD 摄像机的有效灵敏度,像增强器的高增益又可以补偿入射光的减弱而引起的灵敏度降低。故选通像增强器既可以增加光探测器的增益,又能起到快门的作用。CCD 摄像机通过光纤与微通道板式图像增强器相连,就构成了 ICCD 摄像机。由于接收的光信号在到达 CCD 之前就进行了“光”放大,所以灵敏度高,而且微通道板像增强器具有短时间内开启和关断的功能,可以实现快速选通。故采用 ICCD 摄像机和激光器构成的激光距离选通成像系统可以很方便地实现选通。

3.2 软件上的同步控制

在上述方案的实现过程中,选用的 DSP 控制器为 TMS320F2812,其时钟周期为 150 MHz,指令周期为 3.33 ns;ICCD 摄像机为 Andor DH734-18F-03,光学门宽度为 5 ns。

为了产生与光学门值相匹配的选通脉冲,选用与上述 DSP 控制器相配合的 100 MHz 的晶阵,经 DSP 内部二倍频后,实际系统执行过程中的软件运行指令周期恰为 5 ns,满足了系统设计的需要。另外,为了满足距离选通图像清晰度可控的要求,在硬件设计上采用了按键控制方式,根据屏幕实际显示出的选通图像效果,不断调整按键控制下的延时时间,以达到最佳成像的要求。按键的运用虽然可以简单、方便地控制选通图像的清晰度,但由于按键的按下与抬起都会有 10~20 ms 的抖动毛刺存在,所以,为了获取稳定的按键信息,必须避开这段抖动期。去抖动的方法有很多种,如使用 R-S 触发器的硬件方法、运用不同算法的各种软件方法等。在本文的同步控制中,采用了一种加固定延时去抖动的方法,它借助于 DSP 内部强大的定时器资源,运用简单的延时就完成了去抖动。该方法虽然简单,但与其他方法相比耗时更多。对于本系统,在图像清晰度调试过程中,由于处理按键时,软件不需执行其他功能,且每次复位后,只处理一次按键,而在激光器向目标发射脉冲激光束后,又无须执行按键处理部分,故此过程中,软件去抖动的方法不会耗费系统的有效运行时间;在图像清晰度调试好后,系统的运行参数均已固定,无须重新调整,故每次操作时,不用考虑去除按键抖动的问题,也不会耗时。从上面分析可知:这种利用定时器软件延时以去除抖动的方法,适合本系统的按键处理。具体的软件执行情况,如图 3 所示。

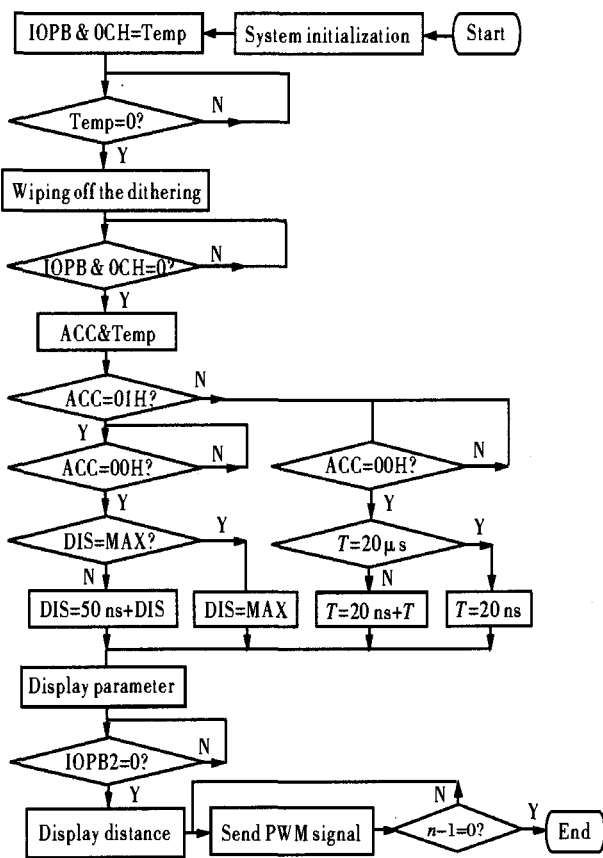


图3 激光距离选通成像同步控制系统流程图

Fig.3 Schematic diagram of the laser range-gating imaging synchronization control system

在图3中, n 为连续发送 PWM 信号的个数,其取值由选通图像的需要而定;MAX 为选通距离 DIS 的最大值。整个系统工作过程为:系统上电后,DSP 自动处理按键程序,并显示当前的 PWM 周期及脉宽值,再以已确定的参数为依据,发送距离信息和连续不断的 PWM 调宽波,满足选通图像的需要。在硬件上,将按键 1 连接在 DSP 的 IOPB0 上,用来控制选通图像的距离延时时间;将按键 2 连接在 DSP 的 IOPB1 上,用来控制 PWM 信号中高电平的持续时间。触发电路的接收端被连在 DSP 的 IOPB2 上,故软件上通过查询该口的状态,即可以知道激光器是否发送完距离信息。由于激光器发送发射脉冲激光束的时间可调,故同步控制系统的距离信息可变。在距离延迟时间计数及显示结束后,DSP 控制器启动通用计时比较器,产生 PWM 选通脉冲打开摄像机的选通门。变占空比的 PWM 脉冲周期 T 由激光器的周期确定,其高电平持

续时间 t 由实际成像区的有效宽度确定。通过对系统的分析,选用的参数为: $T=1\text{ ms}$, $t=20\text{ ns}\sim 20\text{ }\mu\text{s}$ 。若此时显示的选通图像不能满足要求,则需重新给系统复位,通过调整按键控制下的 DIS 值和 t 值,并按照新的参数发送 PWM 信号,以更新原有的选通图像。反复重复上述过程,直至得到满意的选通图像为止。

4 结束语

理论上,采用距离选通技术可以有效地抑制后向散射等背景噪声,使成像系统获得较高的信噪比,获得远距离暗目标的高分辨率图像。设计了一种激光距离选通成像同步控制系统,并利用快速 DSP 精确地实现了距离选通,得到了准确的距离信息和清晰的距离选通图像。该系统简单方便、可以实时地改变当前的距离值及调整选通图像的清晰度、直观地显示当前的信息状态,可以广泛地应用于对远距离暗目标进行成像探测和精确跟踪的系统中。

参考文献:

- [1] Bonnier D,Larochelle V. A range-gated active imaging system for search and rescue,and surveillance operations [A].Proc SPIE [C].1996, 2744.134-145.
- [2] Steinvall O,Olsson H,Bolander G,et al.Gated viewing for target detection and target recognition[A].Proc SPIE[C].1999,3707.432-448.
- [3] Texas Instruments.TMS320C28X DSP CPU and Instruction Set Reference Guide[Z].Dallas :Texas Instruments,2002.
- [4] CHEN Zhi-bin,LIANG Yan.Automatic testing technology about resolution of aiming system of laser range finder[J].Infrared and Laser Engineering (陈志斌,梁艳.激光测距机瞄准系统分辨率全自动检测技术研究.红外与激光工程),2004,33(5): 453-457.
- [5] YANG Zhao,SUN Dong-song,LI Qiang,et al.Retrieval of extinction coefficient for imaging laser radar[J].Infrared and Laser Engineering (杨昭,孙东松,李强,等.成像激光雷达大气消光系数的反演方法.红外与激光工程),2004,33(3): 239-242.
- [6] LI Zi-qin,LI Qi,CHENG Xiang-yang,et al.Image geometry amending algorithm for laser imaging system [J].Infrared and Laser Engineering (李自勤,李琦,成向阳,等.激光成像系统图像几何失真校正算法.红外与激光工程),2005,34(2): 146-150.