

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0284-03

一种改进的基于 DSP 的激光距离选通成像系统

徐效文¹, 郭劲¹, 傅有余¹, 张伟²

(¹中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)
(²中国科学院上海光学精密机械研究所联合实验室, 上海 201800)

摘要 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。从激光距离选通成像系统的成像关系出发, 分析了距离选通方式和非距离选通方式下的激光距离选通成像系统的信噪比, 从理论上说明了采用距离选通技术可以有效地抑制后向散射等背景噪声。讨论了激光距离选通成像关键技术, 分析了传统的激光距离选通成像系统的缺点, 提出了一种改进的基于数字信号处理(DSP)的激光距离选通成像系统。该系统利用快速 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, 实现距离选通。该系统克服了传统的激光距离选通成像系统需要已知距离, 需要精确测量激光器的传输时间延迟等缺点, 可以获得目标的距离信息和距离选通图像。

关键词 信号检测; 激光距离选通成像; 距离选通技术; 距离选通同步控制; 激光照明

中图分类号 TN249; TN958.98

文献标识码 A

An Improved Laser Range Gated Imaging System Based on DSP

XU Xiao-wen¹, GUO Jin¹, FU You-yu¹, ZHANG Wei²

(¹Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, The Chinese Academy of Sciences,
Changchun, Jilin 130033, China)
(²The Joint Laboratory for High Power Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract It is an effective method to image and track the distant dark targets by using the laser beam to illuminate them. The SNR of the laser range gated imaging system with range gating and non-range gating are analyzed. It is demonstrated that range gating greatly reduces the lights backscattered by aerosols. The key techniques of the laser range gated imaging system are discussed. The advantages and disadvantages of the conventional laser range gated imaging system are analyzed. An improved laser range gated imaging system based on DSP is proposed. This system uses the fast DSP controller to accomplish range measurement and range delay and to provide several nanoseconds gated pulse to gate ICCD camera. It overcomes some shortcomings of the conventional laser range gated imaging systems, such as need to know preset range delay and laser inner time delay. It can obtain the targets' range information and range-gated image.

Key words signal detection; LRG imaging system; range gating; range-gated synchronization control; laser illumination

1 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图像, 限制了对远距离目标成像测量和精确跟踪能力, 这时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。

从激光距离选通成像系统的成像关系出发, 分析了距离选通方式和非距离选通方式下的激光成像系统的信噪比, 从理论上说明了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。讨论了激光距离选通成像关键

技术, 分析了传统的激光距离选通成像系统的缺点, 提出了一种改进的基于数字信号处理(DSP)激光距离选通成像系统方案。该方案克服了传统的激光距离选通成像系统需要已知距离, 需要精确测量激光器的传输时间延迟等缺点, 可以自动完成测距和距离选通。

2 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的目的。激光束在传输过程中, 其能量被悬浮

作者简介: 徐效文(1978-), 男, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生, 主要从事主动成像技术研究。

E-mail: xuxiaowencn@sohu.com

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,这样就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,可以获得从感兴趣的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,短到仅仅目标附近的反射光才能到达探测器,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。

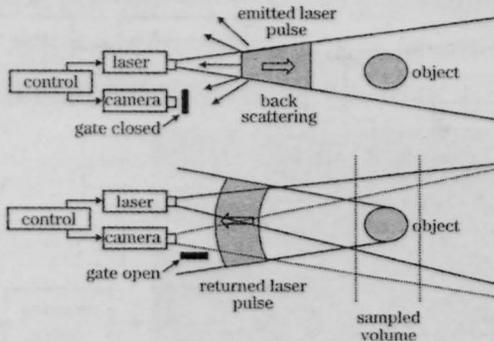


图 1 距离选通成像原理图

Fig.1 Schematic representation of range-gating

3 激光距离选通成像系统的信噪比分析

3.1 目标信号能量^[2]

设接收系统效率为 η_R , 发射系统效率为 η_T , 激光发射功率为 $P_s(t)=P_t \cdot p(t)$, 激光束立体角为 Ω_{laser} , 激光束有效截面为 A_Δ , 接收系统的接收面积为 A_r , 目标距离为 R , $g(t)$ 为门函数, PRF 为脉冲重复频率, σ_{ext} 为大气消光系数, 在测量时间 T 内所接收到的目标信号能量通常可以写为

$$E_{target} = PRF \cdot T_o \cdot \eta_T \cdot \eta_R \cdot \frac{A_\Delta}{f^2 N_p^2 \cdot \Omega_{laser} R^2} \cdot \frac{A_r}{R^2} \times \int_0^T g\left(t + \frac{2R}{c}\right) \cdot P_s(t) dt \cdot \exp\left[-2 \int_0^R \sigma_{ext}(R) dR\right] \quad (1)$$

对于平面漫射目标可以写为

$$A_\Delta = \frac{\rho \cos \theta}{\pi} \cdot A_{target};$$

(激光束面积大于目标面积 A_{target})

$$A_\Delta = \frac{\rho}{\pi} \cdot \Omega_{laser} R^2;$$

(激光束面积小于目标面积 A_{target})

3.2 后向散射能量^[2]

假定与距离门 $\Delta L_g = L_{g2} - L_{g1}$ 相对应的距离间隔内为单次散射, 则后向散射能量可以表示为

$$E_{bsc} = E_p A_r T_o \eta_T \eta_R \int_{L_{g1}}^{L_{g2}} \beta(r) \left[\exp\left[-2 \int_0^R \sigma_{ext}(r) dr\right] / R^2 \right] dR \quad (2)$$

这里 β 为后向散射系数。如果门宽很短, 可以近似认为

$$E_{bsc} = E_p A_r T_o \eta_T \eta_R \beta(R) \Delta L_g \frac{\exp(-2\sigma_{ext} L_{g1})}{L_{g1}^2} \quad (3)$$

(3)式表明, 距离选通技术可以大大减小后向散射光, 并且门宽越窄, 后向散射越小, 理论上门宽为零时, 后向散射趋于零。

3.3 信噪比计算

采用距离选通技术与不采用距离选通技术对应的激光成像系统信噪比分别为 SNR_{ry} 和 SNR_{nry} , 在夜间背景噪声主要为发射激光的散射光, 此时信噪比 SNR_{ry} 和 SNR_{nry} 分别为

$$SNR_{ry} = \frac{E_{target}}{E_{bsc}} = \frac{\frac{A_{target}}{\Omega_{laser} L_0^4} \exp\left[-2 \int_0^{L_0} \sigma_{ext}(r) dr\right]}{\int_{L_{g1}}^{L_{g2}} \beta(r) \left[\exp\left[-2 \int_0^R \sigma_{ext}(r) dr\right] / R^2 \right] dR} \quad (4)$$

$$SNR_{nry} = \frac{E_{target}}{E_{bsc}} = \frac{\frac{A_{target}}{\Omega_{laser} L_0^4} \exp\left[-2 \int_0^{L_0} \sigma_{ext}(r) dr\right]}{\int_0^L \beta(R) \left[\exp\left[-2 \int_0^R \sigma_{ext}(r) dr\right] / R^2 \right] dR} \quad (5)$$

4 关键技术

4.1 距离选通同步控制技术

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。一般 CCD 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 积分时间区,探测不到目标反射回来的激光信号;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。必须缩短 CCD 的积分时间,我们自然想到采用带电子快门的 CCD,但是目前最快的电子快门速度几十微秒,与纳秒级激光脉冲相比,不能满足选通要求。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(通常为 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,像增强器的高增益可以补偿入射光的减弱而引起的灵敏度降低。选通像增强器既可以增加光探测器的增益,又起到快门的作用。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。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。

4.2 ICCD 摄像机

通常 CCD 摄像机无法满足选通和远距离回波探测的灵敏度要求,在 CCD 的前部通过光纤耦合加上微通道板像增强器形成 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功能,可以实现快速选通。

5 改进的激光距离选通成像系统

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,我们提出了一种改进的基于 DSP 的激光距离选通成像同步控制方案,其中 DSP 控制器可以产生几十纳秒的选通脉冲,能够与激光器发出的激光脉冲和 ICCD 摄像机的选通门宽相匹配,

DSP 控制器选用 TMS320F2812,时钟周期为 150 MHz,ICCD 摄像机选用 Andor DH734-18F-03,光学门宽度为 5 ns,图 2 给出了系统框图。

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 ICCD 摄像机的选通门,让来自目标的反射光进入 ICCD 摄像机,输出信号经图像采集与处理后,在计算机上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容易测得,不须考虑激光器的时间延迟,而且能够提供距离信息。

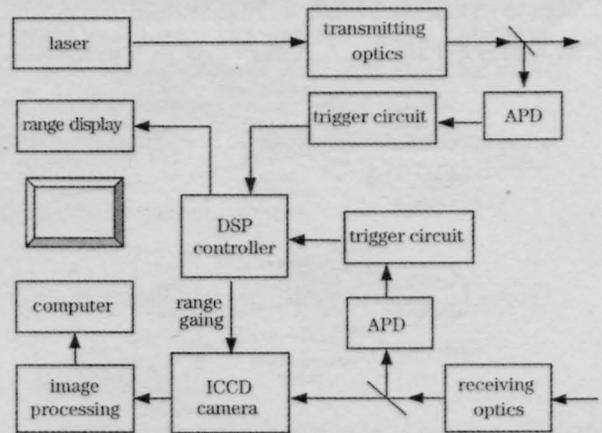


图 2 改进的基于 DSP 的激光距离选通成像系统框图
Fig.2 Schematic diagram for the improved laser range-gated imaging system based on DSP

参 考 文 献

- 1 Deni Bonnier, Vincent Laroche. A range-gated active imaging system for search and rescue, and surveillance operations[C]. *SPIE*, 1996, **2744**:134-145
- 2 O. Steinvall, H. Olsson, G. Bolander *et al.*. Gated viewing for target detection and target recognition[C]. *SPIE*, 1999, **3707**:432-448