

文章编号: 1001-3806(2003)06-0603-03

## 激光距离选通成像关键技术

徐效文 郭 劲 于前洋 付有余 周建民

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春, 130022)

**摘要:** 距离选通技术是克服激光后向散射、提高激光距离选通成像系统信噪比的有效方法。阐述了激光距离选通成像原理, 详细分析了距离选通关键技术, 指出传统的距离选通同步控制系统的缺点, 并提出一种改进的距离选通同步控制方案。

**关键词:** 激光照明; 激光距离选通成像系统; 距离选通技术; 距离选通同步控制技术

**中图分类号:** TN249

**文献标识码:** A

## Key technique of laser range gated imaging

Xu Xiaowen, Guo Jin, Yu Qianyang, Fu Youyu, Zhou Jianmin

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022)

**Abstract:** Range gating is a kind of effective method which can eliminate backscattered light and increase the SNR of the laser range gated (LRG) imaging system. The theory of range gating is described, and the key techniques for range gating are analyzed briefly. Then the shortcomings of the traditional range-gated synchronization control system are pointed out. Finally kind of improved scheme for range-gated synchronization control is proposed.

**Key words:** laser illumination; LRG imaging system; range gating; range-gated synchronization control

## 引言

在低亮度、大气传输特性差或者后向散射严重等恶劣天气条件下, 即使最灵敏的微光电视系统也不能提供足够的分辨率, 很难探测识别目标, 这时红外成像系统也受到温度对比低的限制。为了克服以上缺点, 人们采用近红外脉冲激光器和选通增强型 CCD 摄像机设计出了一种距离选通激光主动成像系统<sup>[1~3]</sup>, 可以在全天候下探测和识别目标并且提供距离信息。距离选通激光成像技术可以克服传统的被动成像许多缺点, 具有成像清晰、对比度高、不受环境光源的影响等优点。

## 1 原理

通过调节发射激光束的发散角, 将目标的全部或关键特征部位照亮, 实现对目标的成像和精确跟踪。辐射脉冲和回波信号在大气路径中传输, 大气背景辐射、透过率、散射和吸收以及湍流等因素都将对主动照明成像产生影响。为了克服以上因素(特

别是后向散射)对成像距离和成像质量的影响, 采取了距离选通技术<sup>[2,4,5]</sup>, 其原理如图 1 所示。

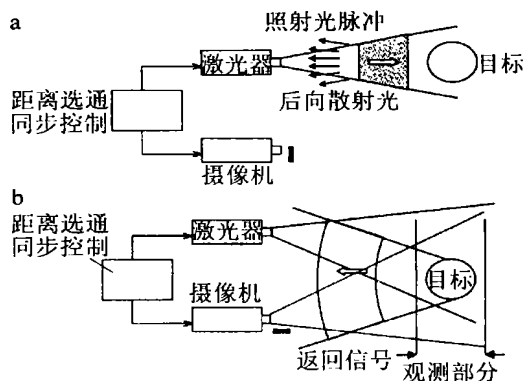


图 1 距离选通成像原理图

a—选通门关 b—选通门开

距离选通技术是利用脉冲激光器和选通摄像机, 以时间的先后分开不同距离上的散射光和目标的反射光, 使由被观察目标反射回来的辐射脉冲刚好在摄像机选通工作的时间内到达摄像机并成像。具体工作原理如下: 激光器发射很强的短脉冲, 脉冲激光传输到目标上, 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, 摄像机选通门关闭, 这样就挡住了大气中悬浮微粒引起的后向散射光。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。选通门

**作者简介:** 徐效文, 男, 1978 年 5 月出生。博士研究生。主要从事主动成像技术研究。

**收稿日期:** 2003-03-22; **收到修改稿日期:** 2003-07-04

开启持续时间与激光脉冲一致。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。如果选通脉冲宽度和激光脉冲宽度都很窄,使得只有目标附近的反射光才能到达摄像机,只接收目标附近的反射光信号,消除大部分后向散射光,那么就能大大提高系统的信噪比。

## 2 关键技术

### 2.1 激光器

激光主动成像系统对激光光源的要求:(1)较高的峰值功率;(2)较窄的脉冲宽度;(3)大气传输性能好。

通常采用脉冲 Nd YAG 激光器,工作波长为  $1.06\mu\text{m}$ ,经倍频后为  $0.532\mu\text{m}$ ,发射和接收光学系统均容易设计,探测也较容易,缺点是穿透战场烟尘的能力较差。 $1.54\mu\text{m}$  波长的激光对人眼更安全,穿透战场烟雾的性能优于  $1.06\mu\text{m}$ 。 $1.54\mu\text{m}$  波长激光由于具有对人眼最安全,大气穿透能力强,目标反射系数高等优点,因而采用  $1.54\mu\text{m}$  波长激光器作为照明光源是今后主动成像系统的一个重要发展趋势。输出波长  $1.54\mu\text{m}$  的对人眼安全固体激光器主要有两种,即钕玻璃激光器和喇曼频移 NdYAG 激光器。脉冲二极管泵浦 NdYAG 激光器转换效率可达 6%,几乎是闪光灯泵浦 NdYAG 激光器的 2 倍,目前主要缺点是成本较高。二极管激光器用于激光成像系统的光源比较合适,结构紧凑,转换效率可达 30%,但是目前市场上还没有窄脉冲、高亮度的二极管激光器。为了有足够的能量,通常也采用激光二极管阵列。激光二极管阵列具有效率高、寿命长、光束发散角大等优点,适合于近距离大视场成像探测。另一种有前途的是 TEA  $\text{CO}_2$  激光器,发射  $10.6\mu\text{m}$  波长的激光,对人眼安全,大气穿透性能好,但是光学系统复杂,所以目前还不如 NdYAG 激光器用得广泛。

### 2.2 接收器

要求具有外触发和选通功能、高空间分辨率和高量子效率,低噪声,大孔径,有足够的增益动态范围。GaAsP 光电阴极管工作波长为  $532\text{nm}$ ,量子效率接近 50%。可选通的 CCD 耦合光电二极管信噪比达到 10dB 以上,第 3 代管子的选通能力优于 10ns。使用 CCD 摄像机作为探测器,由于快门速度的限制,不能实现选通成像,在微光条件下不能提供高分辨率图像,对激光功率要求高。通过光纤与微通道板式选通图像增强器相连的 CCD 摄像机(即 ICCD),其灵敏度高,降低了对激光脉冲功率的要求,低光照

条件下,性能优于 CCD,微通道板式选通图像增强器既可以增加光探测器的增益,又起到快门的作用。

### 2.3 距离选通同步控制技术

距离选通同步控制技术是距离选通激光成像系统的核心技术,直接关系到能否得到目标的选通图像。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,自然想到采用带电子快门的 CCD,但目前最快的电子快门速度为  $1/80000\text{s}$  ( $12.5\mu\text{s}$ ),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 5ns)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。

距离选通同步控制技术主要是使激光器和 ICCD 摄像机同步,并且提供选通门宽度、脉冲宽度和延迟时间选择。同步控制电路主要由使快门开启与激光照射同步的定时电路组成,定时时间取决于激光脉冲传输到目标上再反射到接收器所需要的时间。图 2 中给出了对 1220m 处目标进行观察时理

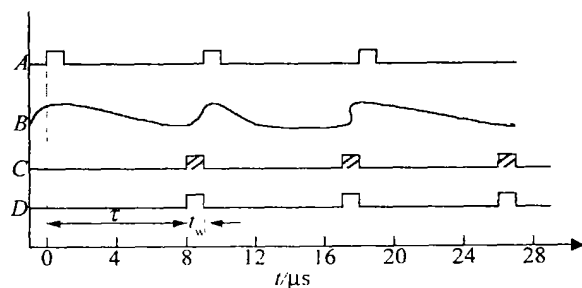


图 2  $l = 1220\text{m}$  理想选通时序图

想距离选通成像的时序关系图。由于激光脉冲在 1220m 上来回渡越时间是  $8\mu\text{s}$ , 所以选通脉冲应在照明脉冲前沿后延迟  $8\mu\text{s}$ 。

图中, 波形 A 为激光脉冲照明输出; 波形 B 为接收器接收到的脉冲激光投向目标的过程中产生的后向散射; 波形 C 为激光脉冲由目标返回到接收器上的反射辐射; 波形 D 为接收器的选通脉冲;  $t_w$  为接收器的选通脉冲宽度;  $l$  为激光器到目标的距离。

以上所提到的是假定激光器、延迟脉冲发生器和像增强器驱动电路为零传输时间延迟的理想选通情况, 但是在实际的应用中, 必须考虑以上传输时间延迟。采用图 1 所示的同步控制方案必须考虑激光器、延迟脉冲发生器和像增强器驱动电路的传输时间延迟。通常延迟脉冲发生器和像增强器驱动电路的传输时间延迟容易精确测量得到, 但是激光器的传输时间延迟一般为几十毫秒, 不容易精确测量, 而且受到激光器内部的工作物质、工作温度等多种因素的影响。为了克服激光器的传输时间延迟, 提出了一种新的距离选通同步控制方案, 图 3 中给出了采用该方案设计的距离选通成像系统。

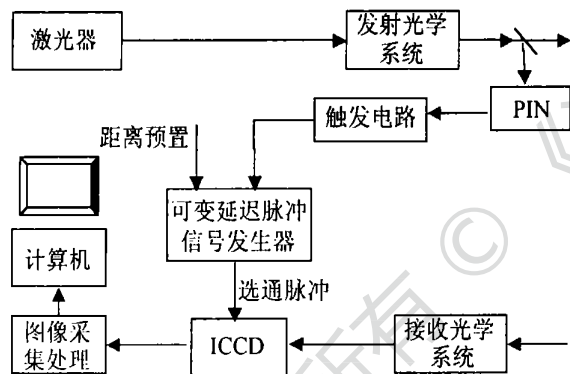


图 3 距离选通成像系统框图

激光器发射短激光脉冲, 经分光后, 一小部分光

被 PIN 管接收, 经触发电路为延迟脉冲信号发生器提供定时基准脉冲, 通过延迟脉冲信号发生器选通 ICCD 摄像机。该方案不须考虑激光器的时间延迟, 只需考虑 PIN 管和触发电路、延迟脉冲信号发生器以及像增强器驱动电路的传输时间延迟, 以上传输时间延迟均容易测得。

## 2.4 同步扫描技术<sup>[6]</sup>

同步扫描技术是把激光器与接收机设置在 2 个间距一定距离的地方, 使照明光束扫描线与接收机在被观察区域相交成一个角度, 这样使后向散射光尽可能少地进入接收器中, 这种方法能有效地增大探测距离。

## 3 结束语

详细分析了激光距离选通成像关键技术, 指出了传统的距离选通同步控制系统的缺点, 提出了一种改进的距离选通同步控制方案, 能够克服传统的激光距离选通成像系统需要精确测量激光器的时间延迟的缺点。激光距离选通成像技术能够克服被动成像的缺点, 能够通过散射介质成像, 可以大大提高回波信号的信噪比, 获得远距离小暗目标的高分辨率图像, 可以在全天候、零照度条件下工作, 在监视、侦察、瞄准和目标探测等军事和非军事领域具有重要的实用价值和广泛的应用前景。

## 参 考 文 献

- [1] Bonnier D, Larochelle V. Proc SPIE, 1996, 2744: 134 ~ 145.
- [2] Snell K J, Parent A, Levesque M et al. Proc SPIE, 1997, 2935: 171 ~ 181.
- [3] 徐之海, 李 奇. 现代成像系统. 北京: 国防工业出版社, 2001: 137 ~ 144.
- [4] Freiwald D A, Freiwald J. Proc SPIE, 1994, 2214: 116 ~ 123.
- [5] McDonald T E Jr, Yates G J, Cverna F H et al. Proc SPIE, 1999, 3642: 142 ~ 148.
- [6] 蒋鸿旺. 激光与红外, 1999, 29(3): 136 ~ 138.

简 讯 ·

## kHz 频率时单击超快脉冲的光谱相关干涉法

瑞士联邦工学院(苏黎世, 瑞士)和 Nazionale 研究所(米兰, 意大利)的工作人员研制出一种方法, 可以测量单次或千赫兹工作频率的超快光学脉冲。基于直流电场重建的光谱相关干涉法(SPIDER)比起其它的 SPIDER 技术或非 SPIDER 技术, 测量速率提高了 50 倍以上。这项技术使用两个分光计, 其中一个用于基本光谱, 另一个用于 SPIDER 光谱。每一个分光计都有一个 2048 像素 CCD, 两个照相机用激光装置快速触发, 分光计有 150 线/mm 和 600 线/mm 的光栅, 从而可以在 800nm 处分辨 0.5mm, 在 400nm 处分辨 0.1mm。在试验中, 一个声光可编程滤光器形成一个可互换光谱口, 使得测量系统可以分辨。测得数据包括掺钛蓝宝石放大器产生的压缩化充氩光纤的脉冲信号时间序列。

(蒋 锐 曹三松 供稿)