



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105182321 A

(43) 申请公布日 2015. 12. 23

(21) 申请号 201510532624. 2

(22) 申请日 2015. 08. 24

(71) 申请人 胡林亭

地址 137001 吉林省白城市平台 108 信箱 23
分箱

申请人 李佩军 王延杰

(72) 发明人 胡林亭 李佩军 王延杰 姚志军
陈泽峰 冯三任 史睿冰

(51) Int. Cl.

G01S 11/12(2006. 01)

权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法

(57) 摘要

通过分析影响外场 $1.064 \mu\text{m}$ 波长激光光斑测量距离的因素,提出了一种有效提高外场重频激光光斑测量距离的方法。首先选用对被测激光光谱量子效率高的有外触发控制功能摄像机,且摄像机快门的开启和关闭可精确控制;其次,精确测量激光脉冲照射靶标时刻,预测后续激光脉冲照射靶标时刻,在保证激光光斑录取率的前提下,按照快门最优控制策略,在激光脉冲照射靶标前开启摄像机快门;最后,用激光脉冲下降沿作为摄像机快门关闭信号,可自适应多种激光照射频率、激光照射时序波动和激光脉宽抖动。通过尽量减小摄像机快门曝光时间,增加激光光斑图像信噪比,有效提高了外场重频激光光斑的测量距离,该方法也适用于提高其他波长重频激光光斑的测量距离。

1. 一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法,包括以下步骤:

第一步,选用对被测激光光谱量子效率高的有外触发控制功能摄像机,摄像机快门的开启和关闭可精确控制,同时使用有外触发控制功能的图像采集卡;

第二步,通过精确测量第1~3个激光脉冲照射在靶标上的时刻,计算激光脉冲照射时序和相邻激光脉冲间隔时间,预测后续激光脉冲照射在靶标上的时刻,生成与激光脉冲上升沿和下降沿同步的方波信号,提高摄像机快门控制精度;

第三步,从第4个激光脉冲开始,以测量的前3个激光脉冲照射靶标时刻为依据,准确估算激光脉冲照射靶标时刻的预测误差和摄像机快门控制误差,在保证激光光斑录取率的前提下,按照快门最优控制策略设定时间间隔,在激光脉冲照射靶标前启动激光光斑图像采集卡进入采集状态和开启摄像机快门;

第四步,用激光脉冲下降沿作为摄像机快门关闭信号,可自适应多种激光照射频率、激光照射时序波动和激光脉宽抖动。图像采集卡采集不到摄像机视频数据后,自动停止图像采集。通过对摄像机快门的最优控制,尽量减小摄像机快门曝光时间,提高激光光斑图像的信噪比。其特征在于:

第一步的红外摄像机(9)具有外触发控制功能,对被测激光光谱量子效率30%以上,快门开启和关闭可独立控制,控制误差不大于1μs;

所述激光光斑图像采集卡(7)具有外触发控制功能,同步采集红外摄像机(9)输出的视频信号;

第二步的激光脉冲照射靶标时刻测量单元包括:光电探测模块(1)、运算放大模块(2)、信号处理模块(3)、时码钟(4)、激光光斑测量控制计算机(5);

所述光电探测模块(1)探测照射在靶标上的激光脉冲,转换为对应的电脉冲信号;

所述运算放大模块(2)对电脉冲信号进行检测和放大处理;

所述信号处理模块(3)对电脉冲信号整形处理,生成标准方波信号;

所述时码钟(4)测量方波信号上升沿到达时刻,生成激光脉冲到达时刻信息码;

所述激光光斑测量控制计算机(5)控制光电探测模块(1)、运算放大模块(2)、信号处理模块(3)、时码钟(4)工作,记录每个激光脉冲照射在靶标上的时刻,计算激光脉冲发射时序;

第三步的红外摄像机(9)快门控制策略是在保证激光光斑探测率的前提下,尽量降低每帧图像的曝光时间,激光光斑图像采集卡(7)启动工作策略是在保证激光光斑图像视频数据录取率的前提下,抑制干扰信号的影响;激光光斑测量单元包括:激光光斑测量控制计算机(5)、图像采集卡控制信号模块(6)、激光光斑图像采集卡(7)、红外摄像机控制信号模块(8)、红外摄像机(9);

所述的红外摄像机(9)快门开启控制策略,是在准确估算激光脉冲时序波动、激光脉冲时序测量误差、控制信号误差、红外摄像机快门控制误差的基础上,精确控制红外摄像机快门开启时刻,在保证激光光斑录取率的同时尽量减小每帧图像的曝光时间,提高激光光斑图像的信噪比;

所述的激光光斑图像采集卡(7)启动控制策略,是根据红外摄像机(9)快门开启时刻和图像采集卡启动时间,确定启动时刻,在保证激光光斑图像录取率的同时,抑制干扰信号的影响;

所述激光光斑测量控制计算机(5)根据激光脉冲到达时刻信息码,按照图像采集卡启动控制策略生成高电平信号到图像采集卡控制信号模块(6);

所述图像采集卡控制信号模块(6)收到高电平信号后,生成激光光斑图像采集卡(7)启动信号;

所述激光光斑测量控制计算机(5)根据激光脉冲到达时刻信息码,按照摄像机快门开启控制策略生成高电平信号输出到红外摄像机控制信号模块(8);

所述红外摄像机控制信号模块(8)收到高电平信号后,生成红外摄像机(9)快门开启信号;

第四步的红外摄像机(9)用激光脉冲下降沿作为快门关闭信号,激光光斑图像采集卡(7)收不到红外摄像机(9)视频数据后,自动停止图像采集;

所述激光光斑测量控制计算机(5)检测到方波信号的下降沿后,生成低电平信号输出到红外摄像机控制信号模块(8);

所述红外摄像机控制信号模块(8)收到低电平信号后,生成红外摄像机(9)快门关闭信号,至此完成了一个激光脉冲发射时刻测量和激光光斑图像拍摄。

2. 根据权利要求1所述的一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法,其特征在于:

精确测量照射在靶标上的每个激光脉冲波形,同步生成对应的方波信号,用激光脉冲上升沿作为激光照射靶标时刻,采用高精度时码钟,激光脉冲时序测量误差不大于 $0.5\mu s$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法,其特征在于:

用开始的 $N(2 \leq N \leq 6)$ 个激光脉冲照射在靶标上的时刻,计算激光脉冲照射时序和相邻激光脉冲间隔时间,从第 $N+1$ 个激光脉冲开始,以前 N 个激光脉冲照射在靶标上的时刻计算相邻激光脉冲平均间隔时间,预测后续激光脉冲照射在靶标上的时刻,精确控制摄像机快门开启时刻,尽量减小每帧图像的曝光时间。

4. 根据权利要求1所述的一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法,其特征在于:

精确测量激光脉冲波形,激光脉冲下降沿整形误差不大于 $0.1\mu s$,用激光脉冲下降沿作为摄像机快门关闭信号,可自适应多种激光照射频率、激光照射时序波动和激光脉宽抖动。

5. 根据权利要求1所述的一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法,其适用于提高其他波长重频激光光斑的测量距离。

一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法

技术领域

[0001] 本方法涉及窄脉宽激光信号时序测量、外场重频激光光斑图像远距离拍摄和摄像机精确控制技术等多个领域。本方法适用于外场远距离摄像测量照射在靶标上的重频激光光斑。本发明属于光电探测和信号处理技术领域。

背景技术

[0002] 半主动激光制导武器通过追踪照射在目标上的激光光斑实现对目标攻击,因此激光指示精度不仅体现了激光指示器的性能,也影响激光制导弹的命中精度,是一项关键指标,需要精确测量。挂载于飞机的激光指示吊舱,用于识别、跟踪地面目标并对目标连续照射激光,受跟踪精度和激光指示器光轴一致性误差影响,激光指示位置相对预定瞄准位置是有一定偏差的。在外场通常用摄像法测量照射在靶标上的激光光斑位置,计算激光指示误差。靶标反射特性影响反射的激光光斑能量值分布,因此测试时使用均匀漫反射材料制成的平面靶,以便提高测试精度。

[0003] 目前通用激光指示器的激光波长为 $1.064 \mu\text{m}$,太阳光在此波段的辐射也很强。设激光脉冲能量为 100mJ ,束散角为 0.5mrad ,脉宽 20ns ,脉冲频率 20Hz ,照射距离 10km ,平面靶架设倾角 60° ,阳光直射靶面,航路高度 5km 时大气衰减率估为 20% ,则靶面上每个激光脉冲能量均值约为 4.076mJ/m^2 。以国内北纬 45° 平原地区为例,地面此波段太阳光谱能量最大值约为 $0.6\text{W/m}^2/\text{nm}$,为抑制激光附近波段太阳光干扰,提高激光光斑信噪比,测量摄像机需要加装窄带滤光片。设滤光片带宽为 20nm ,测量摄像机为 CCD 像机 (CCIR 制式),每帧积分时间 40ms ,晴天正午阳光直射靶面时,可计算出每帧图像对应靶面上太阳光能量约为 480mJ/m^2 ,每帧图像测量一个激光光斑,由此可知每帧图像对应靶面上激光光斑的信噪比约为 0.072dB ,CCD 像机不能对激光光斑有效成像。目前的工艺水平若进一步降低滤光片带宽,透过率也随之下降,降低探测器接收到的激光光斑能量,将减小激光光斑测量距离。我们目前使用有外触发功能的 CCD 像机,设置 CCD 像机工作在外触发模式,通过控制快门曝光时间减小每帧图像积分时间,降低 CCD 像机每帧图像接收的太阳光能量,另外,为保证激光光斑录取率,也需要控制 CCD 像机工作在外触发模式。

[0004] 为提高半主动激光制导武器的抗干扰性能,目前使用的激光指示器采用精确频率码对激光脉冲的发射时间进行精确控制,按照等时间间隔发射激光脉冲,导引头也按照约定的编码时序探测激光脉冲。利用半主动激光制导武器激光照射的时域特性,是外场提高重频激光光斑图像信噪比的有效途径。我们现在采用的是预测法,该测量方法是以第 $1 \sim 3$ 个激光脉冲作启动信号,计算相邻激光脉冲间隔时间,从第 4 个激光脉冲开始,以前一个激光脉冲的照射时刻为基准,按照设定的间隔时间在下一个激光脉冲照射前开启 CCD 像机快门,曝光时间 $100 \mu\text{s}$ 。晴天正午阳光直射靶面时,该测试方式每帧图像对应靶面上太阳光能量约为 1.2mJ/m^2 ,靶面上激光光斑的信噪比约为 16dB 。该型号 CCD 像机的快门开启时刻误差约为 $30 \mu\text{s}$,在摄像前设置曝光时间,在摄像过程中不能改变每帧图像的曝光时间,考虑激光指示器发射激光脉冲的时序抖动和生成 CCD 像机快门启动方波信号的时序误差,为保

证激光光斑录取率 99.9% 的测量要求,每帧图像 $100 \mu\text{s}$ 的曝光时间是一稳妥控制参数,进一步减小曝光时间会降低激光光斑录取率。CCD 像机接收到的激光脉冲能量反比于测量距离的平方,增加测量距离对激光脉冲能量衰减很大,因此目前使用的测量系统有效测量距离约为 $300\text{m} \sim 500\text{m}$,该测量系统对于固定目标的测量是可以满足使用要求的。随着半主动激光制导武器的发展,激光制导弹具备了攻击运动目标的能力,需要实时监测激光指示吊舱对运动靶标照射过程中的激光指示误差,考虑运动靶标的行进路线,完成运动靶标行进过程中激光照射位置的全程测量,需要进一步提高激光摄像系统的有效测量距离到 1500m 。

[0005] 通过分析制约激光摄像系统测量距离的各种因素,确定了选用有外触发功能的高灵敏度摄像机和精确控制曝光时间的方案,验证试验表明该方法在满足激光光斑录取率的同时,有效提高了激光摄像系统的测量距离,且可自适应激光照射时序波动和激光脉宽抖动。该方法选用某型高灵敏度短波制冷红外摄像机,针对其外触发控制特性,设计一种实时高精度控制摄像机快门曝光时序的方法,在提高激光光斑探测灵敏度的同时,显著增加了重频激光光斑图像的信噪比,大幅度提高了激光光斑摄像系统的测量距离,解决了昼间外场远距离测量靶标上重频激光光斑位置的难题,为评定激光指示吊舱对运动目标的照射性能提供了依据。

发明内容

[0006] 由外场摄像法测量靶标上的重频激光光斑原理可知,提高激光摄像系统测量距离的方法大约有五种,一是减小窄带滤光片带宽,降低阳光背景干扰;二是减小摄像机曝光时间,降低阳光背景干扰;三是选用高灵敏度摄像机;四是增加摄像机光学系统的相对孔径(D/F),提高摄像机的光通量,五是使用弱信号识别技术。从目前窄带滤光片的工艺水平分析,显著降低窄带滤光片带宽近期难以实现;受目前近红外光学系统设计水平和加工工艺制约,增加摄像机光学系统的相对孔径成本巨大,不符合测量系统的设计要求;弱信号识别技术适用于测量后的图像处理,不满足激光指示性能试验中对激光光斑的实时监测要求;因此第二种和第三种方法是我们考虑的重点。目前使用的CCD像机对 $1.064 \mu\text{m}$ 激光的探测灵敏度较低,快门控制精度差,因此我们选用了某型高灵敏度的短波制冷红外摄像机,该像机对 $1.06 \mu\text{m}$ 光谱量子效率约 50%,是在用测量系统中 CCD 像机灵敏度的 6 ~ 8 倍。采用与在用测量系统类似的光学系统、窄带滤光片及曝光时间等参数条件,按照前述的激光指示器的照射条件进行激光光斑测量试验,有效测量距离约增加 20% ~ 30%,与预期效果差距很大。在夜间进行同样的激光光斑测量比对试验,有效测量距离增加约 4 ~ 5 倍,这说明对于 2000m 测量距离,该型红外摄像机的灵敏度是够用的,白天不能对激光光斑清晰成像,是因为太阳光产生的背景干扰造成激光光斑图像信噪比下降,因此在摄像机灵敏度达到一定值后,仅仅提高摄像机灵敏度对提高激光光斑测量距离的作用已不明显,此时增加激光光斑图像信噪比是进一步提高激光光斑测量距离的最佳途径。

[0007] 根据我们上述分析及验证试验结果,本发明提出了一种提高外场重频激光光斑测量距离的方法,并给出了测量系统的设计方案。首先选用高灵敏度短波制冷红外摄像机,该摄像机具备外触发控制模式,可实时精确控制快门的开启、关闭;其次使用具有外触发控制模式的图像采集卡,同步采集红外摄像机测量的激光光斑图像;再次设计了高精度的激光脉冲时序测量和摄像机快门控制系统,实现了摄像机快门的精确控制;最后根据激光指示

吊舱照射在目标上的激光脉冲时域特性,设计了摄像机曝光时序的最优控制策略,自适应激光照射时序波动和激光脉宽抖动,显著提高了激光光斑图像信噪比,解决了昼间远距离测量靶标上重频激光光斑位置的难题。

[0008] 本发明提出的激光光斑测量系统的组成及工作原理如图 1 所示。光电探测模块(1)接收到激光脉冲信号后,输出电脉冲信号到运算放大模块(2),放大处理后送到信号处理模块(3)进行比较和整形处理,生成与激光脉冲上升沿和下降沿对应的方波信号,输出到时码钟(4)和激光光斑测量控制计算机(5);时码钟(4)用接收的方波信号上升沿作为激光脉冲到达时刻信号,输出此刻时间信息到激光光斑测量控制计算机(5);激光光斑测量控制计算机(5)用方波信号的下降沿作为激光脉冲的截止信号,用前 3 个激光脉冲到达时刻信息计算激光脉冲的发射时序。从接收的第 4 个激光脉冲开始,根据前 3 个激光脉冲的到达时刻预测下一个激光脉冲到达时刻,在下一个激光脉冲到达前 J_N 时刻,激光光斑测量控制计算机(5)输出一个高电平脉冲,触发图像采集卡控制信号模块(6)生成激光光斑图像采集卡(7)的启动信号,激光光斑图像采集卡(7)开始采集图像,根据摄像机快门控制策略,在下一个激光脉冲发射前 K_N 时刻,激光光斑测量控制计算机(5)输出一个高电平信号,触发红外摄像机控制信号模块(8)生成红外摄像机(9)的快门开启信号,开始拍摄激光光斑图像;检测到方波信号下降沿后,激光光斑测量控制计算机(5)输出一个低电平脉冲,触发红外摄像机控制信号模块(8)生成红外摄像机(9)的快门关闭信号,关闭快门,暂停拍摄激光光斑图像,激光光斑图像采集卡(7)采集不到红外摄像机(9)的视频数据后,自动停止图像采集,至此完成了一个激光脉冲发射时刻测量和激光光斑图像拍摄;这个过程一直持续下去,直到连续 1min 没有探测到激光脉冲信号或收到停止测量指令,激光光斑测量控制计算机(5)停止激光光斑的测量。

[0009] 激光光斑测量系统工作时序如图 2 所示。(11)为激光脉冲时序, T_1 和 T_2 间隔为激光脉冲 L_1 与 L_2 的发射时间间隔, T_1 和 P_2 间隔为激光脉冲 L_1 的脉宽;(12)为信号处理模块输出的方波信号时序,方波信号的上升沿和下降沿与对应的激光脉冲上升沿和下降沿在时序上是一致的;(13)为激光光斑图像采集卡工作时序,测量激光脉冲 L_4 时, J_4 时刻进入图像采集等待状态, P_4 时刻后自动停止该激光光斑图像的采集;(14)为红外摄像机快门开闭控制时序,测量激光脉冲 L_4 时, K_4 时刻开快门, P_4 时刻关快门。

[0010] 目前常用的有外触发功能的图像采集卡的启动时间为 1ms ~ 3ms, J_N 时刻的确定原则是保证红外摄像机(9)快门开启前激光光斑图像采集卡(7)进入工作状态,控制图像采集卡的图像采集时间是为抑制干扰信号影响。

[0011] 红外摄像机(9)的快门控制策略是在保证激光光斑探测率的前提下,尽量降低每帧图像的曝光时间。前 3 个激光脉冲用于测量激光照射时刻和照射时序,从第 4 个激光脉冲开始测量激光图像,因此该测量系统可以测量每个激光脉冲的照射时刻和除去前 3 个激光脉冲的每个激光光斑图像。摄像机快门控制策略需要考虑三方面因素,一是激光光斑图像探测率;二是照射在靶标上的激光脉冲时序抖动;三是测量系统的时序测量误差和控制误差。第一因素,激光指示器的测量要求是除去前 3 个激光脉冲,激光光斑图像探测率为 99.9%,一个激光照射周期 1min,激光脉冲总数 1200 个,只允许漏测一个激光光斑,因此设计摄像机快门控制策略时余量要充分。第二因素,因靶标运动速度较低,可忽略靶标运动对测量激光脉冲照射时刻的影响,若载机与靶标相对运动速度 600m/s,这将使相邻激光脉冲

照射在靶标上的时刻与激光指示器发射时刻相差 $0.1 \mu s$, 同时激光指示器的照射时序也有一定误差, 因此载机飞行航路的变化和激光指示器照射时序误差需要精确计算, 以便优化摄像机快门控制策略。第三因素, 激光脉冲时序测量误差、控制信号上升沿和下降沿时序误差、红外摄像机快门控制误差是测量系统自身误差, 可以根据硬件参数确定, 这些误差对测量过程影响很大。不同的激光指示器, 激光脉冲宽度是变化的, 用每个激光脉冲的下降沿作为摄像机快门的关闭信号, 自适应激光照射时序波动和激光脉宽抖动, 实现了摄像机快门的最优控制。制定摄像机快门控制策略, 需要综合考虑上述三方面因素, 才能达到最佳测量效果, 为实现激光光斑图像探测率 99.9% 的要求, 摄像机快门控制参数计算如下。

[0012] 见图 2, 测量第 N ($N \geq 4$) 个激光光斑图像, 红外摄像机开快门时刻 K_N 为:

$$K_N = T_{N-1} + \frac{10^6}{Q_L} - \frac{10^6}{Q_L} \times \frac{U}{3 \times 10^8} - \delta_r - \delta_L - \delta_K - \delta_c \quad (21)$$

[0014] 式中: T_{N-1} 为第 $N-1$ 个激光脉冲照射在靶标的时刻, μs ;

[0015] Q_L 为激光脉冲发射频率, Hz;

[0016] U 为载机与靶标相对运动速度, m/s ;

[0017] δ_r 为激光脉冲时序测量误差, μs ;

[0018] δ_L 为激光脉冲发射时序误差, μs ;

[0019] δ_K 为红外摄像机快门控制误差, μs ;

[0020] δ_c 为测量系统时钟误差, μs ;

[0021] 见图 2, 测量第 N 个激光光斑图像, 红外摄像机曝光时间 τ_N 为:

$$\tau_N = P_N - K_N \quad (22)$$

[0023] 式中: P_N 为测量第 N 个激光光斑图像, 红外摄像机关快门时刻, μs 。

[0024] 参见图 2, 若激光指示器的激光脉冲发射时序误差满足指标要求, 可得 P_N 的最大值为:

$$P_N = T_{N-1} + \frac{10^6}{Q_L} - \frac{10^6}{Q_L} \times \frac{U}{3 \times 10^8} + \delta_r + \delta_L + \delta_K + \delta_c \quad (23)$$

[0026] 由公式 (21)、(22)、(23), 测量第 N 个激光光斑图像, 红外摄像机曝光时间最大值 τ'_{N-1} 为:

$$\tau'_{N-1} = 2\delta_r + 2\delta_L + 2\delta_K + 2\delta_c \quad (24)$$

[0028] 见图 2, 测量第 N 个激光光斑图像, 激光光斑图像采集卡启动时刻 J_N 为:

$$J_N = T_{N-1} + \frac{10^6}{Q_L} - \frac{10^6}{Q_L} \times \frac{U}{3 \times 10^8} - \delta_r - \delta_L - \delta_c - \eta \quad (25)$$

[0030] 式中: η 为激光光斑图像采集卡启动时间, μs 。

附图说明

[0031] 图 1 激光光斑测量系统构成原理示意图

[0032] 图 2 激光脉冲时序及红外摄像机快门控制时序示意图

具体实施方式

[0033] 下面以某型号激光光斑实时监测系统应用实例对本发明的特点进行详细阐述, 以使发明的优点和特征便于理解, 从而对本发明的保护范围作出更为清楚明确的界定。

[0034] 该测试系统选用 Pacific Silicon Sensor 公司的 AD1500-10 型号光电探测器, 对 $1.064 \mu m$ 激光脉冲响应率高; 运算放大模块采用 TI 公司的精密运算放大器 OPA4131, 噪声低; 信号处理模块采用 TI 公司的微秒级快速响应比较器 LM319; 时码钟选用国家授时中心的 $0.2 \mu s$ 精度时码钟卡; 红外摄像机选用某型短波制冷红外摄像机, 对 $1.064 \mu m$ 激光的量子效率约 50%; 数字图像采集卡使用 Matrox 公司的 solios 采集卡; 测量控制计算机采用工业控制计算机, 控制激光脉冲信号采集、时码钟卡, 数字图像采集卡、红外摄像机、通讯卡等模块工作和数据收发。

[0035] 设激光指示器的参数为:

[0036] 激光脉冲发射频率 $Q_L = 20Hz$, 激光脉冲发射时序误差 $\delta_L = 5 \mu s$; 载机与靶标相对运动速度 $U = 300m/s$ 。

[0037] 激光光斑实时监测系统的参数为:

[0038] 激光脉冲时序测量误差 $\delta_T = 0.5 \mu s$; 红外摄像机快门控制误差 $\delta_K = 1 \mu s$; 测量系统时钟误差 $\delta_C = 0.1 \mu s$; 激光光斑图像采集卡启动时间 $\eta = 2ms$ 。

[0039] 由公式(21), 红外摄像机开快门时刻 K_N 为:

$$K_N = T_{N-1} + 49993.25$$

[0041] 为提高红外摄像机快门控制的准确性, 实现最优控制策略, 以激光光斑实时监测系统测量的前一个激光脉冲照射在靶标的时刻 T_{N-1} 为基准零时, 设置红外摄像机开快门时刻 K_N , 则有:

$$K_N = 49993.25 \mu s$$

[0043] 若激光指示器性能正常, 由公式(24), 红外摄像机曝光时间最大值 τ'_{N-1} 为:

$$\tau'_{N-1} = 13.2 \mu s$$

[0045] 由公式(25), 激光光斑图像采集卡启动时刻 J_N 为:

$$J_N = T_{N-1} + 47994.25$$

[0047] 上述红外摄像机快门控制策略适用于多种频率和不同脉宽激光指示器的激光光斑测量, 可有效控制快门曝光时间, 提高激光光斑图像的信噪比。

[0048] 以上所述仅为本发明的实施例, 并非因此限制本发明的专利范围, 凡是利用本发明说明书及附图所作的通过测量激光脉冲照射靶标时刻、预测后续激光脉冲照射靶标时刻并精确控制具有外触发功能摄像机快门开启和关闭时间, 在自适应激光照射时序波动和激光脉宽抖动的同时, 增加了激光光斑图像的信噪比, 提高了外场重频激光光斑测量距离的方法, 或直接或间接运用在相关激光测量的技术领域, 均同理包括在本发明的专利保护范围内。

