

(56) 对比文件

WO 2010025946 A1, 2010.03.11

审查员 赵俊杰

(43) 申请公布日 2023.05.12

(72)发明人 韩宏伟 张晓晖 林鸿生 马丽衡
胡清平 李春来

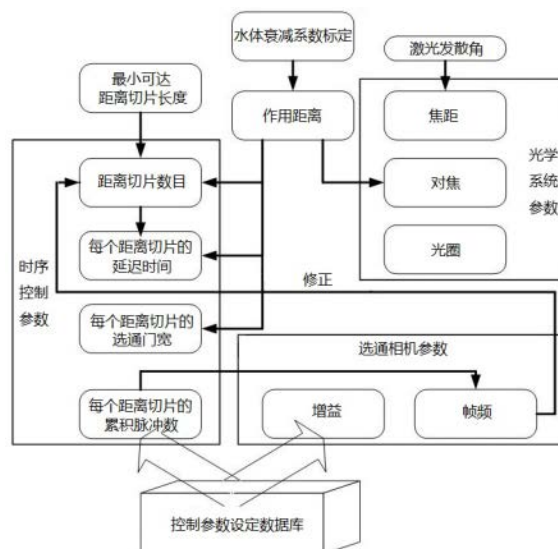
专利代理师 黄行军

G01S 17/89 (2020.01)

权利要求书1页 说明书5页 附图2页

一种水下自适应全选通成像方法

本发明公开了一种水下自适应全选通成像方法,设置水下高重频激光距离选通成像系统在全选通工作模式下的控制参数,基于设置控制参数后的水下高重频激光距离选通成像系统实现水下自适应全选通成像;设置的控制参数包括:标定工作水域的衰减系数,确定工作距离范围及光学系统参数;计算最小可达距离切片长度,确定初始距离切片数目以及每个距离切片的延迟时间;根据工作距离范围确定每个距离切片的选通门宽;基于控制参数设定数据库确定每个距离切片的累积脉冲数和增益;确定实际距离切片数目以及每个距离切片所对应的延迟时间。本发明解决了传统水下距离选通激光成像在未知水域探测未知目标时的不足,极大扩展了其功能性,提升了其成像效果。



1. 一种水下自适应全选通成像方法,其特征在于:

设置水下高重频激光距离选通成像系统在全选通工作模式下的控制参数,基于设置控制参数后的水下高重频激光距离选通成像系统实现水下自适应全选通成像;

设置的控制参数包括:

标定工作水域的衰减系数,根据衰减系数确定工作距离范围及光学系统参数;

计算最小可达距离切片长度,根据最小可达距离切片长度及工作距离范围确定初始距离切片数目以及每个距离切片的延迟时间;

根据工作距离范围确定每个距离切片的选通门宽;

基于控制参数设定数据库确定每个距离切片的累积脉冲数和增益;

根据每个距离切片的累积脉冲数及选通相机帧频确定实际距离切片数目以及每个距离切片所对应的延迟时间;

确定每个距离切片的累积脉冲数的过程为:

基于能量相等原理计算每相邻两个切片之间中心位置处的第一累积脉冲数,

确定对应衰减系数下成像系统采用单选通模式对工作距离范围中间位置处标准分辨率靶板成最优图像时的第二累积脉冲数;

根据第二累积脉冲数调整第一累积脉冲数得到实际累积脉冲数;

基于前一个切片的累计脉冲数会叠加到后续切片中的原理以及实际累积脉冲数确定每个距离切片的累积脉冲数。

2. 根据权利要求1所述的水下自适应全选通成像方法,其特征在于:所述工作距离范围为 $[0m, \text{最大作用距离}]$,其中,

最大作用距离 $=H/\text{衰减系数}$, H 为预先设定值。

3. 根据权利要求1所述的水下自适应全选通成像方法,其特征在于:所述光学系统参数包括焦距、对焦和光圈,设定焦距使水下高重频激光距离选通成像系统的视场角为激光发散角的 a 倍,设定对焦在工作距离范围的中间点,设定光圈为最大值。

4. 根据权利要求1所述的水下自适应全选通成像方法,其特征在于:最小可达距离切片长度 $=b \times \text{最小选通门宽所对应的距离切片长度}$, b 为预先设定值。

5. 根据权利要求1所述的水下自适应全选通成像方法,其特征在于:以最小可达距离切片长度四舍五入后的值作为距离步进的步长从0开始确定每个距离切片的起始位置,在工作距离范围内的起始位置的个数为所述初始距离切片数目。

6. 根据权利要求1所述的水下自适应全选通成像方法,其特征在于:每个距离切片的延迟时间通过以下公式确定

$$\text{第}i\text{个切片对应的延迟时间} = \frac{2 \times (i-1) \times \text{最小可达距离切片长度} \times \text{水体折射率}}{\text{光速}}。$$

7. 根据权利要求1所述的水下自适应全选通成像方法,其特征在于:每个距离切片的选通门宽为光波在 $[0m, \text{最大作用距离}]$ 范围内往返一次所需的时间。

8. 根据权利要求1所述的水下自适应全选通成像方法,其特征在于:以最小输出帧率为下限确定最多可用脉冲数,将每个距离切片的累积脉冲数从头开始逐一相加,当达到最多可用脉冲数时截断,则参与求和的切片数为实际距离切片数目。

一种水下自适应全选通成像方法

技术领域

[0001] 本发明属于水下光电成像技术领域,具体涉及一种水下自适应全选通成像方法。

背景技术

[0002] 随着社会经济的发展,海洋的价值越来越被人类所重视,而先进的水下探测技术与装备是进行海洋开发,建设海洋强国的关键所在。

[0003] 相比于声学探测,水下光电成像探测具有探测目标直观、空间分辨率高、信息含量丰富等优点。其中,水下距离选通激光成像技术通过脉冲激光照射目标,利用选通型成像器件接收回波信号,基于时间标记原理区分目标反射光和水体后向散射光,从而可以有效抑制水体后向散射光对输出图像质量的影响,相比于普通水下摄像机大幅提升了作用距离。另外,该技术收发单置,且对载体运动不敏感,是一种非常具有应用前景的水下光电成像技术。

[0004] 传统的水下距离选通激光成像采用定距切片成像的方式,即必须事先知道目标距离才可以正确设定增益系数、选通门延迟时间和开门时长等系统控制参数。然而,水下目标探测的典型应用场景却是在未知水域(水体衰减系数未知)探测未知目标(目标数量和距离未知)。

[0005] 发明专利CN201610152283.0“一种水下高重频脉冲激光全选通成像雷达”提出了基于高重频激光距离选通成像系统的全选通成像概念,不用像传统的距离选通成像系统那样根据目标距离来设定选通信号,可以在抑制后向散射的同时获得类似于连续光通视成像的效果,是一种有可能在水下通过距离选通成像系统探测未知目标的技术途径。

[0006] 然而该技术要想步入实用,真正实现在未知水域探测未知目标,还必须解决系统参数控制的问题。高重频激光距离选通成像系统在全选通成像模式下,需要控制的系统参数较多,且不同参数之间还存在着耦合关系。如果仅凭人工进行调整,不仅费时费力,而且难以保证效果(因为目标在运动),更不符合未来装备智能化发展的趋势。

发明内容

[0007] 本发明的目的就是为了解决上述背景技术存在的不足,提供一种水下自适应全选通成像方法,可实现系统开机后多个控制参数的设定,从而完成水下自适应全选通成像。

[0008] 本发明采用的技术方案是:一种水下自适应全选通成像方法,设置水下高重频激光距离选通成像系统在全选通工作模式下的控制参数,基于设置控制参数后的水下高重频激光距离选通成像系统实现水下自适应全选通成像;

[0009] 设置的控制参数包括:

[0010] 标定工作水域的衰减系数,根据衰减系数确定工作距离范围及光学系统参数;

[0011] 计算最小可达距离切片长度,根据最小可达距离切片长度及工作距离范围确定初始距离切片数目以及每个距离切片的延迟时间;

[0012] 根据工作距离范围确定每个距离切片的选通门宽;

- [0013] 基于控制参数设定数据库确定每个距离切片的累积脉冲数和增益；
- [0014] 根据每个距离切片的累积脉冲数及选通相机帧频确定实际距离切片数目以及每个距离切片所对应的延迟时间。
- [0015] 进一步地,所述工作距离范围为[0m,最大作用距离],其中,
- [0016] 最大作用距离=H/衰减系数,H为预先设定值。
- [0017] 进一步地,所述光学系统参数包括焦距、对焦和光圈,设定焦距使水下高重频激光距离选通成像系统的视场角为激光发散角的a倍,设定对焦在工作距离范围的中间点,设定光圈为最大值。
- [0018] 进一步地,最小可达距离切片长度=b×最小选通门宽所对应的距离切片长度,b为预先设定值。
- [0019] 进一步地,以最小可达距离切片长度四舍五入后的值作为距离步进的步长从0开始确定每个距离切片的起始位置,在工作距离范围内的起始位置的个数为所述初始距离切片数目。
- [0020] 进一步地,每个距离切片的延迟时间通过以下公式确定
- [0021] 第*i*个切片对应的延迟时间=
$$\frac{2 \times (i-1) \times \text{最小可达距离切片长度} \times \text{水体折射率}}{\text{光速}}$$
。
- [0022] 进一步地,每个距离切片的选通门宽为光波在[0m,最大作用距离]范围内往返一次所需的时间。
- [0023] 进一步地,确定每个距离切片的累积脉冲数的过程为:
- [0024] 基于能量相等原理计算每相邻两个切片之间中心位置处的第一累积脉冲数,
- [0025] 确定对应衰减系数下成像系统采用单选通模式对工作距离范围中间位置处标准分辨率靶板成最优图像时的第二累积脉冲数;
- [0026] 根据第二累积脉冲数调整第一累积脉冲数得到实际累积脉冲数;
- [0027] 基于前一个切片的累计脉冲数会叠加到后续切片中的原理以及实际累积脉冲数确定每个距离切片的累积脉冲数。
- [0028] 更进一步地,以最小输出帧率为下限确定最多可用脉冲数,将每个距离切片的累积脉冲数从头开始逐一相加,当达到最多可用脉冲数时截断,则参与求和的切片数为实际距离切片数目。
- [0029] 本发明解决了传统水下距离选通激光成像在未知水域探测未知目标时的不足,极大扩展了其功能性,提升了其成像效果,可望成为一种非常有效、实用的水下目标光电探测手段,从而为海洋开发提供可靠的技术保障。

附图说明

- [0030] 图1为水下高重频激光距离选通成像系统组成示意图。
- [0031] 图2为全选通成像原理示意图。
- [0032] 图3为本发明的控制参数设置示意图。
- [0033] 图4为本发明距离-能量包络及最小可达距离切片长度示意图。

具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步说明。在此需要说明的是,对于这些实施方式的说明用于帮助理解本发明,但并不构成对本发明的限定。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以互相结合。

[0035] 全选通成像是水下高重频激光距离选通成像系统的一种工作模式。水下高重频激光距离选通成像系统的组成如图1所示,其核心硬件之一是高重频激光器。它可以一秒时间内发射上万个激光脉冲,每个激光脉冲发射后都会形成回波信号。通过高速时序控制电路对每个激光脉冲分别采取不同的时序进行选通接收,就可以有选择性的接收作用距离范围内不同距离切片的回波信号,并可对所接收的每个距离切片的回波脉冲数量进行控制。如图2所示,如果距离切片足够多,覆盖了系统整个作用距离范围,那么无论目标处于什么位置,总有一个选通切片的回波信号包含了目标的反射光信号,从而获得未知目标的图像,此即为全选通工作模式。

[0036] 如图3所示,本发明提供一种水下自适应全选通成像方法,设置水下高重频激光距离选通成像系统(以下简称系统)在全选通工作模式下的控制参数,基于设置控制参数后的水下高重频激光距离选通成像系统实现水下自适应全选通成像,设置的控制参数包括:

[0037] 光学系统参数:焦距、对焦、光圈;

[0038] 选通相机参数:增益、帧率;

[0039] 时序控制参数:距离切片数量以及每个距离切片所对应的延迟时间、选通门宽、累积脉冲数。

[0040] 具体设置上述参数的过程如下:

[0041] S1,系统开机后,先进行水体光学特性自动标定,获得工作水域的衰减系数。

[0042] 在进行水下目标成像探测之前,先让成像系统在工作水域对没有目标的水体进行一系列单选通成像,然后对这些相当于不同距离水体的后向散射光图像进行处理,通过将实测数据与所推导的理论公式进行拟合,确定出工作水域水体的衰减系数。为了更好地说明自适应成像过程,设测得的水体衰减系数为 0.2m^{-1} 。

[0043] S2,根据水体衰减系数确定工作距离范围。

[0044] 水下全选通成像的最大作用距离为H倍衰减长度,表示为:

[0045] 最大作用距离=H倍衰减长度=H/衰减系数,H为预先设定值

[0046] 因此,水下全选通成像的工作距离范围为从0米至最大作用距离处。示例中,取 $H=5$,则对于衰减系数为 0.2m^{-1} 的水体,工作距离范围为 $[0\text{m}, 25\text{m}]$ 。

[0047] S3,设定光学系统参数。

[0048] 改变光学系统的焦距就是改变系统的视场,考虑到水体散射会增大激光光束照明面积,设定焦距使得系统视场角为激光发散角的 $a(a>1)$ 倍, a 为设定值,示例中 $a=1.5$ 。

[0049] 由于水体折射率的影响,导致光学系统的景深有限,难以保证对工作距离范围内的所有目标都成清晰像,故将光学系统对焦在成像系统工作距离范围的中间点。

[0050] 由于水体对光的衰减比较严重,光学系统的光圈始终设定为最大。

[0051] S4,计算最小可达距离切片长度,根据最小可达距离切片长度及工作距离范围确定初始距离切片数目以及每个距离切片的延迟时间。

[0052] 当激光脉冲和选通门的波形都是矩形时,一个距离切片的距离-能量包络是一个

梯形,如图4所示,梯形所覆盖的距离范围就是该切片的长度,图中的参数确定如下:

$$[0053] \quad R1 = \frac{1}{2} \frac{(\text{延迟时间} - \text{脉冲宽度}) \times \text{光速}}{\text{水体折射率}} \quad R2 = \frac{1}{2} \frac{(\text{延迟时间} + \text{选通门宽}) \times \text{光速}}{\text{水体折射率}}$$

$$[0054] \quad \Delta R = R2 - R1 = \frac{1}{2} \frac{(\text{选通门宽} + \text{激光脉宽}) \times \text{光速}}{\text{水体折射率}}$$

[0055] 其中,R1为距离切片的起始点,R2为距离切片的结束点, ΔR 即为距离切片的长度。

[0056] 定义系统最小可达距离切片长度,指的是选通门宽设定为系统硬件所允许的最小选通门宽时,一个距离切片长度的b倍,b为标定值。设激光脉冲宽度为5ns,系统所允许的最小选通门宽为5ns,且b=2,则最小可达距离切片长度为2.25m。

[0057] 以四舍五入后的最小可达距离切片长度作为距离步进的步长从0开始确定每个距离切片的起始位置。在整个成像系统工作距离范围内的起始位置的个数就是初始距离切片数目,每个起始位置所对应的时间就是每个切片对应的延迟时间。在[0m,25m]范围内,以2m为间隔,共有13个起始位置,因此共有13个切片,每个切片对应的延迟时间为:

$$[0058] \quad \text{第} i \text{个切片对应的延迟时间} = \frac{2 \times (i-1) \times \text{最小可达距离切片长度} \times \text{水体折射率}}{\text{光速}}。$$

[0059] S5,根据超宽切片原理,结合工作距离范围确定每个距离切片的选通门宽。

[0060] 全选通成像模式下应采用超宽切片,因此每个距离切片所对应的选通门宽应等于光波在整个工作距离范围内往返一次所对应的时间。仍然以衰减系数为 0.2m^{-1} 为例,光波在[0m,25m]范围内往返一次所需的时间为222ns,因此选通门宽也设定为222ns。

[0061] S6,查询“控制参数设定数据库”,基于查询的参数确定每个距离切片的累积脉冲数,以及选通相机的增益;

[0062] 该数据库的查询项为衰减系数,查询值为每个衰减系数下成像系统采用单选通模式对工作距离范围中间位置处标准分辨率靶板成最优图像时的第二累积脉冲数mm和增益,其具体值的确定通过正交实验确定。对于衰减系数为 0.2m^{-1} 的水体,工作距离范围为[0m,25m],因此中间位置为12.5m,通过正交实验可以确定mm=1100,增益为2.7V。

[0063] 以下介绍如何根据所查询到的mm计算出每个距离切片所对应的实际累积脉冲数。首先,根据能量相等原理计算出在每相邻两个切片之间中心位置xi所应该具有的第一累积脉冲数mi,即

$$[0064] \quad \gamma \times m1 \times \exp(-\text{衰减系数} \times 2 \times x1) / x1^2 = P$$

$$[0065] \quad \gamma \times m2 \times \exp(-\text{衰减系数} \times 2 \times x2) / x2^2 = P$$

$$[0066] \quad \dots\dots$$

[0067] 上述 γ 是调整系数, $\gamma=0.1$,先设m1=1,以方便解算(解算出的mi要向上取整),P为累积能量。设xj为与工作距离范围中间位置最接近的距离点,mj为xj位置具有的累积脉冲数,则根据mj与mm的关系再重新计算出实际的累积脉冲数mbi:mbi=mi×mm/mj。

[0068] 因为使用的是超宽切片,因此前一个切片的累积脉冲数会加到后续切片中,因此有:

$$[0069] \quad n1 = mb1;$$

$$[0070] \quad n1 + n2 = mb2;$$

$$[0071] \quad n1 + n2 + n3 = mb3;$$

[0072]

[0073] 据此计算出 n_i ,到这里就初步确定了每个超宽距离切片的累积脉冲数。

[0074] 以衰减系数为 0.2m^{-1} 水体为例,每相邻两个切片之间中心位置分别为1、3、5、7、……、25,计算可得 $m=[1,3,\dots,922799]$ 。再根据实际上 $mm=1100$ 调整 m 得到 m_b ,最后得到初步的各距离切片累积脉冲数为 $n=[1,2,9,38,127,390,1122,\dots,365567]$ 。

[0075] S7,根据每个距离切片的累积脉冲数及选通相机帧频确定实际距离切片数目以及每个距离切片所对应的延迟时间。

[0076] 如果按初步确定的累积脉冲数分配,那远远超过了成像系统的硬件能力(高重频激光器的每秒的脉冲数在10000左右)。考虑到:①强烈的后向散射光主要来自接近成像系统的区域;②实际实验中发现,当目标距离较远时,改变累积脉冲数对成像效果几乎没有影响;③成像系统的输出帧率不能太低。因此,以成像系统最小输出帧率为下限计算最多可用脉冲数,然后将初步得到的各距离切片累积脉冲数从头开始逐一相加,当超过最多可用脉冲数时就截断。参与求和的切片数就是最终的切片数。

[0077] 仍以衰减系数为 0.2m^{-1} 进行计算,前面计算得到初步的各距离切片累积脉冲数为 $n=[1,2,9,38,127,390,1122,\dots,365567]$ 。最小输出帧率为20Hz,则最多可用累积脉冲数为 $10000/20=500$,因此当 $1+2+38+127+390=567$ 时截断,即最终只取5个切片,它们的起始位置分别是0米、2米、4米、8米、10米。如果帧率可以再降低一些,则可取6个切片,将多余的脉冲数分配到第6个切片上。

[0078] 以上仅为本发明的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本领域的技术人员在本发明所揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。本说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

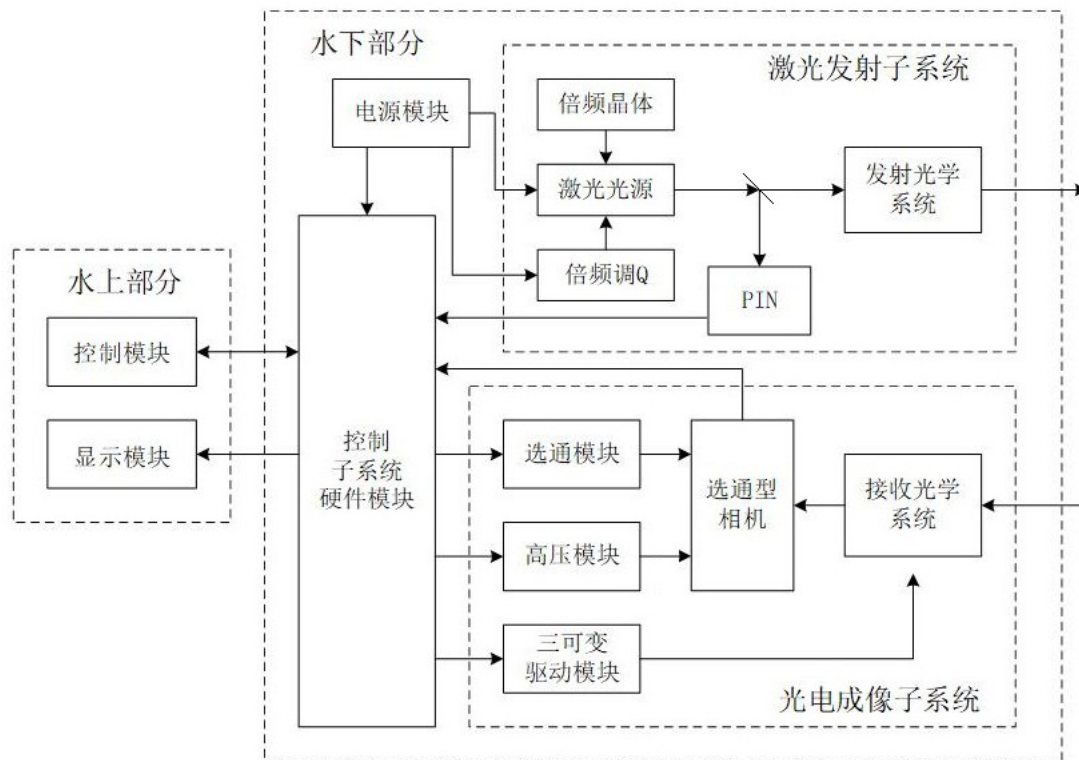


图 1

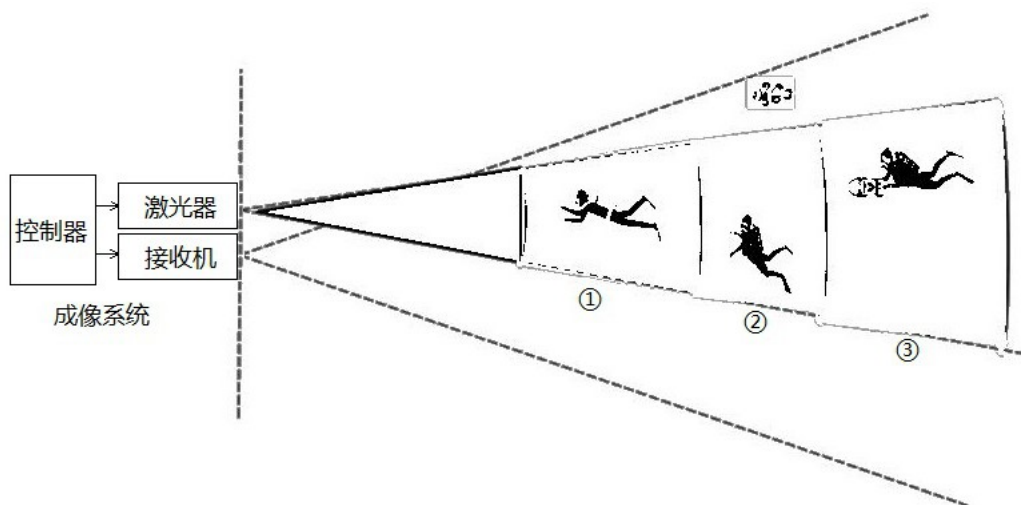


图 2

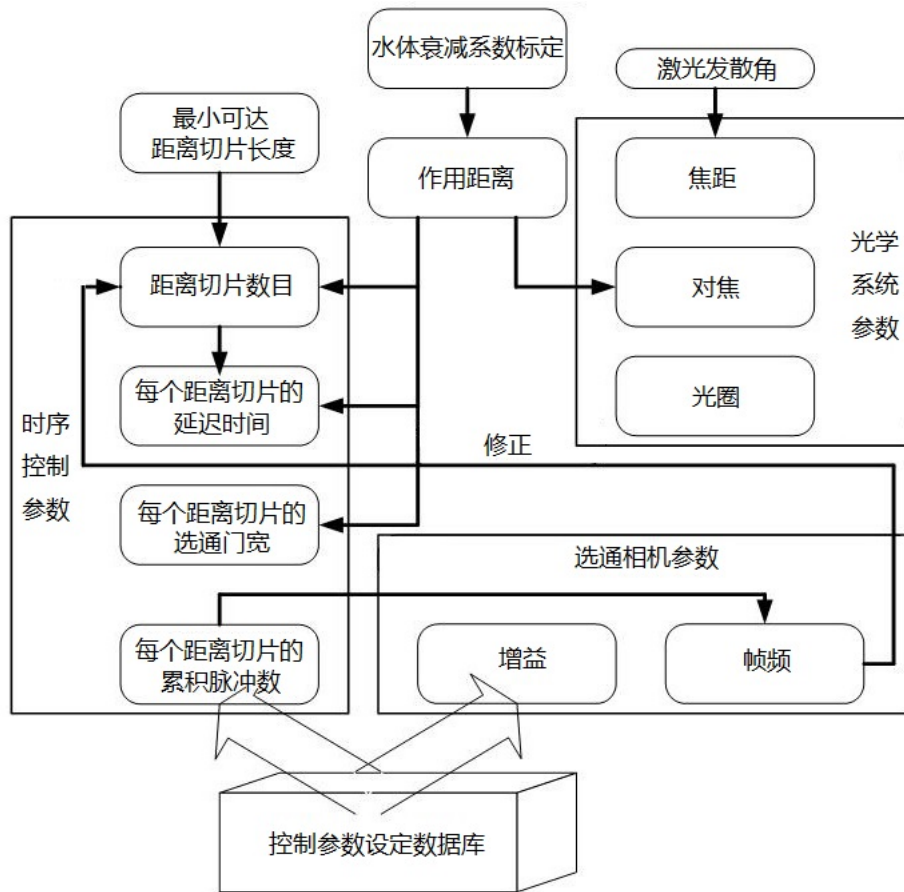


图 3

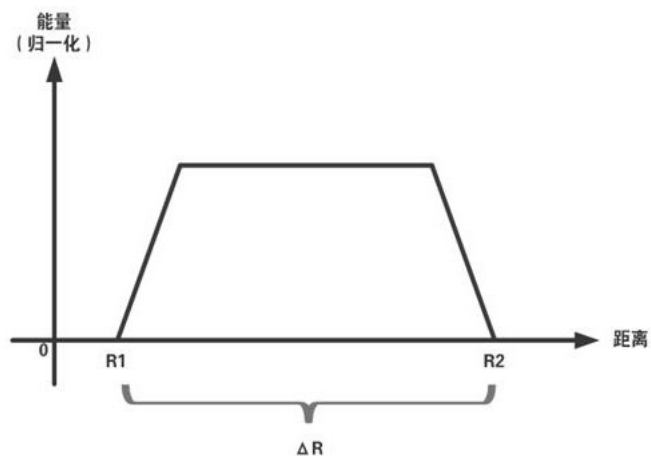


图 4