



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113424072 A

(43) 申请公布日 2021.09.21

(21) 申请号 202080012651.6

(22) 申请日 2020.02.14

(30) 优先权数据

19157383.1 2019.02.15 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.08.04

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2020/053872 2020.02.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02020/165401 EN 2020.08.20

(71) 申请人 索尼半导体解决方案公司

地址 日本神奈川

(72) 发明人 丁庆 阿尔珀·埃尔坎

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

代理人 吴孟秋

(51) Int.Cl.

G01S 7/4915 (2006.01)

G01S 7/497 (2006.01)

G01S 17/36 (2006.01)

G01S 7/4861 (2006.01)

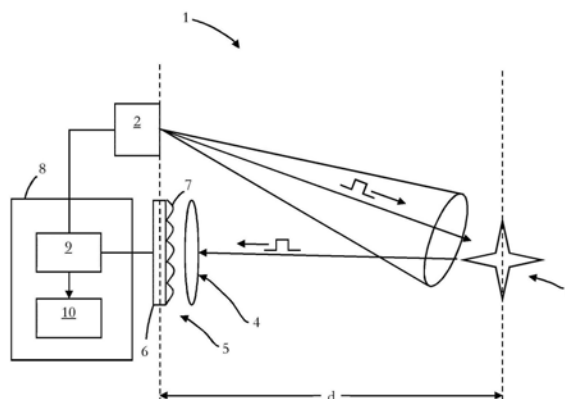
权利要求书2页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

飞行时间装置和方法

(57) 摘要

一种飞行时间装置,具有配置成向场景发射光脉冲的光源、配置成检测从场景反射的光的光检测器,以及控制器,该控制器被配置成驱动光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲、基于解调时间间隔来驱动光检测器检测该脉冲密度调制光脉冲,并基于所检测到的密度调制光脉冲来重构该预定光波形。



1. 一种飞行时间装置,包括:
光源,被配置成向场景发射光脉冲;
光检测器,被配置成检测从所述场景反射的光;以及
控制器,所述控制器被配置成:
驱动所述光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲;
基于解调时间间隔来驱动所述光检测器检测所述脉冲密度调制光脉冲;以及
基于所检测到的所述脉冲密度调制光脉冲来重构所述预定光波形。
2. 根据权利要求1所述的飞行时间装置,其中,呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲是在所述解调时间间隔内检测的。
3. 根据权利要求2所述的飞行时间装置,其中,所述预定光波形的周期对应于所述解调时间间隔。
4. 根据权利要求1所述的飞行时间装置,其中,呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲分布在多个解调时间间隔上。
5. 根据权利要求4所述的飞行时间装置,其中,呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲分布成使得对于所述多个解调时间间隔中的每一个,发射一个光脉冲。
6. 根据权利要求5所述的飞行时间装置,其中,所述光源被驱动为对于每个解调时间间隔,发射所述脉冲密度调制光脉冲中的一个光脉冲。
7. 根据权利要求5所述的飞行时间装置,其中,所述解调时间间隔被划分为多个解调时间间隔时隙。
8. 根据权利要求7所述的飞行时间装置,其中,所述解调时间间隔时隙的数量对应于呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲的数量。
9. 根据权利要求1所述的飞行时间装置,其中,所述控制器还被配置成检测所检测到的所述脉冲密度调制光脉冲的相位测量中的周期性误差,并基于所检测到的所述周期性误差来调整所述预定光波形。
10. 根据权利要求9所述的飞行时间装置,其中,所述周期性误差通过迭代地调整所述光波形和检测所述周期性误差而被最小化。
11. 一种用于控制飞行时间装置的方法,所述飞行时间装置包括配置成向场景发射光脉冲的光源和配置成检测从所述场景反射的光的光检测器,所述方法包括:
驱动所述光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲;
基于解调时间间隔来驱动所述光检测器检测所述脉冲密度调制光脉冲;以及
基于所检测到的所述脉冲密度调制光脉冲来重构所述预定光波形。
12. 根据权利要求11所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,在所述解调时间间隔内检测呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲。
13. 根据权利要求12所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,所述预定光波形的周期对应于所述解调时间间隔。
14. 根据权利要求11所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲分布在多个解调时间间隔上。
15. 根据权利要求14所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲分布成使得对于所述多个解调时间间隔中的每一个,发射一个

光脉冲。

16. 根据权利要求15所述的用于控制飞行时间装置的方法, 其中, 驱动所述光源以对于每个解调时间间隔, 发射所述脉冲密度调制光脉冲中的一个光脉冲。

17. 根据权利要求15所述的用于控制飞行时间装置的方法, 其中, 所述解调时间间隔被划分为多个解调时间间隔时隙。

18. 根据权利要求17所述的用于控制飞行时间装置的方法, 其中, 所述解调时间间隔时隙的数量对应于呈现所述预定光波形的所述脉冲密度调制光脉冲的数量。

19. 根据权利要求11所述的用于控制飞行时间装置的方法, 还包括检测所检测到的所述脉冲密度调制光脉冲的相位测量中的周期性误差, 以及基于所检测到的所述周期性误差来调整所述预定光波形。

20. 根据权利要求19所述的用于控制飞行时间装置的方法, 其中, 通过迭代地调整所述光波形和检测所述周期性误差来使所述周期性误差最小化。

飞行时间装置和方法

技术领域

[0001] 本公开总体上涉及一种飞行时间装置,以及一种用于控制飞行时间装置的方法。

背景技术

[0002] 已知的飞行时间系统通常具有用于照亮关注区域的光源以及用于检测来自关注区域的光的传感器以用于确定光源与关注区域之间的距离。

[0003] 例如,该距离可以基于由光源发射并在进而与该距离相关联的关注区域中反射的光子的飞行时间来确定。该技术也被称为直接飞行时间(dToF),并且它可以例如基于确定光从光源行进到关注区域和返回至传感器时的往返时间。

[0004] 此外,间接飞行时间装置(iToF)是已知的,其通过检测从场景反射的检测光的相移来间接获得距离测量结果。

[0005] 通常,对于iToF,已知的是在相移的重构期间在相位测量中可能发生周期性误差,其中,通常会校正此类误差。

[0006] 虽然存在飞行时间装置和用于控制飞行时间装置的方法,但通常仍希望提供一种至少能够减少相位测量中的误差的飞行时间装置和用于控制飞行时间装置的方法。

发明内容

[0007] 根据第一方面,本公开提供了一种飞行时间装置,该飞行时间装置包括:光源,被配置成向场景发射光脉冲;光检测器,被配置成检测从场景反射的光;以及控制器,该控制器被配置成驱动该光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲;基于解调时间间隔来驱动该光检测器检测该脉冲密度调制光脉冲;以及基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构该预定光波形。

[0008] 根据第二方面,本公开提供了一种用于控制飞行时间装置的方法,该飞行时间装置包括配置成向场景发射光脉冲的光源和配置成检测从场景反射的光的光检测器,该方法包括:驱动该光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲;基于解调时间间隔来驱动该光检测器检测该脉冲密度调制光脉冲;以及基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构该预定光波形。

[0009] 其他方面在从属权利要求、以下描述和附图中进行了阐述。

附图说明

[0010] 相对于附图以示例的方式对实施例进行了阐述,其中:

[0011] 图1示出了ToF装置的实施例;

[0012] 图2示出了在正弦波形情景中反射的正弦强度调制波形的同步采样;

[0013] 图3示出了在方形波形情景中反射的正弦强度调制波形的同步采样;

[0014] 图4示出了相位测量中产生的周期性误差,其中,所发射的光脉冲和所检测到的光脉冲呈现方形波形;

[0015] 图5示出了ToF装置的实施例,其中,所发射的光脉冲是呈现正弦波形的脉冲密度调制光脉冲;

[0016] 图6示出了发射具有误差检测和波形调谐的脉冲密度调制正弦波形光脉冲的ToF装置的实施例;

[0017] 图7示出了正弦波形的脉冲密度调制的示例;

[0018] 图8示出了一个循环脉冲密度调制结构中的改进的脉冲密度调制光脉冲的实施例;

[0019] 图9示出了用于不同持续时间的脉冲的延迟发生器的实施例;以及

[0020] 图10是用于提供ToF装置的方法的实施例的流程图。

具体实施方式

[0021] 在给出参照图1的实施例的详细描述之前,进行总体性解释。

[0022] 如开始所指出的,飞行时间 (ToF) 技术可分为两种主要技术,即,间接ToF (iToF) 技术和直接ToF (dToF) 技术。

[0023] iToF相机通过基于相关波(例如,用于驱动光源、图像传感器等的调制信号与基于反向散射光获得的信号之间的相关波)重构相移来间接获得距离测量结果。相关波可通过对所检测到的和解调的光信号的多个循环(例如,数千、数百万或任何其他合适的数目)进行整合来测量。

[0024] 如引言中所指出的,相位测量中可能出现误差,例如摆动误差或周期性误差。已经认识到,正如下面进一步解释的,由于解调光脉冲和使用不同公式计算相位可能导致此类误差,所以在一些实施例中,发射到场景的光脉冲呈现预定光波形。

[0025] 因此,一些实施例涉及一种飞行时间装置,其包括配置成向场景发射光脉冲的光源、配置成检测从场景反射的光的光检测器,以及控制器,该控制器被配置成:驱动光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲、基于解调时间间隔来驱动光检测器检测脉冲密度调制光脉冲,以及基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构预定光波形。

[0026] 一些实施例还涉及一种用于控制如本文讨论的包括配置成向场景发射光脉冲的光源和配置成检测从场景反射的光的光检测器的飞行时间装置的方法,其中,该方法包括驱动光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲、基于解调时间间隔来驱动光检测器检测脉冲密度调制光脉冲,以及基于所检测到的密度调制光脉冲来重构预定光波形。

[0027] 以下描述涉及飞行时间装置以及用于控制飞行时间装置的方法。

[0028] 通常,在一些实施例中,飞行时间装置可基于任何已知的ToF技术,包括间接ToF传感器,其中,通过确定所发射的、所接收的和所检测到的光的相移来间接测量距离。

[0029] 光源可包括LED(发光二极管),或者其可基于激光元件,例如VCSEL(垂直腔面发射激光器)等。光源可被配置为PW(脉冲波)光源,其被配置成向场景(关注区域或物体等)发射光脉冲。

[0030] 光检测器可基于用于飞行时间系统的任何类型的已知感测技术,并且可基于例如CMOS(互补金属氧化物半导体)、CCD(电荷耦合器件)、SPAD(单光子雪崩二极管)、CAPD(电流辅助光电二极管)技术等。其可包括多个光检测元件(光电二极管),如通常所知,其可以以像素为单位排列。

[0031] 控制器可包括一个或多个(微)处理器、现场门处理器、存储器和通常在飞行时间系统的电子控制中实施的其它组件。

[0032] 控制器可被配置在硬件和/或软件中。

[0033] 如上所述,控制器驱动光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲。因此,所发射的脉冲密度调制光脉冲可被配置成使得其呈现具有例如预定周期的正弦形状、方形形状等。此外,控制器驱动光检测器基于解调时间间隔来检测脉冲密度调制光脉冲,并基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构预定光波形。

[0034] 通过脉冲密度调制脉冲调制或呈现波形是众所周知的,并因此,在一些实施例中,通过脉冲密度调制光脉冲调制光波形遵循这些已知原理。

[0035] 在一些实施例中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲是在解调时间间隔内检测的。

[0036] 在一些实施例中,预定光波形的周期对应于解调时间间隔。预定光波形的周期可以是解调时钟周期,例如,解调周期T的一个循环。因此,可以在一个解调周期内检测所有的脉冲密度调制光脉冲,该一个解调周期对应于光检测器被驱动和读出所在的解调周期。

[0037] 此外,在一些实施例中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布在多个解调时间间隔上。即,可以将一个解调时钟周期划分为多个解调时间间隔,例如划分为N个持续时间。

[0038] 因此,在一些实施例中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布成使得对于多个解调时间间隔中的每一个,发射一个光脉冲。例如,在一个解调周期T内可以仅发送i (i = 1、2、3...N)的一个持续时间,并且i的发送脉冲的总数为 M_i 。

[0039] 因此,在一些实施例中,驱动该光源以对于每个解调时间间隔发射脉冲密度调制光脉冲中的一个光脉冲。在一个解调周期中,可发射一个光脉冲。所发射的光脉冲可具有短占空比,其持续时间可与脉冲密度调制光脉冲的持续时间相同。

[0040] 在一些实施例中,解调时间间隔被划分为多个解调时间间隔时隙。

[0041] 在一些实施例中,解调时间间隔时隙的数量对应于呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲的数量。如果 M_i (即,第i种类型脉冲的总数)遵循以下公式,则预定光波形呈现正弦波形:

$$[0042] \quad \frac{M_i}{\sum_{j=1}^N M_j} = \frac{1 + \sin((i - a) \times \frac{2\pi}{N})}{2\pi}$$

[0043] 其中,a的典型值为0.5,并且如有必要,其可改变。

[0044] 在一些实施例中,控制器还被配置成检测所检测到的脉冲密度调制光脉冲的相位测量中出现的周期性误差,并基于所检测到的周期性误差来调整预定光波形。具体地,解调呈现正弦波形的脉冲密度调制光脉冲,通过恢复相位分量并因此恢复相位而间接获得距离。相位可以采用以下公式计算:

$$[0045] \quad \varphi = \begin{cases} \operatorname{atan}\left(\frac{I0 - I180}{I90 - I270}\right), & \text{if } I0 - I180 \geq 0 \text{ and } I90 - I270 \geq 0 \\ \operatorname{atan}\left(\frac{I0 - I180}{I90 - I270}\right) + \pi, & \text{if } I90 - I270 < 0 \\ \operatorname{atan}\left(\frac{I0 - I180}{I90 - I270}\right) + 2\pi, & \text{if } I0 - I180 < 0 \text{ and } I90 - I270 \geq 0 \end{cases}$$

[0046] 其中I0是同相分量,I180是I0的互补分量,I90是异相分量,并且I270是I90的互补分量。

[0047] 通过计算相位,可以使用以下公式很容易地计算距离测量结果:

$$[0048] \quad d = \frac{\varphi \times c}{4\pi f_{\text{mod}}}$$

[0049] 其中,c是光速, f_{mod} 是调制频率。

[0050] 此外,解调呈现方形波形的脉冲密度调制光脉冲,可以使用以下公式来计算相位:

$$[0051] \quad \phi = \begin{cases} \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I, Q \geq 0 \\ \frac{3 \cdot \pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I < 0, Q \geq 0 \\ \frac{7 \cdot \pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I \geq 0, Q < 0 \\ \frac{5 \cdot \pi}{4} - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I < 0, Q < 0 \end{cases}$$

[0052] 其中, $I = I0 - I180$, $Q = I90 - I270$ 。

[0053] 然而,脉冲密度调制光脉冲可不呈现正弦波形或方形波形(例如,由于光源、用于驱动光源的电子器件等的限制)。因此,使用上述两个相位公式之一来计算相位可能会导致所检测到的脉冲密度调制光脉冲的相位测量中出现周期性误差。但是,另一方面,用脉冲密度调制光脉冲呈现光波形至少会降低光波形的呈现中的误差,因为波形是基于多个脉冲密度调制光脉冲来重构的,使得降低了每个光脉冲的形状对整个光波形的影响。

[0054] 在一些实施例中,通过迭代地调整光波形和检测周期性误差来使周期性误差最小化。特别地,通过迭代地调整光波形和检测周期性误差,可以不需要进行周期性误差校正。此外,对所发射的光脉冲进行校准可一次性实施,从而可以使飞行时间的负担和工作频率最小化。因此,在一些实施例中,这种周期性误差最小化是在设备的初始化或启动时进行的。

[0055] 回到图1,示出了飞行时间(ToF)装置1的实施例,其可用于深度感测或提供距离测量,特别是用于本文所讨论的技术。ToF装置1具有电路8,其被配置成执行本文所讨论的方法(并且将在下面对其进行进一步讨论),并且其形成对ToF装置1的控制(并且其包括(未示出)本领域技术人员公知的相应处理器、内存和存储器)。

[0056] ToF装置1具有脉冲光源2,并且包括发光元件(基于激光二极管),其中,在本实施例中,发光元件是窄带激光元件。

[0057] 光源2向场景3(关注区域或物体)发射脉冲光(即,本文所讨论的脉冲密度调制光脉冲),该场景会反射光。通过反复地向场景3发射光,可以扫描场景3,这是本领域技术人员公知的。反射光由光学堆叠件4聚焦到光检测器5。

[0058] 光检测器5具有基于在像素阵列中形成的多个SPAD(单光子雪崩二极管)实现的图

像传感器6,以及将从场景3反射的光聚焦到图像传感器6(到图像传感器6的每个像素)的微透镜阵列7。

[0059] 当检测到从场景3反射的光时,发光时间和调制信息被馈送到包括飞行时间测量单元9的电路或控制器8,该电路或控制器还从图像传感器6接收相应的信息。如上所讨论的,基于由从光源2接收的所发射的脉冲密度调制光脉冲呈现的光波形和所执行的解调,飞行时间测量单元9计算从光源2发射并被场景3反射的所接收的光脉冲的相移,并在此基础上计算图像传感器6与场景3之间的距离d(深度信息)。

[0060] 深度信息从飞行时间测量单元9馈送到电路8的3D图像重构单元10,该3D图像重构单元基于从飞行时间测量单元9接收到的深度信息来重构(生成)场景3的3D图像。

[0061] 图2示出了在正弦波形情景中反射的正弦强度调制波形的同步采样,以便增强对本公开的总体理解。

[0062] 图2在a)部分中示出了光脉冲的正弦波形,即,强度的时间演变,其中,该光脉冲由ToF光源发射以照亮关注区域(例如场景)。横坐标表示时间,并且纵坐标表示照亮强度。

[0063] 图2的b)部分示出了与同相分量I₀及其互补分量I₁₈₀相关的正弦波形信号的三个时间演变图(上图、中图、下图)。上图示出了光脉冲的检测强度随时间的变化。横坐标表示时间,并且纵坐标表示检测强度。中图示出了光检测器的状态(开-关状态)随时间的变化。横坐标表示时间,并且纵坐标表示光检测器的状态。下图示出了所接收到的光脉冲与用作参考时钟的解调时钟之间的相关性强度随时间的变化。横坐标表示时间,并且纵坐标表示相关性强度。虚线将时间轴划分为四个部分,并且呈现了光脉冲信号的四个相位中的两个,例如同相分量,即,同相分量I₀和I₀的同相互补分量I₁₈₀。在光检测器开启的时间间隔内,解调所接收到的光脉冲的信号,并获取同相分量I₀。

[0064] 图2的c)部分示出了与异相分量I₉₀及其互补分量I₂₇₀相关的正弦波形信号的三个时间演变图(上图、中图、下图)。上图示出了光脉冲的检测强度随时间的变化。横坐标表示时间,并且纵坐标表示照亮强度。中图示出了光检测器的状态(开-关状态)随时间的变化。横坐标表示时间,并且纵坐标表示光检测器的状态。下图示出了所接收到的光脉冲与用作参考时钟的解调时钟之间的相关性强度随时间的变化。横坐标表示时间,并且纵坐标表示相关性强度。虚线将时间轴划分为四个部分,并且呈现了光脉冲信号的四个相位中的两个,例如异相分量,即,异相分量I₉₀和I₉₀的异相互补分量I₂₇₀。在光检测器开启的时间间隔内,解调所接收到的光脉冲的信号,并获取异相分量I₉₀。

[0065] iToF像素传感器(例如ToF光检测器)解调例如在场景中反射的数百万个照明调制循环,以用于对相关波进行采样,该相关波基于通过将所发射的和所检测的光相关联而获得的相关性。

[0066] 在ToF装置中,从光源发射的光脉冲被认为具有正弦波形。如本领域技术人员公知的,iToF相机通过恢复相关波的相位而间接地获得深度测量结果。相关波的相位可使用公式(1)来计算:

$$[0067] \quad \varphi = \begin{cases} \operatorname{atan}\left(\frac{I_0 - I_{180}}{I_{90} - I_{270}}\right), & \text{if } I_0 - I_{180} \geq 0 \text{ and } I_{90} - I_{270} \geq 0 \\ \operatorname{atan}\left(\frac{I_0 - I_{180}}{I_{90} - I_{270}}\right) + \pi, & \text{if } I_{90} - I_{270} < 0 \\ \operatorname{atan}\left(\frac{I_0 - I_{180}}{I_{90} - I_{270}}\right) + 2\pi, & \text{if } I_0 - I_{180} < 0 \text{ and } I_{90} - I_{270} \geq 0 \end{cases}$$

[0068] 距离测量结果使用公式 (2) 来计算：

$$[0069] \quad d = \frac{\varphi \times c}{4\pi f_{\text{mod}}}$$

[0070] 其中, c 是光速, f_{mod} 是调制频率 (也参见上文)。

[0071] 图3示出了在方形波形情景中反射的正弦强度调制波形的同步采样。

[0072] 图3的a) 部分示出了光脉冲的方形波形, 即, 强度的时间演变, 其中, 光脉冲由ToF光源发射以照亮关注区域 (例如场景)。横坐标表示时间, 并且纵坐标表示照亮强度。

[0073] 图3的b) 部分示出了与同相分量 I_0 及其互补分量 I_{180} 相关的方形波形信号的三个时间演变图 (上图、中图、下图)。虚线将图的时间轴划分为四个部分。这些部分表示光脉冲信号的四个相位中的两个, 例如同相分量, 即, 同相分量 I_0 和 I_0 的同相互补分量 I_{180} 。在光检测器开启的时间间隔内, 解调所接收到的光脉冲的信号, 并获取同相分量 I_0 。

[0074] 上图示出了光脉冲的检测强度随时间的变化。横坐标表示时间, 并且纵坐标表示检测强度。中图示出了光检测器的状态 (开-关状态) 随时间的变化。横坐标表示时间, 并且纵坐标表示光检测器的状态。下图示出了所接收到的光脉冲与用作参考时钟的解调时钟之间的相关性强度随时间的变化。横坐标表示时间, 并且纵坐标表示相关性强度。在光检测器开启的时间间隔期间, 解调所接收到的光脉冲信号, 并获取同相分量 I_0 。

[0075] 图3的c) 部分示出了与异相分量 I_{90} 及其互补分量 I_{270} 相关的正弦波形信号的三个时间演变图 (上图、中图、下图)。虚线将时间轴划分为四个部分, 并且呈现了光脉冲信号的四个相位中的两个, 例如异相分量, 即, 异相分量 I_{90} 和 I_{90} 的异相互补分量 I_{270} 。在光检测器开启的时间间隔内, 解调所接收到的光脉冲信号, 并获取异相分量 I_{90} 。

[0076] 上图示出了光脉冲的检测强度随时间的变化。横坐标表示时间, 并且纵坐标表示检测强度。中图示出了光检测器的状态 (开-关状态) 随时间的变化。横坐标表示时间, 并且纵坐标表示光检测器的状态。下图示出了所接收到的光脉冲与用作参考时钟的解调时钟之间的相关性强度随时间的变化。横坐标表示时间, 并且纵坐标表示相关性强度。在光检测器开启的时间间隔期间, 解调所接收到的光脉冲信号, 并获取异相互补分量 I_{270} 。

[0077] 在图2中, 光源是正弦强度调制的, 其中, 存在一个基频。然而, 在实践中, 为了减轻激光驱动电路设计的复杂性并提高电光效率, 使用了简化的电子开关型激光驱动器。因此, 由于这种激光驱动器的开关特性, 可以用方形波光脉冲代替正弦波。

[0078] 在具有方形波形信号的情况下, 使用公式 (3) 来计算相位：

$$[0079] \quad \phi = \begin{cases} \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I, Q \geq 0 \\ \frac{3 \cdot \pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I < 0, Q \geq 0 \\ \frac{7 \cdot \pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I \geq 0, Q < 0 \\ \frac{5 \cdot \pi}{4} - \frac{\pi}{4} \cdot \frac{|I| - |Q|}{|I| + |Q|} & : I < 0, Q < 0 \end{cases}$$

[0080] 其中, $I = I_{0-1180}$, 并且 $Q = I_{90-1270}$ 。

[0081] 使用公式 (1) 解调方形波形信号, 方形混合信号的一阶谐波将光脉冲的一阶谐波解调至基频。这可能出现周期性或摆动误差, 其在图4中进行了更详细地解释。当照明调制波形为正弦时, 通过使用用于方形波形计算相位的公式, 会出现这种误差或现象。

[0082] 图4示出了相位测量中产生的周期性误差, 其中, 所发射的光脉冲和所检测到的光脉冲呈现方形波形。

[0083] 图4的a) 部分示出了以弧度为单位的测量相位随以弧度为单位的输入相位的变化。横坐标表示以弧度为单位的输入相位, 并且其从0增加至6。纵坐标表示以弧度为单位的测量相位, 并且其从0增加至6。图4的b) 部分示出了以毫弧度为单位的摆动误差随以弧度为单位的输入相位的变化。横坐标表示以弧度为单位的输入相位, 并且其从0增加至6。纵坐标表示以毫弧度为单位的摆动或周期性误差, 并且其从-100增加至+100。如上文在图3中提到的, 使用用于正弦光脉冲信号的公式解调和计算方形光脉冲信号的相位可能会导致摆动误差或周期性误差。因此, 使用用于方形光脉冲信号的公式解调和计算正弦光脉冲信号的相位可能会导致摆动误差或周期性误差。

[0084] 在方形波形调制光脉冲在方形波形与正弦波形之间被滤波的情况下, 也可能产生摆动误差或周期性误差。

[0085] 在一些实施例中, 通过用脉冲密度调制光脉冲呈现光波形至少可减少这种误差。

[0086] 图5示出了ToF装置或系统41的实施例, 其中, 所发射的光脉冲是脉冲密度调制正弦波形光脉冲。

[0087] ToF系统41的光源42向关注物体43 (例如场景) 发射具有或呈现正弦光波形的光脉冲, 这在图7中进行了更详细地描述。所发射的光脉冲是脉冲密度调制 (PDM) 光脉冲, 其强度呈现正弦波形。从场景反射的光脉冲包括由ToF系统41的光检测器44检测的光子。所反射的光脉冲的检测信号基于解调系统时钟进行解调, 例如, 该系统的解调频率与正弦波的频率相同。这也被称为异步解调, 即, 保持与正弦频率相同的频率 (非PDM频率) 以检测正弦信号。通过解调所反射的光脉冲, 使用公式 (1) 计算由脉冲密度调制光脉冲呈现的光波的相位, 只要该脉冲密度调制频率 (PDM信号中的方形波形) 高于系统带宽。PDM调制频率高于系统带宽可导致最小的摆动或周期性误差。

[0088] 图6示出了发射具有误差检测和波形调谐的脉冲密度调制正弦波形光脉冲的ToF装置或系统51的实施例。

[0089] ToF系统51的光源52向关注物体53 (例如场景) 发射呈现正弦光波形的光脉冲, 这在图7中进行了更详细地描述。所发射的光脉冲是脉冲密度调制 (PDM) 光脉冲, 其强度呈现正弦波形。从场景反射的光脉冲包括由ToF系统51的光检测器54检测的光子。由所发射的光脉冲呈现的检测信号基于解调系统时钟进行解调, 其中, 例如, 该系统的解调频率与正弦波

的频率相同。这也是异步解调,即,保持与正弦频率相同的频率(非PDM频率),以检测由多个脉冲密度调制光脉冲呈现的正弦信号(光波形)。如参考图5所描述的,PDM频率高于系统带宽可导致最小的摆动或周期性误差。

[0090] 驱动ToF系统51的光检测器54检测所发射的脉冲密度调制光脉冲的相位测量中的周期性误差并调整所发射的脉冲密度调制光脉冲以呈现脉冲密度调制光波形,包括估算相位测量中的周期性误差,以及迭代地估算具有最小周期性误差的脉冲密度调制光波形。在本实施例中,这是通过在ToF系统51的电路内具有本文讨论的执行误差检测和波形调谐的额外单元55(例如误差检测和波形调谐块)来实现的。

[0091] 光检测器52被控制为调谐由所发射的脉冲密度调制光脉冲呈现的光波形的形状和/或调谐所发射的光脉冲的形状,以得到最小的摆动或周期性误差。由于照明光脉冲或解调(或混合)时钟失真,通过调谐PDM信号,可以实现最小的摆动误差或周期性误差。也就是说,并非每次(例如,对于每次测量)都校正摆动或周期性误差,而是首先估算摆动或周期性误差(例如,在初始化、启动、产生等期间),再计算并确定具有最小摆动或周期性误差的波形,然后将所发射的光脉冲调谐到该确定的波形,即,预定光波形。因此,通过迭代地调整待被脉冲密度调制的波形并检测周期性误差,然后再次调整光波形等直到周期性误差最小化,可以一次性校正摆动或周期性误差。

[0092] 图7示出了正弦波形的脉冲密度调制的示例。

[0093] 横坐标表示时间(从0至100),并且纵坐标表示信号的振幅(从-1.0至+1.5)。连续线表示信号的PDM正弦波形,即,单脉冲密度调制(光)脉冲,并且虚线表示正弦波形的模拟形式。为了精确地将方形波形(连续线)转换成正弦波形(虚线),脉冲密度调制光脉冲应在特定的持续时间(例如解调时间间隔)内发射。例如,为了模拟正弦信号的峰值,脉冲密度调制光脉冲的发射持续时间应长于用于模拟正弦信号的增加或减少的持续时间。

[0094] PDM信号用于脉冲,并且ToF系统的工作频率非常高,且在一些实施例中,其可以使用以下公式来计算:

$$[0095] \quad f_{\text{laser}} = N * f_{\text{demodulation}} \quad (4)$$

[0096] 其中, $f_{\text{demodulation}}$ 是常用解调频率,例如,时间分辨率像素中的解调频率,并且N是执行脉冲密度解调的一个循环内的步数。该解调频率从几兆赫到几百兆赫变化。

[0097] 因此,在一些实施例中, f_{laser} 可高达数千兆赫或甚至更高,以确保PDM信号导致的低摆动或周期性误差,其会导致激光器设计的负担。

[0098] 图8示出了一个循环脉冲密度调制结构中的脉冲密度调制光脉冲的实施例。

[0099] 图8的a)部分示出了划分为N个持续时间的解调周期(双箭头)的一个循环。与在一个解调周期内发射呈现光波形的一个周期的所有脉冲密度调制光脉冲的实施例相比,通过在一个解调周期内发送单个PDM脉冲,脉冲密度调制光脉冲的发射频率要低得多,使得光源可以以较低的频率驱动。实现该功能包括将一个解调时钟周期T划分为N个持续时间。之后,与图5和图6中讨论的发送PDM脉冲不同,如图8的b)部分所示,可以在一个解调循环中仅发送小持续时间的脉冲。因此,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布在多个解调时间间隔上。

[0100] 图8的b)部分示出了所发射的脉冲密度调制光脉冲的时间演变。在预定时间间隔内,例如在一个解调周期T内,从光源2发射每个单脉冲密度调制光脉冲。即,在一个解调周

期T中,从光源2发射仅一个脉冲,并且该脉冲具有短占空比,这与一个PDM脉冲持续时间相同。如图8的c)部分所示,在针对一段时间进行整合之后,将检测到许多单短占空比PDM脉冲,并且所有这些脉冲有效地呈现PDM信号的整个周期,使得可以重构光波形。该发送顺序只是示例,并且本发明不应仅限于该示例。

[0101] 图8的c)部分示出了压缩到一个有效循环中的一个整合时间的所有脉冲。例如,在图8的b)部分中,在一个解调周期T内可以发送*i* ($i=1,2,3\ldots N$)的仅一个持续时间,并且*i*的发送脉冲的总数是 M_i 。图8的c)部分示出了在已发送所有脉冲之后的情况,并且所有脉冲都被描绘为想象成一个循环,其中,图8的c)部分示出了有效的正弦波形形状,如图8的c)部分中的虚线正弦波一样,如果 M_i (即,第*i*种类型的脉冲的总数)遵循以下公式:

$$[0102] \quad \frac{M_i}{\sum_{j=1}^N M_j} = \frac{1 + \sin((i-a) \times \frac{2\pi}{N})}{2\pi} \quad (5)$$

[0103] 其中,a的典型值为0.5,该值如有必要可以改变和/或根据需要适应特定实施例。

[0104] 图8中的b)部分的发送顺序仅是一个示例。在一些实施例中,可以发送任何模式或顺序,只要满足定义一个循环的密度的公式(5)即可。可替代地,也可以发送随机顺序,只要第*i*个持续时间的脉冲的出现概率满足公式(5)的要求即可。

[0105] 图9示出了用于发射具有不同持续时间的光脉冲的延迟发生器系统71的实施例,该延迟发生器系统可以例如在图1的设置中实施以用于实施图8的实施例。脉冲发生器72向延迟发生器73发送脉冲,以用于移动每个光脉冲将被发射的时间。延迟发生器73向光源2发送延迟信号,以用不同持续时间和/或在不同时间点发射光脉冲。

[0106] 所发射的光脉冲的顺序也可通过使用如图9所示的延迟发生器来实现。时移(例如每个循环的延迟)可以是预定的或随机的。然而,本实施例仅是一个示例,其实现方法并不限于此。

[0107] 下面参照图10讨论了用于控制例如图1的间接ToF装置1的方法80,其示出了用于控制ToF装置(例如图1的ToF装置)的方法80的流程图。

[0108] 在81处,如上所讨论的,驱动光源(例如图1的光源2)以发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲。

[0109] 在82处,驱动光检测器5以基于解调时间间隔来检测脉冲密度调制光脉冲,并基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构预定光波形。

[0110] 在83处,如上所讨论的,基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构预定光波形,其中,在解调时间间隔内(其中,预定光波形的周期对应于解调时间间隔)检测呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲,或者其中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布在多个解调时间间隔上。

[0111] 在84处,如本文所讨论的,检测所检测到的脉冲密度调制光脉冲的相位测量中的周期性误差,并基于所检测到的周期性误差来调整预定光波形,其中,通过迭代地调整光波形和检测周期性误差来使周期性误差最小化。

[0112] 请注意,将电路8划分为单元9和10仅出于说明的目的,并且本公开不限于特定单元中的任何特定功能划分。例如,电路8可以由相应的编程处理器、现场可编程门阵列(FPGA)等实现。

[0113] 如本文所描述的方法(特别是方法80)在一些实施例中还被实现为当在计算机和/

或处理器和/或电路上执行时使计算机和/或处理器和/或电路执行该方法的计算机程序。在一些实施例中,还提供了一种非暂时性计算机可读存储介质,其中存储有计算机程序产品,当由诸如上述处理器的处理器执行时,该计算机程序产品使得该方法被执行。

[0114] 如果没有另外说明,则本说明书中描述的和在所附权利要求中要求保护的所有单元和实体均可实现为例如芯片上的集成电路逻辑,并且如果没有另外说明,则由这些单元和实体提供的功能可以由软件实现。

[0115] 就至少部分地使用软件控制的数据处理设备来实现上述公开的实施例而言,应当理解,提供这种软件控制的计算机程序以及提供这种计算机程序的传输、存储或其他介质被设想为本公开的各方面。

[0116] 注意,本技术也可如下所述进行配置。

[0117] (1) 一种飞行时间装置,包括:

[0118] 光源,被配置成向场景发射光脉冲;

[0119] 光检测器,被配置成检测从场景反射的光;以及

[0120] 控制器,该控制器配置成:

[0121] 驱动该光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲;

[0122] 基于解调时间间隔来驱动该光检测器检测该脉冲密度调制光脉冲;以及

[0123] 基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构该预定光波形。

[0124] (2) 如(1)所述的飞行时间装置,其中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲是在该解调时间间隔内检测的。

[0125] (3) 如(1)至(2)中任一项所述的飞行时间装置,其中,该预定光波形的周期对应于该解调时间间隔。

[0126] (4) 如(1)至(3)中任一项所述的飞行时间装置,其中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布在多个解调时间间隔上。

[0127] (5) 如(4)所述的飞行时间装置,其中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布成使得对于多个解调时间间隔中的每一个,发射一个光脉冲。

[0128] (6) 如(5)所述的飞行时间装置,其中,该光源被驱动为对于每个解调时间间隔,发射脉冲密度调制光脉冲中的一个光脉冲。

[0129] (7) 如(5)所述的飞行时间装置,其中,该解调时间间隔被划分为多个解调时间间隔时隙。

[0130] (8) 如(7)所述的飞行时间装置,其中,该解调时间间隔时隙的数量对应于呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲的数量。

[0131] (9) 如(1)至(8)中任一项所述的飞行时间装置,其中,该控制器还被配置成检测所检测到的脉冲密度调制光脉冲的相位测量中的周期性误差,并基于所检测到的周期性误差来调整该预定光波形。

[0132] (10) 如(9)所述的飞行时间装置,其中,该周期性误差通过迭代地调整光波形和检测该周期性误差而被最小化。

[0133] (11) 一种用于控制飞行时间装置的方法,该飞行时间装置包括配置成向场景发射光脉冲的光源和配置成检测从场景反射的光的光检测器,该方法包括:

[0134] 驱动该光源发射呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲;

- [0135] 基于解调时间间隔来驱动该光检测器检测该脉冲密度调制光脉冲;以及
- [0136] 基于所检测到的脉冲密度调制光脉冲来重构该预定光波形。
- [0137] (12) 如(11)所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,在多个解调时间间隔内检测呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲。
- [0138] (13) 如(11)至(12)中任一项所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,该预定光波形的周期对应于该解调时间间隔。
- [0139] (14) 如(11)至(13)中任一项所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布在多个解调时间间隔上。
- [0140] (15) 如(14)所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲分布成使得对于多个解调时间间隔中的每一个,发射一个光脉冲。
- [0141] (16) 如(15)所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,驱动该光源以对于每个解调时间间隔,发射脉冲密度调制光脉冲中的一个光脉冲。
- [0142] (17) 如(15)所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,该解调时间间隔被划分为多个解调时间间隔时隙。
- [0143] (18) 如(17)所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,该解调时间间隔时隙的数量对应于呈现预定光波形的脉冲密度调制光脉冲的数量。
- [0144] (19) 如(11)至(18)中任一项所述的用于控制飞行时间装置的方法,该方法还包括检测所检测到的脉冲密度调制光脉冲的相位测量中的周期性误差,以及基于所检测到的周期性误差来调整该预定光波形。
- [0145] (20) 如(19)所述的用于控制飞行时间装置的方法,其中,通过迭代地调整光波形和检测周期性误差来使周期性误差最小化。

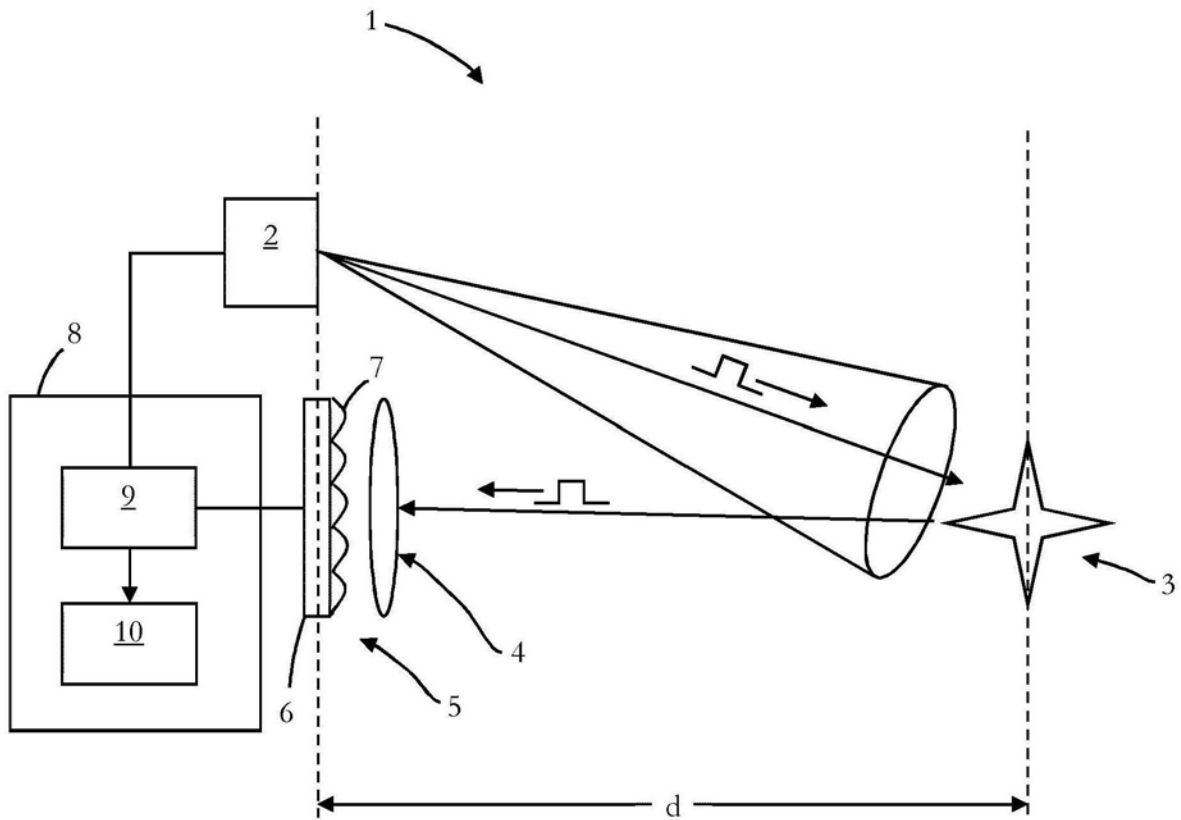


图1

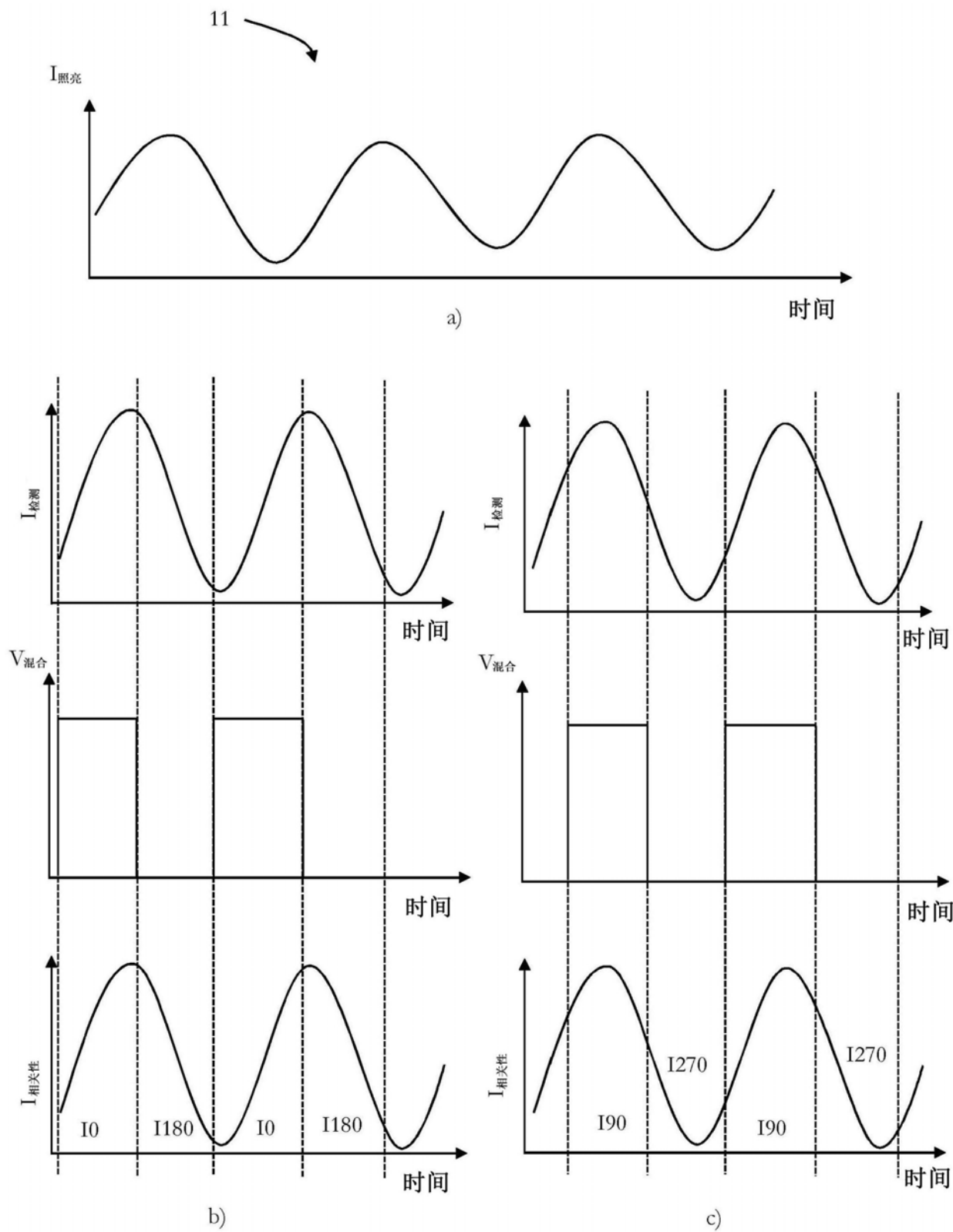


图2

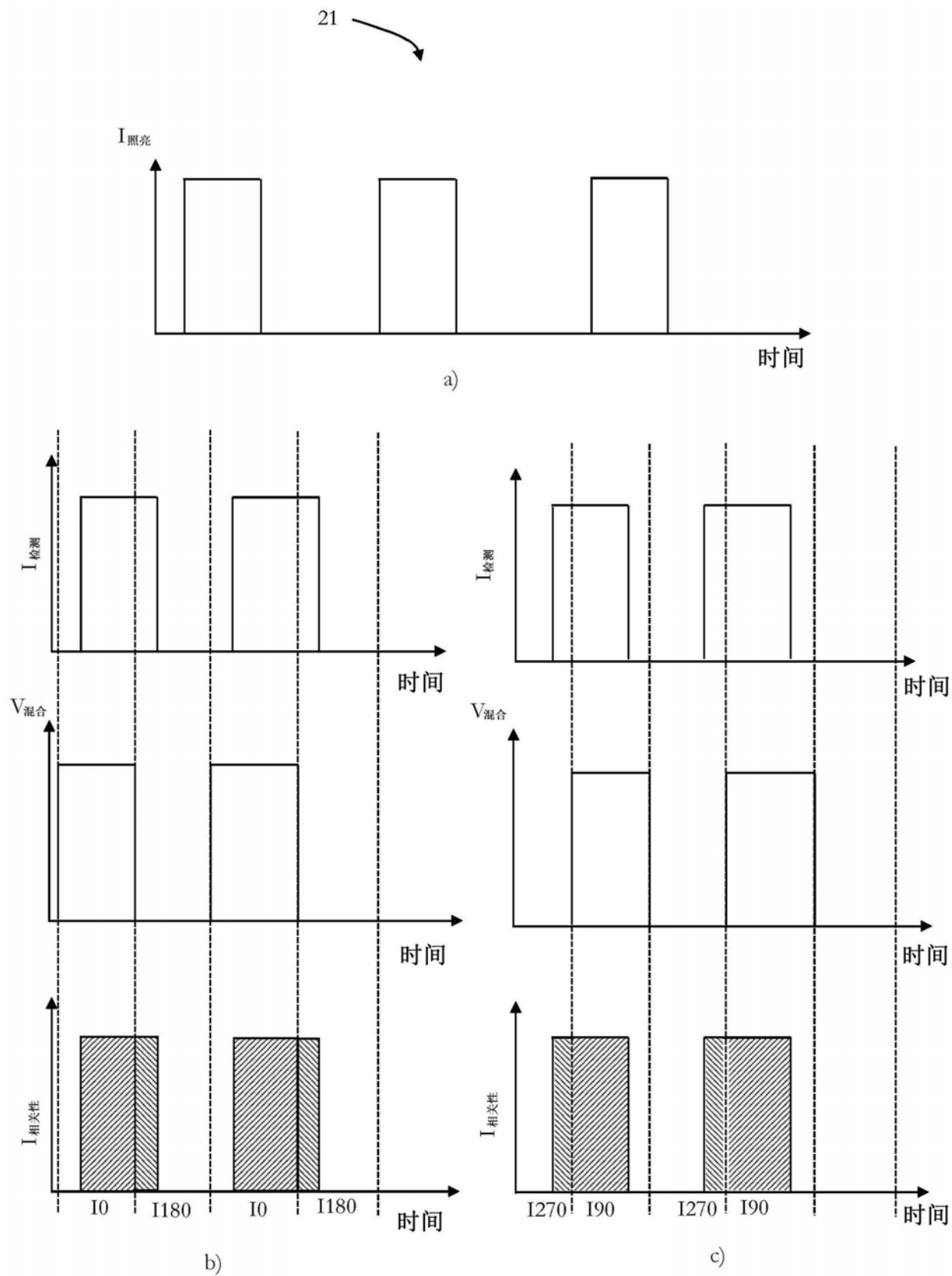


图3

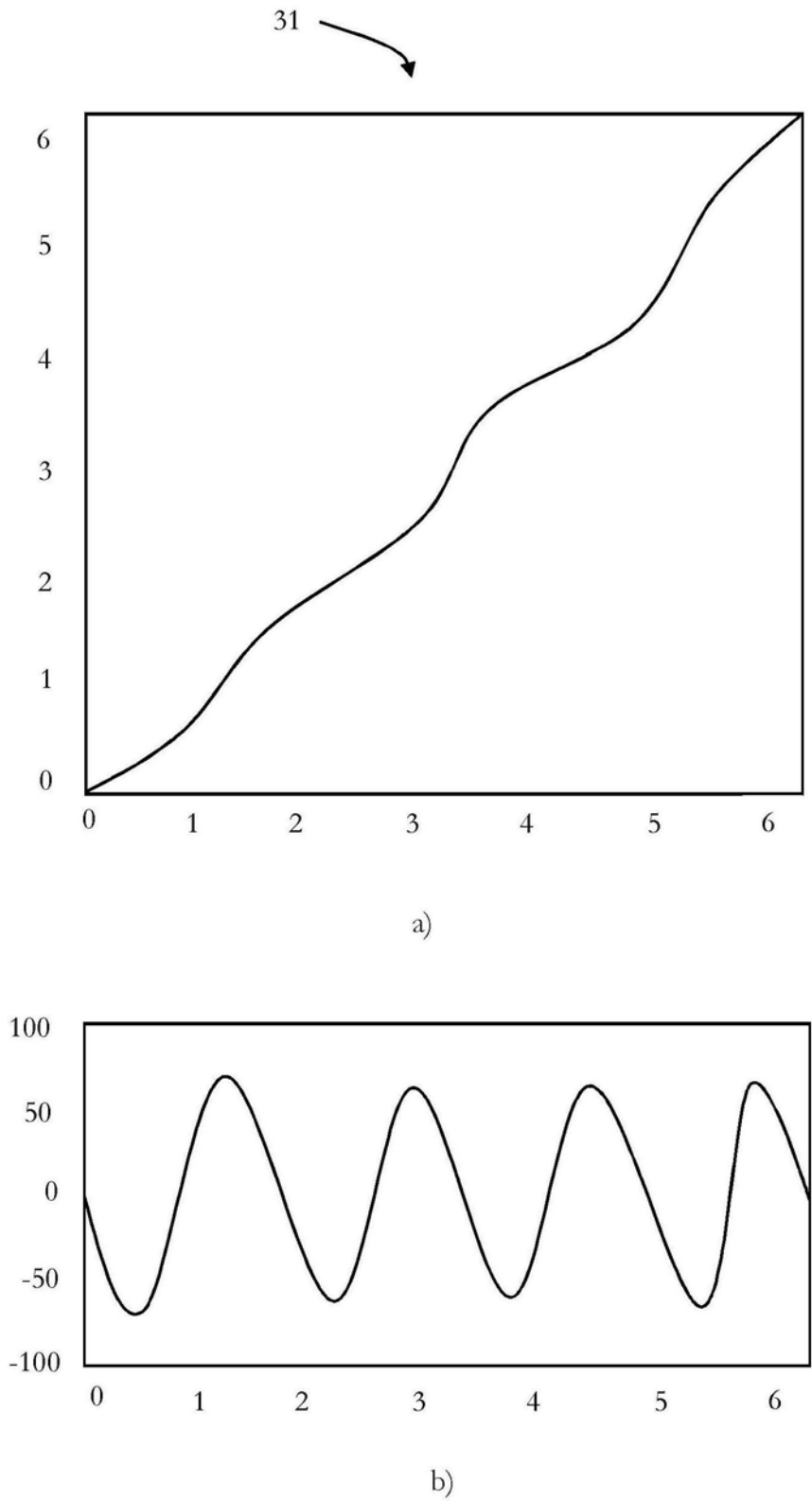


图4

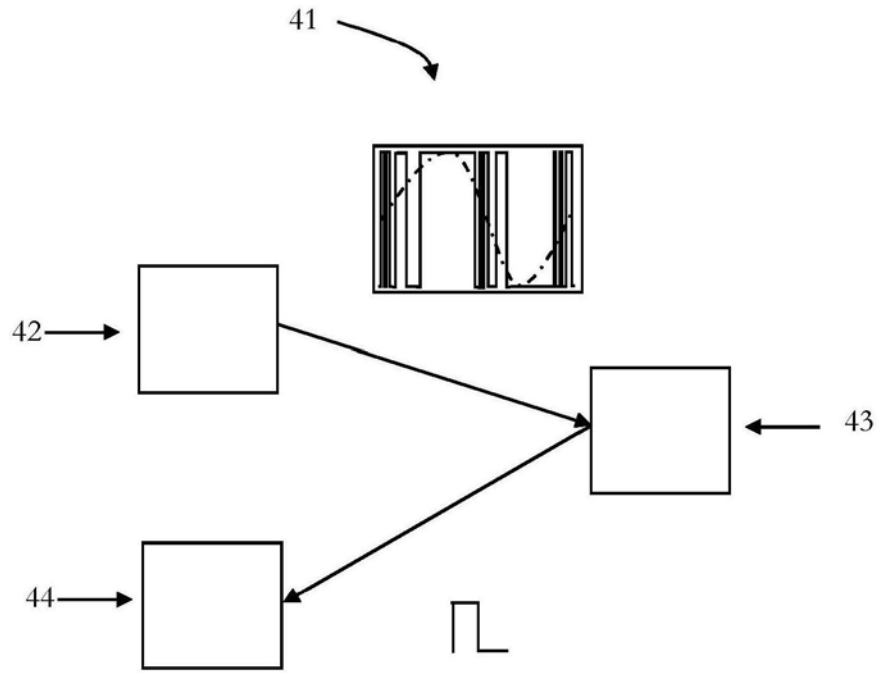


图5

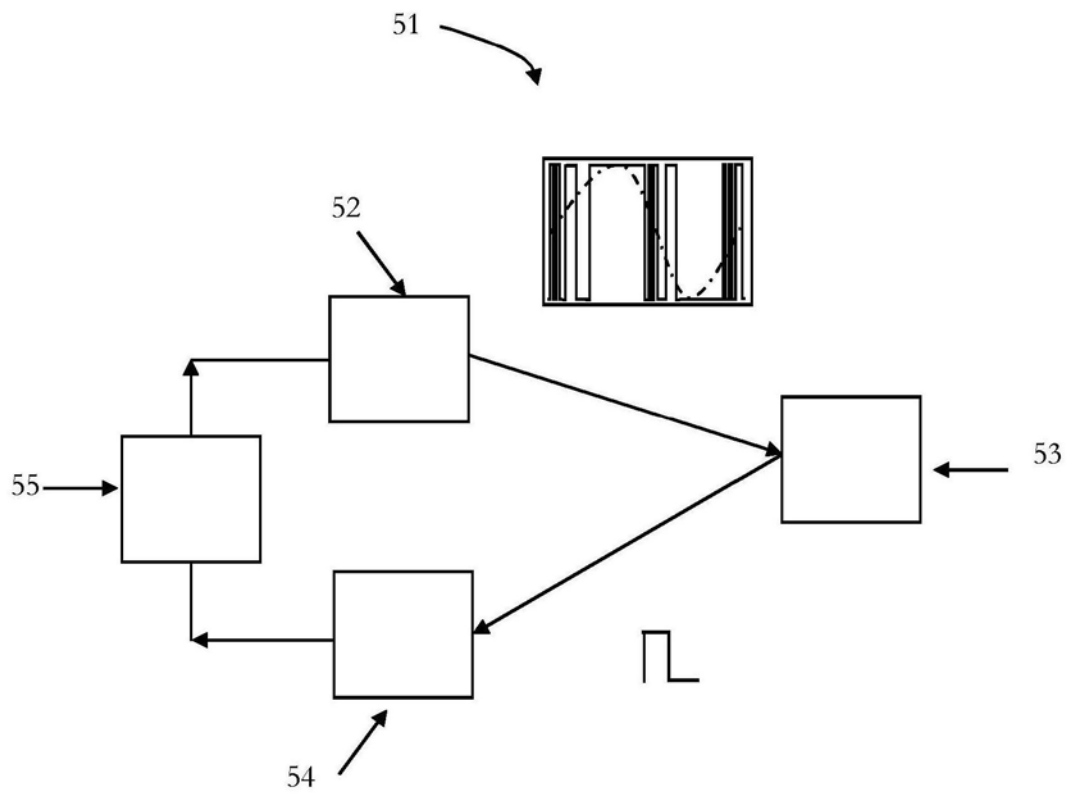


图6

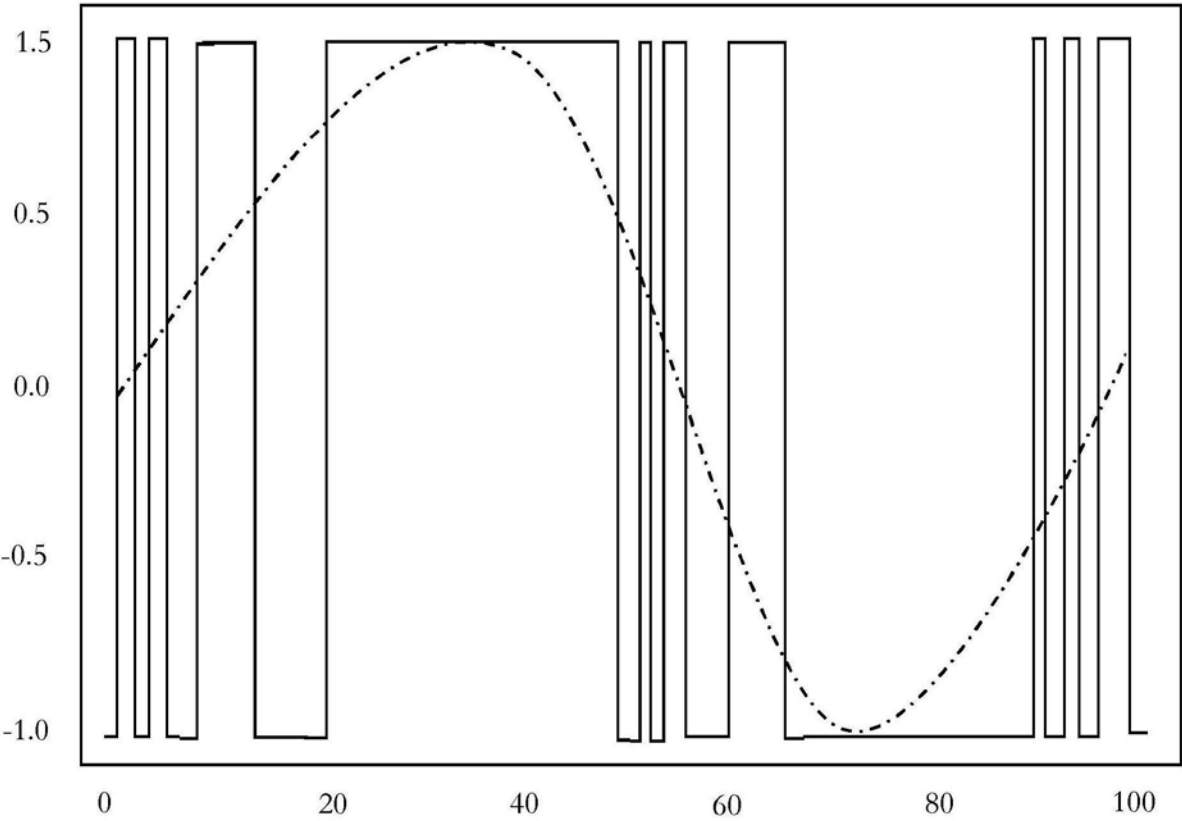


图7

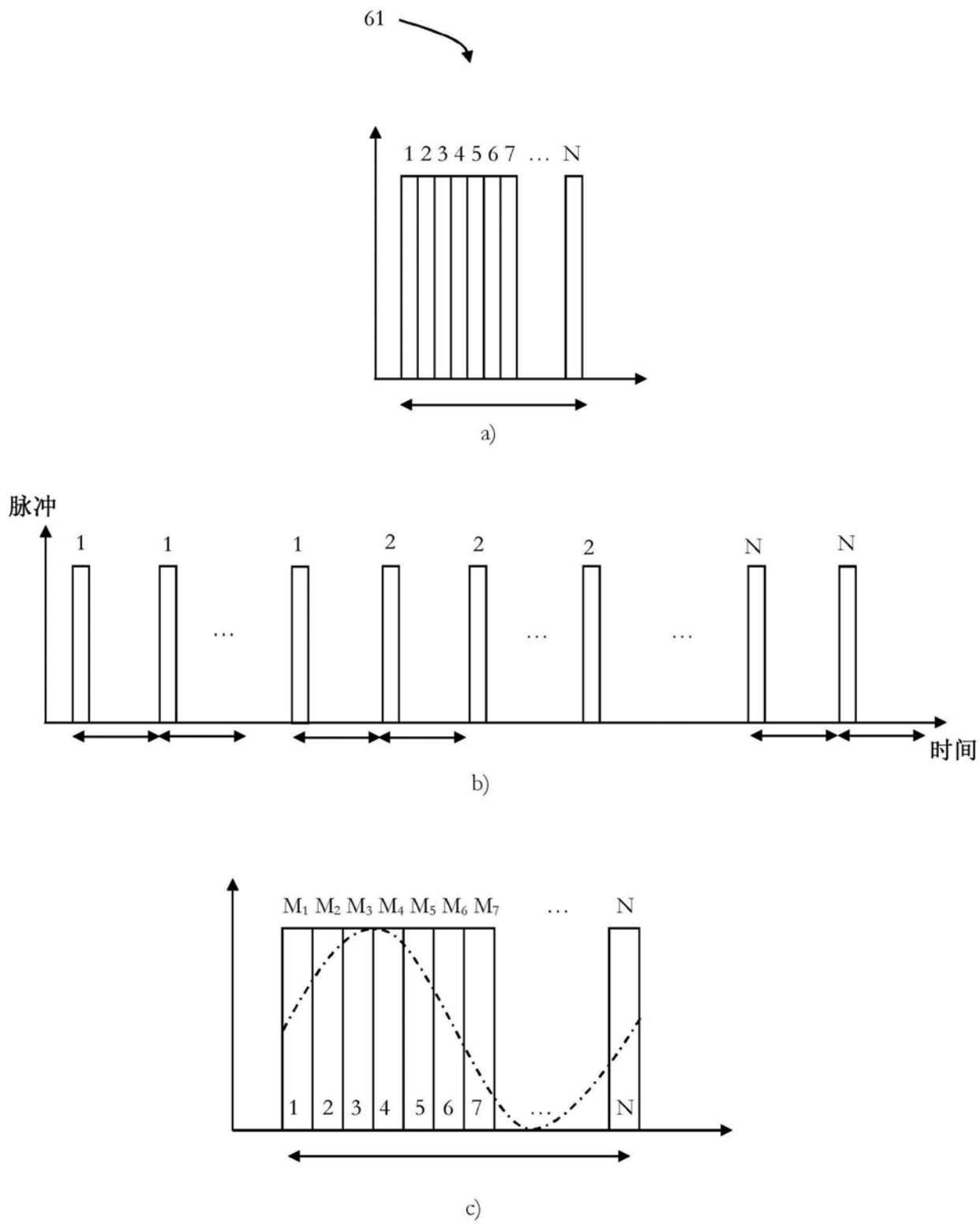


图8

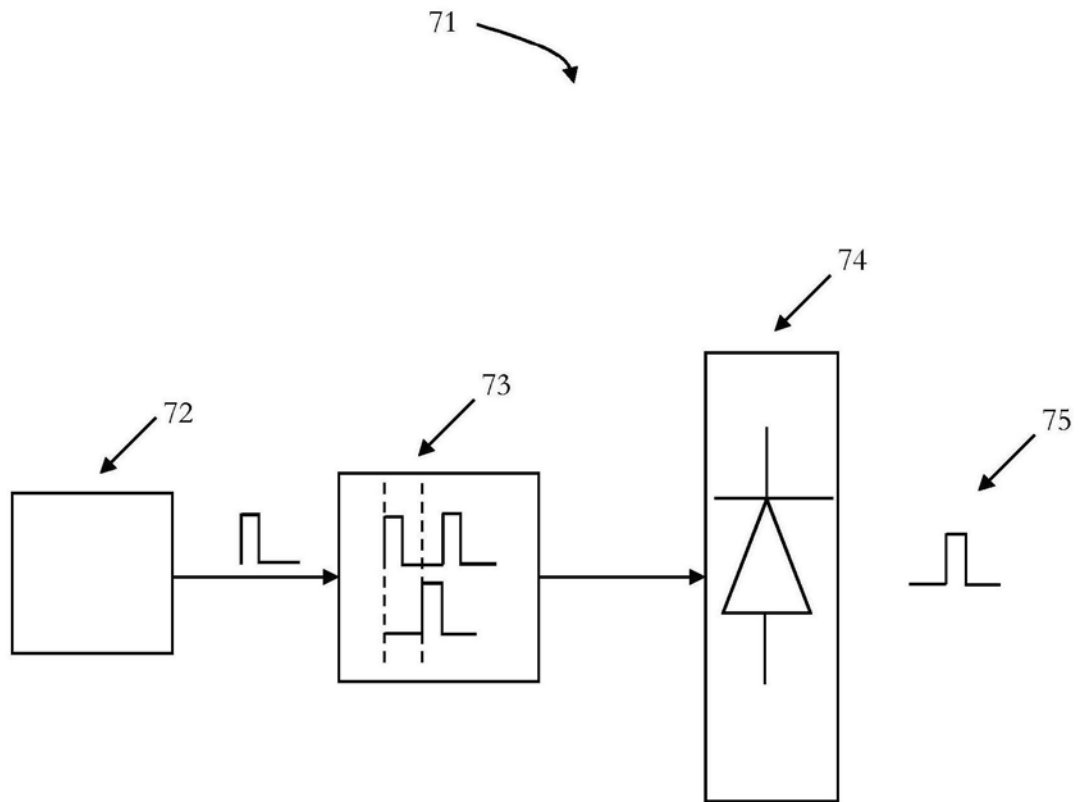


图9

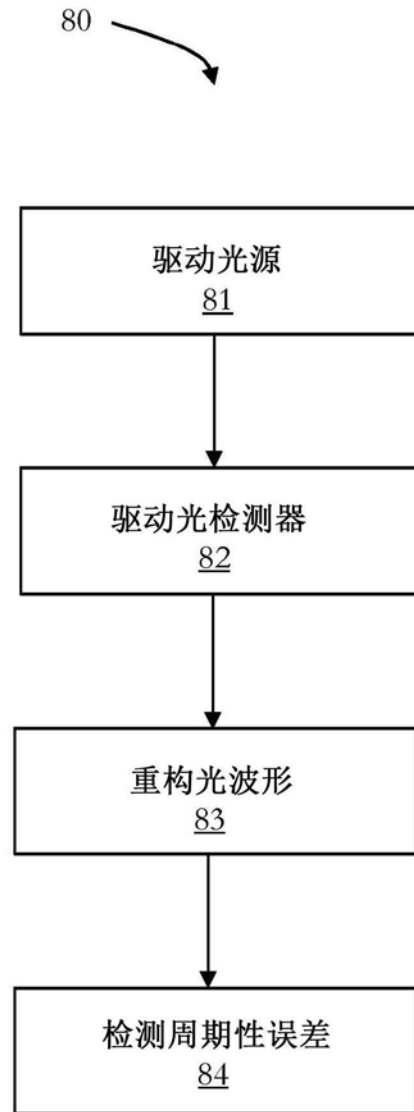


图10