



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110537124 B

(45) 授权公告日 2021. 12. 07

(21) 申请号 201880026495.1

(22) 申请日 2018.03.01

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110537124 A

(43) 申请公布日 2019.12.03

(30) 优先权数据
62/465,310 2017.03.01 US
62/596,002 2017.12.07 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2019.10.22

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/020525 2018.03.01

(87) PCT国际申请的公布数据
W02018/160886 EN 2018.09.07

(73) 专利权人 奥斯特公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 M·舒 A·珀卡拉 M·弗里切特

(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038

代理人 邹丹

(51) Int.Cl.
G02B 6/00 (2006.01)
G01J 1/00 (2006.01)
G01J 1/02 (2006.01)
G01J 1/08 (2006.01)
G01J 1/24 (2006.01)

(56) 对比文件
US 8963069 B2, 2015.02.24

审查员 魏会敏

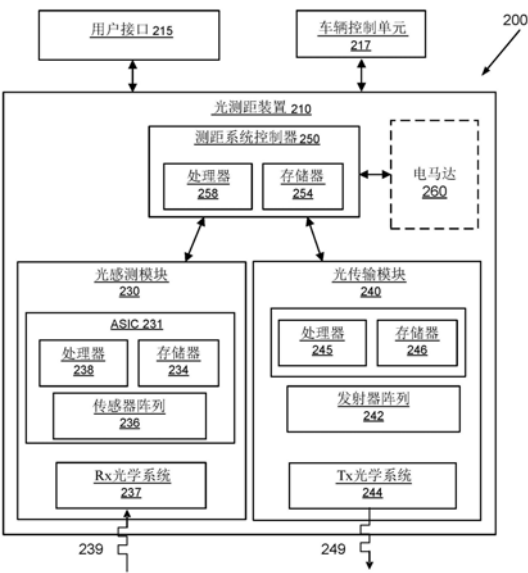
权利要求书1页 说明书49页 附图33页

(54) 发明名称

用于LIDAR的准确光检测器测量

(57) 摘要

一种光测距系统可包含激光装置和具有光传感器的成像装置。所述激光装置以激光脉冲辐射照射场景，所述激光脉冲辐射从所述场景中的对象反射。所述反射可以取决于反射表面形状和反射率而极大地变化。由光传感器测得的信号可以用根据不同反射信号的曲线设计的若干匹配滤波器进行滤波。可以识别最佳匹配滤波器，且因此可以获得关于所述反射表面的信息和准确测距信息。可以通过允许不同检测间隔的权重而以经译码脉冲发出所述激光脉冲辐射。其它增强包含使激光脉冲交错且改变像素传感器的光检测器的操作状态，以及使用包含处理电路和光传感器的传感器芯片的高效信号处理。



1. 一种光测距系统,其包括:

光源,其被配置成提供脉冲;以及

传感器集成电路,其包含:

与不同视场对应的多个光传感器,所述多个光传感器中的每个光传感器包含多个光检测器,所述多个光检测器当由光子触发时被配置成输出指示已经检测到所述光子的二进制信号,

定时电路,其被配置成基于所述二进制信号确定检测到光子的时间;以及

直方图电路,其被配置成针对所述多个光传感器中的每个光传感器确定且存储各自对应于在时间区间期间触发的光传感器的光检测器的数目的计数器,进而产生直方图,所述直方图能够用于确定来自所述光源的、从对象反射到所述多个光传感器中的每个光传感器的一个或多个脉冲的接收时间。

2. 根据权利要求1所述的光测距系统,其中所述多个光检测器包括单光子雪崩二极管 (SPAD)。

3. 根据权利要求1所述的光测距系统,其中所述传感器集成电路还包含:

加窗电路,其被配置成将一个或多个匹配滤波器应用于直方图以识别所述接收时间所在的时间窗。

4. 根据权利要求3所述的光测距系统,其中所述传感器集成电路还包含:

内插电路,其被配置成将多个内插滤波器应用于所述时间窗内的所述直方图,其中最佳匹配内插滤波器以小于所述时间区间的宽度的准确性识别所述接收时间。

5. 根据权利要求3所述的光测距系统,还包括:

第二集成电路,其能够与所述传感器集成电路通信地耦合且包含:

内插电路,其被配置成将多个内插滤波器应用于所述时间窗内的所述直方图,其中最佳匹配内插滤波器以小于所述时间区间的宽度的准确性识别所述接收时间。

6. 根据权利要求1所述的光测距系统,其中所述定时电路和所述直方图电路是在所述光测距系统的操作期间的专用电路。

7. 根据权利要求6所述的光测距系统,其中所述传感器集成电路包括专用集成电路 (ASIC)。

8. 根据权利要求6所述的光测距系统,其中所述传感器集成电路包括现场可编程门阵列 (FPGA)。

9. 根据权利要求1所述的光测距系统,还包括:

旋转马达,其连接到所述光源和所述传感器集成电路且使所述光源和所述传感器集成电路旋转。

10. 根据权利要求1所述的光测距系统,其中所述光源包含集成电路上的多个激光装置,且其中所述多个激光装置是竖直空腔表面发射激光器 (VCSEL)。

用于LIDAR的准确光检测器测量

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请案要求2017年3月1日提交的标题为“使用经译码光脉冲的对象检测的系统和方法(System And Method Of Object Detection Using Coded Optical Pulses)”的第62/465,310号美国临时申请案和2017年12月7日提交的标题为“用于光检测和测距(Lidar)的准确光检测器测量(Accurate Photo Detector Measurements For Lidar)”的第62/596,002号美国临时申请案的优先权且是以上案的非临时申请,以上案的全部内容出于所有目的以引用的方式并入本文中。

背景技术

[0003] 光检测和测距(Light Detection And Ranging,LIDAR)系统用于对象检测和测距,例如,用于例如汽车、卡车、船等交通工具。LIDAR系统还用于移动应用(例如,用于面部辨识)、家庭娱乐(例如,捕获用于视频游戏输入的手势捕获)和增强现实。LIDAR系统通过用来自激光的脉冲照射一个地景,并且接着测量光子行进到对象且在反射之后返回的时间来测量到对象的距离,所述时间如LIDAR系统的接收器所测量。分析检测到的信号以检测背景光当中的反射信号脉冲的存在。可以基于从脉冲的发射到对应反射脉冲的接收的飞行时间来确定到对象的距离。

[0004] 可能难以在所有条件下提供达到几厘米的稳健距离准确性,特别是在LIDAR系统的经济成本下。例如单光子雪崩二极管(single photon avalanche diode,SPAD)等有前景的新型检测器技术是有吸引力的,但当用以测量飞行时间和其它信号特性时具有显著缺陷,特别是在广泛的环境条件和目标距离方面由于其有限的动态范围而具有显著缺陷。

[0005] LIDAR系统将得益于在变化的现实世界条件下检测反射激光脉冲且测量其飞行时间的较准确方法。基于SPAD的LIDAR系统需要新型方法来克服其固有缺陷,然后才能成为用于经济的长程准确3D成像的可行选项。还希望两个或更多个LIDAR装置极为接近地工作而不彼此干扰。还希望LIDAR系统以高效节能方式操作而不会牺牲准确性。

发明内容

[0006] 各种实施例可以解决LIDAR系统的上述问题。举例来说,光检测和测距接收器中的一组匹配滤波器可以被调谐以使得每一滤波器匹配于一组预期信号曲线(脉冲形状)中的一个,使得对于分析的每一信号曲线,可以识别最佳拟合滤波器。预期信号曲线中的每一个可以标称地来自同一模板信号曲线,但由于由数字化过程施加的失真、外部环境因素或这两者而不同。在例如光检测和测距的主动照明传感器中,模板信号可以对应于来自传感器的传出照明(大体上是脉冲或脉冲序列)的时间形状。将恰当匹配滤波器应用于返回信号可以改进正确地检测反射信号的概率、在时间上定位反射信号的准确性,或确定反射信号的其它性质,这又可以产生关于信号从其反射的目标的信息。

[0007] 因此,一些实施例可以校正SPAD引起的失真,且同时提供对信号和目标性质的较好理解。单光子雪崩二极管(SPAD)可以取决于信号功率和时间分布对光学信号施加不同水

平的失真,其效果称为“堆积”。在堆积情形中,全部充当单个像素的许多SPAD可以在有力的反射信号脉冲的前沿被触发,进而减小可用于在反射信号的后沿上触发的SPAD的数目,因为在像素内的增加百分比的SPAD在其初始触发之后停留在停滞时间状态中。在较弱信号情形中,更均匀数目的SPAD在反射信号脉冲的持续时间中触发,且反射脉冲形状更准确地数字化。通过运行多个匹配滤波器曲线,每一个被调谐到不同程度的信号堆积,最佳匹配于所接收信号的滤波器曲线可以实现更一致的信号检测且估计反射脉冲的更准确接收时间。较准确时间估计可以直接改进距离(测距)测量的准确性。通过使用具有最佳匹配所接收信号的曲线的第二组内插滤波器可以获得进一步准确性。

[0008] 作为另一实例,发射脉冲可以经译码以使得累积信号(例如,触发的光检测器的直方图)具有带有期望性质(例如,自相关性)的模式。累积信号可以对应于多个脉冲串,每一脉冲串有一个或多个脉冲,其中每一脉冲串可以对应于不同时间间隔(例如,脉冲串被发射且在下一脉冲串发射之前被检测)。译码可以通过对在不同时间间隔期间发送的脉冲串指派不同权重(例如,正和负)而实现。此类加权可以导致累积信号是巴克码或更复杂的正交代码。此类经译码脉冲可以减少来自相邻光测距系统的干扰,因为每一个脉冲可以使用不同代码。并且,某些代码可以提供检测所接收脉冲的时间位置的高准确性,例如使用提供具有负旁瓣的正峰的匹配滤波器。

[0009] 作为另一实例,不同脉冲串可以彼此偏移。举例来说,脉冲串可以相对于先前脉冲串偏移(例如,小于累积信号的时间分辨率)(例如,用于交错),进而提供增加的时间分辨率。当累积信号是跨越不同脉冲串的直方图构成的数字化信号时,偏移可以交错脉冲使得它们被记录到直方图的不同时间区间中。此交错允许区分在时间区间的开始检测到的脉冲和在时间区间的结束检测到的脉冲,从而得到增加的时间分辨率。

[0010] 作为另一实例,可以响应于先前检测到的光子的确定强度级而改变光传感器的一组光检测器(例如,SPAD)的操作。确定强度级可作用于某些未来测量值的估计(例如,在时间上接近或旋转LIDAR系统的相似角位置)。在各种实施方案中,操作状态的改变可以改进功率使用(例如,通过断开或减少预期不会提供有用信号的光检测器的功率)或改进光检测器的动态范围(例如,通过改变衰减水平以使得光检测器提供有用信号)。举例来说,不同光检测器可具有检测光子的不同灵敏度水平,例如,一些光检测器可能比其它光检测器以更高频率检测光子。如果(例如,从背景光源)接收到强信号,那么可以断开高度灵敏的光检测器(例如,提供强信号电平的那些,例如绝对响应度或相对于其它附近光检测器的更高响应度);此类光检测器将始终触发,且因此其信号将不对应于从对象反射的任何检测到的脉冲。类似地,当信号弱时可以断开具有弱灵敏度的光检测器,例如因为这些光检测器将对于弱信号不触发。以此方式,通过减少将不提供对特定时间和/或位置有意义的信号的光检测器的操作可以节省能量,且检测器可以扩展其无失真动态范围。

[0011] 作为另一实例,单个集成电路可包含光传感器以及信号处理组件。举例来说,集成电路的定时电路可以确定检测到光子的时间,且直方图电路可以在测量的多个检测时间间隔上累积检测到的光子的数目

[0012] 这些和其它本发明的实施例在下文详细描述。举例来说,其它实施例是针对与本文所描述的方法相关联的系统、装置和计算机可读介质。

[0013] 参考以下详细描述和附图可以获得对本发明的实施例的性质和优点的较好理解。

附图说明

- [0014] 图1A和1B示出根据一些实施例的汽车光测距装置,在本文中也被称为LIDAR系统。
- [0015] 图2示出用于实施各种实施例的示例性LIDAR装置的框图。
- [0016] 图3说明可以通过实施例改进的典型LIDAR系统的操作。
- [0017] 图4示出根据一些实施例的用于光测距系统的光传输和检测过程的说明性实例。
- [0018] 图5示出根据本发明的实施例的传感器阵列和相关联电子器件的各个级。
- [0019] 图6示出根据本发明的实施例的直方图。
- [0020] 图7示出根据本发明的实施例的用于选定像素的多个脉冲串上的直方图的累积。
- [0021] 图8示出根据本发明的实施例的从光传感器输出的三个不同类型的数字化信号曲线。
- [0022] 图9示出根据本发明的实施例的用于将匹配滤波器应用于原始直方图的一系列位置。
- [0023] 图10A-10C示出根据本发明的实施例的由不同经译码脉冲类型产生的匹配滤波器响应(经滤波的输出)的类型。
- [0024] 图11是根据本发明的实施例的说明经译码脉冲光学系统(CPOS)的操作的示例性示意图。
- [0025] 图12示出根据本发明的实施例的提供具有正和负值的经译码脉冲串的两个二进制译码脉冲强度和其差。
- [0026] 图13示出根据本发明的实施例的经译码脉冲光学系统(CPOS)。
- [0027] 图14是说明根据本发明的实施例的在光学测量系统中使用经译码脉冲的方法1400的流程图。
- [0028] 图15示出根据本发明的实施例的应用于原始直方图的多个曲线滤波器。
- [0029] 图16示出根据本发明的实施例的不同第二级曲线滤波器对来自第一级滤波器的经滤波输出的应用。
- [0030] 图17是说明根据本发明的实施例的使用应用于适度堆积信号的两级滤波器的过程流程。
- [0031] 图18示出根据本发明的实施例的不同内插滤波器对原始直方图的应用。
- [0032] 图19是说明根据本发明的实施例的使用多个粗滤波器的两级滤波方案的图。
- [0033] 图20示出根据本发明的实施例的产生于经译码脉冲的原始直方图、匹配滤波器和对应滤波器输出。
- [0034] 图21示出根据本发明的实施例的最大加窗器结果。
- [0035] 图22示出根据本发明的实施例的具有不同宽度的多个粗略曲线滤波器的应用。
- [0036] 图23示出根据本发明的实施例的滤波光学系统。
- [0037] 图24是说明根据本发明的实施例的使用光测距系统的曲线滤波器执行测距的方法的流程图。
- [0038] 图25A示出在LIDAR系统中通常使用以照射场景的单个矩形脉冲。图25B示出具有噪声的反射脉冲。图25C示出根据本发明的实施例的在反射脉冲的上升沿检测到的高堆积信号。
- [0039] 图26示出根据本发明的实施例的所得直方图中的SPAD信号。

[0040] 图27A和27B示出相对于彼此延迟的不同脉冲串中的脉冲的两个实例,所述延迟导致仅一个区间具有明显的值的直方图。

[0041] 图28A和28B示出根据本发明的实施例的使不同脉冲串的发出脉冲交错以使得检测到的高堆积脉冲横跨多个时间区间的实例。

[0042] 图29是说明根据本发明的实施例的在光测距系统中使用交错脉冲执行测距的方法的流程图。

[0043] 图30A示出根据本发明的实施例的形成单个像素光传感器的16个光检测器3002(例如,SPAD)的常规布置。图30B示出根据本发明的实施例的具有不同衰减水平的16个光检测器的布置。图30C示出根据本发明的实施例的具有不同衰减水平和不同有效操作的16个光检测器的布置。

[0044] 图31示出根据本发明的实施例的用于在不同角度在不同光照条件下的像素传感器的不同检测器布置的图。

[0045] 图32示出根据本发明的实施例的与中心区域的光检测器相比具有不同操作状态的在周边的光检测器的布置。

[0046] 图33示出根据本发明的实施例的可配置光学系统。

[0047] 图34是根据本发明的实施例的说明使用可配置光测距系统执行测距的方法的流程图。

[0048] 图35示出根据本发明的实施例的光测距系统的紧凑的光学系统。

[0049] 术语

[0050] 术语“测距”特别是当在用于测量环境或帮助交通工具操作的方法和装置的背景下使用时可以指代确定从一个定位或位置到另一定位或位置的距离或距离向量。“光测距”可以指代利用电磁波来执行测距方法或功能的一类测距方法。因此,“光测距装置”可以指代用于执行光测距方法或功能的装置。“光检测和测距”或“LIDAR”可以指代通过以脉冲激光照射目标并且其后以传感器测量反射脉冲来测量到目标的距离的一类光测距方法。因此,“光检测和测距装置”或“LIDAR系统”可以指代用于执行光检测和测距方法或功能的一类光测距装置。“光测距系统”可以指代包括至少一个光测距装置(例如,光检测和测距装置)的系统。所述系统还可以包括呈各种布置的一个或多个其它装置或组件。

[0051] “脉冲串”可以指代一起发射的一个或多个脉冲。脉冲串的发出和检测可以称为“激发(shot)”。激发可以在“检测时间间隔”(或“检测间隔”)中发生。

[0052] “测量”可以包含在N次激发上发出和检测到的N多个脉冲串,每一次激发持续检测时间间隔。整个测量可以在测量时间间隔(或仅“测量间隔”)上,其可以等于测量的N个检测间隔或更长,例如当在检测间隔之间发生暂停时。

[0053] “光传感器”可以将光转换为电信号。光传感器可以包含多个“光检测器”,例如,单光子雪崩二极管(SPAD)。光传感器可以对应于测距测量中的特定分辨率像素。

[0054] “直方图”可以指代表示随时间的一系列值的任何数据结构,如在时间区间上离散的值。直方图可具有指派于每一时间区间的值。举例来说,直方图可以存储在一个或多个检测间隔中的每一个中的特定时间区间期间起动的光电检测器数目的计数器。作为另一实例,直方图可以对应于模拟信号在不同时间的数字化。光检测器当在产生信号且所述信号用于产生直方图时可以处于“有效操作”。直方图可以包含信号(例如,脉冲)和噪声。因此,

直方图可以视为作为光子时间序列或光子通量的信号和噪声的组合。原始/数字化直方图(或累积光子时间序列)可以含有在存储器中数字化的信号和噪声而无需滤波。“经滤波的直方图”可以指代在原始直方图通过滤波器之后的输出。

[0055] 发出的信号/脉冲可以指代不失真的“标称”、“理想”或“模板”脉冲或脉冲串。反射信号/脉冲可以指代来自对象的反射激光脉冲且可能失真。数字化信号/脉冲(或原始信号)可以指代来自存储于存储器中的检测间隔的一个或多个脉冲串的检测的数字化结果,且因此可以等效于直方图的一部分。检测到的信号/脉冲可以指代存储器中检测到信号的位置。检测到的脉冲串可以指代由匹配滤波器找到的实际脉冲串。预期信号曲线可以指代从在反射信号中具有特定失真的特定发出信号导致的数字化信号的形状。

具体实施方式

[0056] 本公开大体上涉及对象检测和测距的领域,且更具体地说,涉及使用飞行时间光学接收器系统用于例如实时三维测绘和对象检测、跟踪和/或分类等应用。可以借助本发明的各种实施例实现各种改进。此类改进可以是增加的准确性、减少的噪声和增加的能量效率。

[0057] 为了增加准确性,一些实施例可以在测得的数据中考虑非线性失真,原因在于基本操作特性(例如,停滞时间和在脉冲之后)。举例来说,实施例可以考虑在连续时间区间中检测到的光子的不同速率。举例来说,在检测到光子之后,单光子雪崩二极管 (SPAD) 具有停滞时间的周期(例如,1-100ns),在此之后SPAD无法检测新光子。因此,强脉冲可以致使光传感器的许多SPAD立即起动,但随后起动的SPAD的数目在停滞时间期间会减小,导致数字化信号的曲线不同于正常脉冲。光子检测速率的此类改变会在确定接收到反射脉冲的精确时间方面造成误差。举例来说,可能难以确定光脉冲的接收时间,因为信号会从大致矩形脉冲失真,从而使得难以确定距对象的距离。光子检测的此类不同速率在其它类型的光检测器中也会发生。为了解决此类不同曲线,实施例可以使用具有不同曲线的滤波器,且选择最佳匹配滤波器(例如,用于确定反射脉冲的精确接收时间,而不仅仅是数字化信号的峰)。

[0058] 为了减少噪声(例如,来自背景光或来自附近LIDAR装置的干扰),实施例可以在不同检测时间间隔上发射不同经译码的脉冲模式(脉冲串)。不同经译码的脉冲模式可以被指派不同权重,进而提供可具有期望性质的累积信号的可容易识别的模式。举例来说,第一发射脉冲串可具有在五个时间单位(时间区间)上的{1,1,0,0,1}的脉冲模式。第二发射脉冲串可具有{0,0,1,1,0}的脉冲模式。第一脉冲串可以+1加权,且第二脉冲串可以-1加权,进而为给定测量提供具有{1,1,-1,-1,1}的模式的累积信号。可使用进一步复杂的加权方案,例如,非整数权重和不同维度中的加权。另外,可以通过添加延迟来实现不同脉冲模式,例如,{1,1,0,0}可以变为{0,1,1,0}的不同脉冲模式。

[0059] 为了进一步增加准确性,特别是当信号脉冲仅占用单个直方图区间时(例如,达到比时间区间更高的分辨率),测量过程可以使连续脉冲串交错(例如,针对每一连续脉冲串有相同偏移),进而确保不同脉冲串的数字化脉冲的累积直方图横跨多于一个时间区间。以此方式,可确定是在时间区间的开始、中间还是末尾接收到第一脉冲。举例来说,测量分辨率(例如,时间区间的宽度)可以是1ns,且十个连续脉冲串可以各自相对于先前脉冲串延迟100皮秒。因此,如果两个连续时间区间具有约相同检测到的值(例如,在第一时间区间中检

测到的5个脉冲和在第二时间区间中检测到的5个脉冲),那么第一脉冲将具有在第一时间区间的中间到达的前沿。

[0060] 为了增加能量效率且减少堆积感应失真,可以基于先前检测到的光子的强度水平改变一组光检测器的操作。可以估计所确定的强度水平对于某些未来测量将再次发生(例如,在时间上接近或旋转LIDAR系统的相似角位置)。举例来说,操作状态的改变可以改进功率使用(例如,通过断开或减少预期不会提供有用信号的光检测器的功率)或改进光检测器的动态范围(例如,通过改变衰减水平以使得光检测器提供有用信号)。举例来说,光传感器的不同光检测器(例如,SPAD)可以在不同照明环境中不同地操作。举例来说,在具有显著背景光或垂直于将反射强信号的高度反射表面指向的方向上,灵敏的光检测器可以使其功率电平减少(例如,断开),否则它们将快速起动,从而提供极少测距信息或消耗大量功率。具有低灵敏度的光检测器的操作状态的改变可以在其它环境中做出。举例来说,在具有弱信号的方向上,此类弱光检测器可能从不起动,且因此此类弱光检测器的衰减水平可减小,从而使得光检测器能够在低光通量环境中检测光子。

[0061] 可以通过在同一集成电路上具有光传感器(例如,各自一系列SPAD)和信号处理组件而实现进一步益处(例如,成本和尺寸)。举例来说,集成电路的定时电路可以确定检测到的光子的时间,且直方图电路可以累积在测量的多个检测时间间隔上检测到的脉冲的值。SPAD或类似光检测器的使用可以提供在单个集成电路上组合所有此类电路的能力。

[0062] 下方的章节介绍说明性汽车LIDAR系统,随后是通过光测距系统检测信号的实例技术的描述,并且接着以更多细节描述不同实施例。

[0063] I. 说明性汽车LIDAR系统

[0064] 图1A-1B示出根据一些实施例的汽车光测距装置,在本文中也称为LIDAR系统。此处选择LIDAR系统的汽车应用仅是出于说明起见,且本文所描述的传感器可以用于其它类型的交通工具中,例如船、飞机、火车等,以及其中3D深度图像有用的多种其它应用中,例如医学成像、移动电话、增强现实、大地测量、地球空间信息学、考古学、地形学、地质学、地貌学、地震学、林业、大气物理学、激光导引、机载激光条带测绘(ALSM)和激光高度测量法。根据一些实施例,LIDAR系统,例如扫描LIDAR系统101和/或固态LIDAR系统103,可以安装在车辆105的车顶上,如图1A和1B中所示。

[0065] 图1A中示出的扫描LIDAR系统101可以采用扫描架构,其中可以在车辆105外的外部场或场景内的一个或多个视场110周围扫描LIDAR光源107和/或检测器电路109的定向。在扫描架构的情况下,发出的光111可以如所示在周围环境上扫描。举例来说,可以扫描(例如,旋转)定位于LIDAR系统101中的一个或多个光源(例如红外或近红外脉冲IR激光器,未图示)的输出光束,以照射车辆周围的场景。在一些实施例中,由旋转箭头115表示的扫描可以通过机械手段实施,例如通过将光发射器安装到旋转柱或平台。在一些实施例中,扫描可以通过其它机械手段实施,例如通过使用电流计。也可采用基于芯片的转向技术,例如通过使用采用一个或多个基于MEMS的反射器的微芯片,例如数字微镜(DMD)装置、数字光处理(DLP)装置及类似物。在一些实施例中,扫描可以通过非机械手段实现,例如通过使用电子信号使一个或多个光学相控阵列转向。

[0066] 对于固定架构,例如图1B中示出的固态LIDAR系统103,一个或多个固态LIDAR子系统(例如,103a和103b)可以安装到车辆105。每一固态LIDAR单元可以面对不同方向(在单元

之间可能具有部分重叠和/或不重叠的视场)以便捕获比每一单元自身能够捕获的视场更大的视场。

[0067] 在扫描或固定架构中,在场景内的对象可以反射从LIDAR光源发出的光脉冲的部分。一个或多个反射部分随后行进回到LIDAR系统,且可以被检测器电路检测到。举例来说,反射部分117可以被检测器电路109检测到。检测器电路可以与发射器安置于同一外壳中。扫描系统和固定系统的方面不是相互排斥的,且因此可组合使用。举例来说,图1B中的个别LIDAR子系统103a和103b可以采用可导向发射器,例如光学相控阵,或者整个复合单元可以通过机械手段旋转,进而扫描LIDAR系统前方的整个场景,例如从视场119到视场121。

[0068] 图2说明根据一些实施例的旋转LIDAR系统200的较详细的框图。更具体地,图2任选地说明可以采用旋转电路板上的旋转式致动器的旋转LIDAR系统,其可以从固定电路板接收功率和数据(以及发射)。

[0069] LIDAR系统200可以与用户接口215的一个或多个示例交互。用户接口215的不同示例可以变化且可以包含例如具有监视器、键盘、鼠标、CPU和存储器的计算机系统;汽车中的触摸屏;具有触摸屏的手持式装置;或任何其它适当的用户接口。用户接口215可以是安装LIDAR系统200的对象本地的,但也可以是远程操作的系统。举例来说,去往/来自LIDAR系统200的命令和数据可以通过蜂窝式网络(LTE等)、个域网(蓝牙、Zigbee等)、局域网(WiFi、IR等)或例如因特网等广域网来传递。

[0070] 硬件和软件的用户接口215可以从装置向用户呈现LIDAR数据,但也可以允许用户以一个或多个命令控制LIDAR系统200。实例命令可包含激活或去活LIDAR系统、指定光电检测器曝光水平、偏置、取样持续时间和其它操作参数(例如,发出脉冲模式和信号处理)、指定例如亮度等光发射器参数的命令。另外,命令可以允许用户选择用于显示结果的方法。用户接口可以显示LIDAR系统结果,所述结果可包含例如单帧快照图像、恒定更新的视频图像和/或一些或所有像素的其它光测量的显示。在一些实施例中,用户接口215可以跟踪对象距车辆的距离(接近度),且潜在地向驾驶员提供警示或提供此类跟踪信息用于对驾驶员表现的分析。

[0071] 在一些实施例中,LIDAR系统可以与车辆控制单元217通信,且可以基于接收的LIDAR数据修改与车辆的控制相关联的一个或多个参数。举例来说,在完全自主车辆中,LIDAR系统可以提供汽车周围环境的实时3D图像以辅助导航。在其它情况下,LIDAR系统可以用作高级驾驶员辅助系统(ADAS)的部分或安全系统的部分,其例如可以将3D图像数据提供到任何数目的不同系统,例如自适应巡航控制、自动停车、驾驶员嗜眠监视、盲点监视、碰撞避免系统等。当车辆控制单元217可通信地联接到光测距装置210时,可以向驾驶员提供警示或可以跟踪对象的接近度的跟踪。

[0072] 图2所示的LIDAR系统200包含光测距装置210。光测距装置210包含测距系统控制器250、光传输(Tx)模块240和光感测(Rx)模块230。可由光测距装置通过从光传输模块240传输一个或多个光脉冲249到光测距装置周围的视场中的对象而产生测距数据。所传输光的反射部分239随后在一些延迟时间之后由光感测模块230检测到。基于延迟时间,可确定到反射表面的距离。也可采用其它测距方法,例如连续波、多普勒及类似方法。

[0073] Tx模块240包含可为一维或二维发射器阵列的发射器阵列242,以及Tx光学系统244,它们当结合在一起时可以形成微光学发射器通道的阵列。发射器阵列242或个别发射

器是激光源的实例。Tx模块240还包含处理器245和存储器246。在一些实施例中,可使用脉冲译码技术,例如巴克码(Barker code)及类似物。在这些情况下,存储器246可以存储指示何时应当发射光的脉冲代码。在一个实施例中,脉冲代码存储为存储于存储器中的整数序列。

[0074] Rx模块230可包含传感器阵列236,其可以是例如一维或二维光传感器阵列。每一光传感器(还仅称为传感器)可包含一系列光检测器,例如SPAD或类似物,或传感器可为单光子检测器(例如,APD)。类似于Tx模块240,Rx模块230包含Rx光学系统237。结合在一起的Rx光学系统237和传感器阵列236可以形成微光学接收器通道的阵列。每一微光学接收器通道测量对应于周围体积的相异视场中的图像像素的光。例如,由于光感测模块230和光传输模块240的几何配置,传感器阵列236的每一传感器(例如,一系列SPAD)可以对应于发射器阵列242的特定发射器。

[0075] 在一个实施例中,Rx模块230的传感器阵列236制造为单个衬底上的单片装置的部分(使用例如CMOS技术),其包含光子检测器阵列以及用于对来自阵列中的个别光子检测器(或检测器群组)的原始直方图进行信号处理的ASIC 231。作为信号处理的实例,对于每一光子检测器或光子检测器组,ASIC 231的存储器234(例如,SRAM)可以累计在连续时间区间上检测到的光子的计数,且这些时间区间结合在一起可用于再创建反射光脉冲的时间序列(即,光子计数对时间)。聚合光子计数的此时间序列在本文中被称作强度直方图(或仅直方图)。ASIC 231可以实施匹配滤波器和峰检测处理以及时识别返回信号。另外,ASIC 231可以实现某些信号处理技术(例如,通过处理器238),例如多曲线匹配滤波,以帮助恢复较不易受到由于SPAD饱和和骤冷而发生的脉冲形状失真的光子时间序列。在一些实施例中,此滤波的全部或部分可由可以实施于FPGA中的处理器258执行。

[0076] 在一些实施例中,Rx光学系统237也可以是与ASIC相同的单体结构的部分,具有用于每一接收器通道层的单独衬底层。举例来说,光圈层、准直透镜层、滤光器层和光电检测器层可以在切割之前在晶片级堆叠且结合。可以通过在透明衬底之上布置不透明衬底或者通过以不透明膜涂覆透明衬底来形成光圈层。在另外其它实施例中,Rx模块230的一个或多个组件可以在所述单体结构的外部。举例来说,光圈层可以被实施为具有销孔的单独金属片。

[0077] 在一些实施例中,来自ASIC的光子时间序列输出发送到测距系统控制器250用于进一步处理,例如,数据可以由测距系统控制器250的一个或多个编码器编码,并且接着作为数据包发送到用户接口215。测距系统控制器250可以多个方式实现,包含例如通过使用例如FPGA等可编程逻辑装置、ASIC或ASIC的部分、使用具有存储器254的处理器258,以及上述的某一组合。测距系统控制器250可以与固定基底控制器协作或者独立于基底控制器而操作(经由预先编程的指令)以通过发送命令来控制光感测模块230,所述命令包含开始和停止光检测和调整光检测器参数。类似地,测距系统控制器250可以通过发送命令或从基底控制器中继命令而控制光传输模块240,所述命令包含开始和停止发光控制以及可调整其它光发射器参数(例如,脉冲代码)的控制。在一些实施例中,测距系统控制器250具有一个或多个有线接口或连接器,用于与光感测模块230和光传输模块240交换数据。在其它实施例中,测距系统控制器250在例如光学通信链路等无线互连上与光感测模块230和光传输模块240通信。

[0078] 电动机260是当例如Tx模块240和或Rx模块230等系统组件需要旋转时需要的任选组件。系统控制器250控制电动机260且可以开始旋转,停止旋转和改变转速。

[0079] II. 反射脉冲的检测

[0080] 光传感器可以多种方式布置以用于检测反射脉冲。举例来说,光传感器可以布置成阵列,且每一光传感器可包含光检测器阵列(例如,SPAD)。下文还描述在检测间隔期间发射的脉冲(脉冲串)的不同模式。

[0081] A. 飞行时间测量和检测器

[0082] 图3说明可以通过实施例改进的典型LIDAR系统的操作。激光器产生短持续时间的光脉冲310。水平轴线是时间且竖直轴线是功率。通过半高全宽(FWHM)表征的实例激光脉冲持续时间是几纳秒,其中单个发射器的峰值功率约为几瓦,如下方图中所见。使用侧发射器激光器或光纤激光器的实施例可以具有高得多的峰值功率,而具有小直径VCSEL的实施例可以具有几十毫瓦到数百毫瓦的峰值功率。

[0083] 脉冲发射的开始时间315不需要与脉冲的前沿重合。如图所示,光脉冲310的前沿在开始时间315之后。可能希望前沿在不同模式的脉冲是在不同时间发射的情形中不同,下文针对经译码脉冲更详细地描述此情形。

[0084] 光学接收器系统可以在启动激光器的同时,即在开始时间开始检测接收光。在其它实施例中,光学接收器系统可以在稍后时间开始,所述稍后时间是在脉冲的开始时间之后的已知时间。光学接收器系统最初检测背景光330,且在一些时间之后检测激光脉冲反射320。光学接收器系统可以比较检测到的光强度与阈值以识别激光脉冲反射320。阈值可以区分背景光与对应于激光脉冲反射320的光。

[0085] 飞行时间340是发送脉冲与接收脉冲之间的时间差。可以通过从激光脉冲反射320的接收时间(例如,也相对于开始时间测得)减去脉冲的发射时间(例如,如相对于开始时间所测量)来测量所述时间差。到目标的距离可确定为飞行时间与光速的乘积的一半。

[0086] 来自激光装置的脉冲在不同时间从场景中的对象反射,且像素阵列检测辐射反射的脉冲。

[0087] B. 使用阵列激光器和光传感器阵列的对象检测

[0088] 图4示出根据一些实施例的用于光测距系统的光传输和检测过程的说明性实例。图4示出收集系统周围的体积或场景的三维距离数据的光测距系统(例如,固态或和/或扫描)。图4是突出显示发射器与传感器之间的关系理想化附图,且因此其它组件未图示。

[0089] 光测距系统400包含光发射器阵列402和光传感器阵列404。光发射器阵列402包含光发射器阵列,例如VCSEL及类似物的阵列,例如发射器403和发射器409。光传感器阵列404包含光传感器的阵列,例如传感器413和415。光传感器可以是像素化光传感器,其针对每一像素采用一组离散光检测器,例如单光子雪崩二极管(SPAD)及类似物。然而,各种实施例可以部署任何类型的光子传感器。

[0090] 每一发射器可以从其相邻者稍微偏移,且可以被配置成将光脉冲发射到与其相邻发射器不同的视场中,进而照射仅与所述发射器相关联的相应视场。举例来说,发射器403将照射光束405(由一个或多个光脉冲形成)发射到圆形视场407(其尺寸为清楚起见而放大)中。同样,发射器409将照射光束406(也被称为发射器通道)发射到圆形视场410中。虽然图4中未示出以避免复杂化,但每一发射器将对应照射光束发射到其对应的视场中从而导

致照射视场的2D阵列(在此实例中为21个相异的视场)。

[0091] 由发射器照射的每一视场可以认为是从测距数据产生的对应3D图像中的像素或光点。每一发射器通道可以是每一发射器相异的且与其它发射器通道不重叠,即,在发射器集合与不重叠的场或视角集合之间存在一对一映射。因此,在图4的实例中,系统可以对3D空间中的21个相异的点进行取样。更密集的点取样可以通过具有更密集的发射器阵列或通过扫描发射器光束随时间的角位置以使得一个发射器可以对空间中的若干点进行取样来实现。如上文所描述,可以通过旋转整个发射器/传感器组合件实现扫描。

[0092] 每一传感器可以从其相邻者稍微偏移,且类似于上文描述的发射器,每一传感器可以看见传感器前方的场景的不同视场。此外,每一传感器的视场与相应发射器通道的视场基本上一致,例如,与其重叠且大小相同。

[0093] 图4中,对应发射器-传感器通道之间的距离相对于到视场中的对象的距离已放大。实际上,到视场中的对象的距离比对应发射器-传感器通道之间的距离大得多,且因此从发射器到对象的光的路径近似平行于从对象回到传感器的反射光的路径(即,其几乎是“反射回来”)。因此,系统400的前方存在一个距离范围,其中个别传感器和发射器的视场是重叠的。

[0094] 因为发射器的视场与其相应传感器的视场重叠,所以每一传感器通道理想地可以检测来源于其相应发射器通道的理想地不具有串扰的反射照射光束,即,不检测来自其它照射光束的反射光。因此,每一光传感器可以对应于相应光源。举例来说,发射器403将照射光束405发射到圆形视场407中,且照射光束的一部分从对象408反射。理想地,反射光束411仅由传感器413检测到。因此,发射器403和传感器413共享同一视场,例如视场407,且形成发射器-传感器对。同样,发射器409和传感器415形成发射器-传感器对,共享视场410。虽然发射器-传感器对在图4中示出为在其相应阵列中的相同相对位置,但取决于系统中使用的光学器件的设计,任何发射器可以与任何传感器配对。

[0095] 在测距测量期间,来自分布于LIDAR系统周围的体积周围的不同视场的反射光由各种传感器收集且处理,从而得到每一相应视场中的任何对象的距离信息。如上文所描述,可使用飞行时间技术,其中光发射器发出精确定时脉冲,且在一些经过的时间之后由相应传感器检测脉冲的反射。在发出与检测之间经过的时间以及已知光速随后用以计算到反射表面的距离。在一些实施例中,可以由传感器获得额外信息以确定反射表面的除距离之外的其它性质。举例来说,脉冲的多普勒频移可以由传感器测得且用以计算传感器与反射表面之间的相对速度。脉冲强度可用于估计目标反射率,且脉冲形状可用于确定目标是否是硬或漫射材料。

[0096] 在一些实施例中,LIDAR系统可以包括发射器和传感器通道的相对大的2D阵列,且作为固态LIDAR操作,即其可以获得距离数据的帧而不需要扫描发射器和/或传感器的定向。在其它实施例中,发射器和传感器可以扫描,例如围绕轴线旋转,以确保发射器和传感器集合的视场对周围体积的完整360度区(或360度区的某个有用部分)进行取样。例如在某个预定义时间段上从扫描系统收集的距离数据可以随后经过后处理成为一个或多个数据帧,所述数据帧可以随后进一步处理成一个或多个深度图像或3D点云。深度图像和/或3D点云可以进一步处理成地图图块以用于3D测绘和导航应用。

[0097] C. 光传感器中的多个光检测器

[0098] 图5示出根据本发明的实施例的传感器阵列和相关联电子器件的各个级。阵列510示出各自对应于不同像素的光传感器515。阵列510可为交错阵列。在此特定实例中,阵列510是18x4光传感器。阵列510可用于实现高分辨率(例如,72x1024),因为实施方案适合于扫描。

[0099] 阵列520示出阵列510的一部分的放大图。如可见,每一光传感器515包括多个光检测器525。来自像素的光检测器的信号共同贡献于所述像素的测量。

[0100] 在一些实施例中,每一像素具有大量单光子雪崩二极管 (SPAD) 单元,这增加像素自身的动态范围。每个SPAD可具有用于偏置、骤冷和再充电的模拟前端电路。SPAD通常以高于击穿电压的偏置电压进行偏置。合适的电路感测雪崩电流的前沿,产生与雪崩积累同步的标准输出脉冲,通过将偏置向下降低到低于击穿电压而使雪崩骤冷,且将光电二极管恢复到操作电平。

[0101] SPAD可以定位以便最大化其局部区域中的填充因数,或可以使用微透镜阵列,这允许在像素级的高光学填充因数。因此,成像器像素可以包含SPAD阵列以增加像素检测器的效率。漫射器可以用于扩散射线通过光圈且由微透镜准直。罐漫射器用于以属于同一像素的所有SPAD接收一些辐射的方式扩散准直光线。

[0102] 图5还示出检测光子532的特定光检测器530(例如,SPAD)。响应于检测,光检测器530产生电荷载流子(电子或空穴)的雪崩电流534。阈值电路540通过将雪崩电流534与阈值进行比较来调节所述雪崩电流。当检测到光子且光检测器530正常工作时,雪崩电流534上升到高于比较器阈值,且阈值电路540产生指示SPAD电流雪崩的准确时间的时间准确二进制信号545,这又是光子到达的准确测量。电流雪崩与光子到达的相关可以纳秒的分辨率发生,进而提供高定时分辨率。二进制信号545的上升沿可以由像素计数器550锁存。

[0103] 二进制信号545、雪崩电流534和像素计数器550是可由包括一个或多个SPAD的光传感器提供的数据值的实例。数据值可以从来自所述多个光检测器中的每一个的相应信号确定。可以将相应信号中的每一个与阈值进行比较以确定对应光检测器是否被触发。雪崩电流534是模拟信号的实例,且因此相应信号可以是模拟信号。

[0104] 像素计数器550可以使用二进制信号545对用于给定像素的已经在受周期性信号560控制的特定时间区间(例如,1、2、3等纳秒的时间窗)期间由一个或多个光子触发的光检测器的数目进行计数。像素计数器550可以存储用于给定测量的多个时间区间中的每一个的计数器。用于每一时间区间的计数器的值可以开始于零,且基于指示检测到光子的二进制信号545而递增。计数器可以当像素的任何光检测器提供此信号时递增。

[0105] 周期性信号560可以通过锁相环(PLL)或延迟锁相环(DLL)或产生时钟信号的任何其它方法产生。周期性信号560和像素计数器550的协调可以充当时间-数字转换器(TDC),其为用于辨识事件且提供它们发生的时间的数字表示的装置。举例来说,TDC可以输出每一检测到的光子或光学脉冲的到达时间。测量时间可以是两个事件(例如,开始时间和检测到的光子或光学脉冲)之间经过的时间而不是绝对时间。周期性信号560可为在包括像素计数器550的一组存储器之间切换的相对快时钟。存储器中的每一寄存器可以对应于一个直方图区间,且时钟可以取样间隔在它们之间切换。因此,二进制值可以指示当相应信号大于阈值时对直方图电路的触发。直方图电路可以聚集跨越所述多个光检测器的二进制值以确定在特定时间区间期间触发的光检测器的数目。

[0106] 时间区间可以相对于开始信号进行测量,例如在图3的开始时间315。因此,恰好在开始信号之后的时间区间的计数器可以具有对应于背景信号的低值,所述背景信号例如背景光330。最后的时间区间可以对应于给定脉冲串的检测时间间隔(也被称为激发)的结束,这在下一部分中进一步描述。周期性信号560自从开始时间起的循环数目可以充当雪崩电流534的上升沿指示检测到的光子时的时戳。所述时戳对应于用于像素计数器550中的特定计数器的时间区间。此操作不同于跟随光电二极管(例如,对于雪崩二极管(APD))的简单模/数转换器(ADC)。时间区间的计数器中的每一个可以对应于直方图,这在下文更详细地描述。因此,虽然APD是具有有限增益的用于输入光学信号的线性放大器,但SPAD是提供在时间窗中发生的触发事件的是/否的二进制输出的触发器装置。

[0107] D. 脉冲串

[0108] 测距也可以通过使用脉冲串实现,所述脉冲串经界定为含有一个或多个脉冲。在脉冲串内,脉冲的数目、脉冲的宽度以及脉冲之间的持续时间(共同称为脉冲模式)可以基于若干因数来选择,所述因数中的一些包含:

[0109] 1-最大激光工作周期。工作周期是激光接通的时间的分数。对于脉冲激光,这可以通过如上文所解释的FWHM以及在给定周期期间发出的脉冲数目来确定。

[0110] 2-眼睛安全限制。这是由装置在不伤害恰巧观看LIDAR系统的方向的旁观者眼睛的情况下可以发出的最大辐射量确定。

[0111] 3-功率消耗。这是发射器为了照射场景而消耗的功率。

[0112] 举例来说,脉冲串中的脉冲之间的间距可以约为若干个单个数位或数十纳秒。

[0113] 可以在一个测量的时间跨度期间发出多个脉冲串。每一脉冲串可以对应于不同时间间隔,例如在用于检测先前脉冲串的反射脉冲的时间限制到期之前不发出后续脉冲串。

[0114] 对于给定发射器或激光装置,脉冲串的发出之间的时间决定了最大可检测范围。举例来说,如果脉冲串A在时间 $t_0=0\text{ns}$ 发出,且脉冲串B在时间 $t_1=1000\text{ns}$ 发出,那么不得将在 t_1 之后检测到的反射脉冲串指派于脉冲串A,因为它们更可能是来自脉冲串B的反射。因此,脉冲串之间的时间和光速限定了系统范围上的最大界限:

$$[0115] \quad R_{\max} = c \times (t_1 - t_0) / 2$$

[0116] 激发(脉冲串的发出和检测)之间的时间可以是约 $1\mu\text{s}$ 以允许整个脉冲串有足够时间行进到近似150米远的遥远对象,并且接着返回。

[0117] III. 来自光检测器的直方图信号

[0118] LIDAR系统的一个操作模式是时间相关单光子计数(TCSPC),其是基于对周期性信号中的单个光子的计数。此技术良好适用于低水平的周期性辐射,这在LIDAR系统中是合适的。此时间相关计数可以受图5的周期性信号560控制且使用时间区间,如针对图5所论述。

[0119] A. 直方图的产生

[0120] 周期性信号的频率可以指定测得信号的数据值所处的时间分辨率。举例来说,可以在周期性信号的每周期针对每一光传感器获得一个测得值。在一些实施例中,测量值可以是在所述周期期间触发的光检测器的数目。周期性信号的时间周期对应于时间区间,其中每一周期是不同时间区间。

[0121] 图6示出根据本发明的实施例的直方图600。水平轴线对应于如相对于开始时间615所测量的时间区间。如上文所描述,开始时间615可以对应于脉冲串的开始时间。可以考

虑脉冲串的第一脉冲的上升沿与脉冲串和检测时间间隔中的任一个或两个的开始时间之间的任何偏移,其中确定接收时间将用于飞行时间测量。竖直轴线对应于触发的SPAD的数目。在某些实施例中,竖直轴线可以对应于跟随APD的ADC的输出。举例来说,APD可以展现传统的饱和效应,例如恒定最大信号而不是SPAD的基于停滞时间的效应。一些效应可以针对SPAD和APD两者发生,例如极倾斜表面的脉冲拖尾可以针对SPAD和APD两者发生。

[0122] 用于时间区间中的每一个的计数器对应于直方图600中的不同条。在早期时间区间的计数器是相对低的且对应于背景噪声630。在某个点,检测到反射脉冲620。对应计数器大得多,且可以高于在背景与检测到的脉冲之间区分的阈值。反射脉冲620(在数字化之后)示出为对应于四个时间区间,这可能由具有相似宽度的激光脉冲引起,例如当时间区间各自为1ns时的4ns脉冲。但下文更详细地描述,时间区间的数目可以例如基于激光脉冲的入射角中的特定对象的性质而变化。

[0123] 对应于反射脉冲620的时间区间的时间位置可用于例如相对于开始时间615确定接收时间。下文更详细地描述,匹配滤波器可用于识别脉冲模式,进而有效地增加信噪比,而且更准确地确定接收时间。在一些实施例中,确定接收时间的准确性可以小于单个时间区间的时间分辨率。举例来说,对于1ns的时间区间,所述分辨率将对应于约15cm。然而,可能需要具有仅几厘米的准确性。

[0124] 因此,检测到的光子可以导致直方图的特定时间区间基于其相对于例如由开始时间615指示的开始信号的到达时间而递增。开始信号可以是周期性的,以使得在测量期间发送多个脉冲串。每一开始信号可以经同步于激光脉冲串,其中多个开始信号致使在多个检测间隔上发射多个脉冲串。因此,时间区间(例如,在开始信号之后从200到201ns)将针对每一检测间隔发生。直方图可以累积计数,其中特定时间区间的计数对应于跨越多个激发全部在所述特定时间区间中发生的测得数据值的总和。当检测到的光子基于此技术做直方图时,其导致返回信号的信噪比比单个脉冲串大所作出激发次数的平方根。

[0125] 图7示出根据本发明的实施例的用于选定像素的多个脉冲串上的直方图的累积。图7示出三个检测到的脉冲串710、720和730。每一检测到的脉冲串对应于具有以相同时间量分隔的两个脉冲的相同模式的发射脉冲串。因此,每一检测到的脉冲串具有相同脉冲模式,如由具有明显的值的两个时间区间所示。用于其它时间区间的计数器为了便于说明而未图示,但其它时间区间可以具有相对低的非零值。

[0126] 在第一检测到的脉冲串710中,用于时间区间712和714的计数器是相同的。这可以由在所述两个时间区间期间检测到光子的光检测器的相同数目引起。或在其它实施例中,在所述两个时间区间期间检测到近似相同数目个光子。在其它实施例中,多于一个连续时间区间可具有连续非零值;但为便于说明,已经示出个别非零时间区间。

[0127] 时间区间712和714分别在开始时间715之后的458ns和478ns发生。所显示的用于其它检测到的脉冲串的计数器相对于其相应开始时间在相同时间区间发生。在此实例中,开始时间715经识别为在时间0发生,但实际时间是任意的。用于第一检测到的脉冲串的第一检测间隔可以是1 μ s。因此,从开始时间715测得的时间区间的数目可以是1,000。然后,此第一检测间隔结束,可以发射和检测新的脉冲串。不同时间区间的开始和结束可以受时钟信号控制,时钟信号可以是充当时间-数字转换器(TDC)的部分电路,例如在图5中描述。

[0128] 对于第二检测到的脉冲串720,开始时间725是在1 μ s,例如在此时可以发出第二脉

冲串。此单独检测间隔可以发生以使得在第一检测间隔的开始发射的任何脉冲将已经被检测到,且因此不会造成在第二时间间隔中检测到的脉冲的混淆。举例来说,如果激发之间不存在额外时间,那么电路可能混淆在200m处的回反射停止标志与在50m处的少得多反射的对象(假定约1 μ s的激发周期)。用于脉冲串710和720的两个检测时间间隔可以是相同长度且与相应开始时间具有相同关系。时间区间722和724与时间区间712和714发生在458ns和478ns的相同相对时间。因此,当累积步骤发生时,可以添加对应计数器。举例来说,可以添加在时间区间712和722处的计数器值。

[0129] 对于第三检测到的脉冲串730,开始时间735是在2 μ s,例如其中可以发出第三脉冲串。时间区间732和734也相对于其相应开始时间735发生在458ns和478ns。即使发出脉冲具有相同功率,在不同时间区间的计数器也可以具有不同值,例如原因在于光脉冲离开对象的散射过程的随机性质。

[0130] 直方图740示出来自在时间区间742和744的三个检测到的脉冲串的计数器的累积,所述时间区间也对应于458ns和478ns。直方图740可以具有在相应检测间隔期间测得的较少数目的时间区间,例如原因在于丢弃在开始或结束时的时间区间,或具有小于阈值的值。在一些实施方案中,取决于脉冲串的模式,约10-30个时间区间可具有明显的值。

[0131] 举例来说,在测量期间发出以产生单个直方图的脉冲串的数目可以是约1-40个(例如,24),但也可以高得多,例如50、100或500。一旦测量完成,就可以复位用于直方图的计数器,且可以发出一组脉冲串以执行新的测量。在各种实施例中且取决于相应持续时间中的检测间隔的数目,可以每25、50、100或500 μ s执行测量。在一些实施例中,测量间隔可以重叠,例如,因此给定直方图对应于脉冲串的特定滑动窗口。在此实例中,存储器可以存在以用于存储多个直方图,每一直方图对应于不同时间窗。施加于检测到的脉冲的权重对于每一直方图可以是相同的,或此类权重可以独立地受控制。

[0132] B. 来自像素检测器的实例信号曲线

[0133] 在各种条件下,不同水平的反射或环境辐射可能到达光检测器(例如,SPAD)。这可能影响光电检测器在感知反射辐射方面的效率和准确性,且因此影响LIDAR系统在检测场景中的对象且重构场景方面的性能。在常规条件下且针对从许多表面的反射,在给定的时间段内检测到一个光子的概率比一小得多。因此,在LIDAR系统中,在某些时间区间期间不存在光子,且在一些其它区间中存在小信号。

[0134] 然而,当大量辐射照射在光传感器(例如,一系列光检测器,例如SPAD)上时,从光学脉冲,经数字化为直方图的脉冲可以最初是极高的,并且接着减小,而不是在脉冲的持续时间中具有较均匀的值(假定矩形形状)。举例来说,对于具有五个时间区间的宽度的给定光学脉冲,几乎所有光检测器都可以在第一时间区间中起动。此效果可以称为堆积,且可以在例如SPAD等二进制计数光检测器中发生,所述光检测器具有其中光检测器无法检测另一光子的停滞时间。

[0135] 高水平的堆积当大量光子击中像素时发生且致使像素中的大多数SPAD起动且在脉冲宽度的小部分内进入其停滞时间。因此,脉冲中的光子的其余部分不被像素捕获,且SPAD并不及时恢复以考虑信号的真实光学曲线和量值。在这些情形下,LIDAR系统中的反射辐射的真实量和曲线是未知的。这些问题可能由于大量的辐射从场景中的高度反射对象反射离开或高水平的背景辐射而产生。

[0136] 根据一些实施例,由像素中的一系列光检测器输出的原始直方图(例如,在一个或多个脉冲串上的直方图的计数器)是根据数字化信号的一个或多个预期或可能的曲线而滤波。不同的曲线滤波器可用于不同水平的堆积。堆积的水平可以对应于在连续时间区间上由光传感器检测光子的不同速率。在一些实施方案中,曲线滤波器可以被存储,且用以识别曲线类型。所述类型可用于更准确地确定时间,进而更准确地确定距离或用于确定例如脉冲宽度的其它信号性质。

[0137] 图8示出根据本发明的实施例的从光传感器输出的三个不同类型的数字化信号曲线。在一些实施例中,光传感器可以是一系列SPAD。曲线可以存储于直方图中,直方图可以如上文所描述确定。在所述三个曲线中,水平轴线对应于时间区间,且竖直轴线对应于在特定时间区间期间从光传感器输出的数据值(例如,启动SPAD的数目)。这些实例类型包含不具有堆积(或低堆积)的信号、具有适度堆积的信号以及具有高堆积的信号。实际上,可能存在许多(K个)不同曲线。

[0138] 不同类型的数字化信号曲线具有检测光子的不同速率。检测光子的高速率可以对应于在初始时间区间期间触发光检测器的数目比在较晚时间区间期间触发光检测器的数目更高。低速率对应于在初始时间区间期间触发的光检测器的数目与在较晚时间区间期间触发的光检测器的数目相同。

[0139] 低堆积曲线810具有相对尖锐的上升和下降且在这两个时间之间保持相当平坦,观察到的一些噪声级除外。这是从表面反射的少量光子的特性。低堆积曲线对应于正常活动。举例来说,从对象反射回的光子可以在若干时间区间上足够少,使得同一SPAD不会在其处于停滞时间时多次尝试触发。在此情况下,反射回的矩形脉冲由一系列SPAD(例如,16或32个)数字化而产生直方图中的正方形曲线。举例来说,当每像素存在32个SPAD时,四个SPAD可以在任何给定时间起动,其中约四个SPAD一致地起动。因此,即使已经起动的SPAD也将处于其停滞时间,其它SPAD仍将可用。因此,在5-ns脉冲的持续时间上,少于一半的SPAD可能起动。

[0140] 适度堆积曲线820具有尖锐的上升随后是随着回到背景水平的平稳的下降。未停滞且因此可用于检测光子的SPAD的数目较快速地减少,因为光通量很高。适度堆积曲线820可以由在时间区间内的较短持续时间中相对大量的光子照射在SPAD上引起。这可能来自背景辐射或更通常是由于从相对反射表面的激光反射。作为一实例,如果10个SPAD在第一纳秒中触发,那么少了10个SPAD可以在下一时间区间中检测光子。因此,数字化脉冲在用于所述像素的直方图中斜率向下,即使在像素上的实际光通量850是以虚线示出的正方形脉冲。

[0141] 高堆积曲线830指示信号的极尖锐的上升随后是快速下降。当在初始纳秒或更短时间中触发所有SPAD时可以发生高堆积。这导致大的尖峰;以及随后立即地,即使脉冲持续另外5ns也不会发生另外的起动。高水平的堆积可能起因于来自极反射表面的大水平的反射信号,特别是靠近且垂直于从激光源的辐射发出的轴线的反射表面,从而导致笔直回到成像装置的反射。

[0142] 不同信号的竖直轴线的比例可以在不同曲线之间变化,且已经以大致相同比例示出以简单地用于说明。如上文所提及,根据本发明的实施例,可能考虑更多曲线。并且,除SPAD以外,其它光电二极管可以使形状偏斜。举例来说,回反射器可以使APD饱和。APD可以

削减来自回反射器的强脉冲,这将具有两个影响:对存储器中的数字化信号提供平坦顶部,以及增加信号的有效半高全宽的辅助效果,因为信号的真实最大值是不可测量的。

[0143] C.检测不同信号曲线的问题

[0144] 匹配滤波器可用于检测检测到的脉冲的最准确位置,例如在计算直方图和匹配滤波器的卷积之后,其中卷积的最大值对应于直方图中的脉冲的位置。匹配滤波器是用以在不相关噪声的存在下检测已知信号的最佳滤波器。举例来说,返回参看图3,背景光330可以最优地被匹配滤波器抑制,所述匹配滤波器具有匹配于数字化激光脉冲反射320的形状。

[0145] 低堆积曲线最接近地类似于发出的激光脉冲的形状。因此,可能自然地使用匹配于激光脉冲的形状的匹配滤波器。此滤波器当数字化信号具有低堆积曲线时将提供最高准确性。但当数字化信号具有不同堆积(检测速率)时,准确性降低。

[0146] 在其中存在堆积的情形中,滤波后信号在时间上例如移位到较早时间。举例来说,将滤波器应用于高堆积曲线的卷积结果将提供处于峰处的脉冲的中心,但峰的位置是脉冲的前沿。换句话说,在高堆积情形中,所有数字化信号都在脉冲的前沿的左侧。如果与发出的脉冲具有相似宽度的矩形匹配于检测到的高堆积脉冲,那么矩形的最佳匹配比匹配于实际光通量850的情况更早发生。

[0147] 几个区间的移位(例如,从5ns脉冲的中心向左2.5ns)可以造成约37cm的误差,这是大多数3D感测应用的不可接受的误差。这可能对于从汽车的车牌反射的光发生,其中从汽车的其余部分反射的光可以具有低堆积。这将使车牌看起来比汽车的其余部分更近,这会造成自主车辆的决策的问题或对车辆的警示/警告。

[0148] 在下文描述的实施例中,可使用不同曲线滤波器来补偿因堆积或其它预期因数施加的失真。举例来说,并非使用类似于发出脉冲的匹配滤波器仅分析原始直方图,可使用各自具有不同曲线的多个匹配滤波器,只要滤波器功率全部经归一化到相同滤波器“功率”(定义为滤波器分接头的均方根)以使得其输出可以全部直接进行比较。举例来说,仅一个或两个时间区间宽的匹配滤波器可用于确定是否存在高堆积曲线。如果来自此高堆积滤波器的输出提供的最大值(例如,由滤波器与原始直方图的卷积确定)比低堆积滤波器更高,那么将使用高堆积滤波器计算接收时间。在稍后部分中提供另外细节。

[0149] D.匹配滤波器和某些脉冲模式的准确性的限制

[0150] 如上文所提及,匹配滤波器可用于确定检测到的脉冲的时间位置(接收时间)。接收时间可以随后用以确定脉冲的总飞行时间,这可以随后转换为距离。然而,来自光传感器的数字化信号的测量准确性(例如,时间区间的分辨率)会限制测得的距离的准确性。期望具有小于时间区间的宽度的分辨率。为了实现此目标,首先需要识别与时间区间的时间分辨率内的最佳匹配。然而,由于噪声,最佳匹配可能恰在之前或恰在之后发生。

[0151] 为了解决此类问题且减少干扰,在针对给定脉冲功率的滤波器响应的旁瓣响应和时间“锐度”方面各种脉冲模式优于其它模式。一个问题是如何实现此类经译码脉冲,但首先描述经译码脉冲的益处。

[0152] 图9示出根据本发明的实施例的用于将匹配滤波器应用于原始直方图的一系列位置。所述系列位置可以视为滑动位置,因为滤波器在原始直方图上滑动(移动)。原始直方图902描绘单个像素的检测到的脉冲周围的相对小时间窗。滤波器904对应于数字化脉冲的形状。直方图902和滤波器904都具有理想化形状以便于呈现。图9的左侧的系列绘图示出滤波

器904相对于直方图902的不同位置。滤波器904在每一连续绘图中移位一个时间区间。

[0153] 产生于滤波器904对直方图902的应用的经滤波的输出在图9的右侧显示。条形图示出在每一位置在滤波器904与直方图902之间的重叠水平。经滤波的输出910对应于第一位置,其中滤波器904与直方图902之间的重叠是仅一个时间区间。经滤波的输出910的竖直轴线是重叠量的任意单位,例如,滤波器904和直方图902的对应值的乘法乘积的总和。经滤波的输出910的值在对应于滤波器904的中心的时间区间处示出。这可以当将检测脉冲的中心时完成。在其它实施例中,经滤波的输出的值可以在对应于滤波器的最左边区间的时间示出。这可以当将检测脉冲的上升沿时完成。中心和上升沿的值可以从另一个导出。例如当脉冲串中的脉冲是不同宽度时限定第一滤波器分接头的位置(基本上是上升沿)可以更容易。不同宽度可以由不同的发射宽度引起或由于检测到的强度不同而引起,例如如图8中所描述。

[0154] 经滤波的输出920对应于第二位置,其中重叠是两个时间区间,且因此所得值是经滤波的输出910中的两倍。示出的值显示不同时间区间,随后是经滤波的输出910,因为滤波器904已向右移位一个时间区间。经滤波的输出930对应于第三位置,其中重叠是三个时间区间。经滤波的输出940对应于第四位置,其中重叠是四个时间区间。经滤波的输出950对应于安全位置,其中重叠是五个时间区间。容易看见,第五位置是最高的,对应于滤波器904与直方图902之间的完美重叠。

[0155] 最终经滤波的输出990示出在滤波器904与直方图902之间具有某个水平的重叠的9个位置中的每一个处的值。可以分析此经滤波的输出以识别对应于检测到的脉冲的接收时间的最大值。在各种实施方案中,此时间可以直接记录或修改(例如,识别前沿将在何处)作为飞行时间测量的部分。

[0156] 图10A-10C示出根据本发明的实施例的由不同经译码脉冲类型产生的匹配滤波器响应(经滤波的输出)的类型。在图10A中,经译码脉冲1010是通过光学发射器接通达5个时间区间间隔而形成。匹配滤波器响应1015是宽的(横跨多个时间区间)且具有逐渐的梯度,使得困难检测匹配、测量匹配的振幅和准确确定时间。匹配滤波器响应1015具有与图9的最终经滤波的输出990相似的形式。

[0157] 在图10B中,经译码脉冲1020是通过接通和断开光学发射器5次而形成,且具有较高频率分量,从而准许较准确的距离确定。图10A和10B的经译码脉冲具有相同的功率,因为两者接通达5个时间区间间隔。图10B中的匹配滤波器响应1025具有多个旁瓣,使得难以在噪声存在下使用。

[0158] 图10C示出对应于作为巴克码的实例的序列 $\{1, 1, 1, -1, 1\}$ 的经译码脉冲1030,其在雷达中使用以产生具有最小或甚至纯负的旁瓣的匹配滤波器响应,同时保留时间严格的滤波器峰。在图10C中,匹配滤波器响应1035示出在最佳匹配于经译码脉冲的时间区间上的尖峰。具有匹配滤波器响应1035的峰量值的时间区间可用于计算反射经译码脉冲的接收时间。

[0159] 峰量值具有进一步用途。举例来说,匹配滤波器响应1035的峰量值可用于计算反射经译码脉冲的振幅。匹配滤波器响应1035的峰量值取决于(1)反射经译码脉冲的振幅的平方和(2)滤波器的宽度和量值。如果所有滤波器具有相同功率,那么它们可以直接比较而无需按比例缩放。对于给定滤波器,相对振幅通过峰量值的平方根得出。反射经译码脉冲的

振幅有助于区分不同类型的反射对象或估计目标反射率的绝对值。

[0160] 虽然此类代码已知具有期望性质,但还不清楚如何针对光脉冲实现此类译码。在电学应用中,可存在负电压,但不存在用于光脉冲的负光子。在射频(RF)中,技术使用一个信号相对于参考信号的负相位,例如使用二进制相移键控(BPSK)。但此类相位差不是用于光脉冲的实际选项。如下所述,一些实施例可以基于检测时间间隔,例如它是哪个脉冲串,来对不同脉冲指派权重。举例来说,当累积成直方图时第1脉冲串可具有与第2脉冲串不同的权重。

[0161] IV. 基于检测间隔的译码脉冲

[0162] 光测距系统(也被称为经译码脉冲光学接收器系统)可以发射多个光脉冲,其中每一经译码脉冲具有由光强度形成的嵌入正值脉冲代码。系统可以在背景光的存在下通过产生在不同时间区间检测到的反射光的强度直方图而确定光脉冲的时间位置和/或振幅。对于每一时间区间,系统将取决于检测到的光的强度的加权值添加到强度直方图。加权值可以是正的或负的且具有变化的量值。

[0163] 通过选择正值脉冲代码的不同组合且应用不同权重,系统可以检测适合于标准数字信号处理算法的正值和负值代码。此方法给出高信噪比,同时维持反射光脉冲的测得时间位置中的低不确定性。

[0164] A. 用于不同脉冲串的不同权重

[0165] 图11是说明根据本发明的实施例的经译码脉冲光学系统(CPOS)的操作的示例性示意图1100。经译码脉冲1110是在脉冲时间间隔1160(也被称为检测间隔)期间首先发射,且经译码脉冲1120是在脉冲时间间隔1160之后在脉冲时间间隔1165期间发射。经译码脉冲是通过接通或断开光学发射器的光传输而形成。经译码脉冲1110可以表示为序列0,1,0,1,1,0,其中1意味着光学发射器接通(即,传输光)且0意味着光学发射器断开。序列数位以连续光取样间隔给出接通/断开值。经译码脉冲1120具有与经译码脉冲1110不同的脉冲代码。经译码脉冲1120可以由序列0,0,1,0,0,1表示。经译码脉冲是二进制的,因为它们可具有接通状态或断开状态。

[0166] 光传输模块(光学发射器)和光感测模块(光学接收器)可以经同步以同时启动且在同一脉冲时间间隔期间有效。对于经译码脉冲1110,同步可以由于开始信号1101而发生。对于经译码脉冲1110,同步可以由于开始信号1102而发生。开始信号1101和1102可以视为从其测量时间的共同开始信号。

[0167] 光感测模块检测背景光1150以及反射经译码脉冲1130和1140。接收的经译码脉冲1130是发射的脉冲代码1110的反射。接收的经译码脉冲1140是发射的脉冲代码1120的反射。光感测模块数字化接收光强度,且产生称为时间区间或直方图区间的每一光取样间隔的光强度值。在此特定实例中,脉冲串之间的光传输间隔与例如用于产生直方图的光感测模块的光取样间隔相同。然而,光传输模块处的光传输间隔可以不同于光学接收器系统的光取样间隔。

[0168] 时间区间1155对应于当光学接收器系统在检测背景光1150时的光取样间隔。时间区间1135对应于当光学接收器系统首先检测经译码脉冲1110时的光取样间隔。时间区间1145对应于当光学接收器系统首先检测经译码脉冲1120时的光取样间隔。CPOS(经由乘法)将脉冲权重应用于接收的数字化光强度以获得加权数据值1175。在此实例中,CPOS在脉冲

时间间隔1160期间应用+1的脉冲权重且在脉冲时间间隔1165期间应用-1的脉冲权重。因此,时间区间1135的加权光强度值是正的,且时间区间1145的加权光强度值是负的。

[0169] 如较早部分中描述,光感测模块可以维持每时间区间具有一个累积值的强度直方图。光感测模块最初将强度直方图累积值设定为零。在脉冲时间间隔1160和1165期间,光感测模块将加权光强度值添加到强度直方图的对应时间区间中的现有值。因此,对于在脉冲时间间隔1160的第一经译码脉冲,强度直方图值设定成等于加权光强度值,因为直方图中的所有值开始于零。对于在脉冲时间间隔1165的第二经译码脉冲,从现有强度直方图值减去加权光强度值。在脉冲时间间隔1165期间,两个脉冲时间间隔的背景光强度趋于彼此抵消,且减少强度直方图中的值的量值。结果是直方图1170。

[0170] CPOS可以通过按需要重复经译码脉冲而改进其检测和测距准确性。举例来说,光强度直方图可以累积来自类型1的2个经译码脉冲和类型2的2个经译码脉冲的结果。经译码脉冲类型的次序(即,类型1、2、1、2或1、1、2、2)经常对检测和测距准确性具有极少影响。在一个实施例中,经译码脉冲类型是交替的。

[0171] 图12示出根据本发明的实施例的提供具有正和负值的经译码脉冲串1230的两个二进制译码脉冲强度1210和1220以及它们的差。当从脉冲串1210的时间序列函数减去脉冲串1220的时间序列函数时,产生时间序列函数1230。CPOS可以使用匹配滤波器来检测强度直方图中的数字化脉冲。

[0172] B. 减少的干扰和较高水平的正交

[0173] 图11和12示出简单实例,其中发射两个类型的二进制译码脉冲,脉冲权重是(+1, -1)且其检测到的反射被组合以模拟发送正和负值经译码脉冲的效果,我们称为匹配代码。在已选择合适的匹配代码之后,CPOS将正和负值匹配代码分裂为两个正值经译码脉冲,其中第一经译码脉冲具有匹配代码的正分量且第二经译码脉冲具有匹配代码的负分量。

[0174] 在一些应用中,可能存在极为接近地作用的不同光测距系统的多个CPOS,例如,相应阵列中的不同发射器/传感器对。一个CPOS可以检测从第二CPOS发射的经译码脉冲的反射且报告不正确结果。在此情况下,为每一CPOS指派避免干扰的不同匹配代码组合是有利的。在一些实施例中,可改为使用伪随机脉冲串,并且还提供不同测距装置之间或同一测距装置的不同像素发射器之间的低串扰概率。

[0175] 此外,代码可以在恰超出正和负加权的多个维度中定义。举例来说,可以在2D向量空间中为不同激发指派权重,具有权重的Y方向或X方向分量。并非存储带正负号的数字,可以调整直方图以在每一时间区间中存储2D向量,且可以使用向量加法将向量加权代码累积到每一时间区间中。举例来说,可以用正Y权重发送脉冲串,可以用负Y权重发送下一脉冲串,但在X方向上两者具有零权重。因此,权重可以在较高维度中,且可在两个方向上具有值非零值。举例来说,代码可以是{+Y, -Y, +Y, +X, -X},且可使用对应匹配滤波器。背景噪声可以如上文针对一维实例所描述的类似方式在此多维实例中大体上消除(例如,零均值),例如只要相等数目的脉冲串在同一维度中具有正和负值即可。

[0176] 对于较高维度,一个系统的经译码脉冲可以是唯一的(或至少不大可能由另一系统使用),且因此更容易区分于其它经译码脉冲,进而减少来自其它CPOS系统的串扰。因此,为了减少干扰,实施例可以通过组合多种类型正值经译码脉冲与多维向量脉冲权重以产生多维匹配代码而支持高级代码。举例来说,正交相位代码是相差90度的相位差的代码。具有

(+1, -1) 的脉冲权重的较早代码实例可以视为在一个维度中具有180度的相位差的2个代码。对于正交相位代码,脉冲权重可以是([+1, 0], [-1, 0], [0, +1], [0, -1])且加权光强度值和强度直方图值是2维向量。对于量值1脉冲权重,通过为每一向量维度选择正和负分量,所需2维匹配代码经分解为4个正值脉冲代码。在一些实施例中,脉冲权重可以在多于两个维度中。可使用各种更高维度脉冲代码,使得更容易对多个CPoS指派唯一脉冲代码。因此,权重可以是两个或更多个维度中的向量。

[0177] 除不同维度以外,经译码脉冲可具有不同的值,例如不同于仅0或1。在图11和12的实例中,发射的脉冲代码值由对应于光学发射器接通或断开的0和1值组成。CPoS还支持多值非整数脉冲代码,具有例如0、1/2和1的值。此类非整数脉冲代码可通过例如以下方法产生:a)改变光学发射器光的强度;以及b)以比光取样间隔快的频率传输接通/断开光脉冲。因此,从脉冲代码导出的匹配代码可包含多值正或负整数或非整数数字。举例来说,CPoS可以将+1的权重应用于脉冲代码(1, 1, 1)、(1, 1, 0)和(1, 0, 0)且产生(3, 2, 1)的匹配代码。

[0178] 可使用额外技术减小来自其它光测距系统的干扰。举例来说,不同系统可以在不同频率/波长范围中发射光脉冲。接收器光学系统可以使用在相对窄的范围中传递光的滤光器(例如,作为每像素包含一个光圈的微光学器件的部分),例如2nm、1nm、0.5nm、0.25nm或更小的光谱宽度。关于此类微光学器件的另外细节可以参见美国专利公开案2017/0289524和2017/0219426。

[0179] 如果不同系统发出在此系统的滤光器的光谱范围之外的光,那么此类其它光将不会到达此系统的传感器。不同可能类型的发射器(例如,激光器)和对应滤光器的数目可以取决于发射器的发射光谱有多窄以及滤光器的光谱范围有多窄。在一些实施方案中,可以为不同型号或系列的装置(例如,交通工具、电话、勘察设备)指派不同光谱范围,进而减小在系统附近的干扰装置的可能性或数目。

[0180] 另外或实际上,其它技术可具有同一系统的不同通道具有不同光谱范围。举例来说,图4中的发射器403可以在与邻近于发射器403的发射器不同的光谱范围中发射光。并且,用于传感器413的滤光器可以在对应于由发射器403发出的光但与相邻传感器的滤光器不同的范围中传递光。以此方式,可减小来自其它通道的串扰。

[0181] C. 系统组件

[0182] 图13示出根据本发明的实施例的经译码脉冲光学系统(CPoS) 1310。CPoS 1310可以是图2的光测距装置210,其中图13的对应装置潜在地具有与图2中的那些装置相似的能力。CPoS 1310可以与用户接口1315交互,所述用户接口可以是图2的用户接口215。用户接口1315(例如,硬件和软件)可以指定匹配代码和其它操作参数。用户接口1315可以显示CPoS结果,其可包含检测到的对象的3维图和特定对象的距离值。

[0183] 系统控制器1320可以通过发送包含以下的命令来控制光感测模块1330(也被称为光学接收器系统):a)清除强度直方图累积值;b)指定脉冲权重和其它操作参数(例如,脉冲时间间隔和光取样间隔);c)开始光检测;d)发送强度直方图累积值。系统控制器1320可以使用命令总线来发送经译码命令且使用数据总线用于发送和接收数据值。在一些实施例中,系统控制器1320可以发送0或1开始信号以指示光检测何时应当开始,且发送0或1极性信号以指示将应用于强度值的权重(正或负一)。

[0184] 系统控制器1320可以通过发送包含以下的命令来控制光传输模块1340(也被称为

光学发射器):a)指定脉冲代码和其它操作参数;b)开始具有指定脉冲代码的脉冲串的发射。

[0185] 系统控制器1320可包含数字信号处理器(DSP)1322以用于使用匹配代码1324执行匹配滤波器,所述匹配代码可以存储于图2的存储器254中。可以存储多于一个匹配代码(滤波器)以及不同等级的滤波器,如稍后部分中更详细地描述。DSP 1322可以多个方式实施,包含:a)专用于DSP操作的处理器;b)使用FPGA内的可编程逻辑块;以及c)作为ASIC内的逻辑。在替代实施例中,DSP 1322和匹配代码1324可以是光感测模块1330的部分。匹配代码1324限定将匹配的模板时间序列函数。在一个实施例中,匹配代码1324是存储于存储器中的一系列数值。匹配代码1324可以用共轭时间反转格式存储以准备由匹配滤波器使用。

[0186] 光感测模块1330含有脉冲权重1332、直方图1334、传感器阵列1336和算术逻辑单元(ALU)1338。脉冲权重1332可以作为整数或浮点数的序列存储于寄存器或其它存储器单元中。在替代实施例中,脉冲权重局限于在每一维度中具有正或负单位值(即,+1或-1),且脉冲权重被实施为寄存器或存储器中的位模式。强度直方图1334可以被实施为每时间区间具有一个或多个存储器单元的存储器(例如,图2的存储器234)。传感器阵列1336检测光的光子且针对每一时间区间产生数字化强度值。

[0187] 在一些实施例中,ALU 1338将来自传感器阵列1336的数字化光强度乘以适当的脉冲权重1332,且将结果添加到直方图1334的适当的存储器单元。在其它实施例中,光感测模块1330可以将检测到的光强度添加到强度直方图的适当存储器单元或从强度直方图的适当存储器单元减去检测到的光强度。在此类实施例中,ALU 1338可以实施加法和减法而无需乘法器。

[0188] 光传输模块1340含有脉冲代码1344和能够发射光的发射器阵列1342(例如,一个或多个激光二极管)。脉冲代码1344指示何时应当发射光。脉冲代码1344可以作为整数序列存储于存储器(例如,图2的存储器246)中。

[0189] 直方图1334的维度(例如,时间区间的数目)可以匹配应用需要。在各种实施方案中,当脉冲时间间隔(检测间隔)是1024ns,光取样间隔是1ns,且两个类型的脉冲代码各自发射12次时,直方图1334可以含有1024个12位存储器单元。光在1ns中行进30cm,因此1ns的光取样间隔表明30cm的标称距离准确性,或当考虑往返时间时为15cm。通过重复经译码脉冲12次而在较长周期上累积结果除了改善的检测准确性外还得到改善的距离准确性。

[0190] 检测1024ns的光意味着CP0S可以检测已经行进多达307.2m的反射光。如果CP0S紧接在第一经译码脉冲之后将发射第二经译码脉冲,那么来自第一经译码脉冲的遥远反射可能被曲解为来自第二经译码脉冲的反射。CP0S可以通过在经译码脉冲之间暂停以允许经译码脉冲的能量耗散而避免此问题。可以执行各种量的暂停,例如与检测间隔相同的量,或者更多或更少。发射2个不同类型的脉冲代码12次且在经译码脉冲之间暂停1024ns会花费48x1024ns,近似为50 μ s。如果反射光的对象在那50 μ s中已移动显著距离,那么距离准确性可能受到影响,但这对于大多数对象不是问题。即使以每小时100km移动的汽车在50 μ s中也仅移动1.4mm。

[0191] D. 译码脉冲的方法

[0192] 图14是说明根据本发明的实施例的在光学测量系统中使用经译码脉冲的方法1400的流程图。光学测量系统可以是光测距系统。方法1400可以使用多个经译码脉冲检测

来自目标的反射脉冲的时间位置。在实时3维应用中,方法140可以针对多个方向连续地重复。方法1400可以由本文所描述的光学测量系统中的任一个实施。

[0193] 在1410,经译码脉冲光学系统(CPOS)执行初始化。举例来说,CPOS可以响应于用于开始、停止和改变参数的用户接口命令。CPOS可以初始化光学发射器以指示参数,例如脉冲代码、光功率电平和各种时间间隔(例如,检测间隔、用于检测间隔之间的暂停的间隔,和总体测量时间间隔)。CPOS可以初始化光感测模块以指示例如脉冲时间间隔和光取样间隔等参数。CPOS也可以清除例如直方图1334中的直方图值。

[0194] 在1420,从光源(例如,激光器)发射脉冲串作为光学测量的部分。可以发射脉冲串作为为了测量发射的N个脉冲串的部分。N个脉冲串可以从对象反射,进而允许到对象的测距测量。N个脉冲串中的每一个可包含来自光源(例如,VCSEL)的一个或多个脉冲且对应于由开始信号触发的不同时间间隔。举例来说,图11示出分别触发时间间隔1160和1165的开始信号1101和1102。

[0195] 在一些实施例中,CPOS可以等待指定时间以允许先前脉冲串(经译码脉冲发射)耗散。CPOS可以随后发射测量的N个脉冲串的下一脉冲串,其中N个脉冲串形成代码。一旦测量完成,例如N个脉冲串中的最后一个已耗散(例如,在对于任何反射预期的预定时间之后),CPOS就可以随后使用适当的脉冲代码开始第一个/下一个经译码脉冲发射。N可以是大于1的整数,例如2、3、4、5或更大。

[0196] 在1430,可以例如响应于触发发射脉冲串的开始信号而开始光学检测。因此,CPOS可以在其开始经译码脉冲发射的同时开始光检测。作为光学检测的部分,可以通过光学测量系统的光传感器(例如,对应于像素)检测脉冲串,进而在多个时间点产生数据值。在一些实施例中,光传感器是一系列光检测器(例如,SPAD)。数据值可具有各种形式,例如,在时间点(例如,在直方图的时间区间内)触发的SPAD的数目的计数。作为另一实例,数据值可为来自跟随模拟光传感器(例如,APD)的ADC的数字化值。两个实例都可以对应于强度。总共可以检测N个脉冲串。此外,可以针对光学测量装置的每一光传感器单独地执行过程。

[0197] 在1440,在对应于脉冲串的时间间隔内的时间点对数据值指派权重,进而获得加权值。指派的权重可以来自脉冲权重1332。可以为N个脉冲串中的每一个指派权重。用于不同脉冲串的此类权重中的一些可以与其它脉冲串相同。在一些实施例中,N个脉冲串中的至少两个被指派不同权重且具有不同脉冲模式。举例来说,图12示出具有不同权重的两个脉冲模式。所述两个脉冲串可具有一些相似性(例如,脉冲的部分可以重叠),但存在一个脉冲串接通且另一脉冲串断开的至少一些时间。此类不同脉冲模式可具有相似形状但具有不同延迟,例如,{1,0,1,1,0}具有与{0,1,0,1,1}相似的非零值形状,但它们由于偏移而是不同脉冲模式,所述偏移可以通过第二信号相对于第一信号的延迟来实现。

[0198] 因此,CPOS可以检测光且针对每一光取样间隔产生数字化强度值。对于每一光取样间隔,CPOS可以将脉冲权重应用于数字化强度值且将结果添加到强度直方图的适当时间区间。

[0199] 在1450,CPOS测试其是否已经发送所需数目的经译码脉冲。如果CPOS已经发送所需数目的经译码脉冲,那么其在框1460处继续,否则其循环回到框1420。

[0200] 在1460,确定对应于多个时间区间中的加权值的直方图。如上文所描述,可通过在跨越多个时间间隔的特定时间区间内的时间点累积加权值而确定直方图在特定时间区间

的计数器。举例来说,直方图1170是在两个时间间隔上累积且包含加权数据值1175的时间区间。

[0201] 在1470,使用直方图检测对应于N个脉冲串的信号。举例来说,CPOS可以确定直方图是否具有匹配于匹配代码(滤波器)的值序列。CPOS可以报告是否找到匹配代码和匹配的振幅。匹配可以允许相对于来自其它光源的噪声或干扰而检测所需信号。

[0202] 作为一实例,可以使用图9的技术检测信号。滤波器可包含将应用于直方图的时间区间窗的一组值。滤波器可以在直方图上滑动以计算经滤波的直方图,其具有对应于曲线滤波器相对于直方图的不同滑动位置的计数器。经滤波的直方图的计数器中的每一个可以对应于曲线滤波器与直方图在特定滑动位置的重叠。可以识别经滤波的直方图的计数器的最大值,进而允许例如当最大值高于阈值时的检测。用于计数器的最大值的特定滑动位置可以对应于接收时间,其可用于测距测量。用于使用滤波器的另外细节和技术在本文中描述且可与方法1400一起使用。

[0203] 在一些实施例中,信号可以是例如当光学测量系统被配置成执行测距测量时由N个脉冲串从对象反射造成的反射信号。在其它实施例中,例如当光源处于一个位置且光传感器处于不同位置时,信号可以是通信信号。此配置可用于通信目的。举例来说,微波发射塔可以发射数据到接收塔。所发射数据可包含经译码脉冲,其可以帮助减少可能由来自其它源的噪声或干扰造成的数据接收中的误差。接收塔可以识别脉冲串且通过选择两个脉冲串之间的任意时间作为第一时间区间的开始时间而产生直方图。可以随后应用匹配滤波器(例如,通过在直方图上方滑动);以及如果找到足够匹配,那么可以检测通信信号。可以通过经滤波的直方图获得的最大值来测量足够匹配。作为又一实施例,系统可以与用以检测通信信号的方式类似的方式检测来自另一CPOS的干扰信号。如果测量到干扰,那么一些实施方案可以改变发射代码,例如干扰代码类似于当前使用的代码。

[0204] 在1480,可确定到对象的距离。举例来说,可确定相对于开始信号的对应于N个脉冲串的接收时间。可使用接收时间确定到对象的距离。接收时间可以从脉冲串的发射时间偏移,但此偏移可以得到考虑。因此,CPOS可以报告检测到偏移的时间。距离可以对应于接收时间与开始信号的开始时间之间的往返时间,且因此可以在时间上表达距离。

[0205] 检测到的信号可用于除了测距之外的其它目的。举例来说,检测到的信号的质量可用于测量对象的反射率。举例来说,如果检测到的信号具有较强的强度,那么系统可以确定对象具有高反射率。上文论述了用于通信和干扰测量的实施方案。对于来自另一光源的干扰的检测,检测到的信号将来自自由干扰光源发射的另一组脉冲串。

[0206] 作为一般化,实施例可以发射具有N+1个唯一权重的N+1个唯一代码以产生N维向量空间直方图。举例来说,并非保持带正负号的数字的区间,通过发射至少两个唯一代码:一个正且一个负,区间可以保持1-D向量(例如,等效于带正负号的数字)。为了存储2-D向量(例如,在极坐标或笛卡尔坐标中),系统可以发射至少三个唯一代码,它们可以用三个不同极角度加权且加总为单个2-D向量。N-D向量(以全部保持在单个“区间”内的N个单独数字定义)将需要N+1个不同代码,当进行向量求和时每一个代码以不同角度加权(换句话说具有与所有其它权重正交的其权重的分量)。通过增加维度,可以使用更高级的译码技术,例如在RF通信中使用的正交相位译码或码分多址(CDMA)。在此背景下可使用N维匹配滤波器。

[0207] 如上文所提及,方法1400可用于减少通道之间的干扰。举例来说,方法1400可以针

对光源和光传感器的多个通道重复,作为多个光学测量的部分。所述多个光学测量可以在时间上重叠,例如基本上同时执行。因此,每一通道可以同时执行测量。为了减少干扰,对于通道中的至少一些,代码可以不同。举例来说,所述多个通道中的至少两个通道的N个脉冲串的脉冲模式可以不同,进而造成不同通道的不同直方图模式。另外或实际上,指派于所述多个通道中的至少两个通道的N个脉冲串的权重可以不同,进而造成不同通道的不同直方图模式。

[0208] V. 使用不同曲线滤波器的匹配滤波

[0209] 如上文针对图8所描述,从检测到的脉冲产生的信号可以取决于脉冲从其反射的对象的类型而变化。如图8所示,对应于来自高度反射对象的一个脉冲(例如,经译码脉冲模式的第一脉冲)的所得信号的部分(例如,在多个检测间隔上累积的直方图)可在开始具有尖峰,并且接着快速减小。当使用SPAD时可以得到此表现,因为在SPAD检测光子之后存在停滞时间(例如,10-20ns),然后它才可以检测另一光子。相比之下,从标准对象反射的脉冲的直方图的一部分可以是相对正形状,进而类似于实际发射脉冲。因此,即使使用经译码脉冲模式来增加区分反射脉冲与背景的能力,由于检测到的信号的不同形状也可能产生其它问题,例如由于检测到不同强度的脉冲。检测到的信号可以比发射的脉冲宽度长,例如当脉冲从成角度表面反射时可发生拖尾脉冲。

[0210] 上述表现可以通过每像素(即,每像素传感器)使用更多SPAD或其它光检测器而缓和,使得即使在适度光通量下,一些SPAD也将起动,但将始终存在一些SPAD有效。然而,在极高光通量下,将存在大多数或所有SPAD起动的情形,且像素传感器无法立即检测许多光子,因为大多数或所有SPAD被断开。

[0211] 作为进一步说明,假定SPAD具有20ns的停滞时间,但来自反射脉冲的高光通量是每10ns 1个光子。SPAD的输出将指示仅每20ns一个光子。作为另一实例,对于反射光的强50ns脉冲,则每个SPAD可以起动(寄存),并且接着断开20ns。在20ns之后,SPAD将变回接通,再次寄存,断开,再一次接通。因此,50ns脉冲将看似为三个短尖峰。检测到的信号的此改变可能造成完全错过经译码脉冲,造成对象的数目的混淆,或至少不正确地确定50ns脉冲的接收时间。为了解决此问题,可使用不同匹配滤波器来识别SPAD的不同衰减/响应/堆积。

[0212] 因此,实施例可以使用对应于不同类型的信号曲线(例如,无堆积/低堆积、适度堆积和高堆积)的滤波器。匹配过程可以确定来自像素传感器的光检测器的信号的类型,进而允许更好地确定用于执行用以确定到对象的距离的飞行时间计算的接收时间。在一些实施例中,可以执行多个滤波层,例如,粗滤波器可以识别用于执行较精炼分析的值窗,可以通过使用内插滤波器的子集(例如,对应于匹配粗滤波器)在窗中内插信号而完成。稍后描述此类精炼。

[0213] A. 滤波器曲线对原始直方图的应用(和归一化)

[0214] 在一些实施例中,可将曲线滤波器应用于原始直方图。曲线滤波器可以大体上与标称激光脉冲对应,但曲线滤波器可以修改为较短、较长,或具有基于目标或检测器对标称脉冲的预期影响而应用的不同形状或失真,例如随着图8中的不同检测到的信号变化。较短曲线可以对应于较高堆积情形,且较长曲线可以对应于其中脉冲击中成角度表面,从而使反射脉冲在时间上拖尾(例如,由于成角度表面,激光脉冲的一侧(例如,左)比激光脉冲的另一侧(例如,右)更接近)的情形。由于光通量拖尾,原始直方图的总高度会减小。作为其它

实例,云或枝叶也可以造成拖尾脉冲。产生滤波器曲线可以通过模拟不同失真源且将其影响施加于标称脉冲曲线来实现。替代地,可以通过现场进行直方图测量且将出现在直方图中的数字化脉冲曲线保存为滤波器曲线而在经验上导出滤波器曲线。

[0215] 因此,不同曲线可以考虑由于对象的定向所致的不同脉冲宽度,以及反射光的强度(例如,由于停滞时间的效果,如针对图8所解释)。两个效应都会导致光传感器在连续时间区间上检测到光子的不同速率。

[0216] 在一些实施例中,曲线滤波器是基于归一化的交叉相关的技术而设计,据此将由最紧密匹配于输入信号的形状的滤波器返回最高值。因此,在一些实施例中,基于不具有堆积、具有适度堆积和具有高堆积的数字化信号的曲线设计三个不同滤波器曲线,如下方图8和图15中所见。图15还示出拖尾滤波器。为了说明不同曲线滤波器的应用,针对下方实例中的一个或多个脉冲串假设单个脉冲。

[0217] 图15示出根据本发明的实施例的应用于原始直方图1510的多个曲线滤波器。图15示出可应用于未知信号以确定检测到的信号的曲线形状、其位置以及产生检测到的信号的脉冲的接收时间的各种滤波器。在此实例中,发出的脉冲具有5个时间区间的宽度。原始直方图1510可以大得多,为便于图示而显示仅一部分。

[0218] 原始直方图1510具有带有明显的值的一个时间区间1515,所述值具体来说是计数器1512。此形状对应于高堆积。实际信号形状的类型对系统是未知的,且因此可以应用各种滤波器曲线。反射脉冲1517示出正接收实际脉冲(5个时间区间),但时间区间1515是具有可测量信号的仅有时间区间,原因在于最后四个时间区间中的停滞时间。反射脉冲1517对应于击中光传感器的实际光通量,但实际上并未检测到其全部。在其它实例中,反射脉冲1517可以更长(例如,由于成角度表面或到对象的相对距离增加)或更短(例如,到对象的相对距离减小)。

[0219] 高堆积滤波器1520具有带有非零值的一个时间区间且类似于图8的高堆积曲线830。高堆积滤波器1520可应用于原始直方图1510以产生高滤波器输出1525,其具有带有明显值的单个时间区间,其中所述时间区间如所展示通过时间区间以及原始直方图1510和高滤波器输出1525的对准而对应1515中的时间。如将预期,高堆积滤波器1520提供最佳匹配,如通过峰1522(即,高滤波器输出1525的最大值)高于其它滤波器输出的最大值所证明。

[0220] 适度堆积滤波器1530具有类似于图8的适度堆积曲线820的形状。适度堆积滤波器1530可应用于原始直方图1510以产生适度滤波器输出1535,其具有带有明显值的多个时间区间。在给定时间区间的经滤波的输出的值可以在对应于滤波器的最左边(第一个)区间的时间示出。这可以当将检测脉冲的上升沿时完成。适度滤波器输出1535具有相对于适度堆积滤波器1530反转的形状,因为最右边分接头1531将首先与计数器1512重叠。每一次向右移动提供更多重叠,因为分接头滤波器增加。但适度滤波器输出1535的峰1532低于峰1522。

[0221] 低堆积滤波器1540具有类似于图8的低堆积曲线810的形状,其类似于5个时间区间的发出脉冲。低堆积滤波器1540可应用于原始直方图1510以产生低滤波器输出1545,其具有带有明显值的多个时间区间。低滤波器输出1545中的最大值低于峰1522。所述峰难以识别,因为经滤波的输出是平坦的。但如稍后(图16)将描述,例如当第一层是粗滤波器层时,可以应用额外滤波器层。因此,存在使用可以类似于低堆积滤波器1540的初始粗滤波器,并且接着将第二级滤波器应用于粗滤波器输出的一些实施例。

[0222] 拖尾滤波器1550具有对应于比发出脉冲长的反射脉冲的形状(9个时间区间对5个时间区间)。如同其它滤波器,拖尾滤波器1550可以应用于原始直方图1510以产生拖尾滤波器输出1555。这可用于检测在时间上拖尾脉冲宽度的目标,这是到目标的高入射角度或因为目标是类似于灌木等漫射介质或在极端情况下是一片雾。滤波器1520、1530、1540和1550可各自具有对应于不同数字化信号曲线的预期信号曲线。

[0223] 由于高滤波器输出1525的峰1522是来自所有各种滤波器输出的全局最大值,因此将时间区间1515选择为反射脉冲的时间位置。匹配滤波器电路可能不知道仅一个时间区间具有明显的值,恰好高滤波器输出1525的所述时间区间1515具有任何其它滤波器的最高值。如果需要,那么可使用发出脉冲的宽度确定发出脉冲的中心,例如通过将宽度的宽度的一半添加到时间区间1515的时间。

[0224] 如果数字化信号具有适度堆积,那么适度滤波器输出将具有最高值,因为大多数重叠将在滤波器与原始直方图确切重叠时发生。并且,适度滤波器输出的峰也将在时间区间1515。类似地,如果数字化信号具有低堆积,那么低滤波器输出1545将具有最高值,且对于用于拖尾数字化信号的拖尾滤波器1550是相似的。

[0225] 为了确保全局最大值对应于正确滤波器输出的峰,各种滤波器的功率可以经归一化。举例来说,如图所示,高堆积滤波器1520中的一个分接头具有比任何其它滤波器高的值。类似地,适度堆积滤波器1530中的最高分接头高于低堆积滤波器1540中的分接头,低堆积滤波器中的分接头高于拖尾滤波器1550中的分接头。在一些实施例中,每一组滤波器分接头的均方根是相等的。在另一实施例中,每一滤波器的总积分面积可以相等,进而当添加更多分接头时迫使值减小。

[0226] 因此,在比较个别经滤波的信号之前,这些个别信号可以经归一化。在一个实施例中(如所示),经归一化的比较是通过使用经归一化的滤波器执行交叉相关(匹配滤波器)而完成。为了产生经归一化的滤波器,可以计算每一组滤波器分接头的均方根,并且接着将整个滤波器除以能量的平方根。可使用除平方根以外的其它函数。

[0227] 在其它实施例中,经归一化的比较是通过首先应用非归一化的滤波器,并且接着将结果(即,滤波器输出)除以滤波器能量的平方根而完成。此后面的实施例可以在计算上较简单。在多个经滤波的信号的经归一化的比较之后,最大值对应于最佳匹配。以此方式,根据本发明的实施例,可以获得关于反射表面的性质的信息(例如,表面的角度、反射性如何以及对象的相对速度)。

[0228] 作为产生滤波器输出的部分,滑动步长可以是一个时间区间,如图15中示出。在其它实施例中,可使用较小步长。举例来说,可以在每0.1、0.2或0.5个时间区间确定重叠值(例如,通过卷积滤波器与原始直方图)。

[0229] B. 曲线滤波器对经滤波的直方图的应用

[0230] 在一些实施例中,不同曲线滤波器可应用于例如由初始粗滤波器产生的滤波后信号。此初始粗滤波器可以在原始直方图上应用以识别直方图的对应于反射脉冲的部分(即,区别于背景光)。所得滤波器输出针对不同数字化信号曲线具有不同曲线。

[0231] 1. 不同曲线滤波器之间的比较

[0232] 图16示出根据本发明的实施例的对来自第一级滤波器的经滤波的输出应用不同的第二级曲线滤波器。图16具有三列和五行。所述三列是无堆积1610、适度堆积1620和高堆

积1630。所述行对应于：(A) 原始直方图，(B) 在第一滤波器级应用的粗滤波器输出（例如，来自单个方形滤波器），(C) 在第二滤波器级应用的无堆积滤波器输出，(D) 在第二滤波器级应用的适度堆积滤波器输出，和 (E) 在第二滤波器级应用的高堆积滤波器输出。

[0233] 无堆积信号1611、适度堆积信号1621和高堆积信号1631分别对应于低堆积曲线810、适度堆积曲线820和高堆积曲线830。像素上的实际光通量1650是以虚线示出的方形脉冲。

[0234] 在图16中，单个方形滤波器应用于原始直方图中的每一个。方形滤波器可具有发出脉冲的宽度。此方形滤波器可以视为粗略的，因为其在第一级应用（即，直接应用于原始直方图）且分辨率可以是单个时间区间的大小（例如，滑动步长是一个时间区间）。不同滤波器输出得自不同原始直方图输入。通过确定方形滤波器的重叠和方形滤波器的不同位置的信号而确定滤波器输出。

[0235] 粗略无堆积滤波器输出1612具有三角形形状，例如类似于图9的最终经滤波的输出990。经滤波的直方图上的水平轴线对应于方形滤波器的给定位置。但滤波器输出1612相对于无堆积信号611的实际时间位置不一定涉及其在水平轴线上的相对位置。如果产生滤波器输出以检测反射脉冲的上升沿（例如，在时间区间的经滤波的值对应于滤波器的最左边位置），那么滤波器输出1612的峰将对应于无堆积信号1611的上升沿。此外，滤波器输出1612的宽度大于无堆积信号1611的宽度（例如，9个区间对5个区间）。因此，在水平轴线上的标度对于两个绘图是不同的，但线1617可以对应于当时时间区间的值从粗滤波器的中心断开时检测到的脉冲的中心，如图9中那样。

[0236] 粗略适度堆积滤波器输出1622随着第一部分的每一时间步长增加，例如类似于适度滤波器输出1535。在时间1627的减小（例如，对应于检测到的脉冲的中心）可以得自方形滤波器的前沿经过适度堆积信号1621中的峰。

[0237] 粗略高堆积滤波器输出1632类似于方形脉冲，例如类似于低堆积滤波器输出1545，因为方形滤波器可以视为在此第一级的低堆积滤波器。高堆积信号1631可以近似为具有高于阈值的明显值的单个时间区间，类似于原始直方图1510。线1637说明与平坦顶部滤波器响应相关联的不明确性。滤波器响应的最大值可以容易沿着粗略高堆积滤波器输出1632的平坦顶部的任何地方发生，其中有噪声添加。

[0238] 行C-E对应于应用于行B中的方形滤波器输出的第二级滤波器。每一行对应于应用于行B中的相应方形滤波器输出的不同第二级滤波器。三个不同第二级滤波器具有大致对应于行B中的输出的曲线的曲线。因此，第二级滤波器可以被认为具有行B中示出的曲线的不同曲线滤波器。对应于底层数字化信号（即，与对应滤波器输出是相似形状）的第二级滤波器将提供最佳匹配，且因此用以确定接收时间。

[0239] 在行C中，通过将无堆积曲线滤波器应用于滤波器输出1612而产生曲线滤波器输出1613。在此实例中，无堆积曲线滤波器在形状上类似于滤波器输出1612自身（但更多的指数上升和衰减，例如高斯），且不类似于低堆积滤波器1540。这些曲线滤波器不同指出在于它们在不同级应用：一个直接应用于原始直方图且另一个应用于第一级滤波器输出。由于滤波器输出1612基本上与自身卷积，因此曲线滤波器输出1613是对称的且可具有在与滤波器输出1612基本上相同时间的峰。

[0240] 曲线滤波器输出1623是通过将无堆积曲线滤波器（基本上为滤波器输出1612）应

用于粗略适度滤波器输出1622而产生。粗略适度滤波器输出1622的不对称形状造成曲线滤波器输出1623中的不对称形状。并且,由于无堆积曲线滤波器不确切匹配于粗略适度滤波器输出1622,因此曲线滤波器输出1623的峰小于曲线滤波器输出1613的最大值1616。

[0241] 曲线滤波器输出1633是通过将无堆积曲线滤波器应用于粗略高堆积滤波器输出1632而产生。粗略高堆积滤波器输出1632的大体上对称形状提供曲线滤波器输出1633中的对称形状。并且,由于无堆积曲线滤波器不确切匹配于粗略高堆积滤波器输出1632,因此曲线滤波器输出1633的峰小于最大值1616。

[0242] 在行D中,适度堆积曲线滤波器应用于行B中的各种滤波器输出。适度堆积曲线滤波器具有与粗略适度滤波器输出1622相似的形状。因此,滤波器输出1624具有相对于滤波器输出1614(无堆积)和滤波器输出1634(高堆积)的最大值。

[0243] 在行E中,高堆积曲线滤波器应用于行B中的各种滤波器输出。高堆积曲线滤波器具有与粗略高堆积滤波器输出1632(即,基本上为方形滤波器)相似的形状。因此,滤波器输出1635具有相对于滤波器输出1615(无堆积)和适度输出1625(适度堆积)的最大值。

[0244] 2.最大值窗查找器-适度堆积实例

[0245] 在一些实施例中,第一级滤波器可以识别用于执行第二级滤波的特定窗。第一级滤波器可以应用于整个原始直方图,因为将在何处检测到反射脉冲是不会确切知道的。可以识别滤波器输出的最大值的位置,且可以使用第二级的曲线滤波器分析最大值周围的窗。可以通过仅在此最大值窗中应用曲线滤波器而节省存储器、时间和计算工作量。因此,通过这些滤波器中的每一个应用于最大值窗结果且比较它们以找到哪一个具有最高值,可以找到哪一个堆积情形最佳近似真实信号。

[0246] 图17是说明根据本发明的实施例的使用应用于适度堆积信号的两级滤波器的过程流程的图。第一级滤波器(例如,方形滤波器)可应用于适度堆积信号以获得适度堆积滤波器输出1710,其可以看似粗略适度滤波器输出1622。作为获得适度堆积滤波器输出1710的部分,第一级滤波器可以在原始直方图上滑动,且可以识别滤波器输出中的最大值。可选择此最大值周围的窗,其中所述窗将包含适度堆积滤波器输出1710的相关部分,进而获得所选最大值窗1720。

[0247] 一旦选择最大值窗1720,就可选择多个第二级曲线滤波器。选择哪些第二级曲线滤波器可以取决于经滤波的输出的性质(例如,非零值的模式,例如其宽度),以及使用的第一级滤波器的性质(例如,非零值的模式,例如其宽度)。所选第二级曲线滤波器可以随后应用于所选最大值窗1720内的滤波器输出数据。

[0248] 在此实例中,选择三个第二级曲线滤波器1722-1726,例如对应于预期信号曲线,或更精确地对应于此类信号曲线的经滤波的输出。低堆积曲线滤波器1722提供最左边第二级滤波器输出,适度堆积曲线滤波器1724提供中间第二级滤波器输出,且高堆积曲线滤波器1726提供最右边第二级滤波器输出。由于原始原始直方图具有适度堆积和所选最大值窗1720,因此所选信号1732将是中间第二级输出。

[0249] 在一些实施例中,针对给定形状可选择多于一个曲线滤波器。举例来说,可使用多个适度堆积曲线滤波器,各自具有彼此的稍微不同,这取决于在时间区间内何时接收到反射脉冲的上升沿。此一组曲线滤波器可以有效地内插检测到的原始直方图以在比时间区间的宽度更精细的分辨率下识别反射脉冲的接收时间。下一部分提供关于此内插的另外细

节。

[0250] C.内插

[0251] 在一些实施例中,内插器执行直方图区间之间的内插。数字内插通常通过零填充和将有限脉冲响应(FIR)或无限脉冲响应(IIR)滤波器应用于数据而完成。在其它实施方案中,使用更精确且经济的方案。在这些实施例中,内插器使用根据上文所识别的信号形状的先验知识。因此,内插器可以应用许多匹配滤波器,其中的每一个对应于小于1个直方图区间的内插偏移。作为示例性实施方案,内插器通过每曲线应用10个不同匹配滤波器来实现这一点,其中的每一个对应于不同内插偏移。

[0252] 因此,数字信号处理器(DSP)方案中的块可包含内插器,其可以使用内插滤波器。内插滤波器可以是第一级滤波器或第二级滤波器。内插滤波器可以用比时间区间的宽度大的精度提供关于检测到的脉冲的接收时间的信息。

[0253] 作为内插的实例,假定方形反射脉冲的上升沿确切在时间区间的中间到达(例如,在一纳秒时间区间中的500ps),其中检测到的脉冲是3ns宽。由于上升沿在时间区间的一半处到达,因此在所述第一时间区间中将检测到的光子通量是在接下来两个时间区间中的大约一半。第四时间区间也将具有检测到的通量的大约一半,因为下降沿将落在第四时间区间的一半处。因此,原始直方图可能在四个连续时间区间中具有四个值{5,10,10,5}。‘10’指示在所述区间中检测到完整光通量,且‘5’指示在所述区间中检测到完整通量的一半。

[0254] 前导和尾部区间中的值的比率可用于确定上升沿的位置。举例来说,如果前导区间具有4的值且尾部区间具有6的值,那么上升沿将在进入前导区间中的600ps(例如,100.6ns)。实际上,原始直方图的特定值可能不具有此类理想值,例如原因在于噪声和检测过程的随机性质。因此,并非计算此比率,可使用不同的内插滤波器。举例来说,如果前导区间在100ns与101ns之间,那么可存在用于100.1ns、100.2ns、100.3ns等等的内插滤波器。在此实例中,最佳匹配滤波器可以识别在100ps内的接收时间。此类内插滤波器可以执行与当应用内插滤波器作为第二级滤波器时用于粗滤波器的位相比更多的位的固定点乘法。

[0255] 不同组的内插滤波器可用于不同曲线。举例来说,一组内插滤波器可用于高堆积曲线,且不同组的内插滤波器可用于适度堆积曲线,等等。组中的每一内插滤波器可具有考虑脉冲曲线中随着滤波器在时间上滑动的稍微量化移位的稍微不同曲线。为了内插10x(例如,当时间区间的宽度是1时的0.1准确性),可使用10个内插滤波器。在2-区间矩形脉冲(例如,高堆积曲线)的简单情况下,内插滤波器可以是(10,0),(9,1),(8,2),(7,3),(6,4),(5,5),(4,6),(3,7),(2,8),(1,9)。这些内插滤波器中的每一个可应用于信号以识别最佳配合的信号而得到低至区间的1/10的经内插范围。技术人员将了解此类内插滤波器对多于两个时间区间的脉冲的应用,以及更复杂的脉冲形状和长度。此外,连续脉冲串(例如,同一脉冲模式的连续脉冲)可以彼此偏移(例如,交错区间的1/10)以确保原始直方图占用多于一个时间区间,如稍后部分中更详细地描述。

[0256] 1.内插滤波器对原始直方图的应用

[0257] 图18示出根据本发明的实施例的不同内插滤波器对原始直方图的应用。图18示出响应于3-ns反射脉冲1817而产生的应用于原始直方图1810的四个内插滤波器。原始直方图1810(标记为H)具有上升沿1815,其相对于时间区间1812移位-1/4的时间区间。内插滤波器中的每一个可具有对应时间区间中的值的不同模式以提供内插,例如,非零值的不同模式。

[0258] 零移位内插滤波器1820包括具有相同值的三个分接头。零移位内插滤波器1820与H卷积以提供零移位输出1825。卷积过程可以提供具有明显值的J+K-1个时间区间,其中J是内插滤波器的分接头的数目且K是原始直方图的明显值(例如,高于背景阈值)的时间区间的数目。

[0259] 在每一时间步长,可在两个曲线之间确定卷积(例如,重叠),且所得值可用于对应于第一内插分接头的位置的时间区间。在此实例中,当最左边内插分接头与时间区间1812重合时峰1827发生,因为这三个时间区间具有比时间区间1811高的值。

[0260] -3/4移位内插滤波器1830具有比尾部分接头高的前导分接头,因为时间区间的3/4将包含具有上升沿1831的反射脉冲。卷积提供具有低于峰1827的峰1837的经滤波的输出1835,因为零移位比-3/4移位更接近于-1/4的实际移位。

[0261] -1/4移位内插滤波器1840具有比尾部分接头低的前导分接头,因为时间区间的1/4将包含具有上升沿1841的反射脉冲。卷积提供具有峰1847的经滤波的输出1845,所述峰是所有经滤波的输出的最高峰,因为-1/4移位与上升沿1815的实际移位相同。

[0262] -1/2移位内插滤波器1850具有相等的前导分接头和尾部分接头,因为每一对应时间的1/2当其具有上升沿1851时包含反射脉冲。卷积提供具有大约等于峰1857的峰1857的经滤波的输出1855,因为零移位是与零移位相比的-1/4的实际移位的相同距离。

[0263] 图18的实例假设无堆积滤波器,但特定曲线可能是未知的。在此情况下,各种曲线滤波器可应用于原始直方图,其中每一曲线具有不同宽度。这些曲线滤波器可各自是粗滤波器,因为此第一级的目的是识别哪一个曲线最佳匹配于数字化信号。此类不同曲线滤波器或其输出可以经归一化,如本文中所描述。取决于哪一个曲线滤波器最佳匹配,随后可以在内插级中应用所述类型(例如,高堆积)的内插滤波器。具有最佳匹配的初始粗滤波器可以是所述组内插滤波器中的一个,例如对应于上升沿中的特定移位(例如,用于方形粗滤波器的零移位)。

[0264] 将内插滤波器应用于原始直方图可以在检测噪声内的信号时比应用于滤波器输出(例如,内插滤波器是第二级滤波器)更有效,因为滤波器可以较好地匹配于直方图中的多种信号形状,但可能计算上昂贵,因为脉冲的位置可能是未知的。在此实例中,内插滤波器中的每一个可以应用于整个原始直方图。然而,在一个实施方案中,第一内插的峰位置可用以指定应当在何处应用其它内插滤波器。在其它实施例中,可以首先应用一个或多个粗滤波器曲线(例如,如本文中所描述)以实现在原始直方图上运行内插滤波器的许多益处,其可用于找到反射脉冲周围的窗,并且接着可以应用内插滤波器。

[0265] 2. 对经滤波的直方图的应用

[0266] 在一些实施例中,内插滤波器可应用于滤波器输出,而不是直接应用于原始直方图。举例来说,返回参看图16,当应用第二级滤波器以提供各种第二级滤波器输出时,可以应用多于一个第二级滤波器。因此,可能存在多于一个高堆积第二级滤波器。在图16中,高堆积第二级滤波器标称类似于粗略高堆积滤波器输出632。但并非单个方形滤波器,可使用多个(例如,10个)内插滤波器,各自具有对应于反射脉冲的上升沿的不同位置的不同曲线,例如类似于图18。经内插脉冲的数目可以取决于所需的准确性。

[0267] 因此,如果原始高堆积信号具有带有大值的一个时间区间,但下一时间区间具有较小但显著的值(例如,由于强脉冲的上升沿在第一时间区间的末尾附近到达),那么经滤

波的输出将不是完美方形的。举例来说,对于5区间方形滤波器,将存在相等高度的四个时间区间,在每一侧上具有两个较小时间区间,其中最左边时间区间大于最右边时间区间,因为原始直方图具有较大第一区间。如果仅使用5区间方形滤波器作为第二级滤波器,那么最大值将看来相同于仅一个时间区间具有明显值的实例(即,下一时间区间基本上为零,例如小于背景),这不如使用多个内插滤波器那么准确。

[0268] 内插滤波器可以使用6个分接头,其中第一和最后的框不同,例如因此经滤波的输出将在指定分辨率内确切匹配于最佳匹配内插滤波器。举例来说,使用用于第一和最后分接头的不同组合的20个内插滤波器可以提供50ps的准确性。取决于原始直方图中的两个时间区间的相对比率,最大值将稍微移位;计算此比率是确定上升沿的位置的另一方法,即一旦粗滤波器已用以识别原始直方图的部分进行分析。

[0269] 在一些实施例中,单个第二级曲线滤波器可用于所述曲线中的每一个,例如图16中示出的3个曲线。提供最大值的曲线滤波器可以随后用以选择对应内插滤波器进行使用,例如其方式类似于初始粗滤波器可用于选择哪些内插滤波器应用于原始直方图,但此处内插滤波器(对应于最佳匹配粗滤波器)是第二级滤波器。因此,并非需要使用用于每一曲线的全部内插滤波器。

[0270] 3. 选择滤波器

[0271] 如上一个部分中所提到,作为在所有测量中将所有内插器滤波器曲线应用于测得的直方图的替代方案,仅使用特定内插滤波器。由于某些内插滤波器与某些粗滤波器相关联或共同属于一个组,因此一个滤波器的最佳匹配可用于选择将使用哪些内插(或附加内插)滤波器。在各种实施方案中,这些内插滤波器可以当它们对应于例如最佳匹配粗滤波器、前N个最佳匹配粗滤波器(例如,2个或更多个)、表示特定组(例如,高堆积内插组)的最佳匹配内插滤波器、最佳N个匹配内插滤波器或高于阈值的匹配的任何滤波器时进行选择。

[0272] 在其它实施方案中,可基于测量结果而选择一组内插滤波器,所述测量结果例如原始直方图中的最大值和/或滤波器输出中的最大值。作为一个实例,通过比较这两个数字的比率,有可能确定可靠地识别某些堆积水平的阈值。举例来说,如果原始直方图中的最大值等于多分接头粗滤波器的最大值输出,那么这可以指示极强堆积,因为单个直方图区间中含有所有光能。此简单比率方法是用于选择应用哪一个内插滤波器的计算上高效的替代方法。

[0273] 在使用滤波器输出的最大值作为选择准则的其它实施例中,可以实施额外检查。举例来说,如果每像素存在多个SPAD,且它们大部分已起动,那么系统可以假定堆积已发生。堆积的程度(与原始直方图中的最大值有关)可以与检测到的光子的数目直接相关。为了利用此关系,在原始直方图中的最大值或粗滤波器输出上的阈值或多个阈值可以决定使用哪些堆积曲线。

[0274] 举例来说,高于第一阈值的最大值可以指示应当仅使用高堆积内插滤波器。低于第一阈值的最大值可以指示应当使用低和适度(中等)堆积内插滤波器。第二阈值可以指示当最大值高于第二阈值时使用适度和高堆积内插滤波器,且指示当低于第二阈值时使用低堆积内插滤波器。用于这些阈值的值可以除了关于传感器正操作的环境的静态或实时知识之外还基于装置的当前操作设定点而确定。

[0275] 4. 变化

[0276] 可以额外方式执行内插。举例来说,分布函数(例如,高斯)可以具有类似于经滤波的输出(或原始直方图,这取决于何时执行内插)的宽度的宽度。缓慢移动此分布函数(例如,100ps步长)将提供原始直方图或经滤波的直方图的中心的近似。这将不需要用于每一曲线的10分接头滤波器,但可能需要每纳秒多于一个滤波器值。此类分布可以是对称或不对称的,例如,在其内具有不同曲线。可使用分布的不同宽度,这可以提供优于针对单个曲线使用具有不同模式的多分接头滤波器的益处。

[0277] D. 多个粗滤波器和内插滤波器的组合

[0278] 如上文所描述,粗滤波器可应用于原始直方图以提供滤波器输出,且具有最佳匹配曲线的内插滤波器可应用于滤波器输出。在一些实施例中,可以应用多个粗滤波器,且可使用对应于最佳匹配的内插滤波器。由于内插滤波器对应于最佳匹配曲线,因此它们可以是数字信号处理(DSP)方案的部分,其被设计以识别堆积的类型且进而更精确地识别场景中的对象的距离和性质。

[0279] 图19是说明根据本发明的实施例的使用多个粗滤波器的两级滤波方案的图。直方图数据1910对应于原始直方图,其可以使用多个脉冲串确定。

[0280] 根据一些实施例,为了估计数字化信号的形状,首先将多个匹配粗滤波器应用于原始直方图,图19中标记为匹配滤波器1-N。这些粗滤波器中的每一个可以提供滤波器输出,标记为经滤波的曲线1-N。在一些实施方式中,应用巴克码匹配滤波器。此滤波器使用巴克码作为滤波器分接头,且执行原始直方图与这些分接头的交叉相关。根据本发明的实施例,可能存在N个不同的匹配滤波器。因此,来自每一测量的直方图数据可以用N个不同匹配滤波器滤波。粗滤波器的数目可以对应于在给定环境中预期或可能的不同曲线的数目(例如,基于对象的类型)且基于来自光感测模块的曲线形状。

[0281] 在下一步骤中,最大值窗查找器1940可以识别匹配经滤波的输出信号的最大值。可以保存所述索引周围的值的窗。如果使用多个粗略匹配滤波器,那么仅考虑具有最大值的经归一化的匹配滤波器。记录具有最大值的粗略匹配滤波器。

[0282] 最大值窗被传递到内插器以执行精细内插。将使用的内插滤波器是通过具有最大值的粗略匹配滤波器确定。因此,可能存在总共 $N \times M$ 个内插器滤波器,其中N是应用于每一测量的粗略匹配滤波器的数目,且M是用于每一粗滤波器的精细内插滤波器的数目。在各种实施例中,内插滤波器可应用于原始直方图或对应于最佳匹配的经滤波的曲线。

[0283] E. 经译码脉冲和曲线滤波器

[0284] 匹配滤波器(包含不同曲线滤波器)也可以与先前部分中描述的经译码脉冲组合使用。下方是具有匹配于脉冲模式的分接头模式的粗滤波器的实例。并且,还描述最大值窗查找器的操作。

[0285] 1. 粗滤波器

[0286] 图20示出根据本发明的实施例的产生于经译码脉冲的原始直方图、匹配滤波器 and 对应滤波器输出。原始直方图2010表示无堆积或低堆积的情况,但具有一些噪声。原始直方图2010具有对应于长度3的巴克码的 $\{+1, +1, -1\}$ 模式。从0-16的各种时间区间中的值是在-2与2之间的值。负值可以通过对在检测间隔的特定部分期间检测到的脉冲指派负权重来实现。在所示实例中,原始直方图2010仅具有整数值,即,-2、-1、0、1或2。

[0287] 匹配滤波器2020具有匹配于预期脉冲模式 $\{+1+1-1\}$ 的滤波器分接头。然而,分接

头仅具有+1、0和-1的值。匹配滤波器2020具有用于每一时间区间的一个分接头2022。在直方图输入数据与滤波器分接头2022之间执行交叉相关。匹配滤波器2020可以构成粗滤波器。

[0288] 滤波器输出2030示出输入信号(原始直方图2010)与滤波器分接头2022的交叉相关,进而获得粗略滤波后信号。如滤波器输出2030中可见,交叉相关函数中存在中心的正峰。这将来自直方图的所有三个脉冲的所有功率组合成单个大脉冲。另外,输入直方图与匹配滤波器的交叉相关产生如滤波器输出2030中所见的三角形形状。通过当匹配滤波器2020处于确切匹配于原始直方图2010的模式的滑动时间步长时基本上提供原始直方图2010的时间区间中的数据值的总和,滤波器输出2030的竖直轴线上的标度说明交叉相关方面。

[0289] 在一些实施例中,当原始直方图2010和匹配滤波器2020的值是整数时可以执行交叉相关而无需浮点运算。可使用更高效的固定点修改。并且,在此实例中,由于匹配滤波器2020仅具有-1、0或+1的值。由于粗滤波器可以应用于整个直方图(例如,1,000个时间区间),因此具有此第一级滤波器的高效实施方案可为重要的。

[0290] 此粗滤波器允许识别信号在大致标度上位于何处。这在发出单个激光脉冲时可以有用的,因为这些额外脉冲可能另外增加计算要求。匹配滤波器的应用可以将脉冲重组为对应于滤波器输出2030中的时间区间15处的峰的单个信号。

[0291] 图20说明使用经译码脉冲的益处。原始直方图2010是很弱的信号,例如在时间区间中的值不大且由于噪声而存在变化。当匹配滤波器精确匹配直方图输入时,所得信号变得强得多,如滤波器输出2030中的明显最大值证明。并且,旁瓣是负的,这是巴克码的性质。

[0292] 2.最大值窗查找器

[0293] 图19中示出,DSP方案中的下一个块可为最大值窗查找器。此块的目的是找到滤波器输出的最大值,且保存此最大值周围的值用于内插和/或不同曲线滤波器的应用。最大值窗查找器可以识别每一匹配滤波器中的最大值且从个别最大值确定全局最大值。

[0294] 在一些实施例中,为了比较不同滤波器输出,匹配滤波器可以经归一化,例如如本文中所描述。举例来说,归一化可以将个别最大值除以分接头的数目。这可以提供在匹配滤波器中所捕获的平均功率且可以减少即使当具有较少分接头的滤波器较好匹配于输入形状时,具有较多分接头的滤波器不恰当地优先于具有较少分接头的滤波器而被选择的可能性。在其中滤波器输出直接彼此进行比较的实施例中,滤波器曲线中的每一个的滤波器功率可以经归一化以使得比较不会偏置。

[0295] 图21示出根据本发明的实施例的最大加窗器结果2100。在时间区间(索引)15找到最大值,且在最大值索引周围保存11个值的窗2110。这些11个值可以保存且在第二级滤波中使用,第二级滤波可以涉及内插和/或不同曲线滤波器。举例来说,低堆积曲线滤波器、适度堆积曲线滤波器和高堆积曲线滤波器可应用于窗2110的时间区间中的11个值。这些曲线滤波器的最佳匹配随后可以用以选择一组内插滤波器以用于以大于一个时间区间的分辨率识别接收时间,如本文所描述。以此方式,与对整个原始直方图使用完整一组内插滤波器(可能用于不同曲线)相比,对这11个值执行精细内插在计算上成本低得多且快得多。内插器滤波器分接头的值可以是任何实数值,而不是仅限于+1、0和-1的值。

[0296] 3.用于不同对象的多个粗略曲线滤波器

[0297] 使用本文阐释的技术可以使LIDAR系统检测某些对象更有效。举例来说,街道标志

已知具有强反射。这可能造成包括SPAD的传感器中的高堆积。使用恰当匹配滤波器和对应内插可以极大地改进此类表面的检测和恰当距离估计。同样,来自倾斜表面的辐射反射可能拖尾且扩展,这也可以通过此类实施例较好地检测且具有较好地估计的距离。

[0298] 图22示出根据本发明的实施例的具有不同宽度的多个粗略曲线滤波器的应用。不同粗略曲线的输出可用于识别使用哪些第二级滤波器。图22示意性地示出根据本发明的实施例的对应于来自三个不同类型的表面的激光脉冲的反射的特定情境和对应处理。如图所示,粗略曲线滤波器中的每一个具有不同数目个具有非零值的连续时间区间。

[0299] 在图22中,脉冲串2210中的连续激光脉冲相隔时间间隔 t_1 ,且它们具有特定良好定义的脉冲形状。当这些脉冲是从不同表面反射且反射信号由像素传感器处的SPAD测得时,所得检测到的信号取决于它们从其反射的对象而具有不同曲线,即使它们全部在原始脉冲串中具有相同间距时间 t_1 也是如此。

[0300] 低堆积数字化信号2222表示弱返回信号,其为来自远处的对象的反射或来自低反射率表面的反射的指示。这两个情境可以通过飞行时间计算来进一步区分。反射信号具有与脉冲串2210相同的间距 t_1 ,且具有检测到的 t_2 的脉冲宽度。弱匹配滤波器2224具有对应于弱返回信号的宽度。弱滤波器输出2226对应于弱匹配滤波器2224对低堆积数字化信号2222的应用。所得形状类似于图22中示出。

[0301] 高堆积数字化信号2232表示强返回信号,其为来自附近对象的反射或来自高反射性表面的反射的指示。同样,这两个情境可以进一步通过飞行时间计算来区分。反射信号具有与脉冲串2210相同的间距 t_1 ,但具有小于 t_2 的脉冲宽度 t_3 。这是由于造成SPAD处的高堆积的大量反射辐射而发生。因此,来自SPAD的数字化信号曲线具有典型的尖锐上升和快速下降,这使得半高全宽(FWHM)较小。强匹配滤波器2234具有适合于计算与高堆积数字化信号2032的交叉相关的曲线。强滤波器输出2236以与弱滤波器输出2226类似的方式在绘图中间具有相异的峰,但在中间具有不同形状。

[0302] 拖尾数字化信号2242表示拖尾返回信号,其为相对于激光辐射的光轴来自倾斜表面的反射的指示。反射信号与脉冲串2210共享相同间距 t_1 ,且具有大于 t_2 的脉冲宽度 t_4 。这可以由于来自倾斜表面的反射辐射在较长时段中到达SPAD而发生,原因在于靠近的边缘更靠近且远边缘更远离检测器。因此,来自SPAD的数字化信号曲线展开,这使得持续时间较大。拖尾匹配滤波器2244具有合适的扩展曲线以用于计算与拖尾数字化信号2242的交叉相关。拖尾滤波器输出2246在绘图中间具有相异的峰,这与所示的前述两个其它情况相比更加展开,但将展现比滤波器2224和2234更高的峰和更准确的位置估计。粗略匹配滤波器2224、2234和2244可以对应于与发出脉冲串2210对应的预期信号曲线。

[0303] 应注意,即使此处论述三个曲线,本发明的实施例的技术也可以涵盖与多种类型的反射和对应情境相关联的多个曲线。本文所描述的任何内插滤波器可以具有各种大小,例如,高达17个区间宽。对于拖尾情况,所有17个可能是非零的。

[0304] 在一些实施例中,此类不同粗略匹配滤波器2224、2234和2244可用于确定与交叉的最佳匹配。此类滤波器的各种宽度可基于发射脉冲的宽度而选择,且因此可以比发射脉冲更多或更少。方形滤波器的宽度和其最佳匹配位置可以识别脉冲的上升沿的位置。此时的停止可以仅产生1ns准确性,但这与由于使用仅一个粗略曲线滤波器带来的误差相比仍可以是更好的。对于更高准确性,可使用具有与最佳匹配粗滤波器相似宽度的内插滤波器。

在一些实施例中,对应内插滤波器可以实时加载到存储器中以应用于当前原始直方图。

[0305] 使用多个匹配滤波器的原因可以是双重的:1) 得到SPAD对变化的信号功率的非线性响应,和2) 更好地检测在时域中拖尾的脉冲(其也对应于物理域中拖尾的脉冲,例如高度成角度表面或漫射表面)。识别拖尾脉冲的能力是向LIDAR系统的稍后的级或向最终用户输出以例如用于对对象进行分类的有用特征。举例来说,一系列树形点可以较好地被分类为树,前提是系统被提供树干具有非拖尾点且树冠具有许多拖尾脉冲从而指示漫射树叶的信息。

[0306] 另外,使用针对拖尾脉冲调谐的匹配滤波器允许比传统系统更远地检测极为成角度表面(类似于道路表面),因为拖尾滤波器捕获信号能量的较高部分。这可以是重要的,因为击中汽车的前方远处的道路表面的脉冲始终以极高角度击中且这使脉冲在时间上大大地拖尾。在没有用于最优地检测拖尾脉冲的一组经调谐滤波器的情况下,关于可以充分识别道路的范围,LIDAR系统可能有限。当需要通过自动驾驶车辆或简单地通过警示系统做出决策时,在远距离的对象的此类检测可以提供明显的优点。

[0307] 如上文所提及,单独使用多个第一级(第一级)粗滤波器可以提供增加的准确性。举例来说,在时间上以10x拖尾但以1x宽的标称滤波器滤波的脉冲将具有经滤波的峰和比未拖尾脉冲低10x的信噪比(SNR)。这具有不被正确地检测且未被传递到第二级滤波器的高概率,实际上可能传递随机噪声尖峰。如果与被调谐以检测10x拖尾脉冲的分接头并联(或串联)使用第二个第一级滤波器,那么经滤波的SNR可从10x减小到 $\sqrt{10}x$,即在SNR方面比未拖尾情况低仅3.16x。

[0308] F. 系统组件

[0309] 图23示出根据本发明的实施例的滤波光学系统2310。图23的元件可以与图13的元件类似的方式操作,且包含图13的组件,但出于清楚起见可从图13省略一些组件。举例来说,滤波光学系统2310可以是与图13的CP0S 1310相同的系统的部分。滤波光学系统2310可以与用户接口硬件2315交互,用户接口硬件可以是图2的用户接口215和/或图13的1315。用户接口硬件2315可以在其它操作参数方面指定使用的匹配滤波器。用户接口1315可以显示滤波结果,其可包含检测到的对象的3维地图和特定对象的距离值。

[0310] 系统控制器2320可以例如通过控制光感测模块2330和光传输模块2340而与图13的系统控制器1320类似的方式执行。光传输模块2340可以含有脉冲代码2344和能够传输光的发射器阵列2342(例如,一个或多个激光二极管)。系统控制器2320可包含用于分析从光感测模块2330接收的数据的DSP 2322。

[0311] 光感测模块2330含有一个或多个粗滤波器2332、直方图2334、传感器阵列2336和最大值窗查找器2338。传感器阵列2336检测光的光子,且例如基于时间-数字转换器产生每一时间区间的数字化强度值。来自感测阵列2336的数据值可以存储于直方图1334中,例如每时间区间一个存储器单元。可以针对给出的测量时间间隔产生直方图2334,并且接着针对新测量时间间隔清除直方图。在一些实施例中,可以针对不同的重叠测量时间间隔计算多个直方图,例如其中来自特定检测间隔的数据值可能贡献于多个直方图,每一直方图用于包含所述特定检测间隔的不同重叠测量时间间隔。

[0312] 粗滤波器2332可以作为整数或浮点数字序列存储于寄存器或其它存储器单元中。例如当使用多个粗滤波器时,每一粗滤波器可以与指示对应于粗滤波器的宽度或曲线的标签

相关联。光感测模块的处理器可以例如基于直方图2334中的数据值选择使用的粗滤波器。举例来说,直方图2334中的最大值可以指示使用哪一个(哪些)粗滤波器,如本文所描述。

[0313] 最大值窗查找器2338可以分析一个或多个粗滤波器的一个或多个输出,如本文所描述。最大值窗查找器2338或另一处理模块可以例如基于每一滤波器输出的最大值确定哪一个粗滤波器最佳匹配。在一些实施例中,光感测模块2330可以在最佳匹配滤波器输出(例如,在由最大值窗查找器2338识别的窗中)和窗中输出某些值。

[0314] DSP 2322可以使用内插滤波器分析在所识别窗内的滤波器输出。在一些实施例中,光感测模块可以指示哪一个粗滤波器最佳匹配,例如因此可使用某些内插滤波器(例如,加载到高速缓存中)用于分析当前滤波器输出。在不同测量间隔期间不同内插滤波器可用于不同滤波器输出,例如因为不同对象将反射对应脉冲。在其它实施例中,内插滤波器2324和DSP 2322可以是光感测模块的部分(例如,与传感器阵列2336在同一芯片上)。因此,光感测模块2330可以任选地并入额外DSP和内插滤波器2324。在另一实施例中,光感测模块2330可包含完整的测距系统控制器功能性。

[0315] G. 使用曲线滤波器的方法

[0316] 图24是说明根据本发明的实施例的使用光测距系统的曲线滤波器执行测距的方法2400的流程图。光测距系统可以是还检测对象的LIDAR系统的部分。相对于单个脉冲描述方法2400,可以同等地在测量时间间隔上应用于脉冲串和多个脉冲串。如同方法1400,方法2400和其它方法可用于除了测距之外的其它目的,例如用于通信目的或检测干扰信号。

[0317] 在框2410处,从光测距系统的光源(例如,激光器或发光二极管)发射脉冲。脉冲可以从对象反射以使得可以在光测距系统处检测脉冲。举例来说,光源可以是光感测模块2340、发射器阵列2342或发射器阵列2342中的任何特定发射器。本文提供激光器的类型的实例。

[0318] 在框2420处,由光测距系统的像素的光传感器检测脉冲的光子。由于检测,可在多个时间点产生数据值。举例来说,像素光传感器的光检测器(例如,SPAD)可以提供指示接收到光子的时间的数字信号。在其它实施例中,光传感器可以是APD或提供模拟信号的其它光传感器,所述模拟信号可以转换成对应于数据值的非二进制值(例如,按从0-255的尺度)。

[0319] 在框2430处,在多个时间区间中确定对应于数据值的直方图。在特定时间区间(例如,100-101ns)的直方图的计数器可以对应于在所述特定时间区间内的一个或多个时间点的一个或多个数据值。举例来说,数据值可以是指示在光传感器的特定光检测器处已接收到光子的正信号。可以在时间区间期间的不同时间接收此正信号。

[0320] 在框2440处,将多个曲线滤波器应用于直方图。每一曲线滤波器可以对应于由光传感器在连续时间区间上检测的光子的不同速率。在各种实施方案中,不同曲线滤波器可以对应于高堆积曲线、适度堆积曲线和低/无堆积曲线。在一些实施例中,曲线滤波器的应用可以直接在直方图上执行。在其它实施例中,初始粗滤波器可应用于直方图以提供初始滤波器输出,且曲线滤波器可应用于初始滤波器输出。在此实例中,曲线滤波器仍应用于直方图。

[0321] 可以各种方式确定不同曲线滤波器。举例来说,可以执行测试测量以识别检测到的信号中的不同曲线。此类测量可以在各种条件下对各种对象执行,以使得可以识别曲线滤波器的代表性集合。在其它实施例中,可以执行模拟以确定将发生的曲线的类型。

[0322] 在框2450处,将所述多个曲线滤波器中的第一曲线滤波器识别为最佳匹配于直方图。举例来说,可如本文所描述使用曲线滤波器与直方图之间的交叉相关函数(例如,重叠函数)以确定在最佳匹配滤波器的特定滑动时间步长下的最大值。

[0323] 在一些实施方案中,所述多个曲线滤波器中的每一个可以在直方图上滑动。举例来说,实施例可以在直方图上执行滑动曲线滤波器以计算具有计数器的经滤波的直方图,所述计数器对应于曲线滤波器相对于直方图的不同滑动位置(例如,不同时间步长)。经滤波的直方图的计数器中的每一个可以对应于曲线滤波器与直方图在特定滑动位置的重叠。可以识别经滤波的直方图的最大值。以此方式,可以针对多个经滤波的直方图获得多个最大值。随后,可从所述多个最大值确定全局最大值。此全局最大值对应于第一曲线滤波器和脉冲的接收时间(例如,与提供全局最大值相比的曲线滤波器的滑动位置)。

[0324] 在框2460处,使用第一曲线滤波器的经滤波的输出确定脉冲的接收时间。在各种实施方案中,接收时间可以对应于脉冲的前沿、脉冲的中间或脉冲的后沿。接收时间可以相对于检测间隔的开始时间测得,例如从发射脉冲的时间开始。

[0325] 在框2470处,使用接收时间确定到对象的距离。可基于从脉冲的发射到检测到脉冲的经过时间来确定距离。此经过的时间作为距离的实例。在其它实施例中,此经过的时间可以使用光速转换成实际距离。

[0326] VI. 交错脉冲

[0327] 内插滤波器可用于提供增加的准确性,如上文所描述。举例来说,随后不同内插滤波器可以对应于上升沿的不同时间位置(例如,在1ns时间区间内变化100ps的时间位置)。但对于造成高堆积的强脉冲会产生问题,这可能导致仅一个时间区间具有任何明显的值。在此实例中,内插将没有帮助,因为两个或更多个时间区间的相对高度不可用于内插上升沿的更精确时间。

[0328] 作为解决方案,脉冲串可以交错以使得检测到的脉冲在不同时间到达,例如,具有相同脉冲模式的不同脉冲串具有相对于彼此的延迟。如果交错的量延伸超过时间区间(例如,用于1-ns时间区间的1ns交错),那么至少两个时间区间将具有明显的值,当上升沿确切处于时间区间的开始时除外。再次与一个时间区间具有明显的值相比,可以执行内插。然而,此类内插曲线将随后需要考虑从交错得到的信号形状。

[0329] A. 针对极高堆积曲线进行内插的不可能性

[0330] 图25A示出在LIDAR系统中通常用以照射场景的单个矩形脉冲2510。取决于表面(例如,定向和光滑度),反射脉冲可以具有不同形状。确切地说,当从相对垂直于传出脉冲的光轴的平坦且光滑表面反射时,反射信号的形状将极类似于传出激光脉冲串。

[0331] 图25B示出具有有一些噪声的反射脉冲2520。反射脉冲2520将具有比发出脉冲2510低的强度,但强度级可以变化。脉冲的强度级(振幅)对于平坦且光滑表面可以较大,特别是当脉冲垂直于表面时。在这些情形下,高堆积信号可以发生。来自此表面的强反射可以造成检测器(例如,SPAD)中的堆积,如上文所解释。因此,SPAD处的信号可具有高堆积曲线,带有尖锐上升沿和快速下降。

[0332] 图25C示出根据本发明的实施例的在反射脉冲2535的上升沿处检测到的高堆积信号2530。高堆积信号2530不类似于真实反射信号,真实反射信号更类似于矩形脉冲。确定真实信号位置当堆积与高堆积信号2530一样严重时变得逐渐困难,且采用例如SPAD等具有停

滞时间的检测器的系统特别容易存在堆积。举例来说,所得直方图在此情况下可能仅包括单个时间区间被填充且所有其它区间为空,这不类似于来自反射脉冲2535的传入光子信号。

[0333] 图26示出根据本发明的实施例的所得直方图2640中的SPAD信号2630。类似于高堆积信号2530,SPAD信号2630快速上升且几乎一样快速下降。直方图2640示出到接收到对应反射脉冲的时间的四个时间区间的计数器。时间区间2644具有极小值,这可能仅归因于背景噪声。时间区间的负值可能是因为负权重应用于在一个或多个检测间隔中检测到的数据值,例如本文针对经译码脉冲所描述。

[0334] 直方图2640的主要特性是时间区间2642作为仅有的明显的值。在此情况下,直方图2640无法经内插,因为不存在关于SPAD信号2630的上升沿2633在时间区间2642中在何处发生的信息。

[0335] 即使使用多个脉冲串,在不同检测间隔期间但相对于开始信号在约相同时间发送的两个对应脉冲也可能提供相似直方图。因此,两个脉冲的累积直方图可能相同。可以引入两个脉冲串之间的小于时间区间宽度的延迟,但此延迟可能仍导致相似问题。

[0336] 图27A和27B示出相对于彼此延迟的不同脉冲串中的脉冲的两个实例,所述延迟导致仅一个区间具有明显的值的直方图。水平轴线对应于时间区间;时间区间的开始和结束通过散列标记划分。针对五个不同时间区间示出计数器。如所显示,计数器的条仅占用时间区间的部分。因此,所述条并不对应于时间区间的全宽度。

[0337] 在图27A中,实线信号2702示出针对第一脉冲串的脉冲的检测到的信号。虚线的信号2704示出针对第二脉冲串的脉冲的检测到的信号。在一些实施例中,这些检测到的信号可以对应于从一系列SPAD获得的信号。在任何时刻的特定值可以对应于在一时刻触发的SPAD的总数目。两个信号2702和2704在时间区间3到达,且在时间区间4开始之前下降到近似零,因为基本上所有SPAD在由于强信号而发动之后都进入其停滞时间。即使虚线的信号2704发生在实线的信号2702之后,也仅时间区间3具有在两个脉冲串的两个检测间隔上累积的任何明显的值。

[0338] 在图27B中,实线和虚线的脉冲互换。实线的信号2754发生在虚线的信号2752之后。再次,两个信号仅明显地贡献于时间区间3。因此,在两个直方图中,时间区间3是仅有的填充区间,一些噪声除外。内插在这些情形下将不会有助于更好的分辨率。图27A和27B还说明即使两个信号在不同时间接收,检测电路的分辨率也无法在所述两个信号之间区分。

[0339] B. 用于高堆积信号的内插的交错脉冲

[0340] 成像检测器电子器件的分辨率作为一实例是1ns。实施例可以使用内插得到较高准确性。然而,高堆积信号会造成问题,如上文所描述。然而,激光脉冲调制可以较精细的分辨率。举例来说,两个相异的连续激光脉冲可以在0.1ns内产生。如图27和28中所示是两个脉冲之间的一些偏移将不一定在所有实例中都得到较精细分辨率。

[0341] 在一些实施例中,为了实现较高分辨率,若干相同激光脉冲可以在时间上以成像检测器的分辨率的分数进行交错。此交错可以造成不同脉冲的上升沿横跨至少两个时间区间。再次与一个时间区间具有明显的值相比,可以执行内插。

[0342] 在一些实施例中,若干激光脉冲在彼此的0.1ns内交错。在来自激光脉冲的这些不同串的反射到达SPAD时,SPAD可能在每一脉冲的前沿之后经历高堆积。然而,因为脉冲在时

间上交错,所以脉冲群组的前边缘将下降到不同直方图区间中。交错的连续激光脉冲有效地充当引入噪声,其为已知的且可用于增加成像器的时间分辨率。

[0343] 这有效地减少TDC中的限制直方图分辨率的量化噪声的影响。通过平均化具有已知偏移的多个测量值,根据本发明的实施例,可以实现比TDC区间宽度更精细的定时分辨率。

[0344] 图28A和28B示出根据本发明的实施例的使不同脉冲串的发出脉冲交错以使得检测到的高堆积脉冲横跨多个时间区间的实例。图28A和28B示出不同检测间隔中的检测到的脉冲和对应直方图。具体地,每一图示出跨越两个时间区间的四个检测间隔中的信号。直方图示出具有明显的值的两个时间区间。

[0345] 在图28A中,列2810对应于直方图2830中的时间区间3。列2820对应于直方图2830中的时间区间4。每一行对应于不同检测间隔2801-2804。因此,脉冲中的每一个发出且在下一检测间隔的下一脉冲发出之前被检测。脉冲中的每一个从先前检测间隔的脉冲偏移。在此实例中,偏移是时间区间的约1/4,但可以执行其它偏移。此外,偏移并不必须是均匀的,例如1/2偏移可以在1/4偏移之前执行,如同在检测间隔2802中的脉冲串发生于检测间隔2801中的脉冲串之前的情况那样可能发生。

[0346] 列2810和2820中的信号的位置镜像于直方图2830。时间区间3具有较高值,因为在列2810检测到更多脉冲,这提供时间区间3的放大图。但时间区间4仍具有明显的值,因为一个脉冲在列2820内。当直方图2830经内插时,在时间区间3和4中的值之间的近似3:1比率将指示检测间隔2801中的第一脉冲(在此实例中零偏移)发生在进入时间区间3的约1/4ns,即当时间区间具有1ns的宽度时。如果第一脉冲的上升沿(或更通常而言具有零偏移的脉冲)发生在1/2ns,那么时间区间2和4将约相等,因为两者将具有两个脉冲。如果时间区间3是具有明显的值的仅有时间区间,那么上升沿的接收时间将在时间区间3的开始处。

[0347] 在图28B中,列2860对应于直方图2880中的时间区间3。列2870对应于直方图2880中的时间区间4。每一行对应于不同检测间隔2851-2854。由于三个脉冲在时间区间4中,因此直方图2880在时间区间4中比在时间区间3中具有更高的值。对于直方图2880中的时间区间3和4的计数器的近似比率是1:3(考虑一些噪声)指示检测间隔中的脉冲发生在时间区间3中的约3/4ns。因此,激光脉冲以成像检测器分辨率的分数交错可用于获得信号的较高分辨率。较高分辨率又可用以更好地识别与激光脉冲其从反射且撞击SPAD的表面的距离(距离)。

[0348] 在其它实施例中,在不同检测间隔上的不同偏移的数目可以是10,其中不同偏移相差时间区间的宽度的0.1倍。在此实例中,激光脉冲针对1ns时间区间偏移100ps。激光脉冲可以是若干个时间区间宽(例如,图18A和28B中的5个时间区间宽),但上升沿相对于彼此交错。

[0349] C. 用于交错脉冲串的内插

[0350] 如上文所论述,当脉冲串交错时可以不同地计算脉冲的上升沿。为了说明此情形,用于交错的内插对照当两个时间区间具有明显的值时用于无交错的内插。

[0351] 当无交错执行且假定检测到的脉冲的FWHM是0.2ns时,检测到的脉冲的上升沿可当两个时间区间具有相等值时确定为在进入第一时间区间的0.9ns。两个时间区间具有约相等值的事实可当具有带有相等值的两个分接头的内插滤波器是最佳匹配(即,相对于具

有带有不等值的分接头的其它内插滤波器)时确定。因此,内插可以使用FWHM和时间区间值的知识以确定第一脉冲的上升沿。举例来说,检测到的进入第一区间0.7ns的具有0.6ns FWHM的脉冲将在第一和第二区间中具有相等值。不需要确定时间区间值的比率,因为最佳匹配滤波器将在例如给定FWHM的知识的情况下自动提供正确时间。每一匹配滤波器可具有与其相关联的预定时间,例如如下所述。

[0352] 当使用10个不同偏移执行交错且假定检测到的脉冲的FWHM是0.2ns时,检测到的脉冲的上升沿可当两个时间区间具有相等值时确定为在进入第一时间区间0.45ns。由于存在10个脉冲和0.2ns的宽度,因此总积分时间是2ns。通过0.1ns的偏移和在0.45ns开始,总共5个完整脉冲可以归于每一时间区间,进而导致直方图中的两个时间区间的相等值。对应于特定内插滤波器的时间可以存储于存储器中且当识别最佳匹配内插滤波器时检索。

[0353] 作为用于交错的更容易实例,如果脉冲可以被认为是0.1ns的宽度,那么(8,2)的最佳匹配内插滤波器将指示上升沿在第一时间区间中开始于0.2ns(或至少在0.2ns的100ps内)。如果(10,0)是最佳匹配内插滤波器,那么第一脉冲的上升沿在第一100ps中发生。如果(5,5)是最佳匹配内插滤波器,那么上升沿开始于第一时间区间的500ps。因此,内插的精确方法可以取决于交错脉冲模式的数目(例如,激发的数目)和交错中的增量(抖动)。

[0354] D. 用于交错脉冲的方法

[0355] 图29是说明根据本发明的实施例的在光测距系统中使用交错脉冲执行测距的方法2900的流程图。方法2900可以使脉冲串的脉冲交错以便提供大于光感测模块的定时电路的分辨率的精度,即使当所接收信号太强而使得从光传感器产生高堆积信号时也是如此。

[0356] 在框2910处,从光源(例如,激光器)发射N个脉冲串,作为测距测量的部分。脉冲串可具有如本文中所描述的经译码模式。框2910的方面可以与图14的框1420和/或图24的框2410相似的方式实施。N个脉冲串可以从对象反射,其中反射部分的检测可用于确定到对象的距离。其它

[0357] N个脉冲串中的每一个可包含来自光源的一个或多个脉冲,且每一脉冲串可以对应于由开始信号触发的不同时间间隔。举例来说,VCSEL可以发出两个脉冲的第一脉冲串,其中所述发出可以由开始信号触发,例如开始信号1101。第一脉冲串可以是第一检测时间间隔的部分,第一检测时间间隔可以检测第一脉冲串的反射部分。随后,作为第二检测时间间隔的部分(仍是同一测量的部分),同一VCSEL可以发出第二脉冲串,由开始信号(例如,开始信号1102)触发。开始信号可为周期性信号。

[0358] 在框2920处,光测距系统的像素的光传感器检测N个脉冲串的光子,进而产生在多个时间点的数据值。可以与图24的框2420和/或图14的框1430和1440类似的方式执行框2920。

[0359] 在框2930处,在多个时间区间中确定对应于数据值的直方图。框2930的方面可以与图24的框2430和/或图14的框1460类似的方式执行。直方图在特定时间区间的计数器可以对应于在所述特定时间区间内的一个或多个时间点的一个或多个数据值。为了说明,时间点可以对应于与检测间隔2801-2803对应的列2810中的三个不同检测到的信号的三个不同时间。对于其它方法,不同脉冲串的脉冲可以在时间区间的同一时间点到达,或由于噪声而在不同时间点到达。然而,在一些实施例中,不同时间点可为使发出脉冲串交错的结果,

例如如上文所描述。

[0360] 作为提供增加的精度的部分, N 个脉冲串可具有彼此变化的偏移, 举例来说, N 个脉冲串可以从对应检测时间间隔的开始信号偏移不同的量。替代地, 运行检测器直方图的时钟可以从对应检测时间间隔的开始信号偏移不同的量。因此, 无论发射器或接收器是否进行时间交错都实现同一效果, 且具有此类偏移的脉冲串可以任一方式实现。

[0361] N 个脉冲串中的至少两个可以偏移小于时间区间的宽度, 例如当直方图具有 1ns 宽的区间时两个脉冲串可以偏移小于 1ns 。这两个脉冲串可具有同一模式, 例如以使得对应脉冲的上升沿偏移与脉冲串的偏移相同的量。指派的权重 (例如, 用于对脉冲串译码, 如本文所描述) 可以是相同正负号 (即, 正或负) 且在相同的方向上 (例如, 当较高维度译码方案用于较复杂的正交时)。

[0362] 部分脉冲串可以不从一个或多个其它脉冲串偏移。因此, 测量可包含除了所述 N 个脉冲串外的其它脉冲。在其它实施方案中, N 个脉冲串可以是测距测量的所有脉冲串。举例来说, 可存在 10 个交错偏移 (例如, 相差 100ps), 但可存在测量中使用的总共 20 个脉冲串, 其中以偏移中的每一个 (例如, 从开始信号的相同移位) 发出两个脉冲串。

[0363] 在一些实施例中, N 个脉冲串连续脉冲串可以偏移同一时间偏移 T 。举例来说, 第一脉冲串可以相对于开始信号偏移零, 第二脉冲串可以相对于开始信号偏移 T , 且第三脉冲串可以从开始信号偏移 $2T$ 等等, 进而具有 T 的连续脉冲串偏移。从第一脉冲串和最后脉冲串的总时间跨度可以等于时间区间的宽度, 例如, $N \cdot T$ 可以等于宽度。在各种实施方案中, 时间偏移 T 为时间区间的宽度的 0.5 与 0.01 之间, 例如时间区间的宽度的 0.1 。此实例是 10 个偏移乘以 100皮秒 以实现 1ns 跨度, 进而具有两个时间区间带有明显的值直方图, 当初始上升沿处于第一时间区间的恰好开始处时除外。

[0364] 在框 2940 处, 确定相对于开始信号的对应于 N 个脉冲串接收时间。可使用例如内插滤波器的匹配滤波器确定接收时间。因此, 确定接收时间可包含将匹配滤波器应用于直方图以获得经滤波的直方图, 并使用经滤波的直方图的最大值和时间偏移 T 确定接收时间。可基于 N 个脉冲串中的交错模式确定匹配滤波器与特定时间之间的对应关系。接收时间可以对应于相对于开始信号具有最小移位的脉冲的上升沿。

[0365] 在框 2950 处, 可使用接收时间确定到对象的距离。举例来说, 框 2950 可以与图 24 的框 2470 类似的方式或通过本文所描述的任何技术执行。

[0366] VII. 不同增益的传感器

[0367] SPAD 饱和和堆积/骤冷会以多种方式影响 LIDAR 系统的性能。这些包含 SPAD 的动态范围的管理以及 SPAD 功率管理。这些问题在产生于来自激光脉冲的高水平反射或高水平背景辐射 (尤其是来自太阳) 的高信号条件下特别重要。

[0368] 在使用经分组而表现为单个像素的多个光检测器 (例如, SPAD) 的实施例中, 这些问题可能通过对不同 SPAD 基于其动态范围进行分类, 且进而提供不同信号电平来解决。因此, 不同 SPAD 会需要触发 (起动) 较多或较少的光子且产生正信号以用于包含在直方图中。一旦分类 (例如, 如由电路设定), 实施例就可以修改在某些条件下具有某一动态范围的 SPAD 的操作状态。举例来说, SPAD 灵敏度可在高光通量下减小。作为另一实例, 具有强信号电平的 SPAD 的功率电平可减小, 例如断开。作为另一个实例, 仅来自某些 SPAD 的信号可以用于建置直方图, 因此有效地断开那些 SPAD。针对具有弱信号电平 (即, 低灵敏度) 的 SPAD 可以

执行相似操作,例如在低光通量下增加动态范围或减少功率。

[0369] A.具有变化信号电平的检测器的布置

[0370] 图30A示出根据本发明的实施例的形成单个像素光传感器的16个光检测器3002(例如,SPAD)的常规布置3000。在一些情况下,例如当光通量到达某些水平,例如过低或过高时,改变光检测器3002的操作状态可以是有益的。在各种环境中可使用各种布置,例如将使用不同衰减水平(即,不同动态范围)、不同功率电平(例如,断开)和/或对检测到的信号的不同权重(例如,设定为零以指定哪些光检测器信号未贡献于直方图)。此外,不同设定可用于光检测器的不同子组。因此,用于传感器的光检测器的操作状态的特定布置可以例如在极短时间内在一个或几个循环中,使用从光电检测器自身检测到的数据值来设定。

[0371] 在一些实施例中,为了增强LIDAR系统的动态范围,像素的光检测器可以设定成具有(或识别为自然地具有)不同衰减水平。光检测器的分类可以是动态的,例如当通过改变衰减水平来改变一个或多个光检测器的操作状态时。此改变可以基于检测到的背景光信号(例如,由于明亮的背景光源,例如太阳或街道灯)或来自高度反射对象的反射脉冲而发生。

[0372] 图30B示出根据本发明的实施例的具有不同衰减水平的16个光检测器的布置3010。光检测器3012具有响应于检测到光子的高信号电平。光检测器3014是被衰减,且因此响应于检测到光子而提供弱信号电平。因此,当存在低光通量时,可以不触发或触发很少的光检测器3014。高和低的分类是相对于彼此的,且因此不一定关联到任何绝对范围。

[0373] 在一些实施例中,可以启用所有16个光检测器。以此方式,光检测器3012可以当背景光未过高(例如,低于背景阈值)时检测低水平的光脉冲。但当背景光过高或反射脉冲太强时,光检测器3012可以始终起动,进而不提供使用数据。在此等情形下,它们的信号可以忽略(例如,通过不在直方图中包含它们的信号)。虽然光检测器3012无法有用于此高通量情形,但光检测器3014可以检测低水平的光脉冲,且因此将未必总是在高背景或强反射脉冲下起动。因此,通过使用不同动态范围的光检测器,整个光传感器所述动态范围可以有效地大于任何一个光检测器。有效操作的动态改变(例如,来自哪些光检测器的哪些信号用于直方图)可以实现高和低光通量中的清洁信号。

[0374] 图30C示出根据本发明的实施例的具有不同衰减水平和不同有效操作的16个光检测器的布置3020。在各种实施例中,可以通过不同功率电平(例如,接通或断开)或对直方图的不同贡献水平(例如,针对某些光检测器将权重设定为0)指定不同水平的有效操作。举例来说,可以通过功率或贡献水平停用光检测器3022。这可以当光检测器3022具有高动态范围(响应于检测到光子的高信号电平)且系统预期接收高光通量(例如,基于一个或多个先前测量)时完成。

[0375] 光检测器3014被衰减,且因此响应于检测到光子提供弱信号电平。当存在低光通量时,可以不触发或触发很少的光检测器3014。高和低的分类是相对于彼此的,且因此不一定关联到任何绝对范围。

[0376] 在其中存在强信号的一些实施例中,可以采用布置3020的衰减模式。此情形可能由于极高的环境辐射或极高的反射信号而发生。这可能发生的一情形是当成像器直视太阳时。来自光检测器自身的信号可用作设定此配置的指示。举例来说,当在先前测量期间在所有光检测器中存在高堆积时,此配置可以启用。

[0377] 因此,如果存在某些检测器与其它相比灵敏度低100倍,那么系统可以基本上在高

光通量环境(例如,停止标志或亮光源)中忽略灵敏检测器,因为灵敏的检测器(例如,光检测器3022)将饱和且堆积,其中不灵敏的检测器(例如,光检测器3024)可能不堆积。这些实施例甚至对于曲线滤波器也可以是有价值的,因为可以实现较高动态范围以用于更准确地估计信号强度。

[0378] B. 用于不同方向的布置

[0379] 在一些实施方式中,LIDAR系统识别不同方向且使这些不同方向与特定辐射范围(光通量)相关联。因此,LIDAR系统可以动态地调整光检测器的操作状态,其中不同光检测器可具有用于操作状态的不同设定,如在不同布置中指定。

[0380] 这些实施例的应用的一个实例是当在傍晚或黄昏期间当在特定方向上存在来自太阳的强辐射时在道路上移动的车辆。LIDAR系统可以动态地调整每一光检测器的操作状态(例如,接通/断开配置、衰减水平/增益控制或对直方图的贡献水平)。

[0381] 图31示出根据本发明的实施例的用于在不同角度在不同光照条件下的像素传感器的不同检测器布置的图。图31示出在由检测器布置3120-3170包围的中心的车辆3110上的LIDAR系统3111。布置中的不同操作状态由不同标记所示,如图30A-30C中所使用。检测器3112被启用且处于高信号电平。检测器3114被启用且处于弱信号电平(即,低灵敏度)。检测器3122停用。

[0382] 检测器布置3120-3170中的每一个相对于LIDAR系统3111处于不同角度。为便于说明,仅示出六个不同角度,但可存在更多角度。举例来说,每一角度对应于总360水平(或 4π 球面立体角)的对向32弧分或约 0.5° 。在一些实施方案中,每一角度可以对应于在一个或几个测量间隔期间发生的旋转量。可以执行初始测量(例如,在测量的一个或几个初始检测间隔期间)以确定光通量,并且接着可以指定用于检测器中的每一个的操作状态的设定以实现特定布置。

[0383] 当如检测器布置3120中直视强光源3105(例如,太阳)时,LIDAR系统例如在初始检测间隔之后停用所有检测器,其中许多检测器连续地起动。一些检测器(例如,某些SPAD)可以每当它们起动时使用一些功率,且此类检测器将对于高背景光恒定地起动。用于停用所有检测器的阈值准则可以通过在同一时间区间内触发的像素的检测器的阈值数字/百分比指定(例如,60%、70%、80%、90%或100%)。准则可能要求在同一检测间隔期间在多个时间区间(例如,2、3、5、10、20等)中的此类大量触发。具体来说当大量触发是由于强背景光源时,具有大量触发的时间区间的数目将较高。当由于高度反射对象时(例如,当检测到的模式匹配于发出的脉冲模式时),具有大量触发的时间区间的数目将较低,且因此可需要停用较低数目的时间区间。

[0384] 在其它实施例中,可以改变检测器3122上的信号电平以便致使背景光通量大体上降至低于阈值,以使得检测到反射激光脉冲的时间区间具有明显较高的计数。在一些实施方案中,可在若干检测间隔上确定动态范围需要改变的程度(例如,SPAD的偏置电压),同时不消除所有灵敏度。举例来说,可递增地(或以二进制或其它搜索树方式)减小信号电平中的灵敏度以识别移除噪声和保持信号的折中。此搜索可以实施用于像素传感器的不同SPAD(具有不同设定的SPAD的每一子组)的不同设定,进而允许并行地执行同时搜索。

[0385] 检测器布置3170和3130从直接指向光源3105的角度偏离中心。举例来说,这些角度可以与检测器布置3120相差 0.1° 、 0.2° 、 0.3° 、 0.4° 或 0.5° 。由于总光通量较少,因此可以

启用弱检测器3114。在一些实施例中,可以保持在特定角度的设定以进行多次旋转,并且接着再次检查(例如,在较晚测量的初始检测间隔中)。因此,当LIDAR系统是旋转LIDAR时,一旦确定在特定角度的设定(例如,如由编码器确定),当光测距装置返回到相同角度时就可以重新使用所述设定。编码器可以识别光测距系统的角位置,其可用于识别当光测距系统在初始角位置时确定强度级,所述初始角位置可以针对光检测器的特定设定进行标记。

[0386] 检测器布置3160和3140处于与直接指向光源3105的角度显著不同的角度,且因此可以启用所有检测器,但一些检测器仍处于弱设定,例如以提供较大动态范围,因为背景光(例如,从其它对象反射)的量仍可以影响设定于强信号电平(即,高灵敏度)的检测器。检测器布置3150可以指向与光源3105相反的方向,且因此所有检测器可以启用且设定成具有强信号电平。

[0387] 在一些实施例中,当LIDAR系统当处于指向光源3105的角度时检测到将进入视野的对象时,其可以更改SPAD增益的模式(衰减/信号电平)以针对对象的检测进行优化。举例来说,当另一车辆在阻挡阳光直射的方向上移动时,系统可以沿着对象的演变视角增加SPAD的增益。

[0388] 在一些实施例中,可以通过调整LIDAR系统中的激光源的强度而增强功率节省。举例来说,系统可以选择在检测到极高环境辐射的方向上不照射。替代地,当检测到低环境辐射时可以降低激光源的强度。此外,在高背景通量中,可以与检测器的较低衰减水平组合地增加激光源的强度,以使得仍可以检测到反射脉冲,同时背景光不会造成累积直方图中的明显信号。

[0389] C. 其它布置

[0390] 图32示出根据本发明的实施例的与中心区域的光检测器3212相比具有不同操作状态的在周边的光检测器3222的布置3200。光检测器3222可具有以各种方式与光检测器3212不同的设定。举例来说,光检测器3222可以减少功率电平,忽略(例如,当累积用于直方图的数据值时),或具有弱信号电平。

[0391] 对于其中光检测器3222减少功率电平的设定,改变检测器的功率电平可以节省功率消耗。举例来说,类似于图32中示出的配置可用以使应用于一个像素中的SPAD的功率节省75%。此布置可以允许中心光检测器3212继续检查光通量是否仍过高,并且接着一旦光通量减小,就可以启用光检测器3222。具有在周边上的此类停用光检测器和在中心区域的启用光检测器的布置是中心区域将得到更多照射,且因此如果光通量在中心区域足够低,那么对于周边将足够低。

[0392] 对于光检测器3222具有减少的信号电平的设定,布置3200将使一些检测器具有高信号电平且一些具有低信号电平,如上文描述的其它布置同样发生的情况。此混合布置可以增加动态范围(例如,增加一数量级)。当存在高光通量时,灵敏的检测器将检测到过多光且饱和。然而,衰减的检测器将接收到足够光而产生可检测信号。在此情形下,系统可以忽略高信号检测器,且仅使用衰减检测器。当高光通量由高度反射对象造成时,这可以允许矩形脉冲的检测而不是高堆积脉冲。替代地,当强检测器以与脉冲模式一致的方式触发但弱检测器不是时,弱检测器可以断开或另外减少功率电平。

[0393] 为了确定使用何种设定和布置,可使用在初始检测间隔期间检测到的数据值。此检测间隔可以涉及发出激光脉冲或不涉及(例如,仅检测背景)。当使用发出脉冲串时,可以

获得关于对象的信息,例如其反射性如何以及表面的相对定向。当满足阈值准则时较晚检测间隔可使某些检测器(例如,未衰减的那些)断开或另外减少功率电平,如上文所提及。

[0394] D. 系统组件

[0395] 图33示出根据本发明的实施例的可配置光学系统3310。图33的元件可以与图13和23的元件类似的方式操作,且可以包含此类组件。系统控制器3320可以与其它测距系统控制器类似的方式执行,例如通过控制光感测模块3330和光传输模块3340。光传输模块3340可以含有强度调制器3344和能够传输光的发射器阵列3342(例如,一个或多个激光二极管)。强度调制器3344可以造成发出脉冲的光通量的改变,例如由于检测到的光的量,如上文所描述。强度调制器3344也可以在测距系统控制器3320中。

[0396] 光感测模块3330含有一个或多个检测器布置3332、直方图3334、传感器阵列3336和检测器控制器3338。检测器控制器3338可以分析来自检测间隔的数据值(例如,通过查看直方图3334的中间值),且针对传感器阵列3336的各种像素的检测器的操作状态确定应当使用何种设定布置。在一些实施方案中,检测器布置3332可以存储当所检测数据值具有某些性质(例如,指示来自背景光或反射对象的高通量)时可选择的某些设定。可以针对当可配置光学系统3310旋转时的各种或所有角度存储检测器布置3332。

[0397] E. 配置检测器的方法

[0398] 图34是根据本发明的实施例的说明使用可配置光测距系统执行测距的方法3400的流程图。方法3400的方面可以经由针对本文所描述的其它方法描述的技术实施。

[0399] 在框3410处,由光测距系统的像素的光传感器检测光子,进而产生在多个时间区间的初始数据值。光传感器可包括多个光检测器(例如,SPAD)。可以如上文所描述分析这些初始数据值以确定用于所述多个光检测器的操作状态的设定布置。在一些实施例中,可以通过从光源(例如,激光器)传输初始脉冲而获得初始数据值,其中初始数据值可用于确定在从对象的反射之后的接收时间。

[0400] 在框3420处,基于初始数据值确定检测到的光子的强度级。在各种实施例中,强度级可以对应于同时起动的光检测器的数目、在指定时间周期上连续地起动的保持数目、在指定时间周期上起动的平均数目及类似数目。可以由与光检测器在同一芯片或不同芯片上的控制器(例如,检测器控制器3338)分析强度级。控制器可以确定用于光检测器的设定的新的或保存的布置。

[0401] 在框3430处,从光测距系统的光源发射第一脉冲。第一脉冲可以从对象反射以使得可确定到对象的距离。

[0402] 在框3440处,在检测到第一脉冲的光子之前,基于确定的强度级改变一组光检测器的操作状态。如本文所描述,根据各种实施例,操作状态可为功率电平、贡献水平(例如,检测到的信号是否用于测距测量)和衰减水平。在各种实施方案中,此类改变可以归因于确定的强度级高于或低于阈值。所述组光检测器可以是所述多个光检测器的全部或部分。

[0403] 改变的操作状态可以维持规定时间量(例如,针对当光测距系统旋转时再次回到相同角度的下一次旋转)。举例来说,编码器可以指定特定角位置,且可以针对所述角位置指定操作设定的特定布置。当系统返回到所述角位置时可以发送第一发射脉冲。在一些实施例中,相对于若干脉冲串定义规定时间量。

[0404] 在框3450处,由处于有效操作中的光检测器根据改变的操作状态检测第一脉冲的

光子,进而产生在所述多个时间区间的第一数据值。一些改变的光检测器可能未被供电和/或可能未计数,且因此不处于有效操作。不对来自光检测器的数据值进行计数可以由哪些光检测器的哪些信号用以产生在所述多个时间区间的第一数据值的确定引起(例如,当存在高光通量时不对强光检测器计数,如通过信号电平高于阈值所确定)。

[0405] 在一些实施例中,当确定的强度级高于高阈值时,增加所述组光检测器的衰减水平。当确定的强度级低于低阈值时,可以减小所述组光检测器的衰减水平。在其中仅改变衰减水平的实例中,所有光检测器可以处于有效操作。

[0406] 在框3460处,使用在所述多个时间区间的第一数据值确定对应于第一脉冲的接收时间。举例来说,可产生直方图,且可使用匹配滤波器,如本文所描述。

[0407] 在框3470处,使用接收时间确定到对象的距离。可以以各种方式确定距离,例如如本文中所描述。

[0408] 在一些实施例中,光传感器可包括被分类为具有弱信号电平的第一组光检测器和被分类为具有强信号电平的第二组光检测器。可以在各种环境中改变任一组。举例来说,当确定的强度级高于高阈值时可减小(例如,断开)第二组光检测器中的一个或多个的功率电平。作为另一实例,当确定的强度级低于低阈值时可减小(例如,断开)第一组光检测器中的一个或多个的功率电平。分类可以是动态的(例如,如由系统针对给定检测间隔设定)或较长持续(例如,设定为若干分钟、小时、天等)或甚至是永久的。

[0409] 对于像素每次可以存在多于两个分类的光检测器。举例来说,除改变第一组光检测器或第二组光检测器中的一个的操作状态之外,第三组光检测器的操作状态可以基于确定的强度级(例如,指示中间灵敏度的中间强度级)。

[0410] VIII. 具有SPAD的传感器芯片的实例芯片组

[0411] 由传感器阵列检测到的信号的数据值可以被跟踪达到小时间区间,例如每1ns或500ps。为了实现此速度,可使用雪崩光电二极管(APD)。由于APD是直接经由模拟电流或电压输出强度的模拟装置,因此APD可以使用标准模/数转换器(ADC),其对遵循在APD处接收的光子数目的模拟电压流进行转换。但是,APD无法提供紧凑的设计,因为当前技术无法可以在同一芯片上经济地安放多个APD。相比之下,SPAD可以安放在同一芯片上且具有高产量和低成本。

[0412] 实施例通过产生定制芯片而克服使用SPAD中的困难,所述定制芯片包含定时电路、直方图电路和其它信号处理电路以及SPAD,进而允许从SPAD产生的信号的快速处理。定时电路和直方图电路可以实现由SPAD产生的二进制信号的捕获。定时电路和直方图电路可以视为作为包括集成电路的较大电路的部分的局部电路,例如专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或CPU。对于CPU,集成电路可包含存储程序代码的存储器。当使用ASIC或FPGA时,定时电路和直方图电路是在光测距系统的操作期间的专用电路。对于FPGA,配置逻辑可以对门进行编程以使得特定配置具有一旦门被配置则专用于其相应功能的定时电路和直方图。

[0413] 此外,对于单个SPAD,存在可测量光通量的上限,例如如由SPAD的停滞时间所控制,而且存在用以从SPAD捕获信号的定时电路的限制。这是对SPAD的固有二进制瞬时动态范围的补充。取决于定时电路(例如,时间-数字转换器,TDC)的分辨率,SPAD可以每时间区间仅寄存一个光子。因此,动态范围受到最小时间区间限制且本身不是停滞时间问题。为了

解决此问题,实施例可以每“像素”使用多个SPAD。

[0414] 图35示出根据本发明的实施例的光测距系统的紧凑的光学系统3510。图35的元件可以与图13、23和33的元件类似的方式操作,且可以包含此类组件。测距系统控制器3520可以与其它测距系统控制器类似的方式执行,例如通过控制光感测模块3530和光传输模块3540。光传输模块3540可包含能够发射激光脉冲激光源3542(例如,激光二极管的发射器阵列)。

[0415] 光感测模块3530包含传感器集成电路(例如,ASIC或FPGA),其包括滤波器3532、直方图电路3534、传感器阵列3536和定时电路3538。传感器阵列3536可包含多个光传感器,其中的每一个包含多个光检测器(例如,SPAD)。举例来说,可使用图5中的此类阵列。

[0416] 定时电路3538可以将信号提供到直方图电路3534以使得直方图电路3534可以确定响应于来自传感器阵列3536的信号递增哪一个计数器。直方图电路3534可包含用于感测阵列3536的每一像素传感器的直方图。举例来说,传感器阵列3536可以提供具有其对应的像素的识别符的信号,或此对应关系可以是硬接线的。

[0417] 传感器信号可以指示将直方图的计数器递增多少。举例来说,来自光传感器的每一检测器(例如,SPAD)的信号可以指示是否基于所述信号递增直方图的计数器。因此,传感器阵列3536的所述多个光检测器可以被配置成当由光子触发时输出二进制信号,指示已经检测到一个或多个光子。定时电路3538可以被配置成基于二进制信号确定当检测到光子时的时间。

[0418] 直方图电路3534可以被配置成确定且存储各自对应于在时间区间期间触发的光传感器的数目的计数器。因此,可以产生可用以确定从对象反射的来自激光源的一个或多个脉冲的接收时间的直方图。

[0419] 感测集成电路3531的加窗电路3537可以被配置成将一个或多个匹配滤波器3532应用于直方图以识别接收时间所在的时间窗。感测集成电路3531还可包含内插电路3539,其被配置成在时间窗内将多个内插滤波器应用于直方图或直方图的经滤波的输出。在一些实施方案中,最佳匹配内插滤波器可以小于时间区间的宽度的准确性识别接收时间。在其它实施例中,内插电路可以是测距系统控制器3520的部分,其驻留在与传感器集成电路可通信地耦合的第二集成电路上。

[0420] 在一些实施例中,旋转马达(例如,图2的马达260)连接到激光源和传感器集成电路用于旋转激光源和传感器集成电路。激光源3542可以本身是集成电路且可包括多个激光装置(例如,竖直空腔表面发射激光器(VCSEL))。

[0421] IX. 额外实施例

[0422] 虽然本文公开的一些实施例关注于在用于汽车使用情况的3D感测的情境内应用光测距,但在不脱离本公开的范围的情况下可以在任何应用中使用本文公开的系统。举例来说,系统可具有小或甚至微型的形状因数,其实现若干额外使用情况,例如用于固态光测距系统。举例来说,系统可用于装置内的3D相机和/或深度传感器,例如移动电话、平板PC、膝上型计算机、桌面PC或其它外围设备和/或用户接口装置内。举例来说,可以在移动装置内采用一个或多个实施例以支持面部辨识和面部跟踪能力、眼部跟踪能力和/或用于对象的3D扫描。其它使用情况包含面向前的深度相机以用于移动装置中的增强和虚拟现实应用。

[0423] 其它应用包含一个或多个系统在空中交通工具上的部署,例如飞机、直升飞机、无人机及类似物。此类实例可以提供3D感测和深度成像以帮助导航(自主或另外)和/或产生3D地图以用于稍后分析,例如支持地球物理的、建筑的和/或考古学的分析。

[0424] 系统也可以安装到固定对象和结构,例如建筑物、墙壁、电线杆、桥梁、脚手架及类似物。在这些情况下,系统可用于监视室外区域,例如制造设施、装配线、工业设施、建筑工地、挖掘场地、道路、铁路、桥梁等。此外,系统可以安装在室内且用以监视个人和或对象在建筑物内的移动,例如在仓库内的库存的移动或人、行李或货物在办公楼、机场、火车站等内的移动。如得益于本公开的所属领域的技术人员将理解,光测距系统的许多不同应用是可能的,并且因此,本文提供的实例是仅出于说明性目的提供,且不应解释为将此类系统的使用仅限于显式地公开的实例。

[0425] X. 计算机系统

[0426] 本文提到的计算机系统或电路中的任一个可以利用任何合适数目个子系统。子系统可以经由系统总线75连接。举例来说,子系统可包含输入/输出(I/O)装置、系统存储器、存储装置和网络适配器(例如,以太网、Wi-Fi等),其可用于连接计算机系统其它装置(例如,引擎控制直到)。系统存储器和/或存储装置可以体现计算机可读介质。

[0427] 计算机系统可包含多个相同组件或子系统,所述组件或子系统例如通过外部接口、通过内部接口或经由可装卸式存储装置连接在一起,所述可装卸式存储装置可以从一个组件到另一组件连接和移除。在一些实施例中,计算机系统、子系统或设备可以在网络上通信。

[0428] 实施例的方面可以使用硬件电路(例如,专用集成电路或现场可编程门阵列)和/或以模块化或集成方式借助大体上可编程处理器使用计算机软件以控制逻辑的形式实施。如本文所使用,处理器可包含单核处理器、在同一集成芯片上的多核处理器,或在单个电路板或网络上的多个处理单元,以及专用硬件。基于本文中提供的公开内容和教导,本领域普通技术人员会知道并意识到使用硬件及硬件和软件的组合实施本发明的实施例的其它方式和/或方法。

[0429] 在本申请案中描述的软件组件或功能中的任一个可以被实施为将由处理器使用例如常规或面向对象的技术使用任何合适的计算机语言执行的软件代码,例如Java、C、C++、C#、面向对象的C语言、Swift或例如Perl或Python等脚本语言。软件代码可以存储为用于存储和/或传输的计算机可读介质上的一系列指令或命令。适合的非暂时性计算机可读介质可以包括随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、如硬盘驱动器或软盘的磁性介质或如光盘(CD)或DVD(数字通用光盘)的光学介质、闪存等。计算机可读介质可以是此类存储或传输装置的任何组合。

[0430] 此类程序也可以使用载波信号来编码和发射,所述载波信号适合于经由符合多种协议的有线、光学和/或无线网络来发射,包含因特网。因此,计算机可读介质可以使用以这些程序编码的数据信号产生。以程序代码编码的计算机可读介质可以与兼容装置一起封装或与其它装置分开地提供(例如,通过因特网下载)。任何此类计算机可读介质可以驻留在单个计算机产品(例如,硬盘驱动器、CD或整个计算机系统)上或内,且可以存在于系统或网络内的不同计算机产品上或内。计算机系统可包含监视器、打印机,或用于向用户提供本文所提及的任何结果的其它合适的显示器。

[0431] 本文所描述的方法中的任一个可以全部或部分地借助包含一个或多个处理器的计算机系统执行,所述一个或多个处理器可以被配置成执行步骤。因此,实施例可以涉及经配置以执行在此所述的任何方法步骤的计算机系统,其潜在地用不同组件执行相应步骤或相应的步骤群。虽然呈现为编号的步骤,但本文的方法的步骤可以在同时或在不同时间或以不同次序执行。另外,这些步骤的部分可以与其它方法的其它步骤的部分一起使用。此外,步骤的全部或部分可以是任选的。另外,任何方法的步骤中的任一个步骤可以利用用于执行这些步骤的模块、电路或其它装置来执行。

[0432] 具体实施例的具体细节可以在不脱离本发明的实施例的精神和范围的情况下以任何合适方式组合。然而,本发明的其它实施例可以涉及与每个个别方面或这些个别方面的特定组合相关的特定实施例。

[0433] 本发明的实例实施例的以上描述已出于说明和描述的目的呈现。不旨在是详尽的,或将本发明局限为所描述的精确形式,根据上文的教导许多修改和变形是可能的。

[0434] “一个”或“所述”的陈述旨在表示“一个或多个”,除非相反地具体指示。除非特别地有相反指示,否则“或”的使用旨在表示“包括性的或”,而不是“排除性的或”。提及的“第一”组件未必要求提供第二组件。此外,除非明确陈述,否则提及“第一”或“第二”组件不将提及的组件限制于特定位置。术语“基于”意指“至少部分基于”。

[0435] 本文提到的所有专利、专利申请、公开案和描述出于所有目的以全文引用的方式并入本文。不承认它们是现有技术。

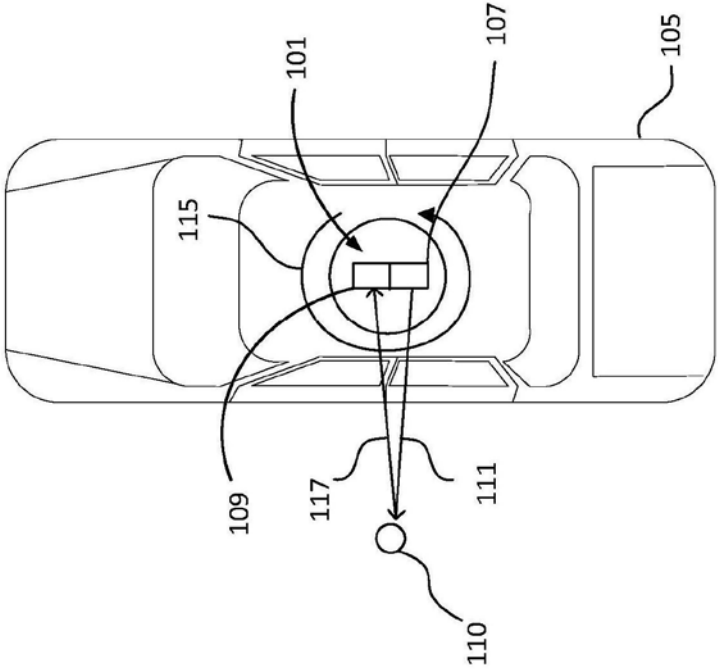


图1A

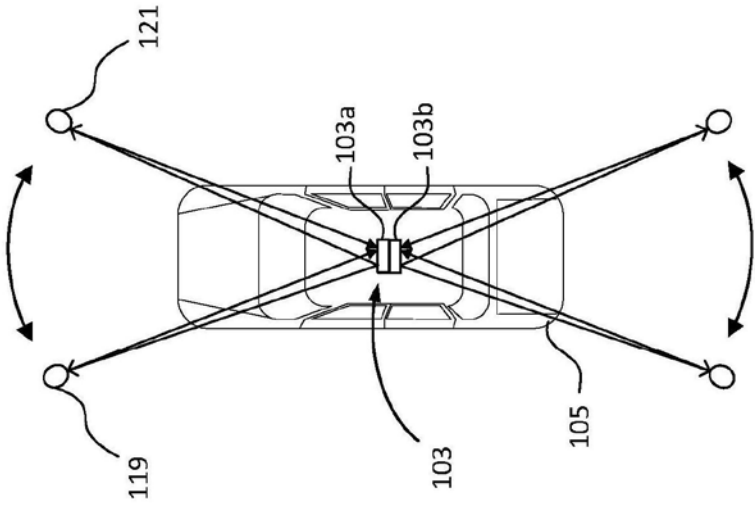


图1B

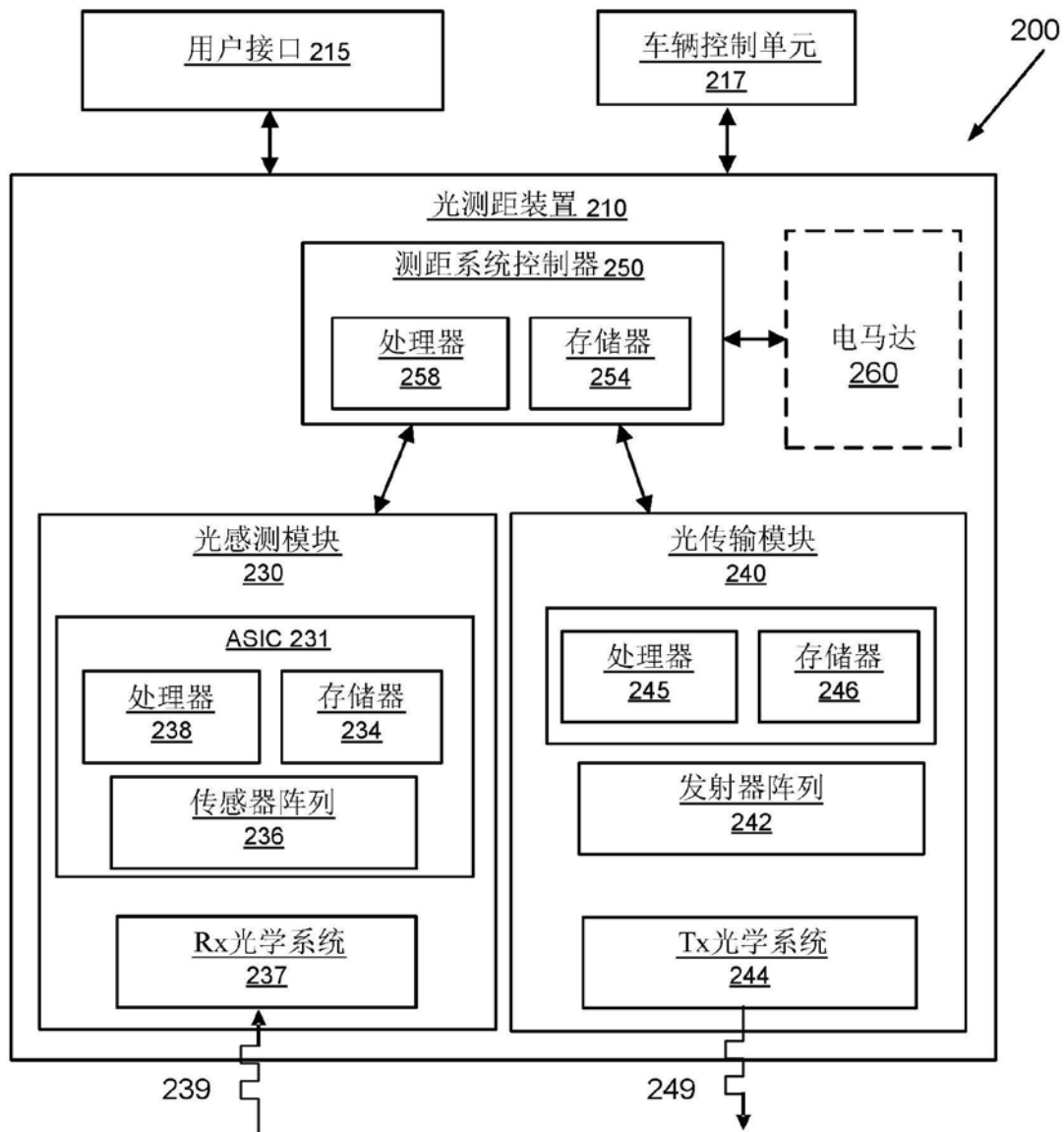


图2

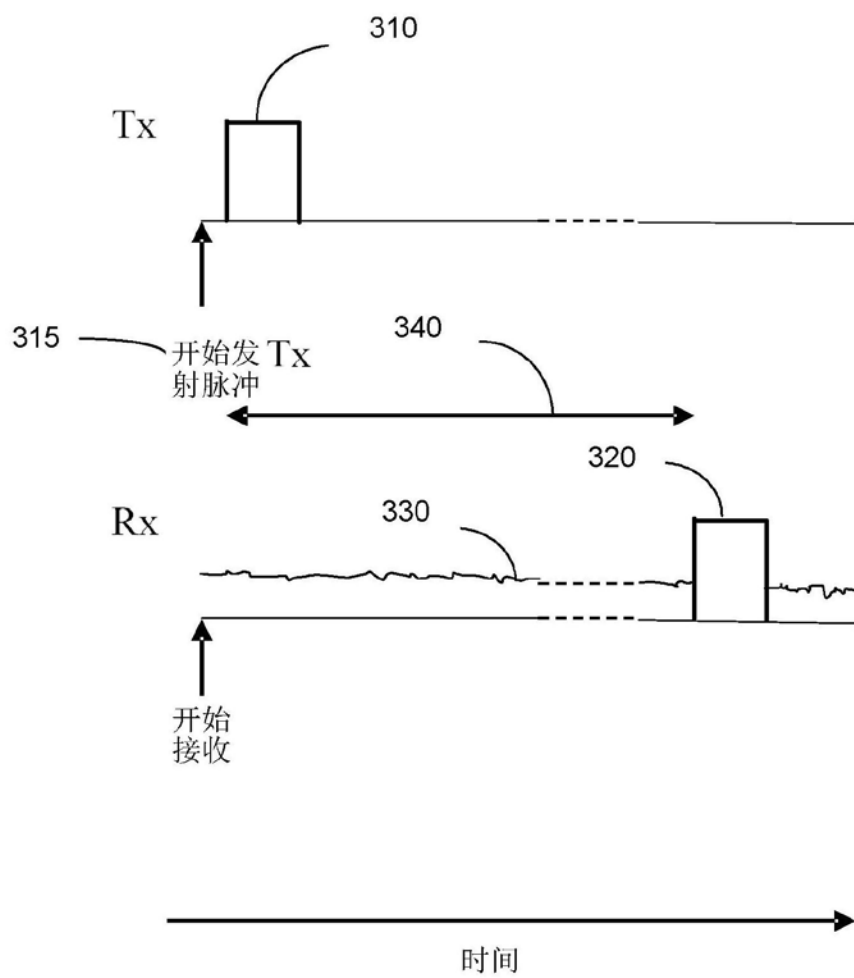


图3

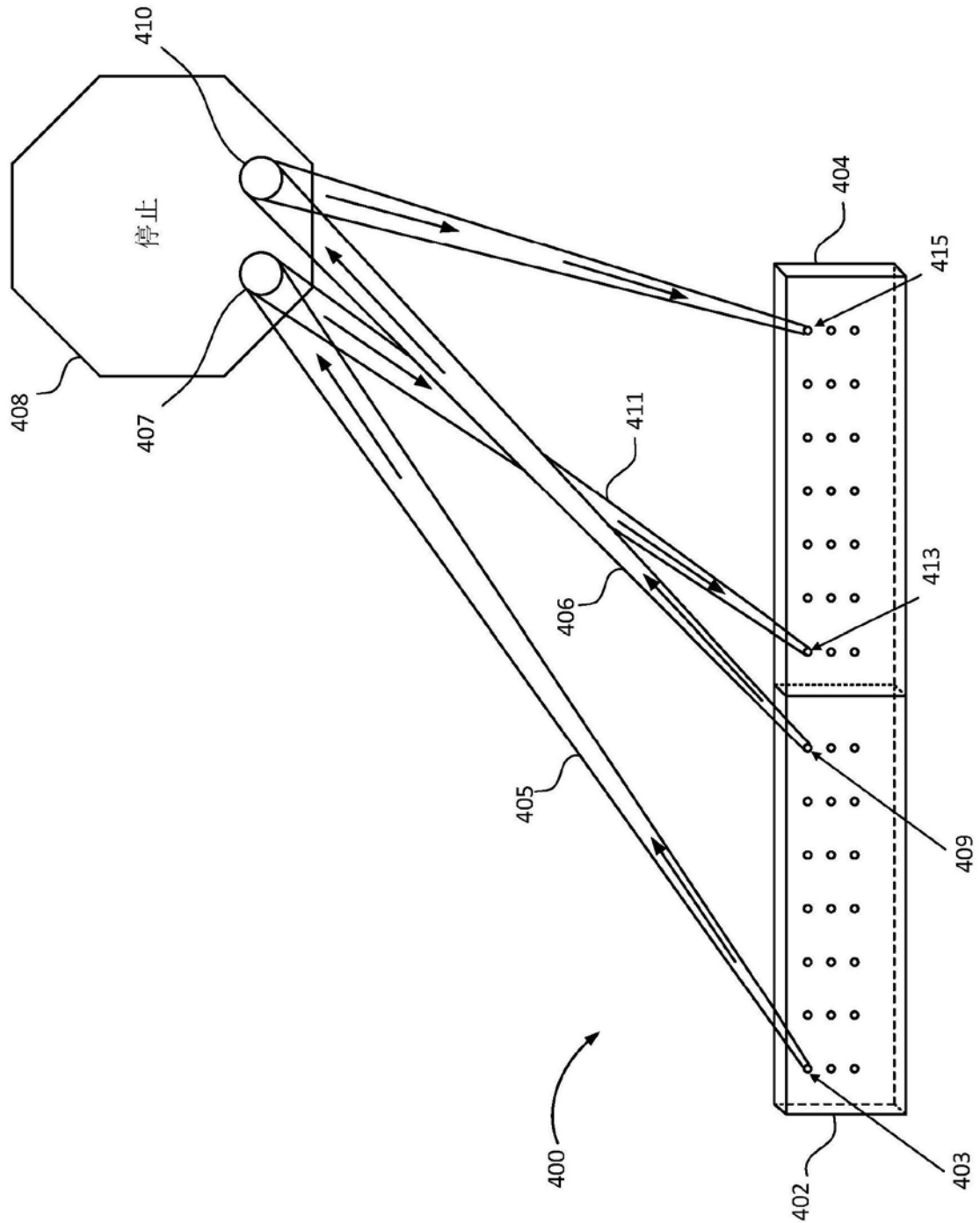


图4

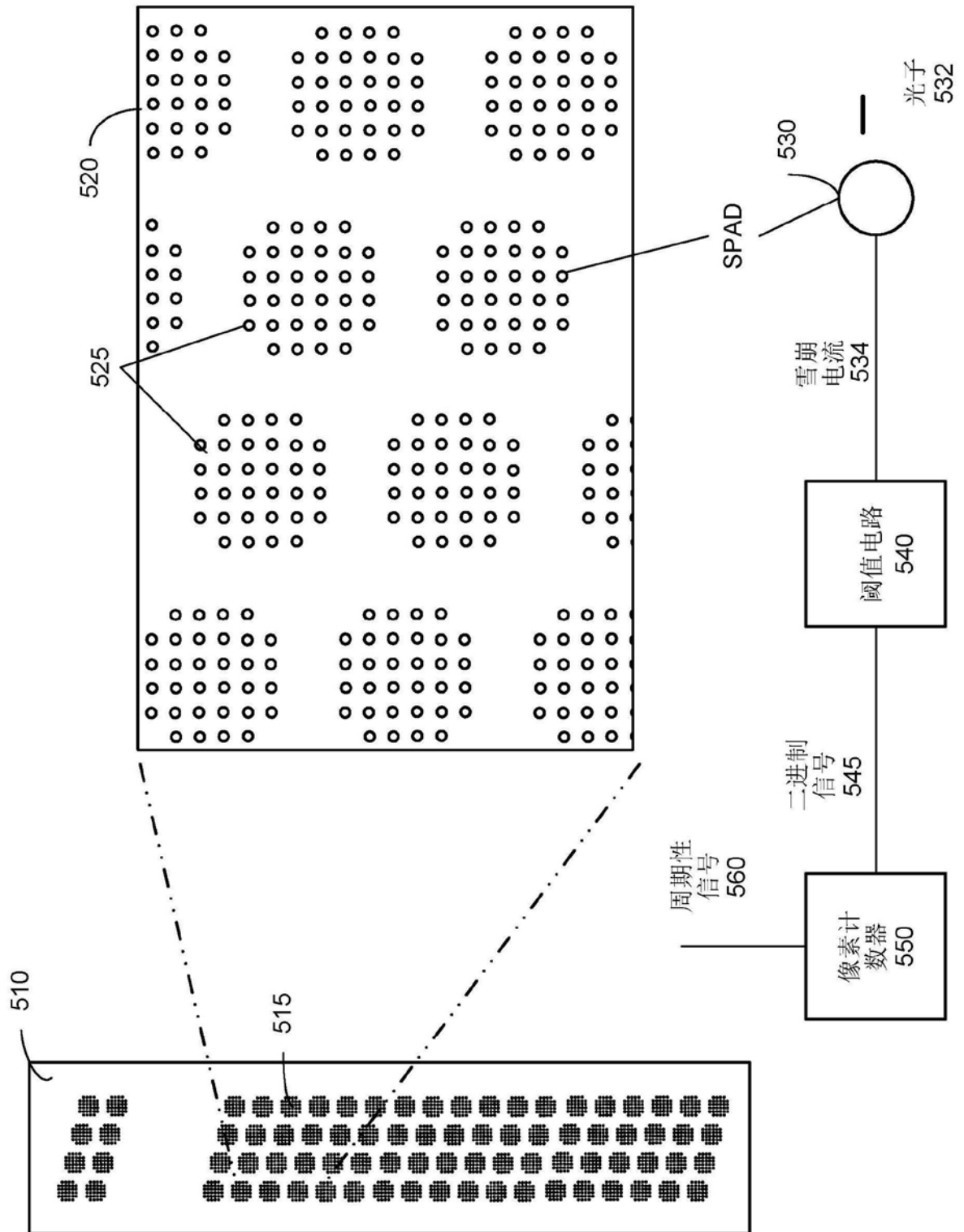


图5

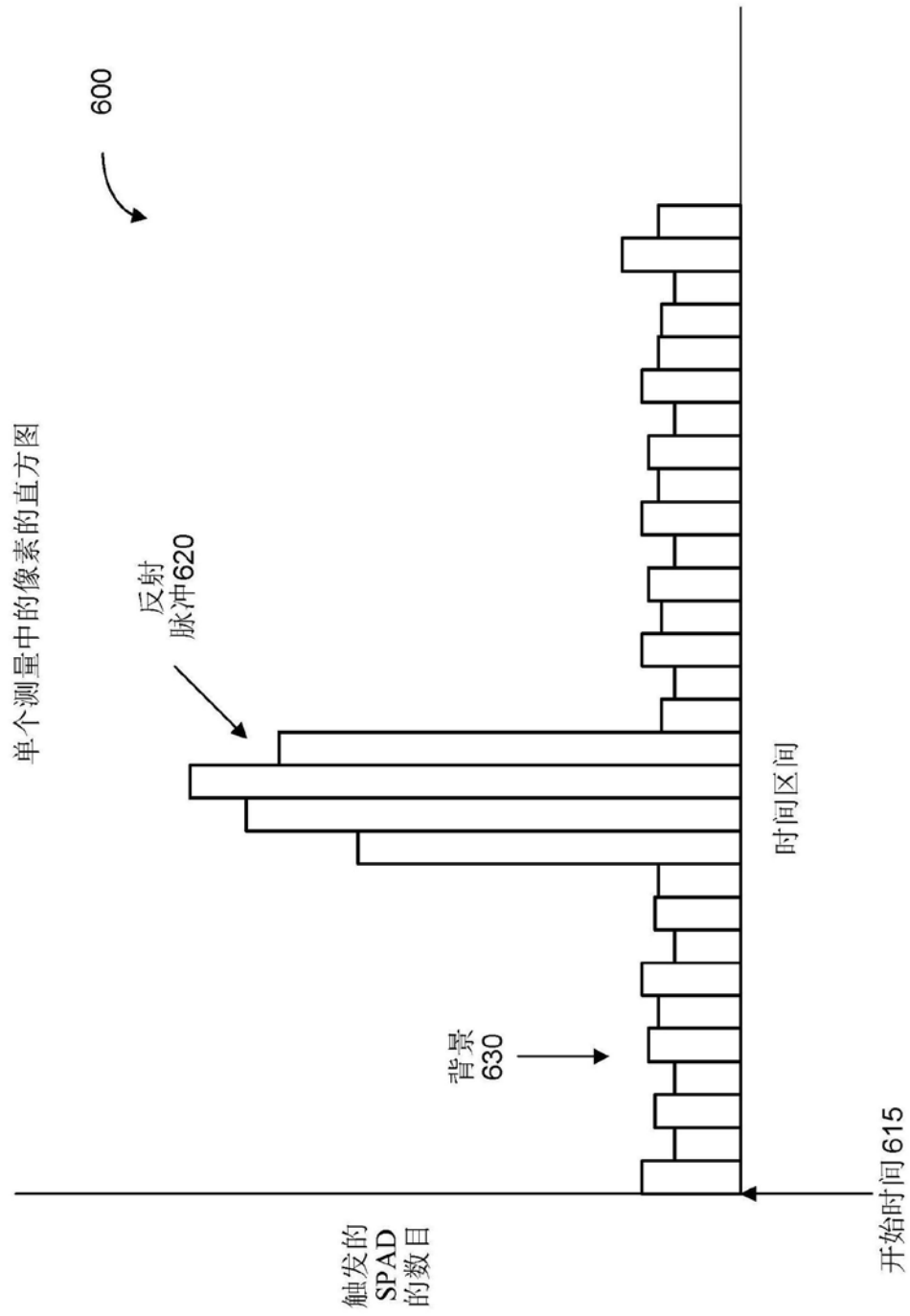


图6

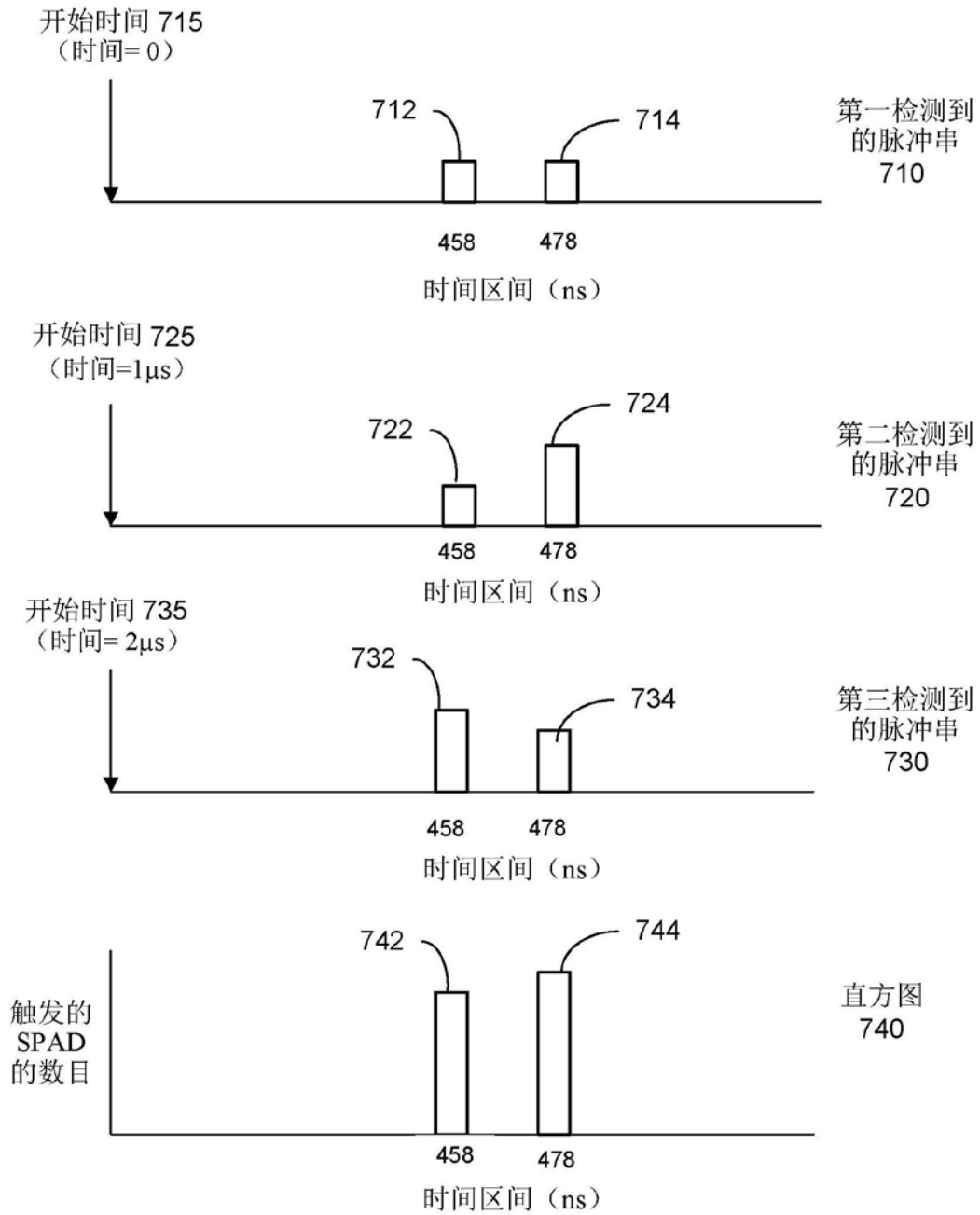


图7

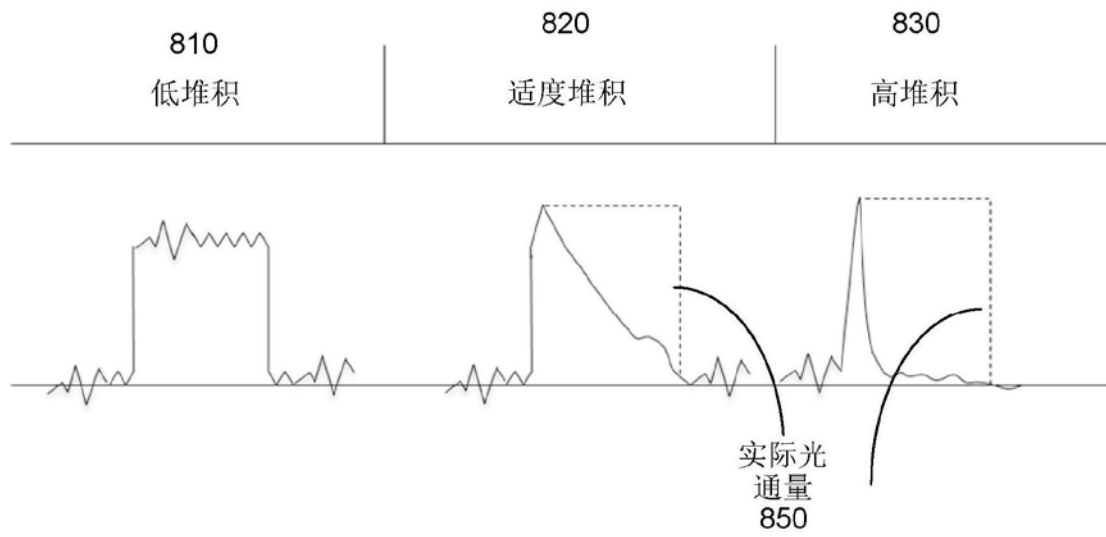


图8

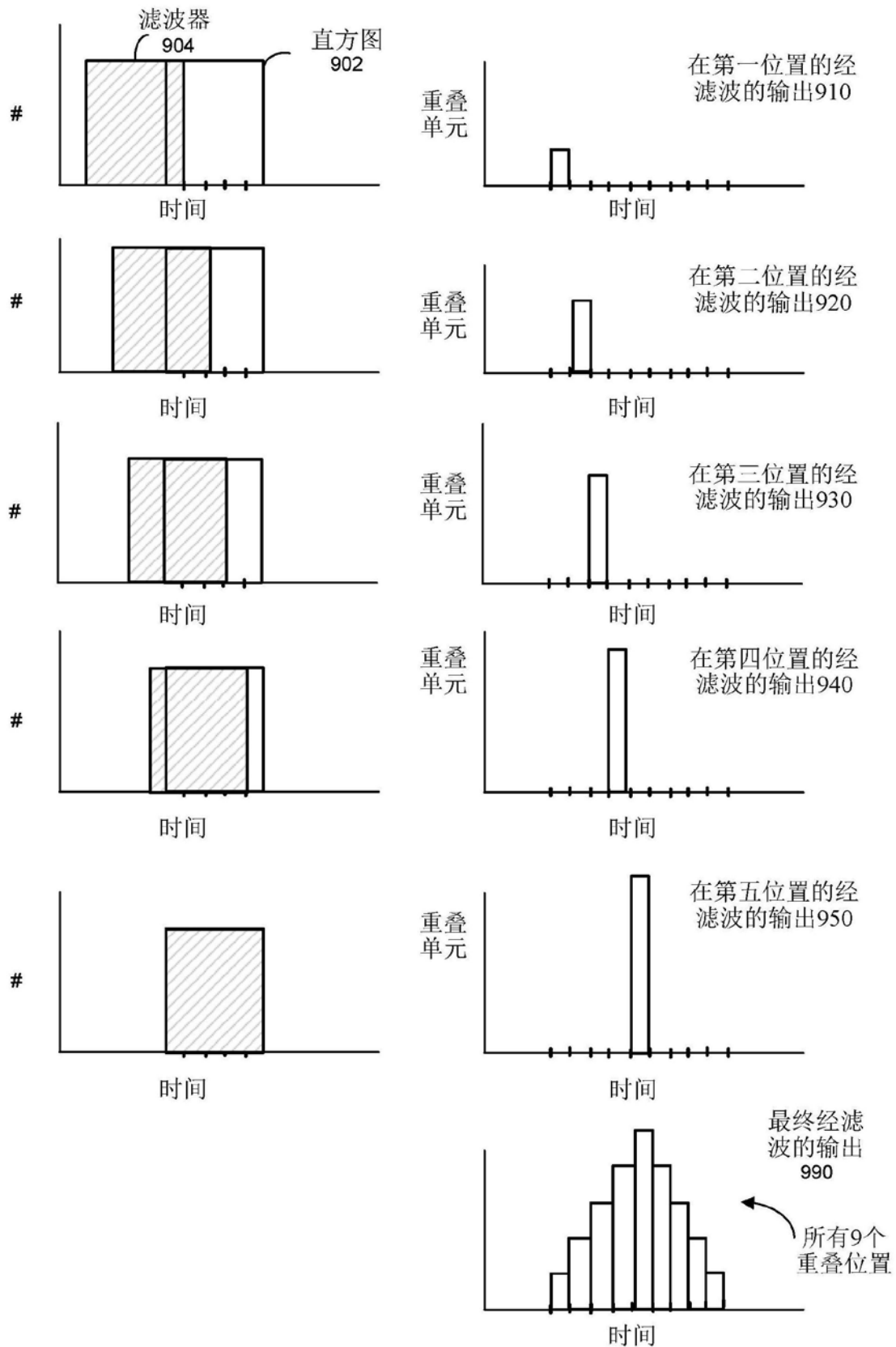


图9

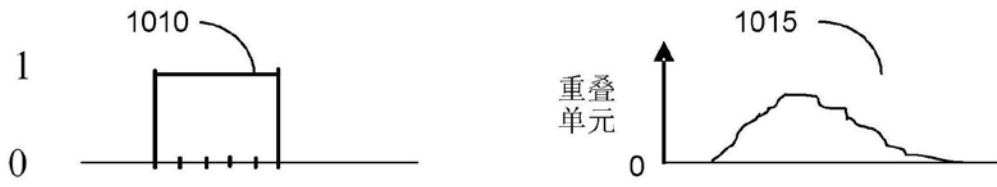


图10A



图10B



图10C

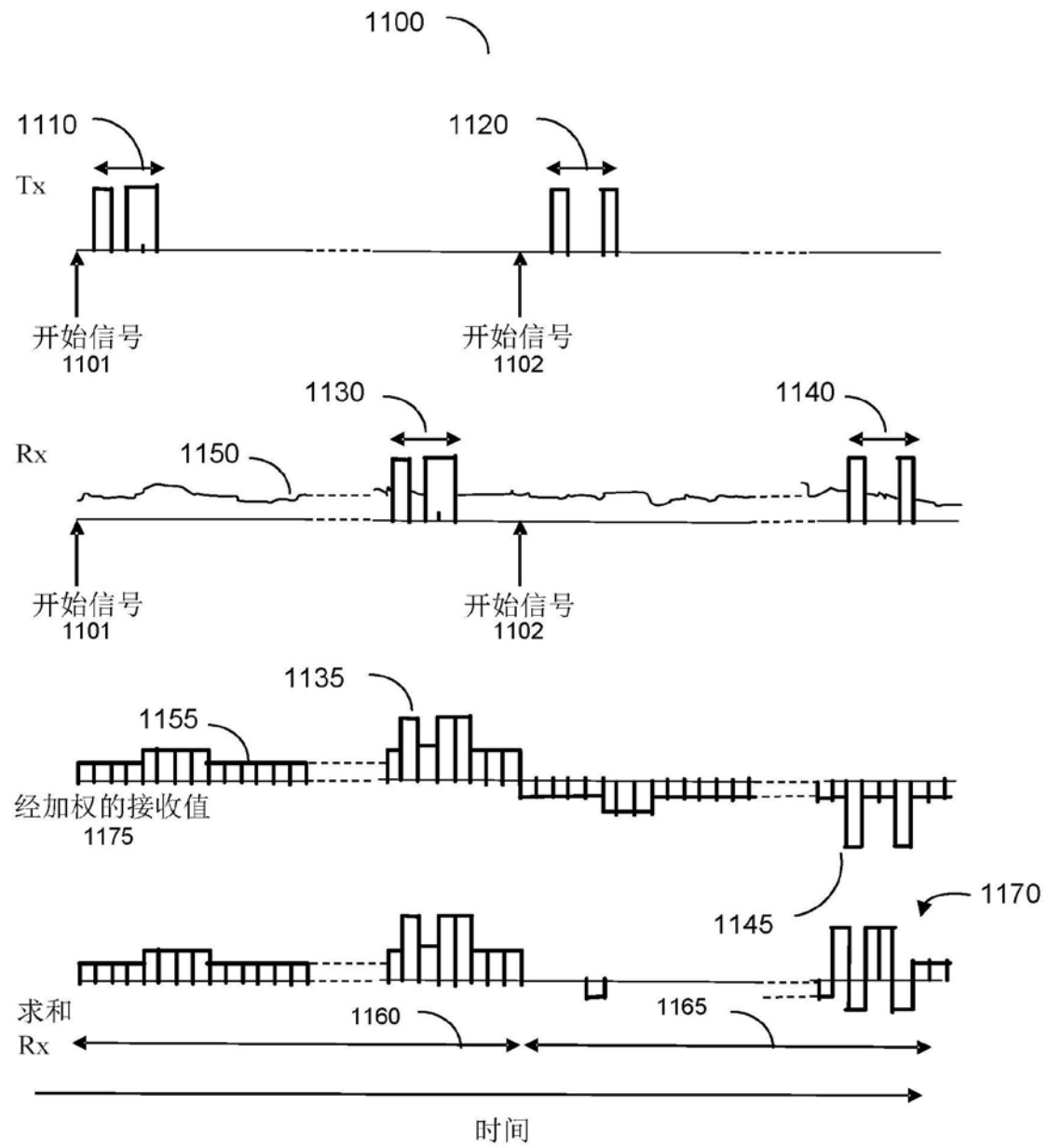


图11

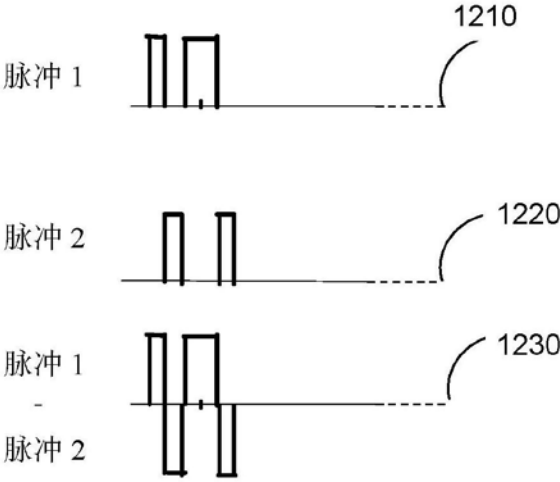


图12

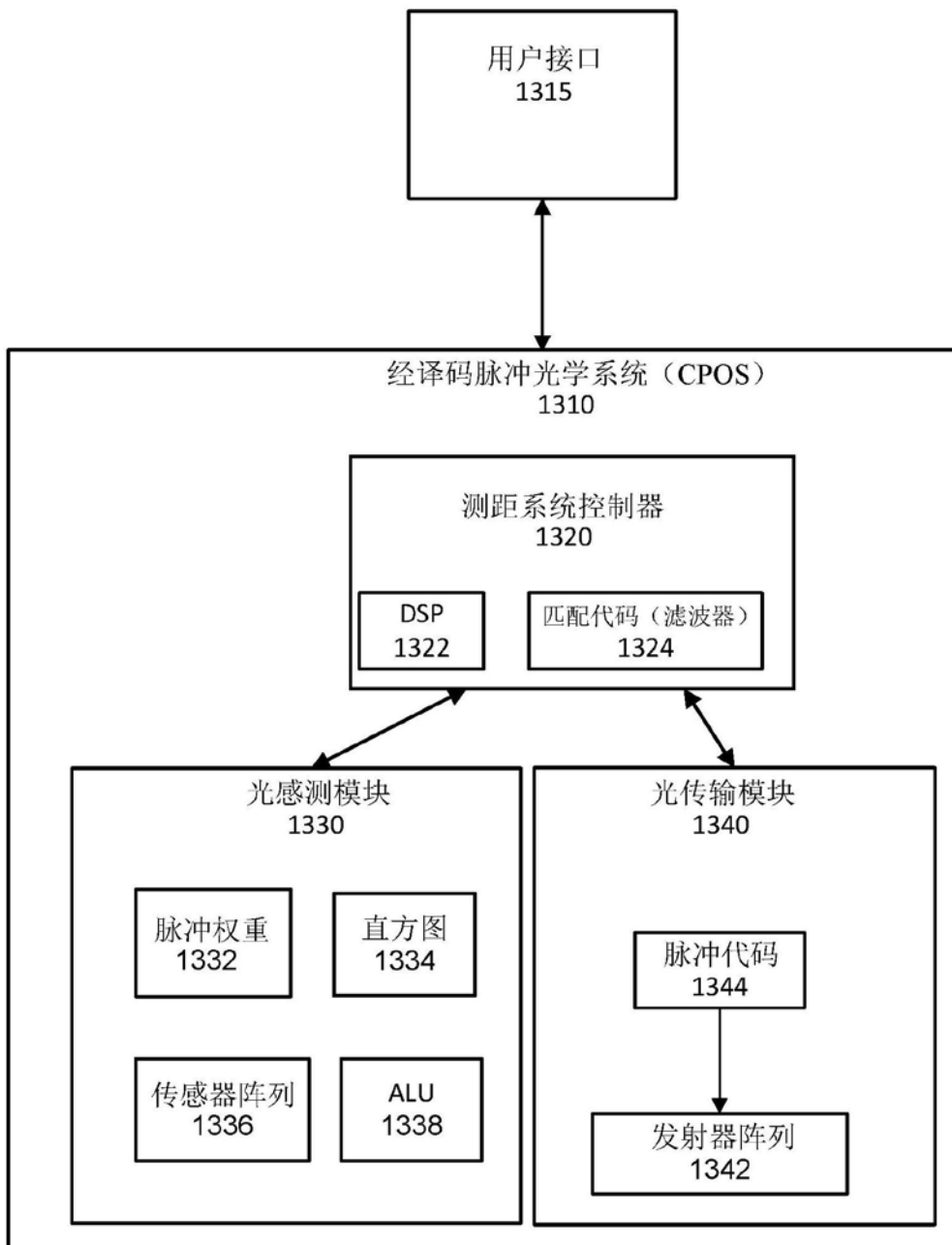


图13

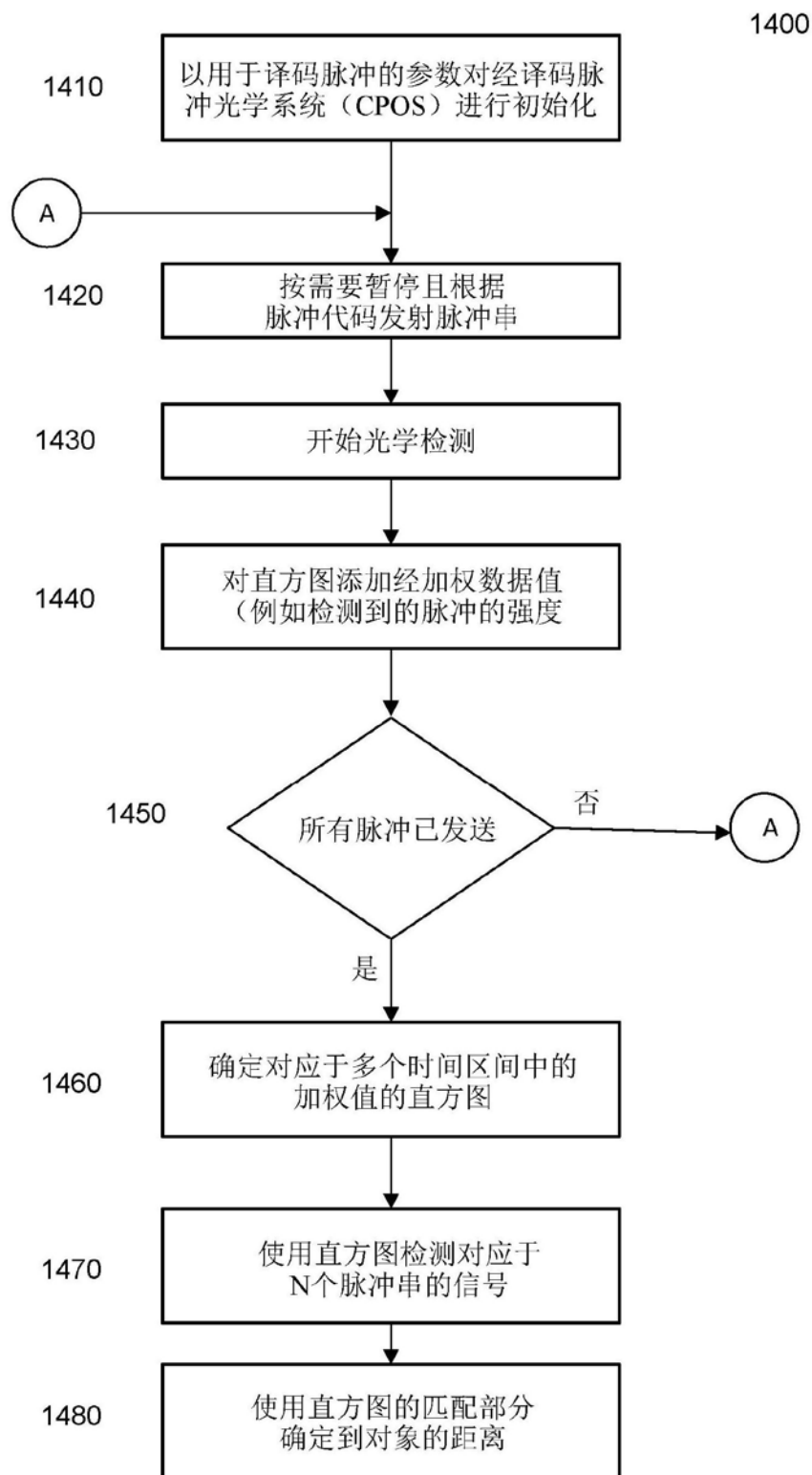


图14

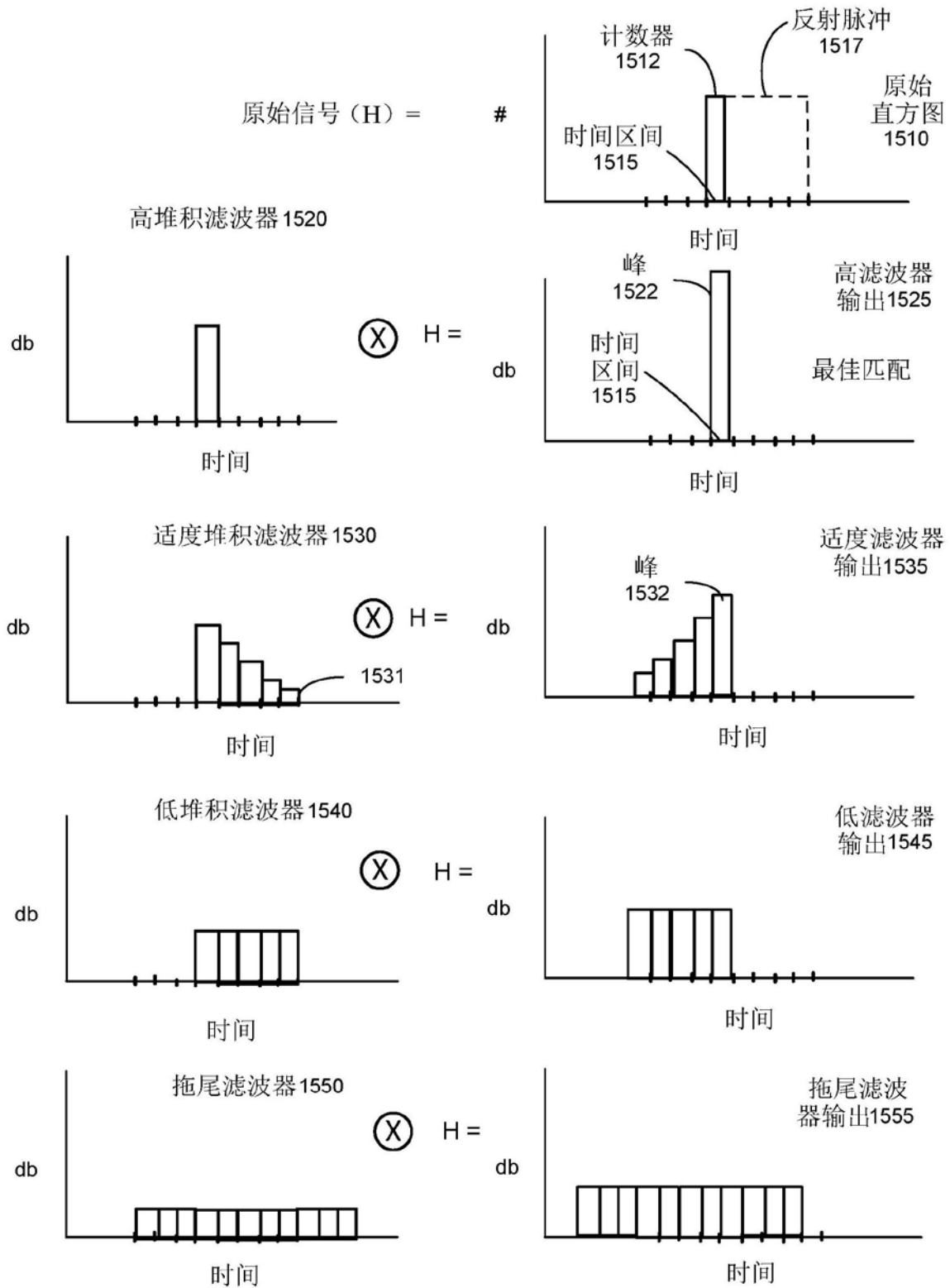


图15

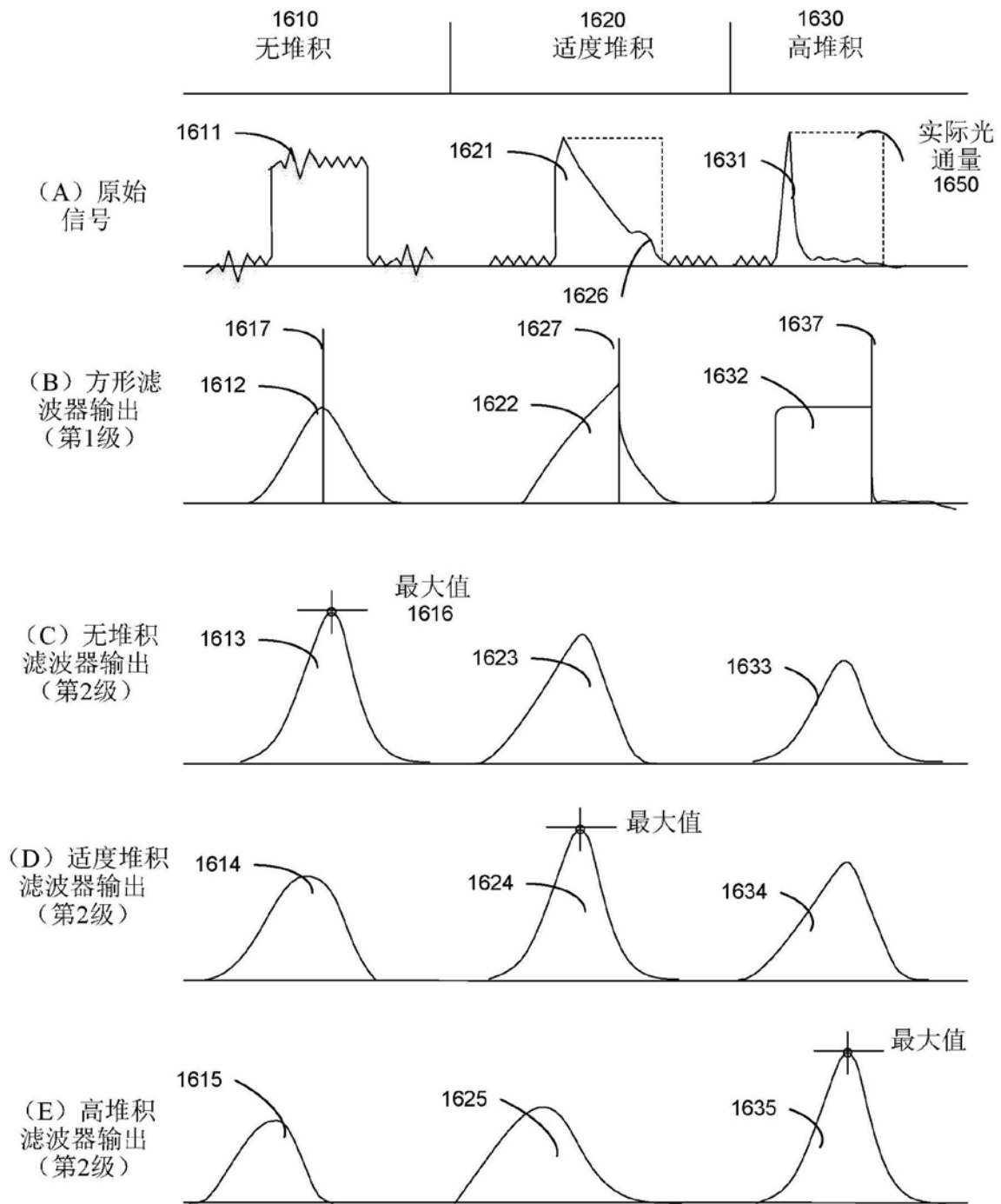


图16

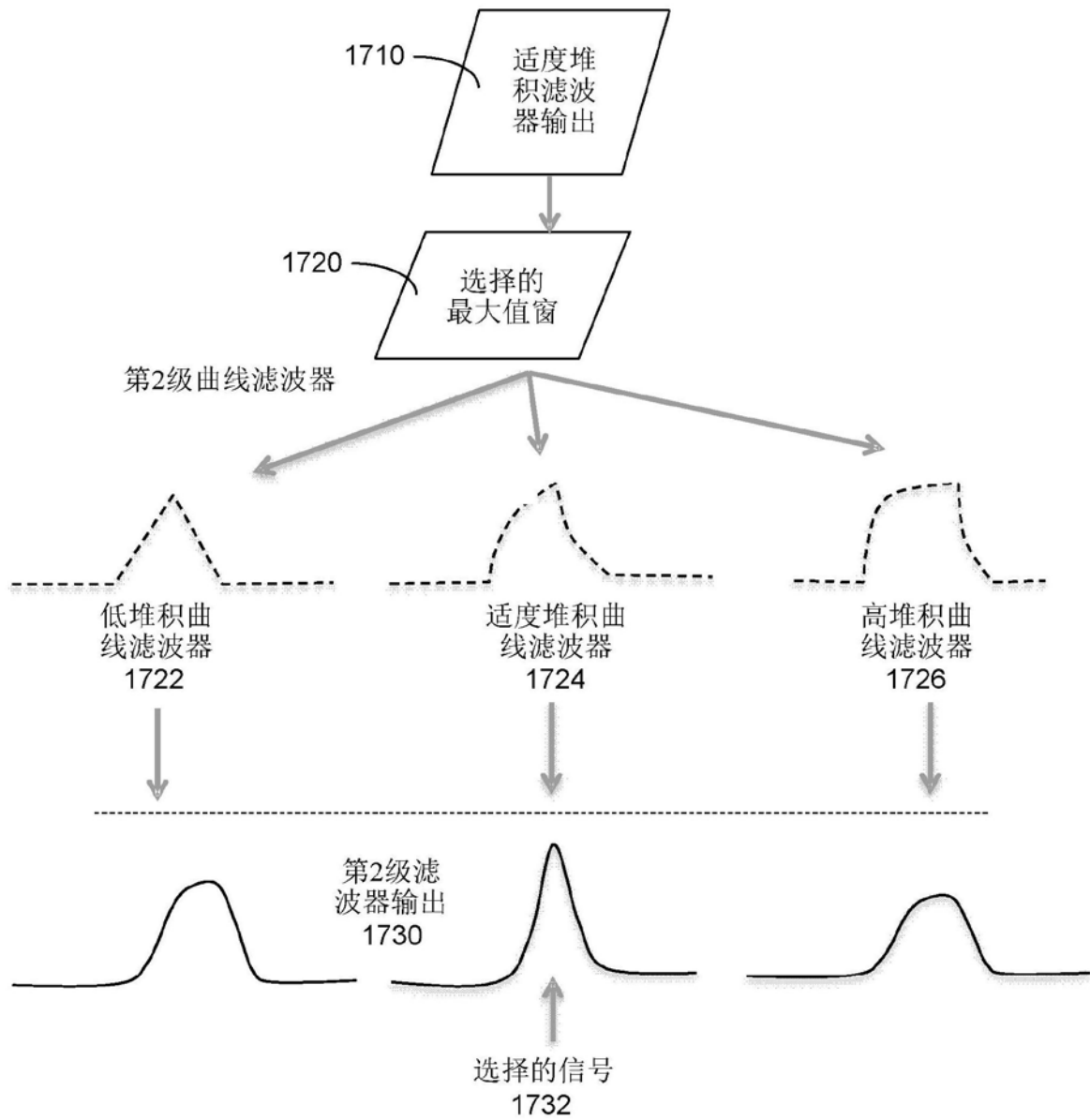


图17

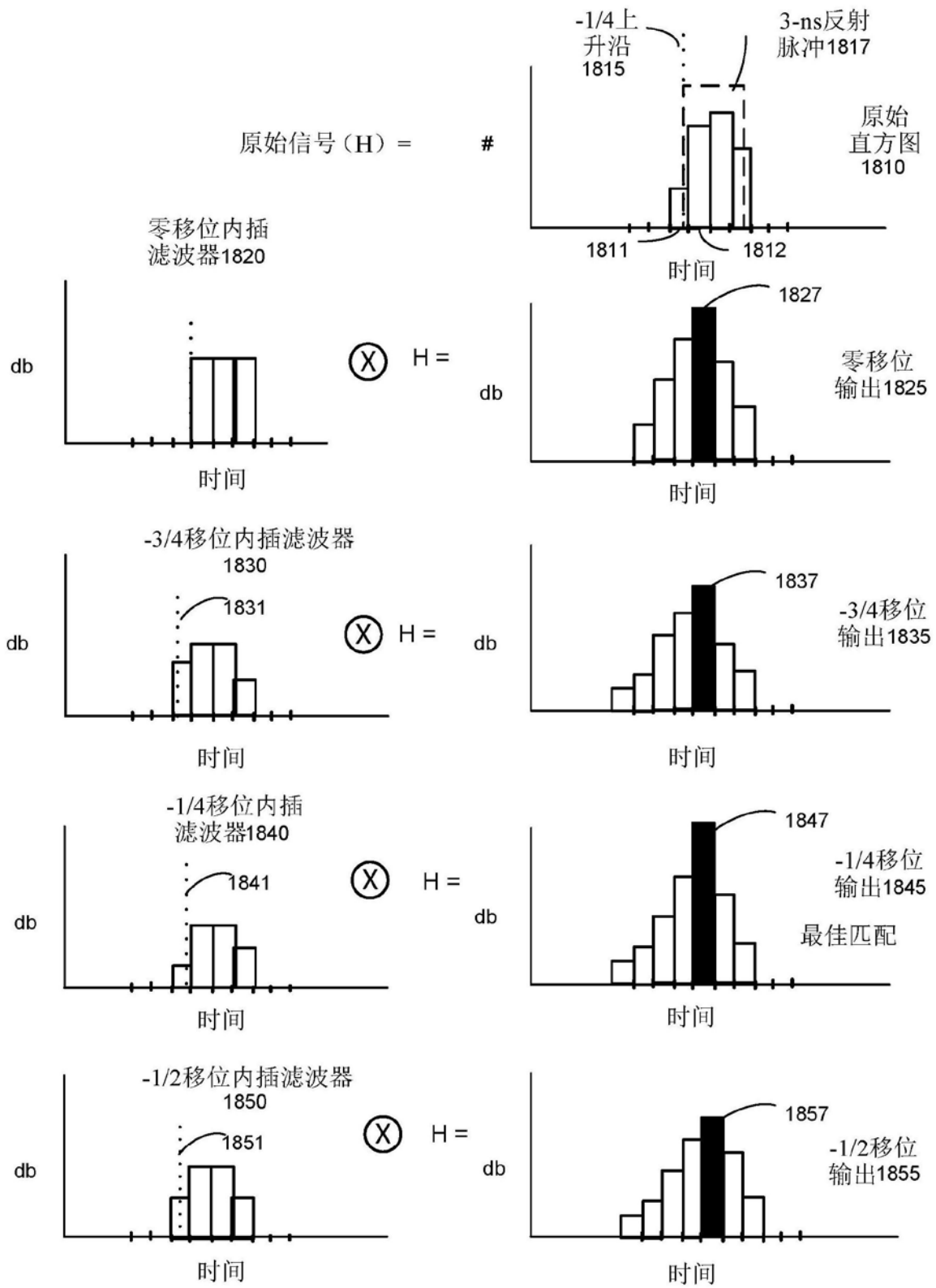


图18

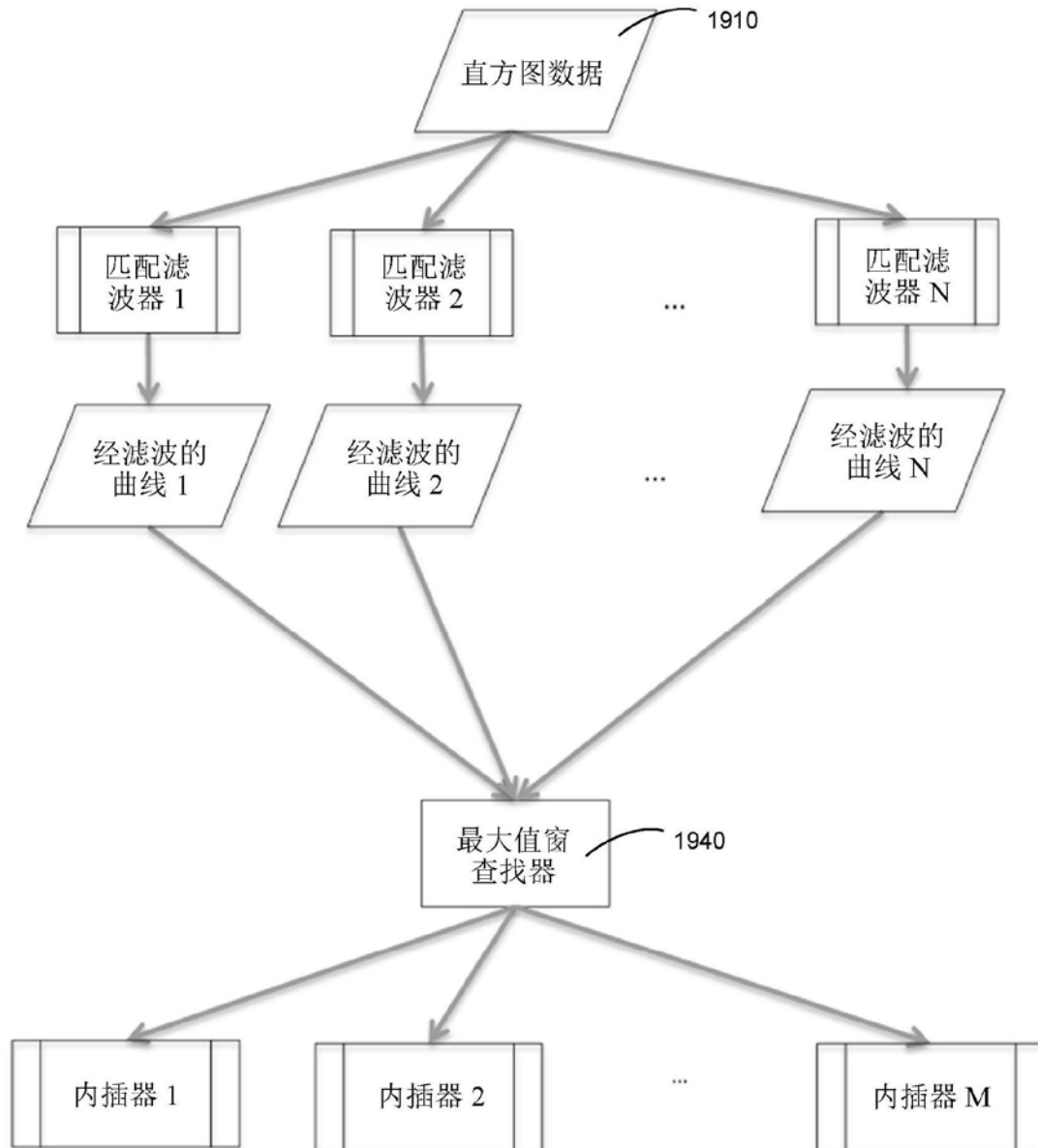


图19

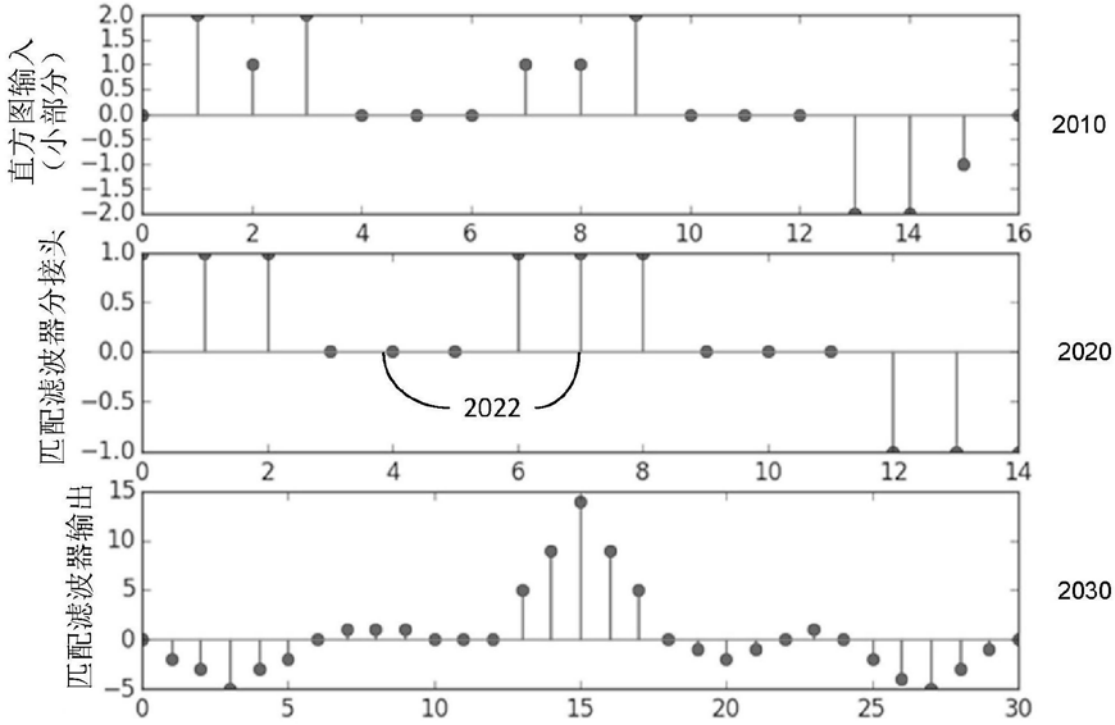


图20

2100

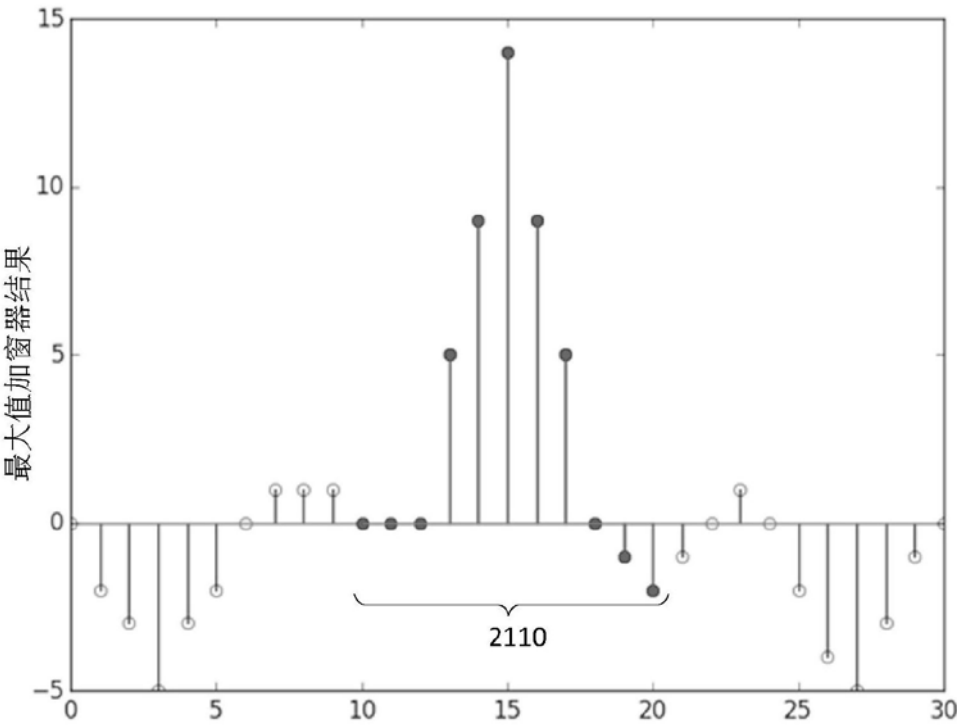


图21

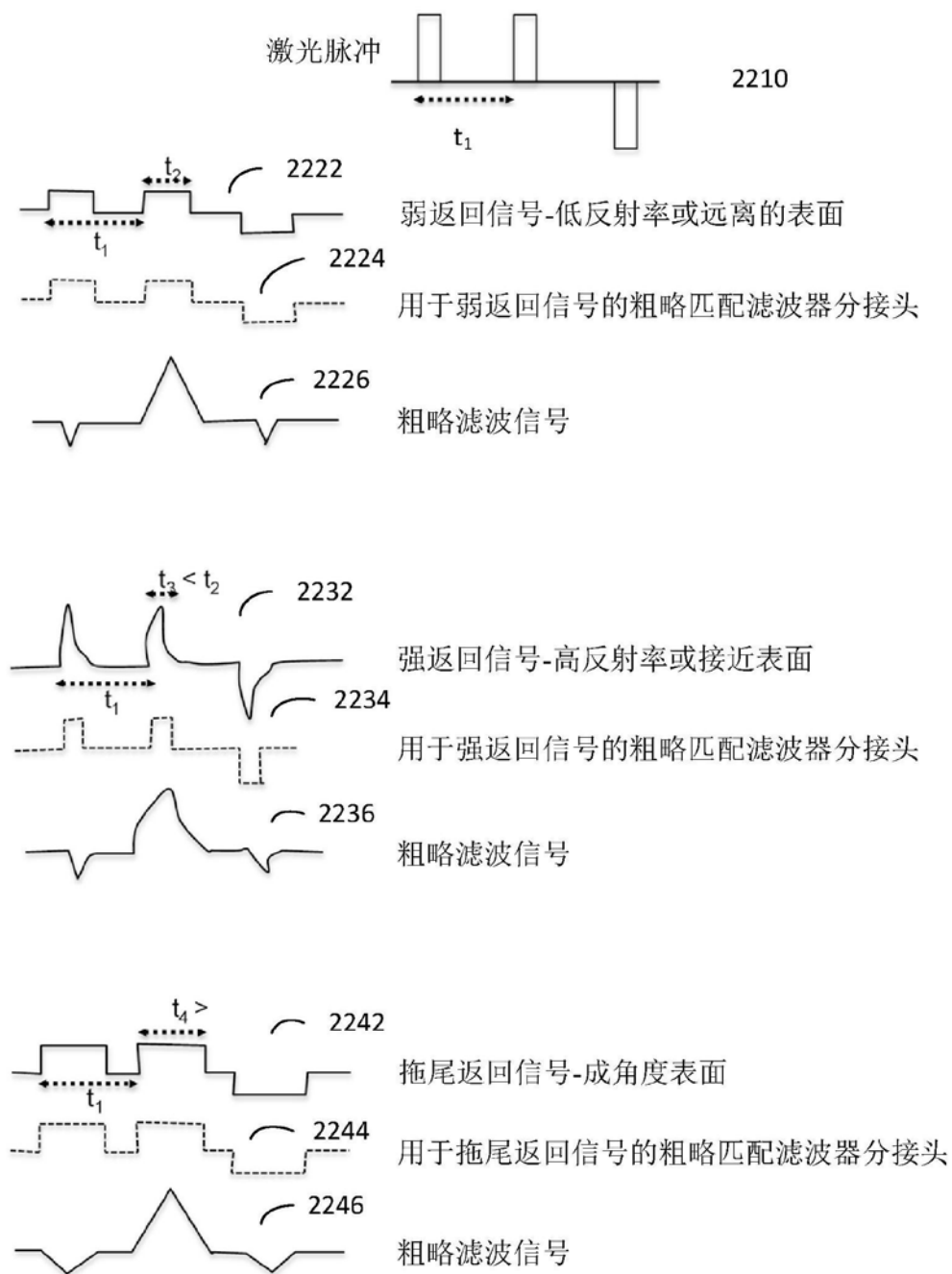


图22

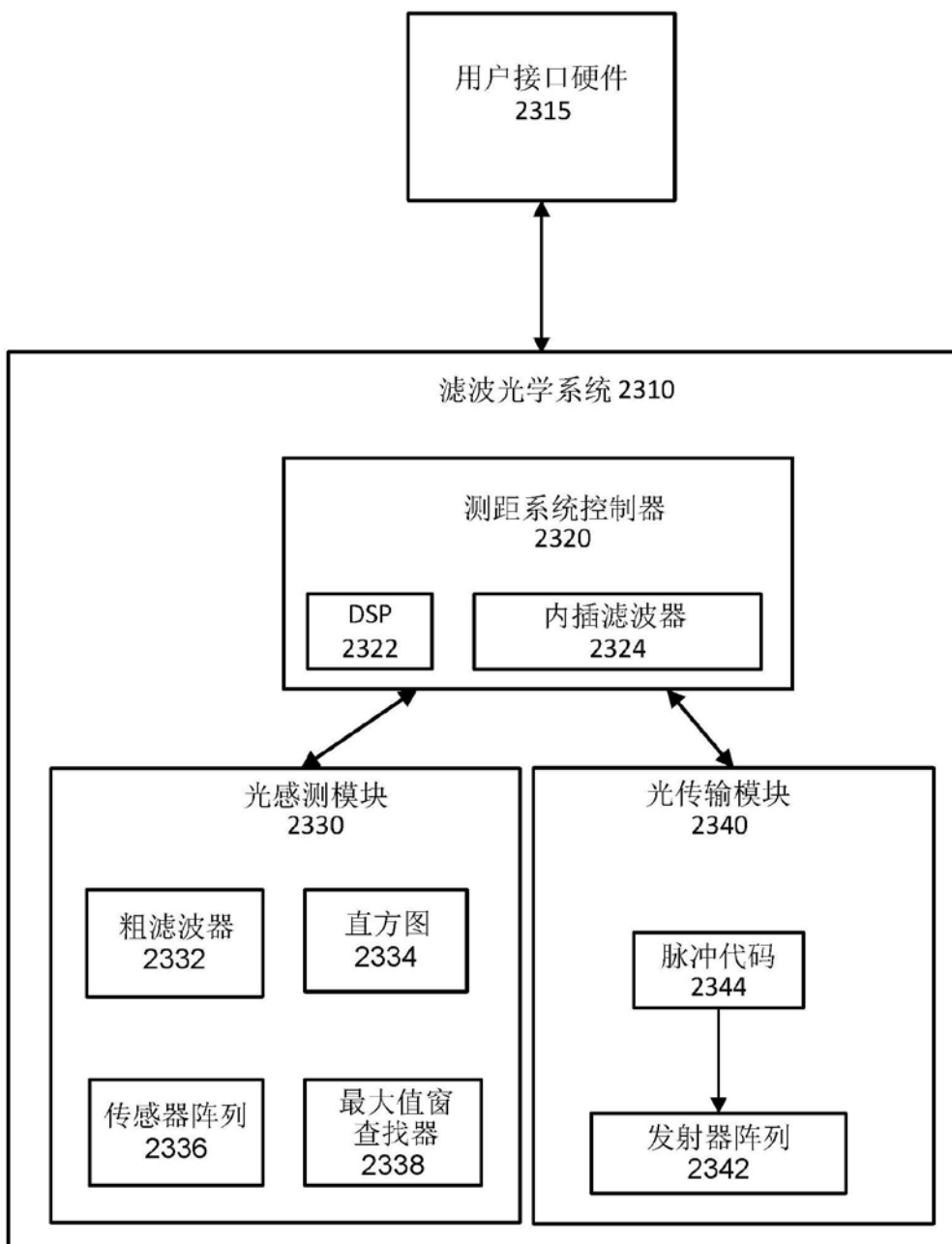


图23

2400

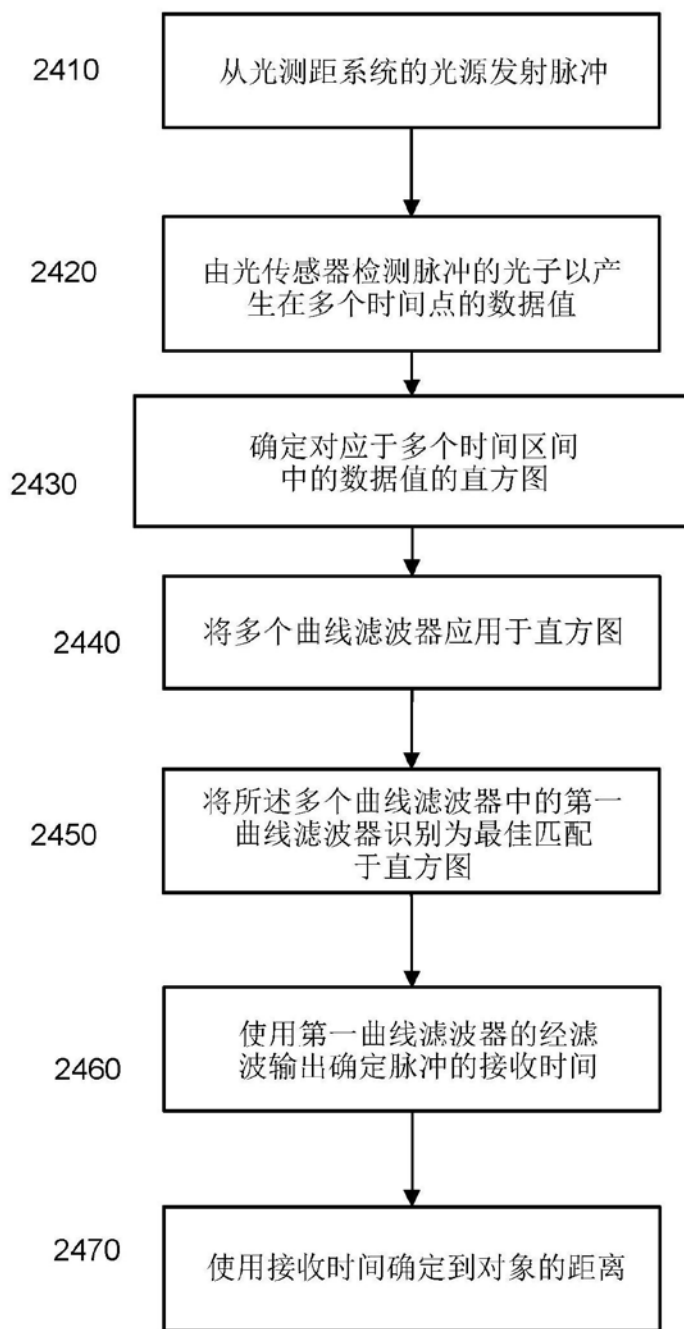


图24



图25A

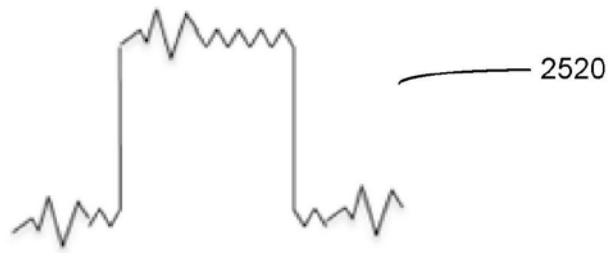


图25B

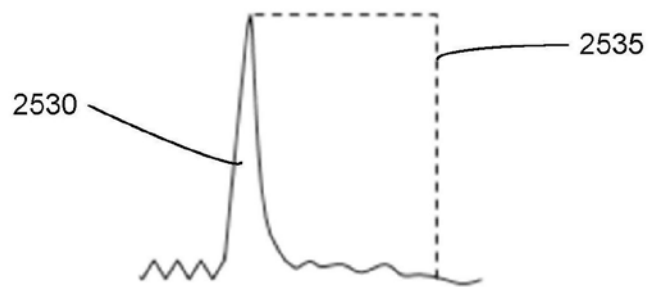


图25C

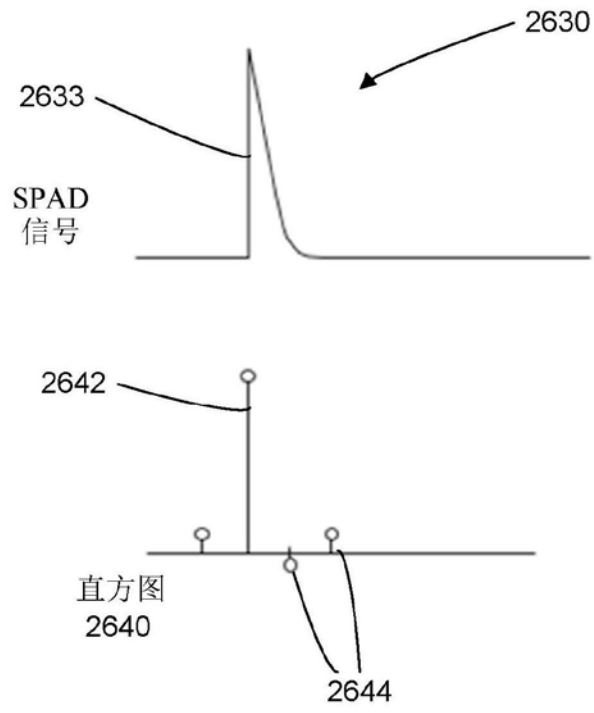


图26

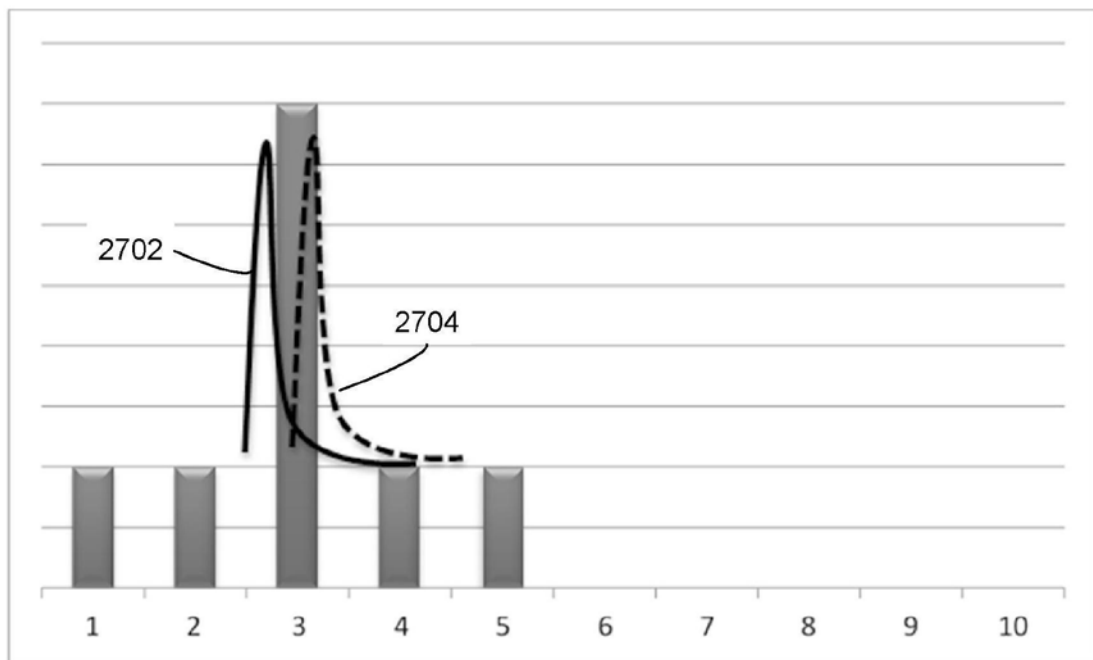


图27A

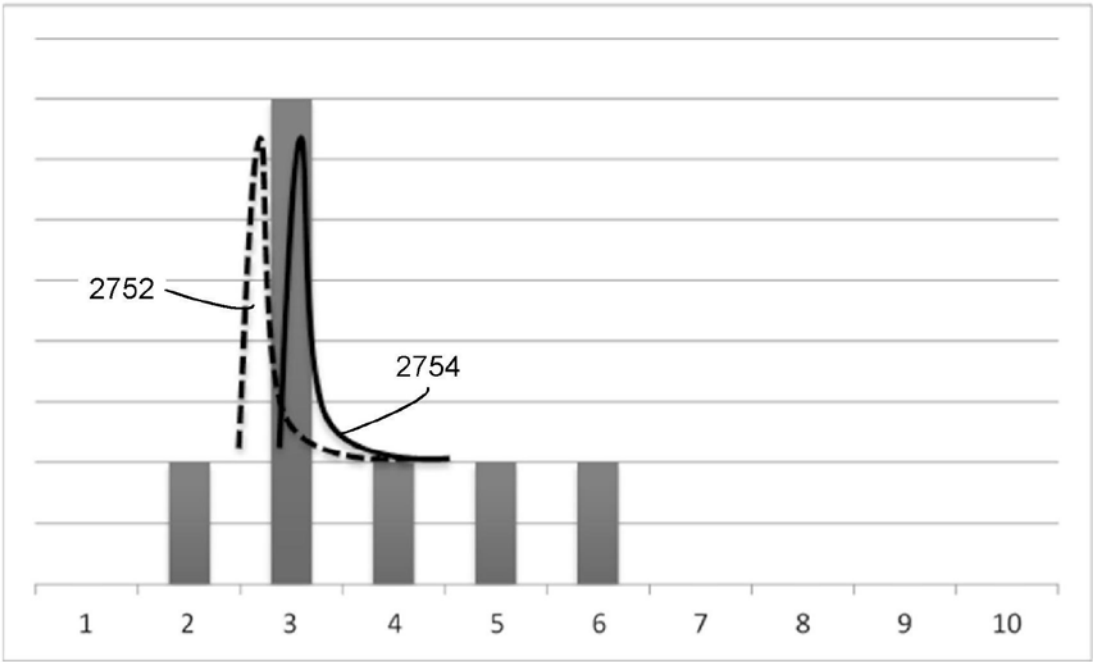


图27B

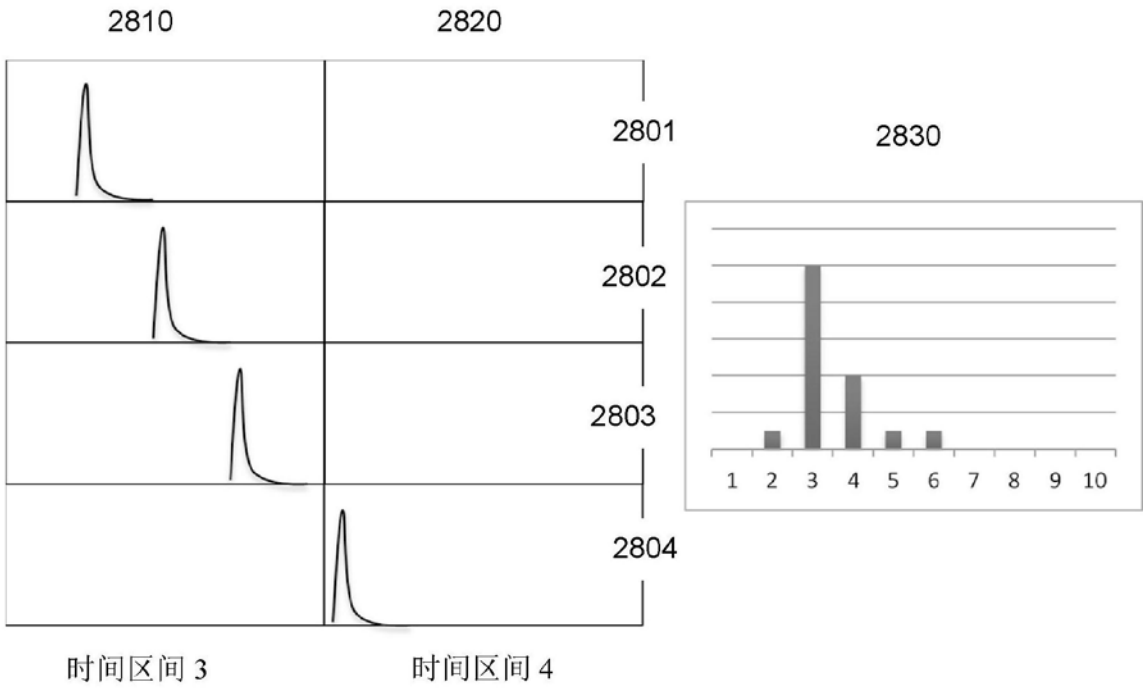


图28A

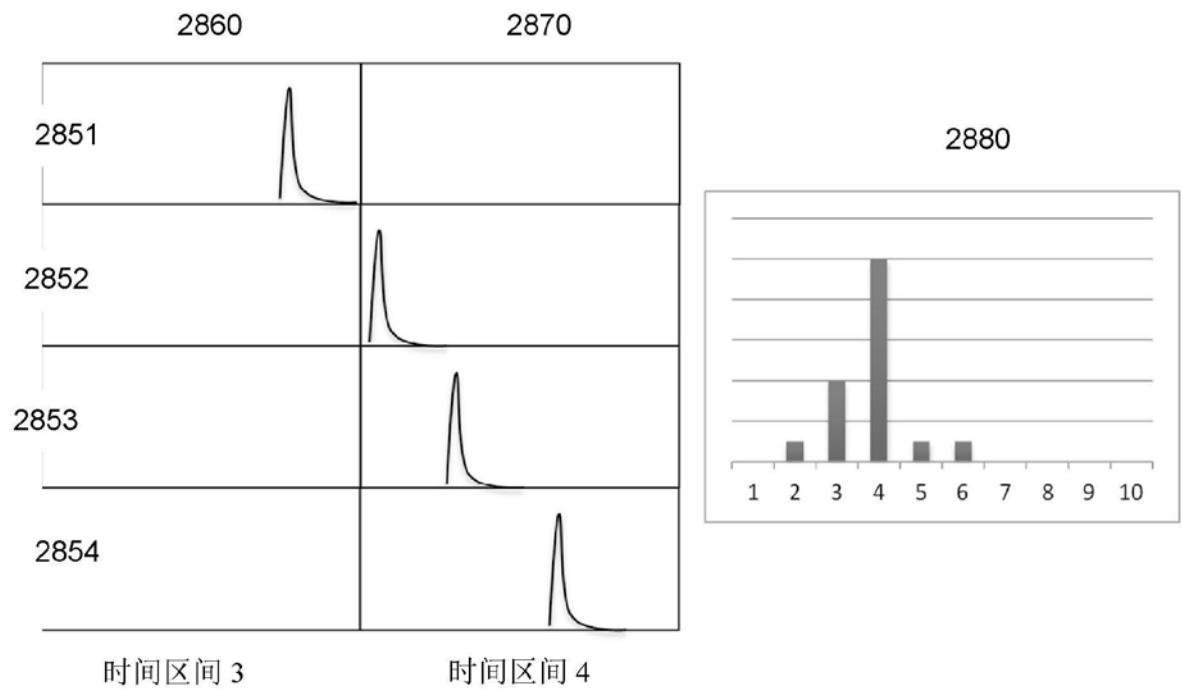


图28B

2900

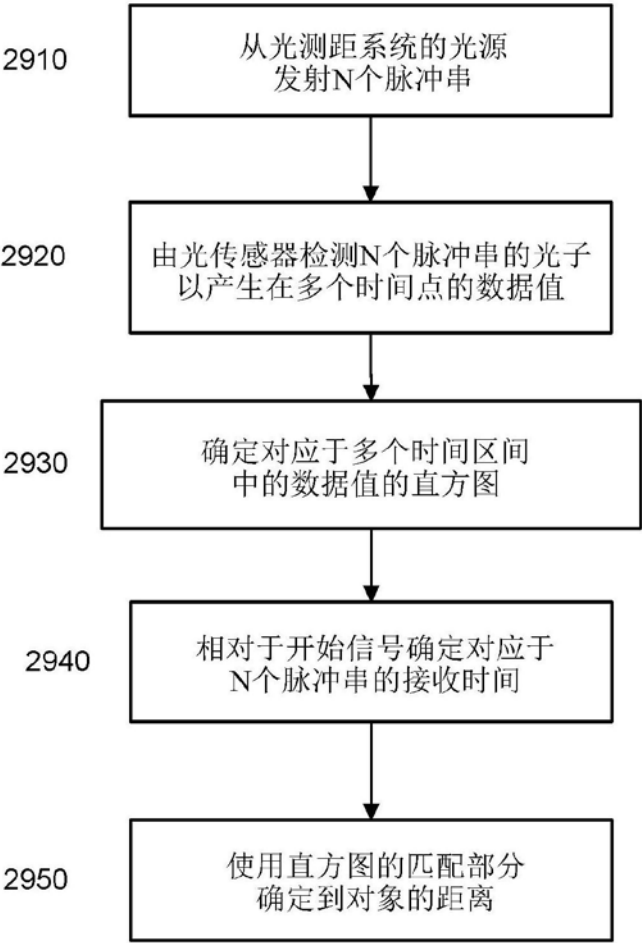


图29

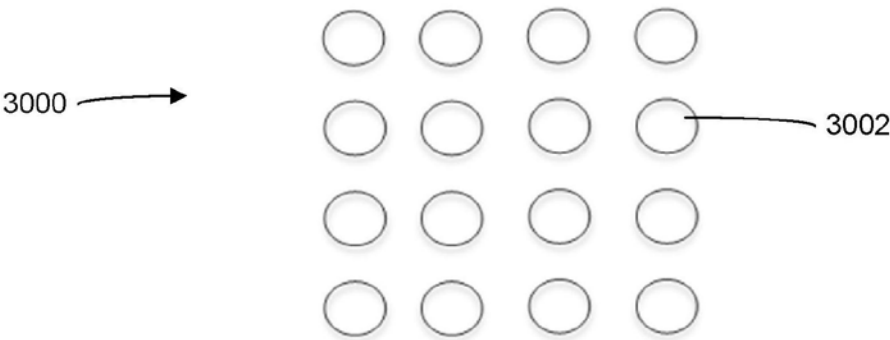


图30A

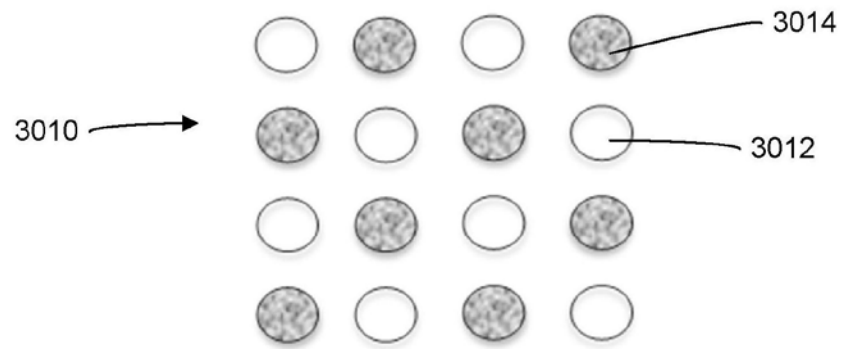


图30B

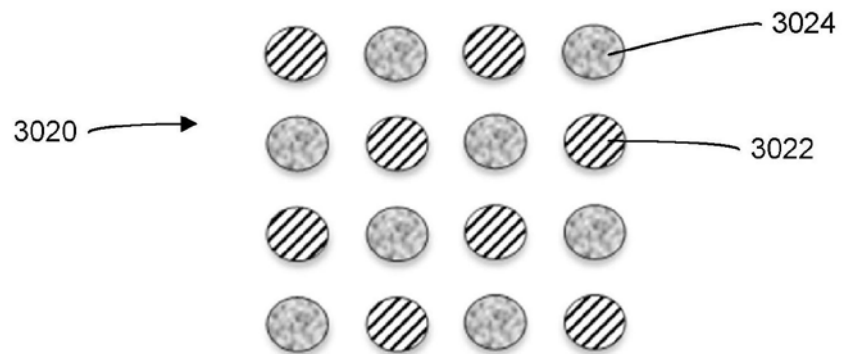


图30C

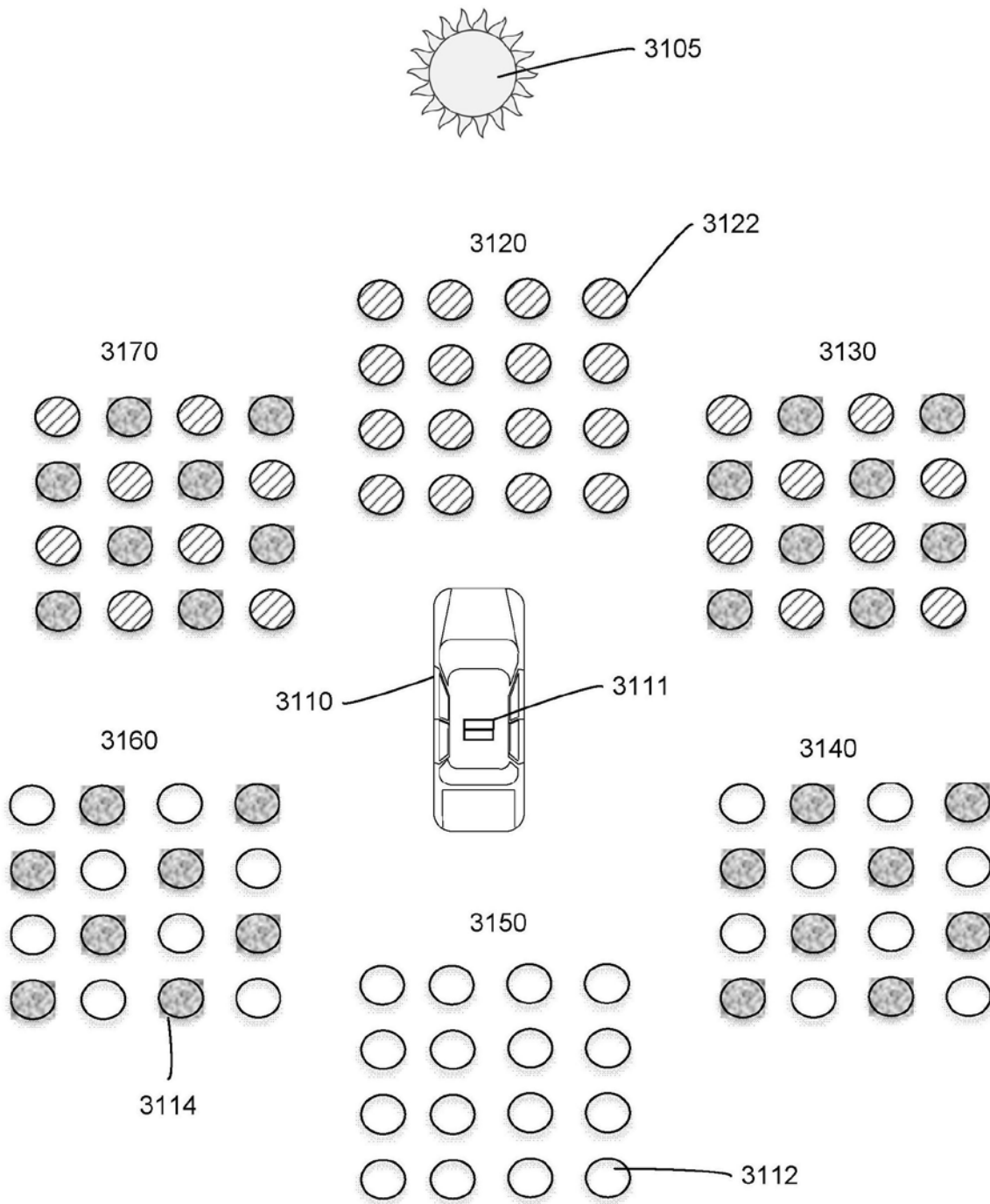


图31

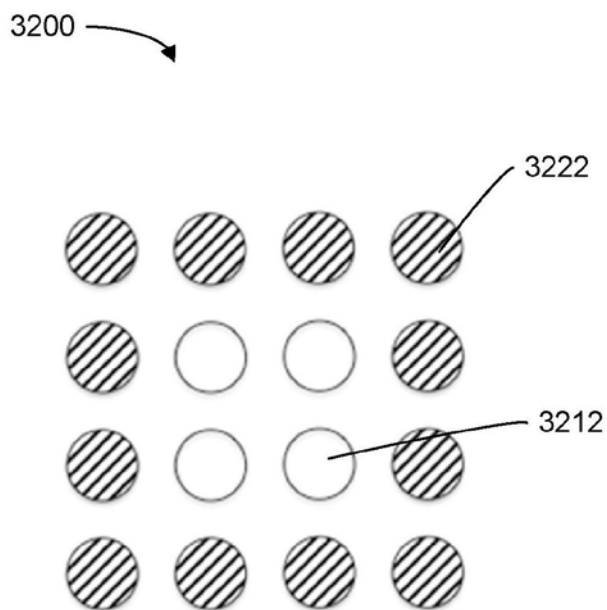


图32

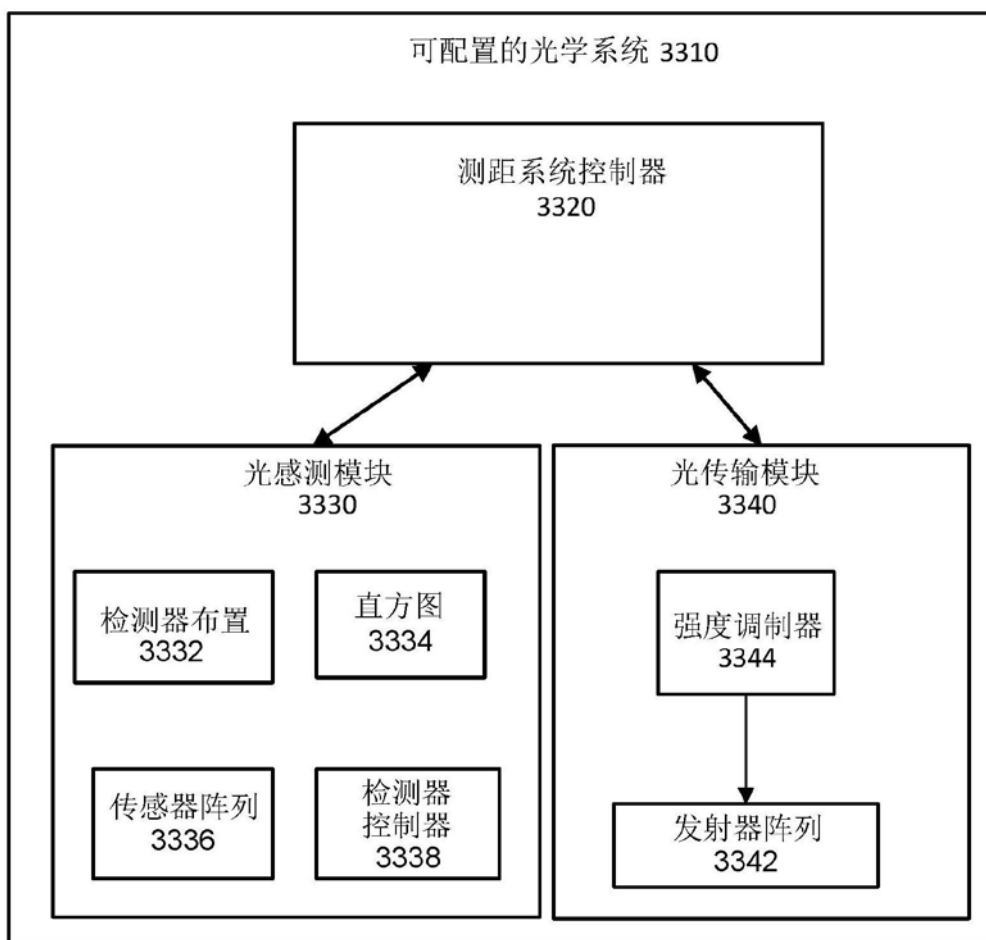


图33

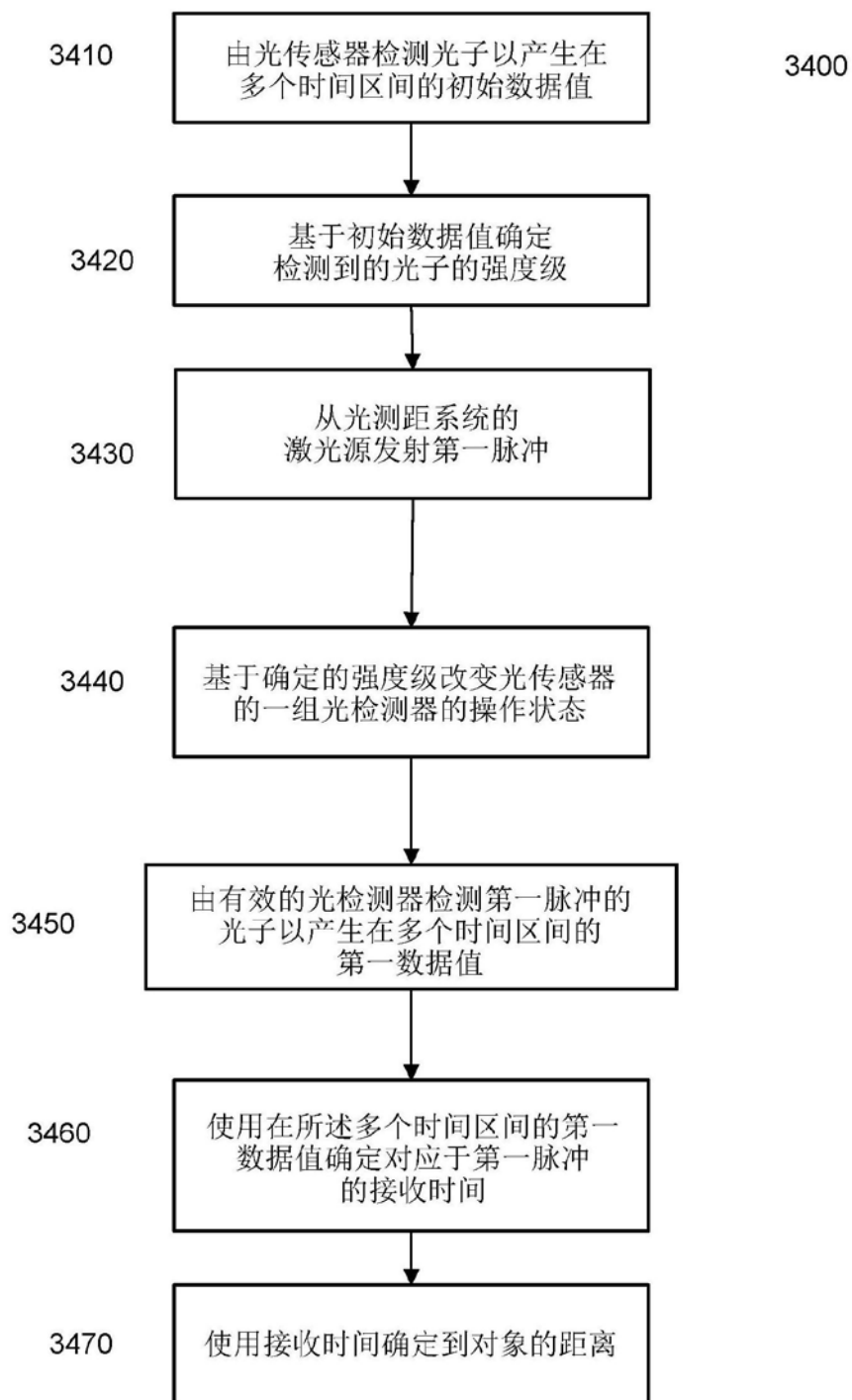


图34

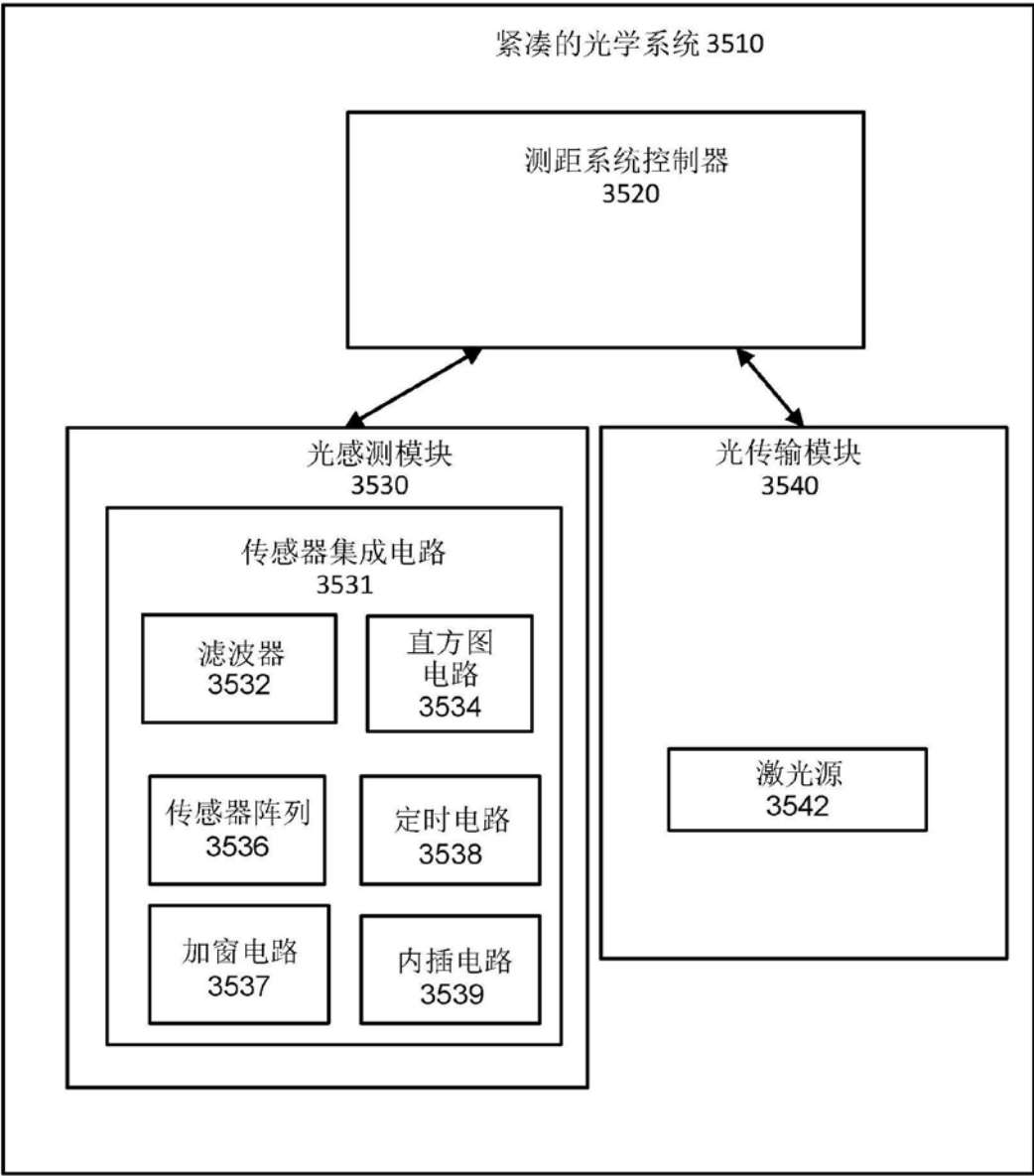


图35