



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111538020 A

(43)申请公布日 2020.08.14

(21)申请号 202010034995.9

G01S 7/486(2020.01)

(22)申请日 2020.01.09

(30)优先权数据

16/253,083 2019.01.21 US

(71)申请人 恩智浦有限公司

地址 荷兰埃因霍温高科技园区60邮编:  
5656AG

(72)发明人 马克西姆·库列什

马克·施泰格曼

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 倪斌

(51)Int.Cl.

G01S 17/08(2006.01)

G01S 17/93(2020.01)

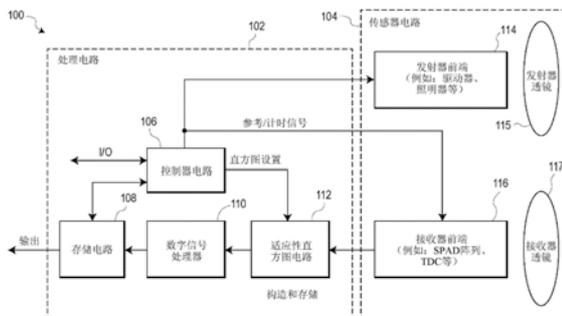
权利要求书2页 说明书16页 附图13页

(54)发明名称

含对应于适应性柱条宽度的子区的基于直方图的信号检测

(57)摘要

各种示例实施例涉及设备和方法,包括具有传感器电路和处理电路的设备。在一个例子中,传感器电路产生和感测对应于物理对象的检测到的信号,所述物理对象相对于所述传感器电路的位置位于可操作区中。所述处理电路在多个子直方图中记录和与组织与所述检测到的信号相关联的信息,所述多个子直方图分别与用于所述可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,所述多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,其特征在于与所述直方图柱条集合的精确度量度相关的柱条宽度,并且所述处理电路优化所述精确度量度中的至少一个,方法是响应于所述检测到的信号而动态地调适所述库宽度中的一个或多个。



1. 一种设备,其特征在于,包括:

传感器电路,其被配置并且布置成产生和感测对应于物理对象的检测到的信号,所述物理对象相对于所述传感器电路的位置位于可操作区中;以及

处理电路,其被配置并且布置成:

在多个子直方图中记录和组织与所述检测到的信号相关联的信息,所述多个子直方图分别与用于所述可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,所述多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,其特征在于与所述直方图柱条集合的精确度量度相关的柱条宽度;以及

通过响应于所述检测到的信号动态地调适所述柱条宽度中的一个或多个来优化所述不同的精确度量度中的至少一个。

2. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述至少一个精确度量度指示检测可靠性,并且其中所述传感器电路被配置并且布置成通过感测光信号来测量飞行时间,并且所述处理电路被配置并且布置成使用具有所述柱条宽度中的经调适的一个或多个的所述多个子直方图同时确定两个或多于两个物理对象距离所述传感器电路的距离。

3. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述至少一个精确度量度指示分辨率的水平,并且其中所述多个子直方图包括对应于所述可操作区的两个不同子区的至少两个子直方图。

4. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,另外包括汽车,所述传感器电路和所述处理电路紧固到所述汽车,并且其中在所述汽车的移动期间,所述传感器电路另外被配置并且布置成动态地产生所述检测到的信号,并且作为响应,所述处理电路另外被配置并且布置成通过调适所述多个子直方图中的至少一个的所述柱条宽度,动态地优化用于所述多个子直方图中的至少一个的所述至少一个精确度量度。

5. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述多个子直方图对应于所述可操作区的不同子区,其中所述不同子区中的每一个至少临时覆盖通过所述传感器电路与所述物理对象中的一个或多个之间的距离指示的不同范围。

6. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述处理电路另外被配置并且布置成响应于指示所述物理对象中的近端物理对象的存在以及所述物理对象中的远端物理对象的存在所述检测到的信号优化所述至少一个精确度量度,通过:

调节用于所述多个子直方图中的第一个的第一柱条宽度以用于优化或改进与所述物理对象中的所述近端物理对象相关联的分辨率;以及

调节对应于所述多个子直方图中的第二个的第二柱条宽度以用于优化或改进与所述物理对象中的所述远端物理对象相关联的检测可靠性。

7. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述处理电路另外被配置并且布置成依据在光学地接收到的信号中感测到的功率的指示以及在所述传感器电路与所述物理对象中的一个或多个之间的距离的指示中的至少一个来优化所述至少一个精确度量度。

8. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述处理电路另外被配置并且布置成依据在光学地接收到的信号中感测到的功率或距离的指示中的至少一个来优化所述至少一个精确度量度,方法是改变用于粗糙检测的所述多个不同子直方图中的一个的所述柱条宽度中的一个以优化或改进所述物理对象中的一个或多个远端物理对象的检测可靠性,并且改

变用于精细检测的所述多个子直方图中的另一个的所述柱条宽度中的另一个以就检测所述物理对象中的一个或多个近端物理对象而言优化或改进分辨率。

9. 根据权利要求1所述的设备,其特征在于,所述处理电路另外被配置并且布置成根据所述检测到的信号的信噪比(SNR)促进检测可靠性,以便处理所述检测到的信号的峰值检测,其中所述柱条宽度中的至少一个作为迭代步骤加以调节以改进所述峰值检测。

10. 一种用于感测位于可操作区中的物理对象的方法,其特征在于,所述方法包括:

使用传感器电路来感测和产生对应于物理对象的检测到的信号,所述物理对象相对于所述传感器电路的位置位于所述可操作区中;以及

使用响应于所述检测到的信号而操作的处理电路以:

在多个子直方图中记录和组织与所述检测到的信号相关联的信息,所述多个子直方图分别与用于所述可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,所述多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,其特征在于与子直方图的精确度量度相关的柱条宽度;以及

优化所述不同的精确度量度中的至少一个,方法是响应于所述检测到的信号而动态地调适所述柱条宽度中的一个或多个。

## 含对应于适应性柱条宽度的子区的基于直方图的信号检测

### 技术领域

[0001] 各种实施例的方面涉及具有对应于适应性柱条宽度的子区的基于直方图的信号检测。

### 背景技术

[0002] 对于许多应用,可以是有益的是检测光子接收并且产生关于在给定计时窗口内的光子到达时间的数据,例如,对于飞行时间应用。举例来说,利用光检测与测距(Light Detection and Ranging,LIDAR)的传感器系统越来越多地部署在车辆中以实施例如安全和/或自动驾驶特征。典型的LIDAR系统包括照明器(例如,光源)和检测器。举例来说,照明器可以是发射具有特定操作波长的光的激光器。照明器朝向目标发射光,目标随后散射光。散射的光中的一些在检测器处接收回来。系统基于与返回的光相关联的一个或多个特性确定到目标的距离。举例来说,系统可基于返回的光脉冲的飞行时间确定到目标的距离。

[0003] 由于LIDAR的高范围和角度分辨率,LIDAR在自动车辆中起到重要的作用。单光子雪崩光电二极管(Single-Photon Avalanche Photodiode,SPAD),有时也被称作盖革模式雪崩二极管(Geiger-Mode Avalanche Photodiode),是用于自动LIDAR的有前景的接收器技术中的一个,这归功于其独特的性质,包括低至单个光子的高灵敏度、高时间分辨率和低成本以及通过平面装置结构(例如,CMOS SPAD)启用的高阵列分辨率。通过将装置偏置的高于崩溃电压,甚至单个释放的电荷载流子(例如,电子或“空穴”)可以引起自身维持的雪崩。电荷载流子的释放可以由于入射光子(例如,信号或噪声)的吸收,可以是热诱发的释放(已知为“暗计数”),或来自先前雪崩的捕获的电荷载流子的释放(已知为“剩余脉冲”)。应注意雪崩触发可以在本文中被视作事件。在事件之后,SPAD装置可以猝灭关闭(例如,偏压电压可以降低到低于崩溃电压进入到线性操作模式中),以避免装置的永久性损坏。

[0004] SPAD具有在用于短程和低噪声环境应用的时间相关单个光子计数(time correlated single photon counting,TCSPC)配置中的飞行时间的证实的记录,短程和低噪声环境应用例如荧光寿命显微镜。在此类配置中,SPAD阵列可包括由以下项组成的计时电路:例如,时间-数字转换器(Time-to-Digital Converter,TDC),或时间-模拟转换器(Time-to-Analog Converter,TAC),之后是模/数转换器,这些转换器一起测量参考信号(例如,激光脉冲)与由雪崩所引起的SPAD输出信号之间的时间。对应的飞行时间记录可以存储在例如寄存器或锁存器中以用于后续读出。在此类配置中,较早光子“阻断”后续光子,并且尚未记录飞行时间且SPAD是激活的概率可以随着时间以指数方式下降。

[0005] 为了缓解单光子操作模式的作用(例如,通过先前噪声的信号的阻断、非均一光子检测概率等),单个获取循环可以由多个测量组成并且信号可以经由统计方法识别,例如,通过飞行时间记录直方图的构造以及另外的信号处理。

[0006] 对于多种应用,这些和其它事项给信号检测方法的效率造成难题。

## 发明内容

[0007] 各种示例实施例涉及例如上文阐述的那些等等的问题,通过关于在具有适应性柱条宽度的多个子直方图中记录和组织与检测到的信号相关联的信息的以下公开内容这些问题将可以变得显而易见。

[0008] 在某些示例实施例中,本发明的方面涉及同时识别两个或多于两个物理对象距离传感器电路的距离,方法是产生和感测对应于位于可操作区中的物理对象的检测到的信号,并且在多个子直方图中组织与检测到的信号相关联的信息,这些子直方图对应于可操作区的子区并且具有适应性柱条宽度。

[0009] 在更具体的示例实施例中,设备包括传感器电路和处理电路。传感器电路产生和感测对应于物理对象的检测到的信号,这些物理对象相对于传感器电路的位置位于可操作区中。传感器电路可包括单光子雪崩光电二极管 (SPAD) 阵列电路,该 SPAD 阵列电路感测光信号,并且作为响应,产生检测到的信号。如本文中另外描述,传感器电路可以通过感测(所反射的)光信号来测量飞行时间。处理电路可以在多个子直方图中记录和组织与检测到的信号相关联的信息,这些子直方图分别与用于可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,并且优化精确度量度中的至少一个,方法是响应于检测到的信号而动态地调适柱条宽度中的一个或多个。多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,该直方图柱条集合的特征在于与其精确度量度相关的柱条宽度。在各种具体实施例中,具有经调适的一个或多个柱条宽度的多个子直方图可用于同时确定两个或多于两个物理对象距离传感器电路的距离。

[0010] 精确度量度可以指示检测可靠性和/或分辨率的水平。举例来说,多个子直方图对应于可操作区的不同子区,其中不同子区中的每一个至少临时覆盖通过传感器电路与物理对象中的一个或多个之间的(可能的)距离指示的不同范围。多个子直方图可包括对应于可操作区的两个不同子区的至少两个子直方图和/或两个或多于两个子直方图中的每一个具有与其它子直方图相比不同的柱条宽度,并且其中响应于至少部分的检测到的信号而动态地调适不同柱条宽度中的至少一个,然而实施例并不限于此。在更具体的实施例中,多个直方图柱条中的每一个具有小于所发射的光脉冲宽度的一半的柱条宽度。

[0011] 处理电路可以依据在光学地接收到的信号中感测到的功率的指示以及在传感器电路与物理对象中的一个或多个之间的距离的指示中的至少一个来优化至少一个精确度量度。作为具体例子,处理电路依据在光学地接收到的信号中感测到的功率或距离的指示中的至少一个来优化至少一个精确度量度,方法是改变用于较粗糙检测的多个不同子直方图中的一个的柱条宽度中的一个以优化或改进物理对象中的一个或多个远端物理对象的检测可靠性,并且方法是改变用于较精细检测的多个子直方图中的另一个的柱条宽度中的另一个以就检测物理对象中的一个或多个近端物理对象而言优化或改进分辨率。根据各种实施例,单个子直方图内部的柱条宽度对于相应的子直方图的所有柱条是相等的(例如,相同的),并且不同子直方图的柱条宽度是独立的,并且在数个实施例中是独特的。用于单个直方图的柱条宽度可以随着时间推移改变和/或调节,例如,逐帧改变和/或调节。作为另一具体例子,处理电路响应于指示物理对象中的近端物理对象的存在和物理对象中的远端物理对象的存在检测到的信号优化精确度量度,方法是调节用于多个子直方图中的第一个的第一柱条宽度以用于优化或改进与物理对象中的近端物理对象相关联的分辨率,并且调

节对应于多个子直方图中的第二个的第二柱条宽度以用于优化或改进与物理对象中的远端物理对象相关联的检测可靠性。

[0012] 在多个具体实施例中,处理电路提供用于在多个直方图柱条中的每一个中的检测到的信号的功率的指示,并且优化精确度量度,方法是基于指示柱条宽度与检测到的信号功率之间的对应性的经验数据来调节柱条宽度。处理电路可以根据检测到的信号的信噪比(Signal-to-Noise Ratio,SNR)促进检测可靠性,以便处理检测到的信号的峰值检测,其中柱条宽度中的至少一个作为迭代步骤加以调节以改进峰值检测。另外,处理电路可以依据指示柱条宽度与检测到的信号功率之间的对应性的经验数据至少临时产生多个子直方图(例如,直方图柱条集合),经验数据是从与处理电路集成的存储电路提供的和/或是从通信信道接收的,该通信信道是从外部电路提供的。

[0013] 在各种实施例中,传感器电路和处理电路同时并且实时操作,其中传感器电路产生检测到的信号,同时处理电路构建用于多个子直方图的信息。举例来说,传感器电路可以在自动或半自动的驾驶(或飞行)模式中操作,其中检测到的信号是动态地产生的,并且其中多个子直方图的柱条具有动态地改变的信息。在具体实施例中,设备另外包括汽车,传感器电路和处理电路紧固到汽车,并且其中在汽车的移动期间,传感器电路动态地产生检测到的信号,并且作为响应处理电路动态地优化用于多个子直方图中的至少一个的精确度量度,方法是调适其柱条宽度。然而实施例并不限于汽车应用并且可以涉及无人机、机器人应用及类似者。

[0014] 其它具体实施例涉及使用上文所描述的的设备的方法,例如,用于感测位于可操作区中的物理对象的方法。方法包括使用传感器电路来感测和产生对应于物理对象的检测到的信号,这些物理对象相对于传感器电路的位置位于可操作区中。方法另外包括使用响应于检测到的信号而操作的处理电路以在多个子直方图中记录和组织与检测到的信号相关联的信息,这些多个子直方图分别与用于可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,其特征在于与直方图柱条集合的精确度量度相关的柱条宽度,并且优化精确度量度中的至少一个,方法是响应于检测到的信号而动态地调适柱条宽度中的一个或多个。调适柱条宽度中的一个或多个可包括响应于在一个或多个柱条中检测到的信号而动态地调适至少一个子直方图的柱条宽度。另外,在具体实施例中,在两个或多于两个子直方图中组织信息,其中两个或多于两个子直方图中的至少一个具有与两个或多于两个子直方图中的另一个相比不同的柱条宽度。

[0015] 以上论述/概述并不意图描述本发明的每个实施例或每个实施方案。附图和以下详细描述还例示各种实施例。

## 附图说明

[0016] 考虑结合附图的以下详细描述可更全面地理解各种示例实施例,在附图中:

[0017] 图1示出了根据本发明的设备的例子;

[0018] 图2示出了根据本发明的设备的操作的例子,该设备例如,如与图1一致的类型的设备;

[0019] 图3A到3C示出了根据本发明的直方图柱条宽度的例子;

[0020] 图4A到4B示出了根据本发明的信号的示例脉冲形状;

- [0021] 图5示出了根据各种实施例的功率适应性直方图的例子；
- [0022] 图6A到6B示出了根据本发明的使用设备的示例方法；
- [0023] 图7示出了根据各种实施例的具有适应性分柱条的子直方图的具体例子；以及
- [0024] 图8A到8B示出了根据各种实施例的具有范围适应性分柱条的子直方图的示例数据处理。
- [0025] 虽然本文中所论述的各种实施例能够经受修改和替代形式，但在图式中已借助于例子示出了这些实施例的各方面，且将详细描述这些实施例的各方面。然而，应理解并不意图将本发明限制于所描述的特定实施例。相反，意图涵盖落入本发明的范围内的包括权利要求书中限定的各方面的所有修改、等效物和替代方案。此外，贯穿本申请案所使用的术语“例子”仅作为说明且不加以限制。

### 具体实施方式

[0026] 本发明的各方面被认为适用于涉及具有对应于适应性柱条宽度的子区的基于直方图的信号检测的多种不同类型的设备、系统和方法。在某些实施例中，本发明的方面已经示出为当用于记录和组织与在系统中检测到的信号相关联的信息的情境时是有益的，这些系统涉及光检测与测距 (LIDAR) 并且在这些系统中多个子直方图与可操作区的子区相关联或对应于可操作区的子区。在一些实施例中，适应性直方图与适应性柱条宽度一起使用以同时检测两个或多于两个物理对象距离传感器电路的距离。虽然可经过使用示例性情况的非限制性例子的以下论述来理解各个方面，但不必限于此。

[0027] 在以下描述中，阐述各种具体细节以描述本文中所呈现的具体例子。然而，对本领域的技术人员应显而易见的是，可在没有下文给出的所有具体细节的情况下实践一个或多个其它例子和/或这些例子的变化。在其它情况下，未详细地描述众所周知的特征以免混淆本文中的例子的描述。为了便于说明，可在不同图式中使用相同参考标号以指代相同元件或相同元件的额外例子。并且，虽然可在一些情况下在单个附图中描述各方面和特征，但应了解，来自一个附图或实施例的特征可与另一附图或实施例的特征组合，即使该组合并未明确示出或明确描述为组合。

[0028] 下文论述的具体例子中的一些涉及和/或包括涉及光检测与测距 (LIDAR) 的检测的特征，例如，用于汽车或飞行无人机的自动驾驶。单光子雪崩光电二极管 (SPAD)，在单光子 (或盖革模式) 中操作的雪崩二极管，是可用于LIDAR系统的接收器技术，这是由于相关联的性质，包括低至单个光子的高灵敏度、高时间分辨率和通过平面装置结构启用的高阵列分辨率，该平面装置结构例如，互补型金属氧化物半导体 (complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS) SPAD, 该CMOS SPAD表明在时间相关单个光子计数配置中的足够的飞行时间。通过将装置偏置的高于崩溃电压，甚至单个释放的电荷载流子 (例如，电子或“空穴”) 可以引起自身维持的雪崩。电荷载流子的释放可以由于光子 (例如，信号或噪声) 的吸收，可以是热诱发的释放 (已知为“暗计数”)，或来自先前雪崩的捕获的电荷载流子的释放 (已知为“剩余脉冲”)。应注意雪崩触发可以在本文中被视作事件。在事件 (例如，反射信号的检测) 之后，二极管猝灭关闭 (偏置电压降低到低于崩溃) 到线性模式中以避免永久性损坏，并且因此二极管保持在线性模式中达某一时间周期以基本上减小剩余脉动的概率。此时间周期通常被称作失效时间，在此期间没有信号可以被检测到。SPAD像素之后可以是时

间-数字转换器的阵列以用于飞行时间估计。为了缓解单光子操作模式的作用(例如,通过先前噪声的信号的阻断、非均一光子检测概率等),飞行时间测量重复多次并且真实信号是经由单光子检测直方图的构造以统计方式识别的。

[0029] 由于单光子操作模式的作用,强信号可以由窄半极大处全宽度(full-width at half maximum,FWHM)表示,而给定用于SPAD饱和的较长积分时间弱信号可以由较宽FWHM表示。因为在直方图中检测到的信号的形状可能并不表示传入光学信号的真实形状,所以当考虑用于直方图的柱条宽度时平衡和/或折衷可以出现在用于强信号的较高分辨率(例如,高反射性和/或短程)与用于弱信号的较高检测可靠性(例如,低反射性和/或长程)之间。各种实施例涉及使用如通过实时自动应用(除了别的以外,例如,飞行无人机)以及通过并入用于基于SPAD的LIDAR系统的功率适应性分柱条的行业的成本灵敏度规定的有效的/快速的且便宜的电路克服此折衷的技术。功率适应性直方图分柱条技术的原理是将传感器电路的完整可操作区细分成子区,这些子区各自具有其独立的子直方图,这些子直方图各自具有相应的柱条宽度,传感器电路的完整可操作区也可以被称作传感器电路的“操作范围”。柱条宽度适用于在动态环境中在空间上和在时间上两者的信号功率以改进或优化与一个或多个子直方图相关联的精确度量度。所有子直方图以组合的方式使用以在完整可操作区上模拟基于单个频率的直方图。该技术克服了由SPAD的概率性的本质和固有的失效时间引起的强信号与弱信号之间的分辨率检测可靠性折衷。

[0030] 多个实施例涉及用于使用SPAD阵列电路外加上文所描述的功率适应性直方图分柱条技术的LIDAR系统的范围适应性直方图分柱条。在长程应用中,例如,在汽车中,范围反平方功率下降主导着动态范围。举例来说,来自在1米(m)远处的对象的反射到来自在100m远处的对象的反射之间的差异是10000倍。在此情形下,各种实施例涉及补偿范围反平方功率下降的功率适应性直方图分柱条技术的范围适应性应用。根据本发明的有效的电路保留了等宽度直方图的低计算成本以实现平行于数据获取的实时直方图构造。电路确定完整可操作区是如何细分的以及柱条宽度是如何指派的。

[0031] 更具体的实施例涉及包括传感器电路和处理电路的设备,其中传感器电路产生和感测对应于物理对象的检测到的信号,这些物理对象位于相对于传感器电路的位置的可操作区中。在更具体的实施例中,传感器电路包括SPAD阵列电路,该SPAD阵列电路感测光学信号,并且作为响应,产生检测到的信号。举例来说,传感器电路可被配置成通过感测(反射的或返回的)光学信号来测量飞行时间。处理电路在多个子直方图中记录和组织与检测到的信号相关联的信息,这些多个子直方图分别与用于可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,并且优化精确度量度中的至少一个,方法是响应于检测到的信号而动态地调适柱条宽度中的一个或多个。多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,该直方图柱条集合的特征在于与其精确度量度相关的柱条宽度。在各种具体实施例中,具有经调适的柱条宽度中的一个或多个的多个子直方图可用于同时确定两个或多于两个物理对象距离传感器电路的距离。

[0032] 精确度量度指示检测可靠性和/或分辨率的水平。举例来说,可以调节柱条宽度以改进或优化用于子直方图中的一个或多个的检测可靠性和/或分辨率的水平。在具体实施例中,多个子直方图对应于可操作区的不同子区,其中不同子区中的每一个至少临时覆盖通过传感器电路与物理对象中的一个或多个之间的可能的距离指示的不同范围。多个子直

方图包括对应于可操作区的两个不同子区的至少两个子直方图和/或两个或多于两个子直方图中的每一个具有与其它子直方图相比不同的柱条宽度,并且其中响应于至少部分的检测到的信号而动态地调适不同柱条宽度中的至少一个,然而实施例并不限于此。在更具体的实施例中,多个直方图柱条中的每一个具有小于所发射的光脉冲宽度的一半的柱条宽度。

[0033] 处理电路可以依据在光学地接收到的信号中感测到的功率的指示以及在传感器电路与物理对象中的一个或多个之间的距离的指示中的至少一个来优化至少一个精确度量度。作为具体例子,处理电路依据在光学地接收到的信号中感测到的功率或距离的指示中的至少一个来优化至少一个精确度量度,方法是改变用于较粗糙检测的多个不同子直方图的柱条宽度中的一个或多个以优化或改进物理对象中的一个或多个远端物理对象的检测可靠性,并且方法是改变用于较精细检测的多个子直方图中的另一个的柱条宽度中的另一个以就检测物理对象中的一个或多个近端物理对象而言优化或改进分辨率。在各种实施例中,改变多个不同子直方图的柱条宽度的一个(或多个)包括将相应的子直方图的柱条中的每一个的柱条宽度变为相同的(改变的或经修改的)柱条宽度。举例来说,假设直方图具有四个子直方图并且每个子直方图包括十个柱条。将相应的子直方图的十个柱条中的每一个(例如,所有)的柱条宽度变为相同的经修改的柱条宽度。

[0034] 在多个具体实施例中,处理电路提供用于在多个直方图柱条中的每一个中的检测到的信号的功率的指示,并且优化精确度量度中的至少一个,方法是基于指示柱条宽度与检测到的信号功率之间的对应性的经验数据来调节柱条宽度。处理电路可以根据检测到的信号的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)促进检测可靠性,以便处理检测到的信号的峰值检测。柱条宽度中的至少一个可以作为迭代步骤加以调节以改进峰值检测。另外,处理电路可以依据指示柱条宽度与检测到的信号功率之间的对应性的经验数据至少临时地产生多个子直方图。经验数据可以是与处理电路集成的存储电路提供的和/或从通信信道接收的,该通信信道是从外部电路提供的。

[0035] 在各种实施例中,传感器电路和处理电路同时实时操作,其中传感器电路产生检测到的信号,同时处理电路构建用于多个子直方图的信息。举例来说,传感器电路可以在自动或半自动的驾驶模式中操作,其中检测到的信号是动态地产生的,并且其中多个子直方图的柱条具有动态地改变的信息。在具体实施例中,设备另外包括汽车,传感器电路和处理电路紧固到汽车,并且其中在汽车的移动期间,传感器电路动态地产生检测到的信号,并且作为响应处理电路动态地优化用于多个子直方图中的至少一个的精确度量度,方法是调适其柱条宽度。然而实施例并不限于汽车应用并且可包括无人机、机器人等。

[0036] 其它具体实施例涉及使用上文所描述的的设备的方法,例如,用于感测位于可操作区中的物理对象的方法,如本文中另外描述。

[0037] 现转而参考附图,图1示出了根据本发明的设备的例子。设备100包括传感器电路104和处理电路102。

[0038] 作为本发明的一个例子,传感器电路104可以产生和感测对应于物理对象的检测到的信号,这些物理对象位于相对于传感器电路104的位置的可操作区中。在具体实施例中,传感器电路104可包括SPAD阵列电路,该SPAD阵列电路感测光学信号,并且作为响应,产生检测到的信号。SPAD阵列电路可包括SPAD的阵列。举例来说,传感器电路104可以使用发

射器电路(例如,发射器(TX)前端电路114)发射信号,该信号可以是来自在所发射的信号的可操作区内的物理对象反射的。信号从目标对象反射,并且所反射的信号是经由传感器电路104的接收器电路(例如,接收器(RX)前端电路116)检测到的。所产生的信号以及接收到的所反射的信号用于确定信号的飞行时间为发射的和反射的。

[0039] 如可能了解的,SPAD(包括盖革模式雪崩光电二极管)是能够俘获个体光子的具有数量级为几十皮秒的非常高的到达时间分辨率的检测器。SPAD可以是使用已知的SPAD传感器的阵列在专用半导体过程中或在标准CMOS技术中制造的,例如,用于三维(3D)成像相机中。

[0040] 在具体实施例中,传感器电路104包括TX前端电路114和RX前端电路116。如本文中另外描述,TX前端电路114和RX前端电路116用于发送参考信号并且检测来自其中的(所反射的)信号(例如,经由TX透镜115和RX透镜117),这些信号对应于物理对象并且用于估计参考信号和指示物理对象距离传感器电路104的距离的所反射的信号的飞行时间。

[0041] 设备另外包括与传感器电路104通信的处理电路102。处理电路102用于使用检测到的信号产生适应性直方图,并且使用适应性直方图来确定或估计物理对象距离传感器电路104的距离。处理电路102可包括耦合到SPAD阵列电路的处理电路的阵列。适应性直方图包括或指代具有多个子直方图的直方图,其中每个子直方图具有适应性柱条宽度并且多个子直方图的组合俘获操作区。如本文中另外描述,柱条宽度可以是适应性的以依据在接收到的信号中感测到的功率的指示和/或在传感器电路104与物理对象中的一个或多个之间的范围或距离的指示优化一个或多个精确度量度。举例来说,处理电路102在多个子直方图中记录和组织与检测到的信号相关联的信息,这些子直方图分别与用于可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,该直方图柱条集合的特征在于与其精确度量度相关的柱条宽度。处理电路102另外优化精确度量度中的至少一个,方法是响应于检测到的信号而动态地调适柱条宽度中的一个或多个。

[0042] 通过图1示出的具体实施例示出了处理电路102,例如,作为汽车LIDAR系统的一部分。在此类实施例中,处理电路102包括控制器电路106、适应性直方图电路112、数字信号处理器110,以及存储电路(例如,随机存取存储器(RAM))108。控制器电路106对完整系统进行同步和编排。控制器电路106将参考信号或计时信号发送到TX前端电路114和RX前端电路116以同步时间来源用于飞行时间估计。控制器电路106也可以控制直方图参数和/或设置,例如,用于子直方图的柱条宽度设置。TX前端电路114和RX前端电路116可包括多种已知的前端信号接收电路和相关的逻辑以用于涉及控制器电路106的I/O信号的处理。RX前端电路116的输出是在数字格式中的单个检测的飞行时间记录(下文中是时间或数据记录)。在信号的检测之后,直方图是通过新数据记录更新的。适应性直方图电路112可用于产生和存储适应性直方图,该适应性直方图具有带适应性柱条宽度的子直方图。

[0043] 在各种实施例中,设备100另外包括汽车,传感器电路104和处理电路102紧固到该汽车。在汽车的移动期间,传感器电路104动态地产生检测到的信号,并且作为响应,处理电路102动态地优化用于多个子直方图中的至少一个的精确度量度,方法是调适其柱条宽度。如可能了解的,实施例并不限于汽车应用。

[0044] 根据多个实施例,此精确度量度可以指示检测可靠性和/或分辨率的水平。举例来说,传感器电路104可以通过感测光学信号来测量飞行时间,并且处理电路102使用具有柱

条宽度中的经调适的一个或多个的多个子直方图来确定两个或多于两个物理对象距离传感器电路104的距离。在具体实施例中,多个子直方图包括对应于可操作区的两个不同子区的至少两个子直方图。两个或多于两个子直方图中的每一个可以具有与其它子直方图相比不同的柱条宽度,并且不同的柱条宽度中的至少一个是响应于至少部分的检测到的信号而动态地调适的。在各种具体实施例中,多个直方图柱条中的每一个具有小于所发射的光脉冲宽度的一半的柱条宽度。

[0045] 根据各种实施例,柱条宽度是基于检测到的信号的功率调节的。如上文所描述,柱条宽度可以适用于优化直方图的精确度测量。精确度量度可以指示子直方图的检测可靠性和/或分辨率的水平。此适应性柱条宽度技术可包括相对于范围的变量柱条宽度,该柱条宽度用于优化分辨率和检测可靠性。通过基于检测到的信号的功率调适柱条宽度,对于直方图的完整操作区弱信号可以具有较高检测可靠性而强信号可以具有较高分辨率。举例来说,窄柱条与强信号相关联,例如,接近的目标和/或高反射性,以达到较高分辨率,并且较宽的柱条与弱信号相关联,例如,远距离的目标和/或低反射性,以确保较高检测可靠性。柱条宽度也可以在时间上改变,例如,具有获取循环,调适成用于动态环境。

[0046] 如本文中另外示出的,例如,通过图5,处理电路102(经由适应性直方图电路112)可以将完整可操作区划分成子区,这些子区各自具有其对应的子直方图。每个子区可以适用于信号功率,方法是独立于其它子区改变相应的柱条宽度。举例来说,可操作区被细分成四个子区,这四个子区各自具有其对应的子直方图,分别具有1、1、2、8x最低有效位(least significant bit, LSB)(x倍)的柱条宽度,其中LSB是飞行时间记录的最低有效位。每个子直方图可以被认为是独立的等宽度直方图,具有其维护的简易性以及在没有部分或完整重构的情况下实时更新的能力。然而,所有组合的子直方图模拟基于频率的直方图的作用,例如,等深度,因为用于每个子直方图的柱条宽度被调节到信号功率和/或可以在时间上改变,具有获取循环。多个子直方图对应于可操作区的不同子区,其中不同子区中的每一个至少临时覆盖通过传感器电路104与物理对象中的一个或多个之间的(可能的)距离指示的不同范围。

[0047] 更具体地说,处理电路102可以依据在光学地接收到的信号中感测到的功率或距离的指示中的至少一个优化一个或多个精确度量度,方法是改变用于较粗糙检测的多个不同子直方图中的一个的柱条宽度中的一个以优化或改进物理对象中的一个或多个远端物理对象的检测可靠性,并且方法是改变用于较精细检测的多个子直方图中的另一个的柱条宽度中的另一个以就检测物理对象中的一个或多个近端物理对象而言优化或改进分辨率。处理电路102可以根据所产生的信号的SNR促进检测可靠性,以便处理所产生的信号的峰值检测。

[0048] 在其它相关实施例中,此类精确度量度可以另外地和/或替代地基于传感器电路104与一个或多个物理对象(例如,可操作区的子区)之间的范围或距离优化。处理电路102可以依据在光学地接收到的信号中感测到的功率的指示以及在传感器电路与物理对象中的一个或多个之间的距离的指示中的至少一个来优化精确度量度。

[0049] 处理电路102可以依据指示柱条宽度与检测到的信号功率之间的对应性的经验数据至少临时地产生多个子直方图。经验数据可以从与处理电路102集成的存储电路108提供。在其它实施例中或/或另外,经验数据可以从通信信道接收,该通信信道从外部电路提

供。举例来说,经验数据可以来自外部系统(例如,外部导航系统)或来自与设备100相关联的另一电路,例如具有基于分析的预编程表的汽车的内部导航系统(例如,驾驶员的习惯和/或环境的分析)。

[0050] 传感器电路104和处理电路102可以同时实时操作。举例来说,传感器电路104产生检测到的信号,同时处理电路构建用于多个子直方图的信息。在具体实施例中,传感器电路104在自动或半自动的驾驶模式中操作,其中检测到的信号是动态地产生的,并且其中多个子直方图的柱条具有动态地改变的信息。

[0051] 图2示出了根据本发明的设备的操作的例子,该设备例如,如结合图1的类型的设备。通过图2示出的具体实施例可包括通过图1示出的如在汽车、机器人、无人机或关于物理对象的检测的其它应用中使用的设备100。如先前描述,物理对象可以是使用飞行时间技术检测到的,方法是经由TX前端电路发射信号并且响应于此经由RX后端电路接收所反射的信号。范围(例如,距离) $r$ 是基于飞行时间( $t_1-t_0$ )计算的。加时戳可以经由边缘或峰值,分别使用取阈值和时间-数字转换器(TDC)或模/数转换器(ADC)以及处理(例如,其中TDC和ADC是高速电路)。

[0052] 图2示出了也根据操作的本发明的另一例子特定的基于电路的方式,该方式与上文结合图1所论述的方面一致。如所示出,图2中所示的方式涉及汽车219及其电路,该电路包括光学信号产生电路221和光学信号处理电路225,这些电路形成传感器电路,例如,由图1示出的传感器电路104。光学信号产生电路221产生光辐射,当光辐射从物理对象(例如,树、建筑物、汽车)反射出来时通过光学信号处理电路225检测到。额外电路被配置成处理从光学信号产生电路221和光学信号处理电路225输出的信号。在各种实施例中,通过图1和2示出(以及通过图8A另外示出)的传感器电路形成LiDAR系统。

[0053] 光学信号产生电路221包括形成发射器路径(也被称作发射路径)的发射器驱动器224、计时引擎230和发射器照明器220。通过发射器照明器220的光辐射的发射受到发射器驱动器224和计时引擎230的控制。发射器照明器220构成照明器(例如,激光器或以其它方式)。示例照明器包括发光二极管、边缘发射激光器、垂直腔表面发射激光器,以及它们的已知的阵列。通过发射器照明器220发射的光辐射行进直至它被物理对象(例如,树、建筑物、其它机动车辆)反射。所反射的光辐射通过光学信号处理电路225感测到/接收到,此时确定所发射的光辐射的飞行时间。

[0054] 光学信号处理电路225包括单光子雪崩二极管(SPAD)阵列222和阈值(水平检测)电路228(以及猝灭电路227)。SPAD阵列222被配置成检测所反射的光辐射。一旦通过SPAD阵列222检测到,则光辐射被阈值化(例如,与通过阈值电路228的静态点相比),之后光辐射被传递到额外电路以用于另外的处理。LIDAR系统的传感器电路可另外包括透镜和带通滤波器,该透镜和带通滤波器可以相对于SPAD阵列222位于LIDAR系统中。

[0055] 应注意在一些实施例中,发射器路径可包括微机械系统(micro-electro-mechanical system, MEMS)扫描仪和MEMS驱动器以用于激光束的二维(2D)转向或激光束或行式激光器的阵列的一维(1D)转向。在其它实施例中,发射器或发射器路径可包括光学相位阵列和驱动器以用于扫描激光束。

[0056] 在另外其它实施例中,发射器或发射器路径可包括VCSEL(vertical cavity surface emitting laser,垂直腔表面发射激光器)阵列。

[0057] 在仍其它实施例中,发射器或发射器路径可包括透镜系统以用于将波束传播到完整视场(例如,闪光灯)中或用于激光束准直。因此可以了解多个不同的配置可以实施用于发射器或发射器路径。关键是所公开的发射器可以从多种不同类型的装置和元件中配置。

[0058] 被配置成处理从光学信号产生电路221和光学信号处理电路225输出的至少一个信号的额外电路包括时间-数字转换器(TDC)232、直方图化电路(例如,块/IC)234和信号处理电路236。TDC 232被配置成从光学信号处理电路225接收检测到的所反射的光辐射(其指示单个光子的入射的时间),如通过组成SPAD阵列222检测到的。入射的时间用于经由直方图化电路234在光学信号处理电路225的相应的入射光子的存储器中递增计数并且用于经由信号处理电路236的信号处理。

[0059] 在事件(例如,反射信号的检测)之后,计时电路(例如,在图2的实施例中示出的TDC 232)输出事件与参考/信号之间的时间差,该时间差被称作测量的飞行时间记录,该记录可以写入在飞行时间记录寄存器或锁存器中。来自飞行时间寄存器或锁存器的记录可以被读出并且被传递到直方图块以用于随后的直方图产生和存储。虽然计时电路(例如,TDC 232)通过图2示出为与光学信号处理电路225分开,但是在各种实施例中,计时电路可以形成光学信号处理电路225的部分。

[0060] 应注意在替代实施例中,计时电路可以集成在像素中,或经由列/行解码、多路复用等的构件跨越列、行或其它区段共享。计时电路可以在正向模式和反向模式两者中操作。正向模式可以暗示参考信号作为开始信号并且SPAD检测作为结束信号的服务,且在反向模式中反之亦然。

[0061] 数字信号处理器(例如,信号处理电路236)可以对用于信号检测(例如,CFAR或“恒定虚警率(Constant False Alarm Rate)”检测算法)且用于将检测到的信号写入到RAM的算法的执行负责。从独特的反射中产生的最终点云可以从RAM中检索。通过数字信号处理器的处理可延伸超出信号检测,包括但不限于:随后点云滤波、分段、对象分类,以及状态估计。

[0062] 例如图1中所描绘的存储电路可被配置成存储相应的计数的光子,这些光子到达在可操作区内的多个不同的时间柱条,这些时间柱条具有用于不同子区的柱条宽度,这些柱条宽度通过直方图化电路234调适以优化一个或多个子直方图的精确度量度。在获取测量值时,与光学信号处理电路225相关联的存储器存储相应的计数的光子,这些光子到达具有不同宽度的多个不同的时间柱条中的处理电路,这些宽度跨越发射器驱动器224和计时引擎230针对此光学信号处理电路225设置的检测窗口。控制器可以处理用于感测电路的不同的柱条上的相应的计数的直方图,以便导出和输出用于光学信号处理电路225的相应的到达时间值。

[0063] 如可能了解的,实施例并不限于TDC的使用并且可包括具有模/数转换器(ADC)的设备。举例来说,检测到的所反射的光辐射经由相关双取样(correlated double sampling,CDS)电路被提供到ADC,该电路从光学信号处理电路225接收检测到的信号并且输出经取样的信号,该信号的电压与光子到ADC的检测到的到达时间成正比。对于关于估计飞行时间的一般和具体信息以及关于TDC或ADC的使用的具体信息,参考2015年3月10日递交的标题为“用于响应于光子检测产生直接计时直方图数据的电路(Circuit for generating direct timing histogram data in response to photon detection)”的第

9,502,458号美国专利,以及2015年8月20日递交的标题为“具有门控直方图构造的SPAD阵列(SPAD array with gated histogram construction)”的第14/830,760号美国公开案。

[0064] 图3A到3C示出了根据本发明的直方图柱条宽度的例子。图3A到3C示出了具有用于相同数据的不同柱条宽度的三个等宽度直方图,其中每个直方图表示完整可操作区。假设333ps的TDC分辨率(例如,LSB对应于333ps)。如通过图3A所示出,在具有1xLSB的柱条宽度(例如,柱条宽度1xLSB/0.33ns并且具有2048个柱条)的直方图中,来自在17m处的物理对象的强信号具有独特的峰值,如通过309所示出,然而,来自在81m处的另一物理对象的较弱信号是不可分辨的,如通过311所示出。如通过图3B所示出,在具有8xLSB的柱条宽度(例如,柱条宽度8xLSB/2.67ns并且具有256个柱条)的直方图中,在17m处和在81m处的两个峰值都是可分辨的,如通过313和315分别示出。8xLSB柱条宽度的可能的缺点(取决于应用和具体实施例)是范围分辨率的损失,40cm对5cm。取决于使用情况,40cm范围分辨率对于在81m处的其它物理对象(例如,如通过315所示出)可以是足够的,但是对于在17m处的物理对象(例如,如通过313所示出)不是足够的。图3C(其中柱条宽度被设置成64xLSB(例如,柱条宽度64xLSB/21.33ns并且具有32个柱条))展示在另一极端下的不同副作用:如果柱条宽度被设置的过宽,那么弱信号与噪声一起被淘汰,如通过319(例如,在81m处的峰值)与317(例如,在17m处的峰值)相比所示出。

[0065] 用于强信号的分辨率与用于弱信号的检测可靠性之间的折衷是信号功率以及所得的相应的累积光子分布。由于SPAD阵列电路的阻断本质,例如,较早光子阻断稍后的光子,这是由于装置猝灭和随后的失效时间,与预期的相比不同的信号形状可存在于所得直方图中。强信号几乎瞬时地使SPAD阵列电路饱和,而弱信号需要较长积分时间用于使SPAD阵列电路变为饱和的。

[0066] 图4A到4B示出了根据本发明的信号的示例脉冲形状。更具体地说,图4A和4B分别示出了具有用于在17m和81m处的目标反射的较高数量的测量值的精细分辨率(10ps)直方图。原始信号是具有0.5纳秒(ns)的半极大处全宽度(FWHM)以及0.5ns的上升时间和下降时间的矩形脉冲。在17m处的目标反射的FWHM是约0.7ns并且在81m处的目标反射的FWHM是约5.0ns,例如,后者对应于原始矩形脉冲信号的FWHM。一般来说,FWHM的一半的柱条宽度可以是最佳的,因为它确保至少一个柱条完全地包括在检测到的信号的FWHM中,例如,最大化柱条的SNR。因此,用于相应的物理对象的最佳柱条宽度也是不同的,对于在17m处的物理对象具有0.35ns或近似地1xLSB(回忆在上文所描述的例子中在LSB中等于333ps),并且对于在81m处的另一物理对象具有2.5ns或近似地8xLSB。

[0067] 图5示出了根据各种实施例的功率适应性直方图的例子。如先前描述,完整可操作区被划分成子区,这些子区各自具有其独立的子直方图,这些子直方图具有基于信号功率调适的柱条宽度。因为柱条宽度是相对于具有获取循环的信号强度调节的,所以技术模拟基于频率的直方图的质量用于实时应用,同时保留等宽度直方图的低维护。通过图5示出的具体直方图具有四个子直方图501、503、505、507,这些子直方图分别具有在来自图3A到3C的数据上的1、1、2和8LSB的柱条宽度。因此,子直方图0(例如,被识别为501)含有512个柱条,子直方图1(例如,被识别为503)含有512个柱条,子直方图2(例如,被识别为505)含有256个柱条,并且子直方图3(例如,被识别为507)含有64个柱条。然而如可能了解的,实施例不限于具有四个子直方图的直方图并且可包括大于或小于四个子直方图。在此例子中,来

自在17m处的物理对象的反射(例如,如通过509示出)属于具有1xLSB的柱条宽度的子直方图0,并且来自在81m处的另一物理对象的反射(例如,如通过511示出)属于具有8xLSB的柱条宽度的子直方图3。

[0068] 在此例子中,来自在17m处的物理对象的反射信号与来自在81m处的其它物理对象的反射信号相比更强,与范围的反平方成比例。然而,值得注意的是来自较接近物理对象的信号未必与来自较远物理对象的信号相比更强。举例来说,在50m的距离处具有0.8或80%的反射性的对象与在30m的距离处具有0.1或10%的反射性的对象相比可以在接收器处引起较强的反射信号。因此,含有50m的子区与含有30m范围的子区相比可以具有较小的柱条宽度。并且,应注意虽然对于硬质目标(如在上文提供的例子中),反射信号的FWHM受到原始发射信号的FWHM限制,但是对于例如水滴或玻璃的所谓的柔软目标可能并不如此。

[0069] 上文所描述和示出的适应性直方图是功率适应性直方图分割的例子。然而,实施例并不限于此,并且可以基于给定所反射的信号的数量、它们的强度、存储器限制等的最佳内容执行完整操作区的各种分割。较精细子区(例如,完整区被划分成较高数量的子区)可以引起更好的结果,但是可能伴随有额外的处理和存储器成本。在每个获取循环(参见图6A)之后,例如,当完成最终直方图时,分析直方图并且设置用于下一个获取循环的最佳直方图设置,例如:子区的数量、子区的边界,以及用于每个子区的柱条宽度。

[0070] 图6A到6B示出了根据本发明的使用设备的示例方法。此类方法可用于同时检测在可操作区内、在操作区的不同子区处的多于一个物理对象。

[0071] 更具体地说,图6A是用于功率适应性直方图分柱条的例子。过程640包括在642,对于第一获取循环(例如,具有通过639示出的获取循环),通过默认参数设置直方图:子直方图的数量、柱条宽度;分配用于子直方图的存储器并且用零初始化存储器。在644, TX前端电路和RX前端电路发射信号并且测量检测(噪声或返回信号)的飞行时间。在646,识别飞行时间记录645(在下文中,时间或数据记录)所属于的子直方图,并且在648,通过递增对应的柱条来更新相应的子直方图。在641,测量重复多次,并且在650,完成最终直方图649。在647,处理直方图,并且在643,分析直方图用于下一个获取循环的最佳直方图设置。

[0072] 图6B示出了根据各种实施例使用适应性分柱条操作的LIDAR系统的信号流动过程的例子。如先前描述,过程651可用于感测位于可操作区中的物理对象。

[0073] 过程651包括在653,通过传感器电路(例如, TX前端电路)发射信号。更具体地说,在653,可以发射激光信号。之后,如在655处所描绘,信号可以从位于所发射的激光信号的路径中的目标反射。随后,在反射光的检测之后,如在657处所指示,飞行时间可以记录在飞行时间记录中,如在659处所示出。测量可以重复多次,如通过箭头654所指示,并且统计方法可用于识别实际飞行时间并且因此,到目标的范围,如在661处所描绘。也就是说,到目标的距离可以经由统计方法估计,如在661处所指示。

[0074] 组合来自完整接收器阵列的单个时间帧内的独特的目标反射,步骤或操作可以如之后在663示出的来实施,其中在668,可产生环境的2D/3D点云。在各种替代实施例中, LIDAR系统的处理可延伸超出2D/3D点云产生并且可包括点云的另外滤波(例如,卡尔曼滤波器)、分段、对象分类和状态估计。

[0075] 应注意,如本文中所示,术语点云可以涉及空间中的数据点的集合。点云可用于测量在表面上的大量的点和此类表面周围的对象的大量的点。点云也可以涉及经组织的点云

地图,该地图通过将3D数据编索引到LIDAR特定的2D坐标系获取或反之亦然。

[0076] 设备和/或过程可用于执行多种额外方法。示例方法包括使用传感器电路来感测和产生对应于物理对象的检测到的信号,这些物理对象相对于传感器电路的位置位于可操作区中。方法另外包括使用响应于检测到的信号而操作的处理电路,以在多个子直方图中记录和组织与检测到的信号相关联的信息,这些多个子直方图分别与用于可操作区的对应子区的不同的精确度量度相关联,多个子直方图中的每一个包括直方图柱条集合,其特征在于与直方图柱条集合的精确度量度相关的柱条宽度,并且以优化精确度量度中的至少一个,方法是响应于检测到的信号而动态地调适柱条宽度中的一个或多个。如先前描述,调适柱条宽度中的一个或多个可包括响应于在一个或多个柱条中检测到的信号而动态地调适子直方图中的至少一个的柱条宽度。另外,信息可以组织在两个或多于两个子直方图中,其中两个或多于两个子直方图中的至少一个具有与两个或多于两个子直方图中的另一个相比不同的柱条宽度。在一些实施例中,信息可以组织在三个或大于三个子直方图中,例如,在四个子直方图中。

[0077] 图7示出了根据各种实施例的具有适应性分柱条的子直方图的具体例子。更具体地说,图7示出了在来自图3A到3B的数据上的例子范围适应性直方图775,其中完整可操作区被划分成子区,这些子区各自具有其独立的子直方图,该子直方图具有适用于可操作区的范围的柱条宽度。通过图7示出的具体直方图具有四个子直方图777、779、781、783,这些子直方图分别具有1、2、4和8 LSB的柱条宽度。因此,子直方图0(例如,被识别为777)含有512个柱条,子直方图1(例如,被识别为779)含有256个柱条,子直方图2(例如,被识别为781)含有128个柱条,并且子直方图3(例如,被识别为783)含有64个柱条。在此例子中,存在用于接近的目标的高范围分辨率,如通过785所示出,以及用于远离的目标的较高灵敏度,如通过787所示出。此类实施例涉及补偿范围反平方功率下降的有效的(快速的且便宜的)架构,例如,在本文中另外描述且通过图8A到8B示出的那些。架构可用于有效地将完整可操作范围分割到子直方图中,调节每个子直方图的柱条宽度或柱条分辨率等。

[0078] 图8A到8B示出了根据各种实施例的具有范围适应性分柱条的子直方图的数据处理的例子。如先前描述,实施例并不限于基于检测到的所反射的信号功率调适柱条宽度。在各种实施例中,除了基于信号功率调适柱条宽度之外,柱条宽度可以适用于补偿范围反平方下降,其有时在本文中也被称作补偿范围反平方功率下降的功率适应性直方图分柱条技术的范围适应性直方图或范围适应性应用。此类范围适应性应用可以是在计算上和存储器方面比较便宜的并且很好地补偿了范围反平方功率下降。

[0079] 图8A示出了根据各种实施例的示例范围适应性直方图电路。在各种实施例中,范围适应性直方图电路可包括通过图1示出的处理电路102的部分。在例子中,所有子直方图的柱条写入在一个单个阵列中,例如,位于存储器中。因此,在下文中,术语本地柱条索引是指或包括在阵列的对应的子直方图的部分内部的时间记录的柱条索引,并且术语全局柱条索引是指或包括在完整阵列内部的时间记录的柱条索引。范围适应性直方图电路包括块以执行检索对应的子直方图的第一柱条全局索引867、移位寄存器860、存储电路(例如,直方图RAM 868)、加法器863,以及例如通过图8A示出的那些的其它电路组件的操作(例如, `hist.[indi]++866`)。

[0080] 因为直方图构造是不可向量化的任务且无法通过数字信号处理器有效地处理,所

以可以有益的是具有配备有快速且同时便宜的方式的技术,该技术使得实时直方图构造能够平行于数据获取,例如,一旦新时间记录到达就立刻更新直方图。通过此类实施例,可以获得若干优点。第一,由于数据获取和直方图构造并行地完成,所以整体循环时间可以减少。另外,此类实施例可包括较低存储器要求,因为直方图是数据的压缩的表示,然而并不存储个体记录。范围适应性实施例可以通过若干考虑因素来实现,包括完整可操作区如何被细分,以及如何选择柱条宽度。具体地说,划分可操作区的方式为使得任何数据记录的仅第一M个最高有效位 (most significant bit,MSB) 确定对应的子直方图并且剩余的 (N-M) 个位确定该子直方图内部的对应的柱条索引,其中N是位的总数目。在确定子直方图与对应的本地柱条索引的位之间可能没有重叠。另一简化是柱条宽度将呈 $2^w \times \text{LSB}$ 的形式。因此,时间记录的本地柱条索引865是经由右移寄存器860经由以w(下文中w被称作柱条分辨率)右移最后 (N-M) 个位简单地检索的。这限制了可能的柱条宽度的数量,并且大幅降低了计算成本。块862使用M个MSB以检索完整阵列内部的对应的子直方图的第一柱条的全局索引867。经由加法器863,时间记录的本地柱条索引865和对应的子直方图的第一柱条全局索引867用于确定时间记录的全局柱条索引861。对应的柱条随后在直方图存储器868中更新。

[0081] 通过图8A示出的电路可以具有各种条件。首先,如果直方图被划分成大量子直方图,那么柱条宽度非常快速地(指数增长)变得过于宽,并且信号通过噪声被冲洗(参见图3C)。如先前描述,检测到的信号的FWHM的一半的柱条宽度可以确保至少一个柱条完全地包括在FWHM中,这可以最大化该柱条的SNR。对于硬质物理对象(与例如水滴、玻璃等柔软的物理对象相反),检测到的信号的FWHM并不超过所发射的信号FWHM。由于所发射的信号FWHM是已知的参数,所以最大柱条宽度可以受该量的一半限制。另一条件略微与第一条件相反:甚至对于另外的物理对象(例如,属于子直方图 $\geq 1$ ,信号可以是对于 $1 \times \text{LSB}$ 的最佳柱条宽度足够强的。为了解决此问题,完整直方图被划分成三个所谓的页面,如通过图8B所示出。

[0082] 如通过图8B所示出,其中直方图被划分成页面,如在870处所描绘,其中bin\_res表示柱条分辨率,并且w\_max被计算为用于发射信号FWHM的最接近的最佳分辨率。通过控制t1和t2以及通过额外的条件性检查,可以实现对范围适应性直方图的额外的多功能性。在每个获取之后,可以分析直方图以用于对直方图设置的最佳改变,例如:t1、t2、范围适应性页中的子直方图的数量等。

[0083] 另外,例如TDC分辨率和/或发射信号FWHM的系统参数可以在设计阶段中设置以便另外优化范围适应性直方图分柱条技术。举例来说,通过确保:

[0084]  $\text{FWHM}_{\text{TX}} = 2^w * \Delta t_{\text{TDC}} / 2,$

[0085] 其中w是范围适应性区中的子直方图的最大数量。这有助于确保最粗糙的柱条分辨率w是对于最弱的/最远的可能的信号最佳的。

[0086] 如上文所描述的实施例涉及产生具有子直方图的适应性直方图,这些子直方图具有适应性柱条宽度。子直方图的柱条宽度被选择为最大化检测到的信号的SNR以用于可靠的随后的峰值检测处理,例如,恒定虚警率(CFAR)。每个柱条的CFAR功率与排除围绕所关注的柱条的保护柱条的本地噪声功率相比。根据各种实施例的适应性直方图技术提供与在等宽度直方图上的峰值检测处理中的潜在的调适相比在更高效且在计算上便宜的方式中的折衷。通过将子直方图的柱条宽度优化到检测到的信号宽度的一半,确保了最大SNR,因为

至少一个柱条将完全地包括在信号的FWHM中。如果保护区与检测到的信号宽度相比较窄(例如,保护柱条数量较低和/或柱条宽度较窄),那么等宽度直方图可以显现可能的缺点,在此情况下信号的一部分包括在本地噪声估计中并且这因此降低了信号检测的速率。并且,如果选择较宽本地噪声区以减小检测到的信号的影响,那么这可以引起对本地噪声改变的延迟的且有限的响应。另外,如果保护区与检测到的信号宽度相比较宽,那么范围分辨率和/或精确度与以其它方式可物理地地解析的相比较粗糙;并且如果使用更高级的集成基础(在估计当前柱条功率时,1的乘法因数用于当前柱条,0.5用于紧靠着它的右侧的保护柱条,0.35用于另外的柱条等等),那么可以引起较高计算能力要求。相应地,本文中所公开的方面考虑这些因素或条件中的每一个并且提供对用于强信号的分辨率与用于弱信号的检测可靠性之间的折衷的平衡。

[0087] 此外,功率适应性直方图可以平行于数据获取构建,以及从具有最窄的可能的柱条宽度(1xLSB)的等宽度直方图中重新构建。在后一种情况下,具有复杂度 $O(N)$ 的重新构建直方图的额外过程被添加到处理管线。另外,后者可使用较高存储器容量以存储原始直方图。因为一个例子涉及上文的论述并且涉及图7,因此在每个柱条16个位的情况下,功率适应性直方图可以使用15,360个位(每个单个SPAD像素),而具有1xLSB的柱条宽度的等宽度直方图可以使用32,768个位。当功率适应性直方图是平行于数据获取构建的时实现了不止双倍存储器节省。

[0088] 对于在功率适应性直方图分柱条技术的应用中的范围适应性直方图,优点可以结合某些实施例实现。通过确保柱条宽度是 $(2^w) \times \text{LSB}$ 的形式,其中 $w$ 被称作柱条分辨率,柱条索引可以经由简单的移位运算( $w$ 个循环)检索。子直方图是预定义的以补偿范围反平方功率下降。类似地,对于柱条索引,数据记录的子直方图以及对存储器中的第一柱条的指针是经由在 $M$ 个最高有效位上的简单的算术运算的集合检索的。在这些实施例中的某些中,经由页面的引入添加到范围适应性直方图的多功能性,其中页面0对应于柱条分辨率0的等宽度直方图,页面1是范围适应性页面,并且页面2对应于最大柱条分辨率的等宽度直方图,以用于低价格的额外减法运算。

[0089] 例证取向的术语,例如上部/下部、左侧/右侧、顶部/底部和以上/以下等,在本文中可用于指代如附图中示出的元件的相对位置。应理解,术语仅用于方便标记且在实际使用中,所公开的结构可不同于在附图中示出的取向来定向。因此,术语不应以限制性的方式解释。

[0090] 除非另外指明,否则本领域的技术人员将认识到如在说明书(包括权利要求书)中所使用的各种术语意味着本领域中的普通意义。举例来说,本说明书描述和/或示出了可用于借助于各种电路或电路系统结合所主张的公开内容的方面,这些电路或电路系统可示出为术语或使用术语示出,这些术语例如块、模块、装置、系统、单元、控制器和/或其它电路类型描绘(例如,图1到2的参考标号106和234描绘如本文中所描述的块/模块)。此类电路或电路系统与其它元件一起使用以例示在形式或结构、步骤、功能、操作、活动等中可以如何执行某些实施例。举例来说,在某些上文论述的实施例中,一个或多个模块是被配置和布置成用于执行这些操作/活动的离散逻辑电路或可编程逻辑电路,如可以在图2和8A到8B中示出的方法中执行。在某些实施例中,此类可编程电路是一个或多个计算机电路,包括用于存储和存取作为一组(或多组)指令待执行(和/或用作限定如何执行可编程电路的配置数据)的

程序的存储器电路,且可编程电路使用如在图6A到6B处所描述的算法或过程以执行相关步骤、功能、操作、活动等。取决于应用,指令(和/或配置数据)可以使用逻辑电路来实施,其中指令(其特征是否在于呈目标代码、固件或软件的形式)存储在存储器(电路)中且可从存储器(电路)存取。

[0091] 基于以上论述和示例,本领域的技术人员将易于认识到可对各种实施例作出各种修改和改变,而无需严格地遵循在本文中所示出和描述的示例性实施例和应用。举例来说,如图式中例示的方法可涉及以各种次序执行的步骤,其中保持本文中的实施例的一个或多个方面,或可涉及更少或更多的步骤。举例来说,通过图6A示出的过程可与通过图6B示出的过程组合使用。作为另一例子,通过图2示出的电路组件可以用于与通过图8A示出的电路组件的各种组合中。此类修改并不脱离本发明的包括在权利要求书中阐述的方面的各方面的真实精神和范围。

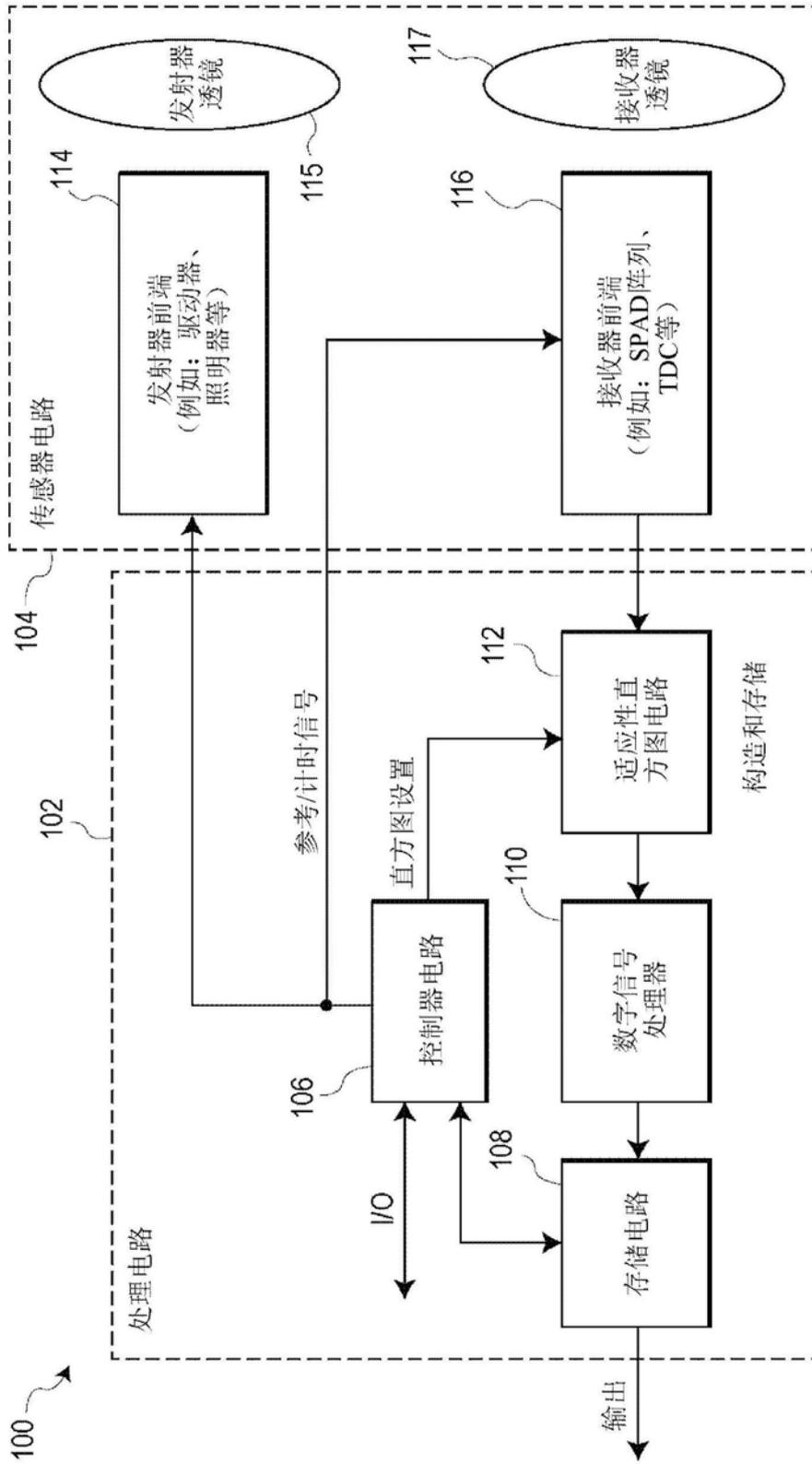


图1

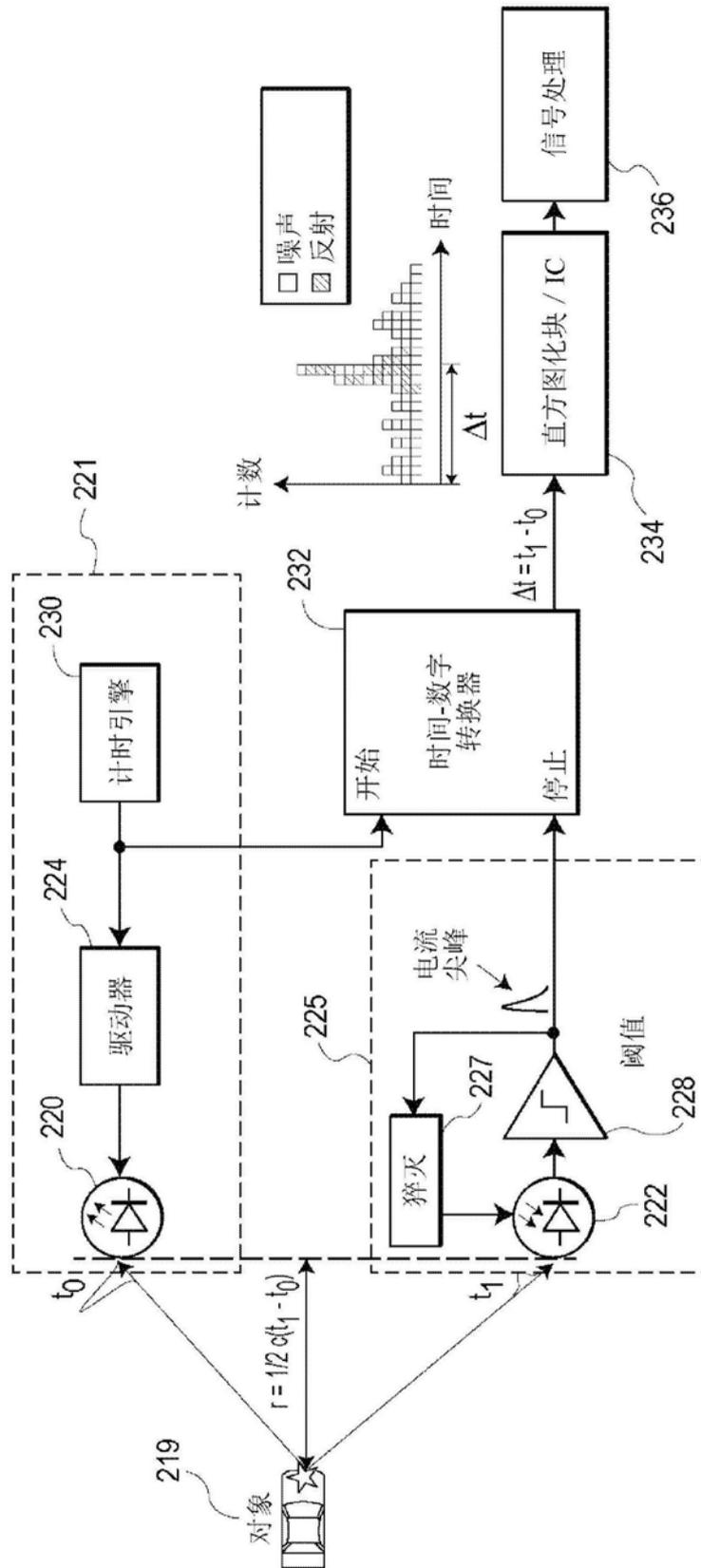


图2

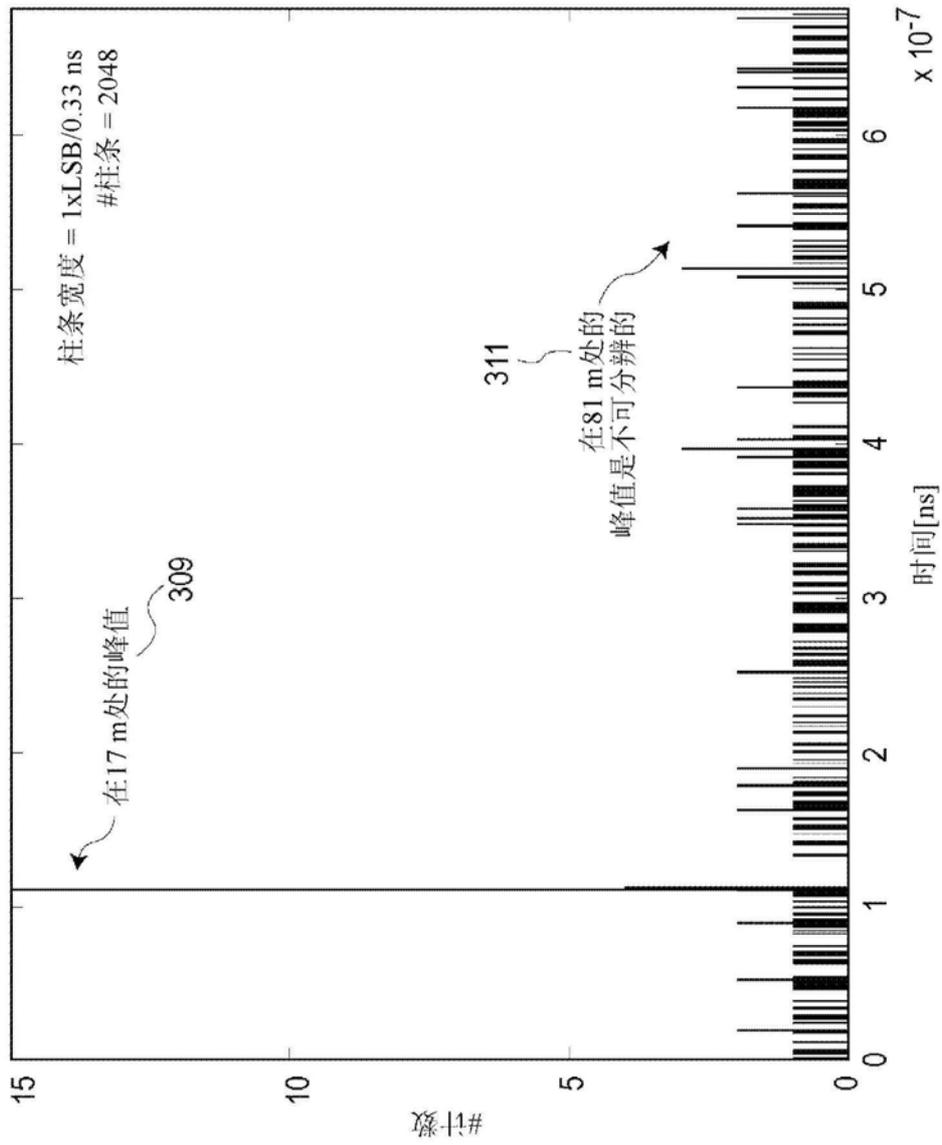


图3A

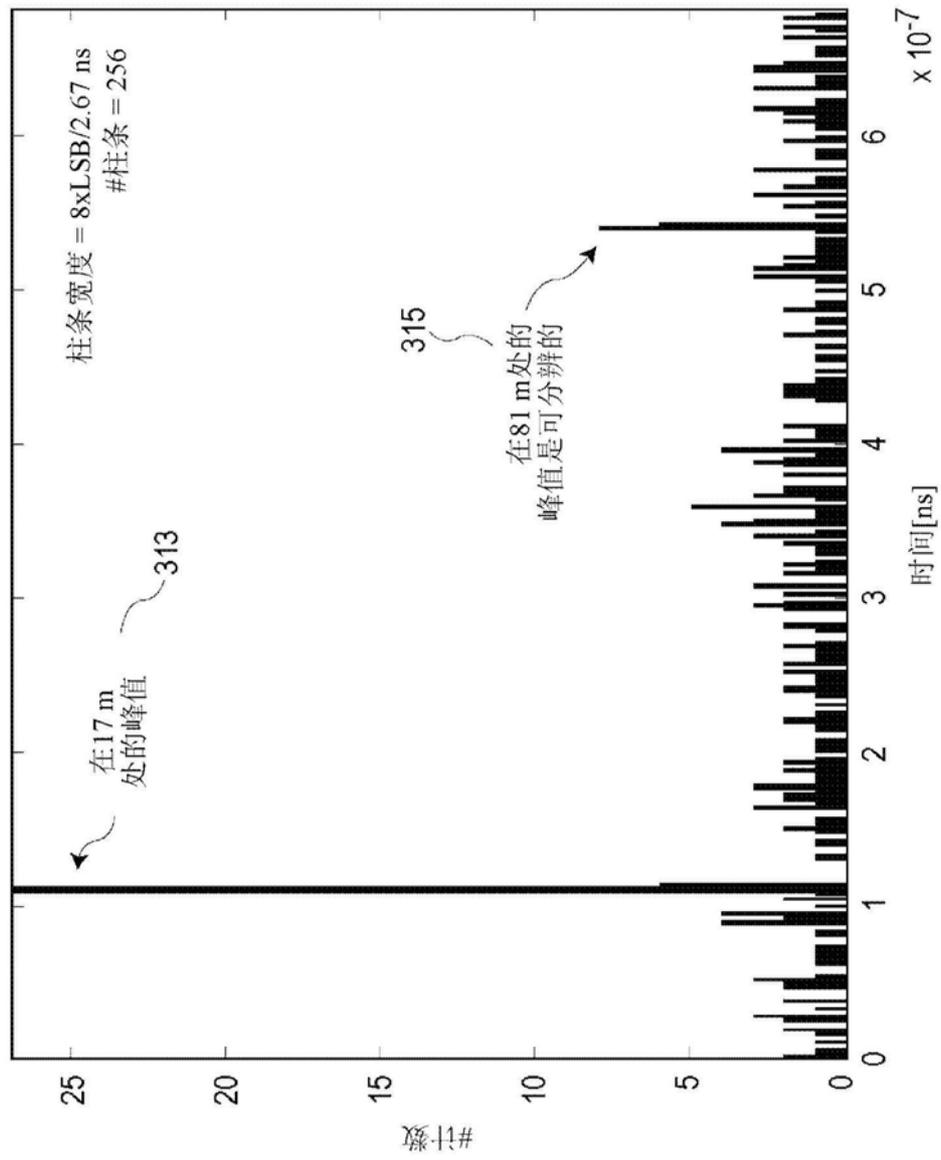


图3B

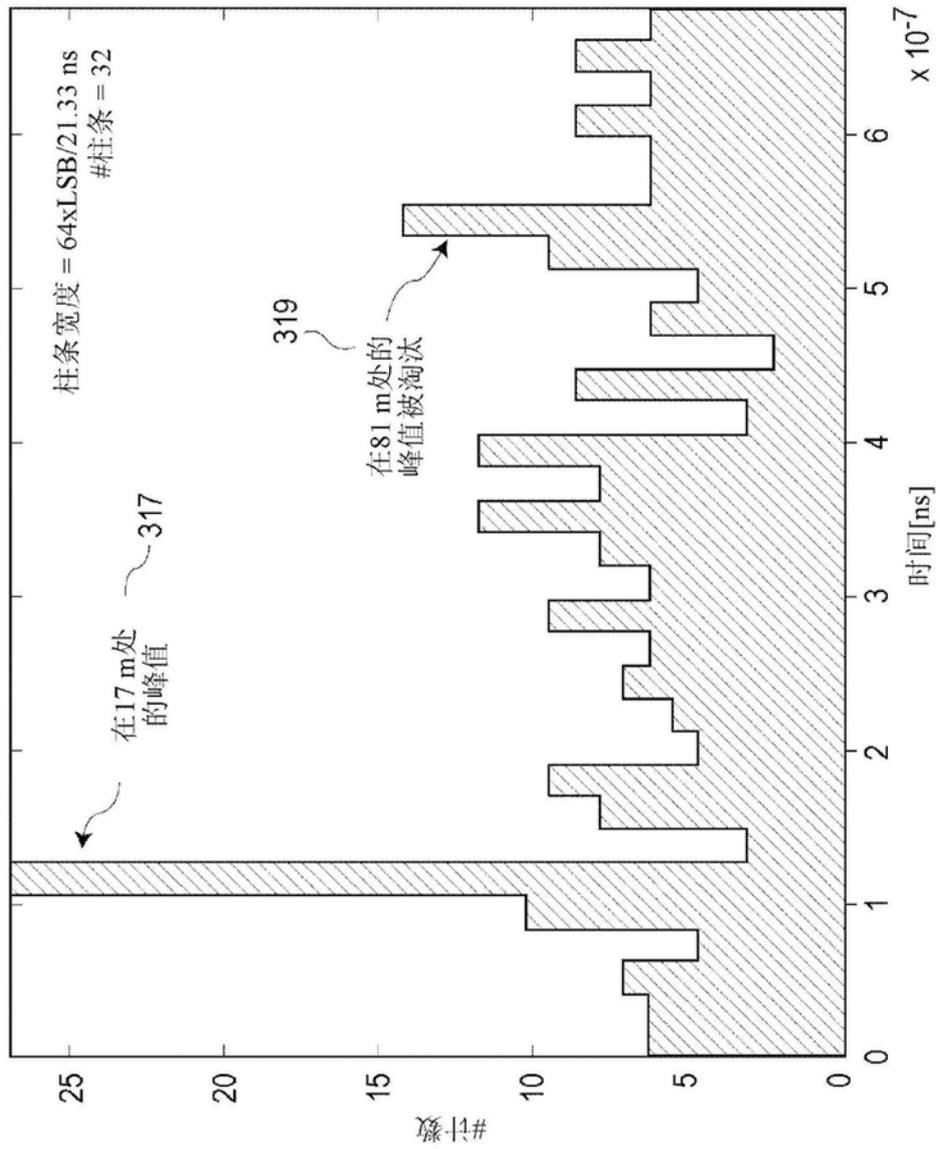


图3C

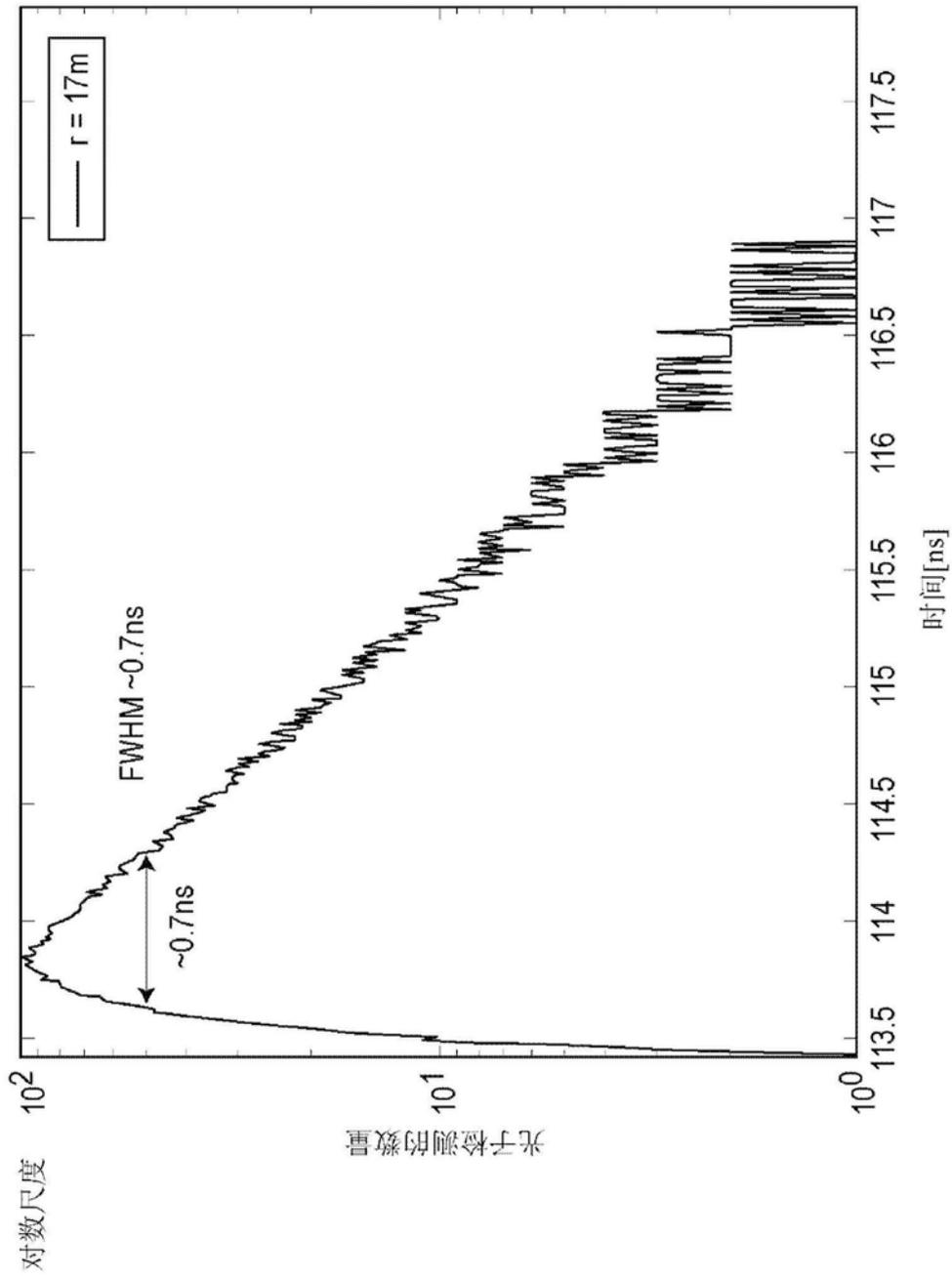


图4A

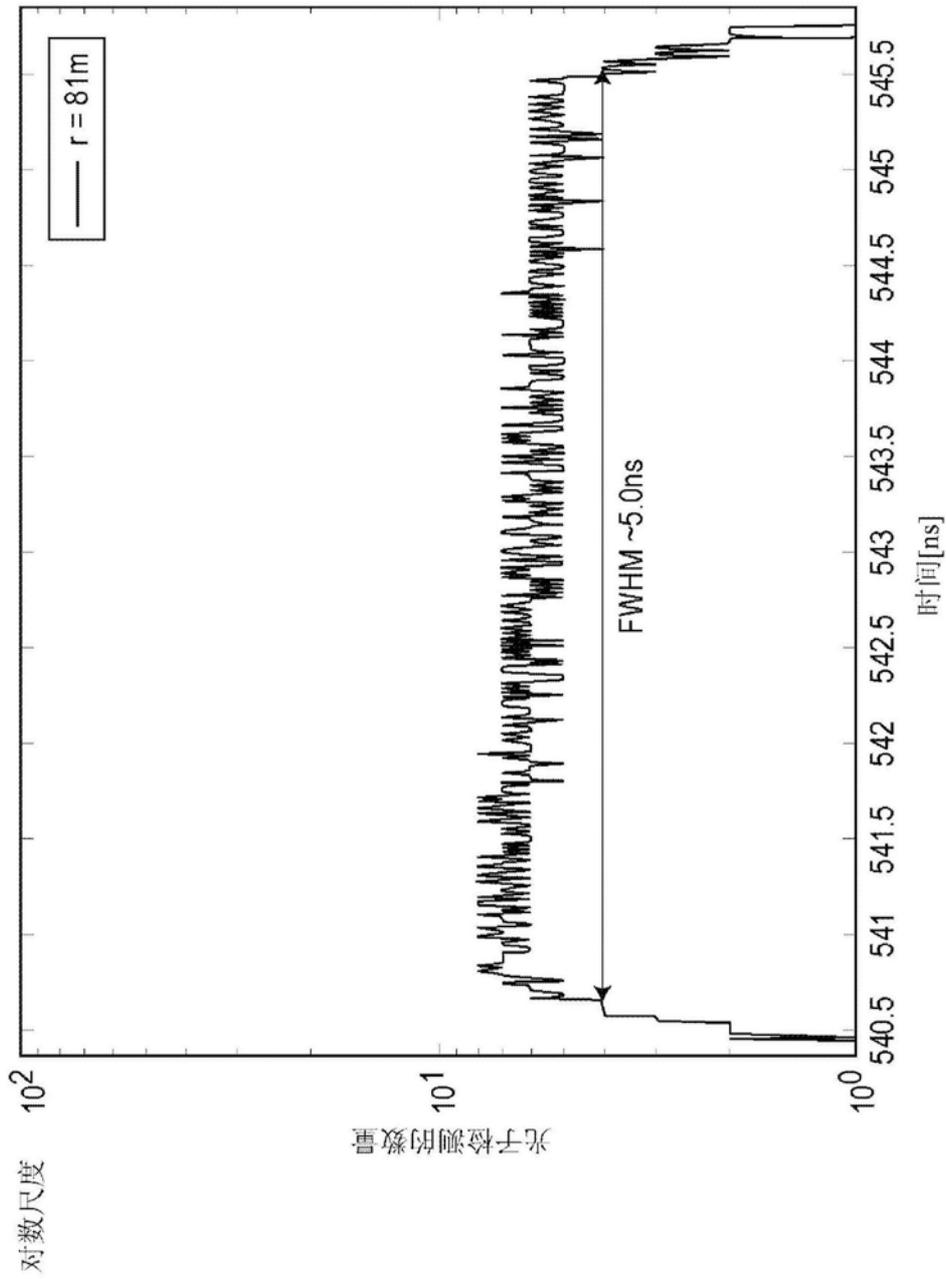


图4B

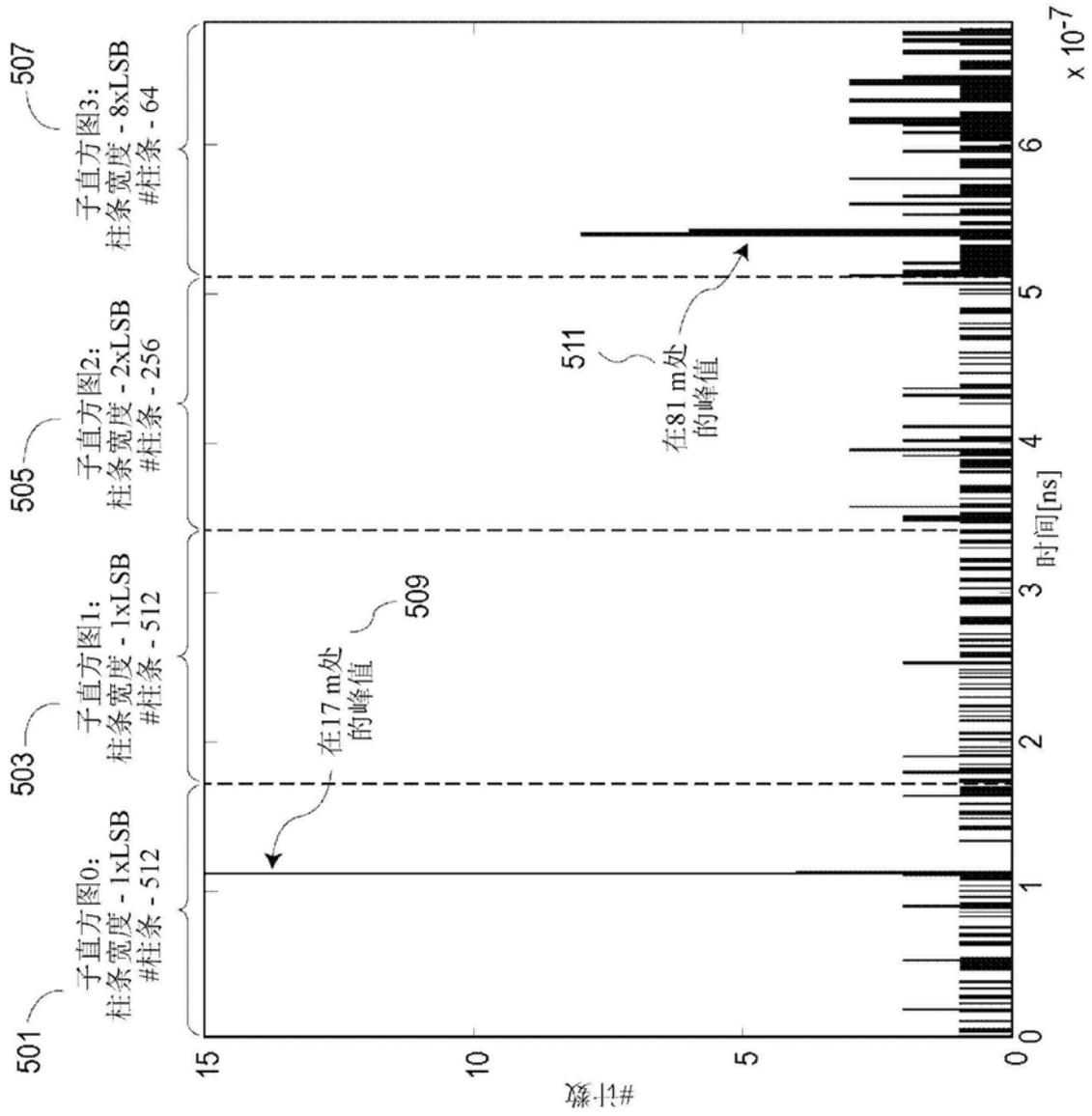


图5

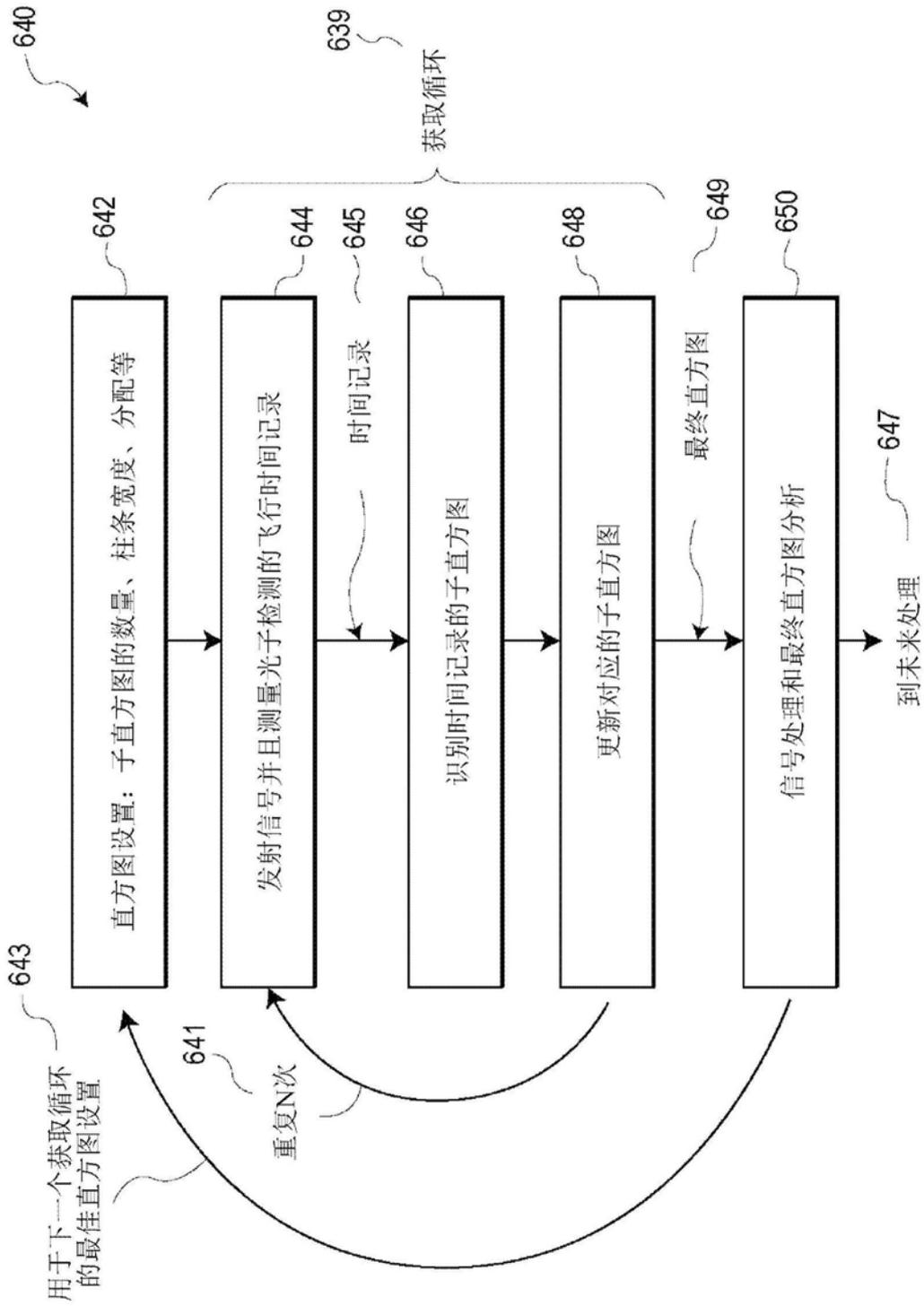


图6A

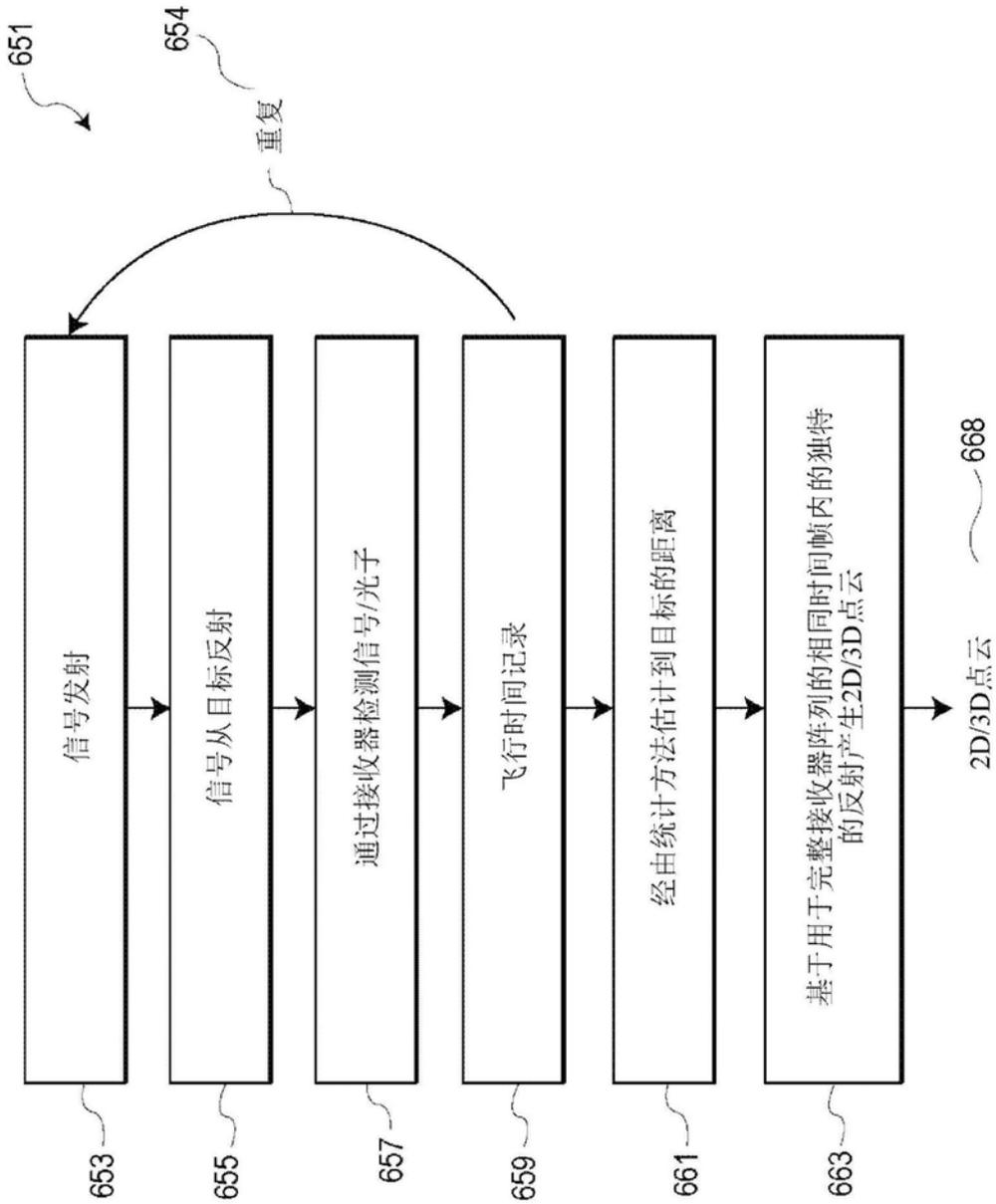


图6B

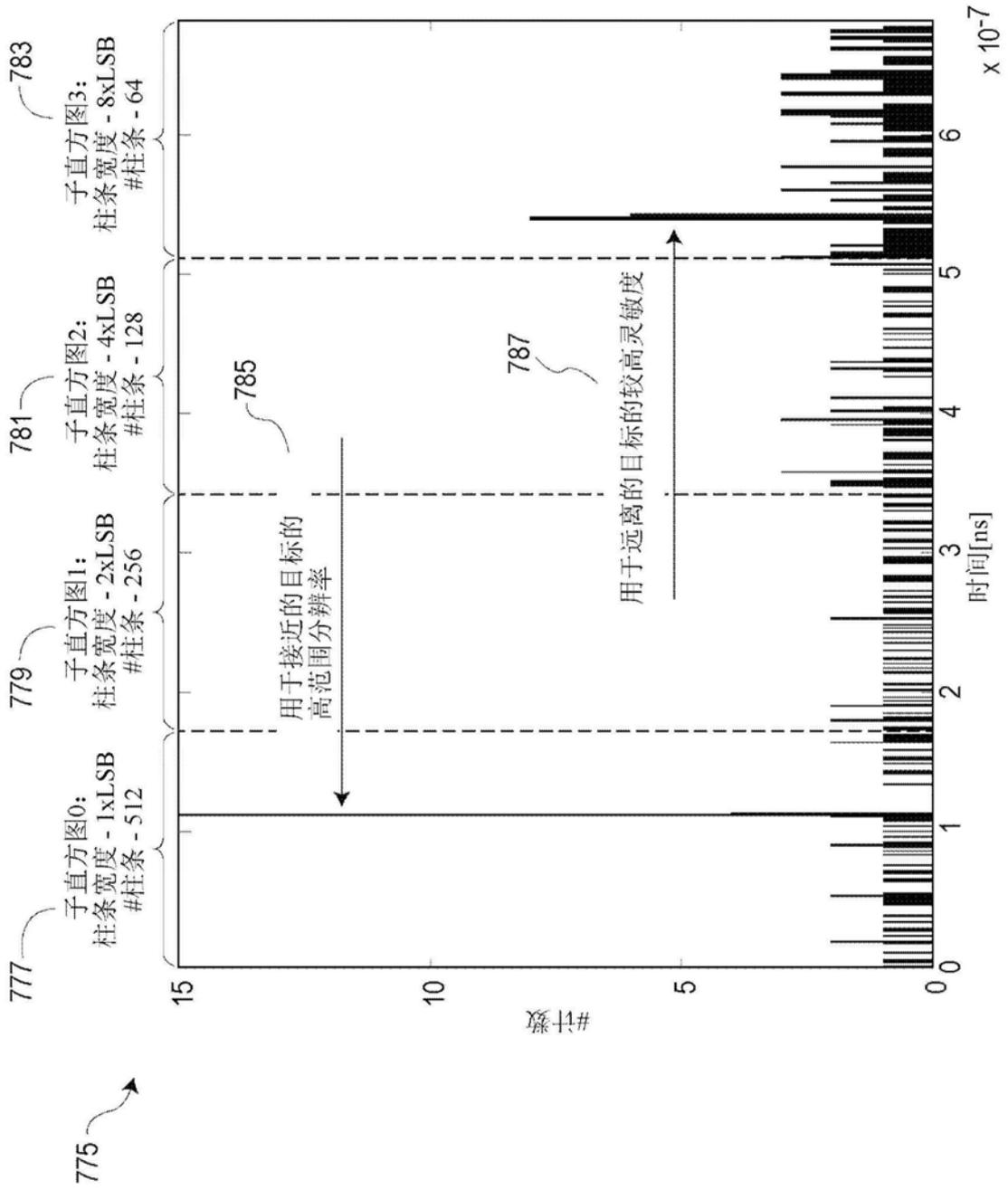


图7

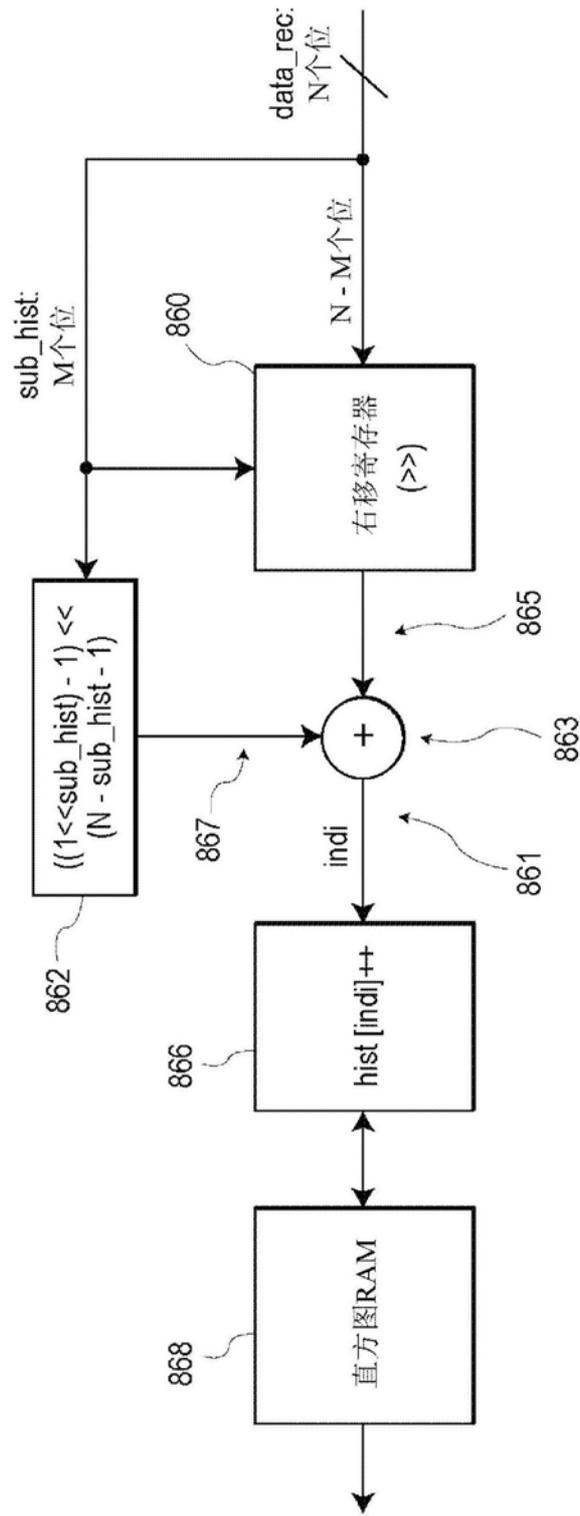


图8A

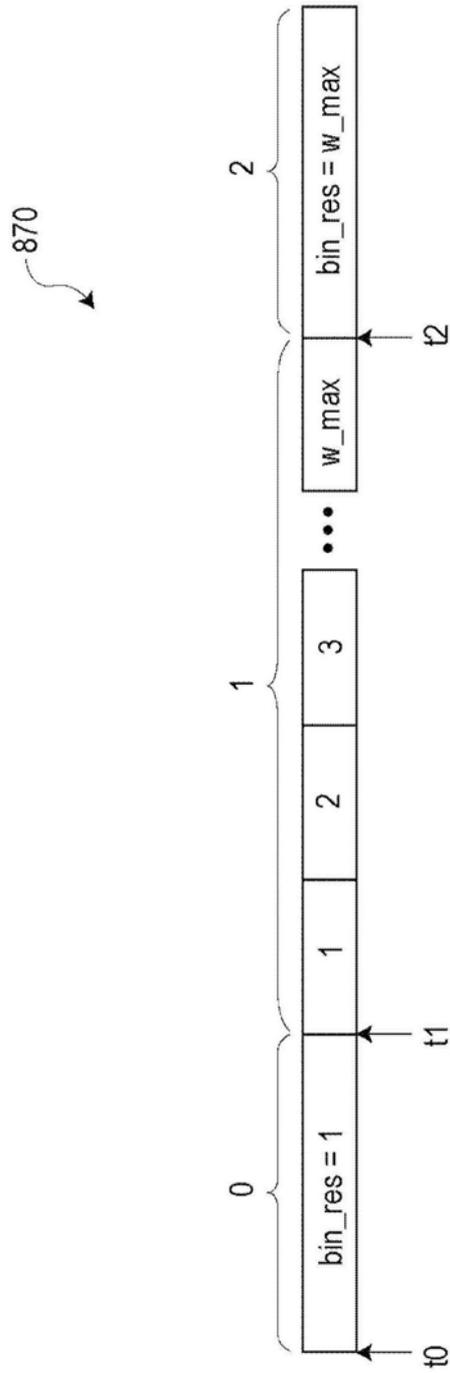


图8B