



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116324335 A

(43) 申请公布日 2023. 06. 23

(21) 申请号 202180070398.4

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

(22) 申请日 2021.09.01

专利代理师 沈丹阳

(30) 优先权数据

2020-175913 2020.10.20 JP

(51) Int.Cl.

G01C 3/06 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.04.13

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2021/032166 2021.09.01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/085310 JA 2022.04.28

(71) 申请人 索尼半导体解决方案公司

地址 日本神奈川

(72) 发明人 大木光晴

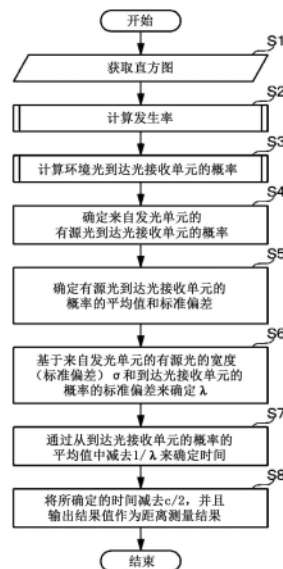
权利要求书2页 说明书14页 附图10页

(54) 发明名称

距离测量装置和距离测量方法

(57) 摘要

根据本公开的一个实施例的距离测量装置包括：光接收部分，接收基于来自发光部分的照射光的来自距离测量目标的反射光；直方图获取部分，获取表示由光接收部分接收反射光的频率的直方图；以及计算部分，基于与由直方图获取部分获取的直方图中的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标的距离。基于由直方图获取部分获取的直方图的形状，计算部分校正基于与直方图峰值相对应的时间计算的距离。



1. 一种距离测量装置,包括:
光接收单元,接收基于来自发光单元的照射光的来自距离测量目标的反射光;
直方图获取单元,获取指示在所述光接收单元处接收所述反射光的频率的直方图;以及
运算单元,基于与由所述直方图获取单元获取的所述直方图的峰值相对应的时间来计算到所述距离测量目标的距离,
所述运算单元基于由所述直方图获取单元获取的所述直方图的形状来校正基于与所述直方图的峰值相对应的所述时间计算的所述距离。
2. 根据权利要求1所述的距离测量装置,其中,所述光接收单元的光接收元件包括以盖革模式操作的雪崩光电二极管。
3. 根据权利要求2所述的距离测量装置,其中,所述光接收单元的所述光接收元件包括单光子雪崩二极管。
4. 根据权利要求1所述的距离测量装置,其中,所述距离测量目标是引起子表面散射的对象。
5. 根据权利要求4所述的距离测量装置,其中,所述直方图获取单元包括:
时间差检测器,检测从所述发光单元发射所述照射光的时间点到在所述光接收单元处接收来自所述距离测量目标的所述反射光为止的时间;以及
累加器,基于由所述时间差检测器检测的所述时间来产生直方图。
6. 根据权利要求1所述的距离测量装置,其中,所述直方图的形状包括通过对由所述直方图获取单元获取的所述直方图进行预定统计处理而获得的来自所述距离测量目标的所述反射光分布在峰值周围的扩散状态。
7. 根据权利要求6所述的距离测量装置,其中,所述运算单元测量来自所述距离测量目标的所述反射光分布在所述峰值周围的所述扩散状态,根据所述峰值周围的所述扩散状态计算校正量,并且基于所计算的校正量来执行校正。
8. 根据权利要求7所述的距离测量装置,其中,所述运算单元通过从所述反射光的分布的所述峰值中减去根据所述峰值周围的所述扩散状态计算的所述校正量来执行所述距离的校正。
9. 根据权利要求8所述的距离测量装置,其中,所述反射光的分布是通过从由所述直方图获取单元获取的所述直方图中减去环境光成分而获得的分布。
10. 根据权利要求9所述的距离测量装置,其中,所述反射光分布在所述峰值周围的所述扩散状态包括标准偏差。
11. 根据权利要求10所述的距离测量装置,其中,根据所述峰值周围的所述扩散状态计算的所述校正量包括根据所述标准偏差确定的指数分布参数的倒数。
12. 一种距离测量方法,使距离测量装置:
基于与由直方图获取单元获取的直方图的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标的距离;以及
基于由所述直方图获取单元获取的所述直方图的形状来校正基于与所述直方图的峰值相对应的所述时间计算的所述距离;
所述距离测量装置包括:

光接收单元,接收基于来自发光单元的照射光的来自所述距离测量目标的反射光;以及
直方图获取单元,获取指示在所述光接收单元处接收所述反射光的频率的直方图。

距离测量装置和距离测量方法

技术领域

[0001] 本公开涉及距离测量装置和距离测量方法。

背景技术

[0002] 使用飞行时间 (ToF) 系统的设备 (传感器) 被称为测量到距离测量目标 (对象) 的距离的距离测量装置 (所谓的测距装置) (例如, 参见专利文献1)。ToF 系统是通过检测从发光单元 (光源) 向距离测量目标发射照射光到在光接收单元处接收从距离测量目标反射的照射光为止的光的飞行时间来测量到距离测量目标的距离的系统。

[0003] 引用列表

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1: 日本未经审查专利申请公开第2016-211881号。

发明内容

[0006] 同时, 一些距离测量目标引起所谓的子表面散射, 该子表面散射是入射到对象的表面上的光在对象内部散射并且然后被排出到外部的现象。如果从发光单元发射的光从距离测量目标的表面反射, 则可以准确地测量到距离测量目标的距离。然而, 在距离测量目标是引起子表面散射的对象的情况下, 从发光单元发光到在光接收单元处接收光的时间包括归因于子表面散射的时间。因此, 不能准确地测量到距离测量目标的距离。

[0007] 现有技术未能考虑归因于距离测量目标内部的子表面散射的时间。因此, 在距离测量目标是引起子表面散射的对象的情况下, 现有技术不可能准确地测量到距离测量目标的距离。

[0008] 期望提供一种距离测量装置和距离测量方法, 其均考虑归因于距离测量目标内部的子表面散射引起的时间, 并且使得在距离测量目标是引起子表面散射的对象的情况下, 能够准确地测量到距离测量目标的距离。

[0009] 根据本公开的实施例的距离测量装置包括光接收单元、直方图获取单元和运算单元。光接收单元接收来自距离测量目标的反射光。反射光基于来自发光单元的照射光。直方图获取单元获取指示在光接收单元处接收反射光的频率的直方图。运算单元基于与由直方图获取单元获取的直方图的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标的距离。运算单元基于由直方图获取单元获取的直方图的形状来校正基于与直方图的峰值相对应的时间计算的距离。

[0010] 根据本公开的实施例的距离测量方法使距离测量装置基于与由直方图获取单元获取的直方图的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标的距离, 以及基于由直方图获取单元获取的直方图的形状来校正基于与直方图的峰值相对应的时间计算的该距离, 该距离测量装置包括: 光接收单元, 接收基于来自发光单元的照射光的来自距离测量目标的反射光; 以及直方图获取单元, 获取指示在光接收单元处接收反射光的频率的直方图。

附图说明

- [0011] [图1]图1是示出根据本公开的一个实施例的距离测量装置的配置的示例的框图。
- [0012] [图2]图2是示出由根据本公开的一个实施例的距离测量装置的累加器生成的直方图的示例的示意图。
- [0013] [图3]图3是描述由距离测量目标内部的子表面散射引起的距离测量误差的示图。
- [0014] [图4]图4是示出当短时间发射的光入射在距离测量目标的表面上时,从距离测量目标发射的每个时间的光的强度的示图。
- [0015] [图5]图5A是从发光单元发射到距离测量目标的有源光的波形图,图5B是在距离测量目标不引起子表面散射的情况下在光接收单元处接收的光的波形图,并且图5C是在距离测量目标引起子表面散射的情况下在光接收单元处接收的光的波形图。
- [0016] [图6]图6是示出根据本公开的一个实施例的距离测量装置中的运算单元的功能的示例的框图。
- [0017] [图7]图7A是在距离测量目标引起子表面散射的情况下在光接收单元处接收的光的波形图,图7B是示出从发光单元发射的有源光到达光接收单元的SPAD元件的概率随时间的变化的波形图,并且图7C是示出距离校正处理的结果的示图。
- [0018] [图8]图8是示出由运算单元执行的距离测量方法的处理过程的示例的流程图。
- [0019] [图9]图9是示出计算发生率的处理的示例的流程图。
- [0020] [图10]图10是示出计算环境光到达SPAD元件的概率的处理的示例的流程图。
- [0021] [图11]图11是如从前侧观看的可应用根据本公开的技术的电子设备的具体示例的智能电话的外观图。

具体实施方式

[0022] 在下文中,参考附图详细描述了用于执行本公开的技术的一些实施例(在下文中,被称为“实施例”)。然而,本公开的技术不应限于这些实施例。在以下描述中,包括相同元件或相同功能的部件由相同的附图标记表示,以省略冗余的描述。应注意,按照以下顺序给出描述。

- [0023] 1. 本公开的距离测量装置和距离测量方法的总体描述
- [0024] 2. 根据本公开的实施例的距离测量装置
 - [0025] 2-1. 距离测量装置的配置示例
 - [0026] 2-2. 直方图
 - [0027] 2-3. 由于子表面散射引起的距离测量误差
 - [0028] 2-4. 运算单元的功能框
 - [0029] 2-5. 距离测量方法
 - [0030] 2-5-1. 由运算单元执行的距离测量处理
 - [0031] 2-5-2. 计算发生率的处理
 - [0032] 2-5-3. 计算环境光到达概率的处理
- [0033] 3. 修改示例
- [0034] 4. 本公开的技术的应用示例(智能电话)
- [0035] 5. 本公开的可能配置

[0036] <本公开的距离测量装置和距离测量方法的总体描述>

[0037] 根据本公开的距离测量装置和距离测量方法,光接收单元的光接收元件可以是以盖革模式操作的雪崩光电二极管,优选地,单光子雪崩二极管。

[0038] 根据均包括上述优选配置的本公开的距离测量装置和距离测量方法,距离测量目标可以是引起子表面散射的对象。

[0039] 此外,根据均包括上述优选配置和实施例的本公开的距离测量装置和距离测量方法,直方图获取单元可以包括时间差检测器和累加器。时间差检测器检测从发光单元发射照射光的时间点到在光接收单元处接收来自距离测量目标的反射光为止的时间。累加器基于由时间差检测器检测的时间产生直方图。此外,直方图的形状是来自距离测量目标的反射光分布在峰值周围的扩散状态。扩散状态是通过由直方图获取单元获取的直方图进行预定统计处理而获得的。

[0040] 此外,根据均包括上述优选配置和实施例的本公开的距离测量装置和距离测量方法,运算单元可以测量来自距离测量目标的反射光的分布在峰值周围的扩散状态,根据峰值周围的扩散状态计算校正量,并且基于所计算的校正量来执行校正。此外,运算单元可以通过从反射光的分布的峰值中减去根据峰值周围的扩散状态计算的校正量来执行距离的校正。

[0041] 此外,根据均包括上述优选配置和实施例的本公开的距离测量装置和距离测量方法,可以通过从由直方图获取单元获取的直方图中减去环境光成分来获得反射光的分布,并且反射光分布在峰值周围的扩散状态是标准偏差。此外,根据峰值周围的扩散状态计算的校正量是根据标准偏差确定的指数分布参数的倒数。

[0042] <根据本公开的实施例的距离测量装置>

[0043] 根据本公开的实施例的距离测量装置(在下文中,根据需要被简称为“本实施例”)采用ToF系统作为测量到距离测量目标的距离的系统。在ToF系统中,测量从朝向距离测量目标发射脉冲光(例如,在红外波长区域中具有峰值波长的激光)到接收从距离测量目标反射的光的飞行时间。

[0044] ToF系统被分为两种类型:间接ToF系统和直接ToF系统。间接ToF是通过检测在光接收单元处接收由于从发光单元发射的规定周期的脉冲光从距离测量目标反射而获得的反射光的周期并且基于发光周期与接收周期之间的相位差测量光的飞行时间来测量到距离测量目标的距离的系统。直接ToF是用于从光的飞行时间差直接测量到距离测量目标的距离的系统。在根据本实施例的距离测量装置中,后一种系统(即,直接ToF系统)被用作ToF系统。

[0045] [距离测量装置的配置示例]

[0046] 图1是示出根据本公开的实施例的距离测量装置的配置的示例的框图。如图1所示,根据本实施例的距离测量装置10包括发光单元11、光接收单元12、时间差检测器13、累加器14、运算单元15、控制单元16和输出端子17。距离测量装置10被配置为使用直接ToF系统测量到距离测量目标20的距离。这里,到距离测量目标20的距离被称为距离L。

[0047] 发光单元11、光接收单元12、时间差检测器13、累加器14和运算单元15在包括诸如中央处理单元(CPU)的信息处理设备的控制单元16的控制下执行相应处理。在下文中,描述在控制单元16的控制下由光接收单元12、时间差检测器13、累加器14和运算单元15执行的

相应处理。

[0048] 发光单元11可以例如包括作为光源(发光元件)的激光源。在控制单元16的控制下,发光单元11使激光源短时间发光,并且作为有源光的脉冲光40到达距离测量目标20。从发光单元11发射的脉冲光40从距离测量目标20反射并且作为反射光41返回至光接收单元12。

[0049] 当然,从发光单元11朝向距离测量目标20发射的脉冲光40并不总是从距离测量目标20反射并返回。即,在随机意义上,脉冲光40在一些情况下从距离测量目标20反射并返回,并且在其他情况下不从距离测量目标20返回。

[0050] 除了从发光单元11发射的光之外,来自太阳30的光42作为环境光到达距离测量目标20。来自太阳30的光42从距离测量目标20反射,并且作为光43到达光接收单元12。

[0051] 与成像设备的像素阵列单元类似,光接收单元12包括二维阵列的像素,每个像素包括光接收元件。光接收单元12从距离测量目标20接收基于从发光单元11朝向距离测量目标20发射的脉冲光40的反射光41。光接收单元12包括设置有透镜(未示出)的入射部。透镜的聚光操作使包括光接收元件的像素能够有效地接收来自距离测量目标20的反射光41。要注意的是,由于透镜不是主要部件,所以在本文中省略透镜的说明。

[0052] 在根据本实施例的距离测量装置10中,光接收单元12的光接收元件是响应于光子的接收而生成信号的元件。例如,光接收单元12的光接收元件是单光子雪崩二极管(SPAD)元件。SPAD元件是具有通过使用被称为雪崩倍增的现象而增加的光接收灵敏度的一种雪崩光电二极管。SPAD元件以盖革模式操作,在该盖革模式中,元件在大于击穿电压的反向电压下操作。

[0053] 应当注意,尽管在本实施例中SPAD元件被例示为光接收单元12的光接收元件,但是光接收单元12的光接收元件不限于SPAD元件。即,作为光接收单元12的光接收元件,可以使用以盖革模式操作的各种元件,诸如雪崩光电二极管(APD)或硅光电倍增管(SiPM)以及SPAD元件。

[0054] 时间差检测器13采用ToF系统,更具体地,直接ToF系统作为距离测量系统。通常,时间差检测器13是时间到数字转换器(TDC)。在控制单元16的控制下,时间差检测器13测量从发光单元11发射脉冲光40的时间点(即,发光时间)到光接收单元12接收反射光41的时间点(即,光接收时间)的时间。即,时间差检测器13测量从发光单元11的发光时间到光接收单元12的光接收时间为止的时间。此后,将测量的时间乘以光速 c ,并且将所得值除以2。结果,确定到距离测量目标20的距离。所得值除以2的原因在于测量时间是光行进到距离测量目标20并返回所花费的时间。

[0055] 同时,基于来自发光单元11的光的单次发射和在光接收单元12处的光的单次接收的距离测量可能导致错误确定。其中的一个原因是在从发光单元11发射光到在光接收单元12处接收从距离测量目标20反射的光的时间内,光接收单元12的SPAD元件(SPAD传感器)可对入射在光接收单元12上的外部光(环境光)起反应。另一原因是从发光单元11发射的脉冲光40并不总是在从距离测量目标20反射之后返回至光接收单元12。这些是随机发生的事件。

[0056] 由于上述原因,在控制单元16的控制下,在短时间内从发光单元11发光多次 M (例如,几千次到几万次)。即,根据本实施例的距离测量装置10执行多次 M 的发光和光接收的测

量,并且根据多次M测量结果检测优势数据。

[0057] 时间差检测器13的检测结果(即,测量时间的值)被发送到累加器14。累加器14包括其中形成直方图数据的存储器(未示出)。稍后将描述直方图的细节。累加器14将与时间值相对应的直方图仓(BIN)递增“1”以更新直方图。

[0058] 应当注意,时间差检测器13和累加器14是权利要求中描述的直方图获取单元(即,获取指示在光接收单元12处接收反射光的频率的直方图的直方图获取单元)的示例。在多次M测量之后,将由累加器14获取的关于最终直方图的数据发送到运算单元15。

[0059] 运算单元15基于与由累加器14获取的最终直方图的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标20的距离L。此外,运算单元15基于由累加器14获取的最终直方图的形状来校正根据与直方图的峰值相对应的时间计算的到距离测量目标20的距离L的信息。从输出端子17输出通过运算单元15的处理而获取的信息(即,关于到距离测量目标20的距离的信息)。

[0060] 同时,用作光接收单元12的光接收元件的SPAD元件是检测首先到来的光(光子)的传感器。因此,如果由于从发光单元11发射的脉冲光40从距离测量目标20的反射而生成的入射光束的光41比作为由于从太阳30发射的光42从距离测量目标20的反射而生成的入射光束的光43更早到来,则可以实现准确的距离测量。

[0061] 在下文中,根据需要,作为由于从发光单元11发射的脉冲光40从距离测量目标20的反射而生成的入射光束的光41被称为有源光,并且作为由于从太阳30发射的光42从距离测量目标20的反射而生成的入射光束的光43被称为环境光。

[0062] 由时间差检测器13检测的时间是到距离测量目标20的往返时间。由时间差检测器13检测的时间乘以 $c/2$ (其中, c 是光速),从而计算到距离测量目标20的距离L。相反,如果光43比光41更早到来,则不可能测量用于距离测量的准确时间。

[0063] 不管时间如何,作为环境光的光43的接收(即,环境光的接收)总是以固定的概率发生。另一方面,作为有源光的光41的接收(即,有源光的接收)在某一时刻集中地发生(更具体地,将到距离测量目标20的距离的2倍除以光速 c 而获得的值)。因此,从直方图中检测峰值,并且确定与该峰值相对应的时间,以确定到距离测量目标20的距离L。

[0064] 如上所述,运算单元15在控制单元16的控制下执行从直方图检测峰的处理和通过将峰相对应的时间乘以 $c/2$ 来计算距离L的处理。稍后将描述运算单元15的功能的细节。

[0065] [直方图]

[0066] 现在,对指示在光接收单元12处接收反射光的频率的直方图进行描述。图2是示出由根据本公开的实施例的距离测量装置10的累加器14生成的直方图的示例的示图。

[0067] 在该直方图中,时间(水平轴)以宽度D为单位表示。即,在由时间差检测器13检测的时间的值在从时间0到时间D的范围内的情况下,频率被添加到第0仓。在由时间差检测器13检测的时间的值在从时间D到时间2D的范围内的情况下,频率被添加到第1仓。在由时间差检测器13检测的时间的值在从时间2D到时间3D的范围内的情况下,频率被添加到第2仓。这同样适用于后续的范围:在由时间差检测器13检测的时间的值在从时间 $(N-1) \times D$ 至时间 $N \times D$ 的范围内的情况下,频率被添加到第 $(N-1)$ 仓。

[0068] 这里,D是TDC的分辨率。

[0069] 应当注意,单次测量的测量时间被限制为 $N \times D$ 。即,如果尽管从发光单元11的光发射起经过时间 $N \times D$ 但光接收单元12没有接收光,则在经过时间 $N \times D$ 之后测量结束。在这种

情况下,时间差检测器13不输出时间值,并且累加器14不更新直方图。这里,N是常数。

[0070] 因此,如果在M次测量之后获得的最终直方图的仓中的所有频率被求和,则在一些情况下总和小于M。

[0071] 直方图由 $h(n)$ 表示,其中, n 表示仓数并且为大于或等于0且小于或等于 $N-1$ 的整数。

[0072] [由于子表面散射引起的距离测量误差]

[0073] 同时,一些距离测量目标20引起所谓的子表面散射,该子表面散射是入射到对象的表面上的光在对象内部散射并且然后被排出到外部的现象。例如,引起子表面散射的对象的示例可以包括人类皮肤。如果从发光单元11发射的光从距离测量目标20的表面反射,则可以准确地测量到距离测量目标20的距离。然而,如果距离测量目标20是引起子表面散射的对象,则从发光单元11发光的时间到光接收单元12处接收光的时间为止的时间包括归因于子表面散射引起的时间。因此,不能准确地测量到距离测量目标20的距离。即,生成距离测量误差。

[0074] 现在,参考图3描述由距离测量目标20内部的子表面散射引起的距离测量误差。图3示出了解释由于子表面散射引起的距离测量误差所需的从图1提取的部件。

[0075] 在图3中,距离测量目标20是引起子表面散射的对象。在这种情况下,从发光单元11发射的光40进入距离测量目标20并且引起如图3所示的子表面散射40a。此后,如图3所示,光41行进到距离测量目标20的外部。因此,光路长度是图3所示的光40的光路、子表面散射40a的光路和光41的光路的总和。即,通过子表面散射40a的光路,光路长度比图3中的光40的光路和光41的光路的总和长。因此,距离测量的结果具有大于实际距离 L 的值。

[0076] 应当注意,尽管在图3中仅示出了子表面散射40a的单个光路,但是实际上存在子表面散射的多个光路。即,一些光束在距离测量目标20内部长时间(即,以长光路长度)引起散射之后向外部射出,而其他光束在距离测量目标20内部短时间(即,以短光路长度)引起散射之后向外部射出。

[0077] 较长时间停留在距离测量目标20内部的光具有较长的光路,并且因此被吸收较大的量。停留在距离测量目标20内部的时间由时间 t_s 表示。例如,从光入射到距离测量目标20上起经过时间 t_s 之后从距离测量目标20发射的光的强度可以近似为下面的指数分布。

[0078] [表达式1]

$$[0079] \begin{cases} \lambda \exp(-\lambda t_s), & \text{如果 } t_s \geq 0 \\ 0, & \text{如果 } t_s < 0 \end{cases} \dots\dots(1)$$

[0080] 这里, λ 表示对象特定值。对象特定值 λ 较小,因为对象更容易受到子表面散射。

[0081] 参考图4对此进行补充说明。图4示出了当距离测量目标20的表面被短时间发射的光照射时从距离测量目标20发射的每个时间的光的强度。这里,短时间的发光是瞬间发光,该瞬间发光是能够近似为delta函数的短时间发光。

[0082] 在以上描述中,所发射的光是delta函数;然而,实际上,从发光单元11发射的光(即,入射到距离测量目标20上的光)在时间方向上具有宽度。例如,在从发光单元11发射的光能够近似为正态分布的情况下,在时间 t 从发光单元11发射的光的强度由以下表达式表示。

[0083] [表达式2]

[0084]
$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (2)$$

[0085] 这里,σ是标准偏差。此外,表达式(2)被归一化使得当在时间方向上被积分时变为1。

[0086] 应当注意,表达式(2)中的标准偏差σ的值提前测量并且因此是已知值。例如,在暗室中,将包括诸如金属的材料并且没有引起子表面散射的对象放置在距离测量装置10的前面。然后预先测量到对象的距离,并且产生直方图。此后,基于直方图的形状,更具体地,基于来自距离测量目标的反射光的分布的峰值周围的扩散状态,确定标准偏差σ。扩散状态是通过对直方图进行预定统计处理而获得的。

[0087] 图5A示出了从发光单元11发射到距离测量目标20的有源光40的波形。这里,放置在距离L处的距离测量目标20包括诸如金属的材料,并且不引起子表面散射。在这种情况下,在光接收单元12处接收的光具有图5B所示的波形。

[0088] 由于在距离行进2×L引起的衰减和由于距离测量目标20的反射率引起的衰减的总和被表示为衰减h。当从发光单元11发射的光从距离测量目标20反射并被光接收单元12接收时,光的强度由以下表达式表示。

[0089] [表达式3]

[0090]
$$\frac{h}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\left(t - \frac{2L}{c}\right)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (3)$$

[0091] 表达式(3)是考虑衰减h和时间延迟2L/c的正态分布。应当注意,因为没有发生子表面散射,所以标准偏差为σ,与在来自发光单元11的光的情况下一样。

[0092] 此外,在图5B中,还考虑了来自太阳30的光(环境光)的接收。环境光总是恒定的。因此,在环境光成分具有强度E的情况下,由光接收单元12接收的光具有由以下表达式表示的强度。

[0093] [表达式4]

[0094]
$$E + \frac{h}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\left(t - \frac{2L}{c}\right)^2}{2\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (4)$$

[0095] 在图5B所示的情况下,峰值位置位于时间2L/c。因此,通过检测峰值位置并且将峰值位置乘以c/2来准确地确定距离L。

[0096] 接下来,考虑放置在距离L处的距离测量目标20处发生子表面散射的情况。在这种情况下,在光接收单元12处接收的光具有图5C所示的波形。

[0097] 当从发光单元11发射的光从距离测量目标20反射并且被光接收单元12接收时,光的强度是在发生子表面散射的情况下获得的光强度。因此,通过使用表达式(1)和表达式(2)的卷积运算(卷积)确定强度。即,强度是以指数方式改变的高斯分布。具体地,强度由以下表达式表示。

[0098] [表达式5]

$$[0099] \quad E + h \frac{\lambda}{2} \exp \left\{ \frac{\lambda}{2} (2\mu + \lambda\sigma^2 - 2t) \right\} \operatorname{erfc} \left(\frac{\mu + \lambda\sigma^2 t}{\sqrt{2}\sigma} \right) \dots (5)$$

[0100] 应当注意,表达式(5)还考虑衰减 h 。此外,表达式(5)考虑来自太阳30的光(环境光)的强度 E 。这里,表达式(5)中的 μ 表示为以下表达式。

[0101] [表达式6]

$$[0102] \quad \mu = \frac{2L}{c} \dots (6)$$

[0103] 即, μ 是到距离测量目标20的光往返时间。

[0104] 在图5C所示的情况下,即,在放置在距离 L 处的距离测量目标20处发生子表面散射的情况下,峰值位置位于时间 $2L/c$ 之后。因此,通过检测峰值位置并且将峰值位置乘以 $c/2$ 不能准确地确定距离 L 。

[0105] 为了解决这个问题,在根据本实施例的距离测量装置10中,运算单元15基于直方图的形状,更具体地,直方图的峰值周围的扩散状态,校正基于与由累加器14获得的直方图的峰值相对应的时间计算的距离。这使得即使距离测量目标20是生成子表面散射的对象,也可以准确地计算到距离测量目标20的距离 L 。

[0106] [运算单元的功能框]

[0107] 运算单元15基于与由包括时间差检测器13和累加器14的直方图获取单元获取的直方图的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标的距离。此外,运算单元15基于直方图的形状来执行校正所计算的距离的处理。运算单元15可以例如由CPU配置并且具有以下描述的功能单元以执行上述处理。在图6中示出了运算单元15的功能框图的示例。

[0108] 运算单元15包括各种功能单元,包括发生率计算器151、环境光到达率计算器152、有源光到达率计算器153、平均值和标准偏差计算器154、 λ 计算器155、校正处理器156和 $c/2$ 乘法器157。

[0109] 发生率计算器151基于在累加器14处产生的直方图 $h(n)$ 来计算发生率。发生率是每单位时间生成特定事件的次数。因此,本文中使用的术语“发生率”是指每单位时间光子到达光接收单元12的SPAD元件的次数。每个仓中的发生率是与该仓相对应的时间内光子到达的概率。仓 n 中的发生率由 $p(n)$ 表示。

[0110] 环境光到达率计算器152计算来自太阳30的光(环境光)到达光接收单元12的SPAD元件的概率。有源光到达率计算器153通过从由发生率计算器151确定的发生率 $p(n)$ 中减去由环境光到达率计算器152确定的环境光的到达率来计算来自发光单元11的有源光到达光接收单元12的SPAD元件的概率。

[0111] 现在,参考图7A和图7B的波形图更具体地描述计算有源光到达光接收单元12的SPAD元件的概率的处理。应当注意,图7A的波形图与图5C的波形图相同。

[0112] 有源光到达率计算器153从由发生率计算器151确定的发生率 $p(n)$ 中减去由环境光到达率计算器152确定的环境光的到达率,从而获得图7B所示的波形数据。即,通过从发生率 $p(n)$ 中减去环境光成分 E 来获得图7B所示的波形数据。图7B所示的波形表示来自发光单元11的有源光到达光接收单元12的SPAD元件的概率随时间的变化。应当注意,在图7B中,以指数方式改变的高斯分布的平均值被表示为 $\mu + (1/\lambda)$,并且标准偏差被表示为

$$\sqrt{\sigma^2 + (1/\lambda^2)}。$$

[0113] 平均值和标准偏差计算器154计算由有源光到达速率计算器153确定的来自发光单元11的有源光到达光接收单元12的SPAD元件的概率的平均值和标准偏差。 λ 计算器155基于从发光单元11发射到距离测量目标20的有源光的宽度(标准偏差) σ 和由平均值和标准偏差计算器154确定的标准偏差($=\sqrt{\sigma^2 + (1/\lambda^2)}$)来计算对象特定值 λ 。应当注意,对象特定值 λ 是已知值。

[0114] 校正处理器156从由平均值和标准偏差计算器154确定的平均值中减去校正量 $1/\lambda$,从而确定到距离测量目标20的光往返时间 μ 。即,如图7C所示,校正处理器156从由平均值和标准偏差计算器154确定的平均值($=\mu + (1/\lambda)$) (即,反射光分布的峰值)中减去校正量 $1/\lambda$,从而执行距离校正处理。

[0115] $c/2$ 乘法器157将由光往返时间计算器156确定的时间(光往返时间 μ)乘以 $c/2$ (其中, c 是光速),并输出相乘后的值作为距离测量结果。距离测量结果是考虑到归因于距离测量目标20内部的子表面散射的时间而准确地确定的到距离测量目标20的距离 L 。

[0116] [距离测量方法]

[0117] 接下来,参考图8的流程图描述在控制单元16的控制下由图1所示的根据本实施例的距离测量装置10中的运算单元15执行的距离测量方法的处理过程。在通过CPU实现运算单元15的功能的情况下,在运算单元15的CPU的控制下执行距离测量方法的处理。

[0118] 在图1所示的根据本实施例的距离测量装置10中,累加器14产生直方图 $h(n)$,该直方图指示在光接收单元12处接收反射光的频率。运算单元15执行根据直方图 $h(n)$ 计算精确距离的处理。

[0119] (由运算单元执行的距离测量处理)

[0120] 首先,运算单元15的CPU(在下文中,被简称为“CPU”)获取由累加器14产生的直方图 $h(n)$ (步骤S1),并且然后基于直方图 $h(n)$ 计算作为光子到达光接收单元12的SPAD元件的概率的发生率 $p(n)$ (步骤S2)。稍后将描述计算发生率 $p(n)$ 的处理。

[0121] 应当注意,在发生率 $p(n)$ 的计算花费时间并且需要更快的计算的情况下,可以进行近似 $H(n) = h(n)$ 。即,可以将发生率 $p(n)$ 近似为与直方图相同。该近似允许步骤S2中的计算处理时间基本上可忽略。

[0122] 此后,CPU计算来自太阳30的光(环境光)到达光接收单元12的SPAD元件的概率(步骤S3),并且然后通过从在步骤S2中确定的发生率中减去在步骤S3中确定的环境光的到达率来计算来自发光单元11的光(有源光)到达光接收单元12的SPAD元件的概率(步骤S4)。稍后将描述计算环境光到达光接收单元12的SPAD元件的概率的处理。

[0123] 图7A示出了在距离测量目标20发生子表面散射的情况下在光接收单元12的SPAD元件处接收的光的波形。图7B示出了指示来自发光单元11的有源光到达光接收单元12的SPAD元件的概率随时间的变化的波形。图7B所示的波形是通过从步骤S2中确定的发生率 $p(n)$ 中减去图7A所示的环境光成分 E 而获得的波形。应当注意,在图7B中,以指数方式改变的高斯分布的平均值是 $\mu + (1/\lambda)$,并且标准偏差是 $\sqrt{\sigma^2 + (1/\lambda^2)}$ 。

[0124] 此后,CPU计算在步骤S4中确定的来自发光单元11的有源光到达光接收单元12的

SPAD元件的概率(图7B)的平均值和标准偏差(步骤S5)。此后,CPU基于来自发光单元11的有源光的宽度(标准偏差) σ 和在步骤S5中确定的到达光接收单元12的概率的标准偏差来计算对象特定值 λ (步骤S6)。具体地,CPU基于在步骤S5中确定的标准偏差($=\sqrt{\sigma^2+(1/\lambda^2)}$)计算对象特定值 λ 。应当注意,对象特定值 λ 是已知值。

[0125] 此后,如图7C所示,CPU从在步骤S5中确定的到达光接收单元12的概率的平均值中减去 $1/\lambda$,从而确定到距离测量目标20的光往返时间 μ (步骤S7)。此后,CPU将在步骤S7中确定的时间(即,到距离测量目标20的光往返时间 μ 乘以 $c/2$),并且输出结果值作为距离测量结果(步骤S8)。然后,CPU结束距离测量方法的一系列处理。

[0126] 现在,参考图7B和图7C对上述距离测量方法的一系列处理进行补充说明。

[0127] 图7B所示的数据表示来自发光单元11的光(有源光)到达光接收单元12的SPAD元件的概率随时间的变化。其平均值是 $\mu+(1/\lambda)$,并且其标准偏差是 $\sqrt{\sigma^2+(1/\lambda^2)}$ 。因此,可以使用有源光的已知宽度(标准偏差) σ 确定对象特定值 λ ,并且确定到距离测量目标20的光往返时间 μ 。该计算在图7C中示出。通过从以指数方式改变的高斯分布(图7B)的平均值中减去 $1/\lambda$,可以计算到距离测量目标20的光往返时间 μ 。

[0128] 到距离测量目标20的光往返时间 μ 具有由表达式6表示的关系。因此,在步骤S8的处理中,可以准确地计算到距离测量目标20的距离L。

[0129] 应用如上所述的根据本公开的技术使得可以准确地测量到其中发生子表面散射的距离测量目标20的距离L。

[0130] 尽管在以上描述中做出解释:“ σ 的值是预先测量的并且因此是已知值”,但是如果 σ 的值不是已知值,则可以执行以下处理。即,在确定平均值和标准偏差的步骤S5中进一步确定偏度(skewness)。此外,可以使用在文献:Olivier J.,Norberg,M.M.,(2010).Positively Skewed Data:Revisiting the Box-Cox Power Transformation.International Journal of Psychological Research,3(1),68-75中指示的计算来确定 σ 的值。

[0131] (计算发生率的处理)

[0132] 接下来,对上述步骤S2中的处理,即计算发生率 $p(n)$ (光子到达光接收单元12的SPAD元件的概率)的处理进行描述。图9是示出计算发生率的处理的示例的流程图。该处理还在运算单元15的CPU的控制下执行。

[0133] 首先,CPU输入作为为了产生直方图已经执行的测量次数的数值M(步骤S21),并且此后获取关于由累加器14产生的直方图的数据(步骤S22)。具体地,在步骤S22中,CPU获取直方图的每个仓n中的频率 $h(n)$ 。这里,n为0到N-1。

[0134] 在获取直方图的每个仓n中的频率 $h(n)$ 之后,CPU计算由以下表达式(7)定义的M(n-1)(步骤S23)。

[0135] [表达式7]

$$M_{(n-1)} = M - \sum_{j=0}^{n-1} h(j) \quad \dots \dots (7)$$

[0137] 表达式(7)表示通过进行M次的测量而与在仓m中发生 $h(m)$ 次无关的在仓n中的频率变为 $h(n)$ 的概率。这里,n为0到N-1。

[0138] 此后,CPU执行计算, $H(n) = h(n)/M(n-1)$,其中, n 为0到 $N-1$ (步骤S24)。应当注意, $H(n)$ 是由以下表达式(8)表示的正态分布的平均值,即,发生率 $p(n)$ 。

[0139] [表达式8]

$$[0140] \quad H(n) = \frac{h(n)}{M(n-1)} \quad \dots \dots (8)$$

[0141] 此后,CPU执行计算, $\sigma(n) = \sqrt{1/M(n-1) \times h(n)/M(n-1) \times \{1 - (h(n)/M(n-1))\}}$,其中, n 为0到 $N-1$ (步骤S25)。应当注意, $\sigma(n)$ 是表达式(8)的正态分布的标准偏差。此后,CPU输出 $H(n)$ 作为发生率 $p(n)$,并且输出 $\sigma(n)$ 作为标准偏差,其中, n 为0到 $N-1$ 。然后,CPU结束计算发生率 $p(n)$ 的一系列处理,并且流程返回至图8中的步骤S3。

[0142] (计算环境光的到达概率的处理)

[0143] 接下来,对上述步骤S3处的处理,即计算环境光到达概率(来自太阳30的环境光到达光接收单元12的SPAD元件的概率)的处理进行描述。图10是示出计算环境光到达SPAD元件的概率的处理的示例的流程图。该处理还在运算单元15的CPU的控制下执行。

[0144] 在计算环境光到达概率的处理中,使用在图8的步骤S2的处理中确定的发生率 $p(n)$,即,参考图9描述的计算发生率的处理。首先,CPU获取在参考图9描述的计算发生率的处理中确定的发生率 $p(n)$ (步骤S31)。此后,CPU确定作为环境光到达光接收单元12的SPAD元件的概率的环境光到达概率 I_{ambient} (步骤S32)。环境光到达概率 I_{ambient} 满足以下表达式(9)。

[0145] [表达式9]

$$[0146] \quad I_{\text{ambient}} = \underset{j}{\operatorname{argmax}} \left\{ \left| n \setminus H(n) - \frac{\sigma(n)}{2} \leq I \leq H(n) + \frac{\sigma(n)}{2} \right| \right\} \quad \dots (9)$$

[0147] 最后,CPU输出环境光到达概率 I_{ambient} 作为当用环境光照射距离测量目标20时获得的亮度值(步骤S33),并且结束计算环境光到达概率 I_{ambient} 的一系列处理。

[0148] 如上所述,在根据本实施例的距离测量装置或距离测量方法中,根据指示在光接收单元12处接收反射光的频率(或由其计算的发生率)的直方图来测量时间方向上的峰值周围的扩散状态。例如,在能够将由于子表面散射而从距离测量目标20输出的光近似为指数分布(表达式(1))的情况下,标准偏差被确定为扩散状态。

[0149] 此外,基于在时间方向上的峰值周围的扩散状态来计算关于子表面散射成分的校正量。例如,在来自发光单元11的光(有源光)能够近似为正态分布(表达式(2))并且由于子表面散射而从距离测量目标20输出的光能够近似为指数分布(表达式(1))的情况下,确定指数分布参数 λ ,并且将其倒数设置为校正量。

[0150] 此外,从距离测量结果中减去所计算的校正量,这允许距离 L 的准确测量。例如,在来自发光单元11的光(有源光)能够近似为正态分布(表达式(2))并且由于子表面散射而从距离测量目标20输出的光能够近似为指数分布(表达式(1))的情况下,从直方图的平均值(或从其计算的发生率)中减去校正量 $(1/\lambda)$ 。这允许距离 L 的准确测量。

[0151] <修改示例>

[0152] 尽管基于本公开的技术的一些优选实施例进行以上描述,但是本公开的技术不应限于这些实施例。在上述实施例中描述的距离测量装置的配置和结构仅是示例,并且可以

适当地修改。

[0153] <本公开的技术的应用示例>

[0154] 例如,上述本公开的技术可以安装在具有面部认证功能的各种电子设备上使用。具有面部认证功能的电子设备的示例可以包括移动设备,诸如智能电话、数码相机、平板电脑和个人计算机。然而,可应用本公开的技术的电子设备不应限于这些移动设备。

[0155] 这里,具有面部认证功能的智能电话被例示为可应用本公开的技术的电子设备的示例。图11是如从前侧观看的可应用根据本公开的技术的电子设备的示例的智能电话的外观图。

[0156] 根据具体示例的智能电话100包括主体110和设置在主体110的正面的显示器120。智能手机100还包括根据上述实施例的距离测量装置10的发光单元11和光接收单元12。发光单元11和光接收单元12例如设置在主体110的正面的上部。应当注意,设置距离测量装置10的发光单元11和光接收单元12的位置不应限于主体110的正面的上部的位置。

[0157] 根据上述实施例的距离测量装置10可安装在根据具体示例的智能电话100上。这使得智能电话100具有识别对象的三维形状的功能,例如,面部认证功能。具体地,距离测量装置10使得可以在考虑归因于子表面散射的时间的同时准确地测量到距离测量目标的距离。因此,距离测量装置10例如能够以更高的确定性执行面部认证。

[0158] <本公开的可能配置>

[0159] 应当注意,本公开还可以具有以下配置。

[0160] <<A. 距离测量装置>>

[0161] [A-01]一种距离测量装置,包括:

[0162] 光接收单元,接收基于来自发光单元的照射光的来自距离测量目标的反射光;

[0163] 直方图获取单元,获取指示在光接收单元处接收反射光的频率的直方图;以及

[0164] 运算单元,基于与由直方图获取单元获取的直方图的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标的距离,

[0165] 运算单元基于由直方图获取单元获取的直方图的形状来校正基于与直方图的峰值相对应的时间计算的距离。

[0166] [A-02]根据上述[A-01]的距离测量装置,其中,光接收单元的光接收元件是以盖革模式操作的雪崩光电二极管。

[0167] [A-03]根据上述[A-02]的距离测量装置,其中,光接收单元的光接收元件是单光子雪崩二极管。

[0168] [A-04]根据上述[A-01]至[A-03]中任一项的距离测量装置,其中,距离测量目标是引起子表面散射的对象。

[0169] [A-05]根据上述[A-04]的距离测量装置,其中,直方图获取单元包括:

[0170] 时间差检测器,检测从发光单元发射照射光的时间点到在光接收单元处接收来自距离测量目标的反射光为止的时间;以及

[0171] 累加器,基于由时间差检测器检测的时间来生成直方图。

[0172] [A-06]根据上述[A-01]至[A-05]中任一项的距离测量装置,其中,直方图的形状是通过由直方图获取单元获取的直方图进行预定统计处理而获得的来自距离测量目标的反射光分布在峰值周围的扩散状态。

[0173] [A-07]根据上述[A-06]的距离测量装置,其中,运算单元测量来自距离测量目标的反射光分布在峰值周围的扩散状态,根据峰值周围的扩散状态计算校正量,并且基于所计算的校正量来执行校正。

[0174] [A-08]根据上述[A-07]的距离测量装置,其中,运算单元通过从反射光的分布的峰值中减去根据峰值周围的扩散状态计算的校正量来执行距离的校正。

[0175] [A-09]根据上述[A-08]的距离测量装置,其中,反射光的分布是通过从由直方图获取单元获取的直方图中减去环境光成分而获得的分布。

[0176] [A-10]根据上述[A-01]的距离测量装置,其中,反射光分布在峰值周围的扩散状态是标准偏差。

[0177] [A-11]根据上述[A-10]的距离测量装置,其中,根据峰值周围的扩散状态计算的校正量是根据标准偏差确定的指数分布参数的倒数。

[0178] <<B. 距离测量方法>>

[0179] [B-01]一种距离测量方法,使距离测量装置:

[0180] 基于与由直方图获取单元获取的直方图的峰值相对应的时间来计算到距离测量目标的距离;以及

[0181] 基于由直方图获取单元获取的直方图的形状来校正基于与直方图的峰值相对应的时间计算的距离,

[0182] 该距离测量装置包括:

[0183] 光接收单元,接收基于来自发光单元的照射光的来自距离测量目标的反射光;以及

[0184] 直方图获取单元,获取指示在光接收单元处接收反射光的频率的直方图。

[0185] [B-02]根据上述[B-01]的距离测量方法,其中,光接收单元的光接收元件是以盖革模式操作的雪崩光电二极管。

[0186] [B-03]根据上述[B-02]的距离测量方法,其中,光接收单元的光接收元件是单光子雪崩二极管。

[0187] [B-04]根据上述[B-01]至[B-03]中任一项的距离测量方法,其中,距离测量目标是引起子表面散射的对象。

[0188] [B-05]根据上述[B-04]的距离测量方法,其中,直方图获取单元包括:

[0189] 时间差检测器,检测从发光单元发射照射光的时间点到在光接收单元处接收来自距离测量目标的反射光为止的时间;以及

[0190] 累加器,基于由时间差检测器检测的时间来生成直方图。

[0191] [B-06]根据上述[B-01]至[B-05]中任一项的距离测量方法,其中,直方图的形状是通过由直方图获取单元获取的直方图进行预定统计处理而得到的来自距离测量目标的反射光分布在峰值附近的扩散状态。

[0192] [B-07]根据上述[B-06]的距离测量方法,其中,运算单元测量来自距离测量目标的反射光分布在峰值周围的扩散状态,根据峰值周围的扩散状态计算校正量,并且基于所计算的校正量来执行校正。

[0193] [B-08]根据上述[B-07]的距离测量方法,其中,运算单元通过从反射光的分布的峰值中减去根据峰值周围的扩散状态计算的校正量来执行距离的校正。

[0194] [B-09]根据上述[B-08]的距离测量方法,其中,反射光的分布是通过从由直方图获取单元获取的直方图中减去环境光成分而获得的分布。

[0195] [B-10]根据上述[B-01]的距离测量方法,其中,反射光分布在峰值周围的扩散状态是标准偏差。

[0196] [B-11]根据上述[B-10]的距离测量方法,其中,根据峰值周围的扩散状态计算的校正量是根据标准偏差确定的指数分布参数的倒数。

[0197] 本申请要求于2020年10月20日在日本专利局提交的日本在先专利申请JP2020-175913的权益,该专利申请的全部内容通过引用结合于此。

[0198] 本领域技术人员应当理解,根据设计要求和因素,可以进行各种修改、组合、子组合和变更,只要这些修改、组合、子组合和变更在所附权利要求或其等同物的范围内。

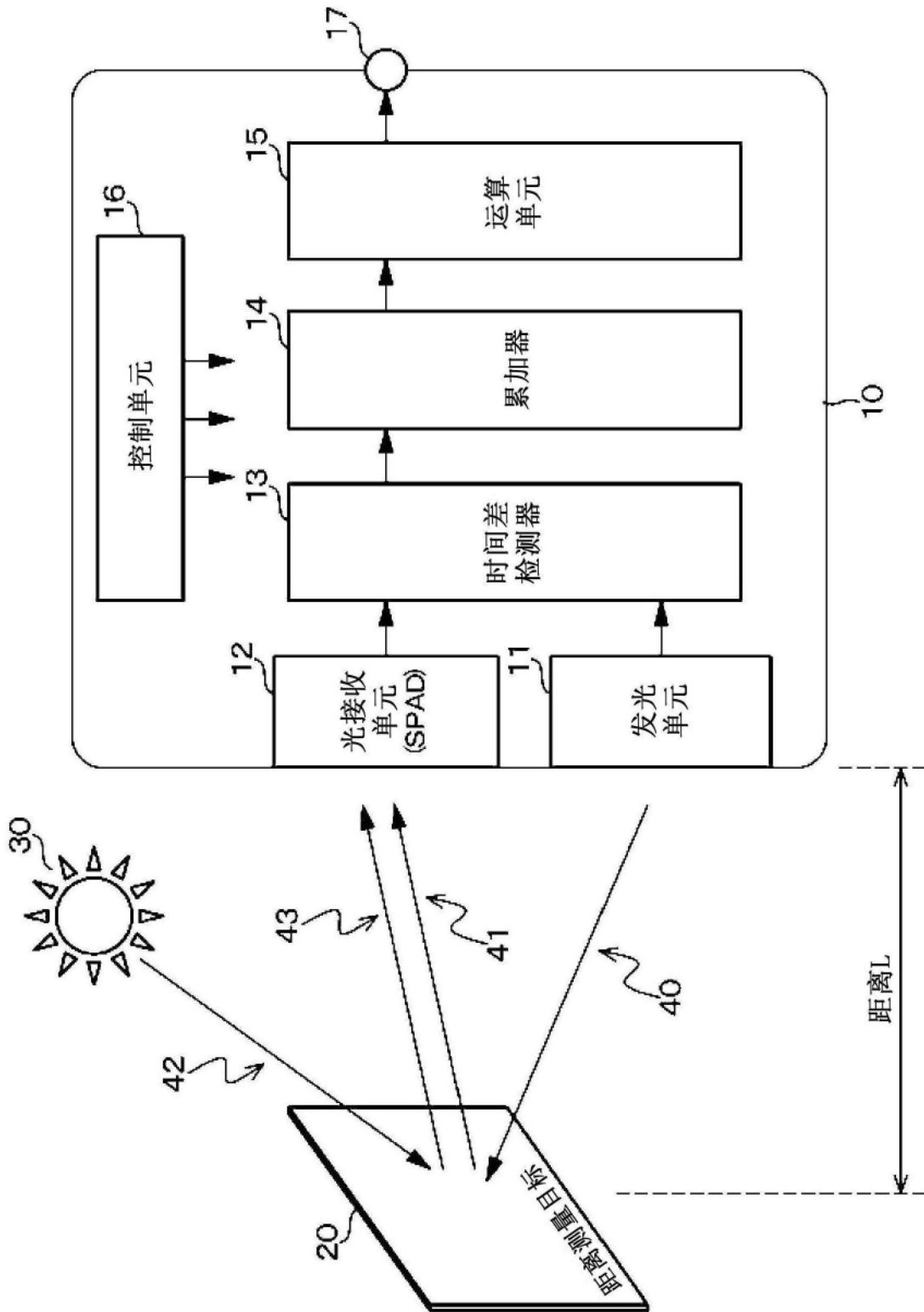


图1

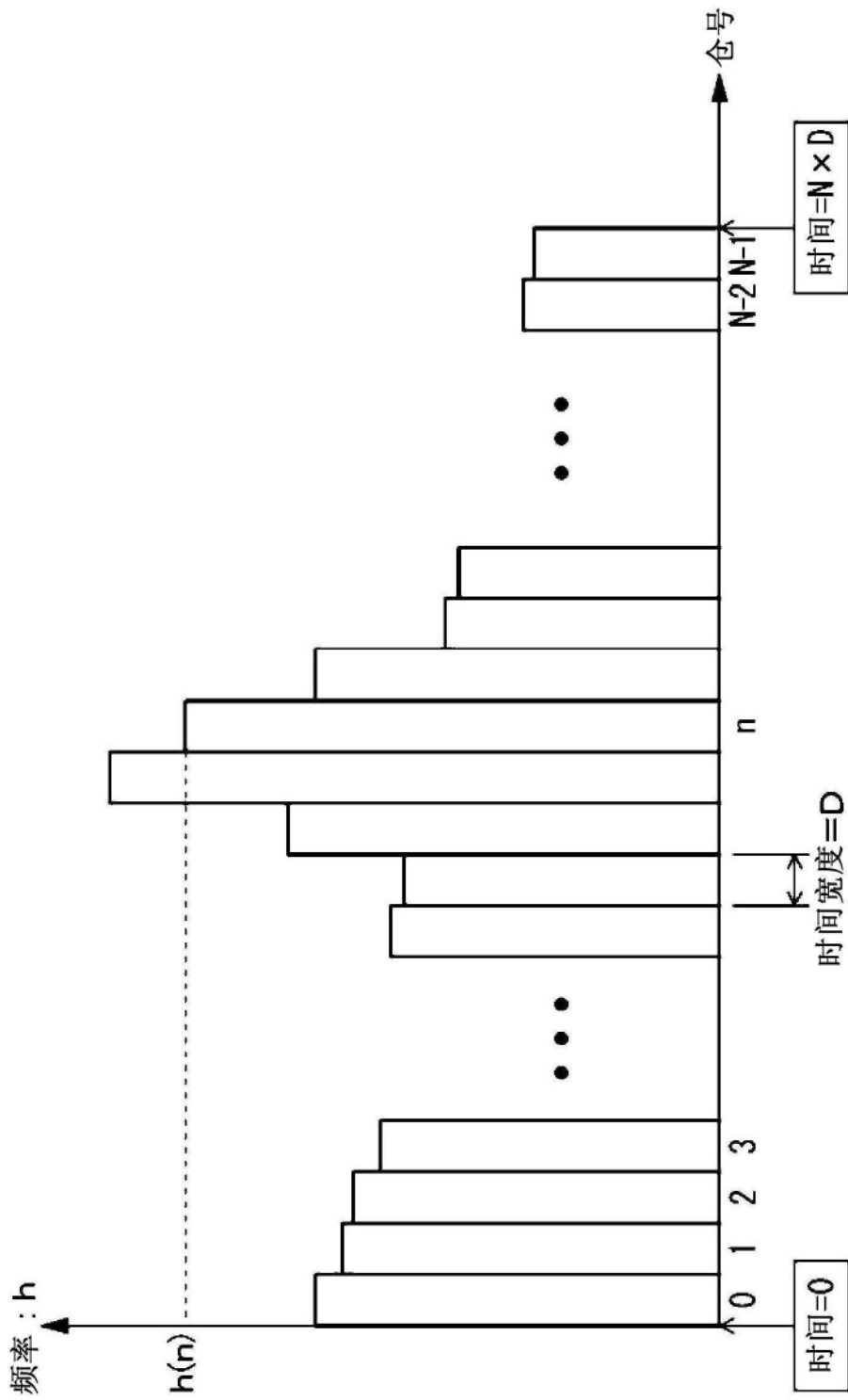


图2

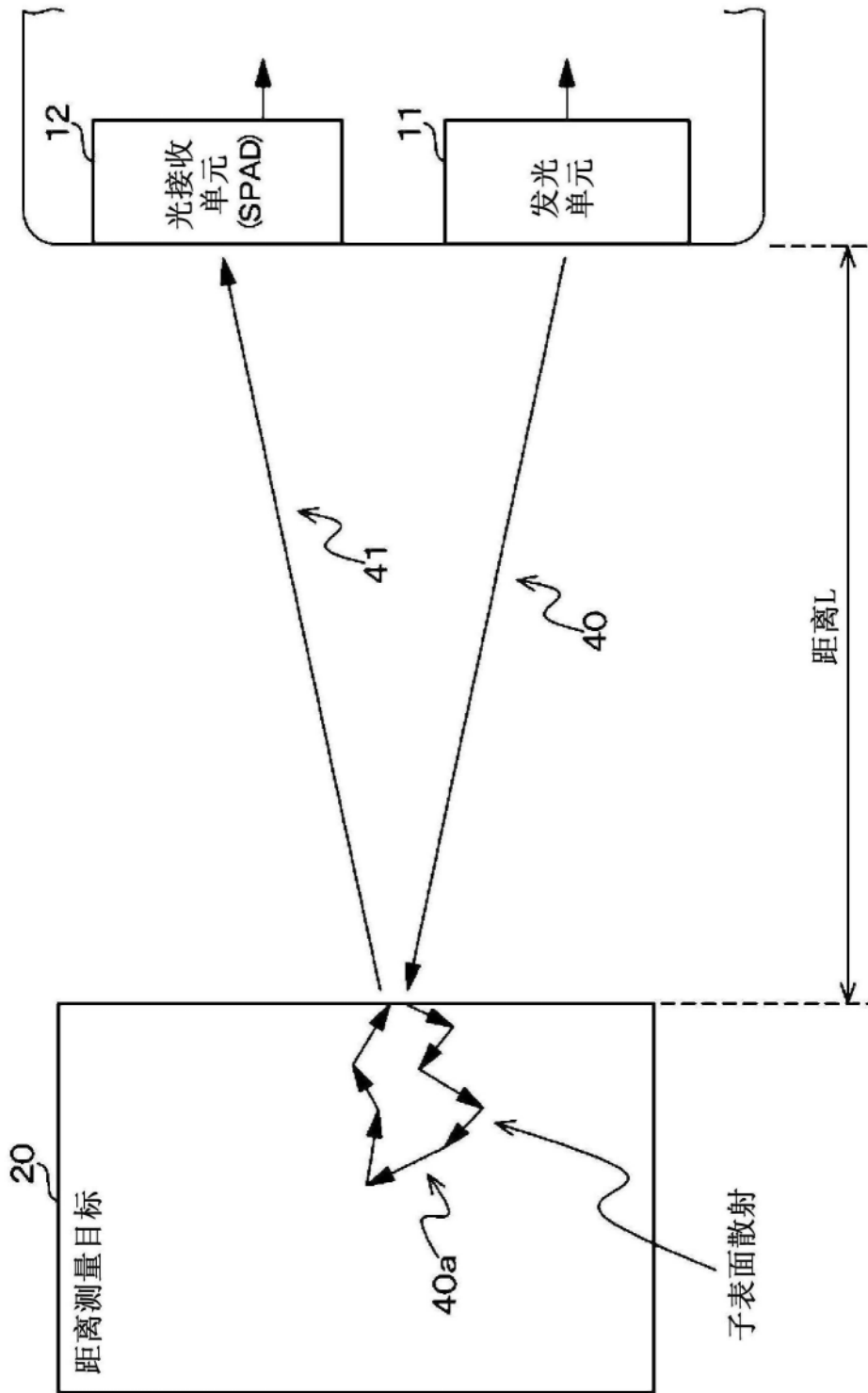


图3

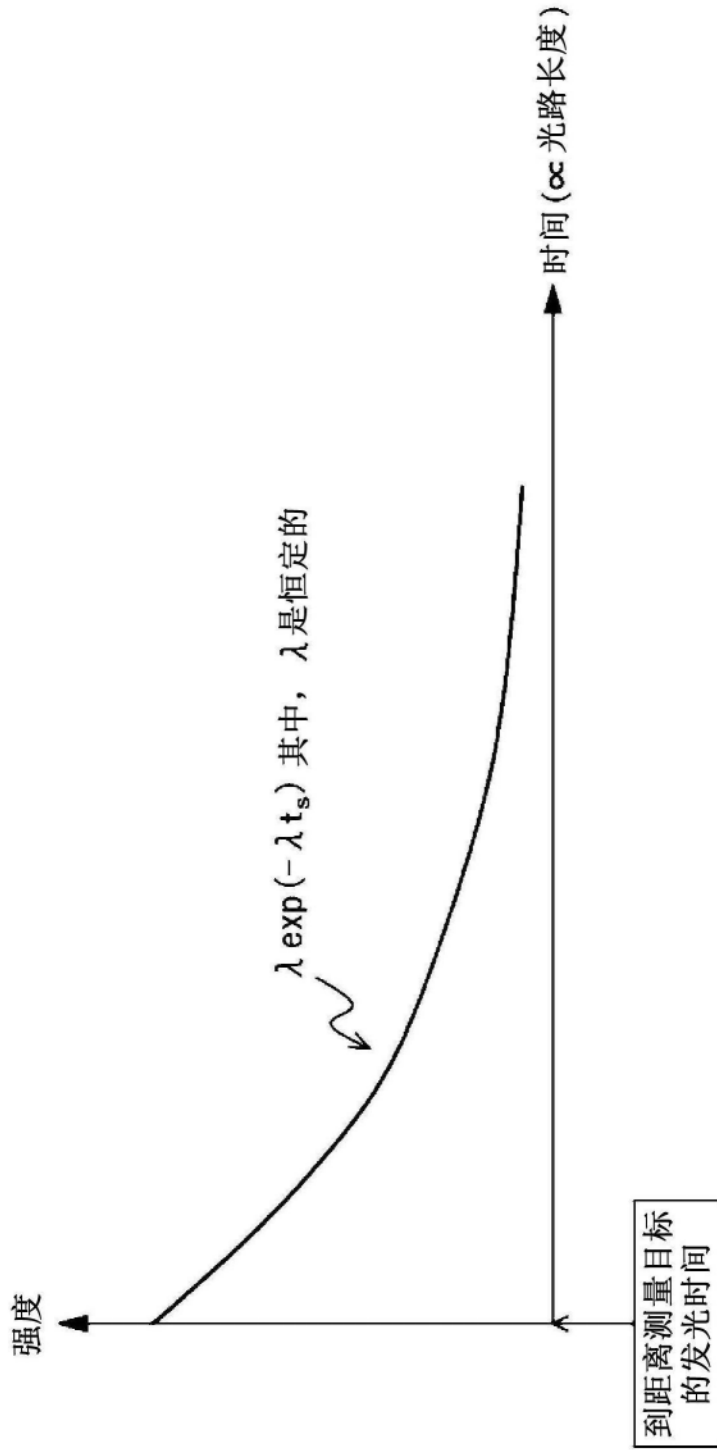


图4

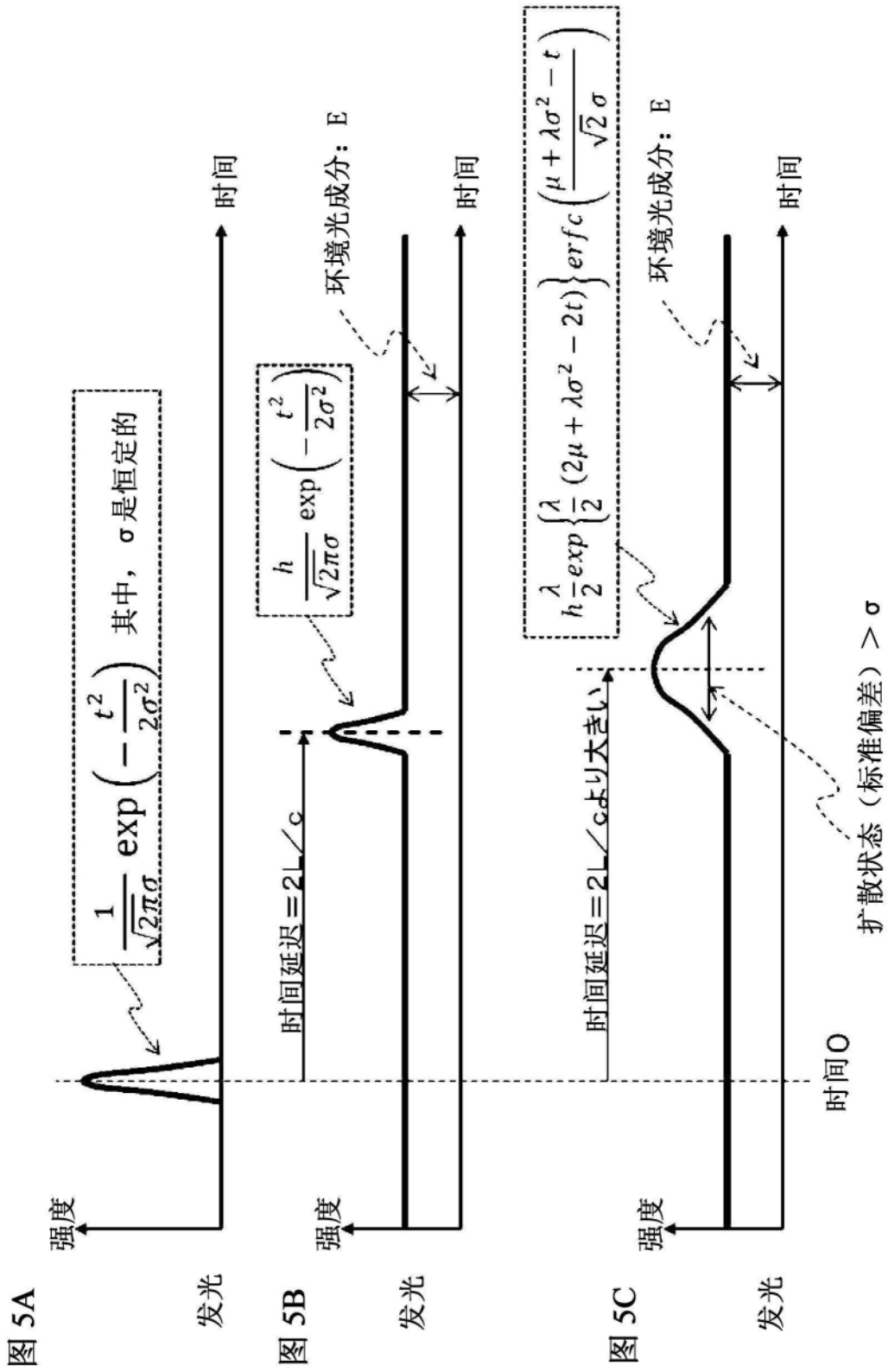


图5

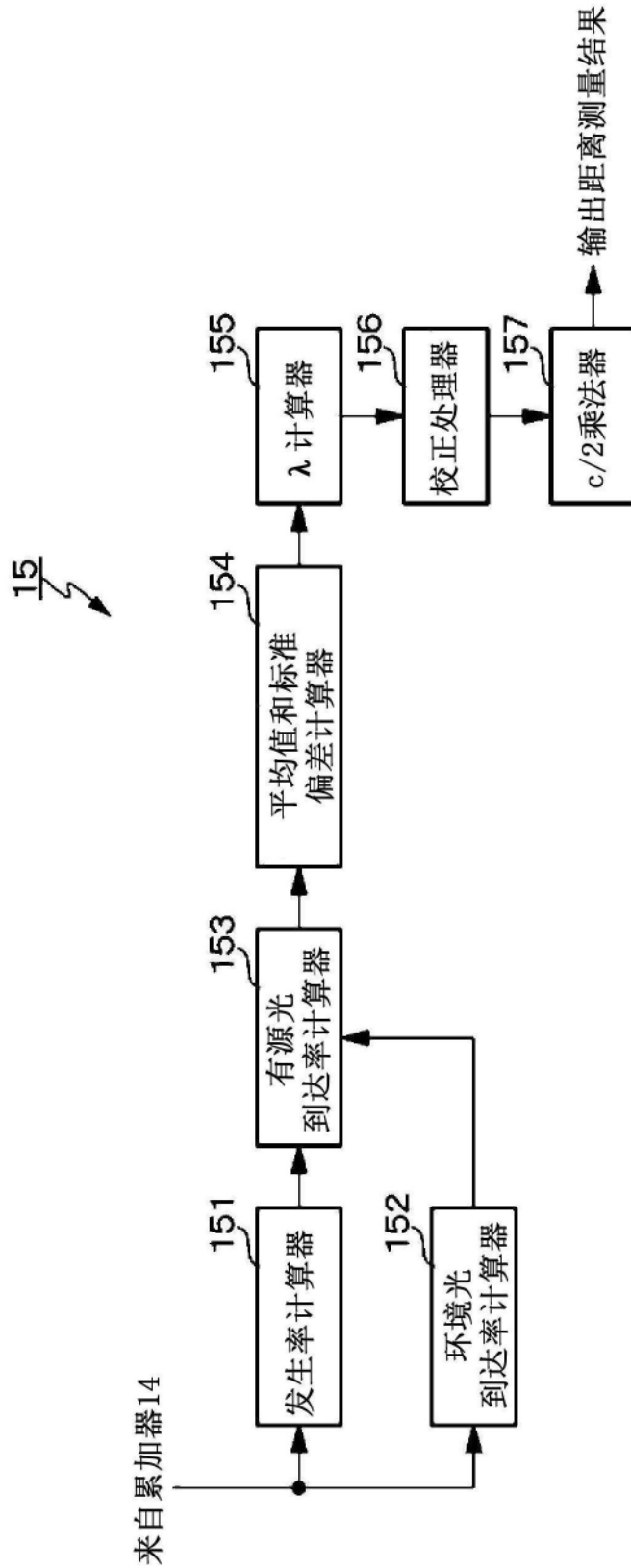


图6

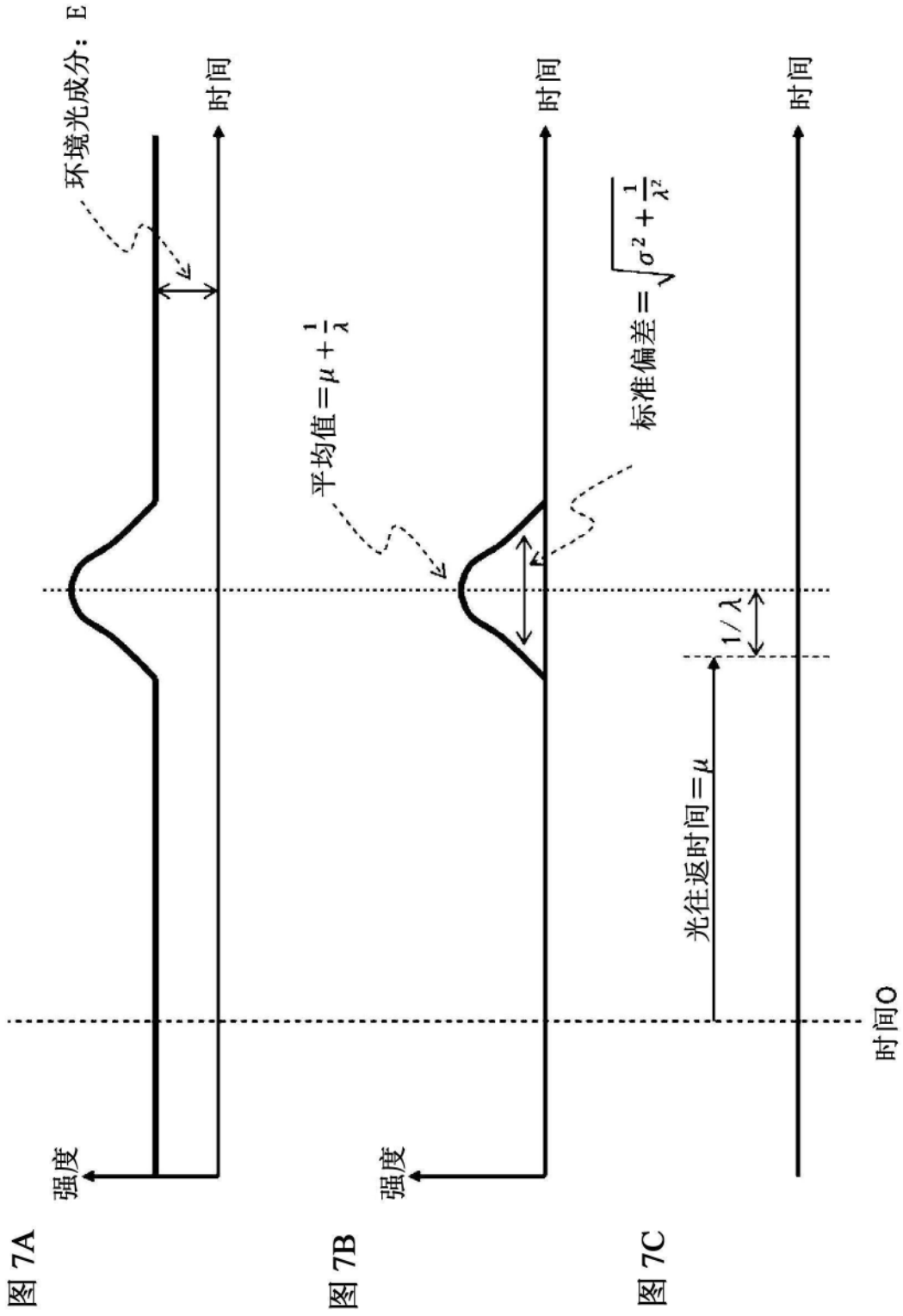


图7

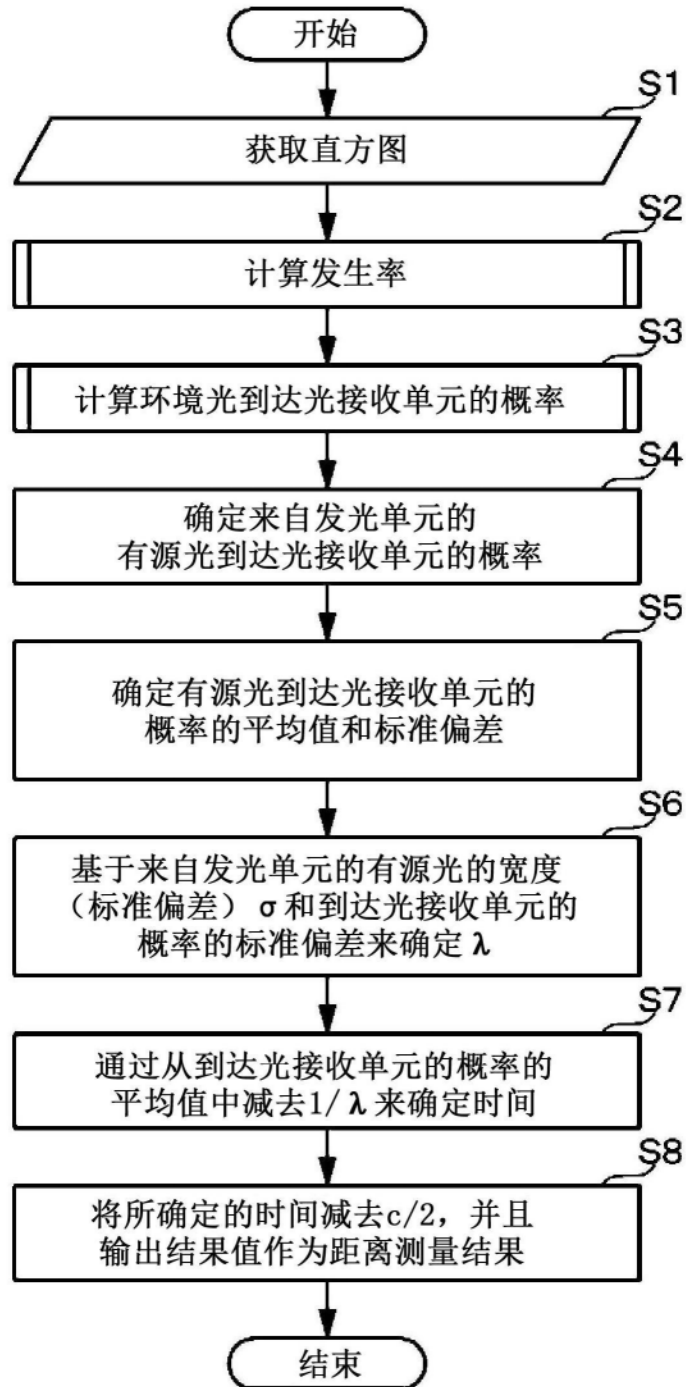


图8

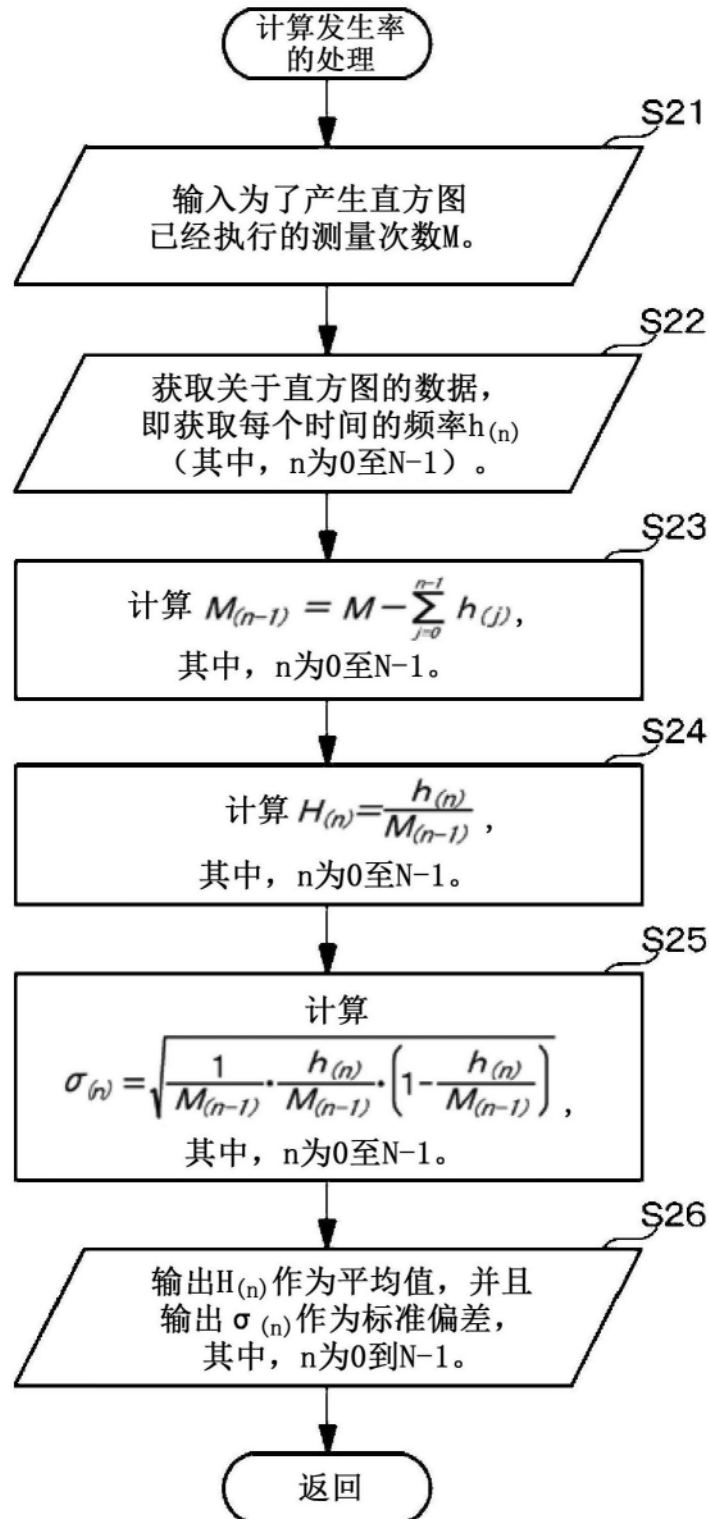


图9

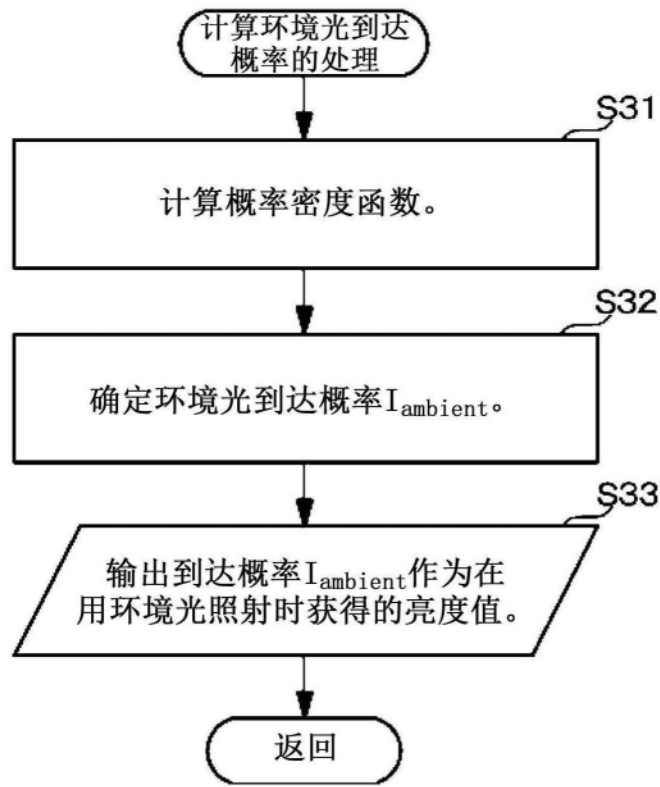


图10

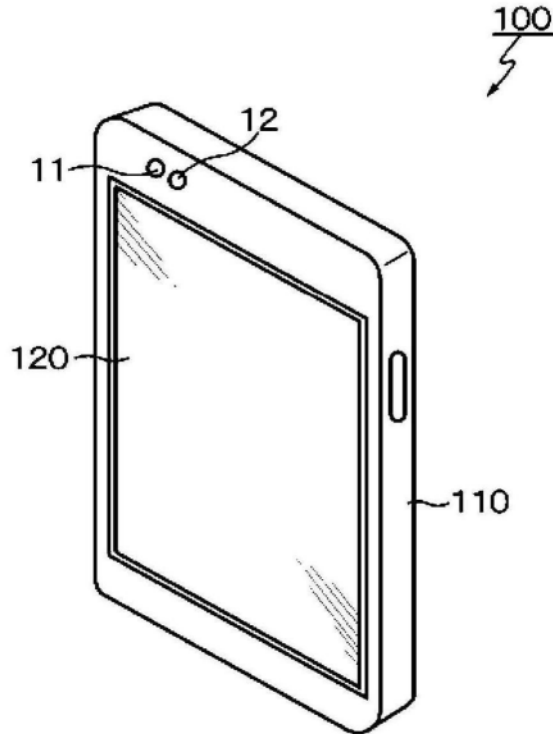


图11