(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 118541988 A
(43)申请公布日 2024.08.23

(21)申请号 202380016840.4
(22)申请日 2023.01.19
(30)优先权数据
22153557.8 2022.01.27 EP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.07.11
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2023/051204 2023.01.19
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/143997 EN 2023.08.03
(71)申请人 体素传感器有限责任公司
地址 比利时
(72)发明人 W·万德藤佩尔 C·穆拉德
(74)专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所有限公司 11038
专利代理师 杜文树
(51)Int.Cl.
H04N 25/773(2023.01)
H04N 25/79(2023.01)
G06N 3/049(2023.01)
G06V 10/44(2022.01)
G06V 10/82(2022.01)

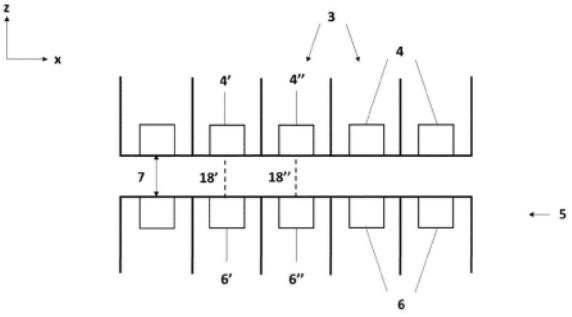
权利要求书2页 说明书21页 附图9页

(54)发明名称

高效图像传感器

(57)摘要

本发明涉及一种用于高效光学感测的图像传感器(1)。传感器(1)包括多个像素传感器(3),每个像素传感器(3)包括光电检测器(4),每个像素适于输出数字信号。传感器(1)还包括处理装置,例如神经网络(5),其包括多个神经元(6)。每个光电检测器(4)在所述处理装置附近。此外,每个光电检测器(4)连接到处理装置。



CN 118541988 A

1.一种用于高效光学感测的图像传感器(1),包括:

-多个像素传感器(3),每个像素传感器(3)包括光电检测器(4),并且适于输出逻辑信号,以及

-处理装置,其中所述处理装置是至少一个神经网络(5),包括多个神经元(6),

每个光电检测器(4)在与其对应的至少一个神经元(6)附近,其中每个光电检测器(4)并联连接到,优选地直接连接到,与其对应的所述至少一个神经元(6),

其中,所述光电检测器(4)是单光子检测器,优选地是单光子雪崩二极管,

并且每个神经元(5)都适于接收脉冲串。

2.根据权利要求1所述的图像传感器(1),其中,每个神经元(6)连接到至少一个相邻神经元(6'),其中每个神经元(6)能够基于所述至少一个相邻神经元(6')的输入信号(12)以及所述检测器(4)的输出(11)来产生输出。

3.根据权利要求1或2所述的图像传感器(1),其中,每个神经元(6)能够基于到所述神经元(6)的当前输入(11,12)以及所述神经元(6)的当前状态来产生输出(13)。

4.根据权利要求1至3中的任一项所述的图像传感器(1),其中,所述神经网络(5)是尖峰神经网络。

5.根据前述权利要求中的任一项所述的图像传感器(1),其中,每个检测器(4)与所述处理装置之间的距离(7)为至多100微米,优选地至多50微米,更优选地至多25微米,并且最优选地至多10微米。

6.根据前述权利要求中任一项所述的图像传感器(1),其中,所述多个像素传感器(3)堆叠在所述处理装置上。

7.一种光学感测系统,包括根据前述权利要求中任一项所述的图像传感器(1)和能够在所述图像传感器上产生场景的图像的光学器件。

8.根据权利要求7所述的光学感测系统,其中,所述系统(1)还包括至少一个光源,其中,所述光源适于照明场景上的点,其中,所述光源包括适于扫描,优选地连续扫描,所述场景上的所述点的装置。

9.根据权利要求7或8所述的光学感测系统,其中,所述网络(5)被训练为提取到所述网络(5)的一组输入信号的特征。

10.一种用于使用根据权利要求7至9中任一项所述的光学感测系统来提取场景的特征的方法,包括以下步骤:

-使所述神经网络(5)适于接收脉冲串,

-在由神经元(6)接收每个脉冲之后调节所述神经元(6)的激活水平,

-一旦所述激活水平超过阈值,则使所述神经元(6)适于产生输出信号,

-将所述输出信号传播到所述网络(5)的后续层中的至少一个神经元,以及

-提取所述网络(5)的输出信号的特征。

11.根据权利要求10所述的方法,其中,所述方法还包括确定视场的深度剖面的步骤,所述确定步骤包括以下步骤:

a)借助于所述光源将至少一个光图案投影到所述视场上,所述投影发生在小于10微秒、优选地小于1微秒的时间窗内;

b)在所述时间窗内的至少一个观察窗期间,与对所述图案的投影同步地,借助于所述

图像传感器和光学器件对所投影的图案进行成像,当对应的光电检测器没有检测到光时,所述像素传感器处于伪状态,而当对应的光电检测器检测到光时,所述像素传感器处于真状态,从而获得表示所述视场的第一二进制像素矩阵;

c)通过仅考虑在所述时间窗内的一个观测或至少两个观测的组合中获得的像素矩阵上处于真状态且具有至少一个也处于真状态的相邻像素的像素,将所投影的图案与所述二进制像素矩阵上的环境光噪声分离,从而获得表示所投影的图案的第二二进制像素矩阵;

d)基于所述光源的位置、所述图像传感器的位置和所述第二二进制像素矩阵之间的三角测量,计算与所投影的图案相对应的深度轮廓;

e)通过在整个视场上重复步骤a至d来扫描所投影的图案,以确定整个视场上的深度轮廓;

其中所述图案的每个孤立元素在至少两个紧邻像素上以二进制表示延伸。

12.根据权利要求10或11所述的方法,其中,所述方法还包括以下步骤:

-在每个检测器(4)的时域中编码入射光子的强度和强度变化数据,以及

-由所述神经网络(5)解码所述强度和强度变化数据。

高效图像传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种图像传感器和包括这种图像传感器的光学感测系统。特别地,本发明涉及用于高效光学感测的一种图像传感器和包括这种图像传感器的光学感测系统。

背景技术

[0002] 当使用传统的或基于AI的图像信号处理单元成像时,功耗是最重要的参数之一。通常,所述单元的光电检测器以基于帧的方式检测入射光子。帧率越高,则总功耗越高。这在入射在一组光电检测器上的光子逐帧地以及在许多连续帧上保持相同的情况下是不利的。在这种情况下,由于单元重复处理相似或相同的帧,因此较高的帧率仅导致功耗增加。

[0003] 另一不利是由于需要处理所有光电检测器输出而不管是否存在检测到的光子,所以功率效率低下。例如,需要在逻辑‘1’(例如,检测到光子,例如,图像信息可用)和逻辑‘0’(例如,没有光子,例如,图像信息不可用)两种情况下处理光电检测器输出。因此,也将需要处理不存在检测的情况,从而导致不必要的功耗。

[0004] 另一不利是需要用于从光检测器传输数据到处理器的数据总线。此外,在每个光电检测器的输出处需要具有预定分辨率的量化器。所述量化器的分辨率越高,每次量化所需的功耗就越高。还需要一种模数转换器和随机存取存储器。所有这些都需要空间,但是由于这些部件中的每一个的功率损耗,也导致系统效率低下。

[0005] 因此,需要功率高效的图像传感器和光学感测系统以及信号处理单元。

[0006] 本发明的目的在于解决上述问题中的至少一些。

发明内容

[0007] 本发明的实施例的目的是提供一种高效的图像传感器和包括这种图像传感器的光学感测系统。上述目的通过根据本发明的设备和方法来实现。

[0008] 在第一方面,本发明涉及一种用于高效光学感测的图像传感器,包括:

[0009] 多个像素传感器,每个像素传感器包括适于输出逻辑信号的光电检测器,以及

[0010] 处理装置,

[0011] 其特征在于,每个光电检测器在所述处理装置附近,其中每个光电检测器连接到、优选直接连接到处理装置。

[0012] 本发明的实施例的优点在于,处理感测信息是通过具有到每个像素传感器的大规模并行输入连接的处理结构来完成的,例如使用神经网络来实现,而不是通过具有串行数据和指令的传统处理器来实现。为了可读性,我们将使用神经网络作为说明书的剩余部分中的主要示例实现,然而,本发明可应用于具有到阵列中的每个像素传感器的专用连接的极度并行化计算的推广。例如,其中所述处理装置是至少一个神经网络,包括多个神经元,其中每个光电检测器在至少一个与其对应的神经元附近,其中每个光电检测器连接到,优选直接连接到,至少一个与其对应的神经元。

[0013] 本发明的实施例的优点在于,与传统处理器相比,以快得多的速率、以少得多的功

率来完成处理感测信息。

[0014] 本发明的实施例的优点在于,消除了对传统处理器的需要。

[0015] 本发明的实施例的优点在于,消除了对模数转换器(ADC)的需要。本发明的实施例的优点在于,消除了对传统随机存取存储器(RAM)的需要。

[0016] 本发明的实施例的优点在于获得了功率高效的光学感测系统。

[0017] 本发明的实施例的优点在于克服了光信号处理器的限制,例如基于帧的成像的限制(例如,必须重复处理相似或相同的帧,这是功率低效的)。

[0018] 本发明的实施例的优点在于,由于仅当所述检测器检测到入射光子时才使用所述网络处理光数据,获得了功率高效的光学感测系统。

[0019] 本发明的实施例的优点在于获得了紧凑的系统。本发明的实施例的优点在于,消除了对用于数据传输的长和/或宽总线的需要,或者消除了对网络中每个检测器和其对应神经元之间的极高速串行链路的需要。

[0020] 本发明的实施例的优点在于,避免了检测器和神经元之间的中间部件,因此提高了系统的功率效率。获得功率效率高且简单的连接是有利的。

[0021] 本发明的实施例的优点在于,检测器的输出由相应的神经元同时处理。本发明的实施例的优点在于,获得了使用网络的高效和快速的数据处理。

[0022] 本发明第一方面的优选实施例包括以下特征中的一个或多于一个的适当组合。

[0023] 光电检测器是单光子检测器,优选是单光子雪崩二极管(SPAD)。本发明的实施例的优点在于SPAD起量化器的作用,这消除了对额外量化器的需要。本发明的实施例的优点在于,对所述二极管上的入射光子的强度数据(以及强度数据的变化)在所述二极管的输出的时域中进行编码。

[0024] 每个检测器和其对应的神经元之间的距离优选至多100微米,优选至多50微米,更优选至多25微米,并且最优选10微米。本发明的实施例的优点在于,获得了每个检测器和其对应的神经元之间的短且几乎直接的连接。

[0025] 多个像素传感器可以堆叠在多个神经元上。本发明的实施例的优点在于,获得了所述像素传感器和所述神经元之间的最短连接。本发明的实施例的优点在于,消除了对于用于像素传感器和神经元之间的数据传输的长总线的需要。本发明的实施例的优点在于,尽管所述像素传感器和所述神经元之间的连接是固定的,但是每个神经元处的权重是可配置和可重新配置的。

[0026] 每个神经元可以连接到至少一个相邻神经元,其中每个神经元能够基于至少一个相邻神经元的输入信号以及所述检测器的输出来产生输出。本发明的实施例的优点在于获得了更精确的检测。本发明的实施例的优点在于,滤除并减少了假阳性检测和噪声。

[0027] 每个神经元优选能够基于到所述神经元的当前输入以及所述神经元的当前状态产生输出。本发明的实施例的优点在于预测可能的即将到来的检测。本发明的实施例的优点在于,网络具有类似存储器的行为。

[0028] 网络优选适于响应脉冲串。本发明的实施例的优点在于,所述单个检测器输出(脉冲或尖峰串)与所述神经网络输入兼容。本发明的实施例的优点在于,不需要转换所述检测器的输出以被所述神经网络接受。

[0029] 神经网络有利地是尖峰神经网络。本发明的实施例的优点在于,使用高效的神经

网络,以便获得功率高效的光学感测系统。本发明的实施例的优点在于,使用尖峰神经网络获得更快的光学感测速率。本发明的实施例的优点在于,所述网络与检测器的输出兼容。

[0030] 在第二方面,本发明涉及一种光学感测系统,包括根据第一方面的图像传感器,以及能够在所述图像传感器上产生场景图像的光学器件。

[0031] 本发明的第二方面的优选实施例包括以下特征中的一个或多于一个的适当组合:

[0032] 该系统还包括至少一个光源,其中所述光源适于照射场景上的点,其中所述光源包括适于扫描场景上的所述点的装置,优选连续地扫描,

[0033] 所述网络被训练以提取所述网络的一组输入信号的特征,

[0034] 所述特征是场景中的对象的质量、密度、运动和/或接近度。

[0035] 在第三方面,本发明涉及一种使用根据第二方面的光学感测系统来提取场景的特征的方法,包括以下步骤:

[0036] 使所述神经网络适于接收脉冲串,

[0037] 基于所述脉冲串来调整神经元的激活水平,

[0038] 一旦所述激活水平超过阈值,则使所述神经元适于产生输出信号,

[0039] 将所述输出信号传播至所述网络的后续层中的至少一个神经元,以及

[0040] 提取所述网络的输出信号的特征。

[0041] 本发明第三方面的优选实施例包括以下特征中的一个或多于一个的适当组合:

[0042] 该方法还包括确定视场的深度剖面的步骤,所述确定步骤包括以下步骤:

[0043] a)借助于所述光源将至少一个光图案投影到视场上,所述投影发生在小于10微秒、优选小于1微秒的时间窗内;

[0044] b)在所述时间窗内的至少一个观察窗期间,与对所述图案的投影同步地,借助于所述图像传感器和光学器件对所投影的图案进行成像,当对应的光电检测器没有检测到光时,所述像素传感器处于伪状态,并且当对应的光电检测器检测到光时,所述像素传感器处于真状态,从而获得表示所述视场的第一二进制像素矩阵;

[0045] c)通过仅考虑在所述时间窗内的一个观测或至少两个观测的组合中获得的像素矩阵上处于真状态且具有至少一个也处于真状态的相邻像素的像素,将所投影的图案与像素的二进制矩阵上的环境光噪声分离,从而获得表示所投影的图案的第二二进制像素矩阵;

[0046] d)基于光源位置、图像传感器位置和第二二进制像素矩阵之间的三角测量,计算与所投影的图案相对应的深度轮廓;三角测量还可以使用图像传感器的相对位置和对应的第二二进制矩阵在图像传感器的两个或更多个实例之间实现;

[0047] e)通过在整个视场上重复步骤a至d来扫描所投影的图案,以确定整个视场上的深度轮廓;

[0048] 其中图案的每个孤立元素在至少两个紧邻像素上以二进制表示延伸,

[0049] 该方法还包括以下步骤:

[0050] 在每个检测器的时域中编码入射光子的强度和强度变化数据,以及

[0051] 通过神经网路解码强度和强度变化数据,

[0052] 该方法还包括训练所述网络以提取向所述网络的一组输入信号的特征的步骤。

[0053] 通过下面结合附图的详细描述,本发明的上述和其它特性、特征和优点将变得显

而易见,附图以示例的方式示出了本发明的原理。该描述仅是为了示例而给出的,而不是限制本发明的范围。

附图说明

[0054] 本公开将借助于以下描述和附图进一步示出。

[0055] 图1示出了根据本发明的实施例的包括神经网络(5)的图像传感器(1)的顶视图。

[0056] 图2示出了根据本发明的实施例的图像传感器(1)和神经网络(5)的截面,其中每个检测器(4)在至少一个对应的神经元(6)附近。在具有特定深度的神经网络的情况下,可以存在来自网络中的后续层的附加神经元。因此,网络(5)不限于仅对应于或与图像传感器(1)接口的神经元。

[0057] 图3示出了根据本发明的实施例的图像传感器(1)和神经网络(5)的截面,其中像素传感器(3)的检测器(4)堆叠在神经元(6)上,并且由此在像素传感器层和神经元层之间存在物理连接,包括每个像素传感器(3)和对应的接口神经元(6)之间的电连接。物理连接可以通过晶片到晶片的接合获得,由此使用Cu-Cu连接创建电连接。用于控制和/或偏置检测器以及预调节或处理检测器信号的局部像素电路可以存在于像素传感器层中。为了降低像素传感器层的制造复杂性,这种电路可以部分地或完全地在神经网络层(5)中实现。例如,如果使用MOS晶体管的所有电路都在神经网络层上实现,则可以避免制造MOS晶体管所需的处理步骤。

[0058] 图4示出了根据本发明的实施例的图像传感器(1)和神经网络(5)的顶视图,其中像素传感器(3)的检测器(4)将被堆叠在神经元(6)上。

[0059] 图5示出了根据本发明的实施例的图像传感器(1)和神经网络(5)的截面,其中用于检测器(4)和神经元(6)中的每一个的至少1个接触垫(8)彼此堆叠。

[0060] 图6示出了根据本发明的实施例的为神经网络(5)中的神经元(6)馈送的多个检测器(4)。

[0061] 图7示出了根据本发明的实施例的使用尖峰神经网络的图像传感器(1)的实施方式。

[0062] 图8示出了根据本发明的实施例的在所述像素传感器(3)上的入射光子的编码和解码强度。

[0063] 图9示出了根据本发明的实施例,使用神经网络(5)来减少检测器输出(11)中的热噪声和环境噪声。

[0064] 图10示出了根据本发明的实施例的脉冲耦合神经网络(27)中的神经元的操作。

[0065] 图11示出了根据本发明实施例的来自像素传感器阵列的三个连续输入信号,其中(a,b,c)是没有环境和热噪声的理想情况检测,(d,e,f)是具有环境和热噪声的实际情况检测,并且(g,h,i)是经滤波的输出。

[0066] 图12根据本发明实施例,在(a)中示出了包括多个像素传感器(35)、处理单元(38)和存储元件(37)的图像传感器(34)的横截面图,并且在(b)中示出了矩阵结构中的所述多个像素传感器(35)的顶视图。

[0067] 图13示出了根据本发明实施例的矩阵结构的所述多个像素传感器(35)及其检测(39),其中在一个像素传感器(35')中在两个连续的时间步长(T1,T2)中发生两个检测

(39',39")。

[0068] 图14示出了根据本发明实施例的矩阵结构的所述多个像素传感器(35)及其检测(39),其中在两个紧邻像素传感器(35',35")中在两个连续时间步长(T1,T2)中发生两个检测(39',39"),其中推断在即将到来的时刻(T3)即将到来的检测(39"')。

[0069] 图15示出了根据本发明实施例的矩阵结构的所述多个像素传感器(35)及其检测(39),其中在两个非紧邻像素传感器(35',35"')中在两个连续时间步长(T1,T2)中发生两个检测(39',39"),其中推断在即将到来的时刻(T3)即将到来的检测(39"')。

[0070] 图16示出根据本发明实施例的在场景(44)中在第一和第二连续时刻(T1,T2)之间移动的三角形对象(43)的示例。

[0071] 权利要求中的任何参考标记不应被解释为限制范围。在不同的附图中,相同的附图标记表示相同或类似的元件。

具体实施方式

[0072] 本发明涉及一种用于高效图像感测的图像传感器。

[0073] 将参照特定实施例并参照某些附图来描述本发明,但是本发明不限于此,而是仅由权利要求书来限定。所描述的附图仅是示意性的而非限制性的。在附图中,为了说明的目的,一些元件的尺寸可能被放大并且未按比例绘制。各维度和相对维度并不对应于实践本发明的实际缩图。

[0074] 说明书和权利要求书中的术语"第一"、"第二"等用于区分相似的元件,而不一定用于描述时间、空间、排序或任何其他方式的顺序。应当理解,这样使用的术语在适当的情况下是可互换的,并且这里描述的本发明的实施例能够以不同于这里描述或说明的顺序操作。

[0075] 此外,说明书和权利要求中的术语"顶部"、"下方"等用于描述性目的,而不一定用于描述相对位置。应当理解,这样使用的术语在适当的情况下是可互换的,并且这里描述的本发明的实施例能够以不同于这里描述或说明的其它取向操作。

[0076] 在本文提供的说明书中,阐述了许多具体细节。然而,应当理解,本发明的实施例可以在没有这些具体细节的情况下实践。在其它情况下,没有详细示出公知的方法、结构和技术,以免混淆对本说明书的理解。

[0077] 在整个说明书中,对"一个实施例"或"实施例"的引用意味着结合该实施例描述的特定特征、结构或特性被包括在本发明的至少一个实施例中。因此,在本说明书中的各个地方出现的短语"在一个实施例中"或"在实施例中"不一定全部指同一实施例,但是也可以指同一实施例。此外,如本领域普通技术人员从本公开中将显而易见的,在一个或多个实施例中,可以以任何合适的方式组合特定特征、结构或特性。

[0078] 类似地,应当理解,在本发明的示例性实施例的描述中,为了使公开流畅并帮助理解各个发明方面中的一个或多个方面,本发明的各个特征有时被一起集合到单个实施例、附图或其描述中。然而,这种公开方法不应被解释为反映了所要求保护的发明需要比每个权利要求中明确记载的特征更多的特征的意图。相反,如所附权利要求所反映的,各个发明方面在于少于单个前述公开的实施例的所有特征。因此,具体实施方式之后记载的权利要求书特此明确地并入到此具体实施方式中,其中每一权利要求独立地作为本发明的单独实

施例。

[0079] 此外,虽然本文描述的一些实施例包括一些但不包括其他实施例中所包括的其他特征,但是如本领域技术人员将理解的,不同实施例的特征的组合意味着在本发明的范围内,并且形成不同的实施例。例如,在以下权利要求中,可以以任何组合使用任何要求保护的实施例。

[0080] 除非另有定义,否则在公开本发明时使用的所有术语,包括技术和科学术语,具有本发明所属领域的普通技术人员通常理解的含义。通过进一步的指导,包括术语定义以更好地理解本发明的教导。

[0081] 如本文所用,下列术语具有下列含义:

[0082] 除非上下文另外明确指出,否则如本文所用的“一”、“一个”和“该”是指单数和复数对象。例如,“污染物”是指一种或多于一种的污染物。

[0083] 由端点记载的数值范围包括该范围内包含的所有数和分数,以及所记载的端点。

[0084] 在第一方面,本发明涉及一种根据权利要求1所述的用于高效图像感测的图像传感器。

[0085] 图像传感器包括多个像素传感器。每个像素传感器包括适于输出逻辑信号(例如‘1’和‘0’的串,例如其中‘1’是检测,‘0’是无检测)的光电检测器。图像传感器还包括处理装置。该图像传感器的特征在于每个光电检测器在所述处理装置附近。例如紧挨着,使得由于每个光电检测器和所述装置之间的距离而导致的功耗降低。这有利于获得紧凑的传感器,并且同时获得具有最小功率损耗的传感器,该功率损耗例如由于长连接,或用于数据传输的长和/或宽总线,或不同部件之间(例如在每个所述光电检测器和所述处理装置之间)的极高速串行链路而引起。这种分布式计算架构也快得多。

[0086] 所述装置并联连接到每个检测器。例如,每个光电检测器的输出由处理装置并行接收(或馈送到或连接到处理装置),例如所述装置具有多个输入端口以接收所述光电检测器输出。这有利于由处理装置同时处理像素传感器的输出处(即,光电检测器的输出处)的数据(即,并行处理数据)。例如,处理装置包括多个处理元件,其中每个元件以并行方式连接到一个光电检测器。例如,对于1,000,000个像素传感器,如果在每个像素传感器的输出处(即,在每个光电检测器的输出处)有1比特的数据可用,则1,000,000比特的数据被输入到处理装置,并且在一个实例中同时被处理。在另一实例中,将另外1,000,000比特的数据输入到处理装置并处理,等等。这有利于使用处理装置高效且快速地输入和处理所有这些数据。

[0087] 所述处理装置优选地是至少一个神经网络。然而,本发明并不限于使用神经网络。参考神经网络解释的贯穿本文的本发明的不同特征也可以用如上所述的并行分布式计算架构中的处理单元来实现。

[0088] 所述网络包括多个神经元。该图像传感器的特征在于每个光电检测器在至少一个对应神经元的附近。例如紧挨着,从而由于每个光电检测器和神经元之间的距离而导致的功耗得以降低。例如,每个光电检测器具有一个与其对应的神经元。例如,每个光电检测器与所述神经元之间的距离是最小距离,例如它们尽可能地接近。这有利于获得紧凑的传感器,并且同时获得具有最小功率损耗的传感器。所述功率损耗可以例如是由于长连接,或者由于用于数据传输的长和/或宽总线,或者由于不同部件之间(例如,所述光电检测器与所

述神经元之间)的极高速串行链路而引起。

[0089] 神经网络处理来自多个光电检测器的感测信息。例如,神经网络取代传统处理器。这有利于消除对传统处理器的需要,以及消除对模数转换器(ADC)的需要,模数转换器(ADC)被需要来将由光电检测器产生的模拟数据转换成处理器所需的数字数据。这也有利于消除对传统随机存取存储器(RAM)的需要,因为神经网络中的神经元能够至少暂时地存储历史,例如神经元的状态受其先前状态的影响。所有这些部件(传统处理器、传统RAM和ADC)及其连接,以及其间的任何信号转换均被消除,这提升了图像传感器的效率。

[0090] 神经网络也特别有利于以比传统处理器更快的速率处理感测信息,具有低得多的功耗。例如,传统处理器需要处理所有进来的感测数据,例如逻辑'1'以及逻辑'0',而所述神经网络可能仅需要处理逻辑'1'数据,用门控制'0'数据的进一步处理。例如,当重复处理逻辑'0'数据时,特别是在高帧率下,传统处理器将消耗功率,而在本发明中不需要处理'0'数据,因为信息的不存在不需要进一步处理。

[0091] 每个光电检测器连接到至少一个对应的神经元。例如,每个光电检测器的输出由至少一个对应的神经元接收(或馈送到或连接到至少一个对应的神经元)。这有利于由对应的神经元同时处理像素传感器的输出处(即,光电检测器的输出处)的数据(即,并行处理数据)。例如,对于1,000,000个像素传感器,如果在每个像素传感器的输出处(即,在每个光电检测器的输出处)有1比特的数据可用,则1,000,000比特的数据被输入到神经网络并且在一个实例中同时被处理。在另一实例中,将另外1,000,000比特的数据输入到神经网络并处理,等等。这有利于使用网络高效且快速地输入和处理所有这些数据。

[0092] 在这种传感器中去除传统处理器和其它必要部件(例如ADC和传统RAM)不是显而易见的。将图像传感器组合到神经网络可能导致图像传感器的输出与神经网络的输入之间的失配。这将阻止在神经网络的附近具有检测器。本发明通过具有适于输出逻辑信号的光电检测器来实现,该逻辑信号可以产生由神经网络接受的输入(即,脉冲串)。在优选实施例中,所述光电检测器是单光子检测器。

[0093] 在优选实施例中,同步元件可以存在于每个所述光电检测器和其对应的神经元之间(或者在每个光电检测器与所述处理装置之间),例如触发器。这允许将异步脉冲或尖峰(即,来自所述光电检测器)转换为同步脉冲或尖峰(即,进入神经网络)。这允许本发明由不同类型的神经网络来实施,这些神经网络可能需要同步操作或同步输入数据。

[0094] 在优选实施例中,这样的网络模拟例如人脑的生物神经网络,例如使得信息(例如,数字图像或视频序列形式的视觉输入)以与人脑中类似的方式被处理和分析。

[0095] 在优选实施例中,每个像素检测器可以产生脉冲流,其中每个脉冲是入射光子的检测结果。脉冲之间的时间间隔与被检测的光信号的强度有关。对于给定时间窗,强度越高,脉冲之间的平均时间越短。当然,如本领域技术人员所知,脉冲之间的实际时间遵循泊松分布,其中平均时间由光信号的强度定义。

[0096] 在优选实施例中,图像传感器优选地在100纳米和10微米之间操作,优选地在100纳米和1微米之间操作。例如,每个光电检测器能够在落在100纳米和10微米范围内、优选地在100纳米和1微米之间、甚至更优选地在由所使用的光源的波长限定的光学窗内检测入射在所述检测器上的光子。例如,可以构建具有中心波长为850纳米的光源的感测系统,由此用于检测的光学窗也以相同的波长为中心。

[0097] 在优选实施例中,单光子检测器可以是单光子雪崩二极管(SPAD)。这种二极管充当光子量化器,其消除了对传感器中的附加量化器的需要。另外,这种二极管允许在所述二极管的输出的时域信息中对入射光子的强度和强度变化信息进行编码。这是由于所述二极管的所述输出的性质导致。所述输出是脉冲流,其中每个脉冲对应于所述二极管上检测到的光子。通过设置彼此等距的观察窗,两个输出脉冲之间的(即,检测器的)平均时间延迟或时间差取决于入射光子的强度(例如,光功率)。例如,对于观察窗内三个检测到的光子的平均值,所述检测器的脉冲之间的平均时间差是ΔT_1。另一方面,对于观察窗内的两个检测到的光子的平均值,所述检测器的脉冲之间的平均时间差是ΔT_2,其中$\Delta T_2 > \Delta T_1$。因此,入射光子的强度对于较低的ΔT较高,并且对于较高的ΔT较低。因此,在所述二极管输出的时域中对所述二极管上的入射光子的强度信息(以及强度变化)进行编码。这可以使用传统处理器例如所述处理装置,或使用神经网络来解码。神经网络只需解码时域信息,以便得到所述入射光子的强度信息。相反,在使用ADC和处理器的情况下,所述ADC将需要将传感器中的所有二极管的每帧的所有模拟数据转换到数字域,之后处理器将需要处理所述数据,例如记录所述二极管上的所述光子的强度以及计数和累积所述光子。这是一个功率密集且耗时的过程,尤其是对于较高的帧率,并且尤其是对于大量的光电检测器。神经网络由于其高效和快速的性质特别有利于解码所述时域信息(与传统处理器相比)。

[0098] 在优选实施例中,每个光电检测器可以优选地直接连接到所述神经网络中的至少一个对应的神经元(或连接到所述处理装置)。例如,在所述检测器和所述网络(或所述处理装置)之间没有中间部件。例如,每个检测器直接连接到其对应的神经元(或连接到所述处理装置)。这有利于获得功率高效的传感器,因为避免了消耗功率的中间部件,例如量化器。

[0099] 在优选的实施例中,每个检测器和其对应的神经元(或所述处理装置)之间的距离可以是至多100微米,优选至多50微米,更优选至多25微米,最优选10微米。这有利于获得每个检测器与其对应的神经元(或所述处理装置)之间的短且几乎直接的连接。例如,连接几乎是直接的,例如仅是金属连接,例如在检测器和神经元(或所述处理装置)中的每一个上的金属垫,被放置在彼此的顶部(例如彼此互补,例如彼此永久地接合)。例如,垫的厚度是检测器与对应的神经元(或所述处理装置)之间的唯一间隔。例如,不存在导线连接。在次优选的实施例中,例如通过在所述检测器和其对应的神经元(或所述处理装置)之间具有短连接,所述距离还可以是至多1000微米或优选至多500微米。

[0100] 在优选实施例中,每个检测器和其最近的相邻检测器之间的距离可以是至多20微米,优选至多10微米,更优选至多5微米,最优选至多1微米。每个神经元和其最近的相邻神经元之间的距离被类似地调整。

[0101] 在优选实施例中,两个神经元之间的距离与所述检测器和对应神经元之间的距离之间的比率可以在1:1000和1:5之间,优选地在1:100和1:10之间。这在处理装置不是神经网络的情况下类似地适用。

[0102] 在优选实施例中,每个检测器可以连接到(并且对应于)其最近的神经元。然而,每个检测器的对应神经元可以不是最近的,而是例如可以是第二近的,或第三近的。

[0103] 在优选实施例中,多个像素传感器可以堆叠在多个神经元上(或在所述处理装置的多个所述处理元件上)。例如,像素传感器被堆叠,使得每个检测器被堆叠在其对应的神经元上,使得在所述检测器和所述神经元之间存在最小距离。堆叠可以指将像素传感器布

置为紧挨着所述神经元,例如布置为彼此上下,例如布置为彼此面对。这允许每个检测器的输出可容易用于输入到对应的神经元。例如,使得仅需要在所述检测器和所述神经元之间具有最小长度的连接器,优选地不需要连接器。这消除了在所述检测器和所述神经元之间的总线连接中可能已经表现出的额外损耗。

[0104] 在优选实施例中,所述像素传感器和所述神经元(或所述处理装置的所述处理元件)之间的连接可以是固定的。例如,在完成堆叠之后,不容易将像素传感器重新连接到另一神经元。然而,神经网络处的每个神经元的权重是可调整的(可配置的和可重新配置的)。这允许用户重新配置神经网络,而不需要将像素传感器从对应的神经元断开。类似地,所述处理元件可以被重新配置。

[0105] 在优选实施例中,在所述像素传感器和所述神经元(或所述处理装置)之间可能存在未对准。所述未对准优选为至多10微米,更优选为至多5微米,甚至更优选为至多2微米,最优选为至多1微米,或亚微米。由于本发明的图像传感器可以包括1,000,000个像素传感器,因此未对准可以容易被下压到小于1微米。这是通过使用对准标记对准例如图像传感器的左上角和右下角来完成的,这将导致非常高的对准精度。

[0106] 在优选实施例中,检测器可以包括半导体,例如硅、锗、GaAs、InGaAs、InGaAsP、InAlGaAs、InAlGaP、InAsSbP等。例如,检测器可以包括不同半导体层。对应的神经元也可以包括半导体,例如硅或锗等。例如,神经网络可以包括不同材料的不同层。检测器和它们对应的神经元可以通过例如包括导电金属的两个接触垫连接。例如,所述导电金属可以是铜、金、银、镍、铝、钛或优选其组合。

[0107] 在优选实施例中,检测器和对应的神经元可以在相同芯片上或者在两个不同芯片上。在两个不同芯片的情况下,接触垫可以例如在这两个芯片上,并且例如通过将所述两个芯片堆叠在彼此的顶部上而连接。

[0108] 在优选实施例中,每个检测器可以通过导电金属连接(例如金属垫)连接到对应的神经元(或所述处理装置)。例如,所述垫放置在每个像素传感器(即,每个检测器)上,并且互补垫放置在每个对应的神经元上。例如,在1,000,000个像素传感器上有1,000,000个垫,并且在对应于所述像素传感器的1,000,000个神经元上有1,000,000个垫。有利的是,每个检测器与其对应的神经元紧挨着,因为这避免了由于任何额外的导线连接而导致的额外损耗。例如,由于每个检测器和其对应神经元之间的任何附加距离而引起的任何附加损耗将乘以因子1,000,000(即,对于每个像素传感器累积的相同损耗),这通过本发明来避免。

[0109] 在优选实施例中,所述神经元可以能够基于所述检测器的输出而激发(即产生或生成输出信号)。例如,当检测器检测到入射在其上的光子时,所述检测器的输出是例如逻辑‘1’或例如一个脉冲,其中所述神经元可以基于例如所述检测器的至少一个脉冲而激发。另一方面,在所述脉冲中的至少一个不存在的情况下,神经元可以不激发。这的有利之处在于不需要处理无检测所表示的数据(在传统处理器中也处理逻辑‘0’数据的情况下)。这提高了功率效率和处理速度,并且减少了存储器和计算的负担。

[0110] 在优选的实施例中,每个神经元可以连接到至少一个相邻的神经元。不同的神经元可以(例如,经由链路)彼此连接。例如,两个相邻神经元可以彼此紧挨着,例如彼此比其它神经元更近。每个神经元可以能够基于来自所述至少一个相邻神经元的输入信号以及所述检测器(即,对应的检测器)的输出而激发。例如,在导致所述检测器的输出为逻辑‘1’或

导致脉冲的假阳性检测的情况下,来自所述至少一个相邻神经元的输入信号可以充当确认信号以确定这是假阳性检测还是真阳性检测。这可以减少噪声并将其滤除。

[0111] 相邻神经元的定义可能不总是字面上的,例如,相邻神经元也可以处于另一神经元的邻域中,并且不一定是最近的神经元。

[0112] 在优选实施例中,神经元还可以连接到非相邻神经元并且从非相邻神经元接收信号,例如以在确定检测是假阳性还是真阳性检测之前确定是否实现图像传感器中的最小数目的检测。

[0113] 在优选实施例中,每个检测器可以以反向偏置配置来布置。检测器能够检测入射在其上的单个光子。该检测器具有用于在检测到光子时输出电检测信号的输出。例如,检测信号可以由包括逻辑‘1’的信号表示,例如有检测,而无检测信号可以由包括逻辑‘0’的信号表示,例如无检测。或者,检测信号可以由脉冲信号表示或产生脉冲信号,例如从逻辑“0”到逻辑“1”的转变,然后从逻辑‘1’回到逻辑‘0’,而无检测可以由这样的脉冲信号的不存在表示(或产生)。

[0114] 在优选实施例中,网络可以包括至少一个神经元层。优选地,网络包括神经元的输入层、神经元的输出层、以及在输入层与输出层之间的用于处理数据的多个中间层(例如,或至少一个层,优选多个层),例如以分析数据和提取场景中的对象的特征。

[0115] 在优选实施例中,一层中的每个神经元可以连接到下一层中的至少一个神经元,优选地连接到多个神经元。例如,每个检测器连接到输入层处的至少一个神经元,优选地连接到多个神经元。例如,输入层处的每个神经元连接到第二层中的至少一个神经元,优选地连接到第二层中的多个神经元,等等。

[0116] 在优选实施例中,可以存在1,000,000个像素传感器,并且对于每个所述传感器有一个对应的神经元(或者对于每个所述传感器有一个对应的处理元件)。因此,在所述网络的输入层处还可以存在1,000,000个神经元,其通过1,000,000个连接而连接到1,000,000个像素传感器,其中每个神经元接收与其对应的一个检测器的输出。在所述网络的输出层处还可以有1,000,000个神经元,以及对所述网络中的所述输入层和输出层之间的每个中间层至少有1,000,000个神经元。

[0117] 在优选实施例中,所述神经网络可以被训练以处理所述检测器输出的数据。例如,所述网络可以被训练以解码所述检测器输出的时域信息。例如,所述网络可以被训练以使用所述检测器输出的时域信息来解码入射在所述检测器上的光子的强度和/或强度变化信息。与使用传统处理器处理输出相比,使用神经网络处理所述检测器中的每一个的输出以快得多的速率并且以少得多的功率完成。

[0118] 在优选实施例中,所述网络可以被训练以例如在预定实例下提取所述网络的一组输入信号的特征,例如一组组合的输入信号。所述特征可以是场景(例如,待分析和/或成像的场景)中的对象的质量、密度、运动和/或接近度(例如,彼此接近,或与所述检测器接近)。特征的其它示例可以是强度值、轮廓、极高速事件、荧光寿命成像等。例如,检测器监视场景中的至少一个对象,优选地多个对象,其中入射在所述检测器上的光子被所述检测器转换成输入到所述网络中的脉冲串。所述网络随后分析所述输入并提取所述特征,例如通过对所述输入应用变换。因此,网络充当分析模块。然而,神经网络也能够再现所述场景的图像。例如,图像表示模块取得所述神经网络的输出并再现场景的图像。

[0119] 在优选实施例中,神经网络可以适于响应于脉冲串(即,适于接收脉冲串的输入)。这特别有利于以比传统处理器更快的速率处理感测信息时,具有低得多的功耗。例如,不需要转换所述检测器的输出以被所述网络接受。神经网络可以例如是尖峰神经网络或脉冲耦合神经网络。在优选实施例中,尖峰神经网络可以是尖峰卷积神经网络(SCNN)或尖峰循环神经网络(SRNN)。

[0120] 在优选实施例中,神经网络包括尖峰神经网络。在所述尖峰网络的输入层提供的输入通常是脉冲或尖峰串。例如,输入层中的每个神经元接收一系列尖峰作为输入(例如,来自至少一个对应的检测器输出)。这些输入尖峰跨不同层传输。输出层的输出通常也是脉冲或尖峰串。

[0121] 在优选实施例中,在所述尖峰神经网络中,在所述神经元之间可以存在三种类型的连接中的至少一种。所述连接可以是前馈连接(即,从输入层通过中间层到输出层)。所述连接可以替代地是负横向连接或相互连接。

[0122] 在优选实施例中,尖峰神经网络中的每个神经元可以作为积分激发神经元(integrate-and-fire neuron)来操作。所述网络的神经元可以具有它们激发的阈值。例如,所述神经元可以仅在穿过阈值的时刻激发。当神经元的电位达到阈值时,神经元激发,并且生成行进到其他神经元的信号,所述其他神经元继而响应于该信号而增大或减小它们的电位。因此,尖峰将神经元的电位推到更高或更低的值,直到所述神经元中的电位衰退或激发。在激发之后,神经元的电位被重置到较低值。这有利于降低功耗,因为仅当入射光子中存在足够强的变化时(例如,由入射在像素传感器上的预定数量的光子确定)才会产生信号。这使得网络消耗较少的功率并且抑制其某些部分中的活动。例如,在仅一个光子入射在对应的检测器上的情况下,神经元将不激发,或者例如在仅一个或仅几个光子(少于克服阈值所需的预定数量的光子)入射在一组对应的检测器上的情况下,神经元将不激发。此外,当计算到每个神经元的输入的加权和时,网络有助于减少和/或消除零的添加。数据流量的这种减少转化为减少的功耗和增长的处理速度。

[0123] 在优选实施例中,所述神经元可以仅在自最后输出以来的时间量大于不应期时才激发。这有利于避免神经元在过度刺激时过于频繁地激发。

[0124] 在优选实施例中,尖峰神经网络中的每个神经元可以作为泄漏积分激发神经元(leaky-integrate-and-fire neuron)来操作。所述网络的神经元可以具有阈值,在该阈值处它们激发,类似于积分激发神经元。然而,神经元可能具有泄漏机制。例如,神经元的电位随时间而降低。这有利于允许神经元仅在其电位显著且持久地增大时才激发,例如使得由于噪声引起的增大将随时间衰减。

[0125] 在优选实施例中,神经网络可以是脉冲耦合神经网络。在所述网络中,每个神经元连接到相应像素传感器的检测器以及相邻神经元,并且从相应像素传感器的检测器以及相邻神经元接收输入信号。脉冲耦合神经网络中的每个神经元具有连接室和馈送室。连接室接收并累加来自相邻神经元的输入信号。馈送室接收来自相邻神经元的输入信号以及来自相应像素传感器的检测器的输入信号并将其求和。两个室的输出相乘,并被馈送到阈值室。当到阈值室的输入大于阈值时,神经元激发。特别有利的是,连接室、馈送室和阈值室中的每一个都具有反馈机构(即,输出取决于先前的输出)。这有利于保持神经元及其相邻神经元的先前状态的历史。由于反馈机制,阈值是动态的。这有利于获得抗噪声的鲁棒传感器,

以及能够桥接输入模式中的微小强度变化的传感器。

[0126] 在优选实施例中,单光子雪崩二极管是有利的,因为它们与响应于脉冲串的神经网络兼容,例如尖峰神经网络和脉冲耦合神经网络。例如,在所述二极管的输出处的编码的强度和强度变化信息适于作为所述神经网络的输入,其中所述网络能够解码所述强度信息。

[0127] 在优选实施例中,神经网络中的每个神经元能够基于到所述神经元的当前输入以及所述神经元的当前状态产生输出。每个神经元的当前状态对应于所述神经元的先前输入和先前状态。这些也可能受来自其他神经元的输入的影响,因此也受这些相邻神经元的状态的影响。因此,每个神经元能够存储(例如,至少暂时地)和比较不同检测实例的数据,并且由此推断移动对象的轨迹。例如,知道在所述多个像素传感器的前面移动的移动对象的轨迹并且在时刻T1、T2和T3由其检测器中的一些检测器检测将有助于神经元确定在下一时刻T4的可能的即将到来的检测,例如,神经元将能够预测哪些检测器(例如,在附近的检测器之中)可能检测在所述下一时刻的入射光子。尖峰神经网络对于实现这一点特别有利,因为每个神经元的输出由神经元的当前状态(由到所述神经元的先前输入确定)结合当前输入(例如,在这种情况下来自检测器)来确定。这允许网络和每个神经元保持历史并且具有类似存储器的行为,以便能够比较不同时刻下的检测,以便促进确定每个神经元的下一输出。这还减少了噪声并且使得更容易滤除噪声检测(例如,假阳性检测),因为神经网络可以预测这样的检测具有更高的发生机会。

[0128] 在优选实施例中,图像传感器可以包括至少一种类型的神经网络。或者,图像传感器可以包括相同或不同类型的不同神经网络。

[0129] 在优选实施例中,像素传感器和对应的神经元可以被布置在多个行和/或多个列中。例如,像素传感器和对应的神经元可以以矩阵配置来布置。对应的神经元(即,在神经网络的输入层处)优选地以与像素传感器的检测器相同或相似的配置来配置。神经网络的中间层以及输出层可以以不同的配置来配置。这种布置允许检测更大的区域,并且允许每个神经元具有相邻的神经元。

[0130] 在优选实施例中,图像传感器可以包括多于100个像素传感器,优选地多于1,000个像素传感器,更优选地多于10,000个像素传感器,甚至更优选地多于100,000个像素传感器,最优选地多于1,000,000个像素传感器。例如,图像传感器可以以矩阵方式布置,其中所述图像传感器包括1,000个像素传感器行和1,000个像素传感器列。

[0131] 在优选实施例中,图像传感器可以是可移动的。例如,图像传感器的取向可以在x、y或z方向中的任何一个方向上改变。例如,可以仅用一个图像传感器获得3D视觉。

[0132] 在优选实施例中,图像传感器可用于3D视觉应用。例如,图像传感器可以用于在三维中可视化对象。可替换地,所述传感器可以允许例如通过提取场景中的对象的特征来分析场景,而不必产生所述场景的图像。

[0133] 在第二方面,本发明涉及一种根据权利要求8所述的光学感测系统,包括根据第一方面的图像传感器。光学感测系统还包括能够在所述图像传感器上产生场景的图像的光学器件。例如,所述装置连接到神经网络,例如连接到神经网络的输出。例如,场景的图像可以由所述光学器件再现,例如,场景中的物体的点的位置可以由所述光学器件再现。所述光学器件可以使用神经网络作为积分器阵列来再现所述图像信息。例如,可以累积和聚集用于

由每个像素传感器创建逻辑输出信号的光学输入信号,以便能够生成图像。

[0134] 在优选实施例中,该系统可以进一步包括至少一个光源。例如,光源适于处于可由像素传感器检测的波长。例如在100纳米和10微米之间,优选在100纳米和1微米之间。光源有利于允许三角测量。例如,使用包括在场景(例如环境)上照明的光源和例如彼此不同地定向的所述图像传感器中的两个的系统,其中所述两个传感器具有场景的共享视场,有可能通过三角测量将两个传感器的x-y-时间数据转换成x-y-z-时间数据。例如,通过使所述光源适于以照明轨迹来照明所述场景上的点,其中所述光源包括适于(优选连续地)扫描所述场景上的所述点的装置,其中所述图像传感器在多个时刻监视所述点并且沿着所述轨迹输出所述场景中的至少一个对象的点(例如,所述对象的表面的点)的位置,其中两个图像传感器的x-y-时间数据可以使用三角测量(例如,使用所述神经网络)被转换成x-y-z-时间数据。光源可以例如充当参考点,使得第一图像传感器的所述对象的所述点的所述位置可以与第二图像传感器的所述点的所述位置同步,以创建z维度。光源可以以利萨如(Lissajous)的方式或图案照明和扫描待成像的场景。该照明轨迹有利于允许高效和快速的图像检测,因为在若干照明周期之后,图像的相当大部分已经被照明。可以设想其它照明图案。

[0135] 在优选实施例中,该系统还可以包括多个图像传感器和/或多个光源。这有利于创建3D视觉。例如,每个图像传感器可以被不同地定向,使得例如通过对两个这样的图像传感器的输出进行三角测量来捕获待成像的场景的3D感知。

[0136] 在优选实施例中,该系统可以包括图像表示装置,例如屏幕状或其他图像表示设备,以便再现所述场景中所述对象的点的位置。

[0137] 在第三方面,本发明涉及一种使用根据第二方面的光学感测系统来提取场景的特征的方法。该方法包括使所述神经网络适于接收脉冲串的步骤,例如使每个神经元适于接收由对应的光电检测器产生的脉冲串的步骤。

[0138] 该方法还包括基于所述脉冲串来调节神经元的激活水平或电位的步骤。例如,对于由神经元接收的每个脉冲,所述神经元的电位的激活水平增加。所述激活水平表示入射在对应于所述神经元的光电检测器上的光子的强度。

[0139] 该方法还包括一旦所述激活水平超过阈值则使神经元适于激发(即产生输出信号)的步骤。该方法还包括将所述输出信号传播到所述神经网络的后续层中的至少一个神经元的步骤。该方法还可以包括将所述输出信号传播到至少一个相邻神经元的步骤。

[0140] 该方法还包括提取所述网络的输出信号的特征的步骤。例如,提取所述网络的输出层的输出信号的特征。

[0141] 在优选实施例中,该方法可以进一步包括确定视场(例如,所述场景)的深度剖面的步骤。所述确定步骤包括以下步骤:

[0142] a)借助于投影仪(例如,所述光源)将至少一个光图案投影到视场上,所述投影发生在小于10微秒、优选地小于1微秒的时间窗内;

[0143] b)在所述时间窗内的至少一个观察窗期间,与对所述图案的投影同步地,借助于相机传感器(例如,所述图像传感器)和光学器件对所投影的图案进行成像,所述相机传感器包括像素矩阵(例如,所述像素传感器),每个像素包括光电检测器,当对应的光电检测器没有检测到光时,所述像素处于伪状态,并且当对应的光电检测器检测到光时,所述像素处

于真状态,从而获得表示视场的第一二进制像素矩阵;

[0144] c)通过仅考虑在所述时间窗内的一个观测或至少两个观测的组合中获得的像素矩阵上处于真状态且具有至少一个也处于真状态的相邻像素的像素,将所投影的图案与二进制像素矩阵上的环境光噪声分离,从而获得表示所投影的图案的第二二进制像素矩阵;

[0145] d)基于投影仪位置、相机位置和第二二进制像素矩阵之间的三角测量,计算与所投影的图案相对应的深度轮廓;

[0146] e)通过在整个视场上重复步骤a至d来扫描所投影的图案,以确定整个视场上的深度轮廓;

[0147] 其中图案的每个孤立元素在至少两个紧邻像素上以二进制表示延伸。

[0148] 在优选实施例中,该方法可以进一步包括训练所述网络以提取到所述网络的一组输入信号的特征的步骤。例如,针对到所述网络的光学输入信号,所述信号是脉冲串。所述特征可以包括场景中的至少一个对象的质量、密度、运动和/或接近度。该方法还可以包括对所述输入信号应用变换的步骤。

[0149] 在优选实施例中,该方法还可以包括在所述检测器输出的时域中对入射光子的强度和强度变化进行编码的步骤。例如使用单光子雪崩二极管来编码入射光子的强度和强度变化。该方法还可以包括训练所述神经网络以解码强度和强度变化数据的步骤。该方法还可以包括解码所述强度和强度变化数据的步骤。

[0150] 第三方面(方法)的任何特征可以如在第一方面(传感器)和第二方面(系统)中的相应描述。

[0151] 在第四方面,本发明涉及一种用于高效图像感测的图像传感器。

[0152] 该传感器包括多个像素传感器,每个像素传感器包括光电检测器。传感器还包括处理单元,能够识别每个所述像素传感器的检测。优选地,所述处理单元由本发明第一方面的所述神经网络(或本发明第一方面的所述处理装置的所述处理元件)取代,并且其中每个像素传感器及其光电检测器连接到对应的神经元,如第一方面所述。

[0153] 该传感器的特征在于,所述单元能够识别在连续的时间步长上连接的(或半连接的)或呈现空间中的特定模式的检测。例如,其中每个像素传感器的检测是在至少两个连续时间步长上的至少两个检测,其中所述至少两个检测对应于至少一个像素传感器,或者至少一个像素传感器和所述像素传感器的一个紧邻像素传感器。例如,每个像素传感器具有多个紧邻的像素传感器。例如,所述两个检测在连续时间步长上在空间上连接,例如在连续时间步长上在一个检测点或在相邻检测点处被检测。

[0154] 例如,在第一时间步长,所述检测点可以从像素传感器移位到第一紧邻像素传感器,并且在第二连续时间步长,所述检测点可以移位到所述第一紧邻像素传感器的第二紧邻像素传感器。或者,所述检测点可以不移位到另一个检测点,而是保持在相同的检测点上。

[0155] 这有利于确定一致的检测,例如检测不是随机的,例如具有特定模式的检测。由于所述像素传感器的采样足够快,因此由点限定的对象的一致检测或者在至少两个连续时间步长上由一个像素传感器检测,即在所述对象没有在所述两个时间步长之间移动的情况下,或者由紧邻的像素传感器检测。例如,其中所述点检测在第一时刻和第二时刻之间移动时不跳过一个像素传感器。这更有利于允许滤除可能是假阳性检测的随机检测,例如环境

和热噪声。

[0156] 所述神经网络特别有利于替代所述处理单元,例如以便能够滤除噪声检测。这是因为所述神经网络能够处理信息,例如以快速和功率高效的方式滤除噪声检测。此外,除了使用更传统的基于规则的处理所描述的之外,可以训练网络以找到更复杂性质的模式。

[0157] 在优选实施例中,所述检测还对应于所述像素传感器的至少一个非紧邻像素传感器,其中,最多一个像素传感器在每个像素传感器和所述非紧邻像素传感器之间,优选地最多两个像素传感器。这是基于所述像素传感器的采样率的设计选择。例如,在采样率不足够高,使得快速移动的对象可以跳过一个或两个像素传感器的情况下。在这种情况下,可以对所述像素传感器和所述非紧邻像素传感器之间的检测进行插值。

[0158] 在优选实施例中,每个像素传感器的采样率至少为1MHz,优选地至少为10MHz,更优选地至少为100MHz。这是有利的,因为与检测器的采样速率相比,对象不会非常快地移动。例如,传感器具有至少1微秒的时间分辨率,优选地至少100纳秒,更优选地至少10纳秒。

[0159] 在优选实施例中,所述单元能够计算沿着所述像素传感器的轨迹。所述轨迹描述了点在场景中的移动。所述点可以被概括为在场景中移动的对象,其中所述对象由多个点来定义。例如,计算例如在第一和第二连续时刻之间限定所述移动对象的点的轨迹。例如在所述时间步长内具有空间一致轨迹的点。所述轨迹允许滤除偏离所述轨迹的点,因为这些点很可能是噪声检测。所述轨迹可以是直线轨迹,然而,它也可以是圆形或半圆形,或者任何其它轨迹。

[0160] 在优选实施例中,所述单元能够基于所述轨迹来推断即将到来的检测。例如,基于所述轨迹确定具有最高出现可能性的点。例如通过假设对象或图案沿着固定轨迹移动。所述推断需要至少两个点检测以及由所述两点限定的轨迹,然而,基于多于两点,所述推断更精确,例如,五个时间步长上的五个点,例如,十个时间步长上的十个点。例如,在第一时刻T1和第十时刻T10之间对象沿x轴向右移动,所述物体在第十一时刻T11和其他时刻具有继续在相同方向移动的机会。优选地,所述单元能够验证推断的检测。例如以便例如通过在每预定时间步长之后,例如在每两个或三个时间步长之后进行验证,来检查所述对象的轨迹是否已经改变。所述推断的优点在于,允许获得更快的传感器,例如通过允许在实际被检测之前计算或预测可能的即将到来的检测。这也将允许降低功耗,因为可能需要较少的检测来找出所述场景中的对象的移动。

[0161] 在优选实施例中,该单元能够对沿着相似或相同轨迹移动的点,例如定义一个对象的点,进行分组。例如,处理单元可以基于所述分组的点定义轮廓。这允许滤除不限定所述对象或不属于所述轮廓的点,例如假阳性检测。

[0162] 在优选实施例中,所述传感器还包括至少一个存储元件,其中所述元件能够存储所述检测。例如,所述检测至少暂时地存储在所述存储元件上,然后由所述单元检索以进行处理,例如用于滤除假阳性检测、计算所述轨迹或推断所述即将到来的检测。所述存储元件可以由所述神经网络取代。例如,其中所述神经网络能够取代所述处理单元和所述存储元件两者的功能,例如以便能够存储数据以滤除噪声检测。例如,其中所述网络的一个神经元对应于一个像素传感器。

[0163] 在优选实施例中,所述神经网络的不同区域,例如不同组的神经元,可以处理所述神经元的相应像素传感器的数据。例如识别沿着感兴趣区域的移动检测的轨迹。

[0164] 在第五方面,本发明涉及一种用于光学感测的方法。所述方法包括在第一时间步长在第一检测点处确定第一检测的步骤。该方法还包括在与所述第一时间步长连续的第二时间步长在第二检测点处确定第二检测的步骤。该方法的特征在于,该方法还包括识别所述第一和第二检测的步骤,对于所述第一和第二检测,在所述第一和第二时间步长上所述第一和第二检测点空间连接(或半连接)。例如,其中所述第一和第二检测点是同一点或紧邻点。

[0165] 在优选实施例中,所述方法还包括滤除在所述第一和第二时间步长上不空间连接的检测的步骤。例如,其中所述第一和第二检测点既不是同一点,也不是紧邻点。

[0166] 在优选实施例中,所述方法还包括计算所述第一和第二检测的轨迹的步骤。例如描述所述检测从一个检测点到另一个检测点的移动的轨迹,例如由在场景中移动的点引起,例如由在场景中移动的多个点定义的对象。

[0167] 在优选实施例中,所述方法还包括从所述轨迹中滤除检测的步骤。这有利于滤除例如由热噪声和环境噪声引起的噪声检测。优选地,所述方法可以进一步包括基于所述轨迹推断即将到来的检测的步骤。

[0168] 第五方面(方法)的任何特征可以如第四方面(传感器)中相应的描述。此外,第五和第四方面的任何特征可以如在第一方面(传感器)和第二方面(系统)中相应的描述。例如,第一方面的神经网络对于第四方面的传感器是特别有利的。因此,第一方面中的神经网络的所有特征可以与第四方面的传感器组合。

[0169] 在第六方面,本发明涉及根据第一方面的传感器和/或根据第二方面的设备和/或根据第三方面的方法和/或根据第四方面的传感器和/或根据第五方面的方法用于光学感测,优选地用于高效的光学感测的用途。

[0170] 将参考附图描述本发明的实施例的进一步的特性和优点。应当注意,本发明不限于这些附图中所示或实施例中所述的具体实施例,而仅由权利要求书限定。

[0171] 图1示出了图像传感器(1)的顶视图。图像传感器(1)包括多个像素传感器(3),每个像素传感器(3)包括单光子检测器(4)。图像传感器(1)还包括神经网络(5),其中所述网络(5)包括多个神经元(6)。每个检测器(4)接收入射在其上的光子(10),并基于此产生相应的信号。例如,在检测一个光子(10)之后,由每个检测器(4)产生电脉冲。然后,每个检测器(4)与相应的神经元连接,例如检测器(4')和神经元(6'),或者检测器(4")和神经元(6"),其中检测器(例如4'和4")及其相应的神经元(例如6'和6")被放置在相应位置,使得连接是整齐的和最少的。例如,检测器(4')和神经元(6')通过连接(18')连接,并且类似地,检测器(4")和神经元(6")通过连接(18")连接。

[0172] 图2示出了图像传感器(1)和神经网络(5)的横截面。每个检测器(4)在一个相应神经元(6)的附近并且与其连接。例如,检测器(4')在神经元(6')附近并经由连接部(18')与其连接,类似地,检测器(4")在神经元(6")附近并经由连接部(18")与其连接。每个检测器(4)和其对应的神经元(6)彼此相距距离(7)。

[0173] 图3示出了图像传感器(1)和神经网络(5)的截面,其中像素传感器(3)的检测器(4)堆叠在神经元(6)上。例如,由于连接(20'、20")被消除,距离(7)为零或非常接近于零。例如,距离(7)等于接触垫(未示出)的厚度。

[0174] 图4示出了图像传感器(1)和神经网络(5)的顶视图,其中像素传感器(3)的检测器

(4)将被堆叠在神经元(6)上。例如,每个检测器(4)被堆叠在其相应的神经元(6)上。仔细地进行这种堆叠以便获得最小的对准误差。

[0175] 图5示出了图像传感器(1)和神经网络(5)的截面,其中每个检测器(4)的接触垫(8)和神经元(6)彼此堆叠。接触垫(8)由导电金属材料制成,而神经元和检测器由半导体材料(9)制成。每个检测器(4)和相应神经元(6)之间的距离(7)可以仅是接触垫(8)的厚度。接触垫适于彼此堆叠,例如它们在形状上互补。接触垫还可以永久地彼此堆叠,使得不允许图像传感器(1)相对于神经网络(5)的进一步移动。

[0176] 图6示出了为神经网络(5)中的神经元(6)进行馈送的多个检测器(4)。入射在每个检测器(4)上的光子(10)产生检测器输出(11),其被输入到每个对应的神经元中。在这种情况下,每个检测器具有一个对应的神经元(6)。神经网络可以被分成三层,输入层(14)、中间层(15)和输出层(16)。输入层(14)包括接受检测器输出(11)作为其输入的神经元(6)。中间层(15)包括处理到输入层(14)的输入(11)的神经元。输出层(16)包括输出神经网络(5)的最终输出的神经元。每个神经元可以经由输入信号(12)连接到相邻神经元,例如神经元(6)和(6')。相邻神经元的所述输入信号(12)允许神经元与其相邻神经元通信,以便实现更精确的检测,例如以减少假阳性检测的数量并滤除噪声。一层中的每个神经元连接到下一层中的至少一个神经元,优选地连接到下一层中的多于一个神经元。图6中所示的神经元、连接和层的数量仅用于说明目的,并且实际上可以不同。

[0177] 图7示出了使用尖峰神经网络的传感器(1)的实施方式。例如,当所述传感器(1)中的检测器(4)在时间T=T1、至T=T2、然后T=T3检测到在轨迹(17)中移动的对象或检测到的图案时,如图中所示,神经网络(5)可以基于所述轨迹(17)预测对象存在的下一检测点。这便于所述对象的检测。这可以通过神经元从它们的相邻神经元获得输入来完成,用作反馈信息。例如,如果神经元(通过相邻神经元)知道10个神经元之外的神经元正在激发,接着是9个神经元之外的另一个神经元,然后是8个神经元之外的另一个神经元,则它可能能够预测它何时激发。这也减少了噪声,因为神经网络可以预测这样的检测具有更高的发生机会。此外,除了预测下一个检测点之外,所述轨迹允许识别所述对象的一致移动,这允许滤除噪声检测。

[0178] 图8示出了在所述像素传感器(3)上的入射光子的编码和解码强度。所述强度的编码是使用SPAD完成的,而解码是使用神经网络(5)完成的。通过设置彼此等距的观察窗(19),在所述窗(19)处检测到噪声(20)的机会减小,而检测到入射光子的机会保持相同。图8提供了两个示例。在第一示例中,图8的(a)示出了SPAD上的入射光子串。检测器(4)产生图8的(c)中所示的脉冲串,其中所述脉冲之间的平均时间差是ΔT1,其中ΔT1对应于入射光子的强度。在第二示例中,图8的(b)示出了另一入射光子串,其中,检测器(4)生成图8的(d)中所示的脉冲串。所述脉冲之间的平均时间差是ΔT2,其中ΔT2对应于入射光子的强度。如图8的(c,d)所示,ΔT2>ΔT1,因为在图8的(b)中检测到的强度低于图8的(a)中的强度。神经网络将能够基于脉冲之间的所述时间差来重构强度水平,如图8的(e,f)所示。

[0179] 图9示出了使用神经网络(5)来减少检测器输出(11)中的热噪声和环境噪声。在图9的(a,b)中提供了两个示例。在图9的(a)中,检测器(4)检测入射光子(10)。对应于检测器(4)的神经元(6)确定该检测是真检测还是伪检测。这基于所述神经元(6)的历史,并且基于来自相邻神经元(6'、6")的输入信号(12)。在这种情况下,这是伪检测。另一方面,图9的(b)

示出了真检测,其中相邻神经元(6',6")(以及它们的检测器(4',4"))向所述神经元(6)提供这是真检测的指示,并且因此由所述神经元(6)生成脉冲。图9中简化了操作,其中在真实网络中,在所述检测器(4)上的每个入射光子之后,不总是在检测器输出(13)处生成脉冲。在真实网络中,仅在达到神经元(例如(6))中的特定时间段期间的检测阈值时才生成脉冲。

[0180] 图10示出了脉冲耦合神经网络(27)中神经元的操作。接收野(receptive field)室(21)接收输入到神经元中的输入信号。这些信号可以是来自相邻神经元(12、12'、12")的输入信号。或者,这些信号可以是从另一层(例如,前一层)到神经元的刺激输入信号(11),或者在所述神经元处于神经网络(5)的输入层(14)中的情况下,可以是来自检测器的输出信号。在接收野室(21)中,接收相邻神经元输入信号(12、12'、12")的室被称为连接室(22),而接收来自相邻神经元的输入信号和刺激输入信号(11)二者的室被称为馈送室(23)。将连接室(22)中的相邻神经元输入信号(12、12'、12")加在一起,并且类似地,将馈送室(23)中的相邻神经元输入信号(12、12'、12")与刺激输入信号(11)加在一起。然后,使用乘法器(28)将连接室(24)和馈送室(25)的输出信号相乘,之后将所述乘法器(28)的输出(29)馈送到阈值室(26)。连接室22、馈送室23和阈值室26中的每一个都具有反馈机构(未示出),使得每个室保持其先前的状态,但具有衰减因子。因此,每个室具有先前状态的存储器,其随时间衰减。在向阈值室的输入大于阈值的情况下,神经元激发,即产生阈值室(13)的输出。然而,由于反馈机制,阈值随时间而改变。在神经元激发之后,阈值显著增加,之后其随时间衰减,直到神经元再次激发。

[0181] 图11在(a、b、c)中示出来自像素传感器阵列的三个连续输入信号,示出在第一位置(30)、第二位置(31)和第三位置(32)之间移动的对象或图案。这是假设所述点在一个时间步长之间移动不超过一个像素。图11的(a,b,c)是不考虑环境和热噪声的理想情况检测。图11在(d,e,f)中示出了考虑环境和热噪声的来自像素传感器阵列的实际三个连续输入信号,例如在(33)中。图11在(g,h,i)中示出了由处理装置(优选是神经网络)进行的每个输入信号的经滤波的输出。处理装置,优选是神经网络,能够通过检查所述对象(例如,在某一方向上以一致的方式运动的对象)的运动的一致性,来过滤诸如(33)中的环境和热噪声。此外,可选地,神经网络能够基于所述一致的运动来预测所述对象在稍后时刻的运动。

[0182] 图12的(a)示出了包括多个像素传感器(35)的图像传感器(34)的截面图,每个像素传感器(35)包括光电检测器(36)。传感器(34)还包括至少一个存储元件(37)。每个光电检测器(36)连接到存储元件(37),以存储在不同时刻每个所述光电检测器(36)的检测(39',39")的输出。传感器(34)还包括处理单元(38)。处理单元(38)能够检索所述存储元件(37)上存储的数据。单元(38)还能够执行其它操作,例如推断、计算检测的轨迹等,如上所述。

[0183] 图12的(b)示出了所述传感器(34)的顶视图,其中所述像素传感器(35)以矩阵配置布置,例如具有多个像素传感器行和列。每个检测器(36)检测入射在其上的光子(42),并基于此产生相应的信号。例如,在检测一个光子(42)之后,由每个检测器(36)产生电脉冲。每个像素传感器(35')具有多个紧邻的像素传感器,例如(35"),以及非紧邻的像素传感器,例如(35"')。

[0184] 图13示出了像素传感器(35)的矩阵及其检测(39),其中在一个像素传感器(35')中,在两个连续的时间步长(T1,T2)中发生两个检测(39',39")。所述检测(39',39")被认为

是一致检测,因为它们在同一像素传感器(35')处在两个连续时间步长(T1,T2)内发生。因此,与(41)不同,它们不被认为是噪声检测。

[0185] 图14示出了像素传感器(35)的矩阵及其检测(39),其中在两个紧邻的像素传感器(35',35")中,在两个连续的时间步长(T1,T2)中发生两个检测(39',39")。与(41)中的有噪声(即假阳性)检测不同,所述检测被认为是一致的检测,因为它们在两个紧邻的像素传感器(35',35")中,在两个连续的时间步长(T1,T2)内发生。基于所述两个检测(39'、39"),所述单元(38)可以计算检测的轨迹(40)。基于所述轨迹(40),可以滤除噪声检测(41)。此外,基于所述轨迹(40),可以推断在即将到来的时刻(T3)即将到来的检测(39"')。这允许预测发生之前的检测。例如移动对象的轨迹。在传感器(34)前面移动的对象在这种情况下是沿线性轨迹(40)移动的单个点。然而,在现实生活中,所述对象更复杂,如将在接下来的图中示出的。

[0186] 图15示出了像素传感器(35)的矩阵及其检测(39),其中在两个非紧邻的像素传感器(35',35"')中在两个连续的时间步长(T1,T2)中发生两个检测(39',39")。基于设计选择,例如基于每个像素传感器的采样率,跳过一个像素传感器的检测可以被认为是一致的。例如在对象的移动比所述像素传感器的采样率快的情况下。这是图3中的操作的替代,基于所述两个检测(39',39"),可以计算轨迹(40),以便滤除噪声检测(41),并且推断即将到来的检测(39"')。

[0187] 图16示出了在第一和第二连续时刻(T1,T2)之间的场景(44)中移动的三角形对象(43)的示例。为了简单起见,对象(43)由三个检测点(45',45",45"')限定,其中所述三个检测点(45',45",45"')中的每一个被假定为在第一和第二时刻(T1,T2)之间已经移动了一个像素。这允许滤除所述三角形周围的任何其他噪声检测,诸如(46',46",46"')。用于实现体现本发明的方法和设备的目的的其它布置对于本领域技术人员将是显而易见的。

[0188] 前面的描述给出了本发明的某些实施例的细节。然而,很明显,无论上述内容在文字上有多详细,本发明都可以以多种方式应用。应当注意,在描述本发明的某些特征或方面时使用某些术语不应当被解释为暗示此处的术语再次被定义为限于该术语所结合的本发明的特定特征或方面。

[0189] 附图标记列表

[0190] 1 图像传感器

[0191] 3 像素传感器

[0192] 4 单光子检测器

[0193] 5 神经网络

[0194] 6 神经元

[0195] 7 距离

[0196] 8 接触垫

[0197] 9 硅

[0198] 10 入射光子

[0199] 11检测器输出或神经元输入

[0200] 12 相邻神经元的输入信号

[0201] 13 神经元输出

[0202] 14 输入层

[0203] 15 中间层

[0204] 16 输出层

[0205] 17 移动对象的轨迹

[0206] 18检测器和神经元之间的连接

[0207] 19 观察窗

[0208] 20 噪声

[0209] 21 接收野

[0210] 22 连接室

[0211] 23 馈送室

[0212] 24 连接室的输出

[0213] 25 馈送室的输出

[0214] 26 阈值室

[0215] 27脉冲耦合神经网络的神经元

[0216] 28 乘法器

[0217] 29 乘法器的输出

[0218] 30 第一位置

[0219] 31 第二位置

[0220] 32 第三位置

[0221] 33 噪声

[0222] T1 第一时间步长

[0223] T2 第二时间步长

[0224] T3 即将到来的时间步长

[0225] 34 图像传感器

[0226] 35 多个像素传感器

[0227] 35’像素传感器

[0228] 35”紧邻像素传感器

[0229] 35”’非紧邻像素传感器

[0230] 36 光子检测器

[0231] 37 存储元件

[0232] 38 处理单元

[0233] 39 检测

[0234] 39’第一检测

[0235] 39”第二检测

[0236] 39”’即将到来的检测

[0237] 40 轨迹

[0238] 41 噪声检测

[0239] 42 光子

[0240] 43 三角形对象

[0241] 44 场景

[0242] 45’、45”、45”’三个检测点

[0243] 46’、46”、46”’三个噪声检测点

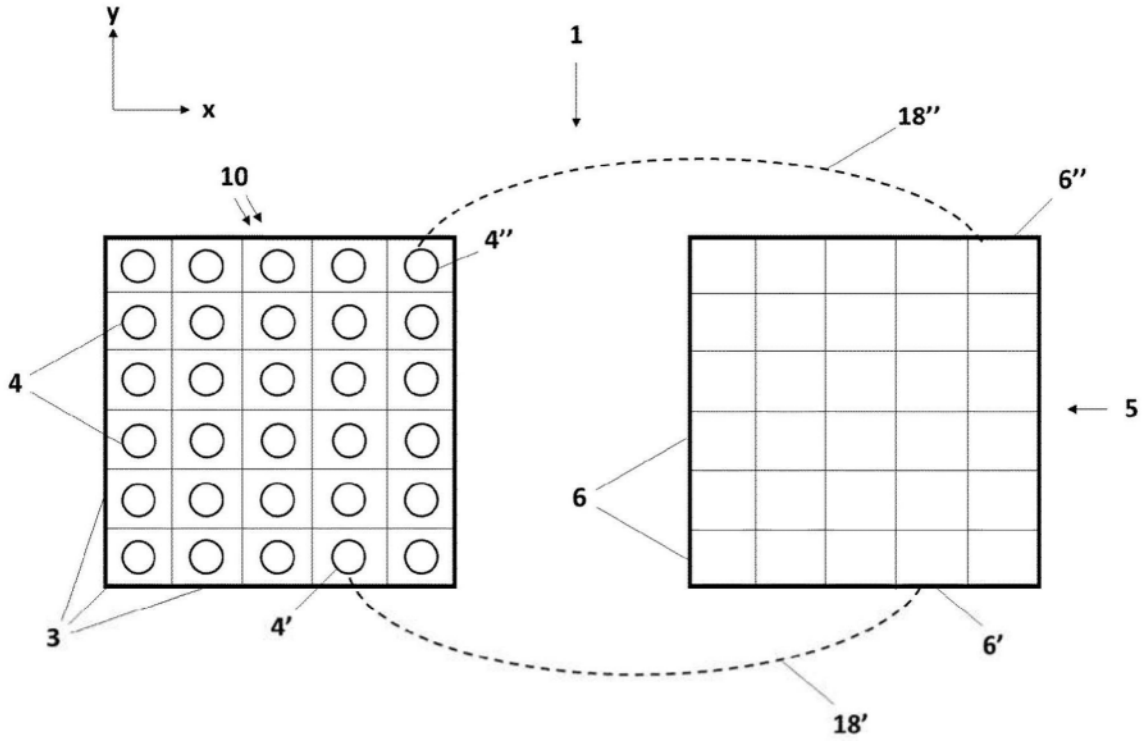


图1

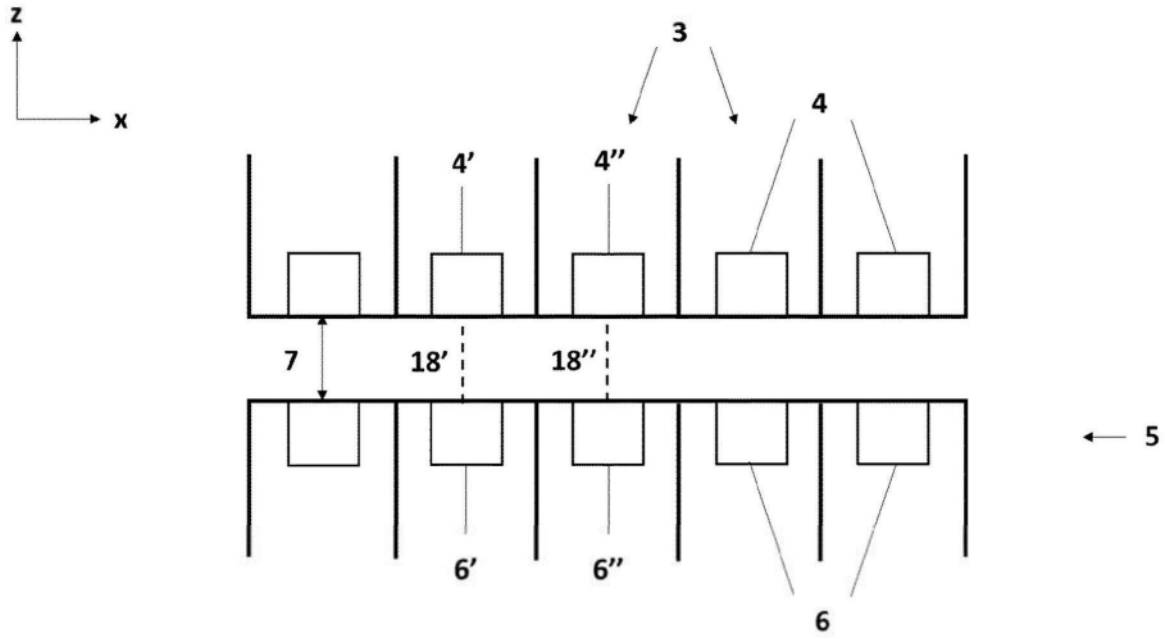


图2

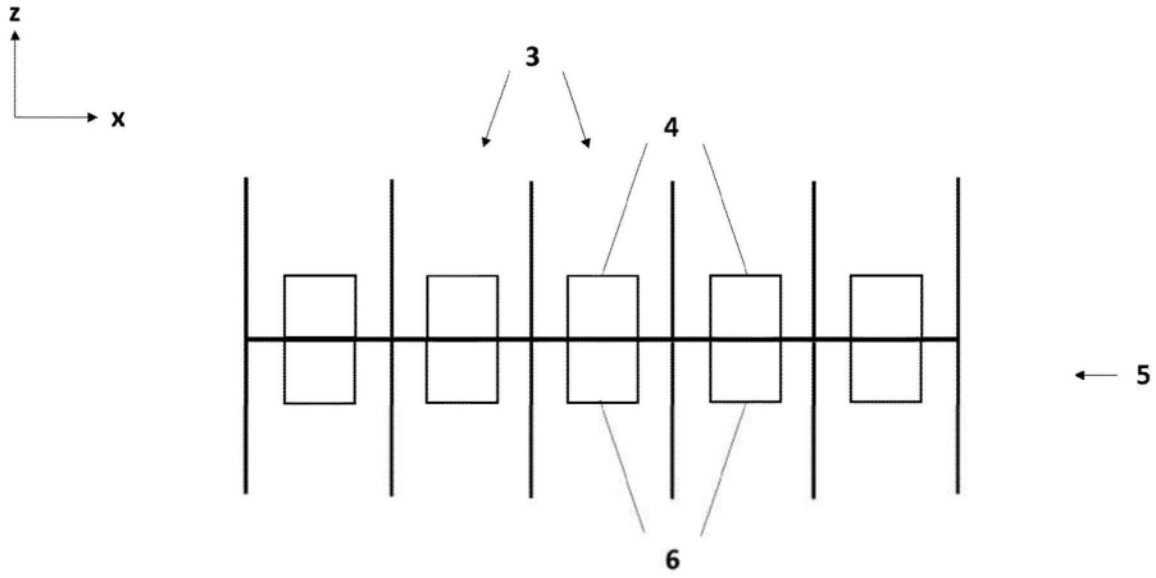


图3

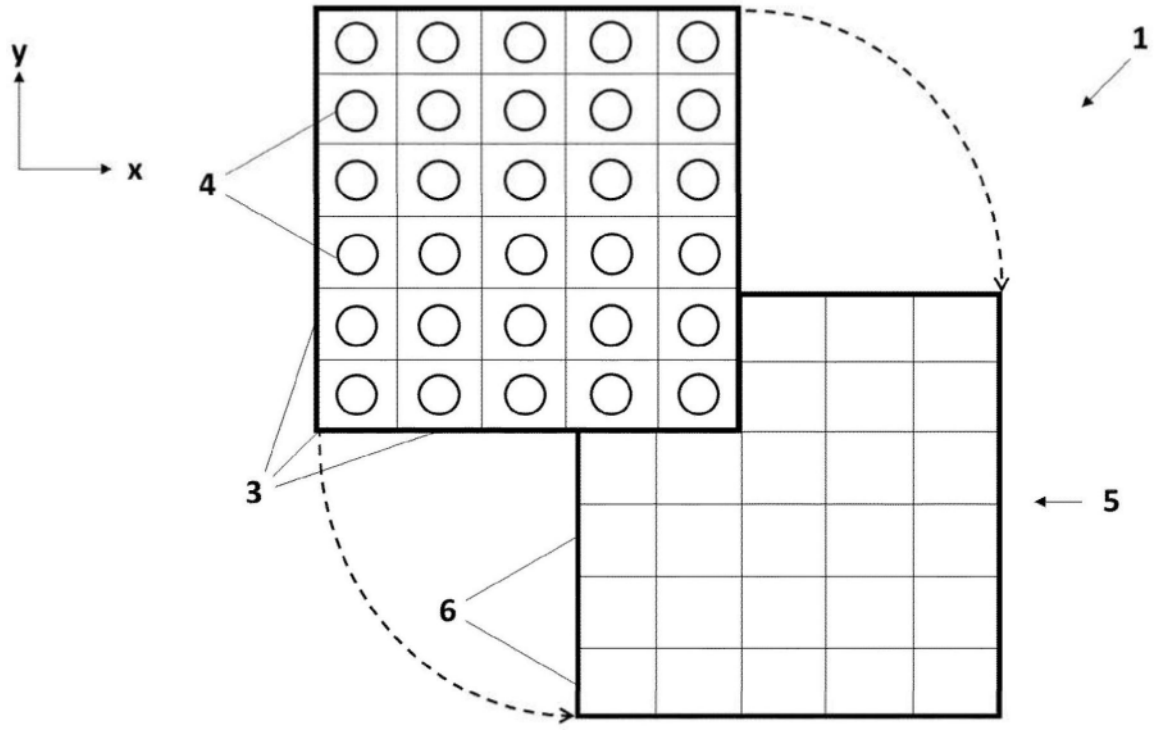


图4

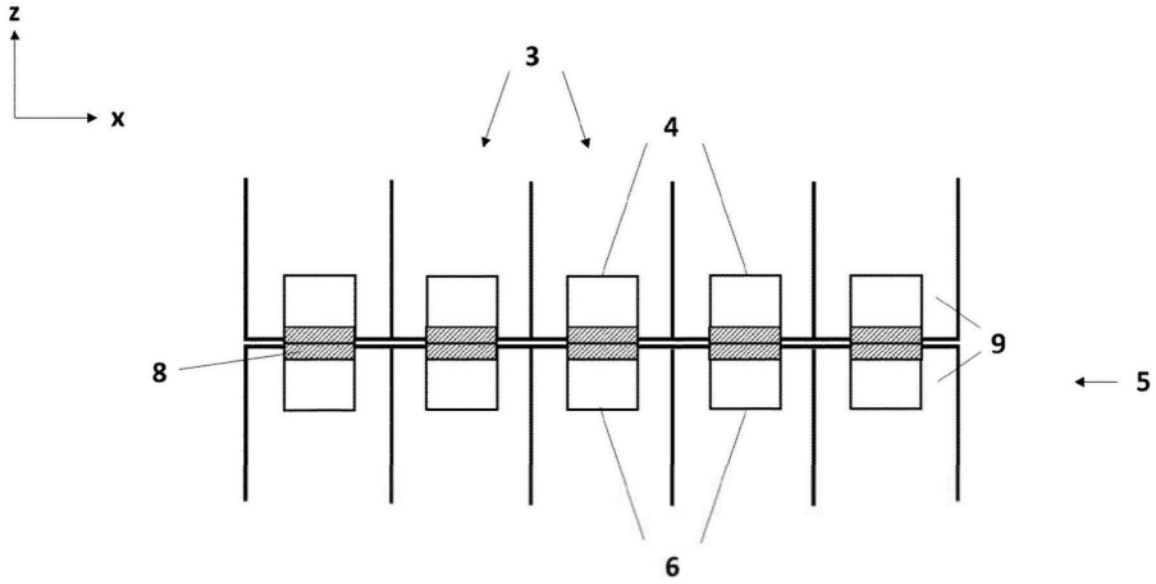


图5

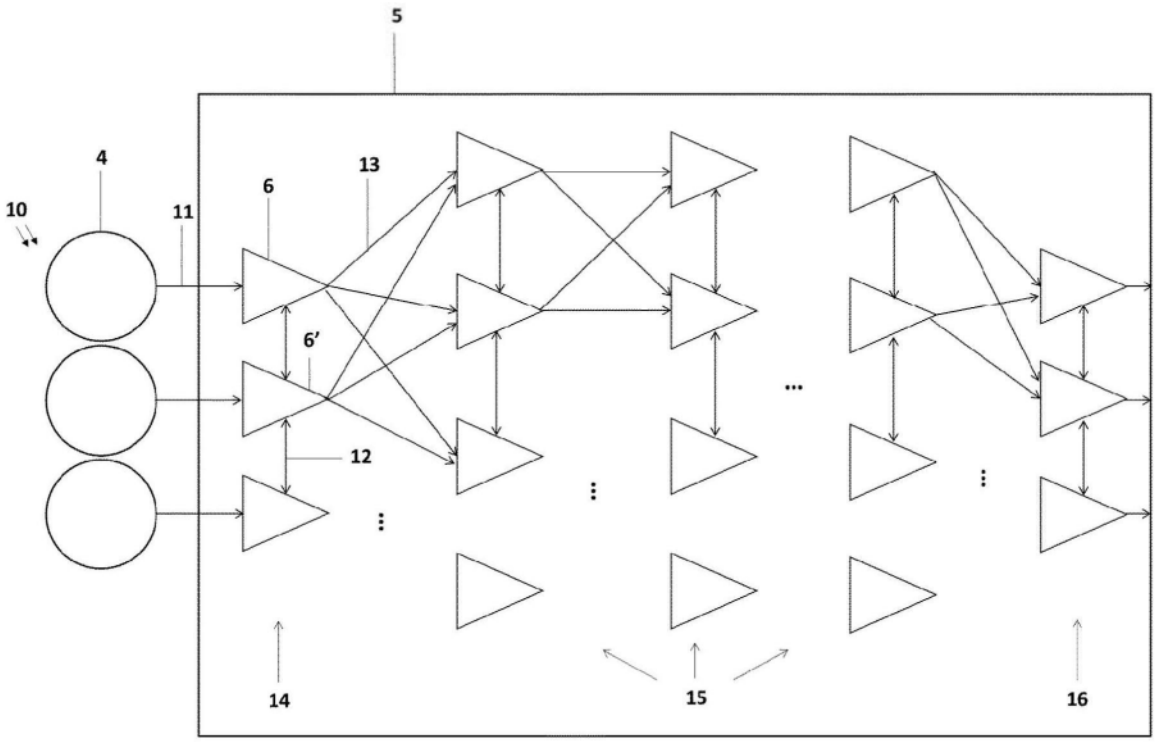


图6

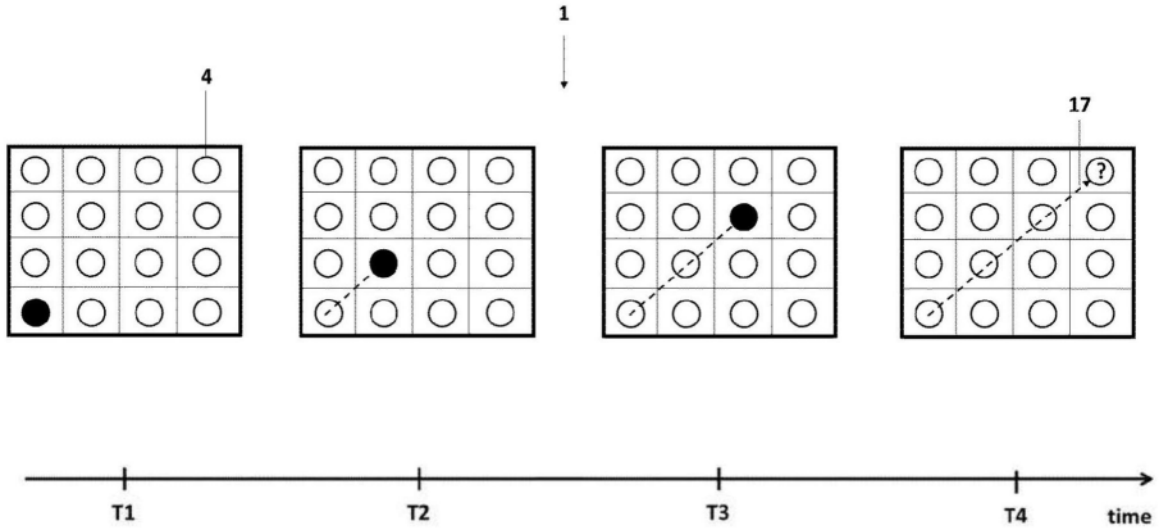

1
4
17
T1
T2
T3
T4
time

图7

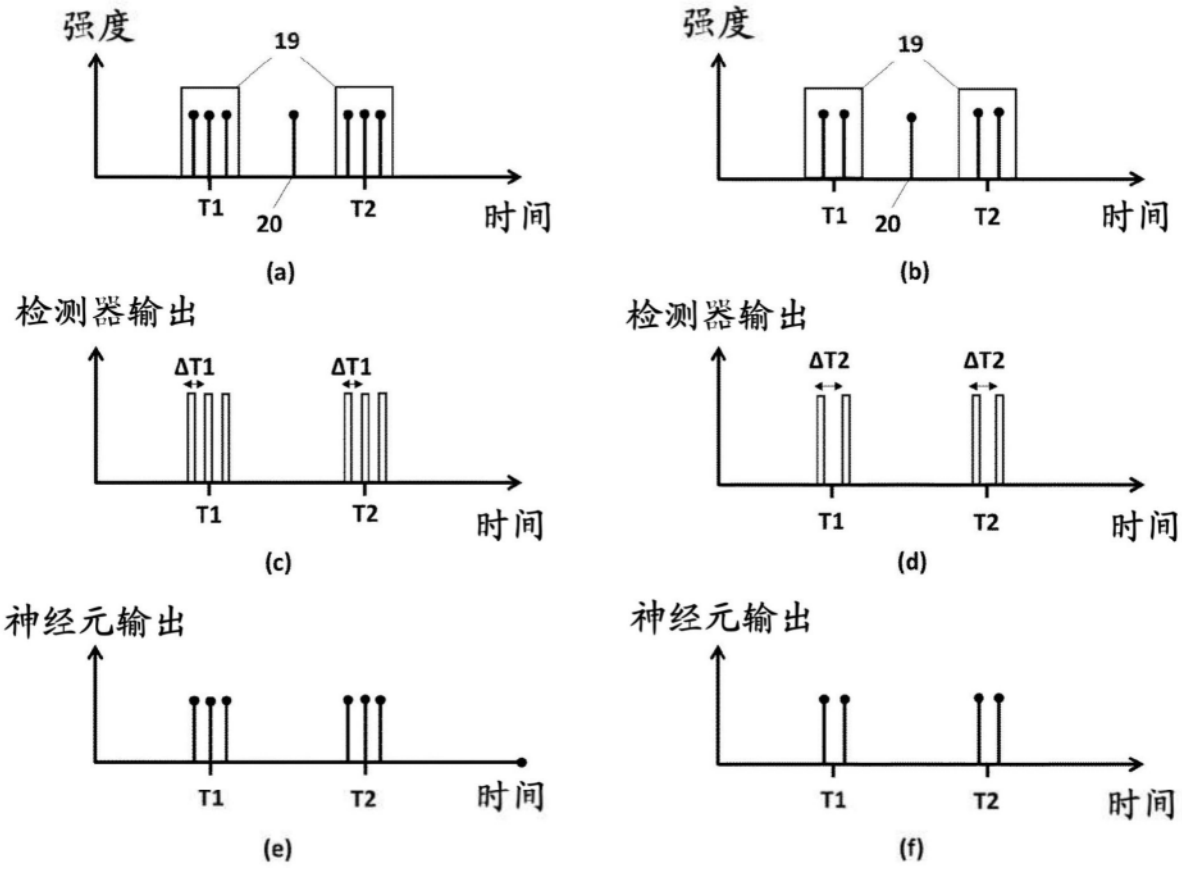

强度
19
T1
20
T2
时间
(a)
强度
19
T1
20
T2
时间
(b)
检测器输出
ΔT1
ΔT1
T1
T2
时间
(c)
检测器输出
ΔT2
ΔT2
T1
T2
时间
(d)
神经元输出
T1
T2
时间
(e)
神经元输出
T1
T2
时间
(f)

图8

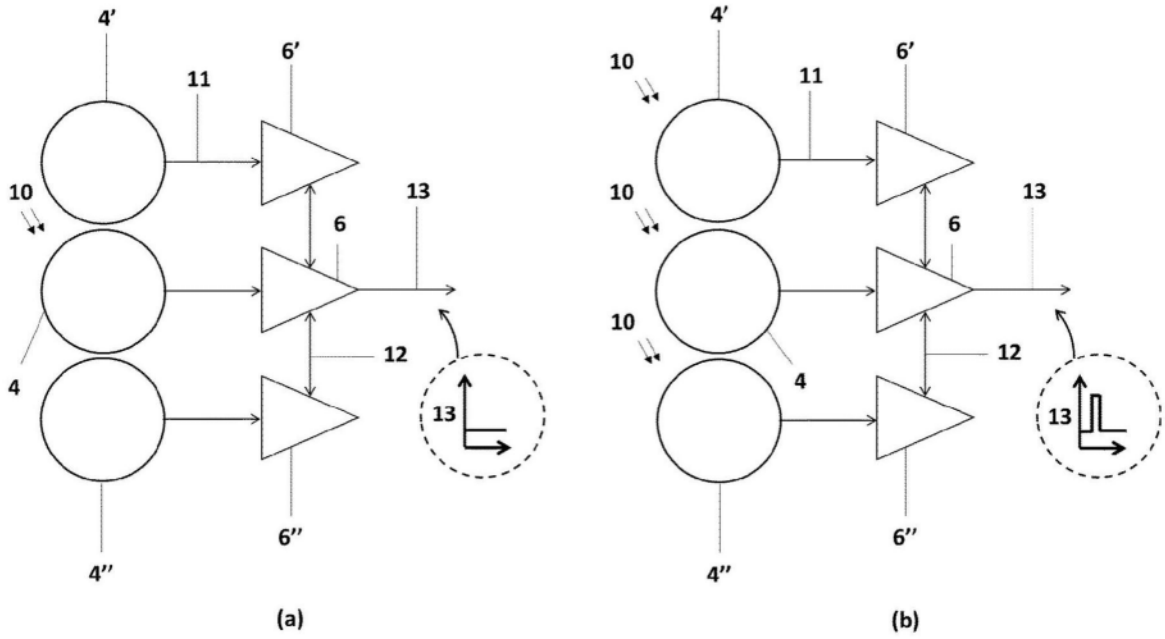


图9

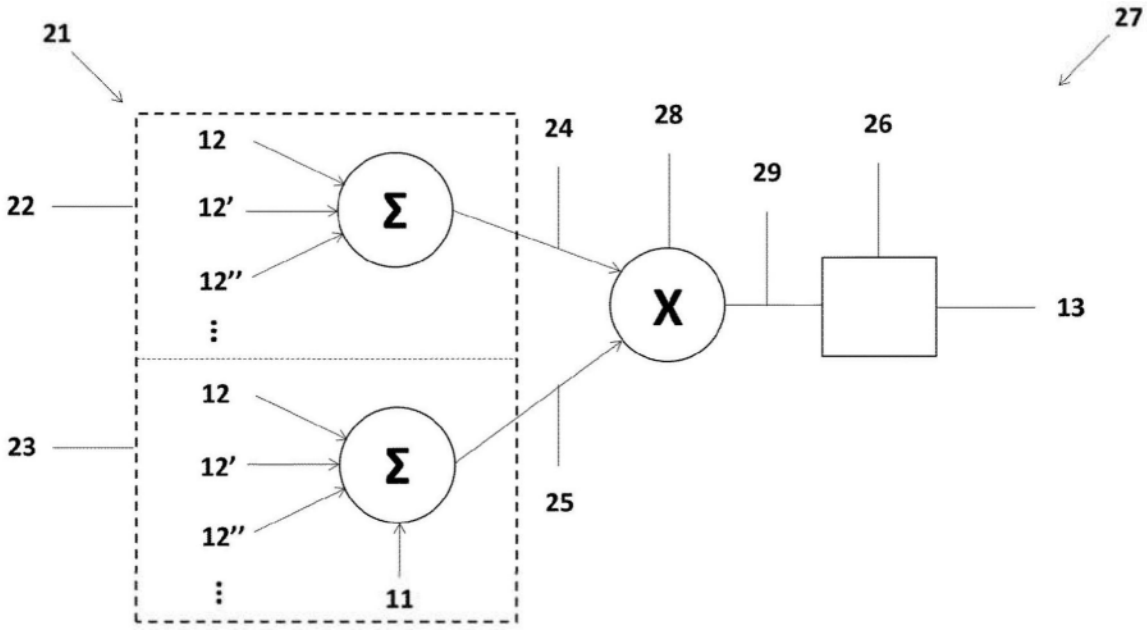


图10

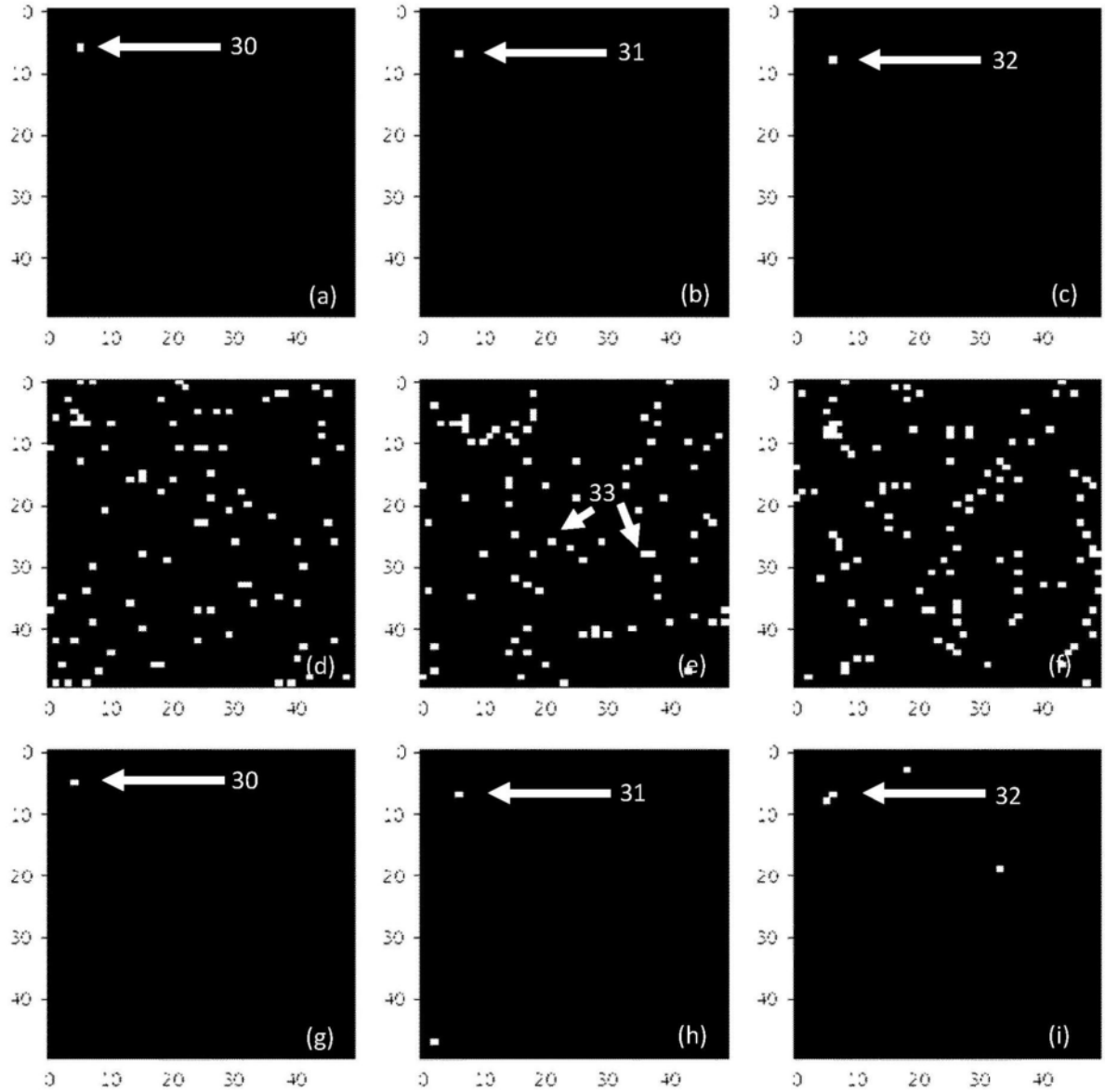


图11

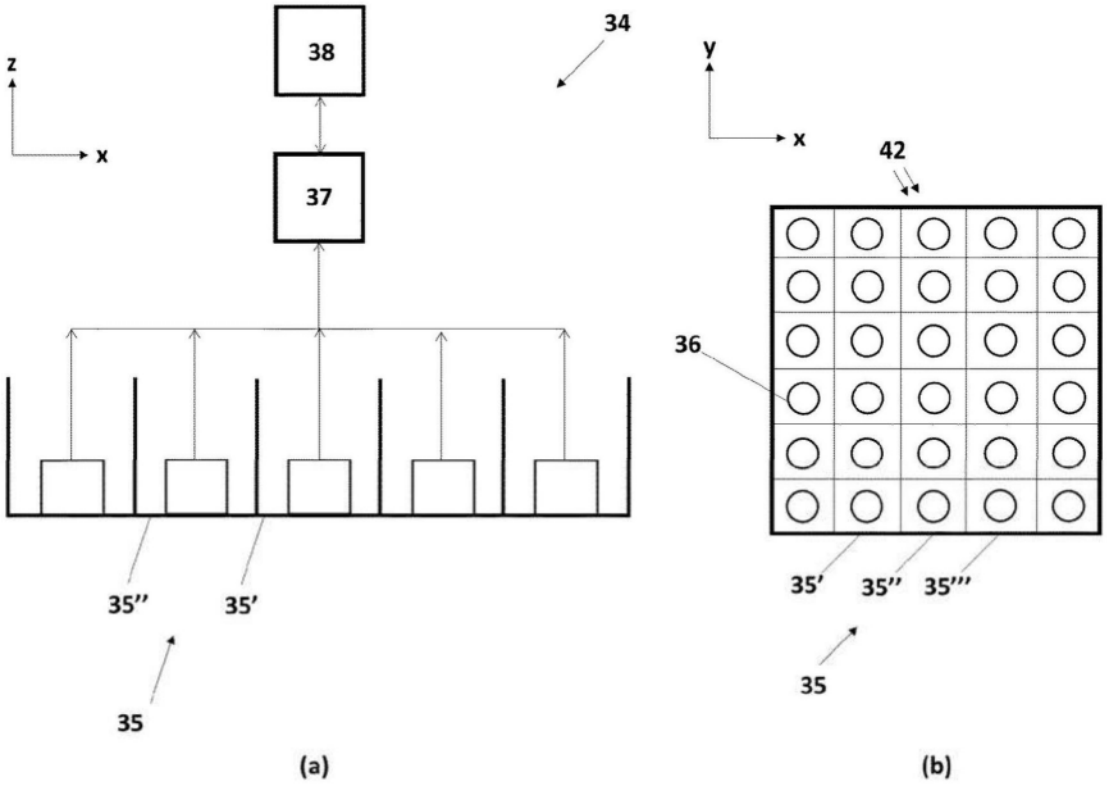

38
37
34
z
x
y
x
42
36
35''
35'
35
35'
35''
35'''
35
(a)
(b)

图12

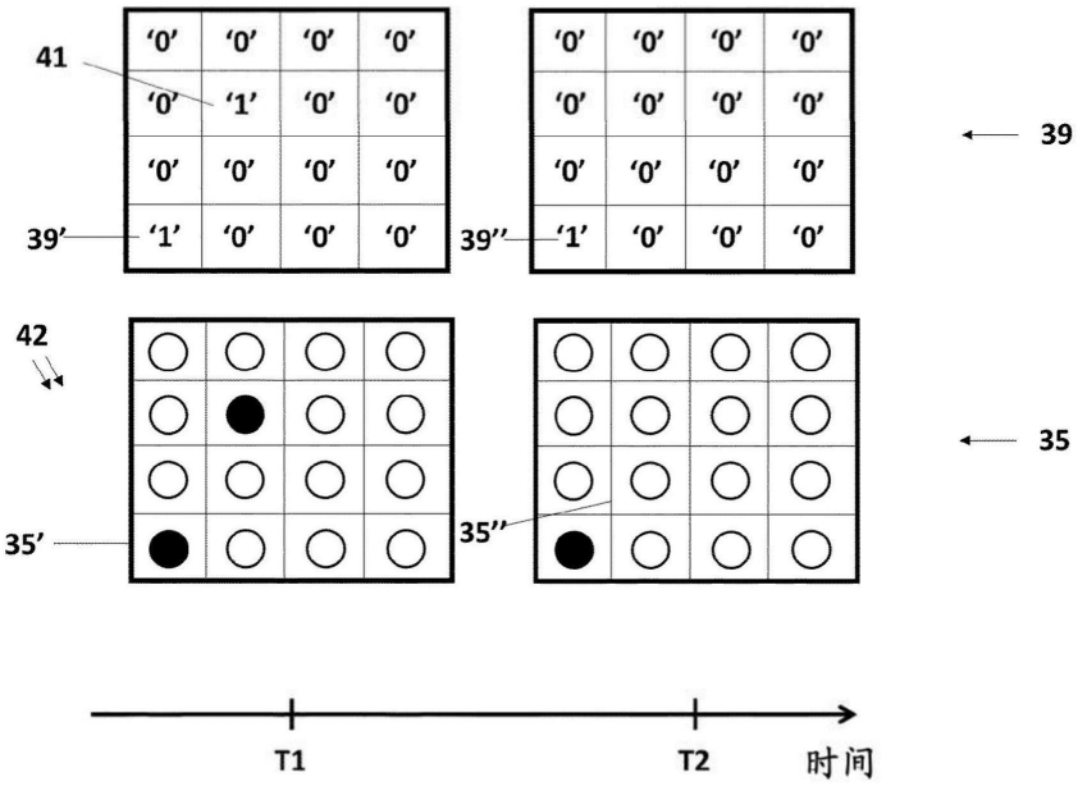

41
'0' '0' '0' '0'
'0' '1' '0' '0'
'0' '0' '0' '0'
39' '1' '0' '0' '0'
39''
'0' '0' '0' '0'
'0' '0' '0' '0'
'0' '0' '0' '0'
'1' '0' '0' '0'
39
42
35'
35''
35
T1
T2
时间

图13

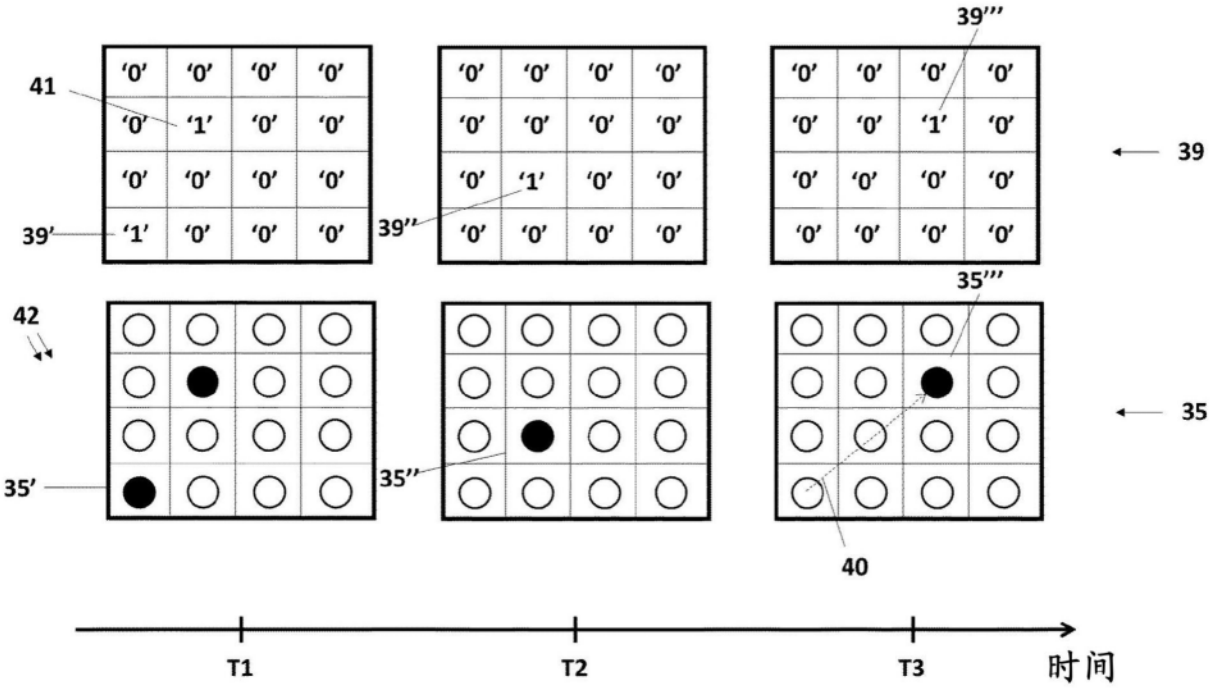

41
39'
39''
39'''
39
42
35'
35''
35'''
35
40
T1
T2
T3
时间

图14

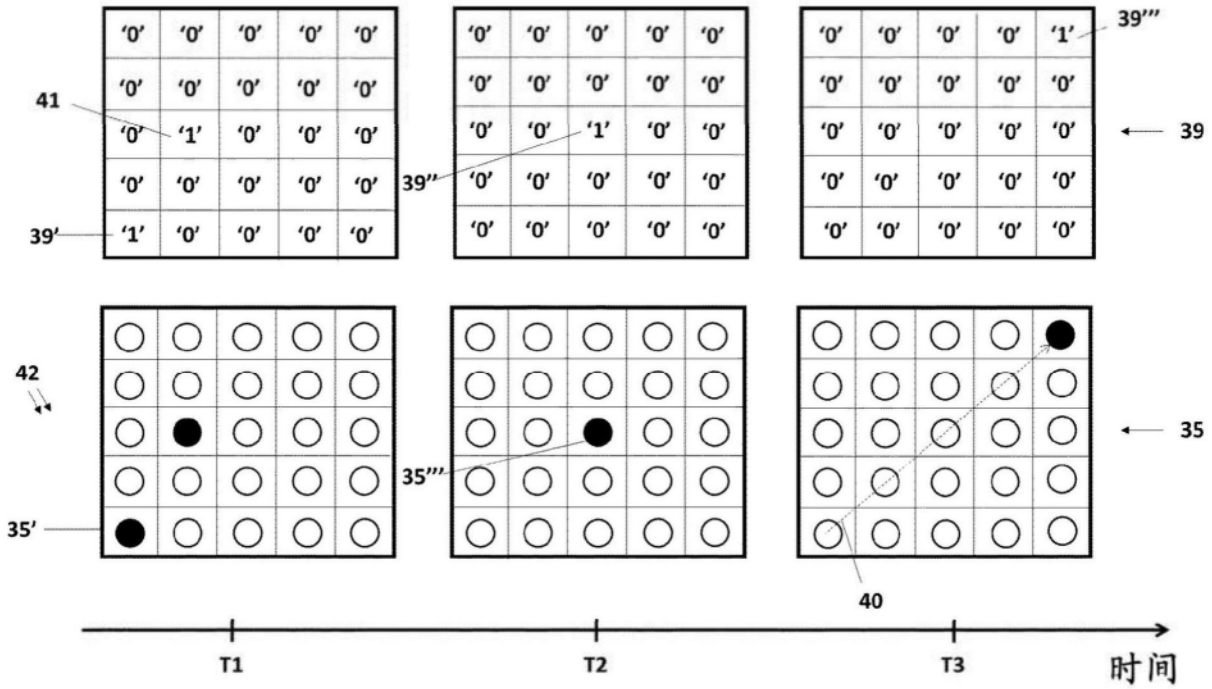

41
39'
39''
39'''
39
42
35'
35'''
35
40
T1
T2
T3
时间

图15

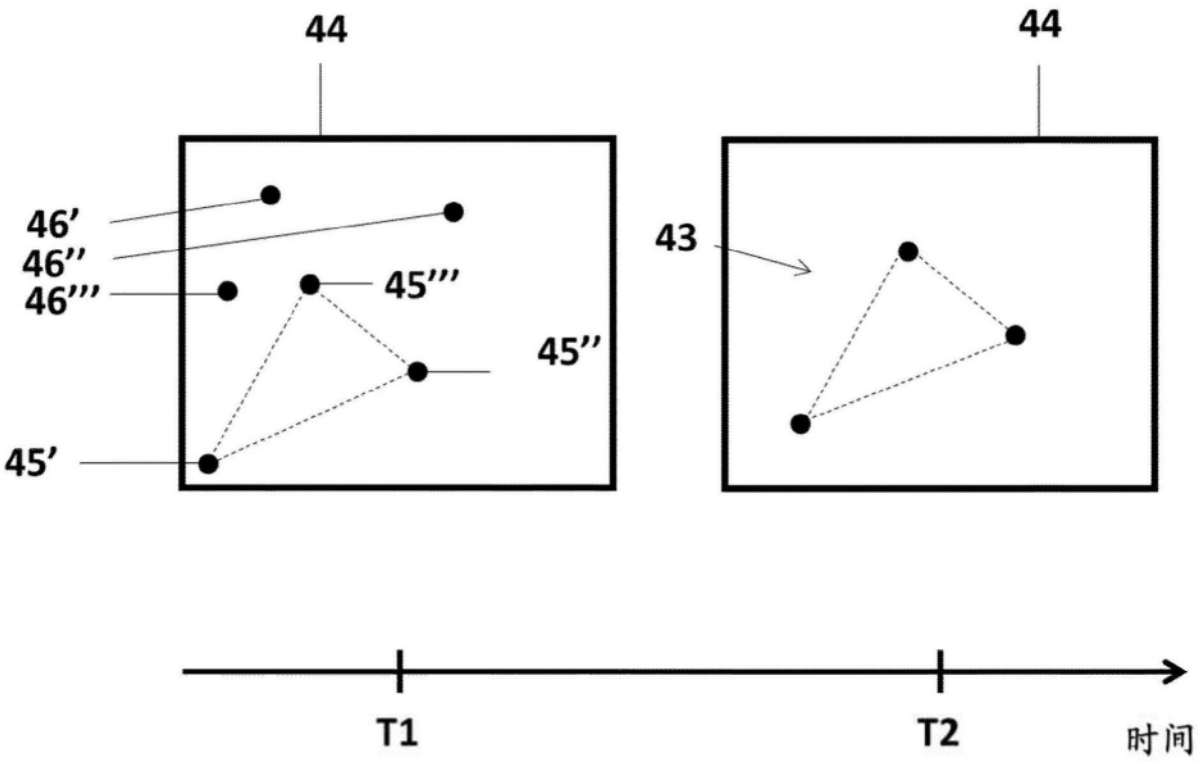


图16