



(21) 申请号 202280062865.3

(22) 申请日 2022.10.03

(30) 优先权数据

21200661.3 2021.10.04 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.03.18

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2022/076182 2022.10.03

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/057208 EN 2023.04.13

(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 J·W·佩特斯

A·B·米奥德兹基 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 程晨

(51) Int.Cl.

G01B 11/25 (2006.01)

G06T 5/70 (2024.01)

G06T 5/60 (2024.01)

G06T 5/20 (2006.01)

G06T 7/521 (2017.01)

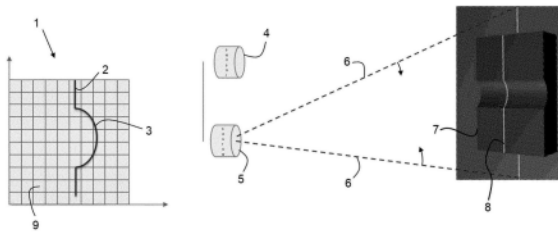
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54) 发明名称

三维成像系统

(57) 摘要

实现按照前述权利要求任意之一的方法的深度成像系统包括:a.成像设备(4),成像设备(4)包括像素的矩阵(1),每个像素包括能够检测撞击到其上的单光子的光电探测器(9)和能够在像素的矩阵(1)上形成视场的图像的光学器件,所述单光子探测器具有在时间帧内当检测到光子时为真的二值逻辑状态、和当没有检测到光子为假的逻辑状态;b.投影仪(5),能够在小于 $10\mu\text{sec}$ 优选地小于 $1\mu\text{sec}$ 的时间窗口内投射图案;c.控制器,使投影仪(5)时间窗口和成像设备时间帧同步;d.逻辑,在使用中,确定在时间帧期间处于真状态的连续像素(11)的存在,并计算与所述连续像素(11)对应的深度剖面。



1. 一种用于确定视场(7)的深度剖面的方法,所述方法包括以下步骤:
 - a. 借助投影仪(5)将至少一个光图案投射到视场上,所述投射发生在小于 $10\mu\text{sec}$ 优选地小于 $1\mu\text{sec}$ 的时间窗口内;
 - b. 借助在所述时间窗口内的至少一个观察窗口期间与图案的投射同步的相机传感器(4)和光学器件对投射图案进行成像,所述相机传感器包括像素的矩阵(1),每个像素包括光电探测器,所述像素(9)在对应光电探测器没有检测到光时处于假状态,而在对应光电探测器检测到光时处于真状态,从而获得表示视场的像素的第一个二值矩阵;
 - c. 通过仅考虑在所述时间窗口内的一次观察或至少两次观察的组合中获得的像素的矩阵(1)上处于真状态的、具有也处于真状态的至少一个相邻像素的像素,在像素的二值矩阵上将投射图案与环境光噪声(10)分离,从而获得表示投射图案的像素的第二个二值矩阵;
 - d. 基于投影仪(5)位置、相机(4)位置和像素的第二个二值矩阵之间的三角测量来计算与投射图案对应的深度剖面;
 - e. 通过在整个视场上重复步骤a~d来扫描投射图案,以确定整个视场上的深度剖面;其中图案的每个隔离元素在至少两个连续像素上在二值表示中延伸。
2. 按照权利要求1所述的方法,其中投射图案包括至少一条连续线,通过仅考虑形成至少一条连续线的真像素来将投射图案与环境噪声分离的步骤。
3. 按照权利要求2所述的方法,其中同时投射不止一条连续线。
4. 按照权利要求2或3所述的方法,其中投射的连续线是在整个视场上或在它形成感兴趣区域的局部部分上顺序扫描的直线(8)。
5. 按照权利要求4所述的方法,其中使直线沿预定方向定向,将直线与环境噪声分离的步骤使用该预定方向来分析相邻像素是投射的直线(8)的一部分的概率。
6. 按照前述权利要求任意之一所述的方法,其中像素(9)是投射图案的一部分的概率由经过训练的神经网络确定。
7. 按照前述权利要求任意之一所述的方法,其中两个连续投射之间的投射图案的位移对应于小于一个像素宽度,通过连续线扫描之间的确定深度的插值来提高深度分辨率。
8. 按照权利要求2~7任意之一所述的方法,其中投射是通过在视场上移动至少一个激光束而产生的。
9. 按照前述权利要求任意之一所述的方法,其中每个光电探测器包括单光子探测器(9)。
10. 一种实现按照前述权利要求任意之一所述的方法的深度成像系统,所述系统包括:
 - a. 成像设备(4),所述成像设备(4)包括像素的矩阵(1),每个像素包括能够检测撞击到其上的单光子的光电探测器(9)和能够在像素的矩阵(1)上形成视场的图像的光学器件,所述单光子探测器具有在时间帧内当检测到光子时为真的二值逻辑状态和当没有检测到光子时为假的逻辑状态;
 - b. 投影仪(5),所述投影仪(5)能够在小于 $10\mu\text{sec}$ 优选地小于 $1\mu\text{sec}$ 的时间窗口内投射图案;
 - c. 控制器,所述控制器使投影仪(5)时间窗口和成像设备时间帧同步;
 - d. 逻辑,所述逻辑在使用中,确定在时间帧期间处于真状态的连续像素(11)的存在,并

计算与所述连续像素(11)对应的深度剖面。

11.按照权利要求10所述的深度成像系统,其中所述投影仪(5)被布置为在预定方向上投射射线(8),以改善所述逻辑进行的线检测。

12.按照权利要求10或11所述的深度成像系统,其中像素的矩阵(1)包括第一层和第二层,第一层包括单光子探测器,第二层包括邻域测试电路,所述邻域测试电路被布置为使得只有当对应的单光子探测器和至少一个相邻的单光子探测器同时处于真状态时,第二层电路的输出才为真,从而确定哪些像素具有处于真逻辑状态的至少一个连续像素。

三维成像系统

技术领域

[0001] 本发明涉及三维成像系统。

背景技术

[0002] 深度成像系统的现有实现之一基于投射在场景上的结构或线条,这些结构或线条由成像系统成像。

[0003] 在工业应用中,例如在基于输送机的系统中,在输送带上投射固定的线条,并且待扫描的物体穿过激光光幕。高速成像系统(帧速率约为1kps的量级)监测投射的线条的失真,并推断投射线条处的物体的深度剖面。

[0004] 对于输送系统,沿着物体的扫描速度由输送机的速度定义,输送机的速度通常相对于成像系统帧速率较慢。

[0005] 当激光线扫描场景时,例如通过1D MEMS系统在场景上投射移动的激光线,相同类型的传感器并不适合。假设刷新率为100Hz,横向分辨率为800条激光线,传感器系统需要在12.5 μ s内对每条线进行成像,意味着帧速率为80kHz。这超出了当今典型系统的技术能力。

[0006] 英特尔设计的第一代RealSense相机实现了这一问题的解决方案。代替独立地对每条线进行成像,每个成像帧观察投射在场景上的一组线条。例如,当MEMS激光扫描设备以10kHz用激光线扫描场景时,该激光线每10ms通过视场100次。激光线功率被调制或脉冲化使得照明设备投射一起被成像的一组线条。

[0007] 缺点在于感测速度和延迟不再由照明来定义,而是仍然由将帧速率强加给系统的传感器系统来定义。

[0008] 另外,需要足够的照明功率,以在诸如户外环境之类的强环境光条件下操作该系统。

[0009] 本发明构想出一种优化的传感器,通过能够使用仅10纳秒的曝光对激光线进行成像,同时即使在环境光条件下也使光功率要求最小化,从而使激光线扫描系统的性能最大化。

发明内容

[0010] 本发明的第一方面涉及用于确定视场的深度剖面的方法,该方法包括以下步骤:

[0011] o借助投影仪(5)将至少一个光图案投射到视场上,投射发生在小于10 μ sec优选地小于1 μ sec的时间窗口内;

[0012] o借助在所述时间窗口内的至少一个观察窗口期间与图案的投射同步的相机传感器(4)和光学器件对投射图案进行成像,所述相机传感器包括像素的矩阵(1),每个像素包括光电探测器,所述像素(9)在对应光电探测器没有检测到光时处于假状态,而在对应光电探测器检测到光时处于真状态,从而获得表示视场的像素的第一个二值矩阵;

[0013] o通过仅考虑在所述时间窗口内的一次观察或至少两次观察的组合中获得的像素的矩阵(1)上处于真状态的、具有也处于真状态的至少一个相邻像素的像素,在像素的二值

矩阵上将投射图案与环境光噪声 (10) 分离,从而获得表示投射图案的像素的第二个二值矩阵;

[0014] o基于投影仪 (5) 位置、相机 (4) 位置和像素的第二个二值矩阵之间的三角测量来计算与投射图案对应的深度剖面;

[0015] o通过在整个视场上重复步骤a~d来扫描投射图案,以确定整个视场上的深度剖面;

[0016] 其中图案的每个隔离的元素在至少两个连续像素上在二值表示中延伸。

[0017] 本发明的方法的优选实施例包括以下特征中的一个特征或不止一个特征的适当组合:

[0018] -投射图案包括至少一条连续线,通过仅考虑形成至少一条连续线的真像素来将投射图案与环境噪声分离的步骤;

[0019] -同时投射不止一条连续线;

[0020] -投射的连续线是在整个视场上或者在它形成感兴趣区域的局部部分上顺序扫描的直线;

[0021] -使直线在预定方向中定向,将直线与环境噪声分离的步骤使用预定方向来分析相邻像素是投射的直线的一部分的概率;

[0022] -像素是投射图案的一部分的概率由经过训练的神经网络确定;

[0023] -两个连续投射之间的投射图案的位移对应于小于一个像素宽度,通过连续线扫描之间的确定深度的插值来提高深度分辨率。

[0024] -投射射线是通过在视场上移动至少一个激光束而产生的;

[0025] -每个光电探测器包括单光子探测器。

[0026] 本发明的第二方面涉及实现本发明的方法的深度成像系统:

[0027] -成像设备,包括像素的矩阵,每个像素包括能够检测撞击到其上的单光子的光电探测器和能够在像素的矩阵上形成视场的图像的光学器件,所述单光子探测器具有在时间帧内当检测到光子时为真的二值逻辑状态和当没有检测到光子时为假的逻辑状态;

[0028] -投影仪,能够在小于10 μ sec优选地小于1 μ sec的时间窗口内投射图案;

[0029] -控制器,使投影仪时间窗口和成像设备时间帧同步;

[0030] -逻辑,在使用中,确定在时间帧期间处于真状态的连续像素的存在,并计算与所述连续像素对应的深度剖面。

[0031] 优选地,投影仪被布置为在预定方向上投射线条,以改善逻辑进行的线检测。

[0032] 有利地,像素的矩阵包括第一层和第二层,第一层包括单光子探测器,第二层包括邻域测试电路,该邻域测试电路被布置为使得只有当对应的单光子探测器和至少一个相邻的单光子探测器同时处于真状态时,第二层电路的输出才为真,从而确定哪些像素具有处于真逻辑状态的至少一个连续像素。

附图说明

[0033] 图1表示按照本发明的超快速线扫描仪。

[0034] 图2a~d表示在线扫描空间抖动条件下,线条可以像素化。

[0035] 图3表示沿A-A线的图2的线扫描的位置的插值结果。

- [0036] 图4表示用于估计子像素分辨率的随机空间抖动的结果。
- [0037] 图5表示通过已知点移动估计子像素分辨率的结果。
- [0038] 图6表示线扫描交错运动。
- [0039] 图7和图8表示不同图案而不是条简单线条的投射。
- [0040] 图9表示一个两层成像传感器。
- [0041] 附图标记
- [0042] 1.图像传感器(像素矩阵)
- [0043] 2.激光线
- [0044] 3.变形的激光线
- [0045] 4.相机(包括传感器和光学器件)
- [0046] 5.激光投影仪
- [0047] 6.激光束(线扫描的极限)
- [0048] 7.待扫描的物体
- [0049] 8.投射线
- [0050] 9.单个像素
- [0051] 10.检测来自环境光的噪声的像素
- [0052] 300.空间抖动的时间窗口
- [0053] 301.抖动的X方向空间范围(投影仪)
- [0054] 303.X方向像素化
- [0055] 312.真实的线位置
- [0056] 314.命中分布(随时间扫描的瞬时测量位置的总和)
- [0057] 315.测量位置的平均位置
- [0058] 322.移动点的空间分布
- [0059] 324.命中分布
- [0060] 325.测量位置的平均位置
- [0061] 400.视场
- [0062] 401.点状图案
- [0063] 402.点状图案
- [0064] 403.十字图案
- [0065] 404.圆形图案
- [0066] 411.图案投影仪
- [0067] 412.光源
- [0068] 413.诸如衍射光栅之类的成像平面
- [0069] 414.反射镜

具体实施方式

[0070] 下面描述的发明提出了一种能够高速对三维场景进行成像的系统。为此,系统以高频率在场景上投射诸如线条之类的光图案,使图案在每次拍摄之间移位,以便能够重建整个场景。

[0071] 例如,假设一个1轴振荡MEMS投射一条激光线,以1kHz~10kHz使该激光线扫过视场(FoV),意味着在100us~1ms的时间内,感测整个场景或FoV。

[0072] 例如,每个振荡周期1000个线脉冲,每条线都需要用成像系统进行成像,各自意味着每条线100ns~1us(Tline)

[0073] 为了实现能够在存在环境光的情况下每个Tline地对场景中的每条线进行成像的传感器或成像系统,使用了传感器系统。

[0074] 本发明涉及包括传感器的深度成像系统,所述传感器包括像素的阵列,每个像素例如借助单光子雪崩二极管 (SPAD) 能够检测单光子。

[0075] 传感器优选与脉冲激光线(或图案)同步,以便传感器知道何时预期来自每条投射激光线的光子。像素在优选地1纳秒~100纳秒的短观察窗口期间被激活。在该观察窗口期间,当检测到光子时,单光子探测器像素触发或改变状态。探测到的光子不仅来源于激光线能量,而且来源于场景中存在的环境光。

[0076] 为了识别激光线的位置,提出一种重合成像方法,该方法只有当相邻的一个或多个像素在观察窗口期间也被触发时,才将像素的触发视为有效触发。由于环境光会以统计方式触发所有像素,因此可以使由于环境光而引起的短观察窗口期间的相邻像素激发的机会最小化,同时可以设计每条激光线的脉冲光能,使得沿着该激光线连接的相邻像素一起激发的概率高。以这种方式,在有噪声的二值图像中可以容易地隔离激光线。

[0077] 在图2中所示的第一实施例中,逐列或逐行地读出感兴趣区域(ROI),并且构建像素图以识别线条的位置和形状。由于我们知道线条是连续的,并且是分段连续的,因此这可以用作识别哪些像素是该线条的一部分的约束。例如,隔离的像素事件可能不是分段连续结构的一部分。另外,另一个约束可以是:当将垂直线视为投射结构时,在检测到的ROI图中,同一行中的两个单独事件必须要么相邻-在这种情况下,该线在相邻像素的边界上被检测到或部分覆盖相邻像素,在这种情况下,我们可以应用一些超分辨率-要么在检测到的事件不相邻的情况下,只有1个像素具有线连接事件,而另一个像素具有随机事件。通过查看下一行或前一行中的事件,可以获得关于哪个事件是真实事件的附加信息,因为我们预期真实事件在垂直维度上是以分段线性方式连接的-因为我们正在投射垂直线。

[0078] 在我们投射水平线的另一个维度中可以建立类似的描述。

[0079] 通过将投射线约束为垂直形状或水平形状,可以更容易地定义要读出的预期感兴趣区域,从而减少每次线拍摄要读取和分析的像素的数量。ROI然后由希望在系统中允许的最大视差来定义。

[0080] 当然,如果没有这种限制,则可以应用线条的任何定向,例如,这适用于堆叠系统的情况下的大规模并行连接处理,其中像素平面以并行方式连接到处理层,而不是像一般图像传感器中那样通过总线连接到处理层。

[0081] 本发明的第二个方面涉及一种堆叠设备,其中第一层包括光子探测器,比如SPAD阵列,以及一些用于控制SPAD阵列和像素的可选电子器件,可能是淬灭电阻器或电路,并且其中第二层借助每个探测器或探测器组一个或多个电连接并行连接到第一层。第二层处理来自第一层的信息。在第一变型中,重合成像以及线检测由第二层中的逻辑进行。

[0082] 在另一种变型中,大规模并行连接将SPAD阵列与神经网络连接,该神经网络计算原始数据图像中线段的位置,从而训练神经网络来区分噪声和线信息。

[0083] 图中示出了线扫描仪的每个振荡周期在水平分辨率为10条线的情况下的一系列线条。在T0~T4,激光线从左向右移动,我们可以称之为向右扫描线,而从T5~T9,激光线在该图中以交错的方式从右向左移动,我们可以称之为向左扫描线,从而在线扫描仪的每个周期在水平方向上产生为10的分辨率。

[0084] 可以创建其他实施例,其中向左扫描线和向右扫描线的位置重合,从而降低深度图像的水平分辨率,但增加了这些线样本的时间分辨率。

[0085] 在500条向右扫描线和500条交错的向左扫描线的情况下,或者反之亦然,每个周期的全线分辨率变为1000。

[0086] 这意味着每100us,需要构建1000条线,因此大约每100纳秒就需要读取ROI。当与SPAD像素阵列或比特深度有限的量子图像传感器相结合时,该要求是可行的。

[0087] 或者,像素阵列整体或阵列的感兴趣区域并行连接到处理平面。例如,在堆叠式传感器设备中,对光学输入敏感的像素阵列或传感器阵列可以位于第一平面上,同时每个像素通过互连方法连接到物理上位于传感器的第二平面上的处理层。

[0088] 在这种情况下,我们可以描述一种处理元件或神经网络,该处理元件或神经网络连接到主动ROI或完整的像素阵列,并且能够在具有随机事件或像素数据和连接到感兴趣线的事件或像素数据的噪声图像中找到线条或分段线条。

[0089] 可以在读出每个单独的像素后对ROI应用重合,或者在像素区域本身中应用重合。

[0090] 如图2所示,线条将以子像素分辨率按每个时间步长移动。通过分析先前检测到的线条的触发像素位置,可以通过子分辨率在给定时间戳获得更好的估计。这当然对我们正在检测的物体的空间频率施加了约束。

[0091] 然而,它通过考虑线运动的时间行为,创建了一种超分辨率方法。

[0092] 通过特殊(结构)抖动的超分辨率,以提高深度精度

[0093] 在传统的点状图案主动立体视觉系统中,点在空间中是静态的。如果场景不移动,则点在场景上从而在图像中具有固定位置。通过利用具有一定空间分辨率的成像器对场景进行采样的空间量化对深度估计施加了限制。在A.Chatterjee等人的文章“Noise in Structured-Light Stereo Depth Cameras:Modeling and its Applications”(<https://arxiv.org/pdf/1505.01936.pdf>)中描述了立体系统的噪声

[0094]
$$\frac{\partial D}{\partial Z} = -\frac{fB}{Z^2} \Rightarrow \frac{\partial Z}{\partial D} = -\frac{Z^2}{fB}$$

[0095] Δ 深度与 Δ 视差成线性关系。这意味着视差的量化限制了深度估计的精度。

[0096] 在本发明中,借助空间抖动来减轻由于像素间距而引起的视差量化的限制。通过从场景中略有不同的位置处的相邻的相关测量的集合,构建深度估计,可以改进深度估计。该想法类似于利用1比特AD转换器和抖动进行量化的想法。如果抖动噪声是白噪声并且超过量化,则借助最终结果的平均,可以创建更好的估计。这同样适用于这种空间抖动概念,其中像素是量化器,移动的点是空间抖动。如果空间抖动在幅度方面超过像素量化,并且抖动的分布是已知的(这是因为系统控制光),则可以获得更精确的子分辨率测量。

[0097] 本发明进一步建立在极快感测-几乎连续-的可能性之上,无论是线、点还是点状图案。

[0098] 该想法是对照明施加已知的空间概率。

[0099] 在单点、点状物或点状图案的情况下,并行投射多个点。为了清晰起见,我将专注于单点,但是该方法可以扩展到任何投射结构:

[0100] 如果我们能够以极高的速度跟踪点(或结构)的位置,则我们可以通过空间抖动建立超分辨率。

[0101] 我们例如在水平方向上,对点的位置施加已知的空间概率分布。这可以是均匀概率分布,或高斯分布,或任何其他函数,但是优选是平滑分布。

[0102] 图4示出了一种位置抖动方法。

[0103] 在图4(a)中,在时间窗口300期间,点位置在一定位置范围301上发生变化-抖动。累积该时间窗口300期间的点的位置x的概率分布,可以得到概率密度函数312。

[0104] 像素阵列将使用具有有限大小的像素303在离散时刻对该函数进行采样,从而创建量化。该量化创建直方图314。通过在时间段300期间监测抖动的x位置,可以从直方图314计算平均位置315,这比通过量化像素观察具有静态位置的点更准确。以这种方式,可以以更高的分辨率获得平均点位置的精度。

[0105] 该原理可以扩展到例如非常简单的空间抖动或分布,比如图5中的空间抖动或分布

[0106] 本发明的第三方面涉及一种与按照第一方面的方法类似的用于确定视场的深度剖面的方法。然而,步骤c(分离)是可选的,因为如本领域技术人员所理解的,确定深度剖面的方法也可以与其他滤波步骤一起进行。本发明的第四方面涉及一种与按照第一方面的方法类似的用于确定视场的深度剖面的方法。然而,步骤b包括借助两个相机进行成像,每个相机具有像素的矩阵,并且步骤d包括基于两个相机的位置和两个像素的矩阵的三角测量。本领域技术人员理解,对两个相机或一个相机和一个光源的数据进行三角测量在概念上是相似的。本发明的第五方面涉及一种优选实现第三方面和第四方面的方法的深度成像系统。

[0107] 优选地,投影仪将诸如椭球体或圆形点之类的简单结构投射到场景上,并以光栅、Lissajous或其他图案扫描场景。

[0108] 优选地,每个相机适合于跟踪每个图像平面中的点的位置,并输出(x,y,t)数据流,其中x、y是图像平面中的坐标(像素维度),t是检测的时间戳。这在允许以高达10纳秒的时间分辨率输出这种流的方面是有利的。例如,图10示出了基于激光的照明以快速的笔画连续扫描世界。基于快速2D MEMS反射镜生成Lissajous图案。两个或更多的传感器以极快的速率(高达100MHz)捕捉激光点的位置。每个传感器发送激光点位置,之后简单的三角测量算法允许以极快的速率计算精确的3D形状、位置、轮廓和运动。

[0109] 由于如下总结的几个原因,本发明的方法和系统是有利的。第一个优势与功率相关。这里,一次投射单个点(或一组点),在尽可能短的时间内将所有能量聚集在一起,对场景中的某个位置进行采样,从而以最低的光子预算获得对环境光的最佳免疫力。然而,能够感测点的所需光子预算取决于所使用的感测技术。例如,仅仅利用分布在2个像素上的12个光子(6个光子/像素)就可以检测到点。此外,产生每像素6个光子的返回所需的时间越短,对环境光的免疫力就越好。于是,该系统优选使用高功率短脉冲。

[0110] 另外,由于扫描时功率可以快速变化,因此可以创建其中动态分配激光功率的框架。例如,远处或黑暗的物体可以用更大的激光强度照射,而近处的物体可以用更低的激光

功率照射。这可以在扫描中进行调制,并可以进行优化以保持1级人眼安全限制,同时优化系统范围、功耗和扫描密度。

[0111] 在另一个例子中,在近场区域中,系统可以增加脉冲密度并降低脉冲强度,以实现更精确的网格。在更远的区域中,系统可以降低脉冲密度并增加脉冲强度,以实现可用信号。如果需要,脉冲密度和强度的乘积可以保持在1级人眼安全约束下,或者在对功耗的担忧胜过对扫描密度的需求时可进一步降低。不需要改变扫描图案来产生这些变密度扫描。

[0112] 本发明的第二个优点与带宽相关。扫描深度感测系统在深度数据的表示和传输方式方面提供了独特的优势。正如从任何点云表示所预期的那样,深度数据可以表示为一系列的x、y、z点。然而,按时间顺序,点云中的点是沿着定义的激光束轨迹创建的。因此,沿着轨迹的点通常以某种方式“连接”,并受场景本身的影响。在数据表示中可以充分利用点或样本沿着轨迹连接的事实。代替单独地输出每个样本,轨迹可以利用一组有限的系数和描述多项式描述符的开始和终止的2个点来描述。这使得“实时”压缩成为可能,大大降低了从传感器到系统的带宽要求,以及进一步处理的存储器和计算要求。

[0113] 本发明的第三个优点与免疫力相关。使用本发明的传感器的基于激光束扫描的系统提供了对并发主动系统的同类最佳的免疫力。使用激光束扫描方法,通过在跟踪点的相应图像空间中对单点对进行三角测量来获得深度信息。因此,在环境中引入附加系统将创建扫描场景的附加点。当用于跟踪点的传感器能够跟踪多个点时,由附加扫描点创建的附加光学信息将有助于作为另一个可以被三角测量的点对获得的深度数据。

[0114] 激光束扫描系统对泛光系统(主动立体、带泛光的单目NIR、iToF)也具有免疫力。该系统能够通过对投射点的光子统计和行为施加要求来抑制环境光的影响。泛光照明在统计和行为方面与环境光相似:它确实会产生高峰值通量(能量/像素/时间),并且通常需要数百微秒到毫秒以在像素中获得一些积分信号,同时没有任何时空结构。例如,该系统使用光子统计、光束形状和光束时空运动的组合来区分来自环境/泛光源的信号和源于激光束扫描系统本身的光信号。

[0115] 激光束扫描系统对点状图案投影仪也具有免疫力。两个要素将使用点状图案的结构光系统与扫描结构光的动态激光束区分开来。首先,点状图案是静态的,不会有任何移动行为或轨迹。其次,可用的光功率并行分布在10k左右的点之间,意味着每个点的分配峰值功率明显小于激光束扫描系统中的分配峰值功率。第三,结构光投影仪被设计为与全局快门成像器一起工作,全局快门成像器的典型曝光时间在100微秒的量级左右。因此,看到这些点所需的能量散布在曝光窗口中。

[0116] 本发明的第四个优点与时延相关。该系统使用完全串行化的感测方法,其中当光束扫描视场时,串行地产生数据。场景的光学采样(点在某个表面上的投射)和对应于该样本的深度数据的产生之间所需的时间非常短,因为该方法完全依赖于以下内容。首先,不同图像空间中的点位置的感测:使用本发明的该系统可以在10纳秒的量级。其次,坐标到感测主机的传送:N个时钟周期,通常为100纳秒。第三,使用历史数据和空间中的点的三角测量的滤波方法,这可以是100纳秒内的流水线数学运算。

[0117] 因此,由此产生的从光学样本到深度测量的时延极短。当然,为了获得完整场景的样本,激光束仍然需要以期望的密度扫描期望的视场。取决于激光束扫描的扫描速度和应用所需的密度,可以考虑特定的数据聚合窗口。与基于帧的传感器相比,没有帧缓冲区需要

考虑,这会增加值的感测时延。

[0118] 激光束扫描感测技术的一个有趣特征在于可以依据最佳密度对刷新率,选择应用定制的权衡。这完全归因于系统的顺序性,因为感测数据是按顺序产生的。根据应用于数据流的数据聚合窗口,扫描点将在窗口期间创建稀疏或密集的扫描线图案。

[0119] 利用同一数据流作为输入,使用稀疏数据要求快速更新率(500Hz)的算法可以与使用密集数据要求正常更新率(50Hz)的算法并行运行。图11-图14示出了使用应用于同一数据流的2毫秒、5毫秒、10毫秒和20毫秒聚合窗口的聚合扫描线。用于获得模拟扫描线的2D振荡MEMS结构的LBS频率对是(8174Hz, 5695Hz)。

[0120] 在像素中使用SPAD是有利的,因为它对单光子敏感,这意味着主动投射结构将需要最少量的能量,因为探测器是单光子敏感的。另一个优点是亚纳秒响应时间,意味着光子在纳秒内被检测到并编码成数字信号。

[0121] 该系统能够滤出由热噪声和撞击到传感器区域的环境光产生的误报。图15示出了(a)基准真值、(b)原始检测和(c)滤波后的检测。第一滤波步骤发生在像素平面内,意味着该滤波器并行地作用于每个像素。通常,该滤波器表现出空间滤波方法、时间滤波方法或它们的组合。这些滤波器可以使用晶体管级、RTL、更复杂的计算架构、神经网络或其他来实现。

[0122] 该系统依赖于在像素平面中进行滤波的两个基本原则。第一个原则是空间的。通过对在投射点上施加特定的形状,我们可以将像素约束为仅在指定时间内检测到施加内核时才标记有效检测。例如,可以施加 2×1 内核,意味着投射点必须跨越至少 2×1 像素。当发射长度为 t_p 的光脉冲时,施加在像素上的约束将是 2×1 像素簇必须在 t_p 内激发,以便将检测到的光子视为来自主动投射。该原则被称为一致性。

[0123] 第二个原则是时空的。我们可以强制要求点的轨迹是连续的,前提是脉冲重复频率高于点位移速度。例如,在每40ns重复1ns脉冲的情况下,41ns的时间窗口将能够捕获2个脉冲。通过强制要求像素(或像素簇)必须在41ns窗口中看到至少2个脉冲,我们可以滤出检测到的环境光子的很大一部分,因为环境光光子统计数据在 ≈ 42 ns窗口中产生2个连续检测的机会很小。该原则被称为持久性。通过应用一致性和持久性的组合,创建了硬件实现方面非常高效的强大滤波策略。

[0124] 在像素平面内滤波之后,输出阵列数据的最快方式是压缩阵列数据,例如通过投射到成像器的轴上。为了支持多点扫描并减少投射后的混叠,成像器首先被划分为例如 64×64 像素的 16×16 分块,由此每个分块可以将其投射输出到通常位于设备外围的数字逻辑。投射操作创建2个向量(乘以 $N \times N$ 分块),行投射和列投射各1个向量。

[0125] 要注意的是,基于投射数据的向量的创建是将数据从像素阵列内部的异步域带到外围的同步域的步骤。虽然可以同步实现像素内滤波,但这不是必需的。因此,投射的向量化是在时间上使数据离散化,例如每10ns基于在这10ns期间到来的投射事件创建新的向量。

[0126] 如图16中所示,当随着时间的推移绘制这些向量时,形成新的图像,该图像开始显示投射的点或结构(d,e)的轨迹。可以再次对该“图像”进行处理和滤波,以便为每个投射创建滤波后的投射时间数据集(d',e')。这些于是直接产生每个时间步的x,y数据(x,y,t)。

[0127] 进一步的实施例和相关公开内容可以在专利申请号PCT IB2021054688“Pixel

sensor system”、PCT EP2021 087594“Neighborhood-gated switching pixel sensor”、PCT/IB2022/000323“Pixel array with dynamic lateral and temporal resolution”和PCT/IB2022/058609“Persistence filtering in SPD arrays”中找到,这些专利申请的公开内容通过引用并入。

[0128] 如上所述,两个连续投射之间的投射图案的位移对应于小于一个像素宽度,通过连续线扫描之间的确定深度的插值来提高深度分辨率。然而,这不应被理解为局限于线扫描,因为当使用点扫描时,所述插值可以同样很好地工作。

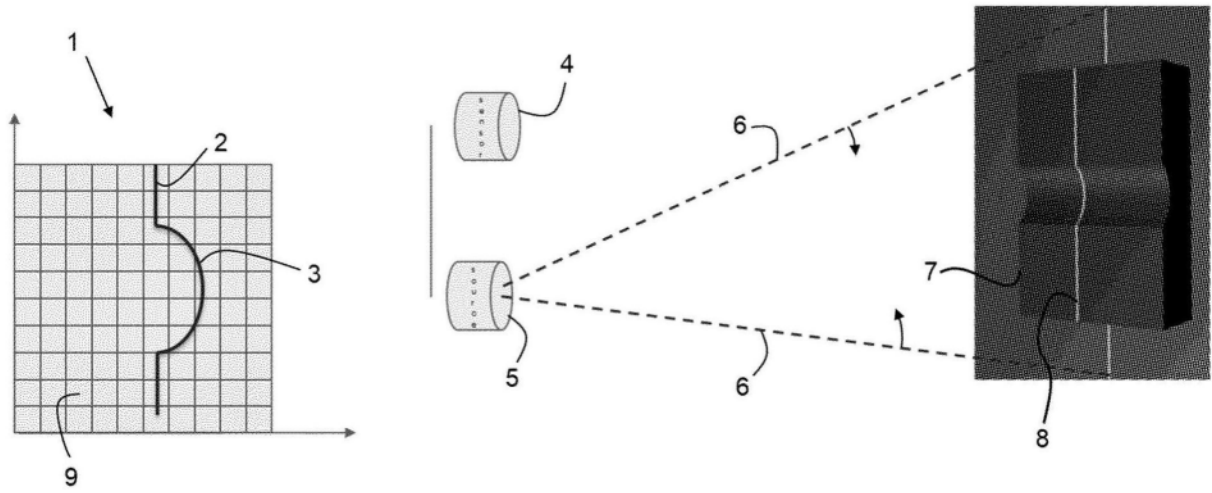


图1

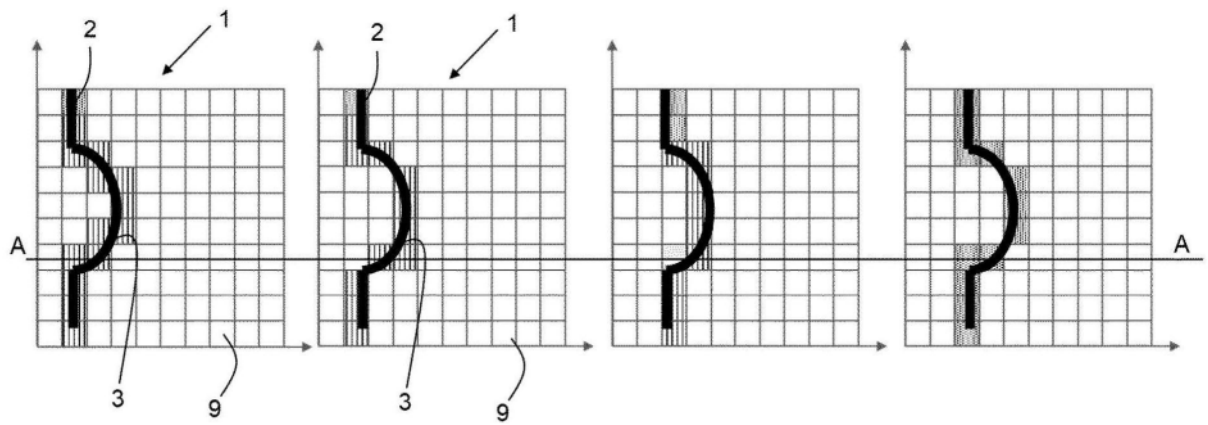


图2

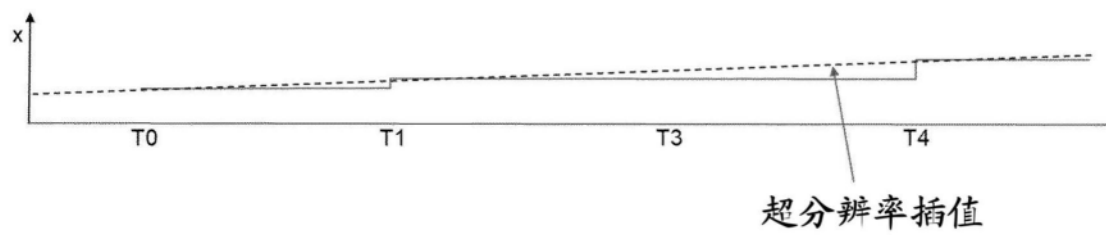


图3

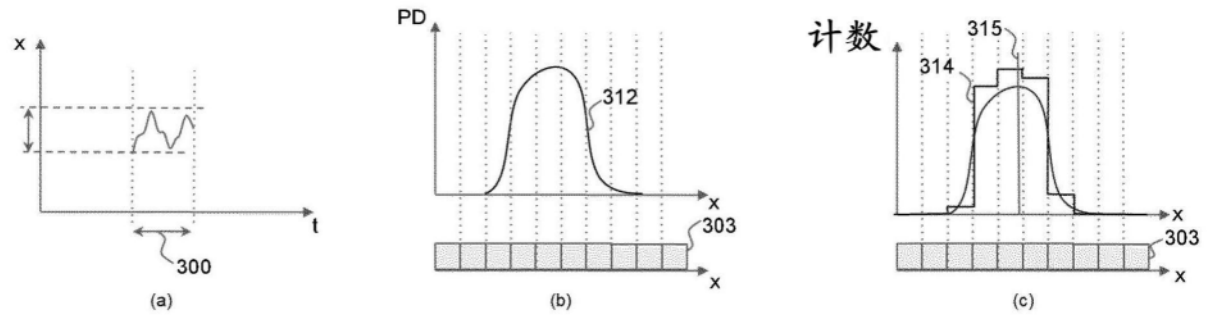


图4

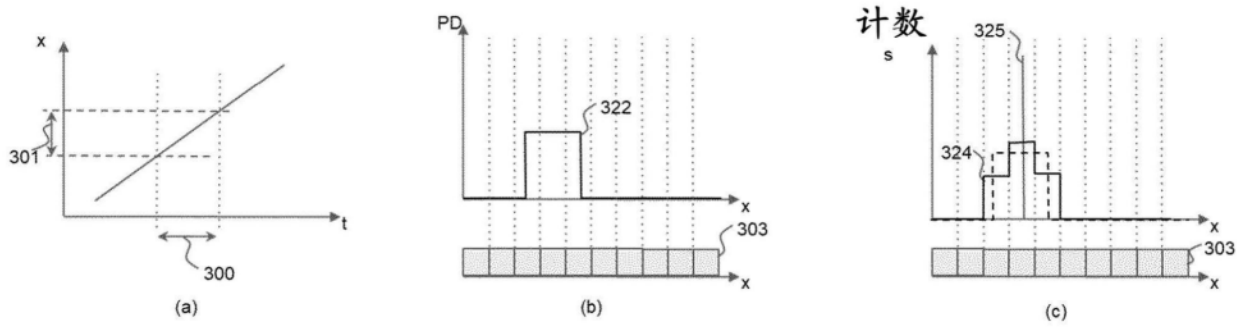


图5

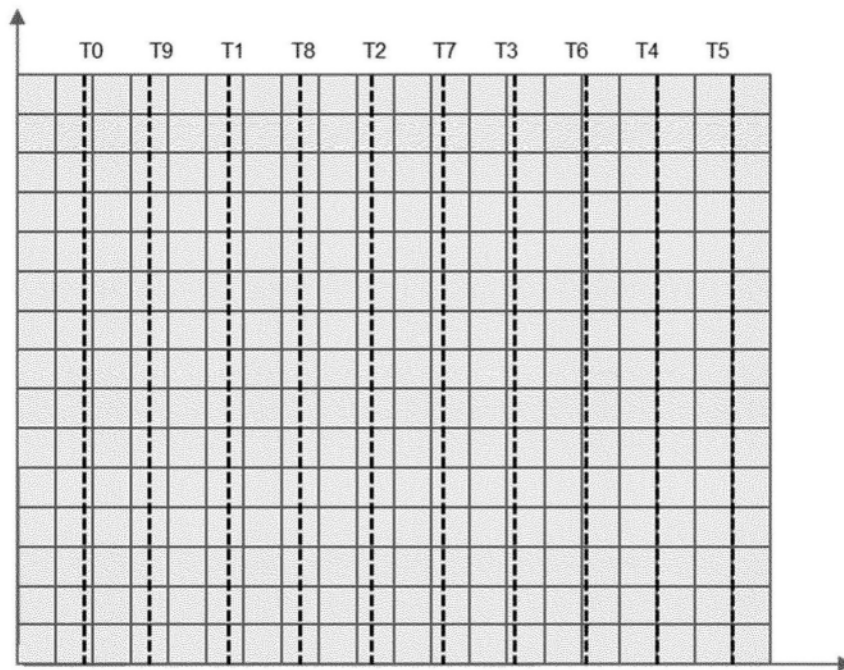


图6

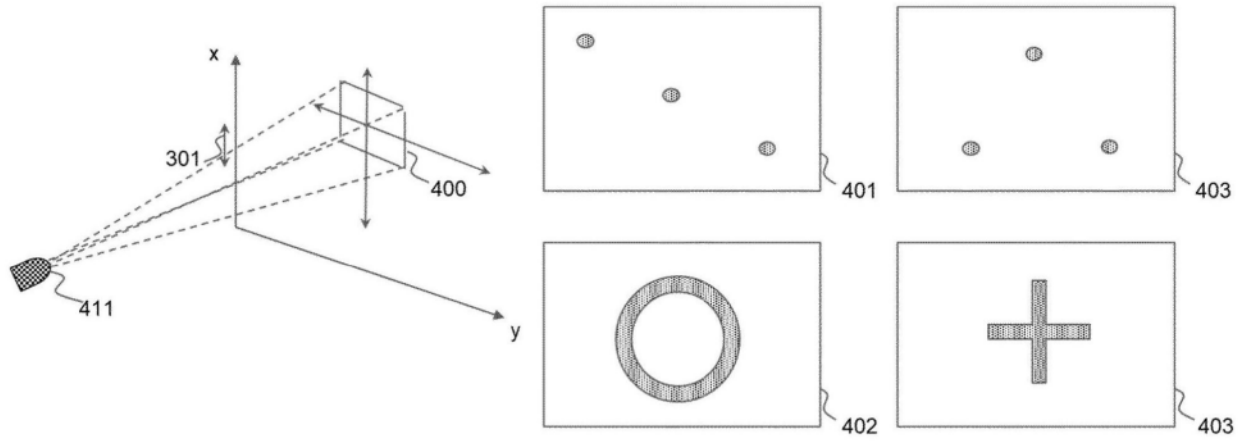


图7

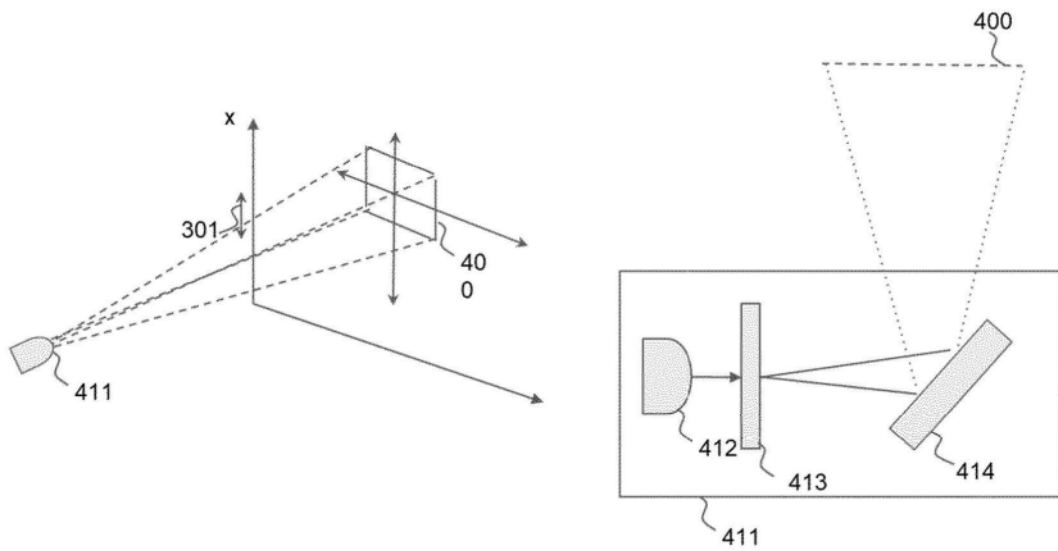


图8

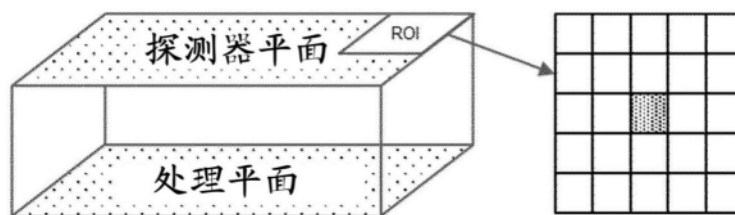


图9

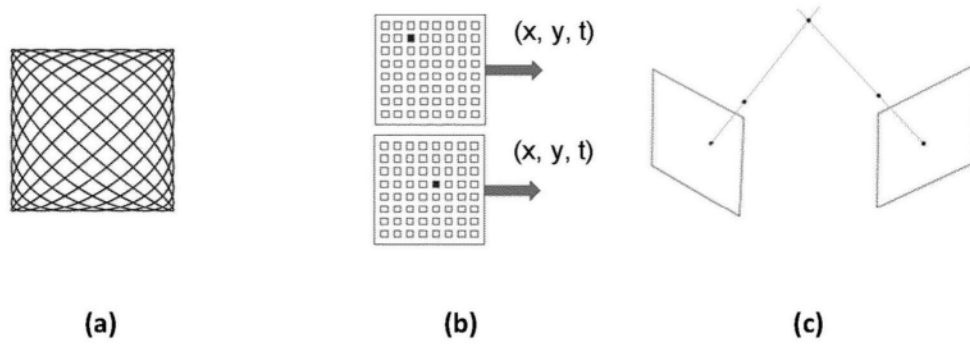


图10

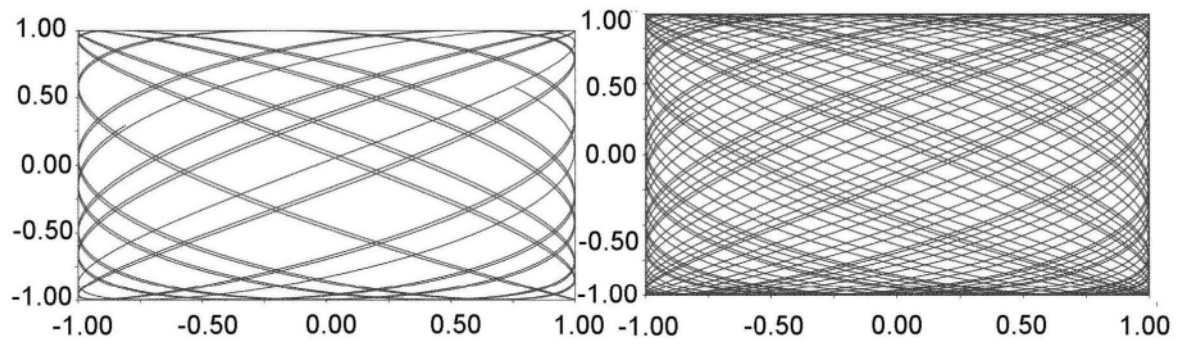


图11

图12

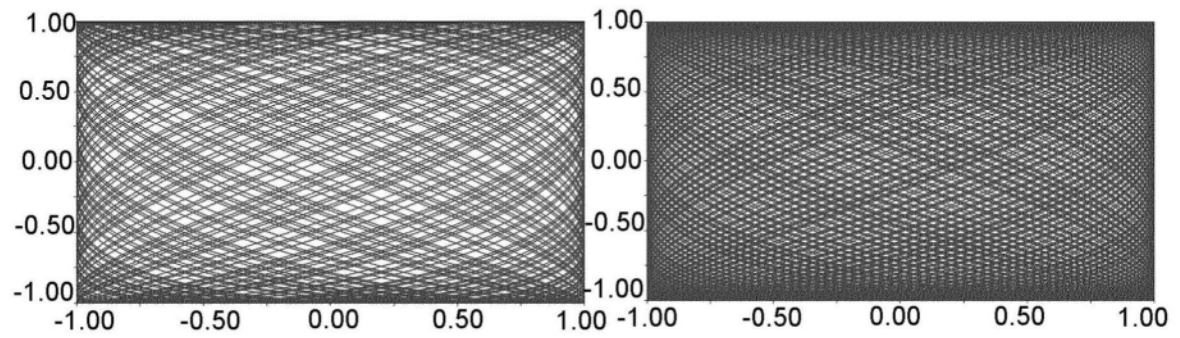


图13

图14

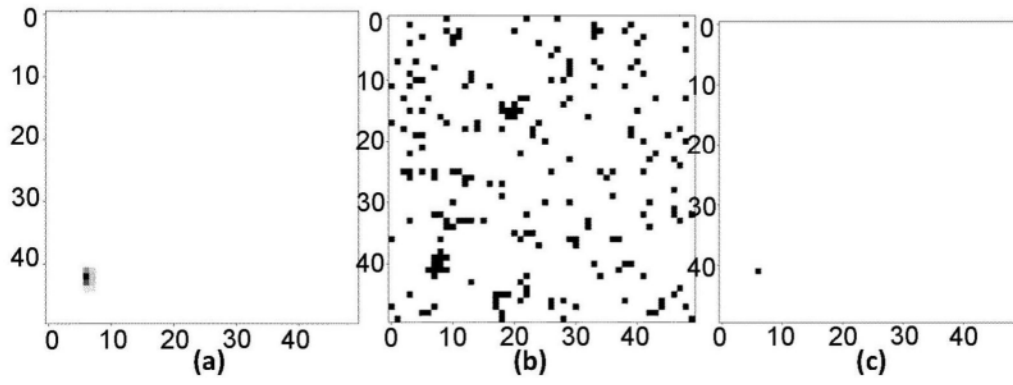


图15

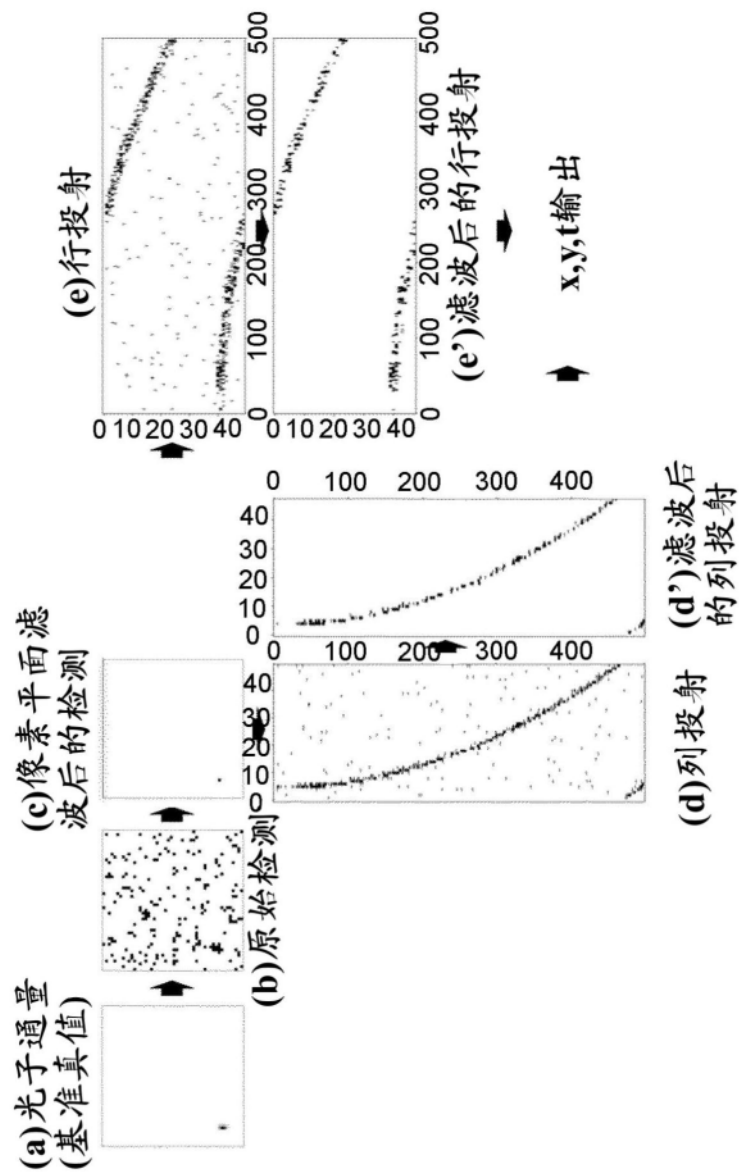


图16