



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102411145 A

(43) 申请公布日 2012. 04. 11

(21) 申请号 201110240920. 7

G01S 7/486(2006. 01)

(22) 申请日 2005. 07. 06

(30) 优先权数据

10/886, 073 2004. 07. 06 US

(62) 分案原申请数据

200580029267. 2 2005. 07. 06

(71) 申请人 拓普康定位系统公司

地址 美国加利福尼亚

(72) 发明人 J·迪米斯戴尔

(74) 专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限公司

公司 11285

代理人 杨勇 郑建晖

(51) Int. Cl.

G01S 17/89(2006. 01)

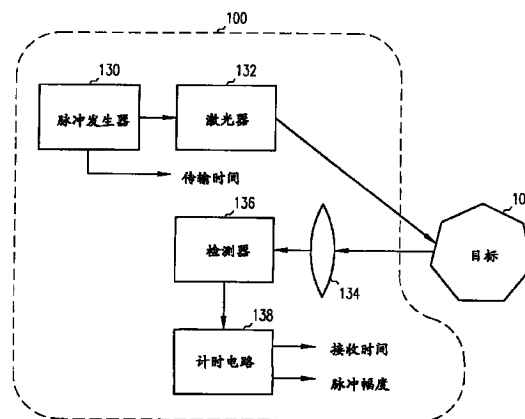
权利要求书 3 页 说明书 9 页 附图 10 页

(54) 发明名称

在 3D 成像系统中测定距离

(57) 摘要

一种对目标成像的系统和方法。在成像平面中安装检测器阵列。所述阵列检测器中的每个检测器都连接到具有内插器的计时电路,其中所述内插器包括以与放电不同的速率对第一电容器充电的第一电路。光脉冲朝目标传输,以便所述光脉冲的一部分作为反射脉冲从所述目标反射,并且记录表示何时所述光脉冲朝所述目标传输的第一数值。所述反射脉冲在一个或多个检测器上被检测,并且记录所述脉冲的脉冲特征和表示何时所述反射脉冲到达所述检测器的第二数值。然后以所述第一和第二数值以及反射脉冲的特征的函数的方式计算到所述目标的距离。



1. 一种对三维目标成像的方法,包括:

在成像平面中安装检测器阵列;

将所述检测器阵列中的每一个检测器连接到具有一个或多个内插器的计时电路,其中,每个内插器包括一个或多个内插器电路,其中每个内插器电路以与其放电不同的速率对电容器充电;

朝目标传输光脉冲,以便所述光脉冲的一部分作为反射脉冲从所述目标反射,其中,传输所述光脉冲包括记录第一数值,其中所述第一数值表示所述光脉冲何时被朝所述目标传输;

检测所述反射脉冲到达所述检测器阵列中的一个或多个检测器,其中,检测所述反射脉冲的到达包括:

测定表示所述反射脉冲的振幅的反射脉冲特征;以及

记录第二数值,其中,所述第二数值表示所述反射脉冲何时到达所述检测器;

以所述第一数值和第二数值以及所述反射脉冲特征的函数的方式计算到所述目标的距离;

接收所述三维目标的一组空间测量;

测定所述目标的表面法线的近似值;

基于所述表面法线估计距离修正;以及

将所述距离修正应用于所述一组测量。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中测定所述目标的表面法线的近似值包括以未修正的距离数据的函数的方式估计所述表面法线,并且其中估计距离修正包括确定将距离测量改变多少以使所计算的距离测量更接近对于所估计的表面法线预期的距离测量。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中测定反射脉冲特征包括在预定时间间隔内对所述反射脉冲进行积分。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中测定反射脉冲特征包括检测峰值振幅。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中记录第二数值包括监控所述检测器以检测所述反射脉冲何时超过阈值,记录对应于所述反射脉冲超过所述阈值的检测时间,并且以所述反射脉冲特征的函数的方式修正所述检测时间。

6. 根据权利要求1所述的方法,其中两个或更多个内插器电路串联,并且其中记录第二数值包括在所述反射脉冲到达所述检测器时启动第一内插器电路以及在所述第一内插器电路达到预定电压后启动第二内插器电路。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中传输光脉冲包括将所述光脉冲的一部分指向检测器,并且其中记录第一数值包括检测所述光脉冲的所述部分到达所述检测器。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中记录第二数值包括在所述反射脉冲到达所述检测器时启动所述内插器电路中的一个,并且捕获电路电压,该电路电压表示在随后的时钟沿上所述第一电容器上的电荷。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中启动所述内插器电路中的一个包括以第一速率将该内插器电路的电容器放电直到随后的主时钟的跳变。

10. 根据权利要求8所述的方法,其中启动所述内插器电路中的一个包括:

以第一速率将该内插器电路的电容器放电直到随后的主时钟的跳变;以及

捕获该内插器电路的电容器两端的电压。

11. 一种用于制成目标的三维图像的系统,包括:

激光器,其中所述激光器产生光脉冲并将所述光脉冲投射到目标上,以便所述光脉冲作为反射脉冲被反射;

检测器阵列,其中所述检测器阵列包括多个检测器,其中所述检测器被定向以接收所述反射脉冲;

连接到所述检测器阵列的计时电路,其中所述计时电路测定所述反射脉冲何时到达所述检测器阵列上的检测器,其中所述计时电路包括一个或多个内插器,其中每个内插器包括一个或多个内插器电路,其中每个内插器电路以与其对电容器放电不同的速率对所述电容器充电;以及

连接到所述计时电路的处理器,其中所述处理器将所述光脉冲传输时间计算为在所述光脉冲被投射到所述目标上以及从所述目标反射的脉冲到达所述检测器阵列上的检测器之间的时间,以测定到所述目标的距离;

其中所述处理器以所计算的传输时间的函数的方式计算到所述目标的距离;并且

其中所述处理器通过以下所述修正所计算的距离测量:

接收所述三维目标的一组空间测量;

测定所述目标的表面法线的近似值;

基于所述表面法线估计距离修正;以及

将所述距离修正应用于所述一组测量。

12. 根据权利要求 11 所述的系统,其中所述处理器通过以未修正的距离数据的函数的方式估计所述目标的表面法线来测定所述表面法线的近似值,并且其中所述处理器通过确定将距离测量改变多少以使所计算的距离测量更接近对于所估计的表面法线预期的距离测量来估计距离修正。

13. 根据权利要求 11 所述的系统,其中每个内插器电路包括:

可以被设置成预定初始状态的计时电容器;

用于在检测到脉冲时以第一预定速率对所述电容器充电的装置;以及

用于以第二预定速率对所述电容器放电直到所述电容器返回到其初始状态的装置。

14. 根据权利要求 11 所述的系统,其中所述计时电路包括用于存储表示所述反射脉冲的峰值的数值的装置。

15. 根据权利要求 11 所述的系统,其中所述计时电路包括用于存储表示所述反射脉冲的积分的数值的装置。

16. 根据权利要求 11 所述的系统,其中所述检测器阵列还包括用于在所述激光器和检测器阵列之间耦合共振器/衰减器的装置。

17. 一种修正三维目标的距离测量的方法,包括以下步骤:

实施所述三维目标的一组空间测量;

测定所述目标的表面法线的近似值;

基于所述表面法线估计距离修正;以及

将所述距离修正应用于所述一组测量。

18. 根据权利要求 17 所述的方法,其中测定所述目标的表面法线的近似值包括以未修

正的距离数据的函数的方式估计所述表面法线,并且其中估计距离修正包括确定将距离测量改变多少以使所计算的距离测量更接近对于所估计的表面法线预期的距离测量。

在 3D 成像系统中测定距离

[0001] 本申请是申请日为 2005 年 7 月 6 日、名称为“在 3D 成像系统中测定距离”的第 200580029267.2 号发明专利申请的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请涉及在 2004 年 7 月 6 日提交的,申请号为 No. 10/886079 的美国专利申请,标题是“用于三维成像的系统和方法”,我们的案号是 1980.001US1,通过引用的方式将其纳入本说明书。

背景技术

技术领域

[0004] 本发明涉及在三维成像系统中测定距离。

[0005] 背景技术

[0006] 激光技术,例如 LADAR(激光检测和测距)或“LIDAR”(光检测和测距),目前正被应用于在三维成像系统中对目标进行成像。经常来自激光源的光射向感兴趣的目标。然后来自该目标的反射光聚集并聚焦在一个或多个光电检测器上。

[0007] 例如,通过测定发射的光脉冲从发射源到目标并返回到检测器的往返传播时间,LADAR 系统能测定到目标的距离。然而,使这种系统适合对远程目标进行成像对可用装置的灵敏度和速率构成了挑战。

[0008] 在美国专利 No. 5,446,529(1995)中,Stettner 等人描述了放置在成像平面上以检测两维图像帧的阵列检测器,该图像帧能被进一步处理以增强图像。如果聚集了足够的光并且所述目标的反射能够区别于噪声,那么该目标就能够被这种系统识别。

[0009] 在一些激光成像系统中,扫描器或接收器扫描过目标,并且多激光脉冲用来探测所述目标的轮廓。这种方法的一个实施例在 2004 年 5 月 11 日授予 Dimsdale 等人的美国专利 No. 6,734,849 中示出。

[0010] 在美国专利 No. 5,892,575(1999)中,Marino 在另一方面公开了一种使用以非线性盖革(Geiger)模式工作的单片光检测器阵列进行场景(scene)成像的系统。在由该专利公开的一个无扫描器的实施方案中,处理器对目标场景成像,该目标场景成像是基于由光电检测器阵列在阵列上多个位置处接收的目标反射的光子的往返传播时间。

[0011] 迄今为止的方法比较复杂,因此制造和维修昂贵。所需要的是一种解决上述问题以及当阅读以下描述时变得显而易见的其它问题的用于成像的系统和方法。

附图说明

[0012] 图 1 图示了根据本发明的成像系统;

[0013] 图 2-4 图示了成像系统的其它实施方案;

[0014] 图 5 示出了根据本发明的检测器和计时电路;

[0015] 图 6 图示了能够用在图 5 的计时电路中的内插器;

- [0016] 图 7 图示了在图 5 的计时电路中的 Nutt 内插法；
- [0017] 图 8 图示了在图 5 的计时电路中的两个内插器电路的串联；
- [0018] 图 9 图示了基于模拟的电压读数的时间内插法；以及
- [0019] 图 10-12 图示了根据本发明的共振器 / 衰减器。

具体实施方式

[0020] 在以下优选实施方案的详细描述中,参考形成本文一部分的附图,并且通过图解示出了可以实施本发明的具体实施方案。应该理解在不背离本发明的范围的情况下可以使用其它的实施方案并且可以进行结构变化。

[0021] 在图 1 中示出了用于创建目标场景 101 的高分辨率三维图像的代表性系统 100。脉冲光源 102、典型地为激光器,指向目标场景 101。一些光从场景反射回来。检测器阵列 104 接收来自部分场景的光。从所述系统到单个检测器的视场 (field of view) 中的部分场景 101 的距离是由从光照射所述场景部分以及然后返回到探测器 104 所需的时间来测定的。

[0022] 在图 1 所示的实施方案中,成像系统 100 包括激光器 102,光学器件 103,检测器阵列 104,计时电路 106,处理器 108,存储器 110 和显示器 112。在一个实施方案中(诸如图 1 中所示),系统 100 还包括以下面将描述的方式用于校准系统 100 的共振器 / 衰减器 114。系统 100 测量来自每个二维像素阵列的一个或多个目标的反射激光脉冲的往返时间,提供了毫米级精度和分辨率的图像。

[0023] 在一个实施方案中,诸如图 2 中所示,系统 100 包括连接到激光器 132 的脉冲发生器 130。脉冲发生器产生由激光器 132 转变为光脉冲的电子脉冲。如果从电子脉冲的产生到光脉冲的产生的时间是可重复的,那么能够从由脉冲发生器 130 电子脉冲的产生来测定传输时间。否则,就可以基于由激光器 132 产生光脉冲来测定传输时间。

[0024] 系统 100 测量来自每个一维或二维像素阵列的一个或多个目标的反射激光脉冲的往返时间,提供了具有毫米级精度和分辨率的图像。在图 2 所示的实施方案中,光学器件 134 和检测器 136 接收从目标 101 反射的光。每个检测器 136 与计时电路 138 连接。在一个实施方案中,每一个计时电路 138 包括多个内插器。

[0025] 光脉冲朝目标 101 传输以便一部分光脉冲作为反射脉冲从该目标反射。反射脉冲通过光学器件 134 并落在检测器 136 上。光脉冲从目标 101 反射并到达检测器 136 的一个或多个检测器的时间用来测定到目标 101 的距离。在一个实施方案中,检测反射脉冲的到达包括将该反射脉冲在预定时间间隔上进行积分以测定反射脉冲的特征,以及记录表示该反射脉冲何时到达检测器 136 的数值。然后以传输时间、接收时间和反射脉冲特征的函数的方式计算出距离。

[0026] 如上所述,在使用电脉冲激励激光器 132 和激光器 132 发射光脉冲之间经常有不可测定的延迟。在这种情况下,传输时间必须从发射光脉冲开始计算。在一个实施方案中,系统 100 包括检测器 140 和计时电路 142,该检测器和计时电路可以用来测定光脉冲的传输时间。图 3 中示出了一个这样的实施方案。

[0027] 在另一个实施方案中,如图 4 中所示,所述光脉冲的一部分射向检测器 136。该部分光脉冲使用检测器 136 和计时电路 138 以测定光脉冲的传输时间和振幅。

[0028] 在一个实施方案中,检测器阵列 104 和计时器阵列 106 作为两种芯片的混合来实现,即检测器阵列连接到处理电子单元阵列。在一个芯片上的每个检测器连接另一个芯片上其各自的处理-电子单元。这限定了图像中的一个三维像素。该阵列上的每一个处理-电子单元包含相同且唯一的积分电路,该积分电路能够存储一个或多个反射-脉冲的传输时间以及相关的反射-脉冲能量或峰值振幅。所有像素的传输时间和脉冲振幅信息可优选地在激光脉冲之间读出。

[0029] 在替代实施方案中,检测器阵列和它们相关的处理-电子单元分布于整个积分电路。虽然这具有提供接收光子的表面面积的比率更小的缺点,但是由于两个芯片不需匹配,因而生产该实施方案可以经济地多。

[0030] 任何脉冲激光雷达系统的核心原理是测量发射脉冲和接收反射脉冲之间的时间。光以其传播介质中的光速 c_m 传播。从而对于一个距离 d 米的目标来说,往返时间是 $t = 2d/c_m$ 。在空气中大概是 6.7psec/mm ,所以在毫米级分辨率的脉冲激光雷达中的根本问题是将时间测量到几皮秒的精度。一些技术已经成功的在单像素系统中实施毫米级测量,但是由于各种原因,将它们应用于传感器阵列仍然有些困难。虽然已经做了大量的在聚焦平面阵列中将时间间隔测量到毫米级精度的尝试,但是迄今为止,所有尝试都达不到此目标的要求。

[0031] 图 5 中示出可以用于图 1-4 的系统 100 的计时电路 138。返回的光被检测器 150 检测并被转换为电信号。该电信号被跨阻放大器 (TIA) 152 放大,然后由鉴别器 154 转变成适合触发触发器的信号。当检测到第一脉冲时,触发器 156 的输出为高,并且仅仅当检测到第二脉冲时,触发器 158 的输出为高。两脉冲的到达时间由时间转换器 160 和 162 转换成数字信号并通过多路复用器 168 读出。

[0032] 在一个实施方案中,计时电路 138 包括门控积分器 164 和 166。通过在从稍微早于脉冲开始直到稍微晚于脉冲结束之间、将该信号积分,测定两脉冲的振幅。在更容易执行的替代实现中,可以采用峰值检测器而不是门控积分器。虽然执行更简单,但是由于脉冲峰值不是脉冲能量的一个好的单调指示物,因此峰值检测器很可能提供较差的性能,特别是当检测器在非线性区域内工作的时候。

[0033] 当在脉冲超过阈值的时刻之间进行相关计时测量、以及在要求的精度显著小于脉冲上升时间的时候,脉冲强度的测量在进行精确的距离测量中是关键。当从目标返回的脉冲越大,超越阈值就越快,并且这产生了明显短的距离(测距误差)。诸如由门控积分器所提供的精确的脉冲强度测量提供了一种用于在距离测量中校正这种明显误差的有效装置。在替代的实施方案中,峰值检测器可以用来估计脉冲强度;然而这提供了精确度小得多的距离校正-特别是当检测器在饱和区工作的时候。

[0034] 在单像素激光雷达实现中,通过引入几个纳秒的延迟线,所述门控积分器可以在被接收的脉冲到达前被触发。然而,在阵列实现中,禁止在每个像素引入这种延迟线。

[0035] 在一个实施方案中,如图 5 中所示,一对门控积分器块 (block) 164 和 166 用于每个起始和终止脉冲。在一个这样的实施方案中,每个门控积分器包括一对交替动作以找到这些脉冲中的每个脉冲的强度的门控积分器。在一个这样的实施方案中,每个门控积分器能在至少与将被观测到的最长的脉冲一样长的时间内进行积分。当检测到返回脉冲时,积分器之间的交替停止,并且最后的积分脉冲用来校正距离测量。在一个实施方案中,

当反射脉冲到达检测器 136 时,它们的长度在 1-20 纳秒之间。在这样的一个实施方案中,可以设计在具有 10 纳秒重叠的 20 纳秒间积分的门控积分器 164 和 166。

[0036] 下面将描述一种测定光脉冲的传输时间的方法。测量两个脉冲之间的时间间隔最简单的方法是当所述第一脉冲到达时启动计数器,当第二脉冲到达时停止计数器并记录计数值。该计数值乘以时钟周期就是所述时间。该方法的基本问题是为了具有 1 毫米的分辨率,时钟频率必须接近 200 吉赫 (GHz)。对于大的传感器阵列来说这既不经济也不实用。

[0037] 计时电路 138 两倍或多倍的延长所述时间间隔,以便可以使用更合适的时钟频率以获取预期的精度。在一个实施方案中,每个时间转换器 160 和 162 都包括至少一个内插器。内插器测量在异步事件和随后的主时钟脉冲之间的时间。在一个实施方案中,每个内插器都包括以与放电不同的速率对电容器充电的内插器电路 180。图 6 中示出了内插器电路 180 的实施例。图 7 示出了时序图的实例。

[0038] 这个内插器的基本概念是当所述第一脉冲到达的时候,在电容器上创建线性充电斜率,在固定量的主时钟脉冲之后这个电容器开始以不同的速率放电,并且启动在主时钟脉冲上的计数器直到该电容器到达其初始状态。执行本过程的仪器前面被称为 Nutt 内插器。

[0039] 在工作中,计时电路 138 计算在第一脉冲到达和第二脉冲到达之间的时钟脉冲的数量。此外,内插器应用于每一脉冲来测量两脉冲之间的时间以获得几倍于主时钟脉冲精度的精度。如果从所述第一脉冲到随后的主时钟脉冲的时间是 T_A ,从所述第二脉冲到随后的主时钟脉冲的时间是 T_B ,并且在这两个可选择的时钟脉冲间的时间是 T_C ,那么在两脉冲之间总的时间将是 $T = T_A + T_C - T_B$ 。 T_C 将以整数个主时钟脉冲被精确地测量。时间间隔 T_A 和 T_B 能被一对将所述时间有效延长潜在的大因子的内插器估计,使得可以使用相同的主时钟计数得以精确测量。

[0040] 如图 6 中所示,在触发事件(诸如脉冲)到达之前,积分电容器 182 被上方的电流源 184 保持在高电平。当启动时,触发器 186 等待脉冲并且启动粗略计数器(coarse counter)。当脉冲到达的时候,触发器 186 计时,并且依次使积分电容器 180 由下方的电流源 185 高速放电,并且启动精密计数器(fine counter)。当触发器 188 的跳变通过同步触发器 188 和 190 传播时,然后积分电容器 182 再次被上方的电源 184 充电。当比较器 192 的输出端显示积分电容器回到其初始水平时,精密计数器被禁用。

[0041] 在一个内插器实施方案中,两个或多个分离的内插器电路 180 串联,当前述电容器返回到阈值时,一个内插器电路 180 触发放电。图 8 中示出了用于具有两个内插器电路 180 的内插器的时序图的实例。

[0042] 在一个这样的实施方案中,内插器包括五个或六个串联的内插器电路 180;当前述电容器返回到阈值时,一个内插器电路 180 触发放电。在一个五内插器电路的实施方案中,时钟以 100 兆赫工作且为每个电容器充电的速率是放电速率的 8-16 倍(对应于 3 或 4 比特)。如果充电速率是放电速率的 8 倍,这种实施方案导致放电速率的 8^5 或 32,768 倍的总内插速率。例如内插电容器可以是 8-29fF 的数量级,放电/充电电流大约是 200-800nA。

[0043] 不管强度测量的数值是否与峰值检测或门控积分器相一致,它都可以在像素上数字化并作为数字值被多路复用或者它可以作为片外(off-chip)模数转换器的模拟电压被多路复用。正如被用来测量内插电压一样,几乎相同的电路足以将所述强度数字化,计数器

将测定将所存储的电压减少到初始数值需要多长时间。

[0044] 替代的方法是提供一种计时内插的单斜率测量法,保存内插器上的电压直到执行了所有的像素测量。在那点上,使用模拟多路复用器而不是在双斜率器件中提供的数字多路复用器,可以将内插值复用到芯片外。然后这些数值可以被片外模数转换器转换。在图 9 中示出了用于这种方法的时序图的实例。

[0045] 当检测到脉冲时,电容器将以固定的速率充电直到随后的主时钟脉冲跳变。在电容器上的电压值将与该脉冲和该时钟沿之间的时间成正比。在这种情况下,多路复用器将模拟电压传输到芯片外。

[0046] 在单斜率计时内插器的情况下,可优选使用模拟多路复用器以将内插器和强度测量传送到片外。

[0047] 如上所述,系统 100 还可以包括用于校准系统 100 的共振器/衰减器 114。使用单个像素进行高精度测量的一个阻碍是在工作中可能出现的电路特性的变化,包括激光脉冲特性的变化,环境条件的变化和老化。此外,在阵列内单个像素可能表现不同,并且它们表现的变化可以不随环境条件或时间而变化。而且,当检测器在饱和区工作时,强度测量可以不成线性。因此,加入允许系统在整个阵列内校正这样表现的元件是重要的。

[0048] 在一个实施方案中,增加了光纤共振器/衰减器以描述单像素的特性及其以脉冲特性、环境条件和老化的函数方式的变化,以及其在所述阵列内特性变化的特征。该装置的主要功能是向接收器提供已知距离的信号,基本上模拟了当提供测试目标并在仪器的范围内时该接收器将会经历的情况。当在校准模式中时,该仪器将被提供一系列来自共振器/衰减器 114 的脉冲,并且从该仪器获得的测量结果将随后用于调整来自真实目标的测量。

[0049] 共振器/衰减器 114 的机械结构可以如图 10 中所示。共振器/衰减器 114 包括可变衰减器 200、光纤耦合器 202、光纤共振器 204 和光纤准直仪 206。来自激光器 102 的小脉冲样本通过可变衰减器 200 到光纤耦合器 202。该衰减器 200 允许模拟宽范围的返回信号振幅,并且测定其对明显的往返时间延迟的影响。还可以设置该衰减器以防止激光脉冲通过这条路径到达检测器阵列 104;如果那样的话到达检测器阵列的仅有的能量是来自正被测量的远程目标。

[0050] 在一个实施方案中,使用光纤 208 和 2x2 的耦合器 210 装配光纤衰减器 204,如图 11 中所示。如果激光脉冲的带宽足够小,那么光纤 208 可以是多模光纤,但是如果光纤的带宽足够大而导致在预期的光纤长度上相比于要求的计时精度产生显著偏移,那么光纤需要是单模光纤。

[0051] 耦合器 210 在两输出端口之间以任何方便的分布方式分布输入的脉冲。例如,传送到 50-50 耦合器的输入端的脉冲将向每个输出端口发送一半的能量,所以该能量的一半将被传送到探测器阵列,并且另一半将被传送到耦合器的输入端,延迟与连接的光纤的长度成正比。这将持续的重复,向光纤准直仪 206 传送脉冲序列。光纤准直仪 204 将出现的激光脉冲耦合到检测器阵列 104 上。

[0052] 出现的脉冲优选地同时到达检测器阵列中的每个像素,但是如果整个阵列上到达的时间变化是几何决定并可重复的,那么也是可以接受的。

[0053] 在替代的实施方案中,多光纤束 212 用来模拟多个时间延迟。可以使用与系统工作以获得数据时、检测器所经历的近似相同的一组距离来选择这些光纤。图 12 中示出了这

种方法。

[0054] 最后,在第三实施方案中,光纤共振器是端部具有涂层以便其部分反射的单模光纤或多模光纤。相对于其它方法,这种方法具有两个明显的缺点:1) 第一脉冲比随后的必须两次穿过光纤的脉冲到达更快;以及 2) 输入端面上的反射涂层将削弱所有的脉冲并且将其反射回激光器 102。

[0055] 来自共振器/衰减器 114 的脉冲的数量和间隔将取决于共振器的特定结构。然而,该间隔在光纤的特定温度下将非常稳定。对应于这些脉冲间的间隔的有效光纤长度能够描述为温度的函数。替代地,可以利用其传播几乎和温度无关的光纤,虽然这种光纤可能更难制造并且制造成本更高。

[0056] 在使用中,校准仪校正现场测量目标的明显的距离走动。在构架系统的时候,计时电路 106 或 138 将用来测定来自共振器/衰减器 114 的脉冲的明显的距离走动。记录这些数值。可以假设共振器/衰减器 114 中的光纤将不会随时间而改变其长度或折射率。然后,当测量新目标的时候,该目标的测量距离将根据校准的明显的距离走动而更改。例如,如果校准仪测量表明正测量的所有时间间隔都长了 .5%,那么实际目标的测量也增加相同的量。

[0057] 校准仪也可以用来测定由于返回强度变化的测量距离变化。由于来自校准仪的脉冲的间隔与强度无关,所以可以改变衰减并且可以记录脉冲强度测量和时间间隔测量。这可以用来生成测量的强度和测量的时间的比较的表格。然后该表格可以用作对于真实目标测量的修正,以便只要传感器的环境条件保持不变,那么不同强度但是相同距离的目标会显示具有相同的距离。当环境确实改变的时候,必须获取新的修正表格。这个程序显著的增加了系统的分辨率和精度。

[0058] 已经描述了使用部分涂层的单模光纤来校正扫描单检测器雷达系统(例如参见专利 6,246,468)。然而,当使用窄频率激光的时候,多模光纤提供了足够的精度,产生了更加经济和可制造的元件。

[0059] 在激光脉冲上升时间与预期精度可比的情况下,不再需要距离走动校正(range walk compensation),并且不再需要脉冲强度测量。当接收检测器阵列以如上述 Marino 中的非线性 Geiger 模式工作时,单个的接收光子在接收器中就能产生状态转移。在这种情况下,接收脉冲强度的测量仅能在统计基础上测定。然而,如果脉冲足够大而被探测到的概率很大,那么最有可能的是接收的光子在激光的上升时间出现。因此,如果激光脉冲的上升时间与所预期的精度可比,那么不再需要脉冲强度测量来校正任何明显的距离走动。因而为了达到 5mm 的分辨率,上升时间少于 35 皮秒的激光脉冲将足以确保不再需要距离走动修正。

[0060] 当所述列阵用于测量位于相机中心的球的内部时,所有的像素都应该报告相同的距离。此外,这对于任何尺寸的球状体都是正确的。然而,计时偏移和标度的变化将导致测量偏离这种理想状态。可以开发每一像素的偏移和修正表格,并且通常这可以利用任何已知表面在多于一个距离处来实现。通常,在两个或多个距离处测量一个平整表面,然后将测量的结果应用于在随后测量中的所有像素。

[0061] 然而,如果在工厂中创建了修正表格,该修正不太可能随时间和温度而保持恒定达到毫米级的精度,主要因为随着温度和老化元件参数的变化。必须周期地应用该程序。然

而,该程序不能方便地应用于现场,因为合适的平整表面不太可能方便地可用。即使合适的固定设备可用,也不知道应该何时或每隔多久应用所述的固定装置。此外,需要系统操作者执行特定的程序,并且其将来的结果将取决于遵循该程序的好坏程度。

[0062] 由于元件的几何结构不会改变,所以该共振器阵列每次将相同的脉冲延迟模式施加于检测器阵列。可以用现场评估该阵列均匀性的时刻的明显差异、来补充对整个阵列的明显差异的单次工厂校准,并且当这些修正的总和应用于真实目标的时候,所述修正的总和能被应用于每个像素。

[0063] 尽管计时内插器被设计成对异步事件和系统时钟脉冲之间的经过时间进行精确、线性测量,但是真实的电路仅可以提供近似值。当试图进行具有皮秒精度的测量并且当内插率大的时候,所述差异变得非常重要。

[0064] 如果脉冲到达时间与系统时钟不一致,那么可以非常精确的测定每个像素的非线性特征。如果是那样的话,进行测量,其产生一个潜在内插值的概率将与相关脉冲到达分配给所述内插值的相关时隙的概率成正比。所以如果将时钟周期之间的时间 T 分成 M 个具有端点 $t_0, \dots, t_m$ 的时隙,对所有像素的大量时间测量将导致时间测量的分布 $\{n_k; k = 1 \dots M\}$, 其中内插值在这些时隙中;即在每种情况下,随增量 n_i , 我们看到内插值 $t, t_{i-1} < t < t_i$ 。如果内插器完全成线性,那么这种分布将是均匀的;就分布不均匀来说,可以期望将来测量的线性化,以传送较高的精度。如果测量的全部数量是 $N = \sum_k n_k$, 那么落在第 k 个时隙中的测量比的近似数值是 n_k/N 。基于这些评论有几种类似并合理的方法来修正将来的测量,但是切合实际的(并且成功的)方法是为每个新内插值分配与该内插值在其中发生的时隙的中心相关的时间。因此,一组切合实际的近似修正因子可以估计为

$$t_k^c = \frac{T}{K} \left(\sum_{i < k} n_i + \frac{n_k}{2} \right)。$$

[0065] 当进行将来计时测量且在系统时钟值之间的内插值位于 t_{k-1} 和 t_k 之间的时候,数值 t_k^c 将用于替换该内插值。

[0066] 接下来将讨论斜率校正(slope compensation)。当所测量的表面不垂直于激光雷达的时候,必须进行另外的计算以增强系统的精度。例如,如果在目标对象上的输出激光束直径为 5mm,但是到达相对于法线倾角为 60 度的表面上,返回脉冲将分布在接近 9mm 范围的区域内。因而,返回脉冲可能长达 58 皮秒,即使输出脉冲是瞬间的。通常,计算出的距离在所观察的返回点内的某处。如果预期距离是该点的中心,通常的情况正是如此,必须知道表面法线以为脉冲宽度增加而调整距离走动,否则距离走动修正将比所需要的小大约加长的脉冲量。

[0067] 使用两步骤过程以获得倾斜表面上增强的距离信息。尽管会低估到倾斜表面的距离,但是如果相邻样本在同样的区域内,那么将能很好地估计这些表面的法线。因此,未修正的数据可以获取表面法线的好的估计值。那么在第二步骤,根据该法线估计通过增加所述第一距离估计可以测定到所述激光点中心的距离。

[0068] 接下来将讨论过采样,在一些情况下,在获得数据之后可以增强距离图像以及相关的强度图像的空间分辨率。这对于由激光雷达阵列获取的距离图像和由故意过采样的激光扫描仪获取的距离图像来说都是正确的。用于距离图像增强的算法类似于已经用在数字

摄影中的算法。

[0069] 假设 $o(x, y)$ 表示与目标相关的距离分布, 并且假设 $r(x, y)$ 表示与所述目标的模糊图像相关的距离分布。我们假设图像所经历的模糊是线性的、空间不变的变换, 可由一个已知的空间不变的点分布函数 $s(x, y)$ 描述。那么目标与图像关联由以下公式表示:

$$[0070] \quad r(x, y) = \int \int o(\xi, \eta) s(x-\xi, y-\eta) d\xi d\eta$$

[0071] 基于测量的距离图像 $r(x, y)$ 和已知的点分布函数 $s(x, y)$, 我们设法获得 $o(x, y)$ 的估计值 $\hat{O}(x, y)$ 。

[0072] 利用频域中的目标和图像之间的关系,

$$[0073] \quad F\{r(x, y)\} = F\{s(x, y) \otimes o(x, y)\} = S(f_x, f_y) O(f_x, f_y)$$

[0074] 通过简单将图像频谱与复原滤子 (restoration filter) H 相乘就可以得到原始目标的频谱估计值,

$$[0075] \quad \hat{O}(f_x, f_y) = H(f_x, f_y) (f_x, f_y)$$

[0076] 其中复原滤子 H 由 $H(f_x, f_y) = S^{-1}(f_x, f_y)$ 给出。

[0077] 通过假设图像嵌在噪声中, 可以改进该估计值, 并由以下公式表示:

$$[0078] \quad r(x, y) = o(x, y) \otimes s(x, y) + n(x, y)$$

[0079] 其中, $n(x, y)$ 是与检测过程相关的噪声。如果所述目标和噪声的功率谱密度由 $\Phi_o(f_x, f_y)$ 和 $\Phi_n(f_x, f_y)$ 表示, 那么最佳的复原滤子的传递函数由以下公式给出:

$$[0080] \quad H(f_x, f_y) = \frac{S^*(f_x, f_y)}{|S(f_x, f_y)|^2 + \frac{\Phi_n(f_x, f_y)}{\Phi_o(f_x, f_y)}}$$

[0081] 本发明提供了一种使用单激光脉冲对目标三维成像的装置。它克服了现有系统在提供毫米级精度和分辨率中的问题。该装置包括脉冲光源, 用于向目标发射光的装置, 用于收集反射光的光学器件, 用于检测反射光、调节由检测器产生的模拟信号的传感器, 用于记录来自传感器的脉冲强度和计时数据的处理器, 以及用于将传感器数据转换为高精度三维图像的计算机和软件。光学器件阵列和机电装置与算法协同工作, 用来就地校准系统, 以提供高精度的测量。

[0082] 在上述讨论中, 术语“计算机”和“处理器”定义为包括任何数字和模拟数据处理单元。实例包括能够实施在此描述的本发明的任何个人计算机、工作站、机顶盒、大型机、服务器、超级计算机、膝上型电脑或或个人数字助理。

[0083] 包括计算机可读媒介的物品的实例是软盘、硬盘、CD-ROM 或 DVD 媒介或任何其它的读写或只读存储器装置。

[0084] 已经以对计算机存储器中数据位的操作的算法和符号表示法的形式提供了以上描述的部分。这些算法描述和表示法是在本数据处理领域中普通技术人员所采纳的方法以最有效地将他们工作的实质传达给本领域中的其它的普通技术人员。算法在这里、并且一般被认为是产生预期结果的独立的步骤序列。所述步骤是那些需要对物理量进行物理操作的步骤。尽管不是必需, 这些物理量通常采用能够被存储, 转换, 结合, 比较和其它操作的电信号或磁信号的形式。主要由于通常的用法, 已经证明将这些信号称为比特, 数值, 要素, 符号, 特征, 术语, 数字或诸如此类有时是方便的。然而, 应当记住所有这些以及相似的术语都

与合适的物理量相关,并且仅仅是应用于这些物理量的方便的标识。除非特别声明与下述讨论明显不同,诸如“处理”或“计算 (computing)”或“计算 (calculating)”或“测定”或“显示”或诸如此类的术语指的是计算机系统或类似计算装置的运行和处理,所述计算装置将表示为计算机系统的寄存器和存储器中的物理(例如,电子)量的数据、处理并转换成类似地表示为计算机系统存储器或寄存器或其它这样的信息存储、传输或显示装置中的物理量的其它数据。

[0085] 尽管在此已经说明并描述了具体的实施方案,但是本领域的普通技术人员应当理解,计算以实现相同目的的任何配置都可以取代所示的具体实施方案。本申请旨在覆盖本发明的任何修改或变化。因此,意图在于本发明仅仅被本文的权利要求及其等同物所限制。

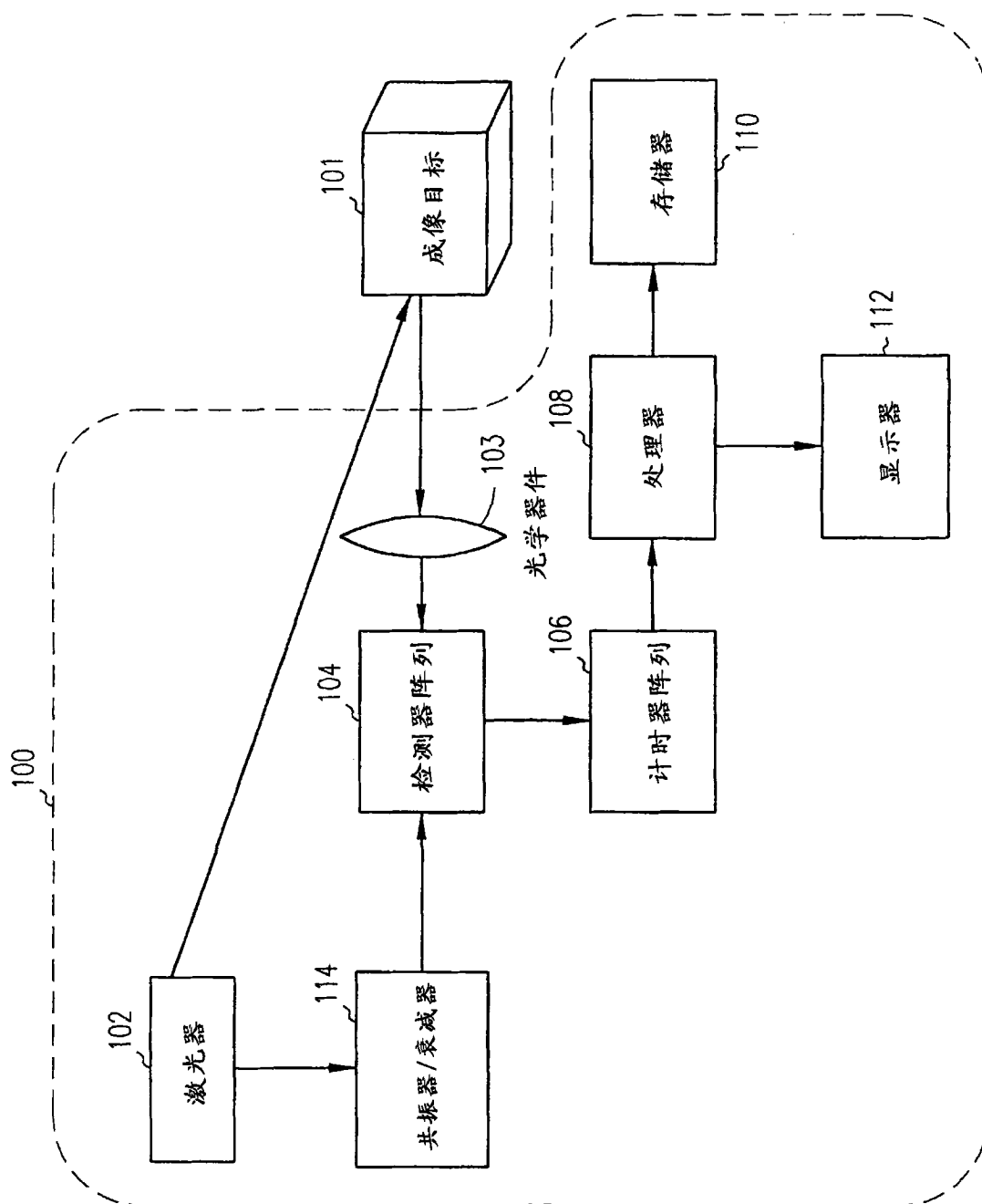


图 1

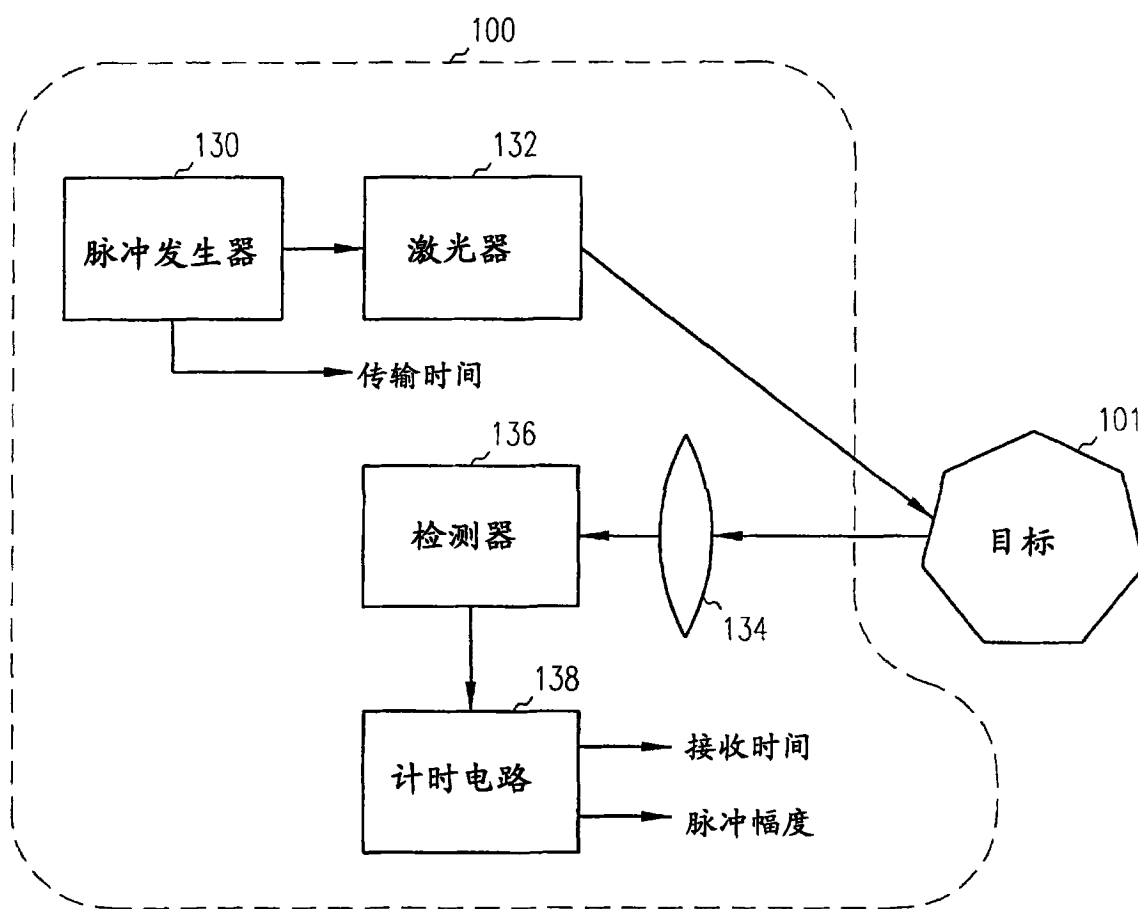


图 2

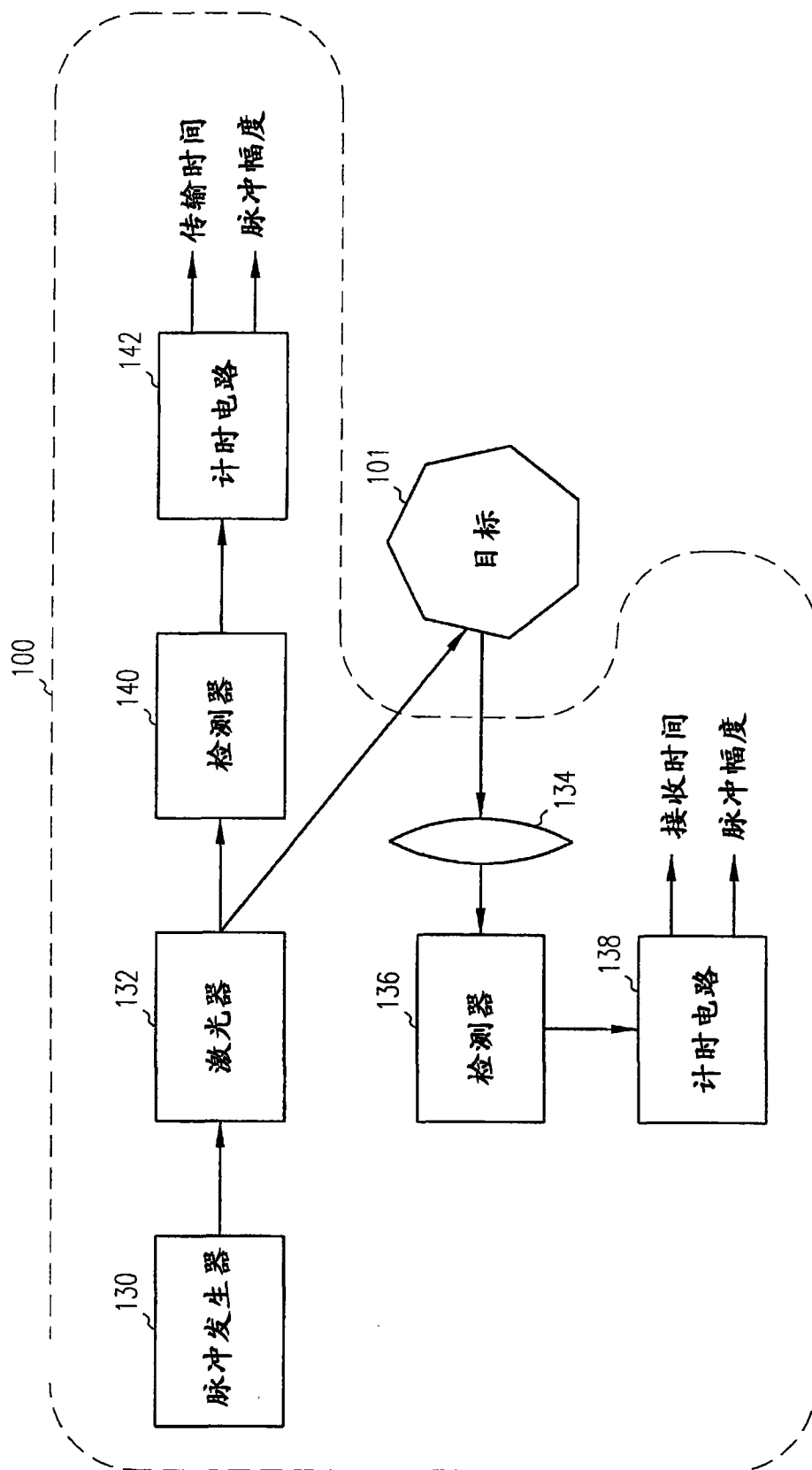


图 3

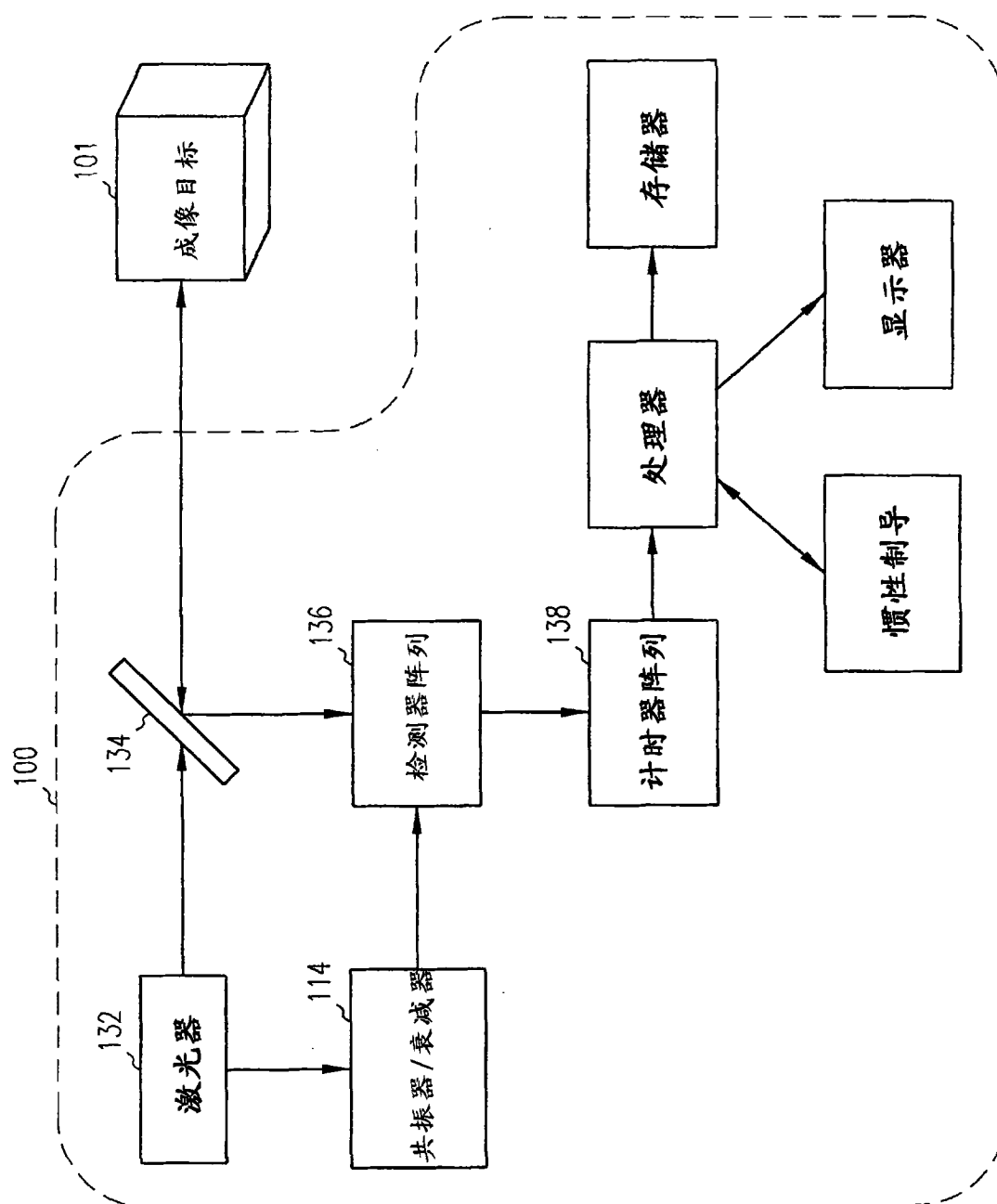


图 4

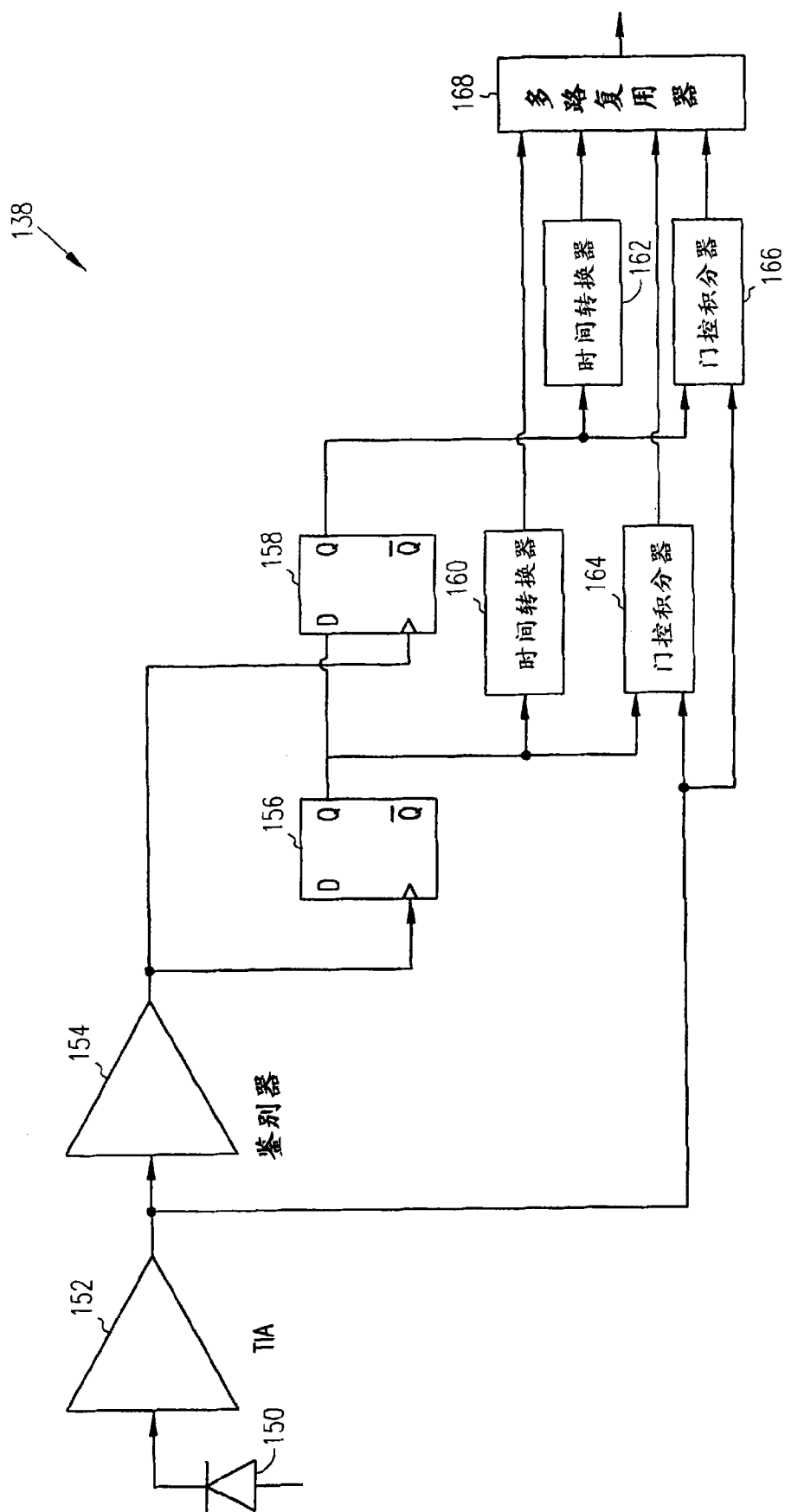


图 5

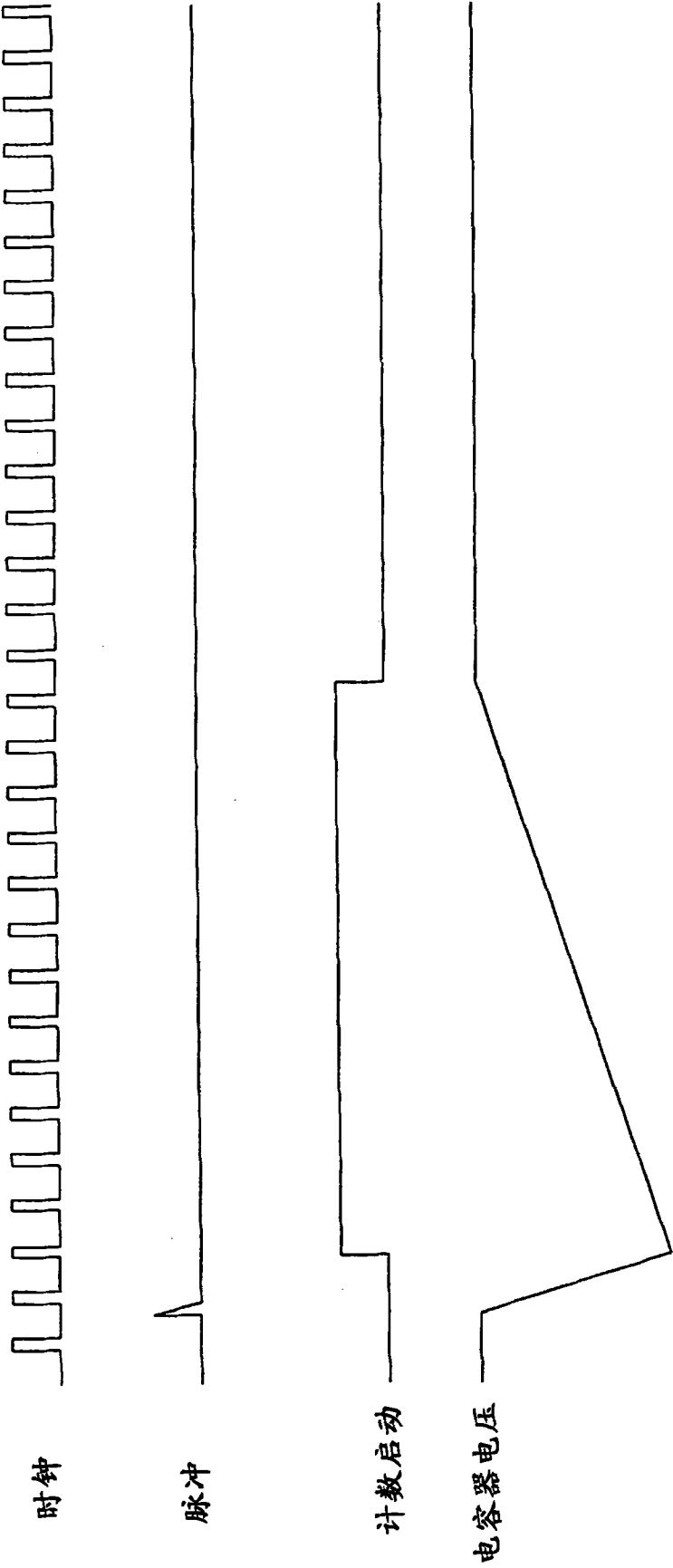


图 7

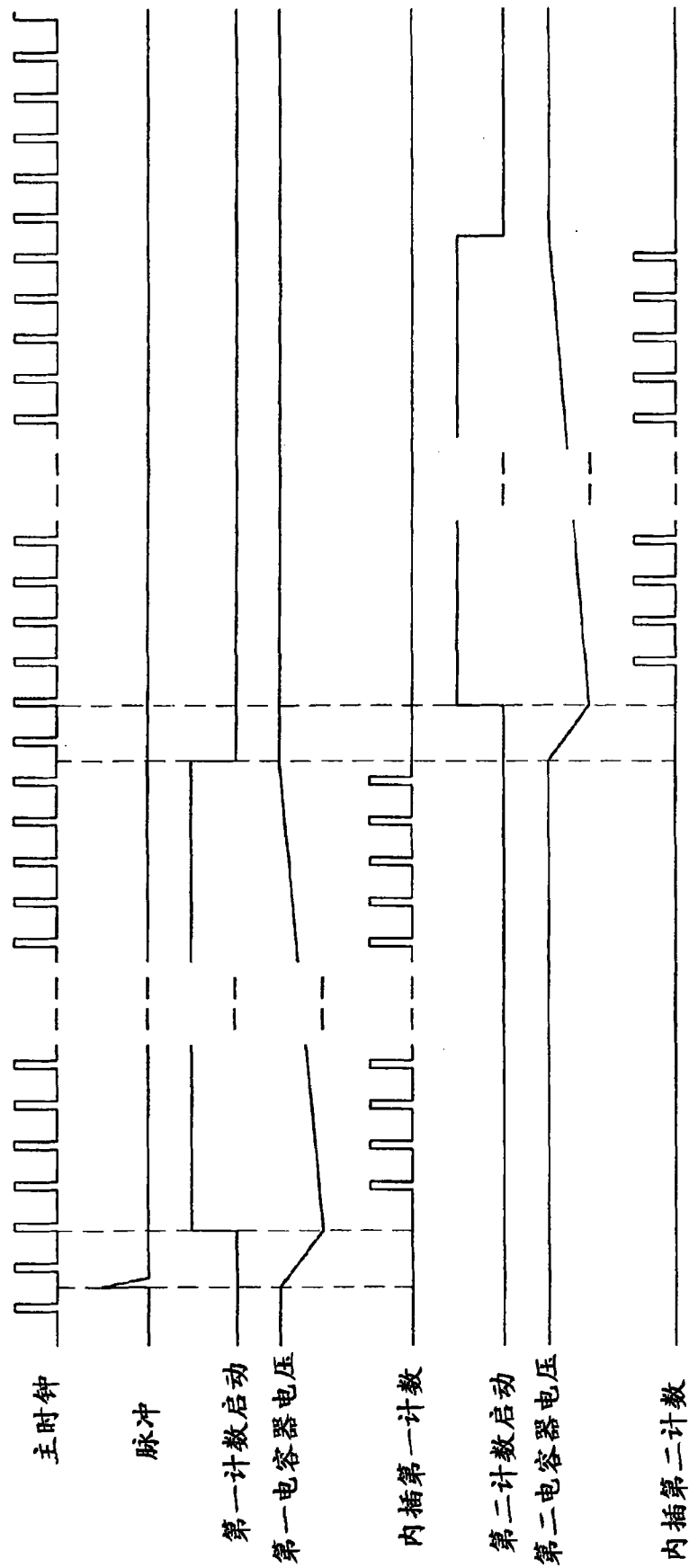


图 8

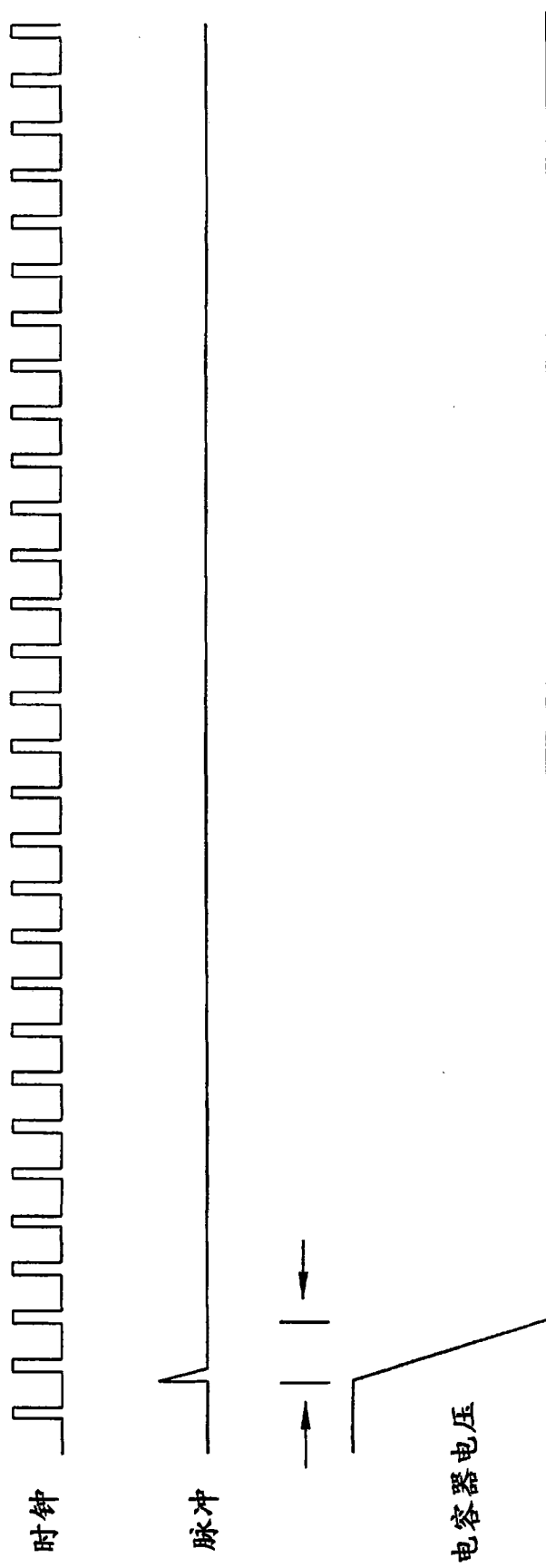


图 9

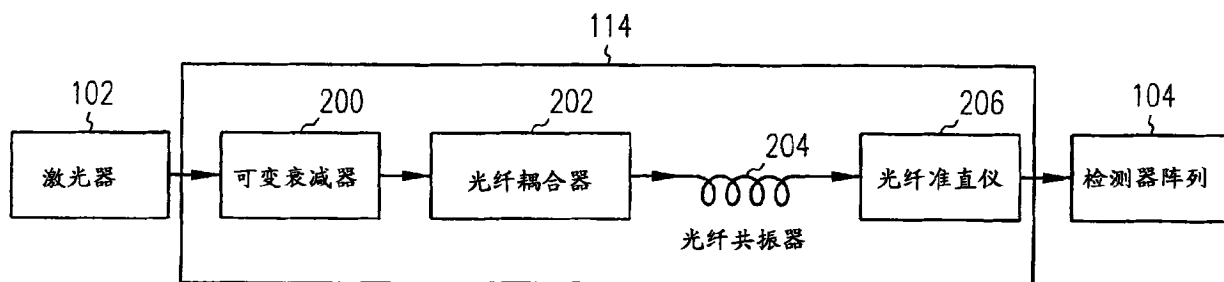


图 10

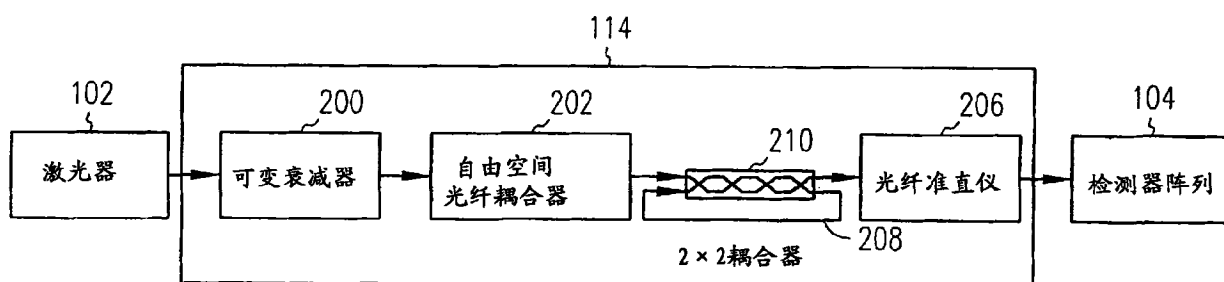


图 11

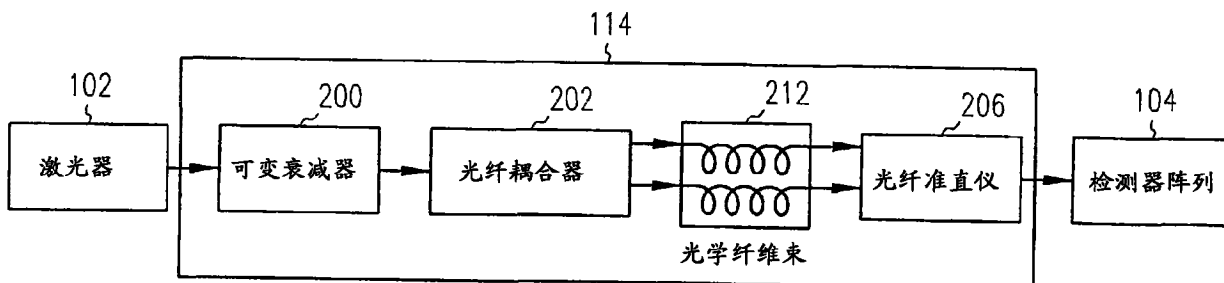


图 12