

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

专利代理师 毕铮 陈晓

(51) Int.Cl.

G01S 17/02 (2020.01)

G01S 7/48 (2006.01)

G01S 17/42 (2006.01)

G02B 6/10 (2006.01)

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/236399 EN 2021.11.25

地址 美国加利福尼亚州

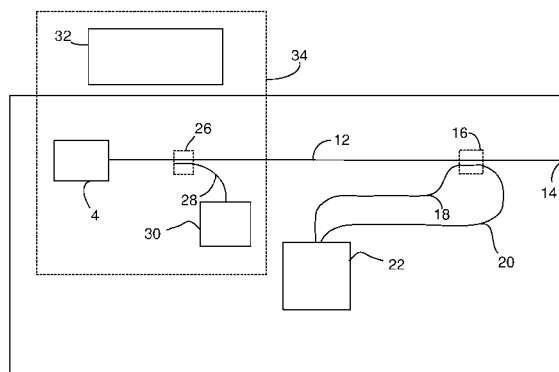
(72) 发明人 B·贝鲁兹普尔

权利要求书1页 说明书20页 附图12页

监视LIDAR输出信号中的信号啁啾

(57) 摘要

一种LIDAR系统包括至少一个光学组件,该至少一个光学组件被配置为输出系统输出信号,该系统输出信号行进离开LIDAR系统并且可以被位于LIDAR系统外部的对象反射。LIDAR系统还包括被配置为控制系统输出信号的一个或多个过程变量的控制机构。控制机构使用电过程变量信号来控制过程变量。过程变量信号具有同相分量和正交分量。



1. 一种LIDAR系统,包括:

至少一个光学组件,其被配置为输出系统输出信号,所述系统输出信号行进离开所述LIDAR系统并且能够被位于所述LIDAR系统外部的对象反射;以及

控制机构,其被配置为控制系统输出信号的一个或多个过程变量,控制机构使用电过程变量信号来控制过程变量,过程变量信号包括同相分量和正交分量。

2. 根据权利要求1所述的系统,其中控制机构是控制回路。

3. 根据权利要求2所述的系统,其中控制回路是反馈控制回路。

4. 根据权利要求1所述的系统,其中控制机构被配置为将过程变量信号乘以包括同相分量和正交分量的本地信号。

5. 根据权利要求1所述的系统,其中系统输出信号和分接信号各自包括来自出射LIDAR信号的光,并且控制机构使用分接信号来确定系统输出信号的过程变量的值。

6. 根据权利要求5所述的系统,其中控制机构包括马赫-曾德尔干涉仪,所述马赫-曾德尔干涉仪接收分接信号并且被配置为从分接信号生成光学信号,所述光信号具有同相分量和正交分量。

7. 根据权利要求6所述的系统,其中马赫-曾德尔干涉仪被配置为将来自分接信号的光分离到延迟波导和加速波导上,延迟波导的长度比加速波导的长度长不到100cm。

8. 根据权利要求1所述的系统,其中控制机构包括马赫-曾德尔干涉仪,所述马赫-曾德尔干涉仪被配置为生成光学信号,所述光学信号具有同相分量和正交分量。

9. 根据权利要求8所述的系统,其中所述光学信号产生差拍。

10. 根据权利要求8所述的系统,其中马赫-曾德尔干涉仪包括在LIDAR芯片上。

11. 根据权利要求8所述的系统,其中LIDAR芯片被构造在绝缘体上硅平台上。

12. 根据权利要求11所述的系统,其中系统输出信号和分接信号各自包括来自出射LIDAR信号的光,并且控制机构使用分接信号来确定系统输出信号的过程变量的值,并且系统输出信号、分接信号和出射LIDAR信号各自由LIDAR芯片上的不同波导引导。

13. 根据权利要求6所述的系统,其中控制机构被配置为将光学信号转换为电过程变量信号。

14. 根据权利要求1所述的系统,其中过程变量是系统输出信号的频率。

15. 根据权利要求14所述的系统,其中系统输出信号的频率在重复周期中变化,并且系统输出信号的频率的值以每周期持续时间超过100次的频率确定。

16. 根据权利要求1所述的系统,其中系统输出信号的频率在数据时段的持续时间内以非零速率变化,并且系统输出信号的频率的值在数据时段的持续时间期间被确定超过100次。

17. 根据权利要求1所述的系统,其中过程变量是系统输出信号的相位。

18. 一种方法,包括:

使LIDAR系统输出系统输出信号,所述系统输出信号行进离开所述LIDAR系统并且能够被位于所述LIDAR系统外部的对象反射;以及

在控制机构中控制系统输出信号的一个或多个过程变量,控制机构使用电过程变量信号来控制过程变量,过程变量信号包括同相分量和正交分量。

监视LIDAR输出信号中的信号啁啾

[0001] 相关申请

本申请是2020年5月16日提交、标题为“MONITORING SIGNAL CHIRP IN LIDAR OUTPUT SIGNALS”并在其整体上被并入的美国专利申请号16/875,987的延续。

技术领域

[0002] 本发明涉及光学器件。特别地，本发明涉及LIDAR系统。

背景技术

[0003] 对可以部署在诸如ADAS(高级驾驶员辅助系统)和AR(增强现实)的应用中的LIDAR系统的商业需求越来越大。LIDAR(光检测和测距)系统通常输出由位于LIDAR系统外部的对象反射的系统输出信号。至少一部分反射光信号返回到LIDAR系统。LIDAR系统将接收到的光信号引导到光传感器，所述光传感器将光信号转换为电信号。电子设备可以使用光传感器输出量化指示对象和LIDAR系统之间的径向速度和/或距离的LIDAR数据。

[0004] 许多LIDAR系统线性地或以其他明确定义的波形对时间来调谐系统输出信号的频率，以使能实现LIDAR数据的精确测量。在这些实例中，LIDAR系统可以监视系统输出信号的频率，并响应于所监视的频率而调谐频率，以实现期望的波形形状。用于监视系统输出信号的频率的系统可能需要一个或多个波导，为了实现期望结果该一个或多个波导需要不合期望地长。由于这种波导长度，这些系统通常占据LIDAR芯片上可用空间的大部分。因此，需要一种用于监视LIDAR系统输出信号的频率的改进系统。

发明内容

[0005] 一种LIDAR系统包括至少一个光学组件，该至少一个光学组件被配置为输出系统输出信号，该系统输出信号行进离开LIDAR系统并且可以被位于LIDAR系统外部的对象反射。LIDAR系统还包括被配置为控制系统输出信号的一个或多个过程变量的控制机构。控制机构使用电过程变量信号来控制过程变量。过程变量信号具有同相分量和正交分量。

附图说明

[0006] 图1A是LIDAR系统示意图的顶视图，该LIDAR系统包括LIDAR芯片或由LIDAR芯片组成，该LIDAR芯片输出LIDAR输出信号并在公共波导上接收LIDAR输入信号。

[0007] 图1B是LIDAR系统示意图的顶视图，该LIDAR系统包括LIDAR芯片或由LIDAR芯片组成，该LIDAR芯片输出LIDAR输出信号并在不同的波导上接收LIDAR输入信号。

[0008] 图1C是LIDAR系统的另一个实施例的示意图的顶视图，该LIDAR系统包括LIDAR芯片或由LIDAR芯片组成，该LIDAR芯片输出LIDAR输出信号并在不同的波导上接收多个LIDAR输入信号。

[0009] 图2是适用于图1B的LIDAR芯片的LIDAR适配器示例的顶视图。

[0010] 图3是适用于图1C的LIDAR芯片的LIDAR适配器示例的顶视图。

- [0011] 图4是LIDAR系统示例的顶视图,该LIDAR系统包括在公共支撑件上的图1A的LIDAR芯片和图2的LIDAR适配器。
- [0012] 图5A图示了适用于LIDAR系统的处理组件示例。
- [0013] 图5B提供了适用于根据图5A构造的处理组件的电子设备示意图。
- [0014] 图5C是具有三角频率调谐的系统输出信号的频率对时间的曲线图。
- [0015] 图5D图示了适用于LIDAR系统的处理组件的另一个示例。
- [0016] 图5E提供了适用于根据图5D构造的处理组件的电子设备示意图。
- [0017] 图6A和图6B图示了用作在图1A至图1C上下文中公开的全部或部分控制组件的合适控制组件的示例。图6A图示了可以定位在LIDAR芯片上的光学组件和光传感器之间的接口。
- [0018] 图6B是可包括在LIDAR芯片上的电子设备和光传感器之间的关系示意图。
- [0019] 图6C是示出同一时间轴上信号的同相和正交分量的振幅与系统输出信号的频率的曲线图。
- [0020] 图6D图示了适合在LIDAR系统的电子设备中使用的过程变量识别组件的一个示例。
- [0021] 图6E图示了适合在LIDAR系统的电子设备中使用的过程变量识别组件的另一个示例。
- [0022] 图7是LIDAR芯片的部分的横截面,该LIDAR芯片的该部分包括绝缘体上硅平台上的波导。

具体实施方式

- [0023] 一种LIDAR系统包括被配置为控制系统输出信号的过程变量的控制机构。在一些实例中,控制机构是控制回路,例如反馈控制回路。系统输出信号是光信号,其由LIDAR系统输出,并且然后在被位于LIDAR系统外部的对象反射后返回到LIDAR系统。然后,LIDAR系统可以使用反射光来生成对象的LIDAR数据。可由控制机构控制的过程变量的示例包括系统输出信号的频率和/或相位。
- [0024] 控制机构生成控制信号,该控制信号运送指示过程变量值的数据。控制信号由包括同相分量和正交分量的过程变量信号生成。过程变量信号由于来自不同频率的信号贡献而产生差拍。相对于当过程变量信号仅包括同相分量时将产生的控制信号频率,正交分量的使用允许控制信号的频率增加。增加控制信号的频率降低了确定过程变量值所需的过程变量信号的拍频。在现有系统中,通过增加马赫-曾德尔干涉仪中一个波导的长度来增加拍频。由于正交分量减小了所需的拍频,所以正交分量也减小了马赫-曾德尔干涉仪中一个波导所需的长度。因此,正交分量可以减少由控制机构占据的LIDAR芯片上的空间量。
- [0025] 图1A是LIDAR芯片示意图的顶视图,该LIDAR芯片可以用作LIDAR系统,或可以包括在除LIDAR芯片外还包括组件的LIDAR系统中。LIDAR芯片可以包括光子集成电路(PIC),并且可以是光子集成电路芯片。LIDAR芯片包括光源4,其输出初步出射(outgoing)的LIDAR信号。合适的光源4包括但不限于半导体激光器,例如外腔激光器(ECL)、分布式反馈激光器(DBF)、离散模式(DM)激光器和分布式布拉格反射器激光器(DBR)。
- [0026] LIDAR芯片包括效用波导12,该效用波导12接收来自光源4的出射LIDAR信号。效用

波导12终止于切面(facet)14,并将出射LIDAR信号运送到切面14。切面14可被定位为使得穿过切面14的出射LIDAR信号离开LIDAR芯片并用作LIDAR输出信号。例如,切面14可以定位在芯片的边缘处,从而穿过切面14的出射LIDAR信号离开芯片并用作LIDAR输出信号。在一些实例中,已经从LIDAR芯片离开的LIDAR输出信号的部分也可以被视为系统输出信号。作为示例,当来自LIDAR芯片的LIDAR输出信号的离开也是来自LIDAR系统的LIDAR输出信号的离开时,LIDAR输出信号也可以被视为系统输出信号。

[0027] LIDAR输出信号通过LIDAR系统所在大气中的自由空间行进离开LIDAR系统。LIDAR输出信号可以被LIDAR输出信号路径中的一个或多个对象反射。当LIDAR输出信号被反射时,至少一部分反射光作为LIDAR输入信号朝LIDAR芯片行进返回。在一些实例中,LIDAR输入信号也可以被视为系统返回信号。作为示例,当来自LIDAR芯片的LIDAR输出信号的离开也是来自LIDAR系统的LIDAR输出信号的离开时,LIDAR输入信号也可以被视为系统返回信号。

[0028] LIDAR输入信号可以通过切面14进入效用波导12。进入效用波导12的LIDAR输入信号的部分用作入射(incoming)LIDAR信号。效用波导12将入射LIDAR信号运送到分路器16,分路器16将来自效用波导12的出射LIDAR信号的一部分作为比较信号移动到比较波导18上。比较波导18将比较信号运送到处理组件22以进行进一步处理。尽管图1A图示了作为分路器16操作的定向耦合器,但其他信号分接组件也可用作分路器16。合适的分路器16包括但不限于定向耦合器、光学耦合器、y结、锥形耦合器和多模干涉(MMI)设备。

[0029] 效用波导12还将出射LIDAR信号运送到分路器16。分路器16将出射LIDAR信号的一部分从效用波导12移动到参考波导20上作为参考信号。参考波导20将参考信号运送到处理组件22以进行进一步处理。

[0030] 分路器16从效用波导12传送的光的百分比可以是固定的或基本固定的。例如,分路器16可以被配置为使得传送到参考波导20的参考信号的功率是出射LIDAR信号的功率的出射百分比,或者使得传送到比较波导18的比较信号的功率为入射LIDAR信号的功率的入射百分比。在许多分路器16中,例如在定向耦合器和多模干涉仪(MMI)中,出射百分比等于或基本等于入射百分比。在一些实例中,出射百分比大于30%、40%或49%和/或小于51%、60%或70%和/或入射百分比大于30%、40%或49%和/或小于51%、60%或70%。诸如多模干涉仪(MMI)的分路器16通常提供50%或约50%的出射百分比和入射百分比。然而,与某些替代方案相比,多模干涉仪(MMI)在诸如绝缘体上硅平台的平台中更容易制造。在一个示例中,分路器16是多模干涉仪(MMI),并且出射百分比和入射百分比是50%或基本上是50%。如下面将更详细描述,处理组件22将比较信号与参考信号组合以形成复合信号,该复合信号运送用于视场上样本区的LIDAR数据。因此,可以处理复合信号,以便提取用于样本区的LIDAR数据(LIDAR系统和LIDAR系统外部的对象之间的径向速度和/或距离)。

[0031] LIDAR芯片可以包括用于控制光源4的操作的控制分支。控制分支包括分路器26,分路器26将出射LIDAR信号的一部分从效用波导12移动到控制波导28上。出射LIDAR信号的耦合部分用作分接信号。尽管图1A图示了作为分路器26操作的定向耦合器,但其他信号分接组件可用作分路器26。合适的分路器26包括但不限于定向耦合器、光学耦合器、y结、锥形耦合器和多模干涉(MMI)设备。

[0032] 控制波导28将分接信号运送到控制组件30。控制组件30可以与电子设备32电通

信。控制组件30的全部或一部分可以包括在电子设备32中。在操作期间,电子设备可以采用来自控制机构34中的控制组件30的输出,控制机构34被配置为控制一个、两个或三个受控光信号的过程变量,所述受控光信号选自由分接信号、系统输出信号和出射LIDAR信号组成的组。合适的过程变量的示例包括受控光信号的频率和/或受控光信号的相位。

[0033] 可以修改LIDAR系统,以便入射LIDAR信号和出射LIDAR信号可以在不同的波导上运送。例如,图1B是图1A的LIDAR芯片的顶视图,该LIDAR芯片经过修改,使得入射LIDAR信号和出射LIDAR信号在不同的波导上运送。出射LIDAR信号通过切面14离开LIDAR芯片,并用作LIDAR输出信号。当来自LIDAR输出信号的光被LIDAR系统外部的对象反射时,反射光的至少一部分作为第一LIDAR输入信号返回到LIDAR芯片。第一LIDAR输入信号通过切面35进入比较波导18并用作比较信号。比较波导18将比较信号运送到处理组件22以进行进一步处理。如图1A的上下文中所描述的,参考波导20将参考信号运送至处理组件22以进行进一步处理。如下面将更详细描述,处理组件22将比较信号与参考信号组合以形成复合信号,该复合信号运送用于视场上样本区的LIDAR数据。

[0034] 可以修改LIDAR芯片以接收多个LIDAR输入信号。例如,图1C图示了图1B的LIDAR芯片被修改为接收两个LIDAR输入信号。分路器40被配置为将参考波导20上运送的参考信号的一部分放置在第一参考波导42上,并且将参考信号的另一部分放置于第二参考波导44上。因此,第一参考波导44运送第一参考信号,并且第二参考波导44运送第二参考信号。第一参考波导42将第一参考信号运送到第一处理组件46,并且第二参考波导44将第二参考信号运送至第二处理组件48。合适的分路器40的示例包括但不限于y结、光学耦合器和多模干涉耦合器(MMI)。

[0035] 出射LIDAR信号通过切面14离开LIDAR芯片,并用作LIDAR输出信号。当来自LIDAR输出信号的光被位于LIDAR系统外部的一个或多个对象反射时,反射光的至少一部分作为第一LIDAR输入信号返回到LIDAR芯片。第一LIDAR输入信号通过切面35进入比较波导18并用作第一比较信号。比较波导18将第一比较信号运送到第一处理组件46以进行进一步处理。

[0036] 此外,当来自LIDAR输出信号的光被位于LIDAR系统外部的一个或多个对象反射时,反射信号的至少一部分作为第二LIDAR输入信号返回到LIDAR芯片。第二LIDAR输入信号通过切面52进入第二比较波导50,并用作第二比较波导50所运送的第二比较信号。第二比较波导50将第二比较信号运送到第二处理组件48以进行进一步处理。

[0037] 尽管光源4被示为位于LIDAR芯片上,但是光源4可以定位于LIDAR芯片之外。例如,效用波导12可以终止于第二切面,通过该第二切面出射LIDAR信号可以从位于LIDAR芯片外的光源4进入效用波导12。

[0038] 在一些实例中,根据图1B或图1C构造的LIDAR芯片与LIDAR适配器结合使用。在一些实例中,LIDAR适配器可以物理光学地定位在LIDAR芯片和一个或多个反射对象和/或视场之间,因为(一个或多个)第一LIDAR输入信号和/或LIDAR输出信号从LIDAR芯片行进到视场的光学路径穿过LIDAR适配器。此外,LIDAR适配器可以被配置为对第一LIDAR输入信号和LIDAR输出信号进行操作,使得第一LIDAR输入信号和LIDAR输出信号在LIDAR适配器和LIDAR芯片之间的不同光学路径上行进,但在LIDAR适配器和视场中的反射对象之间的相同光学路径上行进。

[0039] 适用于图1B的LIDAR芯片的LIDAR适配器的示例在图2中图示。LIDAR适配器包括定位于基座上的多个组件。例如，LIDAR适配器包括定位于基座102上的环形器100。所示的光学环形器100包括三个端口，并且被配置为使得进入一个端口的光从下一个端口离开。例如，所示光学环形器包括第一端口104、第二端口106和第三端口108。LIDAR输出信号从LIDAR芯片的效用波导12进入第一端口104并从第二端口106离开。

[0040] LIDAR适配器可以被配置为使得来自第二端口106的LIDAR输出信号的输出也可以用作来自LIDAR适配器（并且相应地来自LIDAR系统）的LIDAR输出信号的输出。结果，可以从LIDAR适配器输出LIDAR输出信号，使得LIDAR输出信号朝向视场中的样本区行进。因此，在一些实例中，已经从LIDAR适配器离开的LIDAR输出信号的部分也可以被视为系统输出信号。作为示例，当来自LIDAR适配器的LIDAR输出信号的离开也是来自LIDAR系统的LIDAR输出信号的离开时，LIDAR输出信号也可以被视为系统输出信号。

[0041] 从LIDAR适配器输出的LIDAR输出信号包括来自从LIDAR芯片接收的LIDAR输出信号的光、由其组成或基本上由其组成。因此，从LIDAR适配器输出的LIDAR输出信号可以与从LIDAR芯片接收的LIDAR输出信号相同或基本相同。然而，从LIDAR适配器输出的LIDAR输出信号与从LIDAR芯片接收的LIDAR输出信号之间可能存在差异。例如，当LIDAR输出信号行进通过LIDAR适配器时，它可能会经历光学损失，和/或LIDAR适配器可以可选地包括放大器，该放大器被配置为当LIDAR输出信号行进通过LIDAR适配器时放大该LIDAR输出信号。

[0042] 当样本区中的一个或多个对象反射LIDAR输出信号时，至少一部分反射光作为系统返回信号行进回到环形器100。系统返回信号通过第二端口106进入环形器100。图2图示了LIDAR输出信号和系统返回信号沿同一光学路径在LIDAR适配器和样本区之间行进。

[0043] 系统返回信号通过第三端口108离开环形器100，并被引导到LIDAR芯片上的比较波导18。因此，系统返回信号的全部或部分可以用作第一LIDAR输入信号，并且第一LIDAR输入信号包括来自系统返回信号的光或由其组成。因此，LIDAR输出信号和第一LIDAR输入信号沿着不同的光学路径在LIDAR适配器和LIDAR芯片之间行进。

[0044] 如从图2清楚的，除了环形器100之外，LIDAR适配器还可以包括光学组件。例如，LIDAR适配器可以包括用于引导和控制LIDAR输出信号和系统返回信号的光学路径的组件。作为示例，图2的适配器包括可选放大器110，其被定位以便在LIDAR输出信号进入环形器100之前接收和放大LIDAR输出信号。放大器110可由电子设备32操作，允许电子设备32控制LIDAR输出信号的功率。

[0045] 图2还图示了LIDAR适配器包括可选的第一透镜112和可选的第二透镜114。第一透镜112可以配置为将LIDAR输出信号耦合到所期望位置。在一些实例中，第一透镜112被配置为将LIDAR输出信号聚焦或准直在期望位置。在一个示例中，当LIDAR适配器不包括放大器110时，第一透镜112被配置为在第一端口104上耦合LIDAR输出信号。作为另一示例，当LIDAR适配器包括放大器110时，第一透镜112可以被配置为在入口端口上将LIDAR输出信号耦合到放大器110。第二透镜114可以被配置为将LIDAR输出信号耦合在期望位置。在一些实例中，第二透镜114被配置为将LIDAR输出信号聚焦或准直在期望位置。例如，第二透镜114可以被配置为将LIDAR输出信号耦合到比较波导18的切面35上。

[0046] LIDAR适配器还可以包括一个或多个方向改变组件，诸如反射镜。图2图示了LIDAR适配器包括作为方向改变组件116的反射镜，其将系统返回信号从环形器100重定向到比较

波导18的切面20。

[0047] LIDAR芯片包括约束一个或多个光信号的光学路径的一个或多个波导。虽然LIDAR适配器可以包括波导,但系统返回信号和LIDAR输出信号在LIDAR适配器上的组件之间和/或在LIDAR芯片和LIDAR适配器上的组件之间行进的光学路径可以是自由空间。例如,系统返回信号和/或LIDAR输出信号可以在LIDAR适配器上的不同组件之间和/或在LIDAR适配器上的组件和LIDAR芯片之间行进时穿过LIDAR芯片、LIDAR适配器和/或基座102所在的大气。结果,可以采用诸如透镜和方向改变组件之类的光学组件来控制系统返回信号和LIDAR输出信号在LIDAR适配器上、去往LIDAR适配器以及从LIDAR适配器行进的光学路径的特性。

[0048] 用于LIDAR适配器的合适基座102包括但不限于衬底、平台和板。合适的衬底包括但不限于玻璃、硅和陶瓷。这些组件可以是附着到衬底的分立组件。用于将分立组件附着到基座102的合适技术包括但不限于环氧树脂、焊料和机械夹紧。在一个示例中,一个或多个组件是集成组件,并且其余组件是分立组件。在另一个示例中,LIDAR适配器包括一个或多个集成放大器,并且其余组件是分立组件。

[0049] LIDAR系统可以被配置为补偿偏振。来自激光源的光通常是线性偏振的,并因此LIDAR输出信号通常也是线性偏振的。来自对象的反射可以改变返回光的偏振角。因此,系统返回信号可以包括不同线性偏振状态的光。例如,系统返回信号的第一部分可以包括第一线性偏振状态的光,并且系统返回信号第二部分可以包括第二线性偏振状态的光。所得复合信号的强度与比较信号偏振场和参考信号偏振场之间的角度的余弦的平方成比例。如果角度为90度,LIDAR数据可能会在所得复合信号中丢失。然而,可以修改LIDAR系统以补偿LIDAR输出信号偏振状态的变化。

[0050] 图3图示了图3的LIDAR系统经过修改,使得LIDAR适配器适用于图1C的LIDAR芯片。LIDAR适配器包括分束器120,其接收来自环形器100的系统返回信号。分束器120将系统返回信号分成系统返回信号的第一部分和系统返回信号第二部分。合适的分束器包括但不限于沃拉斯顿棱镜和基于MEMS的分束器。

[0051] 系统返回信号的第一部分被引导到LIDAR芯片上的比较波导18,并用作图1C上下文中描述的第一LIDAR输入信号。系统返回信号的第二部分被引导到偏振旋转器122。偏振旋转器122输出第二LIDAR输入信号,该信号被引导到LIDAR芯片上的第二输入波导76,并用作第二LIDAR输入信号。

[0052] 分束器120可以是偏振分束器。偏振分束器的一个示例被构造成使得系统返回信号的第一部分具有第一偏振状态但不具有或基本不具有第二偏振状态,并且系统返回信号的第二部分具有第二偏振状态但不具有或基本不具有第一偏振状态。第一偏振状态和第二偏振状态可以是线性偏振状态,并且第二偏振状态不同于第一偏振状态。例如,第一偏振状态可以是TE,并且第二偏振状态可以为TM,或者第一偏振状态可为TM,并且第二偏振状态可为TE。在一些实例中,激光源可以线性偏振,使得LIDAR输出信号具有第一偏振状态。合适的分束器包括但不限于沃拉斯顿棱镜和基于MEM的偏振分束器。

[0053] 偏振旋转器可以被配置为改变系统返回信号的第一部分和/或系统返回信号的第二部分的偏振状态。例如,图3所示的偏振旋转器122可以被配置为将系统返回信号的第二部分的偏振状态从第二偏振状态改变为第一偏振状态。结果,第二LIDAR输入信号具有第一偏振状态,但不具有或基本不具有第二偏振状态。因此,第一LIDAR输入信号和第二LIDAR输

入信号各自具有相同的偏振状态(在本示例中为第一偏振状态)。尽管运送相同偏振状态的光,但是由于使用偏振分束器,第一LIDAR输入信号和第二LIDAR输入信号与不同的偏振状态相关联。例如,第一LIDAR输入信号运送以第一偏振状态反射的光,并且第二LIDAR输入信号运送以第二偏振状态反射的光。结果,第一LIDAR输入信号与第一偏振状态相关联,并且第二LIDAR输入信号与第二偏振状态相关联。

[0054] 由于第一LIDAR输入信号和第二LIDAR运送相同偏振状态的光,因此从第一LIDAR输入信号产生的比较信号具有与从第二LIDAR输入信号产生的比较信号相同的偏振角。

[0055] 合适的偏振旋转器包括但不限于偏振维持光纤的旋转、法拉第旋转器、半波片、基于MEM的偏振旋转器和使用不对称y分支的集成光学偏振旋转器、马赫-曾德尔干涉仪和多模干涉耦合器。

[0056] 由于出射LIDAR信号是线性偏振的,所以第一参考信号可以具有与第二参考信号相同的线性偏振状态。此外,可以选择LIDAR适配器上的组件,使得第一参考信号、第二参考信号、比较信号和第二比较信号各自具有相同的偏振状态。在图3的上下文中公开的示例中,第一比较信号、第二比较信号、第一参考信号和第二参考信号可以各自具有第一偏振状态的光。

[0057] 作为上述配置的结果,由第一处理组件46生成的第一复合信号和由第二处理组件48生成的第二复合信号各自产生于将相同偏振状态的参考信号和比较信号组合,并且将相应地在参考信号和比较信号之间提供期望的差拍。例如,复合信号产生于组合第一偏振状态的第一参考信号和第一比较信号,并且排除或基本排除第二偏振状态的光,或者复合信号产生于组合第二偏振状态的第一参考信号和第一比较信号,并且排除或基本排除第一偏振状态的光。类似地,第二复合信号包括相同偏振状态的第二参考信号和第二比较信号,将相应地在参考信号和比较信号之间提供期望的差拍。例如,第二复合信号产生于组合第一偏振状态的第二参考信号和第二比较信号,并且排除或基本排除第二偏振状态的光,或者第二复合信号产生于组合第二偏振状态的第二参考信号和第二比较信号,并且排除或基本排除第一偏振状态的光。

[0058] 上述配置导致视场中单个样本区的LIDAR数据由来自样本区的多个不同复合信号(即第一复合信号和第二复合信号)生成。在一些实例中,确定样本区的LIDAR数据包括电子设备将来自不同复合信号(即复合信号和第二复合信号)的LIDAR数据进行组合。组合LIDAR数据可以包括获取从不同复合信号生成的LIDAR数据的平均值、中值或模式。例如,电子设备可以用从第二复合信号确定的距离来平均LIDAR系统和从复合信号中确定的反射对象之间的距离,和/或电子设备可以用从第二复合信号确定的径向速度来平均LIDAR系统和从复合信号中确定的反射对象之间的径向速度。

[0059] 在一些实例中,确定样本区的LIDAR数据包括电子设备将一个或多个复合信号(即复合信号和/或第二复合信号)识别为最能代表现实的LIDAR数据(代表性LIDAR数据)的源。然后,电子设备可以使用来自所识别的复合信号的LIDAR数据作为用于附加处理的代表性LIDAR数据。例如,电子设备可以将具有较大振幅的信号(复合信号或第二复合信号)识别为具有代表性LIDAR数据,并且可以使用来自所识别信号的LIDAR数据由LIDAR系统进一步处理。在一些实例中,电子设备组合以下操作:识别具有代表性LIDAR数据的复合信号与组合来自不同LIDAR信号的LIDAR数据。例如,电子设备可以将振幅高于振幅阈值的每个复合信

号识别为具有代表性LIDAR数据,并且当识别出两个以上的复合信号具有代表性LIDAR数据时,电子设备可组合来自每个识别的复合信号的LIDAR数据。当一个复合信号被识别为具有代表性LIDAR数据时,电子设备可以使用来自该复合信号的LIDAR数据作为代表性LIDAR数据。当没有一个复合信号被识别为具有代表性LIDAR数据时,电子设备可以丢弃与那些复合信号相关联的样本区的LIDAR数据。

[0060] 尽管在以下上下文中描述了图3:组件被布置成使得第一比较信号、第二比较信号、第一参考信号和第二参考信号各自具有第一偏振状态,但图3中的组件的其他配置可以被布置为使得复合信号由组合相同线性偏振状态的参考信号和比较信号产生,并且第二复合信号由组合相同线性偏振状态的参考信号与比较信号产生。例如,分束器120可以被构造成使得系统返回信号的第二部分具有第一偏振状态,并且系统返回信号的第一部分具有第二偏振状态,偏振旋转器接收系统返回信号的第一部分,并且出射LIDAR信号可以具有第二偏振状态。在该示例中,第一LIDAR输入信号和第二LIDAR输入信号各自具有第二偏振状态。

[0061] 上述系统配置导致系统返回信号的第一部分和系统返回信号的第二部分被引导成不同的复合信号。结果,由于系统返回信号的第一部分和系统返回信号的第二部分各自与不同的偏振状态相关联,但电子设备可以处理每个复合信号,因此LIDAR系统响应于LIDAR输出信号的反射来补偿LIDAR输出信号的偏振状态的变化。

[0062] 图3的LIDAR适配器可以包括附加光学组件,包括无源光学组件。例如,LIDAR适配器可以包括可选的第三透镜126。第三透镜126可以被配置为将第二LIDAR输出信号耦合在期望的位置。在一些实例中,第三透镜126将第二LIDAR输出信号聚焦或准直在期望位置。例如,第三透镜126可以被配置为将第二LIDAR输出信号聚焦或准直在第二比较波导50的切面52上。LIDAR适配器还包括一个或多个方向改变组件124,例如反射镜和棱镜。图3图示了LIDAR适配器包括作为方向改变组件124的反射镜,该方向改变组件124将系统返回信号的第二部分从环形器100重定向到第二比较波导50的切面52和/或第三透镜126。

[0063] 当LIDAR系统包括LIDAR芯片和LIDAR适配器时,LIDAR芯片、电子设备和LIDAR适配器可以定位在公共安装部上。合适的公共安装部包括但不限于玻璃板、金属板、硅板和陶瓷板。作为示例,图4是LIDAR系统的顶视图,该系统包括公共安装部140上的图1A的LIDAR芯片和电子设备32以及图2的LIDAR适配器。虽然电子设备32被示为位于公共支撑件上,但所有或部分电子设备可以位于公共支撑件之外。当光源4位于LIDAR芯片之外时,光源可以位于公共支撑件140上或公共支撑件140之外。将LIDAR芯片、电子设备和/或LIDAR适配器安装在公共支撑件上的合适方法包括但不限于环氧树脂、焊料和机械夹紧。

[0064] LIDAR系统可以包括组件,所述组件包括附加无源和/或有源光学组件。例如,LIDAR系统可以包括一个或多个组件,其从LIDAR芯片或LIDAR适配器接收LIDAR输出信号。从一个或多个组件离开的LIDAR输出信号的部分可以用作系统输出信号。作为示例,LIDAR系统可以包括一个或多个波束转向组件,其从LIDAR芯片或LIDAR适配器接收LIDAR输出信号,并输出用作系统输出信号的全部或部分LIDAR输出信号。例如,图4图示了从LIDAR适配器接收LIDAR输出信号的波束转向组件142。尽管图4示出了定位于公共支撑件140上的波束转向组件,但波束转向组件可以定位于LIDAR芯片上、LIDAR适配器上、LIDAR芯片之外或公共支撑件140之外。合适的波束转向组件包括但不限于可移动反射镜、MEMS反射镜、光学相控阵(OPA)和移动LIDAR芯片的致动器,LIDAR适配器和/或公共支撑件。

[0065] 电子设备可以操作一个或多个波束转向组件142,以便将系统输出信号转向不同的样本区144。样本区可以远离LIDAR系统延伸到最大距离, LIDAR系统被配置为针对该最大距离提供可靠的LIDAR数据。可以将样本区编织在一起以限定视场。例如,LIDAR系统的视场包括样本区组合所占用的空间或由其组成。

[0066] 图5A至图5C图示了合适的处理组件的示例,该处理组件用作选自由处理组件22,第一处理组件46和第二处理组件48组成的组中的全部或部分处理组件。处理组件接收来自比较波导196的比较信号和来自参考波导198的参考信号。图1A和图1B所示的比较波导18和参考波导20可以用作比较波导196和参考波导198,图1C所示的比较波导18和第一参考波导42可以用作比较波导196和参考波导198,或者图1C所示的第二比较波导50和第二参考波导44可以用作比较波导196和参照波导198。

[0067] 处理组件包括第二分路器200,其将比较波导196上运送的比较信号分到第一比较波导204和第二比较波导206上。第一比较波导204将比较信号的第一部分运送到光组合组件211。第二比较波导208将比较信号的第二部分运送到第二光组合组件212。

[0068] 处理组件包括第一分路器202,其将参考波导198上运送的参考信号分到第一参考波导204和第二参考波导206上。第一参考波导204将参考信号的第一部分运送到光组合组件211。第二参考波导208将参考信号的第二部分运送到第二光组合组件212。

[0069] 第二光组合组件212将比较信号的第二部分和参考信号的第二部分组合成第二复合信号。由于比较信号的第二部分和参考信号的第二部分之间的频率差,第二复合信号在比较信号的第二部分和参考信号的第二部分之间产生差拍。

[0070] 第二光组合组件212还将得到的第二复合信号分离到第一辅助检测器波导214和第二辅助检测器波导216上。第一辅助检测器波导214将第二复合信号的第一部分运送到第一辅助光传感器218,第一辅助光传感器218将第二复合信号的第一部分转换为第一辅助电信号。第二辅助检测器波导216将第二复合信号的第二部分运送到第二辅助光传感器220,第二辅助光传感器220将第二复合信号的第二部分转换为第二辅助电信号。合适的光传感器的示例包括锗光电二极管(PD)和雪崩光电二极管(APD)。

[0071] 在一些实例中,第二光组合组件212分离第二复合信号,使得包括在第二复合信号的第一部分中的比较信号的部分(即,比较信号的第二部分的部分)相对于第二复合信号的第二部分中的比较信号的部分(即,比较信号的第二部分的部分)相移 180° ,但是第二复合信号的第二部分中的参考信号的部分(即,参考信号的第二部分的部分)相对于第二复合信号的第一部分中的参考信号的部分(即,参考信号的第二部分的部分)没有相移。可替代地,第二光组合组件212分离第二复合信号,使得第二复合信号的第一部分中的参考信号的部分(即参考信号的第二部分的部分)相对于第二复合信号的第二部分中的参考信号的部分(即参考信号的第二部分的部分)相移 180° ,但是第二复合信号的第一部分中的比较信号的部分(即比较信号的第二部分的部分)相对于第二复合信号的第二部分中的比较信号的部分(即比较信号的第二部分的部分)没有相移。合适的光传感器的示例包括锗光电二极管(PD)和雪崩光电二极管(APD)。

[0072] 第一光组合组件211将比较信号的第一部分和参考信号的第一部分组合成第一复合信号。由于比较信号第一部分和参考信号第一部分之间的频率差,第一复合信号在比较信号第一部分和参考信号第一部分之间产生差拍。

[0073] 第一光组合组件211还将第一复合信号分离到第一检测器波导221和第二检测器波导222上。第一检测器波导211将第一复合信号的第一部分运送到第一光传感器223,第一光传感器223将第二复合信号的第一部分转换为第一电信号。第二检测器波导222将第二复合信号的第二部分运送到第二光传感器224,第二光传感器224将第二复合信号的第二部分转换为第二电信号。合适的光传感器的示例包括锗光电二极管(PD)和雪崩光电二极管(APD)。

[0074] 在一些实例中,光组合组件211分离第一复合信号,使得包括在复合信号的第一部分中的比较信号的部分(即,比较信号的第一部分的部分)相对于复合信号的第二部分中的比较信号的部分(即,比较信号的第一部分的部分)相移 180° ,但是复合信号的第一部分中的参考信号的部分(即,参考信号的第一部分的部分)相对于复合信号的第二部分中的参考信号的部分(即,参考信号的第一部分的部分)没有相移。可替代地,光组合组件211分离复合信号,使得复合信号的第一部分中的参考信号的部分(即参考信号的第一部分的部分)相对于复合信号的第二部分中的参考信号的部分(即参考信号的第一部分的部分)相移 180° ,但是复合信号的第一部分中的比较信号的部分(即比较信号的第一部分的部分)相对于复合信号的第二部分中的比较信号的部分(即比较信号的第一部分的部分)没有相移。

[0075] 当第二光组合组件212分离第二复合信号,使得第二复合信号的第一部分中比较信号的部分相对于第二复合信号的第二部分中比较信号的部分相移 180° 时,光组合组件211还分离复合信号,使得复合信号的第一部分中比较信号的部分相对于复合信号的第二部分中比较信号的部分相移 180° 。当第二光组合组件212分离第二复合信号,使得第二复合信号的第一部分中参考信号的部分相对于第二复合信号的第二部分中参考信号的部分相移 180° 时,光组合组件211还分离复合信号,使得复合信号的第一部分中参考信号的部分相对于复合信号的第二部分中参考信号的部分相移 180° 。

[0076] 第一参考波导210和第二参考波导208被构造成在参考信号的第一部分和参考信号的第二部分之间提供相移。例如,第一参考波导210和第二参考波导208可以被构造为在参考信号的第一部分和参考信号的第二部分之间提供 90° 相移。作为示例,一个参考信号部分可以是同相分量,并且另一个可以是正交分量。因此,参考信号部分中的一个可以是正弦函数,并且另一个参考信号部分可以是余弦函数。在一个示例中,第一参考波导210和第二参考波导208被构造为使得第一参考信号部分是余弦函数,并且第二参考信号部分为正弦函数。因此,第二复合信号中参考信号的部分相对于第一复合信号中参考信号的部分相移,然而,第一复合信号中比较信号的部分相对于第二复合信号中比较信号的部分没有相移。

[0077] 第一光传感器223和第二光传感器224可以被连接为平衡检测器,并且第一辅助光传感器218和第二辅助光传感器220也可以被连接成平衡检测器。例如,图5B提供了电子设备、第一光传感器223、第二光传感器224、第一辅助光传感器218和第二辅助光传感器220之间关系的示意图。光电二极管的符号用于表示第一光传感器223、第二光传感器224、第一辅助光传感器218和第二辅助光传感器220,但是这些传感器中的一个或多个可以具有其他构造。在一些实例中,图5B示意图中所示的所有组件都包括在LIDAR芯片上。在一些实例中,图5B示意图中所示的组件分布在LIDAR芯片和位于LIDAR芯片之外的电子设备之间。

[0078] 电子设备将第一光传感器223和第二光传感器224连接为第一平衡检测器225,并

将第一辅助光传感器218和第二辅助光传感器220连接为第二平衡检测器226。特别地,第一光传感器223和第二光传感器224串联连接。此外,第一辅助光传感器218和第二辅助光传感器220串联连接。第一平衡检测器中的串联连接与第一数据线228通信,该第一数据线228将来自第一平衡检测器的输出作为第一数据信号运送。第二平衡检测器中的串联连接与第二数据线232通信,第二数据线232将来自第二平衡检测器的输出作为第二数据信号运送。第一数据信号是第一复合信号的电表示,并且第二数据信号是第二复合信号的电表示。因此,第一数据信号包括来自第一波形和第二波形的贡献,并且第二数据信号是第一波形和第一波形的复合。第一数据信号中的第一波形的部分相对于第一数据信号中的第一波形的部分相移,但是第一数据信号中第二波形的部分相对于第一数据信号中第二波形的部分同相。例如,第二数据信号包括参考信号的一部分,参考信号的该部分相对于包括在第一数据信号中的参考信号的不同部分相移。此外,第二数据信号包括与第一数据信号中包括的比较信号的不同部分同相的比较信号部分。第一数据信号和第二数据信号由于比较信号和参考信号之间的差拍(即第一复合信号和第二复合信号中的差拍)而产生差拍。

[0079] 电子设备32包括变换机构238,其被配置为对第一数据信号和第二数据信号执行数学变换。例如,数学变换可以是以第一数据信号和第二数据信号作为输入的复数傅里叶变换。由于第一数据信号是同相分量,并且第二数据信号是其正交分量,因此第一数据信号和第二数据信号一起作为复数数据信号,其中第一数据信号为输入的实分量,并且第二数据信号为输入的虚分量。

[0080] 变换机构238包括第一模数转换器(ADC)264,其从第一数据线228接收第一数据信号。第一模数转换器(ADC)264将第一数据信号从模拟形式转换为数字形式,并输出第一数字数据信号。变换机构238包括第二模数转换器(ADC)266,其从第二数据线232接收第二数据信号。第二模数转换器(ADC)266将第二数据信号从模拟形式转换为数字形式,并输出第二数字数据信号。第一数字数据信号是第一数据信号的数字表示,并且第二数字数据信号是第二数据信号的数字表示。因此,第一数字数据信号和第二数字数据信号一起作为复数信号,其中第一数字数据信号作为复数信号的实分量,并且第二数字数据信号作为复数数据信号的虚分量。

[0081] 变换机构238包括接收复数数据信号的变换组件268。例如,变换组件268从第一模数转换器(ADC)264接收第一数字数据信号作为输入,并且还从第二模数转换器(ADC)266接收第二数字数据信号。变换组件268可以被配置为对复数信号执行数学变换,以便从时域转换到频域。数学变换可以是复数变换,例如复数快速傅里叶变换(FFT)。诸如复数快速傅里叶变换(FFT)的复数变换为LIDAR输入信号相对于LIDAR输出信号的频率偏移提供了明确的解决方案,该频率偏移是由反射对象和LIDAR芯片之间的径向速度引起的。电子设备使用从变换组件268输出的一个或多个频率峰值进行进一步处理,以生成LIDAR数据(反射对象与LIDAR芯片或LIDAR系统之间的距离和/或径向速度)。变换组件268可以使用固件、硬件或软件或它们的组合来执行所赋予的功能。

[0082] 图5C示出了系统输出信号频率、时间、周期和数据时段之间关系的示例。系统输出信号(f_o)的基频可以是周期开始时系统输出信号的频率。

[0083] 图5C示出了标注为周期 j 和周期 $j+1$ 的两个周期的序列的频率对时间。在一些实例中,频率对时间模式在每个周期中重复,如图5C所示。所示周期不包括重新定位时段和/或

重新定位时段不位于周期之间。因此,图5C图示了连续扫描的结果。

[0084] 每个周期包括K个数据时段,每个数据时段与时段索引k相关联并且被标注为 DP_k 。在图5C的示例中,每个周期包括标注为 DP_k 的两个数据时段,其中 $k=1$ 和2。在一些实例中,在不同周期中相互对应的数据时段的频率对时间模式相同,如图5C所示。对应的数据时段是具有相同时段索引的数据时段。因此,每个数据时段 DP_1 可以被视为对应的数据时段,并且相关联的频率对时间模式在图5C中相同。在周期结束时,电子设备将频率返回到开始前一个周期时的相同频率水平。

[0085] 在数据时段 DP_1 和数据时段 DP_2 期间,电子设备操作光源,使得系统输出信号的频率以线性速率 α 变化。数据时段 DP_1 期间的频率变化的方向与数据时段 DP_2 期间的频率变化的方向相反。

[0086] 从复数傅里叶变换输出的频率表示复合信号的拍频,每个复合信号包括相对于参考信号差拍的比较信号。来自两个或更多不同数据时段的拍频(f_{LDP})可以被组合以生成LIDAR数据。例如,根据图5C中的 DP_1 确定的拍频可以与根据图5C中的 DP_2 确定的拍频相组合,以确定LIDAR数据。作为示例,以下等式在以下数据时段期间适用,其中电子设备在该数据时段期间增加出射LIDAR信号的频率,诸如图5C的数据时段 DP_1 中所发生的: $f_{ub} = -f_d + \alpha\tau$,其中 f_{ub} 是由变换组件268提供的频率(在这种情况下是从 DP_1 确定的 f_{LDP}), f_d 表示多普勒频移($f_d = 2vf_c/c$)其中 f_c 表示光学频率(f_o), c 表示光速, v 是反射对象和LIDAR系统之间的径向速度,其中从反射对象朝LIDAR系统的方向假定为正方向,并且 c 是光速。以下等式在电子设备降低出射LIDAR信号的频率的数据时段期间适用,诸如图5C的数据时段 DP_2 中所发生的: $f_{db} = -f_d - \alpha\tau$,其中 f_{db} 是由变换组件268提供的频率(在这种情况下是从 DP_2 确定的 f_{LDP})。在这两个等式中, f_d 和 τ 是未知的。电子设备针对这两个未知数求解这两个等式。然后根据多普勒频移对样本区的径向速度进行量化($v = c*f_d/(2f_c)$)和/或该样本区的间隔距离可以根据 $c*f_d/2$ 进行量化。

[0087] 在一些实例中,样本区中存在不止一个对象。在一些实例中,当样本区中存在不止一个对象时,变换可以输出不止一个频率,其中每个频率与不同的对象相关联。同一对象在同一周期的不同数据时段中产生的频率可以被视为对应频率对。可以为变换输出的每个对应频率对生成LIDAR数据。因此,可以为样本区中的每个对象生成单独的LIDAR数据。

[0088] 尽管图5A至图5B图示了将参考信号的一部分与比较信号的一个部分组合的多个光组合组件,但是处理组件可以包括将参考信号与比较信号组合以形成复合信号的单个光组合组件。结果,至少一部分参考信号和至少一部分比较信号可以被组合以形成复合信号。参考信号的组合部分可以是整个参考信号或参考信号的一部分,并且比较信号的组合部可以是整个比较信号或比较信号的一部分。

[0089] 作为组合参考信号和比较信号以形成复合信号的处理组件的示例,图5D至图5E图示了图5A至图5B的处理组件被修改为包括单个光组合组件。比较波导196将比较信号直接运送到第一光组合组件211,并且参考波导198将参考信号直接运送到第一光组合组件211。

[0090] 第一光组合组件211将比较信号和参考信号组合成复合信号。由于比较信号和参考信号之间的频率差,第一复合信号在比较信号和参考信号之间产生差拍。第一光组合组件211还将复合信号分离到第一检测器波导221和第二检测器波导222上。第一检测器波导

221将复合信号的第一部分运送到第一光传感器223,第一光传感器223将第二复合信号的第一部分转换为第一电信号。第二检测器波导222将复合信号的第二部分运送到第二光传感器224,第二光传感器224将第二复合信号的第二部分转换为第二电信号。

[0091] 图5E提供了电子设备、第一光传感器223和第二光传感器224之间关系的示意图。光电二极管的符号用于表示第一光传感器233和第二光传感器224,但这些传感器中的一个或多个可以具有其他构造。在一些实例中,图5E示意图中所示的所有组件都包括在LIDAR芯片上。在一些实例中,图5E示意图中所示的组件分布在LIDAR芯片和位于LIDAR芯片之外的电子设备之间。

[0092] 电子设备将第一光传感器223和第二光传感器224连接为第一平衡检测器225。特别地,第一光传感器233和第二光传感器222串联连接。第一平衡检测器中的串联连接与第一数据线228通信,该第一数据线228将来自第一平衡检测器的输出作为第一数据信号运送。第一数据信号是复合信号的电表示。

[0093] 电子设备32包括被配置为对第一数据信号执行数学变换的变换机构238。数学变换可以是以第一数据信号作为输入的实傅里叶变换。电子设备可以使用如上所述的变换的频率输出来提取LIDAR数据。

[0094] 图5A至图5E上下文中公开的每个平衡检测器都可以用单个光传感器代替。因此,处理组件可以包括一个或多个光传感器,每个光传感器接收复合信号的至少一部分,因为复合信号的接收部分可以是整个复合信号或复合信号的一部分。

[0095] 如图5C上下文中所讨论的,电子设备32调谐系统输出信号的频率。产生这种频率啁啾的一种方法是调制由电子设备施加到光源的电流。在可用作LIDAR系统中光源的半导体激光器中,电流调制通过强非线性载波/光子耦合导致频率调制。

[0096] 图6A和图6B图示了合适的控制组件的示例,该控制组件用作图1A至图1C和图4上下文中公开的控制组件30的全部或一部分。控制组件30包括马赫-曾德尔干涉仪,其被配置为使用来自分接信号的光来产生具有同相分量和正交分量的光学信号。马赫-曾德尔干涉仪接收来自控制波导28的分接信号。控制波导将分接信号引导到分路器270,分路器270将分接信号分成延迟信号和加速信号。延迟波导272将延迟信号运送到第一分路器274。加速波导276将加速信号运送到第二分路器278。延迟波导278可以包括延迟区段279,该延迟区段279可以用于将延迟波导的长度增加到超过加速波导276的长度。例如,图6A所示的延迟区段279可以表示延迟波导272的螺旋布置。用作分路器270、第一分路器274和第二分路器278的合适分路器包括但不限于定向耦合器、光学耦合器、y结、锥形耦合器和多模干涉(MMI)器件。

[0097] 第一分路器274将延迟信号分成延迟信号的第一部分和延迟信号的第二部分。第一延迟波导280将延迟信号的第一部分运送到第一光组合组件282。第二延迟波导284将延迟信号的第二部分运送到第二光组合组件286。

[0098] 第二分路器278将加速信号分成加速信号的第一部分和加速信号的第二部分。第一加速波导290将加速信号的第一部分运送到第一光组合组件282。第二加速波导292将加速信号的第二部分运送到第二光组合组件286。

[0099] 第二光组合组件286将加速信号的第二部分和延迟信号的第二部分组合成第二差拍信号。如上所述,延迟波导的长度超过加速波导276的长度。因此,延迟信号的第二部分相

对于加速信号的第二部分被延迟。因为电子设备可以调谐出射LIDAR信号的频率,所以延迟导致延迟信号的第二部分具有与加速信号的第二部分不同的频率。由于加速信号的第二部分和延迟信号的第二部分之间的频率差,第二差拍信号在加速信号第二部分与延迟信号第二部分之间产生差拍。

[0100] 第二光组合组件286还将第二差拍信号分离到第一辅助检测器波导294和第二辅助检测器波导296上。第一辅助检测器波导294将第二差拍信号的第一部分运送到第一辅助光传感器298,第一辅助光传感器298将第二差拍信号的第二部分转换为第一辅助电信号。第二辅助检测器波导296将第二差拍信号的第二部分运送到第二辅助光传感器300,第二辅助光传感器300将第二差拍信号的第二部分转换为第二辅助电信号。合适的光传感器的示例包括锗光电二极管(PD)和雪崩光电二极管(APD)。

[0101] 在一些实例中,第二光组合组件286分离第二差拍信号,使得包括在第二差拍信号的第一部分中的加速信号的部分(即,加速信号的第二部分的部分)相对于第二差拍信号的第二部分中的加速信号的部分(即,加速信号的第二部分的部分)相移 180° ,但是第二差拍信号的第二部分中的延迟信号的部分(即,延迟信号的第二部分的部分)相对于第二差拍信号的第一部分中的延迟信号的部分(即,延迟信号的第二部分的部分)没有相移。

[0102] 第一光组合组件282将加速信号的第一部分和延迟信号的第一部分组合成第一差拍信号。延迟部分279相对于加速信号的第一部分对延迟信号的第一部分进行延迟。结果,延迟信号的第一部分相对于加速信号的第一部分被延迟。延迟导致延迟信号的第一部分具有与加速信号的第一部分不同的频率。由于加速信号的第一部分和延迟信号的第一部分之间的频率差,第一差拍信号在加速信号第二部分和延迟信号的第二部分之间产生差拍。

[0103] 第一光组合组件282还将第一差拍信号分离到第一检测器波导302和第二检测器波导304上。第一检测器波导304将第一差拍信号的第一部分运送到第一光传感器306,第一光传感器306将第二差拍信号的第一部分转换为第一电信号。第二检测器波导304将第二差拍信号的第二部分运送到第二光传感器308,第二光传感器308将第二差拍信号的第二部分转换为第二电信号。合适的光传感器的示例包括锗光电二极管(PD)和雪崩光电二极管(APD)。

[0104] 在一些实例中,第一光组合组件282分离第一差拍信号,使得包括在差拍信号的第一部分中的加速信号的部分(即,加速信号的第一部分的部分)相对于差拍信号的第二部分中的加速信号的部分(即,加速信号的第一部分的部分)相移 180° ,但是差拍信号的第一部分中的延迟信号的部分(即,延迟信号的第一部分的部分)相对于差拍信号的第二部分中的延迟信号的部分(即,延迟信号的第一部分的部分)没有相移。

[0105] 当第二光组合组件286分离第二差拍信号,使得第二差拍信号的第一部分中的加速信号的部分相对于第二差拍信号的第二部分中的加速信号的部分相移 180° 时,第一光组合组件282还分离差拍信号,使得差拍信号的第一部分中的加速信号的部分相对于差拍信号的第二部分中的加速信号的部分相移 180° 。

[0106] 第一延迟波导280、第二延迟波导284、第一加速波导290以及第二加速波导292可以被配置为使得第一差拍信号和第二差拍信号一起作为光学过程变量信号的同相分量和正交分量,其中第一差拍信号是光学过程变量信号的同相分量,并且第二差拍信号是光学过程变量信号的正交分量,或者使得第二差拍信号是光学过程变量信号的同相分量,并且

第一差拍信号是光学过程变量信号的正交分量。例如,第一延迟波导280和第二延迟波导284可以被构造为在延迟信号的第一部分和延迟信号的第二部分之间提供相移,而第一加速波导290和第二加速波导292被构造为使得加速信号的第一部分和加速信号的第二部分同相。作为示例,第一延迟波导280和第二延迟波导284可以被构造为在延迟信号的第一部分和延迟信号的第二部分之间提供 90° 相移。因此,延迟信号部分中的一个可以是正弦函数,并且另一个延迟信号部分可以是在与正弦函数相同的自变量上操作的余弦函数。在一个示例中,第一延迟波导280和第二延迟波导284被构造为使得延迟信号的第一部分是余弦函数,并且延迟信号的第二部分是正弦函数。在该示例中,第二差拍信号中的延迟信号的部分相对于第一差拍信号的延迟信号的部分相移,然而,第一差拍信号中的加速信号的部分相对于第二差拍信号中的加速信号的部分没有相移。

[0107] 在另一示例中,第一延迟波导280和第二延迟波导284被构造为使得延迟信号的第一部分和延迟信号的第二部分同相,而第一加速波导290和第二加速波导292被构造为在加速信号的第一部分和加速信号的第二部分之间提供相移。作为示例,第一加速波导290和第二加速波导292可以被构造为在加速信号的第一部分和加速信号的第二部分之间提供 90° 相移。因此,加速信号部分中的一个可以是正弦函数,并且另一个加速信号部分可以是在与正弦函数相同的自变量上操作的余弦函数。在一个示例中,第一加速波导290和第二加速波导292被构造为使得加速信号的第一部分是余弦函数,并且加速信号的第二部分是在与余弦函数相同的自变量上操作的正弦函数。在该示例中,第二差拍信号中的加速信号的部分相对于第一差拍信号中的加速信号的部分相移,然而,第一差拍信号中的延迟信号的部分相对于第二差拍信号中的延迟信号的部分没有相移。

[0108] 第一光传感器306和第二光传感器308可以被连接为平衡检测器,并且第一辅助光传感器298和第二辅助光传感器300也可以被连接成平衡检测器。例如,图6B提供了电子设备、第一光传感器306、第二光传感器308、第一辅助光传感器298和第二辅助光传感器300之间关系的示意图。光电二极管的符号用于表示第一光传感器306、第二光传感器308、第一辅助光传感器298和第二辅助光传感器300,但这些传感器中的一个或多个可以具有其他构造。在一些实例中,图6B示意图中所示的所有组件都包括在LIDAR芯片上。在一些实例中,图6B示意图中所示的组件分布在LIDAR芯片和位于LIDAR芯片之外的电子设备之间。

[0109] 电子设备将第一光传感器306和第二光传感器308连接为第一平衡检测器312,并且将第一辅助光传感器298和第二辅助光传感器300连接为第二平衡检测器314。特别地,第一光传感器306和第二光传感器308串联连接。此外,第一辅助光传感器298和第二辅助光传感器300串联连接。第一平衡检测器中的串联连接与第一数据线316通信,该第一数据线316将来自第一平衡检测器的输出作为第一过程变量信号运送。第二平衡检测器中的串联连接与第二数据线318通信,第二数据线318将来自第二平衡检测器的输出作为第一过程变量信号运送。

[0110] 第一过程变量信号是第一差拍信号的电表示,并且第二过程变量信号是第二差拍信号的电表示。因此,第一过程变量信号产生差拍,并且第二过程变量信号产生差拍。此外,第一过程变量信号和第二过程变量信号可以各自运送从由过程变量信号的同相分量和过程变量信号的正交分量组成的组中选择的不同分量。例如,第一过程变量信号可以包括来自第一波形和第二波形的贡献,并且第二过程变量信号可包括来自第一波形和第

二波形的贡献。第一过程变量信号中的第一波形的部分相对于第二过程变量信号的第一波形的部分相移,但是第一过程变量信号中的第二波形的部分相对于第二过程变量信号中的第二波形的部分同相。例如,第二过程变量信号可以包括延迟信号的一部分,延迟信号的该部分相对于包括在第一过程变量信号中的延迟信号的不同部分相移。此外,第二过程变量信号可以包括加速信号的一部分,加速信号的该部分与第一过程变量信号中包括的加速信号的不同部分同相。第一过程变量信号和第二过程变量信号由于加速信号和延迟信号之间的差拍(即第一差拍信号和第二差拍信号中的差拍)而各自产生差拍。

[0111] 过程变量信号由过程变量识别组件320接收。过程变量识别组件320使用过程变量信号来输出指示符信号,该指示符信号指示分接信号的频率(f_{TS}),是分接信号的频率(f_{TS})的函数,和/或可以用于确定分接信号的频率(f_{TS})。在一些实例中,指示符信号是具有与分接信号的频率(f_{TS})相关的一个或多个特性的模拟信号。在一些实例中,指示符信号是数字信号,其量化分接信号的频率(f_{TS}),与分接信号的频率(f_{TS})相关,或者可以用于量化分接信号的频率(f_{TS})。因为系统输出信号和分接信号表示出射LIDAR信号的部分,所以分接信号的频率(f_{TS})可以表示出射LIDAR信号和/或系统输出信号的频率值。

[0112] 指示符信号可以由光控制组件322接收。光控制组件322可以响应于指示符信号来控制光源。例如,可以在控制架构中控制光源,其中分接信号的频率(f_{TS})用作控制过程变量。当过程变量是分接信号的频率时,LIDAR输出信号的期望频率用作参考变量。因为LIDAR输出信号的频率被调制,所以由分接信号表示的LIDAR输入信号的期望频率作为时间的函数而变化。对于三角调制,图5C可以表示所期望波形的示例。如从图5C清楚的,分接信号的频率是时间的线性函数。因此,控制机构可以控制光源,使得分接信号的频率基本上维持期望的波形。合适的控制机构包括但不限于利用反馈控制和/或前馈控制的控制架构。因此,控制机构可以是反馈控制回路。

[0113] 光控制组件322可以响应于由特定时间点的控制过程变量的值和同一时间点的参考变量的值确定的误差信号的值,控制分接信号的特性,并相应地控制出射LIDAR信号和/或系统输出信号的特性。例如,光控制组件322可以控制分接信号的特性,以便减小误差信号的值。作为示例,光控制组件322可以控制分接信号的特性,使得控制过程变量的值朝着参考变量的值移动。在一些实例中,控制机构是控制回路,例如反馈控制回路。当控制机构是反馈控制回路时,控制机构的误差信号可以等于在特定时间点控制过程变量的值和参考变量的值之间的差。

[0114] 当过程变量是分接信号的频率时,光控制组件322可以传输调谐分接信号频率的光控制信号。例如,光控制组件322可以通过传输改变通过光源的电流电平的光控制信号来调谐分接信号的频率。其他灯光控制信号是可能的。例如,当光源是静电MEMS可调谐激光器时,光控制组件322可以通过传输改变移动MEMS可调激光器的MEMS切面的电压电平的光控制信号来调谐分接信号的频率。

[0115] 在一些实例中,光控制组件322和/或过程变量识别组件320实际量化分接信号(f_{TS});然而,这种量化不是必需的。例如,当指示符信号是包括与分接信号(f_{TS})相关的特性的模拟信号时,可以直接从指示符信号导出光控制信号,而不实际量化分接信号的频率(f_{TS})。例如,控制信号可以是指示符信号和/或下面讨论的变换信号的一对一函数。作为示例,控制信号可以是瞬时频率的一对一函数。

[0116] 图6C在同一时间轴上图示了光学过程变量信号和/或过程变量信号的同相和正交分量的振幅与系统输出信号的频率。例如,图6C可以将图5C所示的前两个数据时段期间系统输出信号的频率与光学过程变量信号和/或过程变量信号的同相和正交分量的变化进行比较。尽管图6C图示了每个数据时段只有一个时段的光学过程变量信号和/或过程变量信号,但光学过程变量信号和/或过程变量信号可以每个数据时段具有不止一个时段。

[0117] 各种过程变量识别组件320可用于确定过程变量指示符的值。图6D图示了过程变量识别组件320的一个示例,其适于当过程变量是分接信号、出射LIDAR信号和/或系统输出信号的频率时使用。所示的过程变量识别组件320包括本地振荡器324,其输出包括第一本地信号和第二本地信号的本地信号。第一本地信号和第二本地信号各自运送从本地信号的同相分量和本地信号的正交分量组成的组中选择的分量中的不同分量。

[0118] 过程变量识别组件320还包括第一乘法器326,其接收第一过程变量信号和第一本地信号。第一乘法器326将第一过程变量信号与第一本地信号相乘。当第一过程变量信号运送过程变量信号的同相分量时,第一本地信号运送本地信号的正交分量。当第一过程变量信号运送过程变量信号的正交分量时,第一本地信号运送本地信号的同相分量。第一乘法器326输出第一相乘信号。

[0119] 过程变量识别组件320还包括接收第二过程变量信号和第二本地信号的第二乘法器328。第二乘法器328将第二过程变量信号与第二本地信号相乘。当第二过程变量信号运送过程变量信号的同相分量时,第二本地信号运送本地信号的正交分量。当第二过程变量信号运送过程变量信号的正交分量时,第二本地信号运送本地信号的同相分量。第二乘法器326输出第二相乘信号。

[0120] 过程变量识别组件320包括加法器330,其接收第一相乘信号和第二相乘信号。加法器330将第一相乘信号和第二相乘信号相加,并输出控制信号。

[0121] 控制信号在过程变量估计器334处被接收。过程变量估计器334使用控制信号来输出具有与分接信号的频率(f_{TS})相关的一个或多个特性的指示符信号。例如,过程变量估计器334可以是时间数字转换器(TDC),其输出具有与分接信号的频率(f_{TS})相关的电压的指示符信号。在一些实例中,时间数字转换器(TDC)输出电压与分接信号的频率(f_{TS})成比例的指示符信号。指示符信号可以由光控制组件322接收,以用于控制光源的频率。

[0122] 合适的过程变量估计器334的另一个示例是频率计数器,其输出指示控制信号的基线交叉(dn)之间的时间的指示符信号。为分接信号确定的频率(f_{TS})可以通过等式1与基线交叉(dn)之间的时间相关: $f_{TS} = f_{LO} - 1 / (2 * dn)$,其中 f_{LO} 表示本地振荡器的频率。过程变量估计器334可以输出指示符信号,该指示符信号运送指示为分接信号确定的频率(f_{TS})的值的的数据。指示符信号可以由光控制组件322接收,以用于控制光源的频率。

[0123] 选择本地信号使得控制信号的频率高于过程变量信号的频率。控制信号的增加的频率增加了过程变量可以被精确采样的频率。增加该采样频率提供了控制机构对过程变量的更精确的控制。结果,控制信号的增加的频率增强了控制机构对过程变量的控制。合适的采样频率包括但不限于是调制频率100倍的采样频率,其中调制频率为 $1 / (\text{周期持续时间})$ 。在一些实例中,每个周期中的所有或部分数据时段具有每个数据时段持续时间超过30次或100次的采样频率。在一些实例中,本地信号被选择为使得控制信号的频率是过程变量信号的频率的100倍以上且小于10000倍。

[0124] 图6E图示了合适的过程变量识别组件320的另一个示例,其适于当过程变量是分接信号、出射LIDAR信号和/或系统输出信号的频率时使用。过程变量识别组件320包括从加法器330接收控制信号的模数转换器(ADC)340。模数转换器(ADC)340将第一过程变量信号从模拟形式转换为数字形式,并输出数字数据信号。数字数据信号是控制信号的数字表示。

[0125] 过程变量识别组件320包括接收数字数据信号的变换组件342。变换组件342对数字数据信号执行数学变换。选择数学变换使得变换组件342输出与LIDAR输出信号的频率相关、包括或指示该频率的变换信号。合适的第一数学变换包括但不限于希尔伯特变换。希尔伯特变换输出指示控制信号的瞬时相位并因此指示控制信号的频率的变换信号。

[0126] 变换信号由频率估计器344接收。频率估计器可以被配置为输出与LIDAR输出信号的频率相关、包括和/或指示该频率的指示符信号。例如,频率估计器可以通过 $f_{TS} = (f_{inst} - f_{LO}) * (T/\tau)$ 将瞬时频率转换为分接信号的频率(f_{TS}),其中 f_{LO} 是本地振荡器的频率, f_{inst} 是从希尔伯特变换中提取的瞬时频率, T 是三角调制方案中数据时段的持续时间,并且 τ 是由延迟波导272和加速波导276之间的长度差引起的延迟。因此,指示符信号可以是量化分接信号的频率(f_{TS})的数字信号。指示符信号可以由光控制组件322接收,以用于控制光源的频率。

[0127] 尽管在运送关于分接信号频率的数据的信号上下文中描述了指示符信号,但是指示符信号可以运送与分接信号的频率间接相关的数据。例如,指示符信号可以运送可用于确定分接信号的频率的数据。作为示例,分接信号的频率(f_{TS})可以根据分接信号的相位变化率来确定。因此,指示符信号可以运送指示分接信号的相位变化率的数据。

[0128] 过程变量识别组件320减少了需要由延迟波导272产生的延迟量,因为它通过在任何给定时间组合来自同相和正交分量的信息增加了指示符信号对于分接信号的频率的灵敏度。现有系统试图通过增加延迟波导272的长度来增加这种灵敏度。由于过程变量识别组件320增加了指示符信号的灵敏度,与现有系统中可能实现的相比,延迟波导276的长度可以超过加速波导276的长度较小的量。例如,延迟波导272中的时延可以超过加速波导276中的时延大于或等于50ps且小于或等于100ns的量。在一个示例中,延迟波导272的长度超过加速波导276的长度小于1000cm、小于500cm或小于100cm且大于0.0cm或0.4cm的量。在一个示例中,延迟波导272和加速波导276引导光通过硅,并且延迟波导276的长度超过加速波导272的长度小于1000cm且大于0.0cm或0.4cm的量。

[0129] 用于LIDAR芯片的合适平台包括但不限于二氧化硅、磷化铟和绝缘体上硅晶片。图7是由绝缘体上硅晶片构造的芯片部分的横截面。绝缘体上硅(SOI)晶片包括衬底312和光传输介质314之间的掩埋层310。在绝缘体上硅晶片中,掩埋层310是二氧化硅,而衬底312和光传输介质314是硅。诸如SOI晶片的光学平台的衬底312可以用作整个LIDAR芯片的基底。例如,图1A至图1C的LIDAR芯片上所示的光学组件可以定位于衬底312的顶侧和/或横向侧上或上方。

[0130] 图7是包括波导构造的LIDAR芯片的一部分的横截面,该波导构造适用于由绝缘体上硅晶片构造的LIDAR芯片。光传输介质的脊316远离光传输介质中的平板区318延伸。光信号被限制在脊316的顶部和掩埋氧化物层310之间。

[0131] 脊波导的尺寸标注在图7中。例如,脊具有标注为 w 的宽度和标注为 h 的高度。平板区的厚度标注为 T 。对于LIDAR应用,这些尺寸可能比其他尺寸更重要,因为需要使用比其他

应用中使用的更高水平的光学功率。脊宽度(标注为 w)大于 $1\mu\text{m}$ 且小于 $4\mu\text{m}$ 、脊高度(标注为 h)大于 $1\mu\text{m}$ 且小于 $4\mu\text{m}$ 、平板区厚度大于 $0.5\mu\text{m}$ 且小于 $3\mu\text{m}$ 、这些尺寸可适用于波导的直的或基本直的部分、波导的弯曲部分和(一个或多个)波导的锥形部分。因此,波导的这些部分将是单模的。然而,在一些实例中,这些尺寸适用于波导的直的或基本直的部分。附加地或替代地,波导的弯曲部分可以具有减小的平板厚度,以便减小波导的弯曲部分中的光学损耗。例如,波导的弯曲部分可以具有脊,该脊从厚度大于或等于 $0.0\mu\text{m}$ 且小于 $0.5\mu\text{m}$ 的平板区延伸离开。虽然上述尺寸通常将提供具有单模构造的波导的直的或基本直的部分,但它们可以产生多模的(一个或多个)锥形区段和/或(一个或多个)弯曲区段。多模几何形状与单模几何形状之间的耦合可以使用基本上不激励较高阶模的锥度来完成。因此,波导可以被构造使得即使在具有多模尺寸的波导区段中运送时,波导中运送的信号也以单模运送。图7上下文中公开的波导构造适于根据图1A至图1C构造的LIDAR芯片上的所有或部分波导。

[0132] 与LIDAR芯片上的波导对接的光传感器可以是与芯片分开并且然后附着到芯片的组件。例如,光传感器可以是光电二极管或雪崩光电二极管。合适的光传感器组件的示例包括但不限于由位于日本滨松市的滨松制造的InGaAs PIN光电二极管,或由位于日本滨松市的滨松制造的InGaAs APD(雪崩光电二极管)。这些光传感器可以位于LIDAR芯片的中央。可替代地,终止于光传感器的波导的全部或一部分可以终止于位于芯片边缘的切面,并且光传感器可以在切面上方附着到芯片的边缘,使得光传感器接收穿过切面的光。作为与芯片分开的组件的光传感器的使用适合于从由第一辅助光传感器218、第二辅助光传感器220、第一光传感器223和第二光传感器224组成的组中选择的所有或部分光传感器。

[0133] 替代作为单独组件的光传感器,所有或部分光传感器可以与芯片集成。例如,在由绝缘体上硅晶片构造的芯片上与脊波导对接的光传感器的示例可以在以下文献中找到: Optics Express Vol. 15, No. 21, 13965-13971 (2007); 2012年1月10日发布的美国专利号8,093,080; 2012年8月14日发布的美国专利号8,242,432; 以及2000年8月22日发布的美国专利号6,108,8472,每篇文献在其整体上并入本文。与芯片集成的光传感器的使用适合于从由辅助光传感器218、第二辅助光传感器220、第一光传感器223和第二光传感器224组成的组中选择的所有或部分光传感器。

[0134] 与效用波导12对接的光源4可以是激光芯片,其与LIDAR芯片分开并且然后附着到LIDAR芯片。例如,光源4可以是使用倒装芯片布置附着到芯片的激光芯片。当光源4要与由绝缘体上硅晶片构造的芯片上的脊波导对接时,使用倒装芯片布置是合适的。可替代地,效用波导12可以包括诸如布拉格光栅的光学光栅(未示出),其用作外腔激光器的反射器。在这些实例中,光源4可以包括增益元件,该增益元件与LIDAR芯片分开,并且然后以倒装芯片布置附着到LIDAR芯片。在2017年7月11日发布的美国专利号9,705,278和1999年11月23日发布的美国专利号5,991,484中可以找到由绝缘体上硅晶片构造的芯片上倒装增益元件和脊波导之间的合适接口示例;每个专利在其整体上并入本文。当光源4是增益元件或激光芯片时,电子设备32可以通过改变通过增益元件或激光腔施加的电流电平来改变出射LIDAR信号的频率。

[0135] 合适的电子设备32可以包括但不限于电子控制器,该电子控制器包括模拟电路、数字电路、处理器、微处理器、数字信号处理器(DSP)、现场可编程门阵列(FPGA)、计算机、微型计算机或适合于执行上文描述的操作、监视和控制功能的组合,或者由其组成。在一些实

例中,电子控制器可以访问存储器,该存储器包括在执行操作、控制和监视功能期间由电子控制器执行的指令。尽管电子设备被图示为单个位置中的单个组件,但是电子设备可以包括彼此独立和/或放置在不同位置的多个不同组件。此外,如上所述,所公开的电子设备的全部或一部分可以包括在芯片上,所述芯片包括与该芯片集成的电子设备。

[0136] 上述LIDAR系统包括多个光学组件,诸如LIDAR芯片、LIDAR适配器、光源、光传感器、波导和放大器。在一些实例中,除了所示的光学组件之外或者作为所示光学组件的替代,LIDAR系统包括一个或多个无源光学组件。无源光学组件可以是排除了移动部件的固态组件。合适的无源光学组件包括但不限于透镜、反射镜、光学光栅、反射表面、分路器、解复用器、多路复用器、偏振器、偏振分路器和偏振旋转器。在一些实例中,除了所示的光学组件之外或者作为所示光学组件的替代,LIDAR系统包括一个或多个有源光学组件。合适的有源光学组件包括但不限于光学开关、相位调谐器、衰减器、可转向反射镜、可转向透镜、可调谐解复用器、可调谐多路复用器。

[0137] 鉴于这些教导,本发明的其他实施例、组合和修改对于本领域普通技术人员来说将容易发生。因此,本发明仅受所附权利要求的限制,当结合上述说明书和附图查看时,这些权利要求包括所有这样的实施例和修改。

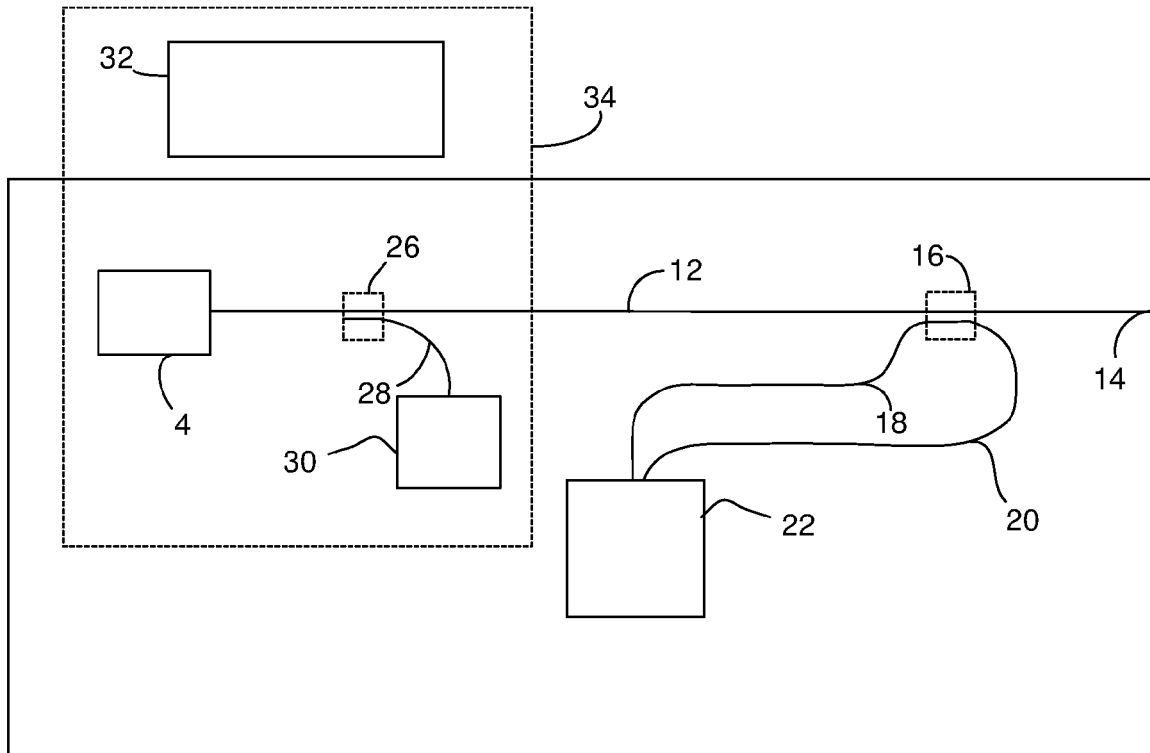


图 1A

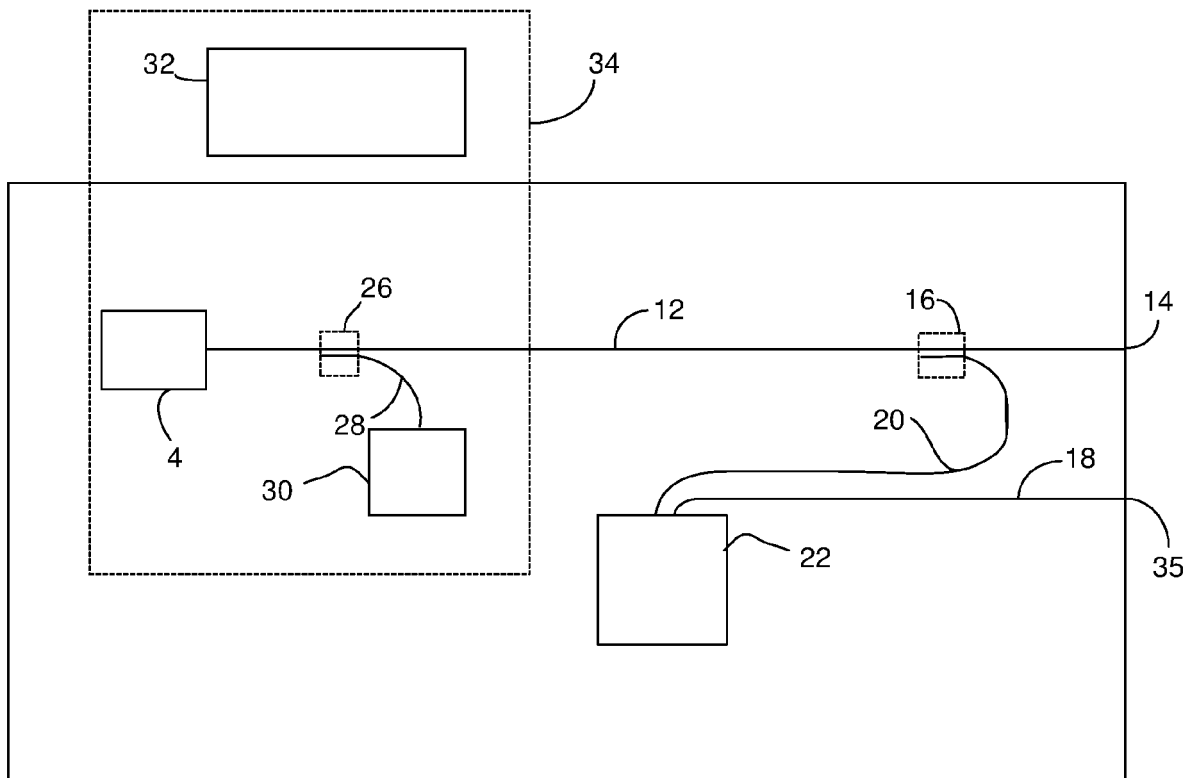


图 1B

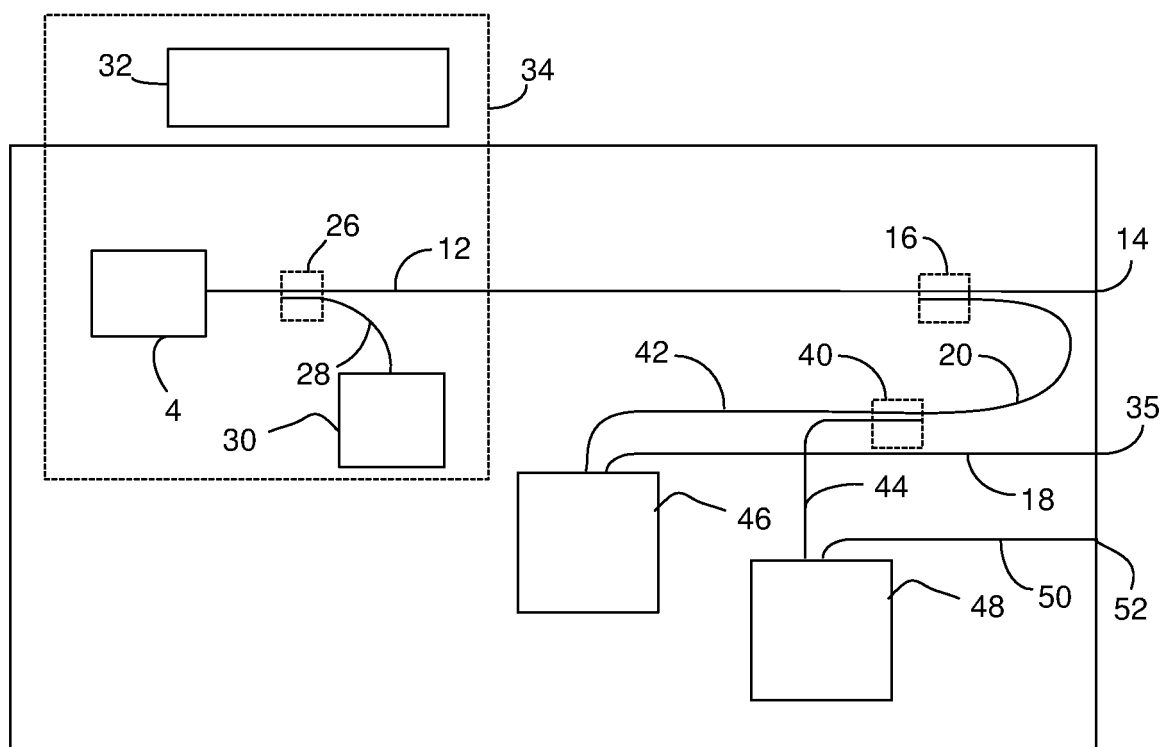


图 1C

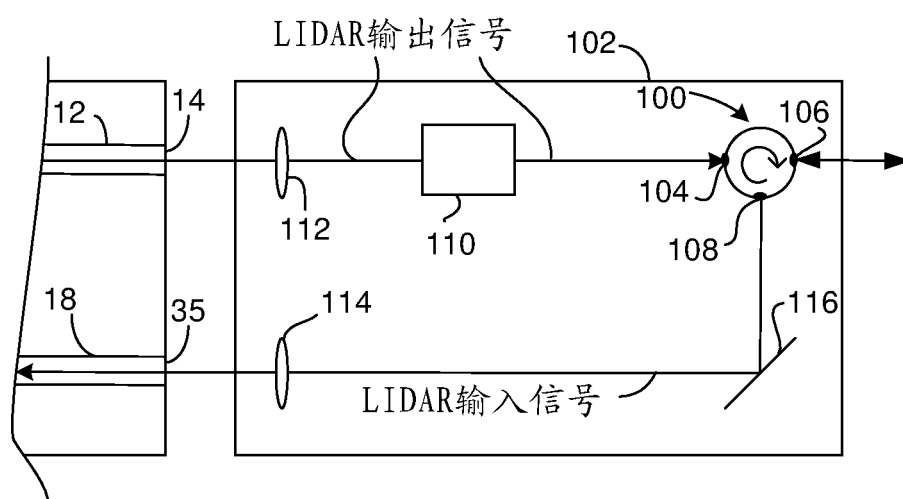


图 2

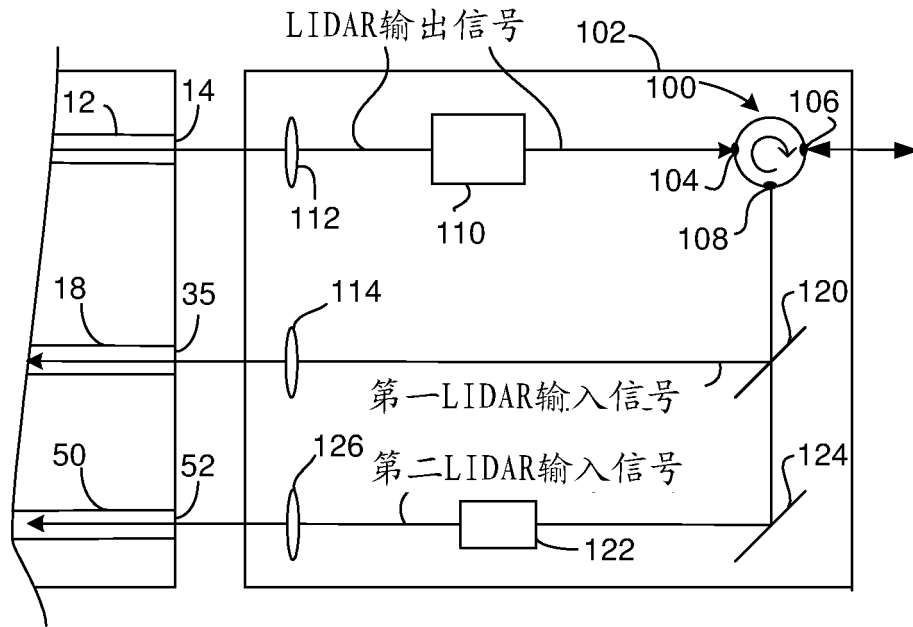


图 3

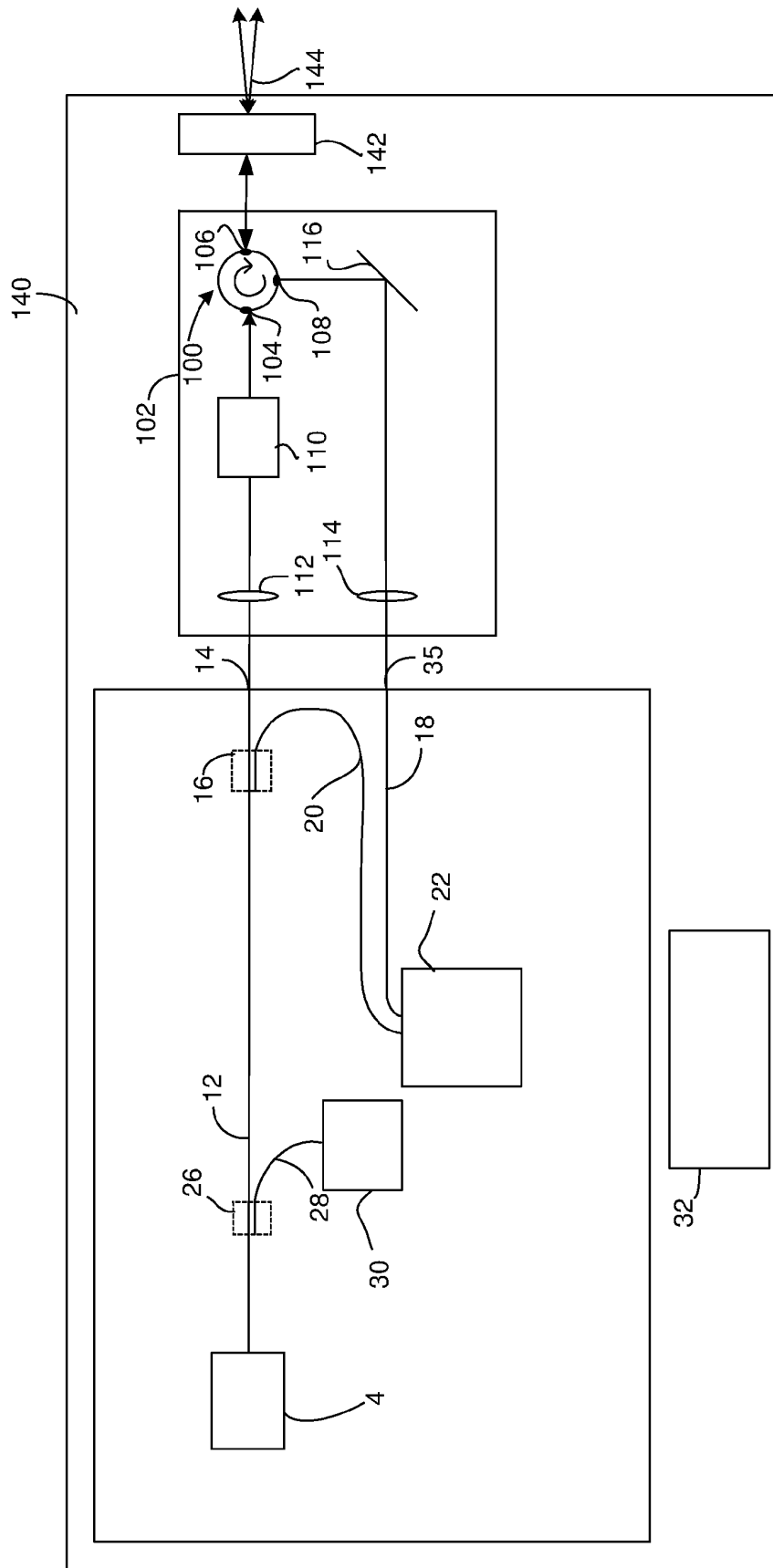


图 4

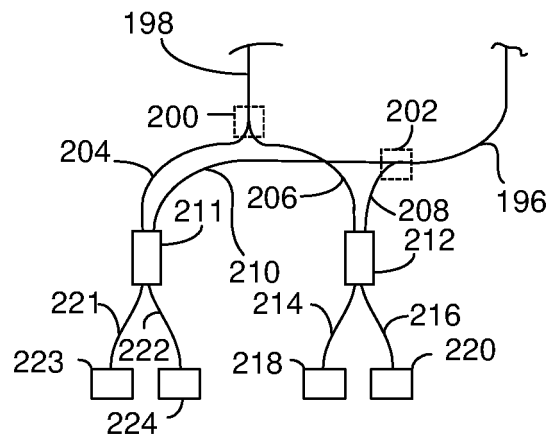


图 5A

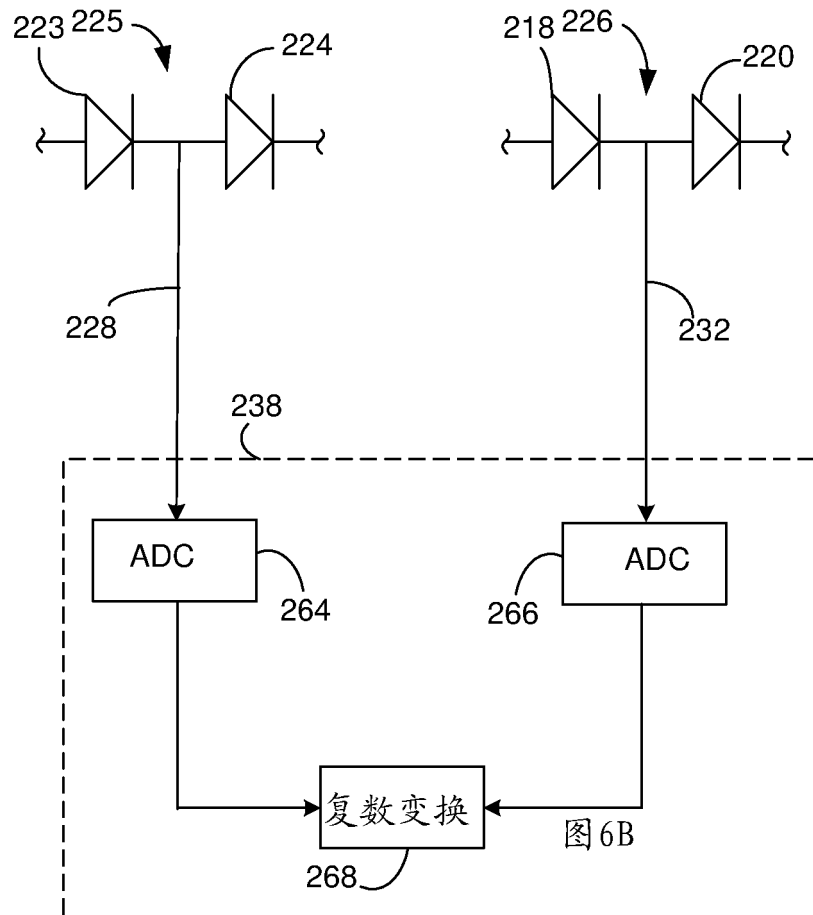


图 5B

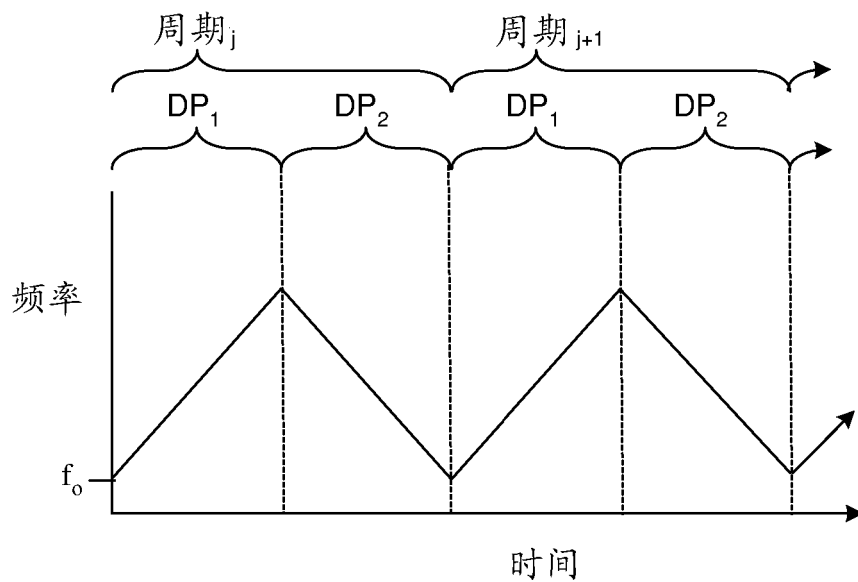


图 5C

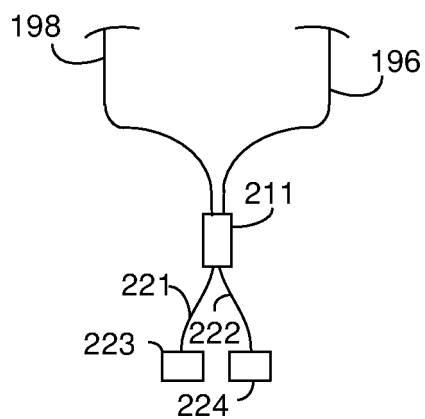


图 5D

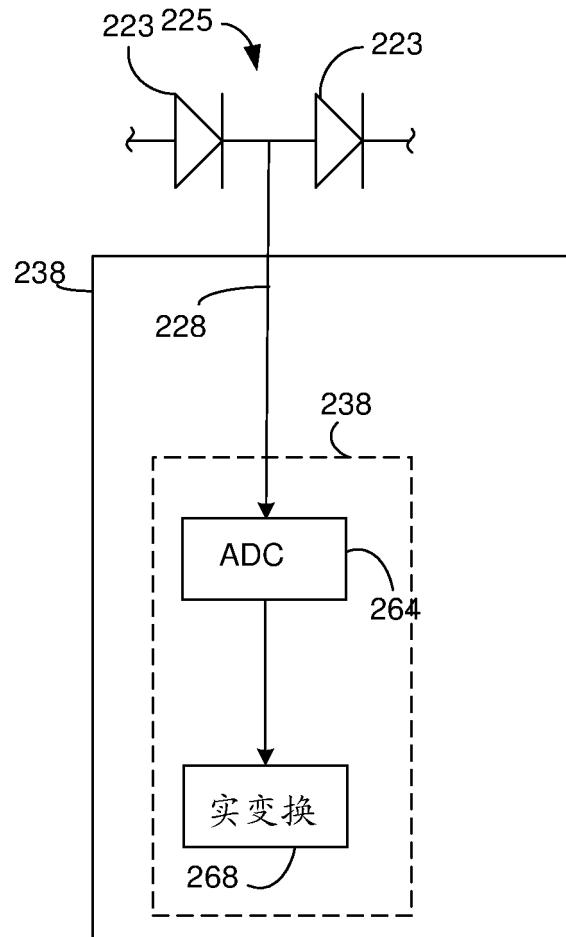


图 5E

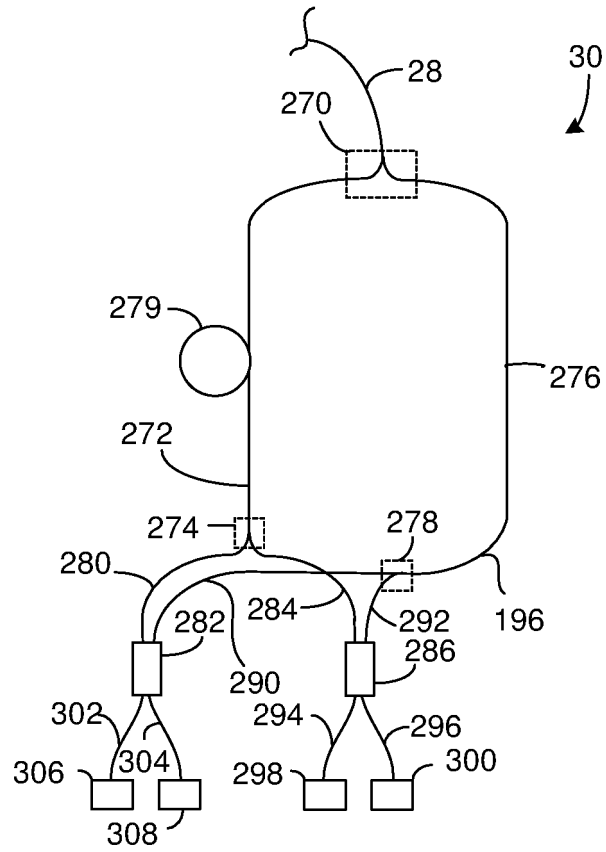


图 6A

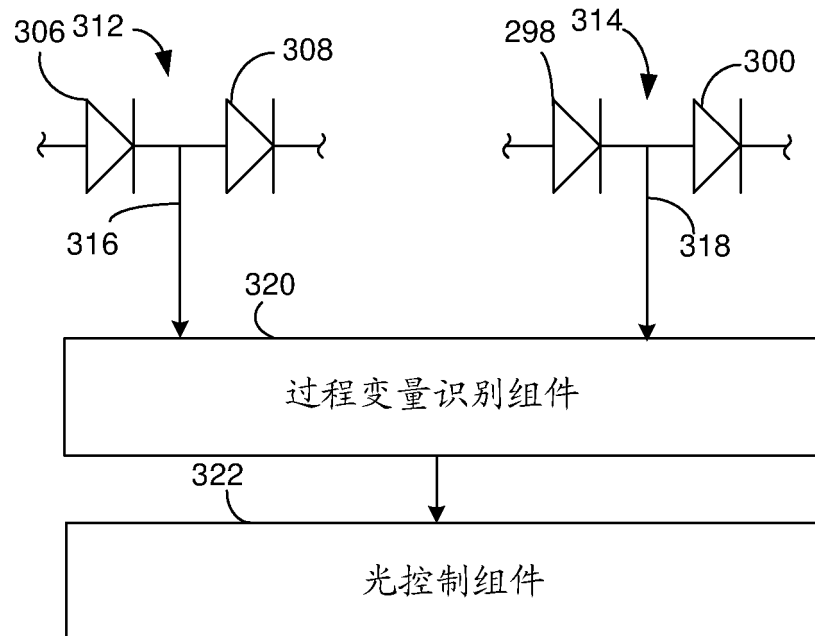


图 6B

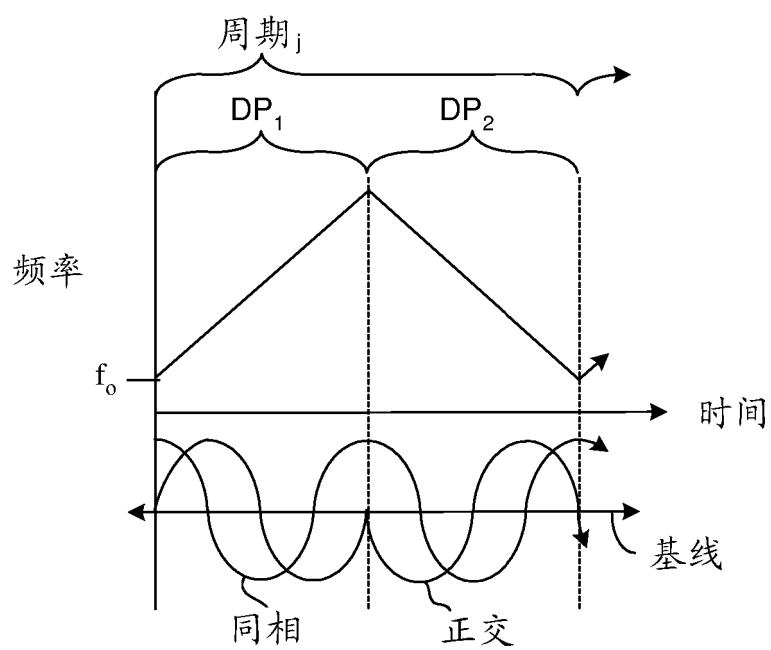


图 6C

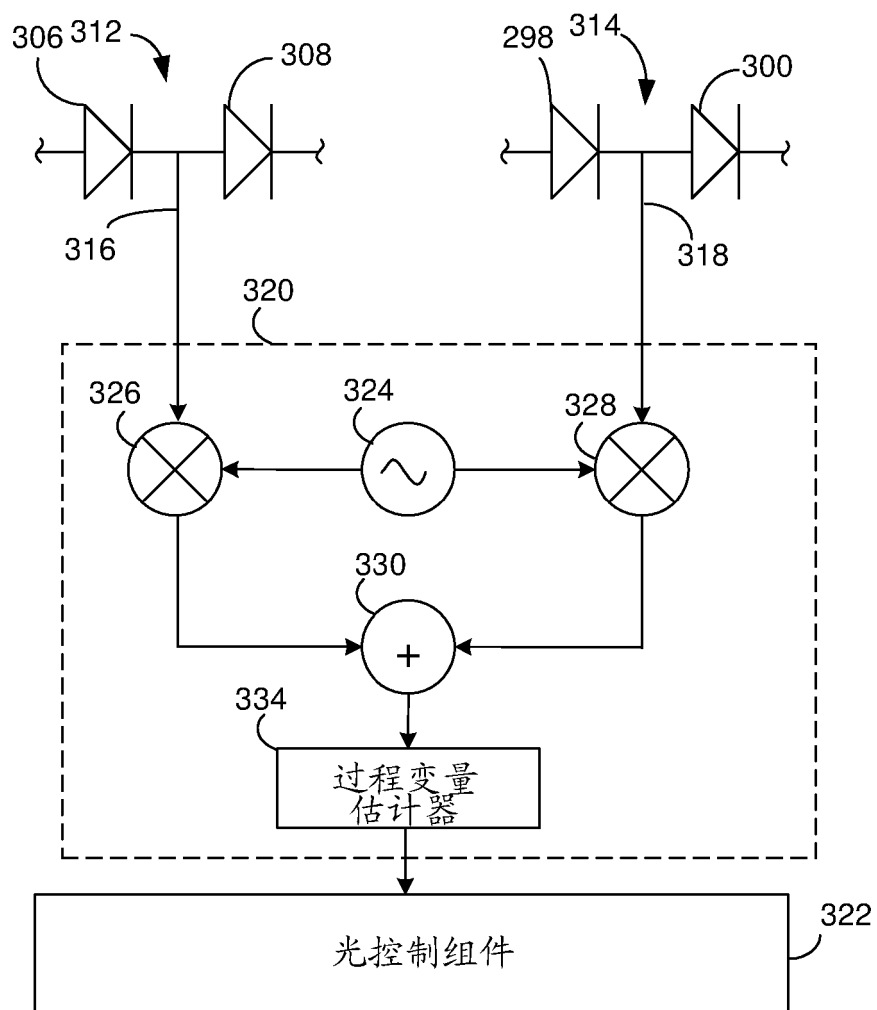


图 6D

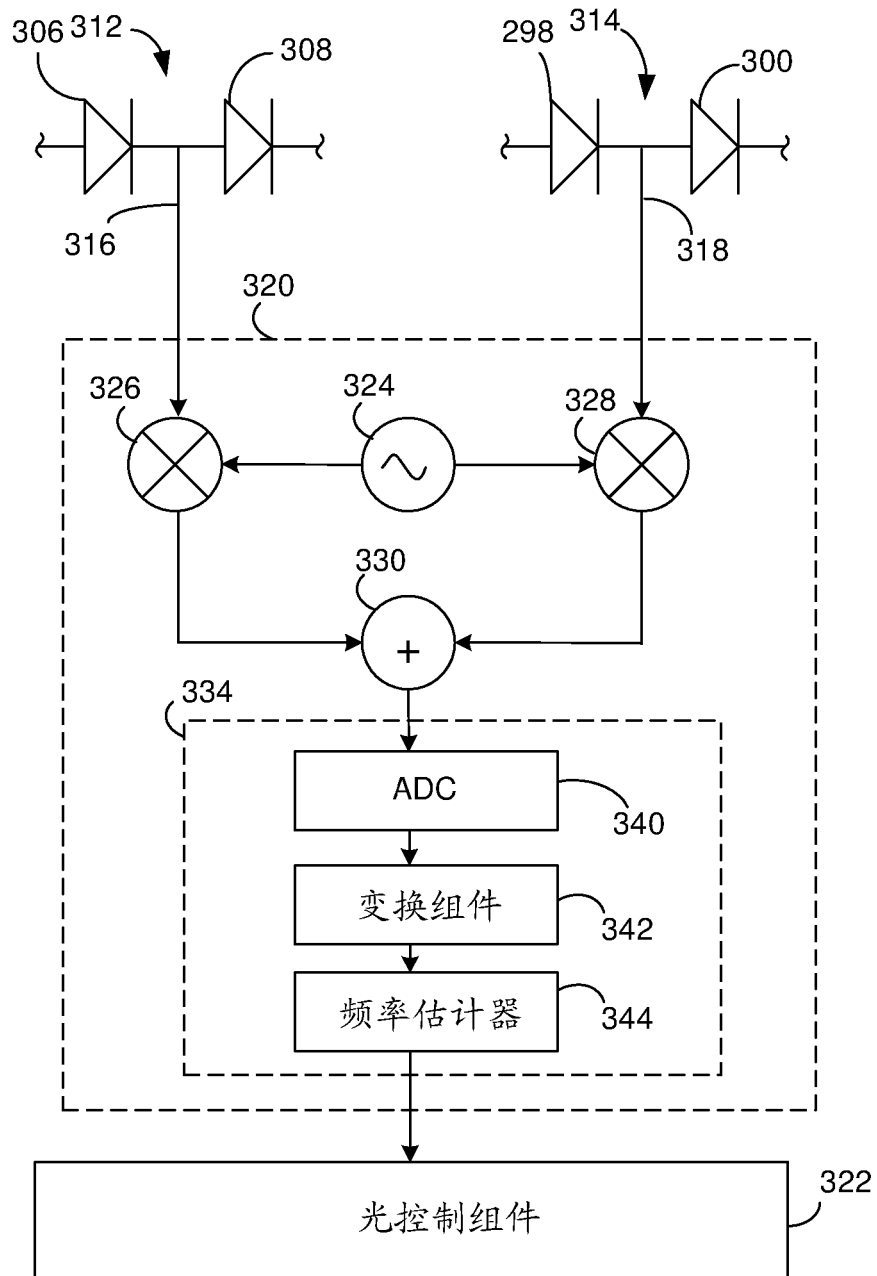


图 6E

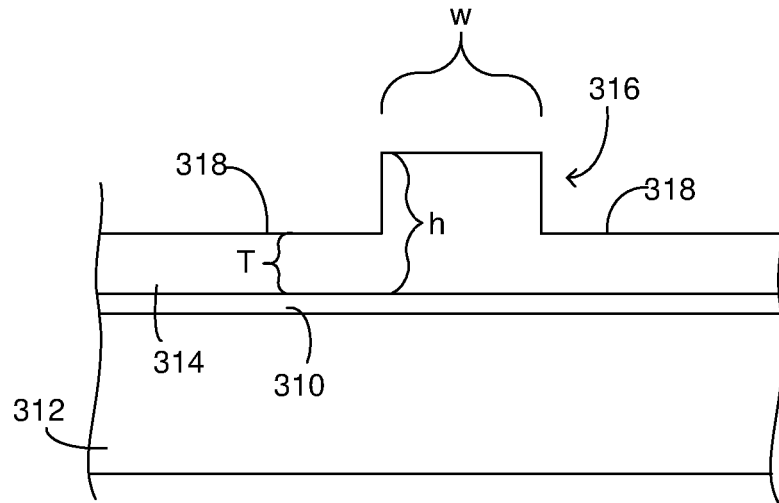


图 7