



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114729965 A

(43) 申请公布日 2022. 07. 08

(21) 申请号 202080082869.9

(22) 申请日 2020.11.05

(30) 优先权数据

62/930,681 2019.11.05 US

63/057,572 2020.07.28 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2022.05.30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2020/059086 2020.11.05

(87) PCT国际申请的公布数据

W02021/092156 EN 2021.05.14

(71) 申请人 佐治亚技术研究公司

地址 美国佐治亚

(72) 发明人 S·J·瓦鲁杰斯 S·E·拉尔夫

(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 汪晶晶

(51) Int.Cl.

G01R 31/317 (2006.01)

权利要求书3页 说明书13页 附图9页

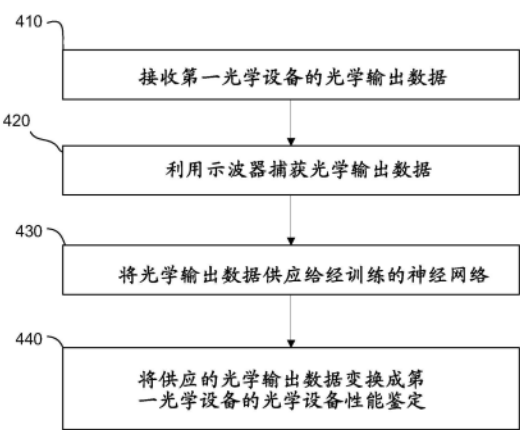
(54) 发明名称

用于处理光学部件的设备、系统和方法

(57) 摘要

一种方法,包括:接收光学设备的光学输出数据;将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该经训练的神经网络被配置为将光学输出数据变换成光学性能度量;以及执行经训练的神经网络,以将供应的光学输出数据变换成光学设备的光学性能度量。

400



1. 一种方法,包括:
接收光学设备的光学输出数据;
将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该经训练的神经网络被配置为将光学输出数据转换成光学性能度量;以及
执行经训练的神经网络,以将供应的光学输出数据转换成所述光学设备的光学性能度量。
2. 如权利要求1所述的方法,其中第一光学设备包括光学发射器。
3. 如权利要求1所述的方法,其中所述性能度量与附接到所述光学设备的光通信系统相关。
4. 如权利要求1所述的方法,其中所述性能度量与发射和色散眼图闭合四相(TDECQ)代价方法相关。
5. 如权利要求1所述的方法,其中所述光学设备是光学接收器。
6. 如权利要求1所述的方法,其中所述光学输出数据包括所述光学设备的输出的波形。
7. 如权利要求1所述的方法,其中所述光学输出数据包括从所述光学设备的输出的波形生成的眼图,所述眼图被供应给所述经训练的神经网络。
8. 如权利要求7所述的方法,还包括:
接收所述光学设备的输出的波形;以及
对波形进行预处理,以将波形转换成眼图。
9. 如权利要求1所述的方法,其中所述经训练的神经网络包括卷积神经网络。
10. 如权利要求9所述的方法,其中所述卷积神经网络包括:
被配置为执行卷积滤波的多个提取层,所述光学输出数据被馈送到第一提取层,并且后续提取层的输入是先前提取层的输出。
11. 如权利要求9所述的方法,其中所述卷积神经网络包括:
具有卷积滤波器和池化层的输入提取层,所述光学输出数据被馈送到所述输入提取层;
具有卷积滤波器和池化层的第二提取层,所述输入提取层的输出被馈送到所述第二提取层;以及
具有卷积滤波器和池化层的第三提取层,所述第二提取层的输出被馈送到所述第三提取层。
12. 如权利要求11所述的方法,其中所述池化层是最大池化层。
13. 如权利要求1所述的方法,其中所述经训练的神经网络包括二维卷积神经网络。
14. 如权利要求1所述的方法,其中所述经训练的神经网络包括一维卷积神经网络。
15. 如权利要求1所述的方法,还包括使用测试和测量设备捕获所述光学输出数据。
16. 如权利要求15所述的方法,其中所述测试和测量设备包括实时范围。
17. 如权利要求15所述的方法,其中所述测试和测量设备包括等效时间范围。
18. 如权利要求1所述的方法,其中捕获所述光学输出数据包括:
将初始信号输出到所述光学设备中,所述初始信号通过所述光学设备发射;以及
从所述光学设备读取所发射的信号。
19. 如权利要求18所述的方法,其中

- 所述初始信号是初始模拟信号并且所述读取信号是读取模拟信号,以及
所述方法还包括:
变换初始数字信号以生成所述初始模拟信号;以及
将所述读取模拟信号变换成读取数字信号。
20. 如权利要求18所述的方法,其中所述初始信号是固定的。
21. 如权利要求18所述的方法,其中所述初始信号是可变的。
22. 如权利要求21所述的方法,其中捕获所述光学输出数据还包括将所述初始信号与
所述读取信号进行比较。
23. 一种制造光学评估系统的方法,所述方法包括:
从一个或多个代表性设备或系统生成多个光学波形;
评估所述多个光学波形以确定所述一个或多个代表性设备或系统的相应性能鉴定;以
及
操作神经网络以使用所述多个光学波形和相应性能鉴定来训练所述神经网络。
24. 如权利要求23所述的方法,其中生成所述多个光学波形包括:对于所述一个或多个
代表性设备或系统中的每个代表性设备,
将所述代表性设备放置在测试机器中;以及
使用示波器捕获来自所述代表性设备或系统的输出。
25. 如权利要求23所述的方法,其中生成所述多个光学波形包括创建与一个或多个虚
拟代表性设备或系统对应的合成波形。
26. 如权利要求25所述的方法,其中创建合成波形包括:
对所述一个或多个虚拟代表性设备建模;以及
基于建模的设备创建多个波形。
27. 如权利要求25所述的方法,还包括:
控制激光器输出信号;
用调制器处理该信号;以及
用示波器捕获经调制的信号作为合成波形。
28. 如权利要求27所述的方法,其中所述调制器基于波形发生器的输出被修改。
29. 如权利要求28所述的方法,还包括调整所述调制器的功率单元以生成多个不同的
波形。
30. 如权利要求27所述的方法,还包括跨经调制的信号实现滤波器。
31. 如权利要求30所述的方法,还包括调整所述滤波器的带宽以生成多个不同的波形。
32. 一种测试设备,包括:
发射器,被配置为向光学设备输出初始信号,所述光学设备被配置为传输所述初始信
号;
输入端,被配置为从所述光学设备接收传输的信号;
至少一个处理器;以及
存储器,其上存储有指令,所述指令在由所述至少一个处理器执行时,控制所述至少一
个处理器:
基于传输的信号生成所述光学设备的光学输出数据;

将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该经训练的神经网络被配置为将光学输出数据变换成光学性能度量;以及

执行经训练的神经网络,以将供应的光学输出数据变换成光学设备的光学性能度量鉴定。

33.如权利要求32所述的系统,其中所述光学设备包括光学发射器。

34.如权利要求32所述的系统,其中所述性能度量与附接到所述光学设备的光通信系统相关。

35.如权利要求32所述的系统,其中所述性能度量与发射和色散眼图闭合四相(TDECQ)代价方法相关。

36.如权利要求32所述的系统,其中所述光学设备是光学接收器。

37.如权利要求32所述的系统,其中所述光学输出数据包括所述光学设备的输出的波形。

38.如权利要求32所述的系统,其中所述光学输出数据包括从所述光学设备的输出的波形生成的眼图,所述眼图被供应给所述经训练的神经网络。

39.如权利要求38所述的系统,其中所述指令进一步控制所述至少一个处理器:

生成所述光学设备的输出的波形;以及

对波形进行预处理,以将波形变换成眼图。

40.如权利要求32所述的系统,其中所述经训练的神经网络包括卷积神经网络。

41.如权利要求40所述的系统,其中所述卷积神经网络包括:

被配置为执行卷积滤波的多个提取层,所述光学输出数据被馈送到提取层,并且后续提取层的输入是先前提取层的输出。

42.如权利要求40所述的系统,其中所述卷积神经网络包括:

具有卷积滤波器和池化层的输入提取层,所述光学输出数据被馈送到所述输入提取层;

具有卷积滤波器和池化层的第二提取层,所述输入提取层的输出被馈送到所述第二提取层;以及

具有卷积滤波器和池化层的第三提取层,所述第二提取层的输出被馈送到所述第三提取层。

43.如权利要求42所述的系统,其中所述池化层是最大池化层。

44.如权利要求32所述的系统,其中所述经训练的神经网络包括二维卷积神经网络。

45.如权利要求32所述的系统,其中所述经训练的神经网络包括一维卷积神经网络。

46.如权利要求32所述的系统,其中所述输入包括实时范围。

47.如权利要求32所述的系统,其中所述输入包括等效时间范围。

48.如权利要求32所述的系统,其中所述初始信号是固定的。

49.如权利要求32所述的系统,其中所述初始信号是可变的。

50.如权利要求49所述的系统,其中捕获所述光学输出数据还包括将所述初始信号与传输的信号进行比较。

用于处理光学部件的设备、系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2019年11月5日提交的美国临时申请No.62/930,681和于2020年7月28日提交的美国临时申请No.63/057,572的权益,其全部内容通过引用并入本文,就像在下文中完整阐述一样。

技术领域

[0003] 用于处理光学部件和用于评估光学部件的质量的设备、系统和方法。

背景技术

[0004] 光学部件可以用于光学系统,以可预测和期望的方式控制光的状态,并检测这些改变的状态。例如,光学部件通常用于以高速度生成和发射信号(例如,数据信号),并且还用于以高速率接收和检测光学信号,从而实现高数据容量的光通信系统。光学部件可以通过反射、折射、衍射、吸收等方式与光相互作用。

[0005] 光学部件的发展,诸如生成和检测代表高阶调制格式的复杂光学波形的能力,已经实现了具有更高吞吐量的更高容量的光通信链路。这些部件是数据中心网络、WDM光纤网络和类似应用的关键赋能因素。因此,随着光学部件的使用不断增加,以及生成的或检测到的光学波形的日益复杂,确保部件质量的需求也不断增加。

[0006] 例如,在相关技术中,发射和色散眼图闭合四相(TDECQ)代价方法用于对光学发射器(例如,5级脉冲振幅调制或“PAM-4”发射器)进行鉴定。PAM-4光学系统可以在接收器处实现信号处理方法,因此TDECQ是一种用于评估独立于接收器的光学发射器性能的统计方法。这些发射器与许多旨在用于光纤光通信系统的发射器一样,必须发射足够质量的波形,以便具有动态信号处理的对应接收器可以形成具有指定性能的通信链路。标准化的TDECQ方法以参考前馈均衡器(FFE)的形式在数值上实现信号处理,旨在减轻整个链路中出现的损伤,包括与发射器、光学通道和参考接收器相关联的损伤。使用此测试方法的发射器必须满足指定的性能标准。但是,虽然TDECQ是光学发射器的有用品质因数,但它是计算密集型迭代处理,因此计算TDECQ值所需的时间、功耗和存储器是显著的。因此,需要改进的设备、系统和方法来提供改进的光学部件处理以增强制造鉴定工作并确保部署后的性能。

[0007] 相关技术中的第二示例包括光学正交振幅调制(QAM)发射器和接收器。与PAM-4发射器相似之处在于它们生成具有多个振幅的波形,QAM发射器还使用光信号的特定相位来编码数据。因此,这些部件生成和接收振幅和相位都被调制以对数据进行编码的光信号。再次,与PAM-4部件类似,QAM发射器和接收器都可以实现信号处理,以确保生成和接收高质量的波形。这包括处理波形以减轻或消除发射器、光学通道或接收器的损伤的能力。这些光学部件还必须在生产和使用期间使用高效且准确的、考虑实现的动态信号处理的方法进行独立鉴定。因此,需要改进系统和方法来提供旨在用于生成和接收QAM风格信号的光学部件的性能度量。

[0008] 本公开的方面解决了这些和其它考虑。根据本公开的一些方面,设备、系统和方法

可以向计算机系统提供改进的功能来快速和有效地处理和/或评估光学部件。

发明内容

[0009] 根据实施例,提供了一种方法,包括:接收光学设备的光学输出数据;将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该经训练的神经网络被配置为将光学输出数据变换成光学性能度量;以及执行经训练的神经网络,以将供应的光学输出数据变换成光学设备的光学性能度量。

[0010] 根据实施例,提供了一种制造光学评估系统的方法,该方法包括:从一个或多个代表性设备或系统生成多个光学波形;评估多个光学波形以确定一个或多个代表性设备或系统的相应性能鉴定;以及操作神经网络以利用多个光学波形和相应性能鉴定来训练神经网络。

[0011] 根据实施例,提供了一种测试设备,包括:发射器,被配置为向第一光学设备输出初始信号,第一光学设备被配置为发射传输初始信号;输入端,被配置为从第一光学设备接收所发射的传输信号;至少一个处理器;以及存储器,其上存储有指令,该指令在由所述至少一个处理器执行时,控制所述至少一个处理器:将初始信号与发射的信号进行比较以生成光学输出数据;将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该神经网络被配置为将光学输出数据变换成光学设备性能鉴定;以及基于传输的信号生成光学设备的光学输出数据;将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该神经网络被配置为将光学输出数据变换成光学性能度量;以及执行经训练的神经网络,以将供应的光学输出数据变换成第一光学设备的光学设备性能度量鉴定。

附图说明

[0012] 并入且构成本说明书的一部分的附图例示了当前公开的主题的多个实施例并且用于解释当前公开的主题的原理。附图不旨在以任何方式限制当前公开的主题的范围。

[0013] 图1A-图2B是用于实现本公开的方面的示例环境。

[0014] 图3是示例卷积神经网络的图。

[0015] 图4是例示根据本公开的方面的光学部件评估的流程图。

[0016] 图5是例示根据本公开的方面的神经网络训练的流程图。

[0017] 图6是根据本公开的方面的合成波形生成系统。

[0018] 图7是根据本公开的方面的说明性计算机系统体系架构的框图。

具体实施方式

[0019] 虽然详细解释了本公开的某些实施例,但是应该理解的是,其它实施例也是可以考虑的。因而,并不旨在将本公开的范围限制为在以下描述中阐述或在附图中例示的部件的构造和布置的细节。本公开的其它实施例能够以各种方式实践或执行。此外,在描述实施例时,为了清楚起见将使用特定术语。旨在每个术语考虑其如本领域技术人员所理解的最广泛含义并且包括以类似方式操作以实现类似目的的所有技术等同形式。

[0020] 还应该注意的,如在说明书和所附权利要求中使用的,单数形式“一”、“一个”和“该”包括复数引用,除非上下文另有明确规定。对含有“一”成分的组合物的引用旨在包括

除所命名的成分之外的其它成分。

[0021] 范围可以在本文中表达为从“约”或“大约”或“基本上”一个特定值和/或到“约”或“大约”或“基本上”另一个特定值。当表达这样的范围时，其它示例性实施例包括从一个特定值和/或到另一个特定值。

[0022] 在本文中，诸如“具有”、“有”或“包括”之类的术语的使用是开放式的，并且旨在与诸如“包含”之类的术语具有相同的含义并且不排除其它结构、材料或行为的存在。类似地，虽然诸如“能够”或“可以”之类的术语的使用旨在是开放式的并且旨在反映该结构、材料或行为不是必需的，但未使用此类术语并不旨在反映该结构、材料或行为是必要的。就目前认为必要的结构、材料或行为而言，它们被认定为如此。

[0023] 还应理解，提及一个或多个方法步骤并不排除在明确识别的那些步骤之间存在附加的方法步骤或中间方法步骤。此外，虽然术语“步骤”在本文中可以用于表示所采用方法的不同方面，但该术语不应被解释为暗示本文公开的各个步骤当中或之间的任何特定次序，除非明确要求各个步骤的次序。

[0024] 在下文中描述为构成本公开的各种元素的部件旨在是说明性的而不是限制性的。将执行与本文描述的部件相同或相似功能的许多合适部件旨在包含在本公开的范围。本文未描述的此类其它部件可以包括但不限于例如在开发当前公开的主题之后开发的类似部件。

[0025] 为了便于理解本公开的原理和特征，下面解释各种说明性实施例。但是，本公开不限于此，并且可以应用于其它环境。

[0026] 如上所述，光学部件的相关技术评估需要密集的迭代处理。本公开的方面解决了这些和其它考虑。根据本公开的一些方面，设备、系统和方法可以向计算机系统提供改进的功能以快速和有效地处理和/或评估光学部件。例如，本发明的方面利用机器学习将眼图图像或实时波形变换成评估值。在实验中，发明人发现实现本公开的各方面将速度提高了高达1000倍，从而增强了评估系统的操作。

[0027] 下面将参考附图描述本公开的各方面。图1A例示了其中可以实现本公开的方面的示例环境100a。环境100a描绘了用于训练神经网络155a以将光学输出数据（例如，眼图或波形）与部件性能度量相关联的训练系统的框图。环境100a包括在训练环境120a内的参考发射器110a、光学链路114和经校准的光学接收器116。参考发射器110a连接到数据源130的信号数据通道。参考发射器110a输出光学波形，该光学波形经由光学链路114传输到经校准的光学接收器116。经校准的光学接收器116接收光学波形并将其转换成电波形。

[0028] 数据接收器140从经校准的光学接收器116接收电波形，并且数字化和捕获该波形。数据接收器140可以包括模数转换器（A-D）并且可以是例如实时范围或等效时间采样范围。数据接收器140将与光学波形对应的采样波形提供给控制器150，控制器150使用算法确定每个指定接收波形的参数值。波形与确定的参数配对并作为训练样本提供给未经训练的神经网络155a。

[0029] 在一些情况下，控制器150（例如，计算机）可以对波形进行预处理，将其变换成眼图、星座图或表示波形的有用特征的其它形式。控制器150然后将变换后的波形与确定的参数配对并将配对组合作为训练样本提供给神经网络155a。类似地，数据接收器140可以对波形进行预处理，从而将其变换成眼图、星座图或表示波形的有用特征的其它形式。在这

种情况下,变换后的波形(例如,眼图或星座图)可以被提供给控制器150,然后与配对的确
定参数一起作为训练样本被提供给未经训练的神经网络155a。

[0030] 控制器150可以配置数据源130和/或训练环境120a,使得产生代表要测试的发射
器的一系列性能的波形。例如,控制器150可以强制数据源130输出导致参考发射器110a模
拟具有各种应力的实际部件的波形。另外,控制器150可以控制光学链路114和/或经校准的
光学接收器116以模拟通信链路上的各种应力(例如,反射、温度、色散和带宽限制)。

[0031] 光学链路114可以是将参考发射器110a连接到经校准的光学接收器116的短(例
如,标称)光纤长度,但这仅仅是示例。例如,在一些情况下,光学链路114可以是表示发射器
和接收器之间的实际光纤链路的光缆。在一些情况下,光学链路114可以由多模光纤、单模
光纤和/或级联长度的不同类型的光纤组成。光学链路114还可以具有无源和有源部件,包
括例如连接器、开关、放大器和滤波器。在一些情况下,光学链路114可以部分或全部是人工
的,以便更容易地将各种滤波器或其它应力引入到训练环境120a的通信链路中。

[0032] 图1B例示了其中可以实现本公开的各方面的示例环境100b。环境100b描绘了用于
基于被测发射器110b的相关联的光学输出数据(例如,眼图或波形)来评估被测发射器110b
的测试系统的框图。环境100b包括在测试环境120b内的被测发射器110b、光学链路114和经
校准的光学接收器116。参考发射器110b连接到数据源130的信号数据通道。参考发射器
110b输出光学波形,该光学波形经由光学链路114传输到经校准的光学接收器116。经校准
的光学接收器116接收光学波形并将其转换成电波形。

[0033] 数据接收器140从经校准的光学接收器116接收电波形并且数字化和捕获该电波
形。数据接收器140可以包括模数转换器(A-D)并且可以是例如实时范围或等效时间采样范
围。数据接收器140将采样波形提供给控制器150,控制器150将波形提供给经训练的神经网
络155b。经训练的神经网络155b处理波形,从而将其变换以生成被测发射器110b的参数。

[0034] 在一些情况下,控制器150(例如,计算机)可以预处理波形,从而将其变换成眼图、
星座图或表示波形的有用特征的其它形式。控制器150可以将变换后的波形提供给神经网
络155b进行测试,并且神经网络155b可以将输入变换成被测发射器110b的参数。类似地,数
据接收器140可以预处理波形,从而将其变换成眼图、星座图或表示波形的有用特征的其它
形式。在这种情况下,变换后的波形(例如,眼图或星座图)可以被提供给控制器150,然后被
提供给经训练的神经网络155b进行处理。

[0035] 控制器150可以配置数据源130和/或测试环境120b,使得产生代表要测试的发射
器的一系列性能的波形。例如,控制器150可以根据各种测试条件强制数据源130向被测发
射器110b输出应力波形。此外,控制器150可以控制光学链路114和/或经校准的光学接收器
116以模拟通信链路上的各种应力(例如,反射、温度和带宽限制)。

[0036] 光学链路114可以是将参考发射器110b连接到经校准的光学接收器116的短(例
如,标称)光纤长度,但这仅仅是示例。例如,在一些情况下,光学链路114可以是表示发射器
和接收器之间的实际光纤链路的长光缆。在一些情况下,光学链路114可以由多模光纤或单
模光纤组成。光学链路114还可以具有无源和有源部件,包括例如连接器、开关、放大器和滤
波器。在一些情况下,光学链路114可以部分或全部是人工的,以便更容易地将各种应力引
入到测试环境120b的通信链路中。

[0037] 图2A例示了其中可以实现本公开的各方面的示例环境200a。环境200a描绘了用于

训练神经网络155a以将光学输出数据(例如,眼图或波形)与部件性能度量相关联的训练系统的框图。环境200a包括连接到数据源130的信号数据通道的训练环境220a。训练环境220a可以包括通信链路,该通信链路包括一个或多个光学部件以模拟稍后要测试的部件的潜在操作。示例光学部件可以包括以非常高的速率发送、接收或传输数据信号的部件或产品,诸如高速数据通信和电信联网装备,诸如交换机和路由器、包括部件、链路和/或通道的光纤系统、线缆、芯片到芯片通信链路,以及光学发射器、接收器和/或收发器。

[0038] 数据接收器140从训练环境220a接收电波形,并且数字化和捕获该波形。数据接收器140可以包括模数转换器(A-D),并且可以是例如实时范围或等效时间采样范围。数据接收器140将采样波形提供给控制器150,控制器150使用一种或多种算法确定每个指定接收波形的参数值。波形与确定的参数配对并作为训练样本提供给未经训练的神经网络155a。

[0039] 在一些情况下,控制器150(例如,计算机)可以预处理波形,从而将其变换成眼图、星座图或表示波形的有用特征的其它形式。控制器150然后可以将变换后的波形与确定的参数配对并将配对组合作为训练样本提供给神经网络155a。类似地,数据接收器140可以预处理波形,从而将其变换成眼图、星座图或表示波形的有用特征的其它形式。在这种情况下,变换后的波形(例如,眼图或星座图)可以被提供给控制器150,然后与配对确定参数一起作为训练样本被提供给未经训练的神经网络155a。

[0040] 控制器150可以配置数据源130和/或训练环境220a,使得产生代表要测试的发射器的一系列性能的波形。例如,控制器150可以强制数据源130输出导致环境220a模拟具有各种应力的实际部件的波形。另外,控制器150可以控制光通信链路的其它部分以模拟通信链路上的各种应力(例如,反射、温度和带宽限制)。

[0041] 图2B例示了其中可以实现本公开的各方面的示例环境200b。环境200b描绘了用于利用测试环境220b基于被测通用光学部件的相关联的光学输出数据(例如,眼图或波形)来评估被测通用光学部件的测试系统的框图。环境200b包括连接到数据源130的信号数据通道的测试环境220b。测试环境220b内的被测部件将电波形传输到数据接收器140。如普通技术人员根据本公开将理解的,被测部件可以是光通信链路的一个或多个部分。例如,被测光学部件可以包括以非常高的速率发送、接收或传输数据信号的部件或产品,诸如高速数据通信和电信联网装备,诸如交换机和路由器、包括部件、链路和/或通道的光纤系统、线缆、芯片到芯片通信链路,以及光学发射器、接收器和/或收发器。

[0042] 数据接收器140从经校准的光学接收器116接收电波形,并且数字化和捕获电波形。数据接收器140可以包括模数转换器(A-D),并且可以是例如实时范围或等效时间采样范围。数据接收器140将采样波形提供给控制器150,控制器150将波形提供给经训练的神经网络155b。经训练的神经网络155b处理波形,从而将其变换以生成被测部件的参数。

[0043] 在一些情况下,控制器150(例如,计算机)可以预处理波形,从而将其变换成眼图、星座图或表示波形的有用特征的其它形式。控制器150可以将变换后的波形提供给神经网络155b进行测试,并且神经网络155b可以将输入变换成被测部件的参数。类似地,数据接收器140可以预处理波形,从而将其变换成眼图、星座图或表示波形的有用特征的其它形式。在这种情况下,变换后的波形(例如,眼图或星座图)可以提供给控制器150,然后提供给经训练的神经网络155b进行处理。

[0044] 控制器150可以配置数据源130和/或测试环境220b,使得产生代表要测试的发射

器的一系列性能的波形。例如,控制器150可以根据各种测试条件强制数据源130向测试环境220b输出应力波形。另外,控制器150可以控制光学测试环境220b的除了被测部件之外的部分,以模拟通信链路上的各种应力(例如,反射、温度和带宽限制)。

[0045] 图3是根据本公开的各方面的示例卷积神经网络300的图。神经网络300可以是由控制器150实现的神经网络155。神经网络300可以接收波形或眼图301作为输入,并将波形或图变换成光学部件(例如,光学部件110)的性能鉴定。神经网络300可以是卷积神经网络。在一些情况下,神经网络300可以是一维神经网络(例如,用于处理波形)或二维神经网络(例如,用于处理眼图)。本领域普通技术人员将识别155为“卷积神经网络”或“神经网络”,或者尽管特定神经节点结构350(例如,全连接层)跟随卷积层。

[0046] 神经网络300可以具有多个层,这些层被配置为提取和/或增强特征、压缩数据并迭代地这样做。例如,神经网络300可以具有两个或更多个层(例如,特征提取层)310、320、330。每个提取层310、320、330可以包括相应的卷积层314、324、334、相应的整流线性单元316、326、336,以及池化层318、328、338。第一提取层310可以是输入层310,接收波形或眼图301或预处理动作的一些其它输出作为输入。第二卷积层320可以接收第一层310的输出作为其输入,并对波形或眼图301执行二次处理。第三卷积层330可以接收来自第二卷积层320的输出并对波形或眼图301执行三次处理。本领域普通技术人员将认识到“卷积层”可以指处理层310、320和330内的多个功能和/或可分割层。

[0047] 第二提取层320和第三提取层330的卷积层和池化层可以在比前一个提取层的卷积层和池化层更小的数据集上操作。例如,输入卷积层314可以具有例如大于40x30(例如,47x37)的尺寸并且包括30个或更多个滤波器,第二卷积层324可以具有大于15x15(例如,17x17)的尺寸并且包括10个或更多个滤波器,并且第三卷积层334可以具有大于5x5(例如,7x7)的尺寸并且包括8个滤波器。类似地,输入池化层318可以具有约41x31的尺寸并且具有约15的步幅(stride),第二池化层328可以具有约13x13的尺寸并且具有约6的步幅,并且第三池化层338可以具有约7x7的尺寸并且具有约4的步幅。如普通技术人员将理解的,这里给出的示例涉及二维CNN,并且也可以或替代地实现一维CNN。如普通技术人员将理解的,池化层可以是最大池化层。

[0048] 来自最终卷积提取层310、320、330的输出被发射到丢弃(dropout)层340,该层在训练期间随机丢弃节点,以减少过度拟合并改善经训练的神经网络300中的泛化误差(generalization error)。在丢弃层340之后,神经节点结构350输出光学部件的性能鉴定。作为非限制性示例,神经节点结构350可以是回归神经网络,其可以从先前层获取信息并将其映射到实值标量(诸如鉴定度量的数值),或是分类层,其从先前层获取信息并将其映射到用户在训练神经网络时设置的许多预定义实体之一。

[0049] 图4是例示根据实施例的光学部件评估的流程图400。该方法可以例如通过测试系统来实现,测试系统例如是包括参考图1B和图2B例示或描述的一个或多个部件的测试系统100b或200b,但这仅仅是示例。测试系统接收410第一光学设备(例如,被测发射器110b)的光学输出数据。光学设备可以是例如光学发射器。测试系统使用例如示波器捕获420光学输出数据。

[0050] 在一些情况下,可以使用测试和测量设备接收410和捕获420输出数据。测试和测量设备可以将初始信号输出到第一光学设备中。例如,初始信号可以旨在由第一光学设备

发射或通过第一光学设备发射。然后可以从第一光学设备读取第一光学设备的输出。在一些情况下,初始信号是初始模拟信号,并且读取信号是读取模拟信号。测试和测量系统可以首先将初始数字信号转换成初始模拟信号,并将初始模拟信号供应给光学设备。类似地,光学设备的输出可以是读取模拟信号,并且测试和测量机器可以在生成光学波形和/或眼图之前或作为生成光学波形和/或眼图的一部分将读取模拟信号转换成读取数字信号。在一些情况下,输入信号可以被固定以进行测试,但这仅仅是示例。在一些情况下,输入信号可能是可变的,并且测试和测量系统可以例如将初始信号与读取信号进行比较以确定光学输出数据。可变输入信号可以用于测试光学设备的不同方面或特征,或针对不同条件测试光学设备。通过比较输入信号和输出信号,系统可以适应不断变化的测试或环境。

[0051] 捕获的光学输出数据可以是光学波形。测试系统将捕获的光学输出数据供应430给经训练的神经网络。例如,测试系统可以直接向神经网络供应430光学波形。但是,这仅仅是示例。在一些情况下,测试系统可以首先对波形进行预处理,例如将波形变换成眼图。然后测试系统可以向神经网络供应430该眼图。

[0052] 执行440神经网络以将供应的光学输出数据变换成第一光学设备的光学设备性能鉴定。神经网络可以是卷积神经网络。在供应的光学输出数据对应于光学波形的情况下,神经网络可以是一维神经网络。在供应的光学输出数据对应于眼图的情况下,神经网络可以是二维神经网络。但这些仅仅是示例。

[0053] 如已知的,光学部件的性能可能会受到连接的或包含的电气部件的影响。例如,光学收发器通常包括电放大器和光学调制器。因而,如普通技术人员根据本公开将理解的,电气部件可以与光学部件的光学部分分开进行测试。

[0054] 图5是例示根据实施例的神经网络训练的流程图500。该方法包括从光学设备(例如,代表性光学设备)生成510光学波形。生成光学波形可以包括将光学设备放置在测试机器中,从而使光学设备输出与表示损伤或非理想性能的一系列行为对应的波形;并使用示波器捕获设备的输出。

[0055] 在一些情况下,生成光学波形可以包括创建与一个或多个虚拟设备(例如,虚拟光学设备)或系统(例如,光通信系统)对应的合成波形。光通信系统或光通信链路可以包括光学发射器、光学接收器、连接在它们之间的光学路径(例如,光纤路径),以及相关联的元件。这可以包括对虚拟光学设备进行建模并基于建模的设备创建波形。创建的波形可以对应于控制虚拟设备性能的所定义的设备参数。但是,这仅仅是示例。在一些情况下,合成波形可以包括控制激光器输出信号、用调制器处理(例如,调制)信号,以及用示波器将经调制的信号捕获为合成波形。可以通过修改连接到调制器的数据发生器的输出来创建多个光学波形。在一些情况下,可以跨经调制的信号实现滤波器,这可以模拟带宽限制。鉴于本公开,普通技术人员将认识到存在用于创建表示光学设备和系统的一系列期望性能的波形的替代方法。

[0056] 该方法附加地包括评估520光学波形以确定光学设备的相应性能鉴定。例如,可以使用相关技术的TDECQ方法来执行评估。然后,如果需要更多波形(425-是),那么生成新波形。在生成510光学波形是被合成地完成的情况下,供应给调制器的功率和/或滤波器的带宽可以被调整以生成不同的波形。

[0057] 一旦汇集了足够的波形和评估(425-否),就操作神经网络以利用多个光学波形和

相应性能鉴定来训练530神经网络。在一些情况下,在训练神经网络之前将波形转换成眼图。以这种方式,可以训练神经网络直接处理波形或处理眼图。在一些情况下,波形可以被更快地处理,但以保真度稍低为代价。

[0058] 在一个实施例中,已经从另一个测试工作中训练的神经网络可以使用迁移学习技术进行重新训练,以考虑新测试工作的变化,诸如特定模数转换器、线缆、或其它测试硬件的变化。这种迁移学习可以减少重新训练新神经网络所需的时间,同时维持良好的性能。

[0059] 图6是例示根据实施例的合成波形生成系统600的框图。合成波形生成系统600可以生成用于训练神经网络(例如,神经网络155和/或300)的合成波形。系统600可以利用由调制器630基于波形发生器620的输出进行调制的激光器610。波形发生器620可以是任意波形发生器。此外,系统600可以实现高斯滤波器来模拟带宽限制。因而,系统600可以捕获测试光纤的色散效应,类似于短距离单模光纤的影响。调制器630的驱动电压和/或滤波器带宽可以变化以获得多个信号眼图。可以使用模数转换器650来转换眼图。可以评估这些信号眼图(例如,利用相关技术的TDECQ方法)以计算评估值。通过重复执行此操作,可以生成眼图和评估值的合成训练集,用于训练和测试神经网络660。通过利用合成波形生成系统600,可以使用比通常可用于训练集的更广泛的评估值和眼图类型。因而,在一些情况下,可以进一步改进评估系统的操作。

[0060] 图7是根据示例实现方式的说明性计算机系统体系架构700的框图。根据本公开,普通技术人员将理解本公开的各方面可以使用来自计算机系统体系架构700的一个或多个元件来实现。将理解的是,计算设备体系架构700仅出于示例目的而提供,并不限制本公开的系统、方法和计算机可读介质的各种实现方式的范围。

[0061] 图7的计算设备体系架构700包括其中处理计算机指令的中央处理单元(CPU) 702,以及显示接口704,其充当通信接口并提供用于在显示器上渲染视频、图形、图像和文字的功能。在所公开技术的某些示例实现方式中,显示接口704可以直接连接到本地显示器,诸如与移动计算设备相关联的触摸屏显示器。在另一示例实现方式中,显示接口704可以被配置用于为不一定物理连接到移动计算设备的外部/远程显示器750提供数据、图像和其它信息。例如,桌面监视器可以用于镜像在移动计算设备上呈现的图形和其它信息。在某些示例实现方式中,显示接口704可以例如经由Wi-Fi信道或其它可用的网络连接接口712与外部/远程显示器750无线通信。

[0062] 在示例实现方式中,网络连接接口712可以被配置为通信接口并且可以提供用于在显示器上渲染视频、图形、图像、文本、其它信息或其任意组合的功能。在一个示例中,通信接口可以包括串行端口、并行端口、通用输入和输出(GPIO) 端口、游戏端口、通用串行总线(USB)、微型USB端口、高清多媒体(HDMI) 端口、视频端口、音频端口、蓝牙端口、近场通信(NFC) 端口、其它类似的通信接口或其任意组合。在一个示例中,显示接口704可以可操作地耦合到本地显示器,诸如与移动设备相关联的触摸屏显示器。在另一个示例中,显示接口704可以被配置为针对不一定连接到移动计算设备的外部/远程显示器750提供视频、图形、图像、文本、其它信息或其任意组合。在一个示例中,桌面监视器可以用于镜像或扩展可呈现在移动设备上的图形信息。在另一个示例中,显示接口704可以例如经由诸如Wi-Fi收发器的网络连接接口712与外部/远程显示器750无线通信。

[0063] 计算设备体系架构700可以包括键盘接口706,其向键盘提供通信接口。在一个示

例实现方式中,计算设备体系架构700可以包括用于连接到存在敏感 (presence-sensitive) 显示器705的存在敏感显示接口708。根据所公开技术的某些示例实现方式,存在敏感显示接口708可以向各种设备提供通信接口,各种设备诸如是指向设备、触摸屏、深度相机等,这些设备可以或可以不与显示器相关联。

[0064] 计算设备体系架构700可以被配置为经由一个或多个输入/输出接口(例如,键盘接口706、显示接口704、存在敏感显示接口708、网络连接接口712、相机接口714、声音接口716等)使用输入设备以允许用户将信息捕获到计算设备体系架构700中。输入设备可以包括鼠标、轨迹球、方向板、跟踪板、触摸验证跟踪板、存在敏感跟踪板、存在敏感显示器、滚轮、数字相机、数字视频相机、web相机、麦克风、传感器、智能卡等。此外,输入设备可以与计算设备体系架构700集成或者可以是单独的设备。例如,输入设备可以是加速度计、磁力计、数字相机、麦克风和光学传感器。

[0065] 计算设备体系架构700的示例实现方式可以包括向天线提供通信接口的天线接口710;向网络提供通信接口的网络连接接口712。如上所述,显示接口704可以与网络连接接口712通信,例如,以提供信息用于在不直接连接或附连到系统的远程显示器上显示。在某些实现方式中,提供充当通信接口并提供用于从相机捕获数字图像的功能的相机接口714。在某些实现方式中,声音接口716被提供为通信接口,用于使用麦克风将声音转换成电信号并且用于使用扬声器将电信号转换成声音。根据示例实现方式,提供了随机存取存储器(RAM) 718,其中计算机指令和数据可以存储在易失性存储器设备中以供CPU 702进行处理。

[0066] 根据示例实现方式,计算设备体系架构700包括只读存储器(ROM) 720,其中用于基本系统功能(诸如,基本输入和输出(I/O)、启动,或从键盘接收击键)的不变低级系统代码或数据被存储在非易失性存储器设备中。根据示例实现方式,计算设备体系架构700包括存储介质722或其它合适类型的存储器(例如,诸如RAM、ROM、可编程只读存储器(PROM)、可擦除可编程只读存储器(EPROM)、电可擦可编程只读存储器(EEPROM)、磁盘、光盘、软盘、硬盘、可移动盒式磁带、闪存驱动器),其中文件包括操作系统724、应用程序726(包括,例如,web浏览器应用、小部件或小工具引擎,和/或其它应用,视需要而定),并且数据文件728被存储。根据示例实现方式,计算设备体系架构700包括电源730,该电源730向功率部件提供适当的交流电(AC)或直流电(DC)。

[0067] 根据示例实现方式,计算设备体系架构700包括允许设备700通过电话网络发射和接收声音的电话子系统732。组成设备和CPU 702通过总线734相互通信。

[0068] 根据示例实现方式,CPU 702具有适当的结构以成为计算机处理器。在一种布置中,CPU 702可以包括多于一个的处理单元。RAM718与计算机总线734接口连接,以在诸如操作系统应用程序和设备驱动程序之类的软件程序的执行期间为CPU 702提供快速RAM存储。更具体而言,CPU 702将计算机可执行处理步骤从存储介质722或其它介质加载到RAM 718的字段中以执行软件程序。数据可以存储在RAM 718中,其中数据可以在执行期间由计算机CPU 702访问。

[0069] 存储介质722本身可以包括多个物理驱动单元,诸如独立盘冗余阵列(RAID)、软盘驱动器、闪存、USB闪存驱动器、外部硬盘驱动器、拇指驱动器、笔驱动器、密钥驱动器、高密度数字多功能盘(HD-DVD)光盘驱动器、内置硬盘驱动器、蓝光光盘驱动器或全息数字数据存储(HDDS)光盘驱动器、外部微型双列直插存储器模块(DIMM)同步动态随机存取存储器

(SDRAM),或外部微型DIMM SDRAM。这种计算机可读存储介质允许计算设备访问存储在可移动和不可移动存储介质上的计算机可执行处理步骤、应用程序等,以从设备卸载数据或将数据上传到设备上。计算机程序产品,诸如利用通信系统的计算机程序产品可以有形地实施在存储介质722中,存储介质722可以包括机器可读存储介质。

[0070] 根据一种示例实现方式,如本文所使用的术语计算设备可以是CPU,或概念化为CPU(例如,图7的CPU 702)。在该示例实现方式中,计算设备(CPU)可以与一个或多个外围设备(诸如,显示器)耦合、连接和/或通信。在另一示例实现方式中,如本文所使用的术语计算设备可以指移动计算设备,诸如智能电话、平板电脑或智能手表。在该示例实现方式中,计算设备可以将内容输出到其本地显示器和/或(一个或多个)扬声器。在另一示例实现方式中,计算设备可以将内容(例如,通过Wi-Fi)输出到外部显示设备(诸如TV)或外部计算系统。

[0071] 在所公开技术的示例实现方式中,计算设备可以包括任意数量的硬件和/或软件应用,这些软件应用被执行以促进任意操作。在示例实现方式中,一个或多个I/O接口可以促进计算设备与一个或多个输入/输出设备之间的通信。例如,通用串行总线端口、串行端口、盘驱动器、CD-ROM驱动器和/或一个或多个用户接口设备,诸如显示器、键盘、小键盘、鼠标、控制面板、触摸屏显示器、麦克风等,可以促进用户与计算设备的交互。一个或多个I/O接口可以用于从多种输入设备接收或收集数据和/或用户指令。接收到的数据可以在所公开技术的各种实现方式中根据期望由一个或多个计算机处理器处理和/或存储在一个或多个存储器设备中。

[0072] 一个或多个网络接口可以促进将计算设备输入和输出连接到一个或多个合适的网络和/或连接;例如,促进与和系统相关的任意数量的传感器进行通信的连接。一个或多个网络接口可以进一步促进与一个或多个合适网络的连接;例如,局域网、广域网、互联网、蜂窝网络、射频网络、启用蓝牙的网络、启用Wi-Fi的网络、基于卫星的网络、任何有线网络、任何无线网络等,用于与外部设备和/或系统通信。

[0073] 本公开的实施例可以根据至少以下各项来实现:

[0074] 条款1:一种方法,包括:接收光学设备的光学输出数据;将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该经训练的神经网络被配置为将光学输出数据变换成光学性能度量;以及执行经训练的神经网络,以将供应的光学输出数据变换成光学设备的光学性能度量。

[0075] 条款2:如条款1的方法,其中光学设备包括光学发射器。

[0076] 条款3:如条款1或2的方法,其中性能度量与附接到光学设备的光通信系统相关。

[0077] 条款4:如条款1-3中的任一项的方法,其中性能度量与发射和色散眼图闭合四相(TDECQ)代价方法相关。

[0078] 条款5:如条款1-4中的任一项的方法,其中光学设备是光学接收器。

[0079] 条款6:如条款1-5中的任一项的方法,其中光学输出数据包括光学设备的输出的波形。

[0080] 条款7:如条款1-6中的任一项的方法,其中光学输出数据包括从光学设备的输出的波形生成的眼图,该眼图被供应给经训练的神经网络。

[0081] 条款8:如条款7的方法还包括:接收光学设备的输出的波形;以及对波形进行预处理,以将波形变换成眼图。

- [0082] 条款9:如条款1-8中的任一项的方法,其中经训练的神经网络包括卷积神经网络。
- [0083] 条款10:如条款9的方法,其中卷积神经网络包括:被配置为执行卷积滤波的多个提取层,光学输出数据被馈送到第一提取层,并且后续提取层的输入是先前提取层的输出。
- [0084] 条款11:如条款9或10的方法,其中卷积神经网络包括:具有卷积滤波器和池化层的输入提取层,光学输出数据被馈送到输入提取层;具有卷积滤波器和池化层的第二提取层,输入提取层的输出被馈送到第二提取层;以及具有卷积滤波器和池化层的第三提取层,第二提取层的输出被馈送到第三提取层。
- [0085] 条款12:如条款11的方法,其中池化层是最大池化层。
- [0086] 条款13:如条款1-12中的任一项的方法,其中经训练的神经网络包括二维卷积神经网络。
- [0087] 条款14:如条款1-12中的任一项的方法,其中经训练的神经网络包括一维卷积神经网络。
- [0088] 条款15:如条款1-4中的任一项的方法,还包括使用测试和测量设备捕获光学输出数据。
- [0089] 条款16:如条款15的方法,其中测试和测量设备包括实时范围。
- [0090] 条款17:如条款15或16的方法,其中测试和测量设备包括等效时间范围。
- [0091] 条款18:如条款1-17中的任一项的方法,其中捕获光学输出数据包括:将初始信号输出到光学设备中,该初始信号通过光学设备发射;以及从光学设备读取发射的信号。
- [0092] 条款19:如条款18的方法,其中初始信号是初始模拟信号并且读取信号是读取模拟信号,以及该方法还包括:变换初始数字信号以生成初始模拟信号;以及将读取模拟信号变换成读取数字信号。
- [0093] 条款20:如条款18或19的方法,其中初始信号是固定的。
- [0094] 条款21:如条款18或19的方法,其中初始信号是可变的。
- [0095] 条款22:如条款1-21中的任一项的方法,其中捕获光学输出数据还包括将初始信号与读取信号进行比较。
- [0096] 条款23:一种制造光学评估系统的方法,该方法包括:从一个或多个代表性设备或系统生成多个光学波形;评估该多个光学波形以确定该一个或多个代表性设备或系统的相应性能鉴定;以及操作神经网络以利用该多个光学波形和相应性能鉴定来训练神经网络。
- [0097] 条款24:如条款23的方法,其中生成多个光学波形包括:对于一个或多个代表性设备或系统中的每个代表性设备,将代表性设备放置在测试机器中;以及使用示波器捕获来自代表性设备或系统的输出。
- [0098] 条款25:如条款23或24的方法,其中生成多个光学波形包括创建与一个或多个虚拟代表性设备或系统对应的合成波形。
- [0099] 条款26:如条款25的方法,其中创建合成波形包括:对一个或多个虚拟代表性设备建模;以及基于建模的设备创建多个波形。该多个波形能够代表一系列性能。
- [0100] 条款27:如条款25或26的方法,还包括:控制激光器输出信号;用调制器处理信号;以及用示波器捕获经调制的信号作为合成波形。
- [0101] 条款28:如条款27的方法,其中调制器基于波形发生器的输出被修改。
- [0102] 条款29:如条款28的方法,还包括调整调制器的功率单元以生成多个不同的波形。

- [0103] 条款30:如条款27-29中的任一项的方法,还包括跨经调制的信号实现滤波器。
- [0104] 条款31:如条款30的方法,还包括调整滤波器的带宽以生成多个不同的波形。
- [0105] 条款32:一种测试设备,包括:发射器,被配置为向光学设备输出初始信号,该光学设备被配置为传输初始信号;输入端,被配置为从光学设备接收传输的信号;至少一个处理器;以及存储器,其上存储有指令,指令在由至少一个处理器执行时,控制该至少一个处理器:基于传输的信号生成光学设备的光学输出数据;将光学输出数据供应给经训练的神经网络,该经训练的神经网络被配置为将光学输出数据变换成光学性能度量;以及执行经训练的神经网络,以将供应的光学输出数据变换成光学设备的光学性能度量鉴定。
- [0106] 条款33:如条款32的系统,其中光学设备包括光学发射器。
- [0107] 条款34:如条款32或33的系统,其中性能度量与附接到光学设备的光通信系统相关。
- [0108] 条款35:如条款32-34中的任一项的系统,其中性能度量与发射和色散眼图闭合四相(TDECQ)代价方法相关。
- [0109] 条款36:如条款32-35中的任一项的系统,其中光学设备是光学接收器。
- [0110] 条款37:如条款32-36中的任一项的系统,其中光学输出数据包括光学设备的输出的波形。
- [0111] 条款38:如条款32-37中的任一项的系统,其中光学输出数据包括从光学设备的输出的波形生成的眼图,眼图被供应给经训练的神经网络。
- [0112] 条款39:如条款32-38中的任一项的系统,其中指令进一步控制至少一个处理器:生成光学设备的输出的波形;以及对波形进行预处理,以将波形变换成眼图。
- [0113] 条款40:如条款32-39中的任一项的系统,其中经训练的神经网络包括卷积神经网络。
- [0114] 条款41:如条款40的系统,其中卷积神经网络包括:被配置为执行卷积滤波的多个提取层,光学输出数据被馈送到提取层,并且后续提取层的输入是先前提取层的输出。
- [0115] 条款42:如条款40或41的系统,其中卷积神经网络包括:具有卷积滤波器和池化层的输入提取层,光学输出数据被馈送到输入提取层;具有卷积滤波器和池化层的第二提取层,输入提取层的输出被馈送到第二提取层;以及具有卷积滤波器和池化层的第三提取层,第二提取层的输出被馈送到第三提取层。
- [0116] 条款43:如条款42的系统,其中池化层是最大池化层。
- [0117] 条款44:如条款32-43中的任一项的系统,其中经训练的神经网络包括二维卷积神经网络。
- [0118] 条款45:如条款32-44中的任一项的系统,其中经训练的神经网络包括一维卷积神经网络。
- [0119] 条款46:如条款32-45中的任一项的系统,其中输入包括实时范围。
- [0120] 条款47:如条款32-46中的任一项的系统,其中输入包括等效时间范围。
- [0121] 条款48:如条款32-47中的任一项的系统,其中初始信号是固定的。
- [0122] 条款49:如条款32-47中的任一项的系统,其中初始信号是可变的。
- [0123] 条款50:如条款32-49中的任一项的系统,其中捕获光学输出数据还包括将初始信号与传输的信号进行比较。

[0124] 一种系统,包括:一个或多个处理器;以及其上存储有指令的一个或多个存储器,指令在由一个或多个处理器执行时,控制该一个或多个处理器执行条款1-31中的任一项的方法。

[0125] 一种非暂态计算机可读介质,其上存储有用于执行条款1-31中的任一项的方法的指令。

[0126] 除了本说明书和准备的附图之外,本公开还包括详细说明根据本公开的工具的开发的附录。它仅用于解释目的,而非限制。

[0127] 虽然本公开已经结合多个示例性方面进行了描述,如在各个图中所示和上面所讨论的,但是应该理解的是,可以使用其它类似的方面,或者可以对所描述的方面进行修改和添加以执行与本公开相同的功能而不偏离本公开。例如,在本公开的各个方面中,方法和组成是根据当前公开的主题的方面进行描述的。但是本文的教导也考虑与这些描述的方面等效的其它方法或组成。因此,本公开不应限于任何单个方面,而是应根据所附权利要求的广度和范围来解释。

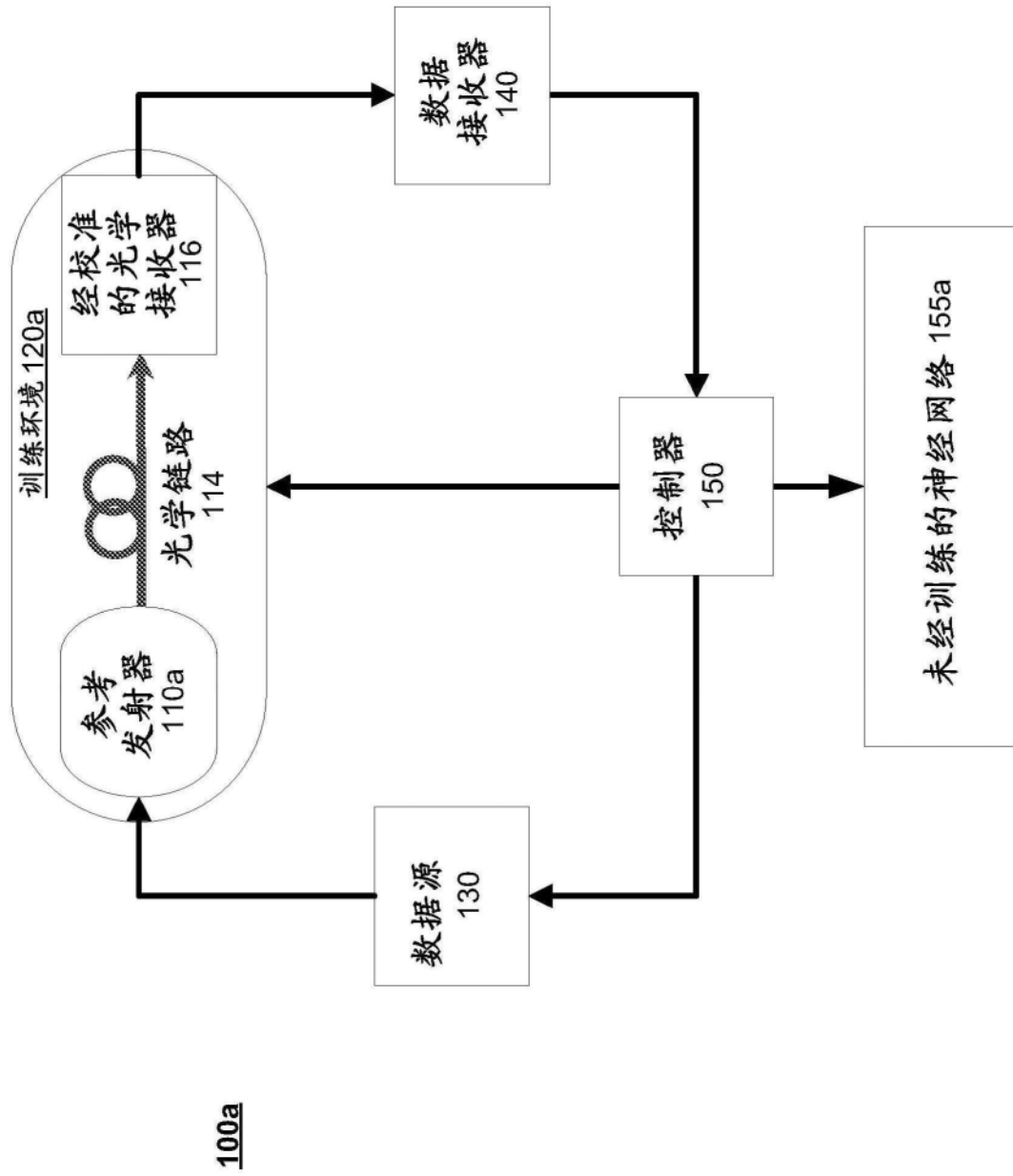


图1A

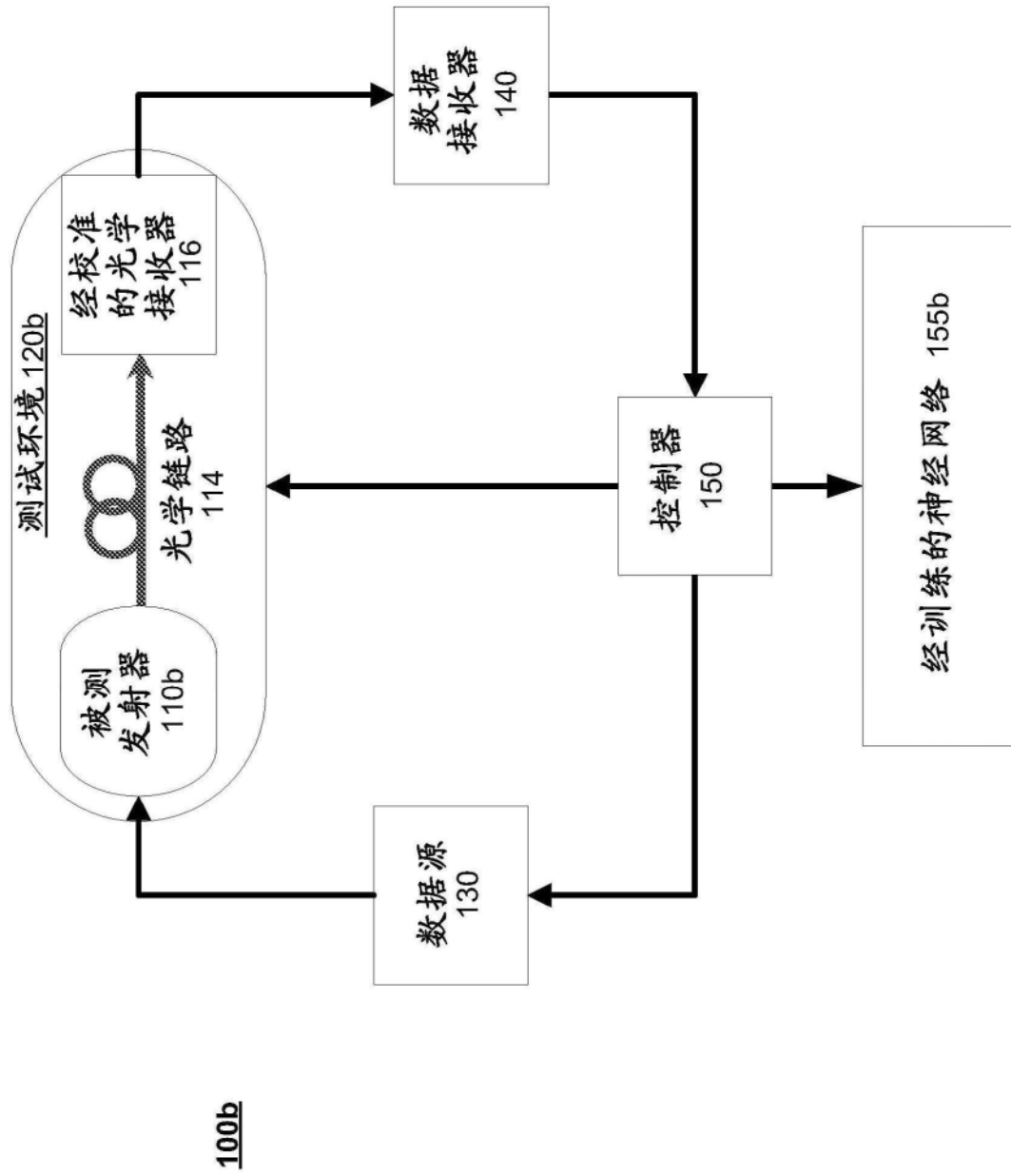


图1B

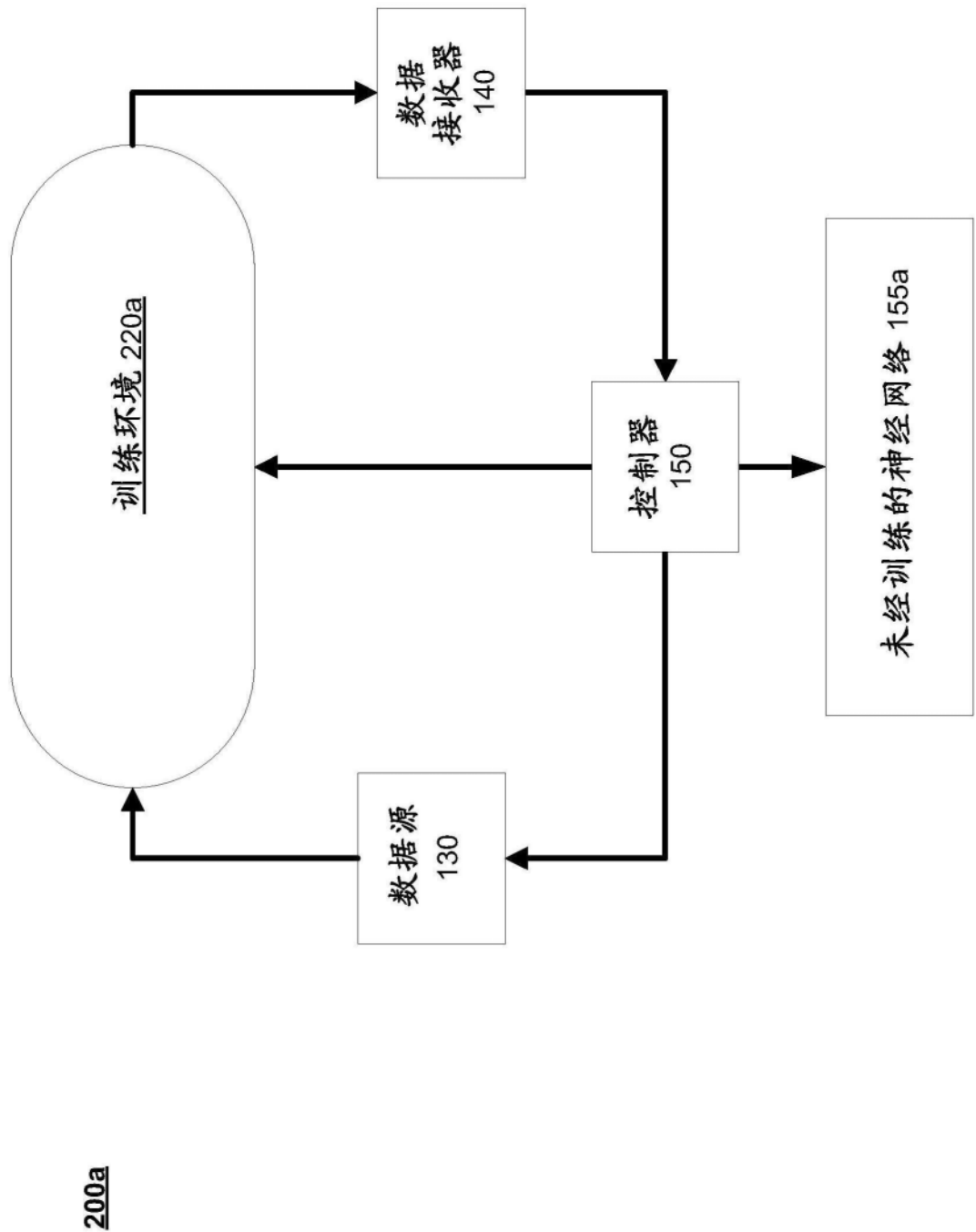


图2A

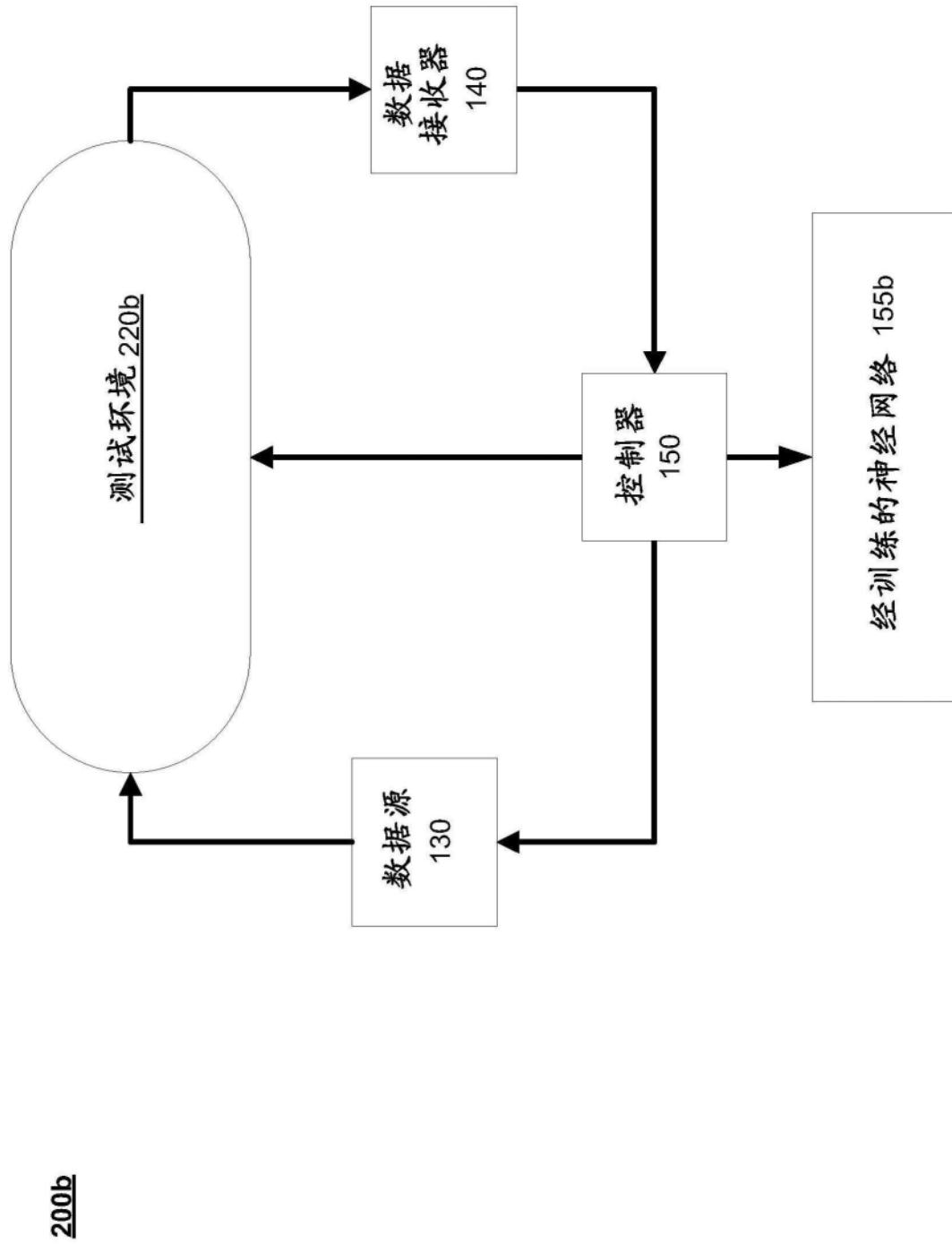


图2B

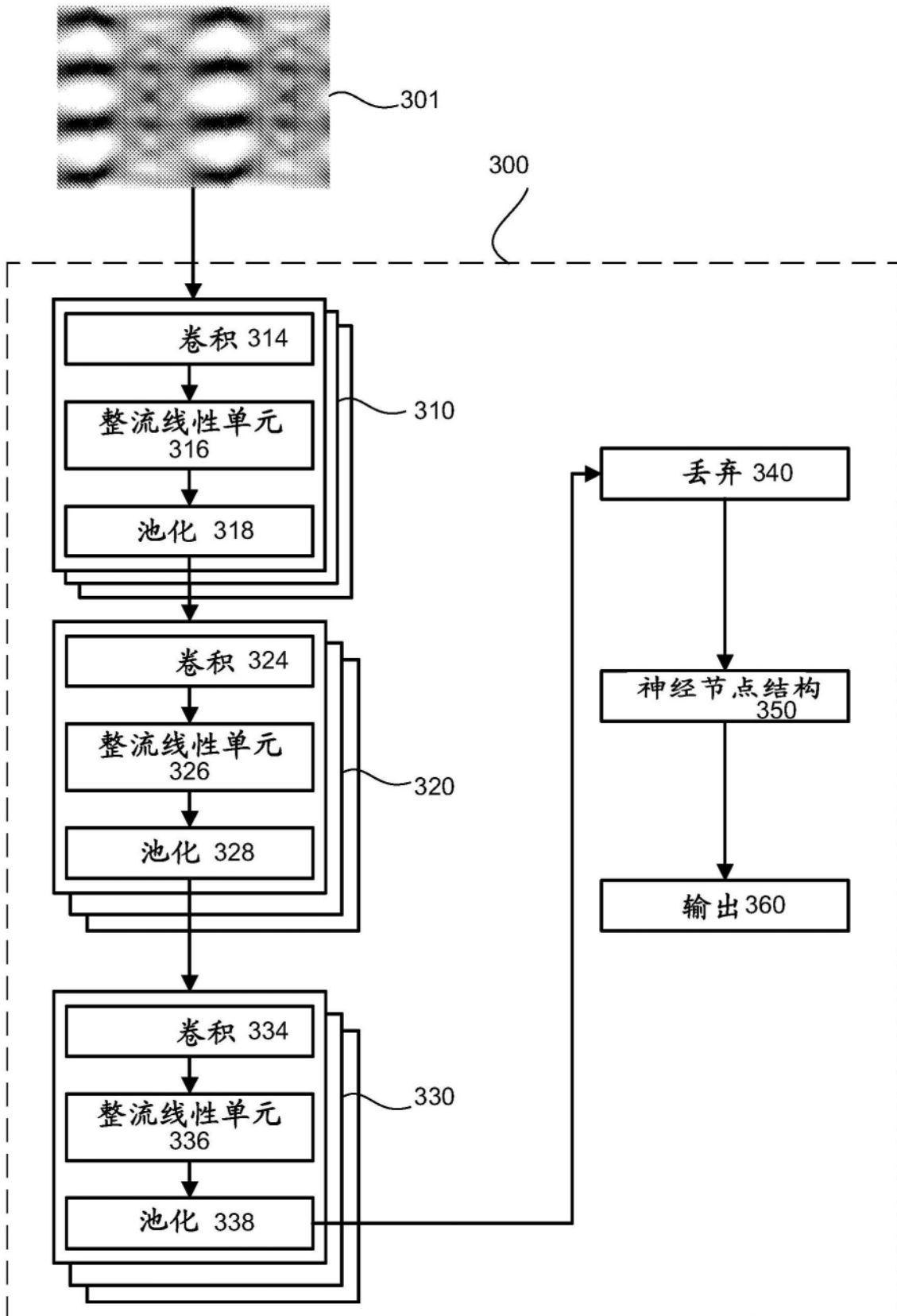


图3

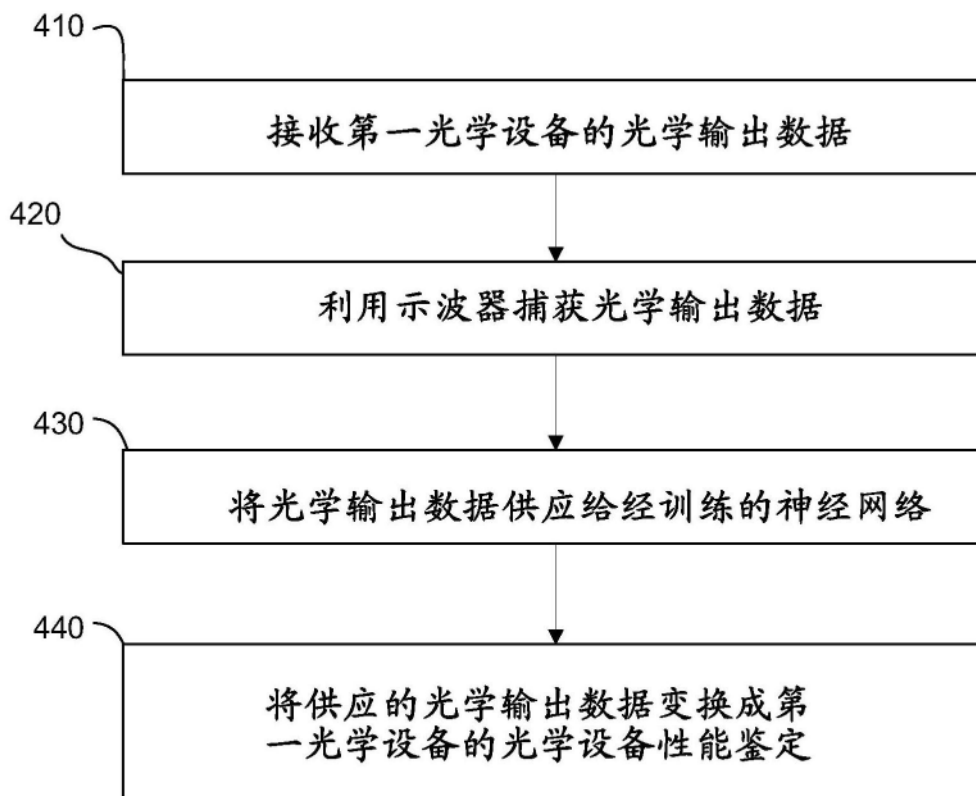
400

图4

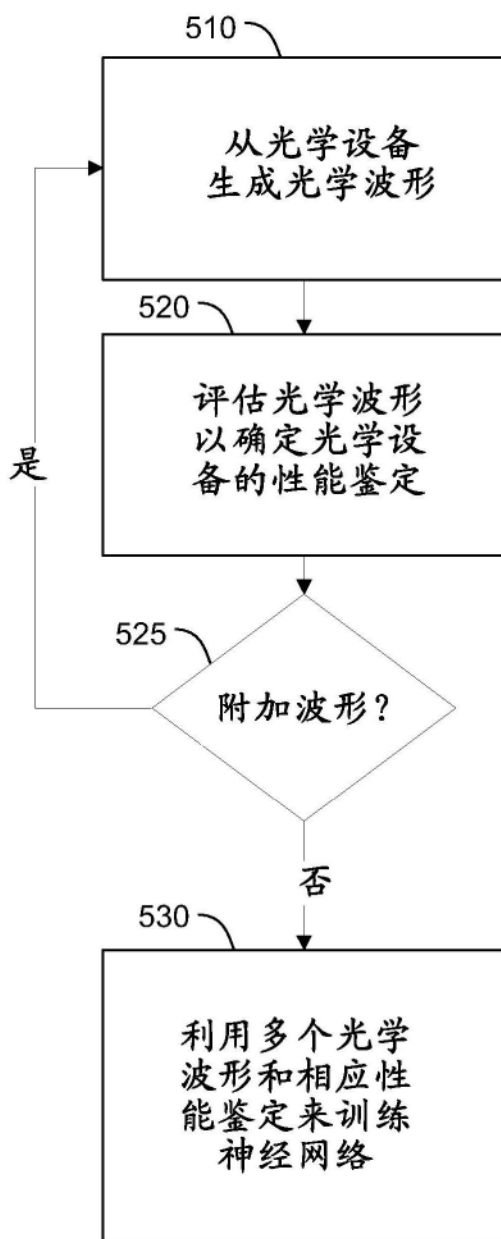
500

图5

600

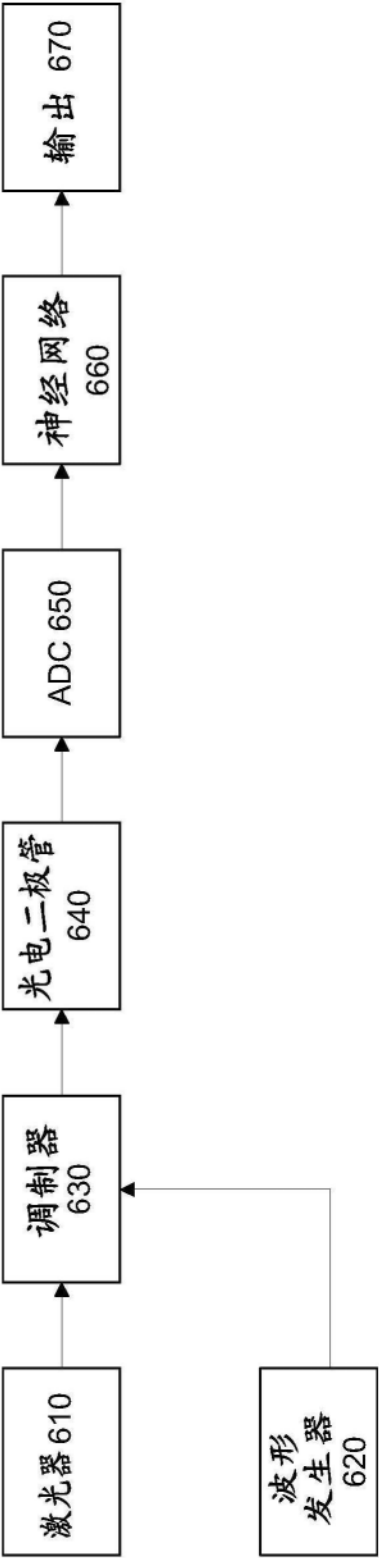


图6

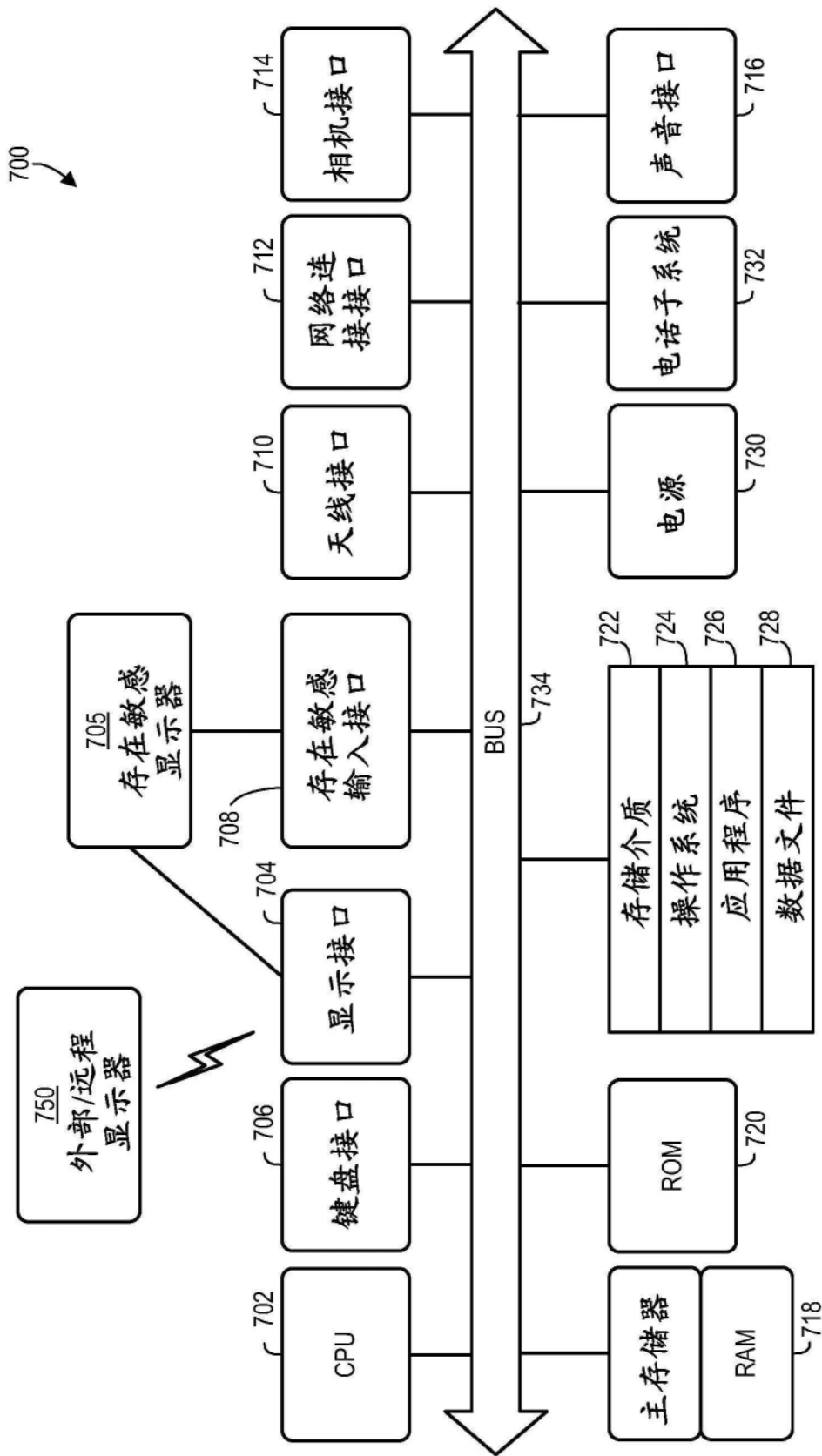


图7