(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2023 年 3 月 30 日 (30.03.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/045202 A1

(51) 国际专利分类号:
G06F 30/30 (2020.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/074612

(22) 国际申请日: 2022 年 1 月 28 日 (28.01.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202111110483.7 2021年9月23日 (23.09.2021) CN

(71) 申请人: 苏州浪潮智能科技有限公司 (INSPUR SUZHOU INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。

(72) 发明人: 吴睿振 (WU, Ruizhen); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 王凛 (WANG, Lin); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 陈静静 (CHEN, Jingjing); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。 黄萍 (HUANG, Ping); 中国江苏省苏州市吴中区吴中经济开发区郭巷街道官浦路1号9幢, Jiangsu 215000 (CN)。

(74) 代理人: 北京三聚阳光知识产权代理有限公司 (SUNSHINE INTELLECTUAL PROPERTY INTERNATIONAL CO., LTD.); 中国北京市海淀区海淀南路甲21号中关村知识产权大厦A座5层503, Beijing 100080 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) **Title:** OPTICAL CHIP DESIGN METHOD, SYSTEM AND DEVICE, AND COMPUTER STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 一种光学芯片设计方法、系统、设备及计算机存储介质

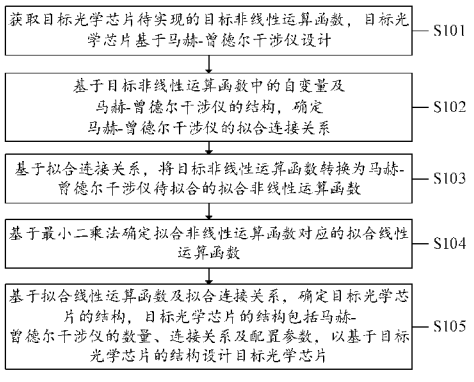

图 1

S101 Acquire a target nonlinear operation function to be implemented by a target optical chip, wherein the target optical chip is designed on the basis of a Mach-Zehnder interferometer

S102 Determine a fitting connection relationship of the Mach-Zehnder interferometer on the basis of an independent variable in the target nonlinear operation function and the structure of the Mach-Zehnder interferometer

S103 On the basis of the fitting connection relationship, transform the target nonlinear operation function into a fitting nonlinear operation function to be fitted by the Mach-Zehnder interferometer

S104 On the basis of a least squares method, determine a fitting linear operation function which corresponds to the fitting nonlinear operation function

S105 On the basis of the fitting linear operation function and the fitting connection relationship, determine the structure of the target optical chip, wherein the structure of the target optical chip comprises the number of Mach-Zehnder interferometers, connection relationships of the Mach-Zehnder interferometers and configuration parameters of the Mach-Zehnder interferometers, such that the target optical chip is designed on the basis of the structure of the target optical chip

(57) **Abstract:** Disclosed in the present application are an optical chip design method, system and device, and a computer-readable storage medium. The method comprises: acquiring a target nonlinear operation function (S101); determining a fitting connection relationship of an MZI on the basis of an independent variable in the target nonlinear operation function and the structure of the MZI (S102); on the basis of the fitting connection relationship, transforming the target nonlinear operation function into a fitting nonlinear operation function to be fitted by the MZI (S103); on the basis of a least squares method, determining a fitting linear operation function which corresponds to the fitting nonlinear operation function (S104); and on the basis of the fitting linear operation function and the fitting connection relationship, determining a structure of a target optical chip, wherein the structure of the target optical chip comprises the number of MZIs, connection relationships of the MZIs and configuration parameters of the MZIs, such that the target optical chip is designed on the basis of the structure of the target optical chip (S105). In the present application, the accuracy of a target optical chip implementing a target nonlinear operation function on the basis of an MZI is ensured, there is no need to convert an optical signal into an electrical signal throughout the whole optical chip design process, and the optical chip has a simple and convenient structure, and also has a high operation efficiency.

WO 2023/045202 A1

[见续页]

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明：
— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布：
— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：本申请公开了一种光学芯片设计方法、系统、设备及计算机可读存储介质，获取目标非线性运算函数（S101）；基于目标非线性运算函数中的自变量及MZI的结构，确定MZI的拟合连接关系（S102）；基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为MZI待拟合的拟合非线性运算函数（S103）；基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数（S104）；基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括MZI的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片（S105）。本申请中保证了目标光学芯片基于MZI实现目标非线性运算函数的准确性，且整个光学芯片设计过程中无需将光信号转换为电信号，结构简便，运算效率高。

一种光学芯片设计方法、系统、设备及计算机存储介质

本申请要求在2021年09月23日提交中国专利局、申请号为202111110483.7、发明名称为“一种光学芯片设计方法、系统、设备及计算机存储介质”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本申请涉及电子信息技术领域，更具体地说，涉及一种光学芯片设计方法、系统、设备及计算机存储介质。

背景技术

随着通信技术发展，人们对光计算技术的需求迅速增加，其原因在于：一是随着摩尔定律的逐步失效，以及大数据时代对计算系统功耗和速度要求的不断提高，光计算技术高速和低功耗的特点越来越受到人们的重视；二是光计算技术的并行性运算特点，以及光学神经网络等算法和硬件架构的发展，为图像识别、语音识别、虚拟现实等人工智能技术对算力的需求提供了最有潜力的解决方案。光计算可以分为模拟光计算和数字光计算。模拟光计算最典型的一个例子就是傅立叶运算，在图像处理等领域需要运用傅立叶变换相关的计算，如卷积计算。用传统计算机来计算傅立叶变换是非常消耗计算量的，而光通过透镜的过程，本身就是一次傅立叶变换的过程，这个过程几乎完全不需要时间。数字光计算是利用光和光学器件组合形成经典的逻辑门，构建类似传统数字电子计算原理的计算系统，通过复杂的逻辑门组合操作实现计算。

虽然通过光计算生成的光学芯片可以快速对数据进行处理，然而，现有光学芯片在实现非线性运算的过程中还需要将光信号转换为电信号，导致现有光学芯片的结构复杂，运算效率低。

综上所述，如何提高光学芯片实现非线性运算的运算效率是目前本领域技术人员亟待解决的问题。

发明内容

本申请的目的是提供一种光学芯片设计方法，其能在一定程度上解决如何提高光学芯片实现非线性运算的运算效率的技术问题。本申请还提供了一种光学芯片设计系统、设备及计算机可读存储介质。

为了实现上述目的，本申请提供如下技术方案：

一种光学芯片设计方法，包括：

获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，所述目标光学芯片基于 MZI 设计；

基于所述目标非线性运算函数中的自变量及所述 MZI 的结构，确定所述 MZI 的拟合连接关系；

基于所述拟合连接关系，将所述目标非线性运算函数转换为所述 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数；

基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；

基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的结构，所述目标光学芯片的结构包括所述 MZI 的数量、连接关系及配置参数，以基于所述目标光学芯片的结构设计所述目标光学芯片。

可选的，所述基于所述目标非线性运算函数中的自变量及所述 MZI 的结构，确定所述 MZI 的拟合连接关系，包括：

将所述目标非线性运算函数中的自变量作为所述 MZI 的输入，基于所述 MZI 的结构确定所述 MZI 两个输出的连接关系；

将特征与所述目标非线性运算函数一致的所述输出的连接关系，确定为所述拟合连接关系。

可选的，所述基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数的拟合线性运算函数，包括：

获取所述目标光学芯片的设计精度；

基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数。

可选的，所述设计精度包括所述自变量的数据集范围；

所述基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数，包括：

基于所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；

在所述数据集范围内，确定各个所述初始线性运算函数与所述拟合非线性运算函数间的相似度；

将相似度值最大的所述初始线性运算函数作为所述拟合线性运算函数。

可选的，所述基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的结构，包括：

基于所述拟合线性运算函数、所述拟合连接关系及奇异值分解法，确定所述目标光学芯片的结构。

可选的，所述基于所述拟合线性运算函数、所述拟合连接关系及奇异值分解法，确定所述目标光学芯片的结构，包括：

基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的链接算术矩阵；

基于所述奇异值分解法对所述链接算术矩阵进行分解，得到矩阵分解结果；

基于所述矩阵分解结果确定所述目标光学芯片的结构。

可选的，所述目标非线性运算函数包括 sigmoid 函数；

所述目标光学芯片的结构包括：第一 MZI、光电二极管、第一放大器、移相控制器、第二 MZI、目标拓扑结构；所述第一 MZI 的第一光输入端与第二光输入端相连，所述第一 MZI 的第二光输出端悬空，所述第一 MZI 的第一光输出端与所述光电二极管的输入端、所述第二 MZI 的第一光输入端及所述目标拓扑结构的第二光输入端分别相连；所述光电二极管的输出端与所述第一放大器相连；所述第一放大器与所述移相控制器相连；所述移相控制器与所述第二 MZI 的移相器相连；所述第二 MZI 的第二光输入端及第二光输出端均悬空；所述第二 MZI 的第一光输出端与所述目标拓扑结构的第一光输入端连接。

一种光学芯片设计系统，包括：

第一获取模块，用于获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，所述目标光学芯片基于 MZI 设计；

第一确定模块，用于基于所述目标非线性运算函数中的自变量及所述 MZI 的结构，确定所述 MZI 的拟合连接关系；

第一转换模块，用于基于所述拟合连接关系，将所述目标非线性运算函数转换为所述 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数；

第二确定模块，用于基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；

第三确定模块，用于基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的结构，所述目标光学芯片的结构包括所述 MZI 的数量、连接关系及配置参数，以基于所述目标光学芯片的结构设计所述目标光学芯片。

可选的，所述基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数的拟合线性运算函数，包括：

获取所述目标光学芯片的设计精度；

基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数。

可选的，所述设计精度包括所述自变量的数据集范围；

所述基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数，包括：

基于所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；

在所述数据集范围内，确定各个所述初始线性运算函数与所述拟合非线性运算函数间的相似度；

将相似度值最大的所述初始线性运算函数作为所述拟合线性运算函数。

一种光学芯片设计设备，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如上任一所述光学芯片设计方法的步骤。

一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质中存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如上任一所述光学芯片设计方法的步骤。

本申请提供的一种光学芯片设计方法，获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标光学芯片基于MZI设计；基于目标非线性运算函数中的自变量及MZI的结构，确定MZI的拟合连接关系；基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为MZI待拟合的拟合非线性运算函数；基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括MZI的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片。本申请中，可以基于目标非线性运算函数中的自变量及MZI的结构，确定MZI的拟合连接关系，使得MZI的拟合连接关系与目标非线性运算函数相适应；可以基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为MZI待拟合的拟合非线性运算函数，使得MZI待实现的拟合非线性运算函数与自身结构相适应；并且可以基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数，基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，使得目标光学芯片的运算特性与MZI的连接架构相适应，保证了目标光学芯片基于MZI实现目标非线性运算函数的准确性，且整个光学芯片设计过程中无需将光信号转换为电信号，结构简便，运算效率高。本申请提供的一种光学芯片设计系统、设备及计算机可读存储介质也解决了相应技术问题。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图获得其他的附图。

图1为本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法的流程图；

图2为MZI的结构示意图；

图3为MZI的直连结构示意图；

图4为各个拟合结果与sigmoid函数的比较结构图；

图5为实现sigmoid函数的光学芯片的部分结构示意图；

图6为实现sigmoid函数的光学芯片的结构示意图；

图7为本申请实施例提供的一种光线芯片设计系统的结构示意图；

图8为本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备的结构示意图；

图9为本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备的另一结构示意图；

图10为本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质的结构示意图。

具体实施方式

下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

请参阅图 1，图 1 为本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法的流程图。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法，可以包括以下步骤：

步骤 S101：获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标光学芯片基于马赫-曾德尔干涉仪设计。

实际应用中，因为目标光学芯片是用于实现相应的目标运算函数的，所以本申请需先获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标非线性运算函数的类型可以根据实际需要确定，比如目标非线性运算函数可以为 sigmoid 函数等，且本申请中的目标光学芯片可以基于 MZI（Mach–Zehnder interferometer，马赫-曾德尔干涉仪）设计，这里所描述的马赫-曾德尔干涉仪是一种干涉仪，可以用来观测从单独光源发射的光束分裂成两道准直光束之后，经过不同路径与介质所产生的相对相移变化。

步骤 S102：基于目标非线性运算函数中的自变量及马赫-曾德尔干涉仪的结构，确定马赫-曾德尔干涉仪的拟合连接关系。

实际应用中，因为 MZI 有两个输入及两个输出，且两个输出的连接关系不同，所以在获取目标非线性运算函数之后，需基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系。

需要说明的是，MZI 的结构可以如图 2 所示，其中 L_1、L_2 表示 MZI 的两个光输入端，2θ 表示 MZI 的移相器，L_1'、L_2' 表示 MZI 的两个光输出端；MZI 的光输出端与光输入端间的计算关系可以如下：

$$\begin{bmatrix} L_1^{c'} \\ L_2^{c'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{j}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{2j\theta} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{j}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1^c \\ L_2^c \end{bmatrix}$$

$$= je^{j\theta} \begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1^c \\ L_2^c \end{bmatrix}$$

$$= J \begin{bmatrix} L_1^c \\ L_2^c \end{bmatrix}$$

其推导过程如下：假设输入 MZI 的光的振幅为 A，频率为 ω，时间为 t，两个光输入端的初始相位分别为 θ_1 和 θ_2，则 MZI 两个光输入端的表达式可以为：

$$\begin{cases} L_1 = A_1\cos(\omega t + \theta_1) \\ L_2 = A_2\cos(\omega t + \theta_1) \end{cases};$$

因为在光电转换中，可以识别的仅有光的实部，虚部表示的是传输过程中的能量损耗，因此上式可以进一步通过欧拉公式转换为：

$$\begin{cases} L_1 = \mathrm{Re}(A_1\cos\theta_1 + jA_1\sin\theta_1) = \mathrm{Re}(A_1e^{j\theta_1}) = \mathrm{Re}(L_1^c) = A_1\cos\theta_1 \\ L_2 = \mathrm{Re}(A_2\cos\theta_2 + jA_2\sin\theta_2) = \mathrm{Re}(A_2e^{j\theta_2}) = \mathrm{Re}(L_2^c) = A_2\cos\theta_2 \end{cases};$$

其中 Re 表示实部，j 表示虚数单位，L_1^c 表示 L_1 的复杂状态表达式，L_2^c 表示 L_2 的复杂状态表达式；

因为 L_1 和 L_2 在进入 MZI 后，光中所含能量会通过耦合器转移到输出的两个端口对应的光信号上，因此其振幅则为原本的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$，因此 MZI 中的 $S1$、$S2$ 与 L_1、L_2 间的关系可以通过公式表示为：

$$\begin{cases} S1 = \frac{A_1}{\sqrt{2}}e^{j\theta_1} + \frac{A_2}{\sqrt{2}}e^{j\left(\theta_2+\frac{\pi}{2}\right)} = \frac{A_1}{\sqrt{2}}e^{j\theta_1} + \frac{jA_2}{\sqrt{2}}e^{j\theta_2} \\ S2 = \frac{A_1}{\sqrt{2}}e^{j\left(\theta_1+\frac{\pi}{2}\right)} + \frac{A_2}{\sqrt{2}}e^{j\theta_2} = \frac{jA_1}{\sqrt{2}}e^{j\theta_1} + \frac{A_2}{\sqrt{2}}e^{j\theta_2} \end{cases};$$

基于耦合器关系，可知 $\left[L_1^c, L_2^c\right]^T$ 与 $\left[S1, S2\right]^T$ 的对应关系为：

$$\begin{bmatrix} S1 \\ S2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{j}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} L_1^c \\ L_2^c \end{bmatrix};$$

再基于 MZI 的衰减器工作方式以及 MZI 的结构，可以得到 $S3$、$S4$ 的表达式为：

$$\begin{bmatrix} S3 \\ S4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{2j\theta} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} S1 \\ S2 \end{bmatrix};$$

结合以上表达式可知 MZI 的光输出端与光输入端间的计算关系可以如下：

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} L_1^{c\prime} \\ L_2^{c\prime} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{j}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} e^{2j\theta} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{j}{\sqrt{2}} \\ \frac{j}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} L_1^c \\ L_2^c \end{bmatrix} \\ &= je^{j\theta}\begin{bmatrix} \sin\theta & \cos\theta \\ \cos\theta & -\sin\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} L_1^c \\ L_2^c \end{bmatrix} \\ &= J\begin{bmatrix} L_1^c \\ L_2^c \end{bmatrix} \end{aligned}。$$

此外，在需要对 MZI 的移相器进行控制的时候，可以使用以下方式来实现可编程的移相器，比如在一段波导材料上镀上金属薄膜，通过施加外部电压控制金属薄膜加热器导致波导温度变化来改变折射率，实现相移；比如利用等离子体弥散效应（改变电子和空穴的浓度）和电光效应改变波导折射率来引入相移等；本申请在此不做具体限定。

步骤 S103：基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为马赫-曾德尔干涉仪待拟合的拟合非线性运算函数。

实际应用中，因为目标非线性运算函数与 MZI 的结构并不相适应，所以在基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系之后，还需基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数。

步骤 S104：基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数。

实际应用中，因为 MZI 只能实现线性乘加运算，所以在基于目标光学芯片实现目标非线性运算函数的过程中，还需基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数，此外，因为拟合非线性运算函数可以使得目标非线性运算函数与 MZI 的结构相适应，所以基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数后，可以保证 MZI 实现目标非线性运算函数。

步骤 S105：基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括马赫-曾德尔干涉仪的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片。

实际应用中，在基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数之后，虽然可以获知拟合线性运算函数及拟合连接关系，但拟合连接关系只是表明了 MZI 实现目标非线性运算函数所用的结构，该 MZI 中的配置参数并不确定，所以还需基于拟合线性运算函数及拟合连接关系便可以基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构可以包括马赫-曾德尔干涉仪的数量、连接关系及配置参数，以便基于目标光学芯片的结构设计能够实现目标非线性运算函数的目标光学芯片。

本申请提供的一种光学芯片设计方法，获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标光学芯片基于 MZI 设计；基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系；基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数；基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括 MZI 的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片。本申请中，可以基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系，使得 MZI 的拟合连接关系与目标非线性运算函数相适应；可以基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数，使得 MZI 待实现的拟合非线性运算函数与自身结构相适应；并且可以基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数，基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，使得目标光学芯片的运算特性与 MZI 的连接架构相适应，保证了目标光学芯片基于 MZI 实现目标非线性运算函数的准确性，且整个光学芯片设计过程中无需将光信号转换为电信号，结构简便，运算效率高。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法中，在基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系的过程中，因为目标非线性运算函数的自变量需作为 MZI 的输入，而

该自变量输入MZI后会按照MZI的结构进行相应运算，且只有运算特征与目标非线性运算函数的特征一致的输出才能作为MZI实现目标非线性运算函数的模拟输出，所以此过程可以包括以下步骤：将目标非线性运算函数中的自变量作为MZI的输入，基于MZI的结构确定MZI两个输出的连接关系；将特征与目标非线性运算函数一致的输出的连接关系，确定为拟合连接关系。

为了便于理解，仍以目标非线性运算函数为sigmoid函数为例，其表达式为：$sigmoid(x)=\frac{1}{1+e^{-x}}$；因为此时只有一个自变量，所以MZI的一个输入端口需封住，此时MZI的结构如图3所示，且sigmoid函数的自变量输入MZI后的相应输出为：$\begin{cases} je^{j\theta}(\sin\theta)x \\ je^{j\theta}(\cos\theta)x \end{cases}$，因为通过MZI能够观测到的只有该输出中的是不，所以该自变量输入MZI后的相应输出可以等效为$\begin{cases} -x\sin^2\theta \\ -x\sin\theta\cos\theta \end{cases}$；最后，由sigmoid函数的曲线特征可知，函数值不能小于0，只有MZI中的$-x\sin\theta\cos\theta$这种连接关系可以实现拟合，所以sigmoid函数在MZI中的拟合连接关系为：$sigmoid(x)=\frac{1}{1+e^{-x}}=-x\sin\theta\cos\theta+\Delta$。此时，在基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为MZI待拟合的拟合非线性运算函数的过程中，因为$-x\sin\theta\cos\theta$等效于$x\sin 2\theta$，该函数会使得自变量的系数变化，所以sigmoid函数对应的拟合非线性运算函数可以为$f(x)=\frac{-2}{(1+e^{-x})}$。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法中，在基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数的拟合线性运算函数的过程中，存在目标光学芯片无法完美实现目标非线性运算函数的情况，此时便需要对目标光学芯片实现目标非线性运算函数的精度进行控制，相应的，可以根据该精度来确定拟合线性运算函数，也即可以获取目标光学芯片的设计精度；基于设计精度及最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数。

实际应用中，因为目标非线性运算函数是非线性的，而拟合线性运算函数是线性的，所以自变量的取值范围会影响将目标非线性运算函数拟合为拟合线性运算函数的拟合精度，相应的，可以借助自变量的范围来表征设计精度，也即设计精度可以包括自变量的数据集范围；

相应的，在基于设计精度及最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数的过程中，可以基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；在数据集范围内，确定各个初始线性运算函数与拟合非线性运算函数间的相似度；将相似度值最大的初始线性运算函数作为拟合线性运算函数。

为了便于理解，仍以上述sigmoid函数为例，在数据集[-10,10]内对$f(x)=\frac{-2}{(1+e^{-x})}$进行最小二乘法线性拟合，假设预设次方为1至5次方，则拟合结果可以为：

$$f(x)\begin{cases} f_1=-0.145x-1 \\ f_2=-0.145x-1 \\ f_3=0.0018x^3-0.2533x-1 \\ f_4=0.0018x^3-0.2533x-1 \\ f_5=0.0056x^5-0.3353x-1 \end{cases};$$

将各个拟合结果与sigmoid函数进行相似性比较，比较结果如图4所示，由此可知，最合适拟合的次方为3，所以sigmoid函数的拟合线性运算函数可以为：$f(x) \approx 0.0018x^3 - 0.2533x - 1$ $f(x) \approx 0.0018x^3 - 0.2533x - 1$。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法中，在基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构的过程中，因为在MZI的应用过程中，可以在光域使用奇异值分解（Singular Value Decomposition，SVD）的方式实现任意维度的矩阵乘法运算，所以本申请中可以基于拟合线性运算函数、拟合连接关系及奇异值分解法，确定目标光学芯片的结构。

实际应用中，在基于拟合线性运算函数、拟合连接关系及奇异值分解法，确定目标光学芯片的结构的过程中，可以基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的链接算术矩阵；基于奇异值分解法对链接算术矩阵进行分解，得到矩阵分解结果；基于矩阵分解结果确定目标光学芯片的结构。

仍以上述sigmoid函数为例，假设sigmoid函数的拟合线性运算函数为：$f(x) \approx 0.0018x^3 - 0.2533x - 1$，$0.0018x^3$为复合结构，可以通过设计其他器件结构来实现，假设其结构如图5所示，x的输出首先经过光电二级管转化为电能，因为电能是基于光能量转换的，此时参数为$|x|^2$，对其得到的电压进行k倍的放大，再经过电转化为移相控制器的热，控制调相，从而可以得到一个从$|x|^2$到相位角θ的调整关系如下：$k^* |x|^2 = 2\theta$；进一步的，图5中输出的运算关系为$x^* \sin(k|x|^2)$，基于三角函数运算关系可以得到$x^* \sin(k|x|^2) \approx kx^* |x|^2 = 0.0018x^3$，由此可知第一放大器的放大倍数可以为$k = 0.0018$，所以目标光学芯片最终的映射关系可以为$f(x) \approx x \sin(0.0018|x|^2 - 0.2533x - 1$；因为目标光学芯片最终的映射关系中的$-0.2533x$可以轻易通过配置$\theta = (\arcsin(-0.2533))/2$在图3的MZI结构中实现，目标光学芯片最终的映射关系中的-1可以通过引入固定光信息通过MZI进行SVD分解后的标准乘加运算实现；而目标光学芯片最终的映射关系中的$x \sin(0.0018|x|^2)$已经通过图5所示结构实现，所以目标光学芯片的链接算术矩阵可以为：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -0.2533 & -1 \end{bmatrix};$$

对其进行SVD分别后，可得：

$$SVD(A) = 1^* [1.4367 \quad 0 \quad 0]^* \begin{bmatrix} 0.696 & 0.1763 & 0.696 \\ -0.1763 & 0.9817 & -0.0724 \\ -0.6960 & -0.0724 & 0.7144 \end{bmatrix};$$

假设 $[1.4367 \quad 0 \quad 0]^* \begin{bmatrix} 0.696 & 0.1763 & 0.696 \\ -0.1763 & 0.9817 & -0.0724 \\ -0.6960 & -0.0724 & 0.7144 \end{bmatrix}$由现有基于MZI设计的目标拓扑结构实现，则目标光学芯片的结构可以如图6所示，可以包括：第一MZI11、光电二极管12、第一放大器13、

移相控制器 14、第二 MZI15、目标拓扑结构 16；第一 MZI 的第一光输入端与第二光输入端相连，第一 MZI 的第二光输出端悬空，第一 MZI 的第一光输出端与光电二极管的输入端、第二 MZI 的第一光输入端及目标拓扑结构的第二光输入端分别相连；光电二极管的输出端与第一放大器相连；第一放大器与移相控制器相连；移相控制器与第二 MZI 的移相器相连；第二 MZI 的第二光输入端及第二光输出端均悬空；第二 MZI 的第一光输出端与目标拓扑结构的第一光输入端连接；其中，目标拓扑结构的类型可以包括但不限于：Gridnet 拓扑结构、Reck 拓扑结构等，比如目标拓扑结构可以包括第三 MZI161，第四 MZI162，第五 MZI163，激光发射器，此时，目标拓扑结构的第一光输入端为第三 MZI 的第一光输入端，目标拓扑结构的第二光输入端为第三 MZI 的第二光输入端，目标拓扑结构的光输出端为第五 MZI 的第一光输出端；第三 MZI 的第一光输出端与第五 MZI 的第一光输入端连接，第三 MZI 的第二光输出端与第四 MZI 的第一光输入端连接；激光发射器与第四 MZI 的第二光输入端连接；第四 MZI 的第一光输出端与第五 MZI 的第二光输入端连接，第四 MZI 的第二光输出端悬空；第五 MZI 的第二光输出端悬空。

请参阅图 7，图 7 为本申请实施例提供的一种光线芯片设计系统的结构示意图。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统，可以包括：

第一获取模块 101，用于获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标光学芯片基于 MZI 设计；

第一确定模块 102，用于基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系；

第一转换模块 103，用于基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数；

第二确定模块 104，用于基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；

第三确定模块 105，用于基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括 MZI 的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统，第一确定模块可以包括：

第一确定单元，用于将目标非线性运算函数中的自变量作为 MZI 的输入，基于 MZI 的结构确定 MZI 两个输出的连接关系；

第二确定单元，用于将特征与目标非线性运算函数一致的输出的连接关系，确定为拟合连接关系。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统，第二确定模块可以包括：

第一获取单元，用于获取目标光学芯片的设计精度；

第三确定单元，用于基于设计精度及最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统，设计精度包括自变量的数据集范围；

第三确定单元可以具体用于：基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；在数据集范围内，确定各个初始线性运算函数与拟合非线性运算函数间的相似度；将相似度值最大的初始线性运算函数作为拟合线性运算函数。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统，第三确定模块可以包括：

第三确定单元，用于基于拟合线性运算函数、拟合连接关系及奇异值分解法，确定目标光学芯片的结构。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统，第三确定单元可以具体用于：基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的链接算术矩阵；基于奇异值分解法对链接算术矩阵进行分解，得到矩阵分解结果；基于矩阵分解结果确定目标光学芯片的结构。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统，目标非线性运算函数包括 sigmoid 函数；目标光学芯片的结构包括：第一 MZI、光电二极管、第一放大器、移相控制器、第二 MZI、目标拓扑结构；第一 MZI 的第一光输入端与第二光输入端相连，第一 MZI 的第二光输出端悬空，第一 MZI 的第一光输出端与光电二极管的输入端、第二 MZI 的第一光输入端及目标拓扑结构的第二光输入端分别相连；光电二极管的输出端与第一放大器相连；第一放大器与移相控制器相连；移相控制器与第二 MZI 的移相器相连；第二 MZI 的第二光输入端及第二光输出端均悬空；第二 MZI 的第一光输出端与目标拓扑结构的第一光输入端连接；

其中，目标拓扑结构的类型包括：Gridnet 拓扑结构、Reck 拓扑结构。

本申请还提供了一种光学芯片设计设备及计算机可读存储介质，其均具有本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法具有的对应效果。请参阅图 8，图 8 为本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备的结构示意图。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备，包括存储器 201 和处理器 202，存储器 201 中存储有计算机程序，处理器 202 执行计算机程序时实现如下步骤：

获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标光学芯片基于 MZI 设计；

基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系；

基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数；

基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；

基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括 MZI 的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备，包括存储器 201 和处理器 202，存储器 201 中存储有计算机程序，处理器 202 执行计算机程序时实现如下步骤：将目标非线性运算函数中的自变量作为 MZI 的输入，基于 MZI 的结构确定 MZI 两个输出的连接关系；将特征与目标非线性运算函数一致的输出的连接关系，确定为拟合连接关系。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备，包括存储器 201 和处理器 202，存储器 201 中存储有计算机程序，处理器 202 执行计算机程序时实现如下步骤：获取目标光学芯片的设计精度；基于设计精度及最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备，包括存储器 201 和处理器 202，存储器 201 中存储有计算机程序，处理器 202 执行计算机程序时实现如下步骤：设计精度包括自变量的数据集范围；基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；在数据集范围内，确定各个初始

线性运算函数与拟合非线性运算函数间的相似度；将相似度值最大的初始线性运算函数作为拟合线性运算函数。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备，包括存储器 201 和处理器 202，存储器 201 中存储有计算机程序，处理器 202 执行计算机程序时实现如下步骤：基于拟合线性运算函数、拟合连接关系及奇异值分解法，确定目标光学芯片的结构。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备，包括存储器 201 和处理器 202，存储器 201 中存储有计算机程序，处理器 202 执行计算机程序时实现如下步骤：基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的链接算术矩阵；基于奇异值分解法对链接算术矩阵进行分解，得到矩阵分解结果；基于矩阵分解结果确定目标光学芯片的结构。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计设备，包括存储器 201 和处理器 202，存储器 201 中存储有计算机程序，处理器 202 执行计算机程序时实现如下步骤：目标非线性运算函数包括 sigmoid 函数；目标光学芯片的结构包括：第一 MZI、光电二极管、第一放大器、移相控制器、第二 MZI、目标拓扑结构；第一 MZI 的第一光输入端与第二光输入端相连，第一 MZI 的第二光输出端悬空，第一 MZI 的第一光输出端与光电二极管的输入端、第二 MZI 的第一光输入端及目标拓扑结构的第二光输入端分别相连；光电二极管的输出端与第一放大器相连；第一放大器与移相控制器相连；移相控制器与第二 MZI 的移相器相连；第二 MZI 的第二光输入端及第二光输出端均悬空；第二 MZI 的第一光输出端与目标拓扑结构的第一光输入端连接；其中，目标拓扑结构的类型包括：Gridnet 拓扑结构、Reck 拓扑结构。

请参阅图 9，本申请实施例提供的另一种光学芯片设计设备中还可以包括：与处理器 202 连接的输入端口 203，用于传输外界输入的命令至处理器 202；与处理器 202 连接的显示单元 204，用于显示处理器 202 的处理结果至外界；与处理器 202 连接的通信模块 205，用于实现光学芯片设计设备与外界的通信。显示单元 204 可以为显示面板、激光扫描使显示器等；通信模块 205 所采用的通信方式包括但不局限于移动高清链接技术（HML）、通用串行总线（USB）、高清多媒体接口（HDMI）、无线连接：无线保真技术（WiFi）、蓝牙通信技术、低功耗蓝牙通信技术、基于 IEEE802.11s 的通信技术。

本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质 601，请参阅图 10，图 10 为本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质的结构示意图，计算机可读存储介质 601 中存储有计算机程序 610，计算机程序 610 被处理器执行时实现如下步骤：

获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标光学芯片基于 MZI 设计；

基于目标非线性运算函数中的自变量及 MZI 的结构，确定 MZI 的拟合连接关系；

基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数；

基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；

基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括 MZI 的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片。

本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现如下步骤：将目标非线性运算函数中的自变量作为 MZI 的输入，基于 MZI 的结构确定 MZI 两个输出的连接关系；将特征与目标非线性运算函数一致的输出的连接关系，确定为拟合连接关系。

本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现如下步骤：获取目标光学芯片的设计精度；基于设计精度及最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数。

本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现如下步骤：设计精度包括自变量的数据集范围；基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；在数据集范围内，确定各个初始线性运算函数与拟合非线性运算函数间的相似度；将相似度值最大的初始线性运算函数作为拟合线性运算函数。

本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现如下步骤：基于拟合线性运算函数、拟合连接关系及奇异值分解法，确定目标光学芯片的结构。

本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现如下步骤：基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的链接算术矩阵；基于奇异值分解法对链接算术矩阵进行分解，得到矩阵分解结果；基于矩阵分解结果确定目标光学芯片的结构。

本申请实施例提供的一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质中存储有计算机程序，计算机程序被处理器执行时实现如下步骤：目标非线性运算函数包括 sigmoid 函数；目标光学芯片的结构包括：第一 MZI、光电二极管、第一放大器、移相控制器、第二 MZI、目标拓扑结构；第一 MZI 的第一光输入端与第二光输入端相连，第一 MZI 的第二光输出端悬空，第一 MZI 的第一光输出端与光电二极管的输入端、第二 MZI 的第一光输入端及目标拓扑结构的第二光输入端分别相连；光电二极管的输出端与第一放大器相连；第一放大器与移相控制器相连；移相控制器与第二 MZI 的移相器相连；第二 MZI 的第二光输入端及第二光输出端均悬空；第二 MZI 的第一光输出端与目标拓扑结构的第一光输入端连接；其中，目标拓扑结构的类型包括：Gridnet 拓扑结构、Reck 拓扑结构。

本申请所涉及的计算机可读存储介质包括随机存储器（RAM）、内存、只读存储器（ROM）、电可编程 ROM、电可擦除可编程 ROM、寄存器、硬盘、可移动磁盘、CD-ROM、或技术领域内所公知的任意其它形式的存储介质。

本申请实施例提供的一种光学芯片设计系统、设备及计算机可读存储介质中相关部分的说明请参见本申请实施例提供的一种光学芯片设计方法中对应部分的详细说明，在此不再赘述。另外，本申请实施例提供的上述技术方案中与现有技术中对应技术方案实现原理一致的部分并未详细说明，以免过多赘述。

还需要说明的是，在本文中，诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来，而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且，术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其他要素，或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下，由语句“包括一个……”限定的要素，并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

对所公开的实施例的上述说明，使本领域技术人员能够实现或使用本申请。对这些实施例的多种修改对本领域技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例，而是要符合与

本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。

权 利 要 求 书

1、一种光学芯片设计方法，其特征在于，包括：

获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，所述目标光学芯片基于MZI设计；

基于所述目标非线性运算函数中的自变量及所述MZI的结构，确定所述MZI的拟合连接关系；

基于所述拟合连接关系，将所述目标非线性运算函数转换为所述MZI待拟合的拟合非线性运算函数；

基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；

基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的结构，所述目标光学芯片的结构包括所述MZI的数量、连接关系及配置参数，以基于所述目标光学芯片的结构设计所述目标光学芯片。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述基于所述目标非线性运算函数中的自变量及所述MZI的结构，确定所述MZI的拟合连接关系，包括：

将所述目标非线性运算函数中的自变量作为所述MZI的输入，基于所述MZI的结构确定所述MZI两个输出的连接关系；

将特征与所述目标非线性运算函数一致的所述输出的连接关系，确定为所述拟合连接关系。

3、根据权利要求2所述的方法，其特征在于，所述基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数的拟合线性运算函数，包括：

获取所述目标光学芯片的设计精度；

基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述设计精度包括所述自变量的数据集范围；

所述基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数，包括：

基于所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；

在所述数据集范围内，确定各个所述初始线性运算函数与所述拟合非线性运算函数间的相似度；

将相似度值最大的所述初始线性运算函数作为所述拟合线性运算函数。

5、根据权利要求4所述的方法，其特征在于，所述基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的结构，包括：

基于所述拟合线性运算函数、所述拟合连接关系及奇异值分解法，确定所述目标光学芯片的结构。

6、根据权利要求5所述的方法，其特征在于，所述基于所述拟合线性运算函数、所述拟合连接关系及奇异值分解法，确定所述目标光学芯片的结构，包括：

基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的链接算术矩阵；

基于所述奇异值分解法对所述链接算术矩阵进行分解，得到矩阵分解结果；

基于所述矩阵分解结果确定所述目标光学芯片的结构。

7、根据权利要求6所述的方法，其特征在于，所述目标非线性运算函数包括sigmoid函数；

所述目标光学芯片的结构包括：第一MZI、光电二极管、第一放大器、移相控制器、第二MZI、目标拓扑结构；所述第一MZI的第一光输入端与第二光输入端相连，所述第一MZI的第二光输出端悬空，所述第一MZI的第一光输出端与所述光电二极管的输入端、所述第二MZI的第一光输入端及所述目标拓扑结构的第二光输入端分别相连；所述光电二极管的输出端与所述第一放大器相连；所述第一放

大器与所述移相控制器相连；所述移相控制器与所述第二 MZI 的移相器相连；所述第二 MZI 的第二光输入端及第二光输出端均悬空；所述第二 MZI 的第一光输出端与所述目标拓扑结构的第一光输入端连接。

8、一种光学芯片设计系统，其特征在于，包括：

第一获取模块，用于获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，所述目标光学芯片基于 MZI 设计；

第一确定模块，用于基于所述目标非线性运算函数中的自变量及所述 MZI 的结构，确定所述 MZI 的拟合连接关系；

第一转换模块，用于基于所述拟合连接关系，将所述目标非线性运算函数转换为所述 MZI 待拟合的拟合非线性运算函数；

第二确定模块，用于基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数；

第三确定模块，用于基于所述拟合线性运算函数及所述拟合连接关系，确定所述目标光学芯片的结构，所述目标光学芯片的结构包括所述 MZI 的数量、连接关系及配置参数，以基于所述目标光学芯片的结构设计所述目标光学芯片。

9、根据权利要求 8 所述的系统，其特征在于，所述基于最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数的拟合线性运算函数，包括：

获取所述目标光学芯片的设计精度；

基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数。

10、根据权利要求 9 所述的系统，其特征在于，所述设计精度包括所述自变量的数据集范围；

所述基于所述设计精度及所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数对应的所述拟合线性运算函数，包括：

基于所述最小二乘法确定所述拟合非线性运算函数在各个次方时的初始线性运算函数；

在所述数据集范围内，确定各个所述初始线性运算函数与所述拟合非线性运算函数间的相似度；

将相似度值最大的所述初始线性运算函数作为所述拟合线性运算函数。

11、一种光学芯片设计设备，其特征在于，包括：

存储器，用于存储计算机程序；

处理器，用于执行所述计算机程序时实现如权利要求 1 至 7 任一项所述光学芯片设计方法的步骤。

12、一种计算机可读存储介质，其特征在于，所述计算机可读存储介质中存储有计算机程序，所述计算机程序被处理器执行时实现如权利要求 1 至 7 任一项所述光学芯片设计方法的步骤。

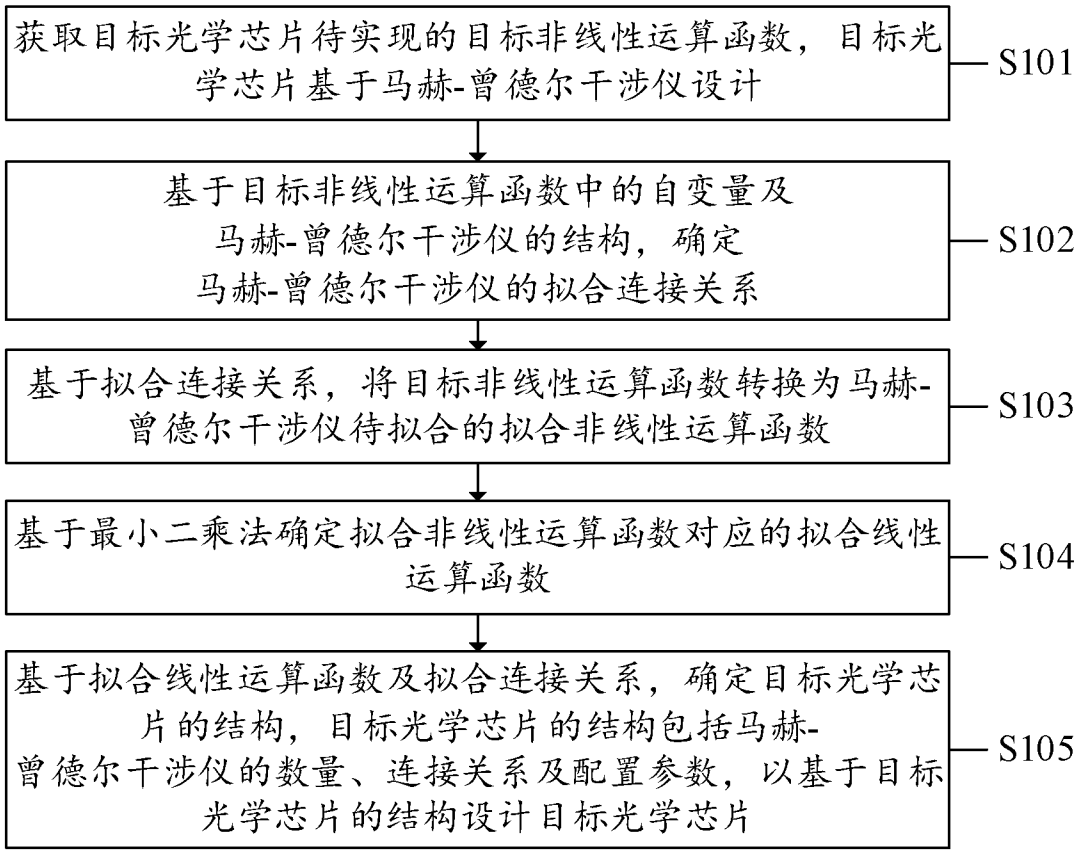
获取目标光学芯片待实现的目标非线性运算函数，目标光学芯片基于马赫-曾德尔干涉仪设计
S101
基于目标非线性运算函数中的自变量及马赫-曾德尔干涉仪的结构，确定马赫-曾德尔干涉仪的拟合连接关系
S102
基于拟合连接关系，将目标非线性运算函数转换为马赫-曾德尔干涉仪待拟合的拟合非线性运算函数
S103
基于最小二乘法确定拟合非线性运算函数对应的拟合线性运算函数
S104
基于拟合线性运算函数及拟合连接关系，确定目标光学芯片的结构，目标光学芯片的结构包括马赫-曾德尔干涉仪的数量、连接关系及配置参数，以基于目标光学芯片的结构设计目标光学芯片
S105

图 1

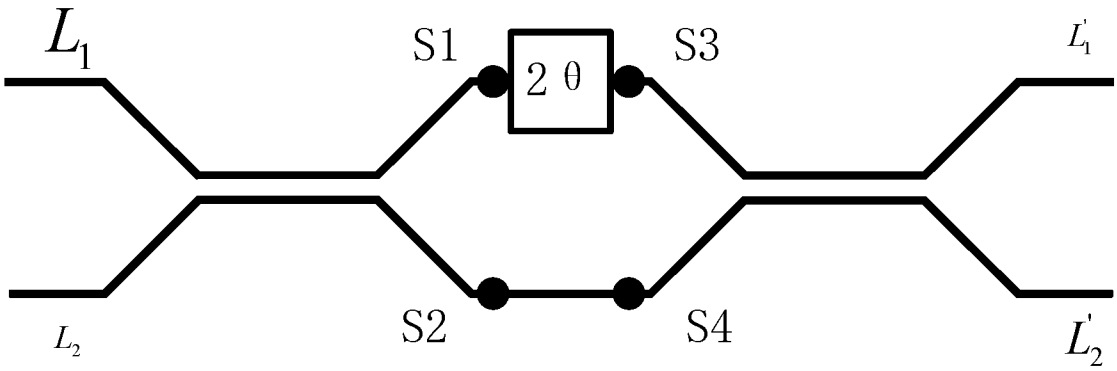

图 2

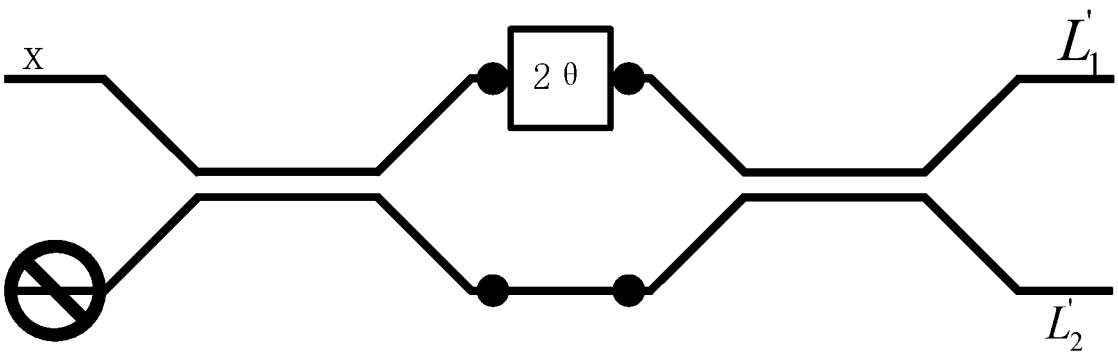

图 3

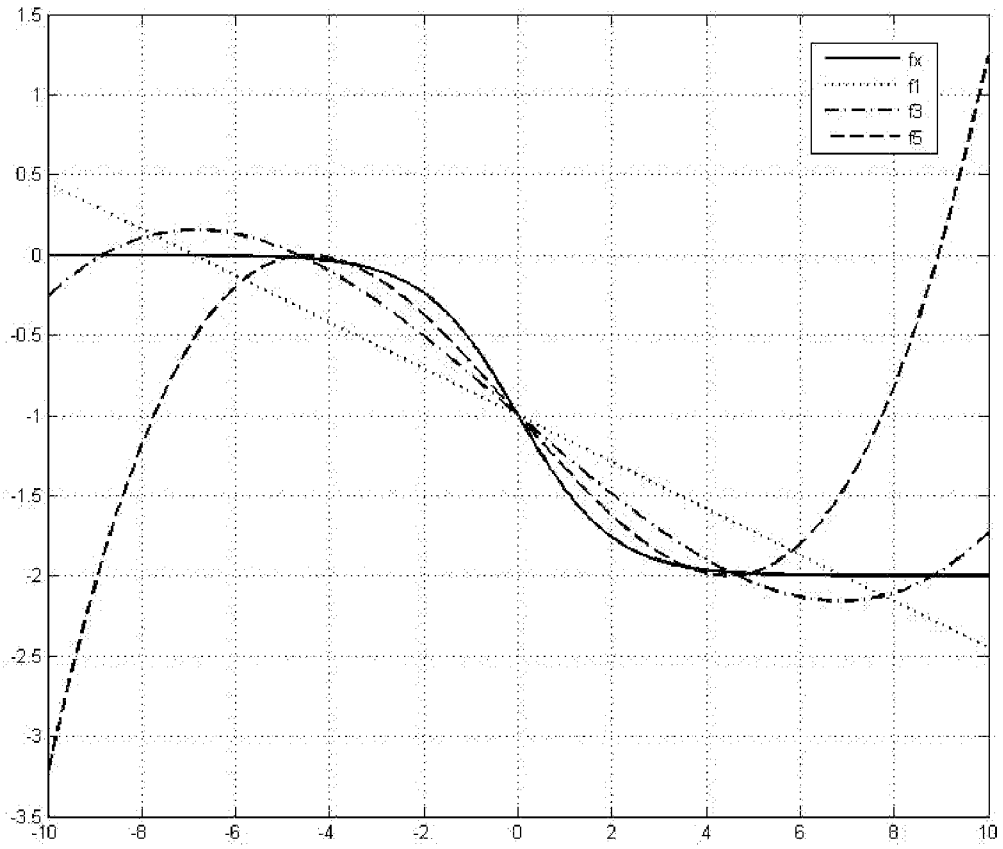
fx
f1
f3
f5
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5
-3
-3.5
-10
-8
-6
-4
-2
0
2
4
6
8
10

图 4

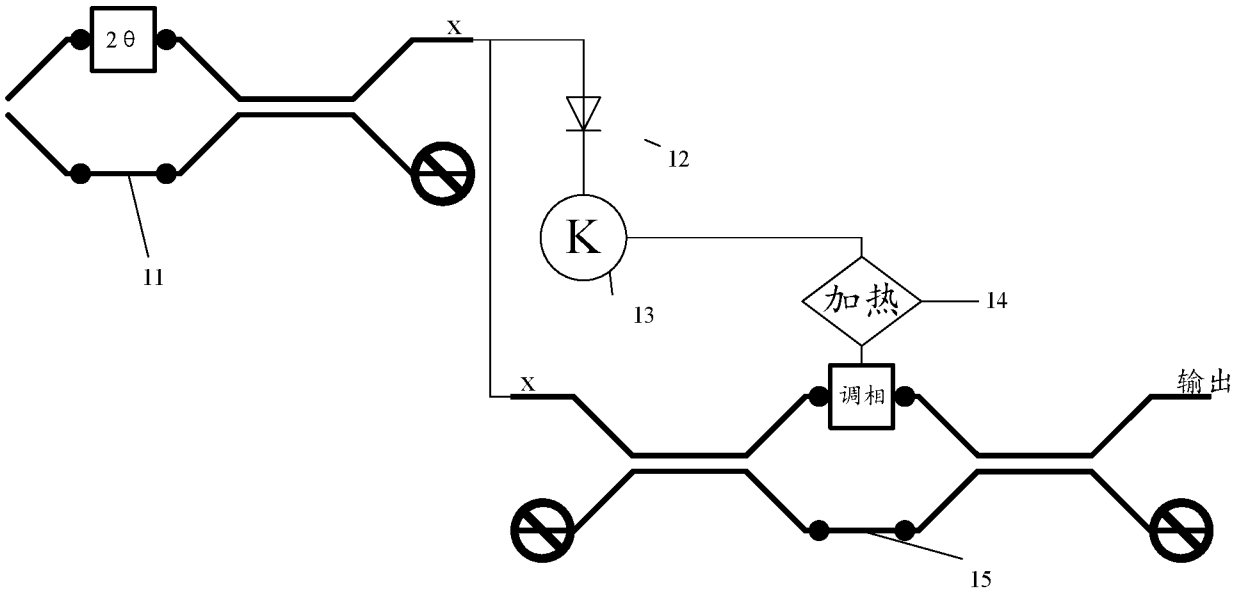
2θ
x
12
K
13
加热
14
x
调相
输出
11
15

图 5

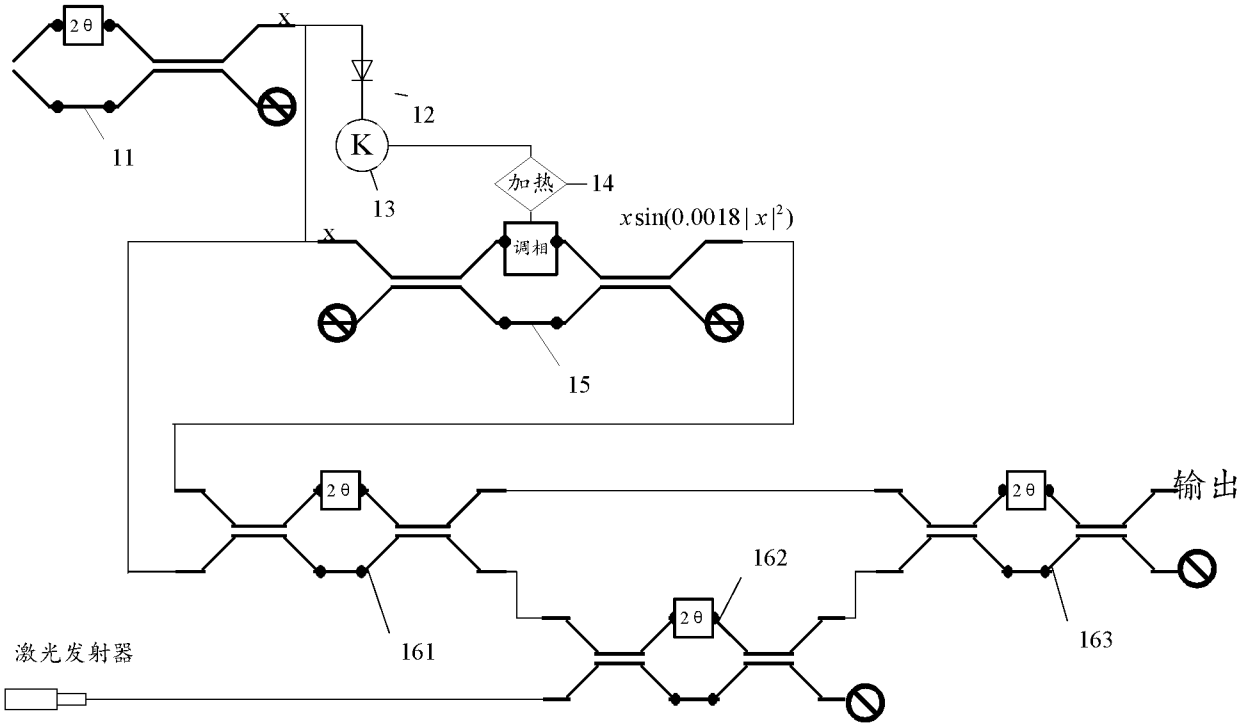
2θ
x
12
11
K
13
加热
14
$x\sin(0.0018|x|^2)$
x
调相
15
2θ
2θ
输出
162
2θ
161
163
激光发射器

图 6

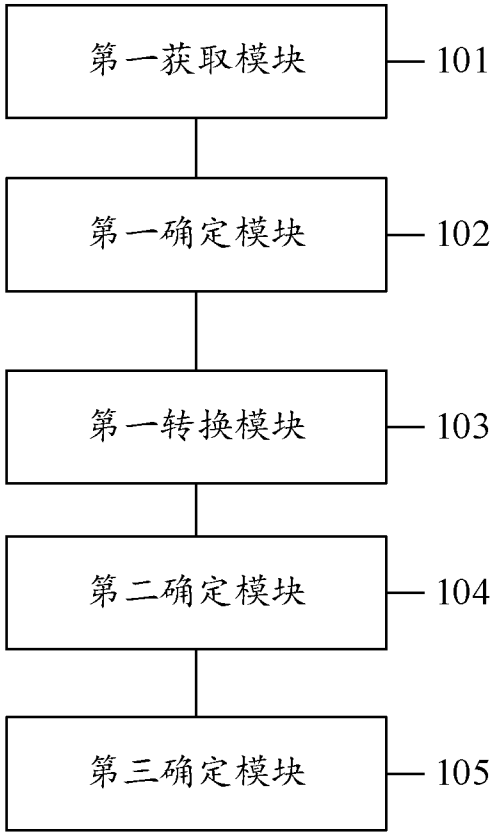
第一获取模块
101
第一确定模块
102
第一转换模块
103
第二确定模块
104
第三确定模块
105

图 7

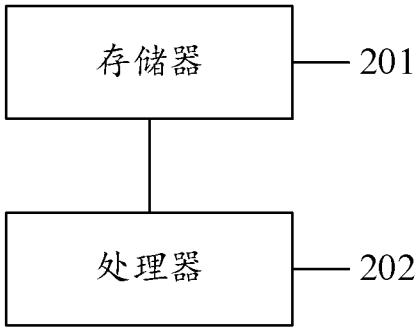
存储器
201
处理器
202

图 8

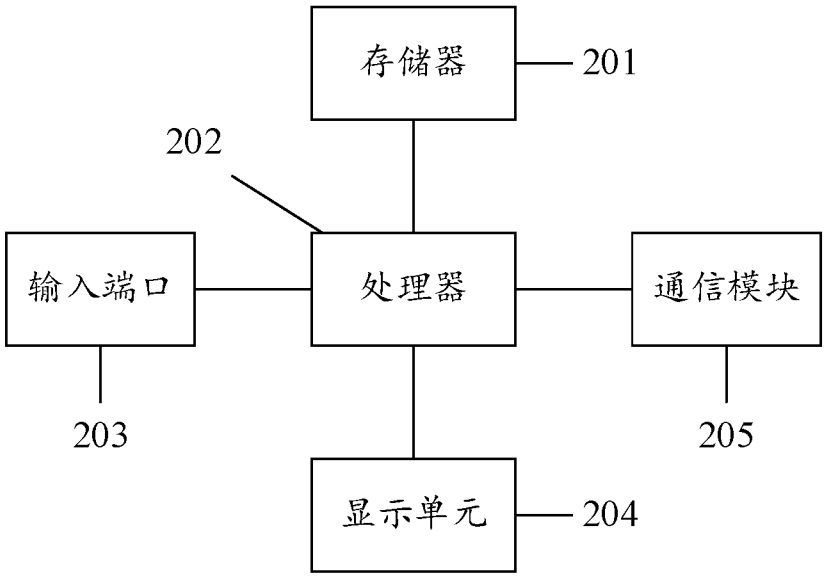
存储器
201
202
输入端口
处理器
通信模块
203
205
显示单元
204

图 9

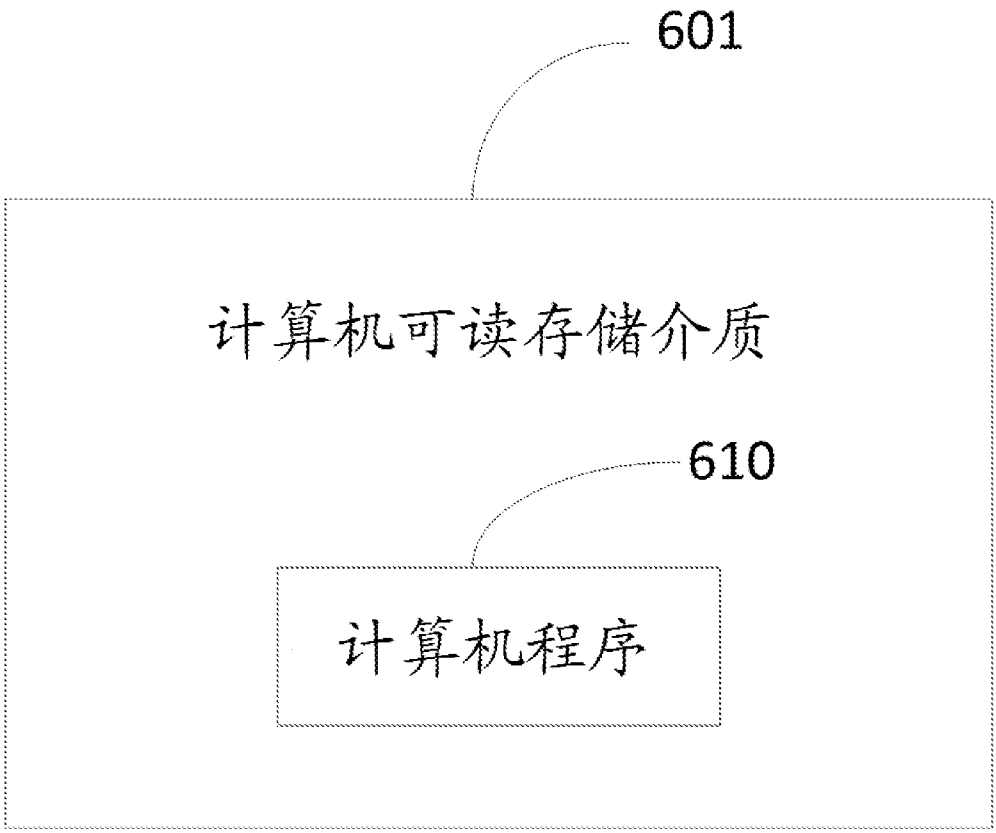
601
计算机可读存储介质
610
计算机程序

图 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2022/074612

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 30/30(2020.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G06F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; CNKI; 万方, WANFANG; 百度, BAIDU; WPABS; EPTXT; USTXT; WOTXT: 光, 芯片, 计算, 马赫曾德尔, 马赫增德尔, 非线性, 线性, 函数, 运算, 神经网络, 激活, 激励, 输入, 输入, 连接, 拟合, 逼近, 二极管, 放大器, optical, chip, compute, Mach Zehnder, nonlinear, linear, function, operation, neural network, activation, input, output, connect, fit, approximate, diode, amplifier

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	侯建宏 (HOU, Jianhong). "硅基MZI光调制芯片的设计与封装 (Design and Packaging on Silicon-based Mach-Zehnder Optical Modulation Chips)" *中国优秀硕士学位论文全文数据库 (Chinese Master's Theses Full-Text Database)*, 15 August 2018 (2018-08-15), pp. 10-37	1-3, 8-9, 11-12
Y	孙瀛 (SUN, Ying). "基于FPGA的半导体激光器调频非线性校正技术研究 (Research on the Frequncy Modulation Non-linear Correction of Semiconductor Lasers Based on FPGA)" *中国优秀硕士学位论文全文数据库 (Chinese Master's Theses Full-Text Database)*, 15 February 2018 (2018-02-15), pp. 20-23	1-3, 8-9, 11-12
PX	CN 113569506 A (SUZHOU INSPUR INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 29 October 2021 (2021-10-29) claims 1-10	1-12
A	CN 111563583 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 21 August 2020 (2020-08-21) entire document	1-12

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 April 2022	**02 June 2022**
Name and mailing address of the ISA/CN **China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)** **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China** Facsimile No. **(86-10)62019451**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 113325650 A (SHANDONG YUNHAI GUOCHUANG CLOUD COMPUTING EQUIPMENT INDUSTRY INNOVATION CENTER CO., LTD.) 31 August 2021 (2021-08-31) entire document	1-12
A	CN 110197277 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 03 September 2019 (2019-09-03) entire document	1-12
A	CN 113343814 A (TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 03 September 2021 (2021-09-03) entire document	1-12
A	US 2020401012 A1 (NATIONAL UNIV OF DEFENSE TECHNOLOGY) 24 December 2020 (2020-12-24) entire document	1-12
A	US 2021072784 A1 (INTEL CORP.) 11 March 2021 (2021-03-11) entire document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2022/074612

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 113569506 A	29 October 2021	CN 113325650 B	17 December 2021
CN 111563583 A	21 August 2020	None	
CN 113325650 A	31 August 2021	None	
CN 110197277 A	03 September 2019	None	
CN 113343814 A	03 September 2021	None	
US 2020401012 A1	24 December 2020	CN 110333637 A	15 October 2019
		US 11092875 B2	17 August 2021
US 2021072784 A1	11 March 2021	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/074612

A. 主题的分类

G06F 30/30(2020.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G06F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNABS; CNTXT; CNKI; 万方; 百度; WPABS; EPTXT; USTXT; WOTXT:光，芯片，计算，马赫曾德尔，马赫增德尔，非线性，线性，函数，运算，神经网络，激活，激励，输入，输入，连接，拟合，逼近，二极管，放大器，optical, chip, compute, Mach Zehnder, nonlinear, linear, function, operation, neural network, activation, input, output, connect, fit, approximate, diode, amplifier

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
Y	侯建宏. "硅基MZI光调制芯片的设计与封装" 《中国优秀硕士学位论文全文数据库》, 2018年8月15日 (2018-08-15), 第10-37页	1-3，8-9，11-12
Y	孙瀛. "基于FPGA的半导体激光器调频非线性校正技术研究" 《中国优秀硕士学位论文全文数据库》, 2018年2月15日 (2018-02-15), 第20-23页	1-3，8-9，11-12
PX	CN 113569506 A (苏州浪潮智能科技有限公司) 2021年10月29日 (2021-10-29) 权利要求1-10	1-12
A	CN 111563583 A (清华大学) 2020年8月21日 (2020-08-21) 全文	1-12
A	CN 113325650 A (山东云海国创云计算装备产业创新中心有限公司) 2021年8月31日 (2021-08-31) 全文	1-12
A	CN 110197277 A (浙江大学) 2019年9月3日 (2019-09-03) 全文	1-12

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2022年4月21日	2022年6月2日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 罗畅 电话号码 027-59371916

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/074612

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 113343814 A (太原理工大学) 2021年9月3日 (2021 - 09 - 03) 全文	1-12
A	US 2020401012 A1 (NATIONAL UNIV OF DEFENSE TECHNOLOGY) 2020年12月24日 (2020 - 12 - 24) 全文	1-12
A	US 2021072784 A1 (INTEL CORP.) 2021年3月11日 (2021 - 03 - 11) 全文	1-12

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2022/074612

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	113569506	A	2021年10月29日	CN	113325650	B	2021年12月17日
CN	111563583	A	2020年8月21日		无		
CN	113325650	A	2021年8月31日		无		
CN	110197277	A	2019年9月3日		无		
CN	113343814	A	2021年9月3日		无		
US	2020401012	A1	2020年12月24日	CN	110333637	A	2019年10月15日
				US	11092875	B2	2021年8月17日
US	2021072784	A1	2021年3月11日		无		