(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
2024 年 10 月 3 日 (03.10.2024)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2024/198525 A1

(51) 国际专利分类号:
G06T 17/00 (2006.01) *H04N 19/85* (2014.01)
G01B 11/24 (2006.01) *G06T 5/00* (2024.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2023/138500

(22) 国际申请日: 2023 年 12 月 13 日 (13.12.2023)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202310326388.3 2023年3月29日 (29.03.2023) CN

(71) 申请人: 五邑大学 (**WUYI UNIVERSITY**) [CN/CN]; 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。

(72) 发明人: 习江涛 (**XI, Jiangtao**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 马钊 (**MA, Zhao**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 龙佳乐 (**LONG, Jiale**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 李英荣 (**LI, Yingrong**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 孟垂松 (**MENG, Chuisong**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 黄克森 (**HUANG, Kesen**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 杜梓浩 (**DU, Zihao**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 潘剑 (**PAN, Jian**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 卓节锴 (**ZHUO, Jiekai**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 张建民 (**ZHANG, Jianmin**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 黎在铭 (**LI, Zaiming**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。 黄昊铭 (**HUANG, Haoming**); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。

(54) **Title:** COMPRESSION ULTRAFAST THREE-DIMENSIONAL IMAGING METHOD AND SYSTEM, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 压缩超快三维成像方法、系统、电子设备及存储介质

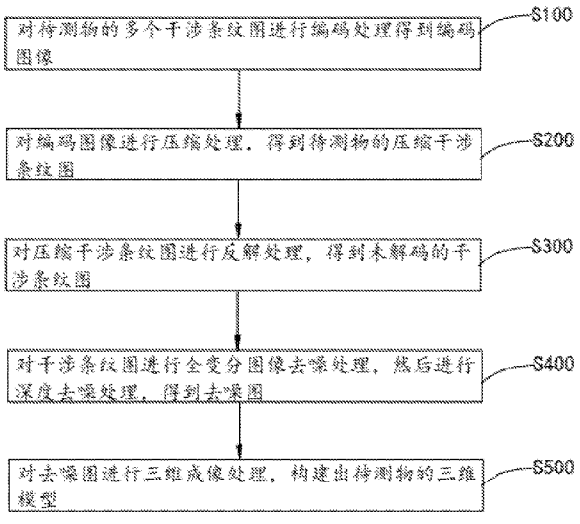


图 1

S100 Encode a plurality of interference fringe images of an object to be detected to obtain encoded images

S200 Compress the encoded images to obtain compressed interference fringe images of said object

S300 Perform inverse solution on the compressed interference fringe images to obtain undecoded interference fringe images

S400 Perform total variation image denoising on the interference fringe images, and then perform deep denoising to obtain denoised images

S500 Perform three-dimensional imaging on the denoised images, and construct a three-dimensional model of said object

(57) **Abstract:** Embodiments of the present application provide a compression ultrafast three-dimensional imaging method and system, an electronic device, and a storage medium. The method comprises: encoding a plurality of interference fringe images of an object to be detected to obtain encoded images; compressing the encoded images to obtain compressed interference fringe images of said object; performing inverse solution on the compressed interference fringe images to obtain undecoded interference fringe images; performing total variation image denoising on the interference fringe images, and then performing deep denoising to obtain denoised images; and performing three-dimensional imaging on the denoised images, and constructing a three-dimensional model of said object. Thus, high-precision imaging with ultrafast phase change can be achieved.

WO 2024/198525 A1

[见续页]

(74) 代理人: 广州嘉权专利商标事务所有限公司 (JIAQUAN IP LAW); 中国广东省广州市天河区黄埔大道西100号富力盈泰广场A栋910, Guangdong 510627 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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: 本申请实施例提供了压缩超快三维成像方法、系统、电子设备及存储介质，方法包括对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像；对编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图；对压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图；对干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图；对去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型；能够实现超快变化相位的高精度成像。

压缩超快三维成像方法、系统、电子设备及存储介质

技术领域

本申请实施例涉及但不限于三维成像领域，尤其涉及压缩超快三维成像方法、系统、电子设备及存储介质。

背景技术

在目前的三维成像的技术中，结构光三维成像技术最快也只能到达毫秒级。并且，应用于结构光三维成像技术的图像重构算法，例如 TwIST、TVAL3 等，在重建干涉条纹图像方面的效果不理想，由于干涉条纹图像存在条纹密集和带有弯曲，这使得重建出来的图像分辨率不高。

发明内容

以下是对本文详细描述的主题的概述。本概述并非是为了限制权利要求的保护范围。

本申请的目的在于至少一定程度上解决相关技术中存在的技术问题之一，本申请实施例提供了压缩超快三维成像方法、系统、电子设备及存储介质，能够实现超快变化相位的高精度成像。

本申请的第一方面的实施例，一种压缩超快三维成像方法，包括：

对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像；

对所述编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图；

对所述压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图；

对所述干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图；

对所述去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型。

本申请的第一方面的某些实施例，通过反向模型求解待求解式子以对所述压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图，所述待求解式子为：$\hat{x} = \arg\min_{x} \frac{1}{2}||y - Ax||_2^2 + \lambda R(x)$；其中，x 为干涉条纹图序列，$\hat{x}$为未解码的干涉条纹图序列，y 为压缩干涉条纹图，$\lambda$为噪声平衡因子，$R(x)$为正则化项，A 为算子。

本申请的第一方面的某些实施例，所述算子通过以下式子表示：A=TSC，T 为时间空间积分算子，S 为时间剪切算子，C 为编码算子。

本申请的第一方面的某些实施例，所述深度去噪处理通过以下式子表示：$v^{k+1} = \arg\min_{v} \frac{\lambda_1}{\gamma} R(v) + ||x^{k+1} - v||_2^2$;x 为干涉条纹图序列，v 为辅助变量，k 为迭代次数，λ_1为正则化参数，γ 为惩罚因子。

本申请的第一方面的某些实施例，所述对所述去噪图进行三维成像处理，得到待测物的三维模型，包括：

对所述去噪图进行相位重建，得到相位图；

对所述相位图进行相位展开，得到绝对相位图；

根据所述绝对相位图和预设的标定参数，计算得到待测物的三维坐标，进而构建出待测物的三维模型。

本申请的第一方面的某些实施例，所述对所述去噪图进行相位重建，得到待测物的相位图，包括：

对所述去噪图进行傅里叶变换得到第一变换图，对参考条纹图进行傅里叶变换得到第二变换图；

对所述第一变换图进行滤波得到第一变换图的基频分量，对所述第二变化图进行滤波得到第二变换图的基频分量；

对所述第一变换图的基频分量和所述第二变换图的基频分量进行反正切计算，得到待测物的相位图。

本申请的第一方面的某些实施例，所述第一变换图的基频分量表示为：$d_f(x) = b_1\cos(2\pi f_0 x + \psi_1 + \triangle\phi_1(x))$；所述第二变换图的基频分量表示为：$r_f(x) = b_1\cos(2\pi f_0 x + \psi_1)$；其中，$f_0$表示条纹基频成分的空间频率。$b_1$表示投影条纹第 1 阶谐波分量的幅度，$\psi_1$表示第 1 阶谐波分量的初始相位。$\phi_1$表示第 1 阶谐波引起条纹变形的相位变化；$\triangle\phi_1(x)$=unwrap（Im{In[$D_f(x) R_f^*(x)$]}），unwrap 表示相位展开，$D_f(x)$为第一变换图的基频分量的复信号，$R_f(x)$为第二变换图的基频分量的复信号，Im 表示取复数的虚部，In 表示自然对数，$R_f^*(x)$表示$R_f(x)$的复共轭。

本申请的第二方面的实施例，一种压缩超快三维成像系统，包括光源、掩码板、图像拍摄装置和图像处理装置；所述光源产生的光先经过所述掩码板，再进入所述图像拍摄装置；

所述掩码板加载有编码矩阵；所述掩码板用于对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像；

所述图像拍摄装置用于对所述编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图；

所述图像处理装置被配置为对所述压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图，对所述干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图，对所述去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型。

本申请的第三方面的实施例，一种电子设备，包括：存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现如上所述的压缩超快三维成像方法。

本申请的第四方面的实施例，一种计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行如上所述的压缩超快三维成像方法。

上述方案至少具有以下的有益效果：通过对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像；对编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图；对压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图；对干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图；对去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型；能够实现超快变化相位的高精度成像。

附图说明

附图用来提供对本申请技术方案的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与本申请的实施例一起用于解释本申请的技术方案，并不构成对本申请技术方案的限制。

图 1 是本申请的实施例所提供的压缩超快三维成像方法的步骤图；

图 2 是步骤 S500 的子步骤图；

图 3 是步骤 S510 的子步骤图；

图 4 是本申请的实施例所提供的压缩超快三维成像系统的结构图；

图 5 是本申请的实施例所提供的电子设备的结构图。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请进行进一步详细说明。应当理解，此处所描述的具体实施例仅用以解释本申请，并不用于限定本申请。

需要说明的是，虽然在装置示意图中进行了功能模块划分，在流程图中示出了逻辑顺序，但是在某些情况下，可以以不同于装置中的模块划分，或流程图中的顺序执行所示出或描述的步骤。说明书、权利要求书或上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。

下面结合附图，对本申请实施例作进一步阐述。

三维成像技术是使用电子仪器获取被测物体的三维空间信息和三维形貌特征的技术。随着现代电子技术和工业生产水平的不断进步，人们对于物体三维成像技术的需求日益强烈，三维成像技术可以从物体的二维图像中还原丢失掉的深度信息和待测目标的三维结构。目前三维成像技术已经广泛运用到生物医学成像、工业生产检测、微纳制造等领域，已经成为智能制造不可或缺的支撑性技术。

本申请的实施例，提供了一种压缩超快三维成像系统。参照图 4，压缩超快三维成像系统包括光源 101、掩码板、图像拍摄装置和图像处理装置。

其中，光源为飞秒激光器、衰减器和多个反射镜，飞秒激光器能产生功率为 1300mw，波长为 800nm 的激光，衰减器设有 0.05%出光口。在该实施例中，通过两个反射镜对激光进行反射；当然在其他实施例中，也可以根据实际需求通过其他数量的反射镜对激光进行反射以调整光路。

飞秒激光器所产生的激光进入暗室。在暗室中，光路经过扩束镜 102 和准直镜 103，然后由第一个分束镜 104 分成两个光路，其中一个光路经过马赫曾德尔干涉仪光学系统产生干涉条纹，再射向第二个分束镜 105，另一个光路直接射向第二个分束镜。

产生的静态干涉条纹由 CCD 相机 106 进行拍摄。

干涉条纹投影到待测物放置区域 107 放置上放置的待测物，然后依次经过相机透镜 108、第三个分束镜 109；第三个分束镜 109 所分得的一个光路由条纹相机 110 拍摄，第三个分束镜 109 所分得的另一个光路经过管透镜 111 和物镜 112，由数字微镜器件 113 进行编码。

图像拍摄装置包括条纹相机 110、CCD 相机 106、数字微镜器件 113。

两束光在 CCD 相机 106 等感光元件上叠加产生干涉，感光元件上各点的感光程度不仅随强度也随两束光的位相关系而不同。激光经过马赫曾德尔干涉仪光学系统产生干涉条纹，并投影到待测物体上，漫反射后的光通过两个 4f 系统以及数字微镜器件 113 进行干涉条纹的图像编码并进入压缩超快系统中的条纹相机，实现干涉条纹的二维空间信息记录。

图像处理装置被配置为对压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图，对干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图，对去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型。

即该超快全息成像系统，采用以下的压缩超快三维成像方法。

参照图 1，压缩超快三维成像方法，包括但不限于以下步骤：

步骤 S100，对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像；

步骤 S200，对编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图；

步骤 S300，对压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图；

步骤 S400，对干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图；

步骤 S500，对去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型。

对于步骤 S100，飞秒激光器所产生的激光由分束镜分成两个光路，其中一个光路产生的干涉条纹投影到待测物体上，另一个光路由 CCD 拍摄静态干涉条纹。干涉条纹投影到待测物得到干涉条纹成像序列。激光产生的漫反射经过加载有编码矩阵的数字微镜器件 113，实现对待测物的多个图像进行编码处理得到编码图像。

对于步骤 S200，条纹相机的系统对编码图像进行剪切和压缩进而得到压缩干涉条纹图。其中，激光经过马赫曾德尔干涉仪光学系统产生干涉条纹，并投影到待测物体上，漫反射后的光通过两个 4f 系统以及数字微镜器件 113 进行干涉条纹的图像编码并进入压缩超快系统中的条纹相机，实现干涉条纹的二维空间信息记录。

对于步骤 S300，从二维图恢复三维图是一个不适定的线性你问题。反向模型通过干涉条纹图像的先验分布以获得良好的恢复结果，使用最大后验概率估计，给定测量得到的 y 压缩干涉条纹图和前向模型（似然函数 $p_{y|x}$）来估计未知信号 x 的干涉条纹图序列。

有 $$\hat{x} = \arg\max_x p_{x|y}(x \mid y) = \arg\max_x \frac{p_{y|x}(y \mid x) p_x(x)}{p_y(y)} = \arg\max_x p_{y|x}(y \mid x) p_x(x)$$ 。

假设测量的信号包含加性高斯白噪声（AWGN），则可以改写为：

$$\hat{x} = \arg\max_x p_{x|y}(x \mid y) = \arg\max_x \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_\varepsilon^2}\|y - Ax\|_2^2 + \log p_x(x)\right]$$ 。

$$= \arg\min_x \frac{1}{2}\|y - Ax\|_2^2 - \sigma_\varepsilon^2 \log p_x(\mathrm{x})$$

通过将未知噪声方差 δ 替换为噪声平衡因子 λ 和负对数先验函数 P_x（x），并且以正则化项 R（x）约束优化问题，则有待求解式子为：$\hat{x} = \arg\min_x \frac{1}{2}||y - Ax||_2^2 + \lambda R(x)$；其中，x 为干涉条纹图序列，$\hat{x}$为未解码的干涉条纹图序列，y 为条纹相机的压缩干涉条纹图，λ为噪声平衡因子，$R(x)$为正则化项，A 为算子。

算子通过以下式子表示：A=TSC，T 为在条纹相机外置 CCD 的曝光时间上的时间空间积分算子，S 为垂直方向上的时间剪切算子，C 为掩码板的编码算子。

在压缩超快三维成像系统中，根据给定的算子和动态场景的稀疏性，通过求解上述式子优化问题来完成图像重构，通过反向模型求解待求解式子以对压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图。反向模型应用 PnP 框架，基于广义交替投影（Generalized Alternating Projection，GAP）。

对于步骤 S400，通过全变分图像去噪算法对干涉条纹图进行全变分图像去噪处理。

全变分图像去噪算法是一种图像复原算法，它是将干净的图像从噪声图像中复原出来，通过建立噪声模型，采用最优化算法求解模块，并通过不断迭代的过程，使得复原出的图像无限逼近理想去噪后的图像。与深度学习十分类似，噪声模型类比于损失函数，通过不断训练，使得两者的差距越来越接近，同样需要梯度下降法快速得到最优解。

对于深度去噪，深度去噪处理通过以下式子表示：$v^{k+1}=D_{\sigma}(x^{k+1})$；进一步可以表示为：$v^{k+1}=\arg\min_{v}\frac{\lambda_1}{\gamma}R(v)+||x^{k+1}-v||_2^2$;x 为干涉条纹图序列，v 为辅助变量，k 为迭代次数，λ_1为正则化参数，γ 为惩罚因子。

$v^{k+1}=D_{\sigma}(x^{k+1})$ 可以看作是一个去噪器，δ 为噪声标准差。

去噪器应适应不同的输入噪声水平。可以使用深度图像去噪网络作为空间图像先验，即深度图像去噪声先验。采用已经训练好的去噪模型来重构干涉条纹图像序列。训练的去噪模型是对图像进行逐帧去噪。

参照图 2，对于步骤 S500，对去噪图进行三维成像处理，得到待测物的三维模型，包括但不限于以下步骤：

步骤 S510，对去噪图进行相位重建，得到相位图；

步骤 S520，对相位图进行相位展开，得到绝对相位图；

步骤 S530，根据绝对相位图和预设的标定参数，计算得到待测物的三维坐标，进而构建出待测物的三维模型。

参照图 3，对于步骤 S510,对去噪图进行相位重建，得到待测物的相位图，包括但不限于以下步骤：

步骤 S511，对去噪图进行傅里叶变换得到第一变换图，对参考条纹图进行傅里叶变换得到第二变换图；

步骤 S512，对第一变换图进行滤波得到第一变换图的基频分量，对第二变化图进行滤波得到第二变换图的基频分量；

步骤 S513，对第一变换图的基频分量和第二变换图的基频分量进行反正切计算，得到待测物的相位图。

使用傅里叶变换对去噪图和参考条纹图进行条纹分析。对去噪图进行傅里叶变换得到第一变换图，对参考条纹图进行傅里叶变换得到第二变换图。

去噪器的强度可以表示为：$d(x)=\sum_{k=0}^{+\infty}b_k\cos(2\pi kf_0x+\psi_k+\phi_k)$。参考条纹图的强度可以表示为：$r(x)=\sum_{k=0}^{+\infty}b_k\cos(2\pi kf_0x+\psi_k)$。

其中，f_0表示条纹基频成分的空间频率。b_k表示投影条纹第 k 阶谐波分量的幅度，相对于f_0来说，b_k变化非常缓慢，在实际测量中一般把b_k作为常数处理。ψ_k表示第 k 阶谐波分量的初始相位。ϕ_k表示第 k 阶谐波引起条纹变形的相位变化。

通常空间频率为f_0的谐波被称为条纹的基频分量，条纹的相位信息都是直接从基频分量提取，因此基频成分构成了解析条纹信号最重要的部分。

通过带通滤波器对第一变换图进行滤波得到第一变换图的基频分量，对第二变化图进行滤波得到第二变换图的基频分量。

其中，第一变换图的基频分量表示为：$d_f(x)=b_1\cos(2\pi f_0x+\psi_1+\triangle\phi_1(x))$；第二变换图的基频分量表示为：$r_f(x)=b_1\cos(2\pi f_0x+\psi_1)$。

对去噪图和参考条纹图经过傅里叶变换处理和滤波处理所得到第一变换图的基频分量和

第二变换图的基频分量，进行反正切计算，得到条纹分析结果，即相位图。

对相位图进行展开操作，以获得准确的物体表面形貌数据，即绝对相位图。

令第二变换图的基频分量的复信号表示为R_f（x），第一变换图的基频分量的复信号表示为D_f（x），有$\Delta\phi_1$（x）=unwrap（Im{In[D_f（x）R_f^*（x）]}）。其中，unwrap 表示相位展开，Im 表示取复数的虚部，In 表示自然对数，R_f^*（x）表示R_f（x）的复共轭。

根据绝对相位图和三维系统的标定参数，计算出待测物体的三维坐标，得到待测物体的三维模型。

本申请的实施例，提供了一种电子设备。参照图 5，电子设备包括：存储器 620、处理器 610 及存储在存储器 620 上并可在处理器 610 上运行的计算机程序，所述处理器 610 执行所述计算机程序时实现如上所述的压缩超快三维成像方法。

该电子设备可以为包括平板电脑、车载电脑等任意智能终端。

总体而言，对于电子设备的硬件结构，处理器 610 可以采用通用的 CPU（Central Processing Unit，中央处理器）、微处理器、应用专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit，ASIC）、或者一个或多个集成电路等方式实现，用于执行相关程序，以实现本申请实施例所提供的技术方案。

存储器 620 可以采用只读存储器（Read Only Memory，ROM）、静态存储设备、动态存储设备或者随机存取存储器（Random Access Memory，RAM）等形式实现。存储器 620 可以存储操作系统和其他应用程序，在通过软件或者固件来实现本说明书实施例所提供的技术方案时，相关的程序代码保存在存储器 620 中，并由处理器 610 来调用执行本申请实施例的方法。

输入/输出接口用于实现信息输入及输出。

通信接口用于实现本设备与其他设备的通信交互，可以通过有线方式（例如 USB、网线等）实现通信，也可以通过无线方式（例如移动网络、WIFI、蓝牙等）实现通信。

总线 630 在设备的各个组件（例如处理器 610、存储器 620、输入/输出接口和通信接口）之间传输信息。处理器 610、存储器 620、输入/输出接口和通信接口通过总线 630 实现彼此之间在设备内部的通信连接。

本申请的实施例，提供了一种计算机可读存储介质。计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行如上所述的压缩超快三维成像方法。

应当认识到，本发明实施例中的方法步骤可以由计算机硬件、硬件和软件的组合、或者通过存储在非暂时性计算机可读存储器中的计算机指令来实现或实施。所述方法可以使用标准编程技术。每个程序可以以高级过程或面向对象的编程语言来实现以与计算机系统通信。然而，若需要，该程序可以以汇编或机器语言实现。在任何情况下，该语言可以是编译或解释的语言。此外，为此目的该程序能够在编程的专用集成电路上运行。

此外，可按任何合适的顺序来执行本文描述的过程的操作，除非本文另外指示或以其他方式明显地与上下文矛盾。本文描述的过程（或变型和/或其组合）可在配置有可执行指令的一个或多个计算机系统的控制下执行，并且可作为共同地在一个或多个处理器上执行的代码（例如，可执行指令、一个或多个计算机程序或一个或多个应用）、由硬件或其组合来实现。所述计算机程序包括可由一个或多个处理器执行的多个指令。

进一步，所述方法可以在可操作地连接至合适的任何类型的计算平台中实现，包括但不

限于个人电脑、智能手机、主框架、工作站、网络或分布式计算环境、单独的或集成的计算机平台、或者与带电粒子工具或其它成像装置通信等等。本发明的各方面可以以存储在非暂时性存储介质或设备上的机器可读代码来实现，无论是可移动的还是集成至计算平台，如硬盘、光学读取和/或写入存储介质、RAM、ROM 等，使得其可由可编程计算机读取，当存储介质或设备由计算机读取时可用于配置和操作计算机以执行在此所描述的过程。此外，机器可读代码，或其部分可以通过有线或无线网络传输。当此类媒体包括结合微处理器或其他数据处理器实现上文所述步骤的指令或程序时，本文所述的发明包括这些和其他不同类型的非暂时性计算机可读存储介质。当根据本发明所述的方法和技术编程时，本发明还包括计算机本身。

计算机程序能够应用于输入数据以执行本文所述的功能，从而转换输入数据以生成存储至非易失性存储器的输出数据。输出信息还可以应用于一个或多个输出设备如显示器。在本发明优选的实施例中，转换的数据表示物理和有形的对象，包括显示器上产生的物理和有形对象的特定视觉描绘。

尽管已经示出和描述了本申请的实施方式，本领域的普通技术人员可以理解：在不脱离本申请的原理和宗旨的情况下可以对这些实施方式进行多种变化、修改、替换和变型，本申请的范围由权利要求及其等同物限定。

以上是对本申请的较佳实施进行了具体说明，但本申请并不限于实施例，熟悉本领域的技术人员在不违背本申请精神的前提下可做作出种种的等同变形或替换，这些等同的变形或替换均包含在本申请权利要求所限定的范围内。

权 利 要 求 书

1、一种压缩超快三维成像方法，其特征在于，包括：

对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像；

对所述编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图；

对所述压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图；

对所述干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图；

对所述去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型。

2、根据权利要求 1 所述的一种压缩超快三维成像方法，其特征在于，通过反向模型求解待求解式子以对所述压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图，所述待求解式子为：$\hat{x} = \arg\min_x \frac{1}{2}||y - Ax||_2^2 + \lambda R(x)$；其中，x 为干涉条纹图序列，$\hat{x}$为未解码的干涉条纹图序列，y 为压缩干涉条纹图，$\lambda$为噪声平衡因子，$R(x)$为正则化项，A 为算子。

3、根据权利要求 2 所述的一种压缩超快三维成像方法，其特征在于，所述算子通过以下式子表示：A=TSC，T 为时间空间积分算子，S 为时间剪切算子，C 为编码算子。

4、根据权利要求 1 所述的一种压缩超快三维成像方法，其特征在于，所述深度去噪处理通过以下式子表示：$v^{k+1} = \arg\min_v \frac{\lambda_1}{\gamma} R(v) + ||x^{k+1} - v||_2^2$；x 为干涉条纹图序列，v 为辅助变量，k 为迭代次数，λ_1为正则化参数，γ 为惩罚因子。

5、根据权利要求 1 所述的一种压缩超快三维成像方法，其特征在于，所述对所述去噪图进行三维成像处理，得到待测物的三维模型，包括：

对所述去噪图进行相位重建，得到相位图；

对所述相位图进行相位展开，得到绝对相位图；

根据所述绝对相位图和预设的标定参数，计算得到待测物的三维坐标，进而构建出待测物的三维模型。

6、根据权利要求 5 所述的一种压缩超快三维成像方法，其特征在于，所述对所述去噪图进行相位重建，得到待测物的相位图，包括：

对所述去噪图进行傅里叶变换得到第一变换图，对参考条纹图进行傅里叶变换得到第二变换图；

对所述第一变换图进行滤波得到第一变换图的基频分量，对所述第二变化图进行滤波得到第二变换图的基频分量；

对所述第一变换图的基频分量和所述第二变换图的基频分量进行反正切计算，得到待测物的相位图。

7、根据权利要求 6 所述的一种压缩超快三维成像方法，其特征在于，所述第一变换图的基频分量表示为：$d_f(x) = b_1\cos(2\pi f_0 x + \psi_1 + \triangle\phi_1(x))$；所述第二变换图的基频分量表示为：$r_f(x) = b_1\cos(2\pi f_0 x + \psi_1)$；其中，$f_0$表示条纹基频成分的空间频率。$b_1$表示投影条纹第 1 阶谐波分量的幅度，$\psi_1$表示第 1 阶谐波分量的初始相位。$\phi_1$表示第 1 阶谐波引起条纹变形的相位变化；$\triangle\phi_1(x)$=unwrap（Im{In[$D_f(x) R_f^*(x)$]}），unwrap 表示相位展开，$D_f(x)$为第一变换图的基频分量的复信号，$R_f(x)$为第二变换图的基频分量的复信号，Im 表示取复数的虚部，In 表示自然对数，$R_f^*(x)$表示$R_f(x)$的复共轭。

8、一种压缩超快三维成像系统，其特征在于，所述压缩超快三维成像系统包括光源、掩

码板、图像拍摄装置和图像处理装置；所述光源产生的光先经过所述掩码板，再进入所述图像拍摄装置；

所述掩码板加载有编码矩阵；所述掩码板用于对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像；

所述图像拍摄装置用于对所述编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图；

所述图像处理装置被配置为对所述压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图，对所述干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图，对所述去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型。

9、一种电子设备，包括：存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求 1 至 7 中任一项所述的压缩超快三维成像方法。

10、一种计算机可读存储介质，其特征在于，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行如权利要求 1 至 7 中任一项所述的压缩超快三维成像方法。

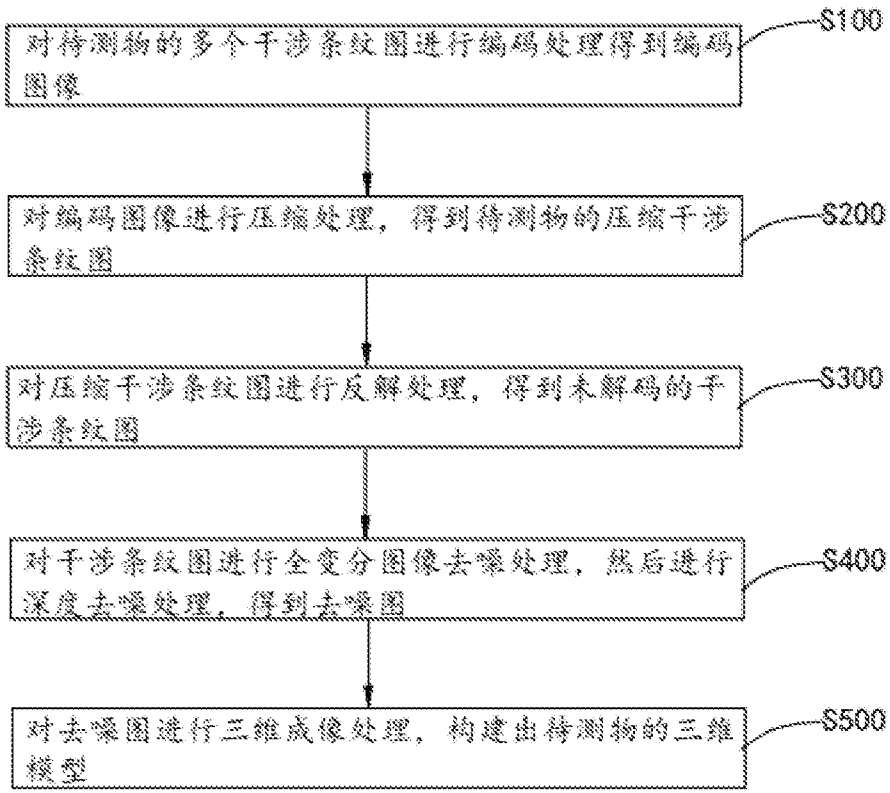

对待测物的多个干涉条纹图进行编码处理得到编码图像
S100
对编码图像进行压缩处理，得到待测物的压缩干涉条纹图
S200
对压缩干涉条纹图进行反解处理，得到未解码的干涉条纹图
S300
对干涉条纹图进行全变分图像去噪处理，然后进行深度去噪处理，得到去噪图
S400
对去噪图进行三维成像处理，构建出待测物的三维模型
S500

图 1

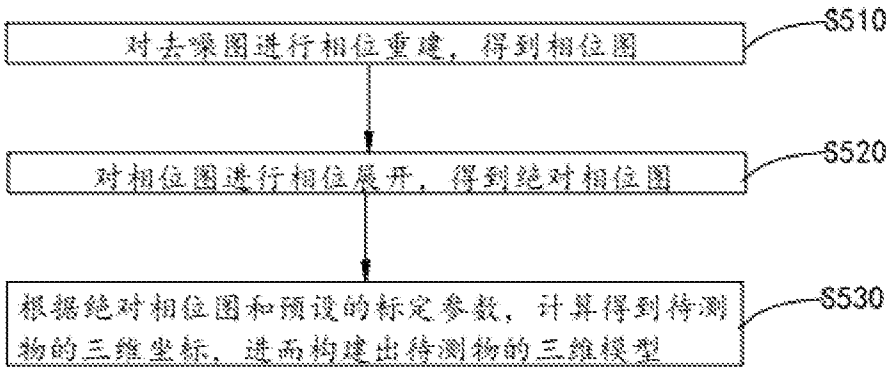

对去噪图进行相位重建，得到相位图
S510
对相位图进行相位展开，得到绝对相位图
S520
根据绝对相位图和预设的标定参数，计算得到待测物的三维坐标，进而构建出待测物的三维模型
S530

图 2

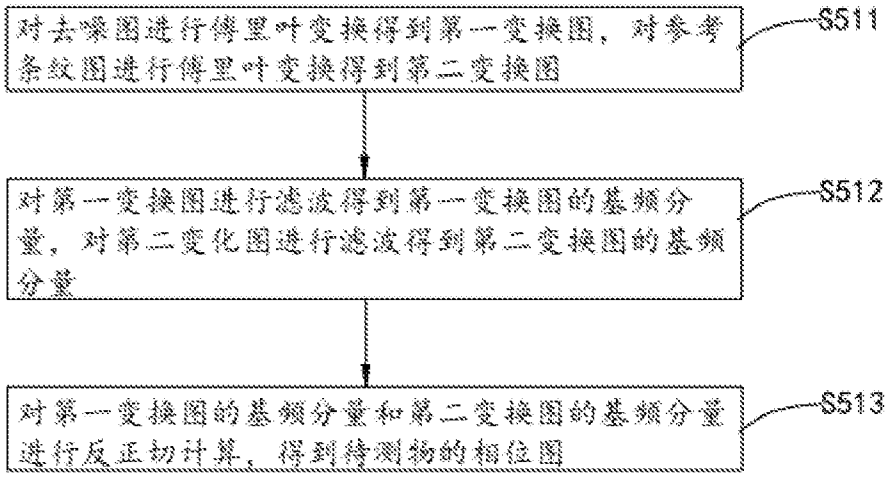

对去噪图进行傅里叶变换得到第一变换图，对参考条纹图进行傅里叶变换得到第二变换图
S511
对第一变换图进行滤波得到第一变换图的基频分量，对第二变化图进行滤波得到第二变换图的基频分量
S512
对第一变换图的基频分量和第二变换图的基频分量进行反正切计算，得到待测物的相位图
S513

图 3

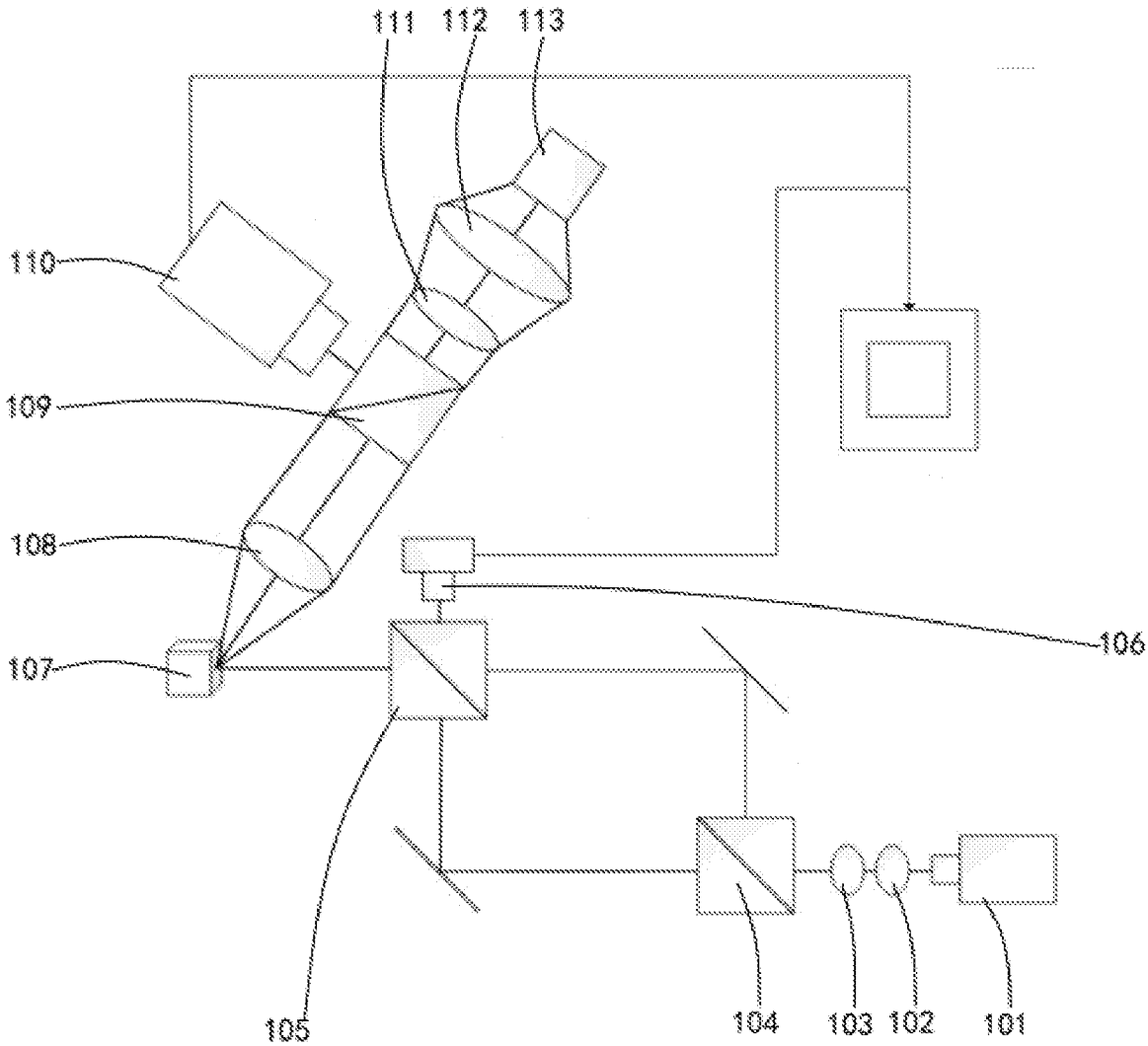

111
112
113
110
109
108
107
106
105
104
103
102
101

图 4

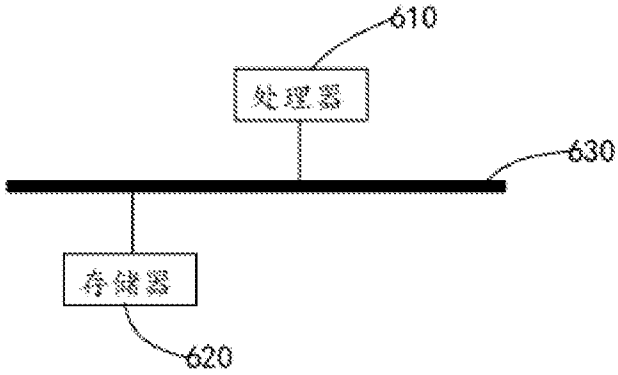


图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2023/138500

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 17/00(2006.01)i; G01B 11/24(2006.01)i; H04N 19/85(2014.01)i; G06T 5/00(2024.01)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)

IPC: G06T, G01B, H04N

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)

CNTXT, CNABS, WPABS, WPABSC, ENTXT, ENTXTC, DWPI, CNKI, IEEE: 压缩, 超快, 三维, 成像, 干涉条纹, 编码, 反解, 去噪, 模型, compress+, ultra-fast, ultrafast, three, dimensional, image, interference, fringe, pattern, encod+, un-decoded, undecoded, denoising, de-noising, model

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116402946 A (WUYI UNIVERSITY) 07 July 2023 (2023-07-07) claims 1-10	1-10
Y	CN 115330931 A (WUYI UNIVERSITY) 11 November 2022 (2022-11-11) description, paragraphs [0002]-[0037] and [0053]-[0120]	1-10
Y	CN 115857304 A (WUYI UNIVERSITY) 28 March 2023 (2023-03-28) description, paragraphs [0005]-[0029] and [0045]-[0088]	1-10
A	CN 115348434 A (WUYI UNIVERSITY) 15 November 2022 (2022-11-15) entire document	1-10
A	CN 115856840 A (TIANJIN UNIVERSITY) 28 March 2023 (2023-03-28) entire document	1-10
A	WO 2022224917 A1 (YASUMA, Noriko) 27 October 2022 (2022-10-27) entire document	1-10

☐ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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
19 February 2024	**27 February 2024**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2023/138500

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 116402946 A	07 July 2023	None	
CN 115330931 A	11 November 2022	None	
CN 115857304 A	28 March 2023	None	
CN 115348434 A	15 November 2022	None	
CN 115856840 A	28 March 2023	None	
WO 2022224917 A1	27 October 2022	JP 2022165355 A	31 October 2022

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2023/138500

A. 主题的分类

G06T 17/00(2006.01)i；G01B 11/24(2006.01)i；H04N 19/85(2014.01)i；G06T 5/00(2024.01)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)

IPC: G06T, G01B, H04N

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））

CNTXT,CNABS,WPABS,WPABSC,ENTXT,ENTXTC,DWPI,CNKI,IEEE：压缩，超快，三维，成像，干涉条纹，编码，反解，去噪，模型，compress+, ultra-fast, ultrafast, three, dimensional, image, interference, fringe, pattern, encod+, un-decoded, undecoded, denoising, de-noising, model

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
PX	CN 116402946 A (五邑大学) 2023年7月7日 (2023 - 07 - 07) 权利要求1-10	1-10
Y	CN 115330931 A (五邑大学) 2022年11月11日 (2022 - 11 - 11) 说明书第[0002]-[0037],[0053]-[0120]段	1-10
Y	CN 115857304 A (五邑大学) 2023年3月28日 (2023 - 03 - 28) 说明书第[0005]-[0029],[0045]-[0088]段	1-10
A	CN 115348434 A (五邑大学) 2022年11月15日 (2022 - 11 - 15) 全文	1-10
A	CN 115856840 A (天津大学) 2023年3月28日 (2023 - 03 - 28) 全文	1-10
A	WO 2022224917 A1 (YASUMA, Noriko) 2022年10月27日 (2022 - 10 - 27) 全文	1-10

☐ 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

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“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
2024年2月19日	2024年2月27日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	受权官员 王从雷 电话号码 (+86) 010-53961717

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/138500

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 116402946 A	2023年7月7日	无	
CN 115330931 A	2022年11月11日	无	
CN 115857304 A	2023年3月28日	无	
CN 115348434 A	2022年11月15日	无	
CN 115856840 A	2023年3月28日	无	
WO 2022224917 A1	2022年10月27日	JP 2022165355 A	2022年10月31日