

(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
2018 年 11 月 8 日 (08.11.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/201677 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06T 7/80 (2017.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/107274
- (22) 国际申请日: 2017 年 10 月 23 日 (23.10.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710306655.5 2017 年 5 月 4 日 (04.05.2017) CN
- (71) 申请人: 深圳大学 (SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。
- (72) 发明人: 刘晓利 (LIU, Xiaoli); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。

刘任斯 (LIU, Rensi); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。 汤其剑 (TANG, Qijian); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。 彭翔 (PENG, Xiang); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。 蔡泽伟 (CAI, Zewei); 中国广东省深圳市南山区南海大道 3688 号, Guangdong 518060 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市恒申知识产权事务所 (普通合伙) (HENSEN INTELLECTUAL PROPERTY FIRM); 中国广东省深圳市福田区南园路 68 号上步大厦 10H, Guangdong 518000 (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,

(54) Title: BUNDLE ADJUSTMENT-BASED CALIBRATION METHOD AND DEVICE FOR TELECENTRIC LENS-CONTAINING THREE-DIMENSIONAL IMAGING SYSTEM

(54) 发明名称: 基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法及装置

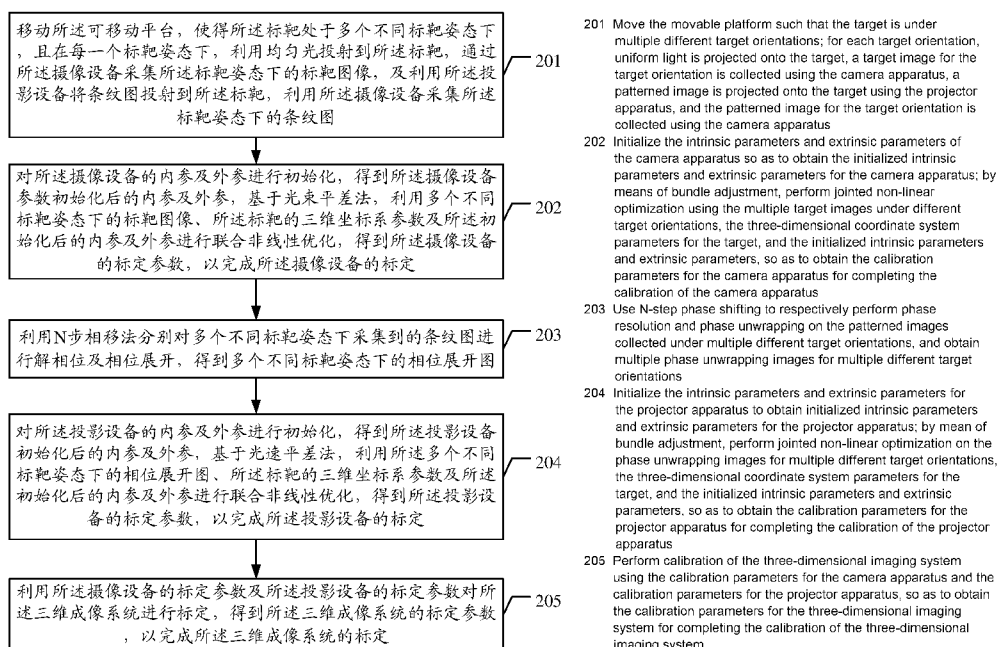


图 2

(57) Abstract: Disclosed in the present invention are a bundle adjustment-based calibration method and device for a telecentric lens-containing three-dimensional imaging system. In the method, a camera apparatus having a telecentric lens and a projector apparatus having a telecentric lens are employed in a three-dimensional imaging system, a bundle adjustment technique is employed to perform non-linear calibration on the camera apparatus and projector apparatus, and calibration parameters of the calibrated camera apparatus and

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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

projector apparatus are employed to calibrate the three-dimensional imaging system. By employing the bundle adjustment technique to effectively reduce influences of errors of a target on calibration accuracy of the three-dimensional imaging system, the present invention effectively improves the calibration accuracy, and accordingly enhances precision of the three-dimensional imaging system.

(57) 摘要: 本发明公开了一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法及装置, 在该方法中, 在三维成像系统中使用具有远心镜头的摄像设备及具有远心镜头的投影设备, 且通过光束平差法对摄像设备及投影设备进行非线性标定, 并利用完成标定后的摄像设备及投影设备的标定参数对该三维成像系统进行标定。通过使用光束平差法能够有效减小标靶误差对三维成像系统的标定精度的影响, 有效提升了标定精度, 进而提高了三维成像系统的精度。

基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法及装置

技术领域

本发明涉及三维成像及光学三维重建领域，尤其涉及一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法及装置。

背景技术

基于相位条纹编码的三维成像具有简单、计算速度快、测量精度高等优点，被广泛应用于物体三维成像和测量中。通过投影设备将含有正弦条纹的图像投射到待测物体上，物体表面的形状会使得投射的结构光图像产生不同调制，通过相机获取这些带有调制信息的结构光图像，结合调解方法和立体视觉技术可得到物体的三维数字形貌数据。

现有技术中，由于光学结构本身的限制，三维成像和三维扫描技术在对金属反光物、微小且形状奇异物体等特殊对象的处理上还有很大发展空间，另外在对系统标定，物体相位信息获取的完整度和精度的研究，对三维重建方法和技术等相关核心问题还需不断深入。

目前，如何提升三维成像系统的精度是亟待解决的问题。

发明内容

本发明的主要目的在于提供一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法及装置，旨在解决现有技术中三维成像系统的精度低的技术问题。

为实现上述目的，本发明第一方面提供一种一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法，所述方法应用于三维成像系统，所述三维成像系统包括：具有远心镜头的投影设备、具有远心镜头的摄像设备及可移动平台；所述投影设备的光轴垂直于水平放置的所述可移动平台，所述摄像设备的光轴与所述可移动平台成预设夹角，所述可移动平台上放置标靶，所述可移动平台始

终处于所述摄像设备及所述投影设备共同景深范围内，所述标定方法包括：

步骤 1、移动所述可移动平台，使得所述标靶处于多个不同标靶姿态下，且在每一个标靶姿态下，利用均匀光投射到所述标靶，通过所述摄像设备采集所述标靶姿态下的标靶图像，及利用所述投影设备将条纹图投射到所述标靶，利用所述摄像设备采集所述标靶姿态下的条纹图；

步骤 2、对所述摄像设备的内参及外参进行初始化，得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用多个不同标靶姿态下的标靶图像、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述摄像设备的标定参数，以完成所述摄像设备的标定；

步骤 3、利用 N 步相移法分别对多个不同标靶姿态下采集到的条纹图进行解相位及相位展开，得到多个不同标靶姿态下的相位展开图；

步骤 4、对所述投影设备的内参及外参进行初始化，得到所述投影设备初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用所述多个不同标靶姿态下的相位展开图、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述投影设备的标定参数，以完成所述投影设备的标定；

步骤 5、利用所述摄像设备的标定参数及所述投影设备的标定参数对所述三维成像系统进行标定，得到所述三维成像系统的标定参数，以完成所述三维成像系统的标定。

为实现上述目的，本发明还提供一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定装置，所述装置应用于三维成像系统，所述三维成像系统包括：具有远心镜头的投影设备、具有远心镜头的摄像设备及可移动平台；所述投影设备的光轴垂直于水平放置的所述可移动平台，所述摄像设备的光轴与所述可移动平台成预设夹角，所述可移动平台上放置标靶，所述可移动平台始终处于所述摄像设备及所述投影设备共同景深范围内，所述标定装置包括：

采集模块，用于移动所述可移动平台，使得所述标靶处于多个不同标靶姿

态下，且在每一个标靶姿态下，利用均匀光投射到所述标靶，通过所述摄像设备采集所述标靶姿态下的标靶图像，及利用所述投影设备将条纹图投射到所述标靶，利用所述摄像设备采集所述标靶姿态下的条纹图；

摄像设备标定模块，用于对所述摄像设备的内参及外参进行初始化，得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用多个不同标靶姿态下的标靶图像、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述摄像设备的标定参数，以完成所述摄像设备的标定；

获取模块，用于利用 N 步相移法分别对多个不同标靶姿态下采集到的条纹图进行解相位及相位展开，得到多个不同标靶姿态下的相位展开图；

投影设备标定模块，用于对所述投影设备的内参及外参进行初始化，得到所述投影设备初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用所述多个不同标靶姿态下的相位展开图、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述投影设备的标定参数，以完成所述投影设备的标定；

系统标定模块，用于利用所述摄像设备的标定参数及所述投影设备的标定参数对所述三维成像系统进行标定，得到所述三维成像系统的标定参数，以完成所述三维成像系统的标定。

本发明提供一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法，在三维成像系统中使用具有远心镜头的摄像设备及具有远心镜头的投影设备，且通过光束平差法对摄像设备及投影设备进行非线性标定，并利用完成标定后的摄像设备及投影设备的标定参数对该三维成像系统进行标定。通过使用光束平差法能够有效减小标靶误差对三维成像系统的标定精度的影响，有效提升了标定精度，进而提高了三维成像系统的精度。

附图说明

为了更清楚地说明本发明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发明的一些实施例，对于本领域技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图1为本发明实施例中基于光束平差的远心镜头三维成像系统的结构示意图；

图1.1为本发明实施例中双远心镜头的原理图；

图1.2为本发明实施例中建立的坐标系的示意图；

图2为本发明实施例中基于光束平差的远心镜头的三维成像系统的标定方法的流程示意图；

图3为本发明实施例中基于光束平差的远心镜头的三维成像系统的标定装置的功能模块的示意图。

具体实施方式

为使得本发明的发明目的、特征、优点能够更加的明显和易懂，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明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发明一部分实施例，而非全部实施例。基于本发明中的实施例，本领域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，都属于本发明保护的范围。

为了更好的理解本发明实施例中的技术方案，请参阅图 1，为本发明实施例中基于光束平差的远心镜头三维成像系统的结构示意图，该三维成像系统包括：具有远心镜头的投影设备、具有远心镜头的摄像设备及可移动平台。

其中，该投影设备的光轴垂直于水平放置的可移动平台，该摄像设备的光轴与该可移动平台成预设夹角，且该预设夹角可以是 70~85 度的范围内，其中，

可移动平台可放置在水平实验台上，且该可移动平台上可放置标靶。

其中，可移动平台是可以上下移动及左右移动的，也可以调节该可移动平台与水平面的角度，其中，通过移动该可移动平台，可以使得标靶处于不同的标靶姿态下。

其中，远心镜头可以使用双远心镜头，投影设备可以使用 DMD 投影仪，摄像设备可以使用 CMOS 器件或数码相机，

需要说明的是，为了能够实现标定，该可移动平台始终处于摄像设备及投影设备共同景深范围内，以便投影设备投影至标靶上的图像清晰，且摄像设备采集的图像也是清晰的。

为了更好的理解本发明实施例中的技术方案，下面将介绍远心镜头的相关内容。

远心镜头相对于现有的针孔模型镜头具有测量精度高，适用于高精度测量的优点。远心镜头可以分为物方远心镜头、像方远心镜头，及双远心镜头，以双远心镜头为例，请参阅图 1.1，为本发明实施例中，双远心镜头的原理图。

其中，该原理图也可以称为远心镜头模型，从模型的角度分析，该远心镜头模型是一种平行成像模型，在远心镜头的景深范围内，物体与镜头间的距离变化不会影响摄像设备对图像的放大率，为了更好的描述远心镜头模型，建立如图 1.2 的坐标系，其中， $O_w(X_w, Y_w, Z_w)$ 是世界坐标系作为统一坐标系来描述空间所有物体的相对位置，相机坐标系为 $O_c(X_c, Y_c, Z_c)$ ，通常选择相机的光轴直接作为相机坐标系的 Z_c 。坐标转换关系与针孔模型类似，其中，相机坐标系是依据成像面制定的坐标系，一般常取光轴为坐标系 Z 轴，世界坐标系上的点与相机坐标系上的点一一对应。其中，图像坐标也可以称为像素坐标，属于像素坐标系中的坐标，且像素坐标系是指相机像素面上像素点的排列坐标系，通常以图像左上角像素点为坐标原点，横坐标表示像素行数，纵坐标表示列数。

由于远心镜头成像是平行投影成像，相机坐标系在成像过程中会丢失 Z 轴

上的信息，因此，远心镜头成像实际可以理解为二维坐标信息经过一定的放大率投射在摄像设备的成像面上。

假设此处镜头放大率是 m ，则相机坐标和图像坐标如下所示的成像关系：

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix}, \text{ 即 } \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.0)$$

由于上述的成像关系，再考虑到远心镜头的内外参数，由于外参是描述世界坐标和图像坐标之间位置关系转换关系的参数，且由于远心镜头的外参缺少 Z 轴上参数变化的信息，因此，可以基于远心镜头的放大率 m 建立远心镜头世界坐标与图像坐标之间的初始转换关系，因此，远心镜头成像模型如下：

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m/d_u & s & u_0 \\ 0 & m/d_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

其中， m 表示远心镜头的放大率， s 表示远心镜头的扭曲因子， (u_0, v_0) 表示像素坐标系的原点， r, t 分别表示外参中的旋转矩阵和平移矩阵， d_u, d_v 分别为每个像素在 X 轴、Y 轴方向上的物理尺寸。

需要说明的是，外参是由已知的初始化内参和归一化矩阵联合得到的，在这里假设 h_{ij} 表示的是归一化矩阵 H 中第 i 行第 j 列的数，根据上式 (3.1) 可以得到归一化矩阵公式 (3.2)：

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_w & y_w & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_w & y_w & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

同样的，可以用 DLT 方法直接求解此归一化函数 H 。再根据 R 为单位正交矩阵，所以可以得到：

$$\begin{cases} r_{11}r_{12} + r_{21}r_{22} + r_{31}r_{32} = 0 \\ r_{11}^2 + r_{21}^2 + r_{31}^2 = 1 \\ r_{12}^2 + r_{22}^2 + r_{32}^2 = 1 \end{cases} \quad (3.3)$$

联立上式可得到公式 (3.4) :

$$1 - (r_{11}^2 + r_{12}^2 + r_{21}^2 + r_{22}^2) + (r_{11}r_{22} - r_{12}r_{21})^2 = 0 \quad (3.4)$$

由式 (3.1) 假设 $m/d_u = m/d_v = a$, 则合并式 3.1 和上式 3.4, 可以得到以下公式:

$$a^4 - (h_{21}^2 + h_{22}^2 + h_{11}^2 + h_{12}^2)a^2 + (h_{11}h_{22} - h_{12}h_{21})^2 = 0 \quad (3.5)$$

上式有两个非负的解 (a^2 为上式解), 所以还需要有一个条件才能求解, 由式 (3.1) 和式 (3.2) 可以得到基本条件 $r_{ij}^2 = h_{ij}^2 / a^2 \leq 1$, 这里的 $i=1, 2$ 且 $j=1, 2$, 这样就可以得到 a 的解, 即求得 R 矩阵中左上的一个 2×2 的旋转矩阵。

初始化过程中还要求得 r_{13}, r_{23} 的值, 由公式 (3.1) 和公式 (3.2) 点乘关系联立得到, 位移参数 t_s 和图像中心点 (u_0, v_0) 可以满足的以下公式:

$$\begin{cases} at_x + u_0 = h_{13} \\ at_y + v_0 = h_{23} \end{cases} \quad (3.6)$$

上式中 (u_0, v_0) 和 t_s 为未知变量, 所以不能单独通过 (3.6) 式直接求解, 这个步骤和针孔模型的求解不一样, 出现这种现象的原因是归一化函数 H 在 Z 轴方向上的坐标变化是没有意义的, 因为远心镜头没有焦点 (或者理解为焦点在无穷远处), 所以 h_{13}, h_{23} 在数值上为零。因此像平面的位置可以在远心镜头的景深内随意设定, 在这里假设将图像中心的像素点看成是图像中心, 这样可通过已知的 CCD 信息确定 (u_0, v_0) , 从而有公式 (3.6) 中的平移矩阵 t_s 就可以确定了。

另外, 旋转矩阵 R 中左上的 2×2 的旋转矩阵前文介绍已经可以得到。然后其余的矩阵参数可以由式 (3.3) 和式 (3.7) 联立利用 R 为单位正交阵的特性得到。

$$r_3 = r_1 \times r_2 \quad (3.7)$$

这其中 r_1, r_2, r_3 都是 R 矩阵的坐标矢量, 因为 R 的单位正交阵特征只能提供一个约束运用的是圆形标志点标靶, 取标志点中任一点作为控制点, 并保证标靶通过位移平台沿 Z 轴方向有微小的位移, 同样可以运用式 (3.8) 求得 r_{13} 和 r_{23} 。

$$\begin{bmatrix} r_{13} \\ r_{23} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m & 0 & u_0 \\ 0 & m & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} u_d / z_d \\ v_d / z_d \\ 1 / z_d \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d / z_d \\ y_d / z_d \\ 1 / z_d \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

因此, 通过上述方式, 可以得到远心镜头的远心镜头成像模型, 并基于该远心镜头成像模型实现摄像设备及投影设备的外参及内参的初始化。

进一步的, 考虑镜头畸变, 可以得到以下公式:

$$(3.9)$$

其中, u 和 v 表示理想坐标系下无畸变的点, 同时 u' 和 v' 表示含畸变的图像点, 且满足 $r = \sqrt{u'^2 + v'^2}$ 。在公式中 $k_1 \sim k_5$ 均是畸变系数, 其中 (k_1, k_2, k_5) 表示三个方向上的不同径向参数, (k_3, k_4) 表示切向上的畸变参数。利用式 (3.9) 能够确定畸变系数。

基于上述的三维成像系统, 请参阅图 2, 为本发明第一实施例中基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法的流程示意图, 包括:

步骤 201、移动所述可移动平台, 使得所述标靶处于多个不同标靶姿态下, 且在每一个标靶姿态下, 利用均匀光投射到所述标靶, 通过所述摄像设备采集所述标靶姿态下的标靶图像, 及利用所述投影设备将条纹图投射到所述标靶, 利用所述摄像设备采集所述标靶姿态下的条纹图;

在本发明实施例中, 需要采集多个不同标靶姿态下的标靶图像及条纹图。且在可移动平台移动至某一个标靶姿态之后, 通过均匀光源发出均匀光, 并将该均匀光投射到标靶, 通过摄像设备采集该标靶姿态下的标靶图像。且在该标靶姿态下完成标靶图像的采集之后, 保持标靶姿态不变, 利用投影设备将该条纹图投射到该标靶上, 并利用摄像设备采集在该标靶姿态下的条纹图。通过

上述方式，可以采集在某一个标靶姿态下的标靶图像及条纹图，且通过移动该可移动平台的到不同标靶姿态下的方式，能够得到多个不同标靶姿态下的标靶图像及条纹图。

需要说明的是，投影设备中已经保存了多个条纹图，该多个条纹图可以利用计算机编写的条纹周期为 20 的 4 幅正弦条纹图和 9 幅格雷码横竖两个方向上的条纹图，且植入该投影设备，使得投影设备可以向标靶投射上述的正弦条纹图及格雷码条纹图。具体的，在每一个标靶姿态下，投影设备都将按照顺序将正弦条纹图及格雷码条纹图投影至标靶上，且摄像设备也将在每一投影一个条纹图之后，进行一次采集，且将采集到的多个条纹图作为该标靶姿态下采集得到的条纹图。

需要说明的是，本发明实施例中，无论标靶姿态如何改变，可移动平台始终处于摄像设备及投影设备的景深范围内。

可以理解的是，在本发明实施例中，需要在至少三个不同的标靶姿态下采集标靶图像及条纹图，以完成采集工作。

可以理解的是，本发明实施例中的均匀光光源与可移动平台之间的夹角并不限定其大小，只要有均匀光投射至可移动平台上的标靶，且使得投射的光的图像清晰，且摄像设备采集的标靶图像清晰即可。

步骤 202、对所述摄像设备的内参及外参进行初始化，得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用多个不同标靶姿态下的标靶图像、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述摄像设备的标定参数，以完成所述摄像设备的标定；

在本发明实施例中，基于光束平差法对摄像设备进行标定，具体可以按照如下公式得到所述摄像设备的标定参数：

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(\mathbf{R}, \mathbf{t}_s, \mathbf{m}, \mathbf{u}_0, \mathbf{v}_0, \mathbf{k}, \mathbf{X}) \right\|^2 \right\}$$

其中， x_{BA}^* 表示重投影误差残差值，N 表示多个不同标靶姿态下的标靶图像

的总数, M 表示所述标靶中标识点的个数, $\tilde{o}^i$ 表示在第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点的成像点; $O^j(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X)$ 表示第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点; X 表示所述标靶的三维坐标系参数, R 为所述摄像设备外参的旋转矩阵, 及 t_s 为所述摄像设备外参的平移矩阵, m 为所述摄像设备内参中远心镜头的放大率, (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点, k 为畸变系数。

其中, 重投影误差残差值越小越好, 以便 $\tilde{o}^i$ 在非线性优化中尽可能的逼近标志点的 $O^j(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X)$ 。

其中, 光束平差法是将标靶的三维图像参数和摄像设备的外参和内参进行联合非线性优化。

其中, 在初始化方面, m 的初始值在搭建摄像设备之后得到; 外参外参 R , t_s 由参数初始化得到的, R 通常通过 Rodrigues's 定律先得到 R 的偏导数再代入优化; k 为畸变系数, 这里将畸变参数初始值设为 0 进行第一次优化, 然后通过第二次优化得到最优解; (u_0, v_0) 的初始值由相机分辨率决定。对于这种非线性优化问题, 可以用 Levenberg-Marquardt 法解决。

可以理解的是, 光束平差法是一种非线性优化方法, 求解上述的光束平差法的问题就变成了 Jacobian 矩阵非线性优化求最优解的问题, 在摄像设备的标定中, 若标靶包含 M 个标志点, 采集了 N 个不同标靶姿态下标靶图像及条纹图, 则 Jacobian 矩阵的尺寸为:

$$4MN \times (26 + 6N + 3M)$$

由于远心镜头的特殊性, 函数对无关变量的偏导数为 0, 由上式可知, 该 Jacobian 矩阵很大, 为了提高运算效率, 减少标定时间引入稀疏矩阵的性质, 然后对 Jacobian 矩阵进行分块运算, 以便能够完成光束平差法的求解, 得到相应的标定参数。

在本发明实施例中, 完成对摄像设备的标定后, 可得到该摄像设备的标定

参数，且该标定参数至少包括该摄像设备的标靶中的标志点的像素坐标、优化后的摄像设备的放大率，及优化后的旋转矩阵及平移矩阵、摄像设备的内参。

步骤 203、利用 N 步相移法分别对多个不同标靶姿态下采集到的条纹图进行解相位及相位展开，得到多个不同标靶姿态下的相位展开图；

在本发明实施例中，对于采集到的多个不同标靶姿态下的条纹图，将利用 N 步相位法分别对该多个不同标靶姿态下的采集到的条纹图进行解相位及相位展开，得到该多个不同标靶姿态下的相位展开图。其中，对于条纹图，可以通过解相位技术得到相位折叠图，并通过相位展开技术得到相位展开图。

可以理解的是，该 N 步相移法可以是四步相移法，也可以是其他多步相移法，

步骤 204、对所述投影设备的内参及外参进行初始化，得到所述投影设备初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用所述多个不同标靶姿态下的相位展开图、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述投影设备的标定参数，以完成所述投影设备的标定；

在本发明实施例中，利用光束平差法得到所述投影设备的标定参数具体如下：

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X) \right\|^2 \right\}$$

其中， x_{BA}^* 表示重投影误差残差值，N 表示多个不同标靶姿态下的相位展开图的总数，M 表示所述标靶中标识点的个数， $\tilde{O}^{ij}$ 表示在第 i 个标靶姿态下的相位展开图中的第 j 个标志点的成像点； $O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X)$ 表示第 i 个标靶姿态下的相位展开图中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点；X 表示所述标靶的三维坐标系参数，R 为所述投影设备外参的旋转矩阵，及 t_s 为所述投影设备外参的平移矩阵，m 为所述投影设备内参中远心镜头的放大率， (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点，k 为畸变系数。

在本发明实施例中，通过相位展开图可以获得标靶的标志点在投影设备上

的像素坐标,即通过投影设备的逆成像关系得到投影设备的虚拟“拍摄图像”。

在本发明实施例中,通过上述的光束平差法可得到该投影设备记录的标靶标志点的像素坐标,且将得到该投影设备记录的标靶标志点的像素坐标及相位展开图上投影设备各标志点的像素坐标的对应关系,以完成投影设备的标定,其中,该对应关系属于投影设备的标定参数中的一种,此外,投影设备的标定参数还包括该投影设备优化后的放大率,优化后的旋转矩阵及平移矩阵。

步骤 205、利用所述摄像设备的标定参数及所述投影设备的标定参数对所述三维成像系统进行标定,得到所述三维成像系统的标定参数,以完成所述三维成像系统的标定。

在本发明实施例中,将利用摄像设备的标定参数及投影设备的标定参数对三维成像系统进行标定包括:

步骤 A、按照如下公式得到所述三维成像系统的标定参数:

$$R^p \cdot p_w + t^p = R^s \cdot (R^c \cdot p_w + t^c) + t^s$$

其中, R^p 表示所述投影设备外参中的旋转矩阵, t^p 表示所述投影设备外参中的平移矩阵, R^c 表示所述摄像设备外参中的旋转矩阵, t^c 表示所述摄像设备外参中的平移矩阵, R^s 表示三维成像系统的旋转矩阵, t^s 表示三维成像系统的平移矩阵, p_w 表示空间中任意一点 P 的世界坐标向量;

其中, $P_w = [x_w, y_w, z_w]^T$;

步骤 B、对所述三维成像系统的旋转矩阵及平移矩阵进行最小二乘优化,利用优化后的旋转矩阵及平移矩阵确定所述三维成像系统的像素坐标和世界坐标之间的转换关系。

其中,像素坐标是图像坐标系中的坐标,该图像坐标系也可称为相机坐标系,依据成像面制定的坐标系,一般常取光轴为坐标系 Z 轴,世界坐标系上的点可以与图像坐标系上的点一一对应。

在本发明实施例中,在三维成像系统中使用具有远心镜头的摄像设备及具

有远心镜头的投影设备，且通过光束平差法对摄像设备及投影设备进行非线性标定，并利用完成标定后的摄像设备及投影设备的标定参数对该三维成像系统进行标定。通过使用光束平差法能够有效减小标靶误差对三维成像系统的标定精度的影响，有效提升了标定精度，进而提高了三维成像系统的精度。进一步的，通过使用具有远心镜头的摄像设备及具有远心镜头的摄像设备，由于远心镜头能够实现精密测量，特别适用于具有一定深度和厚度，且孔的半径成台阶状的物体的测量，因此，能够进一步提高标定精度及测量精度。

请参阅图 3，为本发明第二实施例中基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定装置的功能模块的示意图，其中，该装置应用于三维成像系统，所述三维成像系统包括：具有远心镜头的投影设备、具有远心镜头的摄像设备及可移动平台；所述投影设备的光轴垂直于水平放置的所述可移动平台，所述摄像设备的光轴与所述可移动平台成预设夹角，所述可移动平台上放置标靶，所述可移动平台始终处于所述摄像设备及所述投影设备共同景深范围内，所述标定装置包括：

采集模块 301，用于移动所述可移动平台，使得所述标靶处于多个不同标靶姿态下，且在每一个标靶姿态下，利用均匀光投射到所述标靶，通过所述摄像设备采集所述标靶姿态下的标靶图像，及利用所述投影设备将条纹图投射到所述标靶，利用所述摄像设备采集所述标靶姿态下的条纹图；

摄像设备标定模块 302，用于对所述摄像设备的内参及外参进行初始化，得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用多个不同标靶姿态下的标靶图像、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述摄像设备的标定参数，以完成所述摄像设备的标定；

获取模块 303，用于利用 N 步相移法分别对多个不同标靶姿态下采集到的条纹图进行解相位及相位展开，得到多个不同标靶姿态下的相位展开图；

投影设备标定模块 304, 用于对所述投影设备的内参及外参进行初始化, 得到所述投影设备初始化后的内参及外参, 基于光束平差法, 利用所述多个不同标靶姿态下的相位展开图、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化, 得到所述投影设备的标定参数, 以完成所述投影设备的标定;

系统标定模块 305, 用于利用所述摄像设备的标定参数及所述投影设备的标定参数对所述三维成像系统进行标定, 得到所述三维成像系统的标定参数, 以完成所述三维成像系统的标定。

进一步的, 所述摄像设备标定模块 302 具体用于对所述摄像设备的内参及外参进行初始化, 得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参, 及按照如下公式得到所述摄像设备的标定参数:

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(\mathbf{R}, t_s, \mathbf{m}, u_0, v_0, \mathbf{k}, \mathbf{X}) \right\|^2 \right\}$$

其中, x_{BA}^* 表示重投影误差残差值, N 表示多个不同标靶姿态下的标靶图像的总数, M 表示所述标靶中标识点的个数, $\tilde{O}^{ij}$ 表示在第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点的成像点; $O^{ij}(\mathbf{R}, t_s, \mathbf{m}, u_0, v_0, \mathbf{k}, \mathbf{X})$ 表示第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点; X 表示所述标靶的三维坐标系参数, R 为所述摄像设备外参的旋转矩阵, 及 t_s 为所述摄像设备外参的平移矩阵, m 为所述摄像设备内参中远心镜头的放大率, (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点, k 为畸变系数。

进一步的, 所述投影设备标定模块 304 具体用于对所述投影设备的内参及外参进行初始化, 得到所述投影设备初始化后的内参及外参, 及按照如下公式得到所述投影设备的标定参数:

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(\mathbf{R}, t_s, \mathbf{m}, u_0, v_0, \mathbf{k}, \mathbf{X}) \right\|^2 \right\}$$

其中, x_{BA}^* 表示重投影误差残差值, N 表示多个不同标靶姿态下的相位展开图的总数, M 表示所述标靶中标识点的个数, $\tilde{O}^{ij}$ 表示在第 i 个标靶姿态下的相

位展开图中的第 j 个标志点的成像点； $O^j(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X)$ 表示第 i 个标靶姿态下的相位展开图中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点； X 表示所述标靶的三维坐标系参数， R 为所述投影设备外参的旋转矩阵，及 t_s 为所述投影设备外参的平移矩阵， m 为所述投影设备内参中远心镜头的放大率， (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点， k 为畸变系数。

进一步的，所述系统标定模块 305 具体用于：

按照如下公式得到所述三维成像系统的标定参数：

$$R^p \cdot p_w + t^p = R^s \cdot (R^c \cdot p_w + t^c) + t^s$$

其中， R^p 表示所述投影设备外参中的旋转矩阵， t^p 表示所述投影设备外参中的平移矩阵， R^c 表示所述摄像设备外参中的旋转矩阵， t^c 表示所述摄像设备外参中的平移矩阵， R^s 表示三维成像系统的旋转矩阵， t^s 表示三维成像系统的平移矩阵， p_w 表示空间中任意一点 P 的世界坐标向量；

其中， $P_w = [x_w, y_w, z_w]^T$ ；

以及，对所述三维成像系统的旋转矩阵及平移矩阵进行最小二乘优化，利用优化后的旋转矩阵及平移矩阵确定所述三维成像系统的像素坐标和世界坐标之间的转换关系。

在本发明实施例中，在三维成像系统中使用具有远心镜头的摄像设备及具有远心镜头的投影设备，且通过光束平差法对摄像设备及投影设备进行非线性标定，并利用完成标定后的摄像设备及投影设备的标定参数对该三维成像系统进行标定。通过使用光束平差法能够有效减小标靶误差对三维成像系统的标定精度的影响，有效提升了标定精度，进而提高了三维成像系统的精度。进一步的，通过使用具有远心镜头的摄像设备及具有远心镜头的摄像设备，由于远心镜头能够实现精密测量，特别适用于具有一定深度和厚度，且孔的半径成台阶状的物体的测量，因此，能够进一步提高标定精度及测量精度。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的装置和方法，可

以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如，所述模块的划分，仅仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个模块或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，装置或模块的间接耦合或通信连接，可以是电性，机械或其它的形式。

所述作为分离部件说明的模块可以是或者也可以不是物理上分开的，作为模块显示的部件可以是或者也可以不是物理模块，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络模块上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。

另外，在本发明各个实施例中的各功能模块可以集成在一个处理模块中，也可以是各个模块单独物理存在，也可以两个或两个以上模块集成在一个模块中。上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能模块的形式实现。

所述集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可以是个人计算机，服务器，或者网络设备）执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U盘、移动硬盘、只读存储器（ROM，Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM，Random Access Memory）、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

需要说明的是，对于前述的各方法实施例，为了简便描述，故将其都表述为一系列的动作组合，但是本领域技术人员应该知悉，本发明并不受所描述的

动作顺序的限制,因为依据本发明,某些步骤可以采用其它顺序或者同时进行。其次,本领域技术人员也应该知悉,说明书中所描述的实施例均属于优选实施例,所涉及的动作和模块并不一定都是本发明所必须的。

在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中沒有详述的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

以上为对本发明所提供的一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法及装置的描述,对于本领域的技术人员,依据本发明实施例的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上,本说明书内容不应该理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定方法，其特征在于，所述方法应用于三维成像系统，所述三维成像系统包括：具有远心镜头的投影设备、具有远心镜头的摄像设备及可移动平台；所述投影设备的光轴垂直于水平放置的所述可移动平台，所述摄像设备的光轴与所述可移动平台成预设夹角，所述可移动平台上放置标靶，所述可移动平台始终处于所述摄像设备及所述投影设备共同景深范围内，所述标定方法包括：

步骤 1、移动所述可移动平台，使得所述标靶处于多个不同标靶姿态下，且在每一个标靶姿态下，利用均匀光投射到所述标靶，通过所述摄像设备采集所述标靶姿态下的标靶图像，及利用所述投影设备将条纹图投射到所述标靶，利用所述摄像设备采集所述标靶姿态下的条纹图；

步骤 2、对所述摄像设备的内参及外参进行初始化，得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用多个不同标靶姿态下的标靶图像、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述摄像设备的标定参数，以完成所述摄像设备的标定；

步骤 3、利用 N 步相移法分别对多个不同标靶姿态下采集到的条纹图进行解相位及相位展开，得到多个不同标靶姿态下的相位展开图；

步骤 4、对所述投影设备的内参及外参进行初始化，得到所述投影设备初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用所述多个不同标靶姿态下的相位展开图、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述投影设备的标定参数，以完成所述投影设备的标定；

步骤 5、利用所述摄像设备的标定参数及所述投影设备的标定参数对所述三维成像系统进行标定，得到所述三维成像系统的标定参数，以完成所述三维成像系统的标定。

2、根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述步骤 2 中，所述基于光

束平差法, 利用多个不同标靶姿态下的标靶图像、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化, 得到所述摄像设备的标定参数, 包括:

按照如下公式得到所述摄像设备的标定参数:

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X) \right\|^2 \right\}$$

其中, x_{BA}^* 表示重投影误差残差值, N 表示多个不同标靶姿态下的标靶图像的总数, M 表示所述标靶中标识点的个数, $\tilde{O}^{ij}$ 表示在第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点的成像点; $O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X)$ 表示第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点; X 表示所述标靶的三维坐标系参数, R 为所述摄像设备外参的旋转矩阵, 及 t_s 为所述摄像设备外参的平移矩阵, m 为所述摄像设备内参中远心镜头的放大率, (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点, k 为畸变系数。

3、根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述步骤 4 中基于光束平差法, 利用所述多个不同标靶姿态下的相位展开图、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化, 得到所述投影设备的标定参数, 包括:

按照如下公式得到所述投影设备的标定参数:

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X) \right\|^2 \right\}$$

其中, x_{BA}^* 表示重投影误差残差值, N 表示多个不同标靶姿态下的相位展开图的总数, M 表示所述标靶中标识点的个数, $\tilde{O}^{ij}$ 表示在第 i 个标靶姿态下的相位展开图中的第 j 个标志点的成像点; $O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X)$ 表示第 i 个标靶姿态下的相位展开图中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点; X 表示所述标靶的三维坐标系参数, R 为所述投影设备外参的旋转矩阵, 及 t_s 为所述投影设备外参的平移矩阵, m 为所述投影设备内参中远心镜头的放大率, (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点, k 为畸变系数。

4、根据权利要求1所述的方法，其特征在于，所述步骤5具体包括：

步骤51、按照如下公式得到所述三维成像系统的标定参数：

$$R^p \cdot p_w + t^p = R^s \cdot (R^c \cdot p_w + t^c) + t^s$$

其中， R^p 表示所述投影设备外参中的旋转矩阵， t^p 表示所述投影设备外参中的平移矩阵， R^c 表示所述摄像设备外参中的旋转矩阵， t^c 表示所述摄像设备外参中的平移矩阵， R^s 表示三维成像系统的旋转矩阵， t^s 表示三维成像系统的平移矩阵， p_w 表示空间中任意一点P的世界坐标向量；

其中， $P_w = [x_w, y_w, z_w]^T$ ；

步骤52、对所述三维成像系统的旋转矩阵及平移矩阵进行最小二乘优化，利用优化后的旋转矩阵及平移矩阵确定所述三维成像系统的像素坐标和世界坐标之间的转换关系。

5、一种基于光束平差的远心镜头三维成像系统的标定装置，其特征在于，所述装置应用于三维成像系统，所述三维成像系统包括：具有远心镜头的投影设备、具有远心镜头的摄像设备及可移动平台；所述投影设备的光轴垂直于水平放置的所述可移动平台，所述摄像设备的光轴与所述可移动平台成预设夹角，所述可移动平台上放置标靶，所述可移动平台始终处于所述摄像设备及所述投影设备共同景深范围内，所述标定装置包括：

采集模块，用于移动所述可移动平台，使得所述标靶处于多个不同标靶姿态下，且在每一个标靶姿态下，利用均匀光投射到所述标靶，通过所述摄像设备采集所述标靶姿态下的标靶图像，及利用所述投影设备将条纹图投射到所述标靶，利用所述摄像设备采集所述标靶姿态下的条纹图；

摄像设备标定模块，用于对所述摄像设备的内参及外参进行初始化，得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参，基于光束平差法，利用多个不同标靶姿态下的标靶图像、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化，得到所述摄像设备的标定参数，以完成所述摄像设备

的标定;

获取模块,用于利用 N 步相移法分别对多个不同标靶姿态下采集到的条纹图进行解相位及相位展开,得到多个不同标靶姿态下的相位展开图;

投影设备标定模块,用于对所述投影设备的内参及外参进行初始化,得到所述投影设备初始化后的内参及外参,基于光束平差法,利用所述多个不同标靶姿态下的相位展开图、所述标靶的三维坐标系参数及所述初始化后的内参及外参进行联合非线性优化,得到所述投影设备的标定参数,以完成所述投影设备的标定;

系统标定模块,用于利用所述摄像设备的标定参数及所述投影设备的标定参数对所述三维成像系统进行标定,得到所述三维成像系统的标定参数,以完成所述三维成像系统的标定。

6、根据权利要求 5 所述的装置,其特征在于,所述摄像设备标定模块具体用于对所述摄像设备的内参及外参进行初始化,得到所述摄像设备参数初始化后的内参及外参,及按照如下公式得到所述摄像设备的标定参数:

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(\mathbf{R}, t_s, \mathbf{m}, u_0, v_0, \mathbf{k}, \mathbf{X}) \right\|^2 \right\}$$

其中, x_{BA}^* 表示重投影误差残差值, N 表示多个不同标靶姿态下的标靶图像的总数, M 表示所述标靶中标识点的个数, $\tilde{O}^{ij}$ 表示在第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点的成像点; $O^{ij}(\mathbf{R}, t_s, \mathbf{m}, u_0, v_0, \mathbf{k}, \mathbf{X})$ 表示第 i 个标靶姿态下的标靶图像中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点; X 表示所述标靶的三维坐标系参数, R 为所述摄像设备外参的旋转矩阵, 及 t_s 为所述摄像设备外参的平移矩阵, m 为所述摄像设备内参中远心镜头的放大率, (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点, k 为畸变系数。

7、根据权利要求 5 所述的装置,其特征在于,所述投影设备标定模块具体用于对所述投影设备的内参及外参进行初始化,得到所述投影设备初始化后的内参及外参,及按照如下公式得到所述投影设备的标定参数:

$$x_{BA}^* = \arg \min_x \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left\| \tilde{O}^{ij} - O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X) \right\|^2 \right\}$$

其中, x_{BA}^* 表示重投影误差残差值, N 表示多个不同标靶姿态下的相位展开图的总数, M 表示所述标靶中标识点的个数, $\tilde{O}^{ij}$ 表示在第 i 个标靶姿态下的相位展开图中的第 j 个标志点的成像点; $O^{ij}(R, t_s, m, u_0, v_0, k, X)$ 表示第 i 个标靶姿态下的相位展开图中的第 j 个标志点在像素坐标系中的理想点; X 表示所述标靶的三维坐标系参数, R 为所述投影设备外参的旋转矩阵, 及 t_s 为所述投影设备外参的平移矩阵, m 为所述投影设备内参中远心镜头的放大率, (u_0, v_0) 表示所述像素坐标系的原点, k 为畸变系数。

8、根据权利要求 5 所述的装置, 其特征在于, 所述系统标定模块具体用于:

按照如下公式得到所述三维成像系统的标定参数:

$$R^p \cdot p_w + t^p = R^s \cdot (R^c \cdot p_w + t^c) + t^s$$

其中, R^p 表示所述投影设备外参中的旋转矩阵, t^p 表示所述投影设备外参中的平移矩阵, R^c 表示所述摄像设备外参中的旋转矩阵, t^c 表示所述摄像设备外参中的平移矩阵, R^s 表示三维成像系统的旋转矩阵, t^s 表示三维成像系统的平移矩阵, p_w 表示空间中任意一点 P 的世界坐标向量;

其中, $P_w = [x_w, y_w, z_w]^T$;

以及, 对所述三维成像系统的旋转矩阵及平移矩阵进行最小二乘优化, 利用优化后的旋转矩阵及平移矩阵确定所述三维成像系统的像素坐标和世界坐标之间的转换关系。

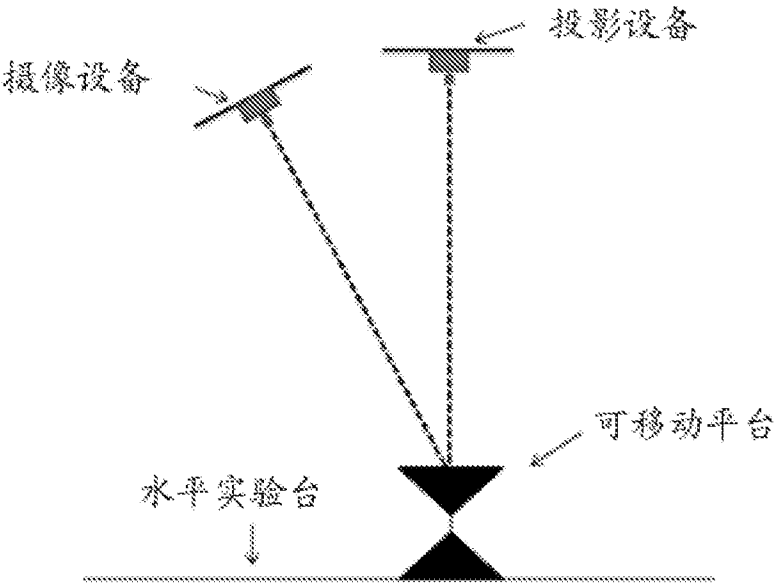


图 1

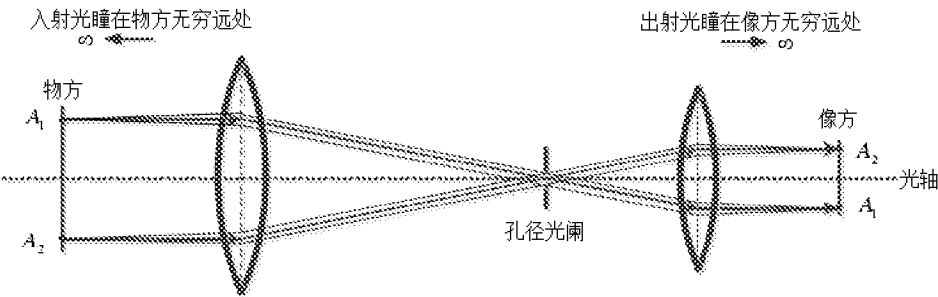


图 1.1

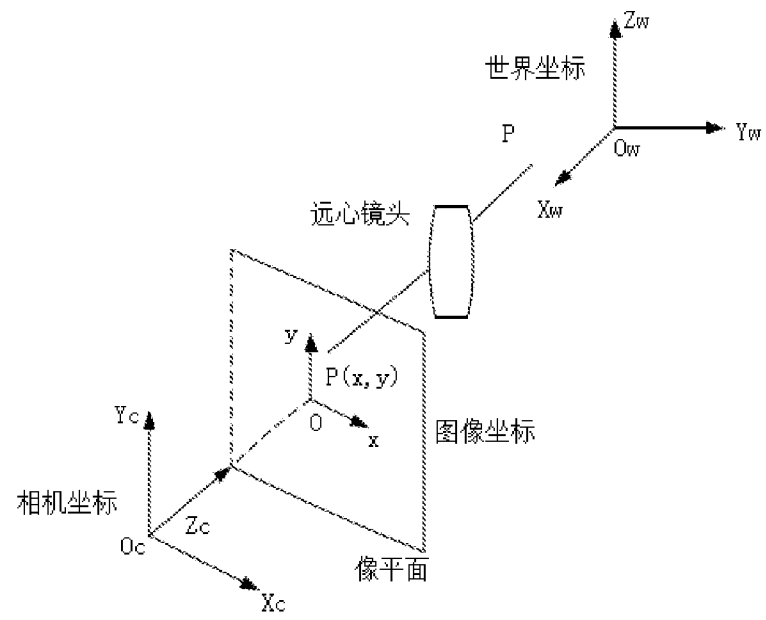


图 1.2

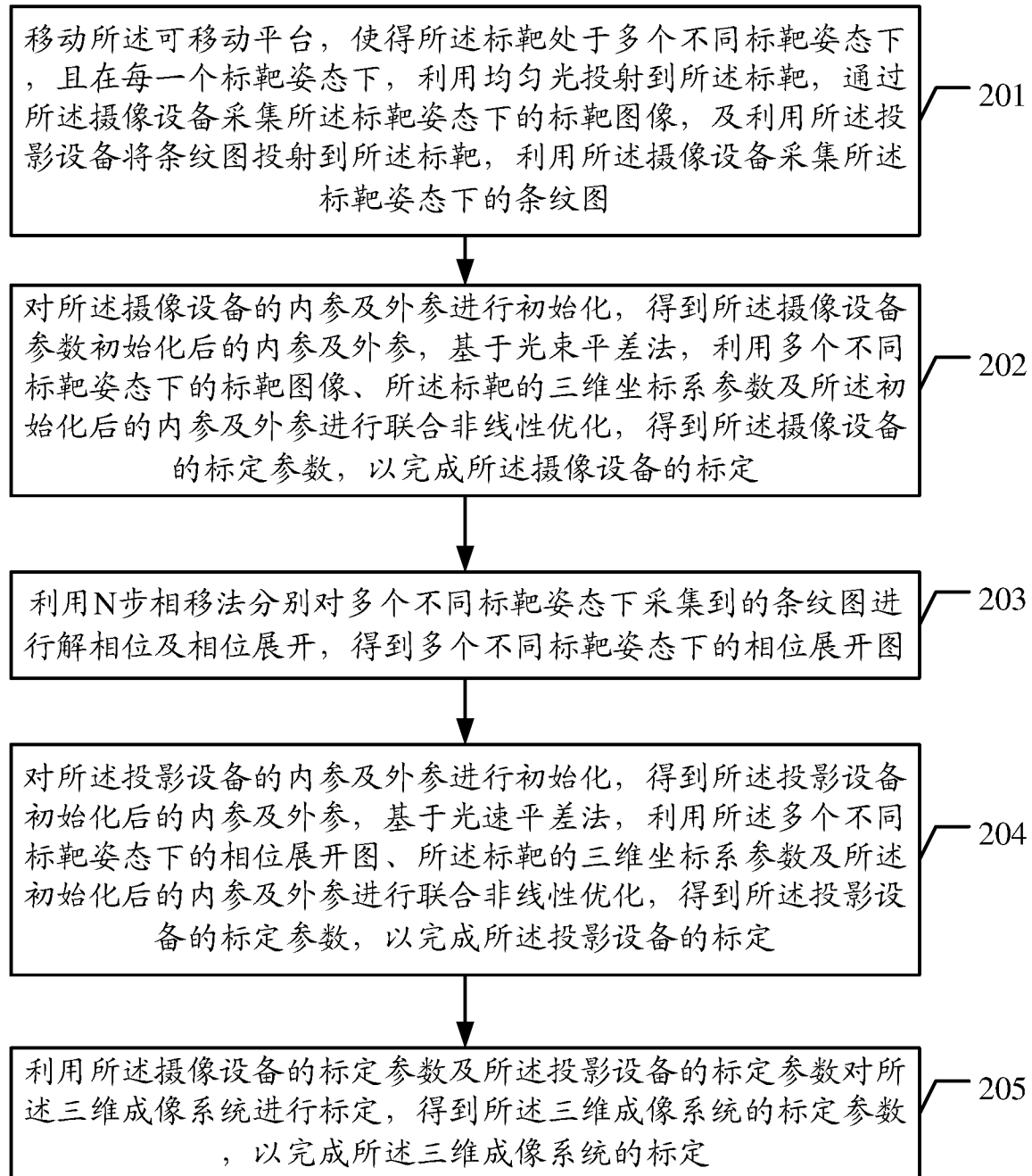


图 2

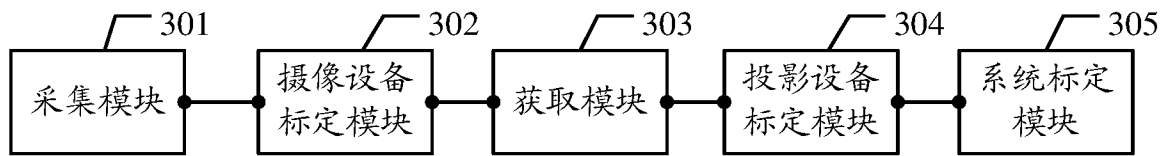


图 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/107274

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06T 7/80 (2017.01) 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)

G06T

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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 摄像, 投影, 镜头, 标靶, 光束, 平差, 相位, 标定, camera, projector, lens, maker, light beam, adjustment, phase, calibration

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	刘任斯, “基于光束平差的远心镜头标定及三维成像系统”, 中国优秀硕士学位论文全文数据库 (电子期刊), 15 July 2017 (15.07.2017), the main body, articles 2-4, (China Master's Theses Full-Text Database (Electronic Journals)), non-official translation (LIU, Rensi, Telecentric Lens Calibration and 3D Imaging System Based on Bundle Adjustment)	1-8
PX	CN 107230233 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 03 October 2017 (03.10.2017), claims 1-8, and description, paragraphs [0025]-[0084]	1-8
Y	CN 104729429 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 24 June 2015 (24.06.2015), description, paragraphs [0041]-[0078]	1-8
Y	CN 102654391 A (SHENZHEN UNIVERSITY), 05 September 2012 (05.09.2012), description, paragraphs [0040]-[0077]	1-8
A	US 7046839 B1 (SPG HYDRO INTERNATIONAL INC.), 16 May 2006 (16.05.2006), entire document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 20 December 2017	Date of mailing of the international search report 31 January 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer SUN, Zhifei Telephone No. (86-10) 62414376

International application No.
PCT/CN2017/107274

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/107274

A. 主题的分类

G06T 7/80(2017.01) 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)

G06T

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))

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: 摄像, 投影, 镜头, 标靶, 光束, 平差, 相位, 标定, camera, projector, lens, maker, light beam, adjustment, phase, calibration

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	刘任斯. “基于光束平差的远心镜头标定及三维成像系统” 中国优秀硕士学位论文全文数据库(电子期刊), 2017年 7月 15日(2017-07-15), 正文第2-4章	1-8
PX	CN 107230233 A (深圳大学) 2017年 10月 3日(2017-10-03) 权利要求1-8, 说明书第[0025]-[0084]段	1-8
Y	CN 104729429 A (深圳大学) 2015年 6月 24日(2015-06-24) 说明书第[0041]-[0078]段	1-8
Y	CN 102654391 A (深圳大学) 2012年 9月 5日(2012-09-05) 说明书第[0040]-[0077]段	1-8
A	US 7046839 B1 (SPG HYDRO INTERNATIONAL INC.) 2006年 5月 16日(2006-05-16) 全文	1-8

☐ 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

2017年 12月 20日

国际检索报告邮寄日期

2018年 1月 31日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

孙志飞

传真号 (86-10)62019451

电话号码 (86-10)62414376

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/107274

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	107230233	A	2017年 10月 3日	无			
CN	104729429	A	2015年 6月 24日	US	2016261851	A1	2016年 9月 8日
				WO	2016138758	A1	2016年 9月 9日
CN	102654391	A	2012年 9月 5日	无			
US	7046839	B1	2006年 5月 16日	无			