



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108269289 A

(43)申请公布日 2018. 07. 10

(21)申请号 201810037571.0

(22)申请日 2018.01.16

(71)申请人 上海汇像信息技术有限公司

地址 200241 上海市闵行区紫星路588号2  
号楼330室

(72)发明人 杨政武 刘家朋

(51)Int.Cl.

G06T 7/80(2017.01)

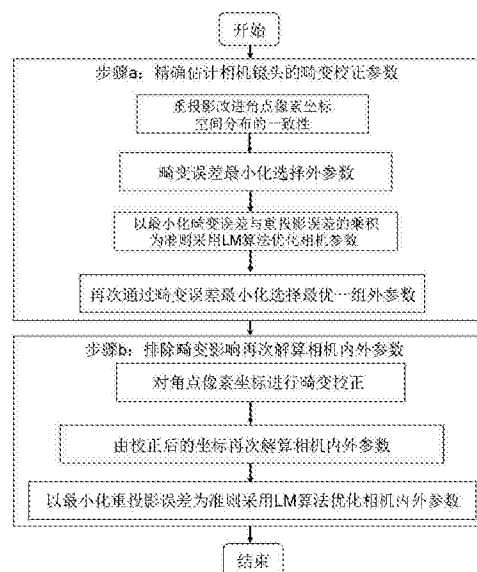
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

## (54)发明名称

一种相机参数标定的两步优化方法

## (57)摘要

本发明属于图像处理与三维重建领域,具体涉及到三维测量领域中相机标定的相关技术。一种相机参数标定的两步优化方法,包括如下步骤:步骤a,基于张正友的平面标定算法设计一个能够估计相机镜头畸变参数的相机参数优化方法。步骤b,排除相机镜头的畸变影响再一次解算相机的内外参数。由于采用上述技术方案,在标定板不过度倾斜条件下,相对于光照与颜色变化、标定板的姿态变化以及相机镜头的畸变能够精确地标定相机参数。



1. 一种相机参数标定的两步优化方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤a,基于张正友的平面标定算法设计一个能够估计相机镜头畸变参数的相机参数优化方法:

(1) 在对每个标定板图像在识别标定模板后,对每个角点都得到与角点像素坐标匹配的物点坐标;在根据多个标定板图像解算相机参数时,得到多组外参数,每个标定板图像对应一组外参数;

(2) 根据解算的相机参数对角点的物点坐标进行重投影以得到空间分布更加一致的新角点像素坐标;

(3) 从步骤(1)标定结果的多组外参数中选择使得畸变误差最小的一组作为下一步优化过程的初始外参数;

(4) 以步骤(1)得到的物点坐标、步骤(2)得到的新角点像素坐标为基础,以最小化畸变误差与重投影误差的乘积作为优化准则,采用Levenberg-Marquardt算法优化相机参数,得到优化的内参数、优化的外参数和优化的畸变参数;

(5) 以最小化畸变误差作为准则,从步骤(4)得到的相机优化的外参数中选择最优的外参数。

步骤b,排除相机镜头的畸变影响再一次解算相机的内外参数:

(6) 根据步骤(4)优化的畸变参数对提取的原始的角点像素坐标进行畸变校正;

(7) 由步骤(6)校正后的坐标采用张正友标定法再一次解算相机的内外参数;

(8) 以最小化重投影误差作为优化准则,采用Levenberg-Marquardt算法优化相机的内外参数;

以步骤b得到的相机内外参数与步骤a得到的相机优化的畸变参数作为最终的相机标定参数。

2. 根据权利要求1所述的一种相机参数标定的两步优化方法,其特征在于,用于计算畸变误差的方法如下:

首先根据标定板角点的三维坐标拟合标定板平面;

然后以标定板上角点到拟合平面的平均距离作为畸变误差;

最小化畸变误差则为选择使得畸变误差最小的那一组相机标定参数。

## 一种相机参数标定的两步优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于图像处理与三维重建领域,具体涉及到三维测量领域中相机标定的相关技术。

### 背景技术

[0002] 在下述相机标定算法中假设 $(x, y)$ 表示标定板的角点的像点坐标, $(u, v, w)$ 表示角点的物点坐标。在像点坐标与物点坐标之间存在下述变换关系,

[0003]  $s \cdot [x, y, 1]^T = K \cdot [R, t] \cdot [u, v, w, 1]^T$ ,

[0004] 其中  $K = \begin{bmatrix} f_x & \gamma & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$  是由焦距 $(f_x, f_y)$ 与主点 $(c_x, c_y)$ 构成的相机内参数矩阵,

$[R, t]$ 是由旋转矩阵 $R$ 与平移矢量 $t$ 组成的外参数矩阵。不同类型的标定算法用于解算相机参数方法的不同之处在于如何解算从物点坐标到像点坐标的变换矩阵,以及如何基于变换矩阵计算相机的内参数与外参数。

[0005] 基于平面标定板的标定算法已逐渐成为未来发展的趋势。常用的基于平面标定板的相机标定算法有Zhang标定法与Tsai标定法。张正友标定法是典型的平面标定算法。由于采用了平面标定板,因此可以将从物点坐标到像点坐标的变换看作单应变换 $H = K \cdot [R, t]$ 。而且,在采用平面标定板后,从物点坐标到像点坐标的变换关系可以简化为

[0006]  $s \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot [r_1, r_2, r_3, 1] \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ 1 \end{bmatrix} = K \cdot [r_1, r_2, 1] \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}。$

[0007] 由此可得,单应变换矩阵为 $H = [h_1, h_2, h_3] = K \cdot [r_1, r_2, 1]$ 。张正友标定法的标定过程为:首先根据单应变换求得相机的内参数矩阵,然后根据旋转向量之间的正交归一化关系计算相机的外参数矩阵,最后根据畸变模型求得相机镜头的畸变参数 $\{k_1, k_2, k_3, p_1, p_2\}$ 。Tsai的两步标定法就是基于径向校正约束(RAC---Radial Alignment Constraint)的标定法。Tsai标定法的两步标定过程为:首先根据径向约束关系构造下述关系式求解相机的外参数,

[0008]  $\begin{bmatrix} y_1 u_1 & y_1 v_1 & -x_1 u_1 & -x_1 v_1 & y_1 \\ y_2 u_2 & y_2 v_2 & -x_2 u_2 & -x_2 v_2 & y_2 \\ M & M & M & M & M \\ y_n u_n & y_n v_n & -x_n u_n & -x_n v_n & y_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ l_3 \\ l_4 \\ l_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ M \\ x_n \end{bmatrix},$

[0009] 然后根据下述关系式可解得相机焦距 $f$ 、畸变参数 $k$ 与沿着 $z$ 方向的平移量 $t_z$

$$[0010] \quad \begin{cases} \frac{x}{1+kr^2} = f \frac{r_{11}u + r_{12}v + t_z}{r_{31}u + r_{32}v + t_z} \\ \frac{y}{1+kr^2} = f \frac{r_{21}u + r_{22}v + t_z}{r_{31}u + r_{32}v + t_z} \end{cases}。$$

[0011] 张正友标定法与Tsai的两步标定法存在的共同缺点有两个方面：第一个方面是在未考虑畸变影响的条件下估算相机参数初始值，第二个方面是解算相机内外参数、估计畸变参数与再解算相机内外参数的非线性优化迭代过程的收敛结果依赖于相机参数的初始值。关于相机标定精度对双目视觉三维重建精度的影响，可以基于以下基本事实分析问题。在三维重建过程中，首先需要对相机采集的图像进行径向与切向畸变矫正，然后才使用相机标定结果的内参数与外参数进行三维重建。也就是说，三维重建时假定解算的相机内外参数都不受畸变影响。然而，一方面无论是基于透视变换的标定方法，还是基于单应变换的平面标定算法，估算的相机参数初值都包含畸变影响，另一方面非线性最优化的收敛性又依赖于初始值。

[0012] 因此，在三维测量领域亟需一个在充分考虑了畸变影响的情况下解算相机参数的标定参数优化算法。

## 发明内容

[0013] 本发明的目的在于，提供一种相机参数标定的两步优化方法，解决以上技术问题。

[0014] 本发明所解决的技术问题可以采用以下技术方案来实现：

[0015] 一种相机参数标定的两步优化方法，包括如下步骤：

[0016] 步骤a，基于张正友的平面标定算法设计一个能够估计相机镜头畸变参数的相机参数优化方法：

[0017] (1) 在对每个标定板图像在识别标定模板后，对每个角点都得到与角点像素坐标匹配的物点坐标；在根据多个标定板图像解算相机参数时，得到多组外参数，每个标定板图像对应一组外参数；

[0018] (2) 根据解算的相机参数对角点的物点坐标进行重投影以得到空间分布更加一致的新角点像素坐标；

[0019] (3) 从步骤(1)标定结果的多组外参数中选择使得畸变误差最小的一组作为下一步优化过程的初始外参数；

[0020] (4) 以步骤(1)得到的物点坐标、步骤(2)得到的新角点像素坐标为基础，以最小化畸变误差与重投影误差的乘积作为优化准则，采用Levenberg-Marquardt (LM) 算法优化相机参数，得到优化的内参数、优化的外参数和优化的畸变参数；

[0021] (5) 以最小化畸变误差作为准则，从步骤(4)得到的相机优化的外参数中选择最优的外参数。

[0022] 步骤b，排除相机镜头的畸变影响再一次解算相机的内外参数：

[0023] (6) 根据步骤(4)优化的畸变参数对提取的原始的角点像素坐标进行畸变校正；

[0024] (7) 由步骤(6)校正后的坐标采用张正友标定法再一次解算相机的内外参数；

[0025] (8) 以最小化重投影误差作为优化准则，采用Levenberg-Marquardt算法优化相机的内外参数；

[0026] 以步骤b得到的相机内外参数与步骤a得到的相机优化的畸变参数作为最终的相机标定参数。

[0027] 本发明采用上述方法后,在采集清晰的标定板图像条件下对于处于不同距离、具有不同姿态、且受不同光照变化影响的棋盘格模板图像都能稳定精确地标定相机参数。

[0028] 本发明中,用于计算重投影误差的方法是现有的通用标准技术,最小化重投影误差则为选择使得重投影误差最小的那一组相机标定参数。

[0029] 本发明中,用于计算畸变误差的方法如下:

[0030] 首先根据标定板角点的三维坐标拟合标定板平面;

[0031] 然后以标定板上角点到拟合平面的平均距离作为畸变误差,最小化畸变误差则为选择使得畸变误差最小的那一组相机标定参数。

[0032] 有益效果:由于采用上述技术方案,在标定板不过度倾斜条件下,相对于光照与颜色变化、标定板的姿态变化以及相机镜头的畸变能够精确地标定相机参数。

#### 附图说明

[0033] 图1为本发明的一种算法流程图;

[0034] 图2为角点提取精度空间分布与相机镜头畸变空间分布之间的关系;

[0035] 图3为本发明方法得到的畸变校正误差,与张正友标定法、Tsai标定法进行的对比图;

[0036] 图4(a)为发明方法标定左相机得到的重投影误差,与张正友标定法、Tsai标定法进行的对比图;(b)为发明方法标定右相机得到的重投影误差,与张正友标定法、Tsai标定法进行的对比图;

[0037] 图5为本发明方法得到的双目极线匹配误差,与张正友标定法、Tsai标定法进行的对比图。

#### 具体实施方式

[0038] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解,下面结合具体图示进一步阐述本发明。

[0039] 参照图1,一种相机参数标定的两步优化方法,包括将相机镜头的畸变影响与相机内外参数解算分离的两步优化方法,首先,步骤a,基于张正友的平面标定算法设计一个能够充分估计相机镜头畸变参数的相机参数优化方法。然后,步骤b,根据估计的畸变参数对提取角点的像素坐标进行畸变校正,并采用经过畸变校正的角点坐标再一次解算相机的内外参数。具体步骤如下:

[0040] (1)在对每个标定板图像在识别标定模板后,对每个角点都得到与角点像素坐标匹配的物点坐标;在根据多个标定板图像解算相机参数时,得到多组外参数,每个标定板图像对应一组外参数;

[0041] (2)根据解算的相机参数对角点的物点坐标进行重投影以得到空间分布更加一致的新角点像素坐标;

[0042] (3)从步骤(1)标定结果的多组外参数中选择使得畸变误差最小的一组作为下一步优化过程的初始外参数;

[0043] 用于计算畸变误差的方法如下：首先根据标定板角点的三维坐标拟合标定板平面；然后以标定板上角点到拟合平面的平均距离作为畸变误差，最小化畸变误差则为选择使得畸变误差最小的那一组相机标定参数。

[0044] (4) 以步骤(1)得到的物点坐标、步骤(2)得到的新角点像素坐标为基础，以最小化畸变误差与重投影误差的乘积作为优化准则，采用Levenberg-Marquardt (LM) 算法优化相机参数，得到优化的内参数、优化的外参数和优化的畸变参数；

[0045] 用于计算重投影误差的方法是现有的通用标准技术，最小化重投影误差则为选择使得重投影误差最小的那一组相机标定参数。

[0046] (5) 以最小化畸变误差作为准则，从步骤(4)得到的相机优化的外参数中选择最优的外参数。

[0047] (6) 根据步骤(4)优化的畸变参数对提取的原始的角点像素坐标，即对步骤(1)中的角点像素坐标进行畸变校正；

[0048] (7) 由步骤(6)校正后的坐标采用张正友标定法再一次解算相机的内外参数；

[0049] (8) 以最小化重投影误差作为优化准则，采用Levenberg-Marquardt算法优化相机的内外参数；

[0050] 以步骤b得到的相机内外参数与步骤a得到的相机优化的畸变参数作为最终的相机标定参数。

[0051] 相机镜头的畸变使得提取角点的空间分布呈现出下列特性：首先位于棋盘格中心区域的角点的精度最高，然后从中心向外角点精度会展现出与镜头畸变类似的空间分布。图2展示了正常情况下角点精度空间分布与镜头畸变空间分布的一致性，其中的绿色、蓝色与红色分别表示角点的最高精度、中间精度与最低精度。由图2可知，相机镜头畸变能够显著影响相机标定参数的精确性。

[0052] 参照图3，本发明方法得到的畸变误差与张正友标定法、Tsai标定法的对比，由图3可知，采用本发明步骤a得到的畸变校正参数对标定板图像进行校正后，计算的畸变误差非常小。因此，经过步骤a后就能够将相机镜头的畸变影响与相机内外参数解算分离。

[0053] 步骤b以经过畸变校正的角点的像素坐标再一次解算相机的内外参数，这一步重新计算相机的内参数矩阵K与外参数矩阵[R, t]，而保持步骤a计算的相机镜头的畸变参数不变。步骤b采用了标准的张正友标定法解算并优化相机参数。

[0054] 参照图4，本发明方法标定左右相机时得到的重投影误差与张正友标定法、Tsai标定法的对比，由图4可知，采用本发明得到的重投影误差一般小于千分之一像素。

[0055] 为了体现本发明设计的相机标定参数优化方法能够改进双目三维重建结果的性能，本发明进一步采用极线匹配误差进行试验对比。因为双目视觉的极线匹配误差既能反映左右相机图像中提取的同名像点坐标的精度，又能在排除三维重建算法的影响下，综合考虑所有的标定参数，所以本发明还采用双目视觉对极几何中的极线匹配误差测试本发明的有效性。

[0056] 参照图5，本发明方法得到的极线匹配误差与张正友标定法、Tsai标定法的对比，由图5可知，采用本发明得到的极线匹配误差都小于0.3个像素，因此能够改进通过双目立体匹配得到的三维模型质量。

[0057] 以上显示和描述了本发明的基本原理、主要特征和本发明的优点。本行业的技术

人员应该了解,本发明不受上述实施例的限制,上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理,在不脱离本发明精神和范围的前提下,本发明还会有各种变化和改进,这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

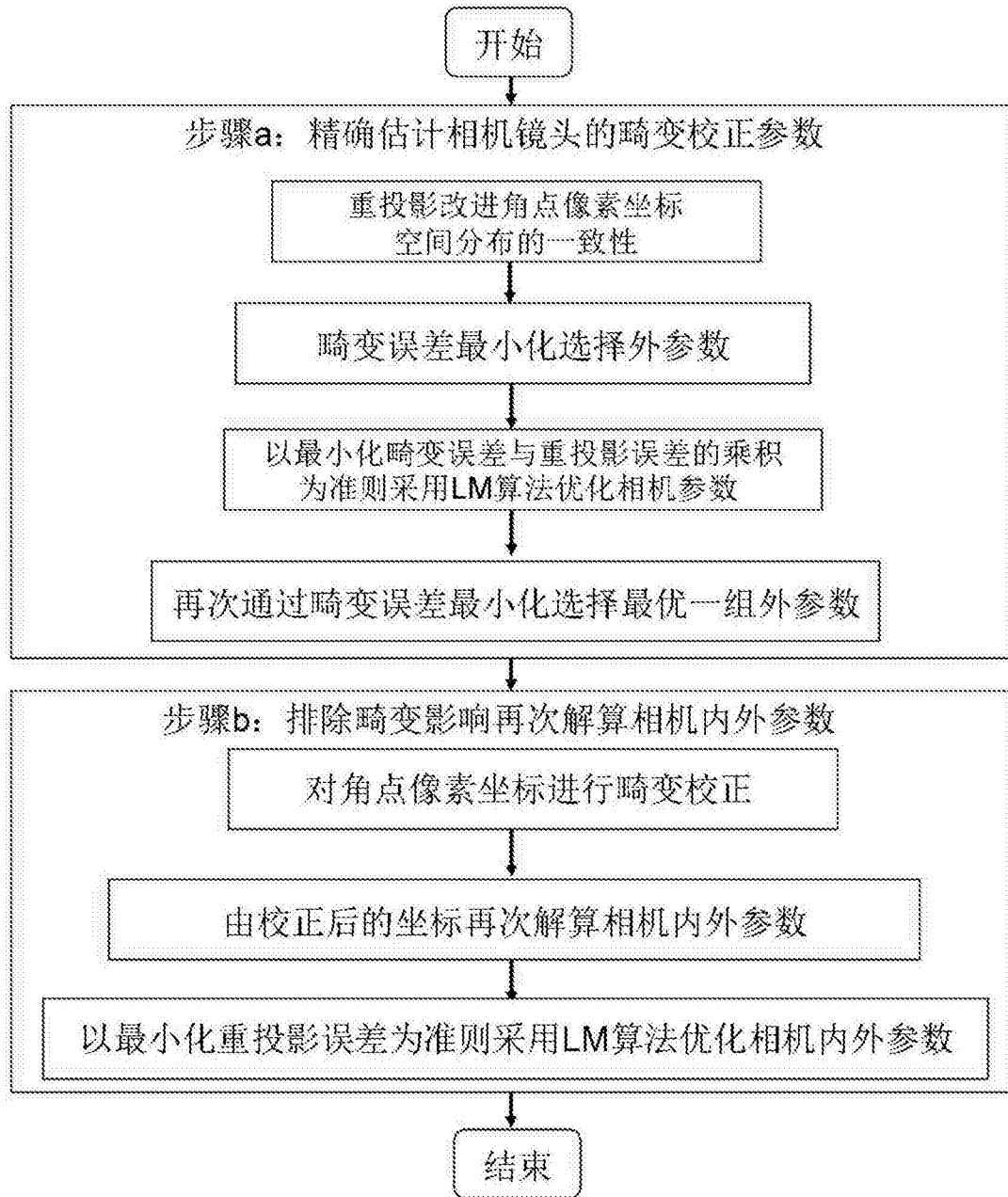


图1



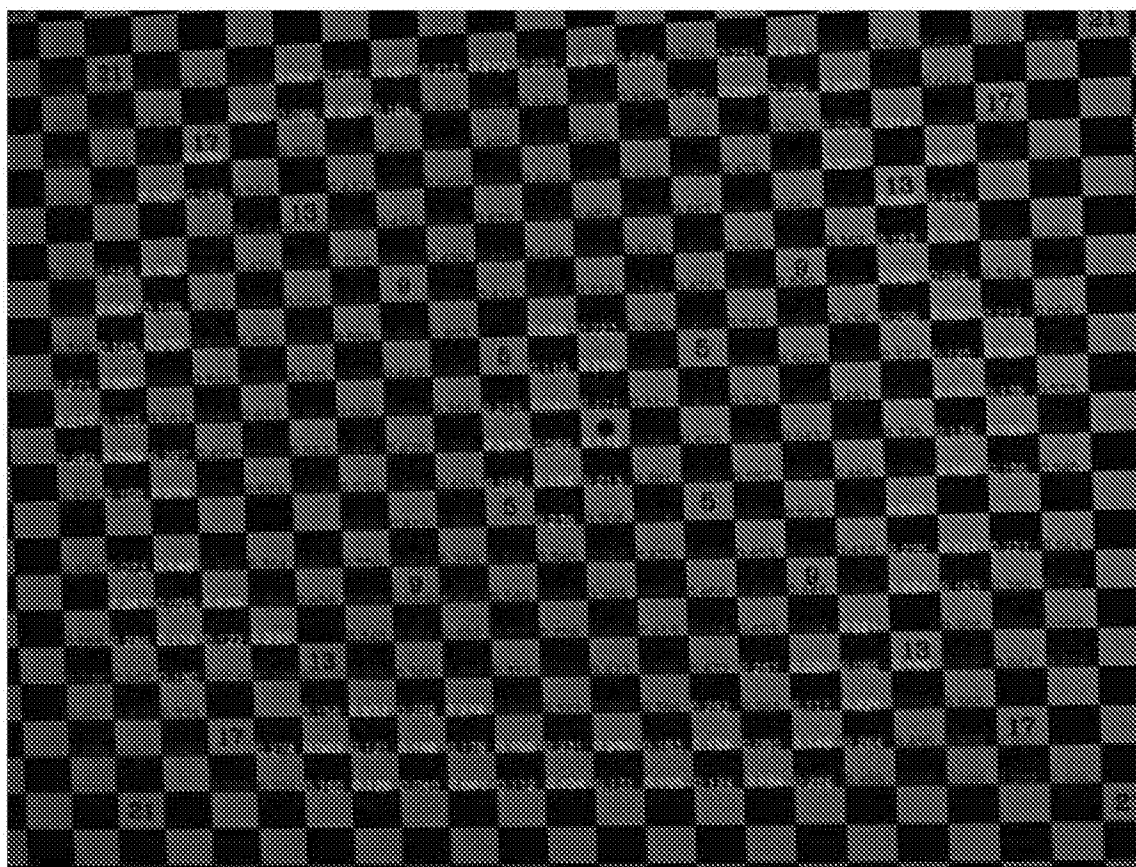


图2

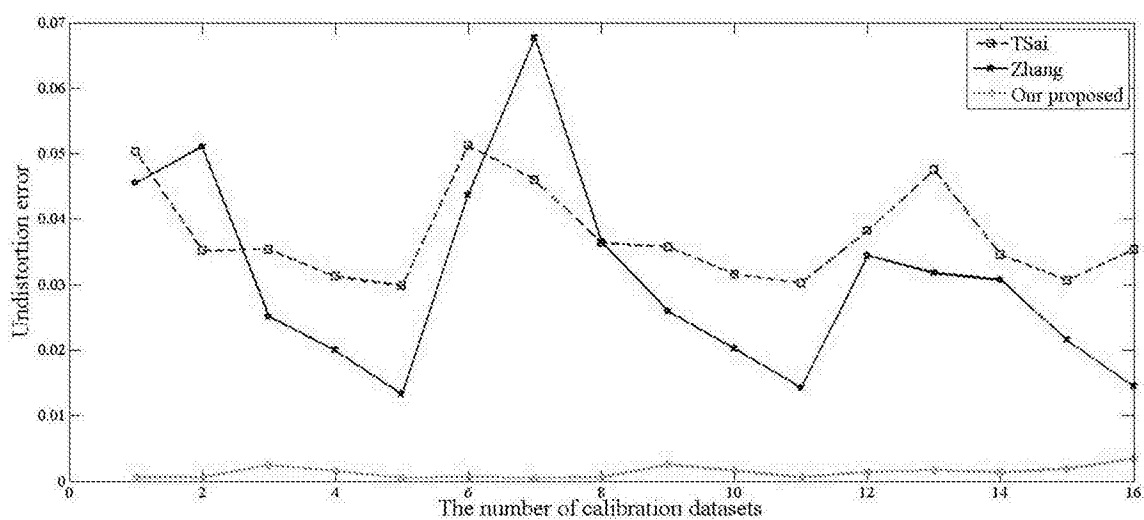
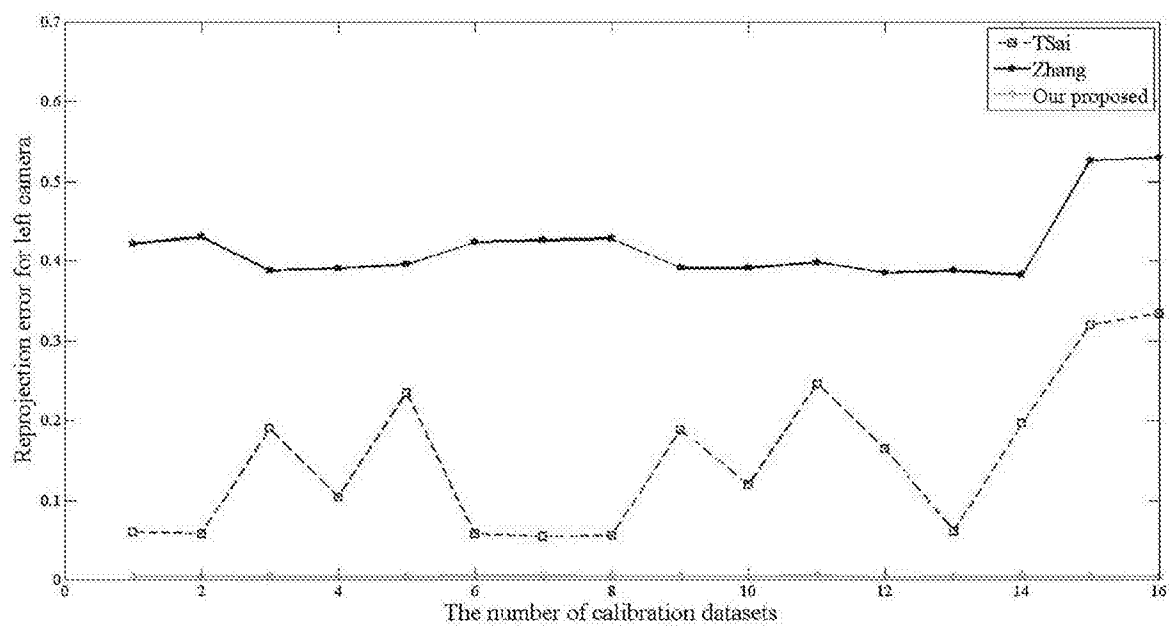
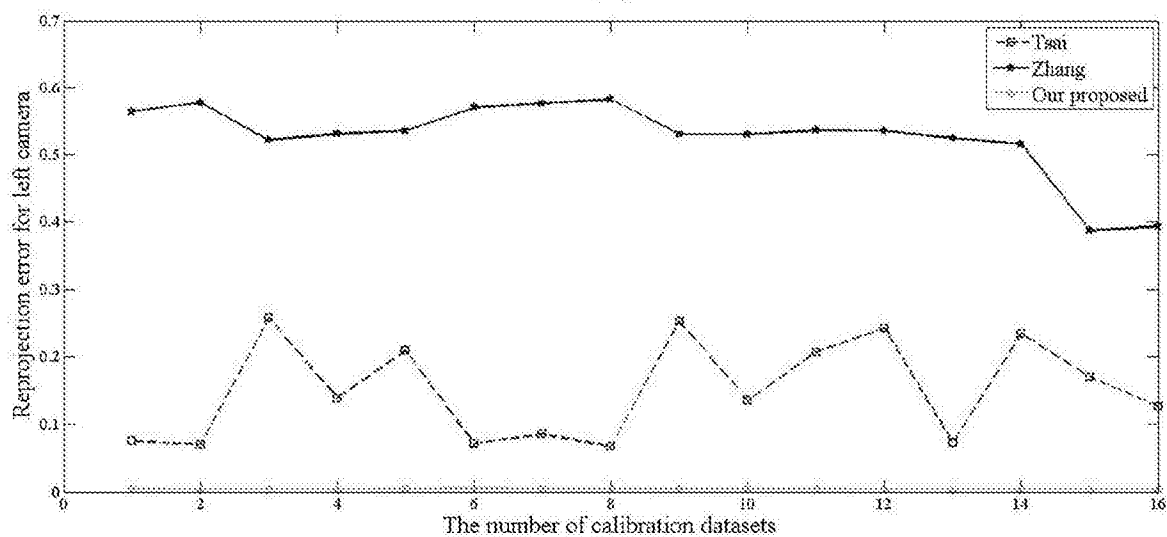


图3



(a)



(b)

图4

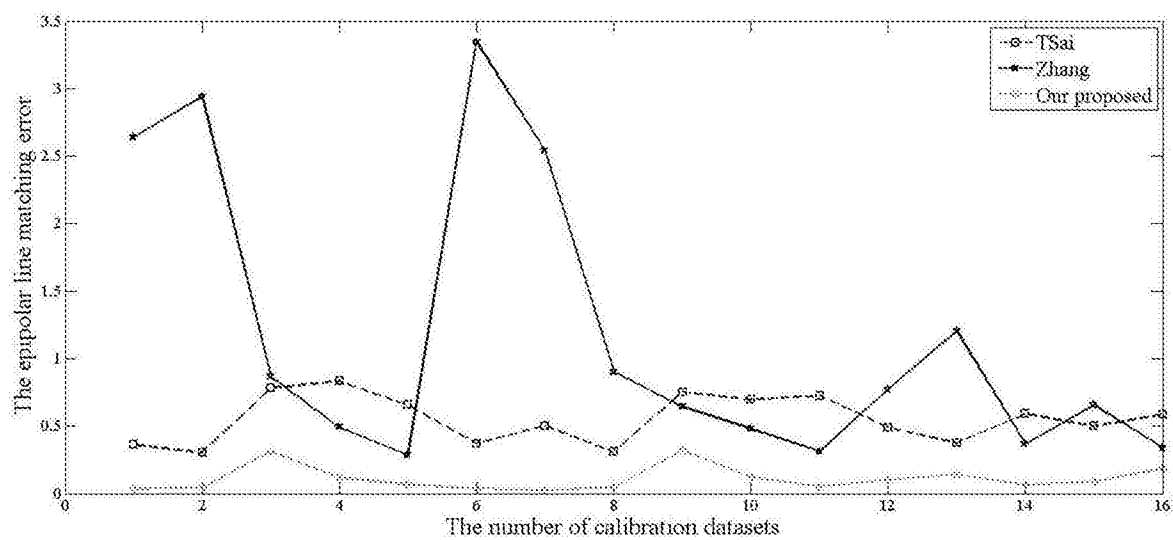


图5