



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113112548 B

(45) 授权公告日 2022.08.19

(21) 申请号 202110386595.9

(22) 申请日 2021.04.12

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113112548 A

(43) 申请公布日 2021.07.13

(66) 本国优先权数据  
202011540944.X 2020.12.23 CN

(73) 专利权人 合肥工业大学  
地址 230009 安徽省合肥市屯溪路193号

(72) 发明人 殷玉龙 朱华炳 杨霏 杨昭辉

(74) 专利代理机构 合肥律通专利代理事务所  
(普通合伙) 34140

专利代理师 赵春海

(51) Int. Cl.

G06T 7/80 (2017.01)

G06T 7/66 (2017.01)

G06T 7/90 (2017.01)

(56) 对比文件

CN 109598762 A, 2019.04.09

CN 104867160 A, 2015.08.26

CN 103247053 A, 2013.08.14

CN 106846415 A, 2017.06.13

CN 106548477 A, 2017.03.29

CN 104933717 A, 2015.09.23

CN 106600648 A, 2017.04.26

US 2019122026 A1, 2019.04.25

殷玉龙. 双目立体视觉自定位线扫描三维测量技术.《中国优秀硕士学位论文全文数据库信息科技辑》.2016,

Hyowon Ha等.Deltile Grids for Geometric Camera Calibration.《2017 IEEE International Conference on Computer Vision》.2017,

审查员 张亚东

权利要求书5页 说明书42页 附图18页

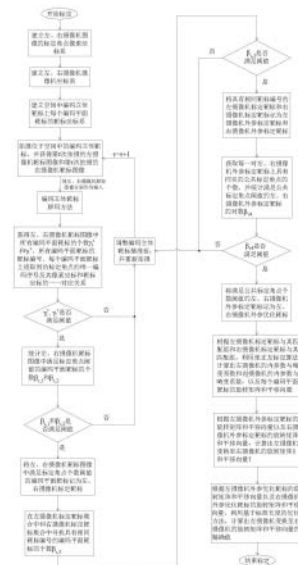
(54) 发明名称

基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,利用两台摄像机拍摄位于空间中的编码立体靶标,得到一组靶标图像;通过编码立体靶标的解码方法,分别获取靶标图像组中左、右摄像机拍摄的靶标图像中编码立体靶标上每个编码平面靶标的标定角点的亚像素坐标、标定角点唯一编码序号和世界坐标,满足标定条件则作为标定图像;利用张正友标定算法求解出左、右摄像机的内外参数以及两台摄像机之间的旋转和平移关系。本发明能够实现双目摄像机内外参数的自动标定,左、右摄像机只需各自拍摄一幅靶标图像,并利用靶标图像中包含的多个完整或局部的编码平面靶标图像完成标定工作,降低了摄像机标定的复杂性,提高了摄像机标定的效率。

CN 113112548 B



1. 一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,用于双目摄像机的标定图像的采集,该编码立体靶标与两台摄像机在空间相对放置,其中两台摄像机位置固定,所述编码立体靶标由基准板和基准板上连接的多个编码平面靶标组成,基准板和编码平面靶标的空间位置和姿态均可单独调节,所述编码立体靶标的基准板被划分为S个区域,其中每个区域均放置有一个编码平面靶标,其中S为整数且 $S > 3$ ,所有的编码平面靶标均具有编号,且每个编码平面靶标的编号互不相同,任意两个编码平面靶标的空间姿态具有明显差异,每个编码平面靶标上均设置有多个平行四边形编码单元,每个平行四边形编码单元的编码号互不相同,且同一个编码平面靶标上的所有平行四边形编码单元的编码号具有连续性,编码平面靶标中每一个平行四边形编码单元的内部设置有编码图案,编码图案包括一个定位图案、一个定向图案和编码标志图案,其中编码标志图案又由多个编码单元图案组成;由定向图案和定位图案可实现编码平面靶标旋转方向的判断;编码标志图案则是用于给编码平面靶标中每个标定角点进行编码,且编码单元图案的数量和分布均由其所在的平行四边形编码单元的编号决定;

在任意一个编号为 $\alpha_i$ 的编码平面靶标上,任取该编码平面靶标中的一个平行四边形编码单元记为该编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(\alpha_i)}$ ,任取该编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(\alpha_i)}$ 的一个顶点记为向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{n(\alpha_i)}$ ,在该编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(\alpha_i)}$ 中将相交形成向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{n(\alpha_i)}$ 的任意一条边记为向量确定编码单元第一边 $N_{v1}^{(\alpha_i)}$ ,在向量确定编码单元第一边 $N_{v1}^{(\alpha_i)}$ 上取向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(\alpha_i)}$ 的顶点记为向量确定编码单元第一边上第一点 $o_2^{n(\alpha_i)}$ ,其中向量确定编码单元第一边上第一点 $o_2^{n(\alpha_i)}$ 与向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{n(\alpha_i)}$ 是互不重合的2个点,记向量 $\overrightarrow{o_1^{n(\alpha_i)} o_2^{n(\alpha_i)}}$ 为该编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(\alpha_i)}$ ;并且编码平面靶标内的每一个平行四边形编码单元中的定位图案和定向图案的位置关系如下:在同一平行四边形编码单元内由定向图案质心指向定位图案质心的方向与该编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(\alpha_i)}$ 的方向相同,其特征在于:所述的编码立体靶标的双目摄像机标定方法,主要包括以下步骤:

步骤1、定义左摄像机标定靶标个数阈值 $G_1$ ,右摄像机标定靶标个数阈值 $G_2$ ,标定角点个数阈值 $k_1$ ,编码平面靶标个数阈值 $k_2$ ,外参标定靶标个数阈值 $G_3$ ,公共标定角点个数阈值 $k_3$ ,外参优化靶标个数阈值 $G_4$ ,其中, $G_1, G_2, G_3, G_4, k_1, k_2, k_3$ 均为整数且 $G_1 > 3, G_2 > 3, G_3 > 1, 1 \leq G_4 \leq G_3, k_1 > 4, k_2 > 3, k_3 > 1$ ;

步骤2、将左摄像机、右摄像机同时拍摄一次空间中的编码立体靶标获得的图像分别记为左摄像机靶标图像和右摄像机靶标图像,并建立左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_l-x_l y_l$ 和右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_r-x_r y_r$ ;

步骤3、建立左摄像机的摄像机坐标系和右摄像机的摄像机坐标系;

步骤4、利用空间中相对位置和绝对位置均固定且具有公共视场的两台摄像机同时拍摄一次空间中放置的编码立体靶标,分别获得第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像和第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像;

步骤5、记空间中第 $\tau$ 次移动位置上的编码立体靶标上 $\alpha_i$ 号编码平面靶标上的第1行第1

个平行四边形编码单元的4个顶点中是标定角点的个数为 $\Phi_{\alpha_\tau, p}$ , 根据 $\Phi_{\alpha_\tau, p}$ 数值的大小, 建立对应的 $\alpha_\tau$ 号靶标坐标系 $O_t^{(\alpha_\tau)} - X_t^{(\alpha_\tau)} Y_t^{(\alpha_\tau)} Z_t^{(\alpha_\tau)}$ ;  $\alpha_\tau$ 为整数且 $\alpha_\tau \in [1, S]$ ;

步骤6、将第 $\tau$ 次拍摄的左/右摄像机靶标图像作为输入条件, 利用编码立体靶标的解码方法, 获得第 $\tau$ 次拍摄的左/右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_l^\tau / \gamma_r^\tau$ 、第 $\tau$ 次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标的编号、第 $\tau$ 次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点个数和每个标定角点在左/右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_1 - x_1 y_1 / o_r - x_r y_r$ 下的亚像素坐标、第 $\tau$ 次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点的唯一编码序号, 以及第 $\tau$ 次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点在左/右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_1 - x_1 y_1 / o_r - x_r y_r$ 下的亚像素坐标和与之一一对应的在空间中编码立体靶标上具有相同唯一编码序号的标定角点在相应靶标坐标系下的靶标坐标之间的匹配关系, 其中 $\gamma_l^\tau$ 、 $\gamma_r^\tau$ 为整数且 $\gamma_l^\tau \geq 0$ ,  $\gamma_r^\tau \geq 0$ ;

步骤7、若 $\gamma_l^\tau \geq k_2$ 且 $\gamma_r^\tau \geq k_2$ , 将获得的第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像上 $\gamma_l^\tau$ 个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列, 并分别记为 $\mu_{l,1}^\tau, \mu_{l,2}^\tau, \mu_{l,3}^\tau, \dots, \mu_{l,\gamma_l^\tau}^\tau$ , 其中 $\mu_{l,1}^\tau, \mu_{l,2}^\tau, \mu_{l,3}^\tau, \dots, \mu_{l,\gamma_l^\tau}^\tau$ 均为整数; 并将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中编号为 $\mu_{l,1}^\tau, \mu_{l,2}^\tau, \mu_{l,3}^\tau, \dots, \mu_{l,\gamma_l^\tau}^\tau$ 的编码平面靶标分别记为第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、 $\dots$ 、第 $\gamma_l^\tau$ 个编码平面靶标;

将获得的第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像上 $\gamma_r^\tau$ 个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列, 并分别记为 $\mu_{r,1}^\tau, \mu_{r,2}^\tau, \mu_{r,3}^\tau, \dots, \mu_{r,\gamma_r^\tau}^\tau$ , 其中 $\mu_{r,1}^\tau, \mu_{r,2}^\tau, \mu_{r,3}^\tau, \dots, \mu_{r,\gamma_r^\tau}^\tau$ 均为整数; 并将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中编号为 $\mu_{r,1}^\tau, \mu_{r,2}^\tau, \mu_{r,3}^\tau, \dots, \mu_{r,\gamma_r^\tau}^\tau$ 的编码平面靶标分别记为第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、 $\dots$ 、第 $\gamma_r^\tau$ 个编码平面靶标;

步骤8、统计左、右摄像机靶标图像中满足标定角点阈值的编码平面的个数 $\beta_{\tau,1}$ 和 $\beta_{\tau,2}$ ;

步骤9、若 $\beta_{\tau,1} \geq G_1$ 且 $\beta_{\tau,2} \geq G_2$ , 在第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像上获得了 $\beta_{\tau,1}$ 个满足标定条件的标定靶标, 在第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像上获得了 $\beta_{\tau,2}$ 个满足标定条件的标定靶标, 以及 $\beta_{\tau,1}$ 个左摄像机标定匹配组和 $\beta_{\tau,2}$ 个右摄像机标定匹配组;

步骤10、在左摄像机标定靶标集合中和右摄像机标定靶标集合中寻找具有相同靶标标号的编码平面靶标的个数 $\beta_{\tau,3}$ , 在第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中共获得了 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标和 $\beta_{\tau,3}$ 个左摄像机外参标定匹配组, 在第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中共获得了 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标和 $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定匹配组;

步骤11、若 $\beta_{\tau,3} \geq G_3$ , 定义整数变量 $\beta_{\tau,4}$ 并赋值 $\beta_{\tau,4} = 0$ , 取整数变量 $i_\tau$ 并赋值 $i_\tau = 1$ ;

步骤12、根据第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个左摄像机外参标定匹配组和第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个右摄像机外参标定匹配组, 统计第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个外参标定靶标上和第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像上第 $i_\tau$ 个外参标定靶标上具有相同标定角点唯一编码序号的同名标定角点个数 $\gamma_{i_\tau}^\tau$ ;

步骤13、若 $\gamma_{i_\tau}^r \geq k_3$ , 将 $\beta_{\tau,4}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,4}$ , 将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个外参标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标, 将第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个左摄像机外参标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,4}$ 个左摄像机外参优化匹配组, 将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个外参标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标, 将第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个右摄像机外参标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,4}$ 个右摄像机外参优化匹配组;

步骤14、若 $\beta_{\tau,4} \geq G_4$ , 则获得第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标、第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,4}$ 个左摄像机外参优化匹配组以及第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标、第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,4}$ 个右摄像机外参优化匹配组;

步骤15、根据获得的第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,1}$ 个左摄像机标定匹配组和 $\beta_{\tau,2}$ 个右摄像机标定匹配组, 利用单目摄像机内外参数标定算法计算出左、右摄像机的内参数和畸变系数, 以及从左摄像机坐标系分别变换到空间中编码立体靶标上各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{l,1}$ 、 $R_{l,2}$ 、 $R_{l,3}$ 、 $\dots$ 、 $R_{l,\beta_{\tau,1}}$ 和平移向量 $T_{l,1}$ 、 $T_{l,2}$ 、 $T_{l,3}$ 、 $\dots$ 、 $T_{l,\beta_{\tau,1}}$ , 从右摄像机坐标系分别变换到空间中编码立体靶标上各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{r,1}$ 、 $R_{r,2}$ 、 $R_{r,3}$ 、 $\dots$ 、 $R_{r,\beta_{\tau,2}}$ 和平移向量 $T_{r,1}$ 、 $T_{r,2}$ 、 $T_{r,3}$ 、 $\dots$ 、 $T_{r,\beta_{\tau,2}}$ ;

步骤16、在旋转矩阵 $R_{l,1}$ 、 $R_{l,2}$ 、 $R_{l,3}$ 、 $\dots$ 、 $R_{l,\beta_{\tau,1}}$ 和平移向量 $T_{l,1}$ 、 $T_{l,2}$ 、 $T_{l,3}$ 、 $\dots$ 、 $T_{l,\beta_{\tau,1}}$ 中, 寻找左摄像机坐标系分别变换到外参标定靶标各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{l,1}$ 、 $R'_{l,2}$ 、 $R'_{l,3}$ 、 $\dots$ 、 $R'_{l,\beta_{\tau,3}}$ 和平移向量 $T'_{l,1}$ 、 $T'_{l,2}$ 、 $T'_{l,3}$ 、 $\dots$ 、 $T'_{l,\beta_{\tau,3}}$ ;

在旋转矩阵 $R_{r,1}$ 、 $R_{r,2}$ 、 $R_{r,3}$ 、 $\dots$ 、 $R_{r,\beta_{\tau,2}}$ 和平移向量 $T_{r,1}$ 、 $T_{r,2}$ 、 $T_{r,3}$ 、 $\dots$ 、 $T_{r,\beta_{\tau,2}}$ 中, 寻找右摄像机坐标系分别变换到外参标定靶标各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{r,1}$ 、 $R'_{r,2}$ 、 $\dots$ 、 $R'_{r,\beta_{\tau,3}}$ 和平移向量 $T'_{r,1}$ 、 $T'_{r,2}$ 、 $\dots$ 、 $T'_{r,\beta_{\tau,3}}$ ;

步骤17、利用旋转矩阵 $R'_{l,i_\tau}$ 和平移向量 $T'_{l,i_\tau}$ 以及旋转矩阵 $R'_{r,i_\tau}$ 和平移向量 $T'_{r,i_\tau}$ , 根据式(1)和(2)求解出左摄像机坐标系和右摄像机坐标系之间的旋转和平移关系:

$$R_{i_\tau} = R'_{r,i_\tau} \cdot R'_{l,i_\tau}^{-1} \quad (1)$$

$$T_{i_\tau} = T'_{r,i_\tau} - R'_{r,i_\tau} R'_{l,i_\tau}^{-1} T'_{l,i_\tau} \quad (2)$$

其中 $i_\tau = 1, 2, \dots, \beta_{\tau,3}$ ;

步骤18、通过公式(3)计算出从左摄像机坐标系变换到右摄像机坐标系的旋转矩阵R和平移向量T的初始值:

$$\begin{cases} R = (\sum_{i_\tau=1}^{\beta_{\tau,3}} R_{i_\tau}) / \beta_{\tau,3} \\ T = (\sum_{i_\tau=1}^{\beta_{\tau,3}} T_{i_\tau}) / \beta_{\tau,3} \end{cases} \quad (3)$$

其中 $i_\tau = 1, 2, \dots, \beta_{\tau,3}$ ;

步骤19、根据左摄像机的内参数和畸变系数、右摄像机的内参数和畸变系数以及左摄

像机与右摄像机之间的初始外参数,利用基于标准长度的优化方法,计算出双目摄像机外参的精确值 $R'$ 和 $T'$ ,以此完成双目摄像机标定。

2.根据权利要求1所述一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,其特征在于:还包括编码立体靶标调整步骤:调整编码立体靶标的基准板空间位姿,使得左摄像机视场、右摄像机视场及两者的公共视场中包含更多的编码平面靶标和标定角点,将 $\tau+1$ 赋值给 $\tau$ 后返回步骤4顺序执行。

3.根据权利要求1所述的一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,其特征在于:步骤8中,左、右摄像机靶标图像中满足标定角点阈值的编码平面的个数 $\beta_{\tau,1}$ 和 $\beta_{\tau,2}$ 的具体步骤为:

步骤8.1、定义整数变量 $i_{\tau}$ 、 $\beta_{\tau,1}$ 、 $\beta_{\tau,2}$ 并赋值 $i_{\tau}=1$ 、 $\beta_{\tau,1}=0$ 、 $\beta_{\tau,2}=0$ ;

步骤8.2、若 $i_{\tau} > \gamma_l^{\tau}$ ,则执行步骤8.4;否则执行步骤8.3;

步骤8.3、将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点的个数记为 $\gamma_{l,i}^{\tau}$ ,并进行判断:

若 $\gamma_{l,i}^{\tau} > k_1$ ,则将 $\beta_{\tau,1}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,1}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标记为第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,1}$ 个标定靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标的编号 $\mu_{l,i}^{\tau}$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,1}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{l,\beta_{\tau,1}}^{\tau}$ ,将左摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点在左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_l-x_l y_l$ 下的亚像素坐标和与之一一对应的在空间中编码立体靶标上具有相同唯一编码序号的标定角点在 $\mu_{l,i}^{\tau}$ 号靶标坐标系下的靶标坐标之间的匹配关系记为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,1}$ 个左摄像机标定匹配组;若 $\gamma_{l,i}^{\tau} \leq k_1$ ,则直接执行步骤8.4;

步骤8.4、若 $i_{\tau} > \gamma_r^{\tau}$ ,则执行步骤8.6;否则执行步骤8.5;

步骤8.5、将右摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点的个数记为 $\gamma_{r,i}^{\tau}$ ,并进行判断:

若 $\gamma_{r,i}^{\tau} > k_1$ ,则将 $\beta_{\tau,2}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,2}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标记为第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,2}$ 个标定靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标的编号 $\mu_{r,i}^{\tau}$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,2}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{r,\beta_{\tau,2}}^{\tau}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点在右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_r-x_r y_r$ 下的亚像素坐标和与之一一对应的在空间中编码立体靶标上具有相同唯一编码序号的标定角点在 $\mu_{r,i}^{\tau}$ 号靶标坐标系下的靶标坐标之间的匹配关系记为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,2}$ 个右摄像机标定匹配组;若 $\gamma_{r,i}^{\tau} \leq k_1$ ,则直接执行步骤8.6;

步骤8.6、若 $i_{\tau} < \gamma_l^{\tau}$ 或 $i_{\tau} < \gamma_r^{\tau}$ ,则将 $i_{\tau}+1$ 赋值给 $i_{\tau}$ 后循环执行步骤8.2至步骤8.5,直至 $i_{\tau} \geq \gamma_l^{\tau}$ 且 $i_{\tau} \geq \gamma_r^{\tau}$ 。

4.根据权利要求1所述的一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方

法,其特征在于:步骤10中,在左摄像机标定靶标集合中和右摄像机标定靶标集合中寻找具有相同靶标标号的编码平面靶标的个数 $\beta_{\tau,3}$ 的具体方法包括以下步骤:

步骤10.1、令整数变量 $i_{\tau}$ 并赋值 $i_{\tau}=1$ ;定义整数变量 $j_{\tau}$ ,定义整数变量 $\beta_{\tau,3}$ 并赋值 $\beta_{\tau,3}=0$ ;

步骤10.2、令整数变量 $j_{\tau}$ 并赋值 $j_{\tau}=1$ ;

步骤10.3、判断第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{l,i_{\tau}}^{\tau}$ 是否等于第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_{\tau}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{r,j_{\tau}}^{\tau}$ ,若 $\mu_{l,i_{\tau}}^{\tau} = \mu_{r,j_{\tau}}^{\tau}$ ,则将 $\beta_{\tau,3}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,3}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_{\tau}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{l,i_{\tau}}^{\tau}$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标的编号 $\mu_{l,\beta_{\tau,3}}^{\tau}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_{\tau}$ 个左摄像机标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,3}$ 个左摄像机外参标定匹配组;将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_{\tau}$ 个标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_{\tau}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{r,j_{\tau}}^{\tau}$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标的编号 $\mu_{r,\beta_{\tau,3}}^{\tau}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的第 $j_{\tau}$ 个右摄像机标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定匹配组,而后执行步骤10.5;否则直接执行步骤10.4;

步骤10.4、判断 $j_{\tau}$ 是否小于 $\beta_{\tau,2}$ ,若 $j_{\tau} < \beta_{\tau,2}$ ,则将 $j_{\tau}+1$ 赋值给 $j_{\tau}$ 后循环执行步骤10.3,直至 $j_{\tau} \geq \beta_{\tau,2}$ ;否则执行步骤10.5;

步骤10.5、判断 $i_{\tau}$ 是否小于 $\beta_{\tau,1}$ ,若 $i_{\tau} < \beta_{\tau,1}$ ,则将 $i_{\tau}+1$ 赋值给 $i_{\tau}$ 后循环执行步骤10.2至步骤10.4,直至 $i_{\tau} \geq \beta_{\tau,1}$ 。

5. 根据权利要求1所述的一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,其特征在于:步骤5中,若 $\alpha_{\tau} < S$ ,则将 $\alpha_{\tau}+1$ 赋值给 $\alpha_{\tau}$ 后返回步骤5循环执行,直至 $\alpha_{\tau} = S$ ;

6. 根据权利要求2所述的一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,其特征在于:步骤7中,若 $\gamma_l^{\tau} < k_2$ 或 $\gamma_r^{\tau} < k_2$ ,则执行编码立体靶标调整步骤,直至 $\gamma_l^{\tau} \geq k_2$ 且 $\gamma_r^{\tau} \geq k_2$ 。

7. 根据权利要求2所述的一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,其特征在于:步骤9中,若 $\beta_{\tau,1} < G_1$ 或 $\beta_{\tau,2} < G_2$ ,则执行编码立体靶标调整步骤,直至 $\beta_{\tau,1} \geq G_1$ 且 $\beta_{\tau,2} \geq G_2$ 。

8. 根据权利要求2所述的一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,其特征在于:步骤11中,若 $\beta_{\tau,3} < G_3$ ,则执行编码立体靶标调整步骤,直至 $\beta_{\tau,3} \geq G_3$ 。

9. 根据权利要求2所述的一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,其特征在于:步骤14中,若 $\beta_{\tau,4} < G_4$ ,则执行编码立体靶标调整步骤,直至 $\beta_{\tau,4} \geq G_4$ 。

10. 一种计算机可读存储介质,包括与具有图像处理功能的电子设备结合使用的计算机程序,所述计算机程序可被处理器执行以如权利要求1所述的基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法。

## 基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及计算机视觉中摄像机标定方法领域,具体为一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法。

### 背景技术

[0002] 计算机视觉技术在工业控制、测量学等领域有着广泛的应用,计算机视觉技术主要是利用摄像机的成像,通过图像信息获取空间中被测物体的三维信息,由此重建和识别物体。计算机视觉技术的根本问题是摄像机标定,通过摄像机标定技术可以获得空间三维坐标与图像二维坐标之间的映射关系,摄像机标定技术是计算机视觉测量技术的研究重点,摄像机标定的任务就是求解摄像机的内外参数,摄像机标定技术得到越来越多的关注和发展。

[0003] 1986年Roger Tsai提出了基于径向约束的摄像机标定算法,该标定算法需要3D立体靶标,使得标定过程不灵活;1999年前后,张正友(Z.Y Zhang)提出了基于平面靶标的摄像机标定算法,该标定算法使用了不包含方向信息和编码信息的平面靶标,标定过程中无法判断出无方向信息的平面靶标的旋转方向,并且张正友(Z.Y Zhang)提出的基于平面靶标的摄像机标定算法要求摄像机拍摄到完整的平面靶标,但实际标定过程中摄像机常常会拍摄不到完整的平面靶标,此时使用传统的没有包含方向信息和编码信息的平面靶标难以进行摄像机标定和保证摄像机标定精度。

### 发明内容

[0004] 本发明提出的编码立体靶标及基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法是利用包含方向信息和编码信息的编码立体靶标进行摄像机标定,以保证摄像机标定时标定角点的亚像素坐标与其靶标坐标匹配的精度;同时,没有拍摄到方向性图案的局部靶标图像仍可以用于摄像机标定,且只需拍摄一张满足标定条件的标定图像即可完成双目摄像机的标定工作,从而极大简化标定的复杂程度。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明采用的一个技术方案是:提供一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,用于双目摄像机的标定图像的采集,该编码立体靶标与两台摄像机在空间相对放置,其中两台摄像机位置固定,所述编码立体靶标由基准板和基准板上连接的多个编码平面靶标组成,基准板和编码平面靶标的空间位置和姿态均可单独调节,所述编码立体靶标的基准板被划分为S个区域,其中每个区域均放置有一个编码平面靶标,其中S为整数且 $S > 3$ ,所有的编码平面靶标均具有编号,且每个编码平面靶标的编号互不相同,任意两个编码平面靶标的空间姿态具有明显差异,每个编码平面靶标上的均设置有多个平行四边形编码单元,每个平行四边形编码单元的编码号互不相同,且同一个编码平面靶标上的所有平行四边形编码单元的编码号具有连续性,其特征在于:所述的编码立体靶标的双目摄像机标定方法,主要包括以下步骤:

[0006] 步骤1、定义左摄像机标定靶标个数阈值 $G_1$ ,右摄像机标定靶标个数阈值 $G_2$ ,标定角

点个数阈值 $k_1$ , 编码平面靶标个数阈值 $k_2$ , 外参标定靶标个数阈值 $G_3$ , 公共标定角点个数阈值 $k_4$ , 外参优化靶标个数阈值 $G_4$ , 其中,  $G_1, G_2, G_3, G_4, k_1, k_2, k_4$ 均为整数且 $G_1 > 3, G_2 > 3, G_3 > 1, 1 \leq G_4 \leq G_3, k_1 > 4, k_2 > 3, k_4 > 1$ ;

[0007] 步骤2、将左摄像机、右摄像机同时拍摄一次空间中的编码立体靶标获得的图像分别记为左摄像机靶标图像和右摄像机靶标图像, 并建立左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_l-x_l y_l$ 和右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_r-x_r y_r$ ;

[0008] 具体的, 以左摄像机拍摄靶标图像的左上角作为所述左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的坐标原点 $o_l$ , 自左向右为左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $x_l$ 轴方向, 自上向下作为左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $y_l$ 轴方向, 由此建立左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_l-x_l y_l$ ;

[0009] 同样的, 以右摄像机拍摄的靶标图像的左上角作为所述右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的坐标原点 $o_r$ , 自左向右为右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $x_r$ 轴方向, 自上向下作为右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $y_r$ 轴方向, 由此建立右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_r-x_r y_r$ ;

[0010] 步骤3、建立左摄像机的摄像机坐标系和右摄像机的摄像机坐标系;

[0011] 步骤4、定义整数变量 $\tau$ 并赋值 $\tau=1$ , 利用空间中相对位置和绝对位置均固定且具有公共视场的的两台摄像机同时拍摄一次空间中放置的编码立体靶标, 分别获得第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像和第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像;

[0012] 步骤5、定义整数变量 $\alpha_\tau$ 并赋值 $\alpha_\tau=1$ ;

[0013] 记空间中第 $\tau$ 次移动位置上的编码立体靶标上 $\alpha_\tau$ 号编码平面靶标上的第1行第1个平行四边形编码单元的4个顶点中是标定角点的个数为 $\Phi_{\alpha_\tau, p}$ , 根据 $\Phi_{\alpha_\tau, p}$ 数值的大小, 建立对应的 $\alpha_\tau$ 号靶标坐标系 $O_t^{(\alpha_\tau)}-X_t^{(\alpha_\tau)}Y_t^{(\alpha_\tau)}Z_t^{(\alpha_\tau)}$ ;  $\alpha_\tau$ 为整数且 $\alpha_\tau \in [1, S]$ ;

[0014] 具体的,  $\alpha_\tau$ 号靶标坐标系的建立分为以下两种情况:

[0015] (1) 当 $\Phi_{\alpha_\tau, p} = 1$ 时, 记 $\alpha_\tau$ 号编码平面靶标上第1行第1个平行四边形编码单元 $\Gamma_1^{(\alpha_\tau)}$ 中的标定角点为原点标定角点 $\varepsilon_1^{(\alpha_\tau)}$ , 此时选取原点标定角点 $\varepsilon_1^{(\alpha_\tau)}$ 作为第 $\alpha_\tau$ 个靶标坐标系的原点 $O_t^{(\alpha_\tau)}$ , 以 $\alpha_\tau$ 号编码平面靶标上的辅助向量 $\vec{h}^{(\alpha_\tau)}$ 的方向作为第 $\tau$ 次移动位置上的 $\alpha_\tau$ 号靶标坐标系 $X_t^{(\alpha_\tau)}$ 轴的方向;

[0016] (2) 当 $\Phi_{\alpha_\tau, p} = 2$ 时, 分别记 $\alpha_\tau$ 号编码平面靶标上第1行第1个平行四边形编码单元 $\Gamma_1^{(\alpha_\tau)}$ 中的两个标定角点为 $\varepsilon_1'^{(\alpha_\tau)}$ 和 $\varepsilon_1''^{(\alpha_\tau)}$ , 根据标定角点 $\varepsilon_1'^{(\alpha_\tau)}$ 和 $\varepsilon_1''^{(\alpha_\tau)}$ 的位置关系又可分为以下情况:

[0017] (1) 当向量 $\overrightarrow{\varepsilon_1'^{(\alpha_\tau)} \varepsilon_1''^{(\alpha_\tau)}}$ 的方向与 $\alpha_\tau$ 号编码平面靶标上的辅助向量 $\vec{h}^{(\alpha_\tau)}$ 的方向相同时, 此时选取标定角点 $\varepsilon_1'^{(\alpha_\tau)}$ 作为 $\alpha_\tau$ 号靶标坐标系的原点 $O_t^{(\alpha_\tau)}$ , 以 $\alpha_\tau$ 号编码平面靶标上的辅助向量 $\vec{h}^{(\alpha_\tau)}$ 的方向作为第 $\tau$ 次移动位置上的 $\alpha_\tau$ 号靶标坐标系的 $X_t^{(\alpha_\tau)}$ 轴的方向;

[0018] (2) 当向量 $\overrightarrow{\varepsilon_1'^{(\alpha_\tau)} \varepsilon_1''^{(\alpha_\tau)}}$ 的方向与 $\alpha_\tau$ 号编码平面靶标上的辅助向量 $\vec{h}^{(\alpha_\tau)}$ 的方向不同



时,此时选取标定角点  $\varepsilon_1^{(\alpha_\tau)}$  作为  $\alpha_\tau$  号靶标坐标系的原点  $O_t^{(\alpha_\tau)}$ , 以  $\alpha_\tau$  号编码平面靶标上的辅助向量  $\vec{h}^{(\alpha_\tau)}$  的方向作为第  $\tau$  次移动位置上的  $\alpha_\tau$  号靶标坐标系的  $X_t^{(\alpha_\tau)}$  轴的方向;

[0019]  $X_t^{(\alpha_\tau)}$  轴的方向确定后,以  $\alpha_\tau$  号编码平面靶标上的正向向量  $\vec{h}_1^{(\alpha_\tau)}$  的方向作为第  $\tau$  次移动位置上的  $\alpha_\tau$  号靶标坐标系的  $Z_t^{(\alpha_\tau)}$  轴的方向,  $\alpha_\tau$  号靶标坐标系的  $X_t^{(\alpha_\tau)}$  轴、 $Z_t^{(\alpha_\tau)}$  轴与  $Y_t^{(\alpha_\tau)}$  轴满足右手准则,以此建立第  $\tau$  次移动位置上的  $\alpha_\tau$  号靶标坐标系  $O_t^{(\alpha_\tau)} - X_t^{(\alpha_\tau)} Y_t^{(\alpha_\tau)} Z_t^{(\alpha_\tau)}$ ;

[0020] 若  $\alpha_\tau < S$ , 则将  $\alpha_\tau + 1$  赋值给  $\alpha_\tau$  后返回步骤5循环执行,直至  $\alpha_\tau = S$ ;

[0021] 步骤6、将第  $\tau$  次拍摄的左/右摄像机靶标图像作为输入条件,利用编码立体靶标的解码方法,获得第  $\tau$  次拍摄的左/右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数  $\gamma_l^\tau / \gamma_r^\tau$ 、第  $\tau$  次拍摄的左、右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标的编号、第  $\tau$  次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点个数和每个标定角点在左、右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系  $o_1 - x_1 y_1$  下的亚像素坐标、第  $\tau$  次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点的唯一编码序号,以及第  $\tau$  次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点在左/右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系  $o_1 - x_1 y_1 / o_r - x_r y_r$  下的亚像素坐标和与之一一对应的在空间中编码立体靶标上具有相同唯一编码序号的标定角点在相应靶标坐标系下的靶标坐标之间的匹配关系,其中  $\gamma_l^\tau$ 、 $\gamma_r^\tau$  为整数且  $\gamma_l^\tau \geq 0$ ,  $\gamma_r^\tau \geq 0$ ;

[0022] 步骤7、若  $\gamma_l^\tau \geq k_2$  且  $\gamma_r^\tau \geq k_2$ , 将获得的第  $\tau$  次拍摄的左摄像机靶标图像上  $\gamma_l^\tau$  个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列,并分别记为  $\mu_{l,1}^\tau$ 、 $\mu_{l,2}^\tau$ 、 $\mu_{l,3}^\tau$ 、 $\dots$ 、 $\mu_{l,\gamma_l^\tau}^\tau$ , 其中  $\mu_{l,1}^\tau$ 、 $\mu_{l,2}^\tau$ 、 $\mu_{l,3}^\tau$ 、 $\dots$ 、 $\mu_{l,\gamma_l^\tau}^\tau$  均为整数;并将第  $\tau$  次拍摄的左摄像机靶标图像中编号为  $\mu_{l,1}^\tau$ 、 $\mu_{l,2}^\tau$ 、 $\mu_{l,3}^\tau$ 、 $\dots$ 、 $\mu_{l,\gamma_l^\tau}^\tau$  的编码平面靶标分别记为第  $\tau$  次拍摄的左摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、 $\dots$ 、第  $\gamma_l^\tau$  个编码平面靶标;

[0023] 将获得的第  $\tau$  次拍摄的右摄像机靶标图像上  $\gamma_r^\tau$  个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列,并分别记为  $\mu_{r,1}^\tau$ 、 $\mu_{r,2}^\tau$ 、 $\mu_{r,3}^\tau$ 、 $\dots$ 、 $\mu_{r,\gamma_r^\tau}^\tau$ , 其中  $\mu_{r,1}^\tau$ 、 $\mu_{r,2}^\tau$ 、 $\mu_{r,3}^\tau$ 、 $\dots$ 、 $\mu_{r,\gamma_r^\tau}^\tau$  均为整数;并将第  $\tau$  次拍摄的右摄像机靶标图像中编号为  $\mu_{r,1}^\tau$ 、 $\mu_{r,2}^\tau$ 、 $\mu_{r,3}^\tau$ 、 $\dots$ 、 $\mu_{r,\gamma_r^\tau}^\tau$  的编码平面靶标分别记为第  $\tau$  次拍摄的右摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、 $\dots$ 、第  $\gamma_r^\tau$  个编码平面靶标;

[0024] 本步骤中,若  $\gamma_l^\tau < k_2$  或  $\gamma_r^\tau < k_2$ , 则执行编码立体靶标调整步骤,直至  $\gamma_l^\tau \geq k_2$  且  $\gamma_r^\tau \geq k_2$ ;

[0025] 编码立体靶标调整步骤:调整编码立体靶标的基准板空间位姿,使得左摄像机视场、右摄像机视场及两者的公共视场中包含更多的编码平面靶标和标定角点,将  $\tau + 1$  赋值给  $\tau$  后返回步骤4顺序执行;

[0026] 步骤8、统计左、右摄像机靶标图像中满足标定角点阈值的编码平面的个数  $\beta_{\tau,1}$  和  $\beta_{\tau,2}$ , 具体步骤为:

[0027] 步骤8.1、定义整数变量 $i_\tau$ 、 $\beta_{\tau,1}$ 、 $\beta_{\tau,2}$ 并赋值 $i_\tau=1$ 、 $\beta_{\tau,1}=0$ 、 $\beta_{\tau,2}=0$ ；

[0028] 步骤8.2、若 $i_\tau > \gamma_i^\tau$ ，则执行步骤8.4；否则执行步骤8.3；

[0029] 步骤8.3、将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点的个数记为 $\gamma_{l,i}^\tau$ ，并进行判断：

[0030] 若 $\gamma_{l,i}^\tau > k_1$ ，则将 $\beta_{\tau,1}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,1}$ ，将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标记为第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,1}$ 个标定靶标，将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标的编号 $\mu_{l,i}^\tau$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,1}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{l,\beta_{\tau,1}}^\tau$ ，将左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点在左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_1-x_1y_1$ 下的亚像素坐标和与之一一对应的在空间中编码立体靶标上具有相同唯一编码序号的标定角点在 $\mu_{l,i}^\tau$ 号靶标坐标系下的靶标坐标之间的匹配关系记为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,1}$ 个左摄像机标定匹配组；若 $\gamma_{l,i}^\tau \leq k_1$ ，则直接执行步骤8.4；

[0031] 步骤8.4、若 $i_\tau > \gamma_r^\tau$ ，则执行步骤8.6；否则执行步骤8.5；

[0032] 步骤8.5、将右摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点的个数记为 $\gamma_{r,i}^\tau$ ，并进行判断：

[0033] 若 $\gamma_{r,i}^\tau > k_1$ ，则将 $\beta_{\tau,2}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,2}$ ，将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标记为第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,2}$ 个标定靶标，将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标的编号 $\mu_{r,i}^\tau$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,2}$ 个标定靶标的编号 $\mu_{r,\beta_{\tau,2}}^\tau$ ，将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个编码平面靶标上提取到的标定角点在右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_r-x_ry_r$ 下的亚像素坐标和与之一一对应的在空间中编码立体靶标上具有相同唯一编码序号的标定角点在 $\mu_{r,i}^\tau$ 号靶标坐标系下的靶标坐标之间的匹配关系记为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,2}$ 个右摄像机标定匹配组；若 $\gamma_{r,i}^\tau \leq k_1$ ，则直接执行步骤8.6；

[0034] 步骤8.6、若 $i_\tau < \gamma_l^\tau$ 或 $i_\tau < \gamma_r^\tau$ ，则将 $i_\tau+1$ 赋值给 $i_\tau$ 后循环执行步骤8.2至步骤8.5，直至 $i_\tau \geq \gamma_l^\tau$ 且 $i_\tau \geq \gamma_r^\tau$ ；

[0035] 步骤9、若 $\beta_{\tau,1} \geq G_1$ 且 $\beta_{\tau,2} \geq G_2$ ，在第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像上获得了 $\beta_{\tau,1}$ 个满足标定条件的标定靶标，在第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像上获得了 $\beta_{\tau,2}$ 个满足标定条件的标定靶标，以及 $\beta_{\tau,1}$ 个左摄像机标定匹配组和 $\beta_{\tau,2}$ 个右摄像机标定匹配组；

[0036] 若 $\beta_{\tau,1} < G_1$ 或 $\beta_{\tau,2} < G_2$ ，则执行编码立体靶标调整步骤，直至 $\beta_{\tau,1} \geq G_1$ 且 $\beta_{\tau,2} \geq G_2$ ；

[0037] 步骤10、在左摄像机标定靶标集合中和右摄像机标定靶标集合中寻找具有相同靶标标号的编码平平面靶标的个数 $\beta_{\tau,3}$ ，具体方法包括以下步骤：

[0038] 步骤10.1、令整数变量 $i_\tau$ 并赋值 $i_\tau=1$ ；定义整数变量 $j_\tau$ ，定义整数变量 $\beta_{\tau,3}$ 并赋值 $\beta_{\tau,3}=0$ ；

[0039] 步骤10.2、令整数变量 $j_\tau$ 并赋值 $j_\tau=1$ ；

[0040] 步骤10.3、判断第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个标定靶标的编号 $\mu_{l,i_\tau}^\tau$ 是否等于第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_\tau$ 个标定靶标的编号 $\mu_{r,j_\tau}^\tau$ ,若 $\mu_{l,i_\tau}^\tau = \mu_{r,j_\tau}^\tau$ ,则将 $\beta_{\tau,3}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,3}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个标定靶标的编号 $\mu_{l,i_\tau}^\tau$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标的编号 $\mu_{l,\beta_{\tau,3}}^\tau$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个左摄像机标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,3}$ 个左摄像机外参标定匹配组;将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_\tau$ 个标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_\tau$ 个标定靶标的编号 $\mu_{r,j_\tau}^\tau$ 赋值给第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标的编号 $\mu_{r,\beta_{\tau,3}}^\tau$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的第 $j_\tau$ 个右摄像机标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定匹配组,而后执行步骤10.5;否则直接执行步骤10.4;

[0041] 步骤10.4、判断 $j_\tau$ 是否小于 $\beta_{\tau,2}$ ,若 $j_\tau < \beta_{\tau,2}$ ,则将 $j_\tau+1$ 赋值给 $j_\tau$ 后循环执行步骤10.3,直至 $j_\tau \geq \beta_{\tau,2}$ ;否则执行步骤10.5;

[0042] 步骤10.5、判断 $i_\tau$ 是否小于 $\beta_{\tau,1}$ ,若 $i_\tau < \beta_{\tau,1}$ ,则将 $i_\tau+1$ 赋值给 $i_\tau$ 后循环执行步骤10.2至步骤10.4,直至 $i_\tau \geq \beta_{\tau,1}$ ;

[0043] 若 $i_\tau \geq \beta_{\tau,1}$ ,则在第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中共获得了 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标和 $\beta_{\tau,3}$ 个左摄像机外参标定匹配组,在第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中共获得了 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标和 $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定匹配组;

[0044] 步骤11、若 $\beta_{\tau,3} \geq G_3$ ,定义整数变量 $\beta_{\tau,4}$ 并赋值 $\beta_{\tau,4} = 0$ ,取整数变量 $i_\tau$ 并赋值 $i_\tau = 1$ ;

[0045] 若 $\beta_{\tau,3} < G_3$ ,则执行编码立体靶标调整步骤,直至 $\beta_{\tau,3} \geq G_3$ ;

[0046] 步骤12、根据第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个左摄像机外参标定匹配组和第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个右摄像机外参标定匹配组,统计第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个外参标定靶标上和第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像上第 $i_\tau$ 个外参标定靶标上具有相同标定角点唯一编码序号的同名标定角点个数 $\gamma_{i_\tau}^\tau$ ;

[0047] 步骤13、若 $\gamma_{i_\tau}^\tau \geq k_3$ ,将 $\beta_{\tau,4}+1$ 赋值给 $\beta_{\tau,4}$ ,将第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个外参标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个左摄像机外参标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,4}$ 个左摄像机外参优化匹配组,将第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_\tau$ 个外参标定靶标作为第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标,将第 $\tau$ 次拍摄的第 $i_\tau$ 个右摄像机外参标定匹配组作为第 $\tau$ 次拍摄的第 $\beta_{\tau,4}$ 个右摄像机外参优化匹配组;

[0048] 若 $\gamma_{i_\tau}^\tau < k_3$ ,则判断 $i_\tau$ 是否小于 $\beta_{\tau,3}$ ,若 $i_\tau < \beta_{\tau,3}$ ,则将 $i_\tau+1$ 赋值给 $i_\tau$ 后返回步骤12顺序执行,直至 $\gamma_{i_\tau}^\tau \geq k_3$ ;

[0049] 步骤14、若 $\beta_{\tau,4} \geq k_3$ ,则获得第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标、第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,4}$ 个左摄像机外参优化匹配组以及第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标、第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,4}$ 个右摄像机外参优化匹配组;

[0050] 若 $\beta_{\tau,4} < k_3$ ,则执行编码立体靶标调整步骤,直至 $\beta_{\tau,4} \geq k_3$ ;

[0051] 经过上述步骤8至步骤14可得到,在第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像中共包含了 $\beta_{\tau,1}$ 个标定靶标(其中包含了 $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标, $\beta_{\tau,3}$ 个外参标定靶标中又包含了 $\beta_{\tau,4}$ 个外参优化靶标),第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,1}$ 个左摄像机标定匹配组(其中包含了 $\beta_{\tau,3}$ 个左摄像机外参标定匹配组, $\beta_{\tau,3}$ 个左摄像机外参标定匹配组中又包含了 $\beta_{\tau,4}$ 个左摄像机外参优化匹配组);同时,在第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像中共包含了 $\beta_{\tau,2}$ 个标定靶标(其中包含了 $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定靶标, $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定靶标中又包含了 $\beta_{\tau,4}$ 个右摄像机外参优化靶标),第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,2}$ 个右摄像机标定匹配组(其中包含了 $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定匹配组, $\beta_{\tau,3}$ 个右摄像机外参标定匹配组中又包含了 $\beta_{\tau,4}$ 个右摄像机外参优化匹配组);

[0052] 步骤15、根据获得的第 $\tau$ 次拍摄的 $\beta_{\tau,1}$ 个左摄像机标定匹配组,利用单目摄像机内外参数标定算法计算出左、右摄像机的内参数和畸变系数,以及从左摄像机坐标系分别变换到空间中编码立体靶标上各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{1,1}, R_{1,2}, R_{1,3}, \dots, R_{l,\beta_{\tau,1}}$ 和平移向量 $T_{1,1}, T_{1,2}, T_{1,3}, \dots, T_{l,\beta_{\tau,1}}$ ,从右摄像机坐标系分别变换到空间中编码立体靶标上各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{r,1}, R_{r,2}, R_{r,3}, \dots, R_{r,\beta_{\tau,2}}$ 和平移向量 $T_{r,1}, T_{r,2}, T_{r,3}, \dots, T_{r,\beta_{\tau,2}}$ ;

[0053] 步骤16、在旋转矩阵 $R_{1,1}, R_{1,2}, R_{1,3}, \dots, R_{l,\beta_{\tau,1}}$ 和平移向量 $T_{1,1}, T_{1,2}, T_{1,3}, \dots, T_{l,\beta_{\tau,1}}$ 中,寻找左摄像机坐标系分别变换到外参标定靶标各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{1,1}, R'_{1,2}, R'_{1,3}, \dots, R'_{l,\beta_{\tau,3}}$ 和平移向量 $T'_{1,1}, T'_{1,2}, T'_{1,3}, \dots, T'_{l,\beta_{\tau,3}}$ ;

[0054] 在旋转矩阵 $R_{r,1}, R_{r,2}, R_{r,3}, \dots, R_{r,\beta_{\tau,2}}$ 和平移向量 $T_{r,1}, T_{r,2}, T_{r,3}, \dots, T_{r,\beta_{\tau,2}}$ 中,寻找右摄像机坐标系分别变换到外参标定靶标各个编号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{r,1}, R'_{r,2}, \dots, R'_{r,\beta_{\tau,3}}$ 和平移向量 $T'_{r,1}, T'_{r,2}, \dots, T'_{r,\beta_{\tau,3}}$ ;

[0055] 步骤17、利用旋转矩阵 $R'_{l,i_{\tau}}$ 和平移向量 $T'_{l,i_{\tau}}$ 以及旋转矩阵 $R'_{r,i_{\tau}}$ 和平移向量 $T'_{r,i_{\tau}}$ ,根据式(1)和(2)求解出左摄像机坐标系和右摄像机坐标系之间的旋转和平移关系:

$$[0056] \quad R_{i_{\tau}} = R'_{r,i_{\tau}} \cdot R'^{-1}_{l,i_{\tau}} \quad (1)$$

$$[0057] \quad T_{i_{\tau}} = T'_{r,i_{\tau}} - R'_{r,i_{\tau}} R'^{-1}_{l,i_{\tau}} T'_{l,i_{\tau}} \quad (2)$$

[0058] 其中 $i_{\tau} = 1, 2, \dots, \beta_{\tau,3}$ ;

[0059] 判断 $i_{\tau}$ 是否小于 $\beta_{\tau,3}$ ,若 $i_{\tau} < \beta_{\tau,3}$ ,则将 $i_{\tau} + 1$ 赋值给 $i_{\tau}$ 后返回步骤17顺序执行,直至 $i_{\tau} \geq \beta_{\tau,3}$ ;

[0060] 步骤18、通过公式(3)计算出从左摄像机坐标系变换到右摄像机坐标系的旋转矩阵 $R$ 和平移向量 $T$ (双目摄影机的外参数)的初始值:

$$[0061] \quad \begin{cases} R = \left( \sum_{i_{\tau}=1}^{\beta_{\tau,3}} R_{i_{\tau}} \right) / \beta_{\tau,3} \\ T = \left( \sum_{i_{\tau}=1}^{\beta_{\tau,3}} T_{i_{\tau}} \right) / \beta_{\tau,3} \end{cases} \quad (3)$$

[0062] 其中 $i_{\tau} = 1, 2, \dots, \beta_{\tau,3}$ ;

[0063] 步骤19、根据左摄像机的内参数和畸变系数、右摄像机的内参数和畸变系数以及左摄像机与右摄像机之间的初始外参数,利用基于标准长度的优化方法,计算出双目摄像

机外参的精确值 $R'$ 和 $T'$ ,以此完成双目摄像机标定。

[0064] 同时,还提供一种计算机可读存储介质,包括与具有图像处理功能的电子设备结合使用的计算机程序,所述计算机程序可被处理器执行以如权利要求1所述的双目摄像机标定方法。

[0065] 与现有技术相比较,本发明的有益效果如下:

[0066] (1) 相较于传统的立体靶标,本发明中提出的编码立体靶标上具有编码图案,包含了编码立体靶标的方向信息和标定角点的编码信息,能够在标定时准确地给出标定角点的亚像素坐标、标定角点的唯一编码序号和标定角点靶标坐标三者的一一对应关系,保证并提高了标定结果的精度;

[0067] (2) 与利用传统的立体靶标进行标定方法相比,本发明提出的基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,在满足标定条件的前提下,即使拍摄的图像中只包含局部的编码立体靶标,依然能够完成标定工作,提高了双目摄像机标定的鲁棒性;

[0068] (3) 与传统的双目摄像机标定方法相比,本发明提出的基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法只需左摄像机和右摄像机分别拍摄到一幅满足标定条件的靶标图像即可进行标定工作,极大简化了双摄相机标定工作的复杂程度;

[0069] (4) 本发明提出的基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法可以实现智能化标定、实时标定和在线标定;

[0070] (5) 本发明提出的标定方法,在获取图像中标定角点的编码信息时,能够去除复杂背景,并消除其对编码图案和标定角点的干扰,以保证获得的标定角点数据和编码信息的准确性和可靠性。

## 附图说明

[0071] 图1为实施例中使用的摄像机以及相关设备的展示图;

[0072] 图2为所使用的编码立体靶标的实物展示图;

[0073] 图3为编码立体靶标上每个编码平面靶标的编号展示图;

[0074] 图4为编码立体靶标上1号编码平面靶标的结构示意图;

[0075] 图5为编码立体靶标上2号编码平面靶标的结构示意图;

[0076] 图6为编码立体靶标上3号编码平面靶标的结构示意图;

[0077] 图7为编码立体靶标上4号编码平面靶标的结构示意图;

[0078] 图8为编码立体靶标上5号编码平面靶标的结构示意图;

[0079] 图9为编码立体靶标上6号编码平面靶标的结构示意图;

[0080] 图10为编码立体靶标上1号编码平面靶标中正向向量和规定向量的选取示意图;

[0081] 图11为编码立体靶标上2号编码平面靶标中正向向量和规定向量的选取示意图;

[0082] 图12为编码立体靶标上3号编码平面靶标中正向向量和规定向量的选取示意图;

[0083] 图13为编码立体靶标上4号编码平面靶标中正向向量和规定向量的选取示意图;

[0084] 图14为编码立体靶标上5号编码平面靶标中正向向量和规定向量的选取示意图;

[0085] 图15为编码立体靶标上6号编码平面靶标中正向向量和规定向量的选取示意图;

[0086] 图16为第1次拍摄时左摄像机拍摄编码立体靶标所得的左摄像机靶标图像;

[0087] 图17为第1次拍摄时右摄像机拍摄编码立体靶标所得的右摄像机靶标图像;

- [0088] 图18为在空间中第1个移动位置上的编码立体靶标中建立每个编码平面靶标的靶标坐标系的示意图；
- [0089] 图19为第2次拍摄时左摄像机拍摄编码立体靶标所得的左摄像机靶标图像；
- [0090] 图20为第2次拍摄时右摄像机拍摄编码立体靶标所得的右摄像机靶标图像；
- [0091] 图21为在空间中第2个移动位置上的编码立体靶标中建立每个编码平面靶标的靶标坐标系的示意图；
- [0092] 图22为第3次拍摄时左摄像机拍摄编码立体靶标所得的左摄像机靶标图像；
- [0093] 图23为第3次拍摄时右摄像机拍摄编码立体靶标所得的右摄像机靶标图像；
- [0094] 图24为在空间中第3个移动位置上的编码立体靶标中建立每个编码平面靶标的靶标坐标系的示意图；
- [0095] 图25为第3次拍摄的每个编码平面靶标上所有标定角点在靶标图像标定角点像素坐标系 $o-xy$ 下的亚像素坐标；
- [0096] 图26为本实施例无复杂背景编码立体图像 $p_1'$ ；
- [0097] 图27为本实施例无复杂背景编码立体图像 $p_2'$ ；
- [0098] 图28为本实施例无复杂背景编码立体图像 $p_3'$ ；
- [0099] 图29为本实施例无复杂背景编码立体图像 $p_4'$ ；
- [0100] 图30为本实施例无复杂背景编码立体图像 $p_5'$ ；
- [0101] 图31为本实施例无复杂背景编码立体图像 $p_6'$ ；
- [0102] 图32为本实施例无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 经过此处理得到的图像 $P_2'$ ；
- [0103] 图33为本实施例靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 经过处理得到的解码二值化图像 $P_3$ ；
- [0104] 图34为本实施例得到的第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ ；
- [0105] 图35为基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法的流程图。

### 具体实施方式

[0106] 下面结合附图对本发明的较佳实施例进行详细阐述,以使本发明的优点和特征能更易于被本领域技术人员理解,从而对本发明的保护范围做出更为清楚明确的界定。

[0107] 请参阅图1和图2,一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,利用空间中放置的两台摄像机拍摄位于空间中的编码立体靶标从而获得一组靶标图像(包括左摄像机靶标图像和右摄像机靶标图像),并分别判断左摄像机靶标图像和右摄像机靶标图像是否满足标定要求,若其中有一幅靶标图像不满足标定条件,则在调整摄像机和编码立体靶标的空间相对位置后重新进行拍摄和判断,若左摄像机靶标图像和右摄像机靶标图像均满足标定条件,则将前者作为左摄像机标定图像,将后者作为右摄像机标定图像;最后利用标定算法计算出摄像机的内外参数。

[0108] 空间中放置两台摄像机和一个编码立体靶标,其中两台摄像机的绝对位置和相对位置均为固定,编码立体靶标的空间位置和姿态均可调节。本实施例中使用的两台摄像机均为MER-231-41U3C型号彩色工业相机,相机采集的最高帧率为40帧,像素尺寸为 $\times 5.86$ 微米,图像分辨率 $1920 \times 1200$ ;相机镜头采用的型号是HN-1216-5M-C2/3X,镜头焦距12毫米,如图1所示。实施例中使用的编码立体靶标的实物图如图2所示。

[0109] 所述编码立体靶标由基准板和基准板上连接的多个编码平面靶标组成。编码立体

靶标的基准板被划分为S(其中S为整数且 $S > 3$ )个区域,其中每个区域均放置有一个编码平面靶标。本实施例中,编码立体靶标的基准板被划分为6个区域,每个区域放置有一个编码平面靶标。编码立体靶标上的所有编码平面靶标均具有编号,且每个编码平面靶标的编号互不相同,如图3所示。位于编码立体靶标上的任意两个编码平面靶标的空间姿态具有明显差异。

[0110] 实施例中采用的每个编码平面靶标由平行四边形编码单元和平行四边形非编码单元交替组成的编码棋盘格构成,所述编码平面靶标以任意对角相连的平行四边形编码单元的交点作为编码平面靶标的标定角点,所述编码平面靶标一共包含5行 $\times$ 5列个标定角点;编码平面靶标中每一个平行四边形编码单元的内部设置有编码图案,编码图案包括一个定位图案(白色实心圆)、一个定向图案(白色圆环)和编码标志图案,其中编码标志图案又由多个编码单元图案(多个白色小实心圆)组成;由定向图案和定位图案可实现编码平面靶标旋转方向的判断;编码标志图案则是用于给编码平面靶标中每个标定角点进行编码,且编码单元图案的数量和分布均由其所在的平行四边形编码单元的编号决定。

[0111] 实施例中的每个编码平面靶标的所有平行四边形编码单元和平行四边形非编码单元均为长度为13.5mm且宽度为13.5mm的平行四边形,所述平行四边形编码单元为矩形,即取邻边夹角 $\lambda = 90^\circ$ 。

[0112] 在编码立体靶标中,所有编码平面靶标上的所有平行四边形编码单元的编码号互不相同;并且同一个编码平面靶标上的所有平行四边形编码单元的编码号具有连续性;本实施例中,编码立体靶标上的1号编码平面靶标上所有平行四边形编码单元编号范围为80-97,2号编码平面靶标上所有平行四边形编码单元编号范围为98-115,3号编码平面靶标上所有平行四边形编码单元编号范围为20-37,4号编码平面靶标上所有平行四边形编码单元编号范围为57-74,5号编码平面靶标上所有平行四边形编码单元编号范围为0-17,6号编码平面靶标上所有平行四边形编码单元编号范围为39-56;其中1号编码平面靶标、2号编码平面靶标、3号编码平面靶标、4号编码平面靶标、5号编码平面靶标、6号编码平面靶标的结构示意图如图4至图9所示;

[0113] 以1号编码平面靶标为例,任取1号编码平面靶标中的一个平行四边形编码单元记为1号编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(1)}$ ,任取1号编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(1)}$ 的一个顶点记为向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{(1)}$ ,在1号编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(1)}$ 中将相交形成向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{(1)}$ 的任意一条边记为向量确定编码单元第一边 $N_{v1}^{(1)}$ ,在向量确定编码单元第一边 $N_{v1}^{(1)}$ 上取向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(1)}$ 的顶点记为向量确定编码单元第一边上第一点 $o_2^{(1)}$ ,其中向量确定编码单元第一边上第一点 $o_2^{(1)}$ 与向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{(1)}$ 是互不重合的2个点,记向量 $\overrightarrow{o_1^{(1)}o_2^{(1)}}$ 为1号编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(1)}$ ;并且编码平面靶标内的每一个平行四边形编码单元中的定位图案和定向图案的位置关系如下:在同一平行四边形编码单元内由定向图案质心指向定位图案质心的方向与1号编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(1)}$ 的方向相同;1号编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(1)}$ 的选取如图10所示。

[0114] 将1号编码平面靶标所在的平面记为1号靶标平面 $P_t^{(1)}$ ,以向量确定编码单元第一

顶点 $o_1^{n(1)}$ 为起点做一个与1号编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(1)}$ 同向的单位向量记为1号编码平面靶标的第1个规定单位向量 $\vec{q}_1^{(1)}$ ；当人正视看向编码平面靶标时，以向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{n(1)}$ 为旋转中心，在1号靶标平面 $P_t^{(1)}$ 内将1号编码平面靶标的第1个规定单位向量 $\vec{q}_1^{(1)}$ 逆时针旋转 $\beta'$ 角度( $0^\circ < \beta' < 90^\circ$ )得到1号编码平面靶标的第2个规定单位向量 $\vec{q}_2^{(1)}$ ；在空间中以向量确定编码单元第一顶点 $o_1^{n(1)}$ 为起点做一个与 $\vec{q}_1^{(1)} \times \vec{q}_2^{(1)}$ 所得向量的方向相同的单位向量，并记为1号编码平面靶标的正向向量 $\vec{h}_1^{(1)}$ ；将1号编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(1)}$ 上距离1号编码平面靶标向量确定编码单元 $\Gamma_v^{(1)}$ 中的定向图案最近的两个顶点分别记为第1临时顶点 $o_3^{n1}$ 和第2临时顶点 $o_4^{n1}$ ；若向量 $\overrightarrow{o_3^{n1}o_4^{n1}}$ 又乘1号编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(1)}$ 所得向量的方向与1号编码平面靶标的规定向量正向向量 $\vec{h}_1^{(1)}$ 的方向相同，则将向量 $\overrightarrow{o_3^{n1}o_4^{n1}}$ 记为1号编码平面靶标的辅助向量 $\vec{h}^{(1)}$ ；若向量 $\overrightarrow{o_3^{n1}o_4^{n1}}$ 又乘1号编码平面靶标的规定向量 $\vec{q}^{(1)}$ 所得向量的方向与1号编码平面靶标的正向向量 $\vec{h}_1^{(1)}$ 的方向不相同，则将向量 $\overrightarrow{o_3^{n1}o_4^{n1}}$ 记为1号编码平面靶标的辅助向量 $\vec{h}^{(1)}$ ；1号编码平面靶标的辅助向量 $\vec{h}^{(1)}$ 和1号编码平面靶标的正向向量 $\vec{h}_1^{(1)}$ 选取如图10所示。

[0115] 其余编码平面靶标上辅助向量和正向向量的选取可参考1号编码平面靶标，其结果如图11至图15所示。

[0116] 请参阅图35，基于编码立体靶标的双目摄像机标定方法，其标定方法如下：

[0117] 步骤1、定义左摄像机标定靶标个数阈值 $G_1 = 5$ ，右摄像机标定靶标个数阈值 $G_2 = 5$ ，标定角点个数阈值 $k_1 = 15$ ，编码平面靶标个数阈值 $k_2 = 5$ ，外参标定靶标个数阈值 $G_3 = 3$ ，公共标定角点个数阈值 $k_3 = 3$ ，外参优化靶标个数阈值 $G_4 = 1$ ；

[0118] 步骤2、将左摄像机、右摄像机同时拍摄一次空间中的编码立体靶标获得的图像分别记为左摄像机靶标图像和右摄像机靶标图像，并建立左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_l-x_l y_l$ 和右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_r-x_r y_r$ ；

[0119] 具体的，以左摄像机拍摄靶标图像的左上角作为所述左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的坐标原点 $o_l$ ，自左向右为左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $x_l$ 轴方向，自上向下作为左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $y_l$ 轴方向，由此建立左摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_l-x_l y_l$ ；

[0120] 同样的，以右摄像机拍摄的靶标图像的左上角作为所述右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的坐标原点 $o_r$ ，自左向右为右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $x_r$ 轴方向，自上向下作为右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系的 $y_r$ 轴方向，由此建立右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_r-x_r y_r$ 。

[0121] 步骤3、建立左摄像机的摄像机坐标系和右摄像机的摄像机坐标系，以左、右摄像机自身位置建立摄像机坐标系。定义整数变量 $\tau$ 并赋值 $\tau = 1$ 。



[0122] 步骤4、利用空间中相对位置和绝对位置均固定且具有公共视场的的两台摄像机同时拍摄一次空间中放置的编码立体靶标,分别获得第 $\tau$ 次拍摄的左摄像机靶标图像和第 $\tau$ 次拍摄的右摄像机靶标图像。

[0123] 第1次拍摄:

[0124] 利用空间中相对位置和绝对位置均固定且具有公共视场的的两台摄像机同时拍摄一次空间中放置的编码立体靶标,分别获得第1次拍摄的左摄像机靶标图像(如图16所示)和第1次拍摄的右摄像机靶标图像(如图17所示);

[0125] 步骤5、定义整数变量 $\alpha_\tau$ 并赋值 $\alpha_\tau=1$ ;

[0126] 记空间中第1次移动位置上的编码立体靶标中 $\alpha_1$ 号编码平面靶标上的第1行第1个平行四边形编码单元的4个顶点中是标定角点的个数为 $\Phi_{1,p}$ ;判断 $\alpha_1$ 是否小于6,若 $\alpha_1 < 6$ ,则将 $\alpha_1+1$ 赋值给 $\alpha_1$ 后返回步骤5顺序执行。

[0127] 在本实施例中,第1次移动位置上6个编码平面靶标的靶标坐标系的建立如图18所示。

[0128] 步骤6、将第1次拍摄的左/右摄像机靶标图像作为输入条件,利用编码立体靶标的解码方法,获得第1次拍摄的左/右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_l^1/\gamma_r^1$ 、第1次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标的编号、第1次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点个数和每个标定角点在左/右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_1-x_1y_1/o_r-x_ry_r$ 下的亚像素坐标、第1次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点的唯一编码序号,以及第1次拍摄的左/右摄像机靶标图像中每个编码平面靶标上提取到的标定角点在左/右摄像机靶标图像标定角点像素坐标系 $o_1-x_1y_1/o_r-x_ry_r$ 下的亚像素坐标和与之一一对应的在空间中编码立体靶标上具有相同唯一编码序号的标定角点在相应靶标坐标系下的靶标坐标之间的匹配关系。

[0129] 在具体实施例中,第1次拍摄的左摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_l^1=6$ ,第1次拍摄的左摄像机靶标图像上包含1号编码平面靶标、2号编码平面靶标、3号编码平面靶标、4号编码平面靶标、5号编码平面靶标和6号编码平面靶标;第1次拍摄的右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_r^1=4$ ,第1次拍摄的右摄像机靶标图像上包含2号编码平面靶标、3号编码平面靶标、5号编码平面靶标和6号编码平面靶标。

[0130] 步骤7、在实施例中,第1次拍摄的左、右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数分别为 $\gamma_l^1=6$ 、 $\gamma_r^1=4$ ,而 $k_2=5$ ,即 $\gamma_l^1 < k_2$ 或 $\gamma_r^1 < k_2$ ,则执行编码立体靶标调整步骤,直至 $\gamma_l^1 \geq k_2$ 且 $\gamma_r^1 \geq k_2$ ;

[0131] 编码立体靶标调整步骤:调整编码立体靶标的基准板空间位姿,使得左摄像机视场、右摄像机视场及两者的公共视场中包含更多的编码平面靶标和标定角点,将 $\tau+1$ 赋值给 $\tau$ 后返回步骤4顺序执行。

[0132] 第2次拍摄:

[0133] 步骤4、利用空间中相对位置和绝对位置均固定且具有公共视场的的两台摄像机同时拍摄一次空间中放置的编码立体靶标,分别获得第2次拍摄的左摄像机靶标图像(如图19)和第2次拍摄的右摄像机靶标图像(如图20);

[0134] 步骤5中建立每个编码平面靶标的靶标坐标系的过程可参考第1次拍摄时的建立过程,其坐标系建立结果如图21所示;

[0135] 步骤6、将第2次拍摄的左/右摄像机靶标图像作为输入条件,利用编码立体靶标的解码方法,获得第2次拍摄的左摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_l^2 = 6$ ,第2次拍摄的左摄像机靶标图像上包含1号编码平面靶标、2号编码平面靶标、3号编码平面靶标、4号编码平面靶标、5号编码平面靶标和6号编码平面靶标;第2次拍摄的右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_r^2 = 6$ ,第2次拍摄的右摄像机靶标图像上包含1号编码平面靶标、2号编码平面靶标、3号编码平面靶标、4号编码平面靶标、5号编码平面靶标和6号编码平面靶标。

[0136] 在实施例中,第2次拍摄的左、右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数分别为 $\gamma_l^2 = 6$ 、 $\gamma_r^2 = 6$ ,而 $k_2 = 5$ ,即 $\gamma_l^2 \geq k_2$ 且 $\gamma_r^2 \geq k_2$ ,则继续执行后续步骤7。

[0137] 步骤7、将步骤6中获得的第2拍摄的左摄像机靶标图像上 $\gamma_l^2$ 个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列,并分别记为 $\mu_{l,1}^2$ 、 $\mu_{l,2}^2$ 、 $\mu_{l,3}^2$ 、...、 $\mu_{l,6}^2$ ,即 $\mu_{l,1}^2 = 1$ 、 $\mu_{l,2}^2 = 2$ 、 $\mu_{l,3}^2 = 3$ 、...、 $\mu_{l,6}^2 = 6$ ,并将第2次拍摄的左摄像机靶标图像中编号为1、2、3、...、6的编码平面靶标分别记为第2次拍摄的左摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、...、第6个编码平面靶标;

[0138] 将步骤6中获得的第2次拍摄的右摄像机靶标图像上6个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列,并分别记为 $\mu_{r,1}^2$ 、 $\mu_{r,2}^2$ 、 $\mu_{r,3}^2$ 、...、 $\mu_{r,6}^2$ ,即 $\mu_{r,1}^2 = 1$ 、 $\mu_{r,2}^2 = 2$ 、 $\mu_{r,3}^2 = 3$ 、...、 $\mu_{r,6}^2 = 6$ ;并将第2次拍摄的右摄像机靶标图像中编号为1、2、3、...、6的编码平面靶标分别记为第2次拍摄的右摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、...、第6个编码平面靶标;

[0139] 步骤8、统计左、右摄像机靶标图像中满足标定角点阈值的编码平面的个数 $\beta_{2,1}$ 和 $\beta_{2,2}$ 。本实施例中,定义整数变量 $i_2$ 、 $\beta_{2,1}$ 、 $\beta_{2,2}$ 并赋值 $i_2 = 1$ 、 $\beta_{2,1} = 0$ 、 $\beta_{2,2} = 0$ ;

[0140] 经过步骤8.2至步骤8.6可以得出,第2次拍摄的左摄像机靶标图像中满足标定角点个数阈值的编码平面靶标的个数 $\beta_{2,1} = 6$ ,第2次拍摄的右摄像机靶标图像中满足标定角点个数阈值的编码平面靶标的个数 $\beta_{2,2} = 4$ ;

[0141] 步骤9、在本实施例中,第2次拍摄的左、右摄像机靶标图像中满足标定角点个数阈值的编码平面靶标的个数分别为 $\beta_{2,1} = 6$ 、 $\beta_{2,2} = 4$ ,属于 $\beta_{\tau,1} < G_1$ 或 $\beta_{\tau,2} < G_2$ 的情形,则需要执行编码立体靶标调整步骤,即调整编码立体靶标的基准板,使得左摄像机视场、右摄像机视场及两者的公共视场中包含更多的编码平面靶标和标定角点,将 $\tau+1$ 赋值给 $\tau$ 后返回步骤4顺序执行。

[0142] 第3次拍摄:

[0143] 步骤4、利用空间中相对位置和绝对位置均固定且具有公共视场的的两台摄像机同时拍摄一次空间中放置的编码立体靶标,分别获得第3次拍摄的左摄像机靶标图像(如图22所示)和第3次拍摄的右摄像机靶标图像(如图23所示);

[0144] 步骤5中建立每个编码平面靶标的靶标坐标系的过程可参考第1次拍摄时的建立过程,其坐标系建立结果如图24所示。

[0145] 步骤6、将第3次拍摄的左/右摄像机靶标图像作为输入条件,利用编码立体靶标的

解码方法,获得第3次拍摄的左摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_l^3 = 6$ ,第3次拍摄的左摄像机靶标图像上包含1号编码平面靶标、2号编码平面靶标、3号编码平面靶标、4号编码平面靶标、5号编码平面靶标和6号编码平面靶标;第3次拍摄的右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数 $\gamma_r^3 = 6$ ,第3次拍摄的右摄像机靶标图像上包含1号编码平面靶标、2号编码平面靶标、3号编码平面靶标、4号编码平面靶标、5号编码平面靶标和6号编码平面靶标;

[0146] 在实施例中,第3次拍摄的左、右摄像机靶标图像中编码平面靶标的个数分别为 $\gamma_l^3 = 6$ 、 $\gamma_r^3 = 6$ ,而 $k_2 = 5$ ,即 $\gamma_l^3 \geq k_2$ 且 $\gamma_r^3 \geq k_2$ ,则继续执行后续步骤7。

[0147] 步骤7、将步骤6中获得的第3次拍摄的左摄像机靶标图像上 $\gamma_l^3$ 个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列,并分别记为 $\mu_{l,1}^3$ 、 $\mu_{l,2}^3$ 、 $\mu_{l,3}^3$ 、...、 $\mu_{l,6}^3$ ,即 $\mu_{l,1}^3 = 1$ 、 $\mu_{l,2}^3 = 2$ 、 $\mu_{l,3}^3 = 3$ 、...、 $\mu_{l,6}^3 = 6$ ,并将第3次拍摄的左摄像机靶标图像中编号为1、2、3、...、6的编码平面靶标分别记为第3次拍摄的左摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、...、第6个编码平面靶标;

[0148] 将步骤5.2中获得的第3次拍摄的右摄像机靶标图像上6个编码平面靶标的编号按照从小到大的顺序排列,并分别记为 $\mu_{r,1}^3$ 、 $\mu_{r,2}^3$ 、 $\mu_{r,3}^3$ 、...、 $\mu_{r,6}^3$ ,即 $\mu_{r,1}^3 = 1$ 、 $\mu_{r,2}^3 = 2$ 、 $\mu_{r,3}^3 = 3$ 、...、 $\mu_{r,6}^3 = 6$ ;并将第3次拍摄的右摄像机靶标图像中编号为1、2、3、...、6的编码平面靶标分别记为第3次拍摄的右摄像机靶标图像中的第1个编码平面靶标、第2个编码平面靶标、第3个编码平面靶标、...、第6个编码平面靶标;

[0149] 步骤8、统计左、右摄像机靶标图像中满足标定角点阈值的编码平面的个数 $\beta_{3,1}$ 和 $\beta_{3,2}$ 。定义整数变量 $i_3$ 、 $\beta_{3,1}$ 、 $\beta_{3,2}$ 并赋值 $i_3 = 1$ 、 $\beta_{3,1} = 0$ 、 $\beta_{3,2} = 0$ ;

[0150] 经过步骤8.2至步骤8.6可以得出,第3次拍摄的左摄像机靶标图像中满足标定角点个数阈值的编码平面靶标的个数 $\beta_{3,1} = 6$ ,第3次拍摄的右摄像机靶标图像中满足标定角点个数阈值的编码平面靶标的个数 $\beta_{3,2} = 6$ 。

[0151] 步骤9、在本实施例中,第3次拍摄的左摄像机靶标图像中满足标定角点个数阈值的编码平面靶标的个数 $\beta_{3,1} = 6$ ,第3次拍摄的右摄像机靶标图像中满足标定角点个数阈值的编码平面靶标的个数 $\beta_{3,2} = 6$ ;符合 $\beta_{\tau,1} \geq G_1$ 且 $\beta_{\tau,2} \geq G_2$ 的情况,则在第3次拍摄的左摄像机靶标图像上获得了 $\beta_{3,1}$ 个满足标定条件的标定靶标和 $\beta_{3,1}$ 个左摄像机标定匹配组,在第3次拍摄的右摄像机靶标图像上获得了 $\beta_{3,2}$ 个满足标定条件的标定靶标和 $\beta_{3,2}$ 个右摄像机标定匹配组,并执行步骤10。

[0152] 第1个左摄像机标定匹配组如下表1.1所示:

[0153] 表1.1

[0154]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(600.055, 790.594)	92_6	(0, 54, 0)
2	(597.766, 849.439)	89_1	(0, 40.5, 0)
3	(595.367, 909.194)	86_6	(0, 27, 0)
4	(593.144, 969.974)	83_1	(0, 13.5, 0)
5	(591.037, 1031.91)	80_6	(0, 0, 0)

6	(655.637, 799.361)	92_1	(13.5, 54, 0)
7	(653.902, 857.566)	90_6	(13.5, 40.5, 0)
8	(652.166, 916.599)	86_1	(13.5, 27, 0)
9	(650.404, 976.619)	84_6	(13.5, 13.5, 0)
10	(648.95, 1037.85)	80_1	(13.5, 0, 0)
11	(710.338, 807.922)	93_6	(27, 54, 0)
12	(709.128, 865.397)	90_1	(27, 40.5, 0)
13	(707.939, 923.744)	87_6	(27, 27, 0)
14	(706.832, 983.152)	84_1	(27, 13.5, 0)
15	(705.719, 1043.56)	81_6	(27, 0, 0)
16	(763.61, 816.135)	93_1	(40.5, 54, 0)
17	(762.907, 872.901)	91_6	(40.5, 40.5, 0)
18	(762.284, 930.68)	87_1	(40.5, 27, 0)
19	(761.547, 989.268)	85_6	(40.5, 13.5, 0)
20	(761.098, 1048.9)	81_1	(40.5, 0, 0)
21	(815.497, 824.026)	94_6	(54, 54, 0)
22	(815.368, 880.19)	91_1	(54, 40.5, 0)
23	(815.147, 937.171)	88_6	(54, 27, 0)
24	(814.992, 995.126)	85_1	(54, 13.5, 0)
25	(814.905, 1054.01)	82_6	(54, 0, 0)

[0155] 第2个左摄像机标定匹配组如下表1.2所示：

[0156] 表1.2

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(1267.79, 779.335)	112_1	(54, 54, 0)
2	(1211.15, 783.283)	112_6	(40.5, 54, 0)
3	(1154.55, 787.071)	111_1	(27, 54, 0)
4	(1098.22, 790.746)	111_6	(13.5, 54, 0)
5	(1042.28, 794.513)	110_1	(0, 54, 0)
6	(1271.72, 835.213)	109_6	(54, 40.5, 0)
7	(1214.76, 839.037)	108_1	(40.5, 40.5, 0)
8	(1158.08, 842.641)	108_6	(27, 40.5, 0)
9	(1101.31, 846.33)	107_1	(13.5, 40.5, 0)
10	(1044.93, 849.965)	107_6	(0, 40.5, 0)
11	(1275.78, 891.785)	106_1	(54, 27, 0)
12	(1218.5, 895.545)	106_6	(40.5, 27, 0)
13	(1161.45, 898.997)	105_1	(27, 27, 0)

[0157]

[0158]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
14	(1104.25, 902.474)	105_6	(13.5, 27, 0)
15	(1047.72, 906.01)	104_1	(0, 27, 0)
16	(1279.78, 948.739)	103_6	(54, 13.5, 0)
17	(1222.35, 952.395)	102_1	(40.5, 13.5, 0)
18	(1164.73, 956.072)	102_6	(27, 13.5, 0)
19	(1107.42, 959.495)	101_1	(13.5, 13.5, 0)
20	(1050.29, 962.607)	101_6	(0, 13.5, 0)
21	(1283.7, 1006.2)	100_1	(54, 0, 0)
22	(1225.92, 1009.98)	100_6	(40.5, 0, 0)
23	(1168.1, 1013.38)	99_1	(27, 0, 0)
24	(1110.36, 1016.48)	99_6	(13.5, 0, 0)
25	(1052.97, 1019.65)	98_1	(0, 0, 0)

[0159] 第3个左摄像机标定匹配组如下表1.3所示:

[0160] 表1.3

[0161]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(1712.53, 813.943)	34_6	(54, 54, 0)
2	(1657.76, 814.728)	33_1	(40.5, 54, 0)
3	(1602.79, 815.633)	33_6	(27, 54, 0)
4	(1548.12, 816.296)	32_1	(13.5, 54, 0)
5	(1493.12, 817.017)	32_6	(0, 54, 0)
6	(1712.69, 868.134)	31_1	(54, 40.5, 0)
7	(1658.04, 868.848)	31_6	(40.5, 40.5, 0)
8	(1603.09, 869.784)	30_1	(27, 40.5, 0)
9	(1548.25, 870.262)	30_6	(13.5, 40.5, 0)
10	(1494.03, 870.857)	29_1	(0, 40.5, 0)
11	(1712.83, 922.045)	28_6	(54, 27, 0)
12	(1658.15, 922.523)	27_1	(40.5, 27, 0)
13	(1603.53, 923.012)	27_6	(27, 27, 0)
14	(1548.74, 923.896)	26_1	(13.5, 27, 0)
15	(1494.21, 924.168)	26_6	(0, 27, 0)
16	(1712.62, 975.416)	25_1	(54, 13.5, 0)
17	(1658.13, 976.105)	25_6	(40.5, 13.5, 0)
18	(1603.65, 976.416)	24_1	(27, 13.5, 0)
19	(1549, 976.86)	24_6	(13.5, 13.5, 0)
20	(1494.61, 977.111)	23_1	(0, 13.5, 0)
21	(1712.46, 1028.81)	22_6	(54, 0, 0)
22	(1658.07, 1029.1)	21_1	(40.5, 0, 0)
23	(1603.6, 1029.57)	21_6	(27, 0, 0)
24	(1549.06, 1029.91)	20_1	(13.5, 0, 0)

25	(1494.88,1030.09)	20_6	(0,0,0)
----	-------------------	------	---------

[0162] 第4个左摄像机标定匹配组如下表1.4所示：

[0163] 表1.4

[0164]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(575.58,127.115)	69_6	(0,54,0)
2	(573.842,191.337)	66_1	(0,40.5,0)
3	(572.391,255.417)	63_6	(0,27,0)
4	(570.897,319.163)	60_1	(0,13.5,0)
5	(569.394,382.966)	57_6	(0,0,0)
6	(639.064,129.834)	69_1	(13.5,54,0)
7	(637.3,193.751)	67_6	(13.5,40.5,0)
8	(635.612,257.237)	63_1	(13.5,27,0)
9	(634.028,320.862)	61_6	(13.5,13.5,0)
10	(632.572,384.111)	57_1	(13.5,0,0)
11	(702.037,132.841)	70_6	(27,54,0)
12	(700.188,196.336)	67_1	(27,40.5,0)
13	(698.367,259.464)	64_6	(27,27,0)
14	(696.594,322.496)	61_1	(27,13.5,0)
15	(694.844,385.293)	58_1	(27,0,0)
16	(763.885,135.836)	70_1	(40.5,54,0)
17	(761.97,198.954)	68_6	(40.5,40.5,0)
18	(759.975,261.608)	64_1	(40.5,27,0)
19	(758.132,324.158)	62_6	(40.5,13.5,0)
20	(756.24,386.754)	58_1	(40.5,0,0)
21	(824.884,139.113)	71_6	(54,54,0)
22	(822.859,201.667)	68_1	(54,40.5,0)
23	(820.886,263.875)	65_6	(54,27,0)
24	(818.869,325.908)	62_1	(54,13.5,0)
25	(816.792,388.028)	59_6	(54,0,0)

[0165] 第5个左摄像机标定匹配组如下表1.5所示：

[0166] 表1.5

[0167]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(1164.34, 200.332)	12_6	(0, 54, 0)
2	(1151.68, 256.16)	9_1	(0, 40.5, 0)
3	(1139.25, 310.803)	6_6	(0, 27, 0)
4	(1127.08, 364.785)	3_1	(0, 13.5, 0)
5	(1115.15, 417.225)	0_6	(0, 0, 0)
6	(1220.79, 208.373)	12_1	(13.5, 54, 0)
7	(1207.61, 263.86)	10_6	(13.5, 40.5, 0)
8	(1194.72, 317.978)	6_1	(13.5, 27, 0)
9	(1182.02, 371.355)	4_6	(13.5, 13.5, 0)
10	(1169.71, 423.48)	0_1	(13.5, 0, 0)
11	(1275.97, 216.448)	13_6	(27, 54, 0)
12	(1262.34, 271.403)	10_1	(27, 40.5, 0)
13	(1248.95, 325.064)	7_6	(27, 27, 0)

[0168]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
14	(1235.86, 377.993)	4_1	(27, 13.5, 0)
15	(1223.02, 429.566)	1_6	(27, 0, 0)
16	(1330.22, 224.327)	13_1	(40.5, 54, 0)
17	(1316.24, 278.843)	11_6	(40.5, 40.5, 0)
18	(1302.4, 332.05)	7_1	(40.5, 27, 0)
19	(1288.81, 384.631)	5_6	(40.5, 13.5, 0)
20	(1275.57, 435.776)	1_1	(40.5, 0, 0)
21	(1383.74, 232.473)	14_6	(54, 54, 0)
22	(1369.34, 286.276)	11_1	(54, 40.5, 0)
23	(1355.05, 339.143)	8_6	(54, 27, 0)
24	(1340.99, 391.195)	5_1	(54, 13.5, 0)
25	(1327.36, 441.816)	2_6	(54, 0, 0)

[0169] 第6个左摄像机标定匹配组如下表1.6所示；

[0170] 表1.6

[0171]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(1546.45, 234.069)	51_6	(0, 54, 0)
2	(1555.38, 282.267)	48_1	(0, 40.5, 0)
3	(1564.76, 331.272)	45_6	(0, 27, 0)
4	(1573.77, 381.441)	42_1	(0, 13.5, 0)
5	(1583.32, 433.21)	39_6	(0, 0, 0)
6	(1594.95, 239.307)	51_1	(13.5, 54, 0)
7	(1604.45, 287.041)	49_6	(13.5, 40.5, 0)
8	(1613.85, 335.773)	45_1	(13.5, 27, 0)
9	(1623.51, 385.518)	43_6	(13.5, 13.5, 0)
10	(1633.33, 436.856)	39_1	(13.5, 0, 0)
11	(1642.52, 244.57)	52_6	(27, 54, 0)
12	(1652.4, 291.922)	49_1	(27, 40.5, 0)

13	(1662.36, 340.486)	46_6	(27, 27, 0)
14	(1672.32, 389.616)	43_1	(27, 13.5, 0)
15	(1682.54, 440.651)	40_6	(27, 0, 0)
16	(1689.04, 249.519)	52_1	(40.5, 54, 0)
17	(1699.2, 296.632)	50_6	(40.5, 40.5, 0)
18	(1709.47, 344.634)	46_1	(40.5, 27, 0)
19	(1719.69, 393.688)	44_6	(40.5, 13.5, 0)
20	(1730.34, 444.325)	40_1	(40.5, 0, 0)
21	(1734.78, 254.61)	53_6	(54, 54, 0)
22	(1745.37, 301.452)	50_1	(54, 40.5, 0)
23	(1755.94, 349.054)	47_6	(54, 27, 0)
24	(1766.6, 397.65)	44_1	(54, 13.5, 0)
25	(1777.32, 447.743)	41_6	(54, 0, 0)

[0172] 第1个右摄像机标定匹配组如下表2.1所示：

[0173] 表2.1

[0174]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(264.728, 781.126)	92_6	(0, 54, 0)
2	(254.735, 839.98)	89_1	(0, 40.5, 0)
3	(244.416, 899.822)	86_6	(0, 27, 0)
4	(234.321, 960.634)	83_1	(0, 13.5, 0)
5	(224.225, 1022.38)	80_6	(0, 0, 0)
6	(325.337, 790.84)	92_1	(13.5, 54, 0)
7	(315.899, 849.425)	90_6	(13.5, 40.5, 0)
8	(306.378, 908.929)	86_1	(13.5, 27, 0)
9	(296.674, 969.525)	84_6	(13.5, 13.5, 0)
10	(287.347, 1031.09)	80_1	(13.5, 0, 0)
11	(385.863, 800.215)	93_6	(27, 54, 0)
12	(377.005, 858.855)	90_1	(27, 40.5, 0)
13	(368.087, 918.002)	81_6	(27, 27, 0)
14	(359.198, 978.358)	84_1	(27, 13.5, 0)
15	(350.221, 1039.72)	81_6	(27, 0, 0)
16	(445.756, 809.461)	93_1	(40.5, 54, 0)
17	(437.652, 867.832)	91_6	(40.5, 40.5, 0)
18	(429.222, 926.941)	81_1	(40.5, 27, 0)
19	(420.881, 986.838)	85_6	(40.5, 13.5, 0)
20	(412.799, 1047.93)	81_1	(40.5, 0, 0)
21	(505.266, 818.66)	94_6	(54, 54, 0)
22	(497.472, 876.826)	91_1	(54, 40.5, 0)
23	(489.854, 935.513)	88_6	(54, 27, 0)



24	(482.111, 995.256)	85_1	(54, 13.5, 0)
25	(474.328, 1056.04)	82_6	(54, 0, 0)

[0175] 第2个右摄像机标定匹配组如下表2.2所示:

[0176] 表2.2

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(976.673, 779.02)	112_1	(54, 54, 0)
2	(918.781, 782.414)	112_6	(40.5, 54, 0)
3	(862.02, 785.851)	111_1	(27, 54, 0)
4	(806.383, 788.648)	111_6	(13.5, 54, 0)
5	(752.014, 792.034)	110_1	(0, 54, 0)
6	(976.045, 840.675)	109_6	(54, 40.5, 0)
7	(917.743, 843.626)	108_1	(40.5, 40.5, 0)
8	(860.515, 846.168)	108_6	(27, 40.5, 0)
9	(804.554, 848.463)	107_1	(13.5, 40.5, 0)
10	(749.827, 850.835)	107_6	(0, 40.5, 0)
11	(975.01, 903.327)	106_1	(54, 27, 0)
12	(916.558, 905.506)	106_6	(40.5, 27, 0)
13	(858.917, 907.304)	105_1	(27, 27, 0)

[0177]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
14	(802.728, 909.15)	105_6	(13.5, 27, 0)
15	(747.873, 910.768)	104_1	(0, 27, 0)
16	(974.44, 966.484)	103_6	(54, 13.5, 0)
17	(915.462, 968.096)	102_1	(40.5, 13.5, 0)
18	(857.584, 969.434)	102_6	(27, 13.5, 0)
19	(800.932, 970.367)	101_1	(13.5, 13.5, 0)
20	(745.78, 971.507)	101_6	(0, 13.5, 0)
21	(973.608, 1030.17)	100_1	(54, 0, 0)
22	(914.376, 1031.15)	100_6	(40.5, 0, 0)
23	(856.2, 1031.83)	99_1	(27, 0, 0)
24	(799.06, 1032.12)	99_6	(13.5, 0, 0)
25	(743.87, 1032.21)	98_1	(0, 0, 0)

[0178]

[0179] 第3个右摄像机标定匹配组如下表2.3所示:

[0180] 表2.3

[0181]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(1288.92, 824.6)	32_6	(0, 54, 0)
2	(1291.46, 885.744)	29_1	(0, 40.5, 0)
3	(1293.86, 946.104)	26_6	(0, 27, 0)
4	(1296.02, 1006.02)	23_1	(0, 13.5, 0)
5	(1298.1, 1065.76)	20_6	(0, 0, 0)
6	(1348.73, 824.929)	32_1	(13.5, 54, 0)
7	(1351, 886.452)	30_6	(13.5, 40.5, 0)
8	(1353.18, 947.637)	26_1	(13.5, 27, 0)

9	(1355.25,1008.15)	24_6	(13.5,13.5,0)
10	(1357.06,1068.37)	20_1	(13.5,0,0)
11	(1409.97,825.075)	33_6	(27,54,0)
12	(1412.05,887.522)	30_1	(27,40.5,0)
13	(1414.09,949.028)	27_6	(27,27,0)
14	(1415.91,1010.28)	24_1	(27,13.5,0)
15	(1417.34,1071.18)	21_6	(27,0,0)
16	(1471.75,825.312)	33_1	(40.5,54,0)
17	(1473.6,888.175)	31_6	(40.5,40.5,0)
18	(1475.48,950.389)	27_1	(40.5,27,0)
19	(1477.05,1012.21)	25_6	(40.5,13.5,0)
20	(1478.26,1073.91)	21_1	(40.5,0,0)
21	(1534.34,825.381)	34_6	(54,54,0)
22	(1536.2,888.94)	31_1	(54,40.5,0)
23	(1538.15,952.083)	28_6	(54,27,0)
24	(1539.71,1014.24)	25_1	(54,13.5,0)
25	(1540.58,1076.41)	22_6	(54,0,0)

[0182] 第4个右摄像机标定匹配组如下表2.4所示：

[0183] 表2.4

[0184]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(441.018,111.57)	71_6	(54,54,0)
2	(377.533,113.12)	70_1	(40.5,54,0)
3	(314.425,114.952)	70_6	(27,54,0)
4	(251.025,116.856)	69_1	(13.5,54,0)
5	(188.539,118.828)	69_6	(0,54,0)
6	(442.674,176.429)	68_1	(54,40.5,0)
7	(379.096,177.963)	68_6	(40.5,40.5,0)
8	(316.044,179.577)	67_1	(27,40.5,0)
9	(252.975,181.29)	67_6	(13.5,40.5,0)
10	(190.625,183.05)	66_1	(0,40.5,0)
11	(444.099,240.704)	65_6	(54,27,0)
12	(380.873,242.159)	64_1	(40.5,27,0)
13	(317.886,243.731)	64_6	(27,27,0)
14	(254.998,245.306)	63_1	(13.5,27,0)
15	(192.759,247.032)	63_6	(0,27,0)
16	(445.659,304.785)	62_1	(54,13.5,0)
17	(382.784,306.324)	62_6	(40.5,13.5,0)
18	(319.905,307.759)	61_1	(27,13.5,0)
19	(257.082,309.283)	61_6	(13.5,13.5,0)

20	(194.976, 310.884)	60_1	(0, 13.5, 0)
21	(447.233, 368.884)	59_6	(54, 0, 0)
22	(384.663, 370.246)	58_1	(40.5, 0, 0)
23	(321.97, 371.538)	58_6	(27, 0, 0)
24	(259.441, 372.908)	57_1	(13.5, 0, 0)
25	(197.48, 374.591)	57_6	(0, 0, 0)

[0185] 第5个右摄像机标定匹配组如下表2.5所示：

[0186] 表2.5

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(808.781, 148.931)	12_6	(0, 54, 0)
2	(806.872, 210.461)	9_1	(0, 40.5, 0)
3	(805.027, 270.345)	6_6	(0, 27, 0)
4	(803.26, 329.229)	3_1	(0, 13.5, 0)
5	(801.844, 386.368)	0_6	(0, 0, 0)
6	(873.543, 153.238)	12_1	(13.5, 54, 0)
7	(870.828, 214.848)	10_6	(13.5, 40.5, 0)
8	(868.262, 274.754)	6_1	(13.5, 27, 0)
9	(865.643, 333.556)	4_6	(13.5, 13.5, 0)
10	(863.434, 390.774)	0_1	(13.5, 0, 0)
11	(938.027, 157.749)	13_6	(27, 54, 0)

[0187]

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
12	(934.609, 219.271)	10_1	(27, 40.5, 0)
13	(931.217, 279.145)	7_6	(27, 27, 0)
14	(927.946, 338.083)	4_1	(27, 13.5, 0)
15	(924.774, 395.13)	1_6	(27, 0, 0)
16	(1002.74, 162.398)	13_1	(40.5, 54, 0)
17	(998.423, 223.927)	11_6	(40.5, 40.5, 0)
18	(994.224, 283.819)	7_1	(40.5, 27, 0)
19	(990.201, 342.772)	5_6	(40.5, 13.5, 0)
20	(986.314, 399.786)	1_1	(40.5, 0, 0)
21	(1067.44, 167.215)	14_6	(54, 54, 0)
22	(1062.34, 228.73)	11_1	(54, 40.5, 0)
23	(1057.41, 288.741)	8_6	(54, 27, 0)
24	(1052.52, 347.522)	5_1	(54, 13.5, 0)
25	(1047.82, 404.63)	2_6	(54, 0, 0)

[0188]

[0189] 第6个右摄像机标定匹配组如下表2.6所示：

[0190] 表2.6

序号	标定角点亚像素坐标	标定角点唯一编码序号	标定角点靶标坐标
1	(1322.22, 158.441)	51_6	(0, 54, 0)
2	(1325.44, 212.577)	48_1	(0, 40.5, 0)
3	(1328.35, 267.896)	45_6	(0, 27, 0)
4	(1331.67, 324.942)	42_1	(0, 13.5, 0)

[0191]

5	(1334.61, 384.077)	39_6	(0, 0, 0)
6	(1384.79, 160.81)	51_1	(13.5, 54, 0)
7	(1388.68, 214.911)	49_6	(13.5, 40.5, 0)
8	(1392.53, 270.493)	45_1	(13.5, 27, 0)
9	(1396.43, 327.121)	43_6	(13.5, 13.5, 0)
10	(1400.4, 386.349)	39_1	(13.5, 0, 0)
11	(1447.13, 163.506)	52_6	(27, 54, 0)
12	(1451.9, 217.548)	49_1	(27, 40.5, 0)
13	(1456.39, 272.873)	46_6	(27, 27, 0)
14	(1461.23, 329.764)	43_1	(27, 13.5, 0)
15	(1465.92, 388.672)	40_6	(27, 0, 0)
16	(1508.62, 166.495)	52_1	(40.5, 54, 0)
17	(1514.08, 220.386)	50_6	(40.5, 40.5, 0)
18	(1519.65, 275.448)	46_1	(40.5, 27, 0)
19	(1524.83, 332.261)	44_6	(40.5, 13.5, 0)
20	(1530.3, 390.853)	40_1	(40.5, 0, 0)
21	(1569.86, 169.088)	53_6	(54, 54, 0)
22	(1576.08, 223)	50_1	(54, 40.5, 0)
23	(1582.22, 278.257)	47_6	(54, 27, 0)
24	(1588.31, 334.814)	44_1	(54, 13.5, 0)
25	(1594.41, 393.083)	41_6	(54, 0, 0)

[0192] 步骤10、在左摄像机标定靶标集合中和右摄像机标定靶标集合中寻找具有相同靶标标号的编码平面靶标的个数 $\beta_{3,3}$ ;

[0193] 步骤10.1、令整数变量 $i_3$ 并赋值 $i_3=1$ ;定义整数变量 $j_3$ ,定义整数变量 $\beta_{3,3}$ 并赋值 $\beta_{3,3}=0$ ;

[0194] 步骤10.2、令整数变量 $j_3$ 并赋值 $j_3=1$ 。

[0195] 步骤10.3、判断第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_3$ 个标定靶标的编号 $\mu'_{l,i_3}$ 是否等于第3次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_3$ 个标定靶标的编号 $\mu'_{r,j_3}$ ,若 $\mu'_{l,i_3} = \mu'_{r,j_3}$ ,则将 $\beta_{3,3}+1$ 赋值给 $\beta_{3,3}$ ,将第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_3$ 个标定靶标作为第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{3,3}$ 个外参标定靶标,将第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_3$ 个标定靶标的编号 $\mu'_{l,i_3}$ 赋值给第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{3,3}$ 个外参标定靶标的编号 $\mu^{n3}_{l,\beta_{3,3}}$ ,将第3次拍摄的第 $i_3$ 个左摄像机标定匹配组作为第3次拍摄的第 $\beta_{3,3}$ 个左摄像机外参标定匹配组;将第3次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_3$ 个标定靶标作为第3次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{3,3}$ 个外参标定靶标,将第3次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $j_3$ 个标定靶标的编号 $\mu'_{r,j_3}$ 赋值给第3次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{3,3}$ 个外参标定靶标的编号 $\mu^{n3}_{r,\beta_{3,3}}$ (其中 $\mu^{n3}_{l,\beta_{3,3}} = \mu^{n3}_{r,\beta_{3,3}}$ ),将第3次拍摄的第 $j_3$ 个右摄像机标定匹配组作为第3次拍摄的第 $\beta_{3,3}$ 个右

摄像机外参标定匹配组,而后执行步骤10.5;否则直接执行步骤10.4;

[0196] 步骤10.4、判断 $j_3$ 是否小于 $\beta_{3,2}$ ,若 $j_3 < \beta_{3,2}$ ,则将 $j_3+1$ 赋值给 $j_3$ 后循环执行步骤10.3,直至 $j_3 \geq \beta_{3,2}$ ;否则执行步骤10.5;

[0197] 步骤10.5、判断 $i_3$ 是否小于 $\beta_{3,1}$ ,若 $i_3 < \beta_{3,1}$ ,则将 $i_3+1$ 赋值给 $i_3$ 后循环执行步骤10.2至步骤10.4,直至 $i_3 \geq \beta_{3,1}$ ;

[0198] 在本实施例中,经过步骤10.3至步骤10.5,在第3次拍摄的左摄像机靶标图像和第3次拍摄的右摄像机靶标图像上找到了6个具有相同编号的编码平面靶标,即 $\beta_{3,3} = 6$ ;将第3次拍摄的左摄像机靶标图像上的1号至6号编码平面靶标及其相应的匹配组依此作为第3次拍摄的左摄像机靶标图像上第1个至第6个外参标定靶标和外参标定匹配组;将第3次拍摄的右摄像机靶标图像上的1号至6号编码平面靶标及其相应的匹配组依此作为第3次拍摄的右摄像机靶标图像上第1个至第6个外参标定靶标和外参标定匹配组;

[0199] 步骤11、判断 $\beta_{3,3}$ 是否小于3,实施例中 $\beta_{3,3} = 6$ ,即 $\beta_{3,3} \geq 3$ ,定义整数变量 $\beta_{3,4}$ 并赋值 $\beta_{3,4} = 0$ ,取整数变量 $i_3$ 并赋值 $i_3 = 1$ ,则执行步骤12;

[0200] 步骤12、根据第3次拍摄的第 $i_3$ 个左摄像机外参标定匹配组和第3次拍摄的第 $i_3$ 个右摄像机外参标定匹配组,统计第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_3$ 个外参标定靶标上和第3次拍摄的右摄像机靶标图像上第 $i_3$ 个外参标定靶标上具有相同标定角点唯一编码序号的同名标定角点个数 $\gamma'_{i_3}$ ;

[0201] 在本实施例中,每一对外参标定靶标(例如:第3次拍摄的左摄像机靶标图像上的第1个外参标定靶标和第3次拍摄的右摄像机靶标图像上的第1个外参标定靶标)上具有相同标定角点唯一编码序号的同名标定角点的个数均为25,即 $\gamma'_1 = \gamma'_2 = \gamma'_3 = \gamma'_4 = \gamma'_5 = \gamma'_6 = 25$ 。

[0202] 步骤13、判断 $\gamma'_{i_3}$ 是否小于3,本实施例中, $\gamma'_{i_3} \geq 3$ ,则将 $\beta_{3,4}+1$ 赋值给 $\beta_{3,4}$ ,将第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $i_3$ 个外参标定靶标作为第3次拍摄的左摄像机靶标图像中第 $\beta_{3,4}$ 个外参优化靶标,将第3次拍摄的第 $i_3$ 个左摄像机外参标定匹配组作为第3次拍摄的第 $\beta_{3,4}$ 个左摄像机外参优化匹配组,将第3次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $i_3$ 个外参标定靶标作为第3次拍摄的右摄像机靶标图像中第 $\beta_{3,4}$ 个外参优化靶标,将第3次拍摄的第 $i_3$ 个右摄像机外参标定匹配组作为第3次拍摄的第 $\beta_{3,4}$ 个右摄像机外参优化匹配组;

[0203] 判断 $i_3$ 是否小于 $\beta_{3,3}$ ,若 $i_3 < \beta_{3,3}$ ,则将 $i_3+1$ 赋值给 $i_3$ 后返回步骤12顺序执行;得到 $\beta_{3,4} = 6$ ;

[0204] 步骤14、判断 $\beta_{3,4}$ 是否小于1,若 $\beta_{3,4} < 1$ ,则执行编码立体靶标调整步骤。在具体实施例中, $\beta_{3,4} = 6$ ,满足 $\beta_{3,4} \geq k_3$ ,即第3次拍摄的左摄像机靶标图像上的6个外参标定靶标和6个外参标定匹配组均可作为左摄像机的外参优化匹配组,第3次拍摄的右摄像机靶标图像上的6个外参标定靶标和6个外参标定匹配组均可作为右摄像机的外参优化匹配组;

[0205] 经过上述步骤8至步骤14可得出,在第3次拍摄的左摄像机靶标图像中共包含了6个左摄像机标定靶标(其中6个左摄像机标定靶标均可作为左摄像机外参标定靶标,6个左摄像机外参标定靶标又均可作为左摄像机外参优化靶标),第3次拍摄的6个左摄像机标定匹配组(其中6个左摄像机标定匹配组均可作为左摄像机外参标定匹配组,6个左摄像机外参标定匹配组又均可作为左摄像机外参优化匹配组);同时第3次拍摄的右摄像机靶标图像中共包含了6个右摄像机标定靶标(其中6个右摄像机标定靶标均可作为右摄像机外参标

定靶标,6个右摄像机外参标定靶标又均可作为右摄像机外参优化靶标),第3次拍摄的6个右摄像机标定匹配组(其中6个右摄像机标定匹配组均可作为右摄像机外参标定匹配组,6个右摄像机外参标定匹配组又均可作为右摄像机外参优化匹配组)。

[0206] 步骤15、根据获得的第3次拍摄的6个左摄像机标定匹配组,利用单目摄像机内外参数标定算法计算出左摄像机的内参数和畸变系数,以及从左摄像机坐标系分别变换到空间中编码立体靶标上的1号、2号、…、6号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{1,1}$ 、 $R_{1,2}$ 、 $R_{1,3}$ 、… $R_{1,6}$ 和平移向量 $T_{1,1}$ 、 $T_{1,2}$ 、 $T_{1,3}$ 、… $T_{1,6}$ ;

[0207] 在实施例例中,左摄像机的标定结果如下:

[0208] 左摄像机靶标图像总体平均标定误差:0.0274039像素;

[0209] 左摄像机内参矩阵:

$$[0210] \begin{pmatrix} 2137.2 & 0 & 959.5 \\ 0 & 2134.23 & 599.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

[0211] 左摄像机畸变系数:

[0212]  $(-0.214228 \ 0.130994 \ -0.000202357 \ 5.63 \times 10^{-5})$ ;

[0213] 左摄像机靶标图像上1号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0214] R_{l,1} = \begin{pmatrix} 0.85257 & -0.0187026 & 0.522278 \\ 0.184669 & -0.924108 & -0.334547 \\ 0.488898 & 0.381673 & -0.784413 \end{pmatrix};$$

[0215] 左摄像机靶标图像上1号编码平面靶标的平移向量:

[0216]  $T_{1,1} = (-78.5127 \ 92.2415 \ 448.423)^T$ ;

[0217] 左摄像机靶标图像上2号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0218] R_{l,2} = \begin{pmatrix} 0.989848 & -0.0385163 & -0.136812 \\ -0.0743661 & -0.960658 & -0.267593 \\ -0.121123 & 0.275051 & -0.953769 \end{pmatrix};$$

[0219] 左摄像机靶标图像上2号编码平面靶标的平移向量:

[0220]  $T_{1,2} = (21.9493 \ 98.7451 \ 497.135)^T$ ;

[0221] 左摄像机靶标图像上3号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0222] R_{l,3} = \begin{pmatrix} 0.977551 & -0.0305304 & -0.208474 \\ -0.0240433 & -0.999147 & 0.0335812 \\ -0.209322 & -0.027815 & -0.977451 \end{pmatrix};$$

[0223] 左摄像机靶标图像上3号编码平面靶标的平移向量:

[0224]  $T_{1,3} = (134.264 \ 108.108 \ 524.332)^T$ ;

[0225] 左摄像机靶标图像上4号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0226] R_{l,4} = \begin{pmatrix} 0.954344 & 0.0372354 & 0.29638 \\ -0.00573306 & -0.989734 & 0.142805 \\ 0.298654 & -0.137984 & -0.944334 \end{pmatrix};$$

[0227] 左摄像机靶标图像上4号编码平面靶标的平移向量:

$$[0228] \quad T_{l,4} = (-82.6357 \quad -45.9222 \quad 448.679)^T;$$

[0229] 左摄像机靶标图像上5号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0230] \quad R_{l,5} = \begin{pmatrix} 0.972714 & 0.178162 & 0.148611 \\ 0.0890325 & -0.878154 & 0.47002 \\ 0.214243 & -0.443964 & -0.870055 \end{pmatrix};$$

[0231] 左摄像机靶标图像上5号编码平面靶标的平移向量:

$$[0232] \quad T_{l,5} = (36.8107 \quad -43.1279 \quad 503.72)^T;$$

[0233] 左摄像机靶标图像上6号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0234] \quad R_{l,6} = \begin{pmatrix} 0.972725 & -0.0496026 & 0.226598 \\ 0.0380749 & -0.929477 & -0.36691 \\ 0.228817 & 0.36553 & -0.902236 \end{pmatrix};$$

[0235] 左摄像机靶标图像上6号编码平面靶标的平移向量:

$$[0236] \quad T_{l,6} = (145.535 \quad -38.8748 \quad 489.166)^T;$$

[0237] 根据获得在第3次拍摄的6个右摄像机标定匹配组,利用单目摄像机内外参数标定算法计算出右摄像机的内参数和畸变系数,以及从右摄像机坐标系分别变换到空间中编码立体靶标上的1号、2号、...、6号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{r,1}$ 、 $R_{r,2}$ 、 $R_{r,3}$ 、...、 $R_{r,6}$ 和平移向量 $T_{r,1}$ 、 $T_{r,2}$ 、 $T_{r,3}$ 、...、 $T_{r,6}$ ;

[0238] 在本次实施例中,右摄像机的标定结果如下:

[0239] 右摄像机靶标图像总体平均标定误差:0.0338604像素;

[0240] 右摄像机内参数矩阵:

$$[0241] \quad \begin{pmatrix} 2130.49 & 0 & 959.5 \\ 0 & 2133.36 & 599.5 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

[0242] 右摄像机畸变系数:

[0243]  $(-0.232714 \quad 0.196554 \quad -7.719 \times 10^{-5} \quad -0.00221)$ ;右摄像机靶标图像上1号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0244] \quad R_{r,1} = \begin{pmatrix} 0.946559 & 0.0590294 & 0.317038 \\ 0.171198 & -0.92514 & -0.338832 \\ 0.273345 & 0.3755009 & -0.885805 \end{pmatrix};$$

[0245] 右摄像机靶标图像上1号编码平面靶标的平移向量:

$$[0246] \quad T_{r,1} = (-156.689 \quad 90.0871 \quad 439.808)^T;$$

[0247] 右摄像机靶标图像上2号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0248] \quad R_{r,2} = \begin{pmatrix} 0.935224 & 0.0133552 & -0.355751 \\ -0.0828315 & -0.963292 & -0.255356 \\ -0.344176 & 0.268122 & -0.899807 \end{pmatrix};$$

[0249] 右摄像机靶标图像上2号编码平面靶标的平移向量:

[0250]  $T_{r,2} = (-47.4902 \ 95.287 \ 464.166)^T$ ;

[0251] 右摄像机靶标图像上3号编码平面靶标的旋转向量:

$$[0252] \quad R_{r,3} = \begin{pmatrix} 0.901275 & -0.0552557 & -0.429709 \\ -0.0329458 & -0.997703 & 0.0591923 \\ -0.431993 & -0.0391914 & -0.901025 \end{pmatrix};$$

[0253] 右摄像机靶标图像上3号编码平面靶标的平移向量:

[0254]  $T_{r,3} = (74.9578 \ 102.942 \ 463.052)^T$ ;

[0255] 右摄像机靶标图像上4号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0256] \quad R_{r,4} = \begin{pmatrix} 0.998102 & -0.0075922 & 0.0611053 \\ -0.0160388 & -0.990169 & 0.138954 \\ 0.0594496 & -0.13967 & -0.988412 \end{pmatrix};$$

[0257] 右摄像机靶标图像上4号编码平面靶标的平移向量:

[0258]  $T_{r,4} = (-162.096 \ -47.8374 \ 440.853)^T$ ;

[0259] 右摄像机靶标图像上5号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0260] \quad R_{r,5} = \begin{pmatrix} 0.997042 & 0.0587737 & -0.0495633 \\ 0.0753679 & -0.873484 & 0.480984 \\ -0.0150411 & -0.483297 & -0.875327 \end{pmatrix};$$

[0261] 右摄像机靶标图像上5号编码平面靶标的平移向量:

[0262]  $T_{r,5} = (-34.5229 \ -46.6275 \ 465.354)^T$ ;

[0263] 右摄像机靶标图像上6号编码平面靶标的旋转矩阵:

$$[0264] \quad R_{r,6} = \begin{pmatrix} 0.999616 & 0.0276926 & -0.001096 \\ 0.025346 & -0.929476 & -0.368012 \\ -0.01121 & 0.367834 & -0.92982 \end{pmatrix};$$

[0265] 右摄像机靶标图像上6号编码平面靶标的平移向量:

[0266]  $T_{r,6} = (75.6522 \ -43.397 \ 425.103)^T$ ;

[0267] 步骤16、在上述步骤15中获得的左摄像机坐标系分别变换到1号、2号、...、6号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{1,1}$ 、 $R_{1,2}$ 、 $R_{1,3}$ 、...、 $R_{1,6}$ 和平移向量 $T_{1,1}$ 、 $T_{1,2}$ 、 $T_{1,3}$ 、...、 $T_{1,6}$ 中,寻找左摄像机坐标系分别变换到 $\mu_{i,1}^{n1}$ 、 $\mu_{i,2}^{n1}$ 、...、 $\mu_{i,6}^{n3}$ 号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{1,1}$ 、 $R'_{1,2}$ 、 $R'_{1,3}$ 、...、 $R'_{1,6}$ 和平移向量 $T'_{1,1}$ 、 $T'_{1,2}$ 、 $T'_{1,3}$ 、...、 $T'_{1,6}$ ;

[0268] 在具体实施例中,由于左摄像机靶标图像上的6个编码平面靶标均可作为左摄像机外参标定靶标,所以 $R_{1,1}$ 、 $R_{1,2}$ 、 $R_{1,3}$ 、...、 $R_{1,6}$ 分别与 $R'_{1,1}$ 、 $R'_{1,2}$ 、 $R'_{1,3}$ 、...、 $R'_{1,6}$ 相等, $T_{1,1}$ 、 $T_{1,2}$ 、 $T_{1,3}$ 、...、 $T_{1,6}$ 分别与相等 $T'_{1,1}$ 、 $T'_{1,2}$ 、 $T'_{1,3}$ 、...、 $T'_{1,6}$ ;

[0269] 在上述步骤15中获得的右摄像机坐标系变换到1号、2号、...、6号靶标坐标系的旋转矩阵 $R_{r,1}$ 、 $R_{r,2}$ 、 $R_{r,3}$ 、...、 $R_{r,6}$ 和平移向量 $T_{r,1}$ 、 $T_{r,2}$ 、 $T_{r,3}$ 、...、 $T_{r,6}$ 中,寻找右摄像机坐标系分别变换到 $\mu_{r,1}^{n3}$ 、 $\mu_{r,2}^{n3}$ 、...、 $\mu_{r,6}^{n3}$ 号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{r,1}$ 、 $R'_{r,2}$ 、...、 $R'_{r,6}$ 和平移向量 $T'_{r,1}$ 、 $T'_{r,2}$ 、...、 $T'_{r,6}$ ;

[0270] 在具体实施例中,由于右摄像机靶标图像上的6个编码平面靶标均可作为右摄像



机外参标定靶标,所以 $R_{r,1}$ 、 $R_{r,2}$ 、 $R_{r,3}$ 、 $\dots$ 、 $R_{r,6}$ 分别与 $R'_{r,1}$ 、 $R'_{r,2}$ 、 $\dots$ 、 $R'_{r,6}$ 相等, $T_{r,1}$ 、 $T_{r,2}$ 、 $T_{r,3}$ 、 $\dots$ 、 $T_{r,6}$ 分别与相等 $T'_{r,1}$ 、 $T'_{r,2}$ 、 $\dots$ 、 $T'_{r,6}$ ;

[0271] 步骤17、利用左摄像机坐标系变换到 $\mu_{l,i_3}^{n_3}$ 号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{l,i_3}$ 和平移向量 $T'_{l,i_3}$ 以及右摄像机坐标系变换到 $\mu_{r,i_3}^{n_3}$ 号靶标坐标系的旋转矩阵 $R'_{r,i_3}$ 和平移向量 $T'_{r,i_3}$ ,根据式(1)和(2)求解出左摄像机坐标系和右摄像机坐标系之间的旋转和平移关系:

$$[0272] \quad R_{i_3} = R'_{r,i_3} \cdot R'^{-1}_{l,i_3} \quad (1)$$

$$[0273] \quad T_{i_3} = T'_{r,i_3} - R'_{r,i_3} R'^{-1}_{l,i_3} T'_{l,i_3} \quad (2)$$

[0274] 其中 $i_3 = 1, 2, \dots, \beta_{3,3}$ ;

[0275] 在具体实施例中,经过上述计算可得:

$$[0276] \quad R_1 = \begin{pmatrix} 0.9715 & 0.01417 & 0.23658 \\ -0.013703 & 0.9999 & -0.003619 \\ -0.2366 & 0.0002727 & 0.97161 \end{pmatrix}, T_1 = (-187.8069 -1.5984 -14.4842)^T;$$

$$[0277] \quad R_2 = \begin{pmatrix} 0.97363 & 0.01228 & 0.227791 \\ -0.00995 & 0.9999 & -0.01137 \\ -0.2279 & 0.0088 & 0.9736 \end{pmatrix}, T_2 = (-183.3164 \ 2.4243 \ -15.7334)^T;$$

$$[0278] \quad R_3 = \begin{pmatrix} 0.97231 & 0.01911 & 0.23290 \\ -0.01409 & 0.99963 & -0.02321 \\ -0.2333 & 0.01929 & 0.97222 \end{pmatrix}, T_3 = (-179.772 \ 8.93499 \ -17.48285)^T;$$

$$[0279] \quad R_4 = \begin{pmatrix} 0.97036 & 0.01052 & 0.2414 \\ -0.01099 & 0.9999 & 0.00062 \\ -0.24141 & -0.00325 & 0.97042 \end{pmatrix}, T_4 = (-189.752 \ -3.1040 \ -14.6515)^T;$$

$$[0280] \quad R_5 = \begin{pmatrix} 0.97294 & 0.01389 & 0.23066 \\ -0.0108 & 0.9998 & -0.01454 \\ -0.23082 & 0.01165 & 0.97293 \end{pmatrix}, T_5 = (-185.924 \ 4.2161 \ -15.7297)^T;$$

$$[0281] \quad R_6 = \begin{pmatrix} 0.97073 & 0.01272 & 0.23984 \\ -0.01263 & 0.9999 & -0.00192 \\ -0.2398 & -0.00117 & 0.97081 \end{pmatrix}, T_6 = (-182.450 \ -1.7488 \ -14.924)^T;$$

[0282] 步骤18、通过公式(3)计算出从左摄像机坐标系变换到右摄像机坐标系的旋转矩阵 $R$ 和平移向量 $T$ (双目摄影机的外参数)的初始值:

$$[0283] \quad \begin{cases} R = (\sum_{i_3=1}^6 R_{i_3}) / 6 \\ T = (\sum_{i_3=1}^6 T_{i_3}) / 6 \end{cases} \quad (3)$$

[0284] 其中 $i_t = 1, 2, \dots, \beta_{3,3}$ ,经过计算得到:

$$[0285] \quad R = \begin{pmatrix} 0.97191 & 0.01378 & 0.23487 \\ -0.01203 & 0.99985 & -0.00901 \\ -0.23497 & 0.00593 & 0.97194 \end{pmatrix}, T = (-184.837 \ 1.5207 \ -15.501)^T;$$

[0286] 步骤19、在上述步骤中获得左摄像机的内参数和畸变系数、右摄像机的内参数和畸变系数以及左摄像机与右摄像机之间的初始外参数后,利用基于标准长度的优化方法,计算出双目摄像机外参的精确值 $R'$ 和 $T'$ ,以此完成双目摄像机标定。本实施例中双目摄像机外参数优化结果如下:

[0287] 优化平均误差:0.0515424毫米;

$$[0288] \quad R' = \begin{pmatrix} 0.979909 & 0.0167183 & 0.497967 \\ 0.174699 & 0.929715 & -0.493318 \\ -0.208664 & 0.133065 & 0.439037 \end{pmatrix}; T' = (-220.849 \ 266.76 \ 353.931)^T$$

[0289] 在具体的实施例中,所述的编码立体靶标的解码方法的步骤如下(由于利用编码立体靶标解码方法对每次拍摄的靶标图像进行解码并获得标定角点编码信息的过程类似,故本次实施例中以第3次拍摄的右摄像机靶标图像为例进行详细说明):

[0290] 步骤a1、利用Automatic Camera and Range Sensor Calibration using a single Shot提出的棋盘格检测算法,在第3次拍摄的右摄像机靶标图像中识别出 $\gamma_r^3 = 6$ 个完整或局部的编码平面靶标,并分别标记为编码平面靶标 $\bar{U}_1$ 、 $\bar{U}_2$ 、 $\bar{U}_3$ 、 $\bar{U}_4$ 、 $\bar{U}_5$ 、 $\bar{U}_6$ ,并获得了每个编码平面靶标上所有标定角点在靶标图像标定角点像素坐标系o-xy下的亚像素坐标,如图25所示,编码平面靶标 $\bar{U}_1$ 、 $\bar{U}_2$ 、 $\bar{U}_3$ 、 $\bar{U}_4$ 、 $\bar{U}_5$ 、 $\bar{U}_6$ 上的标定角点的亚像素坐标分别如表2.1至表2.6所示:

[0291] 表2.1

(441.018,111.57)	(442.674,176.429)	(444.099,240.704)	(445.659,304.785)	(447.233,368.884)
(377.533,113.12)	(379.096,177.963)	(380.873,242.159)	(382.784,306.324)	(384.663,370.246)
(314.425,114.952)	(316.044,179.577)	(317.886,243.731)	(319.905,307.759)	(321.97,371.538)
(251.025,116.856)	(252.975,181.29)	(254.998,245.306)	(257.082,309.283)	(259.441,372.908)
(188.539,118.828)	(190.625,183.05)	(192.759,247.032)	(194.976,310.884)	(197.48,374.591)

[0293] 表2.2

(264.728,781.126)	(325.337,790.84)	(385.863,800.215)	(445.756,809.461)	(505.266,818.66)
(254.735,839.98)	(315.899,849.425)	(377.005,858.855)	(437.652,867.832)	(497.472,876.826)
(244.416,899.822)	(306.378,908.929)	(368.087,918.002)	(429.222,926.941)	(489.854,935.513)
(234.321,960.634)	(296.674,969.525)	(359.198,978.358)	(420.881,986.838)	(482.111,995.256)
(224.225,1022.38)	(287.347,1031.09)	(350.221,1039.72)	(412.799,1047.93)	(474.328,1056.04)

[0295] 表2.3

(976.673,779.02)	(976.045,840.675)	(975.01,903.327)	(974.44,966.484)	(973.608,1030.17)
(918.781,782.414)	(917.743,843.626)	(916.558,905.506)	(915.462,968.096)	(914.376,1031.15)
(862.02,785.851)	(860.515,846.168)	(858.917,907.304)	(857.584,969.434)	(856.2,1031.83)
(806.383,788.648)	(804.554,848.463)	(802.728,909.15)	(800.932,970.367)	(799.06,1032.12)
(752.014,792.034)	(749.827,850.835)	(747.873,910.768)	(745.78,971.507)	(743.87,1032.21)

[0297] 表2.4

[0298]

(808.781,148.931)	(873.543,153.238)	(938.027,157.749)	(1002.74,162.398)	(1067.44,167.215)
(806.872,210.461)	(870.828,214.848)	(934.609,219.271)	(998.423,223.927)	(1062.34,228.73)
(805.027,270.345)	(868.262,274.754)	(931.217,279.145)	(994.224,283.819)	(1057.41,288.741)
(803.26,329.229)	(865.643,333.556)	(927.946,338.083)	(990.201,342.772)	(1052.52,347.522)
(801.844,386.368)	(863.434,390.774)	(924.774,395.13)	(986.314,399.786)	(1047.82,404.63)

[0299] 表2.5

[0300]

(1322.22,158.441)	(1384.79,160.81)	(1447.13,163.506)	(1508.62,166.495)	(1569.86,169.088)
(1325.44,212.577)	(1388.68,214.911)	(1451.9,217.548)	(1514.08,220.386)	(1576.08,223)
(1328.35,267.896)	(1392.53,270.493)	(1456.39,272.873)	(1519.65,275.448)	(1582.22,278.257)
(1331.67,324.942)	(1396.43,327.121)	(1461.23,329.764)	(1524.83,332.261)	(1588.31,334.814)
(1334.61,384.077)	(1400.4,386.349)	(1465.92,388.672)	(1530.3,390.853)	(1594.41,393.083)

[0301] 表2.6

[0302]

(1288.92,824.6)	(1348.73,824.929)	(1409.97,825.075)	(1471.75,825.312)	(1534.34,825.381)
(1291.46,885.744)	(1351,886.452)	(1412.05,887.522)	(1473.6,888.175)	(1536.2,888.94)
(1293.86,946.104)	(1353.18,947.637)	(1414.09,949.028)	(1475.48,950.389)	(1538.15,952.083)
(1296.02,1006.02)	(1355.25,1008.15)	(1415.91,1010.28)	(1477.05,1012.21)	(1539.71,1014.24)
(1298.1,1065.76)	(1357.06,1068.37)	(1417.34,1071.18)	(1478.26,1073.91)	(1540.58,1076.41)

[0303] 步骤a2.1、取整数变量i,并赋予初始值i = 1;

[0304] 步骤a2.2、将第3次拍摄的右摄像机靶标图像复制到编码立体靶标图像 $p_i$ 中;

[0305] 步骤a3、在编码立体靶标图像 $p_i$ 中,选取其中的编码平面靶标 $\bar{U}_i$ ,利用数字图像处理的方法,将编码平面靶标 $\bar{U}_i$ 内部的所有像素点的灰度值保持不变,编码平面靶标 $\bar{U}_i$ 以外的所有像素点的灰度值均赋值为255,并将处理后的图像记为无复杂背景编码立体靶标图像 $p_i'$ ;

[0306] 具体实施例中,无复杂背景编码立体靶标图像 $p_1'$ 如图26所示,无复杂背景编码立体靶标图像 $p_2'$ 如图27所示,无复杂背景编码立体靶标图像 $p_3'$ 如图28所示,无复杂背景编码立体靶标图像 $p_4'$ 如图29所示,无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 如图30所示,无复杂背景编码立体靶标图像 $p_6'$ 如图31所示;

[0307] 步骤a4、在无复杂背景编码立体靶标图像 $p_i'$ 中,利用编码平面靶标的解码方法,将编码平面靶标 $\bar{U}_i$ 内的所有标定角点的编码号与所有标定角点的亚像素坐标一一匹配,即找到了编码平面靶标 $\bar{U}_i$ 内的所有标定角点的编码号及所有标定角点的亚像素坐标之间一一对应的关系,并将编码平面靶标 $\bar{U}_i$ 及其内部的所有标定角点与编码立体靶标内相应的编码平面靶标及标定角点一一匹配,即找到编码平面靶标 $\bar{U}_i$ 及其内部的所有标定角点的像素坐标与靶标坐标之间一一对应的关系,同时也找到了编码平面靶标 $\bar{U}_i$ 内每个标定角点所在的编码平面靶标编号,每个标定角点对应的唯一编码序号、唯一像素坐标系下的像素坐标值和唯一靶标坐标系下的靶标坐标值,并跳转到步骤5;

[0308] 步骤a5、根据i是否等于 $\gamma_r^3 = 6$ ,可分为以下两种情况:

[0309] 情况1:当 $i \neq 6$ 时,令 $i = i + 1$ ,并跳转到步骤4.2;

[0310] 情况2:当 $i = 6$ 时,结束此循环,由此结束整个编码立体靶标的解码过程。

[0311] 由以上步骤,可得到第3次拍摄的右摄像机靶标图像中,所有识别出的编码平面靶

标与所拍摄的空间中的编码立体靶标内的编码平面靶标之间一一对应的关系,以及所有识别出的编码平面靶标内的所有标定角点的像素坐标与靶标坐标之间一一对应的关系,同时也找到了所有识别出的编码平面靶标内每个标定角点所在的编码平面靶标编号,每个标定角点对应的唯一编码序号、唯一像素坐标系下的像素坐标值和唯一靶标坐标系下的靶标坐标值。

[0312] 具体实施例中,第3次拍摄的靶标图像中的每个编码平面靶标的标定角点对应的唯一编码序号、唯一像素坐标系下的像素坐标值和唯一靶标坐标系下的靶标坐标值如表2.1至表2.6所示。

[0313] 在具体实施例中,利用编码立体靶标的解码方法处理第3次拍摄的右摄像机靶标图像时,所使用的编码平面靶标的解码方法的步骤如下(由于利用编码平面靶标的解码方法处理第3次拍摄的右摄像机靶标图像中的每个编码平面靶标的过程类似,故本实施例中以无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 为例进行详细说明):

[0314] 步骤b1、将无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 以及无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 上提取到的所有标定角点作为编码立体靶标解码方法的输入条件;

[0315] 步骤b2、对无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 进行二值化处理,并将无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 经过二值化处理得到的图像记为无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ ,使得在无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 中平行四边形编码单元的背景颜色变为黑色,平行四边形非编码单元背景颜色、定位图案、定向图案的颜色均变为白色,编码标志图案的颜色根据编码规则可以为白色也可以为黑色;

[0316] 步骤b3、根据在无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 内提取到的 $m$ 行 $\times$  $n$ 列个标定角点数目(其中 $m$ 和 $n$ 均为整数),可将本步骤分为如下情况:

[0317] 情况1、当 $m$ 、 $n$ 均为奇数,或者 $m$ 、 $n$ 一奇一偶时可由公式(4)计算出多边形 $L$ 内部包含的平行四边形编码单元个数 $\mu$ ( $\mu$ 为整数);

$$[0318] \quad \mu = (m-1)(n-1)/2 \quad (4)$$

[0319] 然后执行步骤4.1.1;

[0320] 情况2、若 $m$ 、 $n$ 均为偶数时,可由公式(5)计算出多边形 $L$ 内包含的平行四边形编码单元预估个数 $\mu'$ ( $\mu'$ 为整数);

$$[0321] \quad \mu' = [(m-1)(n-1)+1]/2 \quad (5)$$

[0322] 此时多边形 $L$ 内实际包含的平行四边形编码单元的个数 $\mu$ 满足 $\mu \leq \mu'$ ;

[0323] 设置平行四边形编码单元个数判断阈值 $L'$ ;在无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 上做黑色连通域腐蚀,使得无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 中所有平行四边形编码单元对角处断开,并将无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 经过此处理得到的图像记为靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ ;其中对无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 进行黑色连通域腐蚀处理时,须满足以下条件:

[0324] (1) 最大标定角点数多边形 $L$ 内的每一个平行四边形编码单元均满足,平行四边形编码单元内的定向圆的白色连通域、定位圆环的白色连通域、定位圆环中心的黑色连通域和编码标志图案的白色连通域均保持完整;

[0325] (2) 最标定大角点数多边形 $L$ 内的每一个平行四边形编码单元均满足,平行四边形编码单元内的定向图案、定位图案和编码标志图案的连通域互不相通;

[0326] (3) 最大标定角点数多边形 $L$ 内的每一个平行四边形编码单元均满足:平行四边形

编码单元内的定向图案、定位图案和编码标志图案均处于平行四边形编码单元背景中；

[0327] 在靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 上寻找 $\mu'$ 个最大的黑色连通域，并计算前 $\mu'-1$ 个最大黑色连通域包含像素点的平均值 $\chi'$ ；

[0328] 将多边形 $L$ 内 $\mu'$ 个最大黑色连通域中最小的黑色连通域记为末端黑色连通域，并计算末端黑色连通域包含的像素点数 $\chi_m$ ，根据下述进行判断；

$$[0329] \quad L'' = \frac{|\chi' - \chi_m|}{\chi'}$$

[0330] (1) 若 $L'' \leq L'$ ，则多边形 $L$ 内实际包含 $\mu'$ 个平行四边形编码单元，将 $\mu'$ 的数值赋值给 $\mu$ ， $\mu = \mu'$ ；并执行步骤7.1.2；

[0331] (2) 若 $L'' > L'$ ，则多边形 $L$ 内实际包含 $\mu'-1$ 个平行四边形编码单元，将 $\mu'-1$ 的数值赋值给 $\mu$ ， $\mu = \mu'-1$ ；并执行步骤b4.1.2；

[0332] 在具体实施例中，无复杂背景编码立体靶标图像 $p_5'$ 内提取到5行 $\times$ 5列个标定角点（即 $m=5, n=5$ ），属于步骤3中的情况1，则 $\mu = (m-1)(n-1)/2 = 8$ ；

[0333] 步骤b4.1.1、在无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 上，做黑色连通域腐蚀，使得无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 中所有平行四边形编码单元对角处断开，并将无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 经过此处理得到的图像记为靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ （其中无复杂背景靶标二值化图像 $P_2$ 进行黑色连通域腐蚀处理时，要保证编码平面靶标 $\mathcal{O}_5$ 内所有的编码图案不被破坏），如图32所示；

[0334] 步骤b4.1.2、寻找在靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中的8个最大黑色连通域并分别记为方格连通域 $\Omega_1$ 、方格连通域 $\Omega_2$ 、 $\dots$ 、方格连通域 $\Omega_8$ ；取整数变量 $i$ ，并赋予其初始值 $i=1$ ；

[0335] 步骤b4.2、在靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 上，计算上述步骤b7.1.2中方格连通域 $\Omega_i$ 质心的像素坐标 $(x_i, y_i)_i$ ，将 $i+1$ 重新赋值给 $i$ 后继续执行此步骤直到 $i > 8$ ，由此得到靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 上的方格连通域 $\Omega_1$ 、方格连通域 $\Omega_2$ 、 $\dots$ 、方格连通域 $\Omega_8$ 的质心像素坐标 $(900, 246)_1, \dots, (838, 180)_8$ 并将 $(900, 246)_1, \dots, (838, 180)_8$ 依次作为平行四边形编码单元质心像素坐标集合 $A$ 中的第1个元素、第2个元素、 $\dots$ 、第8个元素；

[0336] 步骤b5.1、给整数变量 $i$ 重新赋予初值 $i=1$ ；

[0337] 步骤b5.2、在靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中，计算距离方格连通域 $\Omega_i$ 的质心像素坐标 $(x_i, y_i)_i$ 最近的黑色连通域，并分别记为靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中的圆环中心连通域 $\Omega'_i$ ；将 $i+1$ 重新赋值给 $i$ 后继续执行此步骤，直到 $i > 8$ 时结束；最后将分别得到靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中的圆环中心连通域 $\Omega'_1$ 、圆环中心连通域 $\Omega'_2$ 、 $\dots$ 、圆环中心连通域 $\Omega'_8$ ；

[0338] 步骤b5.3、给整数变量 $i$ 重新赋予初值 $i=1$ ；

[0339] 步骤b5.4、在靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中，计算上述靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中的圆环中心连通域 $\Omega'_i$ 的质心像素坐标 $o''_{d,i}(x''_{d,i}, y''_{d,i})$ ，将 $i+1$ 重新赋值给 $i$ 后继续执行此步骤，直到 $i > 8$ 时结束；由此分别得到靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中的圆环中心连通域 $\Omega'_1$ 、圆环中心连通域 $\Omega'_2$ 、 $\dots$ 、圆环中心连通域 $\Omega'_8$ 的质心像素坐标 $o''_{d1}(900, 256), \dots, o''_{d8}(838, 190)$ 依次作为圆环质心像素坐标集合 $B$ 中的第1个元素、第2个元素、 $\dots$ 、第8个元素；

[0340] 步骤b6.1、在靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 中，将除方格连通域 $\Omega_1$ 、方格连通域 $\Omega_2$ 、 $\dots$ 、方格连通域 $\Omega_8$ 以及圆环中心连通域 $\Omega'_1$ 、圆环中心连通域 $\Omega'_2$ 、 $\dots$ 、圆环中心连通域 $\Omega'_8$ 以

外的黑色连通域的灰度值均赋值为255,并将靶标二值化腐蚀图像 $P_2'$ 经过此处理得到的图像记为解码二值化图像 $P_3$ ,如图33所示;

[0341] 步骤b6.2、取整数变量 $\zeta$ ,并赋予初始值 $\zeta=1$ ;

[0342] 步骤b7.1、对解码二值化图像 $P_3$ 进行复制备份,将复制得到的图像记为第1个备份二值化图像 $P_{1,4}$ ;

[0343] 步骤b7.2、在第1个备份二值化图像 $P_{1,4}$ 上,取平行四边形编码单元质心像素坐标集合A中第1个质心坐标值 $(900,246)_1$ ,在标定角点集合Q中寻找距离质心坐标值 $(900,246)_1$ 最近的4个标定角点的像素坐标值,并在第1个备份二值化图像 $P_{1,4}$ 上将这4个标定角点的像素坐标值对应的4个像素点分别记为 $C''_{1,1}(868.3,274.8)$ 、 $C''_{1,2}(870.8,214.8)$ 、 $C''_{1,3}(934.6,219.3)$ 、 $C''_{1,4}(931.2,279.1)$ ;并将该4个像素点作为第1个标定角点四边形 $S_1$ 的4个顶点,并将4个顶点相连形成第1个标定角点四边形 $S_1$ ;

[0344] 步骤b8.1、在步骤5.4中的圆环质心像素坐标B中,找出与平行四边形编码单元质心像素坐标集合A中的第1个质心像素坐标值 $(900,246)_1$ 相对应的第1个圆环质心像素坐标 $(900,256)$ ;

[0345] 步骤b8.2、在第1个备份二值化图像 $P_{1,4}$ 中,寻找距离上述圆环质心坐标值 $(900,256)$ 最近的白色连通域,并将此白色连通域的灰度值赋值为0;

[0346] 步骤b9、在第1个备份二值化图像 $P_{1,4}$ 上,将第1个标定角点四边形 $S_1$ 以外的所有像素点的灰度值均赋值为255,第1个标定角点四边形 $S_1$ 内部的所有像素点的灰度值保持不变,并将所得到的图像记为第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ ,如图34所示;

[0347] 步骤b10、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 中,寻找最大黑色连通域并记为第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 中的最大黑色连通域 $\Omega_{1,E}$ ;提取第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 中的最大黑色连通域 $\Omega_{1,E}$ 的所有内、外轮廓,并记为质心像素坐标值为 $(900,246)_1$ 的平行四边形编码单元的轮廓集合 $D_1$ ;

[0348] 步骤b11、在质心像素坐标值为 $(900,246)_1$ 的平行四边形编码单元的轮廓集合 $D_1$ 中,统计每个轮廓中包含的像素点数,其中包含像素点数第二多的轮廓即为第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 中质心像素坐标值为 $(900,246)_1$ 的平行四边形编码单元中定位圆的轮廓 $G_1$ ,计算此定位圆轮廓 $G_1$ 的质心像素坐标并记为第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上质心像素坐标值为 $(900,246)_1$ 的平行四边形编码单元中的定位圆质心像素坐标 $o'_{1,1}(900,236)$ ;

[0349] 步骤b12.1、在上述步骤10中质心像素坐标值为 $(900,246)_1$ 的平行四边形编码单元的轮廓集合 $D_1$ 中,除去包含像素点数最多的2个轮廓,剩余其他 $\kappa_1$ (其中 $\kappa_1=0,1,2,3,\dots$ )个轮廓,并分为以下情况:

[0350] 情况1、若 $\kappa_1=0$ ,则进行步骤13.1;

[0351] 情况2、若 $\kappa_1 \neq 0$ ,则这 $\kappa_1$ 个轮廓即为在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上的质心像素坐标值为 $(900,246)_1$ 的平行四边形编码单元中编码标志圆的轮廓,并分别记为编码标志圆轮廓 $S_1^1$ 、编码标志圆轮廓 $S_1^2$ 、 $\dots$ 、编码标志圆轮廓 $S_1^{\kappa_1}$ ;

[0352] 在实施例中 $\kappa_1=2$ ,则这2个轮廓即为第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上质心坐标为 $(900,246)_1$ 的平行四边形编码单元中的编码标志圆轮廓,分别记为编码标志圆轮

廓 $S_1^1$ 、编码标志圆轮廓 $S_1^2$ ；

[0353] 步骤b12.2、给整数变量i重新赋予初值 $i=1$ ；

[0354] 步骤b12.3、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上，计算编码标志圆轮廓 $S_1^i$ 的质心像素坐标 $o_1^i(x_1^i, y_1^i)$ ，将 $i+1$ 重新赋值给i后继续执行此步骤，直到 $i>2$ 结束；可得到对应编码标志圆轮廓 $S_1^1$ 、编码标志圆轮廓 $S_1^2$ 的质心像素坐标 $o_1^1(922, 244)$ 、 $o_1^2(922, 232)$ ；

[0355] 步骤b13.1、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上，将像素坐标值为(900, 256)的像素点记为质心坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元上的定向圆环质心 $o'_{d,1}(900, 256)$ ；并且在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上，将像素坐标值分别为(868.3, 274.8)、(870.8, 214.8)、(934.6, 219.3)、(931.2, 279.1)的4个像素点记为 $C''_{1,1}(868.3, 274.8)$ 、 $C''_{1,2}(870.8, 214.8)$ 、 $C''_{1,3}(934.6, 219.3)$ 、 $C''_{1,4}(931.2, 279.1)$ ；

[0356] 步骤b13.2、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上，取 $C_{1,1}(x_{1,1}, y_{1,1})$ 、 $C_{1,2}(x_{1,2}, y_{1,2})$ 、 $C_{1,3}(x_{1,3}, y_{1,3})$ 、 $C_{1,4}(x_{1,4}, y_{1,4})$ 分别表示质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第1编码区域、第3编码区域、第4编码区域和第6编码区域的标定角点的像素坐标；质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中的方向向量 $\overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}$ 可由公式(6)得出，同时记通过定位圆质心 $o'_{l,1}$ 和定向圆环质心 $o'_{d,1}$ 的直线为 $l_{1,3}$ ；

$$[0357] \quad \overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}} = (x'_{l,1} - x'_{d,1}, y'_{l,1} - y'_{d,1}) = (0, -20) \quad (6)$$

[0358] 步骤b14、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上，将4个像素点 $C''_{1,1}(868.3, 274.8)$ 、 $C''_{1,2}(870.8, 214.8)$ 、 $C''_{1,3}(934.6, 219.3)$ 、 $C''_{1,4}(931.2, 279.1)$ 中距离定位圆质心像素坐标 $o'_{l,1}(900, 236)$ 最近的2个像素点分别记为 $C_{1,1\min}(x_{1,1\min}, y_{1,1\min})$ 和 $C_{1,2\min}(x_{1,2\min}, y_{1,2\min})$ ；在本实施例中， $C_{1,1\min}(x_{1,1\min}, y_{1,1\min})$ 即为 $C'_{1,1}(934.6, 219.3)$ ， $C_{1,2\min}(x_{1,2\min}, y_{1,2\min})$ 即为 $C'_{1,4}(870.8, 214.8)$ ，可通过公式(7)和(8)计算出在质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中的第1判断向量 $\overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,1\min}}$ 和第2判断向量 $\overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,2\min}}$ ；并通过式(9)和式(10)计算出区域划分正弦值 $1\sin\alpha_1$ 和区域划分正弦值 $2\sin\beta_1$ ；

$$[0359] \quad \overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,1\min}} = (x_{1,1\min} - x'_{l,1}, y_{1,1\min} - y'_{l,1}) = (34.6, -16.7) \quad (7)$$

$$[0360] \quad \overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,2\min}} = (x_{1,2\min} - x'_{l,1}, y_{1,2\min} - y'_{l,1}) = (-29.2, -21.2) \quad (8)$$

$$[0361] \quad \sin\alpha_1 = (\overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,1\min}} \times \overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}) / (|\overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,1\min}}| \cdot |\overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}|) = -0.82 \quad (9)$$

$$[0362] \quad \sin\beta_1 = (\overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,2\min}} \times \overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}) / (|\overrightarrow{o'_{l,1}C_{1,2\min}}| \cdot |\overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}|) = 0.81 \quad (10)$$

[0363] 并进行判断：

[0364] 情况1、若 $\sin\alpha_1 < 0$ ， $\sin\beta_1 > 0$ ，则 $C_{1,1\min}(x_{1,1\min}, y_{1,1\min})$ 是质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第1编码区域的标定角点，把 $C_{1,1\min}(x_{1,1\min}, y_{1,1\min})$ 的像素坐标值赋值给 $C_{1,1}(x_{1,1}, y_{1,1})$ ； $C_{1,2\min}(x_{1,2\min}, y_{1,2\min})$ 为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第6编码区域的标定角点，把 $C_{1,2\min}(x_{1,2\min}, y_{1,2\min})$ 的像素坐标值赋值给 $C_{1,4}(x_{1,4}, y_{1,4})$ ；

[0365] 情况2、若 $\sin\alpha_1 > 0, \sin\beta_1 < 0$ , 则 $C_{1,2\min}(x_{1,2\min}, y_{1,2\min})$ 为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第1编码区域的标定角点, 把 $C_{1,2\min}(x_{1,2\min}, y_{1,2\min})$ 的像素坐标值赋值给 $C_{1,1}(x_{1,1}, y_{1,1})$ ;  $C_{1,1\min}(x_{1,1\min}, y_{1,1\min})$ 为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第6编码区域的标定角点, 把 $C_{1,1\min}(x_{1,1\min}, y_{1,1\min})$ 的像素坐标值赋值给 $C_{1,4}(x_{1,4}, y_{1,4})$ ;

[0366] 在本实施例中,  $\sin\alpha_1 < 0, \sin\beta_1 > 0$ , 则 $C_{1,1\min}(934.6, 219.3)$ 为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第1编码区域的标定角点, 把 $C_{1,1\min}(934.6, 219.3)$ 的像素坐标值赋值给 $C_{1,1}(x_{1,1}, y_{1,1})$ ;  $C_{1,2\min}(870.8, 214.8)$ 为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第6编码区域的标定角点, 把 $C_{1,2\min}(870.8, 214.8)$ 的像素坐标值赋值给 $C_{1,4}(x_{1,4}, y_{1,4})$ ;

[0367] 步骤b15、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上, 通过上述步骤b14已找到质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第1编码区域和第6编码区域的标定角点 $C_{1,1}(934.6, 219.3)$ 和 $C_{1,4}(870.8, 214.8)$ ; 将4个像素点 $C''_{1,1}(868.3, 274.8)$ 、 $C''_{1,2}(870.8, 214.8)$ 、 $C''_{1,3}(934.6, 219.3)$ 、 $C''_{1,4}(931.2, 279.1)$ 中余下的2个像素点(本实施例中即为 $C''_{1,2}(868.3, 274.8)$ 和 $C''_{1,3}(931.2, 279.1)$ )的像素坐标分别赋值给质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元的第1临时坐标值记为 $C'_{1,5}(931.2, 279.1)$ , 以及第2临时坐标值记为 $C'_{1,6}(868.3, 274.8)$ ; 根据公式(11)和(12)可以求出在质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中的第3判断向量 $\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,5}}$ 和第4判断向量 $\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,6}}$ ;

$$[0368] \quad \overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,5}} = (x'_{1,5} - x_{1,1}, y'_{1,5} - y_{1,1}) = (-3.4, 59.8) \quad (11)$$

$$[0369] \quad \overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,6}} = (x'_{1,6} - x_{1,1}, y'_{1,6} - y_{1,1}) = (-66.3, 55.5) \quad (12)$$

[0370] 步骤b16、根据步骤b15中计算出的第3判断向量 $\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,5}}$ 和第4判断向量 $\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,6}}$ , 通过式(13)和式(14)可得出区域划分正弦值 $3\sin\omega_1$ 和区域划分正弦值 $4\sin\xi_1$ ;

$$[0371] \quad \sin\omega_1 = (\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,5}} \times \overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}) / (|\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,5}}| \cdot |\overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}|) = 0.06 \quad (13)$$

$$[0372] \quad \sin\xi_1 = (\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,6}} \times \overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}) / (|\overrightarrow{C_{1,1}C'_{1,6}}| \cdot |\overrightarrow{o'_{d,1}o'_{l,1}}|) = 0.71 \quad (14)$$

[0373] 并进行判断:

[0374] 情况1、若 $\sin\omega_1 = 0, \sin\xi_1 \neq 0$ , 则 $C'_{1,5}(x'_{1,5}, y'_{1,5})$ 即为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第3编码区域的标定角点, 把 $C'_{1,5}(x'_{1,5}, y'_{1,5})$ 的坐标值赋值给 $C_{1,2}(x_{1,2}, y_{1,2})$ ;  $C'_{1,6}(x'_{1,6}, y'_{1,6})$ 为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第4编码区域的标定角点, 把 $C'_{1,6}(x'_{1,6}, y'_{1,6})$ 的坐标值赋值给 $C_{1,3}(x_{1,3}, y_{1,3})$ ;

[0375] 情况2、若 $\sin\omega_1 \neq 0, \sin\xi_1 = 0$ , 则 $C'_{1,6}(x'_{1,6}, y'_{1,6})$ 即为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第3编码区域的标定角点, 把 $C'_{1,6}(x'_{1,6}, y'_{1,6})$ 的坐标值赋值给 $C_{1,2}(x_{1,2}, y_{1,2})$ ;  $C'_{1,5}(x'_{1,5}, y'_{1,5})$ 为质心像素坐标值为(900, 246)<sub>1</sub>的平行四边形编码单元中第4编码区域的标定角点的, 把 $C'_{1,5}(x'_{1,5}, y'_{1,5})$ 的坐标值赋值给 $C_{1,3}(x_{1,3}, y_{1,3})$ ;

[0376] 本实施例中 $\sin\omega_1 = 0.06$ , 低于平行阈值0.1, 故可认为: $\sin\omega_1 = 0, \sin\xi_1 \neq 0$ ,



则 $C'_{1,5}$  (931.2, 279.1) 即为质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中第3编码区域的标定角点, 把 $C'_{1,5}$  (931.2, 279.1) 的坐标值赋值给 $C_{1,2}(x_{1,2}, y_{1,2})$ ;  $C'_{1,6}$  (868.3, 274.8) 为质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中第4编码区域的标定角点, 把 $C'_{1,6}$  (868.3, 274.8) 的坐标值赋值给 $C_{1,3}(x_{1,3}, y_{1,3})$ ;

[0377] 至此在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上, 找到了质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中第1编码区域的标定角点 $C_{1,1}$  (934.6, 219.3)、第3编码区域的标定角点 $C_{1,2}$  (931.2, 279.1)、第4编码区域的标定角点 $C_{1,3}$  (868.3, 274.8) 和第6编码区域的标定角点 $C_{1,4}$  (870.8, 214.8);

[0378] 步骤b17、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上, 根据步骤14中得出的在质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中第1编码区域的标定角点 $C_{1,1}$  (934.6, 219.3), 第6编码区域的标定角点 $C_{1,4}$  (870.8, 214.8), 可由公式(15)得出质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中的第5判断向量 $\overrightarrow{C_{1,4}C_{1,1}}$ ;

$$[0379] \quad \overrightarrow{C_{1,4}C_{1,1}} = (x_{1,1} - x_{1,4}, y_{1,1} - y_{1,4}) = (63.8, 4.5) \quad (15)$$

[0380] 在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上, 以质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元的定向圆质心 $o'_{1,1}$  (900, 236) 为起点做与第5判断向量 $\overrightarrow{C_{1,4}C_{1,1}}$ 平行且同向的单位向量, 记为 $\overrightarrow{l_{1,0}}$ , 并记单位向量 $\overrightarrow{l_{1,0}}$ 所在的直线为 $l_{1,1}$ ; 以质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元的定向圆环质心 $o'_{d,1}$  (900, 256) 为起点做与第5判断向量 $\overrightarrow{C_{1,4}C_{1,1}}$ 平行且同向的单位向量, 记为 $\overrightarrow{l_{1,1}}$ , 并记单位向量所在的直线为 $l_{1,2}$ ; 将整数变量 $i$ 重新赋值 $i=1$ ;

[0381] 步骤b18.1、定义6个浮点型二维数组 $Cr_1^1[2][2]$ 、 $Cr_1^2[2][2]$ 、 $Cr_1^3[2][2]$ 、 $Cr_1^4[2][2]$ 、 $Cr_1^5[2][2]$ 、 $Cr_1^6[2][2]$ 用于存放质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中分别位于第1编码区域、第2编码区域、第3编码区域、第4编码区域、第5编码区域和第6编码区域的编码标志圆轮廓质心在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上的像素坐标, 初始化这6个二维数组中的所有元素, 且均赋值为-1; 另外取6个整数变量 $b_1^1, b_1^2, b_1^3, b_1^4, b_1^5, b_1^6$ , 并将其初始化,  $b_1^1 = 0, b_1^2 = 0, b_1^3 = 0, b_1^4 = 0, b_1^5 = 0, b_1^6 = 0$ ; 将整数变量 $i$ 重新赋值 $i=1$ ;

[0382] 步骤b18.2、在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上, 计算步骤15.2中, 质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中编码标志圆轮廓 $S_1^i$ 的质心像素坐标 $o_1^{i1}$  (922, 232) 和 $o_1^{i2}$  (922, 244) 分别与定位圆质心 $o'_{1,1}$ 、定向环质心 $o'_{d,1}$ 所形成的第1组第1个象限向量 $\overrightarrow{o'_{1,1}o_1^{i1}}$  和第1组第2个象限向量 $\overrightarrow{o'_{d,1}o_1^{i1}}$  以及第2组第1个象限向量 $\overrightarrow{o'_{1,1}o_1^{i2}}$  和第2组第2个象限向量 $\overrightarrow{o'_{d,1}o_1^{i2}}$ ,

$$[0383] \quad \begin{cases} \overrightarrow{o'_{1,1}o_1^{i1}} = (x_1^{i1} - x'_{1,1}, y_1^{i1} - y'_{1,1}) = (22, -4) \\ \overrightarrow{o'_{d,1}o_1^{i1}} = (x_1^{i1} - x'_{d,1}, y_1^{i1} - y'_{d,1}) = (22, -24) \end{cases} \quad (16)$$

$$[0384] \quad \begin{cases} \overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2} = (x_1'^2 - x'_{i,1}, y_1'^2 - y'_{i,1}) = (22, 8) \\ \overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2} = (x_1'^2 - x'_{d,1}, y_1'^2 - y'_{d,1}) = (22, -12) \end{cases} \quad (17)$$

[0385] 根据计算得出的第1组第1个象限向量 $\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^1}$ 和第1组第2个象限向量 $\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1}$ 、第2组第1个象限向量 $\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2}$ 和第2组第2个象限向量 $\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2}$ 、单位向量 $\overrightarrow{l_{1,0}}$ 与 $\overrightarrow{l_{1,1}}$ ，以及方向向量 $\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1}$ ，通过式(18)、式(19)、式(20)、式(21)、式(22)、式(23)、式(24)、式(25)计算 $\cos\varphi_1^1$ 、 $\cos\gamma_1^1$ 、 $\cos\eta_1^1$ 、 $\cos\theta_1^1$ 以及 $\cos\varphi_1^2$ 、 $\cos\gamma_1^2$ 、 $\cos\eta_1^2$ 、 $\cos\theta_1^2$ ，

$$[0386] \quad \cos\varphi_1^1 = (\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^1} \times \overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1}) / (|\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^1}| \cdot |\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1}|) = 0.18; \quad (18)$$

$$[0387] \quad \cos\gamma_1^1 = (\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^1} \times \overrightarrow{l_{1,0}}) / (|\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^1}| \cdot |\overrightarrow{l_{1,0}}|) = 0.97; \quad (19)$$

$$[0388] \quad \cos\eta_1^1 = (\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1} \times \overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^1}) / (|\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1}| \cdot |\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^1}|) = 0.74; \quad (20)$$

$$[0389] \quad \cos\theta_1^1 = (\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1} \times \overrightarrow{l_{1,1}}) / (|\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^1}| \cdot |\overrightarrow{l_{1,1}}|) = 0.62; \quad (21)$$

$$[0390] \quad \cos\varphi_1^2 = (\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2} \times \overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2}) / (|\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2}| \cdot |\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2}|) = -0.34; \quad (22)$$

$$[0391] \quad \cos\gamma_1^2 = (\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2} \times \overrightarrow{l_{1,0}}) / (|\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2}| \cdot |\overrightarrow{l_{1,0}}|) = 0.96; \quad (23)$$

$$[0392] \quad \cos\eta_1^2 = (\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2} \times \overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2}) / (|\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2}| \cdot |\overrightarrow{o'_{i,1}o_1'^2}|) = 0.48; \quad (24)$$

$$[0393] \quad \cos\theta_1^2 = (\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2} \times \overrightarrow{l_{1,1}}) / (|\overrightarrow{o'_{d,1}o_1'^2}| \cdot |\overrightarrow{l_{1,1}}|) = 0.84; \quad (25)$$

[0394] 并得出如下结果：

[0395]  $\cos\varphi_1^1 > 0, \cos\gamma_1^1 > 0, \cos\eta_1^1 > 0, \cos\theta_1^1 > 0$ ，编码标志圆轮廓 $S_1^1$ 落在质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元的第1编码区域内；令 $Cr_1^1[0][0] = 922, Cr_1^1[0][1] = 232$ ；

[0396]  $\cos\varphi_1^2 < 0, \cos\gamma_1^2 > 0, \cos\eta_1^2 > 0, \cos\theta_1^2 > 0$ ，编码标志圆轮廓 $S_1^2$ 落在质心像素坐标值为 $(1154, 696)_1$ 的平行四边形编码单元的第2编码区域内；令 $Cr_1^2[0][0] = 922, Cr_1^2[0][1] = 244$ ；

[0397] 步骤b19、定义 $v_{1,w}^\lambda$ 代表质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中第 $\lambda$ 编码区域(其中 $\lambda = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ )中第 $w$ 位编码标志圆(其中 $w = 1, 2$ )的编码值， $v_{1,w}^\lambda$ 取0或1；取整数变量 $i$ ，给 $i$ 重新赋予初值 $i = 1$ ；

[0398] 步骤b20.1、本步骤分为以下情况：

[0399] 情况1、若 $Cr_1^i[0][0] = -1, Cr_1^i[0][1] = -1, Cr_1^i[1][0] = -1, Cr_1^i[1][1] = -1$ ，则 $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 0$ ；把 $i+1$ 赋值给 $i$ ，当满足 $i > 2$ 时，继续执行下一步骤b20.2；否则返回执行步骤b20.1；

[0400] 情况2、若 $Cr_1^i[0][0] = -1, Cr_1^i[0][1] = -1, Cr_1^i[1][0] \neq -1, Cr_1^i[1][1] \neq -1$ ，

记坐标点  $(Cr_1^i[1][0], Cr_1^i[1][1])$  到直线  $l_{1,1}$  的距离为  $H_{1,2}^i$ , 到直线  $l_{1,3}$  的距离为  $h_{1,2}^i$ ; 若  $H_{1,2}^i > h_{1,2}^i$ , 并令  $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 0$ ; 若  $H_{1,2}^i < h_{1,2}^i$ , 则令  $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 1$ ; 把  $i+1$  赋值给  $i$ , 当满足  $i > 2$  时, 继续执行下一步骤 b20.2; 否则返回执行步骤 b20.1;

[0401] 情况3、若  $Cr_1^i[0][0] \neq -1, Cr_1^i[0][1] \neq -1, Cr_1^i[1][0] = -1, Cr_1^i[1][1] = -1$ , 记坐标点  $(Cr_1^i[0][0], Cr_1^i[0][1])$  到直线  $l_{1,1}$  的距离为  $H_{1,1}^i$ , 到直线  $l_{1,3}$  的距离为  $h_{1,1}^i$ ; 若  $H_{1,1}^i > h_{1,1}^i$ , 则令  $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 0$ ; 若  $H_{1,1}^i < h_{1,1}^i$ , 令  $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 1$ ; 把  $i+1$  赋值给  $i$ , 当满足  $i > 2$  时, 继续执行下一步骤 b20.2; 否则返回执行步骤 b20.1;

[0402] 情况4、若  $Cr_1^i[0][0] \neq -1, Cr_1^i[0][1] \neq -1, Cr_1^i[1][0] \neq -1, Cr_1^i[1][1] \neq -1$ , 则令  $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 1$ ; 把  $i+1$  赋值给  $i$ , 当满足  $i > 2$  时, 继续执行下一步骤 b20.2; 否则返回执行步骤 b20.1;

[0403] 在具体实施例中, 根据本步骤可得:

[0404] (1)  $Cr_1^1[0][0] \neq -1, Cr_1^1[0][1] \neq -1, Cr_1^1[1][0] = -1, Cr_1^1[1][1] = -1$ , 且满足  $H_{1,1}^1 = 8, h_{1,1}^1 = 22, H_{1,1}^1 < h_{1,1}^1$ , 则  $v_{1,1}^1 = 0, v_{1,2}^1 = 1$ ;

[0405] (2)  $Cr_1^2[0][0] \neq -1, Cr_1^2[0][1] \neq -1, Cr_1^1[1][0] = -1, Cr_1^1[1][1] = -1$ , 且满足  $H_{1,1}^2 = 4, h_{1,1}^2 = 22, H_{1,1}^2 < h_{1,1}^2$ , 则  $v_{1,1}^2 = 0, v_{1,2}^2 = 1$ ;

[0406] 步骤 b20.2、本步骤分为以下情况:

[0407] 情况1、若  $Cr_1^i[0][0] = -1, Cr_1^i[0][1] = -1, Cr_1^i[1][0] = -1, Cr_1^i[1][1] = -1$ , 则  $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 0$ ; 把  $i+1$  赋值给  $i$ , 当满足  $i > 4$  时, 继续执行下一步骤 b20.3; 否则返回执行步骤 b20.2;

[0408] 情况2、若  $Cr_1^i[0][0] = -1, Cr_1^i[0][1] = -1, Cr_1^i[1][0] \neq -1, Cr_1^i[1][1] \neq -1$ , 记坐标点  $(Cr_1^i[1][0], Cr_1^i[1][1])$  到直线  $l_{1,2}$  的距离为  $H_{1,2}^i$ , 到直线  $l_{1,3}$  的距离为  $h_{1,2}^i$ ; 若  $H_{1,2}^i > h_{1,2}^i$ , 并令  $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 0$ ; 若  $H_{1,2}^i < h_{1,2}^i$ , 则令  $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 1$ ; 把  $i+1$  赋值给  $i$ , 当满足  $i > 4$  时, 继续执行下一步骤 b20.3; 否则返回执行步骤 b20.2;

[0409] 情况3、若  $Cr_1^i[0][0] \neq -1, Cr_1^i[0][1] \neq -1, Cr_1^i[1][0] = -1, Cr_1^i[1][1] = -1$ , 记坐标点  $(Cr_1^i[0][0], Cr_1^i[0][1])$  到直线  $l_{1,2}$  的距离为  $H_{1,1}^i$ , 到直线  $l_{1,3}$  的距离为  $h_{1,1}^i$ ; 若  $H_{1,1}^i > h_{1,1}^i$ , 则令  $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 0$ ; 若  $H_{1,1}^i < h_{1,1}^i$ , 令  $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 1$ ; 把  $i+1$  赋值给  $i$ , 当满足  $i > 4$  时, 继续执行下一步骤 b20.3; 否则返回执行步骤 b20.2;

[0410] 情况4、若  $Cr_1^i[0][0] \neq -1, Cr_1^i[0][1] \neq -1, Cr_1^i[1][0] \neq -1, Cr_1^i[1][1] \neq -1$ , 则令  $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 1$ ; 把  $i+1$  赋值给  $i$ , 当满足  $i > 4$  时, 继续执行下一步骤 b20.3; 否则返回执行步骤 b20.2;

[0411] 在本实施例中,

[0412]  $Cr_1^3[0][0] = -1, Cr_1^3[0][1] = -1, Cr_1^3[1][0] = -1, Cr_1^3[1][1] = -1$ , 则  $v_{1,1}^3 = 0, v_{1,2}^3 = 0$ ;

[0413]  $Cr_1^4[0][0] = -1, Cr_1^4[0][1] = -1, Cr_1^4[1][0] = -1, Cr_1^4[1][1] = -1$ , 则

$$v_{1,1}^4 = 0, v_{1,2}^4 = 0;$$

[0414] 步骤b20.3、本步骤分为以下情况:

[0415] 情况1、若 $Cr_1^i[0][0] = -1, Cr_1^i[0][1] = -1, Cr_1^i[1][0] = -1, Cr_1^i[1][1] = -1$ , 则 $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 0$ ; 把 $i+1$ 赋值给 $i$ , 当满足 $i > 6$ 时, 继续执行下一步骤21; 否则返回执行步骤b20.3;

[0416] 情况2、若 $Cr_1^i[0][0] = -1, Cr_1^i[0][1] = -1, Cr_1^i[1][0] \neq -1, Cr_1^i[1][1] \neq -1$ , 记坐标点 $(Cr_1^i[1][0], Cr_1^i[1][1])$ 到直线 $l_{1,1}$ 的距离为 $H_{1,2}^i$ , 到直线 $l_{1,3}$ 的距离为 $h_{1,2}^i$ ; 若 $H_{1,2}^i > h_{1,2}^i$ , 并令 $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 0$ ; 若 $H_{1,2}^i < h_{1,2}^i$ , 则令 $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 1$ ; 把 $i+1$ 赋值给 $i$ , 当满足 $i > 6$ 时, 继续执行下一步骤21; 否则返回执行步骤b20.3;

[0417] 情况3、若 $Cr_1^i[0][0] \neq -1, Cr_1^i[0][1] \neq -1, Cr_1^i[1][0] = -1, Cr_1^i[1][1] = -1$ , 记坐标点 $(Cr_1^i[0][0], Cr_1^i[0][1])$ 到直线 $l_{1,1}$ 的距离为 $H_{1,1}^i$ , 到直线 $l_{1,3}$ 的距离为 $h_{1,1}^i$ ; 若 $H_{1,1}^i > h_{1,1}^i$ , 则令 $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 0$ ; 若 $H_{1,1}^i < h_{1,1}^i$ , 令 $v_{1,1}^i = 0, v_{1,2}^i = 1$ ; 把 $i+1$ 赋值给 $i$ , 当满足 $i > 6$ 时, 继续执行下一步骤21; 否则返回执行步骤b20.3;

[0418] 情况4、若 $Cr_1^i[0][0] \neq -1, Cr_1^i[0][1] \neq -1, Cr_1^i[1][0] \neq -1, Cr_1^i[1][1] \neq -1$ , 则令 $v_{1,1}^i = 1, v_{1,2}^i = 1$ ; 把 $i+1$ 赋值给 $i$ , 当满足 $i > 6$ 时, 继续执行下一步骤21; 否则返回执行步骤b20.3;

[0419] 具体实施例中, 本步骤可得:

[0420] (1)  $Cr_1^5[0][0] = -1, Cr_1^5[0][1] = -1, Cr_1^5[1][0] = -1, Cr_1^5[1][1] = -1$ , 则 $v_{1,1}^5 = 0, v_{1,2}^5 = 0$ ;

[0421] (2)  $Cr_1^6[0][0] = -1, Cr_1^6[0][1] = -1, Cr_1^6[1][0] = -1, Cr_1^6[1][1] = -1$ , 则 $v_{1,1}^6 = 0, v_{1,2}^6 = 0$ ;

[0422] 步骤b21.1、通过上述步骤b20.1、b20.2和b20.3得出的质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中所有编码标志圆的编码值, 由公式(26)可求出与第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 中质心像素坐标为值 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元相对应的实际空间中放置的编码平面靶标上的平行四边形编码单元的编码号 $W_1$ ;

$$[0423] \quad W_1 = V_1^T \cdot U = 10 \quad (26)$$

[0424] 其中, 列向量 $U = (2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^{11})^T$ , 列向量 $V_1 = (0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$ ;

[0425] 在本实施例中, 可计算得出与在靶标图像中质心坐标为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元相对应的实际空间中放置的编码平面靶标上的平行四边形编码单元的编码号 $W_1 = 10$ ;

[0426] 步骤b21.2、根据获得的质心坐标为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元的编码号 $W_1 = 10$ , 利用编码平面靶标及标定角点的匹配方法可判断得出质心坐标为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元所对应的实际空间中的平行四边形编码单元所属的编码平面靶标的编号:

[0427]  $W_1 = 10 \in [0, 17]$ , 即 $W_1$ 落在5号编码平面靶标的平行四边形编码单元编号范围内, 也即质心坐标为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元所对应的实际空间中的平行四边形编码单元属于5号编码平面靶标, 质心坐标为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元上的标定角

点亦属于5号编码平面靶标；

[0428] 步骤b22、记在第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元中属于第 $\sigma$ 编码区域(其中 $\sigma=1, 3, 4, 6$ )的标定角点的非唯一编码序号为 $L_{10}^\sigma$ ,其中下脚标10为标定角点 $L_{10}^\sigma$ 所属平行四边形编码单元的编码号,上角标 $\sigma$ 的取值代表了标定角点 $L_{10}^\sigma$ 所属的第 $\sigma$ 编码区域;即得到了质心像素坐标为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元上4个标定角点 $C_{1,1}(934.6, 219.3)$ 、 $C_{1,2}(931.2, 249.1)$ 、 $C_{1,3}(868.3, 274.8)$ 、 $C_{1,4}(870.8, 214.8)$ 的非唯一编码序号分别为 $L_{10}^{\sigma_{1,1}}$ 、 $L_{10}^{\sigma_{1,2}}$ 、 $L_{10}^{\sigma_{1,3}}$ 、 $L_{10}^{\sigma_{1,4}}$ (其中 $\sigma_{1,1}=1$ ,  $\sigma_{1,2}=3$ ,  $\sigma_{1,3}=4$ ,  $\sigma_{1,4}=6$ );

[0429] 在得到第1个无复杂背景的单元二值化图像 $E_1$ 上质心像素坐标值为 $(900, 246)_1$ 的平行四边形编码单元的4个标定角点的非唯一编码序号的基础上,通过步骤b23.1至步骤23.4可计算出该4个标定角点的唯一编码序号;

[0430] 步骤b23.1、取 $\Delta'_{\zeta,1}-\sigma'_{\zeta,1}$ 、 $\Delta'_{\zeta,2}-\sigma'_{\zeta,2}$ 、 $\Delta'_{\zeta,3}-\sigma'_{\zeta,3}$ 、 $\Delta'_{\zeta,4}-\sigma'_{\zeta,4}$ 分别用于存放质心像素坐标值为 $(x_\zeta, y_\zeta)_\zeta$ 的平行四边形编码单元上4个标定角点 $C_{\zeta,1}(x_{\zeta,1}, y_{\zeta,1})$ 、 $C_{\zeta,2}(x_{\zeta,2}, y_{\zeta,2})$ 、 $C_{\zeta,3}(x_{\zeta,3}, y_{\zeta,3})$ 、 $C_{\zeta,4}(x_{\zeta,4}, y_{\zeta,4})$ 的唯一编码序号,其中 $\Delta'_{\zeta,1}$ 、 $\Delta'_{\zeta,2}$ 、 $\Delta'_{\zeta,3}$ 、 $\Delta'_{\zeta,4}$ 、 $\sigma'_{\zeta,1}$ 、 $\sigma'_{\zeta,2}$ 、 $\sigma'_{\zeta,3}$ 、 $\sigma'_{\zeta,4}$ 均为正整数;

[0431] 步骤b23.2、取整数变量 $i$ 并重新赋值 $i=1$ ;

[0432] 步骤b23.3判断 $N$ 是否为偶数,若 $N$ 为奇数则执行步骤b23.4;若 $N$ 为偶数,则取整数参数 $\Delta$ 并赋值 $\Delta=N/2$ ,根据标定角点 $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$ 的非唯一编码序号 $L_{W_1}^{\sigma_{1,i}}$ 可将本步骤b23.3分为如下情况:

[0433] 情况1、若 $\sigma_{1,i}=1$ 或 $\sigma_{1,i}=6$ ,将 $W_1$ 的值赋值给 $\Delta'_{1,i}$ ,将 $\sigma_{1,i}$ 的值赋值给 $\sigma'_{1,i}$ ,则标定角点 $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$ 的唯一编码序号为 $\Delta'_{1,i}-\sigma'_{1,i}$ ;

[0434] 情况2、若 $\sigma_{1,i}=3$ ,将 $(W_1-\Delta)$ 的值赋值给 $\Delta'_{1,i}$ ,将6赋值给 $\sigma'_{1,i}$ ,则标定角点 $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$ 的唯一编码序号为 $\Delta'_{1,i}-6$ ;

[0435] 情况3、若 $\sigma_{1,i}=4$ ,将 $(W_1-\Delta-1)$ 的值赋值给 $\Delta'_{1,i}$ ,将1赋值给 $\sigma'_{1,i}$ ,则标定角点 $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$ 的唯一编码序号为 $\Delta'_{1,i}-1$ ;

[0436] 判断 $i$ 是否小于4,若 $i < 4$ ,则将 $i+1$ 赋值给 $i$ ,返回步骤b23.3顺序执行;否则执行步骤b24.1;

[0437] 步骤b23.4、取整数参数 $\Delta$ 并赋值 $\Delta=(N+1)/2$ ,根据标定角点 $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$ 的非唯一编码序号 $L_{W_1}^{\sigma_{1,i}}$ 可将本步骤b23.4分为如下情况:

[0438] 情况1、若 $\sigma_{1,i}=1$ 或 $\sigma_{1,i}=6$ ,将 $W_\zeta$ 的值赋值给 $\Delta'_{\zeta,i}$ ,将 $\sigma_{\zeta,i}$ 的值赋值给 $\sigma'_{\zeta,i}$ ,则标定角点 $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$ 的唯一编码序号为 $\Delta'_{1,i}-\sigma'_{1,i}$ ;

[0439] 情况2、若 $\sigma_{1,i}=3$ ,又分为如下两种情况:

[0440] (1)当 $\Phi_p=1$ 时,将 $(W_1-\Delta)$ 的值赋值给 $\Delta'_{1,i}$ ,将6赋值给 $\sigma'_{1,i}$ ,则标定角点 $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$ 的唯一编码序号为 $\Delta'_{1,i}-6$ ;  $\Delta'$ 可由式(27)得出,

$$[0441] \quad \Delta' = \begin{cases} \Delta - 1, & \text{当}\Delta''\text{为偶} \\ \Delta, & \text{当}\Delta''\text{为奇} \end{cases} \quad (27)$$

[0442] 其中 $\Delta''=2(W_1-z_v)/(N+1)+1$ (只保留整数);

[0443] (2)当 $\Phi_p=2$ 时,将 $(W_1-\Delta'')$ 的值赋值给 $\Delta'_{1,i}$ ,将6赋值给 $\sigma'_{1,i}$ ,则标定角点 $C_{1,i}$

$(x_{1,i}, y_{1,i})$  的唯一编码序号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$ ;  $\Delta''$  可由式 (28) 得出,

$$[0444] \quad \Delta'' = \begin{cases} \Delta, & \text{当 } \Delta'' \text{ 为偶} \\ \Delta - 1, & \text{当 } \Delta'' \text{ 为奇} \end{cases} \quad (28)$$

[0445] 其中  $\Delta'' = 2(W_{\zeta} - z_v + 1) / (N+1) + 1$  (只保留整数);

[0446] 情况3、若  $\sigma_{\zeta,i} = 4$ , 又分为如下两种情况:

[0447] (1) 当  $\Phi_p = 1$  时, 将  $(W_1 - \Delta)$  的值赋值给  $\Delta'_{1,i}$ , 将 1 赋值给  $\sigma'_{1,i}$ , 则标定角点  $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$  的唯一编码序号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$ , 其中  $\Delta'$  可由式 (29) 得出;

$$[0448] \quad \Delta' = \begin{cases} \Delta, & \text{当 } \Delta'' \text{ 为偶} \\ \Delta + 1, & \text{当 } \Delta'' \text{ 为奇} \end{cases} \quad (29)$$

[0449] 其中  $\Delta'' = 2(W_1 - z_v) / (N+1) + 1$  (只保留整数);

[0450] (2) 当  $\Phi_p = 2$  时, 将  $(W_1 - \Delta''')$  的值赋值给  $\Delta'_{1,i}$ , 将 1 赋值给  $\sigma'_{1,i}$ , 则标定角点  $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$  的唯一编码序号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$ ,  $\Delta'''$  可由式 (30) 得出,

$$[0451] \quad \Delta''' = \begin{cases} \Delta + 1, & \text{当 } \Delta'' \text{ 为偶} \\ \Delta, & \text{当 } \Delta'' \text{ 为奇} \end{cases} \quad (30)$$

[0452] 其中  $\Delta'' = 2(W_1 - z_v + 1) / (N+1) + 1$  (只保留整数);

[0453] 判断  $i$  是否小于 4, 若  $i < 4$ , 则将  $i+1$  赋值给  $i$ , 返回步骤 b23.4 顺序执行; 否则执行步骤 b24.1;

[0454] 本实施例中  $N = 5$  为奇数, 则取整数参数  $\Delta$  并赋值  $\Delta = (N+1) / 2 = 3$ , 根据标定角点  $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$  的非唯一编码序号  $L_{10}^{\sigma'}$  可将本步骤 b23.3 分为如下情况:

[0455] 情况1、若  $\sigma_{1,i} = 1$  或  $\sigma_{1,i} = 6$ , 将 10 赋值给  $\Delta'_{1,i}$ , 将  $\sigma_{1,i}$  的值赋值给  $\sigma'_{1,i}$ , 则标定角点  $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$  的唯一编码序号为  $10 - \sigma'_{1,i}$ ;

[0456] 情况2、若  $\sigma_{1,i} = 3$ , 将 4 赋值给  $\Delta'_{1,i}$ , 将 6 赋值给  $\sigma'_{1,i}$ , 则标定角点  $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$  的唯一编码序号为  $7 - 6$ ;

[0457] 情况3、若  $\sigma_{1,i} = 4$ , 将 3 赋值给  $\Delta'_{1,i}$ , 将 1 赋值给  $\sigma'_{1,i}$ , 则标定角点  $C_{1,i}(x_{1,i}, y_{1,i})$  的唯一编码序号为  $6 - 1$ ;

[0458] 并最终得出结论: 标定角点  $C_{1,1}(934.6, 219.3)$  对应的唯一编码序号为  $10 - 1$ , 标定角点  $C_{1,2}(931.2, 249.1)$  对应的唯一编码序号为  $7 - 6$ , 标定角点  $C_{1,3}(868.3, 274.8)$  对应的唯一编码序号为  $6 - 1$ , 标定角点  $C_{1,4}(870.8, 214.8)$  对应的唯一编码序号为  $10 - 6$ ;

[0459] 步骤 b24.1、取整数变量  $i$  并重新赋值  $i = 1$ ;

[0460] 步骤 b24.2、判断  $N$  是否为偶数, 若  $N$  为奇数, 则执行步骤 b24.3; 若  $N$  为偶数, 则本步骤分为如下情况:

[0461] 情况1、若  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  中的  $\sigma'_{1,i} = 1$ ; 则唯一编码号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  的标定角点对应的靶标坐标为:

$$[0462] \quad (\rho_{w_1} \cdot |\vec{h}| \pm \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \cos \lambda, \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \sin \lambda, 0)$$

[0463] 其中当  $\vec{h} \cdot \vec{q} > 0$  时取+, 当  $\vec{h} \cdot \vec{q} < 0$  时取-;

[0464] 情况2、若  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  中的  $\sigma'_{1,i} = 6$ ; 则唯一编码号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  的标定角点对

应的靶标坐标为:

$$[0465] \quad ((\rho_{w_1} - 1) \cdot |\vec{h}| \pm \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \cos \lambda, \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \sin \lambda, 0)$$

[0466] 其中当  $\vec{h} \cdot \vec{q} > 0$  时取+, 当  $\vec{h} \cdot \vec{q} < 0$  时取-;

[0467] 在本步骤b24.2中,  $\delta_{w_1} = \begin{cases} 2(\Delta'_{1,i} - z_v)/(N+1) & \Phi_p == 1\text{时} \\ 2(\Delta'_{1,i} - z_v + 1)/(N+1) & \Phi_p == 2\text{时} \end{cases}$  (结果只保留整数位);

[0468] 当  $\delta_{w_1}$  为奇数时,  $\rho_{w_1} = \begin{cases} \{\Delta'_{1,i} - z_v - [N \cdot \delta_{w_1} / 2 + (\delta_{w_1} + 1) / 2]\} \cdot 2 + 1 & , \Phi_p == 1\text{时} \\ \{\Delta'_{1,i} - z_v - [N \cdot \delta_{w_1} / 2 + (\delta_{w_1} + 1) / 2]\} \cdot 2 + 2 & , \Phi_p == 2\text{时} \end{cases}$ ;

[0469] 当  $\delta_{w_1}$  为偶数时,  $\rho_{w_1} = \begin{cases} [\Delta'_{1,i} - z_v - \delta_{w_1} \cdot (N+1) / 2] \cdot 2 & , \Phi_p == 1\text{时} \\ [\Delta'_{1,i} - z_v - \delta_{w_1} \cdot (N+1) / 2] \cdot 2 + 1 & , \Phi_p == 2\text{时} \end{cases}$ ;

[0470] 本步骤执行结束后, 直接执行步骤b24.4;

[0471] 步骤b24.3、本步骤分为如下两种情况:

[0472] 情况1、若  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  中的  $\sigma'_{1,i} == 1$ ; 则唯一编码号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  的标定角点对应的靶标坐标为:

$$[0473] \quad (\rho_{w_1} \cdot |\vec{h}| \pm \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \cos \lambda, \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \sin \lambda, 0)$$

[0474] 其中当  $\vec{h} \cdot \vec{q} > 0$  时取+, 当  $\vec{h} \cdot \vec{q} < 0$  时取-;

[0475] 情况2、若  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  中的  $\sigma'_{1,i} == 6$ ; 则唯一编码号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  的标定角点对应的靶标坐标为:

$$[0476] \quad ((\rho_{w_1} - 1) \cdot |\vec{h}| \pm \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \cos \lambda, \delta_{w_1} \cdot |\vec{q}| \cdot \sin \lambda, 0)$$

[0477] 其中当  $\vec{h} \cdot \vec{q} > 0$  时取+, 当  $\vec{h} \cdot \vec{q} < 0$  时取-;

[0478] 在本步骤24.3中  $\delta_{w_1} = 2(\Delta'_{1,i} - z_v)/(N+1)$  (结果只保留整数位);

[0479] 当  $\delta_{w_1}$  为奇数时,  $\rho_{w_1} = \begin{cases} [\Delta'_{1,i} - z_v - \delta_{w_1} \cdot (N+1) / 2] \cdot 2 + 1 & , \Phi_p == 1\text{时} \\ [\Delta'_{1,i} - z_v - \delta_{w_1} \cdot (N+1) / 2] \cdot 2 & , \Phi_p == 2\text{时} \end{cases}$ ;

[0480] 当  $\delta_{w_1}$  为偶数时,  $\rho_{w_1} = \begin{cases} [\Delta'_{1,i} - z_v - \delta_{w_1} \cdot (N+1) / 2] \cdot 2 & , \Phi_p == 1\text{时} \\ [\Delta'_{1,i} - z_v - \delta_{w_1} \cdot (N+1) / 2] \cdot 2 + 1 & , \Phi_p == 2\text{时} \end{cases}$ ;

[0481] 本实施例中编码立体靶标上的5号编码平面靶标的基本信息为:  $N == 5$  为奇数,  $\lambda == 90^\circ$ , 本步骤分为如下情况:

[0482] 情况1、若  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  中的  $\sigma'_{1,i} == 1$ ; 则唯一编码号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  的标定角点对应的靶标坐标为:  $(13.5\rho_{10}, 13.5\delta_{10}, 0)$ ;

[0483] 情况2、若  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  中的  $\sigma'_{1,i} == 6$ ; 则唯一编码号为  $\Delta'_{1,i} - \sigma'_{1,i}$  的标定角点对应的靶标坐标为:  $(13.5(\rho_{10} - 1), 13.5\delta_{10}, 0)$ ;

[0484]  $\delta_{10} = 2(\Delta'_{\zeta,i} - 0) / (5+1)$  (结果只保留整数位);

[0485] 当  $\delta_{10}$  为奇数时,  $\rho_{10} = [\Delta'_{1,i} - 0 - \delta_{10} \cdot (5+1) / 2] \cdot 2 \Phi_p == 2\text{时}$ ;

[0486] 当 $\delta_{10}$ 为偶数时, $\rho_{10} = [\Delta'_{\zeta,i} - 0 - \delta_{10} \cdot (5+1)/2] \cdot 2+1 \Phi_p = 2$ 时;

[0487] 步骤b24.4、判断i是否小于4,若 $i < 4$ ,则将 $i+1$ 赋值给i并返回步骤b24.2顺序执行;若 $i \geq 4$ ,则获得了第 $\Delta'_{1,1} - \sigma'_{1,1}$ 号标定角点、第 $\Delta'_{1,2} - \sigma'_{1,2}$ 号标定角点、第 $\Delta'_{1,3} - \sigma'_{1,3}$ 号标定角点和第 $\Delta'_{1,4} - \sigma'_{1,4}$ 号标定角点的靶标坐标,并分别记作 $(X_{1,1}, Y_{1,1}, 0)$ 、 $(X_{1,2}, Y_{1,2}, 0)$ 、 $(X_{1,3}, Y_{1,3}, 0)$ 、 $(X_{1,4}, Y_{1,4}, 0)$ ;

[0488] 在本实施例中:

$$[0489] \quad \begin{cases} (X_{1,1}, Y_{1,1}, 0) = (27, 40.5, 0) \\ (X_{1,2}, Y_{1,2}, 0) = (27, 27, 0) \\ (X_{1,3}, Y_{1,3}, 0) = (13.5, 27, 0) \\ (X_{1,4}, Y_{1,4}, 0) = (13.5, 40.5, 0) \end{cases}$$

[0490] 即最终获得了第3次拍摄的右摄像机靶标图像中,5号编码平面靶标上编码号为10的平行四边形编码单元的4个标定角点的亚像素坐标、标定焦点唯一编码序号和在5号靶标坐标系下的靶标坐标的一一对应关系:

[0491] 标定角点 $C_{1,1}$  (934.6, 219.3) 对应的唯一编码序号为10\_1,其靶标坐标为(27, 40.5, 0);

[0492] 标定角点 $C_{1,2}$  (931.2, 249.1) 对应的唯一编码序号为7\_6,其靶标坐标为(27, 27, 0);

[0493] 标定角点 $C_{1,3}$  (868.3, 274.8) 对应的唯一编码序号为6\_1,其靶标坐标为(13.5, 27, 0);

[0494] 标定角点 $C_{1,4}$  (870.8, 214.8) 对应的唯一编码序号为10\_6,其靶标坐标为(13.5, 40.5, 0);

[0495] 步骤b25、将 $\zeta+1$ 赋值给 $\zeta$ ,然后重新返回步骤b7.1顺序执行。

[0496] 本发明提供了一种基于编码立体靶标的双目摄像机内外参数的快速标定方法,需要编制相应的计算机程序,并在计算机上执行程序以实现相应的运算处理及逻辑控制功能,因而本发明也提供一种计算机可读存储介质,包括与具有图像处理功能的电子设备结合使用的计算机程序,所述计算机程序可被处理器执行以所述的标定方法。

[0497] 以上所述仅为本发明的实施例,并非因此限制本发明的专利范围,凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其他相关的技术领域,均同理包括在本发明的专利保护范围内。



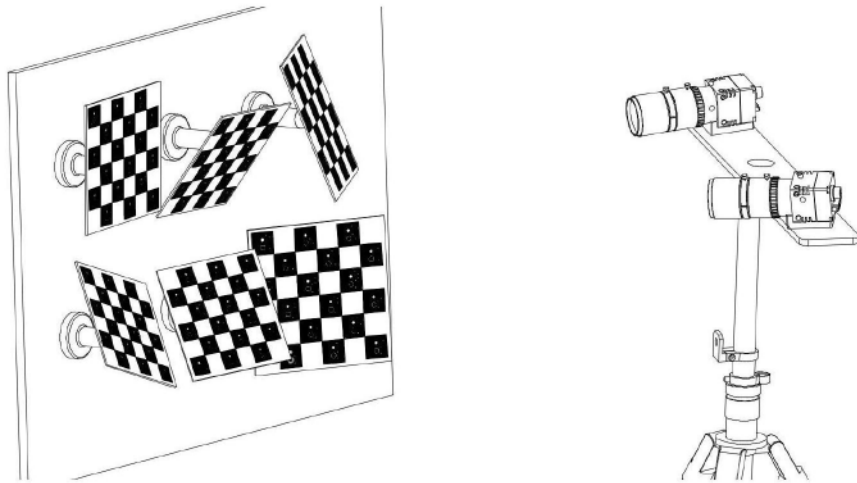


图1

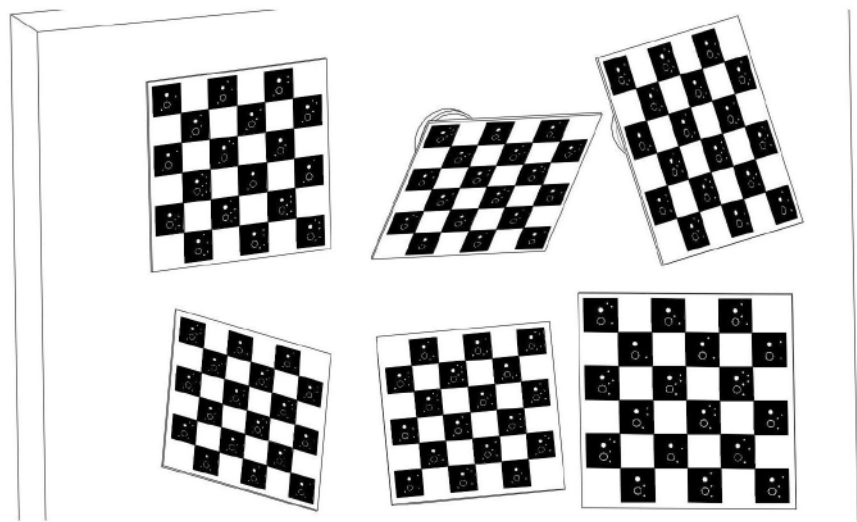


图2

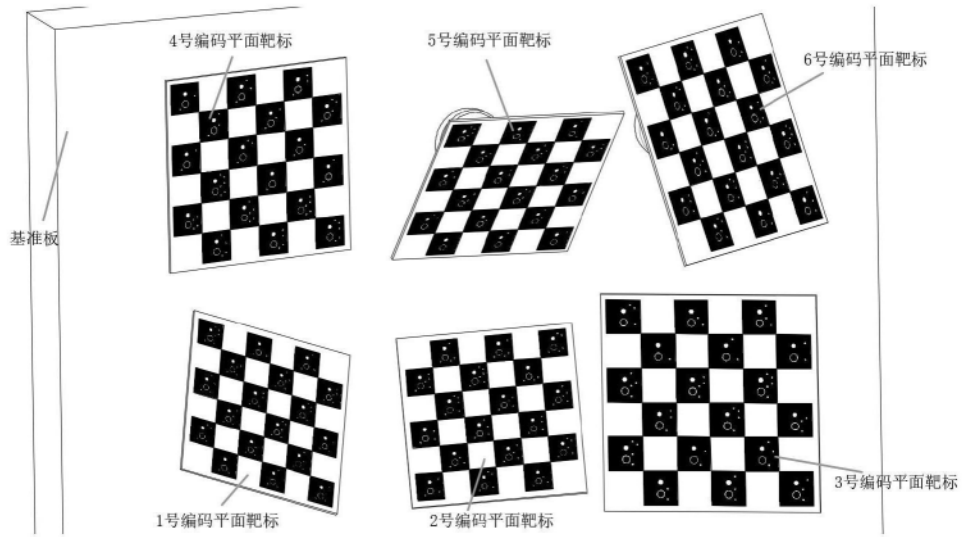


图3

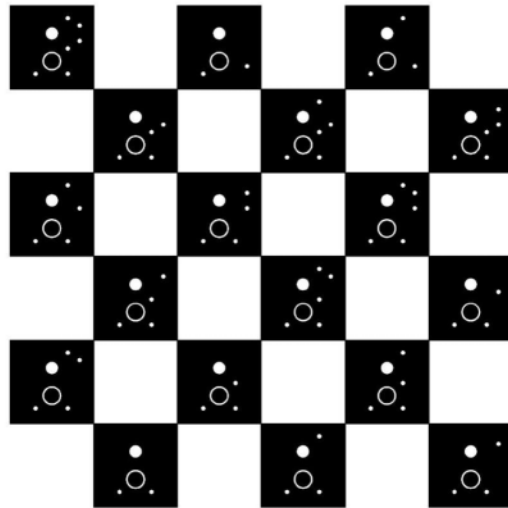


图4

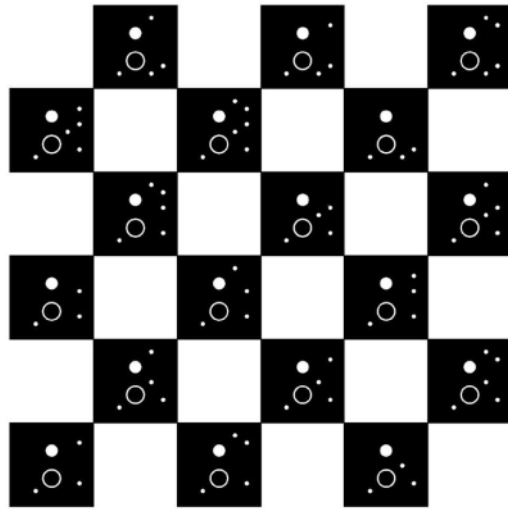


图5

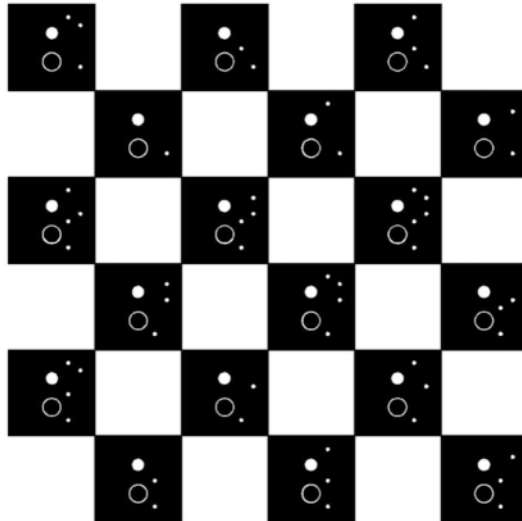


图6

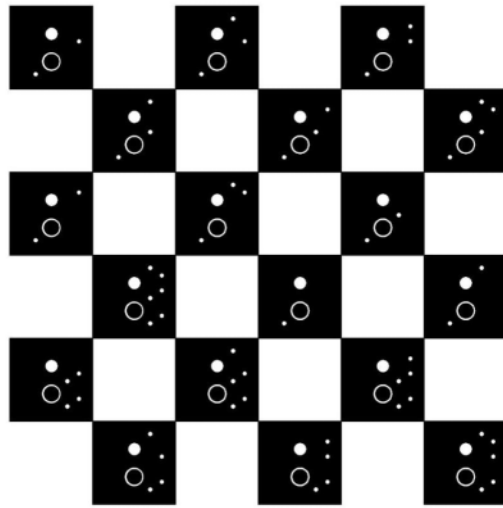


图7

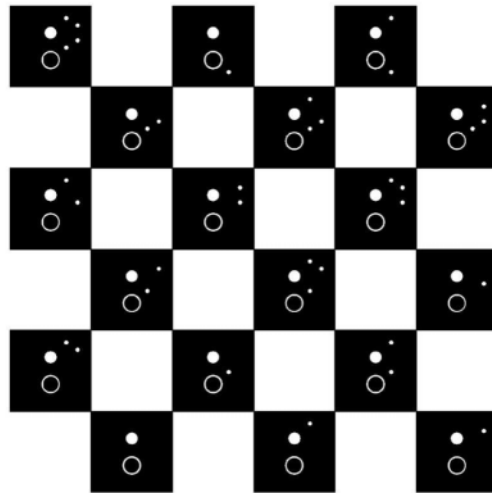


图8

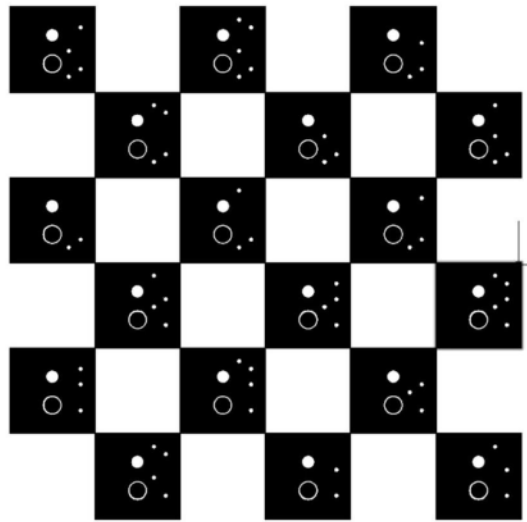


图9

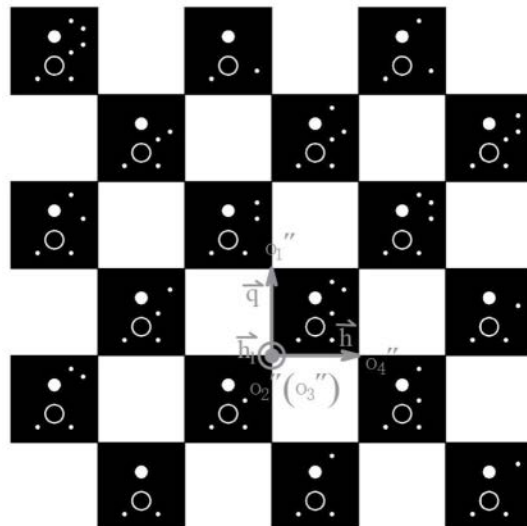


图10

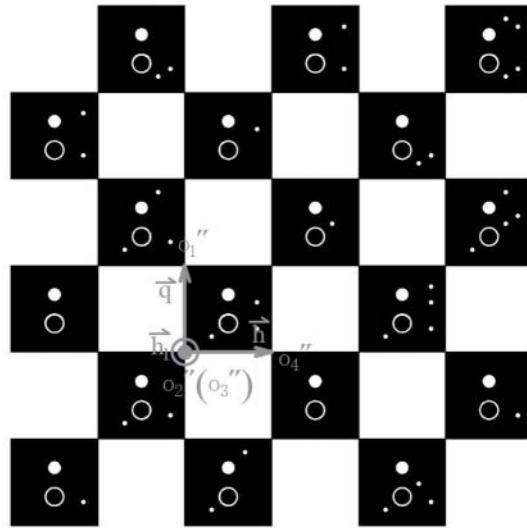


图11

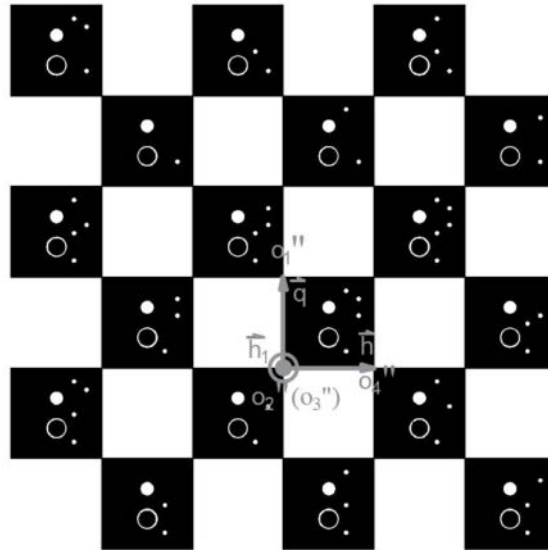


图12

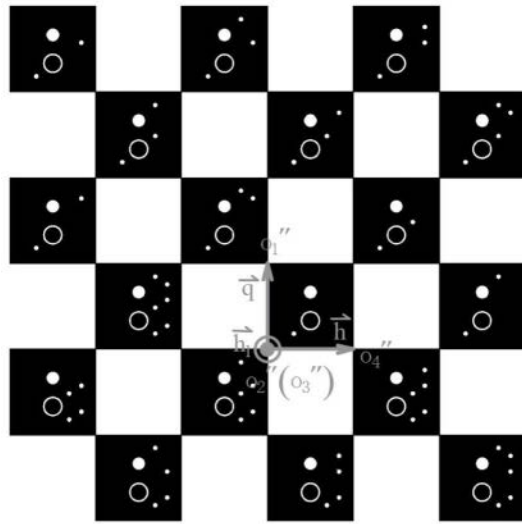


图13

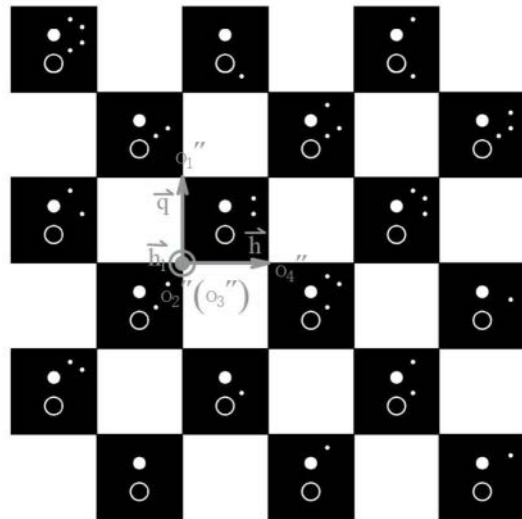


图14

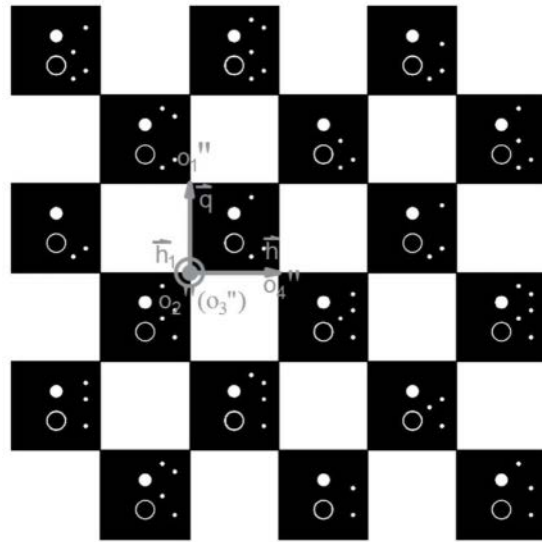


图15

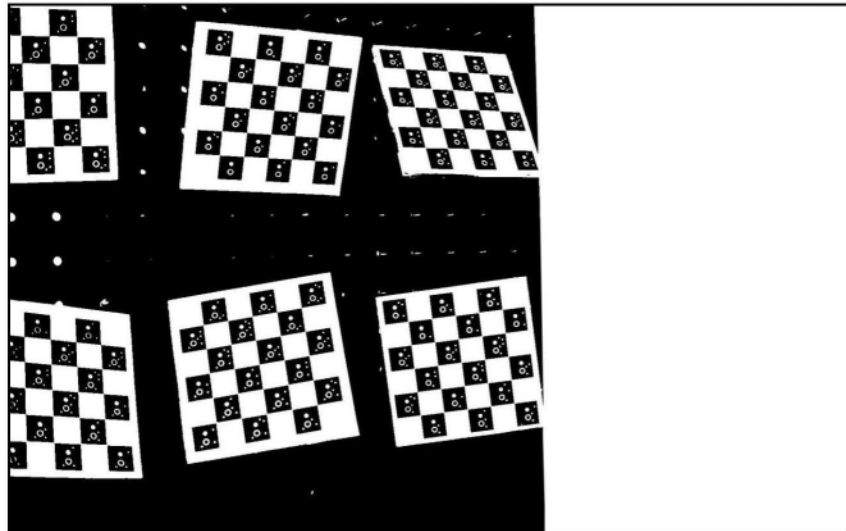


图16



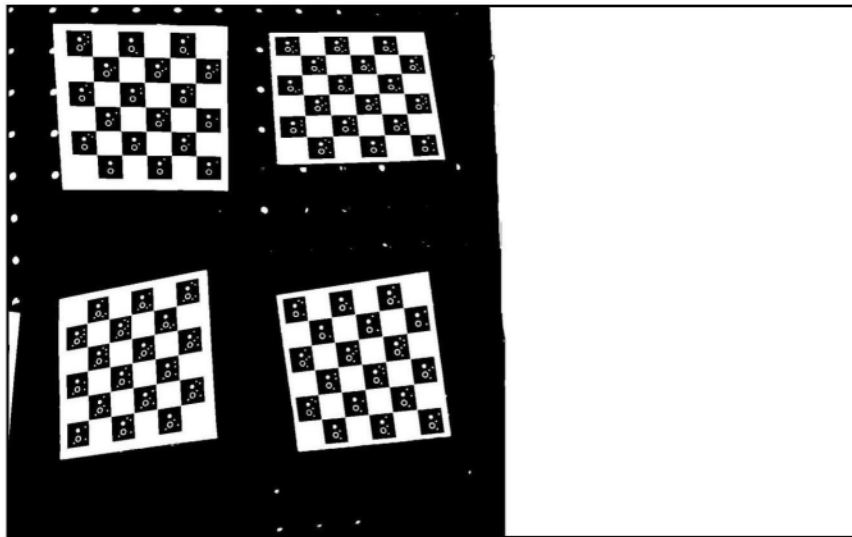


图17

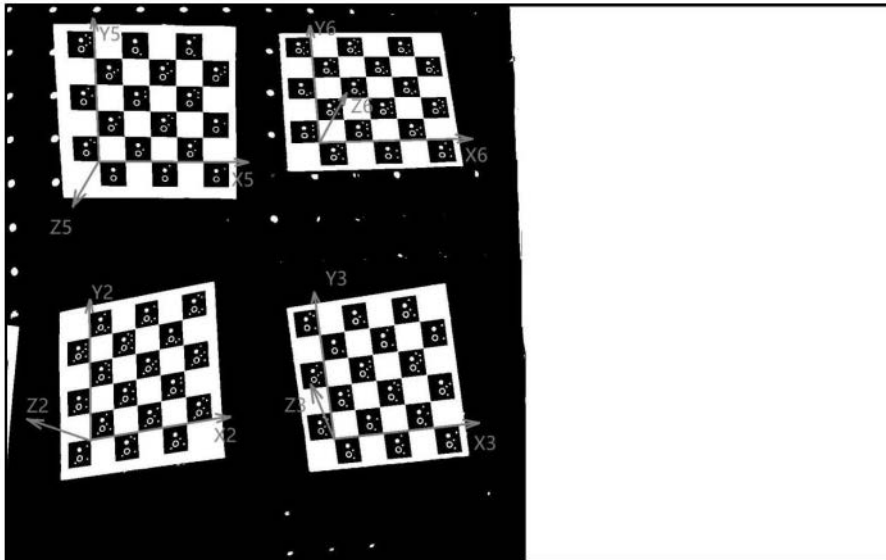


图18

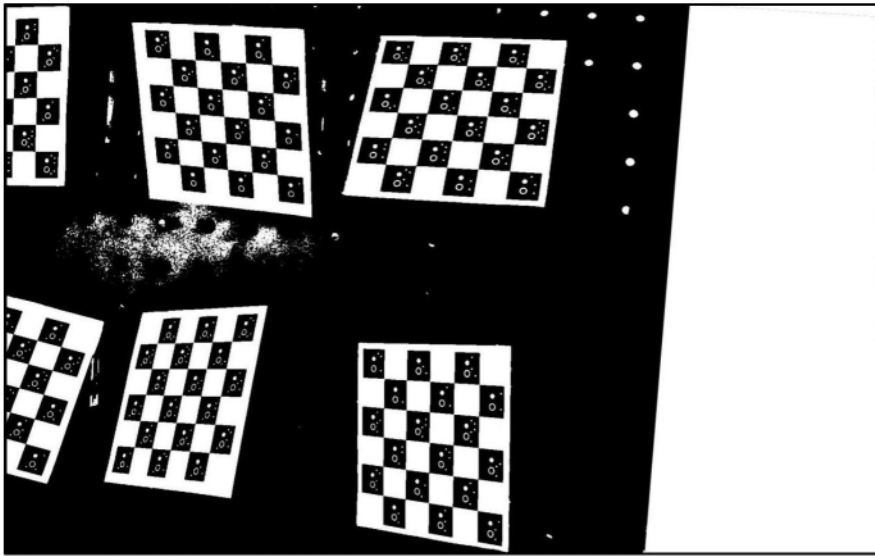


图19

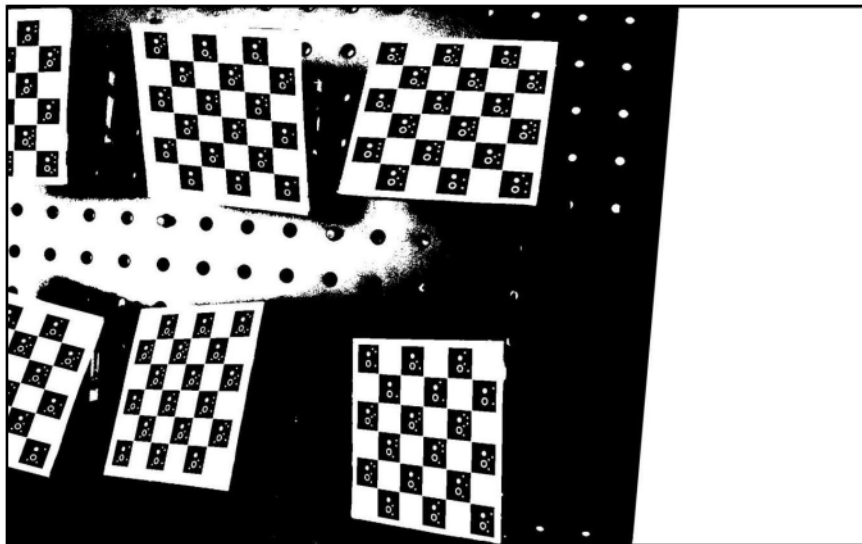


图20

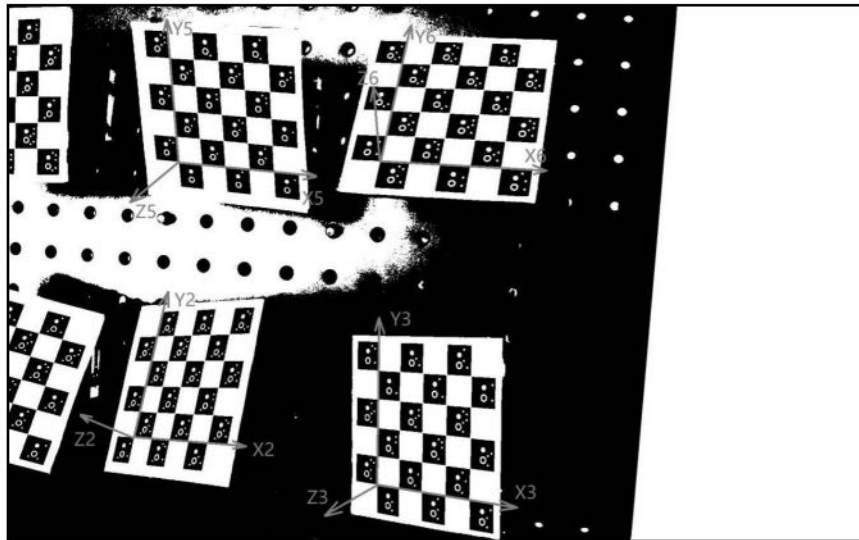


图21

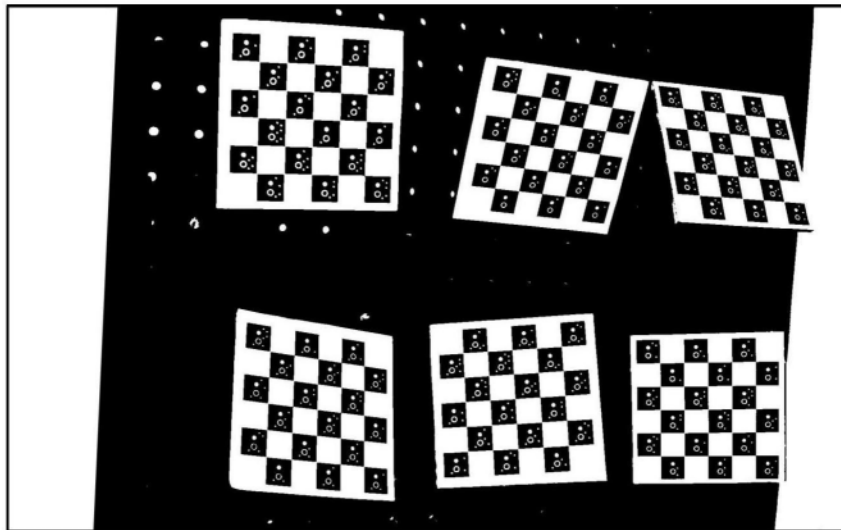


图22

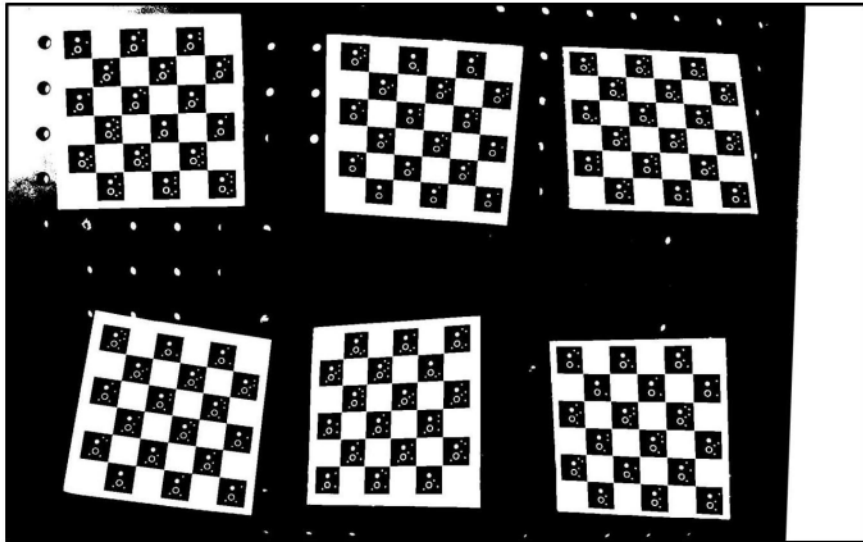


图23

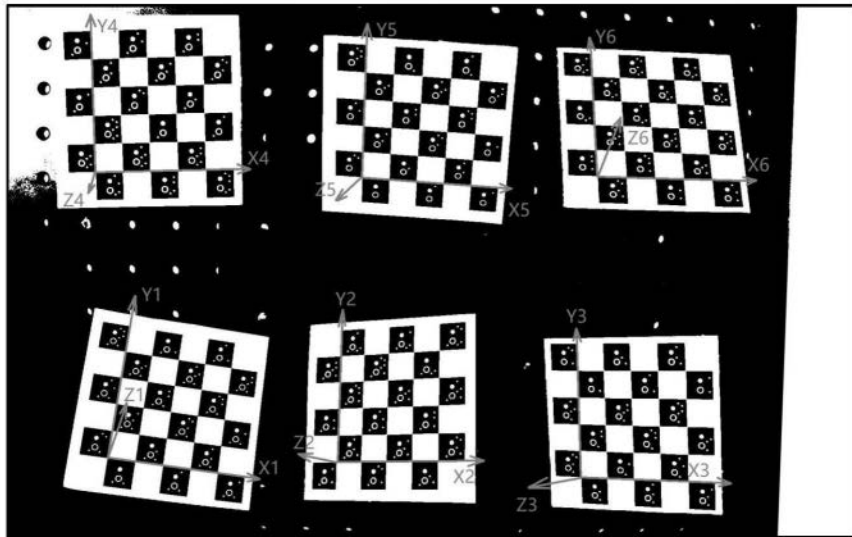


图24

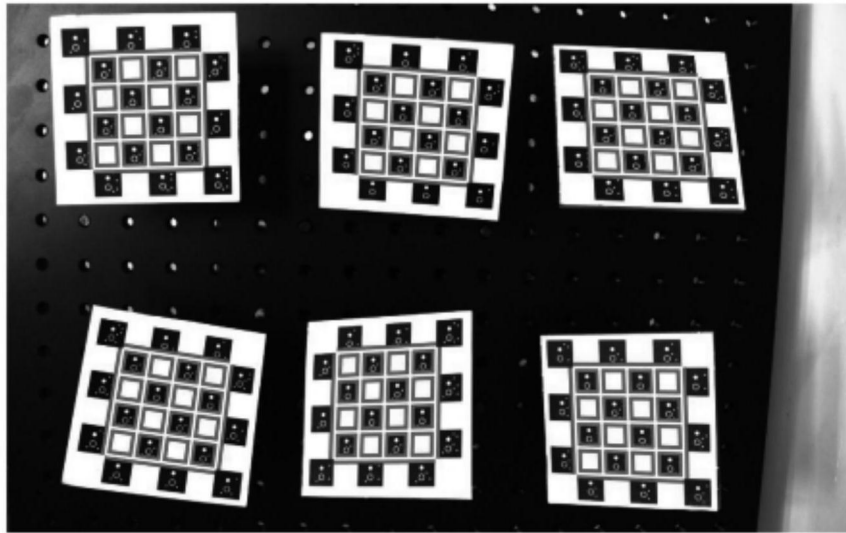


图25

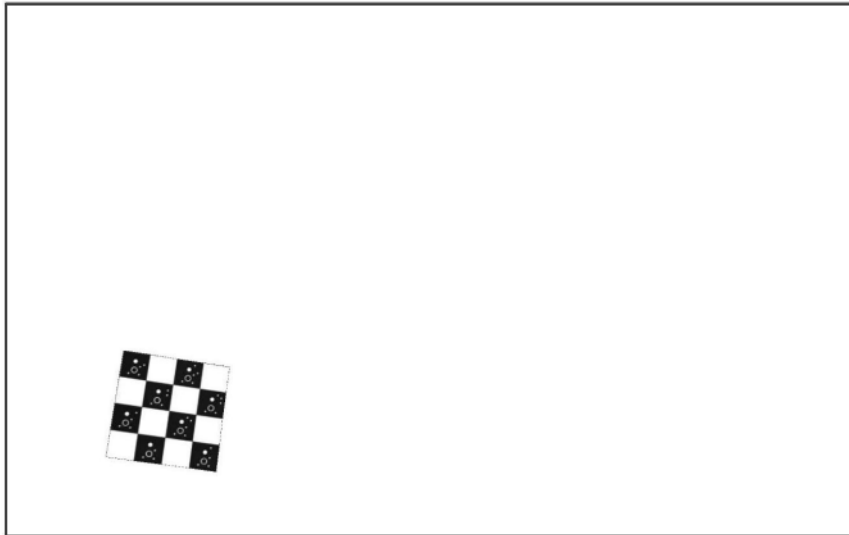


图26

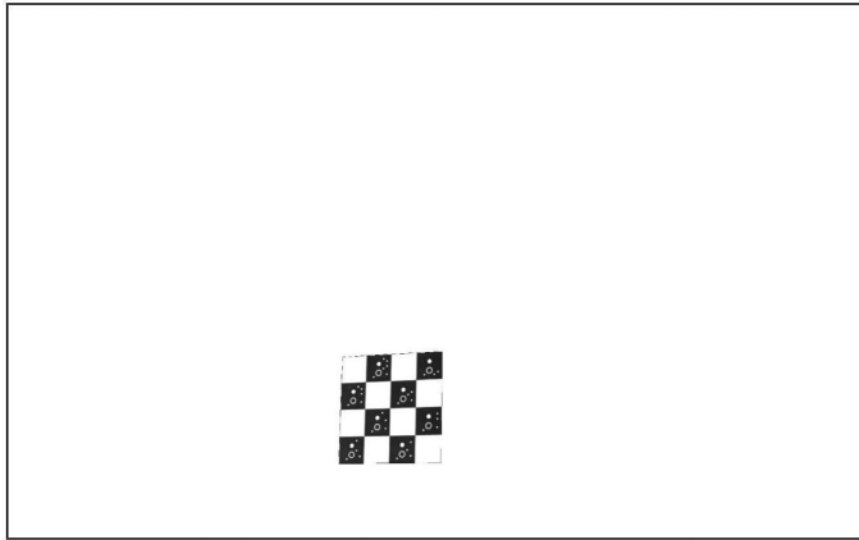


图27



图28

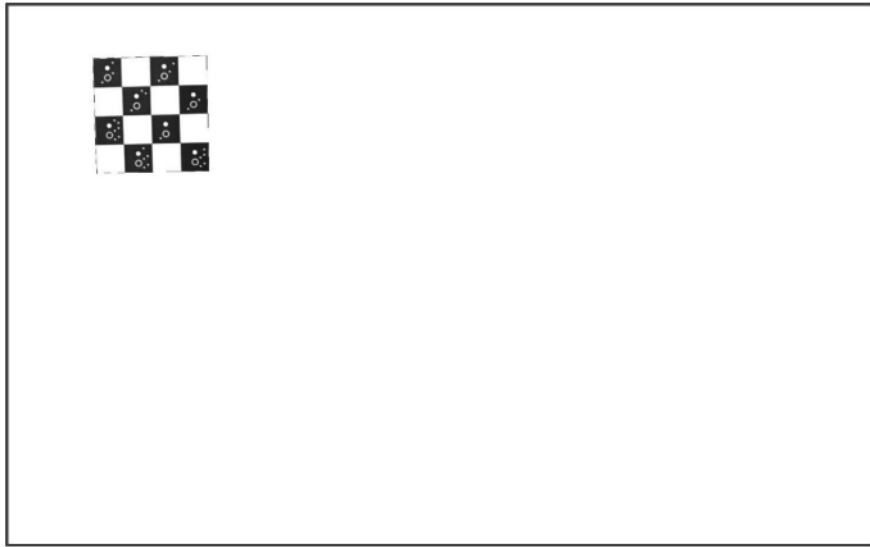


图29

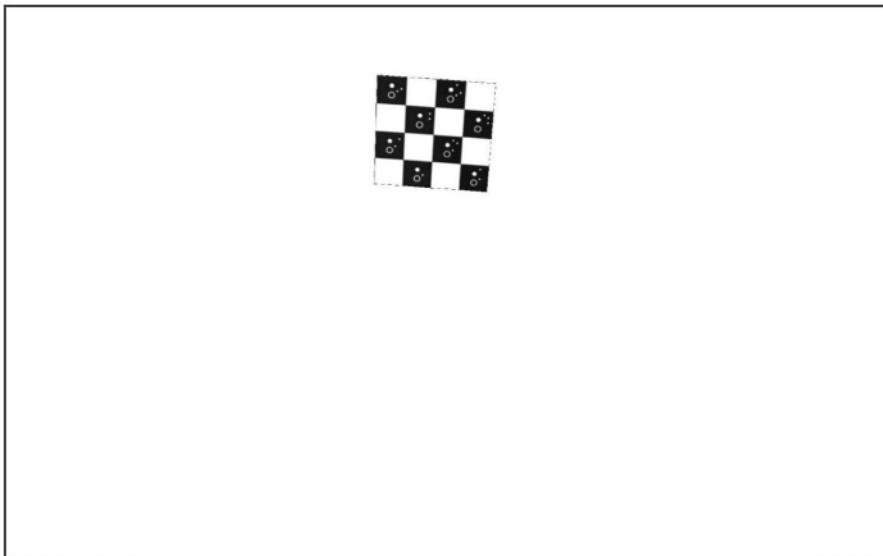


图30

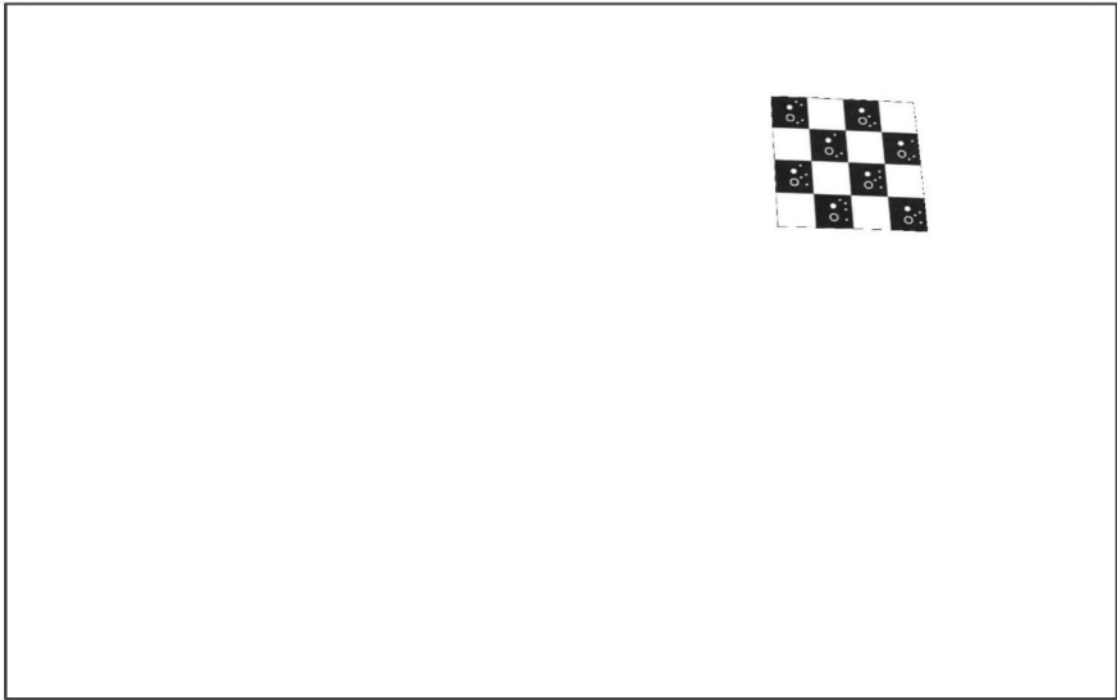


图31

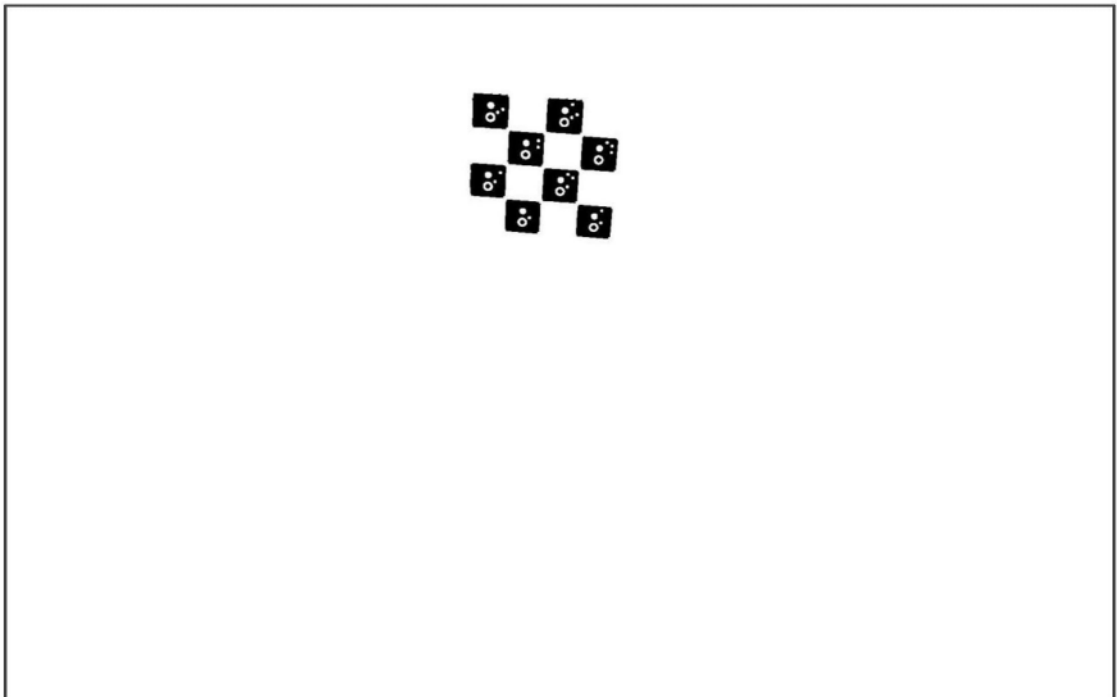


图32



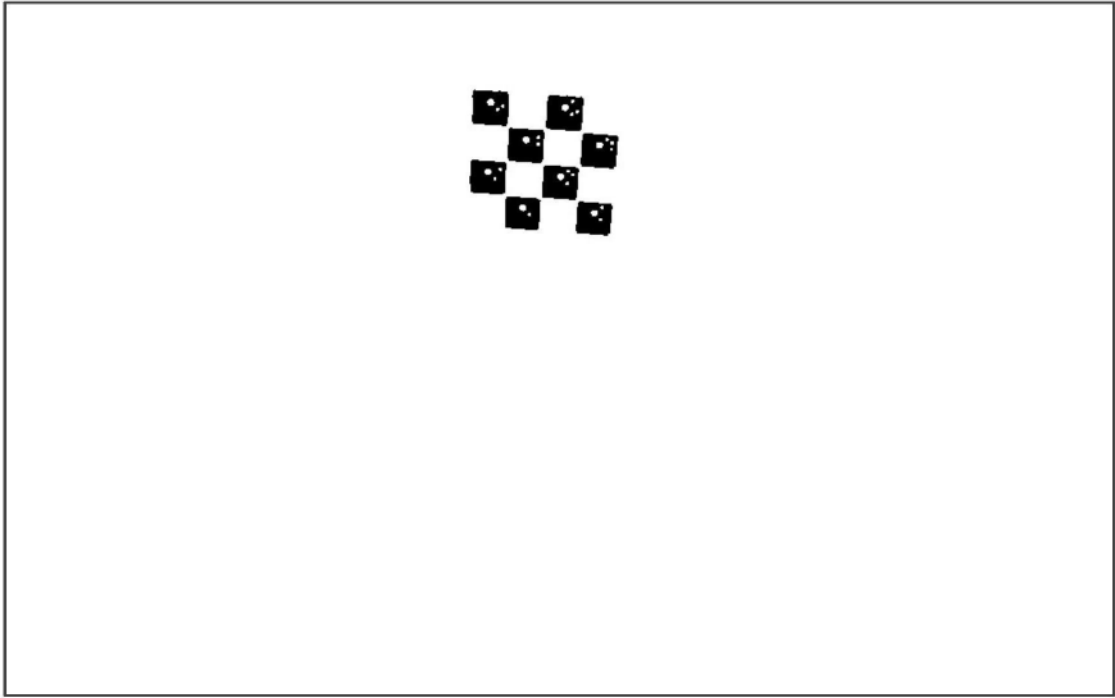


图33

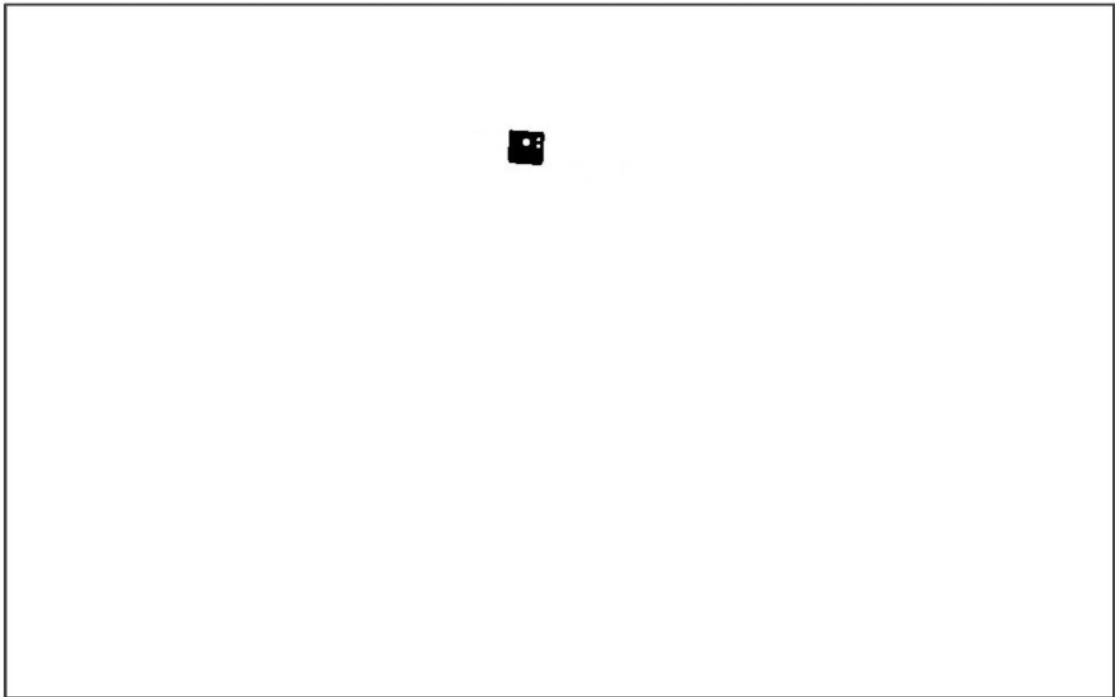


图34

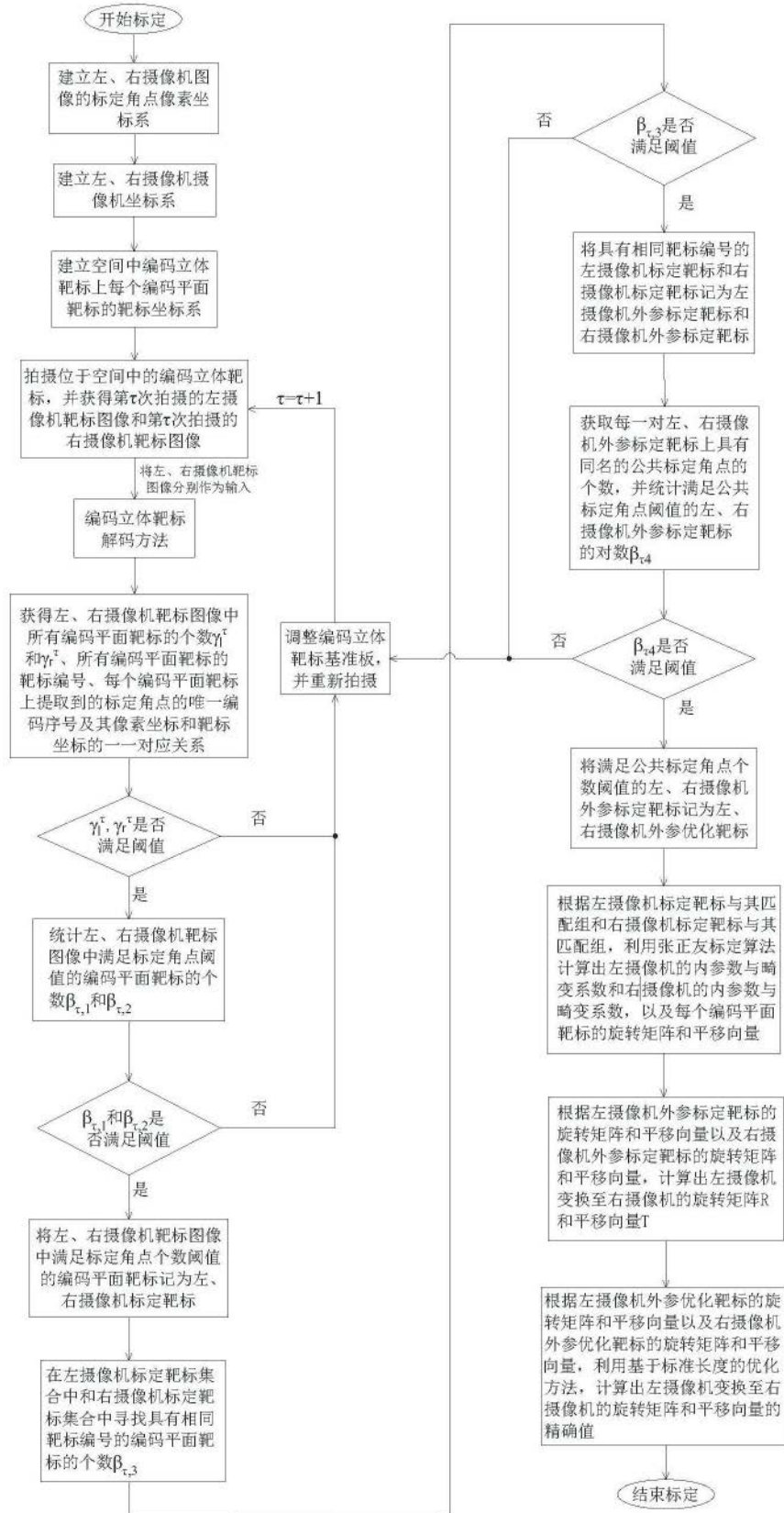


图35