



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104867160 B

(45)授权公告日 2017. 11. 07

(21)申请号 201510338316.6

(22)申请日 2015.06.17

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104867160 A

(43)申请公布日 2015.08.26

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

(72)发明人 卢荣胜 殷玉龙

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101

代理人 陆丽莉 何梅生

(51)Int. Cl.
G06T 7/80(2017.01)

(56)对比文件

CN 103234454 A,2013.08.07,
CN 102356633 A,2012.02.15,
CN 1801896 A,2006.07.12,
CN 102376089 A,2012.03.14,
CN 102175261 A,2011.09.07,
US 2012069193 A1,2012.03.22,
Fanxiu Chen 等.Full-field 3D
measurement using multi-camera digital
image correlation system.《Optics and
Lasers in Engineering》.2013,
Thorsten Siebert 等.High-speed
digital image correlation: error
estimations and applications.《Optical
Engineering》.2007,第45卷(第5期),

审查员 黄文琪

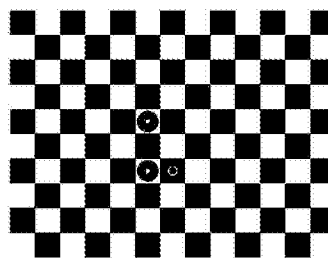
权利要求书4页 说明书12页 附图4页

(54)发明名称

一种用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标

(57)摘要

本发明公开了一种用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标,其特征包括由黑方格和白方格互相交替组成的棋盘格以及在棋盘格中央位置附近处设置的方向性标志图案,方向性标志图案为3个标志圆环或者为3个标志圆;以任意两个对角相连的黑方格的交点或任意两个对角相连的白方格的交点作为方向性标定靶标的特征角点,特征角点用于摄像机标定;方向性标志图案用于判断方向性标定靶标的旋转方向。本发明能在摄像机标定过程中计算机能够自动地判断出方向性标定靶标的旋转方向,提高摄像机标定的智能性和灵活性,降低标定的复杂性。



1. 一种基于方向性标定靶标的旋转方向判断方法,所述方向性标定靶标,包括:由黑方格和白方格互相交替组成的棋盘格以及在所述棋盘格中央位置附近处设置的方向性标志图案组成的;以任意两个对角相连的黑方格的交点或任意两个对角相连的白方格的交点作为所述方向性标定靶标的特征角点,所述特征角点用于摄像机标定;所述方向性标志图案是由3个小标志图组成;所述方向性标志图案用于判断所述方向性标定靶标的旋转方向;

所述棋盘格包含M行×N列个所述特征角点;M和N均为正整数;所述黑方格和白方格的边长均为W;W>0;

记所述3个小标志图分别为第一标志图、第二标志图和第三标志图,所述第一标志图、第二标志图和第三标志图分别位于所述黑方格的内部或白方格的内部;所述第一标志图的中心记为第一中心点 o_1 、所述第二标志图的中心记为第二中心点 o_2 、所述第三标志图的中心记为第三中心点 o_3 ;且所述第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和第三中心点 o_3 分别位于所述黑方格的中心位置处或白方格的中心位置处;在所述棋盘格中以所述第一中心点 o_1 作为直角顶点并由所述第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和第三中心点 o_3 构成直角三角形 $\Delta o_2o_1o_3$;所述第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 位于由所述黑方格或白方格所组成的行中,且所述第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 位于由所述黑方格或白方格所组成的列中,或者,所述第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 位于由所述黑方格或白方格所组成的列中,且所述第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 位于由所述黑方格或白方格所组成的行中;由所述第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 构成的直角边 $\overline{o_1o_2}$ 以及由第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 构成的直角边 $\overline{o_1o_3}$ 满足 $\overline{o_1o_2} > 0$ 且 $\overline{o_1o_3} > 0$ 且 $\overline{o_1o_2} \neq \overline{o_1o_3}$;其特征是,所述旋转方向判断方法按如下步骤进行:

步骤1、利用摄像机拍摄位于三维空间中的所述方向性标定靶标,从而获得靶标图像以及所述第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和所述第三中心点 o_3 在所述靶标图像中的第一像点 o_1' (x_1', y_1')、第二像点 o_2' (x_2', y_2')和第三像点 o_3' (x_3', y_3');

步骤2、建立特征角点像素坐标系:

以所述靶标图像的左上角为所述特征角点像素坐标系的原点 o ,自左向右为所述特征角点像素坐标系的x轴方向,自上向下为所述特征角点像素坐标系的y轴方向;从而建立所述特征角点像素坐标系 $o-xy$;

步骤3、以所述摄像机的光心作为摄像机坐标系的原点 O_c ;以所述特征角点像素坐标系的x轴方向作为所述摄像机坐标系的 X_c 轴方向;以所述特征角点像素坐标系的y轴方向作为所述摄像机坐标系的 Y_c 轴方向;所述摄像机坐标系的 X_c 轴、 Y_c 轴和 Z_c 轴满足右手定则,从而建立所述摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$;

步骤4、利用角点检测算法提取所述靶标图像内棋盘格上各个特征角点在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的像素坐标,从而获得所述靶标图像内棋盘格上所有特征角点的像素坐标集合;

步骤5、在所述像素坐标集合中选取坐标y分量最大的像素坐标作为第0行第0列像素坐标(x_{00}, y_{00}),所述第0行第0列像素坐标(x_{00}, y_{00})对应的特征角点记为第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$;

步骤6、在所述像素坐标集合中选取距离所述第0行第0列像素坐标(x_{00}, y_{00})最近的三个像素坐标,分别记为第一像素坐标(x_1, y_1)、第二像素坐标(x_2, y_2)和第三像素坐标(x_3, y_3),

所述第一像素坐标 (x_1, y_1) 对应的特征角点记为第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$, 所述第二像素坐标 (x_2, y_2) 对应的特征角点记为第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$, 所述第三像素坐标 (x_3, y_3) 对应的特征角点记为第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$, 其中, 所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 、第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$ 、第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$ 和第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$ 分别为4个互不相同的特征角点;

步骤7、所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 与所述第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$ 之间的倾斜度记为第一倾斜度 k_1 , 所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 与所述第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$ 之间的倾斜度记为第二倾斜度 k_2 , 所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 与所述第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$ 之间的倾斜度记为第三倾斜度 k_3 , 利用式 (1)、式 (2) 和式 (3) 分别计算所述第一倾斜度 k_1 、所述第二倾斜度 k_2 和所述第三倾斜度 k_3 :

$$k_1 = (x_1 - x_{00}) / (y_1 - y_{00}) \quad (1)$$

$$k_2 = (x_2 - x_{00}) / (y_2 - y_{00}) \quad (2)$$

$$k_3 = (x_3 - x_{00}) / (y_3 - y_{00}) \quad (3)$$

步骤8、选取所述第一倾斜度 k_1 、所述第二倾斜度 k_2 以及所述第三倾斜度 k_3 中最小值所对应的特征角点记为第0行第1列特征角点 $C_{01}(x_{01}, y_{01})$ 、最大值所对应的特征角点记为第1行第0列特征角点 $C_{10}(x_{10}, y_{10})$;

步骤9、利用式 (4) 和式 (5) 分别计算出行方向搜索向量 \vec{l}_0 和列方向搜索向量 \vec{l}_1 :

$$\vec{l}_0 = \overline{C_{00}C_{01}} = (x_{01} - x_{00}, y_{01} - y_{00}) \quad (4)$$

$$\vec{l}_1 = \overline{C_{00}C_{10}} = (x_{10} - x_{00}, y_{10} - y_{00}) \quad (5)$$

步骤10、定义变量 i 和变量 j ; i 和 j 均为整数; 建立特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$; 以及建立特征角点靶标坐标三维数组 $\text{wor}[M][N][3]$;

步骤11、初始化 $i=0$;

步骤12、初始化 $j=0$;

步骤13、将第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 的像素坐标 x 分量、像素坐标 y 分量分别存入所述特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$ 中的元素 $\text{cor}[i][j][0]$ 和元素 $\text{cor}[i][j][1]$ 中;

步骤14、以所述靶标图像内棋盘格上的第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 为搜索起点, 在所述行方向搜索向量 \vec{l}_0 的方向上搜索与所述第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 相距最近的第 i 行第 $j+1$ 列配对特征角点;

步骤15、若搜索到所述第 i 行第 $j+1$ 列配对特征角点, 则将所述第 i 行第 $j+1$ 列配对特征角点另记为第 i 行第 $j+1$ 列特征角点 $C_{i(j+1)}(x_{i(j+1)}, y_{i(j+1)})$, 并将所述第 i 行第 $j+1$ 列特征角点 $C_{i(j+1)}(x_{i(j+1)}, y_{i(j+1)})$ 的像素坐标 x 分量、像素坐标 y 分量分别存入所述特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$ 中的元素 $\text{cor}[i][j+1][0]$ 和元素 $\text{cor}[i][j+1][1]$ 中, 并将 $j+1$ 赋值给 j 后, 返回步骤14; 否则, 将 $j+1$ 赋值给靶标图像内棋盘格上特征角点的列数 N_1 , 执行步骤16;

步骤16、初始化 $j=0$;

步骤17、以所述第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 作为搜索起点, 在所述列方向搜索向量 \vec{l}_1 的方向上搜索与所述第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 相距最近的第 $i+1$ 行第 j 列配对特征角点;

步骤18、若搜索到所述第*i*+1行第*j*列配对特征角点,则将所述第*i*+1行第*j*列配对特征角点另记为第*i*+1行第*j*列特征角点 $C_{(i+1)j}(x_{(i+1)j}, y_{(i+1)j})$,并将所述第*i*+1行第*j*列特征角点 $C_{(i+1)j}(x_{(i+1)j}, y_{(i+1)j})$ 的像素坐标*x*分量、像素坐标*y*分量分别存入所述特征角点像素坐标三维数组 $cor[M][N][2]$ 中的元素 $cor[i+1][j][0]$ 和元素 $cor[i+1][j][1]$ 中,并将*i*+1赋值给*i*后,返回步骤14;否则,将*i*+1赋值给靶标图像内棋盘格上特征角点的行数 M_1 ,并执行步骤19;

步骤19、在所述棋盘格上选取与所述第一中心点 o_1 的空间距离、与第二中心点 o_2 的空间距离以及与第三中心点 o_3 的空间距离之和最小的特征角点作为靶标坐标系的原点 O_1 ;以所述第一中心点 o_1 和所述第三中心点 o_3 所构成的空间向量 $\overline{o_1o_3}$ 的方向作为所述靶标坐标系的 X_1 轴方向;以所述第一中心点 o_1 和所述第二中心点 o_2 所构成的空间向量 $\overline{o_1o_2}$ 的方向作为所述靶标坐标系的 Y_1 轴方向,所述靶标坐标系的 X_1 轴、 Y_1 轴和 Z_1 轴满足右手定则,从而建立所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$;

步骤20、对所述靶标图像上的3个小标志图进行定位和辨别,获得所述第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 、第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 和第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ 分别在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标;所述第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标记为第一像点像素坐标 (x_1', y_1') ,所述第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标记为第二像点像素坐标 (x_2', y_2') ,所述第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ 在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标记为第三像点像素坐标 (x_3', y_3') ;

步骤21、选取在所述特征角点像素坐标三维数组 $cor[M][N][2]$ 中存储的最近特征角点像素坐标 $(cor[m_0][n_0][0], cor[m_0][n_0][1])$;所述最近特征角点像素坐标 $(cor[m_0][n_0][0], cor[m_0][n_0][1])$ 与所述第一像点像素坐标的距离、与所述第二像点像素坐标的距离以及与所述第三像点像素坐标距离之和最小,并且所述最近特征角点像素坐标 $(cor[m_0][n_0][0], cor[m_0][n_0][1])$ 为所述靶标坐标系的原点 O_1 在所述靶标图像内所成像点的像素坐标; $0 \leq m_0 < M_1; 0 \leq n_0 < N_1; m_0$ 和 n_0 均为整数;

步骤22、利用式(6)和式(7)获得余弦值 $\cos\alpha$ 和 $\cos\beta$:

$$\cos\alpha = (\vec{l}_0 \cdot \vec{X}) / (|\vec{l}_0| \cdot |\vec{X}|) \quad (6)$$

$$\cos\beta = (\vec{l}_0 \cdot \vec{Y}) / (|\vec{l}_0| \cdot |\vec{Y}|) \quad (7)$$

式(6)和式(7)中, $\vec{X} = \overline{o_1'o_3'} = (x_3' - x_1', y_3' - y_1')$ 和 $\vec{Y} = \overline{o_1'o_2'} = (x_2' - x_1', y_2' - y_1')$;

步骤23、根据所述余弦值 $\cos\alpha$ 和 $\cos\beta$,并且判断向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 和向量组 (\vec{X}, \vec{Y}) 之间的关系,从而获得所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(cor[p][q][0], cor[p][q][1])$ 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 $(wor[p][q][0], wor[p][q][1], wor[p][q][2])$ 并依次存入所述特征角点靶标坐标三维数组 $wor[M][N][3]$ 中; $0 \leq p < M_1; 0 \leq q < N_1; p$ 和 q 均为整数,从而获得所述特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系;

步骤24、根据所述特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系,利用平面靶标空间姿态估算算法获得从所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 变换到所述摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ 的

旋转矩阵R和平移矩阵T,从而实现所述方向性标定靶标的旋转方向判断。

2. 根据权利要求1所述的方向性标定靶标的旋转方向判断方法,其特征是,所述步骤23中是按如下情况进行判断,从而获得所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标($cor[p][q][0], cor[p][q][1]$)在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标($wor[p][q][0], wor[p][q][1], wor[p][q][2]$):

若 $|\cos\alpha| > |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{X} > 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{Y} > 0$,则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标($cor[p][q][0], cor[p][q][1]$)在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标($wor[p][q][0], wor[p][q][1], wor[p][q][2]$)分别为 $wor[p][q][0] = W \times (q-n_0)$, $wor[p][q][1] = W \times (p-m_0)$, $wor[p][q][2] = 0$;

若 $|\cos\alpha| > |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{X} < 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{Y} < 0$,则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标($cor[p][q][0], cor[p][q][1]$)在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标($wor[p][q][0], wor[p][q][1], wor[p][q][2]$)分别为 $wor[p][q][0] = W \times (n_0-q)$, $wor[p][q][1] = W \times (m_0-p)$, $wor[p][q][2] = 0$;

若 $|\cos\alpha| < |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{Y} < 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{X} > 0$,则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标($cor[p][q][0], cor[p][q][1]$)在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标($wor[p][q][0], wor[p][q][1], wor[p][q][2]$)分别为 $wor[p][q][0] = W \times (p-m_0)$, $wor[p][q][1] = W \times (n_0-q)$, $wor[p][q][2] = 0$;

若 $|\cos\alpha| < |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{Y} > 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{X} < 0$,则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标($cor[p][q][0], cor[p][q][1]$)在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标($wor[p][q][0], wor[p][q][1], wor[p][q][2]$)分别为 $wor[p][q][0] = W \times (m_0-p)$, $wor[p][q][1] = W \times (q-n_0)$, $wor[p][q][2] = 0$ 。

3. 根据权利要求1所述的方向性标定靶标的旋转方向判断方法,其特征是,所述步骤24中利用平面靶标空间姿态估算算法获得从所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 变换到所述摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ 的旋转矩阵R和平移矩阵T是按如下步骤进行:

步骤24.1、将所述第一标志图所在的白方格上的四个特征角点分别记为第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' ;并获得所述第一方向标志点 O_1' 、所述第二方向标志点 O_2' 、所述第三方向标志点 O_3' 和所述第四方向标志点 O_4' 分别在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 上的靶标坐标;

步骤24.2、利用所述特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系,获得所述第一方向标志点 O_1' 、所述第二方向标志点 O_2' 、所述第三方向标志点 O_3' 和所述第四方向标志点 O_4' 分别在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下所一一对应的像素坐标;

步骤24.3、所述第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' 分别在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 上的靶标坐标和与其对应的像素坐标分别代入平面靶标空间姿态估算算法中,从而获得所述旋转矩阵R和平移矩阵T。

一种用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标

技术领域

[0001] 本发明涉及计算机视觉中摄像机标定领域,可用于单目摄像机标定、双目立体视觉系统标定等等,具体地说是一种用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标。

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,计算机视觉技术的根本问题是摄像机标定,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] 通常情况下,不同的摄像机标定方法都需要借助不同种类的标定靶标,例如,1986年Roger Tsai提出了基于径向约束的摄像机标定算法,该标定算法需要借助3D立体标定靶标,3D立体标定靶标体积大、不易在空间中移动,因此3D立体标定靶标使得标定过程不灵活;1999年前后,微软研究院的张正友(Z.Y Zhang)提出了基于平面靶标的摄像机标定算法,该标定算法使用了无方向信息的平面靶标,虽然无方向信息的平面靶标使得标定过程变得灵活,但是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,但实际应用中往往需要判断平面靶标的旋转方向,例如,进行双目摄像机标定时,双目摄像机系统需要同时拍摄空间中同一个平面靶标,此时需要判断出平面靶标的旋转方向,由此建立相对于平面靶标的位置固定不变的靶标坐标系,双目摄像机系统中的左、右摄像机拥有共同的靶标坐标系,以靶标坐标系作为变换中介,便可计算出左、右摄像机之间的空间位置关系。

发明内容

[0004] 本发明是为了克服现有技术存在的不足之处,提供一种用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标,以期在摄像机标定过程中计算机能够自动地判断出方向性标定靶标的旋转方向,提高摄像机标定的智能性和灵活性,降低标定的复杂性。

[0005] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案为:

[0006] 本发明一种用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标的特点包括:由黑方格和白方格互相交替组成的棋盘格以及在所述棋盘格中央位置附近处设置的方向性标志图案组成的;以任意两个对角相连的黑方格的交点或任意两个对角相连的白方格的交点作为所述方向性标定靶标的特征角点,所述特征角点用于摄像机标定;所述方向性标志图案是由3个小标志图组成;所述方向性标志图案用于判断所述方向性标定靶标的旋转方向;

[0007] 所述棋盘格包含M行 \times N列个所述特征角点;M和N均为正整数;所述黑方格和白方格的边长均为W;W>0;

[0008] 记所述3个小标志图分别为第一标志图、第二标志图和第三标志图,所述第一标志图、第二标志图和第三标志图分别位于所述黑方格的内部或白方格的内部;所述第一标志图的中心记为第一中心点 o_1 、所述第二标志图的中心记为第二中心点 o_2 、所述第三标志图的中心记为第三中心点 o_3 ;且所述第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和第三中心点 o_3 分别位于所述黑方格的中心位置处或白方格的中心位置处;在所述棋盘格中以所述第一中心点 o_1 作为直

角顶点并由所述第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和第三中心点 o_3 构成直角三角形 $\Delta o_2o_1o_3$ ；所述第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 位于由所述黑方格或白方格所组成的行中，且所述第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 位于由所述黑方格或白方格所组成的列中，或者，所述第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 位于由所述黑方格或白方格所组成的列中，且所述第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 位于由所述黑方格或白方格所组成的行中；由所述第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 构成的直角边 $\overline{o_1o_2}$ 以及由第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 构成的直角边 $\overline{o_1o_3}$ 满足 $\overline{o_1o_2} > 0$ 且 $\overline{o_1o_3} > 0$ 且 $\overline{o_1o_2} \neq \overline{o_1o_3}$ 。

[0009] 本发明所述的用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标的特点也在于，

[0010] 所述第一标志图为黑色图案、所述第二标志图为黑色图案、所述第三标志图为白色图案；且所述第一标志图位于所述白方格的内部、所述第二标志图位于所述白方格的内部、所述第三标志图位于所述黑方格的内部。

[0011] 所述3个小标志图为3个标志圆环或者所述3个小标志图为3个标志圆。

[0012] 一种基于方向性标定靶标的旋转方向判断方法的特点是按如下步骤进行：

[0013] 步骤1、利用摄像机拍摄位于三维空间中的所述方向性标定靶标，从而获得靶标图像以及所述第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和所述第三中心点 o_3 在所述靶标图像中的第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 、第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 和第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ ；

[0014] 步骤2、建立特征角点像素坐标系：

[0015] 以所述靶标图像的左上角为所述特征角点像素坐标系的原点 o ，自左向右为所述特征角点像素坐标系的 x 轴方向，自上向下为所述特征角点像素坐标系的 y 轴方向；从而建立所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ ；

[0016] 步骤3、以所述摄像机的光心作为摄像机坐标系的原点 O_c ；以所述特征角点像素坐标系的 x 轴方向作为所述摄像机坐标系的 X_c 轴方向；以所述特征角点像素坐标系的 y 轴方向作为所述摄像机坐标系的 Y_c 轴方向；所述摄像机坐标系的 X_c 轴、 Y_c 轴和 Z_c 轴满足右手定则，从而建立所述摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ ；

[0017] 步骤4、利用角点检测算法提取所述靶标图像内棋盘格上各个特征角点在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的像素坐标，从而获得所述靶标图像内棋盘格上所有特征角点的像素坐标集合；

[0018] 步骤5、在所述像素坐标集合中选取坐标 y 分量最大的像素坐标作为第0行第0列像素坐标 (x_{00}, y_{00}) ，所述第0行第0列像素坐标 (x_{00}, y_{00}) 对应的特征角点记为第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ ；

[0019] 步骤6、在所述像素坐标集合中选取距离所述第0行第0列像素坐标 (x_{00}, y_{00}) 最近的三个像素坐标，分别记为第一像素坐标 (x_1, y_1) 、第二像素坐标 (x_2, y_2) 和第三像素坐标 (x_3, y_3) ，所述第一像素坐标 (x_1, y_1) 对应的特征角点记为第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$ ，所述第二像素坐标 (x_2, y_2) 对应的特征角点记为第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$ ，所述第三像素坐标 (x_3, y_3) 对应的特征角点记为第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$ ，其中，所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 、第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$ 、第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$ 和第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$ 分别为4个互不相同的特征角点；

[0020] 步骤7、所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 与所述第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$ 之间

的倾斜度记为第一倾斜度 k_1 ,所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00},y_{00})$ 与所述第二特征角点 $C_2(x_2,y_2)$ 之间的倾斜度记为第二倾斜度 k_2 ,所述第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00},y_{00})$ 与所述第三特征角点 $C_3(x_3,y_3)$ 之间的倾斜度记为第三倾斜度 k_3 ,利用式(1)、式(2)和式(3)分别计算所述第一倾斜度 k_1 、所述第二倾斜度 k_2 和所述第三倾斜度 k_3 :

$$[0021] \quad k_1 = (x_1 - x_{00}) / (y_1 - y_{00}) \quad (1)$$

$$[0022] \quad k_2 = (x_2 - x_{00}) / (y_2 - y_{00}) \quad (2)$$

$$[0023] \quad k_3 = (x_3 - x_{00}) / (y_3 - y_{00}) \quad (3)$$

[0024] 步骤8、选取所述第一倾斜度 k_1 、所述第二倾斜度 k_2 以及所述第三倾斜度 k_3 中最小值所对应的特征角点记为第0行第1列特征角点 $C_{01}(x_{01},y_{01})$ 、最大值所对应的特征角点记为第1行第0列特征角点 $C_{10}(x_{10},y_{10})$;

[0025] 步骤9、利用式(4)和式(5)分别计算出行方向搜索向量 \vec{l}_0 和列方向搜索向量 \vec{l}_1 :

$$[0026] \quad \vec{l}_0 = \overline{C_{00}C_{01}} = (x_{01} - x_{00}, y_{01} - y_{00}) \quad (4)$$

$$[0027] \quad \vec{l}_1 = \overline{C_{00}C_{10}} = (x_{10} - x_{00}, y_{10} - y_{00}) \quad (5)$$

[0028] 步骤10、定义变量 i 和变量 j ; i 和 j 均为整数;建立特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$;以及建立特征角点靶标坐标三维数组 $\text{wor}[M][N][3]$;

[0029] 步骤11、初始化 $i=0$;

[0030] 步骤12、初始化 $j=0$;

[0031] 步骤13、将所述第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij},y_{ij})$ 的像素坐标 x 分量、像素坐标 y 分量分别存入所述特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$ 中的元素 $\text{cor}[i][j][0]$ 和元素 $\text{cor}[i][j][1]$ 中;

[0032] 步骤14、以所述靶标图像内棋盘格上的第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij},y_{ij})$ 为搜索起点,在所述行方向搜索向量 \vec{l}_0 的方向上搜索与所述第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij},y_{ij})$ 相距最近的第 i 行第 $j+1$ 列配对特征角点;

[0033] 步骤15、若搜索到所述第 i 行第 $j+1$ 列配对特征角点,则将所述第 i 行第 $j+1$ 列配对特征角点另记为第 i 行第 $j+1$ 列特征角点 $C_{i(j+1)}(x_{i(j+1)},y_{i(j+1)})$,并将所述第 i 行第 $j+1$ 列特征角点 $C_{i(j+1)}(x_{i(j+1)},y_{i(j+1)})$ 的像素坐标 x 分量、像素坐标 y 分量分别存入所述特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$ 中的元素 $\text{cor}[i][j+1][0]$ 和元素 $\text{cor}[i][j+1][1]$ 中,并将 $j+1$ 赋值给 j 后,返回步骤14;否则,将 $j+1$ 赋值给靶标图像内棋盘格上特征角点的列数 N_1 ,执行步骤16;

[0034] 步骤16、初始化 $j=0$;

[0035] 步骤17、以所述第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij},y_{ij})$ 作为搜索起点,在所述列方向搜索向量 \vec{l}_1 的方向上搜索与所述第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij},y_{ij})$ 相距最近的第 $i+1$ 行第 j 列配对特征角点;

[0036] 步骤18、若搜索到所述第 $i+1$ 行第 j 列配对特征角点,则将所述第 $i+1$ 行第 j 列配对特征角点另记为第 $i+1$ 行第 j 列特征角点 $C_{(i+1)j}(x_{(i+1)j},y_{(i+1)j})$,并将所述第 $i+1$ 行第 j 列特征角点 $C_{(i+1)j}(x_{(i+1)j},y_{(i+1)j})$ 的像素坐标 x 分量、像素坐标 y 分量分别存入所述特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$ 中的元素 $\text{cor}[i+1][j][0]$ 和元素 $\text{cor}[i+1][j][1]$ 中,并将 $i+1$ 赋

值给i后,返回步骤14;否则,将i+1赋值给靶标图像内棋盘格上特征角点的行数 M_1 ,并执行步骤19;

[0037] 步骤19、在所述棋盘格上选取与所述第一中心点 o_1 的空间距离、与第二中心点 o_2 的空间距离以及与第三中心点 o_3 的空间距离之和最小的特征角点作为所述靶标坐标系的原点 O_1 ;以所述第一中心点 o_1 和所述第三中心点 o_3 所构成的空间向量 $\overline{o_1o_3}$ 的方向作为所述靶标坐标系的 X_1 轴方向;以所述第一中心点 o_1 和所述第二中心点 o_2 所构成的空间向量 $\overline{o_1o_2}$ 的方向作为所述靶标坐标系的 Y_1 轴方向,所述靶标坐标系的 X_1 轴、 Y_1 轴和 Z_1 轴满足右手定则,从而建立所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$;

[0038] 步骤20、对所述靶标图像上的3个小标志图进行定位和辨别,获得所述第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 、第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 和第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ 分别在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标;所述第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标标记为第一像点像素坐标 (x_1', y_1') ,所述第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标标记为第二像点像素坐标 (x_2', y_2') ,所述第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ 在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标标记为第三像点像素坐标 (x_3', y_3') ;

[0039] 步骤21、选取在所述特征角点像素坐标三维数组 $cor[M][N][2]$ 中存储的最近特征角点像素坐标 $(cor[m_0][n_0][0], cor[m_0][n_0][1])$;所述最近特征角点像素坐标 $(cor[m_0][n_0][0], cor[m_0][n_0][1])$ 与所述第一像点像素坐标的距离、与所述第二像点像素坐标的距离以及与所述第三像点像素坐标距离之和最小,并且所述最近特征角点像素坐标 $(cor[m_0][n_0][0], cor[m_0][n_0][1])$ 为所述靶标坐标系的原点 O_1 在所述靶标图像内所成像点的像素坐标; $0 \leq m_0 < M_1$; $0 \leq n_0 < N_1$; m_0 和 n_0 均为整数;

[0040] 步骤22、利用式(6)和式(7)获得余弦值 $\cos\alpha$ 和 $\cos\beta$:

$$[0041] \quad \cos\alpha = (\vec{l}_0 \cdot \vec{X}) / (|\vec{l}_0| \cdot |\vec{X}|) \quad (6)$$

$$[0042] \quad \cos\beta = (\vec{l}_0 \cdot \vec{Y}) / (|\vec{l}_0| \cdot |\vec{Y}|) \quad (7)$$

[0043] 式(6)和式(7)中, $\vec{X} = \overline{o_1'o_3'} = (x_3' - x_1', y_3' - y_1')$ 和 $\vec{Y} = \overline{o_1'o_2'} = (x_2' - x_1', y_2' - y_1')$;

[0044] 步骤23、根据所述余弦值 $\cos\alpha$ 和 $\cos\beta$,并且判断向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 和向量组 (\vec{X}, \vec{Y}) 之间的关系,从而获得所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(cor[p][q][0], cor[p][q][1])$ 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 $(wor[p][q][0], wor[p][q][1], wor[p][q][2])$ 并依次存入所述特征角点靶标坐标三维数组 $wor[M][N][3]$ 中; $0 \leq p < M_1$; $0 \leq q < N_1$; p 和 q 均为整数,从而获得所述特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系;

[0045] 步骤24、根据所述特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系,利用平面靶标空间姿态估算算法获得从所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 变换到所述摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ 的旋转矩阵 R 和平移矩阵 T ,从而实现所述方向性标定靶标的旋转方向判断。

[0046] 本发明一种基于方向性标定靶标的旋转方向判断方法的特点也是在于:

[0047] 所述步骤23中是按如下情况进行判断,从而获得所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(cor[p][q][0], cor[p][q][1])$ 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的

靶标坐标 (wor [p] [q] [0], wor [p] [q] [1], wor [p] [q] [2]) :

[0048] 若 $|\cos\alpha| > |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{X} > 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{Y} > 0$, 则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 (cor [p] [q] [0], cor [p] [q] [1]) 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 (wor [p] [q] [0], wor [p] [q] [1], wor [p] [q] [2]) 分别为 $\text{wor [p] [q] [0]} = W \times (q - n_0)$, $\text{wor [p] [q] [1]} = W \times (p - m_0)$, $\text{wor [p] [q] [2]} = 0$;

[0049] 若 $|\cos\alpha| > |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{X} < 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{Y} < 0$, 则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 (cor [p] [q] [0], cor [p] [q] [1]) 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 (wor [p] [q] [0], wor [p] [q] [1], wor [p] [q] [2]) 分别为 $\text{wor [p] [q] [0]} = W \times (n_0 - q)$, $\text{wor [p] [q] [1]} = W \times (m_0 - p)$, $\text{wor [p] [q] [2]} = 0$;

[0050] 若 $|\cos\alpha| < |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{Y} < 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{X} > 0$, 则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 (cor [p] [q] [0], cor [p] [q] [1]) 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 (wor [p] [q] [0], wor [p] [q] [1], wor [p] [q] [2]) 分别为 $\text{wor [p] [q] [0]} = W \times (p - m_0)$, $\text{wor [p] [q] [1]} = W \times (n_0 - q)$, $\text{wor [p] [q] [2]} = 0$;

[0051] 若 $|\cos\alpha| < |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{Y} > 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{X} < 0$, 则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 (cor [p] [q] [0], cor [p] [q] [1]) 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 (wor [p] [q] [0], wor [p] [q] [1], wor [p] [q] [2]) 分别为 $\text{wor [p] [q] [0]} = W \times (m_0 - p)$, $\text{wor [p] [q] [1]} = W \times (q - n_0)$, $\text{wor [p] [q] [2]} = 0$ 。

[0052] 所述步骤24中利用平面靶标空间姿态估算算法获得从所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 变换到所述摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ 的旋转矩阵R和平移矩阵T是按如下步骤进行:

[0053] 步骤24.1、将所述第一标志图所在的白方格上的四个特征角点分别记为第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' ; 并获得所述第一方向标志点 O_1' 、所述第二方向标志点 O_2' 、所述第三方向标志点 O_3' 和所述第四方向标志点 O_4' 分别在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 上的靶标坐标;

[0054] 步骤24.2、利用所述特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系, 获得所述第一方向标志点 O_1' 、所述第二方向标志点 O_2' 、所述第三方向标志点 O_3' 和所述第四方向标志点 O_4' 分别在所述特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下所一一对应的像素坐标;

[0055] 步骤24.3、所述第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' 分别在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 上的靶标坐标和与其对应的像素坐标分别代入平面靶标空间姿态估算算法中, 从而获得所述旋转矩阵R和平移矩阵T。

[0056] 与已有技术相比, 本发明的有益效果体现在:

[0057] 1、本发明在棋盘格的中央位置附近处设置了方向性标志图案, 摄像机标定过程中, 计算机根据方向性标定靶标上的方向性标志图案可以自动地判断出方向性靶标的旋转方向, 提高了摄像机标定的智能性和灵活性;

[0058] 2、本发明的方向性标定靶标上的特征角点和方向性标志图案具有明显的特征, 根据方向性标定靶标上的方向性标志图案, 可以建立相对于方向性标定靶标的位置固定不变的靶标坐标系, 因此本发明提供的方向性标定靶标可用于单目摄像机标定、双目摄像机标定, 甚至多目摄像机标定, 视觉三维测量等, 应用范围广泛, 具有很大的实际应用价值;

[0059] 3、本发明采用方向性标定靶标上任意两个对角相连的黑方格的交点或任意两个对角相连的白方格的交点作为特征角点,并且本发明采用3个标志圆环作为方向性标志图案(或者3个标志圆作为方向性标志图案),利用数字图像处理技术很容获取方向性标定靶标上特征角点和方向性标定图案的图像信息,从而提高了图像处理的识别效率、降低了标定的复杂性;

[0060] 4、本发明提供的方向性标定靶标的图案结构简单,利用数字图像处理技术很容获取方向性标定靶标上特征角点和方向性标定图案的图像信息,从而提高了图像处理的识别效率、降低了标定的复杂性;具有简单的图案结构、容易加工、加工精度高、成本低等优点。

附图说明

[0061] 图1为本发明方向性标志图案为3个标志圆环的方向性标定靶标示意图;

[0062] 图2为本发明方向性标志图案为3个标志圆的方向性标定靶标示意图;

[0063] 图3为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆环的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆环与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第一种关系示意图;

[0064] 图4为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆环的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆环与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第二种关系示意图;

[0065] 图5为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆环的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆环与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第三种关系示意图;

[0066] 图6为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆环的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆环与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第四种关系示意图;

[0067] 图7为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第一种关系示意图;

[0068] 图8为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第二种关系示意图;

[0069] 图9为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第三种关系示意图;

[0070] 图10为本发明针对方向性标志图案为3个标志圆的方向性标定靶标,其靶标图像中3个标志圆与向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 的第四种关系示意图。

具体实施方式

[0071] 本实施例中,一种用于摄像机内外参数标定的方向性标定靶标包括:如图1或图2所示,由黑方格和白方格互相交替组成的棋盘格以及在棋盘格中央位置附近处设置的方向性标志图案组成的;以任意两个对角相连的黑方格的交点或任意两个对角相连的白方格的交点作为方向性标定靶标的特征角点,特征角点用于摄像机标定;方向性标志图案是由3个小标志图组成;方向性标志图案用于判断方向性标定靶标的旋转方向;本实施例中,3个小标志图为如图1所示的3个标志圆环或者为如图2所示的3个标志圆;

[0072] 棋盘格包含M行×N列个特征角点;M和N均为正整数;黑方格和白方格的边长均为

$W; W > 0$; 具体实施中, 如图1所示的方向性标定靶标包含9行 \times 12列个特征角点; 其方向性标定靶标的黑方格和白方格的边长均为18毫米; 如图2所示的方向性标定靶标包含9行 \times 9列个所述特征角点; 其方向性标定靶标的黑方格和白方格的边长也均为18毫米;

[0073] 记3个小标志图分别为第一标志图、第二标志图和第三标志图, 本实施例中, 第一标志图为黑色图案、第二标志图为黑色图案、第三标志图为白色图案; 且第一标志图位于白方格的内部、第二标志图位于白方格的内部、第三标志图位于黑方格的内部;

[0074] 如图1所示, 白色标志圆环为第三标志图, 距离白色标志圆环较近的黑色标志圆环为第一标志图, 距离白色标志圆环较远的黑色标志圆环为第二标志图; 图1中的第一标志图和第二标志图的内直径和外直径分别为4毫米和16毫米, 图1中的第三标志图的内直径和外直径分别为7毫米和9毫米;

[0075] 如图2所示, 白色标志圆为第三标志图, 距离白色标志圆较近的黑色标志圆为第一标志图, 距离白色标志圆较远的黑色标志圆为第二标志图; 图2中第一标志图、第二标志图和第三标志图的直径均为10毫米;

[0076] 第一标志图的中心记为第一中心点 o_1 、第二标志图的中心记为第二中心点 o_2 、第三标志图的中心记为第三中心点 o_3 ; 且第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 位于白方格的中心位置处, 第三中心点 o_3 位于黑方格的中心位置处; 在棋盘格中以第一中心点 o_1 作为直角顶点并由第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和第三中心点 o_3 构成直角三角形 $\Delta o_2o_1o_3$; 如图1所示, 第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 位于由黑方格或白方格所组成的行中, 且第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 位于由黑方格或白方格所组成的列中, 图1中由第一中心点 o_1 到第二中心点 o_2 的距离为36毫米, 由第一中心点 o_1 到第三中心点 o_3 的距离为18毫米;

[0077] 或者, 如图2所示, 第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 位于由黑方格或白方格所组成的列中, 且第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 位于由黑方格或白方格所组成的行中, 图2中由第一中心点 o_1 到第二中心点 o_2 的距离为36毫米, 图2中由第一中心点 o_1 到第三中心点 o_3 的距离为18毫米;

[0078] 由第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 构成的直角边 $\overline{o_1o_2}$ 以及由第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 构成的直角边 $\overline{o_1o_3}$ 满足 $\overline{o_1o_2} > 0$ 且 $\overline{o_1o_3} > 0$ 且 $\overline{o_1o_2} \neq \overline{o_1o_3}$ 。

[0079] 本实施例中, 一种方向性标定靶标的旋转方向判断方法按如下步骤进行:

[0080] 步骤1、利用摄像机拍摄位于三维空间中的如图1或图2所示的方向性标定靶标, 从而获得靶标图像以及如图1或图2所示的第一中心点 o_1 、第二中心点 o_2 和第三中心点 o_3 在靶标图像中的第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 、第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 和第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$;

[0081] 步骤2、建立特征角点像素坐标系:

[0082] 以靶标图像的左上角为特征角点像素坐标系的原点 o , 自左向右为特征角点像素坐标系的 x 轴方向, 自上向下为特征角点像素坐标系的 y 轴方向; 从而建立特征角点像素坐标系 $o-xy$;

[0083] 步骤3、以摄像机的光心作为摄像机坐标系的原点 O_c ; 以特征角点像素坐标系的 x 轴方向作为摄像机坐标系的 X_c 轴方向; 以特征角点像素坐标系的 y 轴方向作为摄像机坐标系的 Y_c 轴方向; 摄像机坐标系的 X_c 轴、 Y_c 轴和 Z_c 轴满足右手定则, 从而建立摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$;

[0084] 步骤4、利用角点检测算法提取靶标图像内棋盘格上各个特征角点在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的像素坐标,从而获得靶标图像内棋盘格上所有特征角点的像素坐标集合;本实施例中,角点检测算法选用Harris角点检测算法,Harris角点检测算法由Chris Harris等人在1988年提出,Harris角点检测算法的实现原理可以参见文献《A combined corner and edge detector》,利用开源库OpenCV中的`cvcornerHarris`函数可以快速提取靶标图像内棋盘格上各个特征角点在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的像素级坐标;

[0085] 步骤5、在靶标图像内棋盘格上所有特征角点的像素坐标集合中像素坐标集合中选取坐标 y 分量最大的像素坐标作为第0行第0列像素坐标 (x_{00}, y_{00}) ,第0行第0列像素坐标 (x_{00}, y_{00}) 对应的特征角点记为第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$;

[0086] 步骤6、在靶标图像内棋盘格上所有特征角点的像素坐标集合中像素坐标集合中选取距离第0行第0列像素坐标 (x_{00}, y_{00}) 最近的三个像素坐标,分别记为第一像素坐标 (x_1, y_1) 、第二像素坐标 (x_2, y_2) 和第三像素坐标 (x_3, y_3) ,第一像素坐标 (x_1, y_1) 对应的特征角点记为第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$,第二像素坐标 (x_2, y_2) 对应的特征角点记为第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$,第三像素坐标 (x_3, y_3) 对应的特征角点记为第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$,其中,第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 、第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$ 、第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$ 和第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$ 分别为4个互不相同的特征角点;

[0087] 步骤7、第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 与第一特征角点 $C_1(x_1, y_1)$ 之间的倾斜度记为第一倾斜度 k_1 ,第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 与第二特征角点 $C_2(x_2, y_2)$ 之间的倾斜度记为第二倾斜度 k_2 ,第0行第0列特征角点 $C_{00}(x_{00}, y_{00})$ 与第三特征角点 $C_3(x_3, y_3)$ 之间的倾斜度记为第三倾斜度 k_3 ,利用式(1)、式(2)和式(3)分别计算第一倾斜度 k_1 、第二倾斜度 k_2 和第三倾斜度 k_3 :

$$[0088] \quad k_1 = (x_1 - x_{00}) / (y_1 - y_{00}) \quad (1)$$

$$[0089] \quad k_2 = (x_2 - x_{00}) / (y_2 - y_{00}) \quad (2)$$

$$[0090] \quad k_3 = (x_3 - x_{00}) / (y_3 - y_{00}) \quad (3)$$

[0091] 步骤8、选取第一倾斜度 k_1 、第二倾斜度 k_2 以及第三倾斜度 k_3 中最小值所对应的特征角点记为第0行第1列特征角点 $C_{01}(x_{01}, y_{01})$ 、最大值所对应的特征角点记为第1行第0列特征角点 $C_{10}(x_{10}, y_{10})$;

[0092] 步骤9、利用式(4)和式(5)分别计算出行方向搜索向量 \vec{l}_0 和列方向搜索向量 \vec{l}_1 :

$$[0093] \quad \vec{l}_0 = \overline{C_{00}C_{01}} = (x_{01} - x_{00}, y_{01} - y_{00}) \quad (4)$$

$$[0094] \quad \vec{l}_1 = \overline{C_{00}C_{10}} = (x_{10} - x_{00}, y_{10} - y_{00}) \quad (5)$$

[0095] 步骤10、定义变量 i 和变量 j ; i 和 j 均为整数;建立特征角点像素坐标三维数组`cor[M][N][2]`;以及建立特征角点靶标坐标三维数组`wor[M][N][3]`;

[0096] 步骤11、初始化 $i=0$;

[0097] 步骤12、初始化 $j=0$;

[0098] 步骤13、将第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 的像素坐标 x 分量、像素坐标 y 分量分别存入特征角点像素坐标三维数组`cor[M][N][2]`中的元素`cor[i][j][0]`和元素`cor[i][j][1]`中;

[0099] 步骤14、以靶标图像内棋盘格上的第 i 行第 j 列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 为搜索起点,

在行方向搜索向量 \vec{l}_0 的方向上搜索与第i行第j列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 相距最近的第i行第j+1列配对特征角点;

[0100] 步骤15、若搜索到第i行第j+1列配对特征角点,则将第i行第j+1列配对特征角点另记为第i行第j+1列特征角点 $C_{i(j+1)}(x_{i(j+1)}, y_{i(j+1)})$,并将第i行第j+1列特征角点 $C_{i(j+1)}(x_{i(j+1)}, y_{i(j+1)})$ 的像素坐标x分量、像素坐标y分量分别存入特征角点像素坐标三维数组 $cor[M][N][2]$ 中的元素 $cor[i][j+1][0]$ 和元素 $cor[i][j+1][1]$ 中,并将j+1赋值给j后,返回步骤14;否则,将j+1赋值给靶标图像内棋盘格上特征角点的列数 N_1 ,执行步骤16;

[0101] 步骤16、初始化 $j=0$;

[0102] 步骤17、以第i行第j列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 作为搜索起点,在列方向搜索向量 \vec{l}_1 的方向上搜索与第i行第j列特征角点 $C_{ij}(x_{ij}, y_{ij})$ 相距最近的第i+1行第j列配对特征角点;

[0103] 步骤18、若搜索到第i+1行第j列配对特征角点,则将第i+1行第j列配对特征角点另记为第i+1行第j列特征角点 $C_{(i+1)j}(x_{(i+1)j}, y_{(i+1)j})$,并将第i+1行第j列特征角点 $C_{(i+1)j}(x_{(i+1)j}, y_{(i+1)j})$ 的像素坐标x分量、像素坐标y分量分别存入特征角点像素坐标三维数组 $cor[M][N][2]$ 中的元素 $cor[i+1][j][0]$ 和元素 $cor[i+1][j][1]$ 中,并将i+1赋值给i后,返回步骤14;否则,将i+1赋值给靶标图像内棋盘格上特征角点的行数 M_1 ,并执行步骤19;

[0104] 步骤19、在如图1或图1所示的方向性标定靶标上棋盘格上选取与第一中心点 o_1 的空间距离、与第二中心点 o_2 的空间距离以及第三中心点 o_3 的空间距离之和最小的特征角点作为靶标坐标系的原点 O_1 ;以第一中心点 o_1 和第三中心点 o_3 所构成的空间向量 $\overrightarrow{o_1o_3}$ 的方向作为靶标坐标系的 X_1 轴方向;以第一中心点 o_1 和第二中心点 o_2 所构成的空间向量 $\overrightarrow{o_1o_2}$ 的方向作为靶标坐标系的 Y_1 轴方向,靶标坐标系的 X_1 轴、 Y_1 轴和 Z_1 轴满足右手定则,从而建立靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$;

[0105] 步骤20、对靶标图像上的3个小标志图进行定位和辨别,获得第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 、第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 和第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ 分别在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标;第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 为靶标图像中距离白色标志圆环较近的黑色标志圆环的中心或为靶标图像中距离白色标志圆较近的黑色标志圆的中心,第一像点 $o_1'(x_1', y_1')$ 在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标记为第一像点像素坐标 (x_1', y_1') ,第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 为靶标图像中距离白色标志圆环较远的黑色标志圆环的中心或为靶标图像中距离白色标志圆较远的黑色标志圆的中心,第二像点 $o_2'(x_2', y_2')$ 在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标记为第二像点像素坐标 (x_2', y_2') ,第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ 为靶标图像中白色标志圆环的中心或为靶标图像中白色标志圆的中心,第三像点 $o_3'(x_3', y_3')$ 在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 上的像素坐标记为第三像点像素坐标 (x_3', y_3') ;

[0106] 具体地说,当3个小标志图为如图1所示的3个标志圆环时,是按步骤20.1a、步骤20.2a和步骤20.3a对3个标志圆环进行定位和辨别;当3个小标志图为如图2所示的3个标志圆时,按照步骤20b对3个标志圆进行行定位和辨别;

[0107] 步骤20.1a、从靶标图像内棋盘格上所有特征角点的像素坐标集合中选取像素坐标y分量最大的像素坐标、像素坐标x分量最大的像素坐标、像素坐标y分量最小的像素坐标和像素坐标x分量最小的像素坐标分别作为靶标图像中第一最外围像素坐标 (x_a, y_a) 、靶标图像中第二最外围像素坐标 (x_b, y_b) 、靶标图像中第三最外围像素坐标 (x_c, y_c) 和靶标图像

中第四最外围像素坐标 (x_d, y_d) ;靶标图像中第一最外围像素坐标 (x_a, y_a) 、靶标图像中第二最外围像素坐标 (x_b, y_b) 、靶标图像中第三最外围像素坐标 (x_c, y_c) 和靶标图像中第四最外围像素坐标 (x_d, y_d) 对应的特征角点分别记为靶标图像中第一最外围特征角点 $C_a(x_a, y_a)$ 、靶标图像中第二最外围特征角点 $C_b(x_b, y_b)$ 、靶标图像中第三最外围特征角点 $C_c(x_c, y_c)$ 和靶标图像中第四最外围特征角点 $C_d(x_d, y_d)$;靶标图像中第一最外围特征角点 $C_a(x_a, y_a)$ 、靶标图像中第二最外围特征角点 $C_b(x_b, y_b)$ 、靶标图像中第三最外围特征角点 $C_c(x_c, y_c)$ 和靶标图像中第四最外围特征角点 $C_d(x_d, y_d)$ 构成的四边形记为最外围四边形;由于靶标图像中的3个标志圆环位于最外围四边形的内部,本实施例利用最外围四边形去除靶标图像中的复杂背景,利用最外围四边形去除靶标图像中的复杂背景的具体方法为:将靶标图像中且位于最外围四边形外部的像素点的灰度值赋值为0,靶标图像中且位于最外围四边形内部的像素点的灰度值保持不变,从而可以获得无复杂背景的靶标图像;

[0108] 步骤20.2a、对无复杂背景的靶标图像进行二值化处理,从而获得无复杂背景二值化靶标图像;无复杂背景二值化靶标图像中方向性标定靶标上所有白方格处的灰度值均为255、并且无复杂背景二值化靶标图像中方向性标定靶标上所有黑方格处的灰度值均为0、并且无复杂背景二值化靶标图像中方向性标定靶标上两个黑色标志圆环处的灰度值为0、并且无复杂背景二值化靶标图像中方向性标定靶标上白色标志圆环处的灰度值为255;

[0109] 步骤20.3a、对无复杂背景二值化靶标图像进行膨胀处理,膨胀处理使得无复杂背景二值化靶标图像中的白色连通域“增长”、黑色连通域“缩小”,膨胀处理后,无复杂背景二值化靶标图像中方向性标定靶标上任意两个对角相连的黑方格的交点处断开,但靶标图像中的3个标志圆环并未断开;分别计算无复杂背景二值化靶标图像中3个最小的白色连通域的3个质心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的3个质心坐标,分别读取无复杂背景二值化靶标图像中3个最小的白色连通域的3个质心坐标处的灰度值:灰度值为0所对应的连通域质心坐标即为靶标图像中白色标志圆环的中心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的像素坐标,灰度值为255且距离靶标图像中白色标志圆环的中心较近的连通域质心坐标即为靶标图像中距离白色标志圆环较近的黑色标志圆环的中心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的像素坐标,灰度值为255且距离靶标图像中白色标志圆环的中心较远的连通域质心坐标即为靶标图像中距离白色标志圆环较远的黑色标志圆环的中心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的像素坐标,由此完成靶标图像内方向性标定靶标上的3个标志圆环的定位和辨别;

[0110] 步骤20b、本实施例中,利用Hough变换提取靶标图像中方向性标定靶标上3个标志圆的3个中心坐标,基于Hough变换提取圆心的算法可以参见文献《一种用Hough变换检测圆的快速算法》,利用开源库OpenCV中的 `cvHoughCircles` 函数可以快速提取靶标图像中方向性标定靶标上3个标志圆的3个中心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的圆心坐标;分别读取靶标图像中方向性标定靶标上3个标志圆的3个中心处的灰度值:灰度值为255所对应的圆心坐标即为靶标图像中白色标志圆的中心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的圆心坐标,灰度值为0且距离靶标图像中白色标志圆的中心较近的圆心坐标即为靶标图像中距离白色标志圆较近的黑色标志圆的中心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的圆心坐标,灰度值为0且距离靶标图像中白色标志圆的中心较远的圆心坐标即为靶标图像中距离白色标志圆较远的黑色标志圆的中心在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下的圆心坐标,由此完成靶标图像内方向性标定靶标上的3个标志圆的定位和辨别;

[0111] 步骤21、选取在特征角点像素坐标三维数组 $\text{cor}[M][N][2]$ 中存储的最近特征角点像素坐标 $(\text{cor}[m_0][n_0][0], \text{cor}[m_0][n_0][1])$ ；最近特征角点像素坐标 $(\text{cor}[m_0][n_0][0], \text{cor}[m_0][n_0][1])$ 与第一像点像素坐标的距离、与第二像点像素坐标的距离以及与第三像点像素坐标距离之和最小，并且最近特征角点像素坐标 $(\text{cor}[m_0][n_0][0], \text{cor}[m_0][n_0][1])$ 为靶标坐标系的原点 O_1 在靶标图像内所成像点的像素坐标； $0 \leq m_0 < M_1$ ； $0 \leq n_0 < N_1$ ； m_0 和 n_0 均为整数；

[0112] 步骤22、利用式(6)和式(7)获得余弦值 $\cos\alpha$ 和 $\cos\beta$ ：

$$[0113] \quad \cos\alpha = (\vec{l}_0 \cdot \vec{X}) / (|\vec{l}_0| \cdot |\vec{X}|) \quad (6)$$

$$[0114] \quad \cos\beta = (\vec{l}_0 \cdot \vec{Y}) / (|\vec{l}_0| \cdot |\vec{Y}|) \quad (7)$$

[0115] 式(6)和式(7)中， $\vec{X} = \overline{a_1' a_3'} = (x_3' - x_1', y_3' - y_1')$ 和 $\vec{Y} = \overline{a_1' a_2'} = (x_2' - x_1', y_2' - y_1')$ ；

[0116] 步骤23、根据余弦值 $\cos\alpha$ 和 $\cos\beta$ ，并且判断向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 和向量组 (\vec{X}, \vec{Y}) 之间如下四种关系，从而获得靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(\text{cor}[p][q][0], \text{cor}[p][q][1])$ 在靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 $(\text{wor}[p][q][0], \text{wor}[p][q][1], \text{wor}[p][q][2])$ 并依次存入特征角点靶标坐标三维数组 $\text{wor}[M][N][3]$ 中； $0 \leq p < M_1$ ； $0 \leq q < N_1$ ； p 和 q 均为整数，根据向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 和向量组 (\vec{X}, \vec{Y}) 之间的4种关系，从而获得特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系；

[0117] 本实施例中，如图3、图4、图5和图6所示，或者，如图7、图8、图9、图10所示，向量组 (\vec{l}_0, \vec{l}_1) 和向量组 (\vec{X}, \vec{Y}) 将会有如下四种关系：

[0118] 第一种关系：若 $|\cos\alpha| > |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{X} > 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{Y} > 0$ ，则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(\text{cor}[p][q][0], \text{cor}[p][q][1])$ 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 $(\text{wor}[p][q][0], \text{wor}[p][q][1], \text{wor}[p][q][2])$ 分别为 $\text{wor}[p][q][0] = W \times (q - n_0)$ ， $\text{wor}[p][q][1] = W \times (p - m_0)$ ， $\text{wor}[p][q][2] = 0$ ；

[0119] 第二种关系：若 $|\cos\alpha| > |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{X} < 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{Y} < 0$ ，则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(\text{cor}[p][q][0], \text{cor}[p][q][1])$ 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 $(\text{wor}[p][q][0], \text{wor}[p][q][1], \text{wor}[p][q][2])$ 分别为 $\text{wor}[p][q][0] = W \times (n_0 - q)$ ， $\text{wor}[p][q][1] = W \times (m_0 - p)$ ， $\text{wor}[p][q][2] = 0$ ；

[0120] 第三种关系：若 $|\cos\alpha| < |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{Y} < 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{X} > 0$ ，则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(\text{cor}[p][q][0], \text{cor}[p][q][1])$ 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 $(\text{wor}[p][q][0], \text{wor}[p][q][1], \text{wor}[p][q][2])$ 分别为 $\text{wor}[p][q][0] = W \times (p - m_0)$ ， $\text{wor}[p][q][1] = W \times (n_0 - q)$ ， $\text{wor}[p][q][2] = 0$ ；

[0121] 第四种关系：若 $|\cos\alpha| < |\cos\beta|$ 且 $\vec{l}_0 \cdot \vec{Y} > 0$ 且 $\vec{l}_1 \cdot \vec{X} < 0$ ，则所述靶标图像中棋盘格上的任意特征角点像素坐标 $(\text{cor}[p][q][0], \text{cor}[p][q][1])$ 在所述靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 下所匹配的靶标坐标 $(\text{wor}[p][q][0], \text{wor}[p][q][1], \text{wor}[p][q][2])$ 分别为 $\text{wor}[p][q][0] = W \times (m_0 - p)$ ， $\text{wor}[p][q][1] = W \times (q - n_0)$ ， $\text{wor}[p][q][2] = 0$ 。

[0122] 步骤24、根据特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系,利用平面靶标空间姿态估算算法获得从靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 变换到摄像机坐标系 $O_c-X_cY_cZ_c$ 的旋转矩阵 R 和平移矩阵 T ,从而图1或图2所示的实现方向性标定靶标的旋转方向判断,具体地说:

[0123] 步骤24.1、将第一标志图(即为图1中距离白色标志圆环较近的黑色标志圆环或图2中距离白色标志圆较近的黑色标志圆)所在的白方格上的四个特征角点分别记为第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' ;并获得第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' 分别在靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 上的靶标坐标;

[0124] 步骤24.2、利用特征角点像素坐标和与其对应的靶标坐标的匹配关系,获得第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' 分别在特征角点像素坐标系 $o-xy$ 下所一一对应的像素坐标;

[0125] 步骤24.3、第一方向标志点 O_1' 、第二方向标志点 O_2' 、第三方向标志点 O_3' 和第四方向标志点 O_4' 分别在靶标坐标系 $O_1-X_1Y_1Z_1$ 上的靶标坐标和与其对应的像素坐标分别代入平面靶标空间姿态估算算法中,从而获得旋转矩阵 R 和平移矩阵 T 。

[0126] 本实施例中使用的平面靶标空间姿态估算算法的实现原理可以参见文献《Robust Pose Estimation from a Planar Target》,该文章由Gerald Schweighofer和Axel Pinz在2005年发表,对应于《Robust Pose Estimation from a Planar Target》的C语言实现代码可以通过网址:http://nghiaho.com/?page_id=576下载到开源代码。

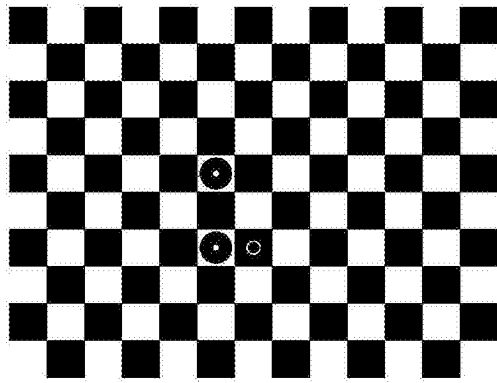


图1

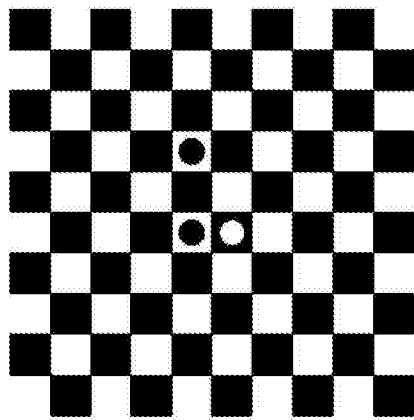


图2

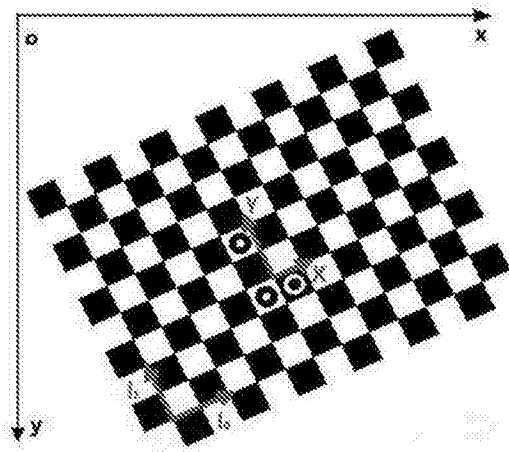


图3

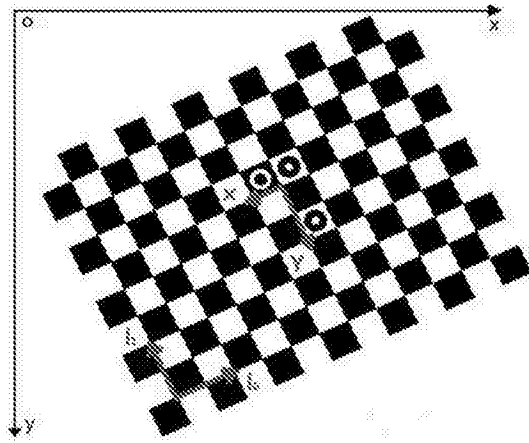


图4

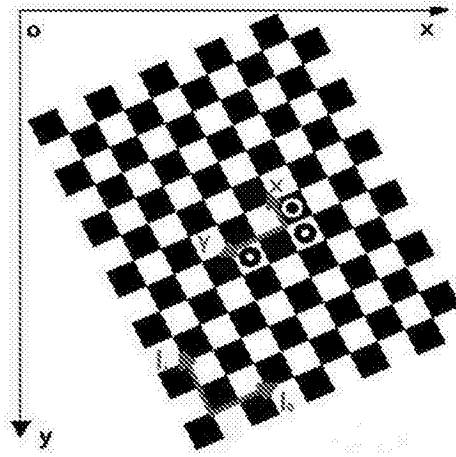


图5

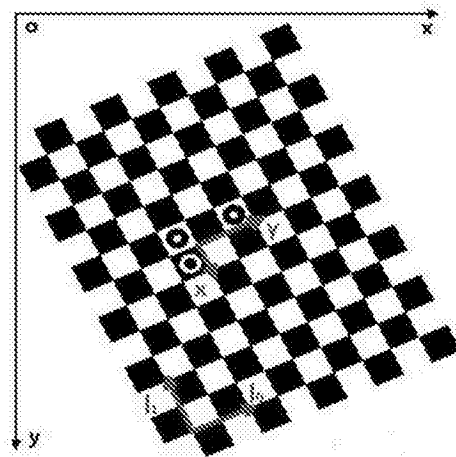


图6

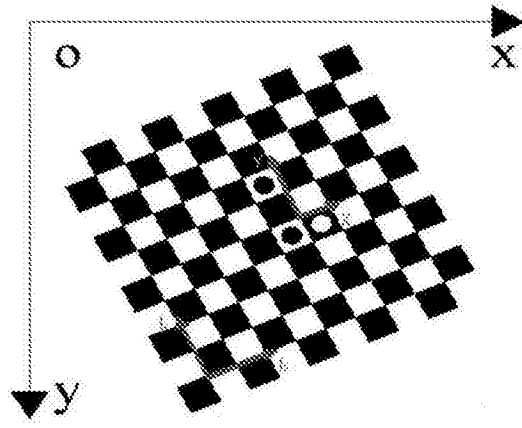


图7

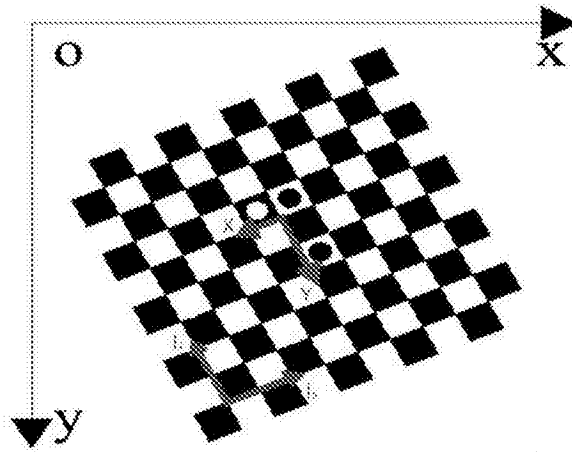


图8

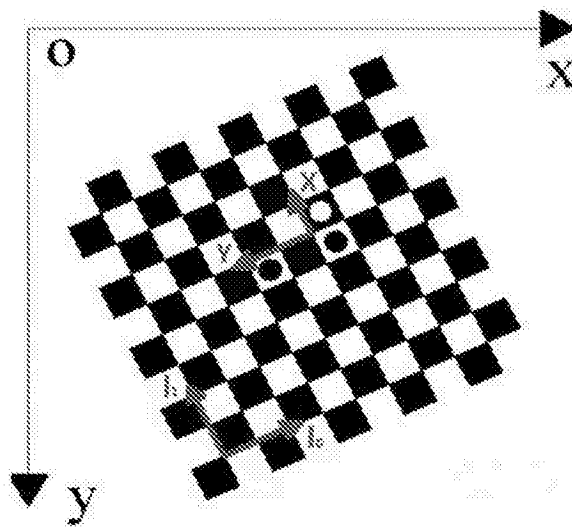


图9

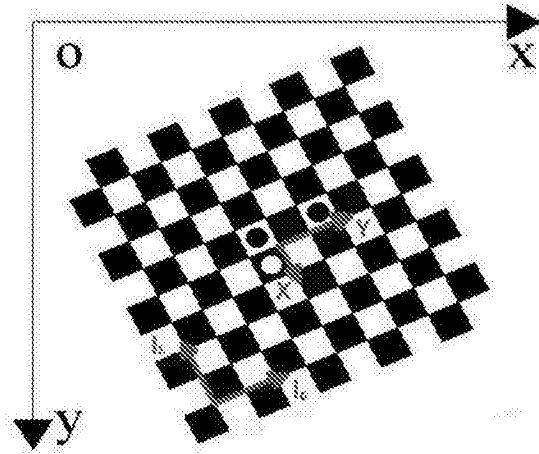


图10