



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103471618 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201310432245. 7

审查员 吴黎舒

(22) 申请日 2013. 09. 22

(73) 专利权人 电子科技大学

地址 610000 四川省成都市高新区(西区)西
源大道 2006 号

(72) 发明人 刘霖 陈伟 唐雪松 倪光明
罗颖 宋昀岑 刘娟秀 杨先明
陈镇龙

(74) 专利代理机构 成都睿道专利代理事务所
(普通合伙) 51217

代理人 潘育敏

(51) Int. Cl.

G01C 25/00(2006. 01)

权利要求书2页 说明书14页

(54) 发明名称

一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差
测定方法

(57) 摘要

本发明公开了一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法。方法是：制定圆盘格标定片，标定片上设置多个标定圆点；把标定片放置到被测物放置平台上拍摄图像 PX1，向被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离拍摄图像 PX2，把 PX2 与 PX1 图像中对应标定圆点的圆心坐标之差得到的多个向量，所得向量与相机 X 轴夹角平均值为被测物放置平台 X' 轴与相机 X 轴夹角；按同样方法，被测物平台向 Y' 轴方向移动适当距离，分别拍摄 PX3 和 PX4，经计算得到被测物放置平台 Y' 轴与相机 Y 轴夹角。本发明所得到的 X' 轴与 X 轴夹角 θ 和 Y' 轴与 Y 轴夹角 β 为图像采集装置坐标误差，为图像拼接提供修正参数，提高图像拼接质量。

1. 一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法,其特征是:首先,制定一圆盘格标定片,圆盘格标定片上设置边缘清晰的多个标定圆点;

然后,把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离,移动前后分别拍摄图像 PX1 和图像 PX2,通过图像处理方法得到各标定圆点的圆心坐标,对应标定圆点的圆心坐标之差得到的多个向量与 X 轴夹角平均值为被测物放置平台 X' 轴与相机 X 轴夹角;

最后,被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 Y' 轴方向移动适当距离,移动前后分别拍摄图像 PX3 和图像 PX4,通过图像处理方法得到各标定圆点的圆心坐标,对应标定圆点的圆心坐标之差得到的多个向量与 Y 轴夹角平均值为被测物放置平台 Y' 轴与相机 Y 轴夹角;

具体步骤是:

S1:制作圆盘格标定片,所述圆盘格标定片上设置若干不重叠标定圆点,标定圆点与圆盘格标定片边界清晰,所述标定圆点设置为 m 行, m 列,标定圆点个数为 $n = m \times m$;

S2:把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,拍摄图像 PX1,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{1i}, y_{1i}) , 其中 $i = 1, 2, \dots, n$;

S3:被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离,圆盘格标定片不超出相机视野,拍摄图像 PX2,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{2i}, y_{2i}) , 其中 $i = 1, 2, \dots, n$;

S4:把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,拍摄图像 PX3,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{3i}, y_{3i}) , 其中 $i = 1, 2, \dots, n$;

S5:被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 Y' 轴方向移动适当距离,圆盘格标定片不超出相机视野,拍摄照片 PX4,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{4i}, y_{4i}) , 其中 $i = 1, 2, \dots, n$;

S6:计算 PX2 与 PX1 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{2i} - x_{1i}, y_{2i} - y_{1i})$, $i = 1, 2, \dots, n$,取 n 个向量与相机 X 轴的夹角 θ_i , $i = 1, 2, \dots, n$,求取夹角的平均值 θ ,得到平台 X' 轴与相机 X 轴的夹角 θ ;

S7:计算 PX4 与 PX3 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{yi} = (x_{4i} - x_{3i}, y_{4i} - y_{3i})$, $i = 1, 2, \dots, n$,取 n 个向量与相机 Y 轴的夹角 β_i , $i = 1, 2, \dots, n$,求取夹角的平均值 β ,得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β ;

确定图像采集装置坐标误差为:被测物放置平台 X' 轴与相机坐标轴 X 之间夹角 θ ,和与被测物放置平台 Y' 轴与相机坐标轴 Y 之间夹角 β 。

2. 根据权利要求 1 所述的视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法,其特征是:省略步骤中的 S4 步,在完成 S3 步骤后,直接进行 S5 步,其中 S7 步骤中替换为:

S71:计算 PX4 与 PX2 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{yi} = (x_{4i} - x_{2i}, y_{4i} - y_{2i})$, $i = 1, 2, \dots, n$,取 n 个向量与相机 Y 轴的夹角 β_i , $i = 1, 2, \dots, n$,求

取夹角的平均值 β ,得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法,其特征是:标定圆点行列中 $m = 5$ 至 30, 标定圆点直径 $0.5\text{mm} \sim 3\text{mm}$, 标定圆点行列间距为 $1\text{mm} \sim 4\text{mm}$ 。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法,其特征是:所述采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标是根据各标定圆点的轮廓,提取出边界点,以边界点为拟合点,以椭圆方程为模型进行最小二乘法拟合,使椭圆方程尽量满足边界点坐标,求出该椭圆方程的各个参数,得到的椭圆中心为标定圆点的亚像素圆。

一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法

技术领域

[0001] 本发明属于自动检测领域,具体公开了一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法。

背景技术

[0002] 视觉检测系统是现代自动化技术的一个重要组成部分。采用图像方式对被检测物件进行静态检测是视学检测中的一个重要应用。当需要对被检测物件进行高精度检测时,通常还需要拍摄高精度图像,然而用于拍摄照片的照相机因目前的技术限制,使得部分被检测物件不能在一次拍摄中得到完整的高精度图像。当需要采集较大物件图像时,需要采集拍摄多次不同的局部图像,再进行图像拼接。目前的图像拼接系统中,对具有重复纹理特征大物面物件的高精度图像在拼接时,拼接位置容易产生重叠,对最终拼接效果产生很大的影响。原始图像采集的位置误差,是导致拼接产生重叠的重要原因。在原始图像采集过程中,被检测物件会相对相机镜头作平移用以获取多个子图像,当被检测物件放置平台平移的坐标系与相机系统坐标系不相重合,而存在夹角时,被检测物件移动到某位置所采集的子图像位置坐标值与相机系统位置坐标值会产生偏差,导致图像拼接产生重叠。

发明内容:

[0003] 本发明公开了一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法,通过本发明的方法,可以获得被检测物移动平台坐标系与相机坐标系之间误差,可以为后续图像拼接提供修正参数,用以提高图像拼接的精确度。

[0004] 一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法:首先,制定一圆盘格标定片,圆盘格标定片上设置边缘清晰的多个标定圆点;

[0005] 然后,把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离,移动前后分别拍摄图像 PX1 和图像 PX2,通过图像处理方法得到各标定圆点的圆心坐标,对应标定圆点的圆心坐标之差得到的多个向量与 X 轴夹角平均值为被测物放置平台 X' 轴与相机 X 轴夹角;

[0006] 最后,被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 Y' 轴方向移动适当距离,移动前后分别拍摄图像 PX3 和图像 PX4,通过图像处理方法得到各标定圆点的圆心坐标,对应标定圆点的圆心坐标之差得到的多个向量与 Y 轴夹角平均值为被测物放置平台 Y' 轴与相机 Y 轴夹角;

[0007] 确定图像采集装置坐标误差为:被测物放置平台 X' 轴与相机坐标轴 X 之间夹角 θ , 和与被测物放置平台 Y' 轴与相机坐标轴 Y 之间夹角 β 。

[0008] 具体步骤是:

[0009] S1:制作圆盘格标定片,所述圆盘格标定片上设置若干不重叠标定圆点,标定圆点与圆盘格标定片边界清晰,所述标定圆点设置为 m 行, m 列,标定圆点个数为 $n=m \times m$;

[0010] S2:把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,拍摄图像 PX1,提取圆盘格标定片

上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{1i}, y_{1i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0011] 其中,椭圆拟合是根据各标定圆点的轮廓,提取出边界点,以边界点为拟合点,以椭圆方程为模型进行拟合,使椭圆方程尽量满足边界点坐标,求出该椭圆方程的各个参数,得到的椭圆中心为标定圆点的亚像素圆。

[0012] S3: 被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离,圆盘格标定片不超出相机视野,拍摄图像 PX2,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{2i}, y_{2i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0013] S4: 把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,拍摄图像 PX3,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{3i}, y_{3i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0014] S5: 被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 Y' 轴方向移动适当距离,圆盘格标定片不超出相机视野,拍摄照片 PX4,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{4i}, y_{4i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0015] S6: 计算 PX2 与 PX1 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{2i} - x_{1i}, y_{2i} - y_{1i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 X 轴的夹角 θ_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 θ , 得到平台 X' 轴与相机 X 轴的夹角 θ ;

[0016] S7: 计算 PX4 与 PX3 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{4i} - x_{3i}, y_{4i} - y_{3i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 Y 轴的夹角 β_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 β , 得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 。

[0017] 确定图像采集装置坐标误差为: 被测物放置平台 X' 轴与相机坐标轴 X 之间夹角 θ , 和与被测物放置平台 Y' 轴与相机坐标轴 Y 之间夹角 β 。

[0018] 作为一种优选,省略步骤中的 S4 步,在完成 S3 步骤后,直接进行 S5 步,其中 S7 步骤中替换为:

[0019] S71: 计算 PX4 与 PX2 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{4i} - x_{2i}, y_{4i} - y_{2i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 Y 轴的夹角 β_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 β , 得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 。其中,圆盘格标定片上标定圆点行列中 $m=5$ 至 30, 标定圆点直径 $0.5\text{mm} \sim 3\text{mm}$, 标定圆点行列间距为 $1\text{mm} \sim 4\text{mm}$;

[0020] 其中,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标是根据各标定圆点的轮廓,提取出边界点,以边界点为拟合点,以椭圆方程为模型进行拟合,使椭圆方程尽量满足边界点坐标,求出该椭圆方程的各个参数,得到的椭圆中心为标定圆点的亚像素圆。椭圆拟合方式为最小二乘法拟合。

[0021] 本发明的有益效果:

[0022] 本发明的视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法,通过使用圆盘格标定片放置到被测物放置平台,再通过对被测物放置平台移动前和移动后的位置进行图像拍摄,经过计算得到被测物放置平台坐标轴与相机坐标轴之间的夹角,即被测物放置平台坐标系与相机坐标系之间的误差。

[0023] 通过利用上述误差,可以在后续图像拼接过程中进行修正,从而保证被测物放置平台与相机坐标平台之间的坐标统一,可以有效地避免图像拼接的重合。

具体实施例

[0024] 实施例 1 :

[0025] 一种视觉检测系统的图像采集装置坐标误差测定方法,首先,制定一圆盘格标定片,圆盘格标定片上设置边缘清晰的多个标定圆点 ;

[0026] 然后,把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离,移动前后分别拍摄图像 PX1 和图像 PX2,通过图像处理方法得到各标定圆点的圆心坐标,对应标定圆点的圆心坐标之差得到的多个向量与 X 轴夹角平均值为被测物放置平台 X' 轴与相机 X 轴夹角 ;

[0027] 最后,被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 Y' 轴方向移动适当距离,移动前后分别拍摄图像 PX3 和图像 PX4,通过图像处理方法得到各标定圆点的圆心坐标,对应标定圆点的圆心坐标之差得到的多个向量与 Y 轴夹角平均值为被测物放置平台 Y' 轴与相机 Y 轴夹角 ;

[0028] S1 :制作圆盘格标定片,所述圆盘格标定片上设置若干不重叠标定圆点,标定圆点与圆盘格标定片边界清晰,所述标定圆点设置为 m 行, m 列,标定圆点个数为 $n=m \times m$;标定圆点行列中 $m=5$ 至 30,标定圆点直径 0.5mm ~ 3mm, 标定圆点间距 1mm ~ 4mm ;

[0029] 实施例 1 中, m 取值为 5,则 n 值为 25。标定圆点直径 0.5mm, 标定圆点间距 1mm ;

[0030] S2: 把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上,拍摄图像 PX1,提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{1i}, y_{1i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0031] 其中,采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标是根据各标定圆点的轮廓,提取出边界点,以边界点为拟合点,以椭圆方程为模型进行拟合,使椭圆方程尽量满足边界点坐标,求出该椭圆方程的各个参数,得到的椭圆中心为标定圆点的亚像素圆。椭圆拟合方式为最小二乘法拟合。

[0032] (x_{1i}, y_{1i}) 具体坐标如下表所示 :

[0033]

i	1	2	3	4	5	6	7
x_{1i}	106.82	208.11	301.42	401.46	509.32	103.58	200.84
y_{1i}	105.69	107.95	109.13	106.00	101.19	202.49	209.26

[0034]

[0035] 表 1-1

[0036]

i	8	9	10	11	12	13	14
x_{1i}	304.38	409.05	507.83	109.87	205.31	303.50	406.40

y_{1i}	206.64	200.85	203.80	303.19	301.79	303.89	309.22
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

[0037] 表 1-2

[0038]

i	15	16	17	18	19	20	21
x_{1i}	506.86	100.84	208.01	304.78	401.63	504.66	102.50
y_{1i}	308.13	409.11	405.18	407.40	400.54	402.44	508.85

[0039] 表 1-3

[0040]

i	22	23	24	25
x_{1i}	207.39	305.87	405.66	502.60
y_{1i}	506.27	508.18	505.27	508.84

[0041] 表 1-4

[0042] 表 1-1 到 1-4 中, 第一行代表标定圆点编号 i , 第二行代表图像 PX1 中相应标定圆点编号的 X 坐标, 第三行代表图像 PX1 中相应标定圆点编号的 Y 坐标。

[0043] S3: 被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离, 圆盘格标定片不超出相机视野, 拍摄图像 PX2, 提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓, 采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{2i}, y_{2i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0044] (x_{2i}, y_{2i}) 具体坐标如下表所示:

i	1	2	3	4	5	6	7
x_{2i}	3109.61	3113.82	3108.59	3110.50	3101.26	3214.27	3208.44

[0045]

y_{2i}	348.77	447.64	553.10	652.42	748.55	350.87	454.23
----------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

[0046]

[0047] 表 2-1

[0048]

i	8	9	10	11	12	13	14
x_{2i}	3208.72	3214.46	3215.87	3308.67	3308.51	3314.52	3311.59
y_{2i}	550.68	652.25	756.34	348.93	455.48	549.12	653.14

[0049] 表 2-2

[0050]

i	15	16	17	18	19	20	21
x_{2i}	3308.94	3413.05	3418.74	3413.87	3404.91	3405.69	3510.25
y_{2i}	747.93	354.22	453.11	552.98	648.09	746.50	349.67

[0051] 表 2-3

[0052]

i	22	23	24	25
x_{2i}	3504.27	3504.88	3516.54	3507.56
y_{2i}	444.81	549.31	649.91	751.07

[0053] 表 2-4

[0054] 表 2-1 到 2-4 中, 第一行代表标定圆点编号 i , 第二行代表图像 PX2 中相应标定圆点编号的 X 坐标, 第三行代表图像 PX2 中相应标定圆点编号的 Y 坐标。

[0055] S4: 把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上, 拍摄图像 PX3, 提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓, 采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{3i}, y_{3i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0056] (x_{3i}, y_{3i}) 具体坐标如下表所示:

[0057]

i	1	2	3	4	5	6	7
x_{3i}	308.17	408.46	503.70	603.83	708.61	304.64	405.71
y_{3i}	302.53	308.84	301.96	301.21	305.44	403.15	403.82

[0058] 表 3—1

[0059]

i	8	9	10	11	12	13	14
x_{3i}	506.95	609.61	705.46	306.37	405.71	509.27	608.64
y_{3i}	407.92	408.39	406.80	504.17	506.43	502.14	506.17

[0060] 表 3—2

[0061]

i	15	16	17	18	19	20	21
x_{3i}	701.70	301.79	402.44	507.52	601.99	709.83	307.10
y_{3i}	506.75	606.01	603.46	603.64	601.71	607.95	704.93

[0062] 表 3—3

[0063]

i	22	23	24	25
x_{3i}	401.75	508.58	609.09	709.62
y_{3i}	703.55	707.75	702.37	708.45

[0064] 表 3-4

[0065] 表 3—1 到 3-4 中, 第一行代表标定圆点编号 i , 第二行代表图像 PX3 中相应标定圆点编号的 X 坐标, 第三行代表图像 PX3 中相应标定圆点编号的 Y 坐标。

[0066] S5: 被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 Y' 轴方向移动适当距离, 圆盘格标定片不超出相机视野, 拍摄照片 PX4, 提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓, 采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{4i}, y_{4i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0067] (x_{4i}, y_{4i}) 具体坐标如下表所示:

[0068]

i	1	2	3	4	5	6	7
x_{4i}	523.07	625.57	717.56	818.48	926.45	521.67	619.82
y_{4i}	3308.24	3314.47	3303.73	3306.35	3310.92	3404.80	3408.76

[0069] 表 4—1

[0070]

i	8	9	10	11	12	13	14
---	---	---	----	----	----	----	----

[0071]

x_{4i}	724.95	822.93	920.59	521.39	620.71	722.83	823.76
y_{4i}	3413.27	3410.38	3413.03	3504.43	3509.62	3507.47	3509.44

[0072] 表 4-2

[0073]

	15	16	17	18	19	20	21
x_{4i}	917.77	519.73	616.53	722.29	816.32	924.29	521.04
y_{4i}	3512.77	3609.63	3604.81	3612.78	3608.12	3614.54	3711.68

[0074] 表 4-3

[0075]

i	22	23	24	25
---	----	----	----	----

x_{4i}	614.87	723.83	823.31	926.96
y_{4i}	3710.99	3716.17	3707.53	3709.97

[0076] 表 4-4

[0077] 表 4-1 到 4-4 中, 第一行代表标定圆点编号 i , 第二行代表图像 PX4 中相应标定圆点编号的 X 坐标, 第三行代表图像 PX4 中相应标定圆点编号的 Y 坐标。

[0078] S6: 计算 PX2 与 PX1 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{2i} - x_{1i}, y_{2i} - y_{1i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 X 轴的夹角 θ_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 θ , 得到平台 X' 轴与相机 X 轴的夹角 θ ;

[0079] $(x_{2i} - x_{1i}, y_{2i} - y_{1i})$ 具体计算如下:

[0080]

i	1	2	3	4	5	6	7
$x_{2i} - x_{1i}$	3008.17	3005.32	3005.21	3007.74	3001.20	3006.25	3003.47
$y_{2i} - y_{1i}$	244.91	243.32	244.79	244.17	244.02	247.07	244.97
θ_i	0.0818	0.0821	0.0813	0.0816	0.0812	0.0824	0.0816

[0081] 表 5-1

i	8	9	10	11	12	13	14
$x_{2i} - x_{1i}$	3003.35	3005.75	3008.64	3001.99	3006.72	3009.02	3001.99

$y_{2i} - y_{1i}$	243.27	244.88	246.87	243.83	247.56	244.60	244.65
θ_i	0.0816	0.0812	0.0811	0.0809	0.0823	0.0822	0.0812

[0084] 表 5-2

[0085]

i	15	16	17	18	19	20	21
$x_{2i} - x_{1i}$	3002.98	3004.97	3008.90	3005.01	3002.77	3005.34	3005.74
$y_{2i} - y_{1i}$	244.02	246.84	243.35	247.75	243.79	244.43	246.44
θ_i	0.0823	0.0820	0.0821	0.0826	0.0810	0.0815	0.0817

[0086] 表 5-3

[0087]

i	22	23	24	25
-----	----	----	----	----

$x_{2i}-x_{1i}$	3004.13	3000.15	3007.03	3005.07
$y_{2i}-y_{1i}$	243.71	245.56	246.61	247.64
θ_i	0.0817	0.0809	0.0820	0.0811

[0088] 表 5-4

[0089] 表 5-1 到 5-4 中, 第一行代表标定圆点编号, 第二行代表图像 PX2 和图像 PX1 中相对应标定圆点编号的 X 坐标之差, 第三行代表图像 PX2 和图像 PX1 中相对应标定圆点编号的 Y 坐标之差, 第四行为 n 个向量与相机 X 轴的夹角 θ_i 。

[0090] 把第四行的夹角 θ_i 取平均值得到平台 X' 轴与相机 X 轴的夹角 θ 为: 0.008191 弧度, 所得到的被测物放置平台 X' 轴与相机坐标轴 X 之间夹角 θ 为图像采集装置 X' 轴坐标误差。

[0091] S7: 计算 PX4 与 PX3 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{4i}-x_{3i}, y_{4i}-y_{3i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 Y 轴的夹角 β_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 β , 得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 。

[0092] $(x_{4i}-x_{3i}, y_{4i}-y_{3i})$ 具体计算如下:

[0093]

i	1	2	3	4	5	6	7
$x_{4i}-x_{3i}$	214.90	217.11	213.86	214.65	217.83	217.03	214.11
$y_{4i}-y_{3i}$	3005.71	3005.63	3001.77	3005.14	3005.48	3001.65	3004.94
β_i	0.0071	0.00706	0.00707	0.0071	0.00708	0.00707	0.00702

[0094] 表 6-1

[0095]

i	8	9	10	11	12	13	14
$x_{4i}-x_{3i}$	218.00	213.32	215.13	215.02	215.00	213.56	215.12
$y_{4i}-y_{3i}$	3005.35	3001.99	3006.23	3000.26	3003.19	3005.33	3003.27
β_i	0.00682	0.00703	0.00693	0.00694	0.00719	0.00699	0.00709

[0096] 表 6-2

[0097]

i	15	16	17	18	19	20	21
$x_{4i}-x_{3i}$	216.07	217.94	214.10	214.77	214.33	214.46	213.94
$y_{4i}-y_{3i}$	3006.02	3003.62	3001.35	3009.14	3006.41	3006.59	3006.75

β_i	0.00712	0.00723	0.007	0.007	0.00715	0.00709	0.00684
-----------	---------	---------	-------	-------	---------	---------	---------

[0098] 表 6-3

[0099]

i	22	23	24	25
$x_{4i}-x_{3i}$	213.11	215.25	214.22	217.34
$y_{4i}-y_{3i}$	3007.45	3008.42	3005.17	3001.52
β_i	0.00702	0.007	0.00709	0.00703

[0100] 表 6-4

[0101] 表 6-1 到 6-4 中, 第一行代表标定圆点编号, 第二行代表图像 PX4 和图像 PX3 中相对应标定圆点编号的 X 坐标之差, 第三行代表图像 PX4 和图像 PX3 中相对应标定圆点编号的 Y 坐标之差, 第四行为 n 个向量与相机 X 轴的夹角 β_i 。

[0102] 把第四行的夹角 β_i 取平均值得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 为: 0.007024 弧度, 所得到的被测物放置平台 Y' 轴与相机坐标轴 Y 之间夹角 β 为图像采集装置 Y' 轴坐标误差。

[0103] 实施例 2:

[0104] 实施例 2 与实施例 1 区别是: 省略步骤中的 S4 步, 在完成 S3 步骤后, 直接进行 S5 步, 其中 S7 步骤中替换为:

[0105] S71: 计算 PX4 与 PX2 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{4i}-x_{2i}, y_{4i}-y_{2i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 Y 轴的夹角 β_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 β , 得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 。

[0106] 实施例 2 具体步骤为:

[0107] S1: 制作圆盘格标定片, 所述圆盘格标定片上设置若干不重叠标定圆点, 标定圆点与圆盘格标定片边界清晰, 所述标定圆点设置为 m 行, m 列, 标定圆点个数为 $n=m \times m$; 标定圆点行列中 $m=5-30$, 标定圆点直径 0.5mm-3mm, 标定圆点间距 1mm-4mm;

[0108] 实施例 2 中, m 取值为 5, 则 n 值为 25。标定圆点直径 0.5mm, 标定圆点间距 1mm;

[0109] S2: 把圆盘格标定片放置到被测物放置平台上, 拍摄图像 PX1, 提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓, 采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{1i}, y_{1i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0110] 其中, 采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片各标定圆点的亚像素圆心坐标是根据各标定圆点的轮廓, 提取出边界点, 以边界点为拟合点, 以椭圆方程为模型进行拟合, 使椭圆方程尽量满足边界点坐标, 求出该椭圆方程的各个参数, 得到的椭圆中心为标定圆点的亚像素圆。椭圆拟合方式为最小二乘法拟合。

[0111] (x_{1i}, y_{1i}) 具体坐标如下表所示:

[0112]

i	1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---	---

x_{1i}	106.82	208.11	301.42	401.46	509.32	103.58	200.84
y_{1i}	105.69	107.95	109.13	106.00	101.19	202.49	209.26

[0113] 表 7-1

[0114]

i	8	9	10	11	12	13	14
x_{1i}	304.38	409.05	507.83	109.87	205.31	303.50	406.40
y_{1i}	206.64	200.85	203.80	303.19	301.79	303.89	309.22

[0115] 表 7-2

[0116]

i	15	16	17	18	19	20	21
x_{1i}	506.86	100.84	208.01	304.78	401.63	504.66	102.50
y_{1i}	308.13	409.11	405.18	407.40	400.54	402.44	508.85

[0117] 表 7-3

[0118]

i	22	23	24	25
x_{1i}	207.39	305.87	405.66	502.60
y_{1i}	506.27	508.18	505.27	508.84

[0119] 表 7-4

[0120] 表 7-1 到 7-4 中, 第一行代表标定圆点编号 i , 第二行代表图像 PX1 中相应标定圆点编号的 X 坐标, 第三行代表图像 PX1 中相应标定圆点编号的 Y 坐标。

[0121] S3: 被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 X' 轴方向移动适当距离, 圆盘格标定片不超出相机视野, 拍摄图像 PX2, 提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓, 采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{2i}, y_{2i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0122] (x_{2i}, y_{2i}) 具体坐标如下表所示:

[0123]

i	1	2	3	4	5	6	7
x_{2i}	3109.61	3113.82	3108.59	3110.50	3101.26	3214.27	3208.44
y_{2i}	348.77	447.64	553.10	652.42	748.55	350.87	454.23

[0124] 表 8-1

[0125]

i	8	9	10	11	12	13	14
x_{2i}	3208.72	3214.46	3215.87	3308.67	3308.51	3314.52	3311.59
y_{2i}	550.68	652.25	756.34	348.93	455.48	549.12	653.14

[0126] 表 8-2

[0127]

i	15	16	17	18	19	20	21
x_{2i}	3308.94	3413.05	3418.74	3413.87	3404.91	3405.69	3510.25
y_{2i}	747.93	354.22	453.11	552.98	648.09	746.50	349.67

[0128] 表 8-3

[0129]

i	22	23	24	25
x_{2i}	3504.27	3504.88	3516.54	3507.56
y_{2i}	444.81	549.31	649.91	751.07

[0130] 表 8-4

[0131] 表 8-1 到 8-4 中, 第一行代表标定圆点编号 i , 第二行代表图像 PX2 中相应标定圆点编号的 X 坐标, 第三行代表图像 PX2 中相应标定圆点编号的 Y 坐标。

[0132] S5: 被测物放置平台带动圆盘格标定片按被测物放置平台 Y' 轴方向移动适当距离, 圆盘格标定片不超出相机视野, 拍摄照片 PX4, 提取圆盘格标定片上标定圆点的轮廓, 采用椭圆拟合的方式计算圆盘格标定片标定圆点的亚像素圆心坐标 (x_{4i}, y_{4i}) , 其中 $i=1, 2, \dots, n$;

[0133] (x_{4i}, y_{4i}) 具体坐标如下表所示:

[0134]

i	1	2	3	4	5	6	7
x_{4i}	3309.61	3313.82	3308.59	3310.50	3301.26	3314.27	3308.44
y_{4i}	3348.77	3447.64	3553.10	3652.42	3748.55	3350.87	3454.23

[0135] 表 9-1

[0136]

i	8	9	10	11	12	13	14
x_{4i}	3408.72	3414.46	3415.87	3508.67	3508.51	3514.52	3511.59

y_{4i}	3550.68	3652.25	3756.34	3348.93	3455.48	3549.12	3653.14
----------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

[0137] 表 9-2

[0138]

	15	16	17	18	19	20	21
x_{4i}	3508.94	3613.05	3618.74	3613.87	3604.91	3605.69	3710.25
y_{4i}	3747.93	3354.22	3453.11	3552.98	3648.09	3746.50	3349.67

[0139] 表 9-3

[0140]

i	22	23	24	25
x_{4i}	3704.27	3704.88	3716.54	3707.56
y_{4i}	3444.81	3549.31	3649.91	3751.07

[0141] 表 9-4

[0142] 表 9-1 到 9-4 中, 第一行代表标定圆点编号 i , 第二行代表图像 PX4 中相应标定圆点编号的 X 坐标, 第三行代表图像 PX4 中相应标定圆点编号的 Y 坐标。

[0143] S6: 计算 PX2 与 PX1 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{2i} - x_{1i}, y_{2i} - y_{1i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 X 轴的夹角 θ_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 θ , 得到平台 X' 轴与相机 X 轴的夹角 θ ;

[0144] $(x_{2i} - x_{1i}, y_{2i} - y_{1i})$ 具体计算如下:

[0145]

i	1	2	3	4	5	6	7
$x_{2i} - x_{1i}$	3008.17	3005.32	3005.21	3007.74	3001.20	3006.25	3003.47
$y_{2i} - y_{1i}$	244.91	243.32	244.79	244.17	244.02	247.07	244.97
θ_i	0.0818	0.0821	0.0813	0.0816	0.0812	0.0824	0.0816

[0146] 表 10-1

[0147]

i	8	9	10	11	12	13	14
$x_{2i} - x_{1i}$	3003.35	3005.75	3008.64	3001.99	3006.72	3009.02	3001.99
$y_{2i} - y_{1i}$	243.27	244.88	246.87	243.83	247.56	244.60	244.65
θ_i	0.0816	0.0812	0.0811	0.0809	0.0823	0.0822	0.0812

[0148] 表 10-2

[0149]

i	15	16	17	18	19	20	21
$x_{2i}-x_{1i}$	3002.98	3004.97	3008.90	3005.01	3002.77	3005.34	3005.74
$y_{2i}-y_{1i}$	244.02	246.84	243.35	247.75	243.79	244.43	246.44
θ_i	0.0823	0.0820	0.0821	0.0826	0.0810	0.0815	0.0817

[0150] 表 10-3

[0151]

i	22	23	24	25
$x_{2i}-x_{1i}$	3004.13	3000.15	3007.03	3005.07
$y_{2i}-y_{1i}$	243.71	245.56	246.61	247.64
θ_i	0.0817	0.0809	0.0820	0.0811

[0152] 表 10-4

[0153] 表 10-1 到 10-4 中, 第一行代表标定圆点编号, 第二行代表图像 PX2 和图像 PX1 中相对应标定圆点编号的 X 坐标之差, 第三行代表图像 PX2 和图像 PX1 中相对应标定圆点编号的 Y 坐标之差, 第四行为 n 个向量与相机 X 轴的夹角 θ_i 。

[0154] 把第四行的夹角 θ_i 取平均值得到平台 X' 轴与相机 X 轴的夹角 θ 为: 0.008191 弧度, 所得到的被测物放置平台 X' 轴与相机坐标轴 X 之间夹角 θ 为图像采集装置 X' 轴坐标误差。

[0155] S71: 计算 PX4 与 PX2 图像相对应标定圆点亚像素圆心坐标之差得到 n 个向量 $r_{xi} = (x_{4i}-x_{2i}, y_{4i}-y_{2i})$, $i=1, 2, \dots, n$, 取 n 个向量与相机 Y 轴的夹角 β_i , $i=1, 2, \dots, n$, 求取夹角的平均值 β , 得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 。

[0156] $(x_{4i}-x_{2i}, y_{4i}-y_{2i})$ 具体计算如下:

[0157]

i	1	2	3	4	5	6	7
$x_{4i}-x_{2i}$	210.39	200.26	210.55	200.39	207.15	208.03	207.14
$y_{4i}-y_{2i}$	3008.22	3007.97	3008.19	3007.81	3007.97	3008.29	3008.59
β_i	0.00735	0.00697	0.00707	0.00701	0.00693	0.00689	0.00692

[0158] 表 11-1

[0159]

i	8	9	10	11	12	13	14
---	---	---	----	----	----	----	----

$x_{4i}-x_{2i}$	209.82	209.91	209.96	210.38	210.63	210.15	210.25
$y_{4i}-y_{2i}$	3008.21	3008.11	3008.12	3008.61	3008.59	3008.25	3008.29
β_i	0.00682	0.00685	0.00686	0.00701	0.00709	0.00693	0.00696

[0160] 表 11-2

[0161]

i	15	16	17	18	19	20	21
$x_{4i}-x_{2i}$	210.42	210.55	210.17	210.24	210.42	210.55	209.76
$y_{4i}-y_{2i}$	3007.99	3008.55	3008.26	3008.42	3008.49	3008.37	3008.22
β_i	0.00702	0.00707	0.00694	0.00696	0.00702	0.00707	0.00679

[0162] 表 11-3

[0163]

i	22	23	24	25
---	----	----	----	----

[0164]

$x_{4i}-x_{2i}$	19.99	19.99	20.13	20.08
$y_{4i}-y_{2i}$	3008.02	3008.59	3008.01	3008.11
β_i	0.00687	0.00687	0.00692	0.0069

[0165] 表 11-4

[0166] 表 11-1 到 11-4 中, 第一行代表标定圆点编号, 第二行代表图像 PX4 和图像 PX2 中相对应标定圆点编号的 X 坐标之差, 第三行代表图像 PX4 和图像 PX2 中相对应标定圆点编号的 Y 坐标之差, 第四行为 n 个向量与相机 X 轴的夹角 β_i 。把第四行的夹角 β_i 取平均值得到平台 Y' 轴与相机 Y 轴的夹角 β 为 :0.006964 弧度, 所得到的被测物放置平台 Y' 轴与相机坐标轴 Y 之间夹角 β 为图像采集装置 Y' 轴坐标误差。