

文章编号: 2095-2163(2021)05-0155-05

中图分类号: TP391

文献标志码: A

一种基于单幅图像的相机标定方法

徐杰

(北京城市学院 3D 打印研究院, 北京 100083)

摘要: 本文提出了一种相机快速标定方法,使用一个平面标定板,仅拍摄一幅图像,就能完成相机标定。与通用的相机标定方法相比,可以减少拍摄图像及计算相机多个参数初值的麻烦,提高了相机标定的效率,尤其适用于多相机同时标定的情况。在计算相机内参时,使用 Levenberg-Marquardt 方法优化求解。实验结果表明,本算法速度快且精度较高,可应用于机器视觉研究、工业三维测量等多个领域的摄像机标定。本方法也可以选择拍摄二幅或者任意多幅图像,来参与算法的迭代优化过程,以进一步提高标定精度。

关键词: 相机标定; CCD 面阵; 机器视觉

A camera calibration method based on single image

XU Jie

(3D Printing Research Institute, Beijing City University, Beijing 100083, China)

[Abstract] In this paper, a fast camera calibration method is proposed. Using a plane calibration board, only one image can be taken to complete the camera calibration. Compared with the general Zhang Zhengyou camera calibration method, it can save the trouble of taking at least three images to calculate the initial value of camera parameters, and improve the efficiency of camera calibration, especially suitable for multi camera calibration at the same time. In the calculation of camera internal parameters, Levenberg Marquardt method is used to optimize the solution. The experimental results show that the algorithm is fast and accurate, and can be applied in machine vision research, industrial 3D measurement and other fields. This method can also choose to take two or any number of images to participate in the iterative optimization process of the algorithm to further improve the calibration accuracy.

[Key words] camera calibration; CCD array; machine vision

0 引言

在现代机器视觉和工业测量中,人们通常用张正友方法^[1]对摄像机的内外参数进行标定。其好处是,使用一块带有特征点的平面标定板即可(面板容易生产),且标定精度高。但该方法需要拍摄至少3幅不同角度的标定板图像(通常要拍摄10幅左右的图像),才能完成标定,标定工作时间长、容易出错,给实际应用带来一定的麻烦。此外,当多个相机需要同时标定时,不容易找到对所有相机都合适的标定板角度和位置,容易漏拍、错拍,需要仔细调整角度位置,否则会产生算法错误,使标定成为一个繁琐的工作。

针对上述情况,本文提出一种标定方法(是作者对已发表论文^[2]的改进),使用平面标定板,只拍一幅图像即可完成标定,操作简单方便,且标定精度高。

1 摄像机模型

摄像机的标定,就是要确定相机内、外参数。外

参包括相机的空间位置和姿态,内参包括相机的焦距、畸变等。计算相机的空间位置和姿态,涉及到世界坐标系、摄像机坐标系和焦平面坐标系等,以及各坐标系之间的变换关系。

1.1 标定中的几种坐标系^[3]

(1) 世界坐标系 ($O_w x_w y_w z_w$)。世界坐标系 ($O_w x_w y_w z_w$) 是在环境中选择一个基准坐标系,描述摄像机和物体的位置。一般以标定板为基准建立世界坐标系。标定板中心为世界坐标系原点,标定板法向上方向为世界坐标系 Z 轴方向。

(2) 摄像机坐标系 ($O_c x_c y_c z_c$)。原点在摄像机光心, z_c 轴为摄像机光轴,与摄像机焦平面垂直, x_c 、 y_c 轴分别平行于焦平面坐标系的 x_u 轴和 y_u 轴,且方向相同,如图1所示。

(3) 焦平面坐标系 ($O_u x_u y_u$)。物体在摄像机焦平面上成像,该坐标系以实际物理长度为单位,原点为摄像机光轴与焦平面的交点, x_u 轴、 y_u 轴分别平行于图像坐标系的 u 轴和 v 轴,且方向相同。

作者简介: 徐杰(1967-),男,博士,副教授,主要研究方向:机器视觉、三维信息处理、3D打印等。

通讯作者: 徐杰 Email: xujie9000@sina.com

收稿日期: 2021-01-27

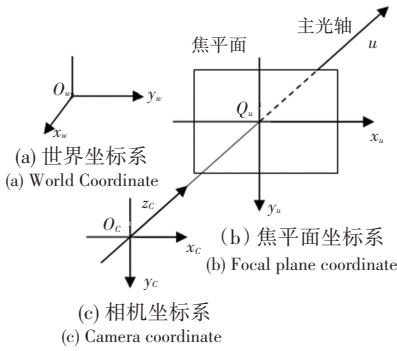


图 1 世界坐标系、摄像机坐标系和焦平面坐标系及其变换关系

Fig. 1 World Coordinate, Camera Coordinate, Focal plane Coordinate and relations

(4) 图像坐标系 (\$O_f uv\$)。CCD 传感器阵列在焦平面上,将物像转换为像素图像,图像坐标系以像素为单位。图像的横向为 \$u\$ 轴,纵向为 \$v\$ 轴,如图 2 所示。

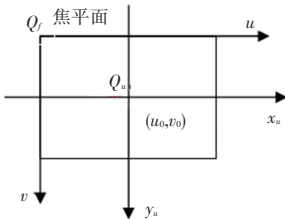


图 2 焦平面上的图像坐标系 (\$O_f uv\$) 与焦平面坐标系 (\$O_u x_u y_u\$) 的变换关系

Fig. 2 Image Coordinate (\$O_f uv\$) and Focal plane Coordinate (\$O_u x_u y_u\$) relation

1.2 各坐标系之间的转换关系

坐标系之间具有一定的转换关系。其中包括:世界坐标系与相机坐标系、相机坐标系与焦平面坐标系、焦平面坐标系与图像坐标系等。

(1) 世界坐标系与摄像机坐标系的转换关系

设世界坐标系中物体点的坐标为 \$(x_w, y_w, z_w)\$,物体点在摄像机坐标系中的坐标为 \$(x_c, y_c, z_c)\$,则有:

$$\begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = R * \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{pmatrix} + T.$$

其中, \$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{pmatrix}\$ 为旋转矩阵, \$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{pmatrix}\$ 为

平移矩阵。

(2) 摄像机坐标系与焦平面坐标系的转换关系
设物体点在摄像机焦平面成像的坐标为 \$(x_u,

\$y_u)\$,则有:

$$s * \begin{pmatrix} x_u \\ y_u \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f_x \gamma \Delta u \\ 0 f_y \Delta v \\ 0 0 1 \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = A * \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{pmatrix} = A * [R, T] \begin{pmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{pmatrix}.$$

其中, \$s\$ 为比例系数; \$f_x, f_y\$ 分别为镜头焦距在 \$x\$、\$y\$ 轴方向的值; \$\gamma\$ 为成像平面与光轴不垂直造成的偏差系数; \$(\Delta u, \Delta v)\$ 为像平面中心与光轴穿过像平面位置的偏差值。理想情况下:

$$f_x = f_y = f, \gamma = 0, \Delta u = 0, \Delta v = 0, A = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

则有:

$$x_u = f \frac{x_c}{z_c}, \quad y_u = f \frac{y_c}{z_c}.$$

其中, \$f\$ 是摄像机镜头焦距。

由于摄像机镜头有畸变,实际物体点在焦平面的成像坐标为 \$(x_d, y_d)\$,其数学模型可以用下面公式描述^[2]:

$$\begin{cases} x_u = x_d + x_d * (k1 * r^2 + k2 * r^4) + p1 * 2 * x_d * y_d + p2 * (3 * x_d^2 + y_d^2), \\ y_u = y_d + y_d * (k1 * r^2 + k2 * r^4) + p1 * (x_d^2 + 3 * y_d^2) + p2 * 2 * x_d * y_d. \end{cases} \quad (2)$$

其中, \$r = \sqrt{x_d^2 + y_d^2}\$。

(3) 焦平面坐标系与图像坐标系的转换关系

设物体点在图像上的像素坐标为 \$(u, v)\$,则有:

$$\begin{cases} u = N_x * x_d + u_0, \\ v = N_y * y_d + v_0. \end{cases} \quad (3)$$

其中, \$N_x, N_y\$ 分别是焦平面上横向、纵向单位长度的像素数, \$(u_0, v_0)\$ 是焦平面坐标系的原点 \$O_u\$ 在图像坐标系中的像素坐标,一般在图像中心(通过实验发现, \$u_0, v_0\$ 值对总的标定精度影响不大^[4])。

1.3 面阵 CCD 摄像机镜头综合畸变模型

对于面阵 CCD 摄像机来说, \$N_x, N_y\$ 值是固定的(厂家已给出)。如果厂家给出的 \$N_x, N_y\$ 参数不准确,或者 CCD 传感器阵面排列有畸变,导致由像素坐标 \$(u, v)\$ 和公式(3)推算出来的物体在焦平面的成像位置与实际位置不一致,则可以把这种由 CCD 阵面排列畸变引起的偏差归并于摄像机镜头,而认为 CCD 阵面是整齐排列的,且 \$N_x, N_y\$ 参数值是精确

的。这时,摄像机镜头畸变模型由公式(2)改为:

$$\begin{cases} x_u = f_x(x_d, y_d), \\ y_u = f_y(x_d, y_d). \end{cases} \tag{4}$$

其中, x_d, y_d 是由像素坐标(u, v) 和公式(3)计算出来的,并不一定是实际成像位置, F_x, F_y 是关于 x_d, y_d 的某种函数,反映的是摄像机镜头和 CCD 面阵的综合畸变。

2 摄像机内外参数的求解

假设,已知摄像机镜头和 CCD 面阵的综合畸变模型(例如,函数 f_x, f_y 为关于 x_d, y_d 的某种多项式),以及单平面靶标上 n 个点的世界坐标(x_w, y_w, z_w)和二者在图像上对应点的图像坐标(u, v)。计算摄像机的内外参数(包括外参数 R, T , 和内参数 A 、镜头综合畸变参数等)的步骤如下:

第一步:设相机理想模型和镜头综合畸变模型。

若已知镜头综合畸变模型函数 f_x, f_y 分别为:

$$\begin{cases} f_x(x_d, y_d) = x_d + x_d * (k_1 * r^2 + k_2 * r^4) + \\ \quad p_1 * 2 * x_d * y_d + p_2 * (3 * x_d^2 + y_d^2), \\ f_y(x_d, y_d) = y_d + y_d * (k_1 * r^2 + k_2 * r^4) + \\ \quad p_1 * (x_d^2 + 3 * y_d^2) + p_2 * 2 * x_d * y_d. \end{cases} \tag{5}$$

设其中各畸变参数的初始值分别为: $k_1 = 0, k_2 = 0, p_1 = 0, p_2 = 0$ 。且设式(1)中的初始值为: $f_x = f, \gamma = 0, \Delta u = 0, \Delta v = 0$ 。

第二步:计算 R, T, f 初值。

因

$$\begin{cases} f_x(x_d, y_d) = x_u = f \frac{x_c}{z_c} = f \frac{r_1 * x_w + r_2 * y_w + r_3 * z_w + Tx}{r_7 * x_w + r_8 * y_w + r_9 * z_w + Tz}, \\ f_y(x_d, y_d) = y_u = f \frac{y_c}{z_c} = f \frac{r_4 * x_w + r_5 * y_w + r_6 * z_w + Ty}{r_7 * x_w + r_8 * y_w + r_9 * z_w + Tz}. \end{cases}$$

由于平面靶标上的点是共面的,则设 $z_w = 0$, 所以有:

$$\begin{cases} f_x(x_d, y_d) = f \frac{r_1 * x_w + r_2 * y_w + Tx}{r_7 * x_w + r_8 * y_w + Tz}, \\ f_y(x_d, y_d) = f \frac{r_4 * x_w + r_5 * y_w + Ty}{r_7 * x_w + r_8 * y_w + Tz}. \end{cases}$$

设靶平面上 n 个点的世界坐标为 (x_{wi}, y_{wi}, z_{wi}), 其对应的一幅图像坐标为 (u_i, v_i), ($i = 1, 2, \dots, n$), 根据公式(3) 可以计算出 (x_{di}, y_{di})、根据公式(5) 可以计算出 $f_{xi} = f_x(x_{di}, y_{di})$ 和 $f_{yi} = f_y(x_{di}, y_{di})$, 所以有:

$$\begin{cases} f_{xi} = f \frac{r_1 * x_{wi} + r_2 * y_{wi} + Tx}{r_7 * x_{wi} + r_8 * y_{wi} + Tz}, \\ f_{yi} = f \frac{r_4 * x_{wi} + r_5 * y_{wi} + Ty}{r_7 * x_{wi} + r_8 * y_{wi} + Tz}. \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

整理可得线性方程组:

$$\begin{pmatrix} x_{w1} & y_{w1} & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_{w1} * f_{x1} & -x_{w1} * f_{y1} \\ 0 & 0 & 0 & x_{x1} & y_{w1} & 1 & -x_{w1} * f_{y1} & -y_{w1} * f_{y1} \\ & & & & & & & \dots \\ & & & & & & & \dots \\ & & & & & & f * r_1 / T_z & f_{x1} \\ & & & & & & f * r_2 / T_z & f_{x2} \\ & & & & & & f * T_x / T_z & \dots \\ & & & & & & f * r_4 / T_z & \\ & & & & & & f * T_3 / T_z & \\ & & & & & & f * T_y / T_z & \\ & & & & & & r_7 / T_z & \\ & & & & & & r_8 / T_z & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{x1} \\ f_{x2} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix}. \tag{6}$$

式(6)可以写为 $Ax = b$ 。其中 A 矩阵共有 8 列 $2n$ 行, 向量 $x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8)' = (f * r_1 / T_z, f * r_2 / T_z, f * T_x / T_z, f * r_4 / T_z, f * r_5 / T_z, f * T_y / T_z, r_7 / T_z, r_8 / T_z)'$ 的元素是 8 个待求的未知数, 向量 $b = (f_{x1}, f_{y1}, \dots, f_{xn}, f_{yn})'$ 为已知。只要知道平面靶标上 4 个以上点的世界坐标和对应的图像坐标, 就可以用最小二乘法求解, 即对于线性方程组 $Ax = b$, 解为 $x = (A'A)^{-1}(A'b)$ 。

因为 R 是正交矩阵, 所以存在关系式:

$$\sqrt{(r_1 - r_5)^2 + (r_2 + r_4)^2} + \sqrt{(r_1 + r_5)^2 + (r_2 - r_4)^2} = 2. \tag{7}$$

由此, 可解出 f/T_z , 从而算出 $r_1, r_2, r_4, r_5, T_x, T_y$ 。

同样因 R 是正交矩阵, 则有关系式:

$$\begin{cases} r_1 * r_2 + r_4 * r_5 + r_7 * r_8 = 0, \\ (r_1 * r_1 + r_4 * r_4 + r_7 * r_7) - (r_2 * r_2 + r_5 * r_5 + r_8 * r_8) = 0. \end{cases} \tag{8}$$

所以有如下方程:

$$\begin{cases} f^2 = \frac{x_1 * x_2 + x_4 * x_5}{-(x_7 * x_8)}, \\ f^2 = \frac{(x_1 * x_1 + x_4 * x_4) - (x_2 * x_2 + x_5 * x_5)}{-(x_7 * x_7 - x_8 * x_8)}. \end{cases} \tag{9}$$

从而可解出 f , 算出 T_z , 同时可算出 $r_7, r_8 (r_7 = x_7 * T_z, r_8 = x_8 * T_z)$ 。可由 R 前两列向量叉乘算出

第三列向量(r_3, r_6, r_9),即:

$$\begin{cases} r_3 = r_4 * r_8 - r_7 * r_5, \\ r_6 = r_7 * r_2 - r_1 * r_8, \\ r_9 = r_1 * r_5 - r_4 * r_2. \end{cases} \quad (10)$$

这样,可求得 R, T, f 初值。 $A = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为

A 的初值。

第三步:计算优化标定解。

假定平面标定板上有 n 个标记点,相机拍摄一幅标定板图像,则制定评价函数^[5]如式(11):

$$\min = \sum_{i=1}^n \| m_i - m(A, R, T, k_1, k_2, p_1, p_2, M_i) \|^2. \quad (11)$$

其中, m_i 为第 i 个点的图像坐标; M_i 为第 i 个点的空间坐标; $m(A, R, T, k_1, k_2, p_1, p_2, M_i)$ 是通过这些已知量,根据式(1)、(2)、(3)求得的图像坐标。使评价函数最小的 $A, R, T, k_1, k_2, p_1, p_2$ 就是问题的最优解,即标定结果。利用 Levenberg-Marquardt 来求解非线性最小二乘问题,初始估值为上面求得

R, T, A 矩阵初值, k_1, k_2, p_1, p_2 初值为 0。这里是优化一幅图像的标定,为了提高景深标定的精度,也可以增加图像数量。如果是多幅图像,则是多个位姿 R_k, T_k , 和多幅拍摄点 $m_{ki}(k = 1, 2, \dots)$ 同样可以用(11)式求优化解。

3 实验结果

实验中采用平面标定块,如图 3 所示。靶标上各圆心的世界坐标见表 1,其对应的图像像素坐标见表 2;实验使用 sony 面阵 CCD 摄像机,分辨率为 $1024 * 1280, N_x = 1/0.005 2$ (像素/mm), $N_y = 1/0.005 2$ (像素/mm);设 $(u_0, v_0) = (640, 512)$ 。

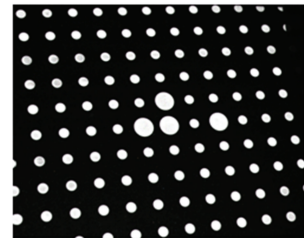


图 3 实验使用的平面标定块

Fig. 3 Testing calibrate board

表 1 平面标定板的圆心世界坐标($z_{wi}=0, 63$ 个点,单位 mm)

Tab. 1 The world coordinates of centers of circles on the calibrate board ($z_{wi}=0, 63$ points)

	列 1	列 2	列 3	列 4	列 5	列 6	列 7	列 8	列 9
X_{wi}	167.974 0	175.984 0	183.977 0	191.974 0	199.970 0	207.961 0	215.961 0	223.957 0	231.950 0
y_{wi}	223.995 0	223.988 0	223.992 0	223.986 0	223.992 0	223.993 0	223.989 0	223.991 0	223.990 0
X_{wi}	167.978 0	175.983 0	183.982 0	191.973 0	199.983 0	207.974 0	215.962 0	223.956 0	231.939 0
y_{wi}	216.010 0	216.008 0	216.006 0	216.003 0	216.001 0	216.002 0	216.000 0	216.001 0	216.000 0
X_{wi}	167.978 0	175.988 0	183.989 0	191.988 0	199.986 0	207.983 0	215.976 0	223.971 0	231.965 0
y_{wi}	208.030 0	208.019 0	208.017 0	208.017 0	208.014 0	208.014 0	208.014 0	208.015 0	208.016 0
X_{wi}	167.991 0	176.000 0	184.002 0	191.988 0	199.976 0	207.975 0	215.968 0	223.968 0	231.951 0
y_{wi}	200.030 0	200.033 0	200.025 0	200.004 0	200.015 0	200.022 0	200.017 0	200.020 0	200.030 0
X_{wi}	168.029 0	176.023 0	184.025 0	192.017 0	200.017 0	207.999 0	215.998 0	223.984 0	231.972 0
y_{wi}	192.060 0	192.054 0	192.057 0	192.044 0	192.057 0	192.038 0	192.040 0	192.050 0	192.064 0
X_{wi}	168.028 0	176.024 0	184.028 0	192.022 0	200.010 0	208.002 0	216.001 0	223.995 0	231.994 0
y_{wi}	184.091 0	184.078 0	184.080 0	184.085 0	184.078 0	184.074 0	184.078 0	184.080 0	184.080 0
X_{wi}	168.038 0	176.044 0	184.036 0	192.030 0	200.026 0	208.017 0	216.019 0	224.002 0	231.994 0
y_{wi}	176.090 0	176.094 0	176.083 0	176.080 0	176.079 0	176.072 0	176.077 0	176.078 0	176.072 0

表 2 平面标定板的圆心图像坐标(63 个点,单位:像素)

Tab. 2 The image coordinates of centers of circles on the calibrate board (63 points, unit: pixel)

	列 1	列 2	列 3	列 4	列 5	列 6	列 7	列 8	列 9
U_i	176.16	291.14	403.67	513.88	621.82	727.57	831.25	932.74	1 032.3
V_i	239.432 0	234.457 5	229.479 5	224.656 7	219.909 9	215.320 0	210.780 3	206.307 5	202.036 0
U_i	191.04	307.36	421.11	532.58	641.83	748.79	853.48	956.12	1 056.6
V_i	343.992 2	337.753 1	331.718 8	325.771 0	319.919 1	314.230 5	308.703 5	303.226 1	297.883 2
U_i	206.29	323.97	439.29	552.02	662.36	770.55	876.45	980.10	1 081.6
V_i	451.337 4	443.936 4	436.610 7	429.553 0	422.728 5	415.678 0	409.067 7	402.467 8	396.084 0
U_i	222.02	341.19	457.7	571.69	683.3	792.74	899.70	1 004.5	1 107.1
V_i	561.825 1	553.124 3	544.674 0	536.544 8	528.390 0	520.172 7	512.371 3	504.518 1	496.847 4
U_i	238.14	358.87	476.85	592.12	705.27	815.63	923.97	1 029.8	1 133.4
V_i	675.399 1	665.420 6	655.486 5	645.948 9	636.329 6	627.095 6	617.911 9	608.916 1	600.136 1
U_i	254.80	377.04	496.46	613.34	727.39	839.20	948.67	1 055.6	1 160.4
V_i	791.938 8	780.561 1	769.219 5	758.241 3	747.444 7	736.867 1	726.445 9	716.142 9	706.117 4
U_i	271.94	395.71	516.68	634.87	750.42	863.45	974.14	1 082.3	1 188.1
V_i	912.374 6	899.348 1	886.618 5	874.163 1	861.842 0	849.944 4	837.994 2	826.506 6	815.203 9

根据摄像机特性,设该摄像机镜头综合畸变模型为式(5),由上述方法求出 R 、 T 、 A 、 k_1 、 k_2 、 p_1 、 p_2 的值,见表3。

表3 相机标定结果
Tab. 3 Calibration result

	R		T (mm)		A	k_1	k_2	p_1	p_2		
	0.956 0	-0.173 2	0.236 9	-151.889 3	16.275 3	0.037 1	-0.126 2				
	-0.068 2	-0.916 2	-0.394 8	198.078 9	0.0	16.300 9	-0.005 3	0.000 1	-2.72e-006	2.35e-005	-1.89e-005
	0.285 4	0.361 3	-0.887 7	85.716 6	0.0	0.0	1				

实验结果:

$$\text{平均像素误差} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(u_i - u_i')^2 + (v_i - v_i')^2}}{n} = 0.0945 \text{ (像素)}.$$

其中 (u_i, v_i) 为圆心实际图像坐标, (u_i', v_i') 为由参数 R 、 T 、 A 、 k_1 、 k_2 、 p_1 、 p_2 计算出来的圆心图像坐标。在普通 Intel_i7 处理器的电脑上算法运行时间小于 1 s。

4 结束语

通过实验可以发现,摄像机镜头综合畸变模型函数 $f_x(x_d, y_d)$ 、 $f_y(x_d, y_d)$ 设为上述式(5)函数,或者 Tsai 方法^[6]提到的畸变模型函数时,标定结果都是稳定的。采用本标定方法,标定板不能正对相机,否则标定误差较大。标定板法向与相机光轴之间的夹角应大于 10° ,一般取 $30^\circ \sim 45^\circ$ 比较合适。这也表明畸变参数的标定计算需要在一定景深范围内进行。本方法的优点是:只使用平面靶标,一幅图像,

操作简捷快速,而且适用于任何种类的镜头畸变模型。与张正友方法相比,本方法只要拍摄一幅图像,就能计算相机初始参数,再利用 Levenberg - Marquarat 方法求优化解,具有更大的灵活性。

参考文献

- [1] ZHANG Zhengyou. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (11) :374-376.
- [2] 徐杰. 机器视觉中摄像机标定 Tsai 两步法的分析与改进[J]. 计算机工程与科学, 2010, 4:42-44.
- [3] 马颂德. 计算理论与算法基础[M]. 科学出版社, 1998, 52-60.
- [4] Reimar K Lenz, Roger Y Tsai. Technology for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3-D machine version metrology[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1988, 10(5) : 68-75.
- [5] 杨敏,沈春林. 基于单平面模板的摄像机标定研究[J]. 数据采集与处理, 2003, 18(3) :40-43.
- [6] ROGER Y TSAI. A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses [J]. IEEE JOURNAL OF ROBOTICS AND AUTOMATION[J], 1987, 3(4) : 323-344.

(上接第 154 页)

4 结束语

本文以人脸识别技术为核心,设计并实现了一种在中小型企业使用的人脸识别考勤系统。文章首先分析了传统考勤方式存在的问题,使用人脸识别考勤系统的合理性及高效性;其次,对人脸识别的有关技术展开分析,阐述了基于人脸识别的考勤系统的原理,设计出相应的实现方案,明确了以人脸识别技术为基础的考勤系统的框架以及功能模块,最后实现了基于人脸识别考勤系统的界面设计和功能测试。基于人脸识别技术的考勤系统可以帮助企业解决代打卡、假冒等现象,营造一个公平公正的企业氛围。系统达到了对人脸进行检测识别和考勤记录的目的,能够识别员工的身份信息,对员工的考勤进行记录和统计,并且能够完成员工信息的录入、更改以

及考勤信息的查询和统计。

参考文献

- [1] Nirmalya Kar. Study of Implementing Automated Attendance System Using Face Recognition Technique [J]. International Journal of Computer and Communication Engineering, 2012, 1 (2) :1.
- [2] Ajinkya Patil. Implementation of Classroom Attendance System Based on Face Recognition in Class [C]// International Journal of Advances in Engineering & Technology, 2014.
- [3] REN S, HE K, GIRSHICK R, et al. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2017, 39(6) :1137-1149.
- [4] 陈晓东. 数字图像识别在人脸检测中的作用[J]. 数字通信世界, 2019, 2(7) :15-17.