

相机标定上机实践报告

蒋颜丞，自动化(电气)1903，3190102563

1 实验内容和要求

自拍照标定板图像或者附件标定板图像（方格尺寸为3厘米），实践张正友相机标定方法。

2 实验原理

基本原理：

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix}$$

在这里假定模板平面在世界坐标系Z=0的平面上。其中，K为摄像机的内参数矩阵， $\tilde{M} = [X \ Y \ 1]^T$ 为模板平面上点的齐次坐标，为 $\tilde{m} = [u \ v \ 1]^T$ 模板平面上点投影到图象平面上对应点的齐次坐标， $[r_1, r_2, r_3]$ 和t分别是摄像机坐标系相对于世界坐标系的旋转矩阵和平移向量。

上式可化为：

$$s\tilde{m} = H\tilde{M}$$

其中 $H = [h_1 \ h_2 \ h_3] = \lambda K [r_1 \ r_2 \ t]$ 。

根据旋转矩阵的性质，即 $r_1^T r_2 = 0$ 和 $\|r_1\| = \|r_2\| = 1$ ，每幅图象可以获得以下两个对内参数矩阵的基本约束：

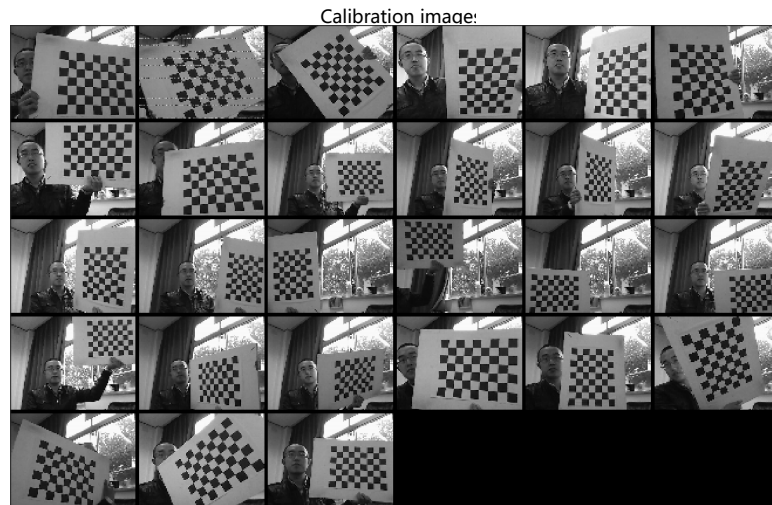
$$\begin{aligned} h_1^T K^{-T} K^{-1} h_2 &= 0 \\ h_1^T K^{-T} K^{-1} h_1 &= h_2^T K^{-T} K^{-1} h_2 \end{aligned}$$

由于摄像机有5个未知内参数，所以当所摄取得的图象数目大于等于3时，就可以线性唯一求解出K。此时，已知H和K，则可求出 $[r_1 \ r_2 \ t]$ ，而 $r_3 = r_1 \times r_2$ ，最后计算出K、R、t。

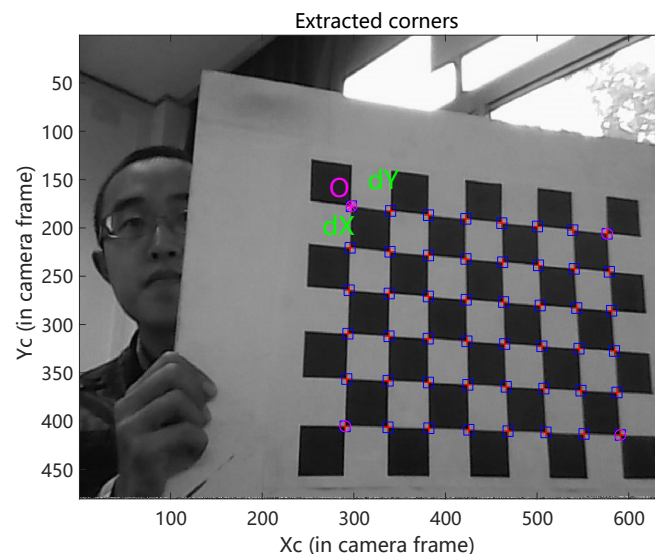
3 实验过程与结果

本次实验采用Camera Calibration Toolbox for Matlab工具箱来实现。

首先读入26张原始数据，如下图所示：



然后通过简单的手动框选，从26张图像中提取角点，如下图所示（以第一张图像为例）：



由于本次实践所给图像的畸变并不大，因此无需设置初始畸变参数就能得到比较好的角点提取效果。

随后进行标定，求出摄像机的内参数、外参数和畸变系数，并优化求精，结果如下：

```
Calibration results after optimization (with uncertainties):
Focal Length:      fc = [ 690.57901  691.11551 ] +/- [ 3.88665  3.78379 ]
Principal point:   cc = [ 337.40598  274.53965 ] +/- [ 2.42827  2.95729 ]
Skew:              alpha_c = [ 0.00000 ] +/- [ 0.00000 ] => angle of pixel
axes = 90.00000 +/- 0.00000 degrees
Distortion:        kc = [ 0.33232  -0.86249  0.00072  0.00128  0.00000 ]
+/- [ 0.01602  0.06298  0.00221  0.00176  0.00000 ]
Pixel error:       err = [ 0.22749  0.22812 ]
```

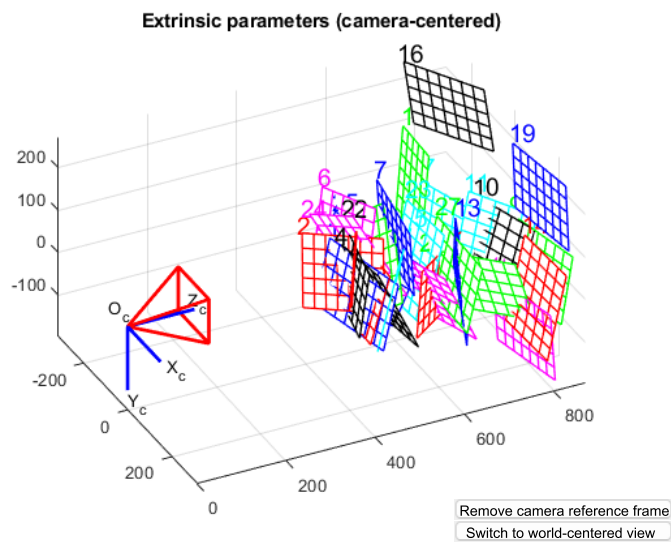
即：

焦距 = [690.57901 691.11551] +/- [3.88665 3.78379]
 坐标 = [337.40598 274.53965] +/- [2.42827 2.95729]
 像素轴角 = 90.00000 +/- 0.00000 degrees
 畸变系数 = [0.33232 -0.86249 0.00072 0.00128 0.00000] +/- [0.01602
 0.06298 0.00221 0.00176 0.00000]
 像素偏差 (标准差) = [0.22749 0.22812]

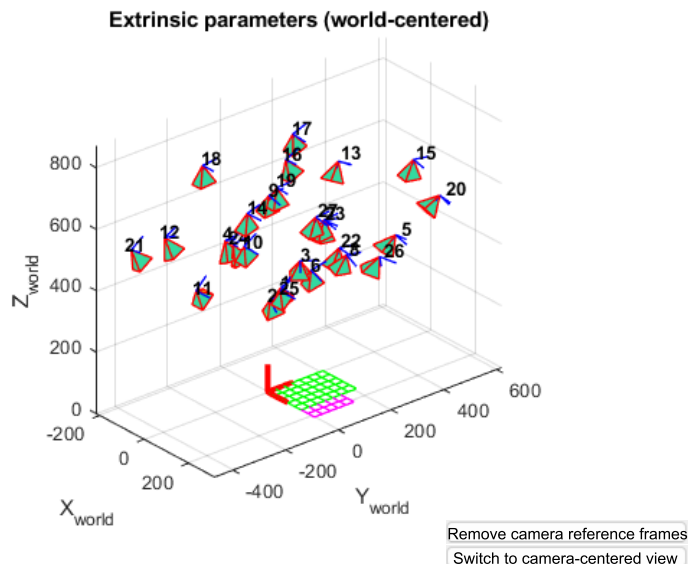
进一步计算得到相机的内参数矩阵:

$$K = \begin{pmatrix} f_u & -f_u \cot \theta & u_0 \\ 0 & f_v / \sin \theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_u & 0 & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 690.57901 & 0 & 337.40598 \\ 0 & 691.11551 & 274.53965 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

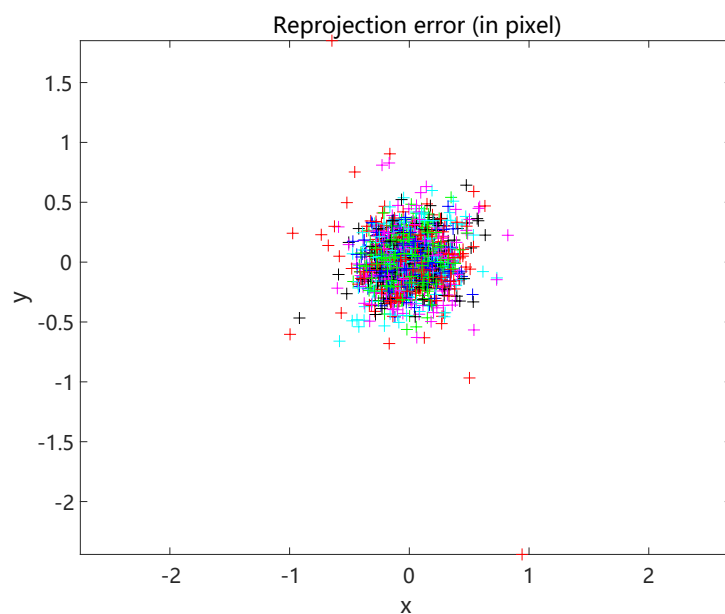
以3D图形式展示相机的外参数，相机坐标系下的视图:



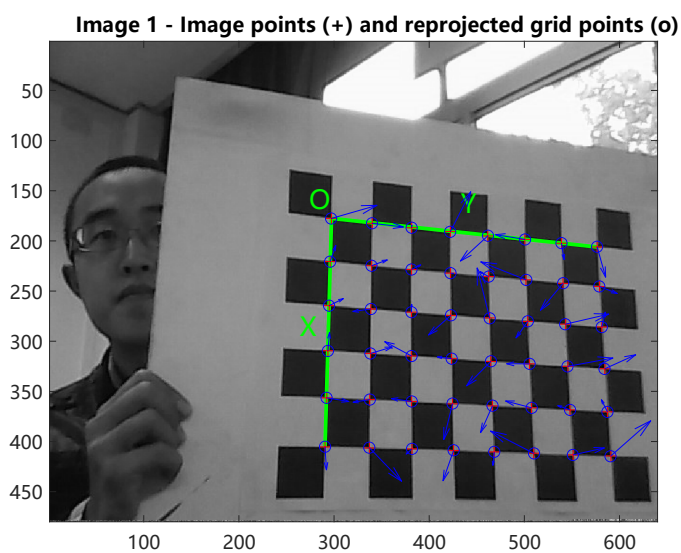
世界坐标系下的视图:



投影误差分析如下图所示:

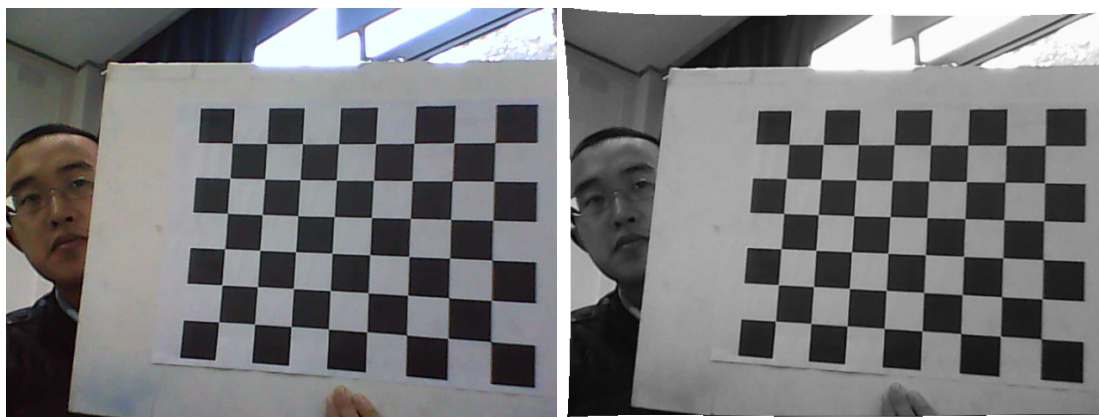


误差区间: $x: (-1, 0.9)$, $y: (-0.9, 1)$, 误差区间已经相当小, 表明标定的效果很不错。此外, 每种色彩都代表一张图像的投影差, 如蓝色表示的是第一张图上各个角点的反投影误差, 详情如下图:



可以看出, 各个角点的投影误差方向有一定的规律性。

随后, 我们可以利用以上标定得到的参数对图像进行纠正, 如下图所示 (以图21为例):



左图：未纠正，右图：纠正后

最后，点击Save按钮保存标定数据，标定的中间数据存于calib_data.mat；计算结果存于Calib_Results.m和Calib_Results.mat中，包括内参数和外参数。