

# 基于 MATLAB 的单目相机标定

MATLAB 提供了 Camera Calibrator 应用程序来标定相机的内参，外参，这些相机参数可以应用于计算机视觉，如消除图像中镜头的畸变的影响，测量平面物体。

## 单目相机校准工作流程：



1. 准备标定棋盘格，相机和图像；（**相机必须为定焦相机**）
2. 添加图像并选择相机型号；
3. 标定相机；
4. 评估标定精度；
5. 调整参数以提高准确性（如有必要，在某些情况下，默认值可以很好地工作，无需在导出参数之前进行任何改进。）；
6. 导出参数对象。

## 打开相机标定程序：

- 在 MATLAB App 中 'Image Processing and Computer Vision' 中选择 'Camera Calibrator' 图标；
- 或者在 MATLAB 命令行输入：cameraCalibrator

## 相机内参的标定

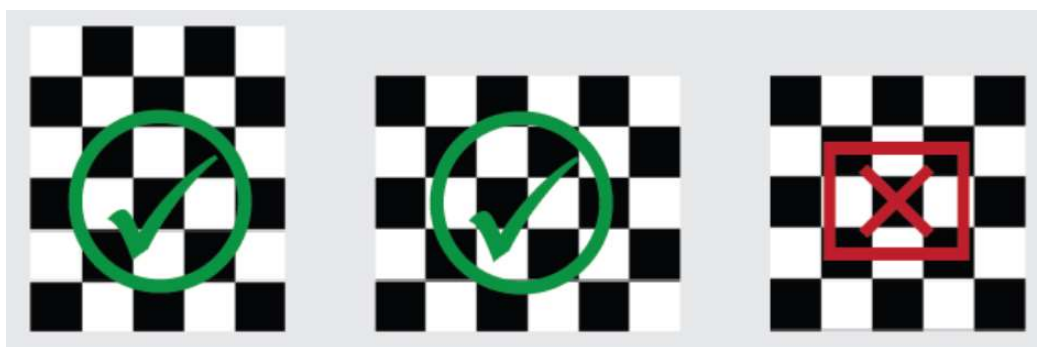
### 1. 准备棋盘格，相机和图像

可以打印 MATLAB 提供的如下棋盘格图案：



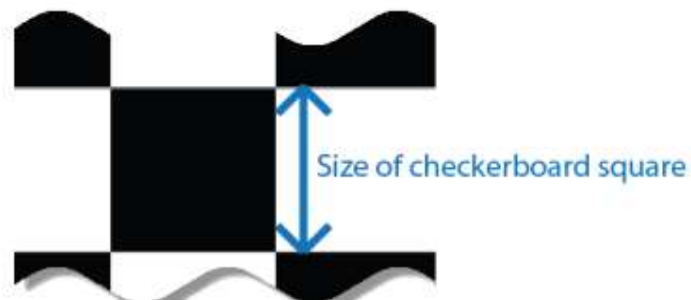
checkerboardPattern.pdf (Command Line)

棋盘格图案是方便的校准目标，棋盘格图案不能为正方形，一侧必须包含偶数个正方形，另一侧必须包含奇数个正方形，棋盘格图案在一侧包含两个黑角，在相对侧包含两个白角，camera calibrator 以此确定图案的方向，较长的一侧为 X 方向。



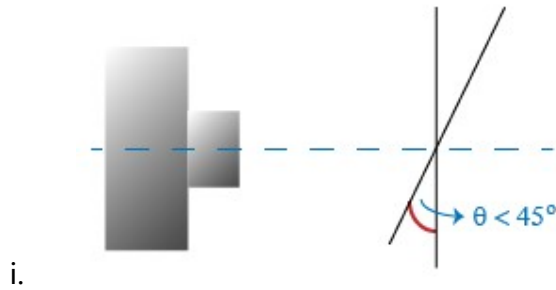
#### 1) 准备棋盘格图案：

- 棋盘格需贴在平坦的表面上，表面上瑕疵会影响校准的准确性；
- 测量棋盘方格的一侧长度（单位：mm），用于参数标定；
- 为了提高检测速度，请设置尽可能少的背景杂乱的图像。

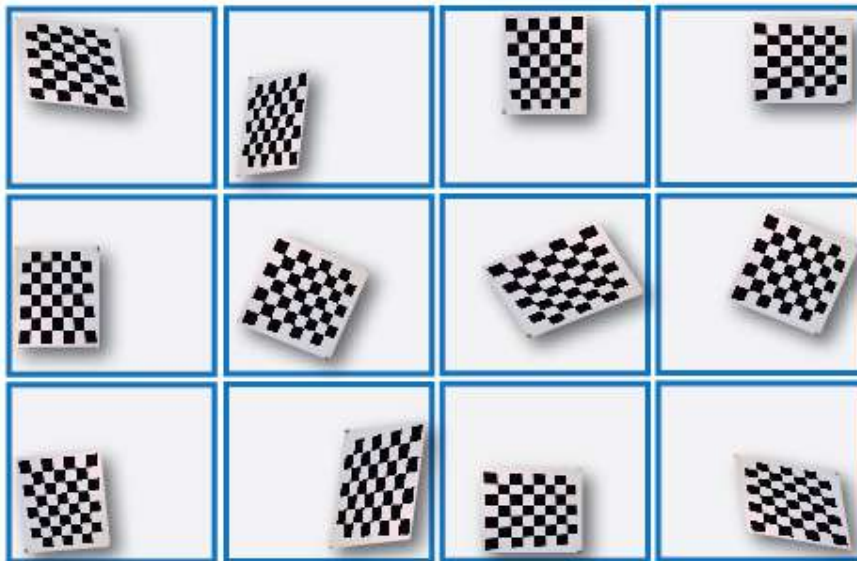


- 设定相机：调整相机焦距，使图像保持聚焦后，固定螺丝以固定焦距；
- 拍摄图像：

- a) 拍摄至少 10~20 张图像;
- b) 棋盘格相对于相机平面的角度小于 45 度;



- c) 调整棋盘格位置，捕获各种图像，为了捕获相机镜头的畸变失真，图案必须出现在靠近捕获图像边缘的位置;



- d) 棋盘格应至少填充所捕获图像 20%。

## 2. 添加图像并选择相机型号:

要开始标定必须添加图像。可以从文件夹添加保存的图像，也可以直接从相机添加图像。

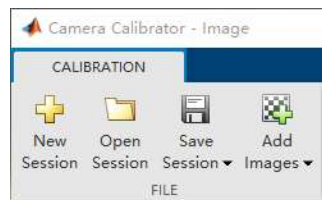
### 1) 采集实时图像

使用 MATLAB WebCam 支持包从 WebCam 捕获实时图像。

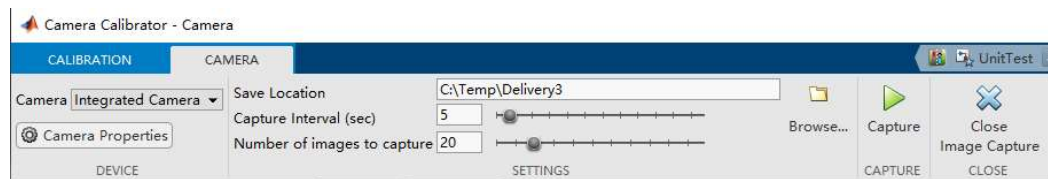
安装支持包参考:

<https://ww2.mathworks.cn/help/imag/install-the-matlab-support-package-for-usb-webcams.html>

- a) 在 “**CALIBRATION**” 选项卡的 “**FILE**” 部分，单击 “**Add Images**”，  
然后选择 From camera。



- b) 此操作将打开 “**Camera**” 选项卡。如果只有一个网络摄像头连接到系统，  
则默认情况下将其选中，并打开实时预览窗口。如果连接了多台摄像机，并  
且希望使用与默认摄像机不同的摄像机，请在 “**Camera**” 列表中选择该特  
定摄像机。



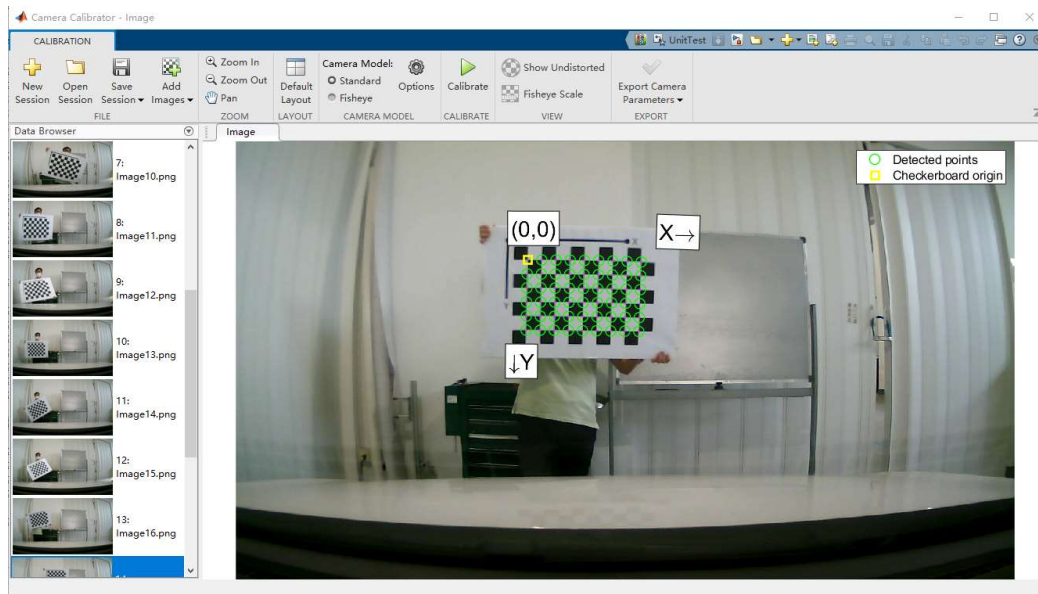
- c) 设置相机的属性以控制图像（可选）。单击 “**Camera Properties**” 以打开  
所选摄像机的属性菜单。设定 Resolution。
- d) 通过输入文件夹的路径或使用 “**Browser**” 按钮，在 “**Save Location**” 框  
中输入 获取的图像文件的**位置**。
- e) 设置捕获参数。
- f) 要设置两次图像捕获之间的秒数，请使用 “**Capture Interval**” 框或滑  
块。默认值为 5 秒，最小为 1 秒，最大为 60 秒。

- g) 要设置图像捕获数量，请使用 “Number of Images to Capture” 框或滑块。默认为 20 张图像。
- h) 在默认配置下，总共捕获 20 张图像，每 5 秒拍摄一张。
- i) 单击 **Capture** 按钮。您设置的图像数量被捕获，快照的缩略图显示在 “Data Browser” 窗格中。会自动以递增方式命名并捕获为.png 文件。
- j) 选择 “**Stop Capture**”，在捕获指定数量的图像之前停止图像捕获。
- k) 捕获棋盘格图像时，在捕获指定数量的图像后，将显示 “Checkerboard Square Size” 对话框。指定棋盘格正方形的大小，然后单击 **OK**。



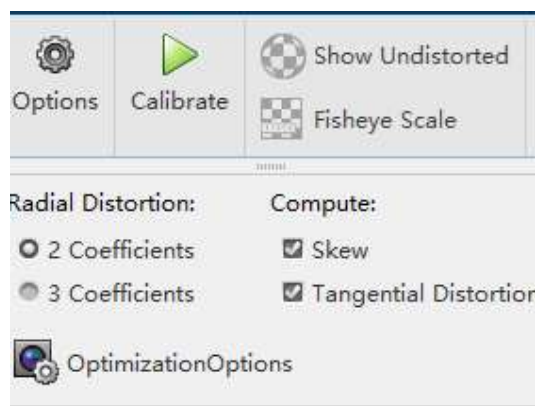
- l) Camera Calibrator 会检测图片是否可用，自动剔除不可用的图像；
- m) 完成后点击 “Close Image Capture” 以关闭 “Camera” 选项卡。

### 3. 查看图像和检查点



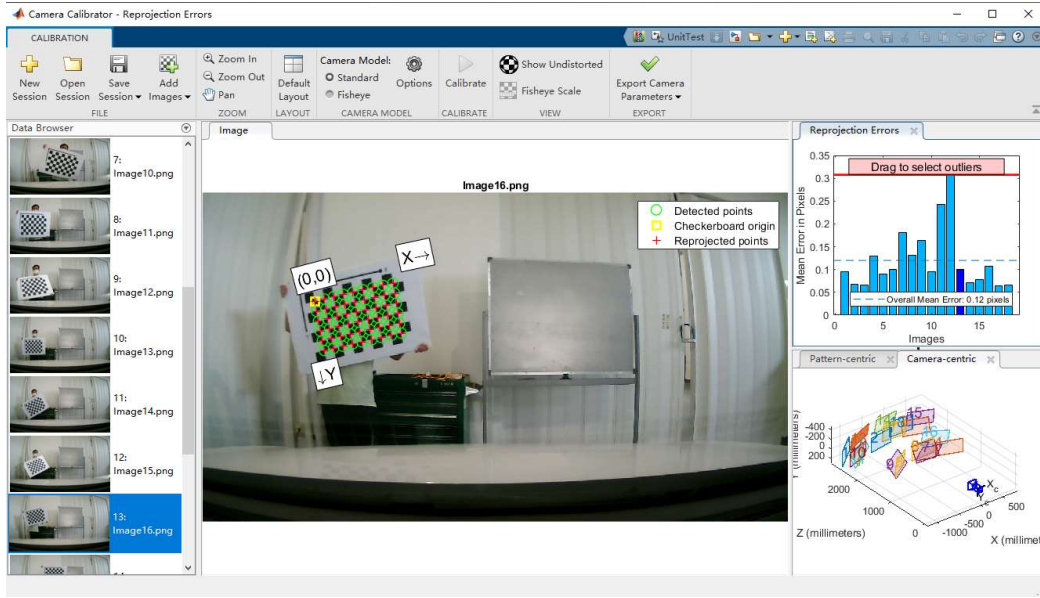
## 2) 标定相机内参

- 选择 “Camera Model” 为 Standard;
- 在 Options 选项中设置 Radial Distortion 和 Skew/Tangential Distortior 以计算相机镜头的畸变 (此部分即 #5 调整参数以提高准确性);



- 选择 “Calibration” 进行标定。

## 4. 评估标定结果

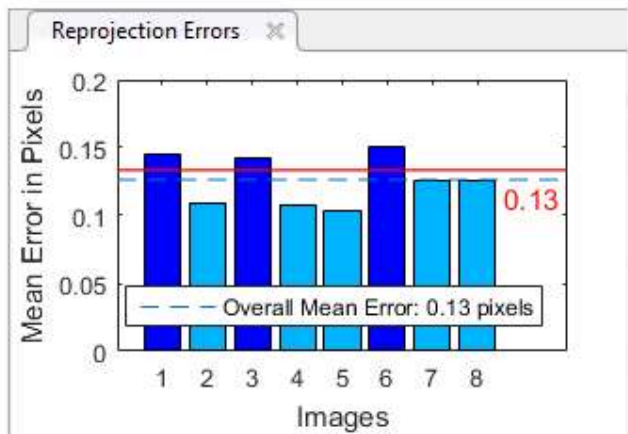


通过检查重新投影误差，检查相机的外部特性或查看未失真的图像来评估校准精度。

为了获得最佳的校准结果，请使用所有三种评估方法。

#### 1) 检查重投影误差：

重投影误差是检测点和重投影点之间的距离（以像素为单位），通常，小于 1 个像素的平均重投影误差是可以接受的。



#### 2) 检查外参可视化：

在拍摄图像时相机静止不动，则以相机为中心的视图将很有帮助。（如果图案是固定的，则以图案为中心的视图将很有帮助。）可视化中突出显示的数据对应于列



表中的选定图像。检查图案和相机的相对位置，以确定它们是否符合您的期望。例如，出现在摄像机后面的图案表示校准错误。

### 3) 查看失真的图像：

要查看消除镜头失真的效果，请在 “**CALIBRATION**” 选项卡的 “**VIEW**” 部分中单击 “**Show Undistorted**”。如果校准准确，则图像中的扭曲线会变得笔直。即使重新投影误差很低，检查未失真的图像也很重要。例如，如果图案仅覆盖一小部分图像，则即使标定导致很少的重新投影误差，失真估计也可能是不正确的。下图显示了针对单个摄像机校准的此类错误估计的示例。



## 5. 调整参数以提高准确性

一般此步骤不需要，如需要主要是通过以下方式：

- 1) 添加更多精准的图像，删除模糊或角度过大（大于 45 度）的图像；
- 2) 更改径向变形系数的数量，如 3. 2).b)中所示。

## 6. 导出参数对象

对标定结果满意后，通过 “Export Camera Parameters” 将相机参数导出到 workspace，以 cameraParameters 在工作区创建一个对象。

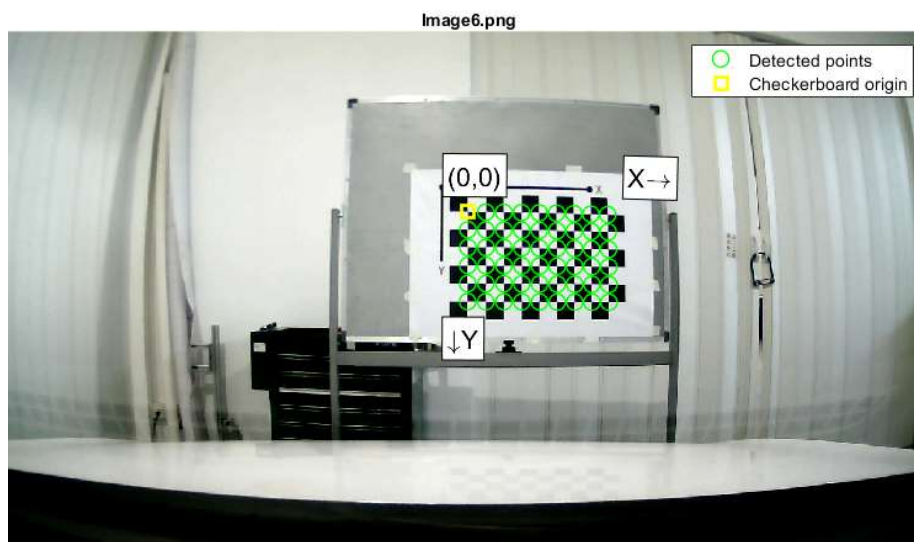


## 相机的外参标定

在相机内参标定完成后，可以通过内参标定和计算相机的外参，即相机在车辆坐标系下安装位置及角度偏差。外参标定需要固定车辆和棋盘格之间的位置。如下图所示(仅示意)：



在测量棋盘格原点到摄像头原点距离及偏差较困难的情况下，可以将棋盘格固定在垂直于地面的平面上，且与车辆 Y 轴方向平行，棋盘格原点在车辆 X 轴线上，如下图所示（示意）：



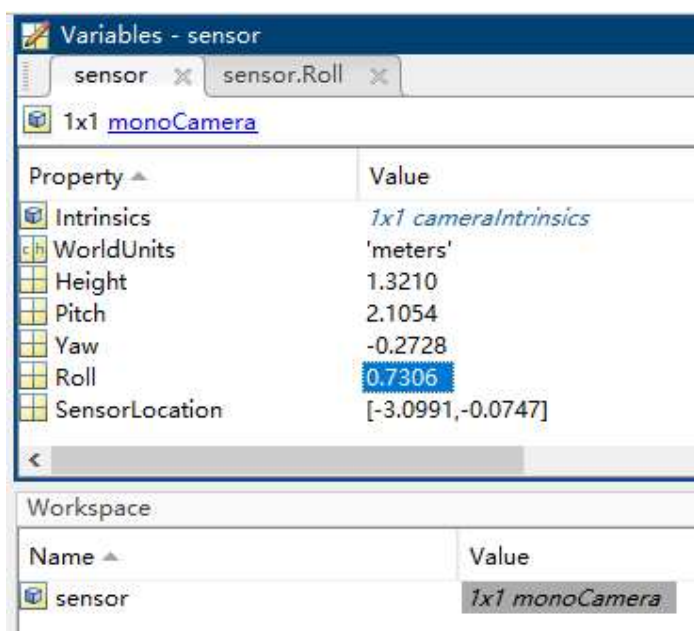
测量棋盘格原点（上图黄色框所示）到地面的距离，通过

`estimateMonoCameraParameter` 函数可以计算出 WebCam 的外参。

```
[pitch,yaw,roll,height] =  
estimateMonoCameraParameters(intrinsics,imagePoints,worldPoints,patternOriginHeight)
```

由于 camera sensor 输出的数据非车辆坐标系，而是以 camera sensor lens 坐标系为参考的，则需要知道 WebCam 和 camera sensor 之间坐标系的差别进行坐标转化。其准确性与测量精度和计算相关。

为了方便标定，可以在内参标定完成的情况下，在实际道路上采集一段数据，手动调整 sensor 对象的高度，Pitch，Yaw，Roll 信息；



Property	Value
Intrinsics	1x1 cameraIntrinsics
WorldUnits	'meters'
Height	1.3210
Pitch	2.1054
Yaw	-0.2728
Roll	0.7306
SensorLocation	[-3.0991,-0.0747]

Name	Value
sensor	1x1 monoCamera

在完成相机内参及外参标定后，可以将相机可以调整的部件固定住。如有任何的角度位置的调整，则需要重新进行标定。原则上，camera sensor 也应该在标定采集数据前进行标定，在标定完后进行固定，否则也存在造成数据叠加存在误差的情况。