

RealSense相机内外参标定

一种用于机械臂末端相机内外参自动化标定的方法

提醒

联络技术支持团队获取标定板pdf文件、aruco码pdf文件以及相机内外参标定脚本的文件夹。

前置教程：

- [点击这里查看](#) 何安装 AIRBOT Play 驱动程序 和 Python SDK
- [点击这里查看](#) 何进行 AIRBOT Play 硬件连接
- [点击这里查看](#) 何点亮 AIRBOT Play 机械臂

环境准备

Python环境准备

硬件支持：Intel RealSense系列相机及USB相机（默认设备ID为0）

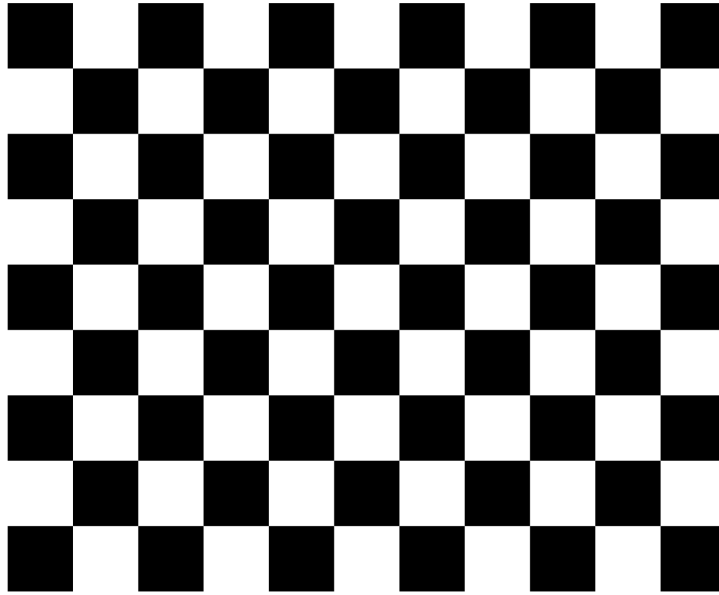
依赖	版本
pyrealsense2	2.55.1.6486
pyyaml	3.4.4

RealSense相机驱动准备

依赖	版本
Intel RealSense SDK 2.0	2.0

标定板准备

下载并打印标定板：



www.calib.io | 9x11 | Checker Size: 20 mm.

注意:打印时缩放比例保持100%!

环境安装步骤

激活conda虚拟环境

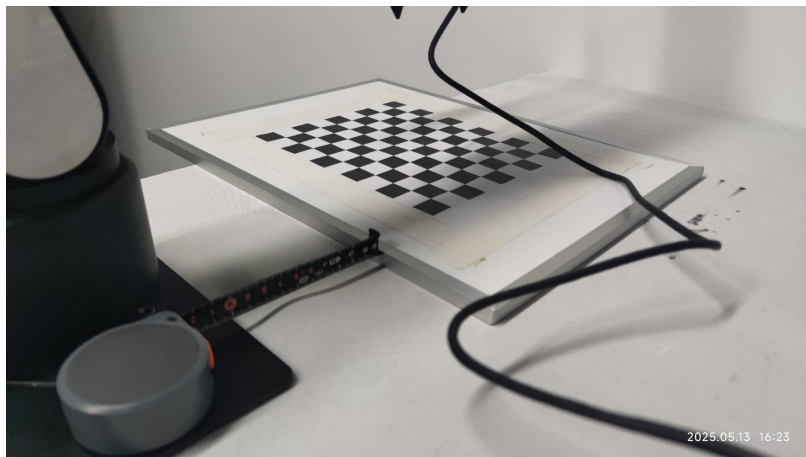
```
sudo apt-get update
```

安装pyrealsense2:

```
pip install pyrealsense2 -i https://pypi.tuna.tsinghua.edu.cn/simple
```

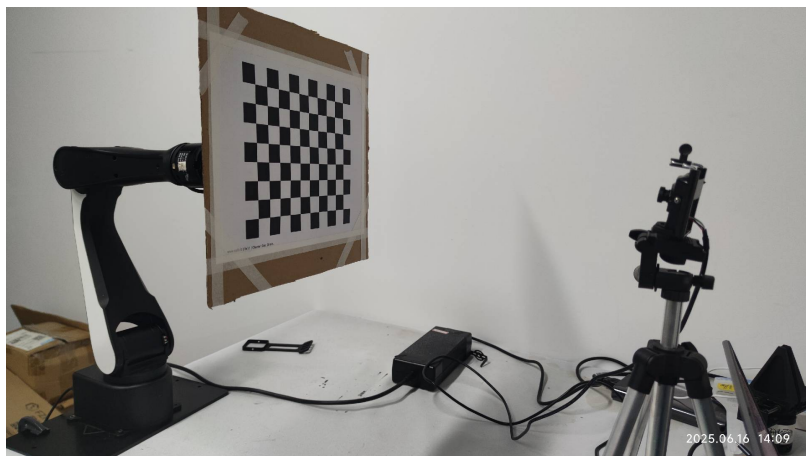
物理环境准备 (hand_in_eye眼在手上)

按照距离机械臂底座约10cm距离, 宽度6cm距离的样式放置标定板, 以确保标定板保持在程序中自动标定的20个电位视野中。可以在calib/hand_eye_640*480/20250513112255格式的文件夹下检查标定板是否在相机捕捉的视野中, 果存在超出视野的, 可以移动标定板的位置再次标定。



物理环境准备 (hand_to_eye眼在手外)

将标定板装配在机械臂末端，以标定相机与机械臂基坐标系之间的关系。



标定板参数

程序使用10×8角点个数的标定板，标定板参数 下：

```

114
115 class ChessBoard:
    Tabnine | Edit | Test | Explain | Document | Træe .解释代码 | 注释代码 | 生成单测 | x
116     def __init__(self):
117         self.rows = 10
118         self.cols = 8
119         self.square_size = 0.02 # m
120         self.number_of_image_needed = 20

```

果标定板参数发生改变需要在程序115行对应参数进行相应修改。

启动机械臂控制服务

打开一个终端, 运行机械臂控制服务

```
airbot_fsm -i <INTERFACE> -p <PORT>
```

或

```
airbot_server -i <INTERFACE> -p <PORT>
```

- <INTERFACE> 为接口名称, 可通过 `ip link` 查看, 默认连接的设备名称为 `canX` (X 为编号, 从0开始计数), `can0`, `can1`等。
- <PORT> 为 gRPC 服务器监听端口。 果连接多个设备, 每个设备应使用不同的端口号。为不同的设备可自定义不同 PORT 值, `50000`, `50001`, `50010`等。关键要点包括: 例:

```
airbot_server -i can0 -p 50051
```

执行自动化相机内参外参标定

相机内参及眼在手上

将脚本文件所在目录打开终端运行下列命令:

```

conda activate airbot
python3 -m airbot_calibration -t hand_in_eye_auto

## 若自动化标定不成功可使用手动标定, 拖动机械臂至不同的位置并保证标定版完全在视野中, 按下esc
保存图片
python3 -m airbot_calibration -t hand_in_eye

```

注意

需修改realsense相机分辨率,需要在cam_calibration_real_3.0/configs/rs_camera.yaml文件中对resolution参数进行修改。

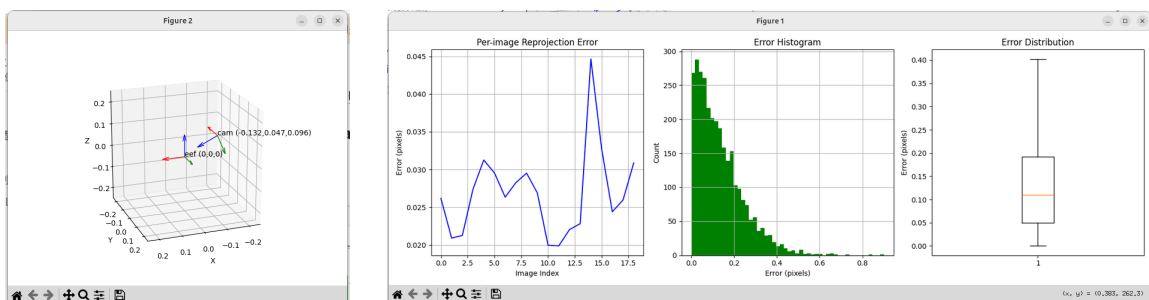
```
1 # Path: "./config/rs_camera.yaml"
2 Realsense:
3   resolution: '720p'
4   depth_factor: 1000 # 1000 for uint m, 1 for uint mm
5   720p:
6     profile: [1280, 720, 30]
7     intrinsic:
8       - [889.91469286, 0., 649.19011675]
9       - [0., 888.43460139, 369.01564960]
10      - [0., 0., 1.]
11     distortion:
12       - [0.09331420, -0.15886261, 0.00034481, 0.00020267, -0.13703779]
13   480p:
14     profile: [640, 480, 30]
15     intrinsic:
16       - [333.16941427, 0., 331.80829959]
17       - [0., 332.99850629, 265.47311560]
18       - [0., 0., 1.]
19     distortion:
20       - [0.00383932, -0.07254932, -0.00053346, 0.00031662, 0.04888975]
```

运行结果 下:

```
(robot) ding@dingk-ubuntu:~/Desktop/cam_calibration_realsense$ python3 -m airbot_calibration_realsense
=====
Airbot Calibration Tool
=====
Calibration type: hand_eye
Camera type: realsense
Resolution: 720p
Output path: calib/
Robot port: 50051
=====

Realsense camera profile: [640, 480, 30]
color profile: <pyrealsense2.video_stream_profile: Color(0) 640x480 @ 30fps BGR8>
depth profile: <pyrealsense2.video_stream_profile: Depth(0) 640x480 @ 30fps Z16>
Initialized calibrator successfully.
Moving to the 1 point
Warning: Ignoring XDG_SESSION_TYPE=wayland on Gnome. Use QT_QPA_PLATFORM=wayland to run on Wayland anyway.
--Data0 Saved--
Moving to the 2 point
```

可视化分析报告



程序将自动运行相机内参标定与外参标定,并将分析报告保存在类似目录下:

```
Calibration report saved to: calib/hand_eye_640x480/20250513162757/Calibration_Report.txt
```

标定后的精度要求为Project Error: <0.03 ，标定精度受机械臂定位精度影响，最好在相机内外参标定前先进行机械臂精度标定，确保机械臂定位精度符合标准，若相机内外参标定不符合标准可以略微移动标定板再次标定。

```
---Calibration Report---
Camera Type: realsense
Resolution: 640x480
Chessboard: 10x8-0.02m
Project Error: 0.019134933498565095
```

相机内参及眼在手外标定

将脚本文件所在目录打开终端运行下列命令：

```
conda activate airbot
python3 -m airbot_calibration -t hand_to_eye -c usbcam

## 需要指定usb相机时可以-d输入
python3 -m airbot_calibration -t hand_to_eye -c usbcam -d 0
## 更多参数详见代码

## 此代码同样支持,当自动化标定姿态点不能满足要求时可以使用此代码
python3 -m airbot_calibration -t hand_in_eye -c realsense
```

拖动机械臂手动选择40个位姿，尽量覆盖相机视野以保证标定效果。分析报告保存示例类似于hand-in-eye部分。

内外参精度验证

将标定板换成aruco码面，运行文件夹下的aruco_detect_realsense.py文件将Calibration_Report.txt移动到cam_calibration_real/configs目录下：

```
python3 -m aruco_detect_realsense
```

正确验证结果 下， 果平均误差大于1mm则需要重新进行相机内外参标定：

```
(airplay) (base) dingk@dingk-ubuntu:~/Desktop/cam_calibration05215 /home/dingk/anaconda3/envs/airplay/bin/python /home/dingk/Desktop/cam_calibration0521/aruco_detect_realsense.py
Realsense camera profile: [640, 480, 30]
color profile: <pyrealsense2.video_stream_profile: Color(0) 640x480 @ 30fps BGR8>
depth profile: <pyrealsense2.video_stream_profile: Depth(0) 640x480 @ 30fps Z16>
Marker 之间的距离: (('0', '1'): np.float64(0.101354082305549), ('0', '2'): np.float64(0.10127408355546842), ('0', '3'): np.float64(0.10084076556631251), ('0', '4'): np.float64(0.10060447306158907), ('1', '2'): np.float64(0.1428714457125706), ('1', '3'): np.float64(0.14293764374719486), ('1', '4'): np.float64(0.2019466513710985), ('2', '3'): np.float64(0.20210279562638414), ('2', '4'): np.float64(0.14294873206852868), ('3', '4'): np.float64(0.1426544075729874))
平均误差: 0.84mm
```

果出现 下异常则说明标定板验证面超出相机视野，重新摆放以确保在相机视野内，可以运行airbot_realsense.py检查相机当前视野

```

depth profile: cpyrealsense2.video_stream_profile: Depth(0) 640x480 @ 30fps Z16>
Traceback (most recent call last):
  File "/home/dingk/Desktop/cam_calibration0521/aruco_detect_realsense.py", line 362, in aruco_detector
    detected_image, _, _, _, detected_markers, avg_error = self.detect(color_image, depth_image, self.camera_intrinsic)
    ~~~~~
  File "/home/dingk/Desktop/cam_calibration0521/aruco_detect_realsense.py", line 286, in detect
    return frame, [], [], [], ids, corners, [], avg_error
    ~~~~~
UnboundLocalError: cannot access local variable 'avg_error' where it is not associated with a value

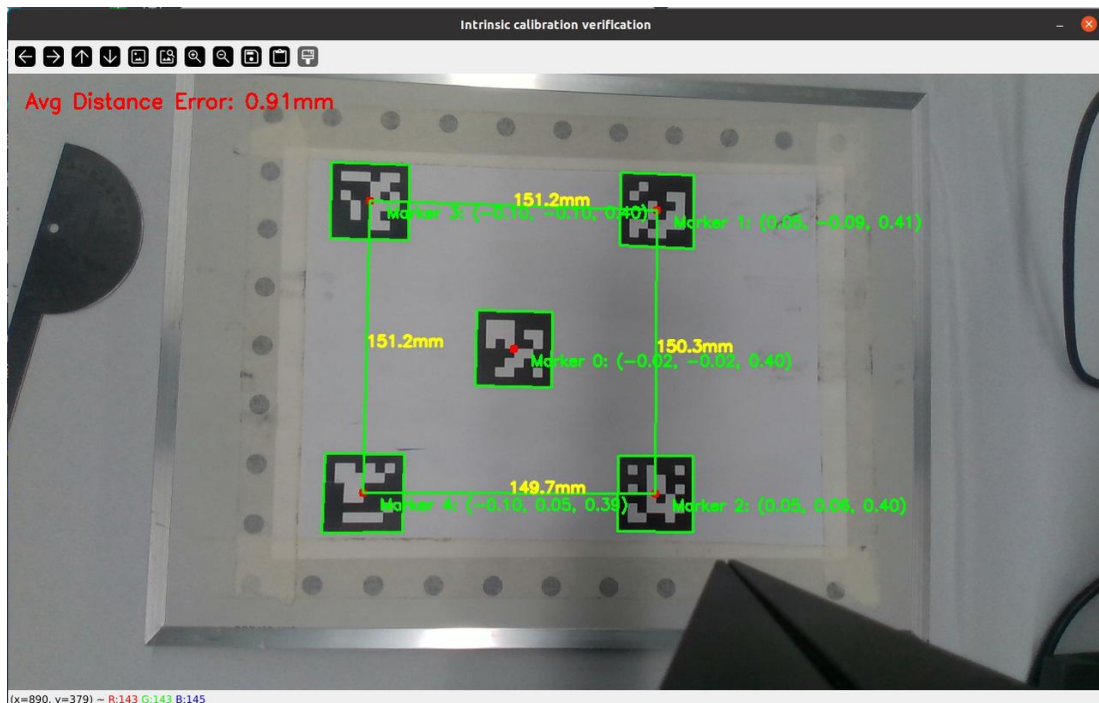
During handling of the above exception, another exception occurred:

Traceback (most recent call last):
  File "/home/dingk/Desktop/cam_calibration0521/aruco_detect_realsense.py", line 501, in <module>
    avg_error=brickdetector.aruco_detector(caculate_mark=5)
    ~~~~~
  File "/home/dingk/Desktop/cam_calibration0521/aruco_detect_realsense.py", line 389, in aruco_detector
    return avg_error
    ~~~~~
UnboundLocalError: cannot access local variable 'avg_error' where it is not associated with a value

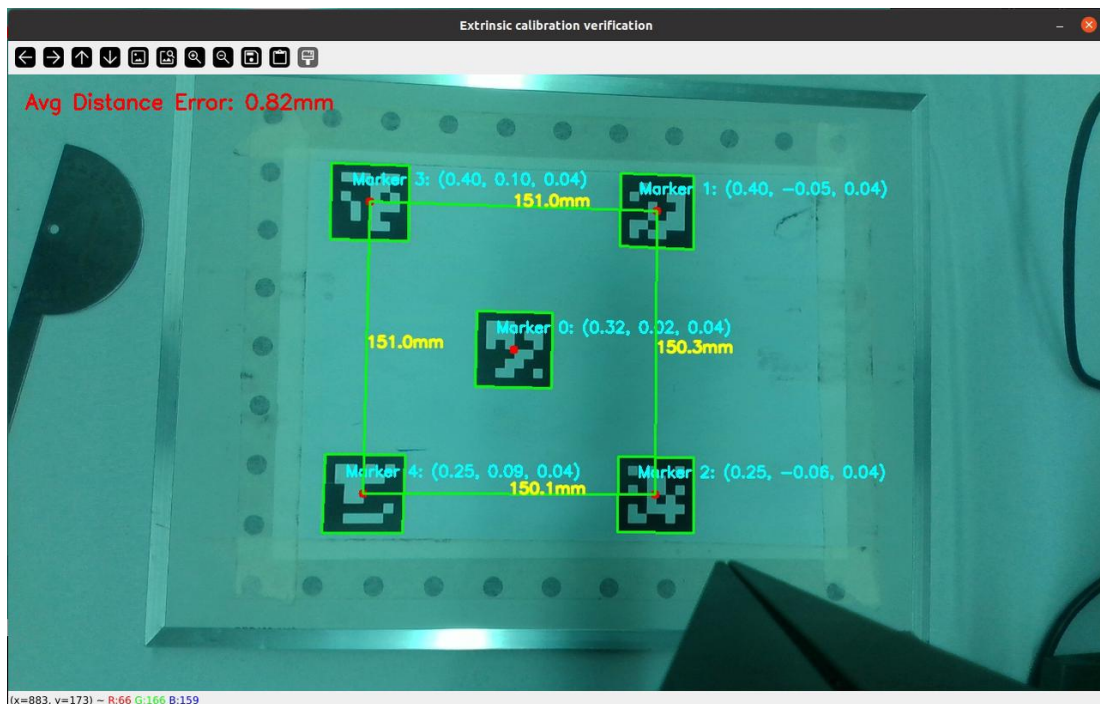
```

运行后程序会将内外参结果可视化：

- Intrinsic calibration verification: 内参结果可视化, 显示五个marker在相机坐标系下的坐标及相机坐标系下四个marker之间的距离(真实距离是150mm), 左上角显示的是四个marker与中心marker的距离的平均误差



- Extrinsic calibration verification: 外参结果可视化, 显示五个marker在base坐标系下的坐标及base坐标系下四个marker之间的距离(真实距离是150mm), 左上角显示的是四个marker与中心marker的距离的平均误差



异常处理

果图片中存在过多(超过10%)以下信息输出

Chessboard pattern not found in image

需要按照第一步环境准备尽量精确防止标定板,再重新进行标定程序