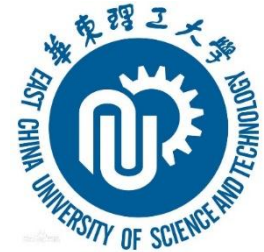


# 【机械臂视觉抓取教程】

## 第4讲 手眼标定

小五

日期 2022/11/8



# 目录

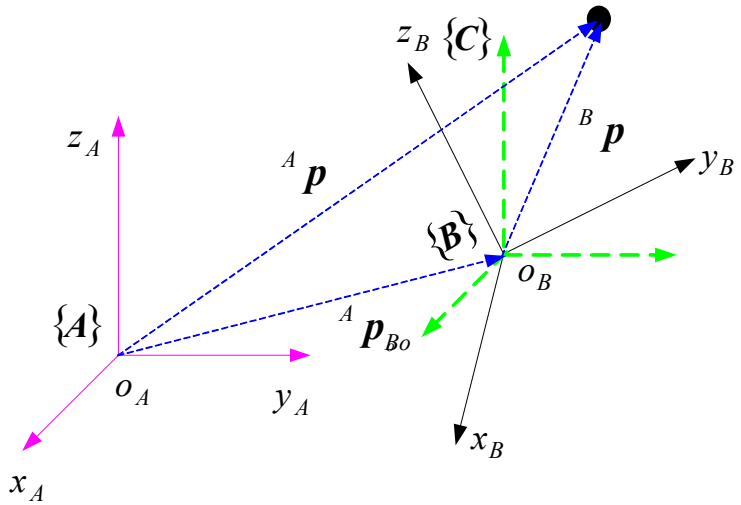
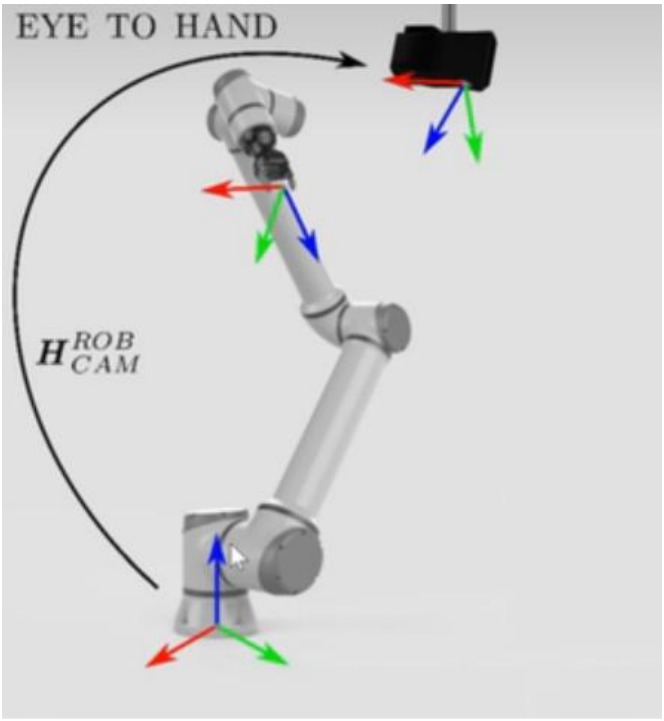
「<sub>1</sub>」 手眼标定原理

「<sub>2</sub>」 实战

「<sub>3</sub>」 代码讲解

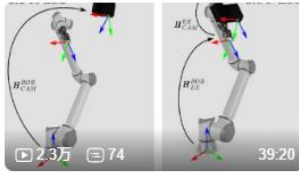
# 1 手眼标定理论简介

预备知识： **旋转矩阵**



$$\begin{bmatrix} {}^A p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^A_B R & {}^A p_{Bo} \\ \mathbf{0} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^B p \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow {}^A p = {}^A_B T {}^B p$$

$$\begin{aligned} {}^A_C T &= {}^A_B T {}^B_C T = \begin{bmatrix} {}^A_B R & {}^A p_{Bo} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^B_C R & {}^B p_{Co} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} {}^A_B R {}^B_C R & {}^A_B R {}^B p_{Co} + {}^A p_{Bo} \\ \mathbf{0}_{3 \times 1} & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$



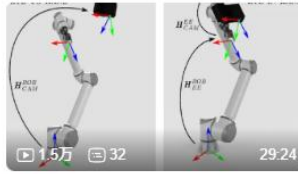
手眼标定—原理与实践 (上篇)

3D视觉工坊 · 2021-4-3



【标定】机器人手眼标定-方法及原理

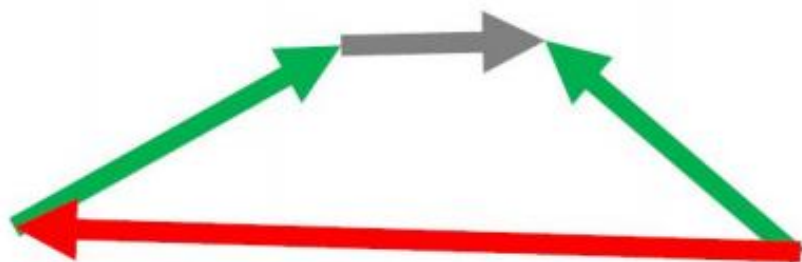
小树喵喵 · 2021-11-5



手眼标定原理与实践(下篇)

3D视觉工坊 · 2021-4-4

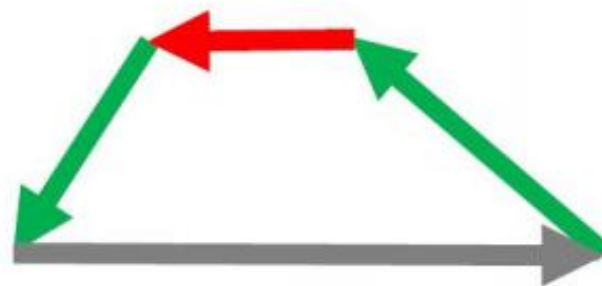
eye to hand 眼在外



Measured

Unknown

eye in hand 眼在手

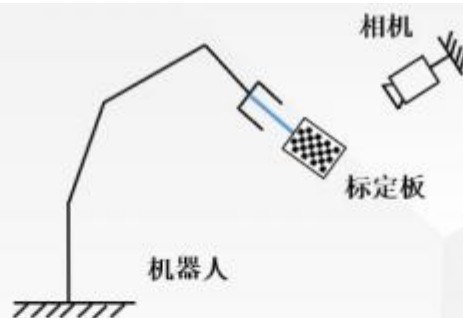


Not used

# 1 手眼标定理论简介

## ➤ 眼在手外

end: 机械臂末端  
 robot: 机械臂基座  
 camera: 相机坐标系  
 object: 标定板



Eye To Hand

在 Eye-To-Hand 的配置方式中对于机器人夹着标定板移动任意两个位姿，有以下公式成立：

$${}_{\text{Robot1}}^{\text{End}}T * {}_{\text{Camera1}}^{\text{Robot1}}T * {}_{\text{Object}}^{\text{Camera1}}T = {}_{\text{Robot2}}^{\text{End}}T * {}_{\text{Camera2}}^{\text{Robot2}}T * {}_{\text{Object}}^{\text{Camera2}}T$$

上式经过转换后，可得：

$${}_{\text{Robot2}}^{\text{End}}T^{-1} * {}_{\text{Robot1}}^{\text{End}}T * {}_{\text{Camera1}}^{\text{Robot1}}T = {}_{\text{Camera2}}^{\text{Robot2}}T * {}_{\text{Object}}^{\text{Camera2}}T * {}_{\text{Object}}^{\text{Camera1}}T^{-1}$$

$$\underbrace{{}_{\text{Robot2}}^{\text{End}}T^{-1} * {}_{\text{Robot1}}^{\text{End}}T}_{A} * \underbrace{{}_{\text{Camera1}}^{\text{Robot1}}T}_{X} = \underbrace{{}_{\text{Camera2}}^{\text{Robot2}}T}_{X} * \underbrace{{}_{\text{Object}}^{\text{Camera2}}T * {}_{\text{Object}}^{\text{Camera1}}T^{-1}}_{B}$$

# 1 手眼标定理论简介

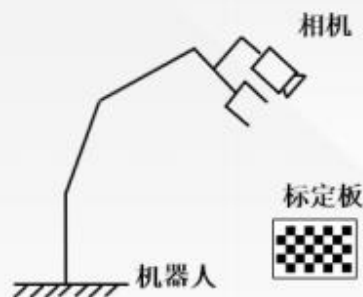
## ➤ 眼在手上

end: 机械臂末端

robot: 机械臂基座

camera: 相机坐标系

robot: 标定板



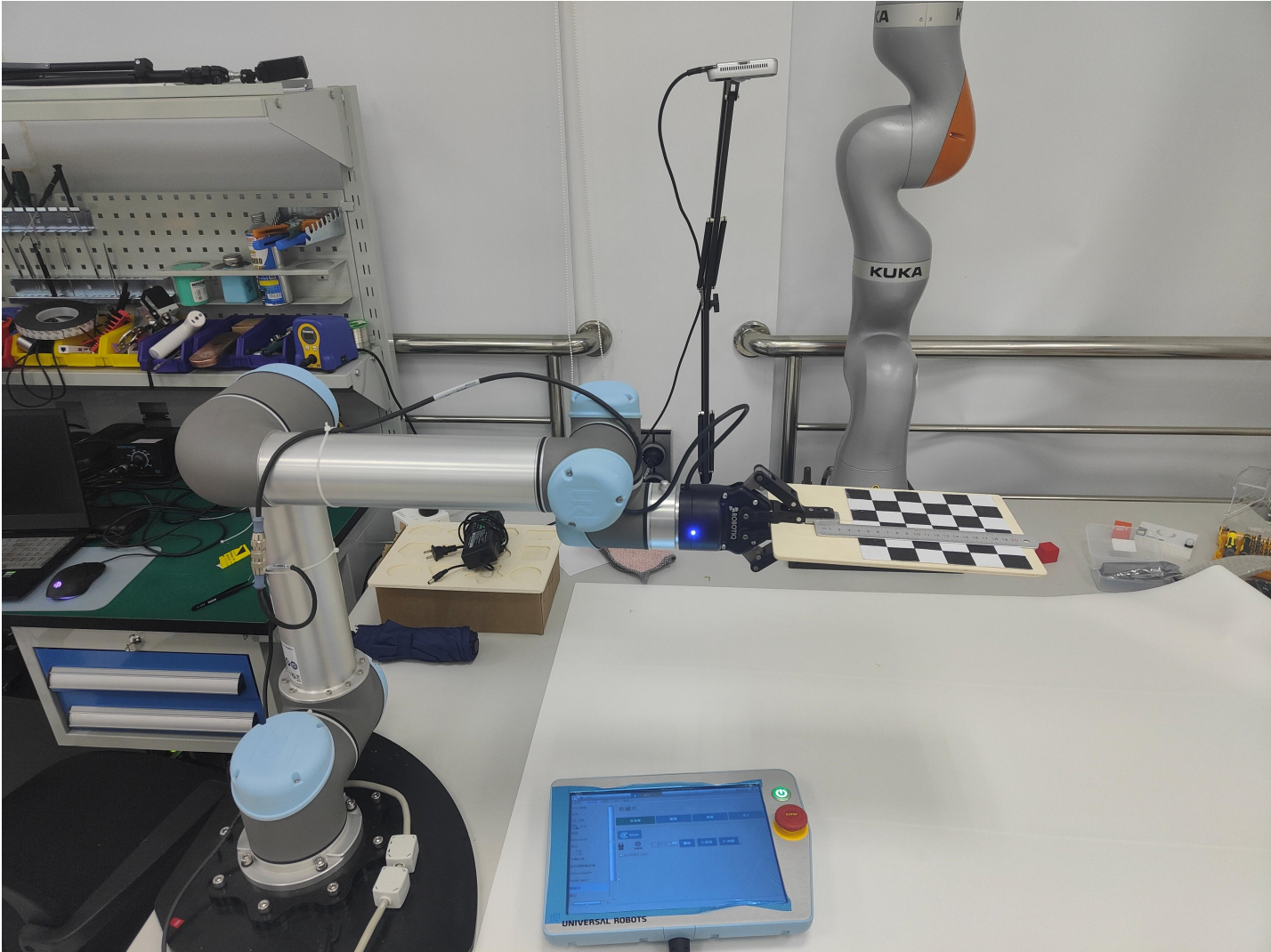
Eye In Hand

在 Eye-In-Hand 的配置方式中对于机器人移动过程中任意两个位姿，有以下公式成立：

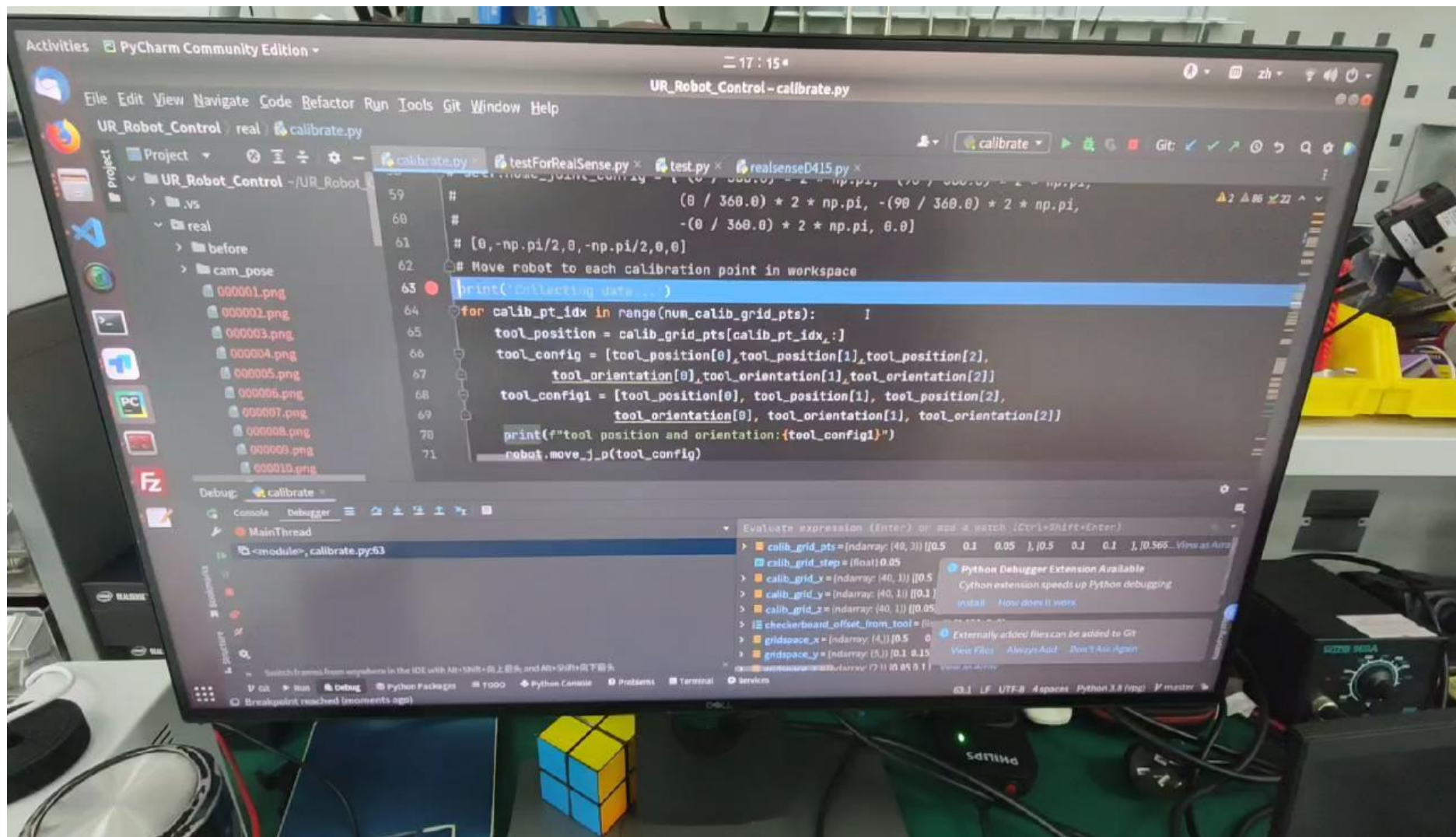
$$\begin{matrix} \text{Robot} \\ \text{End1} \end{matrix} T * \begin{matrix} \text{End1} \\ \text{Camera1} \end{matrix} T * \begin{matrix} \text{Camera1} \\ \text{Object} \end{matrix} T = \begin{matrix} \text{Robot} \\ \text{End2} \end{matrix} T * \begin{matrix} \text{End2} \\ \text{Camera2} \end{matrix} T * \begin{matrix} \text{Camera2} \\ \text{Object} \end{matrix} T$$

上式经过转换后，可得：

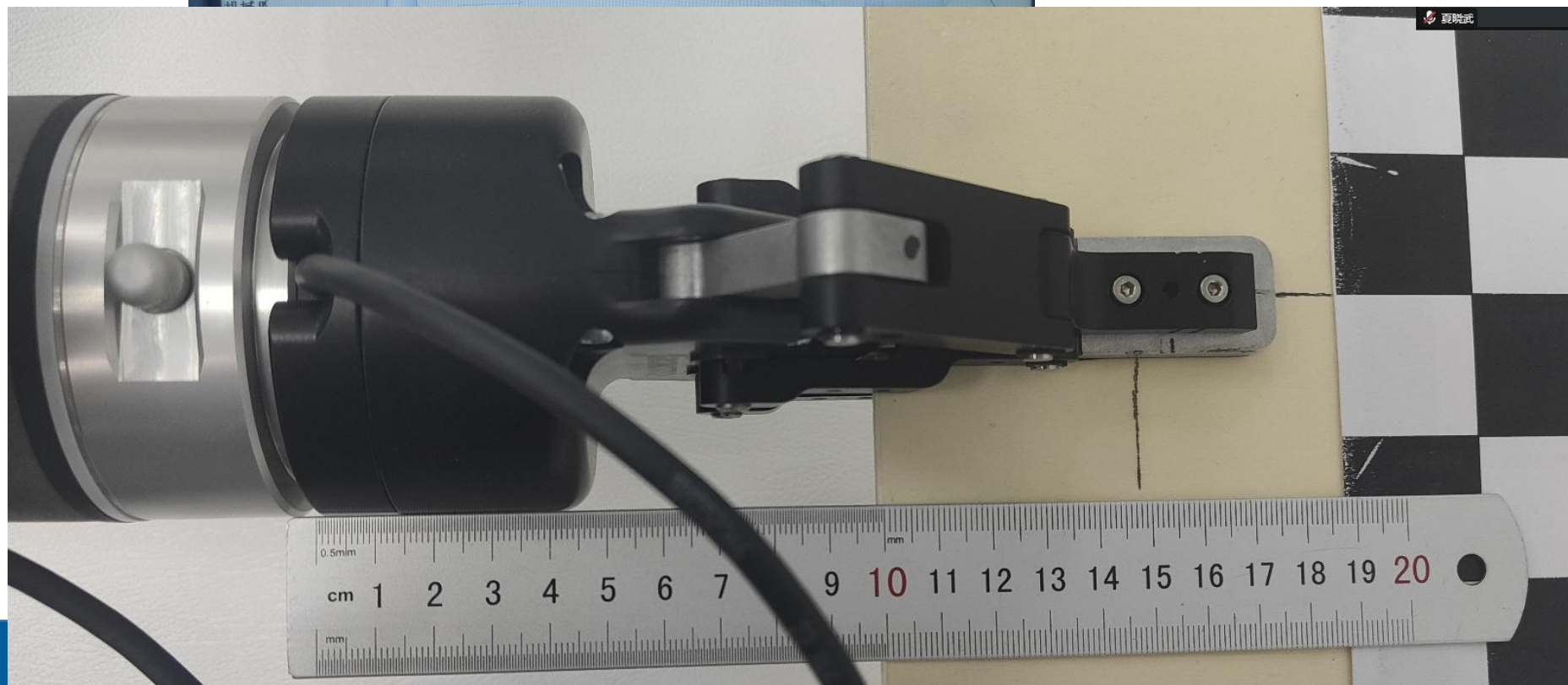
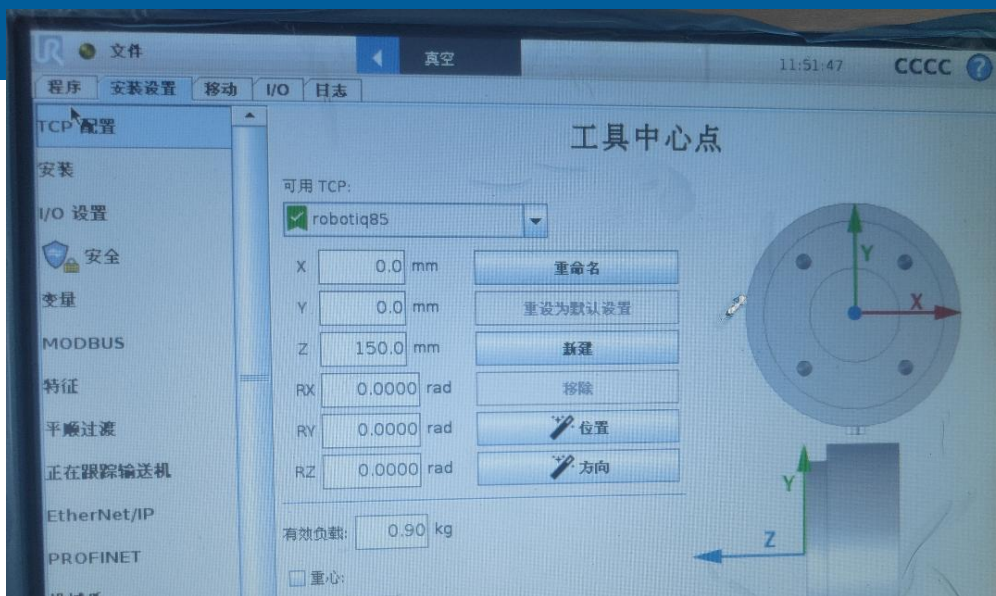
$$\underbrace{\begin{matrix} \text{Robot} \\ \text{End2} \end{matrix} T^{-1} * \begin{matrix} \text{Robot} \\ \text{End1} \end{matrix} T}_{A} * \underbrace{\begin{matrix} \text{End1} \\ \text{Camera1} \end{matrix} T}_{X} = \underbrace{\begin{matrix} \text{End2} \\ \text{Camera2} \end{matrix} T}_{X} * \underbrace{\begin{matrix} \text{Camera2} \\ \text{object} \end{matrix} T * \begin{matrix} \text{Camera1} \\ \text{object} \end{matrix} T^{-1}}_{B}$$



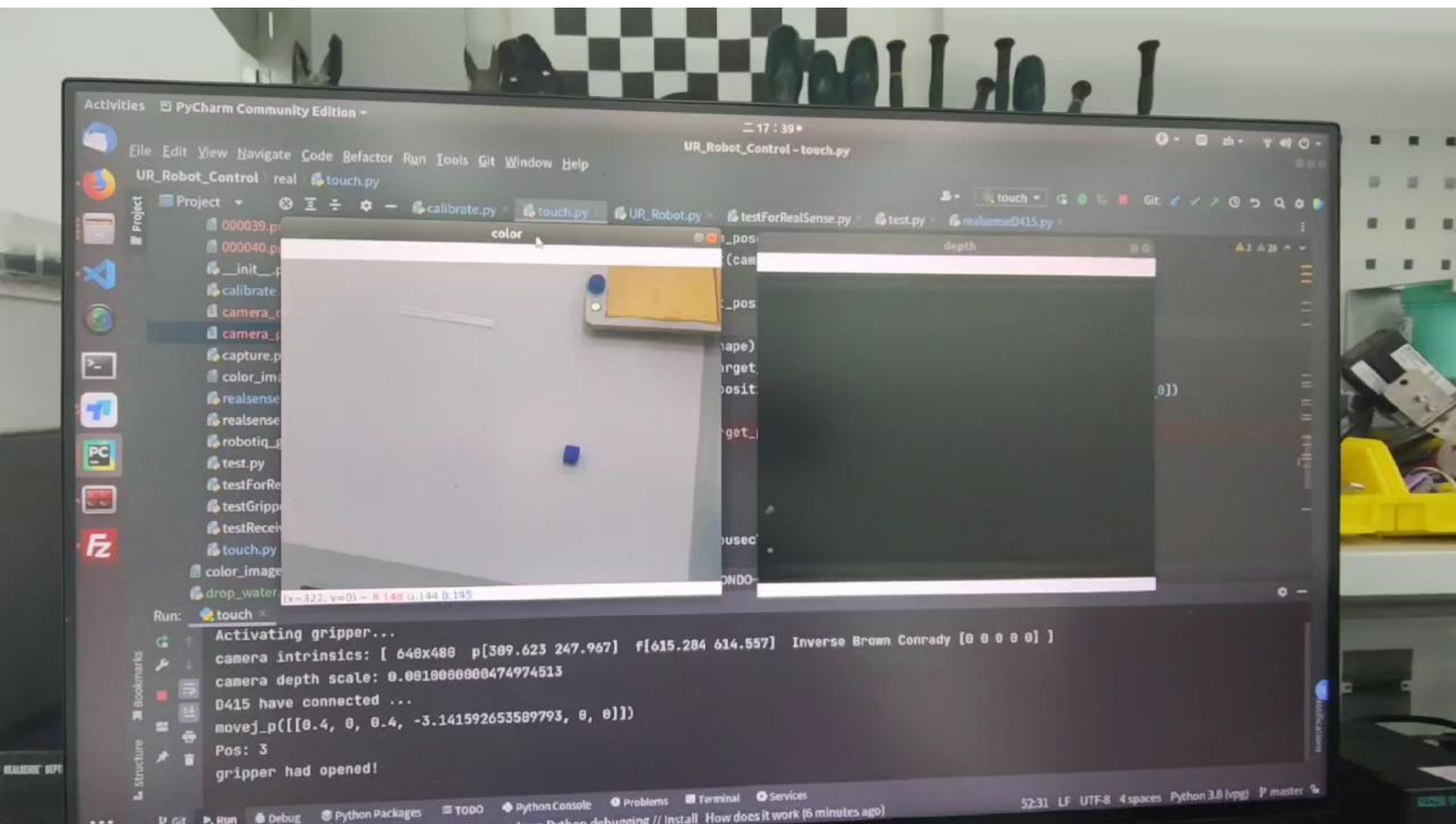












➤ 代码位置：GRCNN项目中real文件夹下的calibrate.py文件

只讲大致思路，以及自己使用时，如何修改代码

➤ **需要修改三个点：**

- (1) 根据相机能看到的范围定义workspace\_limits
- (2) 根据标定板中心到机械臂末端的位置关系设置checkerboard\_offset\_from\_tool
- (3) 标定板的网格数量确定checkerboard\_size

➤ **输出文件意义：**

- (1) camera\_pose.txt 相机到机械臂基座的旋转矩阵
- (2) camera\_depth\_scale.txt 相机深度值乘以这个值等于真实的深度(单位 米)

➤ **使用：**

- `cam_pose = np.loadtxt('real/cam_pose/camera_pose.txt', delimiter=' ')`
- `cam_depth_scale = np.loadtxt('real/cam_pose/camera_depth_scale.txt', delimiter=' ')`



## 视觉抓取教程目录(暂定)

### ➤ 算法部分：平面抓取姿态估计

教程1：概述

教程2：项目环境搭建与模型训练

教程3：GRCNN代码讲解

### ➤ 视觉部分

教程4：手眼标定--眼在手外

教程5：像素位置到实际坐标的转换--相机内参解释

### ➤ 控制部分

教程6：上位机与机械臂通讯--以优傲机器人为例

教程7：机械臂编程实现对机械臂的控制

教程8：GRCNN项目部署讲解--代码开源

### ➤ 机器人方向学习路线

补充教程：本人学习路线分享

特点：偏工程、偏基础  
资料都在简介里



**本人水平有限，如有讲错，  
请在评论区批评指正！！**