上海发那科实习总结报告

二级部门	智能技术开发部
指导老师	杨玥旻 潘嘉滨
实习生	郁泽康

上海发那科机器人有限公司

2024 年 12 月 20 日

目录

1. 引言

2. 实习目的和意义

3. 实习内容和过程

3.1 学习内容概述
3.2 专业书籍阅读
3.3 在线课程学习
3.4 论坛和技术网站学习
3.5 资料汇总

4. 实习结果

4.1 胶水宽度检测方案 a
4.2 胶水宽度检测方案 b
4.3 胶水宽度检测方案 c

5. 实习总结

5.1 实习心得与反思
5.2 实习总结与展望

6. 附表

6.1 附表 1 发那科实习进度报告概述
6.2 附表 2 有关 halcon
6.3 附表 3 有关 opencv
6.4 附表 4 有关 robotics
6.5 附表 5 有关 matlab

1. 引言

在当今快速发展的科技时代，机器人技术和智能系统的应用正变得越来越广泛，从工业自动化到日常生活的各个方面。作为一名对机器人学和智能系统有学习热情的学生，我有幸在 2024 年 10 月 22 日至 2024 年 12 月 20 日期间，于上海发那科智能技术开发部门进行了为期两个月的实习。非常感谢上海发那科为我提供了一个宝贵的实践平台，也让我有机会将我新学习到的知识与实际工作相结合，进一步深化我对相关理论的理解。

我本科三年级开始加入到了日本东北大学机械知能系的田所研，完成过两项救援机器人和无人机相关方面的研究，目前是东京大学广域系统专攻福永研究室的一员。尽管我在本科阶段就读于机械系下属的机器人专攻，但我必须承认，我在机器人学方面的基础并不牢固，对于视觉处理技术也是知之甚少。因此，这次实习对我来说是一个巨大的挑战，也是一个难得的学习机会。我希望通过这次实习，弥补我的不足，提升我的专业技能，并为将来的学术研究和职业发展打一些基础。

在实习期间，我主要针对 Halcon、机器人运动学、OpenCV、Matlab 等软件进行了学习，并在带教老师们的耐心教导和引领下，通过阅读专业书籍论文、在线课程以及参与国内外技术论坛，快速了解相关技术背景，构建底层理论基础。我的目标是将这些新学的技能应用于实际项目中，解决实际问题。

2. 实习目的和意义

本次实习的目的和意义在于将我在学术领域的理论知识与实际工作经验相结合，以此提升我的专业技能和解决实际问题的能力。以下是我实习的具体目的和对我个人职业发展的重要意义：

- **技能提升与实践应用**：通过实习，我希望能够将我在机械系所学的理论知识，应用到实际工作中。

- **弥补知识短板**：我意识到自己在机器人学和视觉处理技术方面的基础较为薄弱，因此，实习提供了一个学习和弥补这些短板的机会。通过接触实际项目和挑战，我能够逐步了解这些领域的复杂性和实际应用。

- **职业发展与规划**：实习经验对于我的未来职业发展至关重要。每一次晨会领导的发言以及每一次和带教老师们的交流，不仅能够帮助我从弱基础了解行业知识，还能够让我了解自己的兴趣和职业方向，为未来的职业规划打下基础。

- **问题解决能力**：在实习期间，我面临各种挑战和问题，这将要求我不断提升自己的问题解决技巧。本次实习增强了我的适应能力和知识更新迭代能力。

- **文化适应与团队合作**：在上海发那科智能技术开发部门的实习，也提供了一个了解企业文化和工作环境的机会。在部门老师们的指导下，我学习了如何在

这样的工作环境中与团队成员有效沟通和合作，这对于我未来的职业生涯至关重要。

这次实习是我职业生涯的一个重要里程碑，它不仅提升了我的专业技能，还为我提供了宝贵的行业洞察和工作经验。通过这次实习，我期待能够为未来的学术研究和职业发展奠定基础。

3. 实习内容和过程

3.1 学习内容概述

在实习期间，我专注于学习以下软件和技术，以增强我在机器人学和智能系统开发领域的专业能力：

1）Halcon：Halcon 是一款强大的工业机器视觉软件，我学习了如何使用它进行最基本的图像处理和分析，包括图像预处理、特征提取以及测量识别等关键步骤。

2）**机器人运动学**：我学习了机器人运动学的基本原理。

3）OpenCV：OpenCV 是一个开源的计算机视觉库，我通过学习 OpenCV 掌握了图像和视频分析、特征检测、相机标定以及手眼标定等计算机视觉技术。

4）Matlab：Matlab 是一种编程语言和交互式计算环境，我利用 Matlab 进行相机标定、数据可视化以及如何求解手眼关系。

通过这些软件和技术的学习，我不仅提升了自己在机器人学和智能系统开发方面的技术能力，也为解决实习期间遇到的技术挑战打下了坚实的基础。这些技能的学习对于我的实习项目和未来的职业发展都具有重要意义。

3.2 专业书籍与论文阅读

在实习期间，在指导老师的推荐和引导下，我深入阅读了一系列专业书籍和论文，以提升我的理论知识和技术水平。以下是我阅读的主要书籍和论文：

1）《机器人学导论》（John Craig）
这本书提供了机器人学领域的全面介绍，包括机器人的设计、运动学、动力学和控制。通过阅读，我对机器人学的基本概念和原理有了更深入的理解。

2）《视觉 SLAM 十四讲》（高翔）
这本书详细介绍了视觉 SLAM（同时定位与地图构建）的理论和实践，包括各种相机模型、SLAM 算法和应用场景。这本书对我的实习项目中的视觉处理和相机手眼标定的部分内容非常有帮助。

3) 《HALCON 数字图像处理》（刘国华）
这本书是我学习 Halcon 软件一开始用到的主要参考资料，涵盖了图像处理基础、图像的数字化、压缩编码与格式、图像的读取显示与转化等多个方面。书中还详细介绍了 Halcon 的算子和函数，如模板匹配、Blob 分析、字符识别（OCR）、尺寸测量等，这些都是我在实习中通过 halcon 中的例程实际操作过的技术。

4) HALCON Operator Reference
我通过阅读 HALCON 官方的操作手册，学习了各种算子的具体用法和参数表示意义，这对于我理解和应用 Halcon 软件至关重要。

5) BVSToolBox-master-tutorial
通过这个教程，我学习并实际操作了如何使用 HALCON 进行一些简单的图像处理识别测量工作，如螺母测量、颜色识别和 OCR 字符识别等。

6) 其他理论部分的学习
我学习了图像处理的基础知识，包括图像的代数运算、图像变换、边缘检测与噪声抑制、区域分割等。这些理论知识对于我理解和实施图像处理算法非常重要。

7) 刚体位姿描述与空间描述变换
我阅读了关于刚体位姿描述、运动坐标系的表示、旋转矩阵的性质和映射、坐标变换等内容的论文和资料，这些对于理解机器人运动学和空间变换至关重要。

8) 论文学习
我阅读了关于单应矩阵推测相机运动轨迹的理论基础的经典论文，以及带教老师推荐的论文：IHUVS: Infinite Homography-Based Uncalibrated Methodology for Robotic Visual Servoing，这些论文加深了我对视觉伺服和相机运动轨迹推测的理解。

通过这些书籍和论文的学习，我不仅提升了自己在机器人学、视觉处理和图像处理方面的理论知识，也为实习中的技术实践打下了基础。这些学习经历对我的专业成长和技术提升都有着重要的影响。

3.3 在线课程学习

在实习期间，我积极学习了多个在线课程，以加深对机器人学和计算机视觉的理解。以下是我参加的主要在线课程及其总结：

1) 美国西北大学的 Modern Robotics
这个课程提供了关于机器人力学、规划和控制的全面介绍。我学习了配置空间、刚体运动、正向运动学、速度运动学和静力学、逆向运动学、轨迹生成、运动规划和机器人控制等机器人学关键主题。

2) 麻省理工 机器人学导论 (MIT 2.12 Introduction to Robotics)
通过这个课程，我了解了执行器和驱动系统、机器人结构、平面运动学和静态学等基础概念。这些内容为我提供了机器人设计的基础知识。

3) 麻省理工 机器人操纵 (MIT 6.4210 Robotic Manipulation)
这个课程涵盖了如何获取机器人、基本的拾放操作和几何姿态估计等主题。这些知识对于我在机器人操作和姿态估计方面的应用是非常重要的基础。

4) 卡耐基梅隆大学 计算机视觉 (CMU 16-385 Computer Vision, Spring 2020)
我学习了图像过滤、特征提取和角点检测、特征描述符和匹配、图像单应性、2D 变换和相机模型等主题。这些课程为我提供了计算机视觉领域的坚实基础，并帮助我将这些概念应用于实际的视觉处理任务。

5) MATLAB 基础知识操作复习
我复习了 MATLAB 的基础知识和操作，包括创建特殊矩阵、矩阵运算（如扩充、删除、修改、变化）、矩阵的旋转、抽取、加减乘除、幂运算等。此外，我还学习了 MATLAB 的绘图相关操作，如 plot、fplot、ezplot 以及三维绘图命令，包括 mesh、ezmesh 和 surf。

通过这些在线课程，我不仅提升了自己的理论知识，也增强了解决实际问题的能力。

3.4 论坛和技术网站学习

在实习期间，我积极参与了 CSDN、Stack Overflow、OpenCV Documentation、Matlab Documentation 等论坛和技术网站的讨论和学习。以下是我的一些学习经历：

1）OpenCV Documentation
我深入学习了 OpenCV 库中的 findHomography()函数等许多关于相机标定的原理，了解了坐标齐次化的原因和原理，以及单应矩阵在图像拼接、机器人定位 SLAM 和全景拼接中的应用。此处单举一例作说明。

findHomography：计算多个二维点对之间的最优单映射变换矩阵 H（3 行 3 列），使用最小均方误差或者 RANSAC 方法。这个函数的功能是找到两个平面之间的转换矩阵。以下是对 findHomography 与 getPerspectiveTransform 的异同作一些说明，这在我后续的方案 b 中有用到。

【两者联系】

都用于计算单应矩阵，即解一个线性方程组。由于单应矩阵有 8 个未知数（3*3，其中第 9 个数为 1），所以至少需要 4 个点（每个点-x,y,提供 2 个约束方程）。

【两者区别】

· 计算方法不同：通过跟踪源码，发现 getPerspectiveTransform 用的是 SVD 分解。但两者计算结果是一样的。

· 输入参数不同：getPerspectiveTransform 只会拿前 4 个点去计算，findHomography 则会拿一堆点(>=4)去计算(其是不断从一堆点中重复拿出 4 个点去计算出一个结果，再采用一些优化算法 RANSAC/LMEDS 去筛选出最优解)。

2） **张式标定法**（A Flexible New Technique for Camera Calibration）

我学习了最小二乘法、齐次线性最小二乘法和 SVD 分解在相机标定中的应用。一个新的相机，用来拍照，将三维世界的信息，投影到二维平面，得到一张 RGB 图像。一般来说，小孔成像模型就可以解释成像原理，但是真在使用过程中，由于镜片的畸变和装配等原因，单纯的小孔成像模型无法满足要求。

在需要重建三维信息的项目中，我们需要利用图像平面的特征点 + 特征点对应的深度值 + 内参和外参，利用“小孔成像”模型的三角关系，计算出该特征点的三维坐标。或者径向畸变比较大的情况下，RGB 图片都有比较大的畸变，必须校正。因此如果需要高精度的测量，必须要进行“相机标定”。经过标定之后，我们可以获得相机的内参矩阵和为了求出外参矩阵而必须用到的旋转向量及平移向量。

「张氏标定法」是张正友博士在 1999 年发表在国际顶级会议 ICCV 上的论文《Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations》中，这篇论文提出了一种利用平面棋盘格进行相机标定的实用方法。

3）**通过 RANSAC 实现图像拼接**

我了解了如何使用 RANSAC 算法实现两个图像的拼接，实现图像拼接 RANSAC 算法主要涉及以下几个步骤：

a. **特征点检测**：

使用 SIFT（尺度不变特征变换）算法从两幅图像中提取关键特征点。SIFT 算法能够提取图像中的显著特征点，并生成特征描述符，这些特征点和描述符用于后续的匹配过程。

b. **特征点匹配**：

通过 FLANN（快速最近邻搜索库）或其他匹配算法，对提取的特征点进行匹配，得到一组匹配点对。匹配过程中，通常采用 KNN（K 最近邻）匹配，并使用距离比值测试来筛选出好的匹配点。

c. **RANSAC 估计单应性矩阵**：

使用 RANSAC 算法从匹配点对中估计单应性矩阵（Homography）。RANSAC 算法通过随机选择数据点、计算模型参数、评估模型质量，并迭代这个过程来估计模型参数，从而分离出内群（inliers）和离群（outliers）数据。在图像拼接

中，RANSAC 用于估计两个图像之间的几何变换关系，即单应性矩阵。

d. 图像变换与融合：
使用估计得到的单应性矩阵，对其中一个图像进行透视变换，使其与另一个图像对齐。然后，使用图像融合算法将两个图像融合在一起。

4) 欧拉角、旋转向量、旋转矩阵之间的转换关系
我学习了欧拉角、旋转向量和旋转矩阵之间的转换关系，以及在 OpenCV 中的调用方法。（请参考方案 c 中的代码图解）

5) 使用 decompose homography 实现单应矩阵分解
使用 Homography Matrix 分解实现内参标定，以及后续先求出单应矩阵中的各个部分（内参/外参）再重构单应矩阵。

单应矩阵（Homography Matrix）在计算机视觉中用于描述两个平面之间的透视变换关系。它是一个 3x3 的矩阵，能够将一个平面上的点映射到另一个平面上，同时保持直线的直线性。单应矩阵的作用主要体现在以下几个方面：

a）图像拼接
在全景图像拼接中，单应矩阵可以用来将不同视角拍摄的图像变换到同一个平面上，使得它们能够无缝拼接。

b）图像校正
在图像校正中，单应矩阵可以用来校正由于相机畸变或其他因素导致的图像失真。

c）物体识别和定位
在物体识别和定位任务中，单应矩阵可以用来将图像中的物体映射到一个标准平面上，以便于识别和测量。

d） 三维重建
在三维重建中，单应矩阵可以用来从二维图像中恢复三维信息，比如通过多视角几何分析来重建场景的三维结构。

在项目实施中，单应矩阵相关的具体操作包括：

- **相机标定：**在使用相机标定（camera calibration）之前，通过 find chessboard corners 提取棋盘角点，然后使用 cornersubpix 进行亚像素精细化处理，以提高角点定位的精度。这些角点可以用来计算相机的内参矩阵（mtx）和畸变系数（dist），以及旋转向量（rvec）和平移向量（tvec）。

- **位姿估计：**通过标定，可以获得相机在不同位姿下对同一个棋盘拍摄的图像中的旋转向量（rvec）和平移向量（tvec）。这些向量可以用来计算相机相对于棋盘的姿态。

• **计算位姿间的单应变化关系**：已知两个相机位姿下的相机到棋盘的单应矩阵变化，可以求出两个相机位姿之间的单应变化关系。这通常涉及到计算两个位姿对应的旋转矩阵，然后结合棋盘的法向量和相机到棋盘的距离，来求出两个位姿之间的单应矩阵的转变关系。

• **毛刷轨迹重建**：通过假设棋盘坐标的法向量和计算出的相机到棋盘的距离，可以结合两个位姿对应的旋转矩阵，进一步进行毛刷轨迹重建。

总的来说，单应矩阵在项目中起到了连接二维图像和三维空间、描述相机位姿变化、以及辅助图像处理和三维重建的关键作用。具体步骤可以参考下表：

在使用 camera calibration 之前先要使用 find chessboard corners 进行棋盘角点的提取
亚像素精细化处理 cornersubpix 检测的角点
在原图上显示 camera calibration 的结果，并且可以输出 内参矩阵 mtx，畸变系数 dst 旋转向量 rvec 以及平移向量 tvec
同一个相机在不同位姿下对同一个棋盘进行拍摄； 可以通过 calibration_camera 获得相机的内参矩阵 mtx 和各个姿态下的旋转向量 rvec 以及平移向量 tvec，从而可以通过 rodrigues 公式得出各个位姿下相机到标定板的旋转矩阵
已知两个相机位姿下的相机到 chessboard 的单应矩阵变化，求出两个相机位姿之间单应变化关系
通过假设棋盘坐标的法向量，计算出相机到标定板的距离， 从而结合之前求出的 2 个位姿对应的旋转矩阵， 求出两个位姿之间的单应矩阵的转变关系
通过假设棋盘坐标的法向量，计算出相机到标定板的距离， 从而结合之前求出的 2 个位姿对应的旋转矩阵， 求出两个位姿之间的单应矩阵的转变关系

表 3.1 如何两个位姿之间的单应矩阵的转变关系

6）亚像素精细化处理 cornerSubPix 检测角点

以上仅为我通过论坛学习的一部分体现，详情请参见附表 1～5。通过在这些论坛和技术网站上的学习，我不仅解决了实习项目中遇到的技术问题，也拓宽了我的技术视野，提高了我的问题解决能力。

3.5 代码汇总

实习阶段使用到的/自己写的程序和内容汇总在百度网盘中，（也包括了为了复现部分 halcon/opencv 中的功能和算子，我用到的代码），所有结果相关的图片都在各个对应的文件夹的 results 里面。网盘里的内容可以和附表中的内容对应。

5. 实习成果

5.1 胶水宽度检测方案 a

在 halcon 中检测目标胶水区域从而进行宽度测量

a. 方案目标

该项目旨在开发一种自动化方法，用于检测胶水的宽度，以确保产品质量和一致性。目标是提高检测的准确性和效率，减少人工检测的主观性和时间消耗。

b. 实施过程

1）图像采集： 首先，使用相机从俯视角度拍摄胶水图像。
2）图像预处理： 对图像进行灰度化、噪声去除等预处理操作。
3）边缘检测： 应用 Canny 算子进行边缘检测，以识别胶水的边界。
4）图像骨骼化： 对检测到的边缘进行骨骼化处理，以提取胶水的中心线。
5）宽度计算： 根据骨骼化结果计算胶水的宽度。

c. 结果

1）单张图像检测

对于单张俯视图像的检测效果良好，能够准确识别胶水宽度。
连续拍摄图像： 对于连续拍摄的图像，由于环境变化和胶水流动的影响，检测效果不佳，无法直接应用。

原因如下：无法应用的原因主要在于检测速度无法满足实际生产的需求。底涂速度是 400mm/s，图像帧率需要达到 8fps，即单张图像处理时间需要小于等于 125ms。然而，目前的单帧检测速度无法满足这一要求，这意味着检测系统在实际应用中无法实时处理图像，从而无法实现在线随行实时检测，即边涂胶边检测，涂完即检完，不占用节拍时间。

环境干扰增加：动态背景可能会带来更多的环境干扰，如灰尘、水滴等，这些干扰不仅影响图像质量，还可能被误认为是涂胶的一部分，导致检测结果出现误差。

检测系统需要在保证高精度的同时，满足实时性和稳健性的要求，以适应工业生产中对涂胶质量的严格要求。由于您的单帧检测速度无法满足 125ms 的处理时间，因此需要对现有检测方案进行优化，可能包括算法优化、硬件升级或采用更高效的并行处理技术，以提高检测速度，满足生产需求。

2）骨骼提取

环境影响： 边缘判断效果良好，但受胶水周边环境影响，需要采取措施排除干扰。

3）**区域检测**

在直线区域和弯曲部分的中心地区，骨骼化效果较好。

在 Halcon 中进行骨架提取的步骤通常包括以下几个阶段：

a) 图像预处理

• 将彩色图像转换为灰度图像，使用 rgb1_to_gray 算子。
• 对灰度图像进行二值化处理，使用 threshold 算子将灰度图像转换为二值图像。

b) 边缘检测

• 对二值图像进行边缘检测，可以使用多种边缘检测算法，如 edges_sub_pix 等。

c) 区域筛选

• 使用 select_shape 算子根据形状特征筛选出需要的区域。

d) 骨架提取

• 使用 skeleton 算子计算区域的骨架。

e) 骨架细化

• 进一步处理骨架，去除不必要的分支和分叉。可以使用 split_skeleton_lines 算子将骨架分割为多条宽度为一个像素、无分支的直线。

f) 骨架转换为 XLD

• 使用 gen_contours_skeleton_xld 算子将骨架区域转换为扩展线描述（XLD）格式。

4）**算子应用**

添加 Canny 算子后，边缘检测精度有所增加。使用平滑算子后，图像质量得到改善，有助于后续处理。

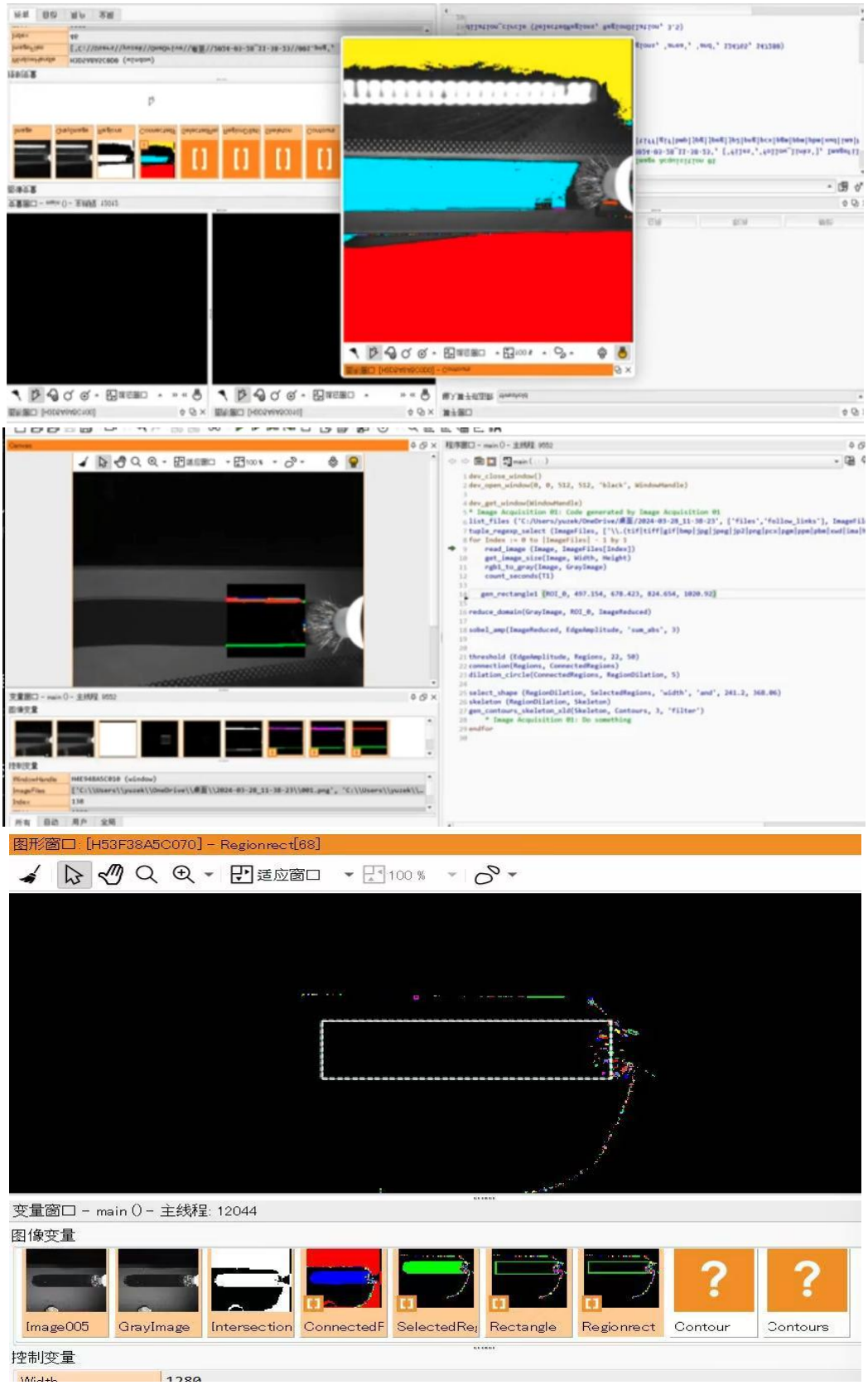

图 4.1 胶水宽度检测示例（说明：上半部分中，浅蓝色区域为目标检测区域；下半部分中红绿色区间内为目标检测区域，检测视频请参考网盘）

5.2 胶水宽度检测方案 b

利用特征点匹配求单应矩阵，进行相机轨迹推测

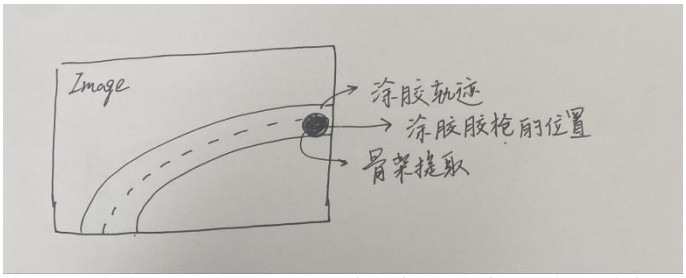

图 4.2.1 胶水宽度检测&骨架提取示意图（先通过方案 b/方案 c 求出单应矩阵，再用单应矩阵把胶枪的位置映射到后续图片中，进而得到完整的骨架）

a. 方案目标

该项目的目标是通过计算单应矩阵来推测毛刷的轨迹，前一张图片中的毛刷位置可以通过单应矩阵变换，投射到后一张图片的对应位置，进而通过一系列图片的拍摄形成胶条的骨架，利用骨架再生成检测的基准线，以便在机器人视觉系统中应用。

b. 初步尝试

1）**特征点匹配**： 使用 SIFT 特征点匹配或 FLANN 匹配计算单应矩阵。

2）**单应矩阵计算**： 利用 DLT/RANSAC 方法求解单应矩阵，从而进行特征点匹配。

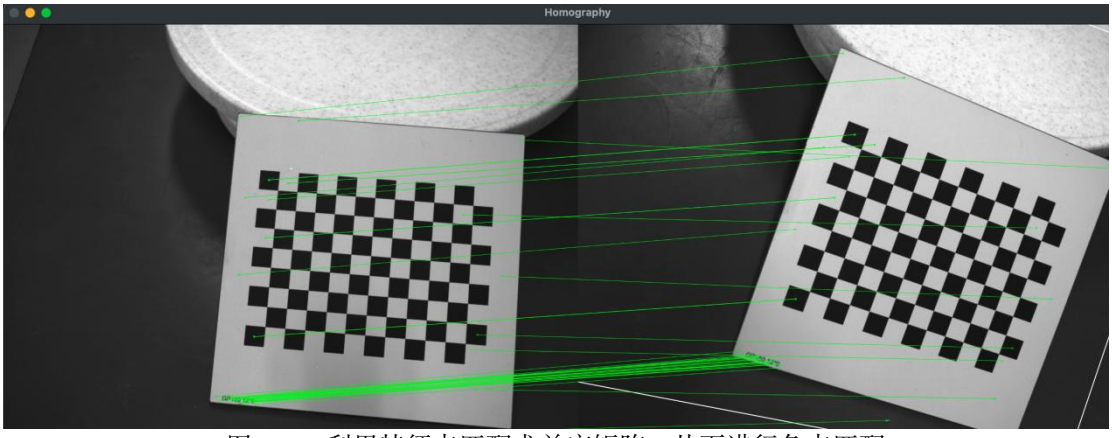

图 4.2.2 利用特征点匹配求单应矩阵，从而进行角点匹配

c. 不适用原因分析

使用 SIFT 特征点匹配或 FLANN 匹配计算单应矩阵在涂胶骨架提取中不适用的原因，可以从以下几个环境因素进行分析：

1）涂胶过程是一个动态变化的过程，作为一个连续的动态变化过程，这使得在不同时间点捕捉到的图像之间存在差异。SIFT 和 FLANN 匹配通常更适合静态场景，而在动态变化的环境中，这些算法可能无法提供稳定的匹配结果。

2）涂胶区域的复杂性：涂胶区域可能包含直线、曲线以及不规则形状，这增加了特征点匹配的难度。特别是在涂胶区域的边缘处，由于胶水的流动性和固化特性，可能会导致特征点匹配的不准确。由于涂胶周边的背景是动态变化的，这会导致在图像中提取的特征点不够稳定。SIFT 特征点匹配和 FLANN 匹配都依赖于图像中稳定且具有辨识度的特征点。动态背景可能导致特征点的重复性或一致性降低，使得匹配算法难以找到匹配的（毛刷）特征点对。

3）图像噪声增加：动态背景可能会引入额外的图像噪声，如移动的物体或变化的纹理，这些噪声会干扰特征点的检测，降低匹配算法的准确性

5.3 胶水宽度检测方案 c

先求内外参矩阵，再求单应矩阵，最后进行相机轨迹推测（因进度原因，未完成最后的轨迹推测）

a. 项目目标

该项目的目标是通过计算单应矩阵来推测毛刷的轨迹，先求内外参矩阵，再求单应矩阵，前一张图片中的毛刷位置可以通过单应矩阵变换，投射到后一张图片的对应位置，进而通过一系列图片的拍摄形成胶条的骨架，利用骨架再生成检测的基准线，以便在机器人视觉系统中应用。

b. 具体过程

1）显示角点： 使用 find chessboard corners 进行棋盘角点提取，并进行亚像素精细化处理。

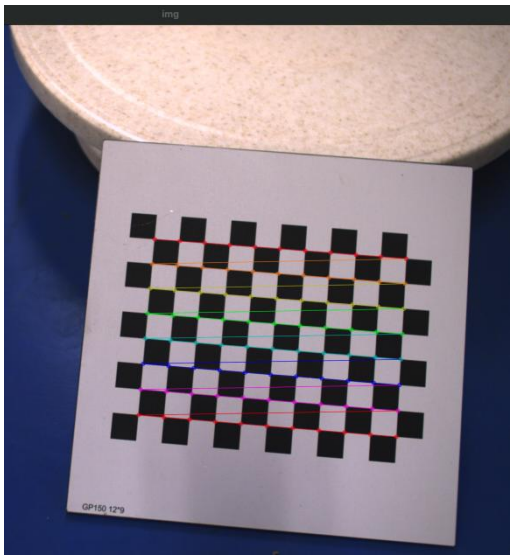

图 4.3.1 相机标定结果

2) **内参和畸变系数**：显示 camera calibration 结果，并输出内参矩阵 mtx 和畸变系数 dst。

3) **位姿估计**：通过 calibration_camera 获得相机的内参矩阵和各个姿态下的旋转向量 rvec 和平移向量 tvec。

4) **单应变化关系**：计算两个相机位姿之间的单应变化关系。

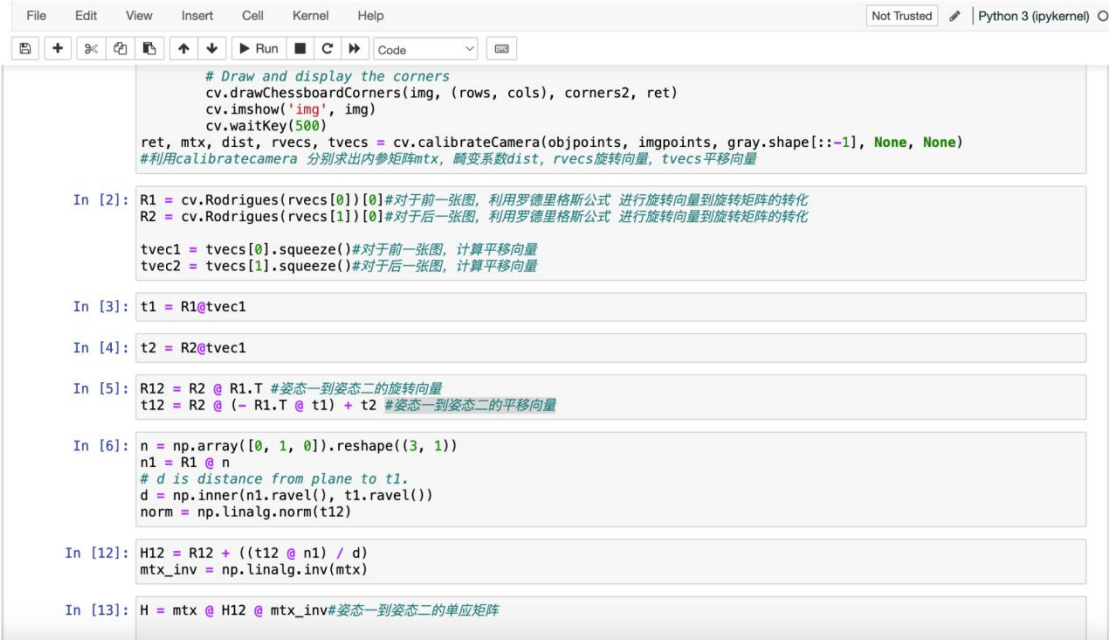

图 4.3.2 计算两个相机位姿之间的单应变化关系的代码

单应矩阵变化：经过单应矩阵变化后的角点和实际角点存在差异，需要进一步调整系数以提高精度。

5) **角点可视化**：在阅读相关论文后，对单应矩阵的求法有了新的认识，并在角点可视化显示方面取得了进展。

单应矩阵在项目中不仅用于图像处理和位姿估计，还涉及到宽度估计和质量控制，是实现高精度涂胶宽度检测的关键技术之一。通过单应矩阵的应用，可以有效地提升涂胶过程的自动化和智能化水平。

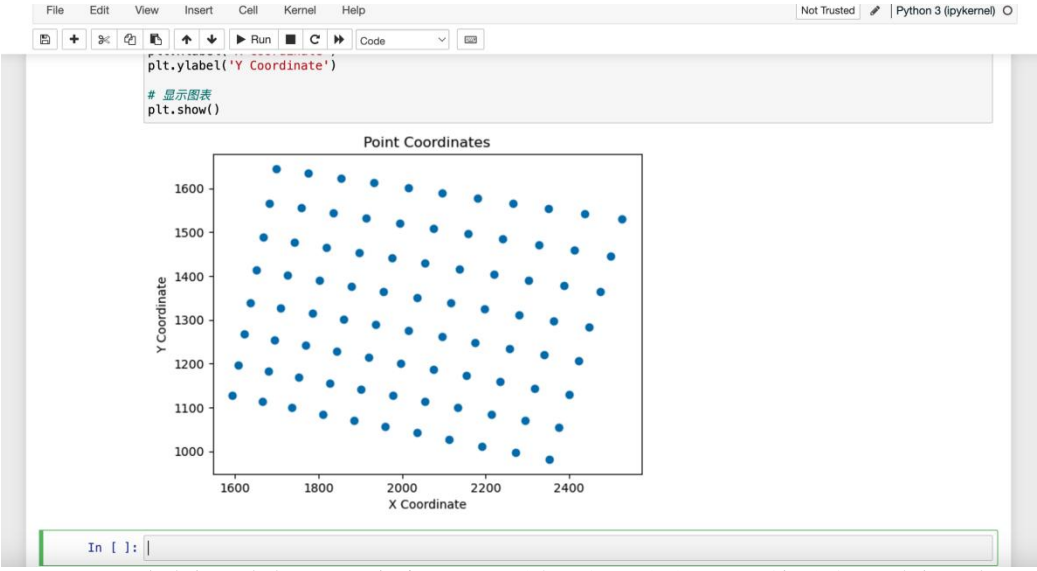

图 4.3.3 显示经过单应矩阵变化后的角点（先分别求出相机姿态 1/2 到标定板的单应矩阵，再求解相机位姿 1 到相机 2 的单应矩阵变化）

我们可以利用求得的单应矩阵，可以将前一张图片中的毛刷映射到第二张图片上，通过一系列图片的处理，生成真实的涂胶骨架。

c. **matlab 验证**

此外，在方案 c 中，为了验证我求得的单应矩阵的准确性，我还学习了如何用 matlab 求出不同相机位姿的手眼关系，进行对方案 c 中的单应矩阵进行准确性验证。

实施过程

1. 外参计算： 在 Matlab 中计算 16 组位姿对应的外参。
2. 工具箱导入： 导入 Peter Corke Robotics Toolbox，并学习如何调用工具箱中的功能（如 rpy2r）。
3. 如何求机器人末端执行器到基座变换以及相机到末端执行器变换：

估计相机内参。
收集手眼标定图像。
估计相机外参。
计算机器人末端执行器到基座变换。
估计相机到末端执行器变换。

手眼关系结果： 成功获得了内参、外参和旋转矩阵，为手眼关系的空间数据。

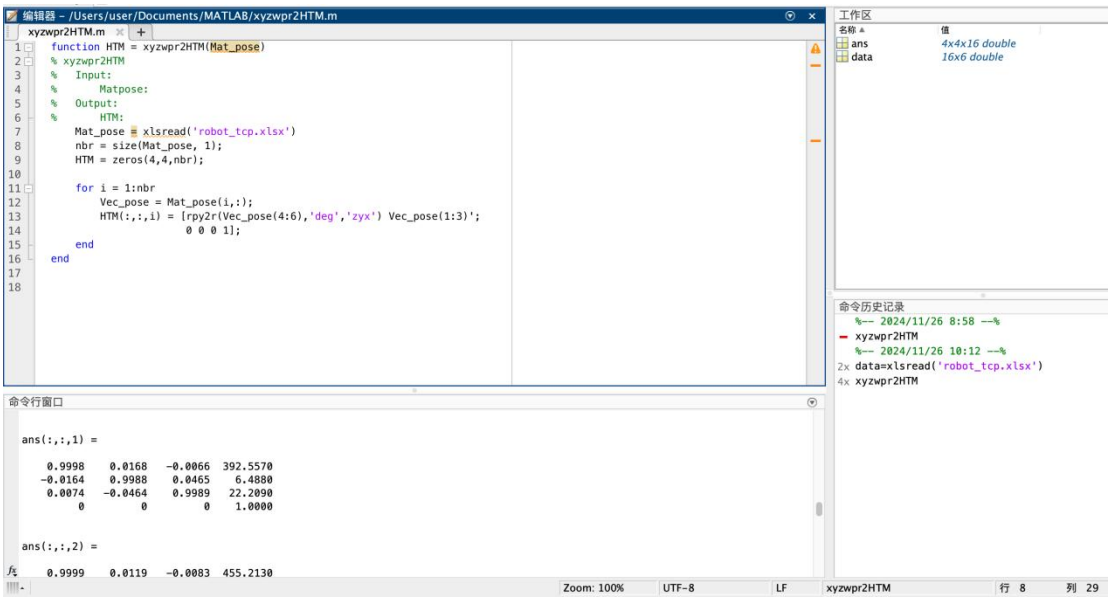

图 4.3 通过 matlab 计算 16 组位姿对应的手眼关系

通过这些项目实践，我不仅提升了自己在图像处理、计算机视觉和机器人学方面的技术能力，也为实际的工业应用提供了解决方案。这些经验对我的职业发展和技术提升都有着重要的影响。

6. 实习心得与反思

5.1 实习心得与反思

实习期间，我获得了宝贵的实践经验和深刻的学习体会。以下是我在实习中的一些心得和自我反思：

1）**理论与实践的结合**：在学校学习的理论知识在实习中得到了应用和验证。我发现，将理论应用于实际问题时，需要灵活变通和创新思维，这让我更加深刻地理解了所学知识。

2）**技术能力的提高**：通过参与具体的项目，我的编程能力、图像处理技术和机器人学知识都有了显著提升。我学会了如何使用多种工具和算法来解决实际问题。

3）**问题解决能力**：在实习过程中，我遇到了许多预料之外的挑战。这些经历教会了我如何分析问题、寻找解决方案，并在失败中吸取教训，不断改进。

4）**团队合作的重要性**：实习让我意识到团队合作的重要性。与同事和导师的沟通协作对于项目的成功至关重要。我学会了如何更有效地表达自己的想法，并倾听他人的意见。

5）**自我驱动的学习**：在实习中，我学会了如何自我驱动地学习新知识。面对不

熟悉的领域，我能够主动寻找资源，通过阅读文档、参与论坛讨论和观看在线课程来提升自己。

5.2 实习总结与展望

实习经历为我提供了一个宝贵的学习和成长的机会。以下是我对实习的总结和对未来的展望：

1）**实习经历**：实习期间，我不仅提升了自己的技术技能，也增强了解决问题的能力。我学会了如何在实际工作环境中应用理论知识。

2）**未来学习方向**：我计划继续深化我的专业知识，特别是在计算机视觉和机器人学领域。我将寻找更多的在线课程和研讨会，以保持对最新技术动态的了解。

3）**职业发展**：我希望在未来的职业生涯中，能够将我的技术技能和项目经验应用到更多的实际问题中。我期待在机器人技术或计算机视觉领域找到一个能够发挥我长处的职位。

4）**贡献社会**：最后，我希望能够通过我未来的工作对社会做出积极的贡献，无论是通过提高生产效率、改善人们的生活质量，还是通过技术创新解决环境和社会问题。

我非常感谢上海发那科机器人给我提供的实习机会和环境，非常感谢我的两位指导老师在我实习期间提供的专业指导和帮助，我对未来充满了期待。我将带着在实习中学到的知识和经验，继续前进，探索更广阔的技术世界。

6.附表

6.1 请参考附表 sheet 1 ~ 5