
Mech-Mind Application

Mech-Mind

2023 年 08 月 02 日

1	视觉系统搭建	2
1.1	安装和连接硬件	2
1.2	软件安装	15
1.3	连接工控机网线与设置 IP 地址	15
1.4	检查图像	21
2	应用案例	22
2.1	有序摆放的曲轴上料应用案例	22
3	应用优化	56
3.1	相机选型	56
3.2	光照控制	57
3.3	夹具设计	58
3.4	电源控制	58
3.5	机器人选型	59
3.6	误差控制	59
3.7	节拍及路径优化	64
4	应用注意事项	75
4.1	注意事项	75
4.2	其他	77

梅卡曼德视觉系统由 Mech-Eye 工业级 3D 相机、Mech-Mind 软件系统、机器人、外围设备等构成。本章将介绍如何搭建梅卡曼德视觉系统，并给出一些实施建议。

梅卡曼德视觉系统是梅卡曼德提供的整套 3D 视觉解决方案。

本章主要说明梅卡曼德视觉系统的构成，以及如何搭建视觉系统。

搭建梅卡曼德视觉系统需要完成：

- 安装和连接硬件
- 安装软件
- 设置 IP 地址
- 检查图像

1.1 安装和连接硬件

梅卡曼德视觉系统的硬件主要包含相机、工控机、机器人及其控制柜和周边设备（PLC、上位机等）。

执行如下任务安装和连接硬件：

1. 开箱检查
2. 安装前检查
3. 安装硬件
4. 连接硬件
5. 安装后检查

1.1.1 开箱检查

1. 收到包装后，请确认完好。
2. 找到包装内的《包装清单》，检查物品和配件无缺失或损坏。



包装清单主要包括：

序号	名称	功能
1	标定板	用于相机标定
2	相机配件包	用于安装相机
3	工控机	提供梅卡曼德软件系统
4	加密狗	用于授权软件
5	相机使用说明书	Mech-Eye 工业级 3D 相机使用说明书
6	Mech-Eye 工业级 3D 相机	用于采集图像
7	工控机电源线	接通工控机电源
8	工控机适配器	
9	法兰板	连接标定板
10	DC 电源线（相机）	连接相机与导轨电源
11	相机网线	连接相机与工控机
12	导轨电源	接通 Mech-Eye 工业级 3D 相机的电源
13	包装清单	列出包装内所有物品和配件

提示：以上包装清单仅供参考，实际请以包装内的《包装清单》为准。如有物品损坏或缺失，请联系梅卡曼

德。

1.1.2 安装前检查

安装前，需进行以下相机、工控机及机器人相关的检查。

检查相机

安装相机前，需确定相机安装方式。安装方式不同，需检查的内容也不相同。

确定相机安装方式

请根据相机与机器人的相对位置的需要，确定相机安装方式（Eye in Hand 或 Eye to Hand）。

	Eye in Hand (EIH)	Eye to Hand (ETH)
说明	相机安装于机器人末端，随机器人一同运动。	相机固定于相机支架上。
图示说明		

检查相机支架

使用 Eye to Hand 方式安装相机时，需确认：

- 相机安装高度适合：使用 [视野计算器](#) 计算相机的安装高度。
- 相机支架材质合适：推荐使用机加工钢材。由于铝型材强度弱，长时间使用可能导致支架发生变化，不推荐使用铝型材。
- 相机支架结构合理：相机支架安装牢固，支撑稳定。推荐使用相机龙门架，支撑更牢固。
 - 机器人运动或发生其他震动时，相机安装位置不变。
 - 相机支架有滑动机构时，相机移动时不晃动；并检查相机重复定位精度无误。

检查接线

相机安装于机器人上或其他移动装置上时，需检查相机的走线，并确认：

- 妥善固定连接相机端的 DC 电源线与网线。
- 相机移动时不会拉扯损坏线缆或插头。

检查工控机

工控机安装前，确认安装环境满足如下要求：

- 工控机放置在少粉尘、铁屑或水雾的地方。
- 运行时环境温度不可高于 60 °C。
- 不可遮挡工控机散热结构。

检查机器人

检查机器人时，需检查机器人放置环境、机器人底座、机器人零点与机器人可达性。

- 检查机器人放置环境：
 - 机器人相关电源线无破损；
 - 机器人控制柜内部干燥。
- 检查机器人底座：

使用化学螺栓固定机器人底座，并确认安装牢固。机器人运动时无底座晃动的情况。
- 检查机器人零点：

确认机器人零点正确，若不正确需要重新校准零点。
- 检查机器人可达性：
 - 机器人可达工作范围：机器人能在工作区域内正常抓取、放置工件，尤其是边缘、最高层、最底层及角落位置的工件。
 - 机器人奇异点：手动操作机器人，确认机器人工作范围内是否存在奇异点；若机器人工作区域内存在奇异点，与支持工程师沟通解决。
- 检查机器人绝对精度：

确认机器人绝对精度的准确性，避免机器人绝对精度不准确导致的 TCP 不准确。

1.1.3 安装硬件

完成安装前检查后，可以安装相机、工控机和配件。

相机安装

相机支持以下两种方式安装：

- 使用 L 型转接件安装（发货时，L 型转接件已安装至相机背面）
- 使用相机螺纹孔安装

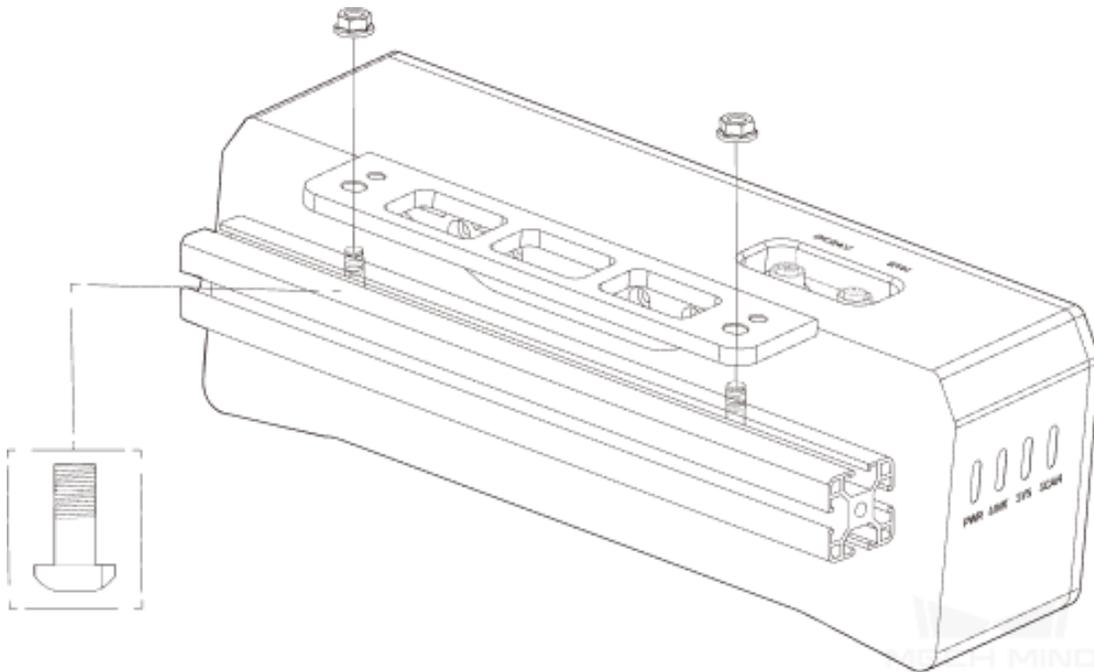
安装相机时，可使用配件盒内的螺钉安装相机，也可自行准备扳手与螺钉安装相机。所需螺钉与扳手规格尺寸获取方式如下：

- 下载 CAD 模型。
- 查看技术参数中的尺寸信息。

提示：相机安装完成后，请撕掉镜头保护膜。

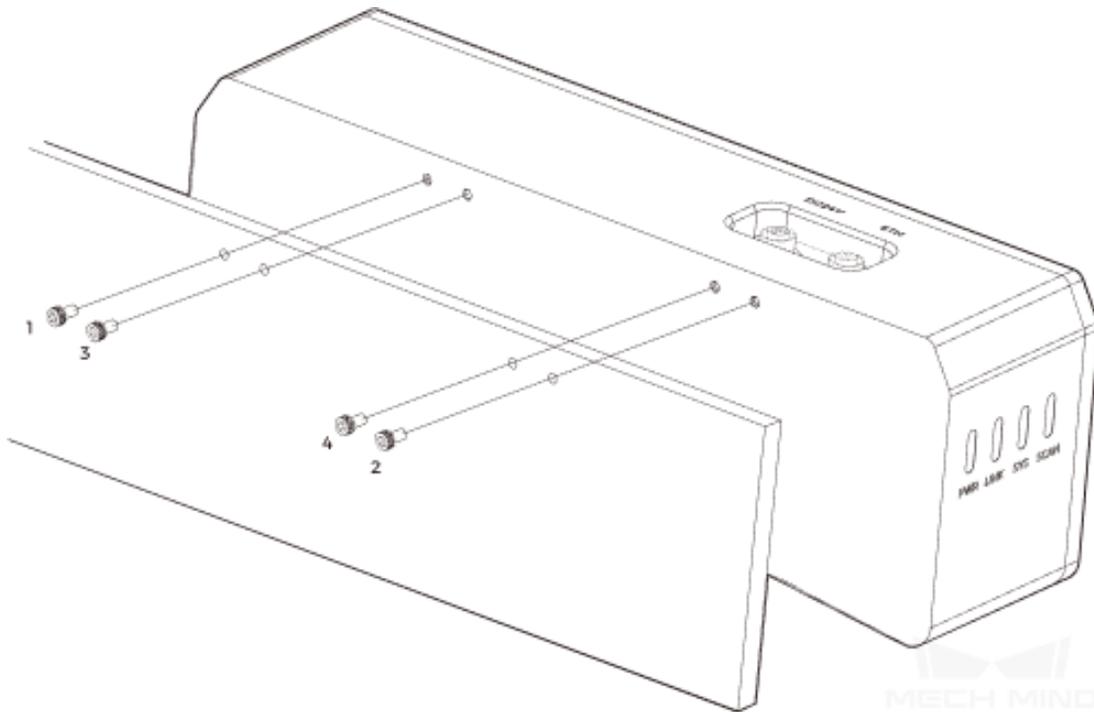
使用 L 型转接件安装

使用扳手拧紧两颗螺母，固定相机，如下图所示。



使用相机螺纹孔安装

安装相机时，使用扳手按顺序先预紧，后拧紧螺钉，如下图所示。



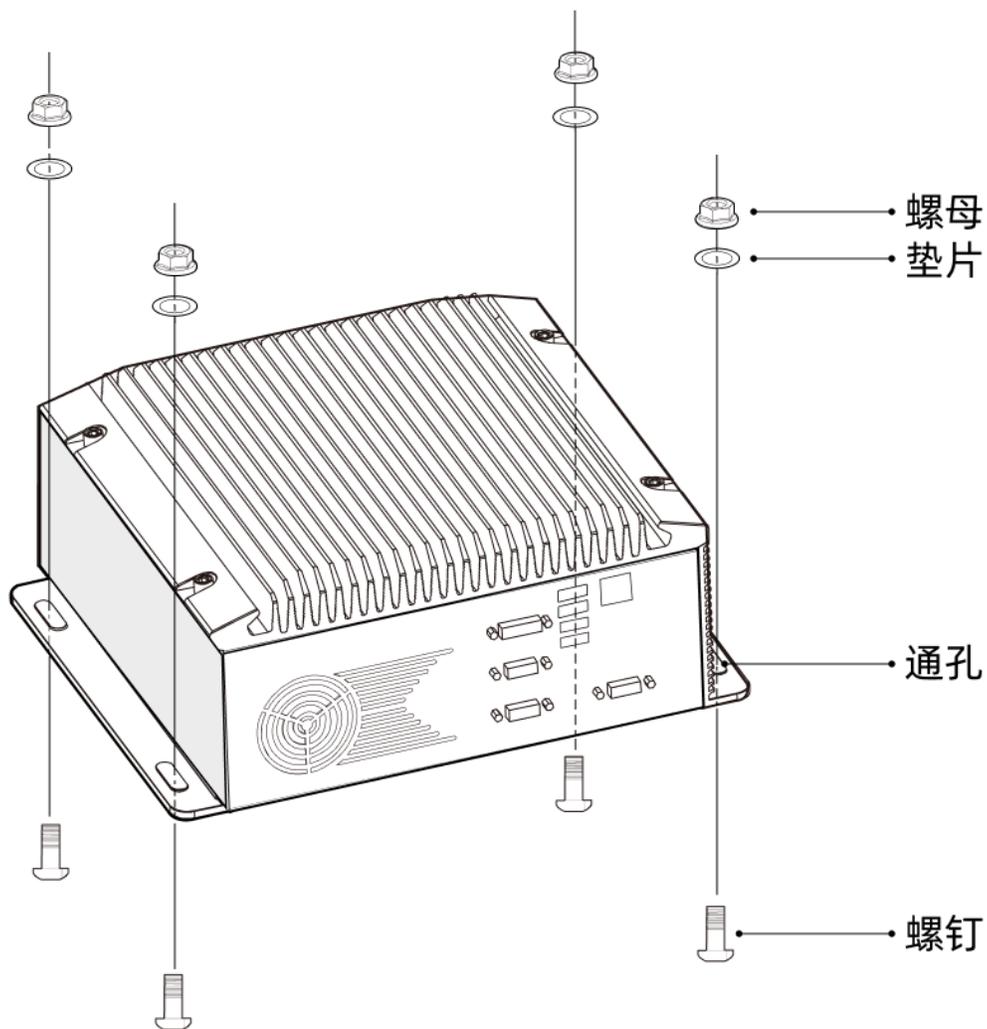
提示： 安装前需使用扳手拆卸 L 型转接件。

工控机安装（可选）

如果工控机需要固定安装于机架上时，请参照本节完成安装。

提示： 需自行准备扳手、螺钉、螺母及垫片。

如下图所示，依次放置螺钉、垫片、螺母，并使用扳手拧紧螺母。



安装配件

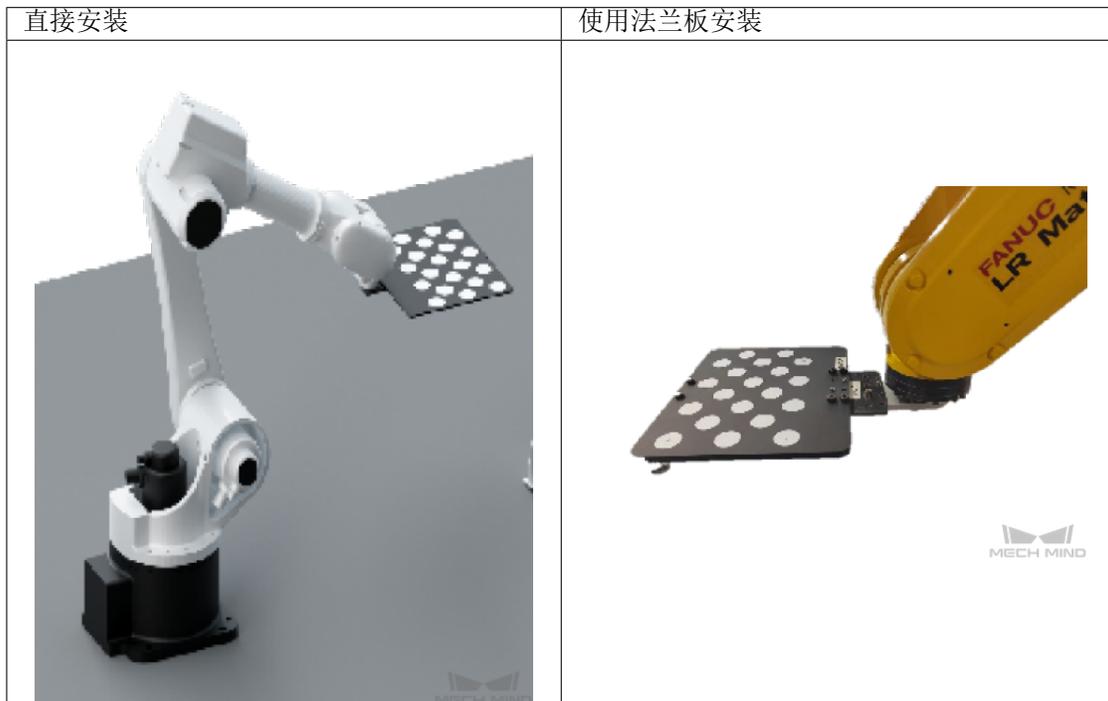
使用 Eye to Hand 方式标定或者检查外参时，需安装法兰板与标定板。

安装法兰板

检查外参时，需将标定板安装于机器人末端，通常使用法兰板连接机器人与标定板。

安装标定板

标定板常见安装方式，如下所示：

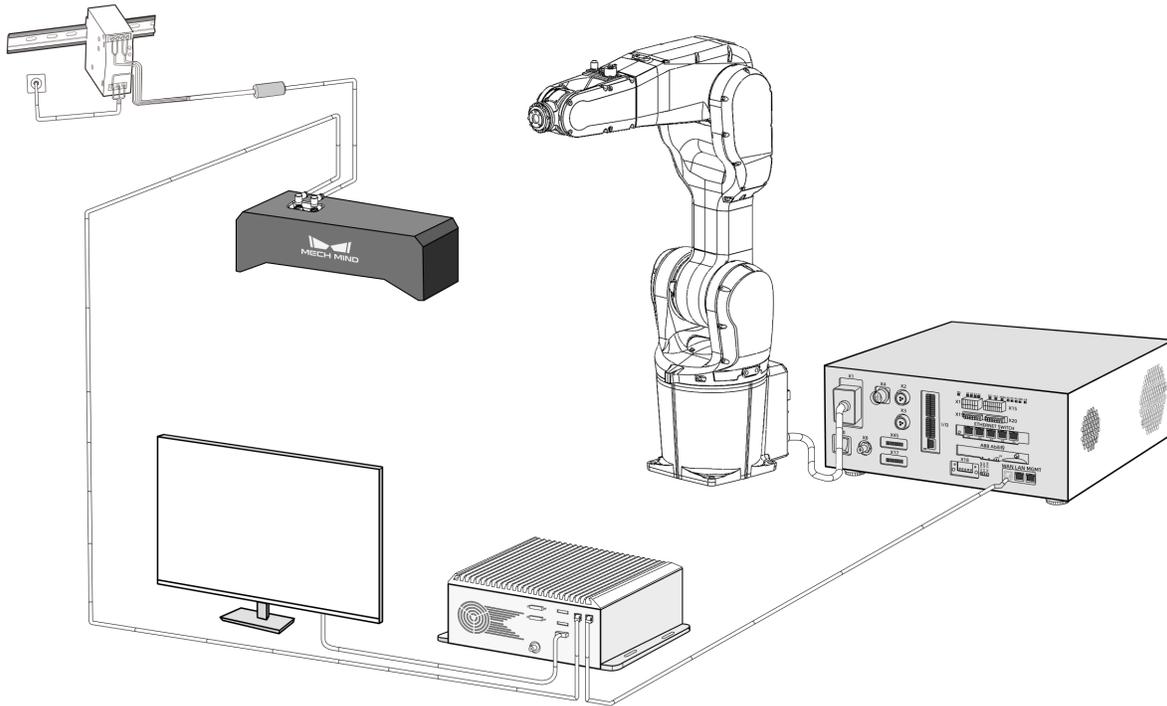


1.1.4 连接硬件

梅卡曼德视觉系统硬件连接主要包括：

- 相机连接：
 - 使用网线连接相机与工控机；
 - 使用导轨电源接通相机电源。
- 工控机连接：
 - 使用网线连接工控机与相机；
 - 使用电源适配器接通工控机电源；
 - 使用 HDMI 线连接工控机与显示器（自行准备显示器与 HDMI 线）。
- 机器人控制柜连接：
 - 使用网线连接机器人控制柜与工控机（自行准备网线）；

- 使用电源适配器接通机器人控制柜电源。



注意:

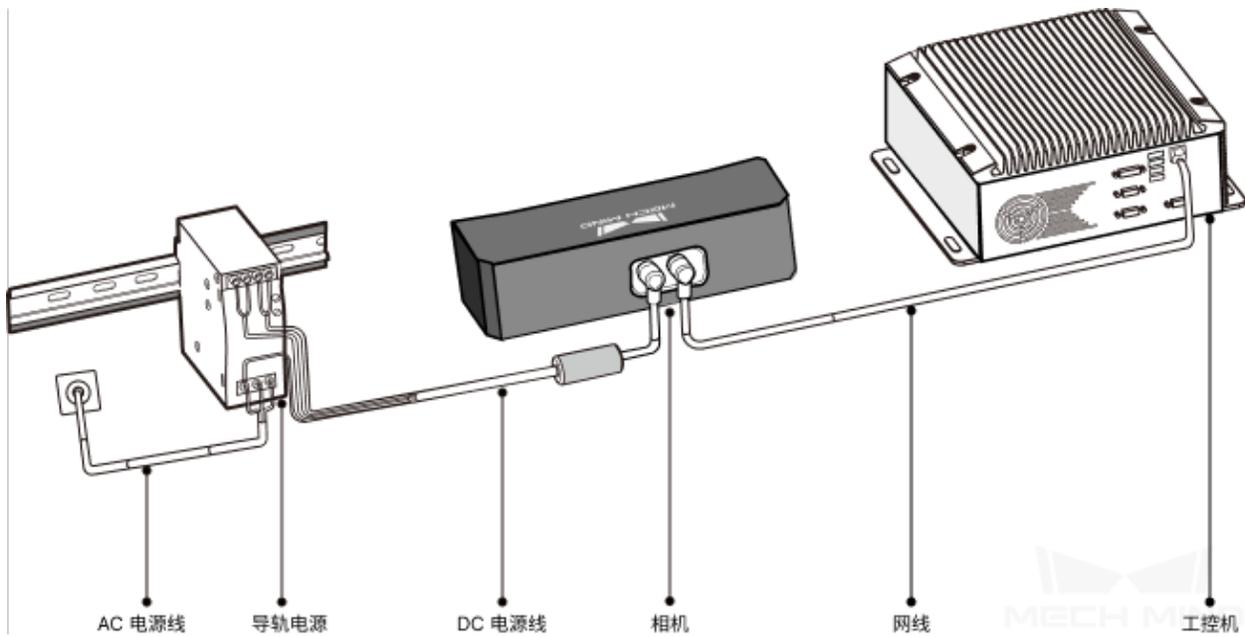
- 连接时，请最后接通电源。
- 相机、工控机及机器人控制柜通过网线连接。网口不足时，可使用千兆交换机连接。
- 由于网线外观基本相同，建议连接前使用标签加以区分。

连接相机

注意：相机为 Eye in Hand 安装方式时，需要注意相机线缆的走线。机器人末端轴大范围运动时，若机器人管线包或相机线缆存在拉扯情况，在不影响机器人正常工作的情况下，可以通过软件限制机器人末端轴的运动范围。

相机连接包含两部分：

- 使用网线连接相机与工控机；
- 使用导轨电源接通相机电源。

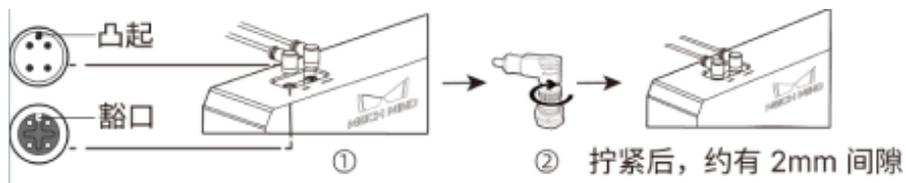


连接 DC 电源线

DC 电源线插入 DC 24V 电源接口中，如下图所示。

1. 将电源线插头的凸起对准电源接口的豁口插入。
2. 拧紧紧固螺母。

提示：拧紧螺母时，推荐扭矩：16N·m。



连接相机网线

网线的航插接头插入 ETH 网口中。

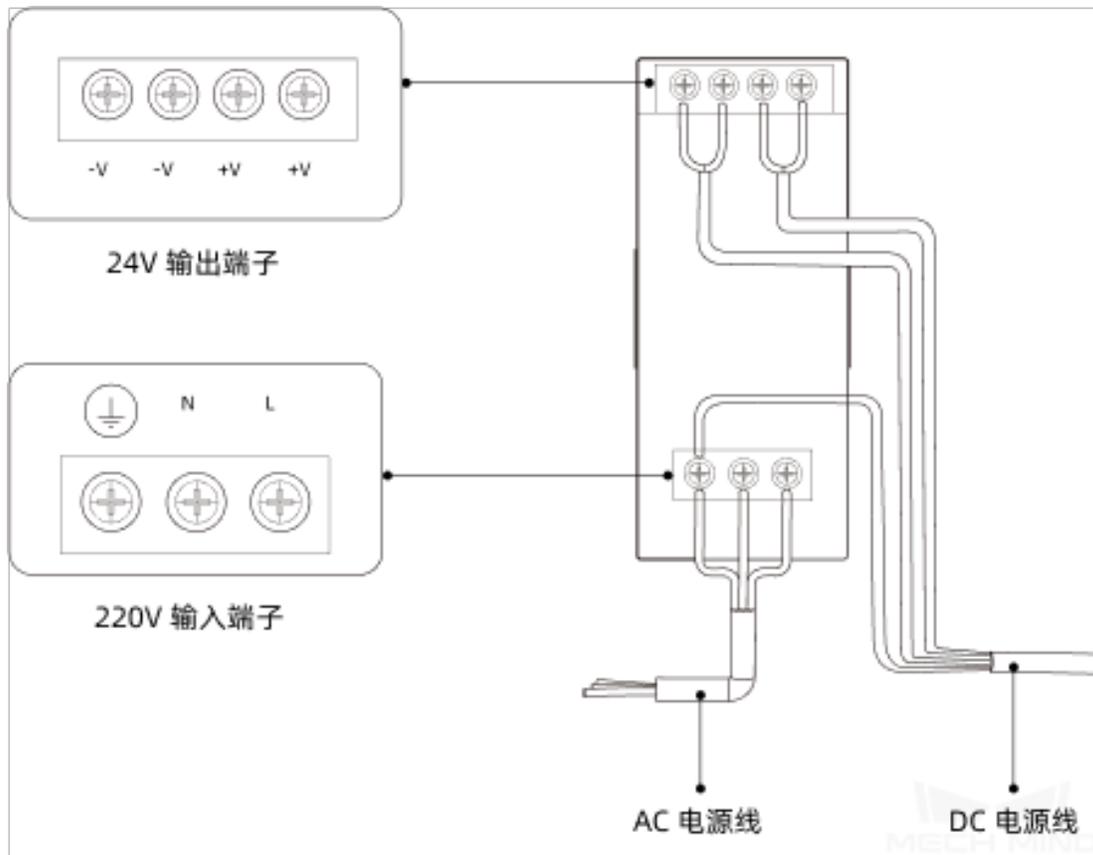
1. 将航插接头的凸起对准 ETH 网口的豁口插入。
2. 拧紧紧固螺母。

提示：拧紧螺母时，推荐扭矩为 16N·m。

连接导轨电源

导轨电源接线连接时，插头需接入对应的输入/输出电压端子，如下图所示。

1. AC 电源线连接的三股接线插头（PE、N、L）分别插入对应的 220V 输入端子（⊕、N、L）中。
2. DC 电源线连接：
 - +V 接入 24V 输出端子的 +V 中；
 - -V 接入 24V 输出端子的 -V 中；
 - PE 接入 220V 输入端子 ⊕。



警告:

- 导轨电源的接地端子必须接地！
- 导轨电源需放在配电箱中使用。导轨或连接导轨的配电箱应可靠接地。
- 如有多台导轨电源，安装时应保持一定间距。

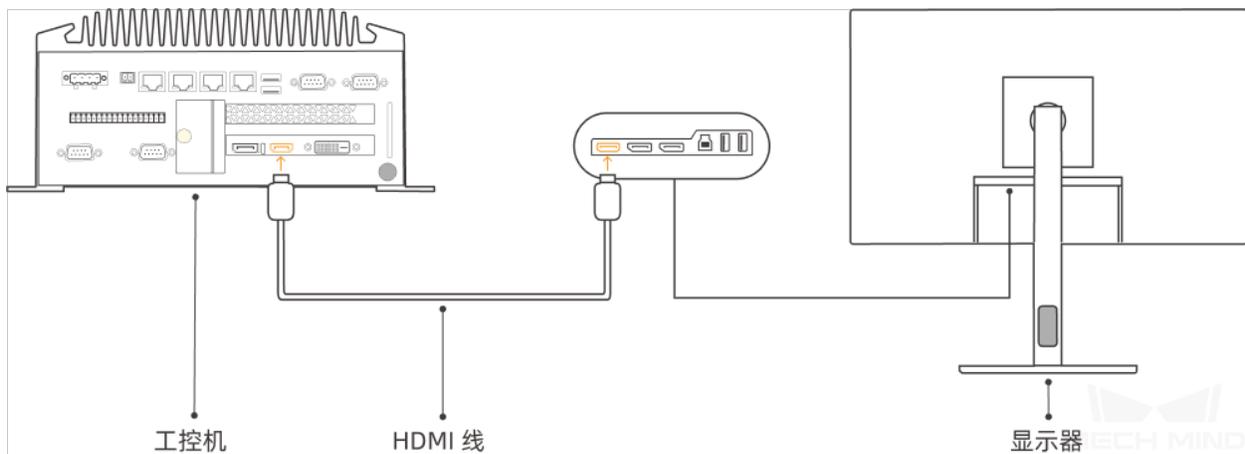
连接工控机

工控机连接：

- 使用 HDMI 线连接工控机与显示器（自行准备）；
- 使用网线连接工控机与相机；
- 使用电源适配器接通工控机电源；
- 插入加密狗。

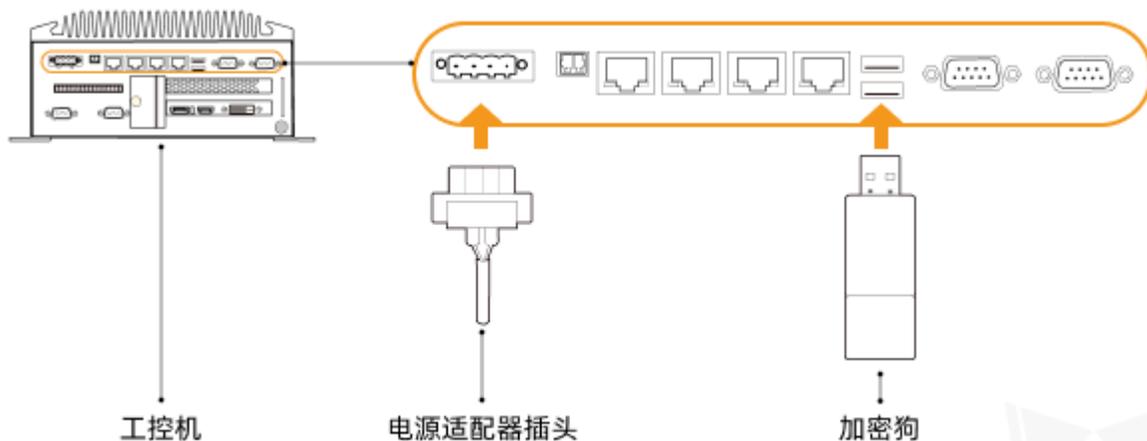
连接 HDMI 线

将 HDMI 线一端插入显示器背面的 HDMI 接口；一端插入工控机的 HDMI 接口，如下图所示。



连接其他

将电源适配器的电源插头插入工控机的电源接口中，加密狗插入 USB 口中，如下图所示。



提示:

- 设置工控机 IP 地址时，再将网线插入工控机网口即可。
 - 建议在网线上贴上标签，以便区分网线连接的对象。
-

连接机器人控制柜

取一根两端皆为 RJ 45 接头的网线，将网线的一端插入机器人控制柜网口中。再接通机器人控制柜电源。详情请查看机器人说明书。



提示: 请自行准备网线。

1.1.5 安装后检查

全部安装完成后，需检查相机、工控机与机器人控制柜可否正常工作。

检查相机

相机 PWR 指示灯与 LINK 指示灯绿色常亮，否则相机异常，请联系技术支持。

检查工控机

开机后显示器画面正常，可正常使用。

检查机器人

开机启动后，示教器端无报错信息，可移动机器人。

机器人设置完成后，高速运转时，需查看机器人底座是否晃动。如机器人底座晃动，需要使用更多的化学螺栓固定机器人底座。

1.2 软件安装

梅卡曼德视觉系统使用的软件为梅卡曼德软件系统, 包含 Mech-Eye SDK、Mech-Vision、Mech-Viz、Mech-Center 和 Mech-DLK。

从梅卡曼德购买的工控机已经预装了梅卡曼德软件系统。请检查工控机上的各款软件是否为最新版本。如果某款软件不是最新版本, 请参照如下章节安装最新版本软件。

如果使用自有主机作为工控机, 请先确认工控机的参数和配置满足 `ipc_introduction` 中的要求, 然后依次安装软件。

1.2.1 安装 Mech-Eye SDK

下载并安装 [Mech-Eye SDK](#)。

1.2.2 安装 Mech-Vision、Mech-Viz 和 Mech-Center 软件

下载并安装 [Mech-Vision](#)、[Mech-Viz](#) 和 [Mech-Center](#) 软件。

1.2.3 安装 Mech-DLK

下载并安装 [Mech-DLK](#)。

1.3 连接工控机网线与设置 IP 地址

软件安装完成后, 再将网线插入工控机 LAN 口, 并设置相机、工控机与机器人的 IP 地址。以下两对 IP 地址需处于同一网段:

- 相机与工控机中连接相机的网口
- 机器人与工控机中连接机器人控制柜的网口

提示:

- 工控机各网口不可设置在同一网段。
 - 请先设置工控机 IP 地址, 再设置相机 IP 地址与机器人 IP 地址, 以防工控机 IP 地址设置不成功。
 - 网口不足时, 可使用千兆交换机。
-

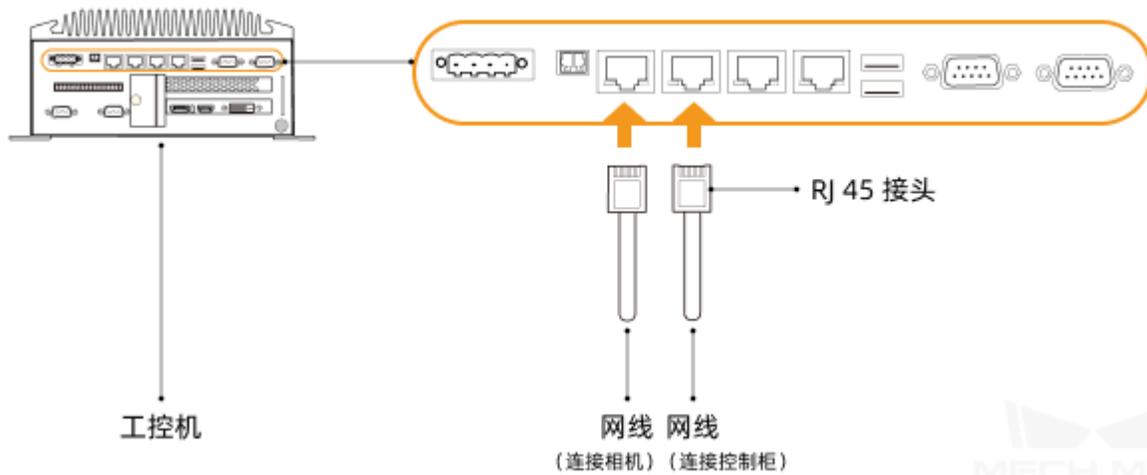
连接网线与设置 IP 地址流程为:

1. 将连接相机网线的 RJ45 插头插入工控机 LAN 网口中, 请参考[连接网线](#)。
2. 设置工控机中连接相机网口的 IP 地址, 请参考[设置工控机 IP 地址](#)。
3. 将连接机器人控制柜网线的 RJ45 插头插入工控机 LAN 网口中, 请参考[连接网线](#)。
4. 设置工控机中连接机器人控制柜网口的 IP 地址, 请参考[设置工控机 IP 地址](#)。

5. 设置相机 IP 地址。
6. 设置机器人 IP 地址。
7. 检查工控机与相机和机器人的网络连通性。

1.3.1 连接网线

将网线的 RJ45 插头插入工控机 LAN 网口中。



1.3.2 设置工控机 IP 地址

1. 在工控机中，选择 控制面板 ▸ 网络和 Internet ▸ 网络和共享中心 ▸ 更改适配器设置 进入 网络连接 页面。
2. 选择相机/机器人连接的网口，右键单击选择 属性，进入属性页面。
3. 选择 Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4) ▸ 属性 进入 IP 设置界面。



- 单击使用下面的 IP 地址，然后输入 IP 地址和子网掩码，单击确定，设置完成。

Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4) 属性

常规

如果网络支持此功能，则可以获取自动指派的 IP 设置。否则，你需要从网络系统管理员处获得适当的 IP 设置。

自动获得 IP 地址(O)

1 使用下面的 IP 地址(S):

2 IP 地址(I): . . .

子网掩码(U): . . .

默认网关(D): . . .

自动获得 DNS 服务器地址(B)

使用下面的 DNS 服务器地址(E):

首选 DNS 服务器(P): . . .

备用 DNS 服务器(A): . . .

退出时验证设置(L)

高级(V)...

3 确定 取消

提示:

- IP 地址必须唯一。

- 子网掩码一般为 **255.255.255.0**。

提示:

- 推荐重命名与相机和机器人连接的网口，便于识别。在 **网络连接** 页面中，右键单击需重命名的网口，选择 **重命名**，修改即可。
 - 工控机中的各个网口不可在同一网段，否则可能造成冲突。
-

1.3.3 设置相机 IP 地址

1. 在工控机中，运行 Mech-Eye Viewer。

2. 选中相机，鼠标移动至相机信息栏中，出现 ，点击进入 IP 设置界面。

3. 选择 **设置为静态 IP**，并根据实际情况选择 **IP 地址类型**。然后，输入相机 IP 地址和子网掩码，并点击应用。

相机名称

本机信息

网卡

IP地址 192 · 168 · 20 · 226

子网掩码 255 · 255 · 255 · 0

相机

设置为动态分配

1 设置为静态IP

2 IP地址类型 类型C 192.168.x.x

3 IP地址 192 · 168 · 20 · 232

子网掩码 255 · 255 · 255 · 0

4 应用

提示:

- IP 地址必须唯一。
- 在 本机信息中，可查看与相机相连的工控机网卡的 IP 地址及子网掩码。可根据此处信息设置相机的 IP 地址和子网掩码。

1.3.4 设置机器人 IP 地址

查看机器人使用说明书设置机器人 IP 地址。

1.3.5 检查工控机与相机和机器人的网络连通性

工控机、相机与机器人的 IP 地址设置完成后，需检查此三者之间的网络连通性。步骤如下：

1. 使用快捷键 Window + R，进入运行界面。
2. 在 打开 中输入 **cmd**，单击 确定。
3. 在命令窗口输入 **ping XXX.XXX.XX.XX**，单击 Enter 运行命令。

提示：XXX.XXX.XX.XX 为实际设置的相机或机器人 IP 地址。

4. 查看命令返回值，判断与该 IP 地址的通信是否正常。
 - 通信正常时，显示如下信息。

```
正在 Ping XXX.XXX.XX.XX 具有 32 字节的数据:  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 字节 =32 时间 <1ms TTL=128  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 字节 =32 时间 <1ms TTL=128  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 字节 =32 时间 <1ms TTL=128  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 字节 =32 时间 <1ms TTL=128
```
 - 通信不正常时（可能由 IP 地址冲突导致），显示如下信息，此时需重新设置 IP 地址。

```
正在 Ping XXX.XXX.XX.XX 具有 32 字节的数据:  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 无法访问目标主机。  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 无法访问目标主机。  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 无法访问目标主机。  
来自 XXX.XXX.XX.XX 的回复: 无法访问目标主机。
```

1.4 检查图像

确认工控机与相机和机器人网络可达后，执行如下步骤检查 2D 图质量：

1. 使用 Mech-Eye Viewer 连接相机，采集图像。
2. 检查 2D 图是否满足如下要求：
 - 摆放工件到相机视野中心，确保边缘、最高层工件都在视野内。
 - 无虚焦现象。

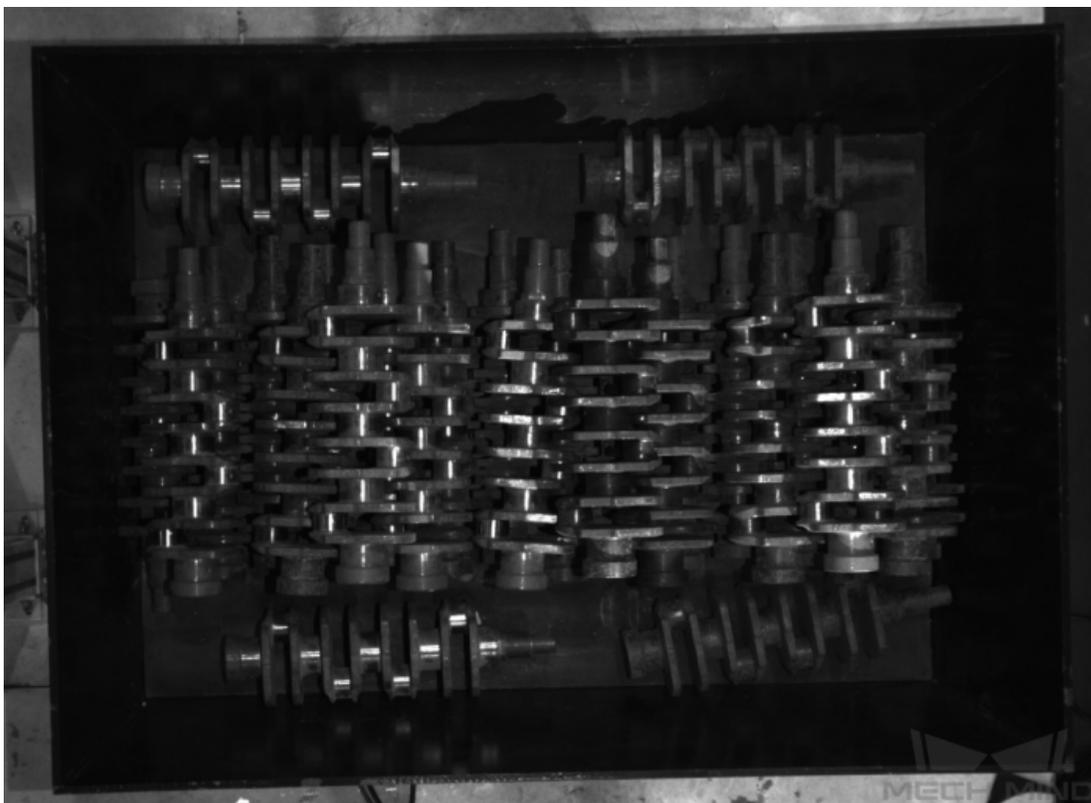
本章将提供梅卡曼德视觉系统的典型应用案例。

2.1 有序摆放的曲轴上料应用案例

2.1.1 背景介绍

工件

本案例需要进行识别和抓取的工件为曲轴。曲轴是一种重量大、外形复杂、表面不反光的曲面工件。在本案例中，曲轴在料筐中有序摆放，同层工件互不堆叠，其表面有较明显的边缘特征用于识别。



机器人

本案例使用 KAWASAKI_RS007L 机器人，六轴机器人，荷载重量 7kg。

项目目标

视觉系统引导机器人逐层抓取工件，每次抓取一个，并把工件放置到指定位置。项目满足如下技术指标：

- 抓取精度： $\pm 0.5\sim 3\text{mm}$
- 识别成功率：99-99.99%
- 节拍：4s
- 清筐率：99% 以上

项目方案

相机

本案例中工件和料筐尺寸较大，并且考虑到项目精度要求，因此本项目推荐使用 Mech-Eye LSR L 或 PRO M 相机，通过 Eye to Hand 方式固定安装在支架上。

通信方式

3D 视觉系统与机器人采用主控通信方式，由 Mech-Viz 引导机器人完成曲轴的抓取和放置。

视觉方案

Mech-Vision 触发相机采集图像，并对图像进行处理并输出抓取点，并通过 Mech-Viz 工程进行路径规划和碰撞检测。

2.1.2 方案部署

搭建视觉系统并与机器人连接

在部署视觉方案前，需要先搭建视觉系统，并完成与机器人的连接。

详细信息请参考：

- 安装相机
- 连接整个视觉系统
- 将主控程序烧录至机器人
- 连接机器人

执行机器人手眼标定

请参考 完成 ETH 场景下的自动标定完成机器人手眼标定。

搭建 Mech-Vision 工程

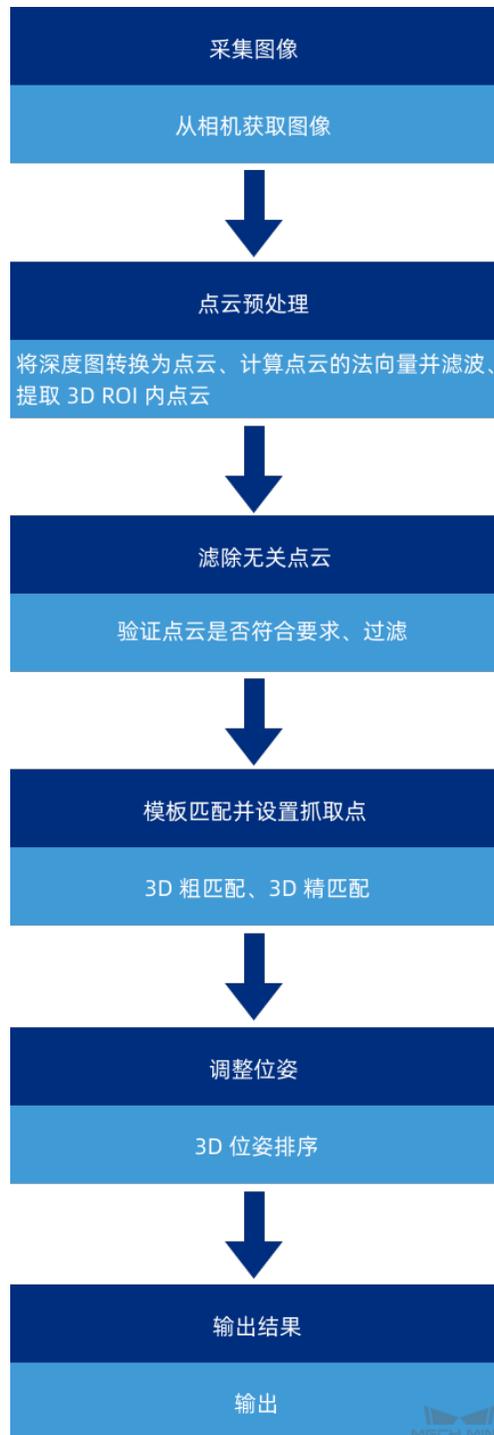
本节介绍 Mech-Vision 曲轴上料工程的搭建。

- 工程搭建思路
- 搭建工程
 - 采集图像
 - 点云预处理

- 滤除无观点云
- 模板匹配并设置抓取点
- 调整位姿
- 映射到多抓取点
- 输出视觉结果
- 运行并调试工程

工程搭建思路

曲轴上料工程的 Mech-Vision 工程搭建思路如下。



1. 采集图像。采集工件图像数据，获得其彩色图像和深度图像。
2. 点云预处理。对采集到的图像进行处理，将采集到的工件深度图转换为点云。同时为了减少背景点云和无关点云的干扰，可删除离群点云。
3. 滤除无关点云。为了加快工程处理速度，可过滤点云列表中点数不在设定阈值范围内的点云。

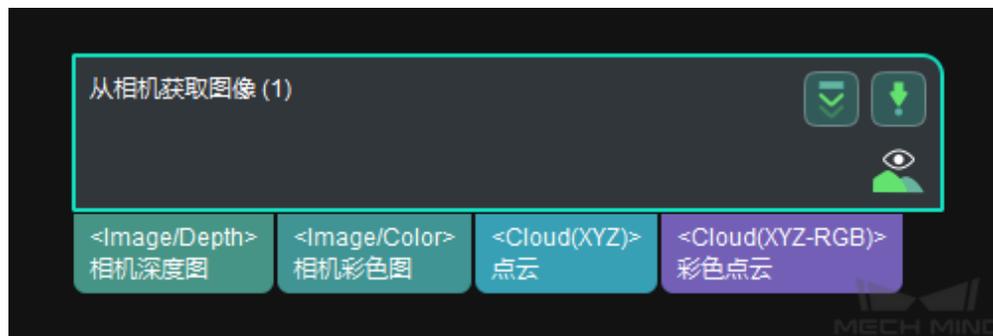
4. 模板匹配并设置抓取点。通过物体点云模板匹配，识别出场景中的物体并得到其抓取点。该任务需要提前准备点云模板文件和几何中心文件。
5. 调整位姿。当得到物体的抓取点后，需进行坐标系变换，将物体坐标系变换到机器人坐标系，方便机器人进行抓取。
6. 输出视觉结果。当坐标系转换完成后，需将视觉结果通过服务发送至 Mech-Viz 或 Mech-Center。

搭建工程

创建工程后，即可开始搭建工程。

采集图像

添加 `capture_images_from_camera` 步骤，该步骤用于触发相机拍照，并获取彩色图和深度图。



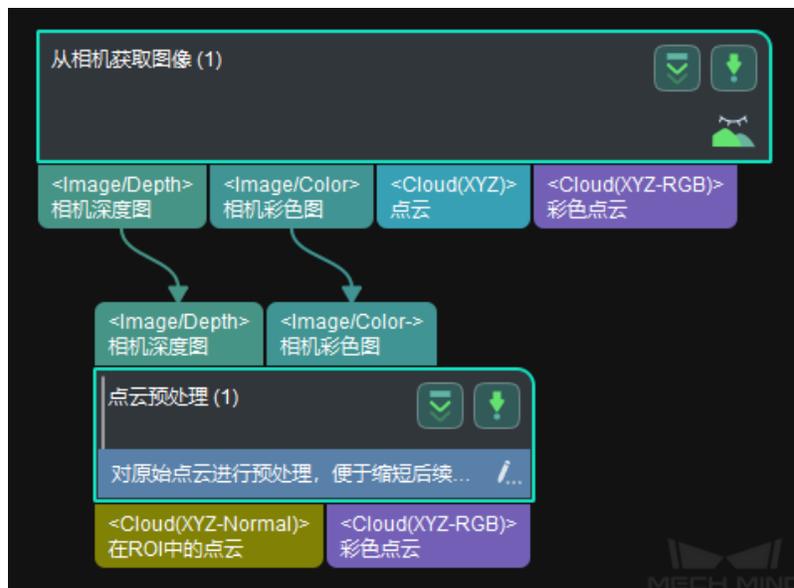
注意：添加此步骤前，应确保相机已安装且与工控机连接，并且已经完成采集图像测试和机器人手眼标定。

此步骤添加完成后，需要连接真实相机。选中该步骤，然后单击 步骤参数，在步骤参数界面对相机相关参数进行配置，选择相机类型、相机编号、标定参数组，并填写 IP 地址。



点云预处理

添加 point_cloud_preprocessing 步骤组合。



双击进入该步骤组合，其中包含 from_depth_map_to_point_cloud、calc_normals_of_point_cloud_and_filter_it、extract_3d_points_in_3d_roi 步骤，如下图所示。



1. from_depth_map_to_point_cloud 可将相机拍照得到的深度图转换为点云数据。

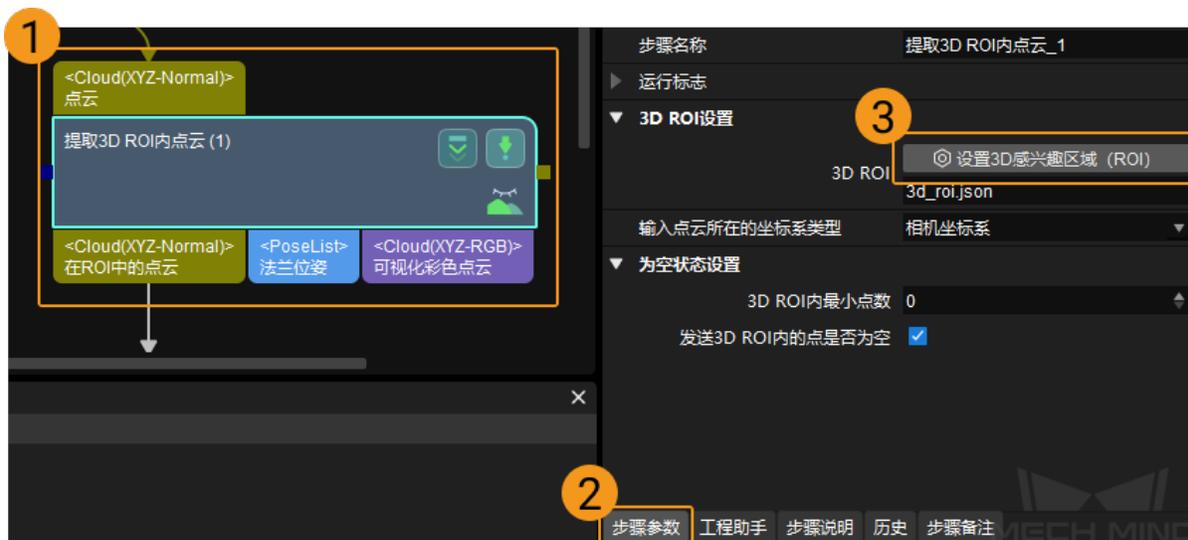
为了减少无用点云对后续步骤的干扰，并缩短后续步骤处理时间，需框选 2D 感兴趣区域。

首先选中该步骤，然后单击 步骤参数，最后单击 设置 2D 感兴趣区域 (ROI)。设置 2D ROI 的方法可参考 set_ROI。



2. calc_normals_of_point_cloud_and_filter_it 步骤可计算出输入点云中每一个点的法向量，使原本只带位置信息的点云数据转变成带法向量信息的点云数据。
3. extract_3d_points_in_3d_roi 步骤用于在 3D 空间内设置感兴趣区域 (ROI)，该区域内的点云将被保留，区域外的点云将被去除，从而减少背景点云的干扰。

首先选中该步骤，然后单击 步骤参数，最后单击 设置 3D 感兴趣区域 (ROI)。设置 3D ROI 的方法可参考 set_ROI。

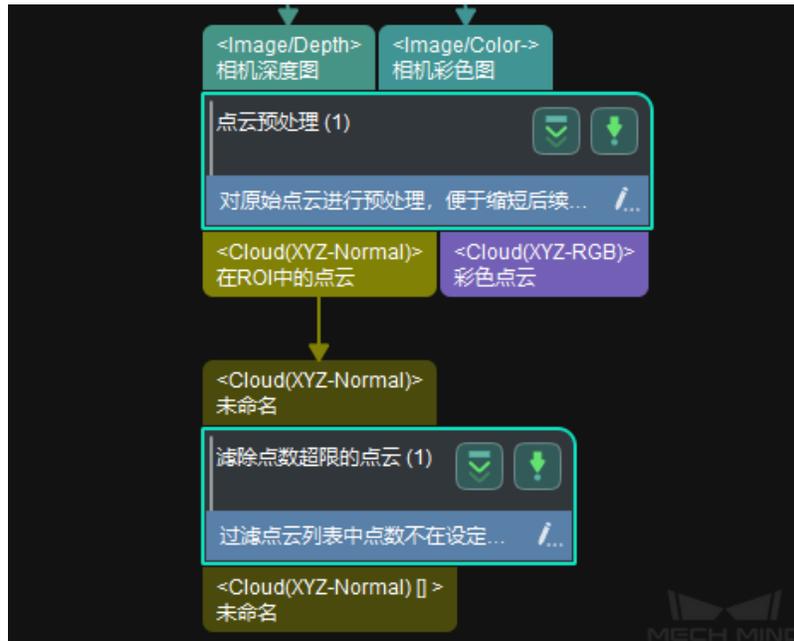


4. 为了将点云发送到 Mech-Viz 中，用于调试或查看实际效果，需在该步骤组合下方连接 send_point_cloud_to_external_service 步骤。

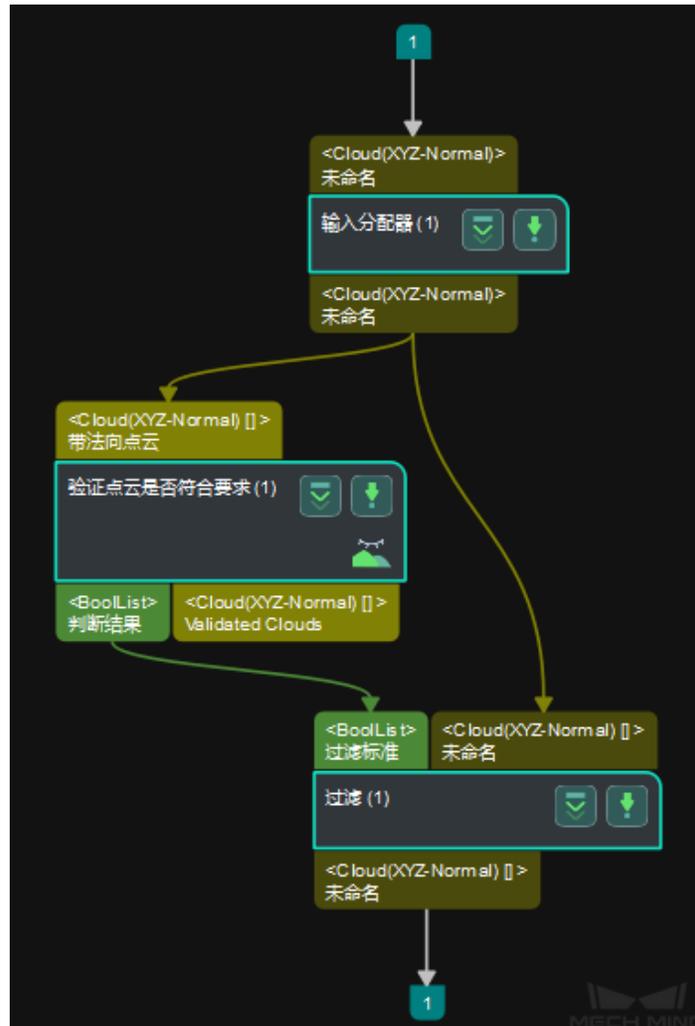


滤除无关点云

为了提高工程运行速度，滤除无关点云，需添加 filter_out_point_clouds_that_exceed_the_size_limit 步骤组合。



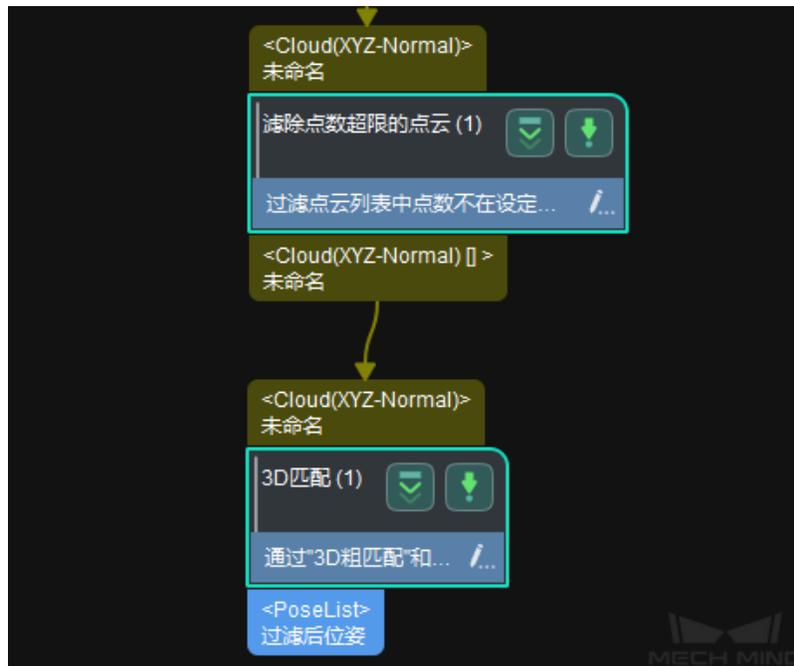
双击进入该步骤组合，其中包含 allocator、validate_point_clouds、filter 步骤，如下图所示。



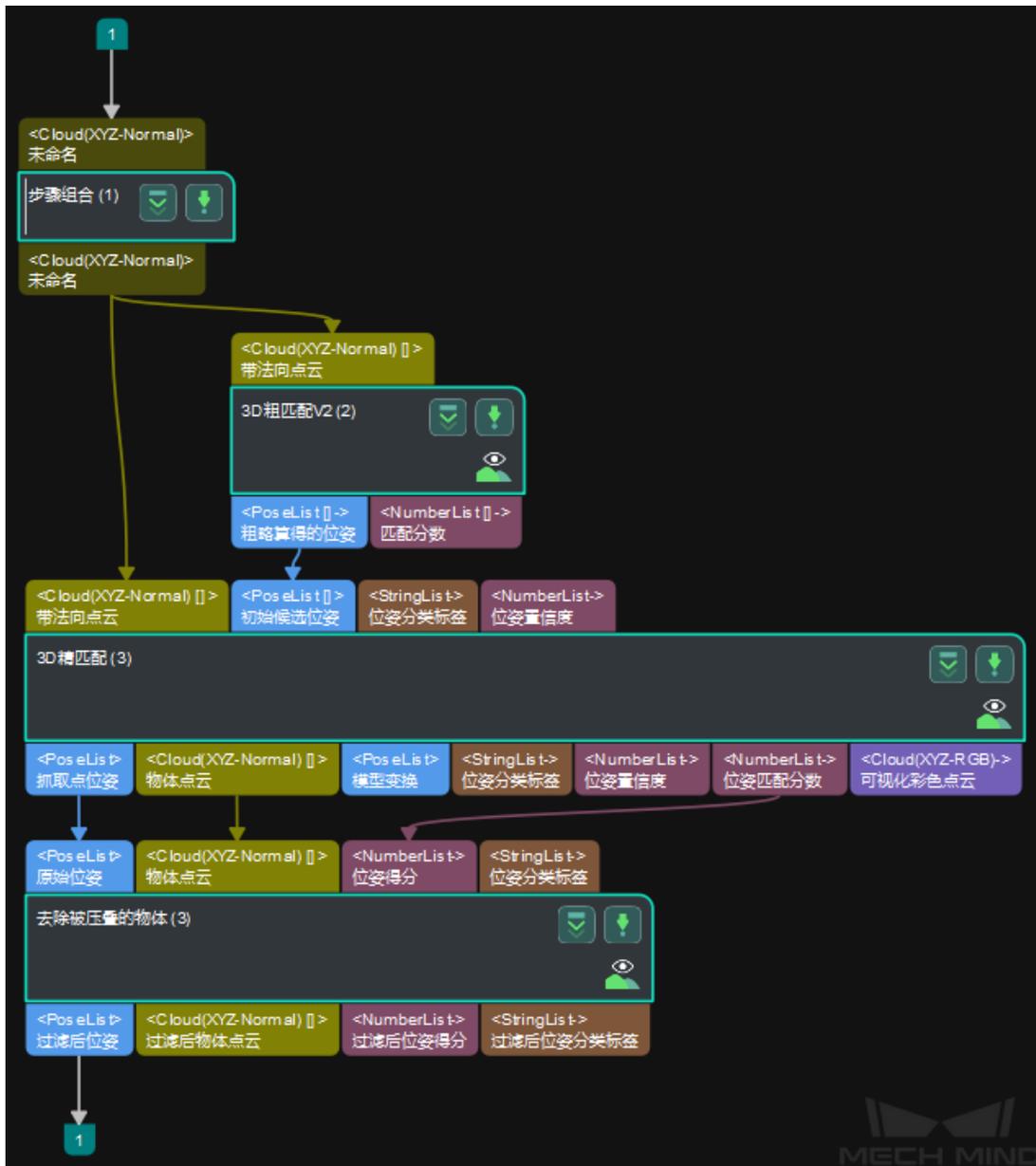
1. validate_point_clouds 步骤可根据设定的规则（如点云点数阈值）判断点云是否符合要求。
2. filter 步骤作为通用的列表过滤器，可将输入的列表元素与 True/False 布尔值列表元素一一对应，输出 True 对应的列表数据。

模板匹配并设置抓取点

添加 3d_matching_custom 步骤组合。



双击进入该步骤组合，其中包含 3d_coarse_matching_v2、3d_fine_matching、remove_overlapped_objects 步骤，如下图所示。



1. 3d_coarse_matching_v2 步骤可将预先制作好的点云模板与输入的带法向的点云进行粗略地特征匹配，匹配出结果后，根据模板匹配到的位置，生成对应的物体几何中心和抓取点。

首先选中 3d_coarse_matching_v2 步骤，然后单击 步骤参数，最后单击 ，选择模板文件和几何中心文件并将其导入。



提示：模板文件和几何中心文件的制作方法可参考 `matching_model_and_pick_point_editor`。

2. `3d_fine_matching` 步骤可对 `3d_coarse_matching_v2` 中的匹配结果进行更精准的匹配计算，得到精度较高的匹配结果，并生成对应的高精度几何中心和抓取点。

提示：在 `3d_fine_matching` 步骤中添加模板文件和几何中心文件的方法同 `3d_coarse_matching_v2` 步骤。

在本步骤调参过程中，可根据实际情况优先调整采样间隔，该值越小，采样得到的点云越多，模型估计的精确度越高，然后调整标准偏差。具体可参考 `3d_fine_matching`。

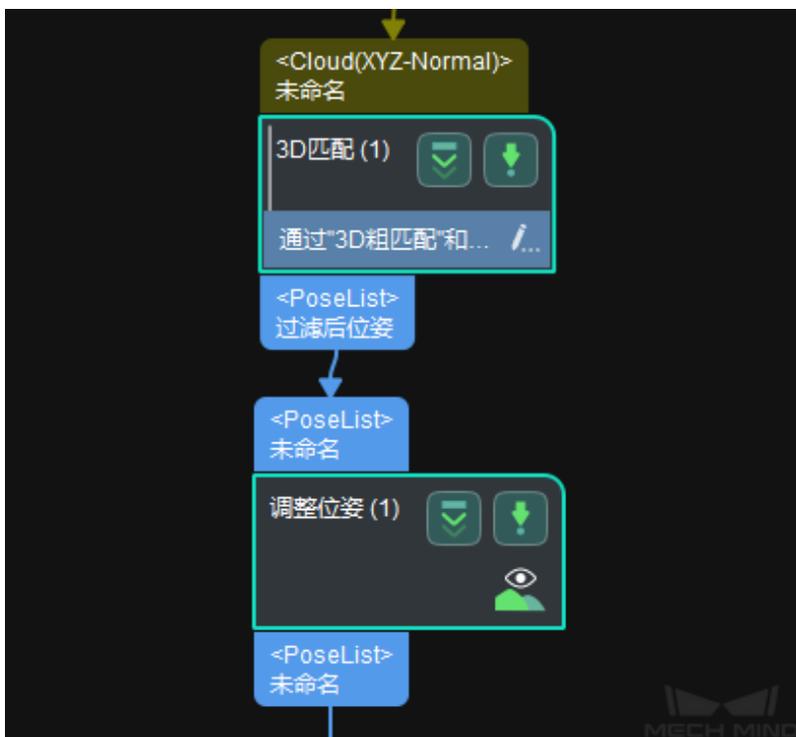
3. `remove_overlapped_objects` 步骤可根据指定的规则，去除被压叠物体的位姿。

可通过调节重叠比例阈值，来调整判定压叠的严格程度。重叠比例阈值越高，压叠的判定越宽松；重叠比例阈值越低，压叠的判定越严格。

调整位姿

通过 `3d_fine_matching` 步骤获得精确位姿后，接下来需对获取到的位姿进行变换。

添加 `pose_adjustment_collection` 步骤，将此步骤放置于 `3d_matching_custom` 步骤组合下方。使用该步骤内置的 `pose_editor`，可对位姿进行坐标系转换、平移、旋转、排序等组合调整。



映射到多抓取点

若抓取点与几何中心点不一致，或抓取点不止一个时，需要使用 `map_to_multi_pick_points` 步骤为场景中的物体添加多个可发送给机器人控制软件的抓取点。

添加此步骤，将其放置于 `pose_adjustment_collection` 步骤下方。



输出视觉结果

为了将输出的数据发送给 Mech-Center，由 Mech-Center 发送给后续用到该数据的软件及硬件，需添加 procedure_out 步骤，将此步骤放置于 map_to_multi_pick_points 步骤下方。

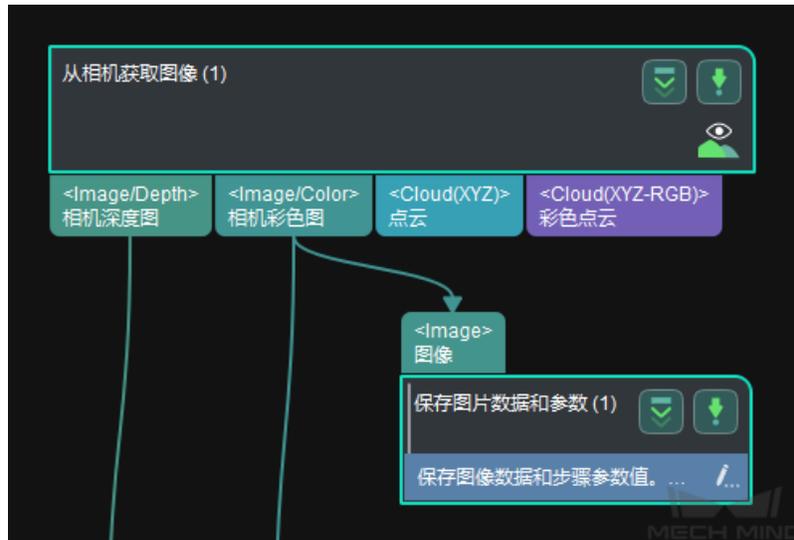


此时，即完成了 Mech-Vision 曲轴上料工程的搭建。可通过快捷键 `Ctrl + S` 或在菜单栏处依次单击 文件 ▶ 保存工程来对工程进行保存。

运行并调试工程

工程搭建完成后，即可运行并调试工程。

如需在工程运行过程中保存图像数据和步骤参数值，可在 `capture_images_from_camera` 步骤下方连接 `save_images_and_step_properties` 步骤组合。



搭建 Mech-Viz 工程

本节介绍 Mech-Viz 曲轴上料工程的搭建。

- 工程搭建思路
- 工具和工件配置
 - 添加并调整碰撞模型
 - 添加末端工具
 - 调整末端工具中心点
 - 工件配置
- 场景配置
- 工作流程配置
 - 定义“Home 点”
 - 添加“拍照点”
 - 定义“抓取点”
 - 定义“抓取等待”
 - 定义“抓取相对移动点”

- 定义“放置点”
- 定义“放置等待”
- 定义“放置相对移动点”
- 返回“Home 点”
- 仿真
- 碰撞检测配置
- 仿真运行

工程搭建思路

曲轴上料工程的 Mech-Viz 工程搭建思路如下。



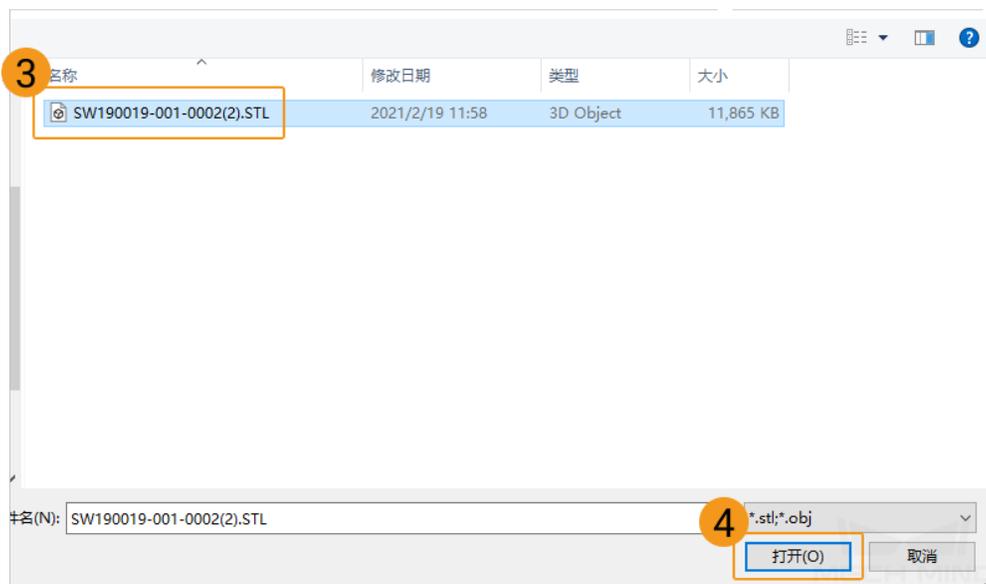
1. 工具和工件配置。为了在三维仿真空间中能够显示末端执行器的模型，并使末端执行器能够参与碰撞检测，需进行工具配置。同时还需配置工件，用于抓取工件时的机器人运动轨迹规划。
2. 场景配置。为了还原真实现场场景，以辅助用户规划机器人运动路径，需进行场景配置。
3. 工作流程配置。工作流程的配置是 Mech-Viz 工程的核心，通过将任务库中的任务拖拽到工程编辑区，设置任务的各项参数，并将任务连线，来实现预设的程序功能。
4. 碰撞检测配置。为了防止机器人与料筐或其他障碍物的碰撞，保证程序不间断地运行，用户需要完成碰撞检测配置。
5. 仿真工程。完成上述所有配置后，接下来需仿真运行工程，查看工程运行效果。

工具和工件配置

配置机器人模型后，需完成工具和工件的配置，即添加碰撞模型和末端执行器，并调整末端工具中心点。

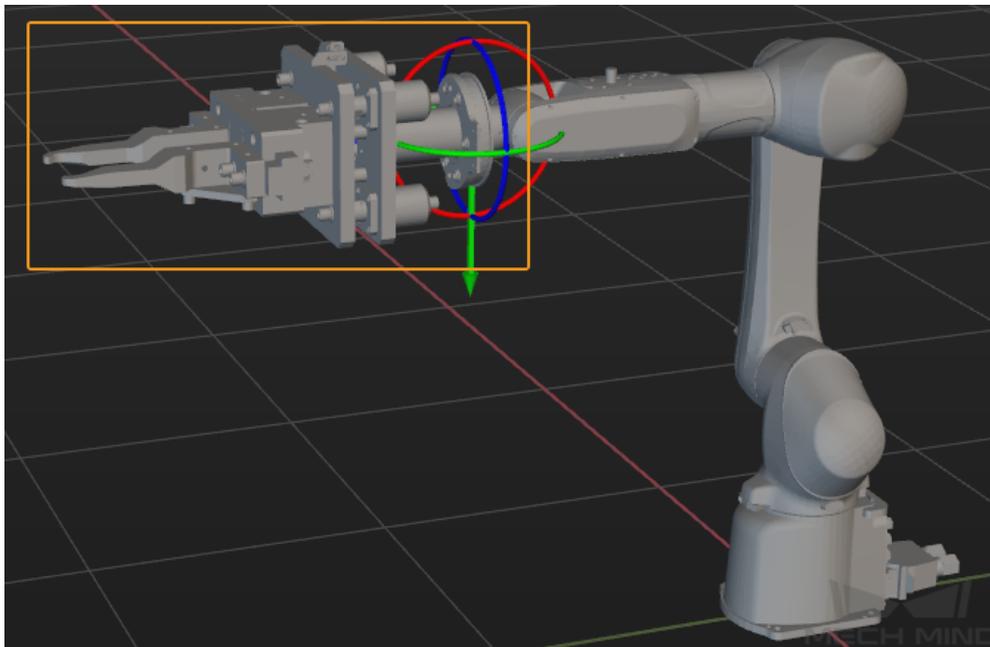
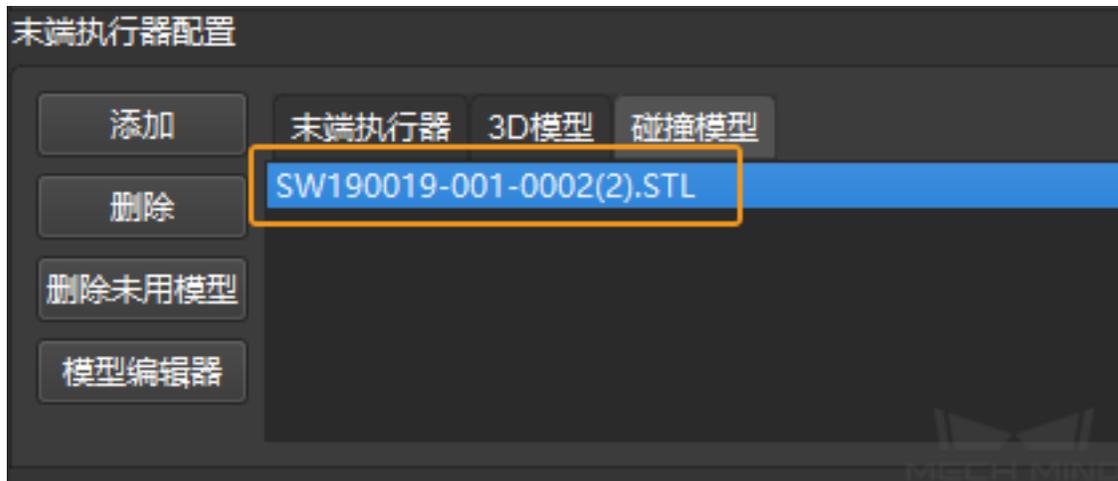
添加并调整碰撞模型

1. 在工具和工件选项卡下依次单击 碰撞模型 ▶ 添加，在弹出的文件选择窗口中选择准备的碰撞模型。



注意：关于碰撞模型相关内容，可参考 简化工具和场景模型。

2. 选中添加好的碰撞模型，该模型将在三维仿真空间中显示。



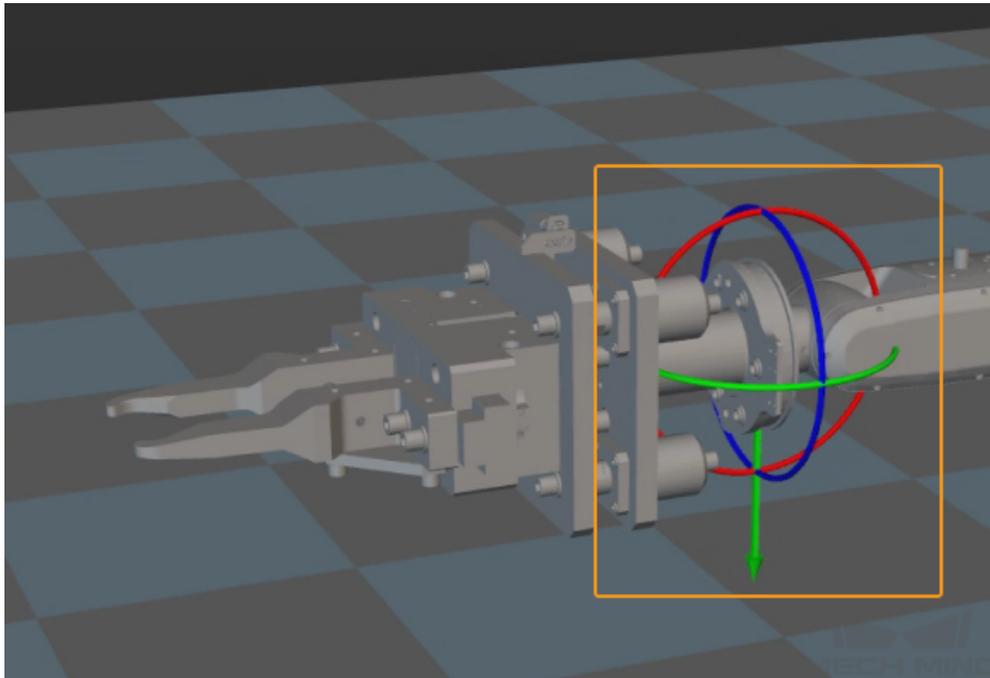
如上图所示，碰撞模型位置正确。有时可能存在碰撞模型位置有误且需要调整的情况，需调整碰撞模型位置。

添加末端工具

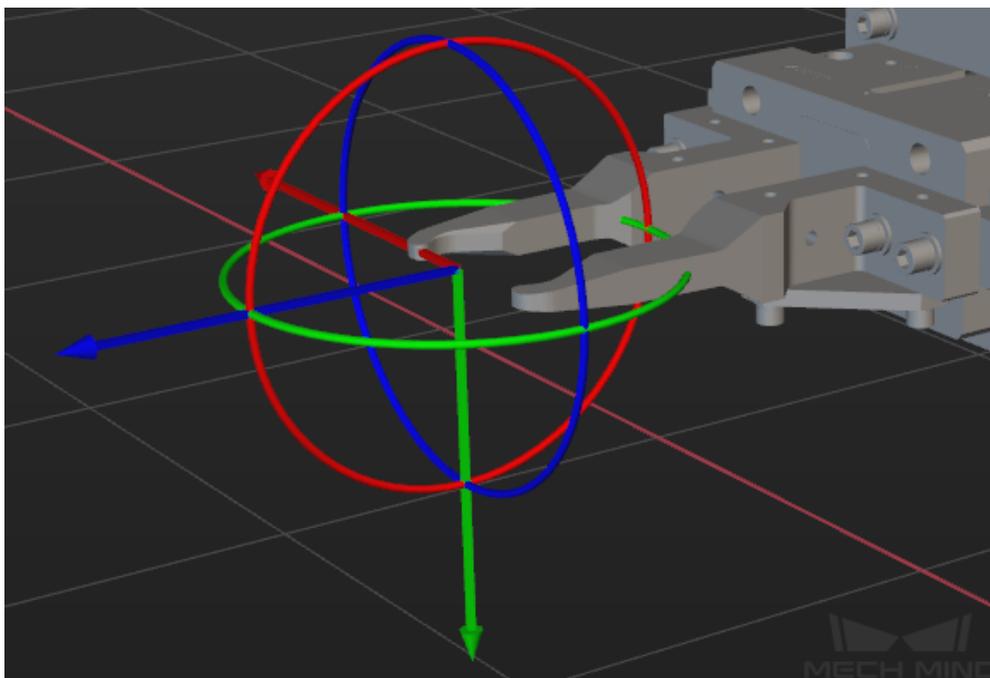
操作说明	图示
1-2 单击 末端执行器后单击 添加。	
3-4 自定义末端工具名称（此例中命名为 tcp），选择添加的碰撞模型。	
5 单击 OK 保存设置。	
设置完成后，末端执行器列表中显示添加后的模型名称。	

调整末端工具中心点

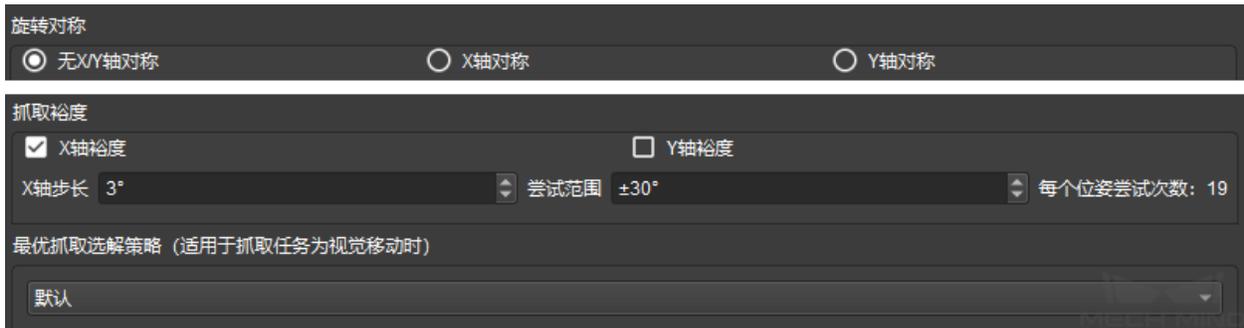
工具中心点由拖拽器（机器人模型末端的坐标球）中心点表示，如下图所示。



在工程中工具中心点应位于末端工具的末端，调整完成后，拖拽器中心点位置如下图所示。



工件配置

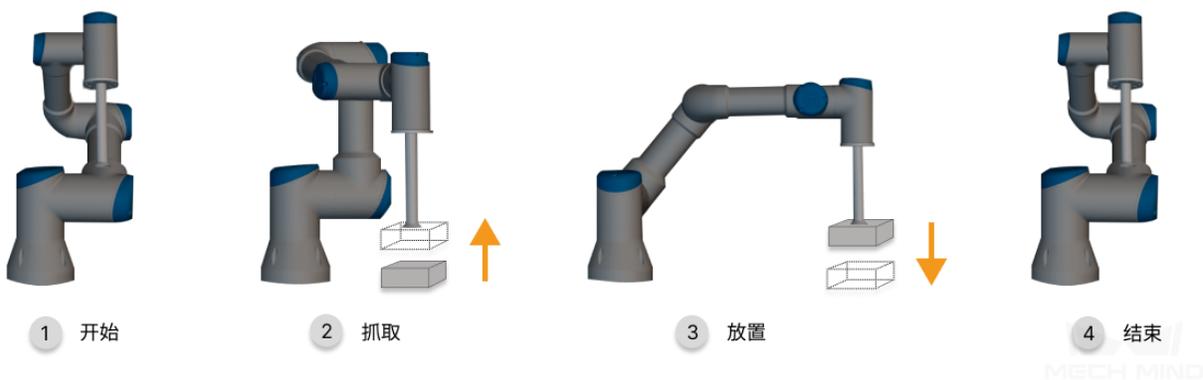


- 旋转对称：由于曲轴工件没有对称性，所以选择 **无 X/Y 轴对称**。
- 抓取裕度：由于曲轴工件的表面为曲面，所以需设置一定的抓取裕度：选择 **X 轴裕度**，X 轴步长为 **3°**，尝试范围为 **±30°**。
- 最优抓取选解策略：对于曲轴抓取，选择 **默认或全局转动最小** 即可，可以避免机器人在抓取曲轴后无意义地转动，避免曲轴掉落。

场景配置

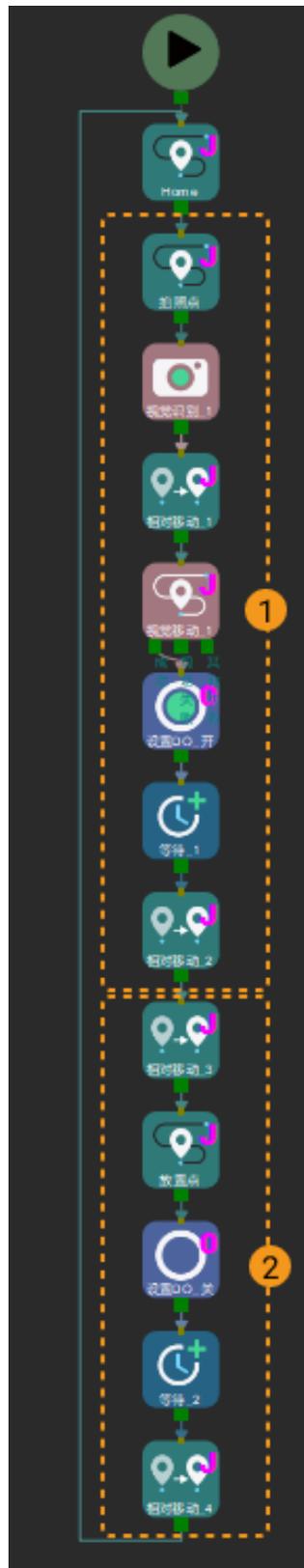
如需添加场景来辅助规划机器人运动路径，可参考 **地板** 和 **场景物体还原真实现场场景**。

工作流程配置



此部分内容是 Mech-Viz 工程的核心，通过将任务库中的任务拖拽到工程编辑区，设置任务的各项参数，并将任务连线，来实现预设的程序功能。

完整的工作流程如下图所示：



定义“Home 点”

Home 点是机器人运动的起始点，同时 Home 点是一个安全位置，机器人在这一点时应远离待抓取物体及周边设备，且不遮挡相机视野。

移动可用来设定机器人运动路径中的一个目标位姿和运动到该位姿的方式，故使用 移动来设置 Home 点。

1. 单击工具栏的 同步机器人，机器人模型将同步真实机器人状态。
2. 使用示教器移动真实机器人到用户自定义的 Home 点，并确认机器人模型也移动到对应位置。
3. 在步骤库中找到 基本运动 ▶ 移动，将其拖拽到工程编辑区。此移动任务将记录机器人当前位姿。
4. 将此步骤的名称重命名为 Home。



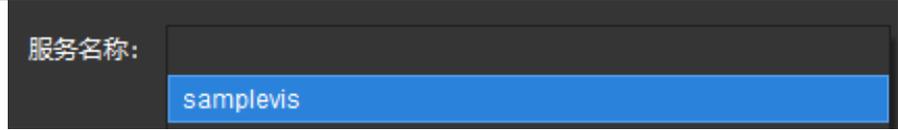
添加“拍照点”

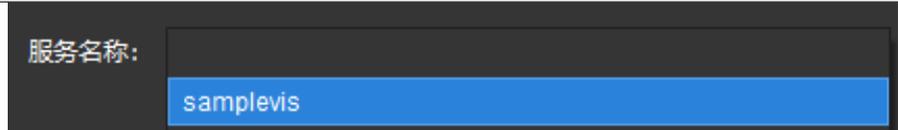
“Home 点 - 抓取点”之间增加 拍照点。

1. 使用示教器移动机器人到达用户自定义的拍照点后，添加一个 移动任务来记录机器人此时所处的位姿。
2. 注意机器人所处的位置不能遮挡相机视野，使用 Mech-Eye Viewer 采集图片，来验证有无遮挡视野。
3. 更改名称为“拍照点”。
4. 将“拍照点”的入口与“Home 点”连接，出口与“视觉识别_1”连接。

定义“抓取点”

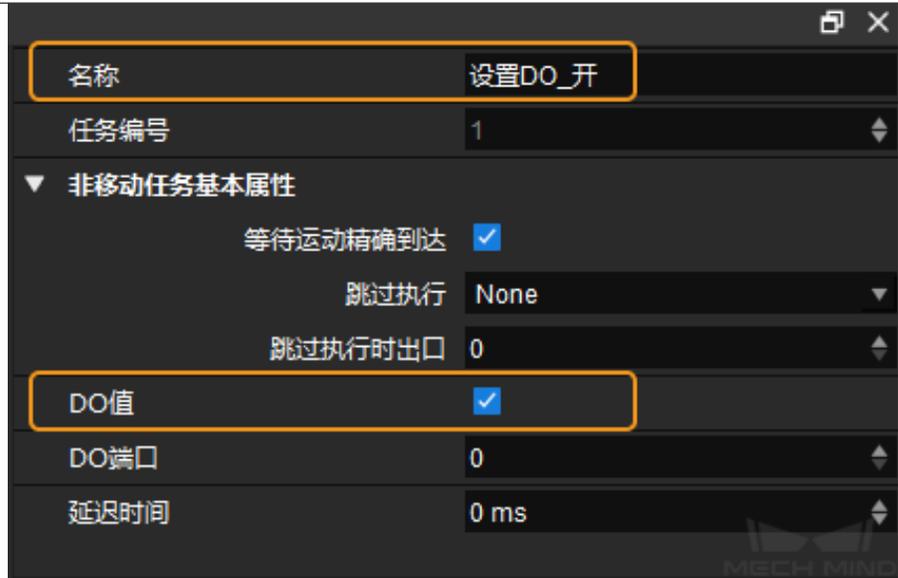
“抓取点”应为被抓物体的位姿，故使用 视觉识别与 视觉移动任务。

任务	视觉识别
说明	启动 Mech-Vision 工程，获取视觉识别结果。
操作	在任务库中找到 视觉 ▸ 视觉识别，将其拖拽到工程编辑区，将“Home 点”的出口连接到“视觉识别”的入口。
参数设置	在 服务名称 下拉栏中选择之前创建的 Mech-Vision 工程。
图示	

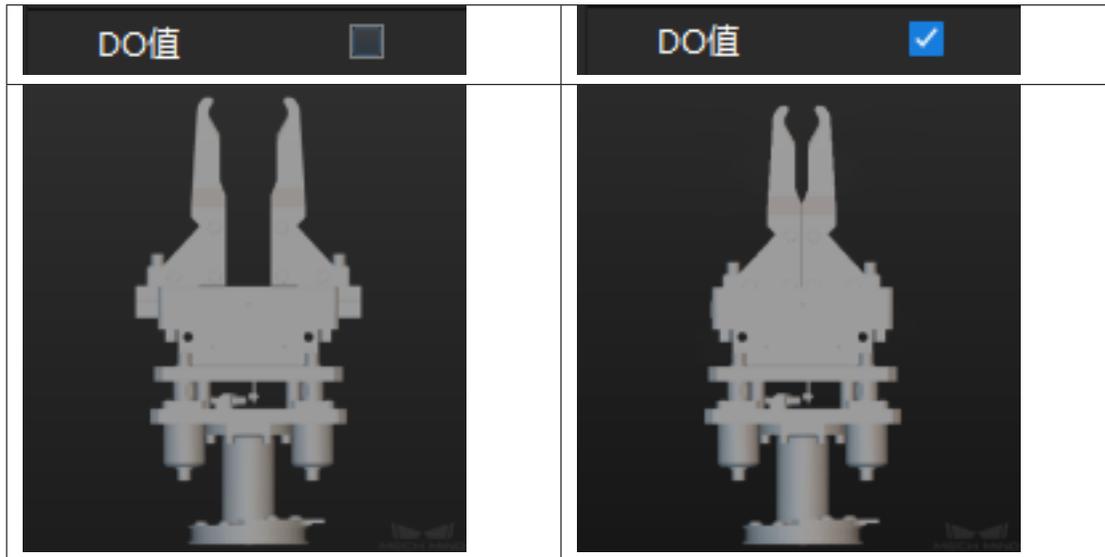
任务	视觉移动
说明	根据视觉识别结果移动。
操作	在任务库中找到 视觉 ▸ 视觉移动，将其拖拽到工程编辑区，将“视觉识别”的出口连接到“视觉移动”的入口。
参数设置	在 服务名称 下拉栏中选择之前创建的 Mech-Vision 工程。
图示	

机器人到达抓取点后，需要开夹具来抓取物体。

使用 设置 DO 来控制夹具。

任务	设置 DO
说明	用来指定机器人端口信号，控制机器人末端工具的开与闭。
操作	在任务库中找到 <i>DI/DO</i> ▸ 设置 DO，将其拖拽到工程编辑区，将“视觉移动”的出口连接到“设置 DO”的入口。
参数设置	名称改为“设置 DO_开”并勾选 DO 值（勾选后，软件运行时发出控制信号，使夹具“开”）。
图示	

DO 值与实际末端工具的开与闭对应关系如下表。



定义“抓取等待”

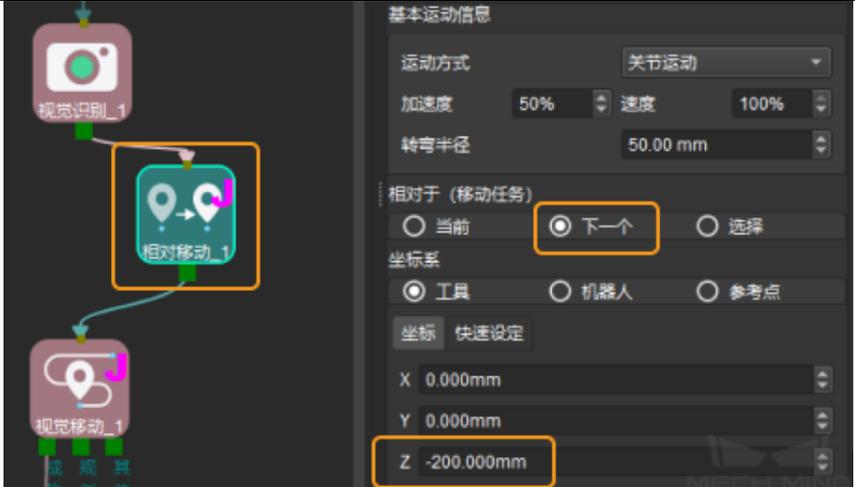
在夹具抓取物体后，等待一段时间，使夹具能够牢固抓取物体。

任务	等待
目的	借助 等待 任务，使机器人运行到此任务时，等待指定时间，单位：毫秒（ms）。
操作	在任务库中找到 工具 ▶ 等待 ，将其拖拽到工程编辑区。参数使用默认值即可。
连线	将“等待_1”的入口与“设置 DO_开”连接，出口与“相对移动_2”连接。

定义“抓取相对移动点”

合理的抓取动作应为：吸盘垂直向下移动到抓取点，吸取物体后垂直向上移动。使用 **相对移动** 来达到这一目的。

1. 假设吸盘由距离抓取点 Z 向的 200mm 处，垂直向下移动。

任务	相对移动
操作	在任务库中找到：基本运动 ▶ 相对移动，将其拖拽到工程编辑区（相对移动_1）。
连线	“相对移动_1”的入口与“视觉识别_1”连接，出口与“视觉移动_1”连接。
参数设置	相对于（移动任务）勾选 下一个；坐标系 Z 值设值为 -200。
图示	

2. 吸盘吸取物体后，垂直向上移动 200mm。

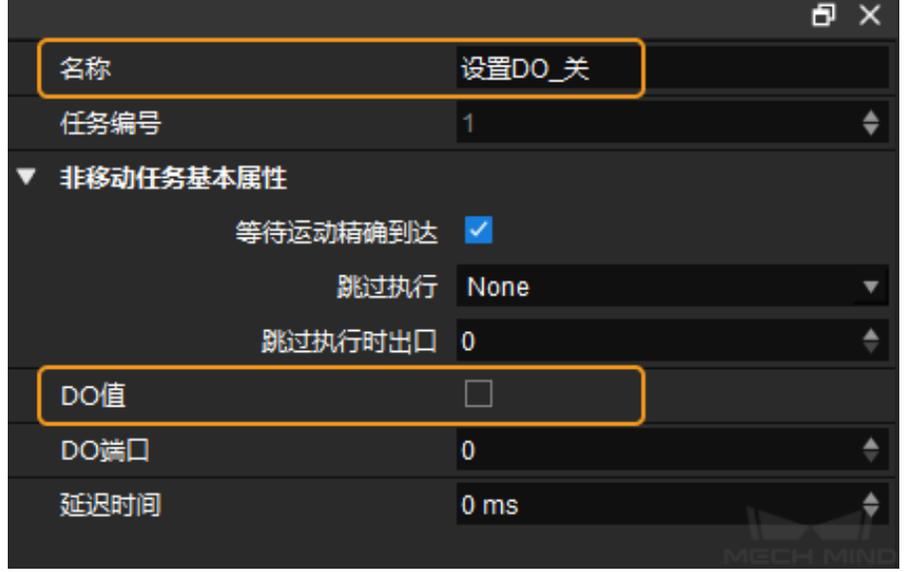
任务	相对移动
操作	在任务库中找到：基本运动 ▶ 相对移动，将其拖拽到工程编辑区（相对移动_2）。
连线	“相对移动_2”的入口与“设置 DO_开”连接。
参数设置	相对于（移动任务）勾选 当前；坐标系 Z 值设值为 -200。
图示	

定义“放置点”

机器人抓取物体后，运动到用户自定义的放置点后释放物体。

1. 使用示教器移动真实机器人到用户自定义的放置点，同步机器人后，拖拽一个 **移动**任务到工程编辑区，使其记录当前位姿。修改任务名称为“放置点”。
2. 然后将“设置 DO_开”的出口连接到“放置点”的入口。

机器人移动到放置点后，关吸盘来释放物体。使用 **设置 DO** 来控制吸盘。

任务	设置 DO
说明	用来指定机器人端口信号，控制机器人末端工具的开与闭。
操作	在任务库中找到 <i>DI/DO</i> ▶ 设置 <i>DO</i> ，将其拖拽到工程编辑区，将“放置点”的出口连接到“设置 DO”的入口。
参数设置	名称改为“设置 DO_关”并取消勾选 DO 值（取消勾选后，软件运行时发出控制信号，使吸盘“关”）。
图示	

定义“放置等待”

夹具释放物体后，等待一段时间，使夹具能够完全释放物体。

参考上述操作，将“等待_2”的入口与“设置 DO_关”连接，出口与“相对移动_4”连接。

定义“放置相对移动点”

参考“抓取相对移动点”设置，在“放置点”前后各增加 1 个相对移动任务。

1. 吸盘由距离放置点 Z 正方向的 200mm 处，垂直向下移动。

操作	在任务库中找到：基本运动 ▶ 相对移动，将其拖拽到工程编辑区（相对移动_3）。
连线	“相对移动_3”的入口与“相对移动_2”连接，出口与“放置点”连接。
参数设置	相对于（移动任务）勾选 <input type="checkbox"/> 下一个，坐标系 Z 值设置为 -200。

2. 吸盘释放物体后，垂直向上移动 200mm。

操作	在任务库中找到：基本运动 ▶ 相对移动，将其拖拽到工程编辑区（相对移动_4）。
连线	“相对移动_4”的入口与“设置 DO_关”的出口连接，出口与“Home 点”连接。
参数设置	相对于（移动任务）勾选 <input checked="" type="checkbox"/> 当前，坐标系 Z 值设置为 -200。

返回“Home 点”

释放物体后，机器人需返回 Home 点。

可以通过增加循环的方式，使机器人回到“Home 点”，并循环执行任务。



提示：在工程编辑区，右击弹出菜单，单击 **自动排布**可自动调整排布方式。

仿真

单击 **仿真开始**对机器人的运动路径进行仿真。

碰撞检测配置

为了防止机器人与料筐或其他障碍物发生碰撞，保证程序不间断地运行，用户需要完成碰撞检测配置，可参考 **碰撞检测**。

仿真运行

完成以上操作后，即可单击 **仿真开始**仿真运行 Mech-Viz 工程。

注意：运行 Mech-Viz 工程前，需打开 Mech-Center，用于 Mech-Vision 与 Mech-Viz 之间的通信，使 Mech-Viz 获取到 Mech-Vision 采集的场景点云。

搭建 Mech-Vision 工程

本案例的实现需要 Mech-Vision 工程与 Mech-Viz 工程配合。首先需要搭建 Mech-Vision 工程，完成图像采集、图像处理以及输出抓取点等一些处理任务。由于工件边缘特征明显，因此 Mech-Vision 工程使用点云模板即可实现较高的识别准确率。

详细信息请参考搭建 [Mech-Vision 工程](#)。

搭建 Mech-Viz 工程

根据 Mech-Vision 工程发送的场景点云，在 Mech-Viz 软件中搭建工作流程，进行路径规划和碰撞检测，引导机器人完成曲轴抓取。Mech-Viz 工程应确保机器人按照规划的路径抓取物体时与场景物体、相机和料筐无碰撞。

详细信息请参考搭建 [Mech-Viz 工程](#)。

注解：相机视野内的所有点云被称之为场景点云。

2.1.3 注意事项

暂无。

本章对系统搭建过程中，硬件选型、设计、软硬件优化作出一些建议。

3.1 相机选型

3.1.1 相机选型原则

1. 看得见：物体点云成像清楚，没有空洞和噪点，可完整体现识别特征。
2. 看得全：视野足够，可覆盖被观察区域。
3. 看得准：点云精度高，误差小。

3.1.2 相机选型说明

确定黑色/彩色

如果有彩色图需要，比如纸箱拆垛项目使用深度学习等，则选用彩色相机；否则默认选择黑白相机。

确定使用距离

小景深应用：使用距离比较固定。比如平板涂胶、平板抓取、较浅的料盒抓取等。方案设计或者实测距离为 D ，则根据 D 值找到最接近的可选型号。如果 D 值跟可选型号差别较大，或者项目有极高的对焦需求，可以单独提出需求讨论。

大景深应用：使用距离存在较大的范围。比如拆垛、深筐抓取等。方案设计或者实测距离为 $D_1 \sim D_2$ ($D_1 < D_2$)，则根据 D_2 值找到最接近的可选型号。如果 D_2 值跟可选型号差别较大，或者项目有极高的对焦需求，可以单独提出需求讨论。

关于相机型号及相机参数的详细内容请参阅：[相机参数](#)

3.2 光照控制

对于光栅相机的 3D 点云成像以及深度学习，光照环境会影响视觉识别效果和稳定性。

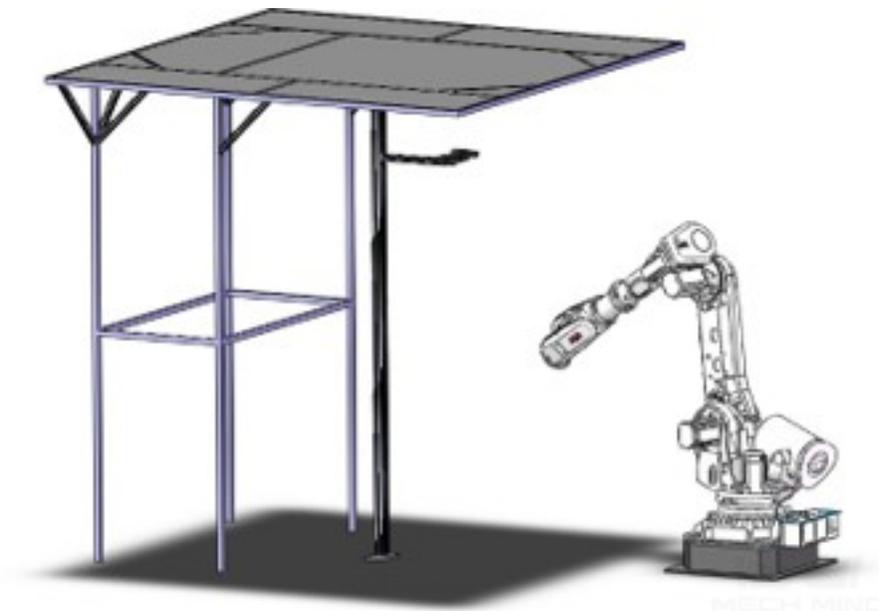
对于 3D 点云成像来说，光照均匀且物体表面亮度较低的情况下能有较好的点云质量。实际使用环境中，金属件最大亮度建议不超过 600lux，箱子和麻袋表面亮度建议不超过 800lux，其他场景应保持在 500lux 以下以保证较理想的点云质量。在暗室中增加均匀的面光源是最理想且稳定的亮度控制方法，在该环境下的工件表面亮度稳定，且不会出现明暗变化。对于非暗室环境，建议合理使用遮光补光方案，以提升 3D 点云成像质量。

对于深度学习来说，稳定的光照环境，工件表面清晰可见且亮度稳定是最理想的。在实际环境中，环境光随着时间的变化而变化，可能对深度学习的识别结果造成影响。合理使用遮光补光方案能够有效控制环境光变化，稳定深度学习识别结果。

小技巧：光源一般选用色温 6000k 的白色普通 LED 光源。

在实际工厂环境中，应检查并保证以下几点：

1. **白平衡：**2D 图呈现的颜色与肉眼观察相近，否则需要对相机进行白平衡调整；
2. **光强：**现场无阳光直射，无其他强红外光来源；
3. **反光：**现场采光均匀柔和，避免强光或者复杂光线直射到工件表面；
4. **稳定：**现场采光要稳定，避免白天和晚上光强差异大。
5. 如不能满足以上几点，需要考虑设计遮光和补光。以下是遮光方案：



3.3 夹具设计

在设计机器人夹具（末端执行器）时，应尽量满足以下需求：

1. 夹具结构要能适应所有产品。尤其涉及分拣类，SKU 数量较大的引用。需要考虑夹具的对称性和偏置。
2. 夹具要具备足够的吸力、抓力，能够满足所有产品的稳定抓取；
3. 吸盘夹具可根据产品特性配置真空度检测传感器，如纸箱类产品，可判断纸箱是否被抓起。夹具上建议增加接触缓冲结构，对机器人和产品具有良好的防护作用。
4. 管线布局在机器人运动中需避免绞死扯断。
5. 在机器人工作位置容易出现奇异点时，应尽量设计含有偏置的夹具，以提升机器人对奇异点到容忍度，同时也应尽量选择 45°，30° 等常见角度。
6. 夹具设计需考虑机器人的作业空间，在满足机器人作业条件下，夹具长度应避免过长或过短。
7. 在夹具设计需保留夹具 3D 模型，为后续调试提供方便。

小技巧：夹具 3D 模型有助于 Mech-Viz 软件对碰撞进行准确的判断。

3.4 电源控制

在梅卡曼德视觉系统中，主要的用电设备有：机器人、Mech-Eye 3D 相机、视觉系统工控机、补光光源、气源、夹具及各类传感器、信号灯等。其对应的供电需求如下：

- **机器人：**大部分机器人电器适应能力强，可以在 200 - 600V 甚至更大的电压范围内工作。少部分机器人只能在 220V 左右的电压下工作。
- **相机：**Mech-Eye 3D 相机持续工作时，功耗约为 120W，电压 220V。必须使用梅卡曼德统一制作的相机线材连接以保证供电稳定性和一定的抗干扰能力。在工厂供电系统不稳定的情况下，需要使用稳压器保证电压稳定。
- **工控机：**视觉系统工控机功耗约为 180W，电压 220V。
- **光源：**光源驱动器功耗约为 60W，电压 220V，由一根三芯电源线供电，为亮度可调 6000k 白光光源。
- **气源：**空气压缩机功耗普遍较大，一般功耗约 1000W，电压 220V。
- **布线：**所有线材需分类做好线标，需统一规范整理在线槽内，避免线材外露，防止和外围 AGV、叉车等干涉。

为了防止供电系统冲击电压等问题，需用稳压器为相机和工控机提供供电保护。若现场环境停电较为频繁，为防止意外，建议增加 UPS 电源来保护整个系统的正常运行。若机器人端需要连接传感器，因为大部分机器人 I/O 端口提供的 12V 供电带负载的能力较弱，不适合直接驱动传感器等小型用电设备，建议配置专门的 12V/5V 直流电源进行供电。

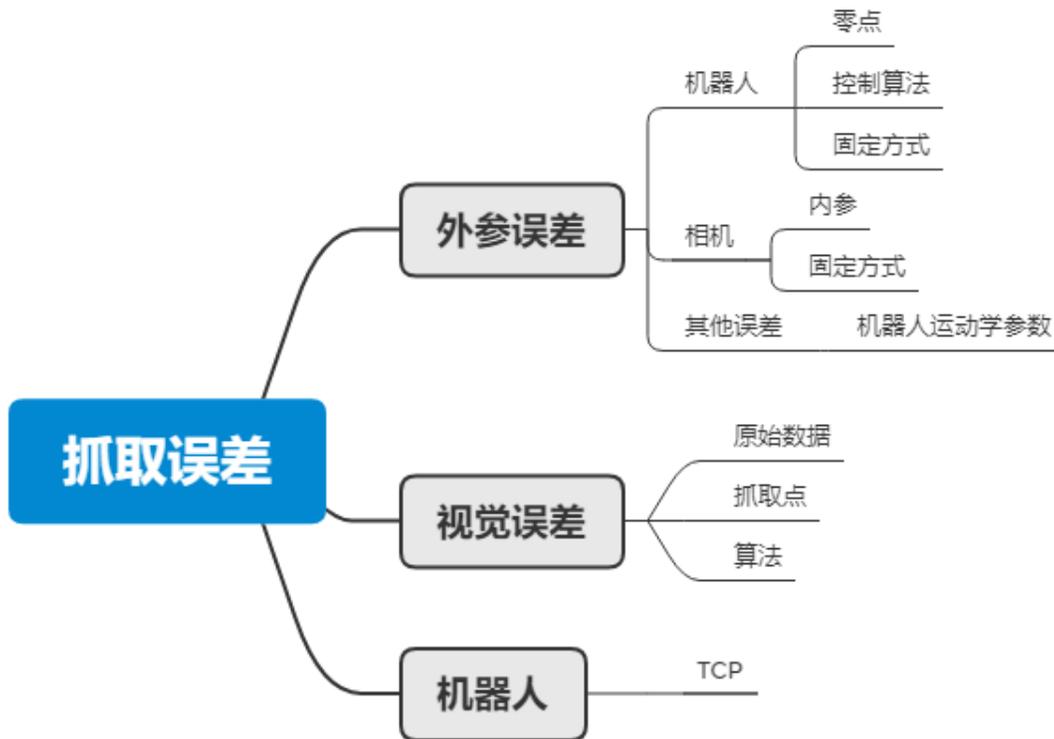
3.5 机器人选型

机器人选型时，应优先考虑以下几点是否能够满足要求：

1. 是否能够到达所有工作需要的位置，为了避免奇异点问题，X、Y、Z方向是否均有足够的余量；
2. 是否能够满足最大载荷工作要求；
3. 地面承重需满足机器人运行极限负载；
4. 在机器人作业、视觉标定时是否与线体、托盘、相机支架、天花板、照明灯等发生干涉；
5. 确认光源高度较低、相机支架距离托盘过近、线体距离机器人底座过近、线体与线体之间距离过近的情况；
6. 夹具偏置时需考量机器人的作业空间会产生变化；
7. Eye in Hand 情况下，相机拍满垛（拆码垛）时最高拍照点是否可达；
8. 机器人底座高度是否和实际应用匹配；
9. 整体布局需在三维仿真软件里进行仿真，确保机器人和其他硬件在整个作业过程中无干涉。

3.6 误差控制

在项目实施过程中，最常遇到的问题之一为抓取误差。抓取误差即控制机器人在对工件进行抓取的过程中，发现机器人并没有达到理想位置，而是有一定的误差。误差产生的原因往往是多样的，以下将从外参、视觉、机器人等三个方面分别对误差进行分析。具体结构如下图所示。



3.6.1 外参误差

机器人

零点

零点： 机器人通过闭环伺服系统来控制机器人马达各个轴运动，通过控制器的指令来控制每一个马达。马达上装有的脉冲编码器能够将马达的信号反馈给机器人，在机器人运动的过程中，控制器不断接收和分析编码器返回的信号，从而实现在整个运动过程中对机器人的正确控制。控制器必须知道每一个轴的零点位置才能够准确的分析编码器返回的信息，这样才能够在每次使用过程中机器人的位置保持不变。在机器人正常使用过程中，零点位置和机器人的关节位置会被保存下来，并在控制器正常断电的情况下使用内部电池进行供电保持。每次机器人正常关闭该数据会被保存下来，每次上电机器人会直接读取备份中的数据进行识别以保证和断电时状态一致。机器人在经过撞击、电池掉电或长时间未使用等情况下，零点可能会偏移或者丢失。

若机器人在零点丢失的情况下进行工作，往往会出现：

机器人各关节轴工作超过软限位（这是十分危险的）；

机器人无法到达指定位置，因为零点定位不同导致相同关节角情况下机器人末端位置不同；

机器人不能够沿着指定方向走指定长度（如无法准确走 1 米）。

在使用 Mech-Vision 软件对外参进行标定的时候，软件会根据标定参数计算出多个机器人需要到达的点位，在机器人零点丢失的情况下往往无法准确地到达点位，最后导致外参计算的结果出现误差。

小技巧: 机器人零点是否丢失的检测办法很多，这里给出两种最常用的检测办法:

- 通过示教器将机器人所有轴角度调至 0° ，再观察机器人各个轴上的铭牌是否对齐，若没有对齐则机器人零点丢失；
- 控制机器人沿着指定方向移动一段距离，观察机器人走动距离和理论距离是否一致。

通过以上办法对机器人的零点进行确定，然后可以根据不同机器人零点标定的方式对机器人进行零点校准。

控制算法

一些新研发出来的机器人，在控制算法层面有小概率存在问题，即机器人并不能够移动到指定位置，存在偏差。在机器人无法准确移动到准确位置的情况下，机器人将来无法执行外参标定的任务。

固定方式

机器人的固定方式直接决定了机器人是否能够在长期使用过程中保持稳定，较弱的固定方式，如使用膨胀螺栓或不固定而是使用大底座的方式，都不能够保证机器人在长期使用过程中保持稳定或者保持机器人高速运行。若机器人移动，则实际中机器人与相机之间的位置关系被破坏，机器人会出现抓不准的情况。这类情况不是常见的情况，一旦发生则很难发现，故需要在机器人安装固定时就确认好机器人的固定方式。

小技巧:

- 若需要长期使用，最好能够使用化学螺栓进行固定，并在化学螺栓固定牢固以后再进行机器人操作，否则也会导致螺栓松动；
 - 若是短期使用，如展会，则可以将机器人固定在相对稳定的表面，但是不能将机器人速度调至特别高，否则也会导致机器人松动。
-

相机

内参

由于相机内参导致的外参问题主要出现在相机视野边缘或超过相机工作距离的情况，相机在出场时会根据使用的硬件情况确定相机的合理工作距离。当相机处于超过工作距离或边缘的情况下进行工作时，由于相机没有在该位置进行准确标定，导致生成的点云存在偏差，最后也会导致最后计算的外参出现偏差。

小技巧: 建议在使用相机时，需要确定相机工作距离，并检查该处相机内参是否异常，最后在相机工作距离上进行标定。

固定方式

相机由于固定方式导致外参变化的原因与机器人固定方式同理，固定方式的稳定性直接决定了该工位是否能够长期使用并保持外参稳定，相机安装方式的具体内容请参考[相机安装](#) 章节。

小技巧：较大的振动或对相机支架的剧烈碰撞也可能导致相机支架固定松动，在固定的时候需特别注意并防止相机支架受到碰撞和倚靠。

其他误差

机器人在最初适配的过程中，为了获取机器人的运动学关系，需要在各大机器人网站或说明书中找到对应机器人的运动学参数（下称 D-H 参数），获得机器人运动学参数就能过建立机器人各个关节轴之间的关系。在实际过程中，软件中的 D-H 参数可能出现与实际机器人的 D-H 参数不一致的情况，可能的原因有两种：

- 这可能是机器人子型号较多导致区分错误或者获取到的 D-H 参数与实际的机器人有一定的误差；
- 说明书中和实际机器人之间存在差别。

若 D-H 参数不一致，在使用过程中，软件中机器人末端位置可能与示教器中不同，从而导致在计算过程中外参发生偏差。

小技巧：D-H 参数是否一致的检查办法，可以在连接机器人后，直接观察 Mech-Viz 软件中在关节角一致的情况下，机器人 6 轴末端姿态是否与机器人端一致，若不一致则有可能是 D-H 参数异常导致的。

3.6.2 视觉误差

原始数据

原始数据：原始是指输入 Mech-Vision 软件中进行处理时的原始数据，数据内容主要包括 RGB 图像和深度图像。

当工作现场出现光照变化（如白天到晚上）的时候，相机上的配置参数没有及时更新可能会导致：

- 采集到的点云噪点过多或者细节不明显使得后续匹配算法无法继续进行或识别错误；
- 采集到的 RGB 图像质量变化，过暗的环境采集的图像亮度不够，导致深度学习没有结果或者识别结果较差。

小技巧：当出现以上情况都需要对 Mech-Eye Viewer 软件内的相机参数进行更新，分别调整 2D 和 3D 曝光，使得 RGB 图像和深度图像都有较好的结果。或在项目部署时使用合理的光照控制。

抓取点

抓取点误差是抓取误差中常见的误差之一，Mech-Vision 软件中存在两种抓取点设置方式，一种为拖拽抓取点，另一种为示教抓取点。示教抓取点在保证机器人准确的情况下误差很小，因此在这里不考虑这种情况，对拖拽抓取点的情况进行分析。

抓取点的拖拽需要在 Mech-Vision 软件中进行，在模板的基础上调整抓取点的位置。拖拽抓取点是一种不够精确的方式，并不能够准确地给出机器人需要到达的位置，因此在实际抓取过程中可能不能到达理想位置。若需要更加精确的抓取点需要使用示教法来做抓取点。

小技巧: 抓取点若存在误差，可以直接通过 Mech-Viz 软件中点云上的坐标看出是否每一个工件的抓取点都在理想位置上。

算法

由于 Mech-Vision 软件输出结果导致的偏差，这里统一称为算法误差。视觉算法的部署往往是根据现场采集的原图来设置的，若出现光照和工作环境变化，都有可能导致原来的参数不适用，可以在 Mech-Vision 软件中看出，并按照软件使用手册的指导进行调整。同时，一些特殊工件的识别可能导致偶发性误差，即在长时间的使用过程中没有问题，偶尔出现由于环境变化导致的识别错误，尤其是轴对称的物体，容易出现局部最优解的情况，导致识别错误。

注意: 在一些现场可能出现由于模板错误导致的误差，即通过 STL 文件获取的模板与实际需要抓取的物体有误差，这样会导致进行模板匹配时无法获取最优的结果。产生这样情况的可能原因为

- STL 文件为工件成品的文件，但是需要进行抓取的文件为毛坯材料，在生产过程中留有加工余量以保证后续工序进行，导致真正需要识别的工件比模板文件大一些。

此时通过适当调整模板的缩放比例即可。

3.6.3 机器人误差

TCP

机器人 TCP 误差表现为机器人实际工具中心和理论工具中心不一致。大多数的原因表现为机器人 TCP 标定的时候不够准确，出现了如尖点移动，机器人姿态变化不够大，没有与尖点重合等，都是可能导致机器人 TCP 不准确的原因。在软件使用过程中，需要在 Mech-Viz 软件中建立工具并且输入准确的 TCP 值。

小技巧: 在 TCP 的确定过程中，较好的办法为使用机器人对 TCP 进行标定，并把标定后的值输入 Mech-Viz 软件中，并在机器人端留有备份。

小技巧: 若是在对精度要求不高的项目中，可直接在软件中调整 TCP 的值，提高抓取准确度。

3.7 节拍及路径优化

生产节拍： 生产节拍是指完成一个工件规定的处理作业内容所要求的时间，即用户规定的年产量对机器人工作站工作效率的要求。

目前大多数项目对于节拍有要求，一些项目对于节拍有极高的要求（4秒或5秒以内）。对于生产节拍要求较高的项目，待工作站能完成整个作业流程后，Mech-Mind 软件系统通过视觉算法优化、机器人路径优化，节拍会有较大的提升。节拍主要包括相机拍照时间，Mech-Vision 处理时间以及 Mech-Viz 规划到机器人处理完成的时间，因此对于整个节拍和路径优化主要分为以上三个部分，如图 1 所示。

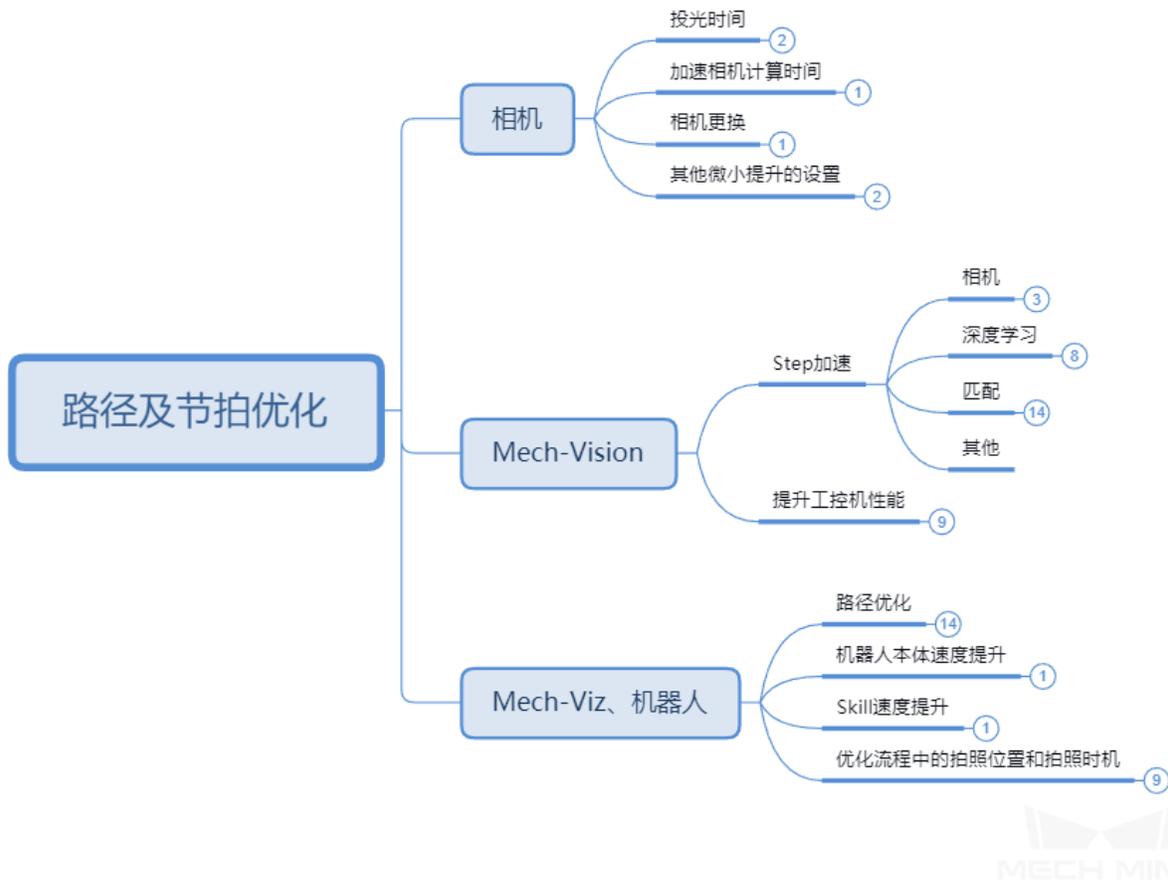


图 1 路径及节拍优化整体思路

3.7.1 Mech-Eye Viewer

投影时间

2D/3D 曝光参数

使用 Mech-Eye Viewer 软件时，在一些使用场景：如识别结构复杂的金属件，细节较多的物体等，可通过切换 2D 曝光模式并使用两到三组不同的 3D 曝光时间进行投影拍照，以获取更多的信息。同时需要注意的是，在更多的场景中，如纸箱，平整工件等，可以减少曝光次数以节省时间。如下图所示。

2D/3D 曝光参数的调整详见 Mech-Eye Viewer - 参数调节

更新

使用最新版本的 Mech-Eye Viewer 软件并同时更新相机固件版本，能够提高深度图和点云图的生成速度，对相机的拍照速度有一定提升。

相机更换

梅卡曼德的相机产品中，如 Deep 系列的相机，由于视野范围大，需要使用两个光机分别投影，再将获得的点云进行合成。因此在正常情况下投影时间会比 Pro M 和 Pro S 系列相机高一倍。在确定好现场的工作范围以后，使用合适的相机能够对拍照速度有提升。

深度 ROI

深度图 ROI 即在相机视野上划分区域，减少相机需要处理的数据量。深度图 ROI 可以分别设置在 XY 方向上的 ROI 和深度上的限制，以在整体上减少点云数量。

XY 方向的 ROI 设置如图 2，进入后通过画框的形式确定 ROI 范围。



图 2 设置深度 ROI (XY)

Z 方向上的限制需要在相机参数中设置，分别设置最小最大深度，能够有效减少点云数量。图中数字单位为毫米。

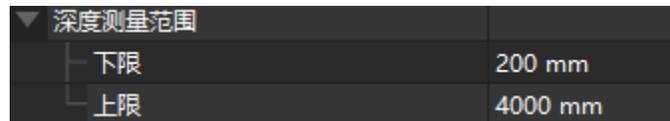


图 3 设置深度 ROI (Z)

3.7.2 Mech-Vision

Step 加速

从相机获取图像

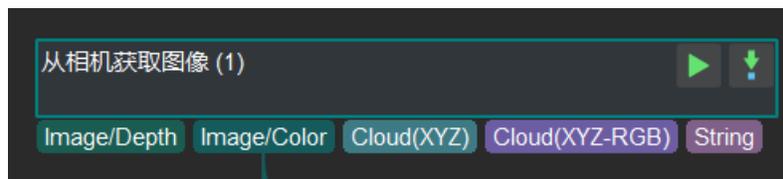


图 4 从相机获取图像

capture_images_from_camera 的 Step 是 Mech-Vision 工程中最重要 Step，同时也是在大多数工程中占用了约 40% 的时间。capture_images_from_camera 的耗时主要可以通过上文中的方法解决。同时，也可以把 capture_images_from_camera 的功能进行拆分，由于相机是采集 RGB 图像和深度图像，并进行合成生成点云图像。在一些项目中可能同时需要点云和 RGB 图像进行分别处理，如需要使用深度学习的工程，则可以分别进行处理。如图 5 所示，由于工程是并行计算，因此可以节省更多时间。

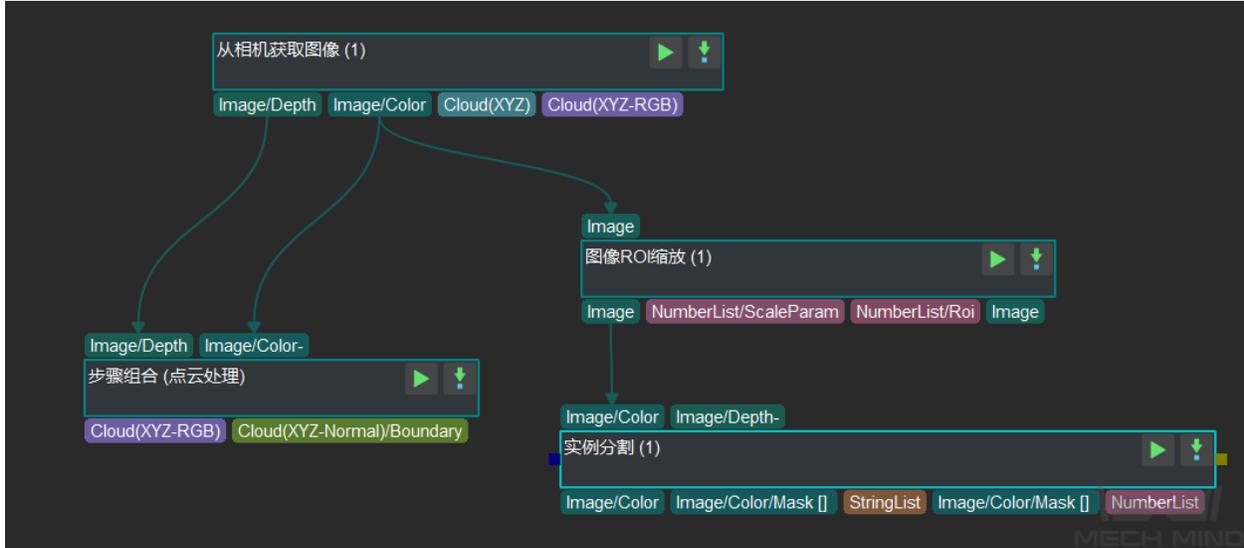


图 5 深度学习与点云处理并行计算

点云处理

在实际项目中，直接从相机获得的点云往往不可以直接使用，还需进行更多具体处理，如点云聚类，合并数据等等。该过程也可通过优化细节来提升节拍。下面列举若干有关点云处理，会显著影响节拍的 step 以及节拍优化的方法。

提取 ROI 内点云

通常对于场景点云来说，只有一部分包含目标工件的区域是我们关心的。此时需要截取 ROI 来专注于某一个区域，过滤掉绝大部分非工作区点云来大幅提升节拍。

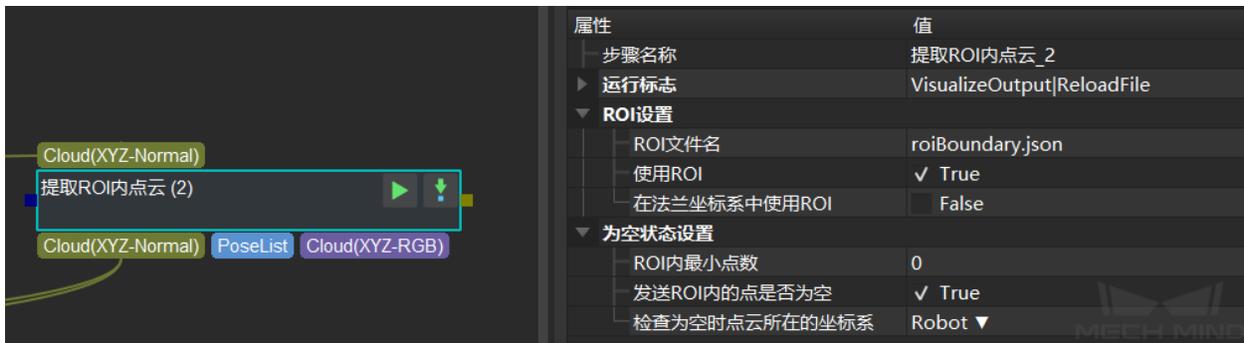


图 6 提取 ROI 内点云

点云降采样

该 step 用来对点云进行采样减小原始点云大小。对于大部分对点云密度没有很高要求的项目而言（如仅需进行边缘匹配，获取最高层掩膜等），加入此步骤可以很大程度上提升节拍。【采样间隔】可以控制采样倍率，根据节拍要求进行设置。

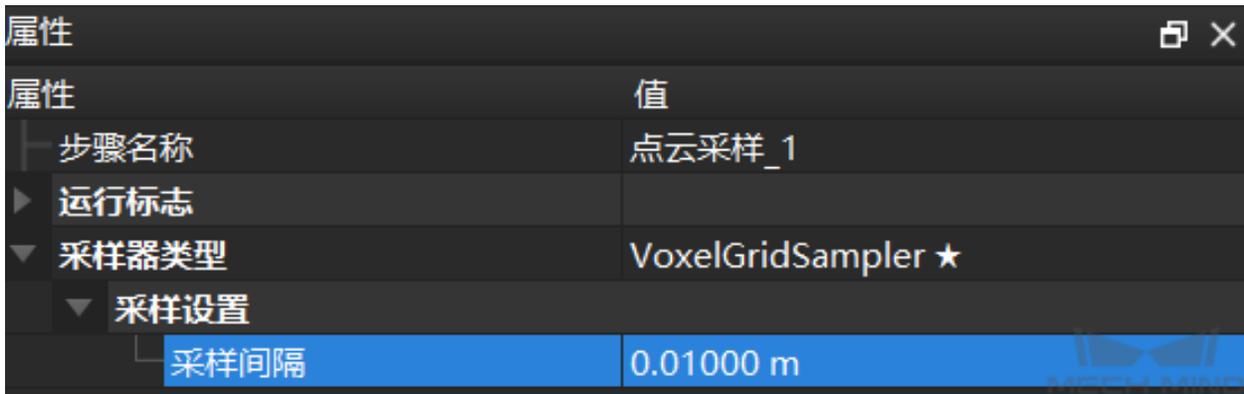


图 7 点云降采样

计算点云的法向量并滤波

在将深度图转换为点云之后，需要计算点云的法向量并滤波。对于有合适的配套显卡（GPU）主控机，设置GPU加速的法向计算方法能显著提升节拍。



图 8 计算点云的法向量并滤波

点过滤

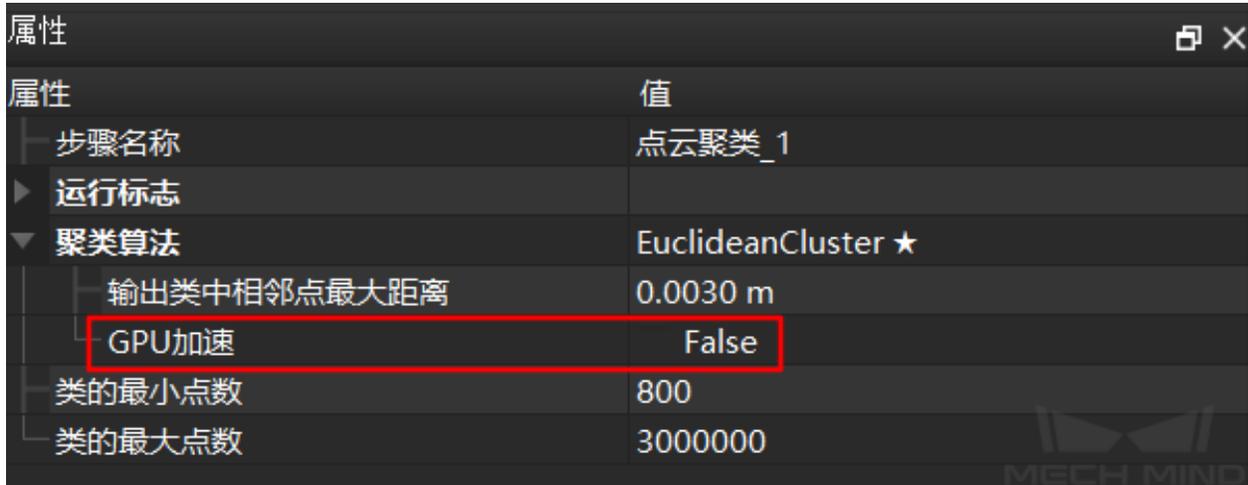
该 step 通过设置的规则过滤点云中的点，消除噪声。为了提升节拍，可以修改用于平均距离估计的【最近邻近点数】，进行实验测试，在保证精度的基础上，可以将该参数适度调小。



图 9 点过滤

点云聚类

在该 step 中包含【GPU 加速】选项，在点云数目较多时勾选此选项节拍会有一定提升，否则没有明显效果。值得注意的是，显存不足时（如 viz/深度学习占用过多）可能会出现不减反增的现象，要根据实际情况设置参数。



属性	值
步骤名称	点云聚类_1
运行标志	
聚类算法	EuclideanCluster ★
输出类中相邻点最大距离	0.0030 m
GPU加速	False
类的最小点数	800
类的最大点数	3000000

图 10 点云聚类

3D 匹配

3d_matching 由 3D 粗匹配，3D 精匹配组成，根据模板数量还可分为单模板与多模板。其中粗匹配为了计算模板点云在空间点云中的大概位置，3D 精匹配为了匹配模板与空间点云。此步骤需要计算空间中每一个点的相对位置，因此点越多则花费更多的时间，精匹配的迭代次数越多也会也会花费更多时间。因此在这两个 Step 进行调整的时候，主要朝着减少处理点云数量（数据和模板）和减少迭代次数（精匹配）的方向进行。

小技巧:

- 对于粗匹配，若选择【SurfaceMatching】，其中调整【采样设置】来调整点云密度，以减少计算时间。在降采样的点云密度不能再低，但仍需提升节拍的情况下，考虑增大【参考/被参考点采样步长】。
- 通过前期的一些点云预处理工作，如聚类，ROI，点云滤波等操作前期去除大量无用点云。
- 在多工件进行匹配时候，也可以适当减少同时匹配的工件数量，如每次只匹配 3 个工件，提高匹配速度。
- 根据实际工件的特点，对模板文件进行简化，如大工件采用边缘模板进行匹配，或对模板进行降采样，将点云数量降低至较小的范围。
- 点方向的计算方法:对于无法向模板,使用【StandardMode】;对于边缘平面物体模板,使用【EdgeTangent】,同时保证被识别物体已被较好地分割开。

属性	值
步骤名称	3D粗匹配 (多模板) _11
运行标志	ReloadFile
模板以及抓取点设置	
模板文件 (必填)	
几何中心文件 (必填)	
点云中点方向的计算	
点方向的计算方法	EdgeTangent ▼
选取的临近点个数	20
算法类型	SurfaceMatching ★
采样设置	
自动降采样	✓ True
采样后模型的期望点数	1000
模板采样最大点数	4000
场景采样最大点数	30000
模板点云采样间隔	0.0100 m
最小采样间隔	0.0030 m
投票设置	
距离量化	1.0000
角度量化	60
最大投票比例	0.8000
参考点采样步长	5
被参考点采样	1
聚类设置	
聚类比率	0.1000
角度差异阈值	15 °
距离差异阈值	0.0200 m
输出前N个高分的聚类结果	5
位姿验证设置	
使用位姿验证	✓ True
相邻点搜索半径	1
体素长度	3 mm
单个点云输出结果个数	3
结果可视化	
显示采样后模型点云	False
显示采样后场景点云	False
显示匹配结果	✓ True

图 11 3D 粗匹配

属性	值
步骤名称	3D精匹配 (多模板) _11
运行标志	VisualizeOutput ReloadFile
参数调试等级	Advanced ▼
模板以及抓取点设置	
模板文件 (必填)	
几何中心文件 (必填)	
模板标签文件 (可选)	
点云中点方向的计算	
点方向的计算方法	EdgeTangent ▼
对应设置	
匹配模式	Standard ▼
标准偏差	0.0050 m
采样设置	
采样间隔	0.00300 m
对称性设置	
对称性旋转轴	ROTATE_BY_Z ▼
对称角度步长	360.0000 °
验证时的模型权重	
模板权重文件	
权重值	2.0000
权重设置搜索半径	0.0030
结果验证设置	
置信阈值	0.700
结果评价搜索半径	0.0100 m
结果评价考虑点对法线夹角偏差	✓ True
输出设置	
单个点云输出结果个数	100
结果可视化	
显示采样后模型点云	False
显示采样后的场景点云	False
显示模板与场景点云对应关系	False
显示匹配结果	✓ True

图 12 3D 精匹配

其他

工程中，除了 `capture_images_from_camera` 和 `3d_matching` 外，还有很多其他的 Step，大多数的 Step 的耗时可以忽略不计，若需要调整可以根据 Mech-Vision :`guide_to_steps` 进行适当的调整。

工控机性能提升

机器视觉图像处理是十分消耗计算机资源的，一个性能好的工控机能够对整体速度有较大的提升。梅卡曼德提供最低配置为 I7 8700 + 1050TI 的工控机，配置更高的 CPU 和 GPU 可以带来更好的使用效果。

小技巧： `3d_matching` 主要消耗 CPU 资源，深度学习则会消耗更多的 GPU 资源。

3.7.3 Mech-Viz、机器人

路径优化

机器人路径优化主要指的是机器人在运动过程中尽量减少非必要的定点和不必要的动作。故路径优化的中心思路为减少定点，减少弯路来实现。

小技巧： 主要可以操作的包括以下内容：

- 减少弯路，在一段没有碰撞的运动中，尽量减少多余的中间点，保证机器人的运行流畅。
 - 减少定点，在前期为了保证机器人运动。
 - 减少旋转，机器人在抓取的过程中，可能会出现夹具旋转超过 180° 的情况，通过对视觉工程的控制和对对称性的调整，能够减少这类情况的发生。同时使用 **相对移动**能够直接避免进行过多的旋转。
 - 大多数运动类的步骤中加入不等待能够对机器人的流畅性有提升，减少停顿。
 - 为了提高机器人运动路径的圆滑程度，还可以适当合理使用转弯半径的功能，避免机器人走路线上的固定点。同时使用更多的关节运动，减少使用较长的直线运动，减少机器人运动到奇异点的可能性，必要的时候使用多段关节运动代替长距离直线运动，防止长距离时运动状态不可控。
 - 避免奇异点，根据 Mech-Viz 软件的设计，机器人在即将跨越奇异点的时候，机器人会进行适当降速以防止机器人报错。同样的，在工件抓取的过程中，应尽量避免机器人运动到奇异点附近，防止因奇异点导致的报错停止或慢速运行。
-

机器人速度

在机器人工作流程已经确定，且能够在慢速且稳定作业情况下，可以逐步将机器人速度提升至可以达到的最高速度，机器人提速能够对节拍有较大帮助。

小技巧： 机器人在各个动作中的速度可以直接在 Mech-Viz 软件中进行调整。

移动类步骤速度

Mech-Viz 软件在使用移动类步骤时候，默认为加速度 50%，速度 100%。在完成路径优化以后，可以分别对各个步骤的速度和加速度进行调整，已实现在不同情况下对机器人速度和加速度的控制。

小技巧：在机器人不抓取工件的时候，可以把速度和加速度逐步调整至允许的最大值。

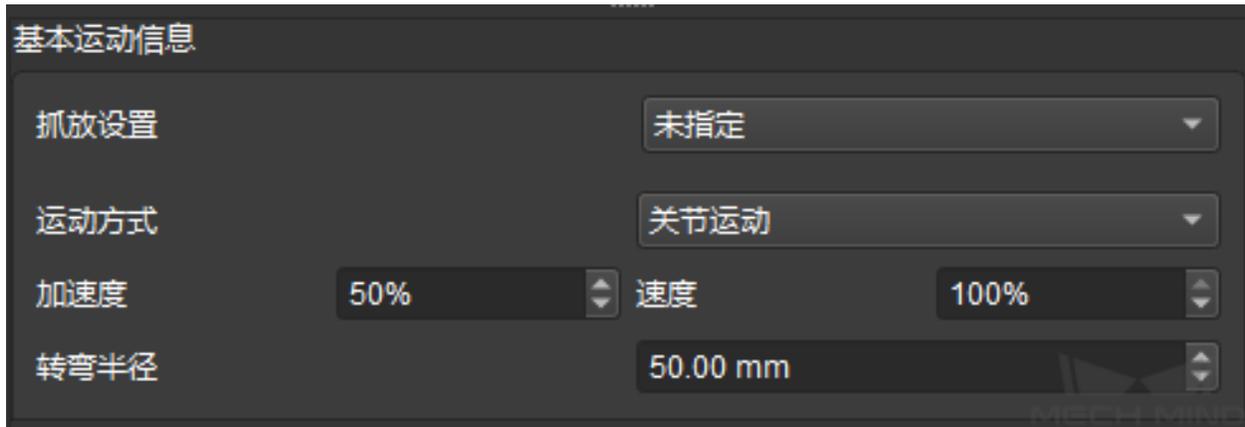


图 13 Mech-Viz 中移动速度控制

拍照流程与时机

在 Mech-Viz 软件中，可以使用 visual_look 步骤来触发拍照，并通过 Mech-Vision 软件进行处理并输出结果，并且在 visual_move 步骤时获取处理的结果并控制机器人移动到指定位置。数据处理的过程是在后台中运行的，即可以在机器人运动的过程中，对获取到的新数据进行处理并准备下一次抓取。

小技巧：

- 在 Eye to Hand 模式下，可以实现机器人抓取工件并移开相机视野范围后，触发相机拍照并在后台处理，等机器人完成上一个工件后，即可马上抓取下一个工件。
- 在 Eye in Hand 模式下，可以在机器人抓取工件后，回到拍照位置进行拍照，并在后台进行数据处理，待机器人完成第一个工件放置后即可直接抓取第二个工件。

提示：在一些纸箱拆垛的项目中，在保证每次抓取后其他箱子不会发生变化的情况下，可以使用一拍多抓的方案。Mech-Vision 软件在每次识别的过程中，可以一次识别多个物体并给出全部的位姿。因此可以实现一次识别，机器人把所有识别到的纸箱全部抓取，并在抓取完以后重新拍照，这样能够节约大量的相机时间。

同样，若夹具足够大，也可以控制实现一次抓取多个位置的箱子，以提高抓取节拍。

本章，主要对注意事项进行说明。

4.1 注意事项

4.1.1 纸箱抓取场景

1. 明确托盘尺寸，考虑纸箱长、宽、高的最大值和最小值，夹具是否能够适应不同尺寸的纸箱；
2. 纸箱颜色影响识别，需确认纸箱的颜色信息；
3. 纸箱胶带的颜色与花纹影响识别，需要明确此类信息；
4. 打包带影响识别。尤其是扎带封装，需要确认扎带颜色、位置、数量信息；
5. 确认纸箱有无扫码需求。如有需求，需确认单面还是多面贴条形码，贴码位置，扫码信息等；
6. 在前期需求获取时，确认码垛时是否需要考虑纸箱的条形码朝向问题，这会影响到夹具对称性设计、偏置、管线布局、机器人操作空间是否足够等；
7. 确认有无正方形纸箱，正方形纸箱可能会影响最终的识别结果；
8. 建议调试时尽可能多测试影响识别的因素，以提高后续生产的稳定性。

4.1.2 上料场景

1. 明确工件的颜色。是否是纯黑色或者高反光工件，测试时点云是否完整，是否需要视觉融合（双相机）来解决；
2. 明确工件种类。是否有混合来料的现象；
3. 明确工件的摆放姿态。是同一朝向还是正反相间摆放，或是无序摆放；
4. 明确上、下游工序。机器人抓取工件后，将工件放置在传送带上，还是固定的放置台上，以及是否放置精度要求；
5. 明确料筐的尺寸规格，以便调试时建立碰撞模型去规避夹具与料筐碰撞的问题；
6. 注意每层工件之间是否有挡板存在。如有挡板，需确认通过人工干预还是视觉引导机器人进行抓取。

4.1.3 涂胶场景

1. 明确涂胶工件颜色、规格、种类，是否有透明、纯黑、高反光工件；
2. 明确涂胶工艺流程。目前涂胶方案有两种，一种是涂胶提前提取路径，工作的时候根据当前工件调用模板，适用于涂胶路径复杂且要求较高场合。另外一种是根据视觉拍照后实时处理生成路径，适合涂胶路径简单的场合；
3. 明确上、下游工序，是否要对接其他信号输入输出；
4. 明确客户对于涂胶的胶型是否有特殊要求；
5. 了解涂胶机的工作原理，明确视觉与涂胶机如何配合；
6. 对于明确 Mech-Viz 主控且需要采模板的项目，可以提供涂胶软件配合涂胶调试；
7. 涂胶类场景的涂胶工艺较复杂，确认视觉方案时需要沟通好工艺流程，明确视觉工作范围。

4.1.4 装配场景

1. 明确装配工件颜色、规格、种类，是否有透明、纯黑、高反光工件，是否有混合来料现象；
2. 确认现场提供的机器人精度、夹具精度是否能够达到装配要求；
3. 将视觉精度和装配精度分开考虑，便于后续实施过程中问题排查；
4. 明确装配工艺，相机是否跟随待装配工件随行（即移动过程中进行拍照）。要确认随行的稳定性及视觉节拍是否满足；
5. 装配场景中，精度要求是最主要的考量因素。绝大多数装配工序要求装配中不允许产生擦碰，因此对于平移和旋转的精度要求都比较高，在方案规划时应特别注意。

提示：精度包括平移精度和旋转精度。

4.2 其他

4.2.1 节拍

明确节拍要求，包括 视觉识别节拍要求及工作循环节拍要求。

4.2.2 精度

明确精度要求，包括 视觉识别精度要求及抓取精度要求。

4.2.3 通信

1. 明确控制方式 (机器人主控/Mech-Viz 主控)，根据 工艺流程确定 通信方式。
2. 明确是否使用 触控屏操作，是否需要与 PLC、上位机等进行通信对接。

4.2.4 工作环境

1. 温度： 建议相机使用温度 0-45°。
2. 湿度： 明确现场湿度等级。
3. 灰尘： 明确现场灰尘等级。
4. 光照： 视实际情况进行适当遮光或者补光处理。

提示： 机器人程序烧录内容请参看 robot_integrations 。
