

HandEyeCalibrationMaster

手眼标定软件使用说明

V2.1.0

2023 年 9 月 5 日

注：如文件显示乱码，请使用PDF阅读器打开。

目 录

声明	1
版本变更记录	2
1 功能介绍	3
2 软件安装	4
2.1 准备工作	4
2.1.1 配置要求	4
2.1.2 支持的机器人型号	4
2.1.3 标定标记物	4
2.1.4 操作人员技能要求	5
2.2 安装步骤	5
2.2.1 Windows	5
2.2.2 Linux	5
3 界面介绍	6
4 标定步骤	8
4.1 准备阶段	8
4.1.1 安装相机	8
4.1.2 布置标记物	8
4.1.3 拍摄调参	9
4.2 采集阶段	10
4.2.1 采集	10
4.2.2 结果数据区基本操作	11
4.2.3 获取标记位置数据	12
4.2.4 获取机器人数据	16
4.2.5 直接导入数据对	18
4.3 计算阶段	20
4.3.1 误差数据分析	21
4.3.2 计算精化	22
4.4 查看结果	22
4.5 结果验证	23
4.5.1 眼在手外	23
4.5.2 眼在手上	25
5 常见问题及解答	26

声明

非常感谢您选择深圳市如本科技有限公司的 RVC 系列 3D 相机。请您在使用 HandEyeCalibrationMaster 手眼标定软件之前仔细阅读这份说明书。如果您对本公司产品有任何疑问，请联系我们。

本公司产品 RVC 系列相机和 HandEyeCalibrationMaster 手眼标定软件需要由专业人士使用，或者在专业人士的指导下使用。由于使用不当造成的生命或财产损失，本公司概不负责。

该说明书所有权利归本公司所有，未经允许不得复制、打印、传播。

版本变更记录

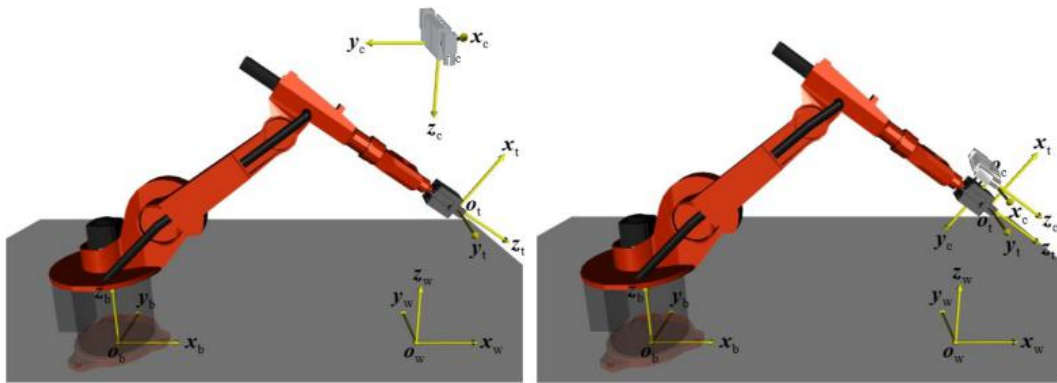
日期	对应软件版本	变更内容
2021.9	v1.5.0	第 1 版发行
2021.11	v1.5.2	新增：增加散布示例，推荐 X2 变更：更新 RVCManager 保存设置图片
2021.12	v1.6.0	变更：修改手眼标定图片
2022.8	v1.9.0	新增：增加离线数据示例 变更：调整顺序，增加参数
2023.9	v2.1.0	新增：第 5 章 “常见问题及解答” 变更：变更第 2 章中安装步骤、第 4 章中标定操作步骤，更新软件界面，更新 RVCManager 保存设置、检测标定板中心功能，重新排版与校核 删除：在线标定功能

1 功能介绍

HandEyeCalibrationMaster 是一款应用于 RVC 3D 相机的手眼标定软件（以下简称“手眼标定软件”）。其主要功能为：在使用 RVC 3D 相机的机器人视觉引导应用中，**计算机器人与 3D 相机的相对位姿关系**，即使用 3D 相机拍摄的点云经过该相对位姿关系转换后可以映射到机器人坐标系下，从而实现视觉引导。

用户需首先使用 RVC 3D 相机拍摄标记物，在 RVC SDK 或 RVCManager 软件中保存 2D 图像、3D 点云，并记录每次拍摄时机器人末端的位姿。将上述数据导入手眼标定软件后，可计算机器人与相机的相对位姿关系。

本软件支持相机安装在机器人外部桁架或其它固定物上（即眼在手外模式）和相机安装在机器人末端（6 轴或 7 轴）（即眼在手上模式）。



眼在手外（左）与眼在手上（右）

2 软件安装

2.1 准备工作

2.1.1 配置要求

- 系统配置要求

Windows: Win 10

Linux: Debian 10, Ubuntu 20.04, Ubuntu 18.04

- 硬件配置要求

内存: 大于 4G

硬盘: 大于 128G

显卡: 支持 OpenGL

CPU: Intel 赛扬以上

2.1.2 支持的机器人型号

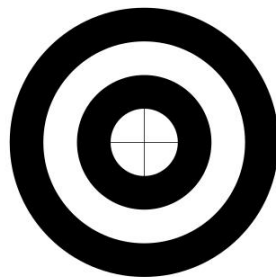
手眼标定软件支持以下品牌机器人。

6 轴机器人: FANUC, ABB, KUKA, 安川, 节卡等

7 轴机器人: KUKA iiwa 等

2.1.3 标定标记物

本软件使用的标定标记物为 2D 的圆环贴纸, 该贴纸可以从本公司订购。使用时将圆环打印在纸上, 按照虚线框裁剪一个同心圆, 在所需位置贴平即可。



2.1.4 操作人员技能要求

- 熟悉工业自动化产品
- 熟悉工业机器人操作
- 熟悉 RVC 系列 3D 相机

2.2 安装步骤

进入如本科技官网下载页面：www.rvbust.com/download.html，下载对应版本的 HandEyeCalibrationMaster 手眼标定软件安装包。

2.2.1 Windows

双击.exe 文件，根据安装指引完成软件安装。

安装包命名规则：

[HandEyeCalibrationMaster_\(版本号\)_\(发布日期\)_\(安装类型\).exe](#)

2.2.2 Linux

进入安装包所在文件路径，执行下列命令完成软件安装。请根据下载的安装包版本名称修改命令内容。

```
sudo dpkg -i HandEyeCalibrationMaster_(Version)_(date)_(type).deb
```

安装包命名规则：

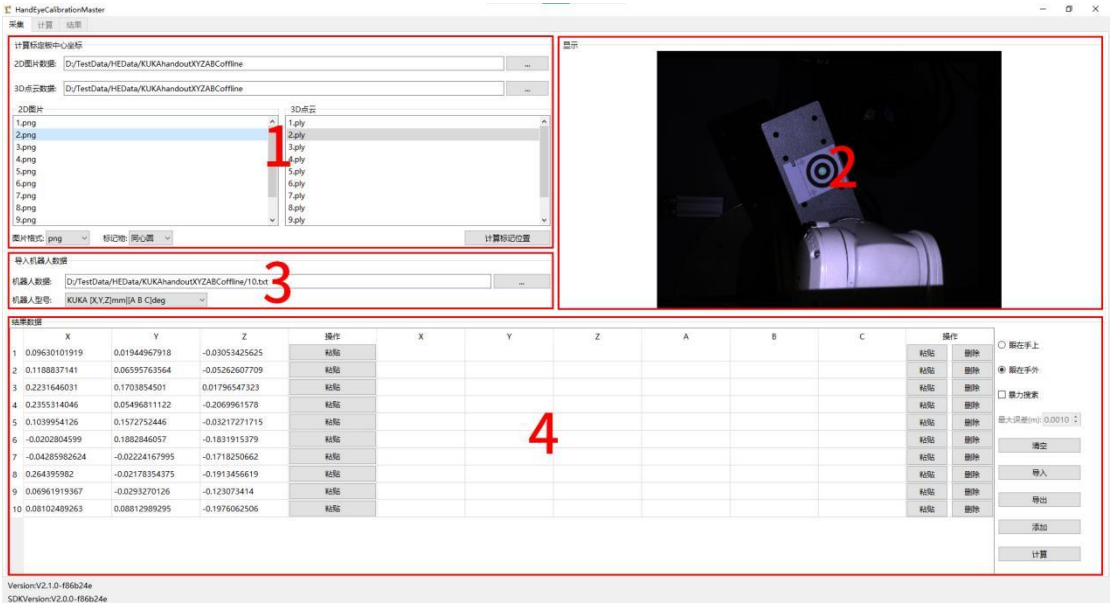
[HandEyeCalibrationMaster_\(版本号\)_\(发布日期\)_\(安装类型\).deb](#)

3 界面介绍

手眼标定软件界面分为 3 个标签页：采集页、计算页、结果页。

• 采集页

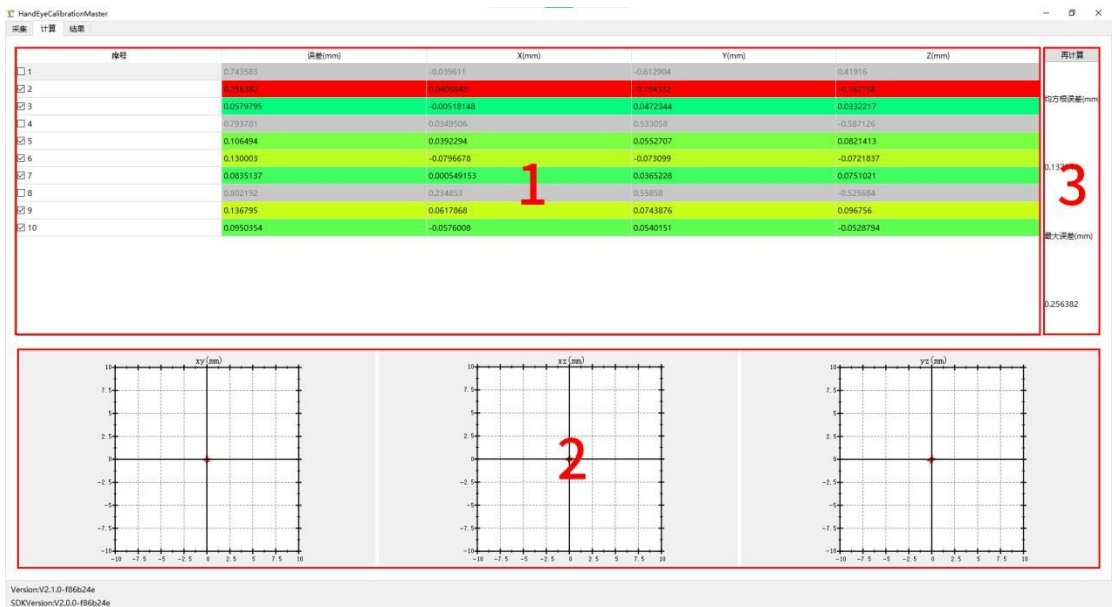
采集页的主要功能是导入标记点位置数据和机器人数据。



1: 图像与点云导入区 2: 2D 图像显示区 3: 机器人数据导入区 4: 结果数据对记录区

• 计算页

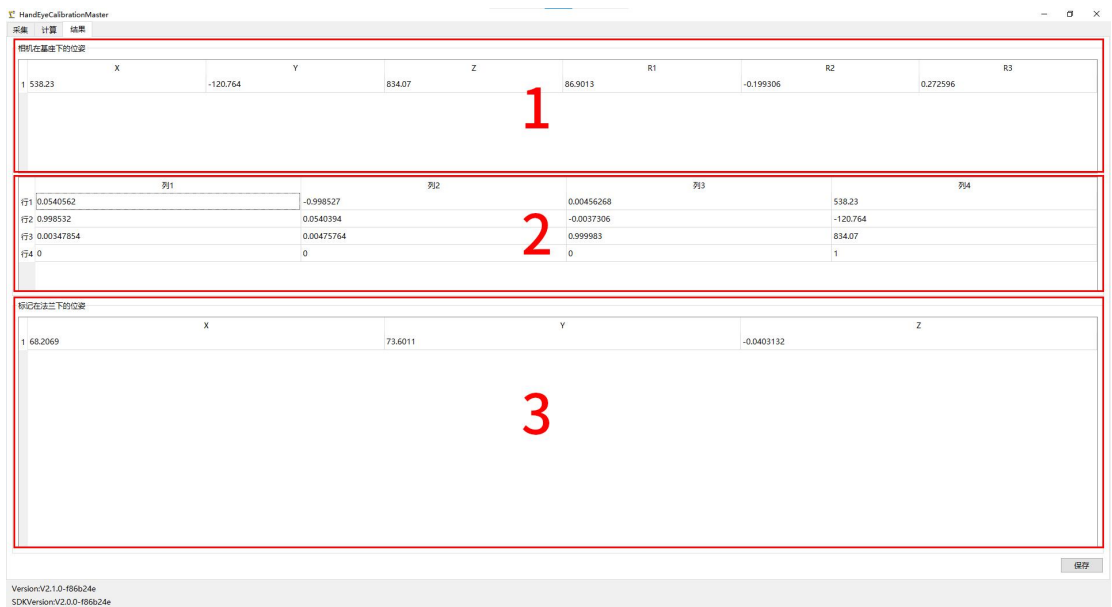
计算页的主要功能是计算机器人与 3D 相机的相对位姿关系，通过图像与表格展示并评估计算结果。



1：误差表格 2：误差散点图 3：误差显示区

• 结果页

结果页的主要功能是查看手眼标定计算结果及导出数据。



1、2：相机位姿输出区 3：标记位置输出区

4 标定步骤

4.1 准备阶段

4.1.1 安装相机

眼在手外：

将 RVC 相机安装在机器人外部的一个固定位置。请确保安装牢固，如果相机的安装位置发生了变化，则需要重新标定。

眼在手上：

将 RVC 相机安装于机器人的末端（6 轴或 7 轴，为机械臂最后一轴的后面），必须确保相机安装牢固。注意：每次拆装相机，需要重新进行手眼标定。

4.1.2 布置标记物

眼在手外：

选择合适大小的标记物贴纸，固定于法兰或机械臂最末端的工具后（6 轴或 7 轴，为机械臂最后一轴的后面），通常要尽可能靠近未来生产所使用的 TCP。贴纸所粘贴的位置应保证机器人在不同的姿态下其被相机可见，需要固定牢靠，标定期间不能发生晃动、变形等。

眼在手上：

选择合适大小的标记物贴纸，放置在工作平面上，通常要尽可能靠近未来生产所使用的工件位置。贴纸所粘贴的位置应保证机器人在不同的姿态下其被相机可见。标定期间，标记物不能移动。



· 标记物制作注意事项

- (1) 标记物需要贴在平面上，注意不要有鼓包或翘起。
- (2) 尽量避免使用透明胶带粘贴，胶带反光可能导致标记物无法被识别。
- (3) 请保持标记物干净整洁，无破损、划痕等。

注意

请将相机视野内其它类似于圆环标记物的物体清除或遮盖，否则会影响识别，并引起未知错误。

4.1.3 拍摄调参

打开 RVCManager 软件，连接相机。点击  ，进行 2D 与 3D 拍摄，测试是否拍照正常。也可使用 RVC SDK，调用 Capture()、Capture2D()函数测试拍摄。

提示

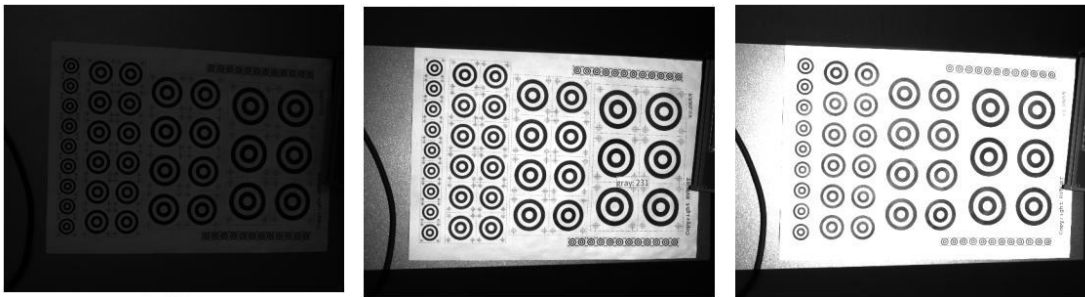
使用 RVCManager 拍摄、调参、保存点云的详细操作，请查看《RVC 系列 3D 相机用户手册》。使用 RVC SDK 拍摄、调参、保存点云的详细操作，请查看《RVC SDK 二次开发手册》。如有疑问，请咨询本公司技术支持。

在 RVCManager（或 RVC SDK）中调整拍摄参数。调整 2D 曝光时间（exposure_time_2d），使得 2D 图片正常曝光，调整 3D 曝光时间（exposure_time_3d），使得点云成像完整。

· 标定时调参注意事项

2D 图像：图像过暗或过亮都会影响标记物的识别。

3D 点云：(1) 标记物部分需要保证点云完整，不能有点云缺失。(2) 圆应尽量处在同一平面上。如果点云出现波浪，会造成较大误差。



2D 图片曝光参考（左：曝光过低；中：曝光正常；右：曝光过高）

提示

为保证精度，对于双目相机，建议使用双目模式。

4.2 采集阶段

一次较可靠的手眼标定需采集约 10~15 组数据对。如果要达到较好的效果，需要 30 组数据对。每次采集获取数据对的基本操作步骤如下：

(1) 采集。使用机器人示教器移动机械臂至合适的位置，在 RVCManager 或 RVC SDK 中执行拍摄，采集 3D 点云及对应的 2D 图像。

(2) 获取数据对。数据对包括标记位置数据与机器人数据。

① **获取标记位置数据：**将每次采集的点云、2D 图文件按顺序命名后保存，导入手眼标定软件，点击【计算标定位置】获取每次采集的标定板中心坐标。也可在 RVCManager/RVC SDK 采集时使用“检测标定板中心”功能，直接获取数据并复制。

② **获取机器人数据：**从示教器上读取 TCP 或法兰盘在机器人基坐标系下的位姿，按格式记录。

③ **直接导入数据对：**可将①②步骤合并，使用 RVCManager/RVC SDK 获取标记位置数据，从示教器读取机器人数据，将上述数据及手眼标定配置选项写入同一个 csv/data/txt 格式文件，导入手眼标定软件直接计算。


下面详述每个步骤的操作要点。

4.2.1 采集

为了获得一个较可靠的数据对，需要使机器人末端有较大的平移和转动。推荐的做法是将机器人切换到**关节运动模式**下，jog 轴 4，轴 5，轴 6 获得随机旋转，jog 轴 1，轴 2，轴 3 获得随机平移，并且让标记物在视野内可见。

眼在手外：标记点的位置应尽可能覆盖机械臂未来的工作空间。

眼在手上：标记点在图像中的位置要尽可能覆盖机械臂未来的工作空间。

将机械臂移动至合适的位置后，在 RVCManager 中点击  执行拍摄，或在 RVC SDK 中调用 Capture()函数，采集 3D 点云及 2D 图像。

4.2.2 结果数据区基本操作

结果数据对包括标记位置数据与机器人数据。数据对记录区的左边 3 列记录标记位置数据，2 个操作列之间记录机器人数据，右边为配置与数据操作选项。

结果数据												
	X	Y	Z	操作	X	Y	Z	R1	R2	R3	操作	
1	-0.035848	-0.0949959	0.556003	粘贴	564.044	1.023	427.329	179.54	9.899	-28.532	粘贴 删除	<div><input type="checkbox"/> 米 <input type="checkbox"/> 弧度</div> <div><input type="radio"/> 眼在手上</div> <div><input checked="" type="radio"/> 眼在手外</div> <div><input type="checkbox"/> 暴力搜索</div> <div>最大误差(m): 0.0010</div> <div>清空</div> <div>导入</div> <div>导出</div> <div>添加</div> <div>计算</div>
2	0.0547603	-0.0679386	0.55768	粘贴	537.671	-78.163	431.979	173.017	12.285	-24.262	粘贴 删除	
3	-0.00657492	-0.0526069	0.568339	粘贴	520.088	-18.924	431.491	173.157	5.726	-25.039	粘贴 删除	
4	-0.0104081	0.0533909	0.596984	粘贴	413.903	-18.955	400.071	165.971	6.857	-24.313	粘贴 删除	
5	-0.0811115	0.0557007	0.57725	粘贴	413.767	68.411	399.746	-179.082	10.39	-20.615	粘贴 删除	
6	0.0615223	0.0827166	0.619605	粘贴	384.143	-77.989	399.381	-176.844	3.252	-20.206	粘贴 删除	
7	0.0625514	0.0988994	0.629672	粘贴	368.344	-112.723	399.137	-169.15	-1.401	-30.915	粘贴 删除	
8	-0.0567892	0.0364101	0.559087	粘贴	432.591	52.244	456.369	-174.559	-1.407	-18.25	粘贴 删除	

数据基本操作方法如下。

数据基本操作	方法
修改	双击某单元格，可手动修改该单元格内的数据。输入数值后按回车键完成修改。
增加	点击右侧【添加】按钮，可手动增加新的数据对。
删除	点击行尾【删除】按钮，可删除该行数据； 点击右侧【清空】按钮，可清空所有结果数据。
复制粘贴	复制 1 组标记位置数据后，点击 XYZ 列后操作列的【粘贴】按钮，可将此组标记位置数据写入表格； 复制 1 组机器人数据后，点击行尾【粘贴】按钮，可将此组机器人数据写入表格。
导入	点击右侧【导入】按钮，可导入 csv/txt/data 格式的数据对文件。
导出	点击右侧【导出】按钮，可将采集完成后的数据对和配置导出到本地文件。

注意
结果数据对表格中如果有空的条目，需要补全空的数据。否则无法进行计算。

数据配置选项说明如下。

米：机器人数据单位。当选择自动推导的两项 XYZR1R2R3，XYZR1R2R3R4 时，需要设置 XYZ 的数据单位是否为米制。

弧度：机器人旋转角度单位。当选择 XYZR1R2R3 时，需要设置 R1R2R3 的角度单位是否为弧度制。

眼在手上/眼在手外：导入数据时，必须勾选对应的相机部署方式。

暴力搜索：若操作过程无误但求解失败，可勾选【暴力搜索】，并适当调小最大误差。

注意⚠

在数据对中疑似出现野点时，建议采用暴力搜索功能。使用时应适当设置最大误差阈值以过滤野点。

4.2.3 获取标记位置数据

方法一：在手眼标定软件中导入 2D 图及对应点云，计算标记位置。

(1) 在 RVCManager 或 RVC SDK 中，将每次采集的点云、2D 图文件按顺序命名后保存。

· 保存文件格式要求

图片：支持 png、bmp、jpg 格式。

点云：使用 RVCManager/RVC SDK 保存点云时，需选取下列参数：

点云保存格式：ply

点云数值单位：米(m)

无效点处理：替换为 nan

点云范围：不限制范围



· 保存文件命名规则

保存采集的图片与点云时，应按数字排序命名文件。数字前的字符一致，每次采集的图片与点云文件名中数字序号一致（即保存为顺序格式）。

保存图片文件名格式为：xxx_0.png, xxx_1.png, xxx_2.png, xxx_3.png, ...

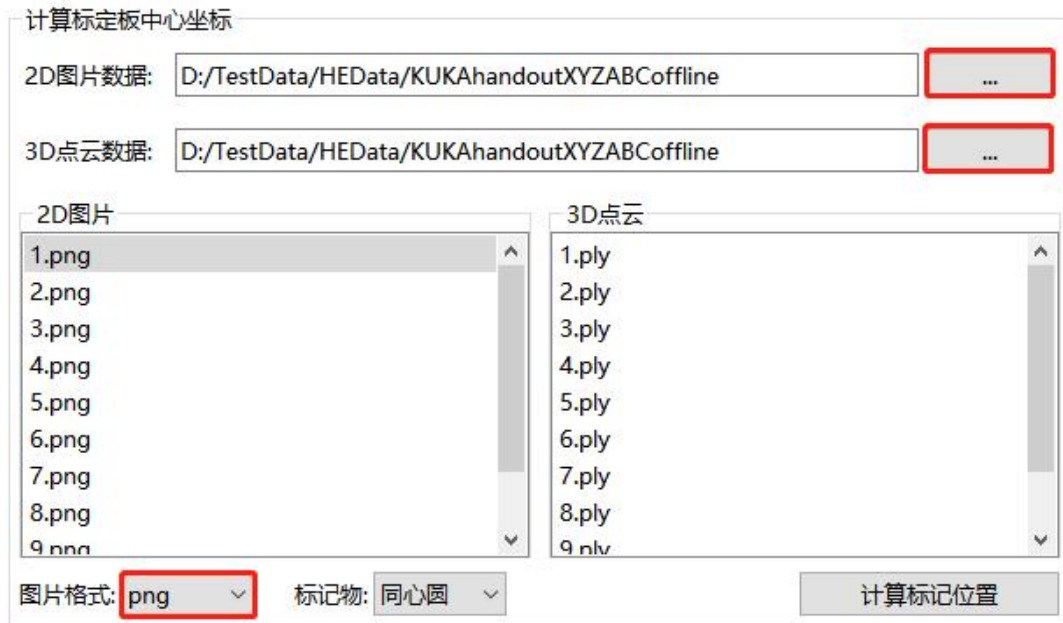
保存点云文件名格式为：xxx_0.ply, xxx_1.ply, xxx_2.ply, xxx_3.ply, ...

如果需要删除其中的一组数据，可以跳过该组数字,确保图片与点云的对应关系即可。例：

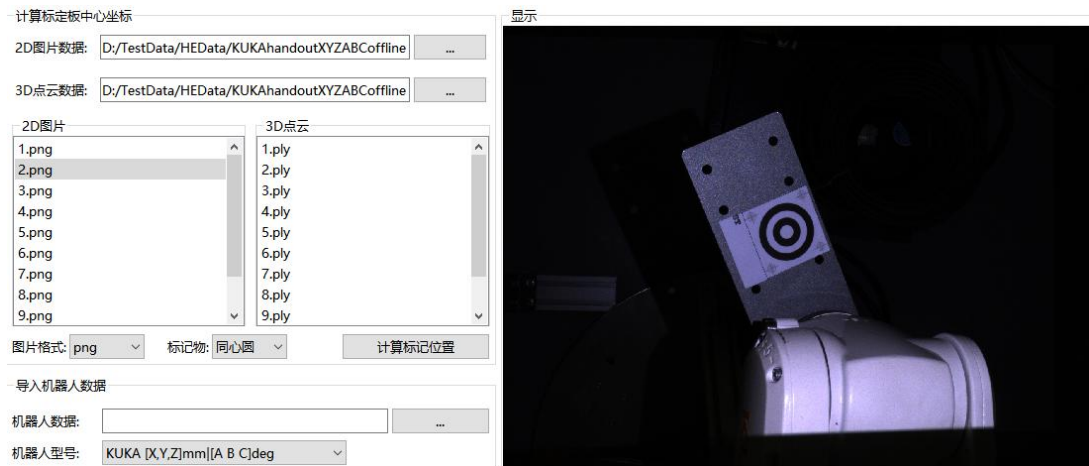
test_1.png, test_2.png, test_4.png, test_5.png, ...

test_1.ply, test_2.ply, test_4.ply, test_5.ply, ...

(2) 打开手眼标定软件。下拉“图片格式”，选择采集的 2D 图格式(png/jpg/bmp)、标记物类型。点击“2D 图片数据”“3D 点云数据”后的【...】按钮，选择文件夹，导入图片与点云的数据对。



点击列表中的 2D 图片文件名，可在显示窗口查看对应的 2D 图，快速检查采集效果。



(3) 点击【计算标定位置】。计算完成后，结果数据区的前 3 列将自动填充为标记圆心在相机坐标系下的位置。重新点击 2D 图片列表中的文件名，显示窗口中将以黄绿色十字标注圆心。

图片格式: 标记物: 计算标记位置

导入机器人数据

机器人数据: ...

机器人型号:

结果数据

	X	Y	Z	操作	X	Y
1	0.09630101919	0.01944967918	-0.03053425...	粘贴		
2	0.1188837141	0.06595763564	-0.05262607...	粘贴		
3	0.2231646031	0.1703854501	0.01796547323	粘贴		
4	0.2355314046	0.05496811122	-0.2069961578	粘贴		
5	0.1039954126	0.1572752446	-0.03217271...	粘贴		
6	-0.0202804599	0.1882846057	-0.1831915379	粘贴		
7	-0.04285982...	-0.02224167...	-0.1718250662	粘贴		
8	0.264395982	-0.02178354...	-0.1913456619	粘贴		

方法二：在 RVCManager/RVC SDK 中直接获取标记位置的 3D 点位信息。

(1) 采集数据时，选择“检测标定板中心”功能。



(2) 在标记位置识别结果弹框中，点击 3D 点位信息的【复制】按钮。



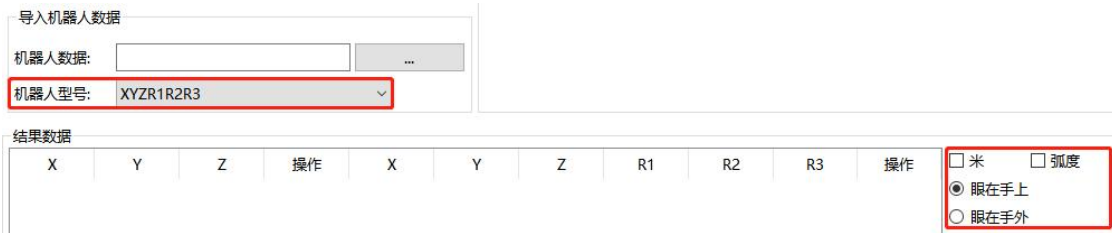
(3) 进入手眼标定软件，将复制的数据粘贴到结果数据对的标记位置数据区。



4.2.4 获取机器人数据

(1) 在“机器人型号”下拉菜单选取机器人型号，在结果数据区右侧勾选相机部署方式（眼在手上/眼在手外）。

当机器人型号选择自动推导的两项 XYZR1R2R3、XYZR1R2R3R4 时，还需勾选设置 XYZ 的数据单位是否为米制、R1R2R3 的角度单位是否为弧度制。



机器人型号	数据类型
XYZR1R2R3	欧拉角，其具体形式为软件自动推导
XYZR1R2R3R4	四元数，其具体形式 wxyz 或 xyzw 为软件自动推导
FANUC [X, Y, Z]mm [W P R]deg	发那科机器人数据
ABB [X, Y, Z]mm [EZ EY EX]deg	ABB 机器人数据
KUKA [X, Y, Z]mm [A B C]deg	库卡机器人数据
YASKAWA[X, Y, Z]mm [RX RY RZ]deg	安川机器人数据
ABB [X, Y, Z]mm [Q1 Q2 Q3 Q4]deg	ABB 的四元数数据
UR [X, Y, Z]mm [RX RY RZ]rad	UR 的角轴数据

(2) 导入机器人数据。

方法一：

采集每组数据对时，从示教器上读取 TCP 或法兰盘在机器人基坐标系下的位姿，将其手动输入结果数据对的机器人数据区。

方法二：

① 采集每组数据对时，从示教器上读取 TCP 或法兰盘在机器人基坐标系下的位姿，将其输入 txt/data/csv 格式文件。

数据之间可使用空格、Tab(\t)或“,”（英文逗号）分隔，格式示例如下：（“[]”内数据为可选）

```
X<分隔符>Y<分隔符>Z<分隔符>R1<分隔符>R2<分隔符>R3<分隔符>[RW]
X<分隔符>Y<分隔符>Z<分隔符>R1<分隔符>R2<分隔符>R3<分隔符>[RW]
.....
X<分隔符>Y<分隔符>Z<分隔符>R1<分隔符>R2<分隔符>R3<分隔符>[RW]
```

X<空格>Y<空格>Z<空格>R1<空格>R2<空格>R3<空格>R4[回车]

```
p.74015773638338 -0.46896589828353 0.21496010772976 0.2063088616662768 -0.6895206742414592 0.6356626701075516 0.27916099875037426
0.7906956008600601 -0.34814203679896 0.21989117056687998 -0.37701940726956845 0.7218916394892859 -0.4672005398673056 -0.3441692649340907
0.5937252910891601 -0.35163970931327 0.20617512049528 -0.1882009743897612 0.7678349360710086 -0.5947114403783047 -0.14604179836860617
0.5590286547304499 -0.41184944583947997 0.22489024982571 -0.2477956450301587 0.6870830395782138 -0.6325218687299238 -0.2577407624076087
0.70134840091784 -0.44396412877735997 0.25902702524988 -0.33582142635329265 0.6492029484985451 -0.5888897199607734 -0.34491795979240825
0.83678237087517 -0.430895611111986 0.23345937809924 0.1156386508021974 -0.7010525743588639 0.6887067996746978 0.14434657774707707
0.89942063840529 -0.423680909361208 0.23408067410299 0.23011815711196143 -0.6739583624167859 0.653495421039073 0.25645563783400044
0.68144581348558 -0.40931255570348996 0.23132350810945 0.03402620475868978 -0.7113671431278514 0.6989841419297237 0.06496286938403081
0.8262670714722901 -0.21966687767689 0.22544040139354 -0.11642223655434727 0.7059359251959786 -0.6984617215873135 0.01586051167736039
0.8683473540154 -0.22009809747984999 0.21080224388576 -0.11454334409463608 0.7654304762202188 -0.63270092132574 0.026183058462807822
```

② 点击“机器人数据”行的【...】按钮，选择前一步记录数据的 txt/data/csv 文件，导入机器人数据。

4.2.5 直接导入数据对

将每组标记位置数据、机器人数据、配置选项写入同一个文件，可以导入手眼标定软件直接计算。操作步骤如下：

- (1) 使用 RVCManager/RVC SDK 获取标记位置数据，同 4.2.3 节[获取标记位置数据方法二](#)。将采集的数据输入 txt/data/csv 格式文件。
- (2) 采集每组数据对时，从示教器上读取 TCP 或法兰盘在机器人基坐标系下的位姿，按格式记录到(1)中的数据文件，同 4.2.4 节[获取机器人数据方法二](#)。
- (3) 将配置选项写入文件。

选项	取值说明
HandEyeType	1：眼在手外 0：眼在手上
RobotType	XYZR1R2R3：欧拉角，其具体形式为软件自动推导 XYZR1R2R3R4：四元数，其具体形式 wxyz 或 xyzw 为软件自动推导 FANUC [X, Y, Z]mm [W P R]deg：发那科机器人数据 ABB [X, Y, Z]mm [EZ EY EX]deg：ABB 机器人数据 KUKA [X, Y, Z]mm [A B C]deg：库卡机器人数据 YASKAWA[X, Y, Z]mm [RX RY RZ]deg：安川机器人数据 ABB [X, Y, Z]mm [Q1 Q2 Q3 Q4]deg：ABB 的四元数数据 UR [X, Y, Z]mm [RX RY RZ]rad：UR 的角轴数据
IsMeter	1：坐标单位为 m 0：坐标单位为 mm
IsRadian	1：机器人旋转角度单位为弧度制 0：机器人旋转角度单位为角度制

Exhaust	1: 采用暴力求解 0: 不采用暴力求解
RansacDist	采用暴力求解时的最大误差值。若不采用暴力求解, 设置为 0。

数据文件格式示例如下。配置选项与数据对之间用“END:”隔开, 操作列数据空缺, 不同组数据之间需换行。格式要求可参考 4.2.4 节[获取机器人数据方法二](#)。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	HandEyeType:1											
2	RobotType:XYZR1R2R3											
3	IsMeter:0											
4	IsRadian:0											
5	Exhaust:0											
6	RansacDist:0.001											
7	END:											
8	X	Y	Z	操作	X	Y	Z	R1	R2	R3	操作	
9	-0.03585	-0.095	0.556003		564.044	1.023	427.329	179.54	9.899	-28.532		
10	0.05476	-0.06794	0.55768		537.671	-78.163	431.979	173.017	12.285	-24.262		
11	-0.00657	-0.05261	0.568339		520.088	-18.924	431.491	173.157	5.726	-25.039		
12	-0.01041	0.053391	0.596984		413.903	-18.955	400.071	165.971	6.857	-24.313		
13	-0.08111	0.055701	0.57725		413.767	68.411	399.746	-179.082	10.39	-20.615		
14	0.061522	0.082717	0.619605		384.143	-77.989	399.381	-176.844	3.252	-20.206		
15	0.062551	0.098899	0.629672		368.344	-112.723	399.137	-169.15	-1.401	-30.915		
16	-0.05679	0.03641	0.559087		432.591	52.244	456.369	-174.559	-1.407	-18.25		
17	-0.06023	0.083926	0.581375		385.543	19.352	445.983	-176.291	-6.459	-29.655		
18	0.065239	0.081908	0.577059		387.496	-113.353	460.521	178.567	-3.137	-33.552		

.csv 格式示例

```

HandEyeType:1
RobotType:XYZR1R2R3R4
IsMeter:1
IsRadian:0
Exhaust:0
RansacDist:0
END:
X,Y,Z,操作,X,Y,Z,R1,R2,R3,R4,操作,
0.0485066,-0.0160603,0.472832,-0.75894,0.00508686,0.357819,-0.0110551,0.0314257,0.767078,0.640688,,
0.120156,0.00911844,0.435732,-0.716477,0.0203669,0.415912,-0.136376,0.101862,0.736044,0.655183,,
0.168624,0.0123762,0.451345,-0.744411,0.0703303,0.41045,-0.0758769,0.161543,0.720762,0.669813,,
-0.0379211,-0.0950393,0.550432,-0.820355,-0.0195256,0.270469,0.0275525,-0.101048,0.781988,0.61443,,
-0.0628769,-0.0788999,0.515333,-0.783723,-0.0384742,0.306278,-0.000518696,-0.163742,0.792054,0.58808,,
-0.00204919,-0.0836419,0.525757,-0.784402,0.0205756,0.306325,-0.00665934,-0.163548,0.769367,0.617481,,
0.129767,-0.0891074,0.575403,-0.783116,0.152506,0.279653,-0.0166969,-0.158962,0.714558,0.681072,,
-0.0880421,0.0347013,0.543978,-0.646943,-0.097766,0.272566,-0.118578,-0.115297,0.808396,0.564927,,

```

.txt 格式示例

提示

可以在输入数据前先点击【导出】按钮, 生成一个空白的数据对模板文件, 然后在文件中填充数据。

(4) 点击【导入】按钮, 选择 txt/data/csv 格式的数据文件。若文件中数据格式无误, 采集数据及配置选项将自动填充至结果数据区。

结果数据

X	Y	Z	操作	X	Y	Z	R1	R2	R3	R4	操作

☐ 米
☐ 眼在手上
☒ 眼在手外
☐ 暴力搜索
 最大误差(m): 0.0000

清空

导入

导出

添加

计算

提示⚠

在手眼标定软件中直接输入/计算获取的数据对及配置，也可导出为本地文件，需要计算时再次导入。

4.3 计算阶段

导入数据完成后，点击按钮【计算】。如果计算成功，将自动跳转到计算页，并展示误差数据。如果弹框提示求解失败，处理方法见第 5 章[求解方程失败](#)。

结果数据

	X	Y	Z	操作	X	Y	Z	R1	R2	R3	操作
1	-0.035848	-0.0949959	0.556003	粘贴	564.044	1.023	427.329	179.54	9.899	-28.532	粘贴 删除
2	0.0547603	-0.0679386	0.55768	粘贴	537.671	-78.163	431.979	173.017	12.285	-24.262	粘贴 删除
3	-0.00657...	-0.0526069	0.568339	粘贴	520.088	-18.924	431.491	173.157	5.726	-25.039	粘贴 删除
4	-0.0104081	0.0533909	0.596984	粘贴	413.903	-18.955	400.071	165.971	6.857	-24.313	粘贴 删除
5	-0.0811115	0.0557007	0.57725	粘贴	413.767	68.411	399.746	-179.082	10.39	-20.615	粘贴 删除
6	0.0615223	0.0827166	0.619605	粘贴	384.143	-77.989	399.381	-176.844	3.252	-20.206	粘贴 删除
7	0.0625514	0.0988994	0.629672	粘贴	368.344	-112.723	399.137	-169.15	-1.401	-30.915	粘贴 删除
8	-0.0567892	0.0364101	0.559087	粘贴	432.591	52.244	456.369	-174.559	-1.407	-18.25	粘贴 删除

☐ 米
 ☐ 弧度

☐ 眼在手手
☒ 眼在手外
☐ 暴力搜索

最大误差(m): 0.0010

清空

导入

导出

添加

计算

HandEyeCalibrationMaster

采集

计算

结果

序号	误差(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	再计算
1	0.15167	-0.194982	1.133972	0.199881	均方根误差(mm) 0.443671 最大误差(mm) 1.35747
2	0.337879	0.228008	0.249214	-0.00551745	
3	0.184411	0.0157219	0.174581	-0.00572833	
4	0.315012	-0.139796	-0.175239	-0.221316	
5	0.122481	-0.0858852	0.0725413	0.0698264	
6	0.418371	-0.00553553	-0.167834	-0.383191	
7	0.24475	-0.211567	0.0634156	-0.105452	
8	0.140504	0.0726788	0.119886	0.0115928	
9	0.311373	-0.306937	0.0516792	-0.00847539	
10	0.0658497	0.0554115	0.034862	-0.00709844	
11	0.269931	-0.0465145	0.143261	0.223999	
12	0.291031	0.187429	0.158043	0.156818	
13	0.456971	0.362275	0.26556	0.0840096	
14	0.0850748	0.0847548	0.00314682	-0.00946672	
15	0.339749	-0.0170308	0.335788	0.0488446	

xy (mm)

xz (mm)

yz (mm)

Version V2.10-f86b24e

4.3.1 误差数据分析

· 误差表格

计算页中，误差表格中每一条数据解释如下：

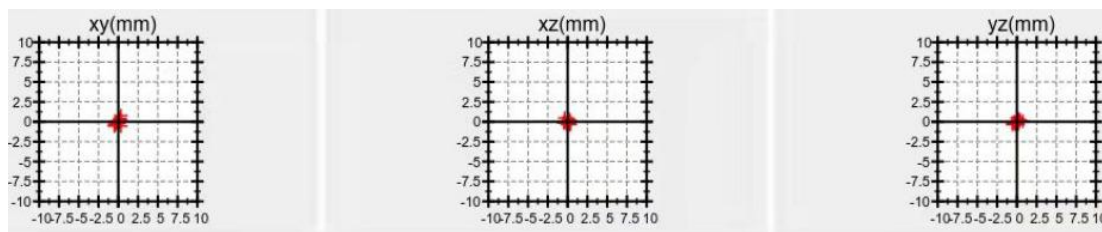
项目	解释
误差(mm)	计算得到的标记点中心和检测到的标记点中心距离(mm)
X(mm)	计算得到的标记点中心和检测到的标记点中心 x 方向误差
Y(mm)	计算得到的标记点中心和检测到的标记点中心 y 方向误差
Z(mm)	计算得到的标记点中心和检测到的标记点中心 z 方向误差

误差表格的每一条数据采用热力着色。该着色仅用于辨识数据的相对大小，靠近绿色的数据较小，靠近红色的数据较大。红色数据不代表需要剔除，需根据实际情况判断。

通常，均方根误差和最大误差均小于 1 mm 时，表示该次标定可用。

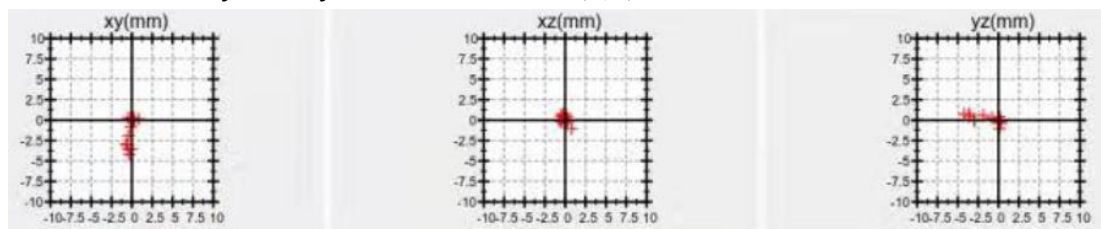
· 误差散点图

3 个散点图分别表示误差数据在 xy, xz, yz 平面的投影。较好的投影结果是所有散点在(0,0)周围呈环绕对称散布（即正态分布），且包围圆的半径较小。



一个较好的误差分布结果

(xy, xz, yz 平面的误差集中在(0,0)周围，且误差较为对称)



一个较差的误差分布结果

(xy, yz 平面的误差呈现明显极化)

4.3.2 计算精化

如果用户对标定精度要求较高，需要对计算数据进行精细化处理。

观察误差表格中误差的大小（也可通过数据的热力颜色快速筛选），可舍弃一些误差明显大于其它数据对的数据。将这些条目的勾选框取消勾选，点击【再计算】，直至误差表格、散点图呈现的误差分布明显改善。

序号	误差(mm)	X(mm)	Y(mm)	Z(mm)	再计算
<input checked="" type="checkbox"/> 1	0.613644	-0.0996973	0.600469	-0.0778177	均方根误差(mm)
<input checked="" type="checkbox"/> 2	0.359627	-0.350558	0.0769266	0.0228799	
<input checked="" type="checkbox"/> 3	0.282656	-0.132576	-0.248922	0.0188745	
<input type="checkbox"/> 4	0.774901	0.637475	0.435242	-0.0682794	
<input checked="" type="checkbox"/> 5	0.620975	-0.553406	-0.280612	-0.0246782	0.50202
<input checked="" type="checkbox"/> 6	0.438671	0.374252	-0.224217	-0.0457677	
<input checked="" type="checkbox"/> 7	0.422942	-0.0790094	-0.261105	0.323205	
<input checked="" type="checkbox"/> 8	0.270205	0.203527	-0.0977823	-0.148412	

4.4 查看结果

计算完成后，点击进入结果页，可查看计算结果。表格支持复制操作及导出功能。点击右下角【保存】按钮，可将标定结果导出为.csv 格式文件。

相机在基座下的位置							
1	538.23	X	-120.764	Y	834.07	Z	86.9013
R1							
R2							
R3							
列1							
行1	0.0540562	-0.998527		0.00456268		538.23	
行2	0.998532	0.0540394		-0.0037306		-120.764	
行3	0.00347854	0.00475764		0.999983		834.07	
行4	0	0		0		1	
标记在法兰下的位置							
1	68.2069	X	73.6011	Y	Z		
-0.0403132							
保存							

眼在手外：

1,2 号表格为**相机在基座下的位姿**。1 号表格内的表达形式与输入机器人数据类型相同，2 号表格内的表达形式为刚体变换矩阵。

3 号表格为**标记在法兰下的位置**。

眼在手上：

1,2 号表格为**相机在法兰下的位姿**。1 号表格内的表达形式与输入机器人数据类型相同，2 号表格内的表达形式为刚体变换矩阵。

3 号表格为**标记在基座下的位置**。

4.5 结果验证

4.5.1 眼在手外

以下介绍两种验证方法。方法一较简便，方法二适用于在怀疑标定数据不准确时查找问题所在。

注意

人类的目视极限约为 0.2 mm。如果需要 0.2 mm 以下的标定结果验证，以下方案均不适用，请尝试其他方法。

方法一：

将标记在法兰下的位置数据设置为机器人 TCP，即工具坐标系。切换工具坐标系到该坐标系，尝试绕该 TCP 点做笛卡尔空间选择，观察标记物十字中心是否在空间基本不动。

提示

关于如何将标记在法兰下的位置数据设置为 TCP，请咨询机器人公司售后人员，或咨询本公司售后服务。

提示

使用顶针顶住标记物十字中心，可以更清晰地观察。

方法二：

请按照以下步骤进行操作。

(1) 在机器人末端安装顶针，以顶针尖端作为 TCP 示教，并设置为当前工具坐标系。

提示

关于如何示教 TCP 并设置当前工具坐标系，请咨询机器人公司售后人员，或咨询本公司售后服务。


(2) 打开 RVCManager（或 RVC SDK）使用相机拍摄，保存相机坐标系下带色彩信息的点云（“点云颜色”勾选“像素”）。“点云数值单位”应与之前所设置的机器人 XYZ 数据单位一致。

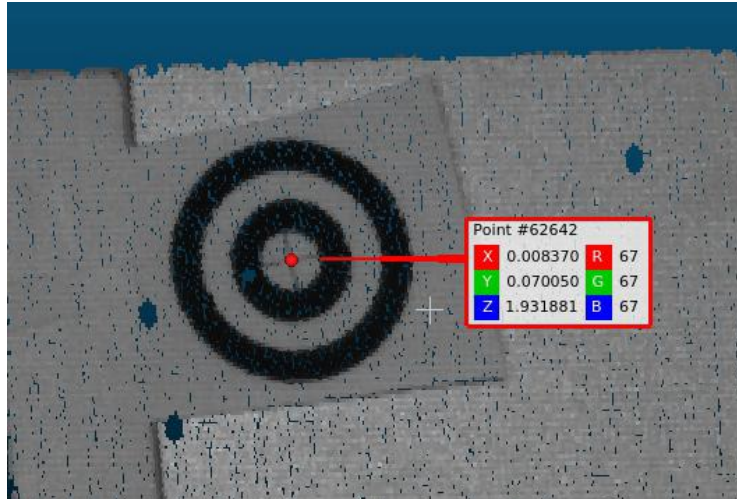


(3) 下载、安装 CloudCompare 软件（<https://www.danielgm.net/cc/>），使用 CloudCompare 打开前一步所保存的点云。

(4) 选择点云，点击“Edit”菜单，选择“Apply transformation”。

(5) 将**相机在基座下的位姿**以矩阵形式拷入对话框，点击按钮【OK】。

(6) 选择点云，点击工具栏“Point Picking”按钮，选择标记物十字中心（若十字中心在圆环四周，请选择四周的十字中心；若无法确定是否是哪一个十字，请裁剪或涂抹去其余三个）。



CloudCompare 选择标记物十字中心

提示

可以点击 CloudCompare 点云显示窗口左上方 “default point size” 的 “+” 号，以提高显示效果，方便找到十字中心。

(7) 手动操作机器人，将机器人顶针触碰标记物十字中心，比较示教器上此时 TCP 在机器人基坐标系下的数值和 CloudCompare 标记物中心点的位置误差。

提示

可在多个需要测试的位置放置标记物。一次成像后，逐个检测，避免重复操作。

4.5.2 眼在手上

- (1) 在机器人末端安装顶针，以顶针尖端作为 TCP 示教，并设置为当前工具坐标系。
- (2) 移动机器人，使得顶针触碰机械臂外所粘贴标记物的十字中心。
- (3) 对比机器人示教器上 TCP 在基坐标系的数值与计算出的**标记在基座下的位置**。

5 常见问题及解答

(1) 是否支持用户自己标定相机内参？

目前除了 X-mini，其他型号相机暂不支持用户自行标定相机内参。

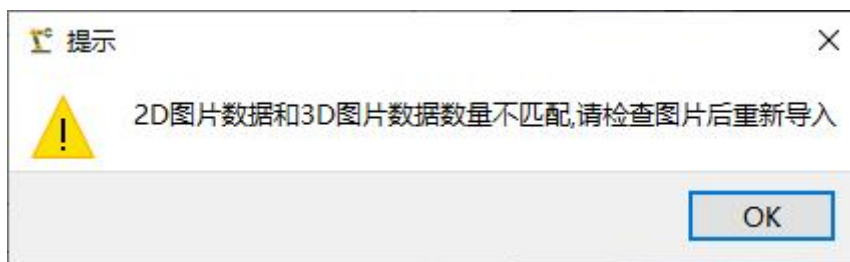
(2) 手眼标定软件打开后显示仅支持 XXX.版本 SDK。



① 请联系技术支持，获取对应版本的手眼标定软件或 RVC SDK。

② 建议下载手眼标定软件 v2.0 以上版本。新版本解除了对 RVC SDK 的版本要求，可在 RVCManager/RVC SDK 中先完成数据采集，再导入手眼标定软件进行数据计算。

(3) 导入 2D 图与点云后，弹框提示图片数量不匹配。

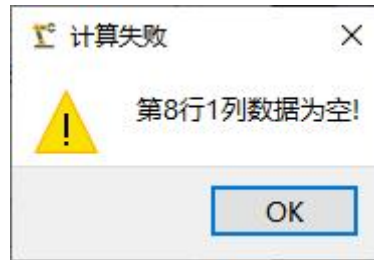


此情况通常是导入数据过程中操作错误导致的。

① 检查文件夹路径是否正确。

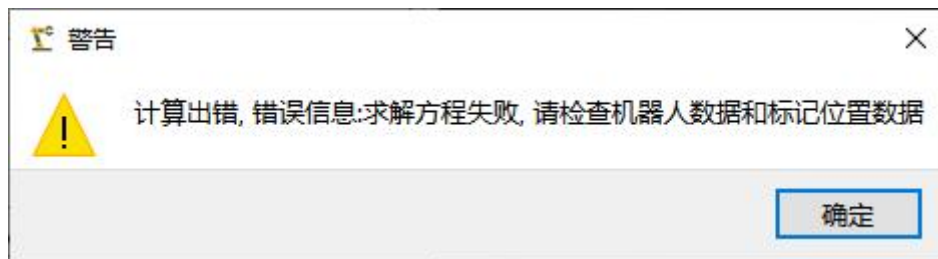
② 检查 2D 图与点云的数量及序号是否能对应上。如果有几组 2D 图与点云不能对应上，应删除这几组数据，重新采集。

(4) 计算失败，弹框提示部分位置数据为空。



- ① 检查机械臂的位姿数量与标记物的数量是否一致。
- ② 检查对应数据栏是否为空。结果数据对表格中如果有空的条目，需要补全空的数据，否则无法进行计算。

(5) 计算出错，弹框提示求解方程失败。



出现求解失败时，需要检查以下项目：

- ① 检查机器人数据单位是否勾选正确。
 - a. 对于 XYZR1R2R3 类型，XYZ 应为米制，R1R2R3 应为弧度制；
 - b. 对于 XYZR1R2R3R4 类型，XYZ 应为米制。
- ② 检查相机部署方式（眼在手上/眼在手外）是否勾选正确。
- ③ 检查采集数据时选择的点云坐标系，应选用相机坐标系。
- ④ 检查标记物或相机是否有移动。
- ⑤ 检查机器人坐标系是否选择正确、是否按照要求移动机械臂。移动过程中，应避免出现以下情况：

- a. 机器人末端在同一平面上；
- b. 机器人末端旋转相同；
- c. 机器人末端移动距离过小（视相机视野而定。通常视野越大，移动距离越大）。

⑥ 检查点云及 2D 图的数据是否有异常。

⑦ 检查机械臂的位姿是否抄写错误。

⑧ 检查相机与机械臂的精度是否异常。

⑨ 如果以上操作均无误，在采集页勾选【暴力搜索】，并适当增加最大误差值。

结果数据													
	X	Y	Z	操作	X	Y	Z	R1	R2	R3	R4	操作	
1	0.0485066	-0.0160603	0.472832	粘贴	-0.75894	0.00508686	0.357819	-0.0110551	0.0314257	0.767078	0.640688	粘贴 删除	<input checked="" type="checkbox"/> 未
2	0.120156	0.00911844	0.435732	粘贴	-0.716477	0.0203669	0.415912	-0.136376	0.101862	0.736044	0.655183	粘贴 删除	<input type="radio"/> 眼在手上
3	0.168624	0.0123762	0.451345	粘贴	-0.744411	0.0703303	0.41045	-0.0758769	0.161543	0.720762	0.669813	粘贴 删除	<input checked="" type="radio"/> 眼在手外
4	-0.0379211	-0.0950393	0.550432	粘贴	-0.820355	-0.0195256	0.270469	0.0275525	-0.101048	0.781988	0.61443	粘贴 删除	<input checked="" type="checkbox"/> 暴力搜索
5	-0.0628769	-0.0788999	0.515333	粘贴	-0.783723	-0.0384742	0.306278	-0.00051...	-0.163742	0.792054	0.58808	粘贴 删除	最大误差(m): 0.0020
6	-0.002049...	-0.0836419	0.525757	粘贴	-0.784402	0.0205756	0.306325	-0.00665...	-0.163548	0.769367	0.617481	粘贴 删除	清空
7	0.129767	-0.0891074	0.575403	粘贴	-0.783116	0.152506	0.279653	-0.0166969	-0.158962	0.714558	0.681072	粘贴 删除	导入
8	-0.0880421	0.0347013	0.543978	粘贴	-0.646943	-0.097766	0.272566	-0.118578	-0.115297	0.808396	0.564927	粘贴 删除	导出
													添加
													计算

(6) 如果标定结果不佳，可如何改善？

如果使用的相机支持双目模式，尝试在双目模式下再次标定。

深圳市如本科技有限公司

企业总部：深圳市南山区关口二路智恒产业园 27 栋 1 层

研发中心：上海市长宁区金钟路 658 号东华大学科技园 4 号楼 1 层

总部邮编：518052

服务热线：400-0419-900

企业邮箱：sales@rvbust.com

公司网站：www.rvbust.com