

AiSpekt 3D Sensor 产品手册

D200 系列

文档版本 1.0.0

2019/07

目 录

一、AiSpekt 产品简介.....	1
二、设备安装和配置.....	3
2.1 设备概要.....	3
2.1.1 设备清单.....	3
2.1.2 外观及接口.....	3
2.1.3 线缆.....	5
2.2 设备固定安装.....	6
2.2.1 固定方法.....	6
2.2.2 放置要求.....	6
2.3 网络配置.....	7
2.3.1 客户端配置.....	7
2.3.2 设备网络配置.....	7
三、基本概念与特性.....	8
3.1 工作距离，视野，景深.....	8
3.2 双目与单目模式.....	8
3.3 多重曝光.....	9
3.4 坐标系与坐标转换.....	9
3.5 点云后处理.....	10
四、基于 Web 的软件图形界面.....	10
4.1 概览.....	10
4.2 设置界面.....	11
4.3 影像界面.....	13
4.3.1 简介.....	13
4.3.1 投影操作.....	14
4.3.2 相机操作.....	14
4.4 点云界面.....	15
4.4.1 简介.....	15

4.4.1	配置文件	16
4.4.2	扫描操作	16
4.4.2	保存点云	18
4.4.3	投影参数	18
4.4.4	扫描参数	19
4.4.5	点云滤波参数	21
五、	Restful API SDK	23
5.1	Restful API 简介	23
5.2	接口说明	23
六、	标定程序	24
6.1	标定原理及准备工作	24
6.1.1	单目标定原理	24
6.1.2	双目标定原理	25
6.1.3	相机投影仪标定原理	26
6.1.4	准备工作	26
6.2	单目标定	27
6.3	双目标定	29
6.4	相机投影标定	31
6.5	常见问题及解决方案	33
6.5.1	单目标定	33
6.5.2	双目标定	33
6.5.3	相机投影标定	34
6.6	最后工作	34
七、	产品详细规格	35
7.1	产品技术规格	35
7.2	外形尺寸图	36
7.3	视野描述图	37
八、	支持与联系	38

一、AiSpekt 产品简介

AiSpekt 3D Sensor 是一款由双目相机和单目投影所组成的快照式三维扫描传感器，其主要原理基于结构光相移算法，能轻易获取由可达 500 万个点所组成稠密三维点云，精确描述被扫描物体细节，是称为可移动、在线的三坐标测量机（CMM）。在内嵌 GPU 加速单元的帮助下，生成单幅点云的速度可达 2-6hz，精度高达 15-30 微米。适用于各类逆向工程，3D 质量检测，物流分拣等场景，广泛应用于高铁车身制造、航空航天等高端制造，以及电子制造 AOI、5G 射频制造等行业。

设备本身精简小巧，直接输出点云，无需额外高性能 PC 处理。可快速集成到流水线或者机械臂上。基于以太网和 WIFI 的通信接口有利于设备入网及大规模部署应用。

AiSpekt 3D Sensor 已经推出有 D800/D600, D200 和 D60 等型号。D800 是为高铁车身制造以及风力叶片制造特别订制的；D600 是 D800 的通用型，具有同样的大视野，同时兼有快速获取精密三维点云的能力；D200 和 D60 则专注于电子制造 3D AOI 和 5G 射频制造等场景。

D600 和 D60 的主要参数指标如下表所示：

D600 技术规格表	
扫描速度 (hz)	2-6
像素	双目 500w
扫描距离 (mm)	590 - 1000
视野 (mm)	600 * 375.3 - 1000 * 625.7
Z 方向精度 (um)	50 um
XY 分辨率 (mm)	0.3 - 0.5
外观尺寸 (mm)	330 * 248 * 89.5
光源	白光（蓝光）
数据接口	千兆以太网
输入（可选）	差分编码器，1 路数字信号触发器
输出（可选）	2 路数字信号输出，RS485
电压	DC12V (60w)
机身防护	IP66

温度

工作温度 0-40 存储温度 -10-60

表1. D600 技术规格

D60 技术规格表	
扫描速度 (hz)	2-6
像素	双目 500w
扫描距离 (mm)	89.5 - 109.5
视野 (mm)	67.3 * 42 - 82.5 * 51.6
Z 方向精度 (um)	10 um
XY 分辨率 (mm)	0.03 - 0.04
外观尺寸 (mm)	290 * 252 * 66.5
光源	蓝色 UV 光
数据接口	千兆以太网
输入 (可选)	差分编码器, 1 路数字信号触发器
输出 (可选)	2 路数字信号输出, RS485
电压	DC12V (60w)
机身防护	IP66
温度	工作温度 0-40 存储温度 -10-60

表2. D60 技术规格

本手册着重介绍 D200 的产品特性及使用。D200 面向中小规模场景，专门针对手机 3C 制造与检测，小型工件尺寸与表面质量评估，机械臂自主分拣等应用场景。

二、设备安装和配置

2.1 设备概要

2.1.1 设备清单

类型	数量
硬件部分	
设备主体	1
信号线（可选）	1
网线	1
电源线	1
标定板	1
软件部分	
Aispekt 标定程序	1
Aispekt Computing Server (内嵌于设备)	1

表3. 设备清单

2.1.2 外观及接口

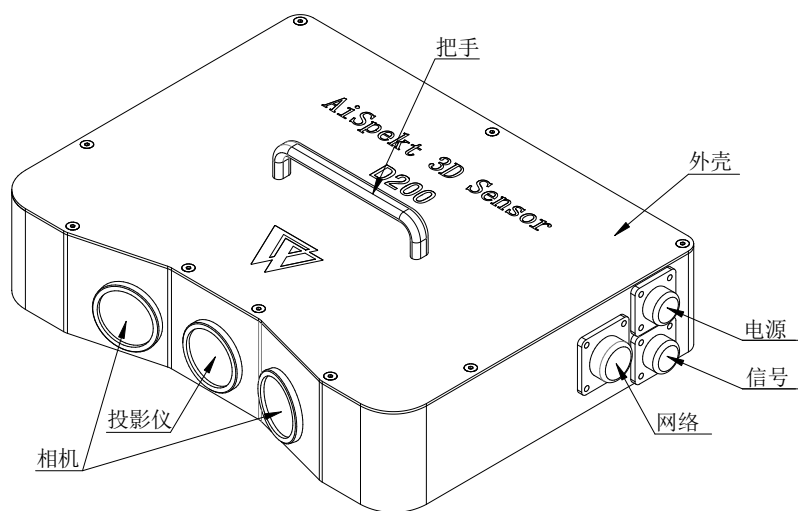


图1.设备外观说明图

项目	功能描述
投影机	结构光光源，投射结构光
相机	观察目标表面反射结构光用于 3D 建模

外壳	内部零件安装和外部固定
把手	辅助安装/拆卸
网口	100M/1000M 以太网
电源	DC12V8A
信号（可选）	信号输入/输出

表4.基本结构及功能



图2.设备实物图

黄色	网线接头，连接网络线插头
黑色(上)	电源接头，连接电源航空插头
黑色(下)	信号接头，连接信号线航空插头

表5. 设备接口说明



图3. 设备接口图

2.1.3 线缆

电源线一端通过三角插头接入电源，另一端通过航空插头与设备交互和供电；安装时需要注意，航空插头卡槽位与设备电源接口对齐，取出时需要按下卡簧弹片。



图4. 电源线

网络线一端网线接头外接 100M/1000M 以太网，另一端通过航空插头与设备交互。安装时需要注意，航空插头卡槽位与设备网络接口对齐，取出时需要按下卡簧弹片。



图5. 网络数据线

接通电源后，内部开始工作，接通网络线，数据实现输入/输出，待内部环境运行稳定，测量即可正常开始。



图6. 整机及接线

2.2 设备固定安装

设备与安装座通过 M5 内六角圆柱头螺栓进行固定；网线、电源线、信号线通过航空插头与 Sensor 实现交互。

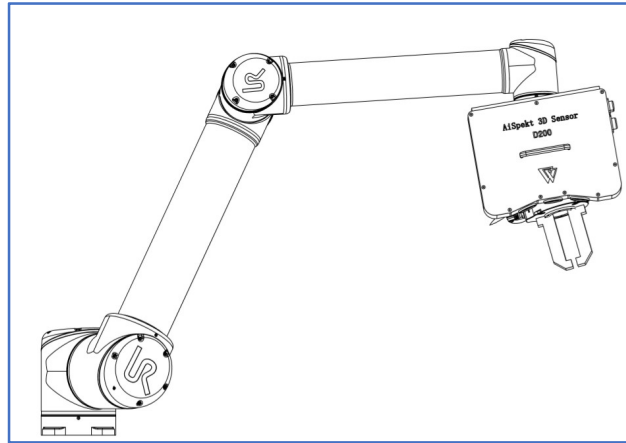


图7. 机械臂集成示意图

2.2.1 固定方法

设备与安装座通过螺栓进行连接、固定。安装过程需要适当注意，螺栓锁紧扭矩按照国家标准执行。保证螺纹孔、螺栓不会因为操作不当损坏。

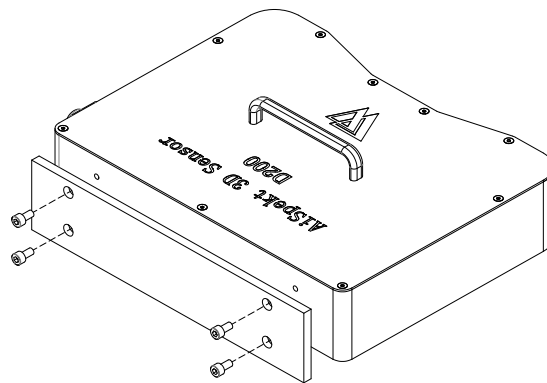


图8. 螺纹固定示意图

2.2.2 放置要求

设备不应安装在可能遮挡投影仪投射光路、相机入射光路附近。以确保安装视野不被遮挡。

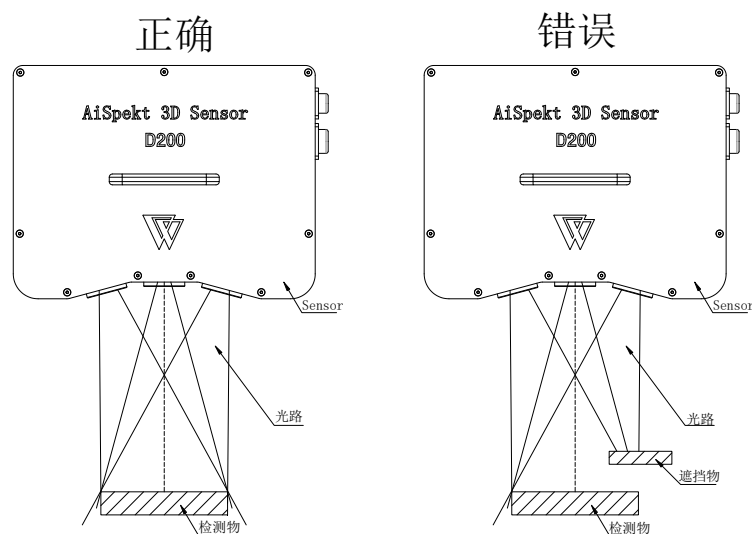


图9. 固定姿态图

设备与机械臂或其他测量平台固定，线缆应预留适宜长度，线缆应固定，且不得阻碍运动件运动。

该设备为高精度测量设备，测量精度会受到温度影响，请勿将设备放置到超出工作温度范围外的环境下工作。

2.3 网络配置

2.3.1 客户端配置

客户端连接只需准备一台带有以太网连接的 PC。连接时，将 PC 还有设备连接至同一台路由器即可。同时，用户需参考路由器厂商提供的手册将路由器配置到和 PC 及设备同一网段。出厂时，设备的网络 IP 地址为 192.168.31.10。

除此以外，设备本身还配有 Wifi 热点。SSID 为 aispekt, 密码为 aispekt123, ip 地址为 10.42.0.1。用户可以选择连接至此热点对设备进行控制。但由于网络性能等因素，不推荐采用无线方式进行大批量的点云数据采集。

2.3.2 设备网络配置

用户可以登录 GUI 界面对设备以太网接口进行配置。目前仅支持静态 IP 地址，请牢记更改后的新地址。WIFI 接口则不支持 IP 设置更改。如若遗忘以太网 IP 地址，可通过 WIFI 接口登陆 GUI 界面重新配置。

三、基本概念与特性

3.1 工作距离，视野，景深

工作距离是指设备前端到待扫描物体的距离，距离过近或者过远都将严重影响扫描质量。

视野分为近距离视野和远端视野，该视野规定了水平方向面积的大小。超出该区域的物体将无法被相机和投影覆盖，导致最终采集的图像不完整。

景深是单次扫描时，待扫描物体在深度方向最大可变化区间。超出该区间的物体无法在相机上清晰成像，且投射纹理模糊。

实际测量时，须确保待测物体所在方位同时满足上述三个条件。

具体参数值和图片示例请参考第7章节。

3.2 双目与单目模式

双目模式下，仅依靠双目相机进行三角化点云计算，投影的作用在于增加纹理特征，两台相机通过特征匹配找到对应的像素点。投影无需参与提前标定。双目模式一般而言更为稳定，且精度较高。但缺点在于视野范围可能有一定限制。而对于表面起伏较大，遮挡效应较为严重的扫描物体，某些细节之处两台相机无法做到同时覆盖，因而无法生成有效点云。

单目模式下，投影被当作一台特殊的相机，只需一台相机和一台投影便可进行三角化点云计算。投影必须提前参与标定。由于一共有两台相机和一台投影，待扫描物体某些遮挡部位只需被其中一台相机和投影覆盖即可，从而增大了有效扫描区域。单目扫描比较适合检测某些角度相对苛刻的物体，缺点在于稳定性和精度有限，非常依赖于投影的本身的稳定性。此外，如果需要取得最为完整的点云，后期还需要将两部分点云进行融合，会额外增加处理时间。对于精度有要求的场景，推荐使用双目模式而非单目模式。单目模式目前只适用于观察和采集双目视野无法覆盖的地方。

3.3 多重曝光

对于不同颜色材质的物体，获得最佳图像质量所需的曝光值并不一样。例如，暗色物体需要曝光较大，而轻微反光和较亮的物体则需要较小曝光。当扫描空间中同时出现灰度变化幅度较大的多个部分时，单次曝光将无法满足要求。多重曝光就是为了解决这个问题而产生的。设备将多次曝光采集不同的图像，并用算法进行融合生成最佳质量的图像以用于计算点云。需要注意启用多重曝光功能时，采集图像时间将会成倍增加（倍数等于曝光次数），但不会过多影响计算时间。多重曝光适用于灰度动态范围大，但灰度层次数目不大的场景：例如一个黑色物体放置于白色背景之下。而通常情况下一般无需使用多重曝光。过分依赖多重曝光会引入较多噪点。

3.4 坐标系与坐标转换

设备本身拥有三个坐标系，即左相机坐标系，右相机坐标系和投影坐标系。xyz 轴的朝向如下图所示。

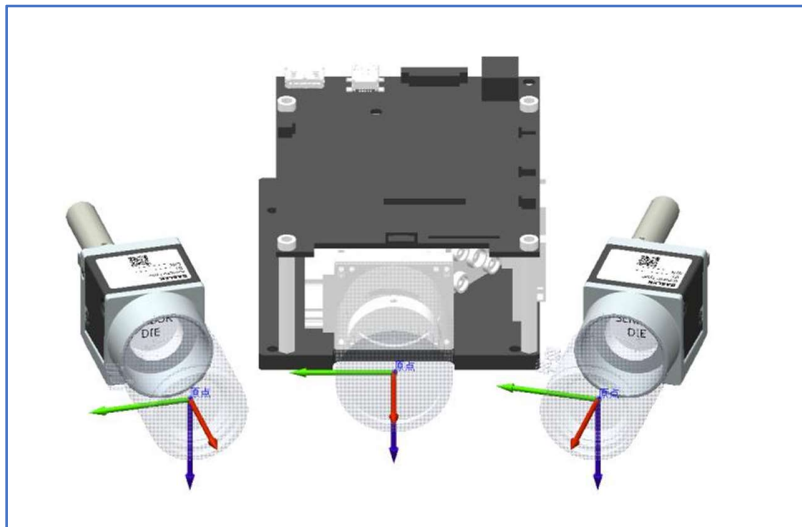


图10. 坐标示意图

在左单目模式下，产生的点云坐标系位于左相机坐标系。右单目模式下，产生的点云坐标系位于右相机坐标系。双目模式下，产生的点云坐标系位于左相机坐标系。以图 10 为例，蓝色是 y 轴，红色为 z 轴，绿色为 x 轴。

某些场景下可能需要将生成的点云转化到其他坐标系下。用户可以选择使用出厂额外配置的标定程序和标定版，自行计算出相机坐标系到标定板之间的坐标转换关系。然后再依据其他工具计算出目标坐标系到标定板坐标系之间的坐标转化关系。最后利用链式法则将相机坐标系和目标坐标系结合起来。这里计算出来的坐标转化关系可以反推出平移分量和旋转分量，分别填入下文“坐标系转换”模块中，如此生成的点云即位于目标坐标系中。

3.5 点云后处理

为了减轻后续点云处理负担，设备内嵌了四种常见的基于 GPU 实现的快速点云滤波算法，能够对产生的点云快速的初步处理。用户可以选择启用哪些滤波。具体应用时，系统将会按照：去噪滤波→平滑滤波→均匀点距/降采样的优先级顺序进行。均匀点距和降采样只会应用其中一种，不会同时启用。

要注意，如果采集的点云噪点很多，点云滤波可能在某些情况下会被噪点干扰，从而产生错误的滤波效果。

四、基于 Web 的软件图形界面

4.1 概览

整个 GUI 界面基于 Web 浏览器，用户插上网线后即可在浏览器中输入地址后直接访问。默认 ip 地址为 192.168.31.10。

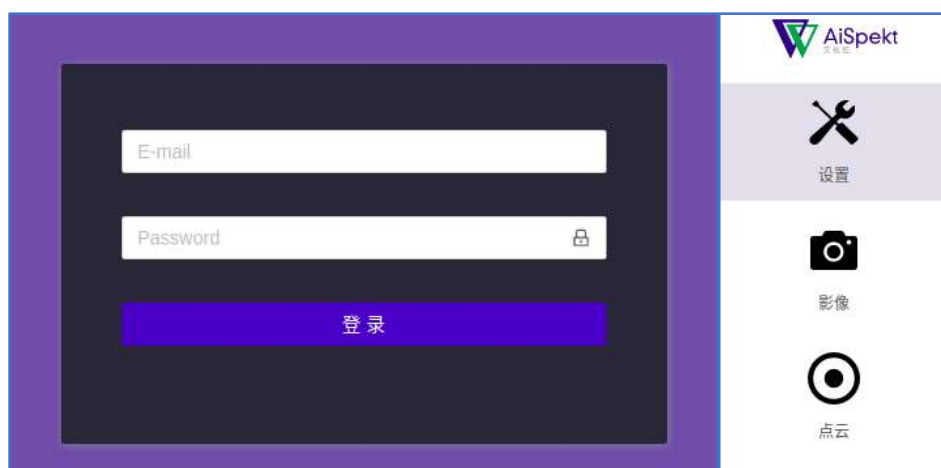


图11. 登录界面及大标题

主界面分为三个部分，设置，影像和点云。

4.2 设置界面

设置界面主要用于对整个系统进行基本的配置。



图12. 配置选项

在传感器系统一栏展示目前系统的基本状态。可以点击“关机”按钮进行软关机。虽然传感器支持直接断电操作，但软关机仍旧是推荐的关机方式。

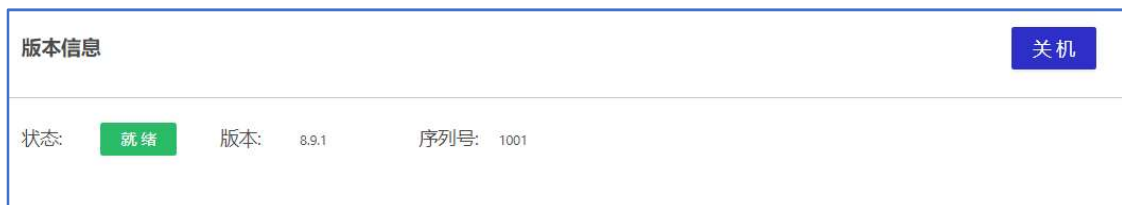
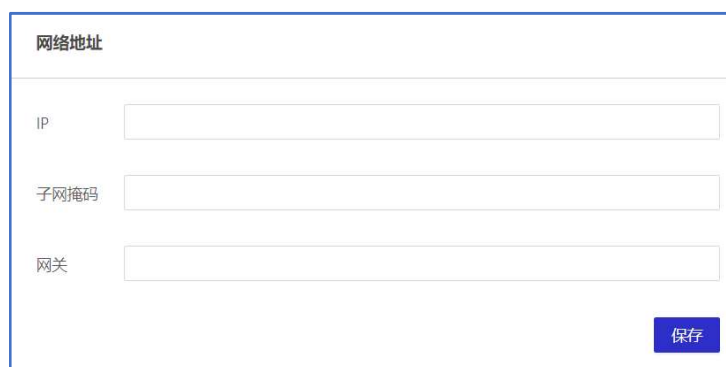


图13. 版本信息

网络一栏负责整个传感器设备的以太网 IP 配置工作。在 IP 配置完成后，原有 IP 将会失效。请务必记住修改后的静态 IP。设备目前只支持静态 IP。如果忘记修改的 IP，可通过 WIFI 连接重新设置以太网 IP。



网络地址

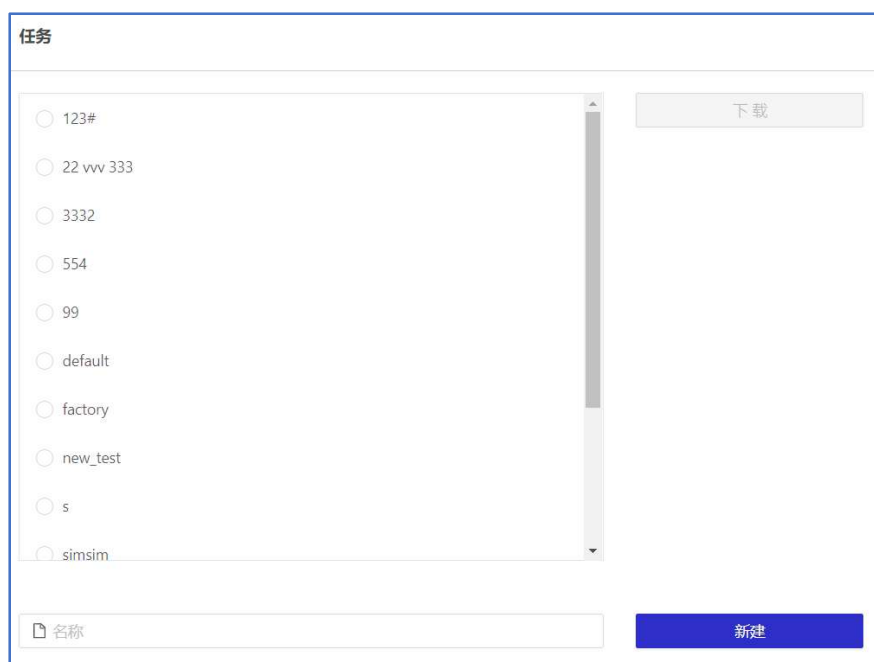
IP

子网掩码

网关

图14. IP 配置

配置文件一栏列出了所有的任务，用户可以删除，新建和修改各类任务，一种任务本质上对应一个配置文件，其中记载了扫描中会用到的所有的参数信息。用户在进行扫描时，可以选择载入这些预先设定好的任务。



任务

123#

22 vv 333

3332

554

99

default

factory

new_test

s

simsim

图15. 任务配置

设置管理密码提供修改密码功能。请牢记您的新密码。如果出现忘记密码的情况，请联系我们。

管理员	
原密码	<input type="text"/>
新密码	<input type="text"/>
确认新密码	<input type="text"/>
更改密码	

图16. 密码配置

支持页面可以下载浏览各类文档。

用户手册	打开HTML版本	下载PDF版本
在线REST-API文档	查看	

图17. 支持页面

标定文件上传。用户在使用自带的标定程序将相机标定后，通过此接口将标定文件上传。标定文件有三个，一是双相机标定，二是左投影相机标定，三是右投影相机标定。标定文件上传后，系统将会自动做出验证，如果出现错误请检查是否误传。验证通过之后，系统将自动载入最新的标定数据，无需重启设备。

文件上传		
双相机标定参数	左相机投影标定参数	右相机投影标定参数

图18. 标定文件上传

4.3 影像界面

4.3.1 简介

影像界面提供相机画面实时预览功能，主要用于确定工作距离，工作环境，调节相机参数等。

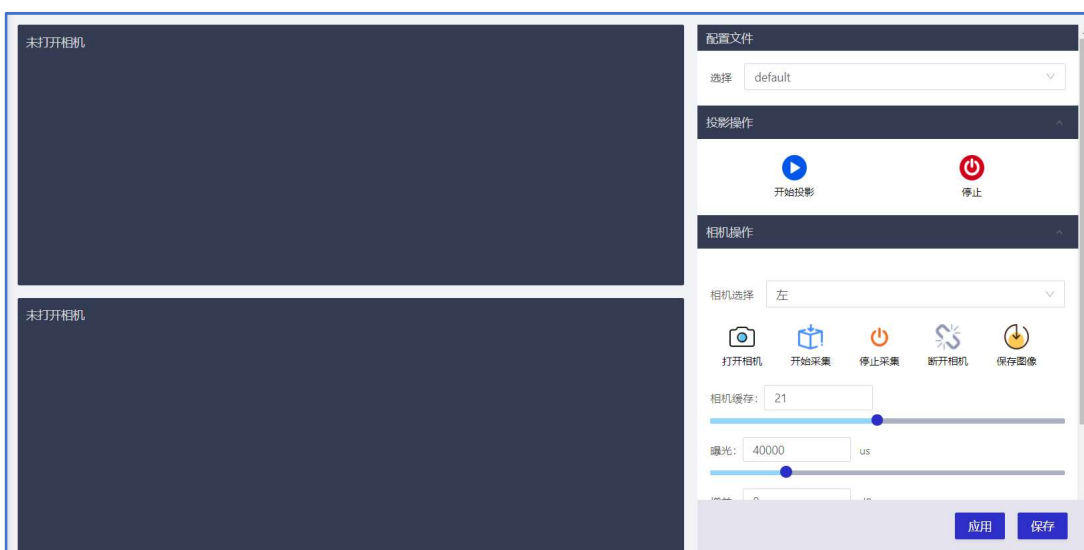


图19. 影像界面

对相机进行操作时，需注意相机目前的状态。界面本身不会记录相机的状态，用户需要根据具体操作的返回值（即日志）来判断操作是否成功。如果不清楚相机目前的状态，可以尝试“停止采集”->“断开相机”。即可重新恢复相机关闭状态。

4.3.1 投影操作

投影操作一栏，用户可选择打开投影或者关闭投影，根据投射出的纹理图的清晰度判断带扫描物体是否处于正确的工作区间内。

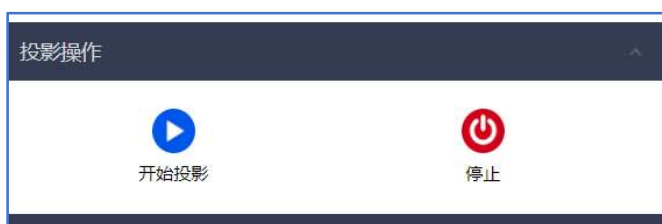


图20. 投影操作

4.3.2 相机操作

相机操作一栏，可对相机进行诸如打开，开始采集，停止采集等操作。并提供四种参数的配置选项。实际使用时，需根据实际周围环境，不断尝试找出最佳的相机参数。否则，例如亮度不足或者过高，都会直接影响最后的测量精度。

开始采集后，页面会持续输出视频流，点击保存图像可下载最近的一张图片。点击图片本身将会对图片进行放大显示。同时也可以选择使用鼠标滚轮进行进一

步的放大操作。此功能主要用于确定工作距离。若正确摆放待测量物体至规定区域内，物体在相机中的成像应该清晰可辨。否则，请调整物体摆放位置和姿态，直到清晰为止。

页面最顶部提供了选择配置文件的选项。选择一项任务，其中包含的参数都会加载到页面中对应的框体。用户修改参数后，点击“应用”则会直接应用到相机中，以便实时预览修改后的效果。如果确认该参数准确无误，则可以点击“保存”将参数写入当前配置文件中。



图21. 相机操作

4.4 点云界面

4.4.1 简介

点云界面主要提供对扫描过程所涉及具体参数的设置，以及生成点云效果的预览和导出等功能。

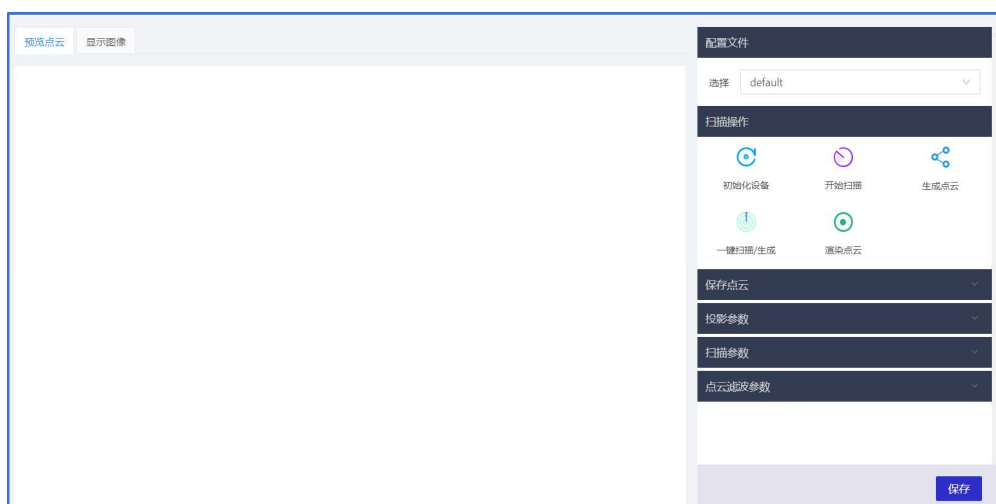


图22. 点云界面

基本的操作顺序为：

- 1) 选择要使用的任务（配置文件）；
- 2) 依次编辑下方的各种参数；
- 3) 点击保存，保存参数；
- 4) 开始扫描相关操作。

4.4.1 配置文件

页面最顶部提供了选择配置文件的选项。选择一项任务，其中包含的参数将会加载到页面中对应的框体。最后在页面最下方点击保存，会将所有配置参数写入对应的任务中。

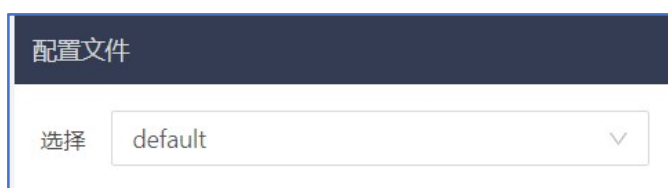


图23. 配置文件选择

4.4.2 扫描操作

扫描操作一栏，封装了常见的点云操作。

- 1) 初始化设备。选择定好任务，点击该按钮后，设备将依据配置参数进行初始化工作。如果初始化过程中出现错误，将会在日志栏中给出提示。设备只需初

始化一次即可，不用多次初始化，除非参数出现了变化。初始化设备失败的可能的原因在于：

①投影和相机硬件故障，重启后恢复。

②投影参数和相机参数不匹配，尤其注意相机的曝光时间和投影的曝光时间，以及投影的周期三者之间的相对关系。投影周期必须大于相机的曝光时间，投影的曝光时间必须小于相机的曝光时间。

③相机状态异常。可参照上文步骤恢复相机关闭状态。

另外，在某些情况下，后台会自动修正并覆盖错误的参数配置。在左/右单目模式下，投影的周期必须大于 35000us。在双目模式下，投影周期必须大于 14000us。

2) 开始扫描。点击后，设备将投出结构光，相机会捕捉投射出的纹理。如果参数不发生变化，可以反复点击开始扫描。设备将进行新一轮的扫描，并丢弃上一次的扫描结果。

3) 生成点云。点击后，设备将根据刚扫描获取的图片，计算出一幅新的点云。

4) 一键扫描/生成。即 2 和 3 步骤的联合。

5) 渲染点云。点击后，浏览器将会从后台加载最新生成的点云，渲染时长依赖于点云包含点的个数，请耐心等待。



图24. 扫描操作

在中间主页面上方会有两个选项卡，如果需要观察采集到的图片，则可以点击显示图像。之后会展现刚扫描获取的图片。点击图片本身可以放大展示，以确定拍摄质量，有针对性的调整参数。如果需要观察点云，那么点击预览点云即可。

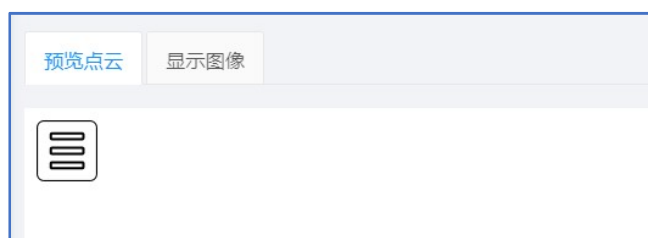


图25. 预览选项卡

显示图像切换到显示图像一栏后，还会提供“保存图像”和“刷新图像”的按钮。点击“保存图像”可将所有的图像序列下载到指定文件夹下，服务端会将所有图片打包成 zip 供下载。“刷新图像”则是每次扫描过后，点击该按钮预览实时生成的图片数据。该功能主要面向标定使用，导出的图像将作为下文标定程序的输入。注意由于是无损图像，占用的存储空间较大，下载时间约为 30s（10MB/s 网速），请耐心等待。

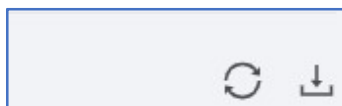


图26. 保存和刷新图像

4.4.2 保存点云

目前支持 ply 和 xyz 两种点云格式的导出。二进制形式其存储空间最小，导出保存速度快。非二进制形式的点云方便直接以文本形式预览数据。点云导出的速度较慢，请耐心等待。

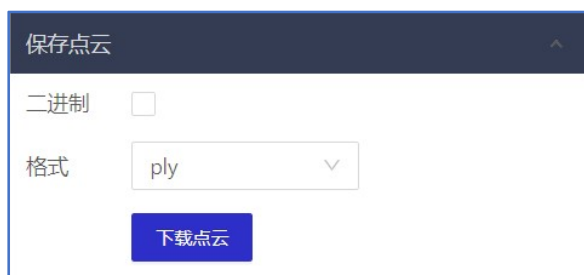


图27. 下载点云

4.4.3 投影参数

投影周期确定投影将以何种频率投射条纹光。投影周期必须大于相机的曝光时间，投影的曝光时间必须小于相机的曝光时间。投影亮度决定投射光的亮度情况。时间参数均为微秒。

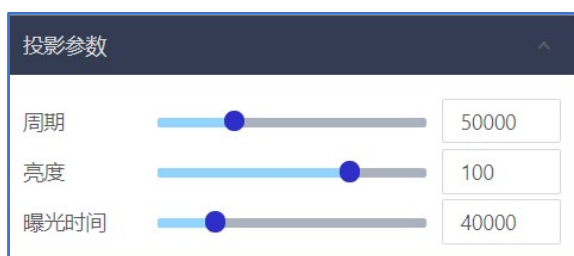


图28. 投影配置

4.4.4 扫描参数

设备支持双目和单目两种模式（可参见 3.2 节）。有效区域指图像中实际参与计算的区域，选择区域的大小会影响设备的速度，以及噪点的数量。U 坐标即横轴坐标，V 坐标即纵轴坐标。UV 均针对图像区域。X/Y/Z 的最大值/最小值确定了三维包围盒，计算出的点云将会据此进行裁剪，只会保留包围盒内部的点云数据。

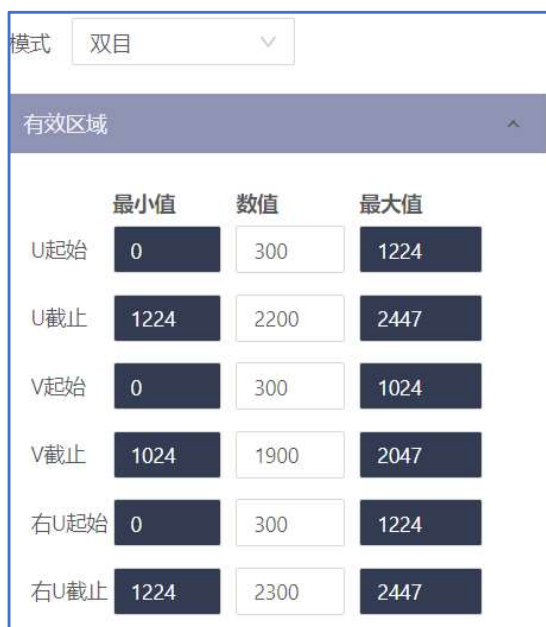


图29. 有效区域

坐标系转换包括旋转变换和平移变换（可参见 3.4 节）。旋转变换包括 3 个旋转角和 3 个平移分量。用户可以以某个位姿的标定板作为标准参照，计算出相机坐标系到该标定板坐标系的旋转平移分量，作为参数写入设备，生成的点云将会以此做出变换，方便后续点云的处理和分析。

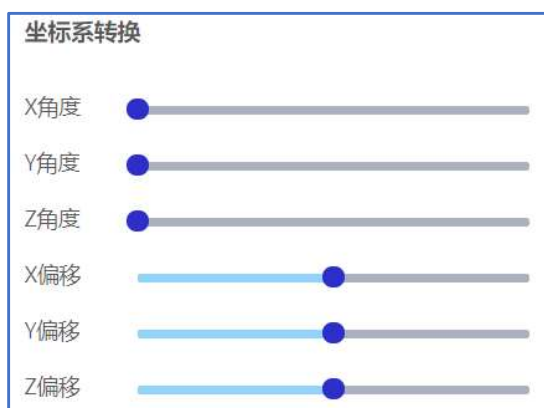


图30. 坐标系转换

曝光模式（可参见 3.3 节）。在单曝光模式下，以相机曝光和投影曝光时间为准。在多重曝光模式下，可自定义至少 2 组，至多 5 组曝光值。设备将依此曝光值采集多组数据，而后利用 HDR 算法进行融合以获取最佳对比度的图像序列。多曝光模式下，相机和投影的曝光时间以及周期时长将以此处所选曝光值为参考。而在上文所述其他模块中单独配置的相机和投影相关参数会被此处的值所覆盖。



图31. 曝光模式

高级。在扫描物体周围环境较为复杂，例如环境光较为强烈时，或者扫描物体本身存在阴影时，算法无法区别出有效区域和无效区域，从而产生较多噪点和无效点云。面对此种情况，可以勾选“环境光去除增强”模式，或者将阴影阈值调节成较大值，以获得较强的噪点去除和背景去除效果。此种模式下，由于需要额外采集一张图片，因而会延长整个采集时间。

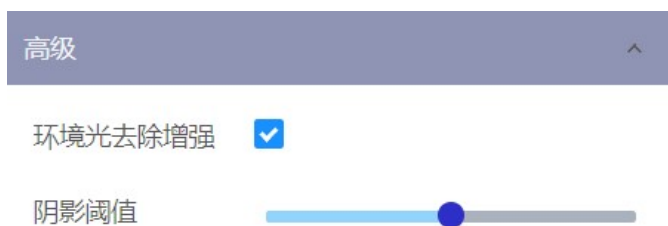


图32. 高级参数

4.4.5 点云滤波参数

点云滤波参数。以勾选方式选中表示是否启用该滤波。滤波处理均针对 3D 点云本身，而非 2D 图像数据。虽然速度较快，但仍旧会消耗计算资源，延长计算时间。设备内部以串行的方式依次执行所启用的点云滤波。



图33. 点云滤波参数

1) 高斯滤波可以对点云本身进行高斯平滑，对于点云中的每个点，以该点为中心，以高斯分布给周围的一定半径的点分配相应的权值，然后按照该权值对 z 值进行加权平均。因而，半径越大，方差越小，平滑效果越强，但如此也可能损失更多的细节。

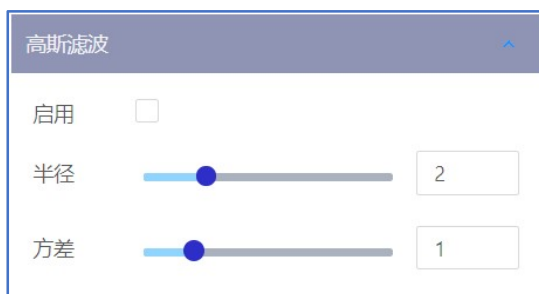


图34. 高斯滤波

2) 去噪滤波以每个点到周围一定半径内的平均点距作为参考标准，平均点距若高于某一阈值，则认为该点为噪点而被去除，反之则会保留。半径越大，阈值越小，去掉的噪点越多，同时也可能去除掉不是噪点的点，以及某些位于点云边界区域的有效点。

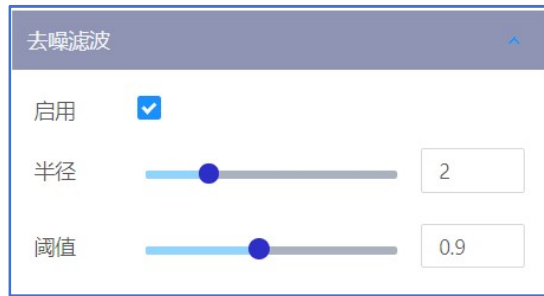


图35. 去噪滤波

3) 均匀点距。对点云进行重新采样，使得新采样生成的点云在 xy 方向的间隔各自保持一致，重新采样后的新的单点 z 值则通过其周边原有点云的 z 值插值算出。由此可知，如果间隔越大，点就越稀疏，数据量越小。注意此滤波可能引入一部分人工特征。

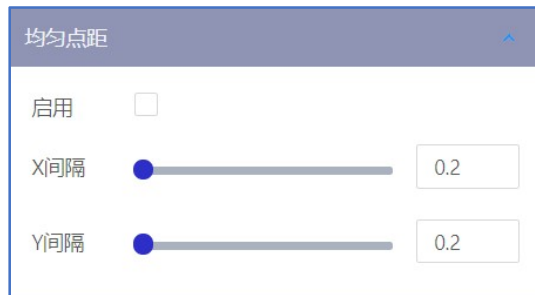


图36. 均匀点距

4) 降采样。和均匀点距不同，此处 x 间隔和 y 间隔是指原点云降采样间隔，而非新生成点云的点间隔。在每个降采样区间内，求取每个单点在 $x/y/z$ 三个方向上的均值，计算新的单点。该滤波对细节保持的相对较好，不会引入其他人工特征。同时， x/y 间隔越大，点越稀疏，数据量也更小。



图37. 降采样

五、Restful API SDK

5.1 Restful API 简介

REST 是一种软件架构技术，它将互联网上的服务抽象为资源，并预定义了面向这些资源的一系列无状态操作。REST 是目前互联网最主流的 API 调用方式之一，具有灵活简洁强大的特色。

Aispekt SDK 以 REST 为基础，构建了针对设备资源的 API 操作。因此，对设备的操作便可摆脱繁复冗余的特定物理接口和实现协议，只需最简单的网线，通过 HTTP 请求，就能依托互联网对设备进行控制。

另外，未来设备将提供硬触发信号接口，用于完成对时间有严格要求的通信控制。但其他绝大部分对实时性并不敏感的操作，RESTful-API 将是最好的选择。

5.2 接口说明

详细接口文档可通过 GUI 界面的 API 文档链接点击查看。

大致上接口分为四大模块：1) 认证模块；2) 任务配置模块；3) 系统设备模块；4) 点云模块。

1) 认证模块

所有对于 API 的调用都必须带上 token，token 可通过密码账号获得。之后每一次 API 调用，需将 token 值放置在 Authorization 头中方可通过认证。

系统支持多人同一账户同时在线，时间内只能存在一个 token，若其中一个在线用户强制删除了 token，那么其他用户也会下线。设备不支持多人同时对设备进行操作，后台一次只能执行某一个操作。如果来自多个用户的操作互相交织，设备将极易陷入异常状态。

2) 任务配置模块

支持对所有任务进行增删查改等操作。用户可以依此构建和设计自己的参数搭配，并指定应用某个配置参数。系统会对所有的参数进行完备性检查。

3) 系统设备模块

主要涉及对设备各类操作，如相机操作，扫描操作，初始化操作，修改 IP 操作等等。也会涉及部分生成点云的操作，如点云裁剪，变换，滤波后处理等。

4) 点云模块

主要涉及点云的导出和预览操作。点云导出目前只支持有限的格式。预览操作只针对前端界面显示而预留，对于普通用户而言，可以忽略此 API。

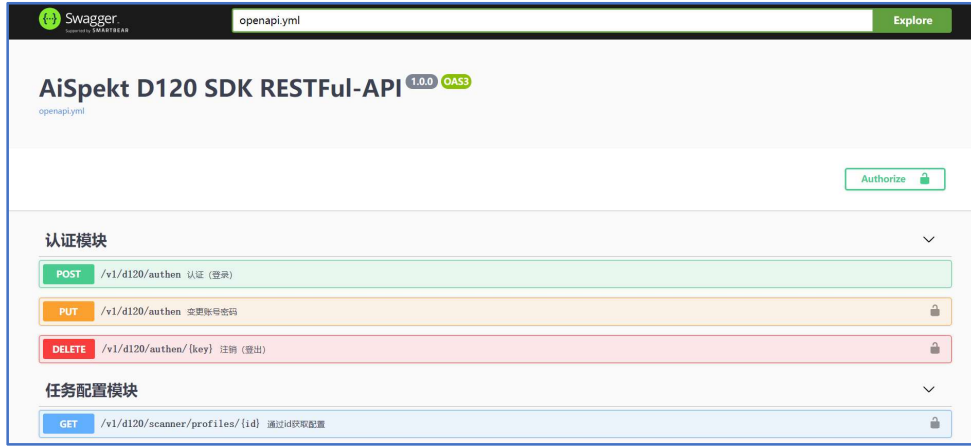


图38. API 文档界面

六、标定程序

6.1 标定原理及准备工作

由于本手册仅作为标定程序的说明书，所以不可能详尽介绍标定原理的所有细节，这部分内容旨在让使用者能够了解标定相关的术语及含义，若希望了解更多，请自行查阅相关文献。

6.1.1 单目标定原理

相机的标定是指辨识出相机参数的过程，通常来说需要辨识的参数包含相机的内参数矩阵及相机的畸变系数。

相机的内参数矩阵形式如式(1)：

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} f_x & r & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

对于空间中任意一点 \mathbf{P} 和其对应的像素点 \mathbf{p} 满足公式(2) (\tilde{x} 为 x 对应的齐次坐标)：

$$s\tilde{\mathbf{p}} = \mathbf{K}[\mathbf{R} \quad \mathbf{T}]\tilde{\mathbf{P}} \quad (2)$$

其中 $[R \ T]$ 为外参数矩阵，代表将物点由世界坐标系转换到相机坐标系下。(2)式反应了如何将现实世界的点(三维)映射到图像平面(二维)。

由于相机透镜制作及装配存在误差及其他因素影响，实际的成像会存在一定畸变，常见的有径向畸变及切向畸变。

径向畸变满足式(3)：

$$\begin{aligned} x_{distorted} &= x(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \\ y_{distorted} &= y(1 + k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6) \end{aligned} \quad (3)$$

切向畸变满足式(4)：

$$\begin{aligned} x_{distorted} &= x + [2p_1xy + p_2(r^2 + 2x^2)] \\ y_{distorted} &= y + [p_1(r^2 + 2y^2) + 2p_2xy] \end{aligned} \quad (4)$$

畸变系数包含 5 个参数 $(k_1, k_2, p_1, p_2, k_3)$ 。

实际采用的标定算法为张正友标定法，该算法利用平面上的多个点计算单应性矩阵(平面上的标志点个数不小于 4 个)，然后根据多个单应性矩阵(不少于 3 个)求解内参数矩阵和外参数矩阵。值得注意的是对于一个相机而言，如果其倍率等参数固定后，只有一个内参数矩阵，外参数矩阵对应的世界坐标系则是以标定板左上角的标志点为原点，标定板平面上标志点组成的矩形“水平”方向为 x 轴方向，“竖直”方向为 y 轴方向， z 轴方向满足右手定则，所以对于标定板的每个位姿均可以求出一个外参数矩阵。最后再求解畸变系数。

6.1.2 双目标定原理

双目相机的示意图如下图所示：

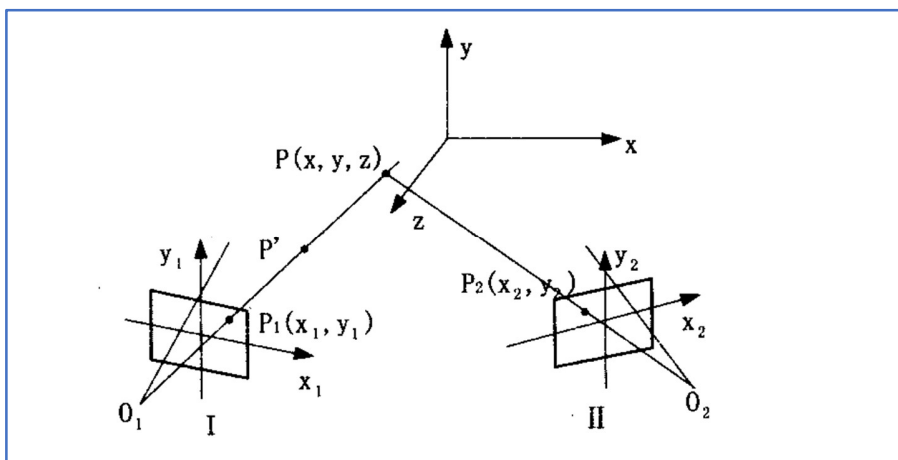


图39. 双目成像示意图

双目标定的目的是在单目标定的基础上，标定出两个相机坐标系的欧式变换矩阵。由(2)式可得到式(5)：

$$\begin{cases} s_1 \tilde{p}_1 = K_1 P \\ s_2 \tilde{p}_2 = K_2 (RP + t) \end{cases} \quad (5)$$

可推得式(6)：

$$\begin{aligned} \tilde{p}_2^T K_2^{-T} t \times R K_1^{-1} \tilde{p}_1 &= 0 \\ \tilde{p}_2^T K_2^{-T} E K_1^{-1} \tilde{p}_1 &= 0 \\ \tilde{p}_2^T F \tilde{p}_1 &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

其中 E 称为本质矩阵，可以看出 E 仅与相机之间的位姿有关， F 称为基础矩阵。在左右图像上找到多个对应点利用最小二乘法即可求解出 F 和 E 。再进一步分解可得到 t 和 R 。

6.1.3 相机投影仪标定原理

对于投影仪投影，我们可以将其看作相机成像的逆过程，这允许我们将投影仪当作相机来处理，于是相机投影仪标定可类比于双目标定。借助求解标志点处的水平和垂直相位可以得到这些点在投影仪“成像平面”（芯片）上的坐标，后续按照双目标定流程即可求得相机和投影仪坐标系之间的转换矩阵。

6.1.4 准备工作

先准备一个高精度的棋盘格标定板或者圆形阵列标定板(本工具只支持这两种类型的标定板)。

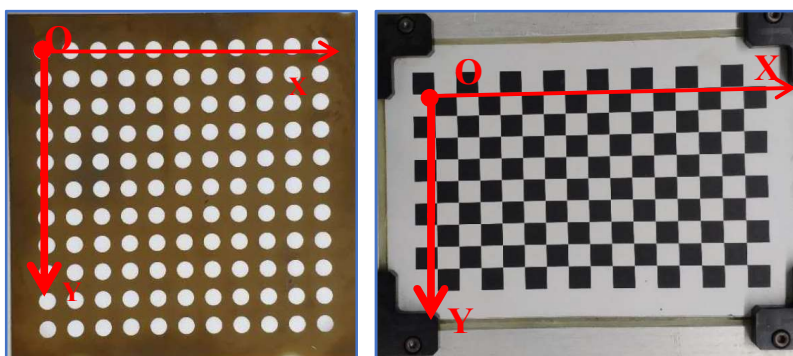


图40. 标定板

标定时将标定板以不同位姿摆放。由于相机边缘区域较中间区域畸变更为明显，所以标定板应尽量覆盖图像的各个区域。然后采集图像(15-20组左右)。

采集时，需配合 GUI 界面完成采集工作。登入系统后，按照上文所述的流程将标定板放置合适位置，启用扫描功能，采集扫描数据。此处不需要进行“生成点云”操作，只需进行到“扫描操作”部分的“开始扫描”这一步即可。

标定所需要的图像数据，需在左/右单目模式下进行。所以，在开始扫描前，请确认设备处于“左/右单目模式”。

之后点击“显示图像”，观察图像质量，如果不合格请修改参数后，再次扫描，直到满足要求为止。采集完一组后，点击下载图像导出所有图片。服务端将以 zip 格式打包所有图片。文件的命名方式为 L1L2...LN, R1R2R3...RN。这里的编号具有实际意义，数字编号相同的图像代表是一对，在具体标定导入图片时需要额外注意。

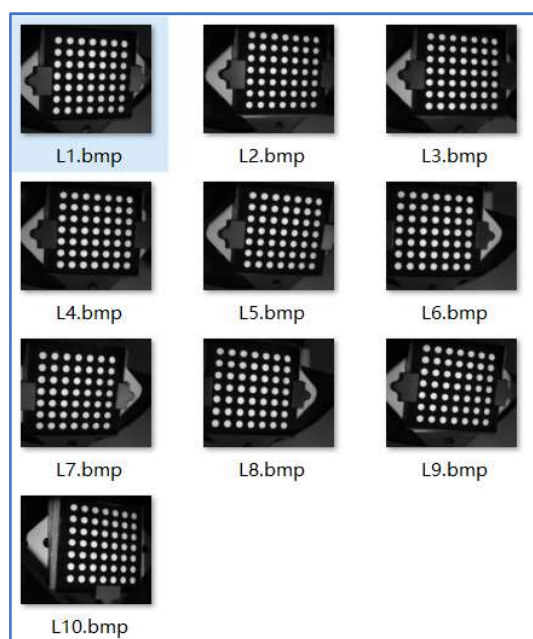


图41. 标定图片

后述章节均以圆形阵列标定板为例。

6.2 单目标定

1. 打开程序，设置标定板类型，标志点行数、列数及标志点间的实际距离（单位：mm）。对于圆形阵列标定板，识别的标志点为圆心，棋盘格标定板则是角点。注意此处假定标定板上标志点 X 方向的间隔和 Y 方向的间隔相等。然后进入单目标定子程序：



图42. 引导步

2. 点击“选择图片”选择要用来标定的图片，或者在已有图片的基础上增加图片。选定图片后可单击左侧列表对应的图片名查看图片是否成功载入：

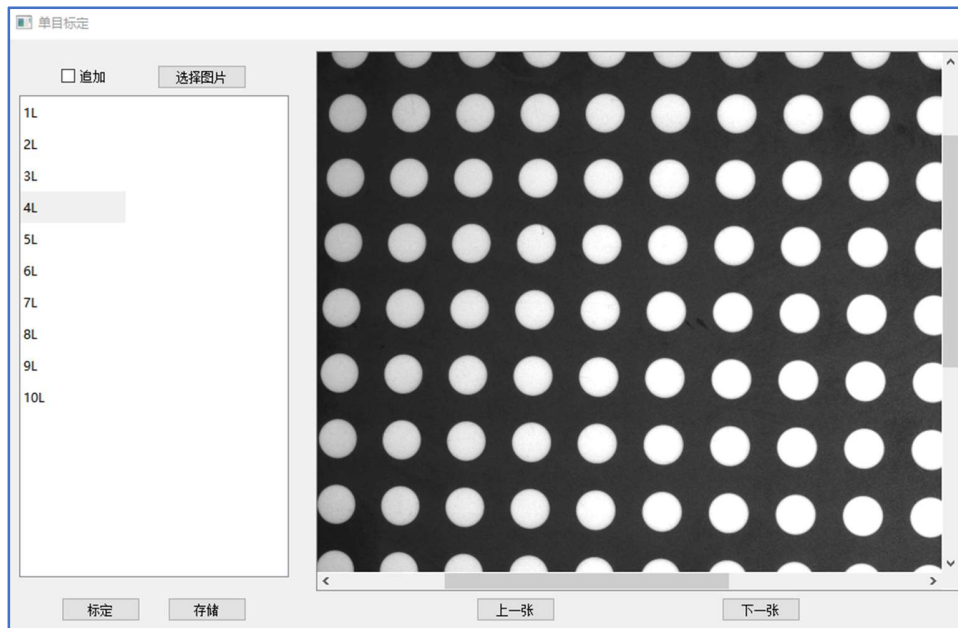


图43. 加入图片

3. 确认无误后，点击“标定”，等到下方窗口出现“标定完成”。此时可以再单击左侧列表查看各个图片中是否正确找到圆心：



图44. 开始标定

4. 列表中出现了新的一列，代表着每张图片的重投影误差，如果觉得其中某几张误差过大或者找到的圆心有问题，可右键选中删除后再次进行标定：

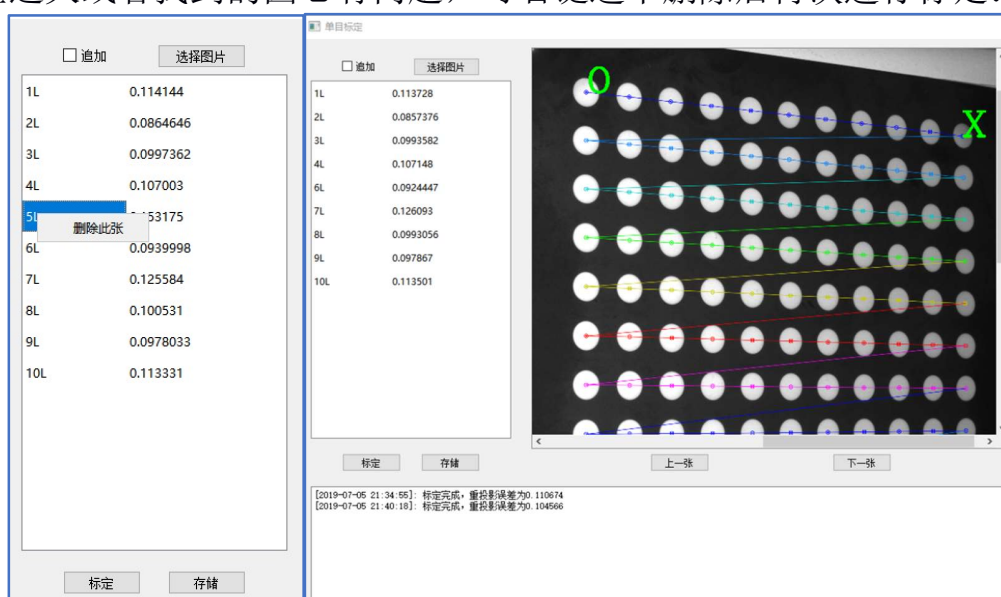


图45. 查看结果

5. 最后点击“保存”以 XML 文件格式保存标定结果。

6.3 双目标定

1. 在主窗口设置完参数后进入双目标定子程序：

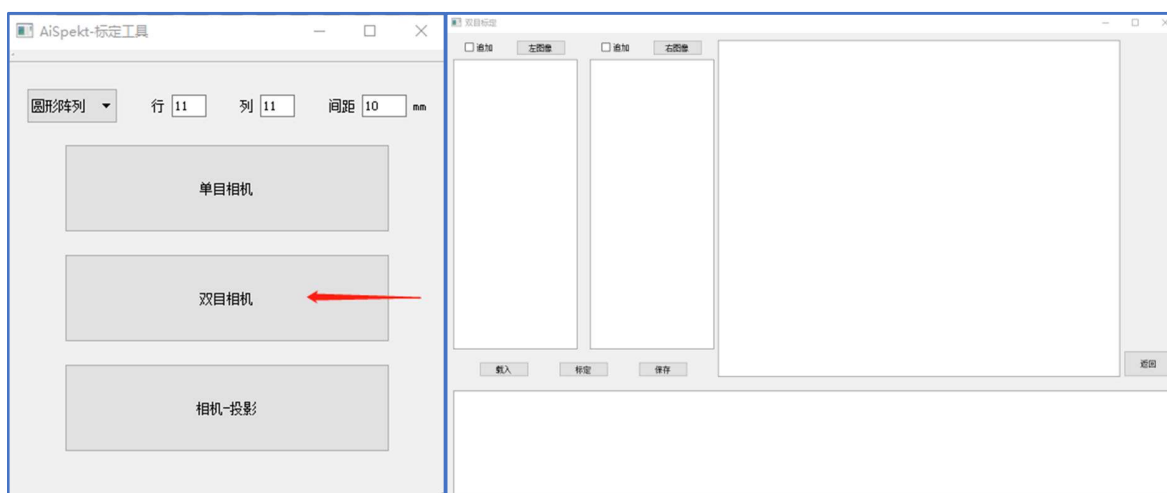


图46. 引导步

2. 类似于单目标定程序中，分别载入用来标定的左右相机图像。根据 0 节所述原理，程序会在标定板某一位姿对应的左右图像中寻找对应的点对来求解基础矩阵 F ，所以必须注意此处左右图像顺序对应，即 $iL(L_i)$ 和 $iR(R_i)$ 为左右相机拍摄同一场景的图片：

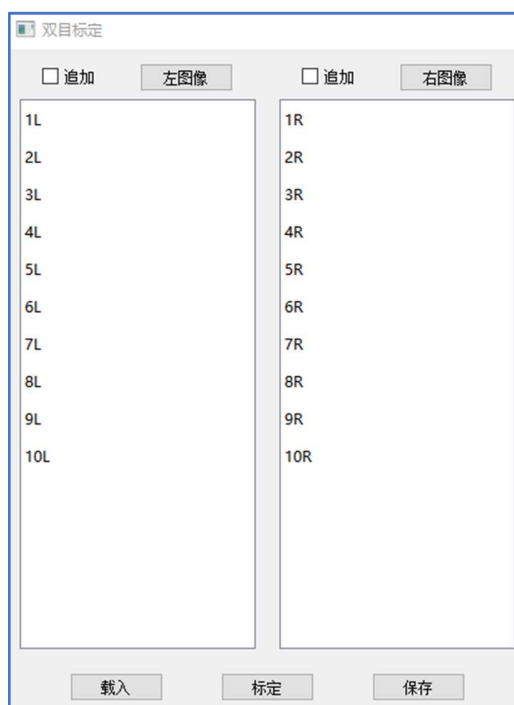


图47. 添加图片

3. 点击“载入”，选择左右相机标定文件所在文件夹。同样根据 0 节所述原理，求解得 F 后，需要知道左右相机的内参数矩阵来求解本质矩阵 E 。此处默认左相机标定文件名为 `left_calib_data.xml`，右相机的为 `right_calib_data.xml`。载入成功后下方出现“标定文件载入完成”。

4. 点击“标定”，完成标定。假设世界坐标系相对左相机坐标系的转换矩阵为 $[R_l \ t_l]$ ，相对右相机的为 $[R_r \ t_r]$ ，则标定出的 $[R \ t]$ 满足式(7)：

$$\begin{aligned} R_r &= R \cdot R_l \\ t_r &= R \cdot t_l + t \end{aligned} \quad (7)$$

可以直观理解为， $[R \ t]$ 是左相机相对与右相机的变换矩阵。

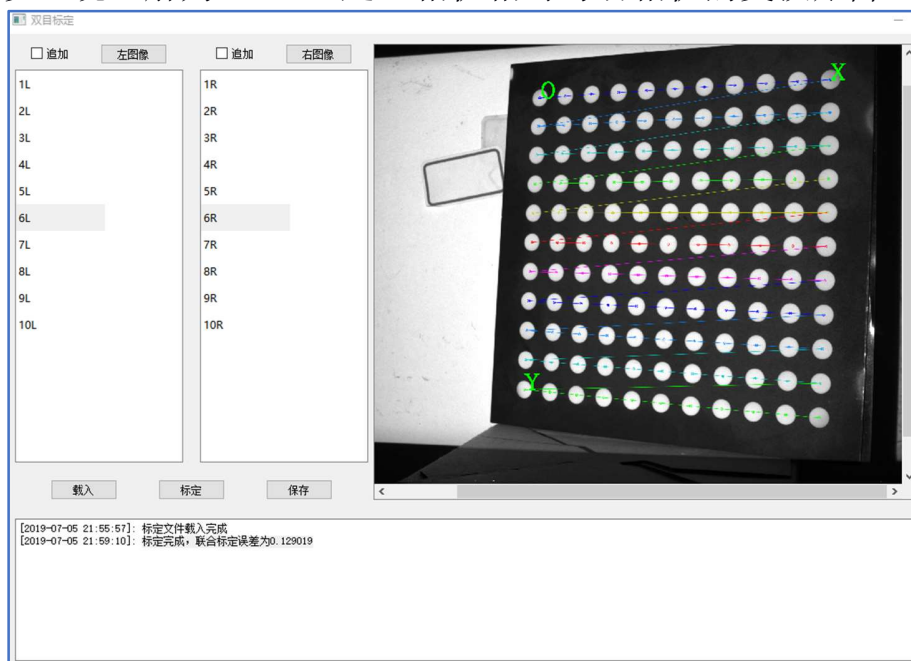


图48. 标定并检查结果

5. 点击“保存”保存双目标定结果。

6.4 相机投影标定

1. 在主窗口选择“相机-投影”，进入相机投影仪标定子程序：

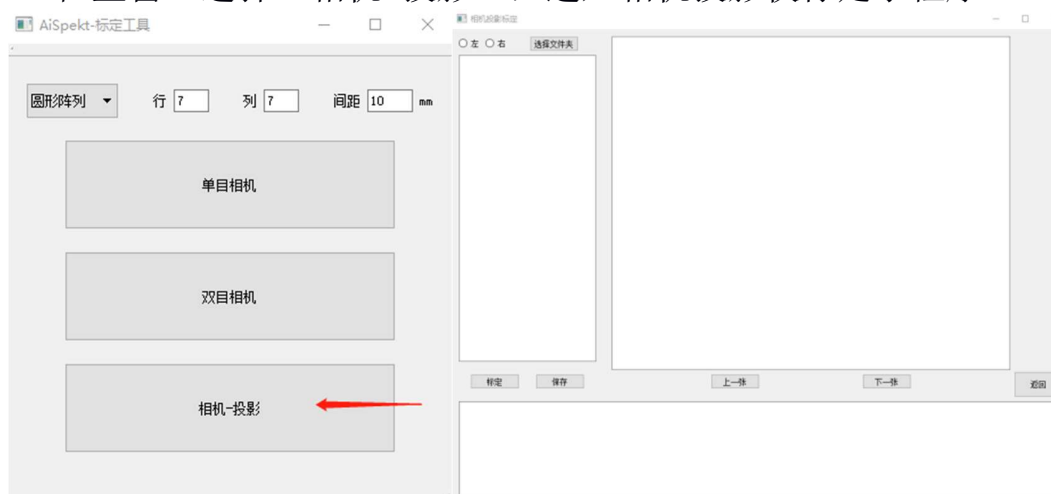


图49. 引导步

2. 选择是给左相机-投影还是右相机-投影做标定，若只有一台设备，可选择“左”。由于计算投影仪中标志点的坐标需用多幅图片解算相位，所以此处选择这些组图像所在文件夹，例如下图中的 images 文件夹：

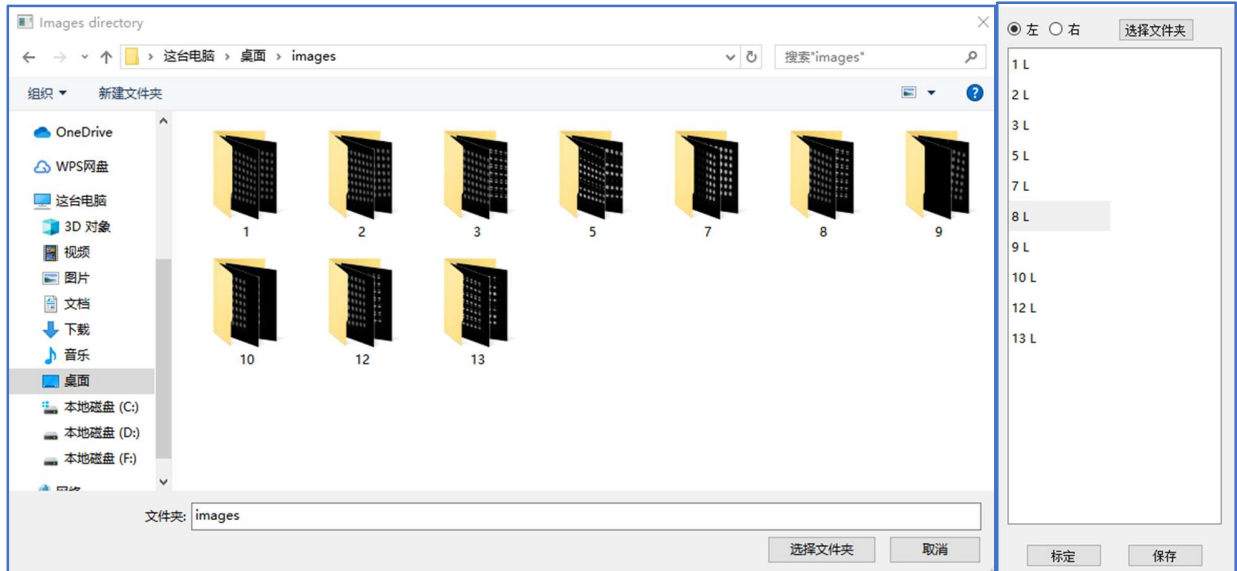


图50. 载入图片

3. 点击“标定”，完成标定，下方出现“相机投影仪标定完成”。此处标定结果也类似于双目标定结果，不论是左相机还是右相机， $[R \ t]$ 都是相机坐标系相对于投影仪坐标系的变换矩阵，即：

$$\tilde{P}_p = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \tilde{P}_c \quad (8)$$

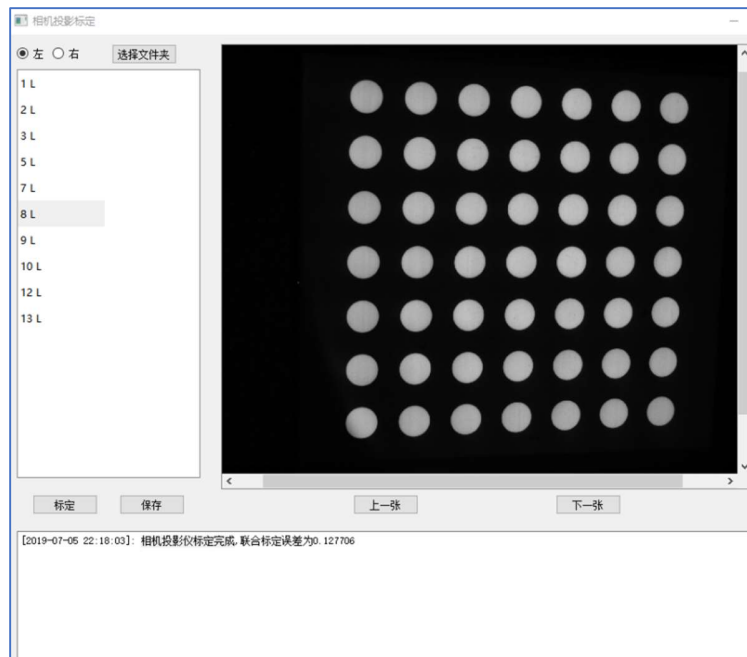


图51. 开始标定

4. 单击“保存”，保存标定结果。

6.5 常见问题及解决方案

由于用户操作不当或者设置不合理，程序可能无法计算出结果，更为严重者可能引起程序崩溃。现针对不同标定子程序列出可能出现的问题及对应的解决方案。

6.5.1 单目标定

1. **现象：** 图片重投影误差栏全部为-1，且下方输出平均重投影误差为 0，此时保存标定结果文件，可看到文件内容全部为 0。

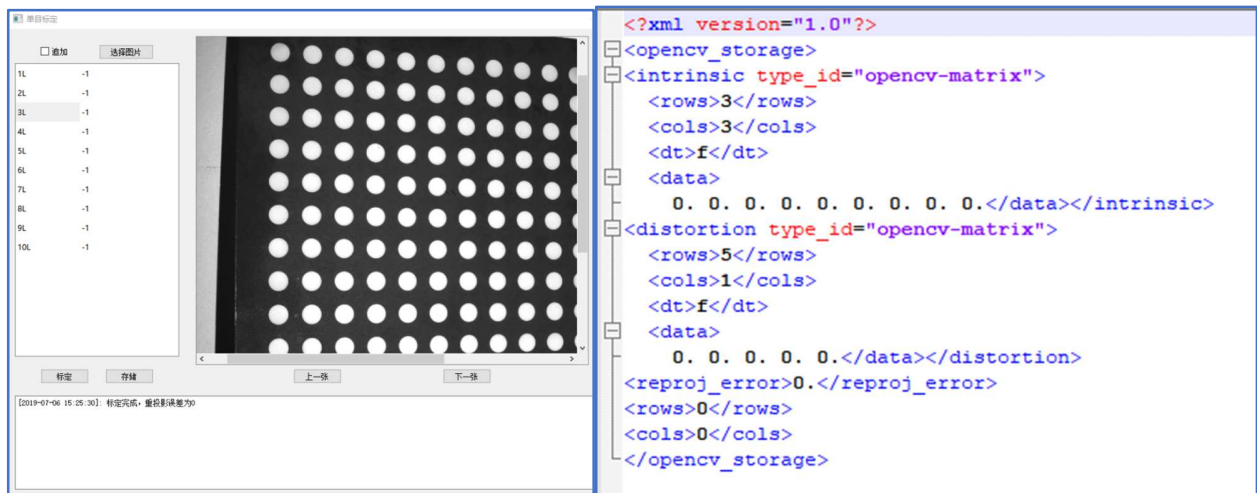


图52. 问题 1

原因： 一般是由于主窗口的参数设置有问題，程序找不到正确的标志点来进行标定。

解决方案： 确认标定板类型、标志点行数及标志点列数这三个参数，并正确设置。

2. **现象：** 下方输出栏显示“用于标定的图片过少”。

原因： 选定用于标定的图片数量少于 4 张，标定程序无法求解。

解决方案： 增加标定图片至 10 张以上。

6.5.2 双目标定

1. **现象：** 联合标定误差很大(正常 10^{-1} - 10^{-2} 级别)。

原因： 由于对应图像中的标志点对不能很好的符合模型，有可能是因为左右图像顺序不对应，选择左右图像时的点选顺序不能决定最终的文件顺序，另一方面也有可能是因为采集的图像本身有问题。

解决方案：建议重新采集左右相机图像，并将左右图像命名为 1L，1R 形式（默认），让程序自动排序，然后重新标定。

6.5.3 相机投影标定

1. **现象：**标定时下方输出栏显示“合法图像组数过少，无法标定”。

原因：因为某些图像文件夹中的图像数量不对，导致其不能用作标定。

解决方案：使用配套工具重新采集图像，并确保至少针对 4 个以上的位姿采集。

2. **现象：**联合标定误差过大。

原因：一般是由于图片中像素点的相位解算有问题，导致算的投影仪“成像”的坐标不对。造成的原因可能因为文件夹中图像数量过多，或者图像被重命名。

解决方案：使用配套工具重新采集图像，并确保图像内容正确。

6.6 最后工作

将标定好的文件通过 GUI 界面的接口上传至设备系统中。上传时，注意选择正确的文件类型。上传时请谨慎确认，被覆盖的标定文件无法找回。

七、产品详细规格

7.1 产品技术规格

D200 技术规格表	
扫描速度 (hz)	3-6
像素	双目 500w
扫描距离 (mm)	162 - 182
视野 (mm)	114.5 * 71.5 - 117.1 * 78.3
Z 方向精度 (um)	20 um
XY 分辨率 (mm)	0.05 - 0.06
外观尺寸 (mm)	280 * 215 * 60.5
光源	蓝色 UV 光 (405nm)
数据接口	千兆以太网
输入 (可选)	差分编码器, 1 路数字信号触发器
输出 (可选)	2 路数字信号输出, RS485
电压	DC12V (60w)
机身防护	IP66
温度	工作温度 0-40 存储温度 -10-60

表6. 规格表

7.2 外形尺寸图

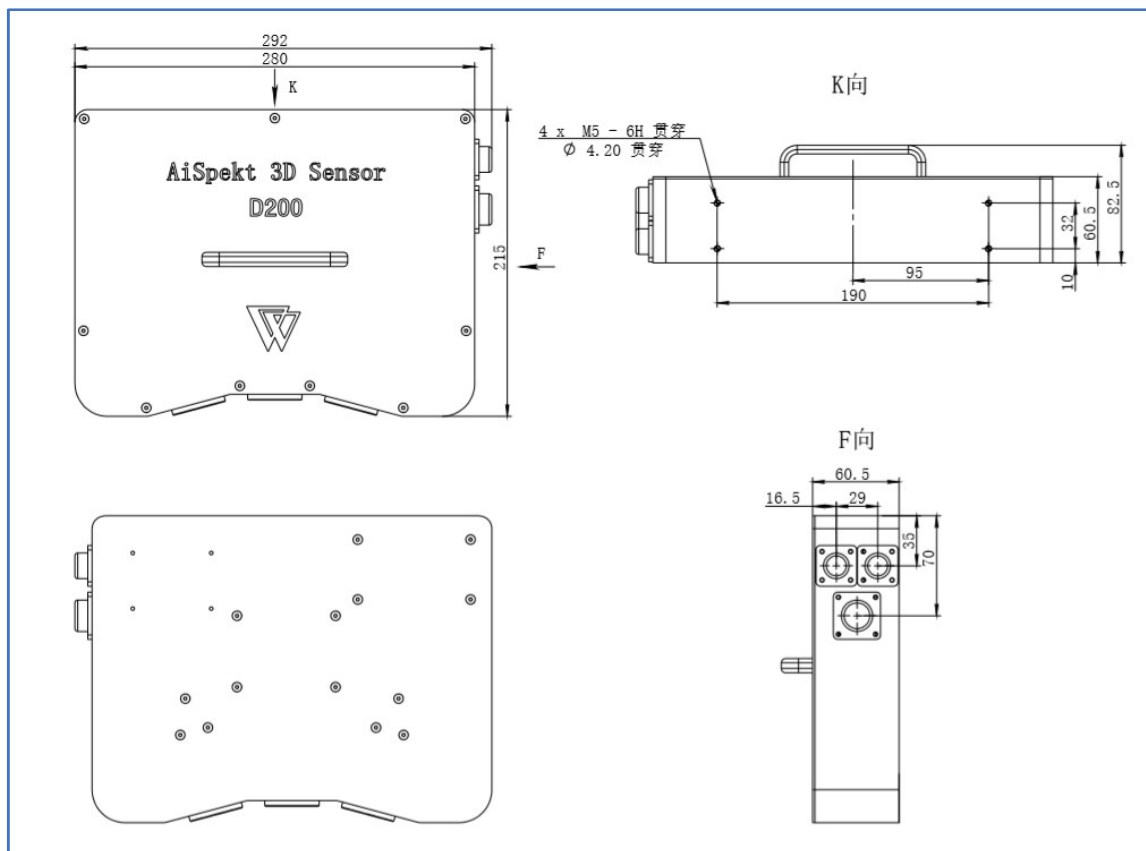


图53. 外形尺寸图

7.3 视野描述图

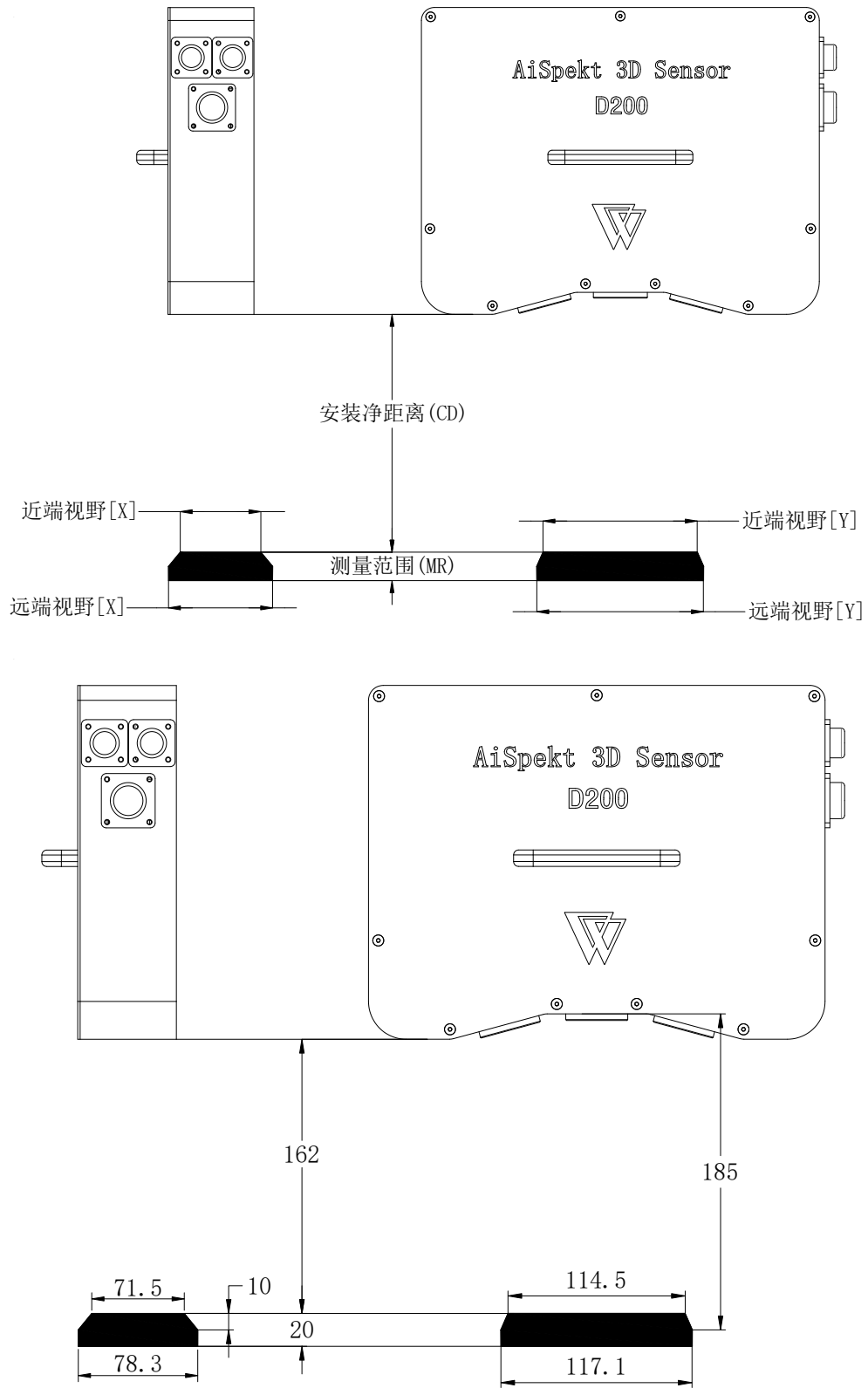


图54. 视野描述图

八、支持与联系

AiSpekt 3D Sensor 系列产品自购买日起，我司将提供结构、硬件、软件全面故障处理以及售后维护。我司将通过包括但不限于电话、Email、远程、现场服务提供全方位技术支持。如有任何问题，您可通过下列方式与我们联系。

电话:[0755-8656-0425](tel:0755-8656-0425)

邮编:518000

邮箱:support@aispekt.com

地址:深圳市南山区粤兴三道9号华中科技大学深圳产学研基地B座1楼M03