

华中科技大学本科生毕业设计报告

基于多个TOP相机的3D场景重建

学 院：电子信息与通信学院

班 级：信息类数理提高班1301

姓 名：曾 晨

指导老师：喻 莉 教授

目录

- 一、课题背景及意义
- 二、3D场景信息的获取
- 三、多个TOF相机的3D场景重建
- 四、多个TOF相机干扰消除
- 五、TOF相机多路径干扰消除

一、 课题背景及意义

1. 3D场景重建的意义
2. 用多个TOF深度相机进行3D场景重建的意义
3. 国内外研究及发展趋势

1. 3D场景重建的意义

- 应用场景包括机器导航、精密工业测量、医学仪器、物体识别、虚拟现实以及军事、考古等。
- 物体3D重建是计算机辅助几何设计(CAGD)、计算机图形学(CG)、计算机动画、计算机视觉、医学图像处理、科学计算和虚拟现实、数字媒体创作等领域的共性科学问题和核心技术。



图1: 3D 重建示意图

2. 用多个TOF深度相机进行3D场景重建的意义

- TOF的介绍：
 - TOF是Time of flight的简写，是通过给目标连续发送光脉冲，然后用传感器接收从物体返回的光，通过探测光脉冲的飞行（往返）时间来得到目标物距离。
- TOF的优势：
 - 与立体相机或三角测量系统比，TOF相机体积小巧，非常适合于一些需要轻便、小体积相机的场合。TOF相机能够实时快速的计算深度信息，达到几十到100fps。TOF的深度信息。而双目立体相机需要用到复杂的相关性算法，处理速度较慢。TOF的深度计算不受物体表面灰度和特征影响，可以非常准确的进行三维探测。TOF的深度计算精度不随距离改变而变化，基本能稳定在cm级，这对于一些大范围运动的应用场合非常有意义。
- 多个TOF深度相机进行重建的意义：
 - 提高了重建的精度、增加了重建的灵活性、拓宽了重建的适用范围。

3. 国内外研究及发展趋势

- 趋势和问题：
 - TOF刚出现时，研究主要集中在去噪，去多周期混叠。现在，TOF相机的研究重点在提高TOF相机分辨率，TOF相机成像质量，重建质量和速度上面。
 - 3D场景重建有时需要多个相机同时工作，这样便克服了单个相机采集频率及准确率不足的问题。但是这样会造成多相机干扰和多路径干扰问题。

二、 3D场景信息的获取

- **Kinect v2 (Kinect for Xbox one)**
- 彩色摄像头分辨率1280*960，用来采集彩色图像
- 深度传感器采用TOF方式，红外摄像头512*424，用来采集深度数据
- 可通过Kinect Studio SDK或Matlab获取数据。

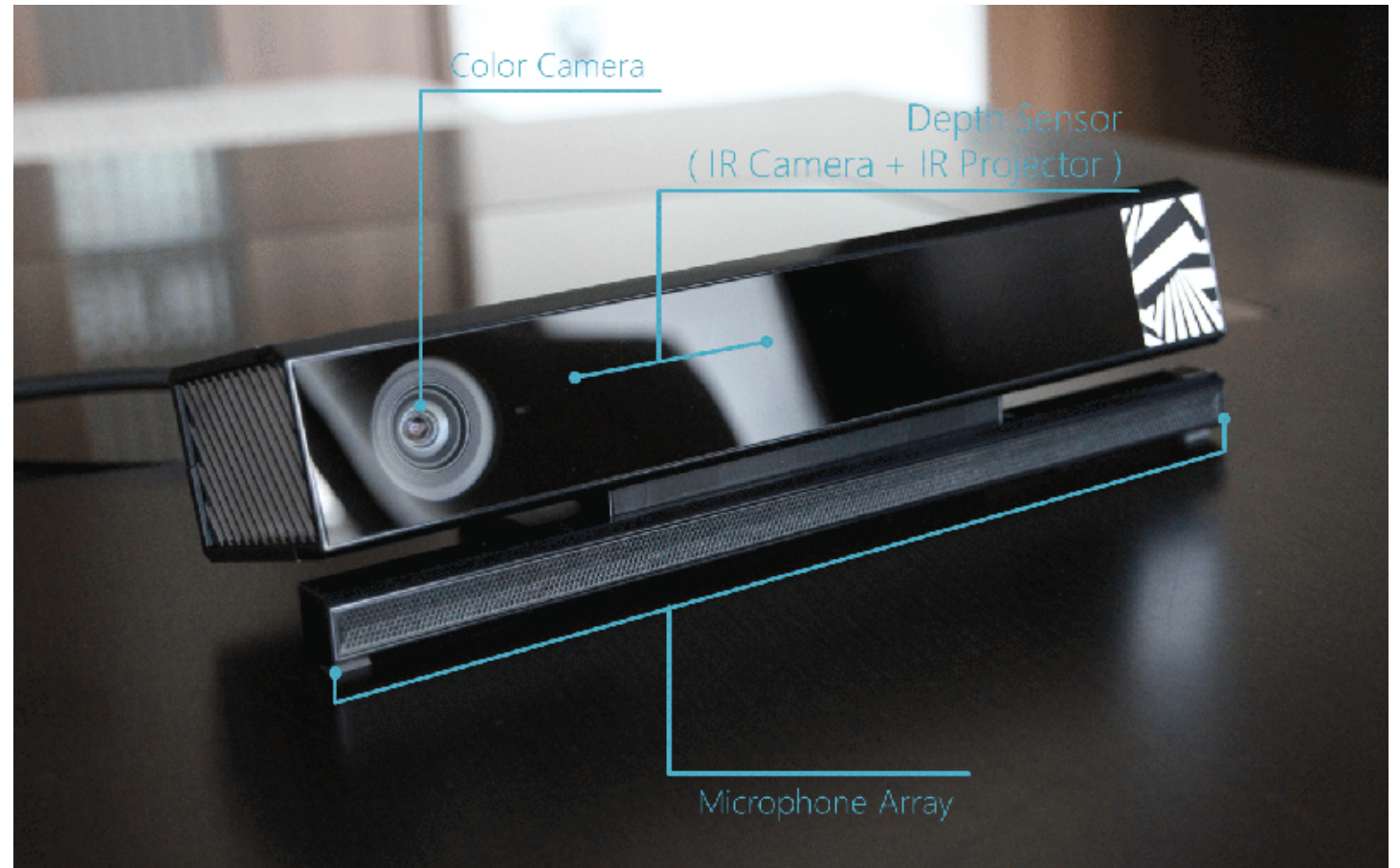


图1：Kinect -- V2

单帧数据的获取



图1: 彩色图



图3: 深度图

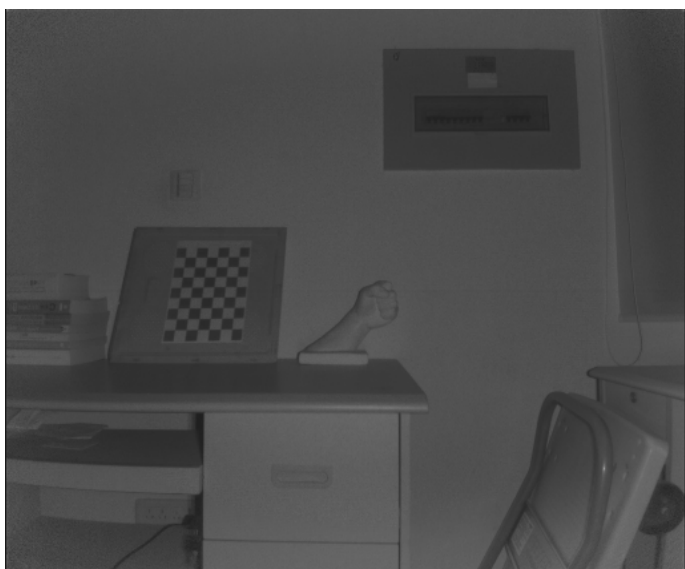


图2:
红外图

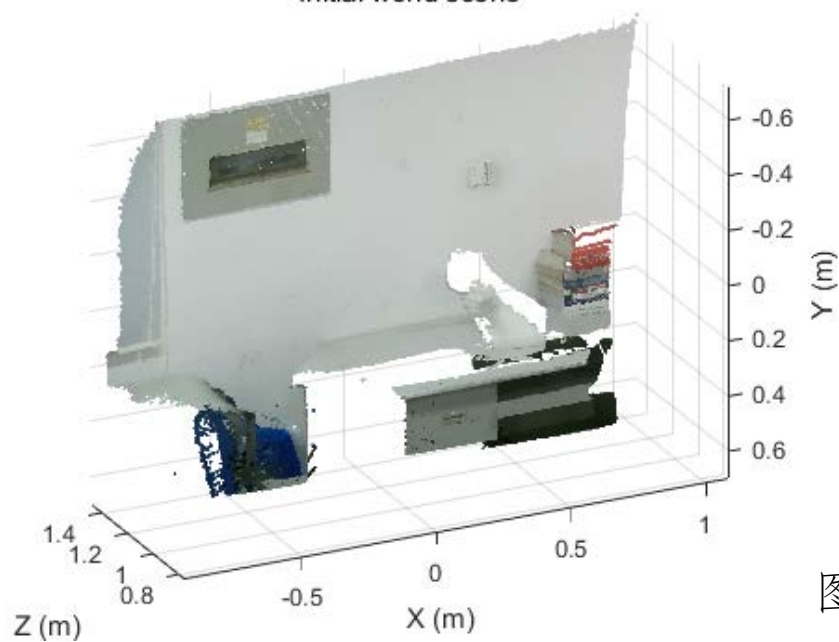


图4: 点云数据

- Microsoft没有对Kinect中提取视频提供直接接口，而需自行编写C#利用Kinect的某些接口模拟采集数据并不断截取每一帧屏幕。
- 编写C#程序，读取包含多相机干扰环境下的.xef视频，增添线程模拟Kinect采集数据，实时将数据流以帧为单位存储为.png格式深度数据。

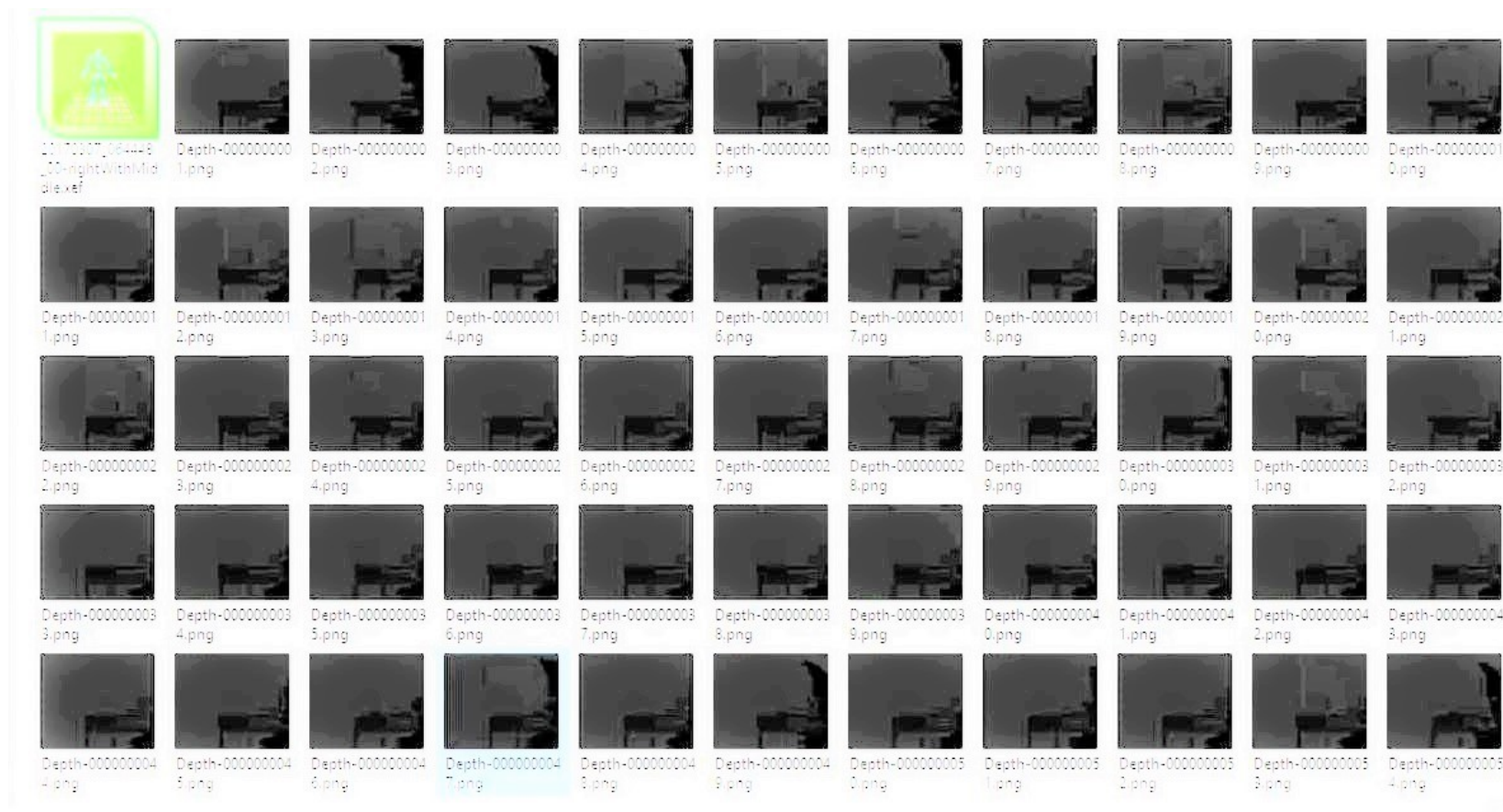


图1：分解.xef为连续多帧深度数据

多相机的数据获取



图1：利用多个Kinect v2采集场景数据

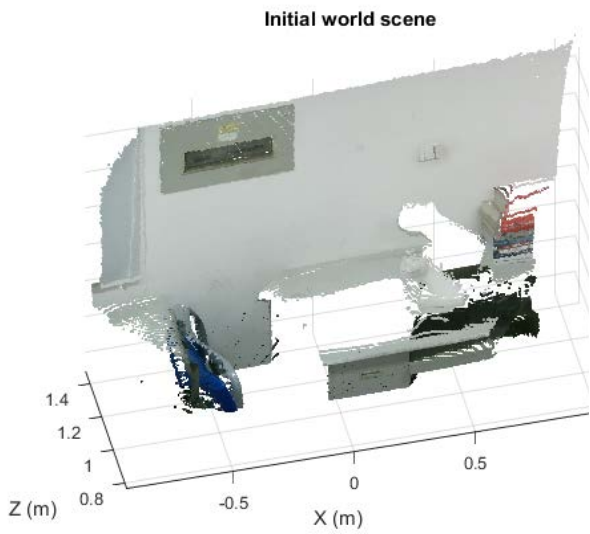


图2：左相机点云数据

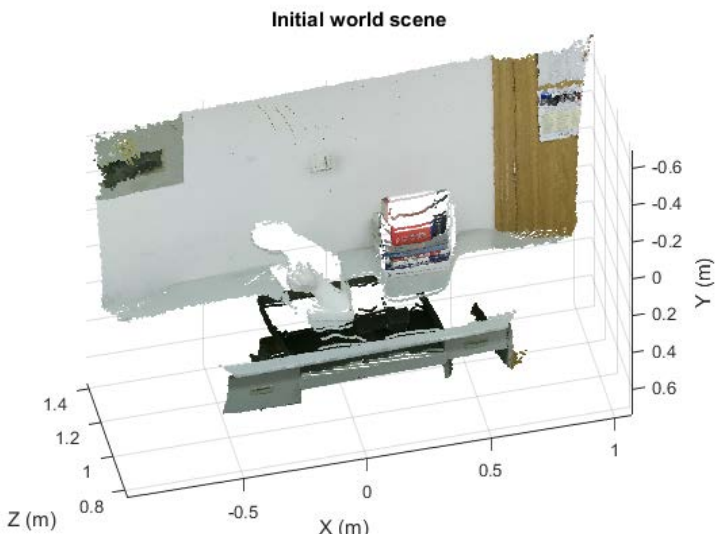


图3：中相机点云数据

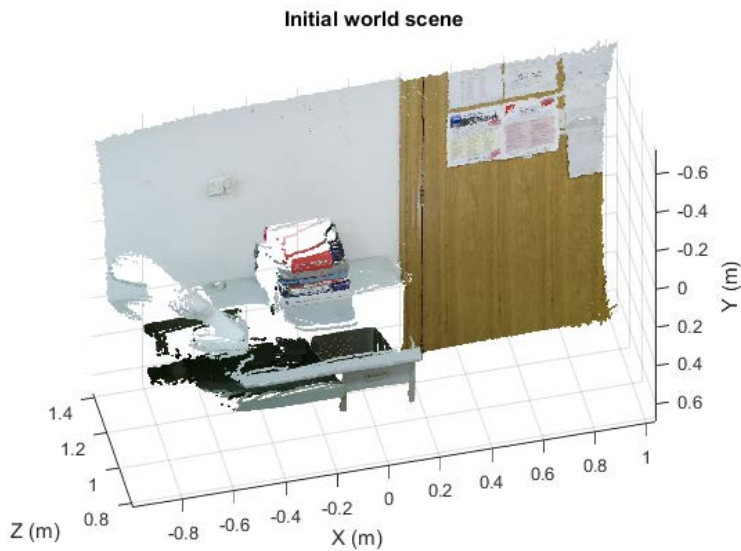
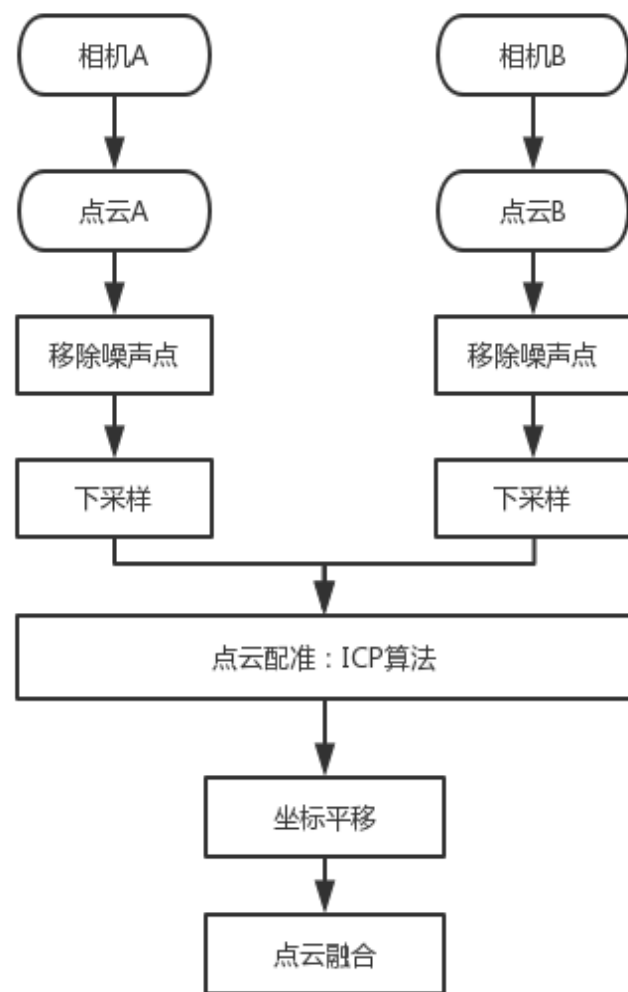


图4：右相机点云数据

三、多个TOF相机的3D场景重建



图：3D重建流程图

2. 多个TOF相机的3D场景重建 - ICP算法

- 待求问题
 - 基准点在图像坐标系及世界坐标系下的坐标点集 $P = \{p_i, i = 0, 1, 2, \dots, k\}$ 和 $Q = \{q_i, i = 0, 1, 2, \dots, n\}$
 - 对于3D空间中任意两个点 p_i, q_i , 定义距离为 $d(p_i, q_i) = \|p_i - q_i\| = \sqrt{(x_{pi} - x_{qi})^2 + (y_{pi} - y_{qi})^2 + (z_{pi} - z_{qi})^2}$
 - 点云匹配问题即找到 P, Q 对应的变化矩阵 R, T 使得 $E = \sum_{i=1}^N |(Rp_i + T) - q_i|^2$ 最小
- 步骤1: 平行移动和旋转的分离
- 步骤2: 取控制点, 求初始旋转矩阵和平移矩阵
 - 点到点最近搜索法
 - 点到面最近搜索法
- 步骤3: 计算误差, 迭代, 直到收敛

- 通过ICP将多个相机的点云配准到同一个坐标下，然后点云融合



结果很糟糕，故想到先
通过相机标定再ICP

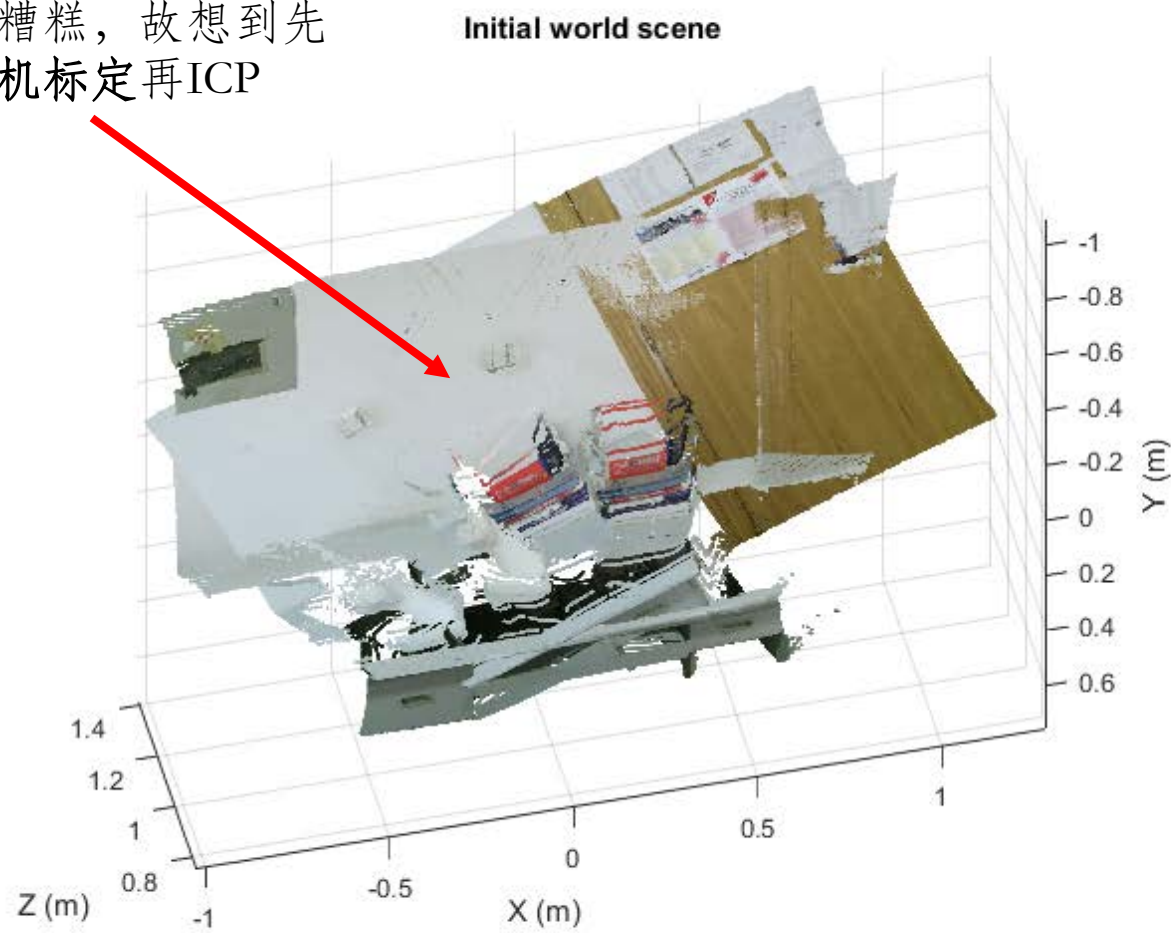


图1: ICP结果

- 运用棋盘格进行相机标定，Matlab自带应用程序Stereo Camera Calibrator可以根据成对带棋盘格的深度图或者彩色图计算两个相机之间旋转矩阵和平移矩阵。

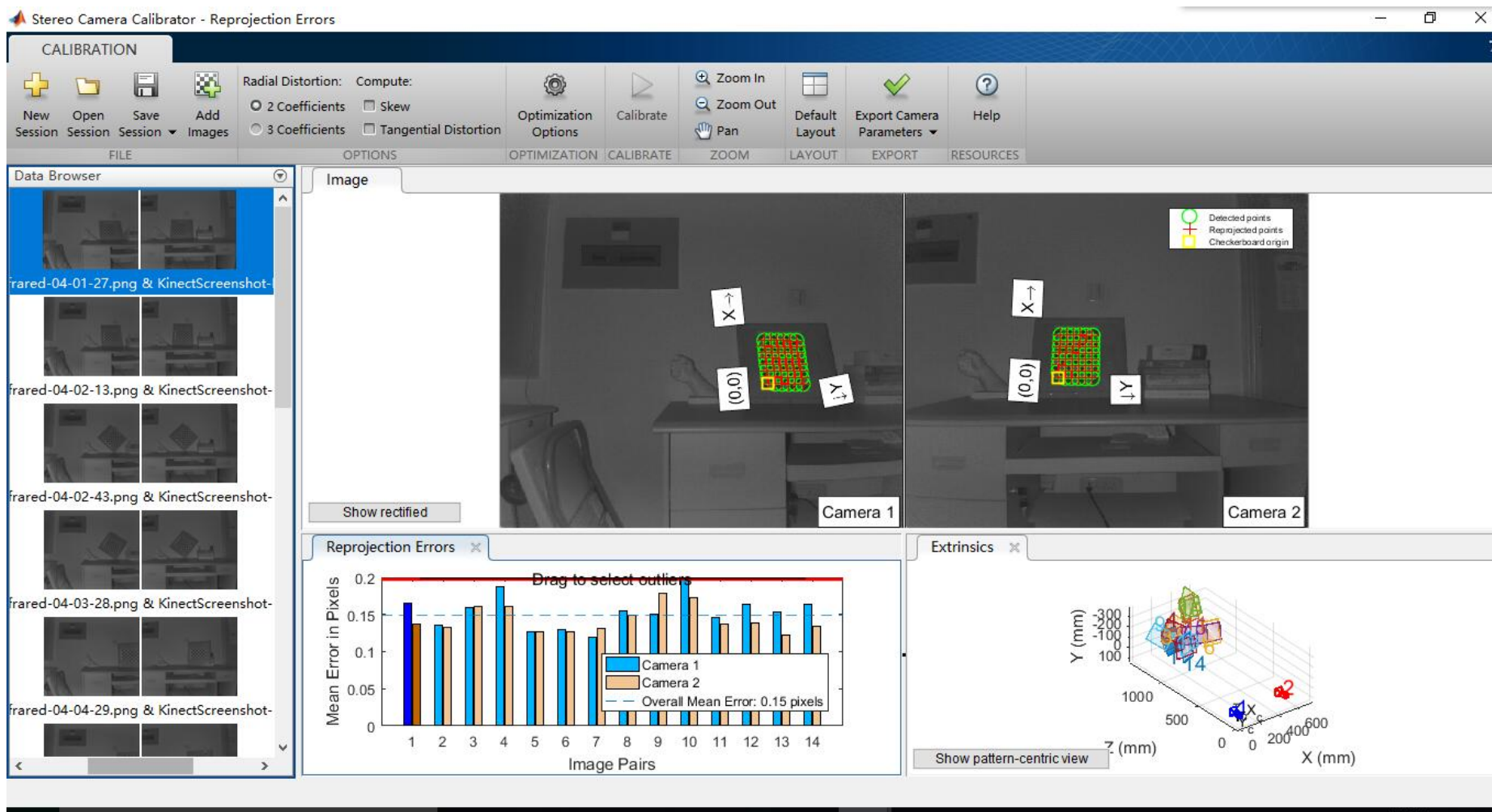


图1: Matlab 应用程序Stereo Camera Calibrator界面

- 通过双目配准将多个相机的点云配准到同一个坐标下，然后点云融合



墙体配准不够贴合，
融合不太好

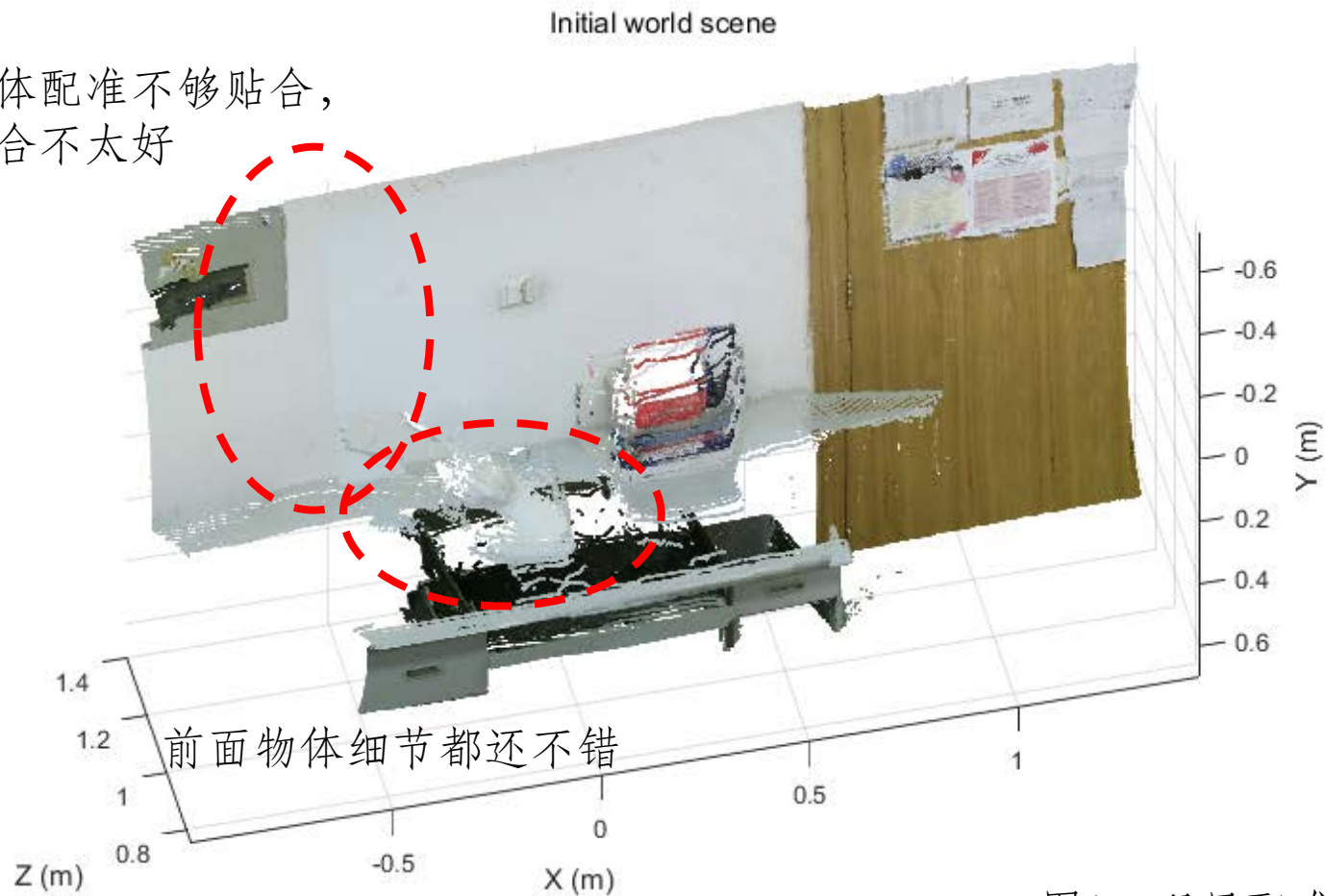


图1：双目配准结果

- 通过双目配准将多个相机的点云配准到同一个坐标下，然后进行ICP，再点云融合

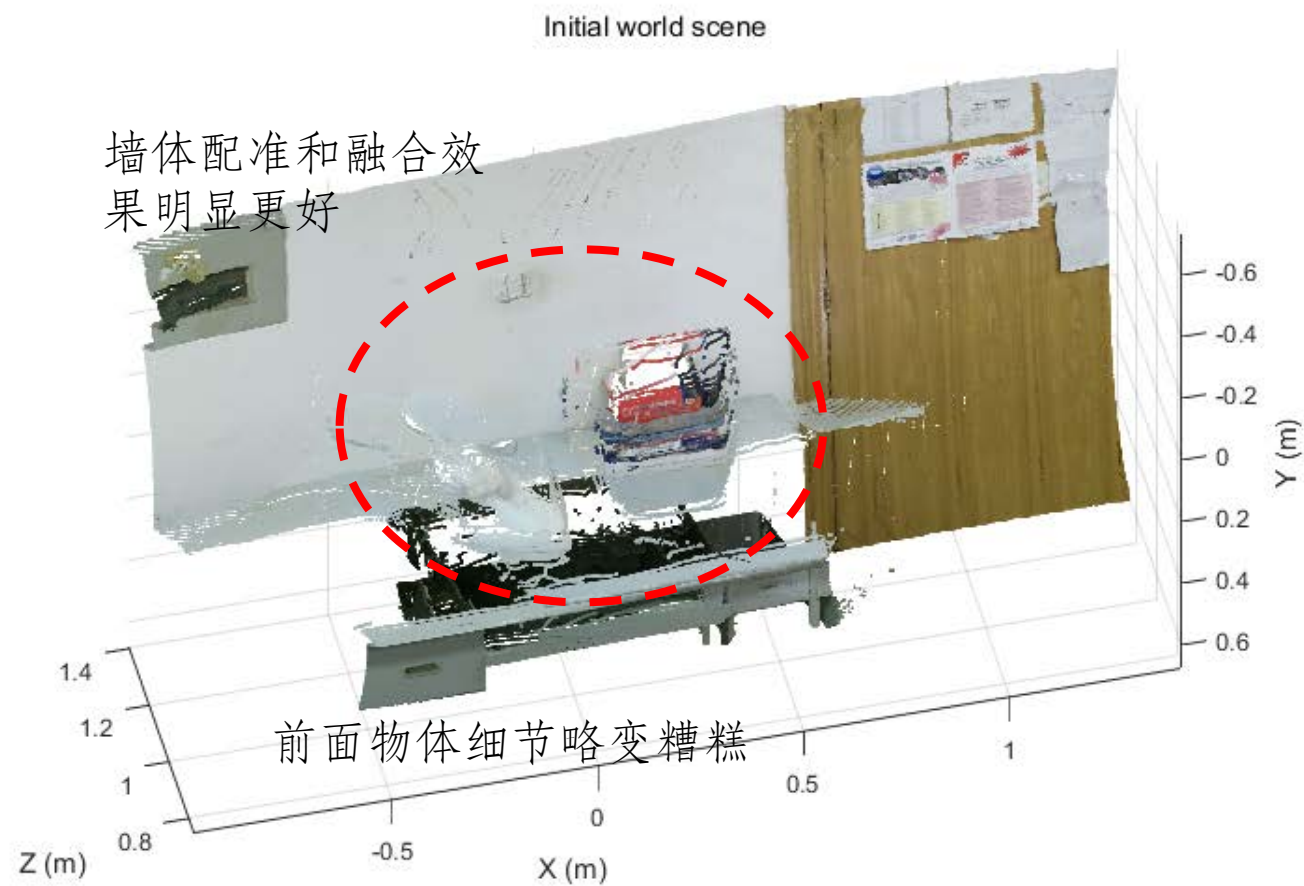
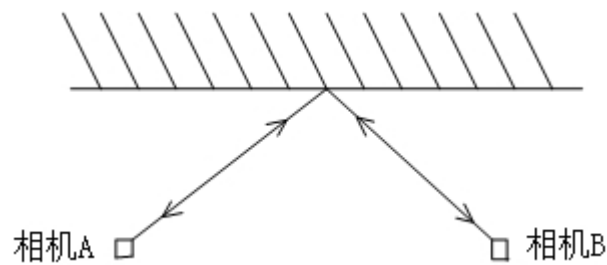


图2：双目配准+ICP结果

四、多个TOF相机干扰消除

- 多相机干扰问题
 - 多相机问题即是相机在接收的时候，信号不仅包含自己发射的信号，也包括其他相机的信号。



示意图：多相机干扰

4. 研究多相机干扰问题

- 对于每个相机，若没有其他相机的干扰，可将接收信号表示如下：
 - $r(t) = B + A\cos(2\pi f_0 t + \varphi)$
- 由于干扰，相机1不仅要接收自己的信号，还要接收相机2的发射信号，修正后相机1的接收信号表示如下：
 - $r_1(i) = \tilde{B}(i) + A_{11}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_{11}(i)) + A_{12}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_{12}(i))$
 - $r_1(i) = X_1 + I(t)$
 - 不变项 $X_1 = \tilde{B}(i) + A_{11}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_{11}(i))$
 - 串扰项 $I(t) = A_{12}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi)$
 - 随机相位 $\varphi = \varphi_{12}(i)$
- 另一个相机看作随机信号，串扰项是广义稳态随机过程：
 - 即 $E[I(t)] = 0$
 - 即 $\widehat{X_1} \approx E[r_1(i)]$
- 可以将多帧接收光的期望作为ToF相机自身发射光的接收，进而得到多相机干扰情况下真实的对象深度数据。



干扰处，此处
在深度图中数
据为0，表明
接收光超出可
测范围，受到
干扰。此处干
扰在右图中明
显消除。

图1：去多相机干扰前的深度图



图2：去多相机干扰后的深度图

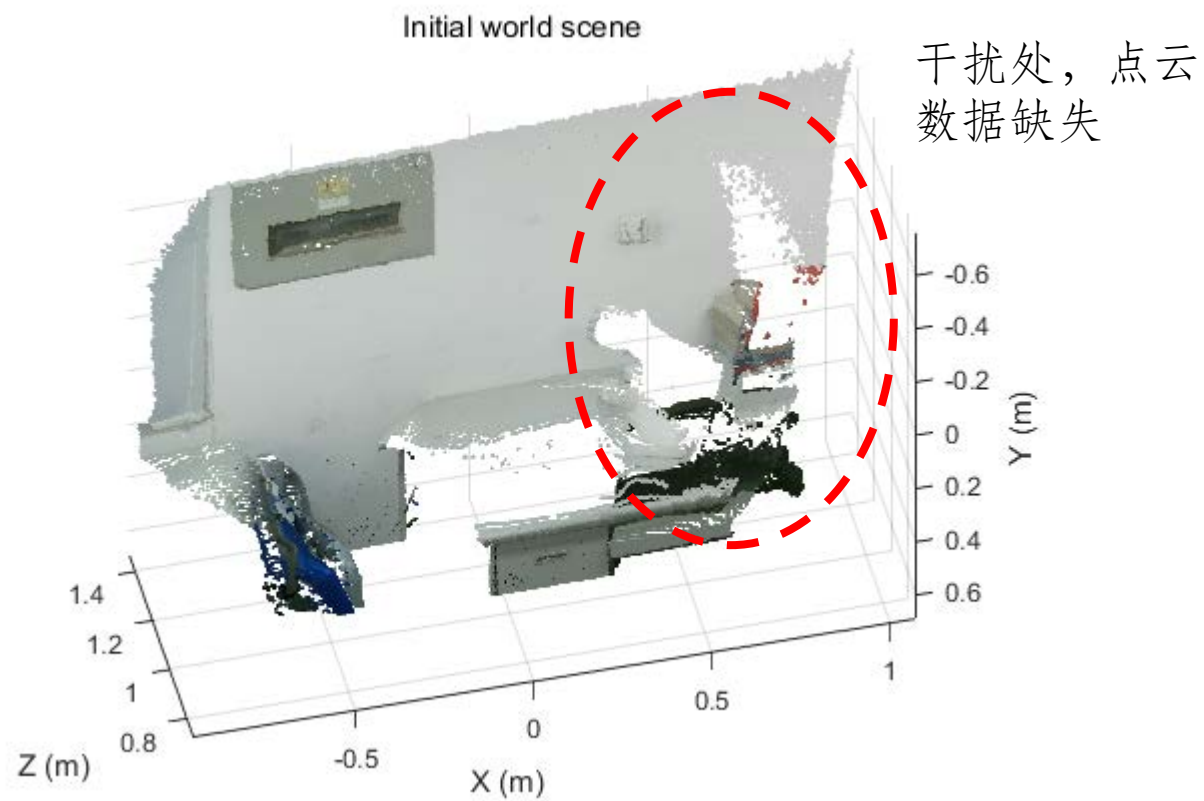


图1：去多相机干扰前的点云

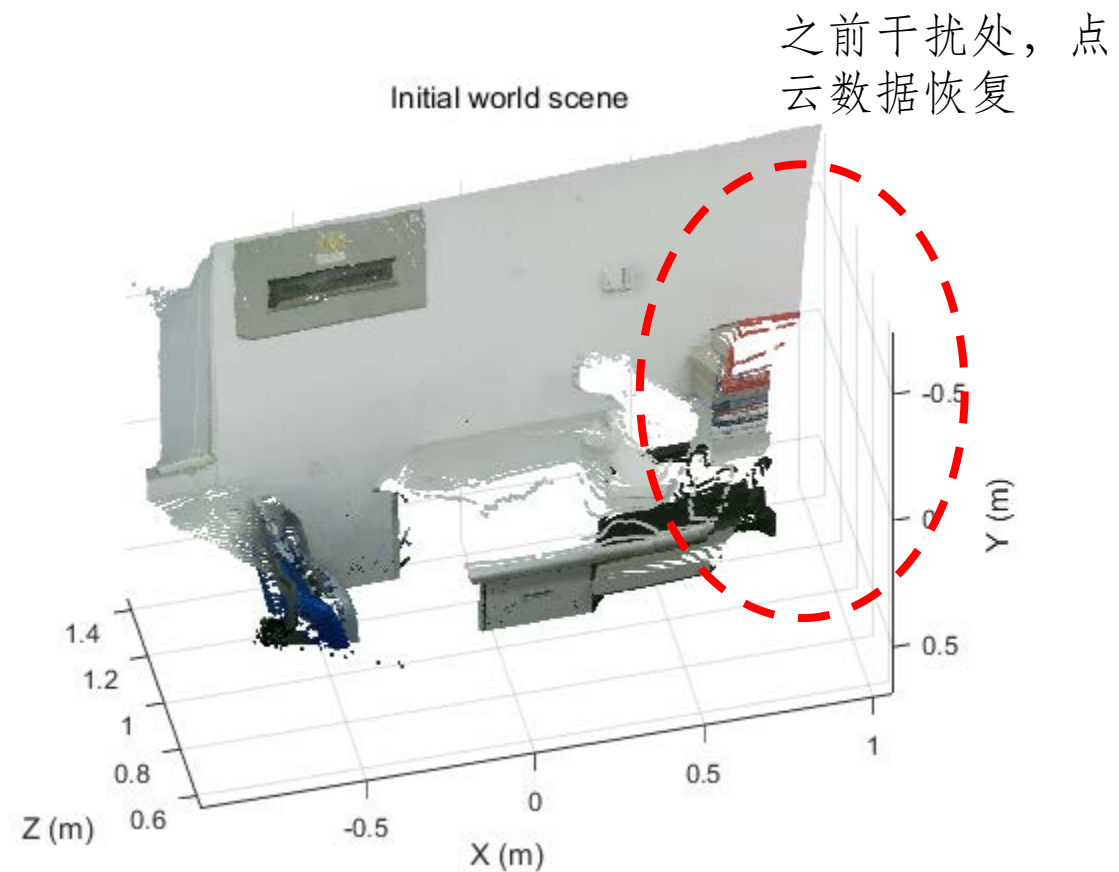


图2：去多相机干扰后的点云

五、 TOF相机多路径干扰消除

- 多路径干扰问题
 - 多相机问题即是传感器接收的信号可能通过多条路径到达从发射到反射回传感器。

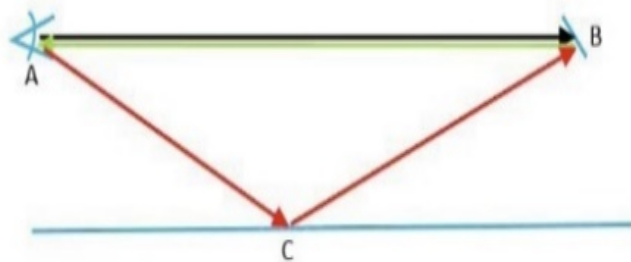


示意图1：多路径干扰—双径效应

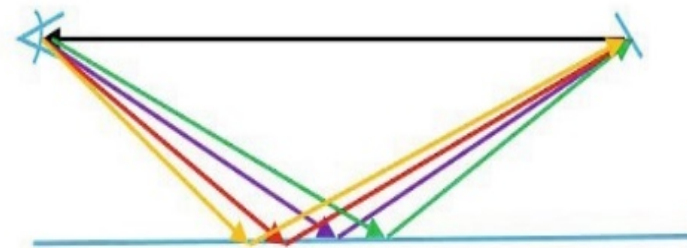


示意图2：多路径干扰—散射多径

3. 研究多路径—SRA算法

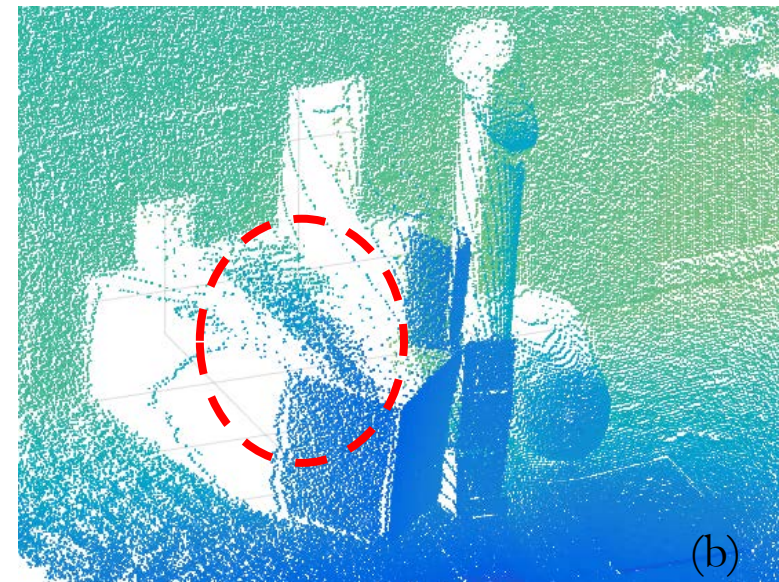
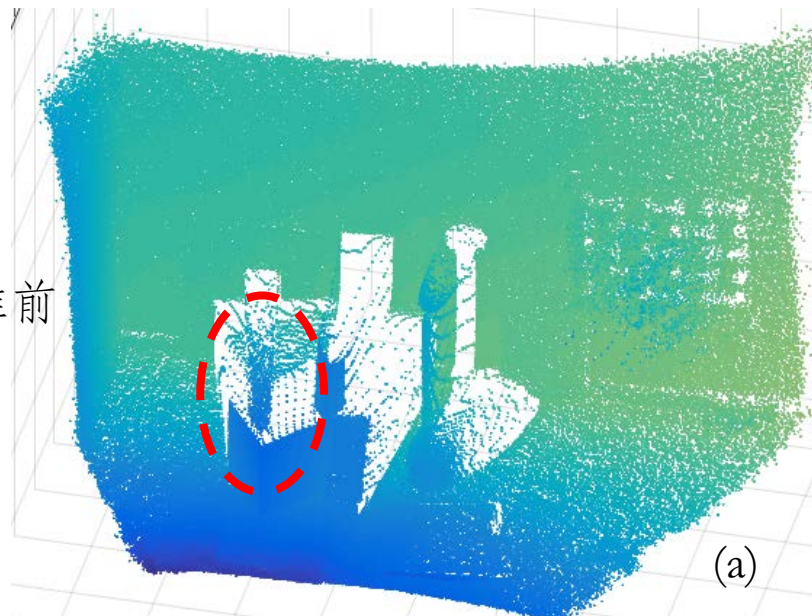
- 对于m个调制频率中的每一个，是相同频率的正弦形式光聚合，使得v的相位测量取决于跟平面的距离：
 - $v \in \mathbb{C}^m$, with $v_k = x e^{\frac{2\pi i d}{\lambda_k}}$, $k = 1, 2, \dots, m$
 - 这里d表示到平面的距离， $\lambda_k = c/2f_k$ 是半波长，对应于第k个调制频率 f_k
- 当形成多路径干扰时，上式化为如下形式：
 - $v_k = \sum_{j=1}^n x_j e^{\frac{2\pi i d_j}{\lambda_k}}$
- 将接收光按照多个反射光的向量矩阵求和形式表示，通过L1优化，最后要优化的式子如下：
 - $\min_{x \geq 0} 1^T x \quad \text{subject to} \quad Ax \leq b$
 - 这里有 $A = Q_{2m} C^{-1/2} \Phi$ 并且 $b = Q_{2m} C^{-1/2} v + \epsilon \|v\|_1 1$ ，C是噪声的协方差矩阵，Q的每个元素是1中-1中取， ϵ 是阈值这里取0.05
- 这样我们就能通过L1优化求出一系列x。再求出跟接收光主要相关的第一项系数（保证主要路径是最短的），并且要求它的强度超过一定阈值（保证对应项是真实接收光），求得其对应的索引，进而得到该像素点对应的深度。

4. 研究多路径干扰(SRA)

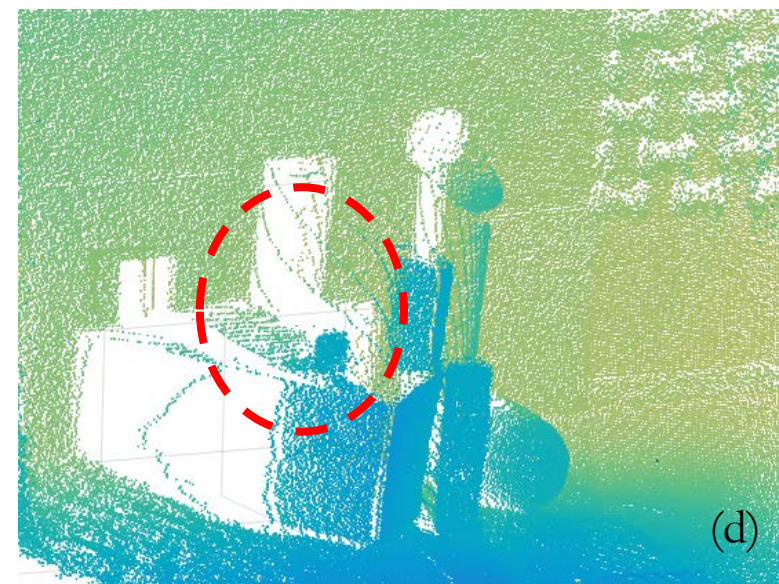
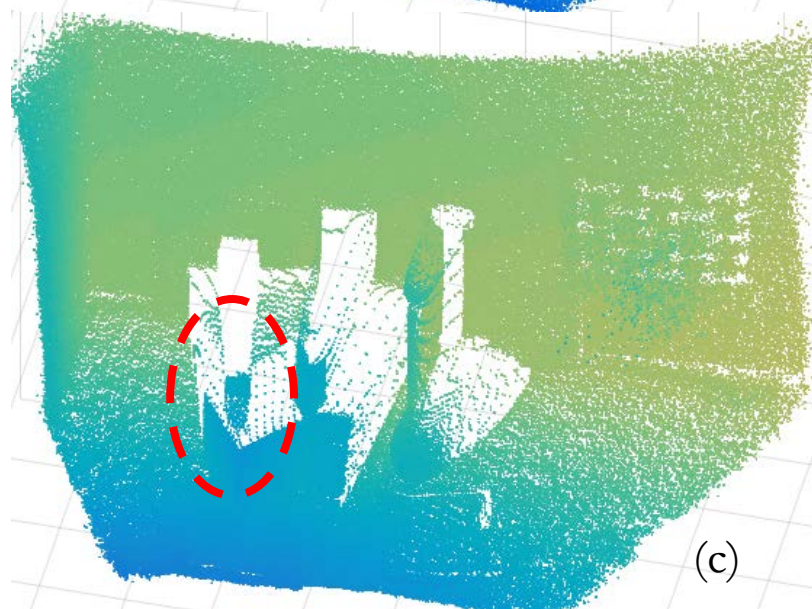


强度图

校准前



校准后



致 谢