

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
导 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

- 3D场景重建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1-1 3D 重建示意图

- TOF的介绍：
 - TOF(Time of flight)通过测量光的往返时间来测量目标距离。
- TOF的优势：
 - 体积小巧，非常适合于一些需要轻便、小体积相机的场合。
 - 能够实时快速的计算深度信息，达到几十到100fps。
 - 深度计算不受物体表面灰度和特征影响，不随距离改变而变化，基本能稳定在cm级。
- 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。

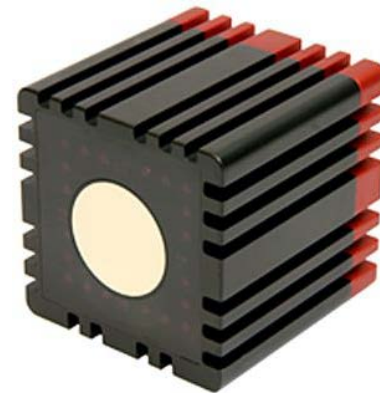


图1-2 SR-4000



图1-3 Kinect V2

- 趋势和问题：
 - 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，以及运用TOF相机于多个领域中。
 - 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视点不足的问题。但是这样会造成多相机干扰。
 - 3D场景重建在一些场景中还会遇到多路径干扰问题。

二、 3D场景信息的获取

- **Kinect v2**

- 彩色摄像头分辨率1280*960
- 深度传感器采用TOF方式，红外摄像头512*424
- 本实验中，通过Kinect Studio SDK和Matlab获取数据。

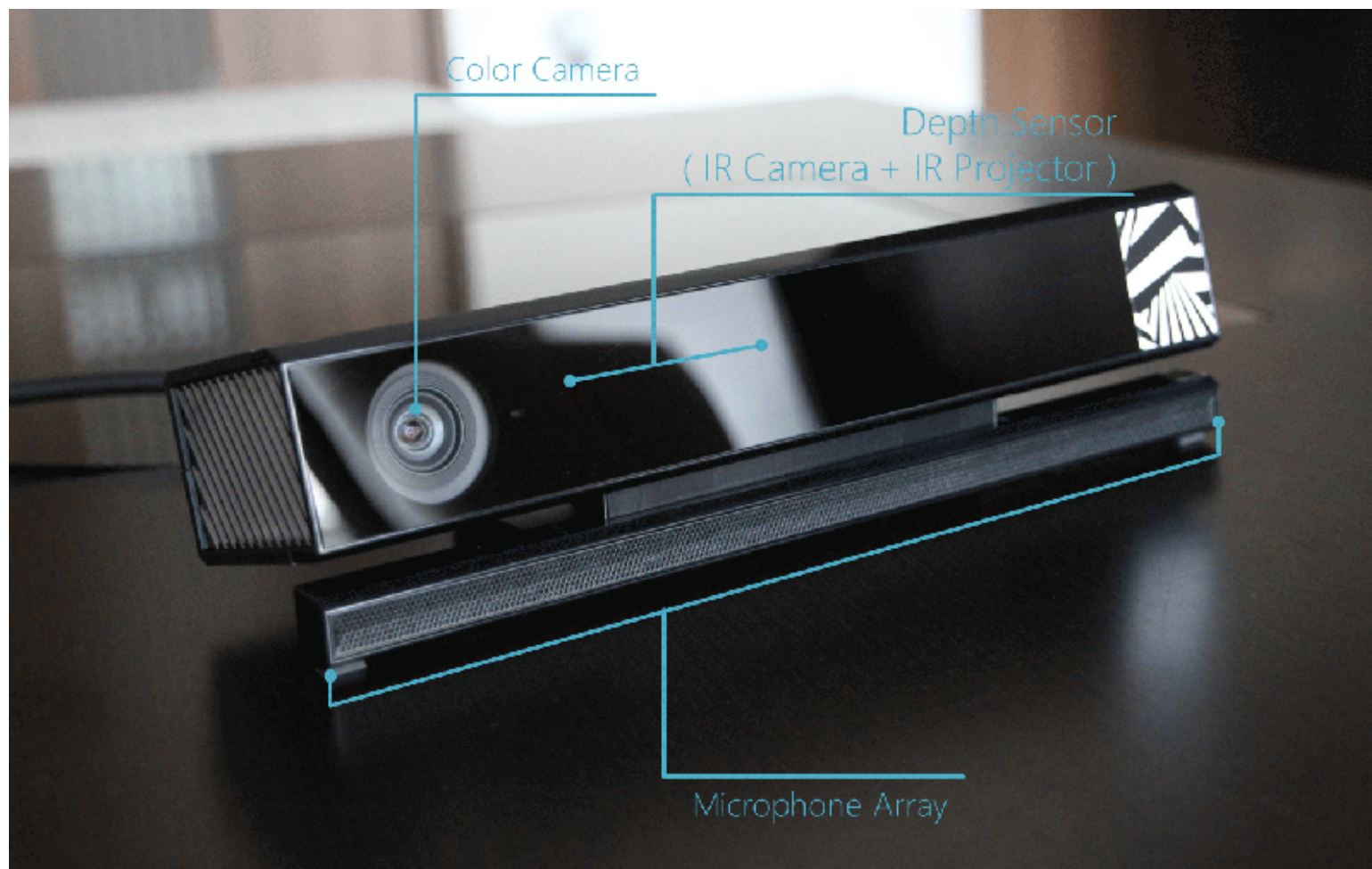


图2-1 Kinect -- V2

单帧数据的获取



图2-2 彩色图

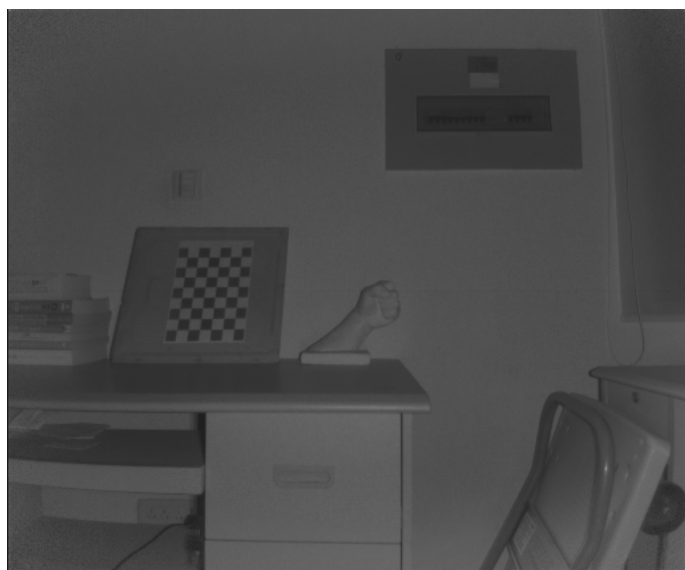


图2-3 红外图



图2-4 深度图

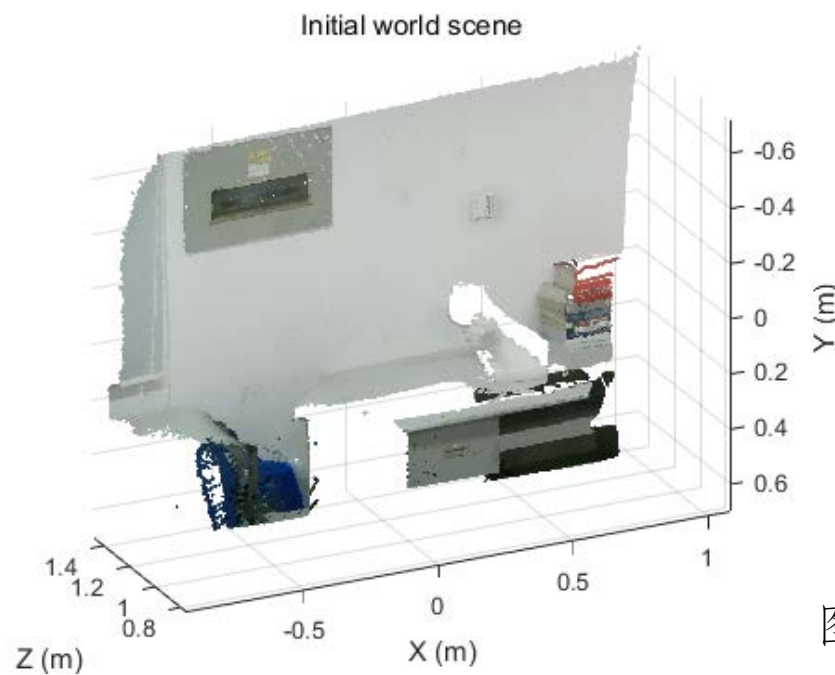


图2-5 点云数据

多相机的数据获取



图2-6 利用多个Kinect v2采集场景数据

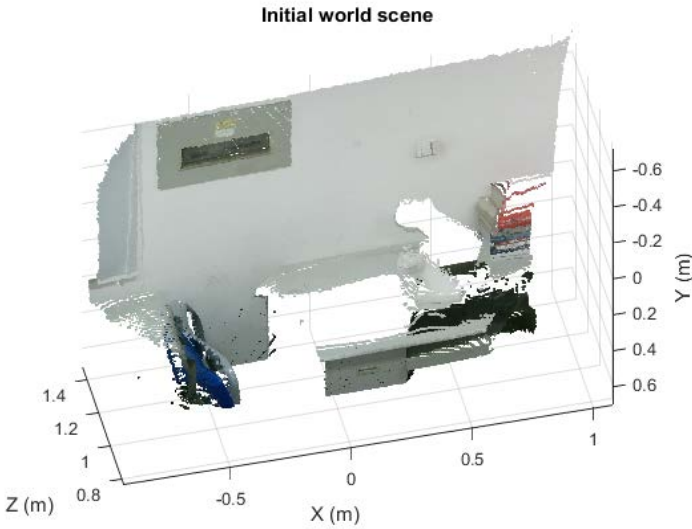


图2-7 左相机点云数据

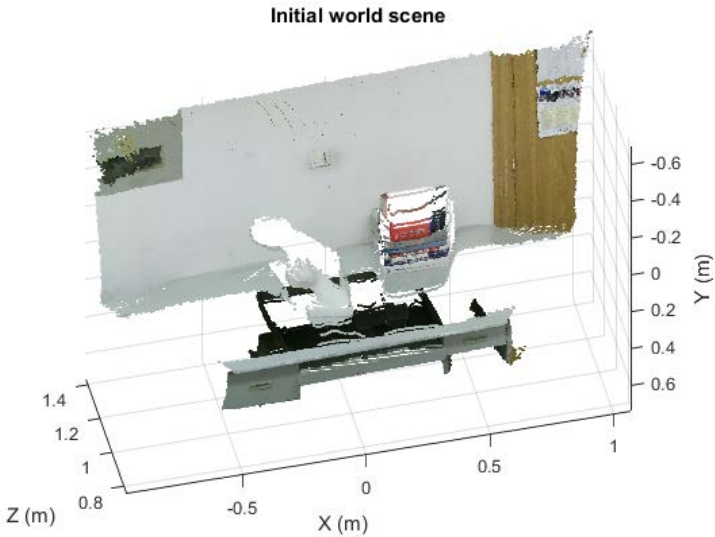


图2-8 中相机点云数据

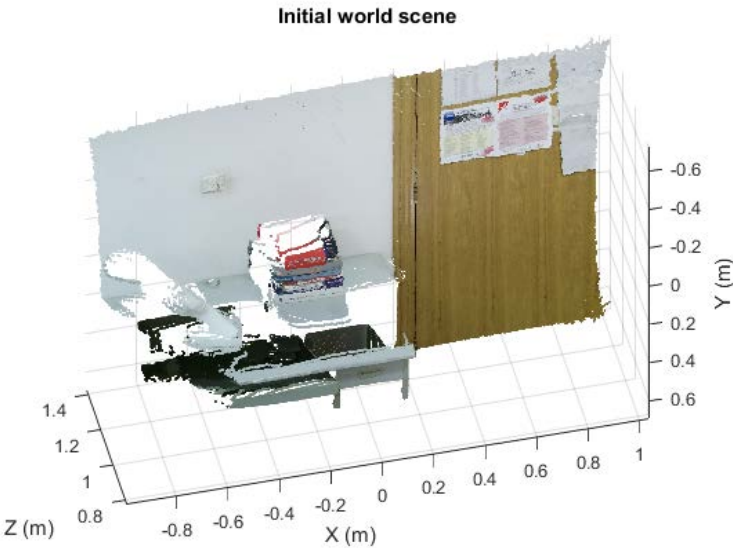


图2-9 右相机点云数据

- 编写C#程序，提取Kinect Studio采集的.xef视频，形成连续帧

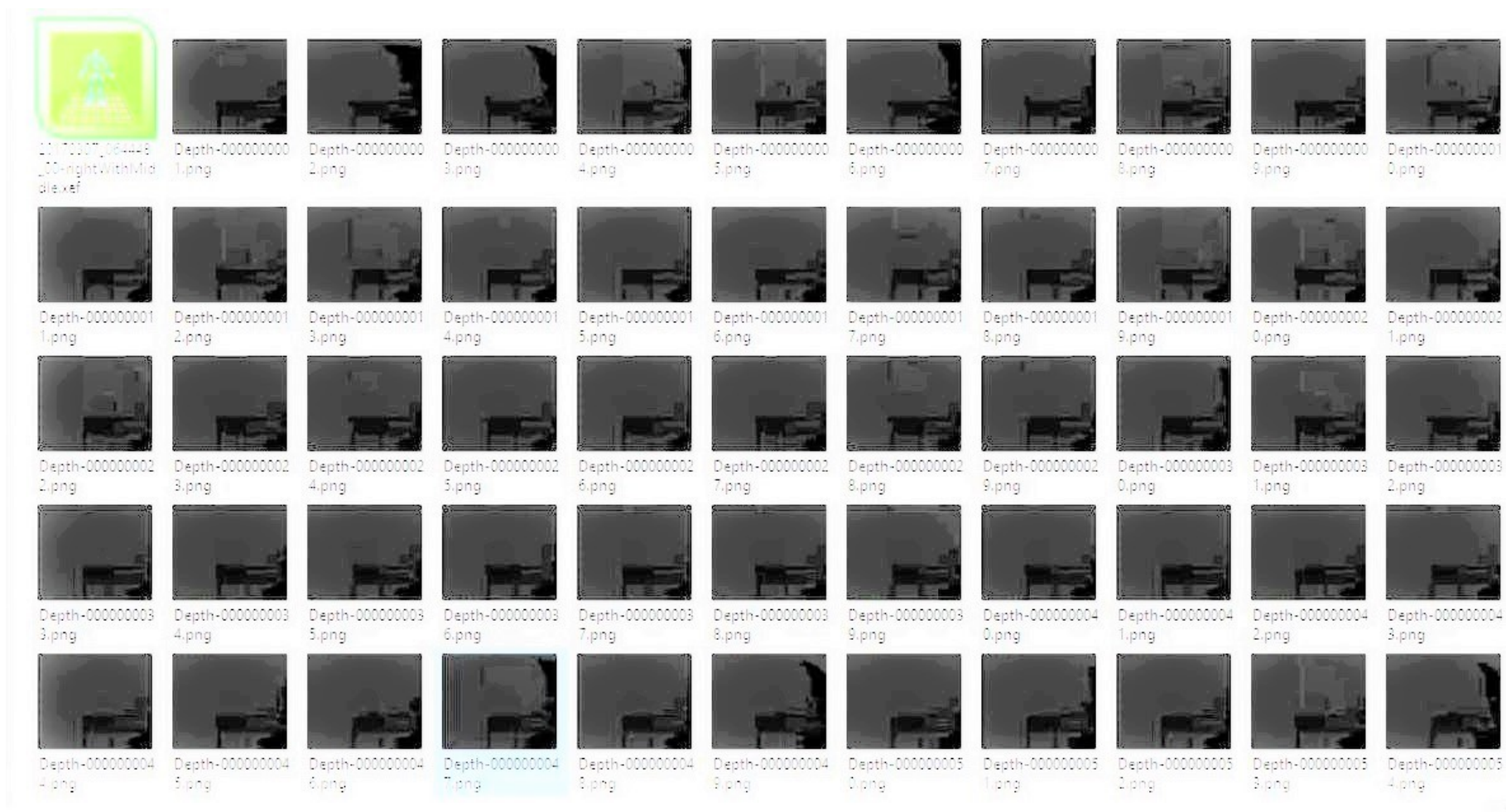


图2-10 分解.xef为连续多帧深度数据

三、 多个TOF相机的3D场景重建

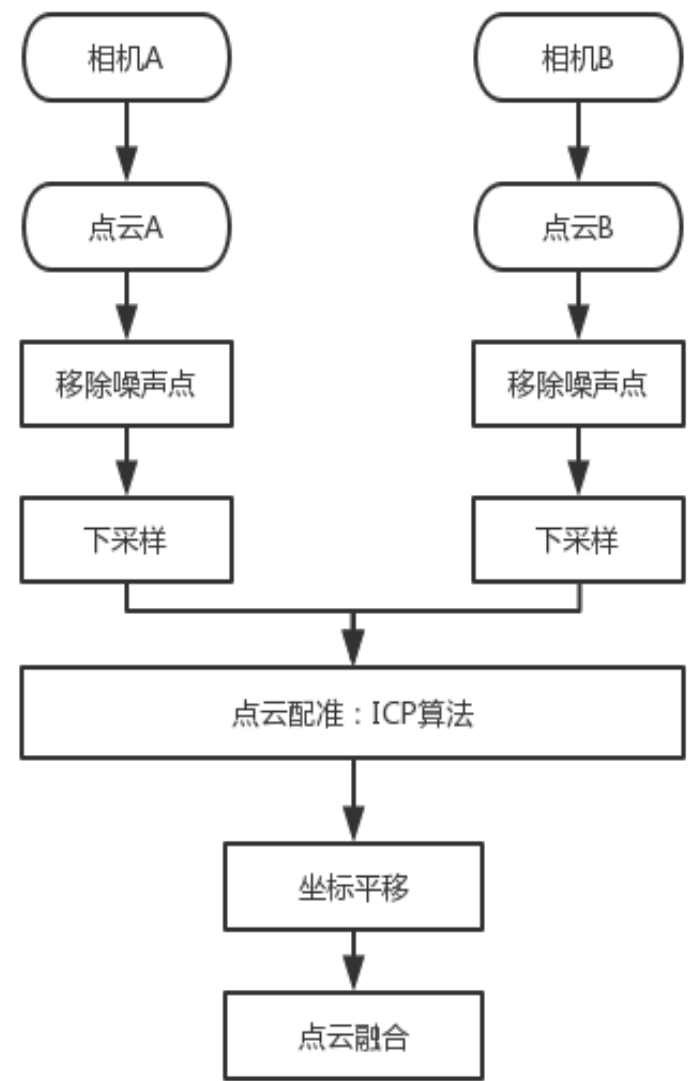


图3-1 3D重建流程图

- 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

- ICP配准



多处混叠和失真

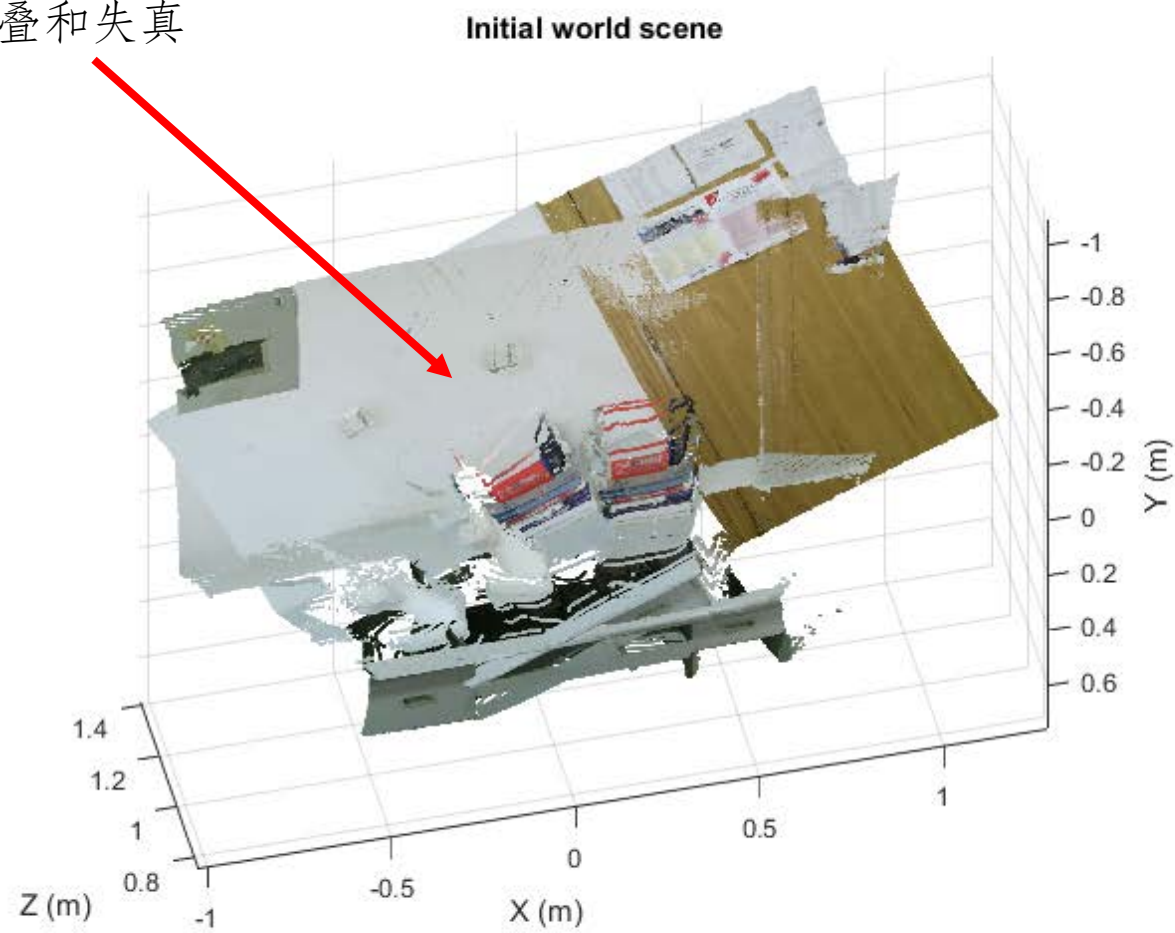


图3-2 ICP结果

- 相机标定: Matlab 应用程序Stereo Camera Calibrator

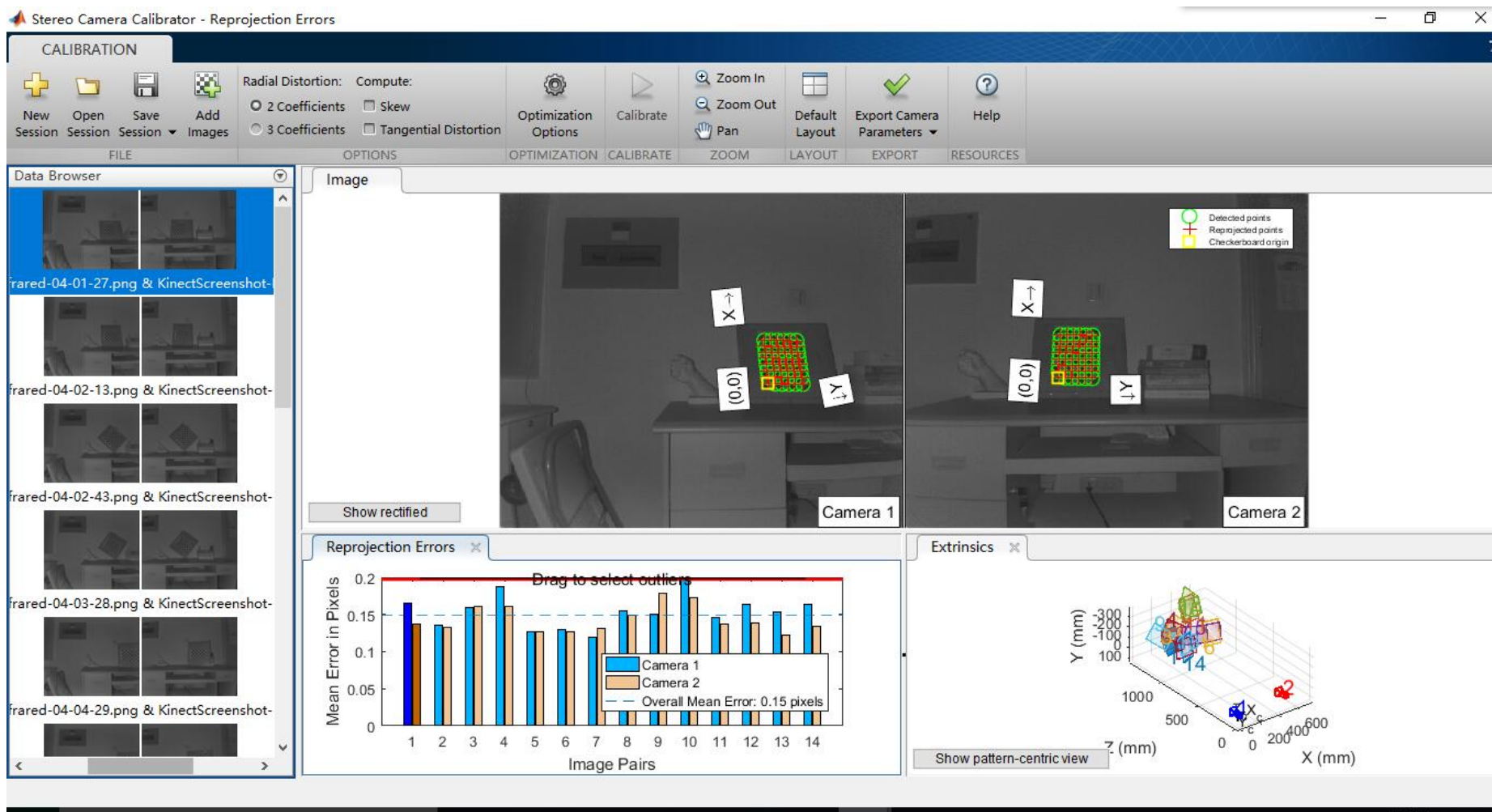


图3-3 Matlab 应用程序Stereo Camera Calibrator界面

- 相机标定配准

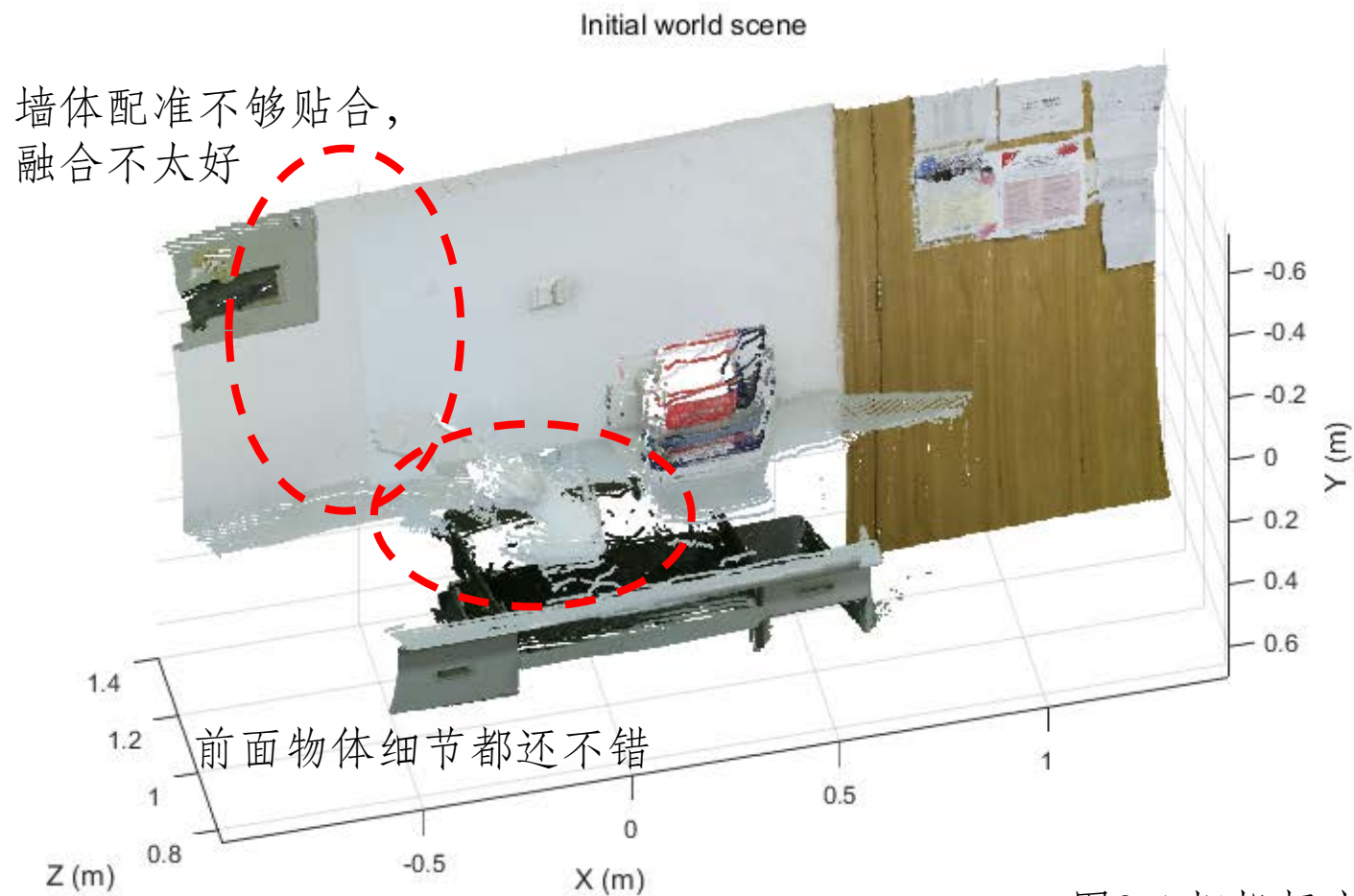


图3-4 相机标定结果

- 相机标定+ICP

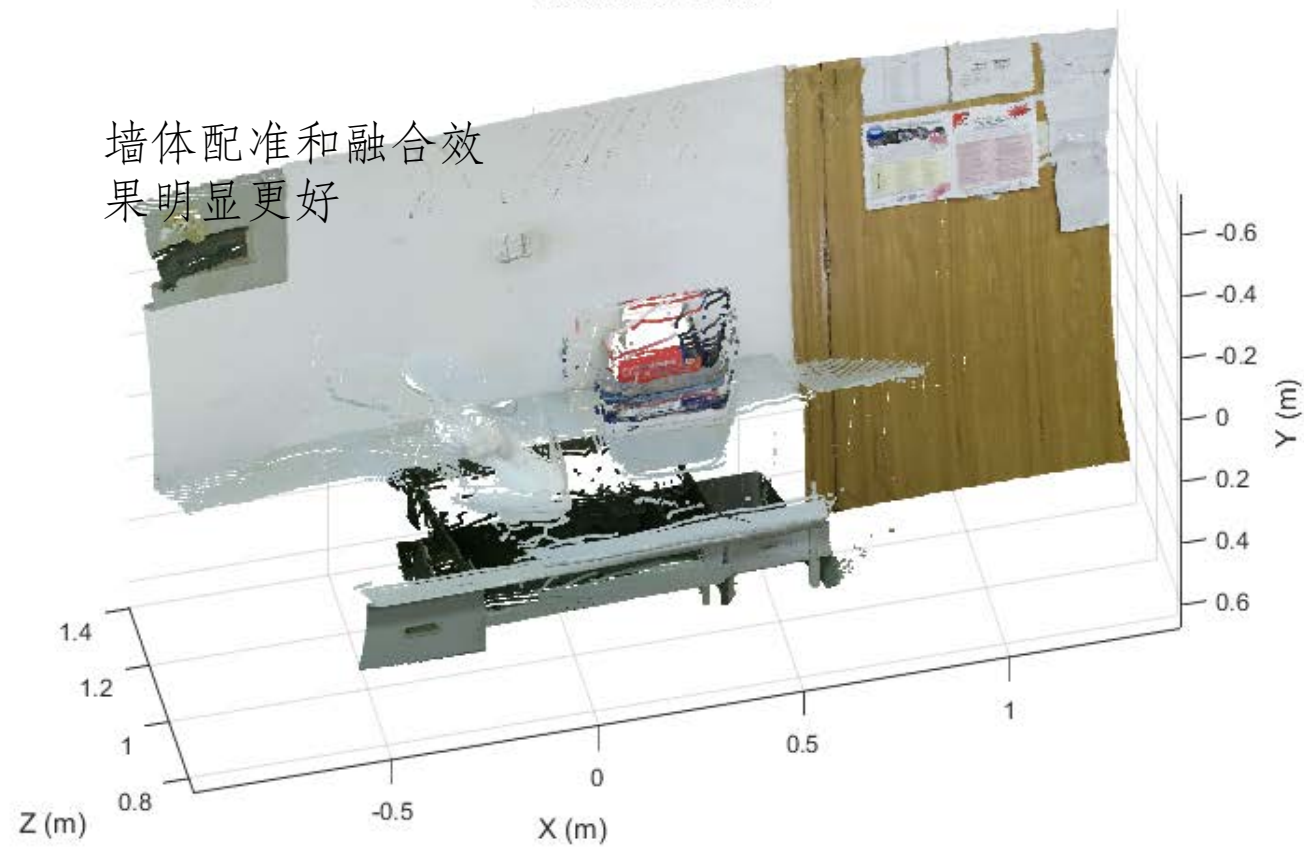
First input image



Second input image



Initial world scene



墙体配准和融合效果明显更好

图3-5 相机标定+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：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。

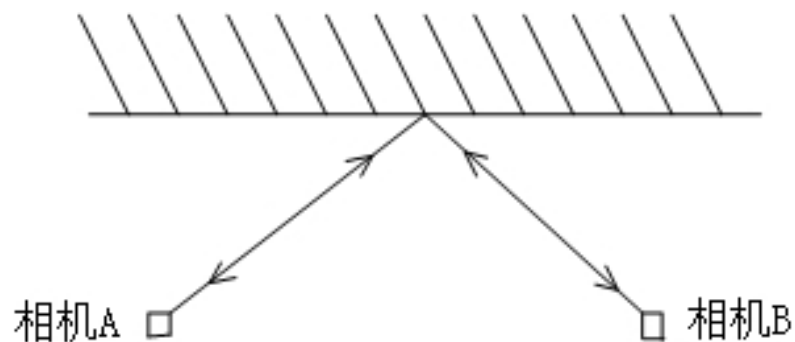


图4-1 多相机干扰

- 无干扰时，接收信号表示如下：
 - $r(t) = B + A\cos(2\pi f_0 t + \varphi)$
- 有干扰时，接收信号表示如下：
 - $r_1(i) = \tilde{B}(i) + A_{11}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_{11}(i)) + A_{12}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_{12}(i))$
 - $r_1(i) = X_1 + I(t)$
 - 无干扰项 $X_1 = \tilde{B}(i) + A_{11}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi_{11}(i))$
 - 干扰项 $I(t) = A_{12}(i)\cos(2\pi f_0 t + \varphi)$
 - 随机相位 $\varphi = \varphi_{12}(i)$
- 由于另一个相机跟本相机不同步，故其信号可假设为随机信号，该干扰项是广义稳态随机过程：
 - 即 $E[I(t)] = 0$
 - 即 $\widehat{X_1} \approx E[r_1(i)]$
- 多帧平均处理求期望



图4-2 去多相机干扰前的深度图



图4-3 去多相机干扰后的深度图

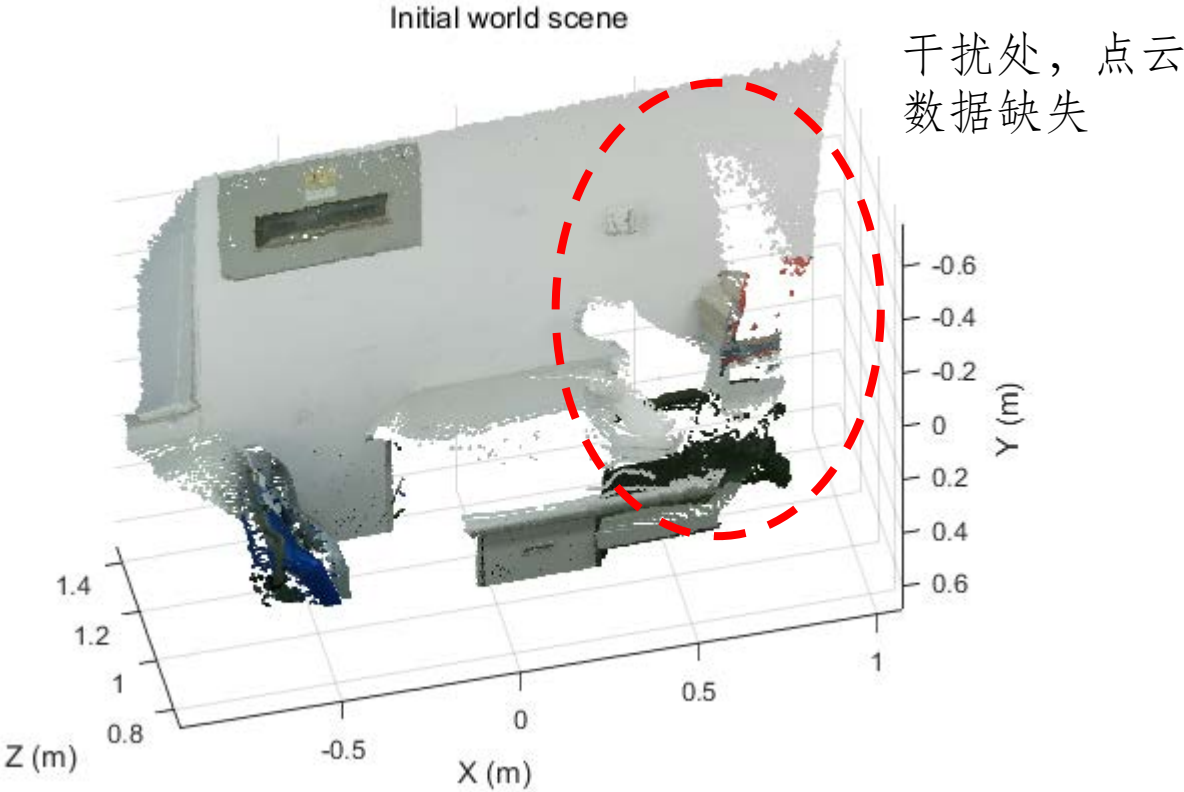


图4-4 去多相机干扰前的点云

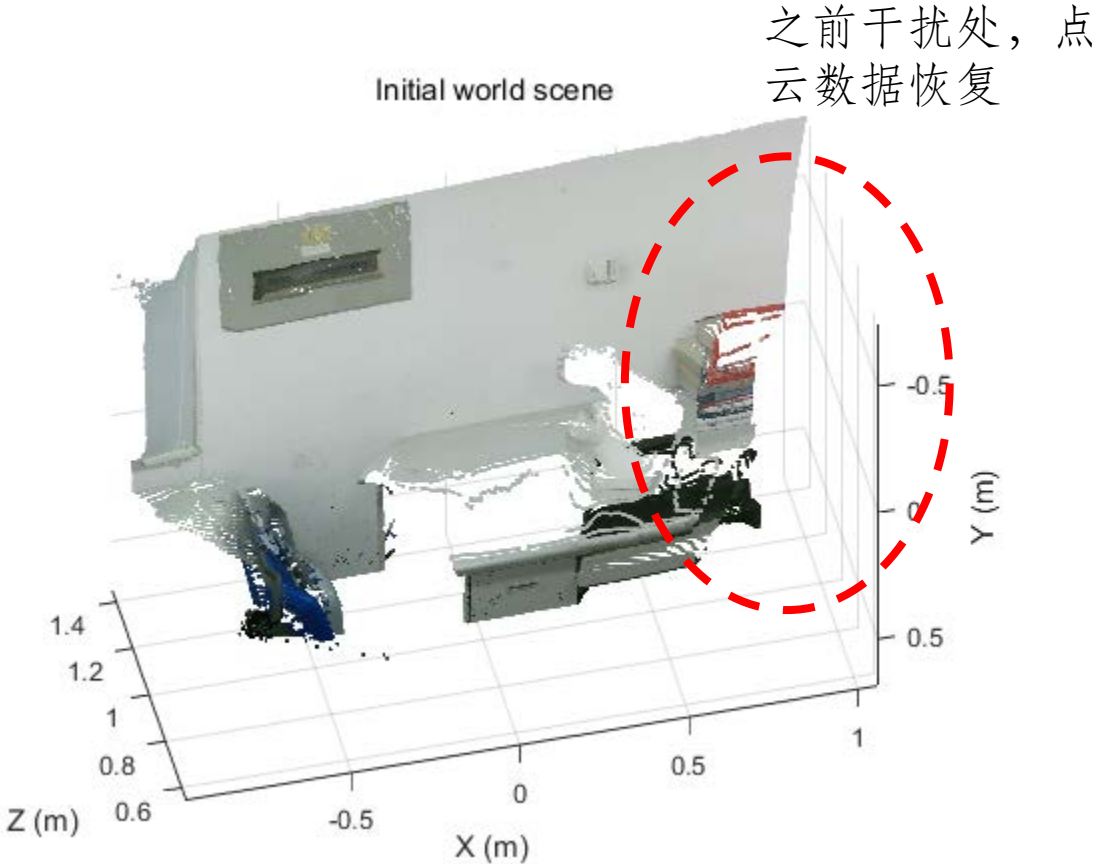


图4-5 去多相机干扰后的点云

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。

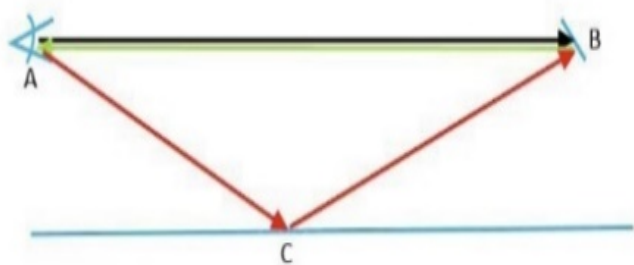


图5-1 多路径干扰—双径效应

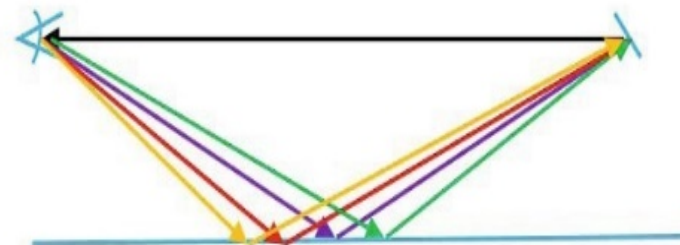


图5-2 多路径干扰—散射多径

- 单路径时，接收信号可表示为：
 - $v \in C^m, \text{with } v_k = x e^{\frac{2\pi i d}{\lambda_k}}, k = 1, 2, \dots, m$
- 多路径干扰时，接收信号可表示为：
 - $v_k = \sum_{j=1}^n x_j e^{\frac{2\pi i d_j}{\lambda_k}}$
- 将接收光按照多个反射光的向量矩阵求和形式表示，根据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
- 求出一系列x，它们是稀疏的。
- 根据接收光强度超过一定阈值（保证对应项是真实接收光），并且系数尽量小（保证满足主要路径是最短的），求得真实距离其对应的索引，进而得到该像素点对应的深度。

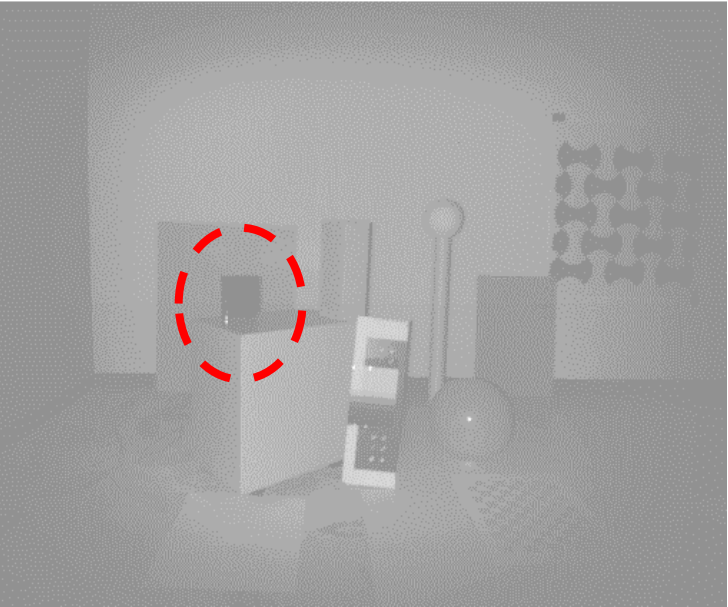


图5-3 强度图

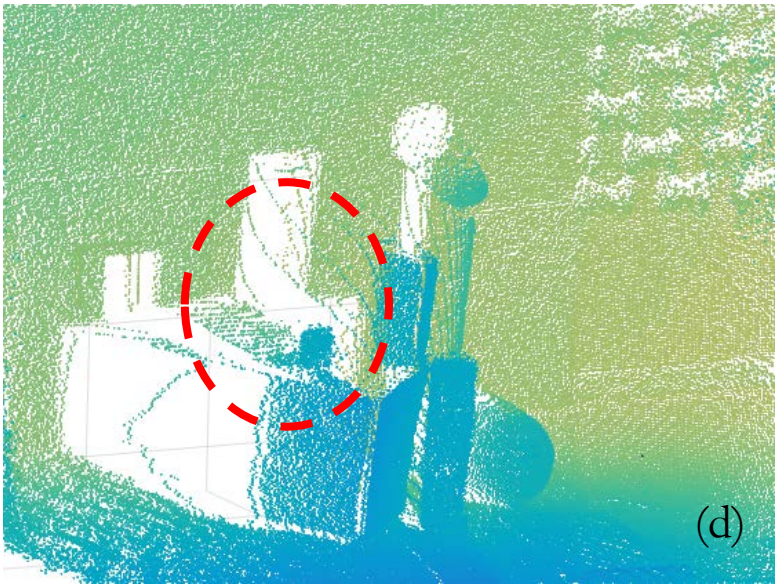
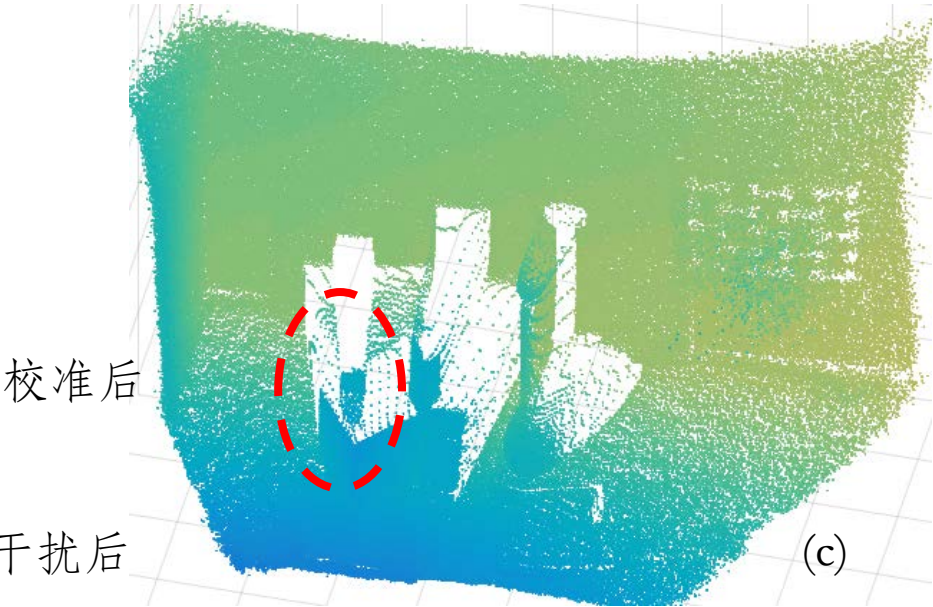
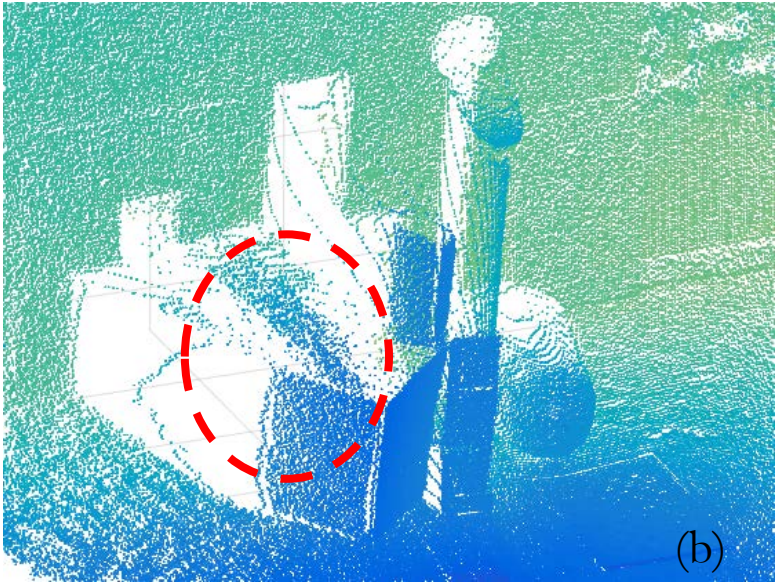
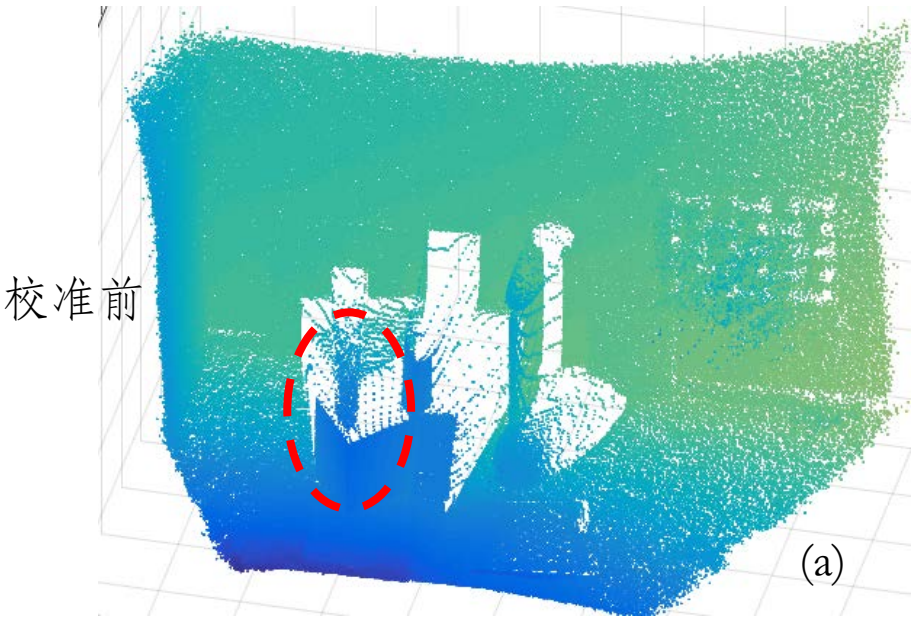


图5-4 去干扰前VS去干扰后

谢 谢