

IAMI Assignment4 Report

第二组 焦笑然 温子奇 张雯琪

提交文件	说明
/src/success_final/	最后重建出清晰效果的照片以及相关数据 /calib_*/为拍摄的相机标定图像 /Object/为用于重建的模型图像，Object.ply为最后生成的点云文件
/src/false_expos_much/	因为过曝而无法重建的照片以及相关数据

实验目的和要求

Projector-Camera-Based Stereo Vision

- Approach #1: 2 Cameras + 1 Projector
 - Stereo calibrate the two cameras
 - Project a pattern / a few patterns
 - Establish the correspondences between stereo calibrated cameras
 - Triangulate (Depth map & 3D point cloud)
- Approach #2: 1 Camera + 1 Projector
 - Calibrate the camera-projector system
 - <http://mesh.brown.edu/calibration/>
 - Project a pattern / a few patterns
 - Establish the correspondences between camera pixels and projector pixels
 - Triangulate (Depth map & 3D point cloud)

我们小组选择Approach #2

实验任务和分析

Task1 相机-投影仪系统的标定

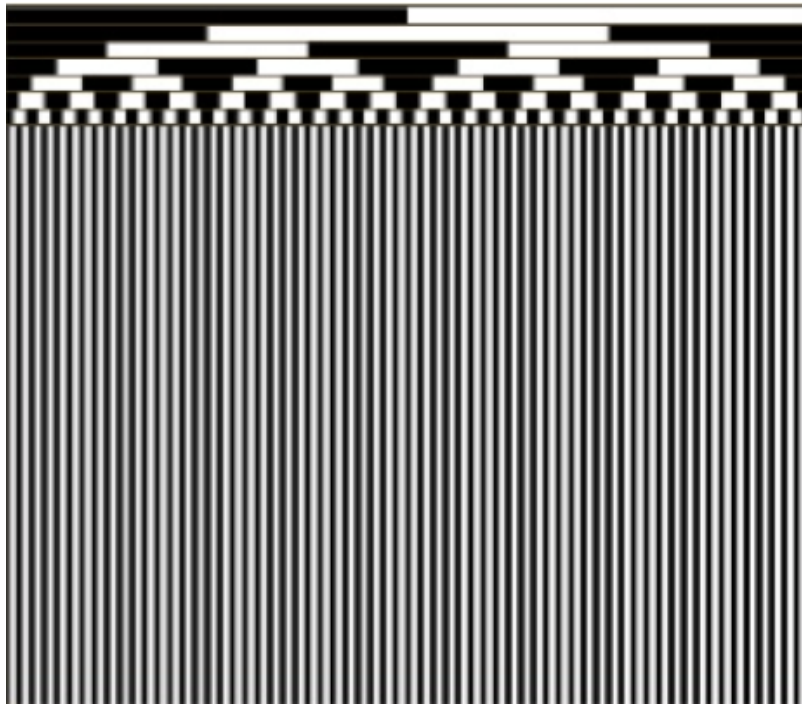
- 放置相机、投影仪，并对相机进行调焦。将棋盘安放在合适区域，使其尽可能地占据投影区域，并完全进入相机视野。
- 使用[Projector-Camera Calibration Toolbox](#)控制投影仪投射Patterns，同时用相机对场景拍照。利用[procamcalib](#)对相机-投影仪系统进行标定。具体分为角点检测、Patterns解码和标定校准三步。

Task2 投影patterns

- 撤去棋盘，放置三维重建的目标物体。
- 使用[procamcalib](#)控制投影仪投射Patterns，同时用相机对场景拍照。每个图像都是投影仪行和列的Gray码的一位。

Task3 建立相机像素和投影仪像素之间的对应关系

- 每个图像都是投影仪行和列的Gray码的一位。根据每个像素点的颜色序列解码得到其投影仪像素坐标，以此为依据建立图像像素和投影仪像素之间的对应关系。



Task4 三角化

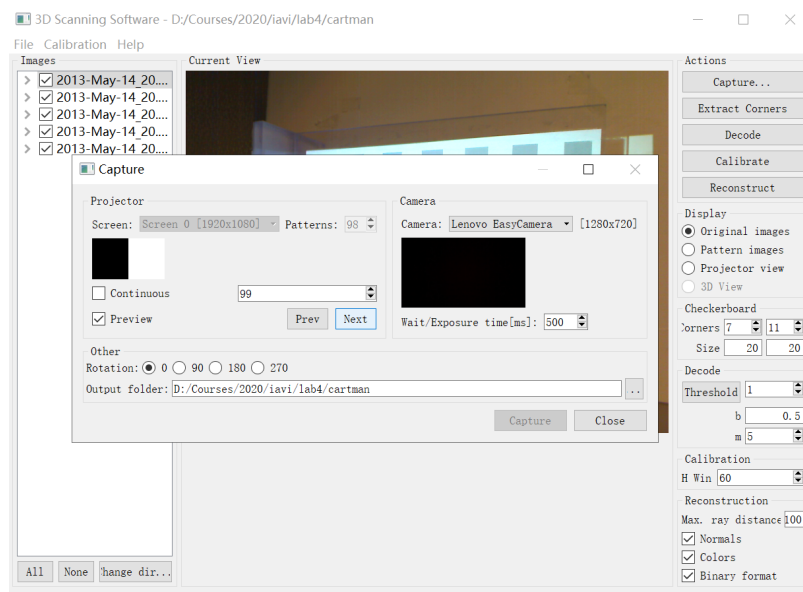
- 根据投影仪像素和图像像素的视差，通过三角测量法确定深度信息，进行三维重建。

实验过程和结果

本次实验中，利用1 Camera + 1 Projector完成的重建。

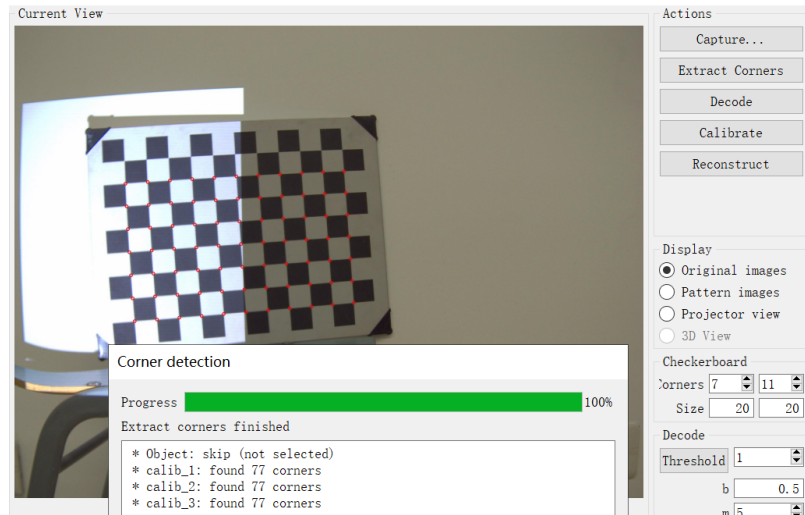
Step1 相机-投影仪系统标定

- 点击Capture按钮，控制投影仪将patterns投射到场景中，同时控制相机拍照。



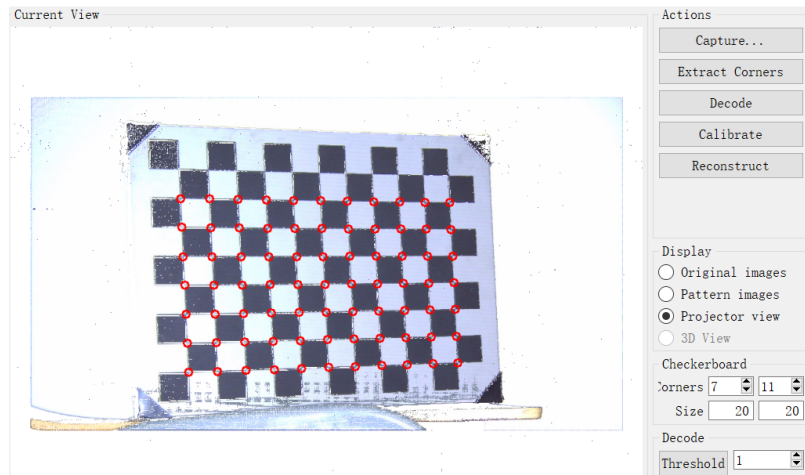
- 变换棋盘的位置，重复上述步骤。
- 选中至少三组标定照片，输入正确的checkerboard参数，点击Extract Corners按钮，进行角点检测。如果参数错误或照片过暗过曝，则可能无法正确检测角点。如果正确检测角点，则对话框中会

显示检测出的角点数目，图像中角点会有红色标记。



- 点击Calibration按钮，进行角点检测、解码和参数标定三步。

其中projector view可以看到投影仪视角的对应像素点。



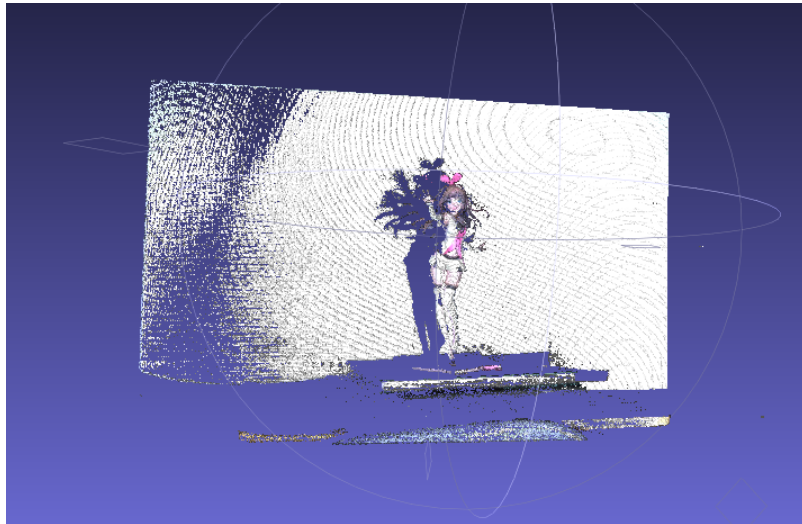
标定结果如下，分别为相机和投影仪的内参矩阵、去畸变系数，以及相机-投影仪系统的单应矩阵。

```
%YAML:1.0
cam_K: !!opencv-matrix
  rows: 3
  cols: 3
  dt: d
  data: [ 3.6963811217798634e+003, 0., 1.3056583029998428e+003, 0.,
    3.6957580572528991e+003, 1.0327381450802898e+003, 0., 0., 1. ]
cam_kc: !!opencv-matrix
  rows: 1
  cols: 5
  dt: d
  data: [ -5.1987076156699430e-001, 1.0343004431857329e-001,
    -1.5033061467614240e-003, 9.8455848019905366e-004, 0. ]
proj_K: !!opencv-matrix
  rows: 3
  cols: 3
  dt: d
  data: [ 1.4297132565217617e+003, 0., 5.0811503221023474e+002, 0.,
    1.4300134628318319e+003, 5.8066173455710964e+002, 0., 0., 1. ]
proj_kc: !!opencv-matrix
  rows: 1
  cols: 5
```

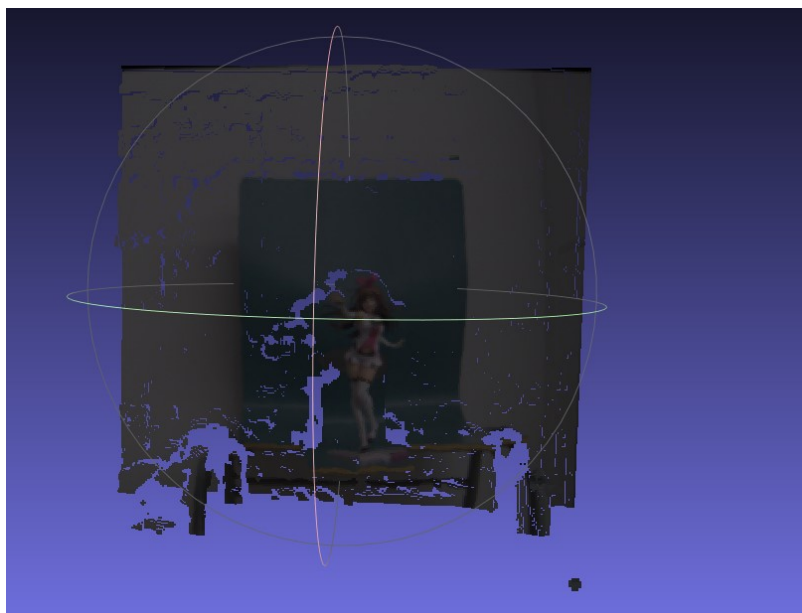
```
dt: d
data: [ 8.7113024780863191e-002, -3.7983052802597944e-001,
        -3.1412595675416296e-003, -1.2626384993483567e-003, 0. ]
R: !!opencv-matrix
rows: 3
cols: 3
dt: d
data: [ 9.9911359102877995e-001, -2.6494376351982402e-002,
        3.2712080999155020e-002, 2.5192393510999785e-002,
        9.9889831554600683e-001, 3.9591646954086776e-002,
        -3.3724998602856888e-002, -3.8732456945946875e-002,
        9.9868033987265803e-001 ]
T: !!opencv-matrix
rows: 3
cols: 1
dt: d
data: [ 5.3336890457976693e+001, -7.3294864363892643e+001,
        -1.5051088910887827e+002 ]
cam_error: 1.3030740898916399e-001
proj_error: 6.7201883310737592e-002
stereo_error: 1.1607247981018332e-001
```

Step2 投影及三维重建

- 撤去棋盘，合理摆放待重建物体，使其尽可能地占据投影区域并被投影区域完全覆盖。
- 点击Capture按钮，控制投影仪将patterns投射到场景中，同时控制相机拍照。
- 点击Reconstruction按钮，利用`procamcalib`进行三维重建。利用Meshlab观察输出的点云。结果如下：



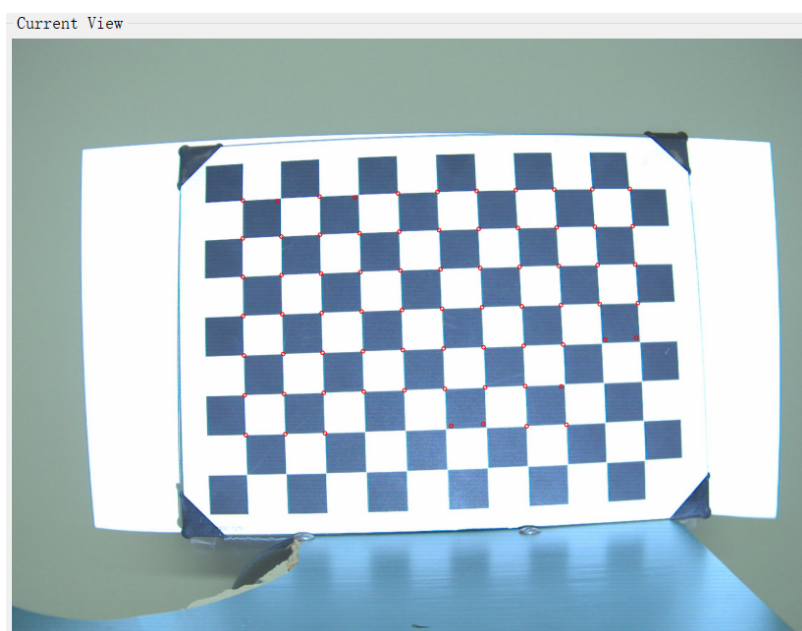
对比上一次实验中通过双目相机重建相同物体得到的结构，效果明显了很多：



问题及分析

Problem1 角点检测失败

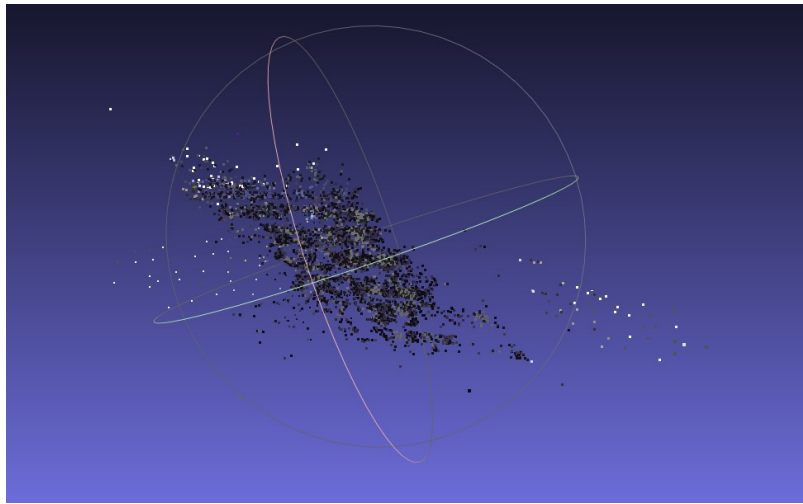
- 拍摄因素：过曝或环境过暗导致无法正常识别角点。如下图，最后两行的角点无法正常识别。



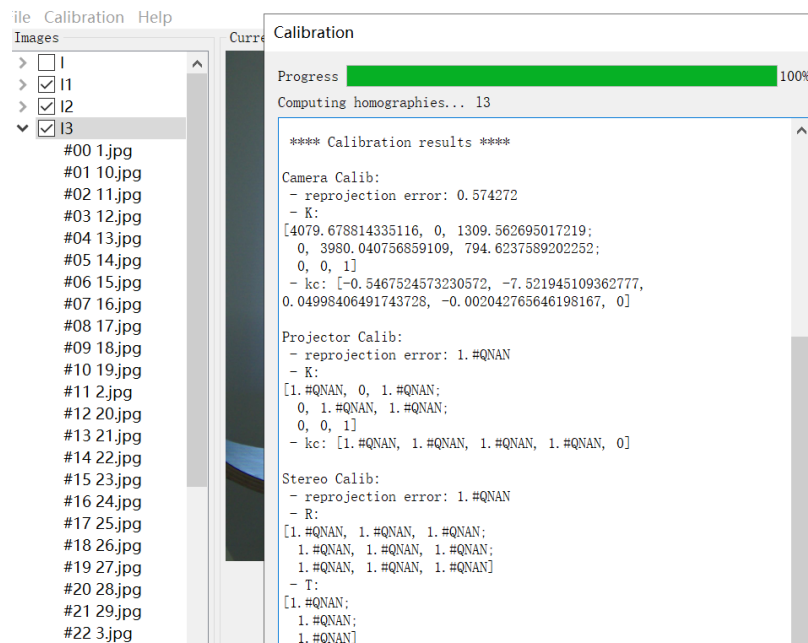
- 参数因素：内格点的数目输入错误。

Problem2 Pattern解码错误

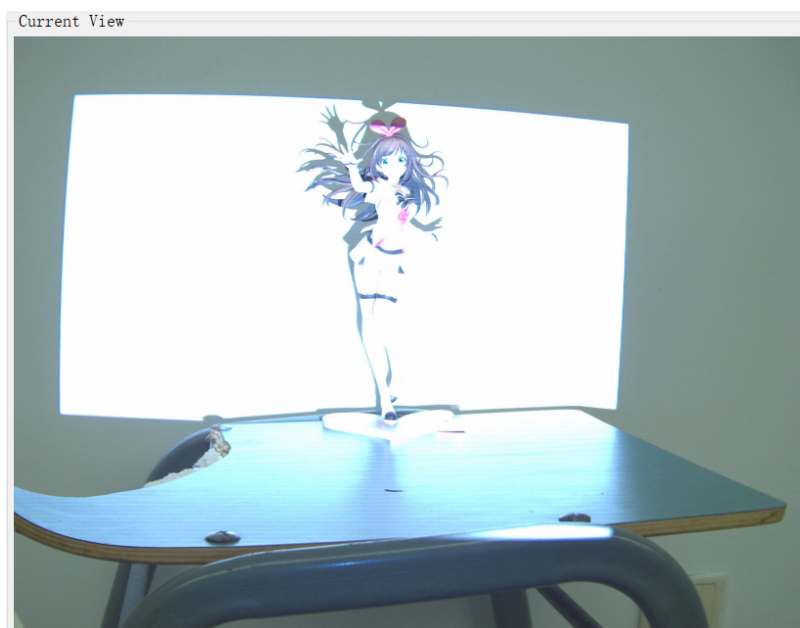
- 照片名的字符串比较顺序应当与Patterns顺序一致，否则无法正确匹配，造成投影仪及系统的标定结果重投影误差较大。
- 第一次实验课中，由于时间原因，我们利用相机的持续录制功能拍摄了所有pattern下的照片，虽然大大减小了拍照所用时间（只需要将所有pattern快速投影一遍即可），但是会产生数量非常多的照片（由于每一帧都被记录了），并且照片中存在错误照片：由于pattern切换较快，部分照片中的pattern是撕裂的。在后期处理中需要在这些照片中筛选出正确的42组pattern，由于靠后的pattern的光栅过细，肉眼难以识别，导致筛选难度极大，可能存在偏差。patterns的对应如果出现错误，则会在decode过程中产生极大的误差（重投影误差高达四位数），无法重建出有效点云。



- 第二次实验课中，我们手动给照片命名时采用了[1-9,10-42]的编号，其中字符串大小顺序为[1,10-19,2,...]，和拍摄时的patterns顺序不能对应，导致重投影误差高达三位数。重命名后问题得到解决。



Problem3 过曝导致重投影误差过大

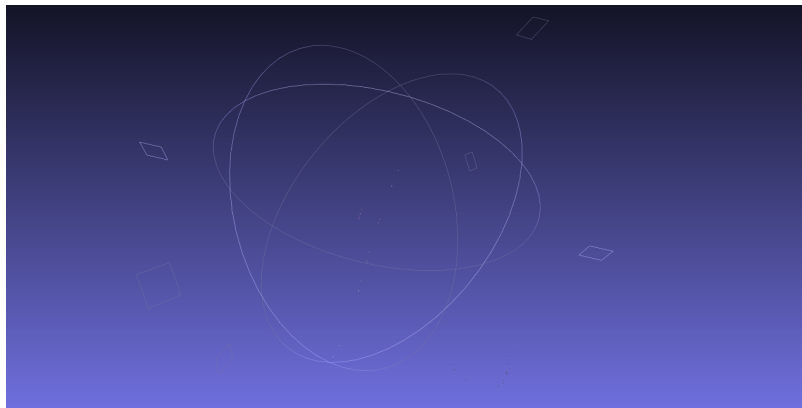


相机参数调整不当，曝光时间和增益过大，导致图像过曝，pattern辨识度下降，软件层面难以正确匹配图像像素和投影仪像素。重投影误差较大，三维重建效果极差。

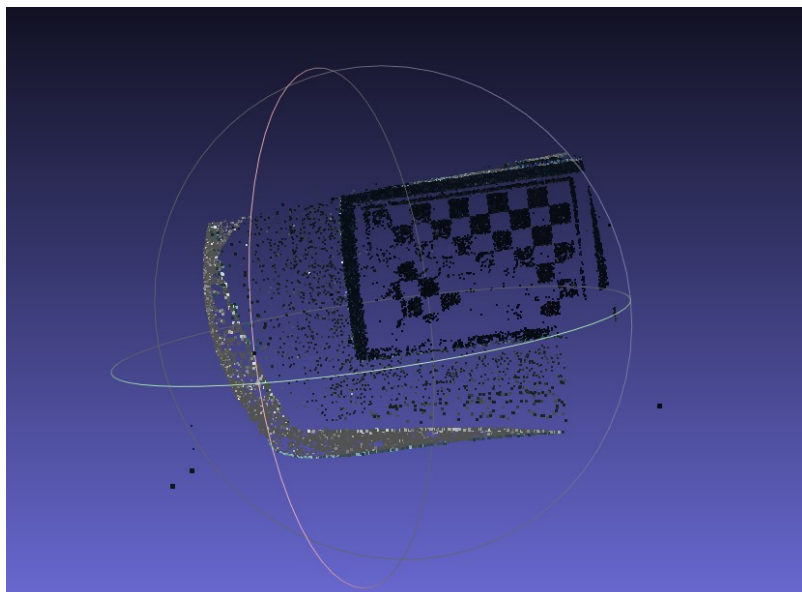
```
Camera Calib:
- reprojection error: 0.348071
- K:
[3685.027048997624, 0, 1352.995057267661;
 0, 3674.755863482884, 1051.100908623412;
 0, 0, 1]
- kc: [-0.6375272516781951, 1.321919828732002,
0.0007870873886577012, -0.00193073190020266, 0]

Projector Calib:
- reprojection error: 4.64604
- K:
[1552.067405891953, 0, 759.0925258359007;
 0, 1423.026302677735, 228.9506773563369;
 0, 0, 1]
- kc: [0.6098767484366759, -1.425422268776563,
-0.03312044997130353, 0.1031814226659642, 0]

Stereo Calib:
- reprojection error: 6.06577
- R:
[0.9970775618687962, 0.07610307570487079, 0.006682625684235579;
 -0.07505463710885021, 0.9594978007895373, 0.2715341078547962;
 0.01425261611900441, -0.2712421282697435, 0.9624056165596002]
- T:
[-57.94225642368577;
 -140.248704857302;
 -162.1227935188469]
```



这一组拍摄中，虽然由于重建物体过曝导致无法重建3维对象，但是可以以棋盘为对象进行重建（虽然仍有较大误差，但是可以大致重建出形态）：



参考资料

[Projector-Camera Calibration Toolbox](#)