

计算机视觉  
期末项目：三维重建  
(占期末成绩 60%)

本项目的目标是构建一个基于“运动恢复结构（SfM）”原理的迷你系统。给定两张拍摄同一静止场景的图片以及相机的内参矩阵，你需要通过算法恢复相机的运动轨迹，并重建出场景中稀疏特征点的三维坐标。作业必须**独立完成**。

请将所有图像、程序、**课程论文**打包到“**你的姓名\_学号\_final.zip**”文件，在最后期限前提交，要求可以调用 `final_script.py` 输出全部结果。

1. 加载数据 (2 分)
  - 1) 下载图像对“view1.png”和“view2.png”，以及**相机内参**文件“K.txt”；
  - 2) 完成函数 `load_data`，使用 `cv2.imread` 读取图像，使用 `np.loadtxt` 读取相机内参矩阵；
  - 3) 将图像左右连接并使用 `cv2.imshow` 并列显示出来。
2. 特征提取与匹配 (8 分)
  - 1) 完成函数 `extract_and_match_features`，使用 SIFT 算法提取图像特征点，在两张图像之间匹配特征点；
  - 2) 使用 `cv2.drawMatches` 显示匹配结果；

**提示：**参考课件《第十一节：立体视觉（下）》中图像矫正部分。

3. 位姿估计 (35 分)  
完成函数 `estimate_pose`，包含以下内容：

- 1) 使用 RANSAC 剔除外点；
- 2) 使用**归一化**8点算法估计基础矩阵；
- 3) 计算本质矩阵；
- 4) 使用 `cv2.recoverPose` 恢复相机位姿（旋转和平移）；

**提示：**必须手写，使用 `cv2.findEssentialMat` 会扣分。函数 `estimate_pose` 本身是完整的，其中函数 `ransac_fundamental_matrix` 需补全。参考课件《第十节：立体视觉（上）》中8点算法部分。

4. 三角测量 (25 分)  
完成函数 `triangulate`，对每一个匹配点对，求解 3D 坐标。

**提示：**必须手写，使用 `cv2.triangulatePoints` 会扣分。假设我们有一个 3D 点  $\mathbf{X}_{world} = [X, Y, Z, 1]^T$  (齐次坐标)。它在两个相机视图中的投影矩阵分别为  $\boldsymbol{\Pi}_1$  和  $\boldsymbol{\Pi}_2$ 。它在图像上的投影点分别为  $\mathbf{x}_1 = (u_1, v_1)$  和  $\mathbf{x}_2 = (u_2, v_2)$ 。根据针孔相机模型：

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \boldsymbol{\Pi} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

这里 $\lambda$ 是尺度因子（深度）。为了消去 $\lambda$ ，对于第一个点 $\mathbf{x}_1 = (u_1, v_1, 1)$ 和投影矩阵 $\boldsymbol{\Pi}_1$ ，我们得到两个方程：

$$\begin{cases} u_1(\boldsymbol{\pi}_1^{3T}\mathbf{X}) - \boldsymbol{\pi}_1^{1T}\mathbf{X} = 0 \\ v_1(\boldsymbol{\pi}_1^{3T}\mathbf{X}) - \boldsymbol{\pi}_1^{2T}\mathbf{X} = 0 \end{cases}$$

其中 $\boldsymbol{\pi}_1^{iT}$ 表示矩阵 $\boldsymbol{\Pi}_1$ 的第*i*行。结合两个视图（每个视图提供 2 个方程），我们可以构建一个 $4 \times 4$ 的矩阵 $\mathbf{A}$ ，使得 $\mathbf{AX} = \mathbf{0}$ ：

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} u_1\boldsymbol{\pi}_1^{3T} - \boldsymbol{\pi}_1^{1T} \\ v_1\boldsymbol{\pi}_1^{3T} - \boldsymbol{\pi}_1^{2T} \\ u_2\boldsymbol{\pi}_2^{3T} - \boldsymbol{\pi}_2^{1T} \\ v_2\boldsymbol{\pi}_2^{3T} - \boldsymbol{\pi}_2^{2T} \end{bmatrix}$$

我们需求解 $\mathbf{AX} = \mathbf{0}$ 的非零解。记得最后进行去齐次化处理( $X/w, Y/w, Z/w$ )。

## 5. 可视化与后处理（5 分）

完成 `visualize_point_cloud`，设置视点，绘制点云。

## 6. 撰写课程论文（25 分）

课程论文应包含以下几个部分：

- 1) 标题；
- 2) 中英文摘要；
- 3) 关键词；
- 4) 引言；
- 5) 方法介绍，介绍各个步骤所采用的算法：特征提取与匹配、本质矩阵估计、位姿估计、三角测量等；
- 6) 实验结果，阐述各步骤的实现过程及结果；
- 7) 总结；
- 8) 参考文献；

课程论文不少于 6 页，请严格按照要求撰写。