

# Report

**Name:** 周振欣

**Student ID:** 2112404141

## 1. Overview

本实验的目的是实现运动结构（**Structure from Motion, SfM**）和捆绑调整（**Bundle Adjustment**），以从多张图像中同时获得相机外参（姿态）并重建 3D 场景。实验过程中，实现了特征点检测、特征匹配、几何验证、增量式 SfM 和捆绑调整等模块。本文将描述各个模块的实现过程和关键算法。

## 2. Methodology

### 2.1 Preprocessing: Scene Graph Construction

在预处理阶段，使用了 SIFT 算法检测每张图像的关键点，并提取其特征描述符。接着，通过双向匹配（BFMatcher）和 Lowe 比率测试筛选出可靠的特征匹配点，进一步使用 RANSAC 算法进行几何验证，剔除异常匹配。最终，构建了一个场景图，将图像视为节点，连接拥有足够内点匹配的图像对。

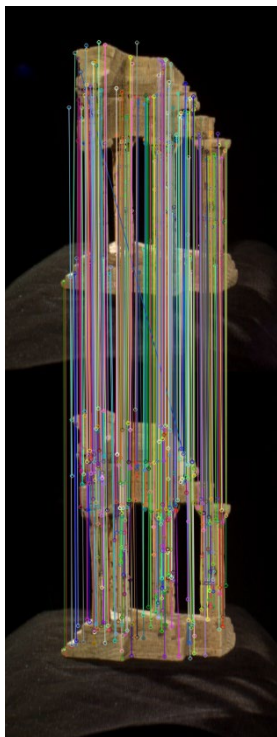


图 1

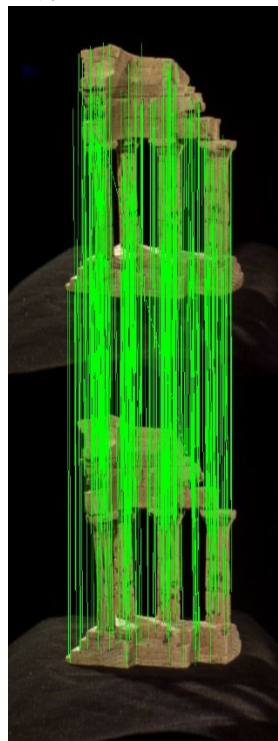


图 2

## 2.2 Initialization: Selecting Initial Image Pair

为了启动增量式 SfM，首先选择初始的图像对。通过遍历场景图，找出具有最多内点匹配的图像对作为初始图像对。假设第一个图像的相机姿态为  $[I|0]$ （即单位矩阵与零平移），使用基础矩阵和 `recoverPose` 方法计算第二张图像的相机姿态。

结果如图 2

## 2.3 Incremental Structure from Motion (SfM)

在增量式 SfM 阶段，逐步将新的图像注册到已恢复的 3D 场景中。每次迭代选择一个未注册的图像，并与已有的图像对齐，使用 **Perspective-n-Point (PnP)** 算法确定其相机姿态。接着，对已注册图像和 3D 点进行三角化，以获得新的 3D 点，并更新场景图中的特征点-3D 点对应关系。

## 2.4 Bundle Adjustment

为了提升重建精度，在所有图像都注册完成后进行了捆绑调整。捆绑调整通过最小化重投影误差来优化相机姿态和 3D 点的位置。在 `compute_ba_residuals` 函数中计算每个 3D 点的重投影误差，并使用 `least_squares` 优化函数迭代求解，最终获得精确的 3D 重建。

# 3. Implementation Details

## 3.1 Key Code Implementations

### 1. Feature Matching and Filtering:

- 代码实现了基于 Lowe 比率测试和 RANSAC 的匹配点过滤。

### 2. Pose Recovery:

- 通过 `cv2.recoverPose` 恢复相机相对姿态，并三角化初始图像对的 3D 点。

### 3. PnP and 3D Triangulation:

- 使用 `cv2.solvePnP` 和 `triangulate` 函数，将新图像与已有场景对齐，并增加新的 3D 点。

### 4. Bundle Adjustment:

- 实现了无循环的重投影残差计算，通过最小化欧氏距离优化 3D 点和相机参数。

## 3.2 Challenges and Solutions

在实现过程中，处理特征匹配的鲁棒性是一个挑战。通过 RANSAC 筛选，显著提升了匹配的准确性。此外，在捆绑调整中避免循环，提高了代码的运行效率。

#### 4. Results

通过实验，成功完成了多视角图像的 3D 重建

Mini-temple 重建效果图：



Temple 重建效果图：

