

# 基于SFM算法的三维重建关键技术研究

蒲建鑫<sup>1</sup>, 宋方伟<sup>2</sup>, 冷齐齐<sup>3</sup>

(1. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 601010;

2. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司, 四川 621000;

3. 西南科技大学 信息工程学院, 四川 601010)

**摘要:** 研究计算机视觉中的三维重建技术, 基于SFM算法 (Structure from Motion) 的三维重建技术。利用SFM算法的开源架构COLMAP进行三维重建验证实验, 使用SFM进行相机位置估计和稀疏点云重建。

**关键词:** 航拍图像, 三维重建, SFM。

中图分类号: TP391.41

文章编号: 1000-0755(2021)06-0036-02

中文引用格式: 蒲建鑫, 宋方伟, 冷齐齐. 基于SFM算法的三维重建关键技术研究[J]. 电子技术, 2021, 50(06): 36-37.

## Study on Key Technologies of 3D Reconstruction Based on SFM Algorithm

PU Jianxin<sup>1</sup>, SONG Fangwei<sup>2</sup>, LENG Qiqi<sup>3</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Sichuan 601010, China.

2. China Ordnance Equipment Group Automation Research Institute Co., Ltd., Sichuan 621000, China.

3. School of Information Engineering, Southwest University of Science and Technology, Sichuan 601010, China.)

**Abstract** — This paper studies three-dimensional reconstruction technology in computer vision, and three-dimensional reconstruction technology based on SFM algorithm (structure from motion). The open source architecture colmap of SFM algorithm is used for 3D reconstruction verification experiment, and SFM is used for camera position estimation and sparse point cloud reconstruction.

**Index Terms** — aerial image, 3D reconstruction, SFM.

### 0 引言

三维重建是应用计算机辅助工程技术人员进行产品和工程设计的一个研究方向<sup>[1]</sup>。主要研究三维空间中点云的稀疏和稠密重建, 基于多幅图像的点云重建, 以及三维重建后的图像处理。三维重建是一门融合了机器视觉、图像处理和计算机图形学领域知识的新技术, 具有2D图片不能比较的特点。类似真实的效果可以从不同的位置直观地观察, 有实时虚拟、交互等特点。

1970年, Marr等首次发表利用图像信息对场景进行三维重建的想法。1992年, Faugeras首次通过未标定的图像序列进行射影结构计算。2006年, Pollefeys等提出了通过便携式相机拍摄的图像进行场景3D重建的方法。2010年, Yasutaka等研究从稀疏点云扩散到密集点云的理论, 可根据计算出的稀疏点云进一步变换成更加稠密的点, 使得效果进一步贴近真实。

2013年, Qi Shan在Yasutaka基础之上, 优化光照和密集点云模型, 进一步提高了场景重建的可靠性[5]。但是, 该方法包括密集计算、处理此类问

题所需的计算力较高。

### 1 运动恢复结构

Structure from Motion (SFM) 是基于足够数量的二维图片, 求得二维图片相对于真实场景的三维信息。SFM的典型架构如图1所示。

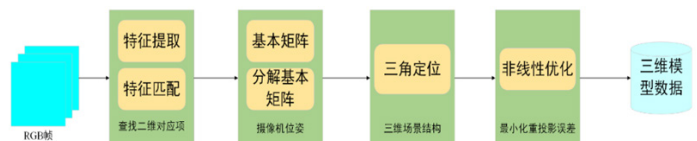


图1 SFM典型框架图

根据SFM进行图像处理的流程可分为: (1) 增量式 (incremental/sequential SFM); (2) 全局式 (global SFM); (3) 混合式 (hybrid SFM); (4) 层次式 (hierarchical SFM); (5) 基于语义的SFM (Semantic SFM); (6) 基于Deep learning的SFM。其中COLMAP是增量式SFM的框架之一。增量式SFM算法首先使用SIFT提取特征点, 接着通过计算得到特征点的描述子, 再使用ANN方法进行特征点对的匹配; 其中, 在标准线下的特征点会对进行移除, 在标准线上的进行保留。使用随机

**作者简介:** 蒲建鑫, 西南科技大学土木工程与建筑学院, 研究方向: 故障诊断。

收稿日期: 2021-04-01, 修回日期: 2021-06-12。

样本一致性和八点法对在标准以上的特征点对进行相机基本矩阵的估计。在这个过程中，把系统判断为外点的匹配对进行移除。满足要求的匹配对合并成轨迹。最后通过增量式的SFM方法进行三维场景稀疏重建。在此过程中对摄像机的内外参数进行一定的估计，利用三角化的方法用二维图片的信息推断出三维点的坐标，最后使用最小化重投影误差进行优化。

## 2 摄像机的外参矩阵

### 2.1 坐标系

世界坐标系：是真实世界中自定义的坐标系，它可自定义选择。

摄像机坐标系：以小孔成像模型为例，以相机上小孔为原点，相机观察方向为Z轴，相机水平方向为X轴，竖直方向为Y轴建立而成。

图像物理坐标系：即平面二维坐标系，其X轴与Y轴均与相机坐标系的X轴Y轴平行。

图像像素坐标系：也为平面坐标系，通常固定以图片的左上角为坐标原点，X，Y轴与图像物理坐标系相平行。

### 2.2 外参矩阵

一般来说，世界坐标系和相机坐标系是平行关系并不重合，在进行某一现实点P投影时，要把这个点的坐标通过一定的变换使其变到相机坐标系。如果P在世界坐标下的坐标为X，P到摄像机光心的距离为S，在图像物理坐标系的坐标为x，R为旋转矩阵它代表的是两个坐标系之间的相对旋转，且其相对位移为向量T。可得式(1)。

$$Sx = K[RX + T] \quad (1)$$

其中， $[RX + T]$ 表示在相机坐标系下P的坐标，可改写为式(2)。

$$Sx = K[RX + T][X, 1]^T \quad (2)$$

$[R, T]$ 相机的外参矩阵，表示相机在世界坐标系中位置，但与相机参数无关。投影误差就是投影点和图像上真实点之间的距离。如图2所示。

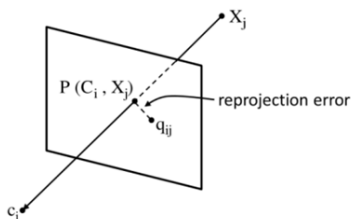


图2 投影误差

在n个视角与m个轨迹的情况下，投影误差的方程可以表示为式(3)。

$$g(C, X) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \omega_{ij} \|q_{ij} - P(C_i, X_j)\|^2 \quad (3)$$

当摄像机i观察到轨迹j的时候 $\omega_{ij}$ 取1，反之取0， $\|q_{ij} - P(C_i, X_j)\|$ 为投影误差的累计和。

SFM算法首先对初始的两幅图像进行捆绑调

整，调整后添加下一幅图像，如此循环直到最后一个合适的图片被处理。如果一开始的匹配出错就会进入死循环，无法得到最优解。在此过程中匹配的初始化有两点要求：(1)匹配点必须有足够的数量；(2)相机中心的距离要足够。

在该流程中可知相机的内参，外参与实际场景的三维信息，最后得到稀疏点云三维模型。

## 3 COLMAP稀疏重建实验

COLMAP是目前最优秀的增量式SFM算法之一，它可对采集到的大量二维图片信息进行迭代处理，**不需要提前进行相机标定**，只需在现实场景采集过程中不断更新相机的角度与位置，利用这些信息可进行现实场景的稀疏三维重建。基于大量具有空间位置关系的二维图片的三维重建，需要准备被重建场景的多视角图像若干张，即可对场景进行一个较为准确的稀疏重建。在此过程中把图像组织为COLMAP的工程格式，需要包含一个images路径，如图3所示。

```
/path/to/project/...
+-- images
|   +-- image1.jpg
|   +-- image2.jpg
|   +-- ...
|   +-- imageN.jpg
```

图3 COLMAP工程路径格式

最新的COLMAP依赖库为CMake，Boost，QT5，CUDA和CGAL。

验证实验数据集为UNC教堂山的“南方”建筑128张图像。图像是由同一台相机拍摄所得，实验结果如图4所示。

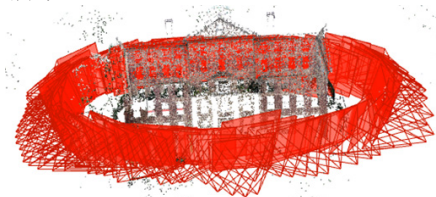


图4 south-building数据集点云模型

## 4 结语

本文主要研究内容是运动恢复结构即SFM算法。基于现有开源算法COLMAP进行图像稀疏三维重建。本文首先对SFM算法的典型架构进行了叙述，介绍了SFM的几种类型，接着引出本文研究方向即增量式SFM。然后对SFM算法中进行特征提取和匹配的策略进行详述。最后利用开源算法COLMAP对128张UNC教堂山的“南部”建筑的图片数据集进行稀疏三维重建验证实验。实验结果表明了SFM算法在稀疏三维重建中具有较好效果。

## 参考文献

- [1] 周坤, 谷晨鹏, 张东, 黎华, 黄海峰. SIFT和ORB特征检测算法在地形三维重建中的研究与应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(03): 44-48.