

# Mavros培训课 – SLAM

**江涛 & 戚煜华**

**Tel: 18611457441**

**WeChat: qyp0210**



1

• SLAM简介

2

• SLAM分类与比较

3

• SLAM基本框架

4

• SLAM开源方案

# SLAM简介 – SLAM是什么

## SLAM

- **SLAM**是 Simultaneous Localization and Mapping的缩写，中文译作“**同时定位与地图构建**”。它是指搭载特定**传感器**的主体，在**没有环境先验信息**的情况下，于**运动过程中**建立**环境**的模型，同时估计自己的**运动**。
- 如果这里的传感器主要为相机，那就称为**视觉SLAM**；如果传感器主要为激光雷达，则称为**激光SLAM**。

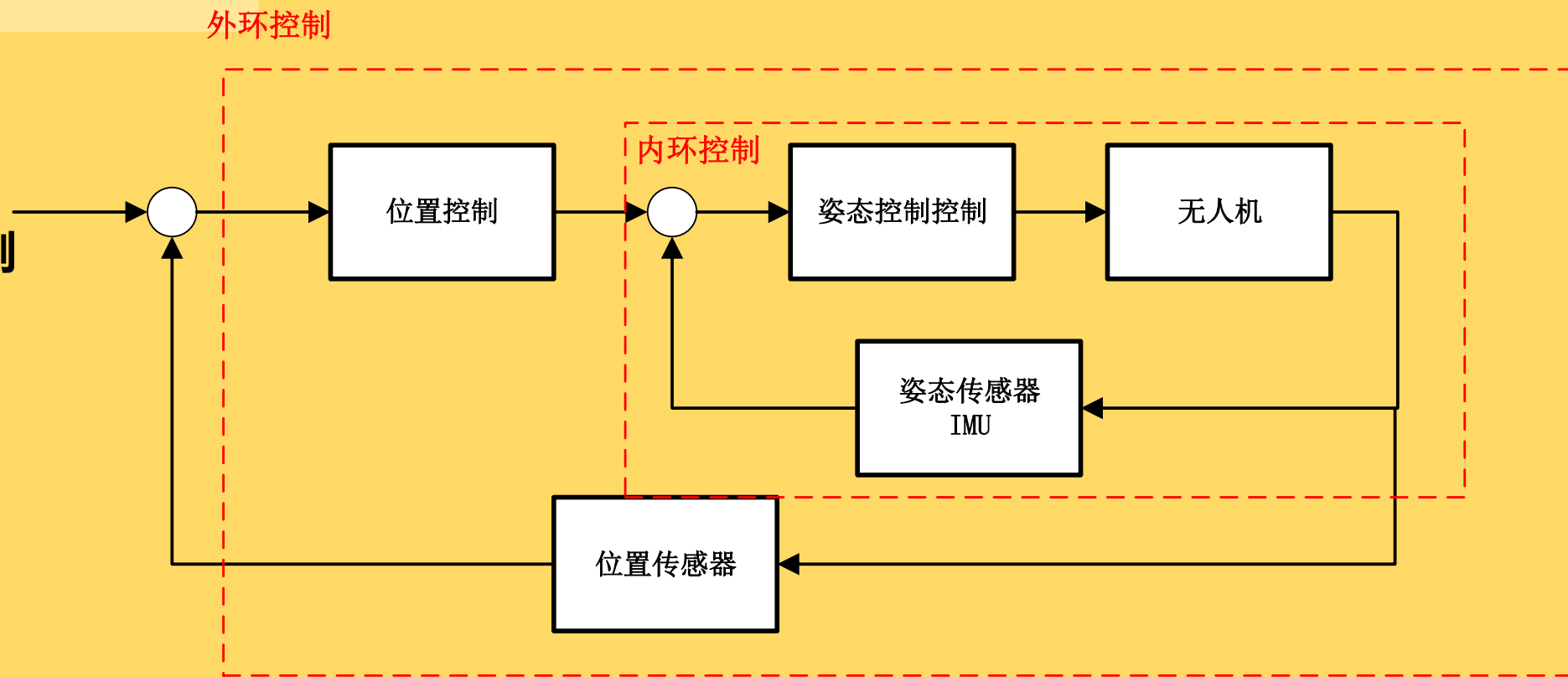
推荐阅读：

视觉SLAM十四讲：从理论到实践 高翔 著

# SLAM简介 – SLAM的作用

## 机器人定位导航

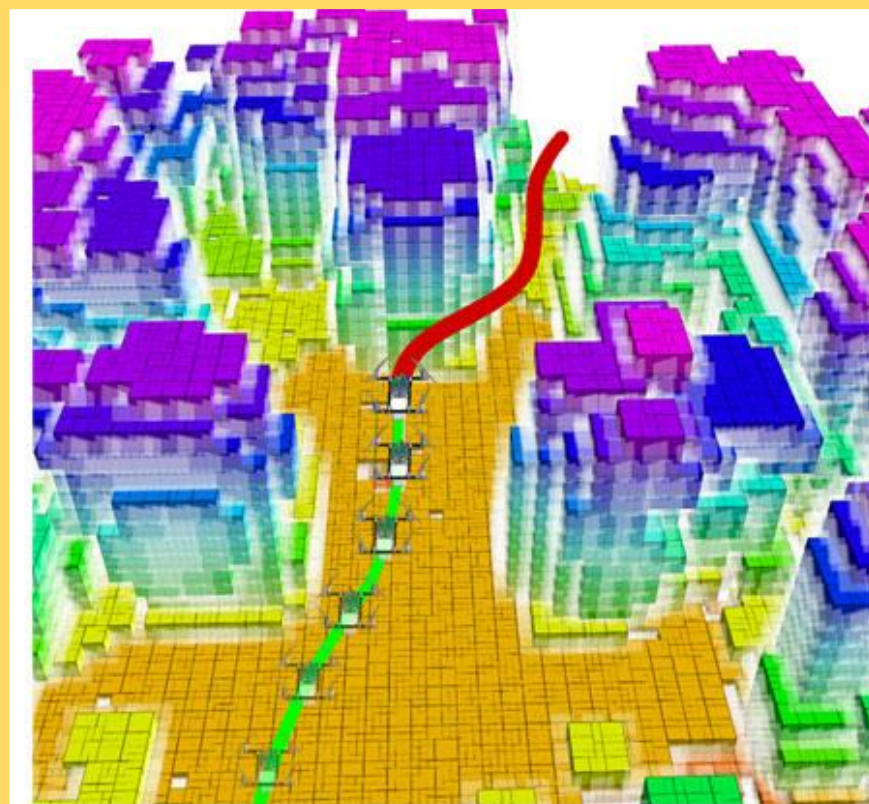
- 定位功能
- 以无人机运动控制为例



# SLAM简介 – SLAM的作用

## 后端稠密建图

- 获取周围环境详细的深度信息，也是实现避障、路径规划的任务的基础。
- 图为港科沈绍劼老师团队利用VIO实现的无人机导航和单目稠密重建的工作

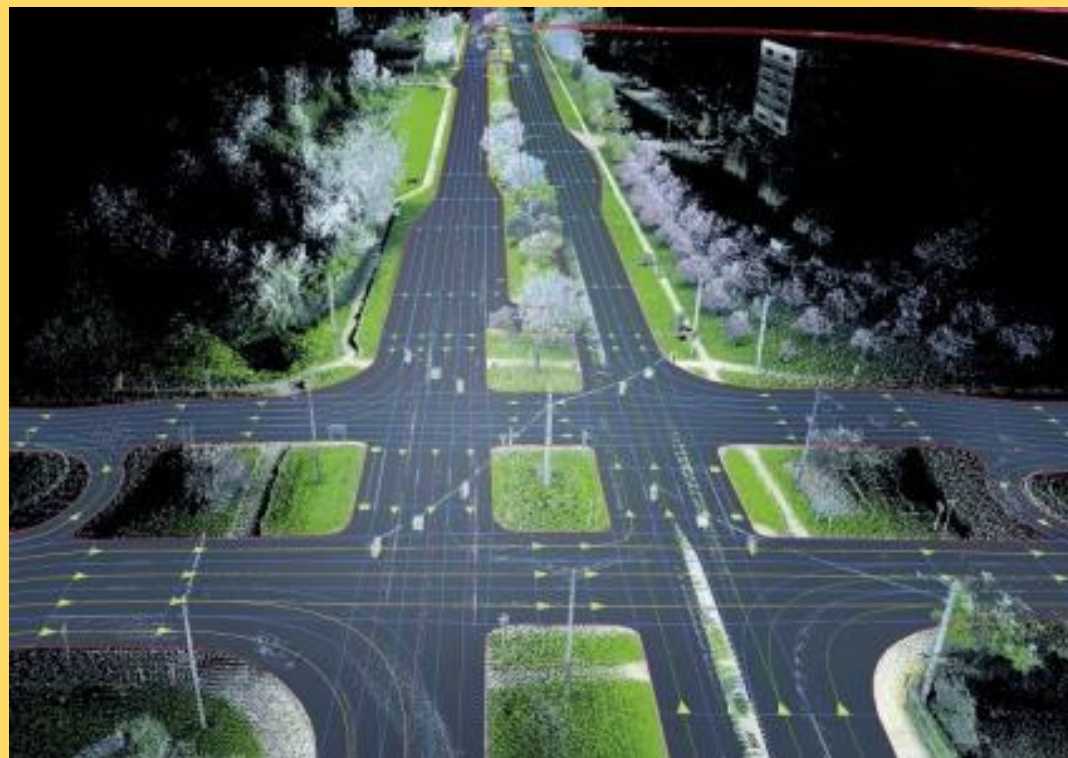


(b) Trajectory generated in the planning horizon

# SLAM简介 – SLAM的作用

## 自动驾驶

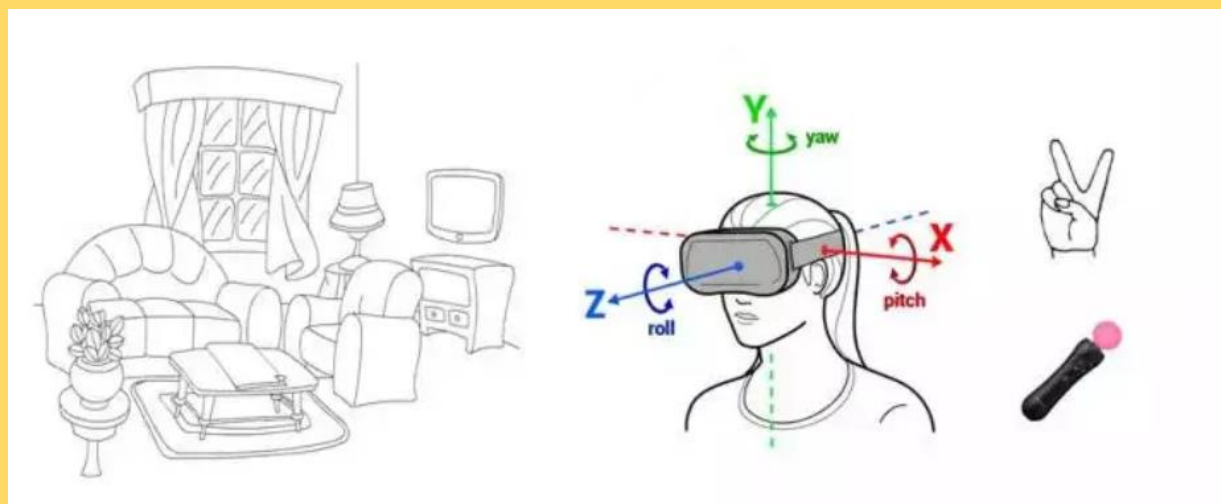
- 使用多传感器融合的方式提高定位系统的可靠性稳定性；
- 构建高精地图，便于重定位。



# SLAM简介 – SLAM的作用

应用于VR, AR

- VR中模拟出头部运动后一些虚拟物体在场景中的位置;
- AR中需要精确估计出移动设备相对空间的位置变化
- 苹果ARKIT (上图)
- 头戴VR设备 (下图)



# SLAM分类与比较

## 按照传感器分类

- 激光SLAM
- 视觉SLAM



• 激光雷达 (北阳)



• 工业相机 (greypoint)



# SLAM分类与比较 – 激光SLAM

## 激光SLAM

- 激光雷达是最古老，研究也最多的SLAM传感器;
- 提供机器人与周围环境障碍物间的距离信息，可以高精度测出机器人周围障碍点的角度和距离;
- 常见的激光雷达，例如SICK、Velodyne还有我们国产的rplidar等。



- 扫地机器人 (小米)



# 自主定位 – 激光SLAM

## 激光SLAM简介

- 激光SLAM通过点云的匹配与对比，计算激光雷达相对运动的距离和姿态的改变
- 激光雷达距离测量比较准确，误差模型简单，在强光直射以外的环境中运行稳定，点云的处理也比较容易。同时，点云信息本身包含直接的几何关系，使得机器人的路径规划和导航变得直观。激光SLAM理论研究也相对成熟，落地产品更丰富。

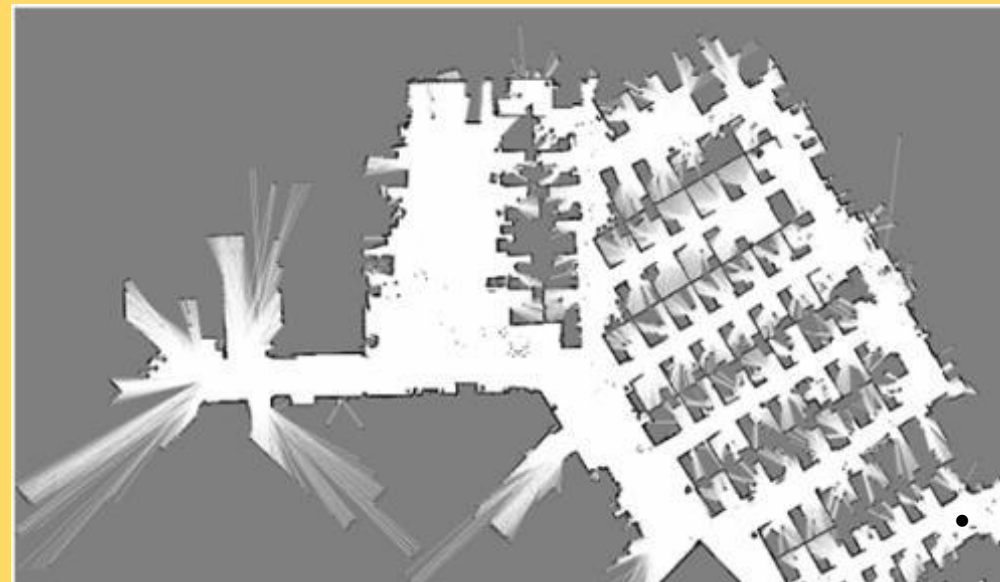
## 常见激光slam算法

- Gmapping
- Hector
- Cartographer (16年10月)

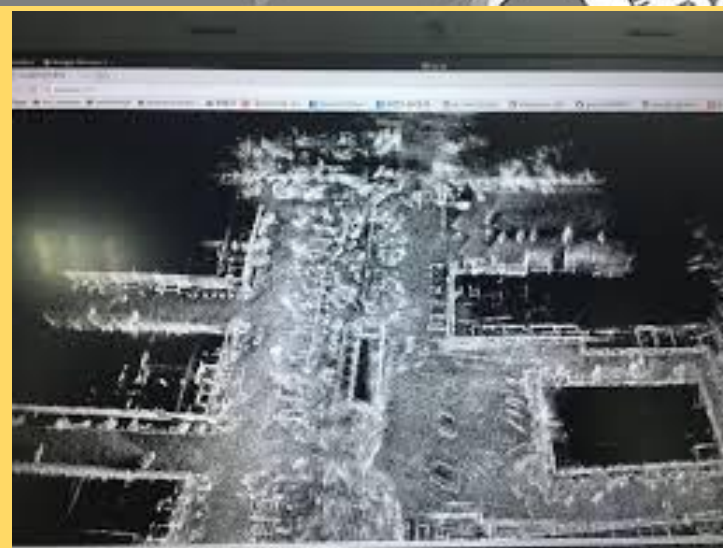
# SLAM分类与比较 – 激光SLAM

## 激光SLAM优缺点

- 精度很高，运行稳定，速度快，计算量小，容易做成实时SLAM；
- 误差模型简单，点云的处理比较容易，研究较早，算法已经成熟。
- 价格昂贵，一台激光动辄上万元；
- 不擅长动态环境中的定位，不易表示回环，线性化误差严重等等。
- 不能有玻璃



• 2D激光slam



• 3D激光slam

# SLAM分类与比较 – 视觉SLAM

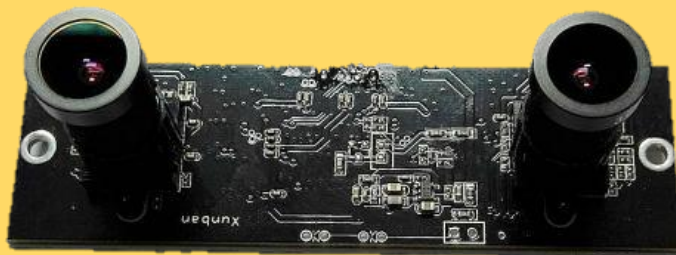
## □ 视觉SLAM

以传感器而论，视觉SLAM研究主要分为三大类：单目、双目（或多目）、RGBD。

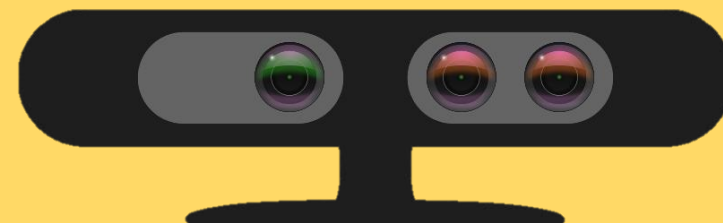
研究难度：单目视觉>双目视觉>RGBD



• 单目摄像头



• 双目摄像头

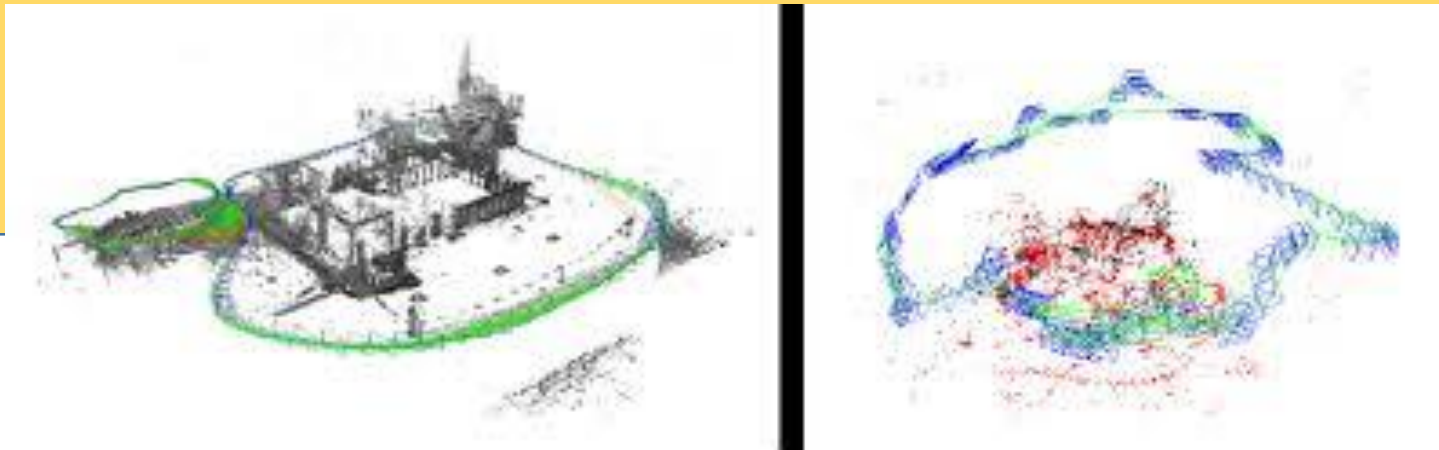


• RGB-D

# SLAM分类与比较 – 单目SLAM

## 单目SLAM

- 传感器简单、成本特别的低。
- 单目有个最大的问题，就是没法确切地得到深度。
- 单目相机无法依靠一张图像获得图像中物体离自己的相对距离。它的轨迹和地图，只有在相机运动之后才能收敛。同时，相机运动还不能是纯粹的旋转
- 单目SLAM只能估计一个相对深度，在相似变换空间 $\text{Sim}(3)$ 中求解，而非传统的欧氏空间 $\text{SE}(3)$ 。如果要确定尺度，需要借助外部手段。

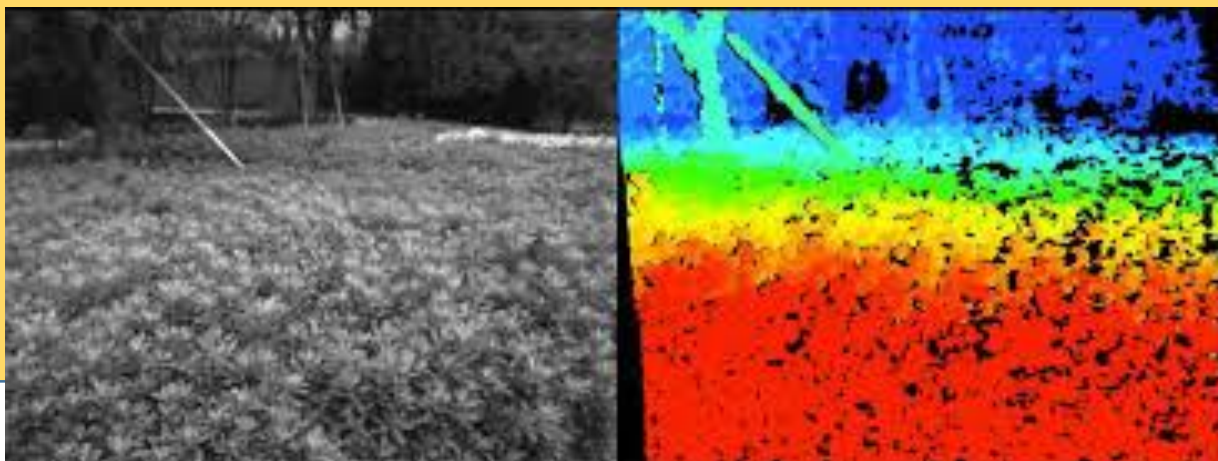


- ORB-SLAM 构建轨迹与地图

# SLAM分类与比较 – 双目SLAM

## 双目SLAM

- 通过立体视觉，既可以在运动时估计深度，亦可在静止时估计。
- 双目或多目相机配置与标定均较为复杂，其深度量程也随双目的基线与分辨率限制。
- 通过双目图像计算像素距离，是一件非常消耗计算量的事情，现在多用FPGA来完成。



- 双目深度估计

# SLAM分类与比较 – RGBD-SLAM

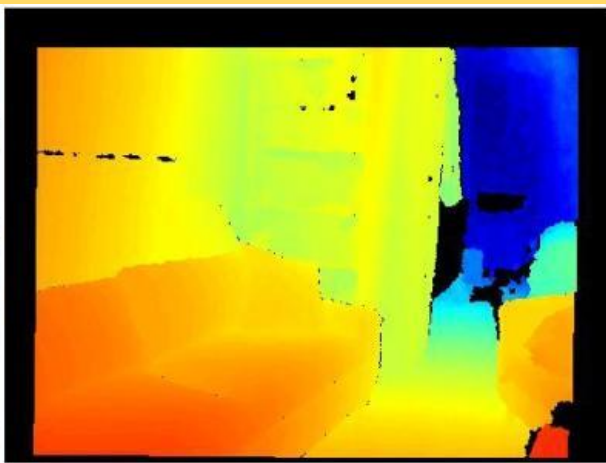
## RGBD-SLAM

- 直接测出图像中各像素离相机的距离，节省计算量。
- 现在多数RGBD相机还存在测量范围窄、噪声大、视野小等诸多问题。出于量程的限制，主要用于室内SLAM。
- 目前常用的RGBD相机包括Kinect/Kinect V2、Xtion等。

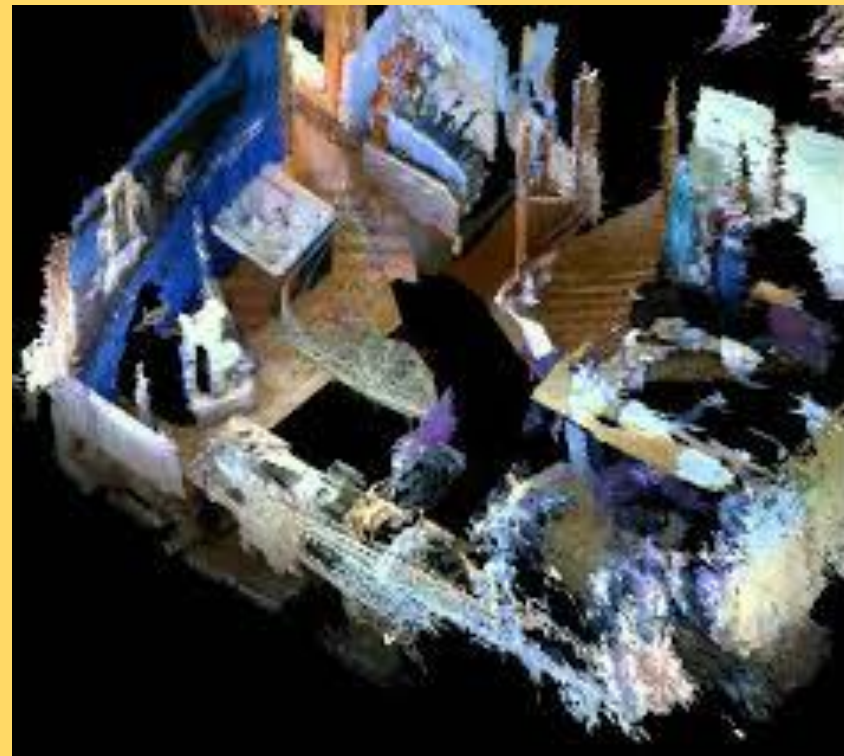


# SLAM分类与比较 – RGBD-SLAM

## RGBD-SLAM



- RGBD 深度测量

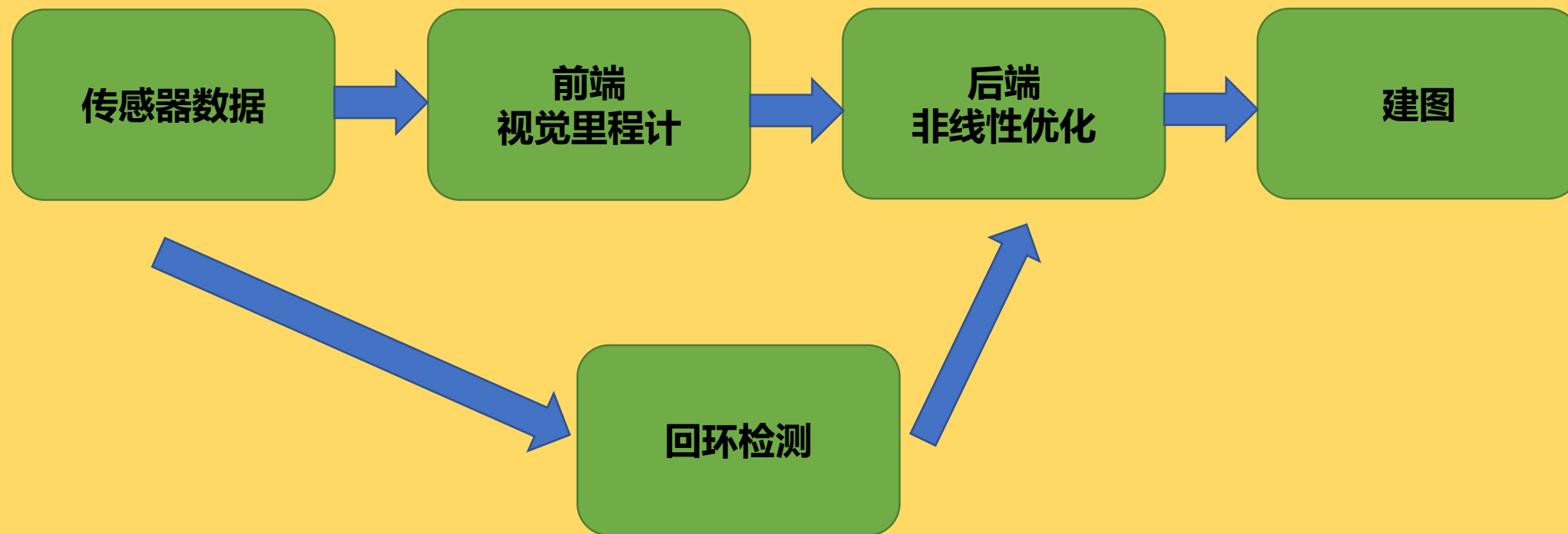


- RGBD 3维重建



# SLAM基本框架

## SLAM基本框架



# SLAM基本框架 – 视觉里程计



## 视觉里程计 - VO

- 估计两个时刻机器人的相对运动，存在累计漂移。
- 在激光SLAM中，我们可以将当前的观测与全局地图进行匹配，用ICP求解相对运动。
- 对于视觉SLAM，相机在欧氏空间里运动，需要估计一个三维空间的变换矩阵。
- 视觉SLAM分为特征法和直接法。

# SLAM基本框架 – 视觉里程计



## 视觉里程计——特征法

对于两幅图像，首先提取图像中的特征，然后根据两幅图的特征匹配，计算相机的变换矩阵。

我们如何获取图像特征点？

如何匹配它们？

如何根据已知特征点，计算相机的运动？

# SLAM基本框架 – 视觉里程计

## 视觉里程计——特征法

- 常用的特征点有Harris角点、SIFT、SURF、ORB等。
- 需要为每一个特征点定义“描述子”（Descriptor）根据特征点和描述子的信息，我们可以计算出两张图像中的匹配点。



- Sift 特征点

# SLAM基本框架 – 视觉里程计



## 视觉里程计——特征法

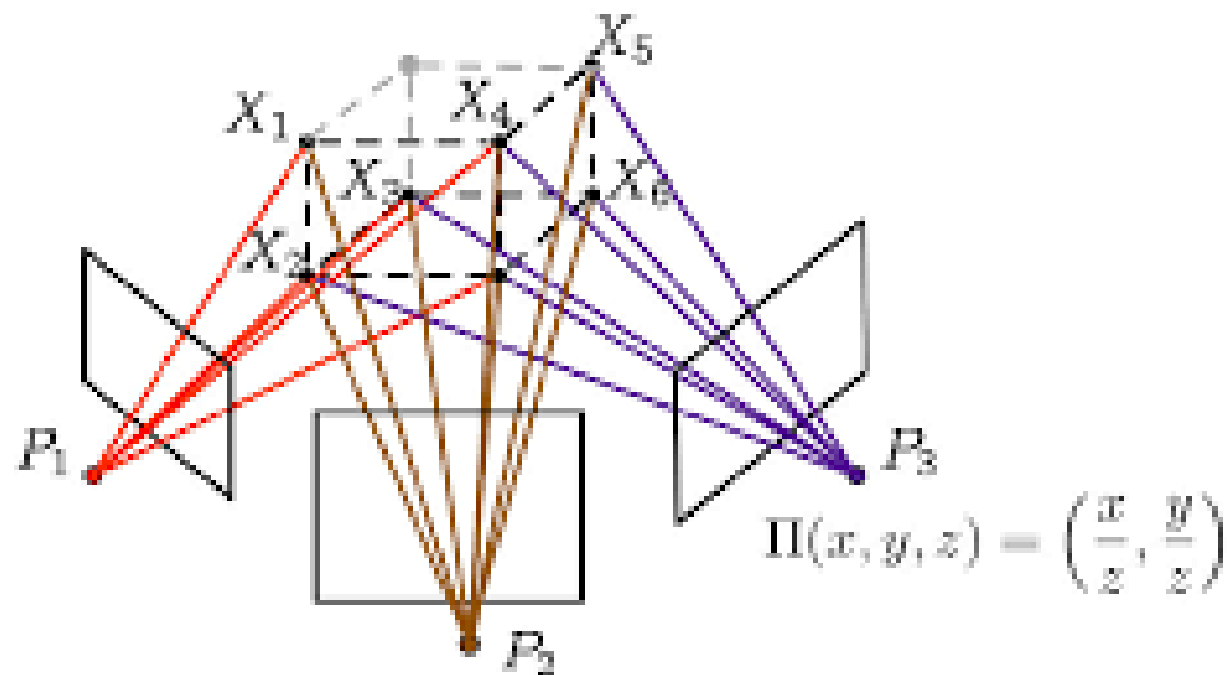
- ✓ 单独估计相机运动
  - **2D-2D形式**: 通过两个图像的像素位置来估计相机的运动。（对极几何）
  - **3D-2D形式**: 假设已知其中一组点的**3D**坐标，以及另一组点的**2D**坐标，求相机运动。（**PnP**求解算法）
  - **3D-3D形式**: 两组点的**3D**坐标均已知，估计相机的运动。（**ICP**算法）

# SLAM基本框架 – 视觉里程计

## 视觉里程计——特征法

□ 局部/全局形式

✓ Bundle Adjustment



$$\min_{R_i, t_i, X_j} \sum_{ij} \|u_{ij} - \Pi(R_i X_j + t_i)\|^2$$

# SLAM基本框架 – 视觉里程计



## 视觉里程计——直接法

- 直接把图像中**像素信息**（通常是亮度）写进一个位姿估计方程，求出帧间相对运动。
- 在RGBD SLAM中，可以用**ICP**求解两个点云之间的变换矩阵
- 对于单目SLAM，可以**匹配两个图像间的像素**（光流），或者像图像与一个全局的模型相匹配。如SVO和LSD-SLAM



## 后端

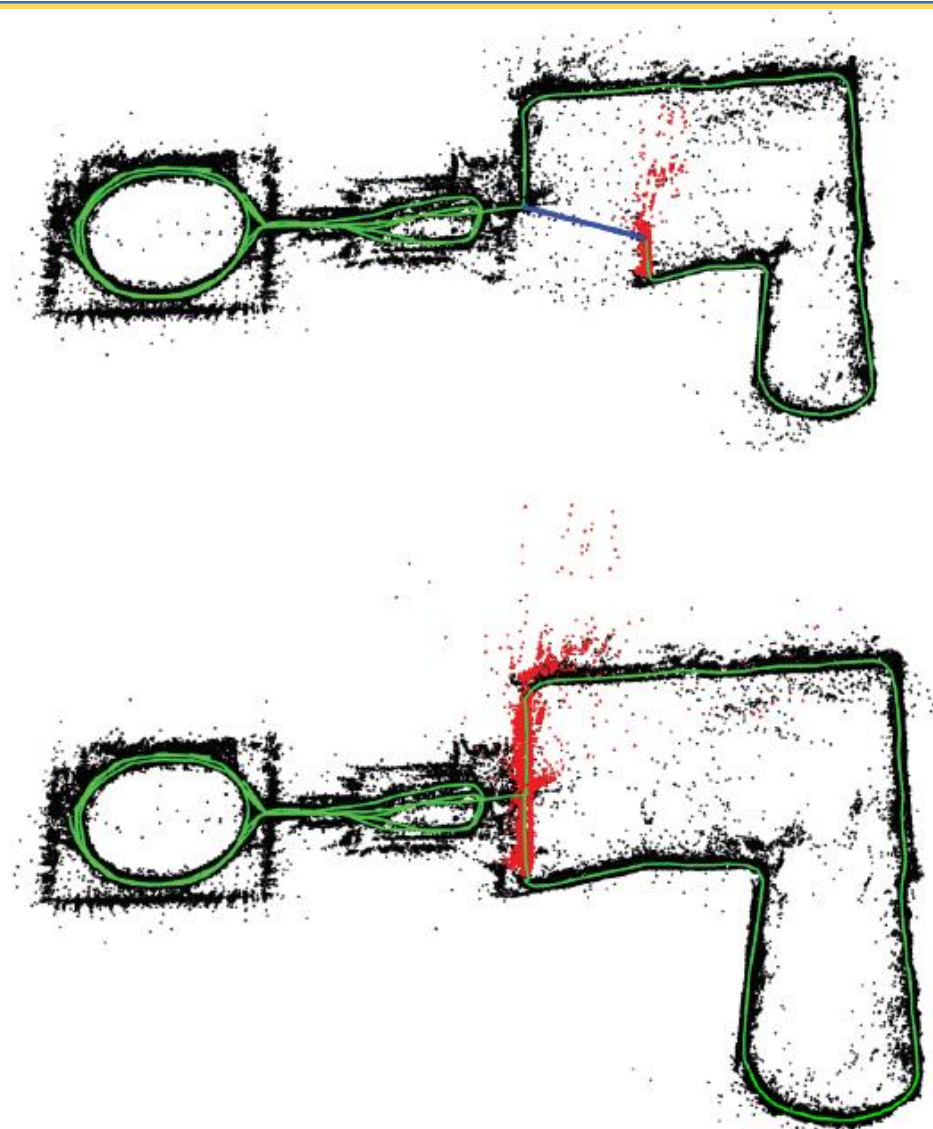
- 对前端出结果进行优化，考虑一段更长时间内（或所有时间内）的状态估计问题
- 求解方法：
- 滤波理论（EKF、UKF、PF）、或者优化理论(ceres、g2o)
- 考虑到计算量的增长，引入Keyframe(关键帧)。



# SLAM基本框架 – 回环检测

## 回环检测

- 主要解决位置估计随时间漂移的问题
- 回环检测实质上是一种检测观测数据相似性的算法，如词袋模型（BoW）
- 仅有前端和局部后端的系统称为VO，把带有回环检测和全局后端的系统称为SLAM。



# SLAM开源方案

## 开源方案

方案名称	传感器形式	地址
MonoSLAM	单目	<a href="https://github.com/hanmekim/SceneLib2">https://github.com/hanmekim/SceneLib2</a>
PTAM	单目	<a href="http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/PTAM/">http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/PTAM/</a>
ORB-SLAM	单目为主	<a href="http://webdiis.unizar.es/~raulmur/orbslam/">http://webdiis.unizar.es/~raulmur/orbslam/</a>
LSD-SLAM	单目为主	<a href="http://vision.in.tum.de/research/vslam/lslslam">http://vision.in.tum.de/research/vslam/lslslam</a>
SVO	单目	<a href="https://github.com/uzh-rpg/rpg_svo">https://github.com/uzh-rpg/rpg_svo</a>
DTAM	RGB-D	<a href="https://github.com/anuranbaka/OpenDTAM">https://github.com/anuranbaka/OpenDTAM</a>
DVO	RGB-D	<a href="https://github.com/tum-vision/dvo_slam">https://github.com/tum-vision/dvo_slam</a>
DSO	单目	<a href="https://github.com/JakobEngel/dso">https://github.com/JakobEngel/dso</a>



RTAB-MAP	双目/RGB-D	<a href="https://github.com/introlab/rtabmap">https://github.com/introlab/rtabmap</a>
RGBD-SLAM-V2	RGB-D	<a href="https://github.com/felixendres/rgbdslam_v2">https://github.com/felixendres/rgbdslam_v2</a>
Elastic Fusion	RGB-D	<a href="https://github.com/mp3guy/ElasticFusion">https://github.com/mp3guy/ElasticFusion</a>
Hector SLAM	激光	<a href="http://wiki.ros.org/hector_slam">http://wiki.ros.org/hector_slam</a>
GMapping	激光	<a href="http://wiki.ros.org/gmapping">http://wiki.ros.org/gmapping</a>
OKVIS	多目+IMU	<a href="https://github.com/ethz-asl/okvis">https://github.com/ethz-asl/okvis</a>
ROVIO	单目+IMU	<a href="https://github.com/ethz-asl/rovio">https://github.com/ethz-asl/rovio</a>

Cartographer 激光+IMU+码盘(可选) <https://github.com/googlecartographer>

VINS-MONO 单目+IMU <https://github.com/HKUST-Aerial-Robotics/VINS-Mono>



## ❑ ORB-SLAM2

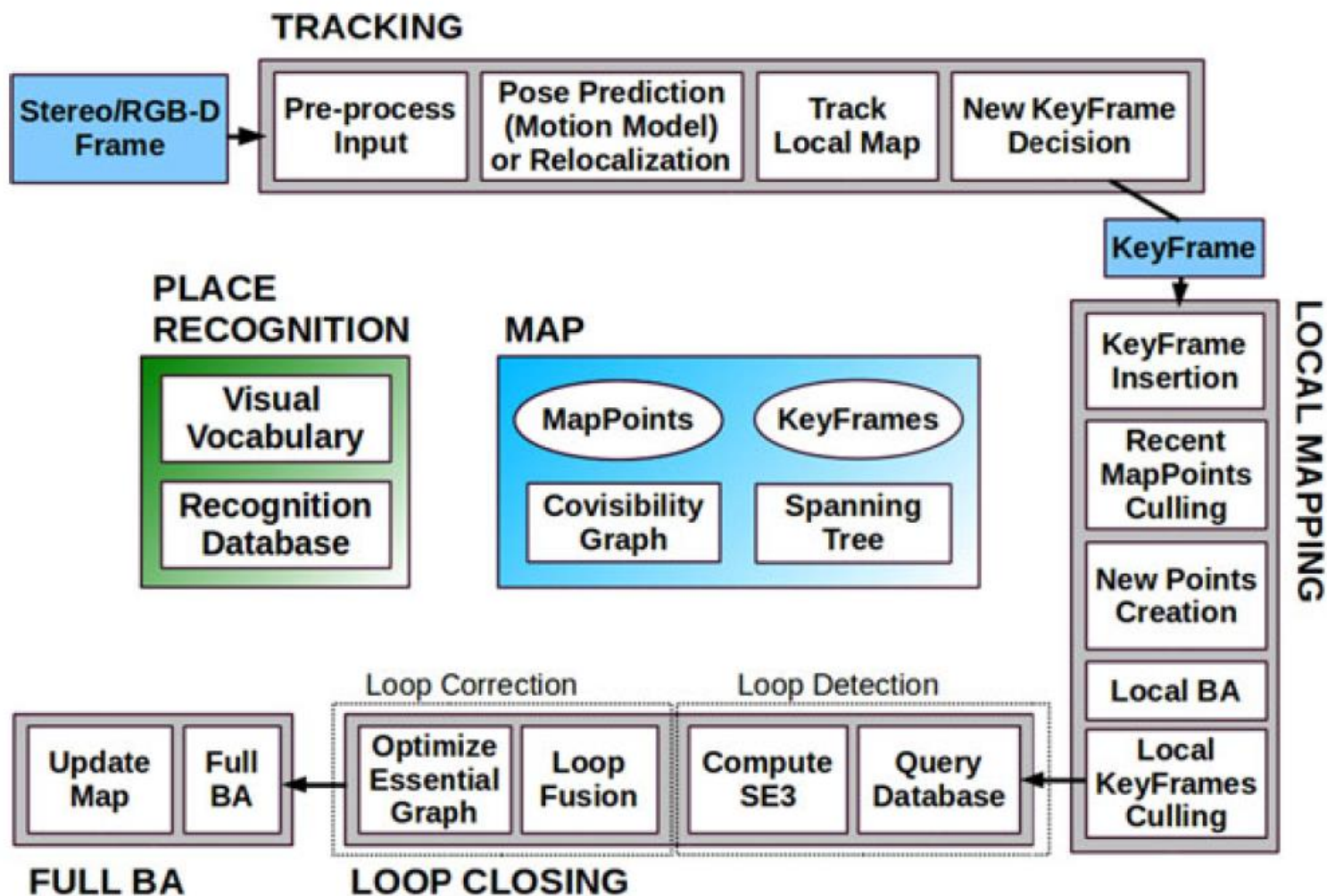
- ✓ 支持单目、双目、RGB-D三种模式；
- ✓ 在CPU上面即可实时计算，具有良好的鲁棒性；
- ✓ 可在大范围运动时能够进行回环检测和重定位。
- ✓ 采用特征点法，计算耗时，难以移植到嵌入式平台。
- ✓ 建立稀疏点云地图，只能满足定位需求。

Mur-Artal, Raúl, J. M. M. Montiel, and J. D. Tardós. "ORB-SLAM: A Versatile and Accurate Monocular SLAM System." IEEE Transactions on Robotics 31.5(2015):1147-1163.

Mur-Artal R, Tardós J D. ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras[J]. IEEE Transactions on Robotics, 2016, 33(5):1255-1262.

# SLAM开源方案

## □ ORB-SLAM2

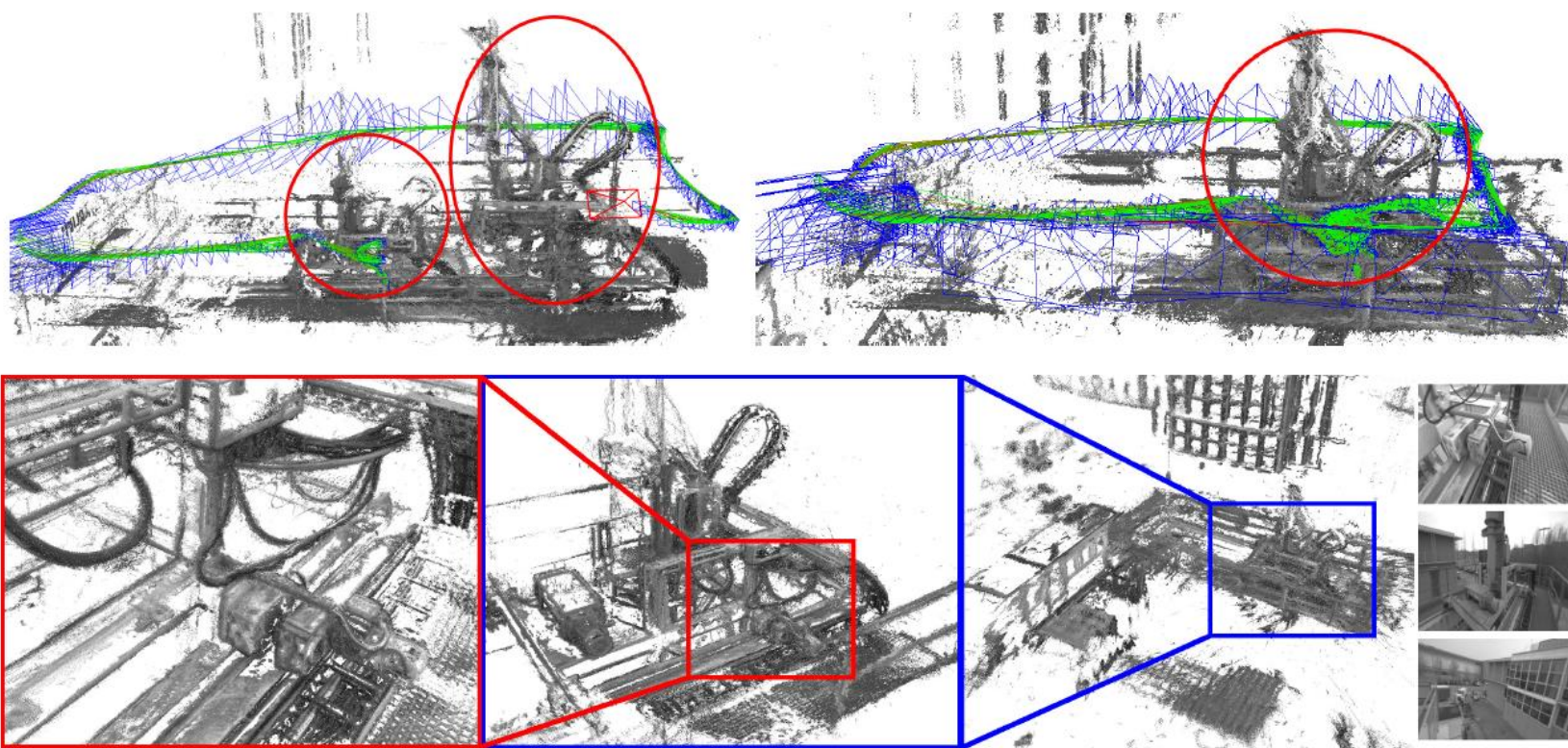




# SLAM框架介绍

## □ LSD-SLAM

- 不需要计算特征点，能在CPU上实时构建半稠密的地图。





## □ LSD-SLAM

- LSD-SLAM对相机内参和曝光非常敏感，并且在相机快速运动时容易丢失
- **LSD-SLAM**必须依赖于特征点方法进行回环检测，尚未完全摆脱特征点的计算。

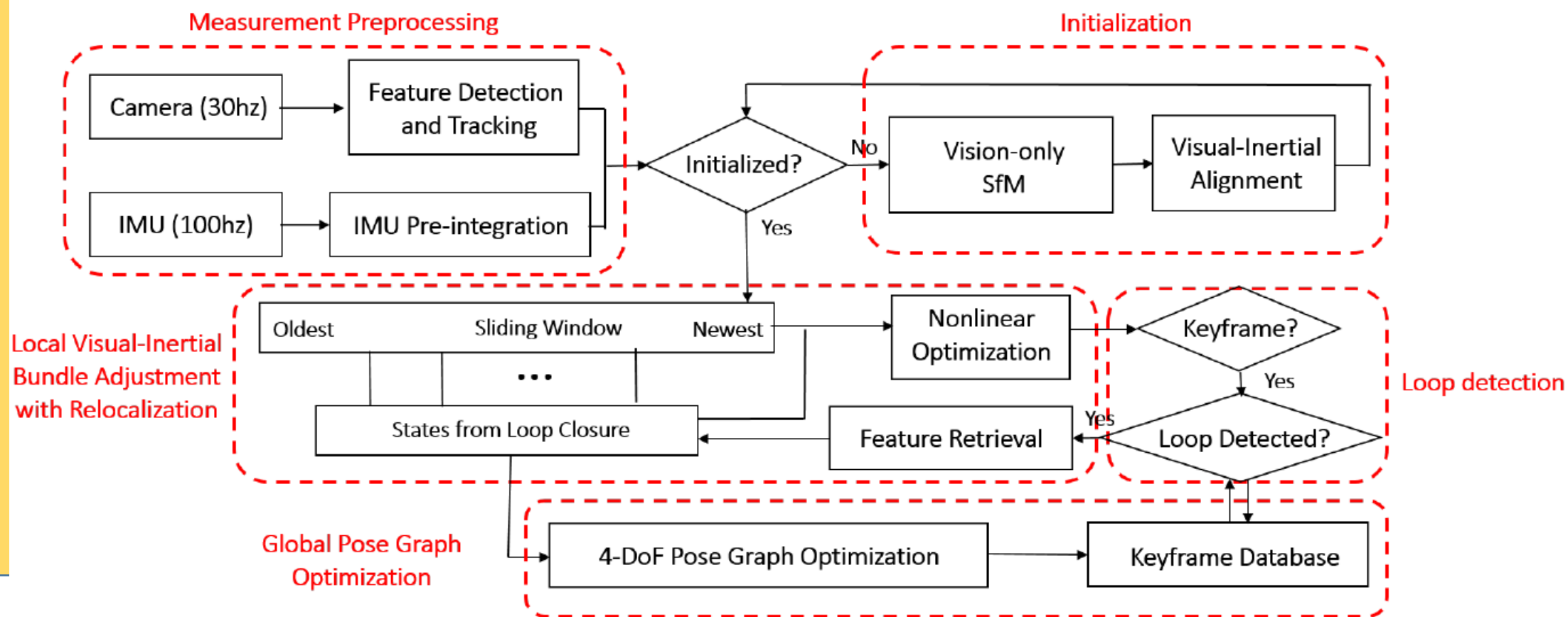
# SLAM框架介绍

- ❑ VIO: OKVIS, VINS-MONO
- ❑ 通过IMU提高特征跟踪算法匹配速度和算法鲁棒性

$$\min_{\mathcal{X}} \left\{ \|\mathbf{r}_p - \mathbf{H}_p \mathcal{X}\|^2 + \sum_{k \in \mathcal{B}} \left\| \mathbf{r}_B(\hat{\mathbf{z}}_{b_{k+1}}^{b_k}, \mathcal{X}) \right\|_{\mathbf{P}_{b_{k+1}}^{b_k}}^2 + \sum_{(l,j) \in \mathcal{C}} \left\| \mathbf{r}_C(\hat{\mathbf{z}}_l^{c_j}, \mathcal{X}) \right\|_{\mathbf{P}_l^{c_j}}^2 \right\}$$

# SLAM框架介绍

## ❑ VIO: OKVIS, VINS-MONO





# SLAM未来发展



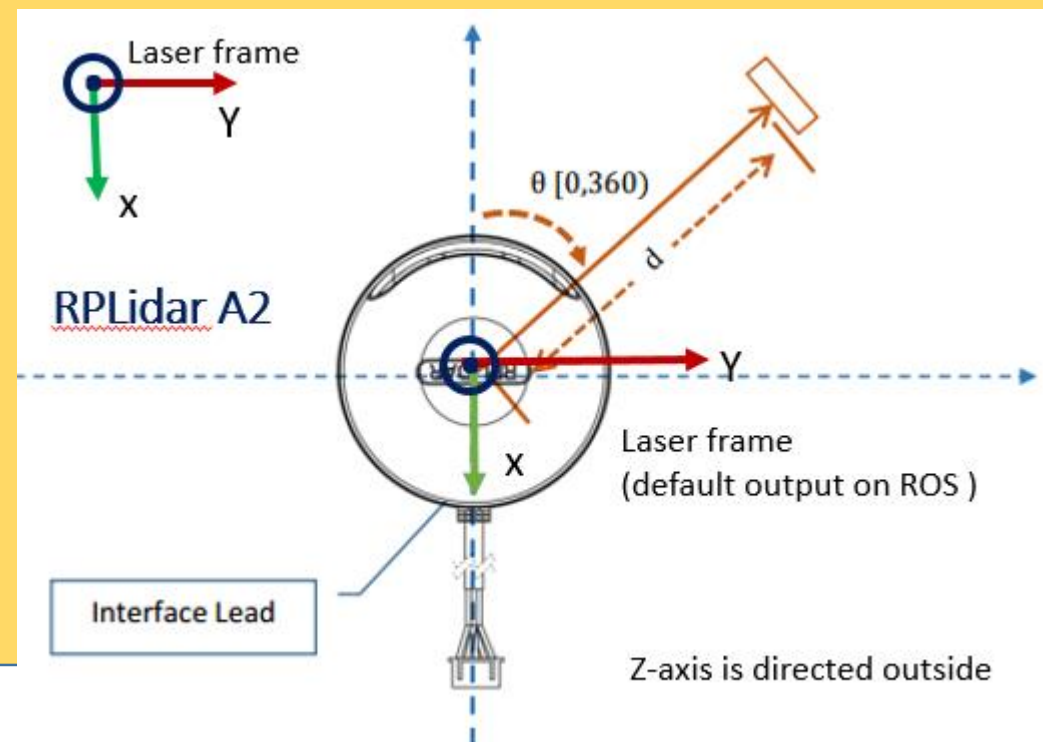
- 考虑更多的传感器信息
- 考虑更高级的图像特征
- 语义SLAM
- . . .

# SLAM开源方案 – Cartographer

## 激光雷达驱动下载及修改配置

- 一般直接在github主页搜索可以找到相应激光雷达的驱动包
- 主要是看看launch文件需不需要修改 (话题名字, frame\_id)

## 激光雷达的安装方式



参考阅读:

1、<https://www.zhihu.com/question/51348391/answer/125450382>

**注意：激光雷达的xyz 和 飞控的 xyz 方向不同**

## Cartographer安装及配置修改

- 安装步骤详见 [cartographer安装.pdf](#)
- 配置修改主要目的是：
  - 1.使cartographer接收到激光雷达驱动包发出来的点云数据以及飞控发出来的IMU数据；
  - 2.让cartographer和激光雷达的参数相匹配，达到更好的运行效果
- 配置修改详见 [cartographer配置修改.pdf](#) 及 [cartographer配置修改（融合imu数据）.pdf](#)
- Cartographer算法中 很多参数需要根据自身的情况进行tuning，可惜官网给的相关信息太少（参看 <https://google-cartographer-ros.readthedocs.io/en/latest/tuning.html> ）

参考阅读：

- 1、 <https://www.zhihu.com/question/51348391/answer/125450382>

# SLAM开源方案 – Cartographer

## Mavros – 位置估计程序

- `position_estimator_laser.cpp`
- Cartographer成功运行后，发布/tf的话题为无人机的位置和姿态
- /tf的方向 和 无人机的NED方向 不一致
- 利用/tf去估算无人机的速度
- 高度信息（超声波、单点激光等）
- 如何将偏航角信息注入到飞控中？

参考阅读：

1、<https://www.zhihu.com/question/51348391/answer/125450382>

# 提问环节