



# 视觉SLAM：从理论到实践



主讲人 高翔

清华大学 自动控制与工程 博士  
慕尼黑工业大学计算机视觉组 博士后  
Email: [gao.xiang.thu@gmail.com](mailto:gao.xiang.thu@gmail.com)

2017年冬



# 第一讲 概述与预备知识

---

1. 课程内容与预备知识
2. SLAM是什么
3. 视觉SLAM数学表述与框架
4. 实践：Linux下的C++编程基础

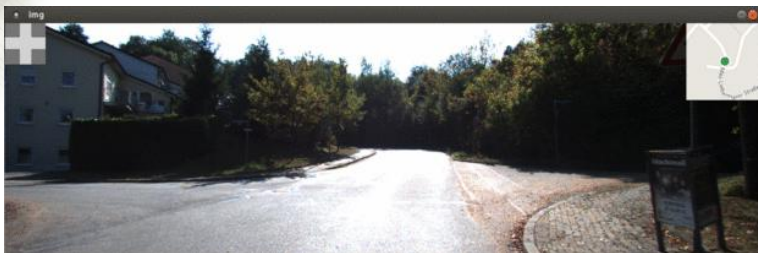
# 1. 课程内容与预备知识

---



# 课程内容与预备知识

- 计算机视觉



物体识别  
物体跟踪  
物体检测  
语义分割

.....  
SLAM

现实世界中的相机

视频序列

计算机视觉任务

# 课程内容与预备知识

- SLAM是什么?



Universidad  
Zaragoza



Instituto Universitario de Investigación  
en Ingeniería de Aragón  
Universidad Zaragoza

ORB-SLAM2: an Open-Source SLAM System  
for Monocular, Stereo and RGB-D Cameras

Raúl Mur-Artal and Juan D. Tardós

raulmur@unizar.es

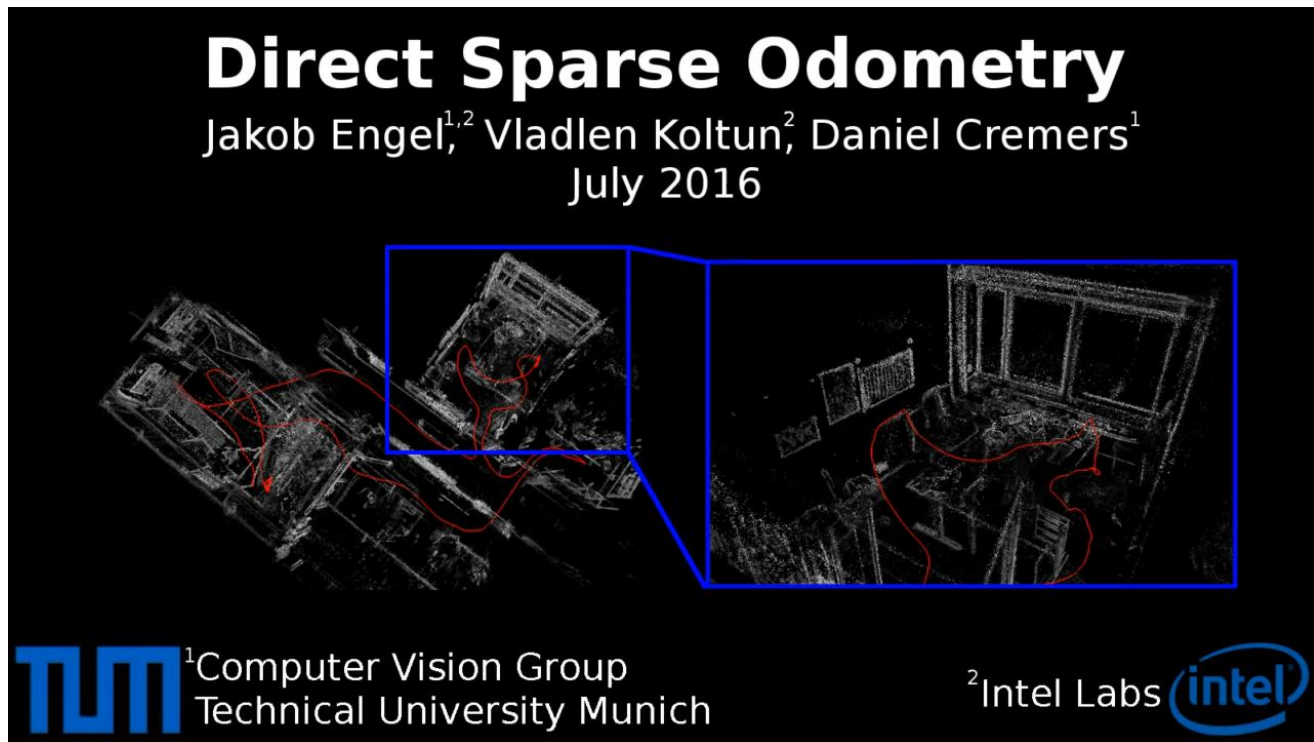
tardos@unizar.es

室内/室外定位

# 课程内容与预备知识

- SLAM是什么?

稀疏-半稠密重建



- SLAM是什么?

## ElasticFusion: Dense SLAM Without A Pose Graph

Thomas Whelan, Stefan Leutenegger, Renato Salas-Moreno, Ben Glocker, Andrew Davison

Imperial College London

稠密重建





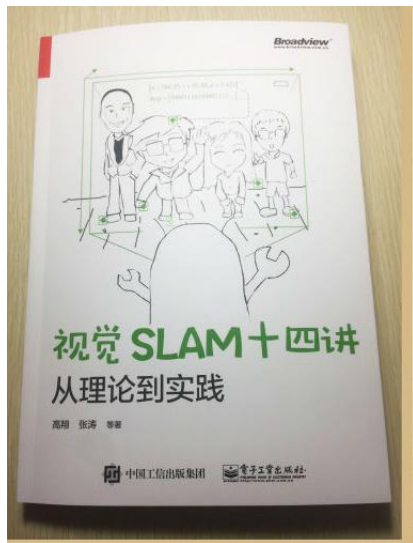
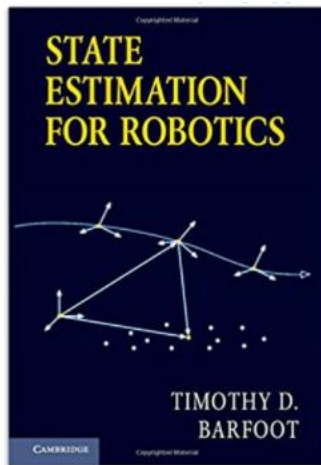
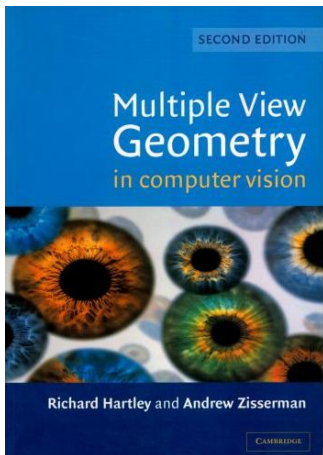
# 课程内容与预备知识

---

- 课程内容
  - SLAM: Simultaneous Localization and Mapping
  - 同时定位与地图构建
  - SLAM的数学基础知识
  - SLAM相关的计算机视觉知识
  - 工程实践

# 课程内容与预备知识

- 课程内容
  - 教材：视觉SLAM十四讲：从理论到实践
  - 参考书：多视图几何 状态估计



# 课程内容与预备知识

---

- 课程特点
  - 基础、必要的理论知识
  - 大量的编程内容
  - 重视工程实践
  - 必要的习题
- 观念：只有亲自动手实现了算法，才能谈得上理解

# 课程内容与预备知识

- 内容提纲

1. 概述与预备知识（教材第1，2讲）
2. 三维空间的刚体运动（教材第3讲）
3. 李群与李代数（教材第4讲）
4. 相机模型与非线性优化（教材第5，6讲）
5. 特征点法视觉里程计（教材第7讲）
6. 直接法视觉里程计（教材第8讲）
7. 后端优化（教材第10，11讲）
8. 回环检测（教材第13讲）

- 每周三、周六讲课，两天的习题时间

## 习题

- 每节课结束后会布置习题
- 习题花费时间约课内时间的3倍以上
- 需要至少达到8/10分才能通过
- 包含编程题、简述题
- 会提供详细的操作指导

例子：

### 2 熟悉 Linux (2 分, 约 2 小时)

计算机领域的绝大多数科研人员都在 Linux 下工作，不掌握 Linux 会使你在研究道路上寸步难行。Linux 系统的基本知识亦是学习本课程的先决条件。如果你还未接触过 Linux，请阅读本次习题中提供的材料（见 books/目录下）。我建议阅读《鸟哥的 Linux 私房菜》第 1、2 章了解 Linux 历史，第 5-8 章了解基础操作。如果你在用 Ubuntu，也可以参考 Ubuntu 维基上自带的指南：<http://wiki.ubuntu.org.cn/Ubuntu>

不要把 Linux 想得太困难。现代的 Linux 系统多数具有方便的图形界面，非常容易上手。最好的学习方式可能是马上安装一个 Linux 然后熟悉它的操作界面，多数时候和 Windows/mac 差别不大。我们在本书中使用 Ubuntu 16.04，读者也可以按个人口味选择任意适合你的发行版，不过最好使用 Ubuntu 系列，这样我和你的操作方式会比较相似。

等你熟悉 Linux 后，请回答以下问题（如果你已经很熟悉，就跳过上面的阅读内容，直接回答即可）：

1. 如何在 Ubuntu 中安装软件（命令行界面）？它们通常被安装在什么地方？
2. linux 的环境变量是什么？我如何定义新的环境变量？
3. linux 根目录下面的目录结构是什么样的？至少说出 3 个目录的用途。
4. 假设我要给 a.sh 加上可执行权限，该输入什么命令？
5. 假设我要将 a.sh 文件的所有者改成 xiang:xiang，该输入什么命令？

# 课程内容与预备知识

---

- 预备知识与课程使用的环境
  - 数学：高等数学、线性代数（矩阵论）、概率论
  - 编程：C++、Linux，了解语法和基本命令即可
  - 英语：文献、文档阅读能力
  - 环境：Ubuntu 16.04
  - 不提供windows环境下的方案！
  - 阅读教材第一章习题作为自测

## 2.SLAM是什么

---

# SLAM是什么

- 自主运动的两大基本问题
  - 我在什么地方？——定位
  - 周围环境是什么样子？——建图
  - 定位与建图=内外兼修 定位侧重对自身的了解，建图侧重对外在的了解
- 相互关联
  - 准确的定位需要精确的地图
  - 精确的地图来自准确的定位





# SLAM是什么

- 传感器

- 机器人感知外界环境的手段
- 种类：内质的/外质的
  - 内质：感受机器人本体信息
  - IMU、激光、相机
  - 外质：安装于环境中的
  - 二维码Marker、GPS、导轨、



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

- 环境限制了传感器的形式

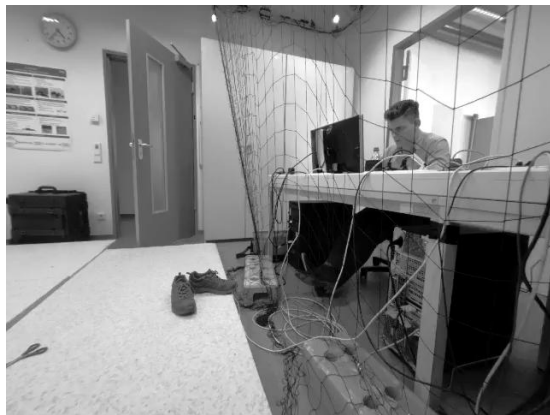
- GPS：需要能接收到卫星信号的环境
- Marker、导轨：需要环境允许安装
- 相比之下，激光、相机等携带式传感器更加自由

# SLAM是什么

- 相机
  - 以一定速率采集图像、形成视频
- 分类
  - 单目相机 Monocular
  - 双目相机（立体相机） Stereo
  - 深度相机 RGB-D
  - 其他 全景、Event Camera
- 相机的特点
  - 以二维投影形式记录了三维世界的信息
  - 该过程丢掉了一个维度：距离



图 2-3 形形色色的相机：单目，双目和深度相机。



# SLAM是什么

- 各类相机的区别
  - 单目：无深度 深度需要其他手段估计
  - 双目：通过视差计算深度
  - RGB-D：通过物理方法测量深度

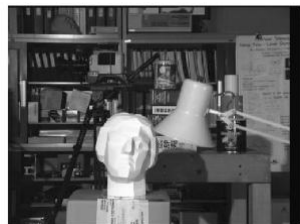
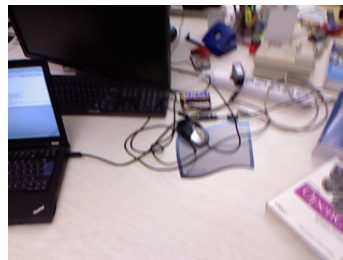


图 2-4 单目视觉中的尴尬：不知道深度时，手掌上的人是真人还是模型？



当相机运动时，可通过视差确定深度

深度即第三维信息，对SLAM来说至关重要

# SLAM是什么

- 视觉SLAM框架
  - 前端: Visual Odometry
  - 后端: Optimization
  - 回环: Loop Closing
  - 建图: Mapping

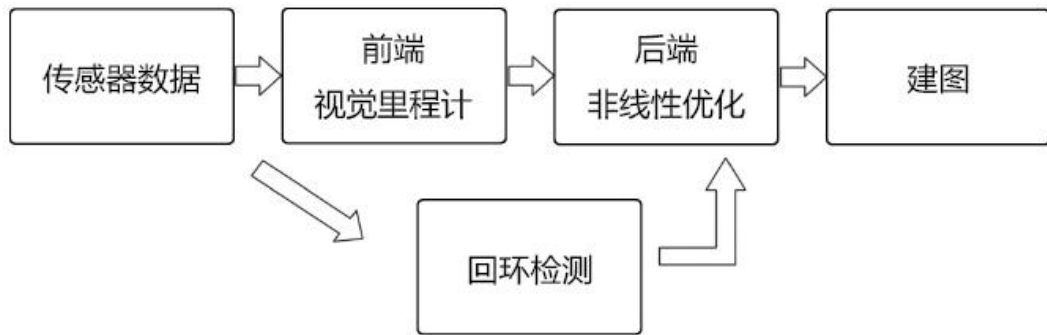


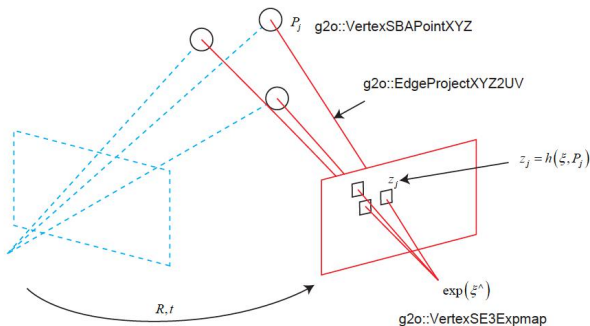
图 2-7 整体视觉 SLAM 流程图。

# SLAM是什么

- 视觉里程计
  - 估计邻近时刻的相机运动
  - 最简化：两个图像的相对运动
- 方法
  - 特征点法
  - 直接法
- 后端
  - 从带有噪声的数据中估计最优轨迹与地图
  - 最大后验概率估计
  - 滤波器
  - 图优化



图 2-8 相机拍摄到的图片与人眼反应的运动方向。



# SLAM是什么

- 回环检测
  - 检测相机是否到达过之前位置
  - 判断与之前位置的差异
  - 计算图像间相似性
  - 词袋模型
- 建图
  - 导航、规划、通讯、交互、可视化
  - 度量地图、拓扑地图
  - 稀疏地图、稠密地图

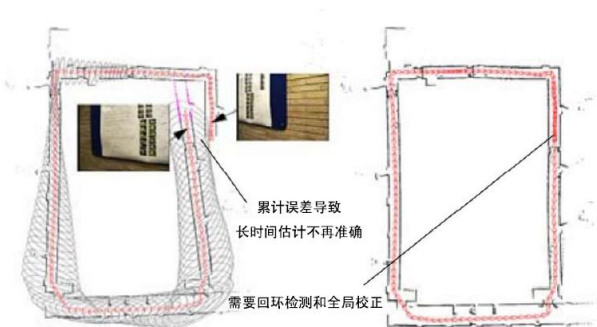


图 2-9 累计误差与回环检测的校正结果 [10]。

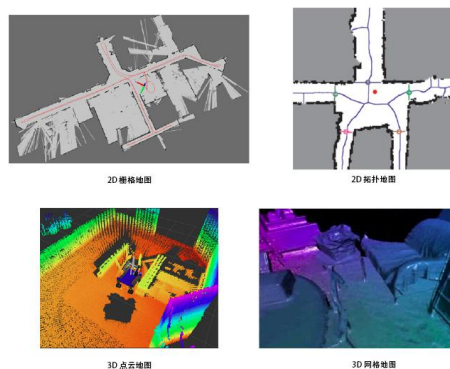


图 2-10 形形色色的地图：2D 栅格地图、拓扑地图以及 3D 点云地图和网格地图 [12]。

### 3.视觉SLAM的数学描述

---

# SLAM是什么

---

- SLAM问题的数学描述



- SLAM问题的数学描述

$$\begin{array}{l} \text{运动方程} \\ \text{观测方程} \end{array} \quad \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{x}_k = f(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_k, \mathbf{w}_k) \\ \mathbf{z}_{k,j} = h(\mathbf{y}_j, \mathbf{x}_k, \mathbf{v}_{k,j}) \end{array} \right. .$$

问题：

- 位置是三维的，如何表述？——第2、3次课
- 观测模型如何表述？——第4次课
- 已知 $\mathbf{u}, \mathbf{z}$ 时，如何推断 $\mathbf{x}, \mathbf{y}$ ？——第5次课以后

## 4.实践：Linux下的C++基础

---





**感谢各位聆听!**  
Thanks for Listening