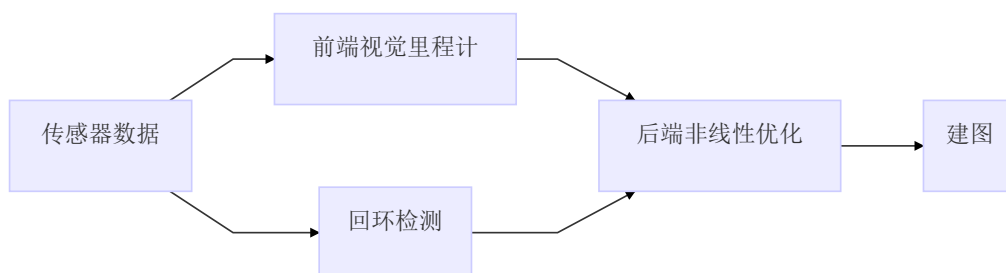


SLAM基础

一、经典SLAM框架

1.1 经典SLAM框架概述



步骤讲解：

①传感器信息读取：在视觉SLAM中主要为相机图像信息的读取和预处理。如果在机器人中，还可能有码盘、惯性传感器等信息的读取和同步。

②视觉里程计(Visual Odometry,VO)。视觉里程计的任务是估算相邻图像间相机的运动以及局部地图的样子，VO又称为前端（Front End）。

③后端优化(Optimization)：后端接受不同时刻视觉里程计测量的相机位姿，以及回环检测的信息，对它们进行优化，得到全局一致的轨迹和地图。由于接在VO之后，又称为后端（Back End）。

④回环检测（Loop Closing）：回环检测判断机器人是否曾经达到过先前的位置。如果检测到回环，它会把信息提供给后端进行处理。

⑤建图（Mapping）：它根据估计的轨迹，建立与任务要求对应的地图。

如果把工作环境限定在静态、刚体，光照变化不明显、没有人为干扰的场景，那么这个SLAM系统是相当成熟的。

1.2 视觉里程计

视觉里程计关心相邻图像之间的相机运动。视觉里程计能够通过相邻帧间的图像估计相机运动，并恢复场景的空间结构。叫它为“里程计”是因为它和实际的里程计一样，只计算相邻时刻的运动，而和再往前的过去的信息没有关联。

假设一个视觉里程计估计了两张图像间的相机运动。那么，只要把每个相邻时刻的运动串起来，就够成了机器人的运动轨迹，从而解决了定位问题。同时，根据每时刻的相机位置，计算出各像素对应的空间点的位置，就得到了地图。**但这样做会有累计漂移，我们需要矫正。**

1.3 后端优化

后端优化主要指处理SLAM过程中噪声的问题。传感器都会有误差。前端视觉里程计给后端提供待优化的数据，以及这些数据的初始值。而后端负责整体优化，不需要管这些数据是来自什么传感器。

在视觉SLAM中，前端和计算机视觉研究领域更为相关，比如图像的特征提取与匹配等，后端则主要是滤波与非线性优化算法。

SLAM本质问题：**对运动主体自身和周围环境空间不确定性的估计**。为了解决SLAM，我们需要状态估计理论，把定位和建图的不确定性表达出来，然后采用滤波器或非线性优化，去估计状态的均值和不确定性（方差）。

1.4 回环检测

回环检测，又称为闭环检测（Loop Closure Detection），主要解决位置估计随时间漂移的问题。

上述问题，可以假设机器人运动一段时间后回到了原点，但由于漂移，它的位置估计值没有回到原点。要解决这个问题，我们可以让机器人知道自己“回到了原点”，再把估计位置拉过去，即可消除漂移，这就是所谓的回环检测。

为了实现回环检测，**我们需要让机器人具有识别曾到达过的场景的能力**。可以利用二维码等方式，或者利用图像间的相似性来判断。

1.5 建图

建图（Mapping）是指构建地图的过程。地图是对环境的描述，但这个描述并不是固定的，需要视SLAM的应用而定。

地图的形式随SLAM的应用场合而定，大体上讲，**可以分为度量地图和拓扑地图两种**。

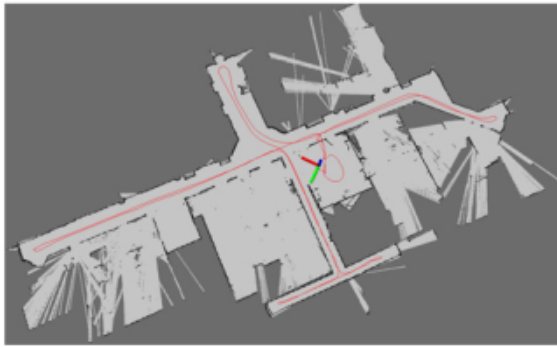
①度量地图（Metric Map）

度量地图强调精准地表示地图中物体的位置关系，通常我们用稀疏（Sparse）与稠密（Dense）对它们进行分类。

稀疏地图进行了一定程度的抽象，不需要表达所有的物体。稠密地图着重于建模所有看到的东西。对于定位来说，稀疏路标地图即可，而用于导航时，我们往往需要稠密地图。稠密地图通常按照某种分辨率，由许多个小块组成。

②拓扑地图（Topological Map）

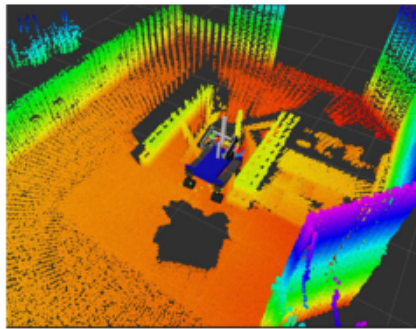
相比于度量地图的精准性，拓扑地图则更强调地图元素之间的关系。拓扑地图是一个图（Graph），由节点和边组成，只考虑节点间的连通性，而不考虑如何从A点到达B点的过程。



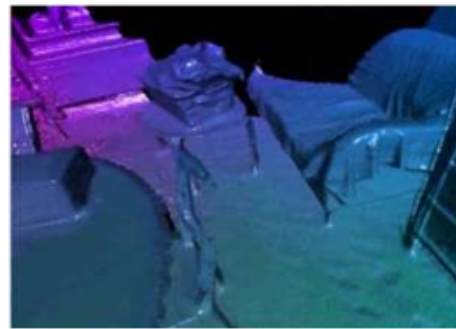
2D 栅格地图



2D 拓扑地图



3D 点云地图



3D 网格地图

二、SLAM问题的数学描述

假设机器人携带着某种传感器在位置环境里运动，由于相机通常是在某些时刻（离散）采集数据的，所以只需关心这些时刻的位置和地图。**这就把一段连续时间的运动变成了离散时刻 $t=1, \dots, K$ 当中发生的事情。**在这些时刻，用 x 表示机器人自身的位置，**那么各时刻的位置就记为 x_1, \dots, x_K ，它们构成了机器人的轨迹。**地图方面，我们设地图是由多个路标组成的，**而每个时刻，传感器会测量到一部分路标点，得到它们的观测数据。**我们用 y_1, \dots, y_N 表示 N 个路标。

机器人运动，由图下两件事情描述：

①**运动：**我们要考虑从 $k-1$ 时刻到 k 时刻，机器人的位置 x 是如何变化的。

②**观测：**假设机器人在 k 时刻，于 x_k 处探测到了一个路标 y_j ，我们要考虑这件事情是如何用数学语言来描述的。

2.1 机器人的运动方程

我们用一个通用的、抽象的数学模型表示机器人运动。

$$x_k = f(x_{k-1}, u_k, w_k)$$

其中，向量（矩阵） u_k 是运动传感器的读数（也可以叫输入），向量（矩阵） w_k 为噪声。**我们用一个一般函数 f 来描述这个过程，而不具体指明函数 f 的作用方式。**

2.2 机器人的观测方程

观测方程描述的是：当机器人在 x_k 位置上看到某个路标点 y_j ，产生了一个观测数据 $z_{k,j}$ 。我们用一个抽象函数 h 来描述这个关系。

$$z_{k,j} = h(y_j, x_k, v_{k,j})$$

其中， $v_{k,j}$ 是这次观测里的噪声。