



深蓝学院
shenlanxueyuon.com

从零开始手写VIO 第一章作业分享



主讲人 陈梓杰



第一题

1 阅读 VIO 相关综述文件，回答以下问题：

- 视觉与 IMU 进行融合之后有什么优势？
- 有哪些常见的视觉 +IMU 融合方案？有没有工业界应用的例子？
- 在学术界，VIO 研究有哪些新进展？有没有将学习方法用到 VIO 中的例子？

第一题

视觉与IMU进行融合之后有什么优势？

- IMU的缺点是加速度计和陀螺仪均受到零偏的影响，导致长时间积分后位姿解算会发生较大的漂移。
- 相机的缺点是容易受到周围环境的影响，如较多动态物体的环境、弱纹理环境、以及光照变化明显的环境。其次，也会受到运动模糊的影响。
- 相机和IMU是互补的关系，两者融合后有以下优点：
 1. 融合IMU可以恢复尺度，解决了单目尺度不确定性的问题。
 2. 融合IMU可以提供一较准确的初始估计，防止非线性优化问题陷入局部最优解。
 3. 融合IMU可以解决单目纯旋转无法估计的问题，同时可以一定程度上解决图像运动模糊的问题。
 4. 纯视觉SLAM容易受到纹理、光照、动态环境的影响，此时可以依赖IMU的信息来减少外界因素对系统的影响。
 5. 视觉可以协助IMU估计自身的零偏，消除积分漂移。
 6. IMU可以提高系统的输出频率，理论上可以输出与IMU同频率的里程计，方便下层控制使用。

第一题

有哪些常见的视觉+IMU融合方案？有没有工业界应用的例子？

- 常见融合方案分为紧耦合和松耦合。由于松耦合不是主流方案，不做详细介绍。紧耦合又可以分为基于滤波的方法和基于优化的方法：
 1. 基于滤波的方法：MSCKF系列、ROVIO、OpenVINS系列
 2. 基于优化的方法：VINS-MONO系列、ORB-SLAM3、OKVIS
- 工业界中应用的例子：苹果的ARKit；谷歌的ARCore；无人机用VIO做悬停、避障和拍照防抖。

第一题

在学术界，VIO研究有哪些新进展？有没有将学习方法用到VIO中的例子？

- VIO目前主要有两个研究方向：
 1. 研究新的融合模式增强系统的鲁棒性和适用性。比如，加入激光雷达、轮速计和GNSS等传感器，具有代表性的工作有LVI-SAM、GVINS、R3Live。
 2. 研究新的视觉约束和新的视觉特征提取来提高系统精度。比如，使用线、曲线、平面特征来构建残差。
- 将学习应用到VIO上有以下例子：
 1. 使用过深度学习来替换传统SLAM中的各个模块，如SuperPoint替换特征提取模块、SuperGlue替换回环检测模块。
 2. 加入语义信息。
 3. 基于深度学习的端到端位姿估计。

第二题

四元数和李代数更新

思路：

1. 随机生成一个姿态
2. 使用四元数的方式进行更新
3. 使用李代数的方式进行更新
4. 两个姿态相乘，接近单位阵则证明

两种更新方式等价

实现结果如下图所示，可以看出 R_diff 接近的单位阵，证明两个旋转几乎相同。

```
kris@kris:/media/kris/Workspace/vio/section_1/my_code/build$ ./answer
R1:
-0.654608  0.486011 -0.579035
 0.683295  0.708073 -0.178156
 0.323414 -0.512275 -0.795599
R2:
-0.65519  0.48618 -0.579236
 0.683532 0.707974 -0.178219
 0.323527 -0.512452 -0.796229
R_diff:
 1.00058 -0.000166501 0.000204488
-0.000242756  1.0001  6.40113e-05
-0.000115021 0.00017764  1.00063
```

代码清单 1: 部分代码

```
1 // create random rotation
2 Eigen::Quaterniond q = Eigen::Quaterniond::UnitRandom();
3 // update by rotation matrix
4 Eigen::Vector3d w(0.01, 0.02, 0.03);
5 Eigen::Matrix3d exp_w = Sophus::SO3d::exp(w).matrix();
6 Eigen::Matrix3d R1 = q.toRotationMatrix() * exp_w;
7 // update by quaternion
8 Eigen::Quaterniond delta_q;
9 delta_q.w() = 1;
10 delta_q.vec() = 0.5 * w;
11 delta_q.normalized();
12 Eigen::Matrix3d R2 = (q * delta_q).toRotationMatrix();
13
14 std::cout<<"R1: "<<std::endl<<R1<<std::endl;
15 std::cout<<"R2:"<<std::endl<<R2<<std::endl;
16 std::cout<<"R_diff:"<<std::endl<<R1*R2.transpose()<<std::endl;
```

.vec() 指的是四元数的虚部

第三题

3 使用右乘 $\mathfrak{so}(3)$, 推导以下导数:

$$\frac{\frac{d(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{p})}{d\mathbf{R}}}{\frac{d\ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee}{d\mathbf{R}_2}}$$

$$\begin{aligned}\frac{d(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{p})}{d\mathbf{R}} &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{\left(\mathbf{R} \exp(\phi^\wedge)\right)^{-1} \mathbf{p} - \mathbf{R}^{-1}\mathbf{p}}{\phi} \\ &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{\exp(-\phi^\wedge)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{p} - \mathbf{R}^{-1}\mathbf{p}}{\phi} \\ &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{(\mathbf{I} - \phi^\wedge)\mathbf{R}^{-1}\mathbf{p} - \mathbf{R}^{-1}\mathbf{p}}{\phi} \\ &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{-\phi^\wedge \mathbf{R}^{-1}\mathbf{p}}{\phi} \\ &= (\mathbf{R}^{-1}\mathbf{p})^\wedge\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{d\ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee}{d\mathbf{R}_2} &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{\ln\left(\mathbf{R}_1(\mathbf{R}_2 \exp(\phi^\wedge))^{-1}\right) - \ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee}{\phi} \\ &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{\ln\left(\mathbf{R}_1 \exp(-\phi^\wedge)\mathbf{R}_2^{-1}\right) - \ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee}{\phi} \\ &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{\ln\left(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1} \exp(-(\mathbf{R}_2\phi)^\wedge)\right) - \ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee}{\phi} \\ &= \lim_{\phi \rightarrow 0} \frac{\ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee - \mathbf{J}_r^{-1}\mathbf{R}_2\phi - \ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee}{\phi} \\ &= -\mathbf{J}_r^{-1}(\ln(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1})^\vee)\mathbf{R}_2\end{aligned}$$



感谢各位聆听 !
Thanks for Listening

