VIO 第一课作业

1. VIO 文献阅读

阅读 VIO 相关综述文献如[a]，回答以下问题：

- **视觉与 IMU 进行融合之后有何优势？**
- **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？**

你也可以对自己感兴趣的方向进行文献调研，阐述你的观点。

1.1 VIO 的优势？

相比传统的 VO，由于引入高频 IMU 传感器，弥补了 VI 的一些不足，可以提高定位精度和鲁棒性，具体表现：

- 可以在视觉传感器失效时（低纹理场景、光照条件差等）辅助定位；
- 高速运动存在运动模糊现象，短时间内的快速运动可以由 IMU 提供较好的估计；
- IMU 有效估计自身运动，可以减轻动态物体的影响；
- 可以借助 IMU 较高的采样频率，提高系统的输出频率；
- 可以有效解决单目相机尺度不可观测的问题；
- 成本低，可以在低端硬件上取得良好的 SLAM 效果；
- 反过来可以有效的消除 IMU 的积分漂移，校正 IMU 的 Bias 等

1.2 VIO 融合方案？工业界应用例子？

IMU 实现主要有基于滤波（filter-based）和基于优化（optimization-based）两大类，传感器数据的融合方案可以分为松耦合(loosely-coupled)和紧耦合(tightly-coupled)两种。松耦合是指 IMU 和相机分别进行自身的运动估计，然后对其位姿估计结果进行融合，紧耦合是指把 IMU 的状态与相机的状态合并在一起，共同构建运动方程和观测方程，然后进行状态估计。几个应用实例如下：

1. 基于滤波器的松耦合：

- ssf，msf
- D-LG-EKF（Discrete Extended Kalman Filter on Lie groups）
- rtslam（RT-SLAM: A Generic and Real-Time Visual SLAM Implementation）

2. 基于滤波器的紧耦合：

- MSCKF（A Multi-State Constraint Kalman Filter for Vision-aided Inertial Navigation）
- ROVIO（Robust Visual Inertial Odometry Using a Direct EKF-Based Approach；Iterated extended Kalman filter based visual-inertial odometry using direct photometric feedback）

3. 基于优化的松耦合：

- Inertial Aided Dense & Semi-Dense Methods for Robust Direct Visual Odometry

4. 基于优化的紧耦合：

- VINS-Mono（VINS-Mono: A Robust and Versatile Monocular Visual-Inertial State Estimator）
- OKVIS（Keyframe-Based Visual-Inertial Odometry Using Nonlinear Optimization）
- ORBSLAM2+IMU（Visual-Inertial Monocular SLAM with Map Reuse）
- On-Manifold Preintegration for Real-Time Visual-Inertial Odometry

1.3 学术界 VIO 进展？有没有将学习方法用到 VIO 中的例子？学习方法？

- 事件相机+IMU（Event-based Visual Inertial Odometry）
- VINet: Visual-Inertial Odometry as a Sequence-to-Sequence Learning Problem（端到端学习，无需手动数据同步）

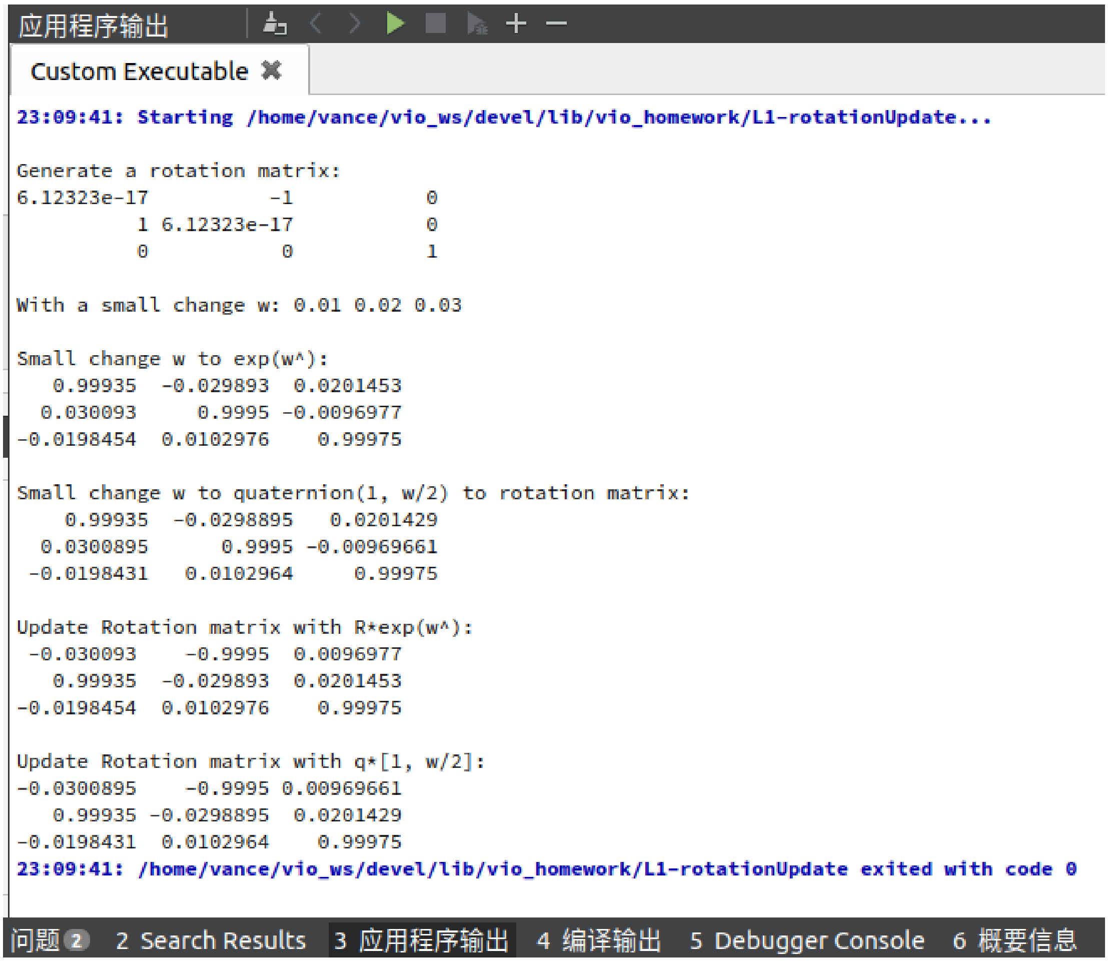
2. 四元数和李代数更新

课件提到了可以使用四元数或旋转矩阵存储旋转变量。当我们用计算出来的 ω 对某旋转更新时，有两种不同方式：

$$\begin{aligned} \mathbf{R} &\leftarrow \mathbf{R}\exp\left(\boldsymbol{\omega}^{\wedge}\right) \\ \text{或}\quad \mathbf{q} &\leftarrow \mathbf{q}\otimes\left[1,\tfrac{1}{2}\boldsymbol{\omega}\right]^{\mathrm{T}} \end{aligned} \tag{18}$$

请编程验证对于小量 $\omega=[0.01,0.02,0.03]^{\mathrm{T}}$，两种方法得到的结果非常接近，实践当中可视为等同。因此，在后文提到旋转时，我们并不刻意区分旋转本身是 q 还是 R，也不区分其更新方式为上式的哪一种。

源码见附近，运行结果如下图所示：



```
23:09:41: Starting /home/vance/vio_ws/devel/lib/vio_homework/L1-rotationUpdate...

Generate a rotation matrix:
6.12323e-17          -1           0
          1 6.12323e-17           0
          0           0           1

With a small change w: 0.01 0.02 0.03

Small change w to exp(w^):
   0.99935  -0.029893  0.0201453
  0.030093     0.9995 -0.0096977
-0.0198454  0.0102976    0.99975

Small change w to quaternion(1, w/2) to rotation matrix:
    0.99935  -0.0298895    0.0201429
  0.0300895      0.9995 -0.00969661
 -0.0198431   0.0102964      0.99975

Update Rotation matrix with R*exp(w^):
 -0.030093     -0.9995  0.0096977
   0.99935  -0.029893  0.0201453
-0.0198454  0.0102976    0.99975

Update Rotation matrix with q*[1, w/2]:
-0.0300895     -0.9995 0.00969661
   0.99935 -0.0298895  0.0201429
-0.0198431  0.0102964    0.99975
23:09:41: /home/vance/vio_ws/devel/lib/vio_homework/L1-rotationUpdate exited with code 0
```

3. 其他导数

使用右乘 $\mathfrak{so}(3)$，推导以下导数：

$$\frac{\mathrm{d}\left(\mathbf{R}^{-1}\mathbf{p}\right)}{\mathrm{d}\mathbf{R}} \tag{19}$$

$$\frac{\mathrm{d}\ln\left(\mathbf{R}_1\mathbf{R}_2^{-1}\right)}{\mathrm{d}\mathbf{R}_2} \tag{20}$$

3.1

$$\begin{aligned}
\frac{d(R^{-1}p)}{dR} &= \lim_{\phi\to 0}\frac{(R\exp(\phi^\wedge))^{-1}p - R^{-1}p}{\phi} \\
&= \lim_{\phi\to 0}\frac{\exp(-\phi^\wedge)\,R^{-1}p - R^{-1}p}{\phi} \\
\text{泰勒展开}\quad &= \lim_{\phi\to 0}\frac{(\mathrm{I}-\phi^\wedge)R^{-1}p - R^{-1}p}{\phi} \\
&= \lim_{\phi\to 0}\frac{-\phi^\wedge R^{-1}p}{\phi} \\
&= \lim_{\phi\to 0}\frac{(R^{-1}p)^\wedge\phi}{\phi} \\
&= (R^{-1}p)^\wedge
\end{aligned}$$

3.2

$$\begin{aligned}
\frac{\ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{dR_2} &= \lim_{\phi\to 0}\frac{\ln(R_1(R_2\exp(\phi^\wedge))^{-1})^\vee - \ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{\phi} \\
&= \lim_{\phi\to 0}\frac{\ln(R_1\exp(-\phi^\wedge)R_2^{-1})^\vee - \ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{\phi} \\
\text{伴随性质}\quad &= \lim_{\phi\to 0}\frac{\ln(R_1R_2^{-1}\exp(-R_2\phi)^\wedge)^\vee - \ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{\phi} \\
\text{公式(16)}\quad &= \lim_{\phi\to 0}\frac{\ln(R_1R_2^{-1})^\vee + J_r^{-1}\cdot(-R_2\phi) - \ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{\phi} \\
&= \lim_{\phi\to 0}\frac{J_r^{-1}\cdot(-R_2\phi)}{\phi} \\
&= -J_r^{-1}(\ln(R_1R_2^{-1})^\vee)\cdot R_2
\end{aligned}$$