1.VIO文献阅读

1.1 视觉与IMU进行融合之后有何优势？

视觉优势在于其不产生漂移，并可以直接测量旋转与平移；但是易受外界环境如光照、遮挡、动态物体等影响，并且单目视觉无法测量尺度，对纯旋转运动也无法进行估计，同时快速运动时图像匹配不上易跟丢

IMU优势在于响应快，不太受外界环境影响，角速度测量比较准，并可以估计绝对尺度；但是其存在零漂，直接对数据积分位姿也容易发散

视觉和IMU的特点几乎是互补的，用来融合构建里程计非常make sense

1.2 哪些常见的视觉+IMU融合方案？工业界应用的例子？

常见方案：大体上可以分为基于滤波和基于优化的两类融合方案，基于滤波的有MSCKF，ROVIO，R-VIO, OpenVINS，基于优化的有VINS, OKVIS, VIORB等

工业界的应用：Google的Project Tango, 用到了MSCKF; 一些无人机、AR\VR中的定位方案也是用的VIO算法

1.3 学术界中，VIO研究有哪些新进展？学习方法用到VIO中的例子？

学术界中VIO提高的方向包括精度、鲁棒性和效率三部分

在VIO中，可以用深度学习网络来预测相机的位姿状态、场景深度。还可以用网络剔除动态物体等来提高VIO系统的鲁棒性

利用了深度学习的例子包括D3VO(使用深度学习来预测场景深度、光度、姿态等)，VINet(使用深度学习来预测相机位姿)，DeepVO(使用网络来预测位姿)等

2.四元数和李代数更新

验证两种更新方式一致，所编写的代码主要分为以下4个步骤

1.生成随机四元数

```
Eigen::Vector4d q_random = Eigen::Vector4d::Random();
q_random.normalize();
Eigen::Quaterniond q_init(q_random[0], q_random[1], q_random[2], q_random[3]);
```

2.四元数转旋转矩阵

```
Eigen::Matrix3d R_init = q_init.toRotationMatrix();
```

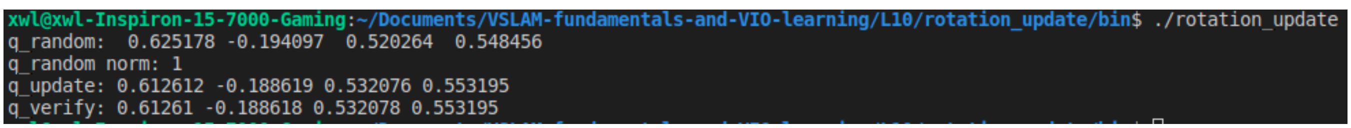
3.四元数和旋转矩阵分别进行更新

```
Eigen::Vector3d w(0.01, 0.02, 0.03);
Eigen::Quaterniond delta_q(1, 0.5 * w.x(), 0.5 * w.y(), 0.5 * w.z());
Eigen::Quaterniond q_update = q_init * delta_q;
q_update.normalize();
Eigen::Matrix3d R_update = R_init * skew_symmetric(w).exp();

// 其中，skew_symmetric函数将三维向量转化为反对称矩阵
// Eigen::Matrix3d skew_symmetric(const Eigen::Vector3d &w)
// {
    // Eigen::Matrix3d mat;
    // mat << 0, -w.z(), w.y(), w.z(), 0, -w.x(), -w.y(), w.x(), 0;
    // return mat;
// }
```

4.比较更新后的两个四元数

```
Eigen::Quaterniond q_verify(R_update);
std::cout << "q_update: " << q_update.w() << " " << q_update.x() << " "
    << q_update.y() << " " << q_update.z() << std::endl;
std::cout << "q_verify: " << q_verify.w() << " " << q_verify.x() << " "
    << q_verify.y() << " " << q_verify.z() << std::endl;
```



```
xwl@xwl-Inspiron-15-7000-Gaming:~/Documents/VSLAM-fundamentals-and-VIO-learning/L10/rotation_update/bin$ ./rotation_update
q_random:  0.625178 -0.194097  0.520264  0.548456
q_random norm: 1
q_update: 0.612612 -0.188619 0.532076 0.553195
q_verify: 0.61261 -0.188618 0.532078 0.553195
```

3.其他导数

使用右乘$\mathfrak{so}(3)$，推导以下导数

- $$\frac{d(\boldsymbol{R}^{-1}\boldsymbol{p})}{d\boldsymbol{R}}$$

这个题目本身不难，但需要我们注意并回忆起以下几点内容：

1. 对哪个变量求导，扰动就要作用到该变量上，例如我们现在分母是dR那就是对R求导，分子的扰动就得作用到R上面

2. R、$exp(\phi^\wedge)$、$Rexp(\phi^\wedge)$都是旋转矩阵，对于旋转矩阵来说，$R^{-1}=R^T$

3. 反对称矩阵的性质：$(\phi^\wedge)^T=-(\phi^\wedge)$

4. $\lim_{\phi \to 0} exp(\phi^\wedge) = I + \phi^\wedge$
5. $a^\wedge b = -b^\wedge a$

综合上面几点，不难得出下面推导结果：

$\frac{d(R^{-1}p)}{dR} = \lim_{\phi \to 0} \frac{(Rexp(\phi^\wedge))^{-1}p - R^{-1}p}{\phi} = \lim_{\phi \to 0} \frac{exp(\phi^\wedge)^{-1}R^{-1}p - R^{-1}p}{\phi} = \lim_{\phi \to 0} \frac{(I+\phi^\wedge)^{-1}R^{-1}p - R^{-1}p}{\phi} = \lim_{\phi \to 0} \frac{-\phi^\wedge R^{-1}p}{\phi} = \lim_{\phi \to 0} \frac{(R^{-1}p)^\wedge \phi}{\phi} = (R^{-1}p)^\wedge$

- $$\frac{d ln(\boldsymbol{R_1 R_2^{-1}})^\vee}{d\boldsymbol{R_2}}$$

  跟上面那个题目类似，也是需要我们注意并回忆起以下几点内容：

  1. BCH近似：$\lim_{\phi \to 0} ln(Rexp(\phi^\wedge))^\vee = ln(R)^\vee + J_r^{-1}(R)\phi, J_r^{-1}(R)$为$SO(3)$上的右雅可比
  2. $SO(3)$的伴随性质：$R^T exp(\phi^\wedge) R = exp((R^T \phi)^\wedge)$
  3. 对哪个变量求导，扰动就要作用到该变量上，例如我们现在分母是dR_2那就是对R_2求导，分子的扰动就得作用到R_2上面
  4. 同时需要注意的是，求导之后结果是要给状态更新用的，左乘或右乘求出导数不同，更新时必须保持对应左右乘

综合上面几点，不难得出下面推导结果：

$\frac{dln(R_1R_2^{-1})^\vee}{dR_2} = \lim_{\phi \to 0} \frac{ln(R_1(R_2exp(\phi^\wedge))^{-1})^\vee - ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{\phi} = \lim_{\phi \to 0} \frac{ln(R_1exp(\phi^\wedge)^{-1}R_2^{-1})^\vee - ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{\phi} = \lim_{\phi \to 0} \frac{ln(R_1R_2^{-1}exp((R_2(-\phi))^\wedge))^\vee - ln(R_1R_2^{-1})^\vee}{\phi} = \lim_{\phi \to 0} \frac{J_r^{-1}(ln(R_1R_2^{-1})^\vee)R_2(-\phi)}{\phi} = -J_r^{-1}(ln(R_1R_2^{-1})^\vee)R_2$

Appendix

// 第2题参考代码如下：

```
#include <iostream>

#include <Eigen/Eigen>
#include <Eigen/Geometry>
#include <unsupported/Eigen/MatrixFunctions>

Eigen::Matrix3d skew_symmetric(const Eigen::Vector3d &w)
{
    Eigen::Matrix3d mat;
    mat << 0, -w.z(), w.y(), w.z(), 0, -w.x(), -w.y(), w.x(), 0;
    return mat;
}

int main()
{
    Eigen::Vector4d q_random = Eigen::Vector4d::Random();
    q_random.normalize();
    Eigen::Quaterniond q_init(q_random[0], q_random[1], q_random[2], q_random[3]);

    Eigen::Matrix3d R_init = q_init.toRotationMatrix();

    Eigen::Vector3d w(0.01, 0.02, 0.03);
    Eigen::Quaterniond delta_q(1, 0.5 * w.x(), 0.5 * w.y(), 0.5 * w.z());
    Eigen::Quaterniond q_update = q_init * delta_q;
    q_update.normalize();
    Eigen::Matrix3d R_update = R_init * skew_symmetric(w).exp();

    Eigen::Quaterniond q_verify(R_update);
    std::cout << "q_update: " << q_update.w() << " " << q_update.x() << " "
            << q_update.y() << " " << q_update.z() << std::endl;
    std::cout << "q_verify: " << q_verify.w() << " " << q_verify.x() << " "
            << q_verify.y() << " " << q_verify.z() << std::endl;

    return 0;
}
```