

惯性测量单元介绍及其预积分

1. 惯性测量单元 IMU 介绍

IMU中文名叫惯性测量单元，英文名：**Inertial measurement unit**，简称 **IMU**。简单理解就是这个传感器可以测量两个东西，加速度 a 是沿三个轴方向的线加速度，而角速度 w 就是这三个方向的角速度,还有就是IMU的频率比较高一般都在100HZ以上。在IMU内部，除了通常的**白噪声**，还有个特别的量零偏**bias**，在这这是传感器内部机械、温度等各种物理因素产生的传感器内部误差的综合参数。IMU的加速度计和陀螺仪的每个轴都用彼此相互独立的参数建模，所以关于IMU的输出建模方式为

$$\begin{aligned} a &= R_{bw}(a_t - g) + b_a + n_a \\ w &= w_t + b_w + n_w \end{aligned}$$

即输出的加速度计和陀螺仪的数据受零偏以及高斯白噪声的影响，因此，紧耦合的LIO 或者 VIO 都会实时估计 IMU 的零偏，以实现 IMU 数据的最大利用率。

2.IMU状态的连续表达形式（PQV）

IMU 可以获得当前时刻的角速度和加速度值，通过该值可以对系统状态（位置，速度，姿态）进行推算，对激光K关键帧和k+1关键帧之间所有的IMU进行积分，对应的IMU坐标系为 b_k 和 b_{k+1} ，根据k时刻的数据，积分求得k+1时刻的数据，求出的是在世界坐标系下的值：

$$\begin{aligned} P_{b_{k+1}}^w &= P_{b_k}^w + v_{b_k}^w \Delta t_k + \iint (R_t^w(a_t - b_{at} - n_a) - g^w) dt^2 \\ v_{b_{k+1}}^w &= v_{b_k}^w + \int (R_t^w(a_t - b_{at} - n_a) - g^w) dt \\ q_{b_{k+1}}^w &= q_{b_k}^w \otimes \int (\frac{1}{2} \Omega(w_t - b_{wt} - n_w) - g_t^{bk}) dt \end{aligned}$$

其中

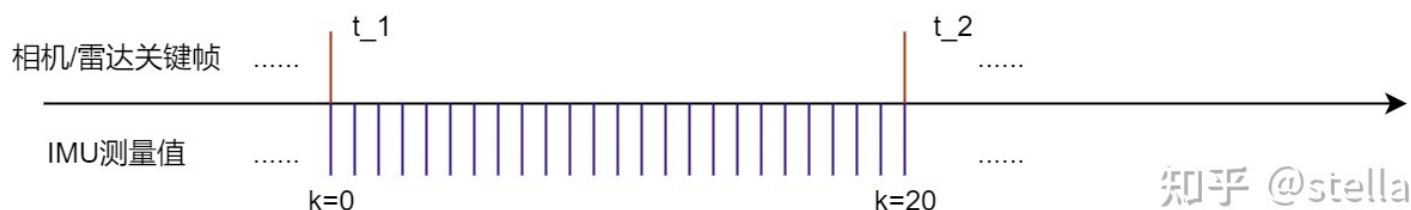
$$\begin{aligned} \Omega_{(w)} &= \begin{vmatrix} -[w] \times & w \\ -w^T & 0 \end{vmatrix} \\ [w] \times &= \begin{vmatrix} 0 & -w_z & w_y \\ w_z & 0 & -w_x \\ -w_y & w_x & 0 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

3. 为什么要做IMU的预积分

我们从IMU中拿到的数据包含角速度和加速度两部分，一般的低成本imu的读数都是基于IMU坐标系。根据imu的误差模型我们可以假设：角速度读数会在真实值的基础上受到bias和白噪声的影响，加速度除了受到bias和噪声的影响，还会受到重力的影响。我们知道角速度积分得到姿态，加速度积分得到速度，速度积分得到位移。在此过程中会逐渐累积噪声，因此我们可以利用相机或激光的位姿估计结果来估计出IMU的bias，并优化位姿、速度的估计值。由于相机或激光的频率是明显低于IMU的采样频率的，而在SLAM中我们通常是求解各个关键帧的相机或雷达的位姿，因此需要对两帧图像/激光之间的IMU观测进行累加。

在这个过程中，我们需要解决一个问题：每次拿到IMU数据，更新速度的时候，会受到姿态的影响（因为朝向不同，速度方向就不一样），因此更新速度前需要知道该时刻的姿态，在更新平移时，需要每个IMU时刻速度和旋转。我们在构建优化问题时，会将相机或激光关键帧的pvq（位置、速度、旋转）以及imu bias作为状态量进行优化。在求解优化问题时，会不断迭代更新这些状态量。所以，我们在求解优化问题的过程中每迭代一次，更新了一下关键帧的位姿、速度和IMU bias，就需要重复一次积分操作，要知道我们在优化的时候不止迭代一次的，这样就会花费大量的时间重新积分，显然是不太合适的。

IMU预积分的思路就是先把每次优化迭代时不变的项提出来，减小每次重新积分的工作量。



4. IMU如何预积分

参考上一节连续时间 IMU 积分的公式，等号两边同时乘上 $R_w^{b_k}$ 即可，即

$$\begin{aligned} R_w^{b_k} p_{b_{k+1}}^w &= R_w^{b_k} (p_{b_k}^w + v_{b_k}^w \Delta t_k - \frac{1}{2} g^w \Delta t_k^2) + a_{b_{k+1}}^{b_k} \\ R_w^{b_k} v_{b_{k+1}}^w &= R_w^{b_k} (v_{b_k}^w - g^w \Delta t_k) + \beta_{b_{k+1}}^{b_k} \\ q_w^{b_k} \otimes q_{b_{k+1}}^w &= \gamma_{b_{k+1}}^{b_k} \end{aligned}$$

上面三个变量即预积分量，我们可以发现这三个预积分量都和 k 时刻或 k+1 时刻状态无关，因此当 k 时刻状态发生变化时，我们不需要将 IMU 的数据重新积分。

具体参考链接：

1. <https://blog.csdn.net/tfb760/article/details/129008663>
2. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/563177244>