

# ORB\_SLAM3 系列代码讲解

## IMU 专题一

主 讲 人：魏宏宇

公 众 号：3D视觉工坊

# 主要内容

1

从传统导航方向了解惯导

2

IMU的预积分详细推导

- MSCKF
- VINS
- ORBSLAM3

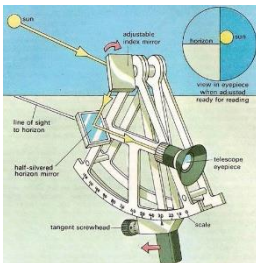
3

讨论与交流  
(如何寻找论文的创新点)

# 1 从传统导航方向了解惯导



麦哲伦



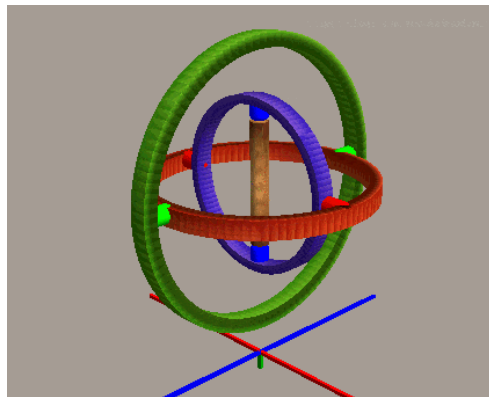
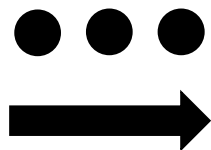
环球旅行



牛顿



牛顿三大定律



陀螺仪



惯性测量单元 (IMU) :

**三轴陀螺仪 + 三轴加速度计** + 三轴磁力计

更加常用，也称作六轴惯导

**MEMS惯导 (微惯性导航系统)** : 业内公布的MEMS, 最高定位精度是1公里, 误差小于3米, 但由于MEMS的定位信息是经过积分产生的, 定位误差会随时间增大, 因此大场景长距离下, 累积误差很受影响

**激光陀螺仪**: 利用激光测量方向的变化, 精度是1小时角度漂移量小于0.0001度, 应用在洲际导弹精度上精度更高, 东风-31A从起火点到美国目标上大概需要30分钟, 打击精度理论上可以达到30以内

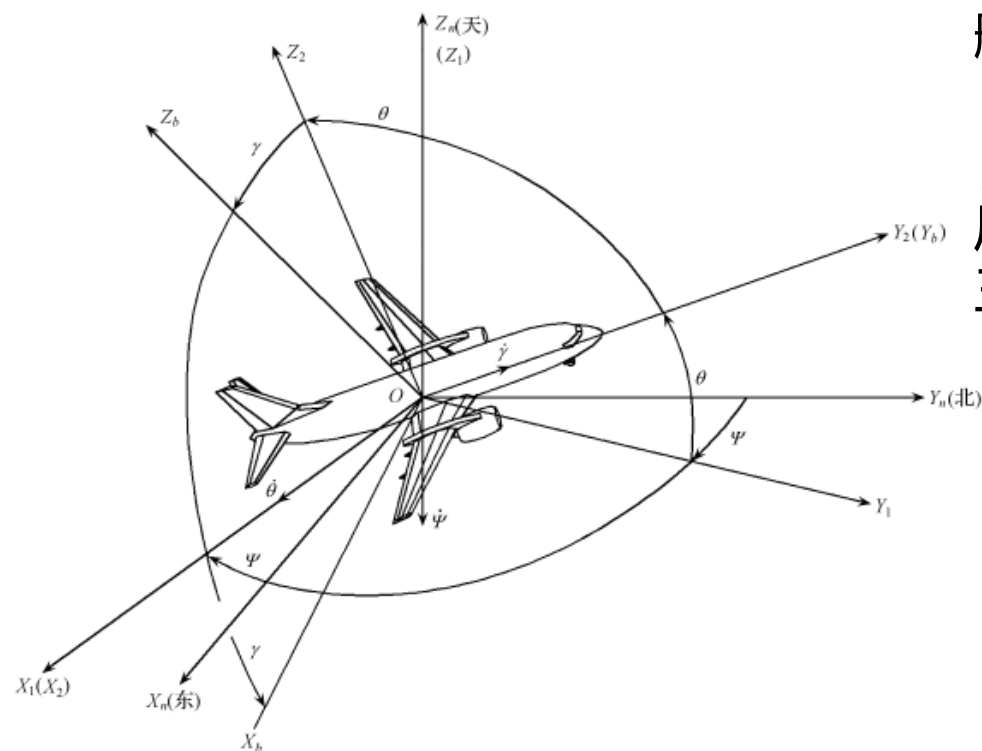
**光纤陀螺 (固态惯导)** : 内部没有高速转子, 利用一些光学原理, 实现旋转角速度的测量, 体积更小, 功耗少, 可以达到一小时小于0.01度



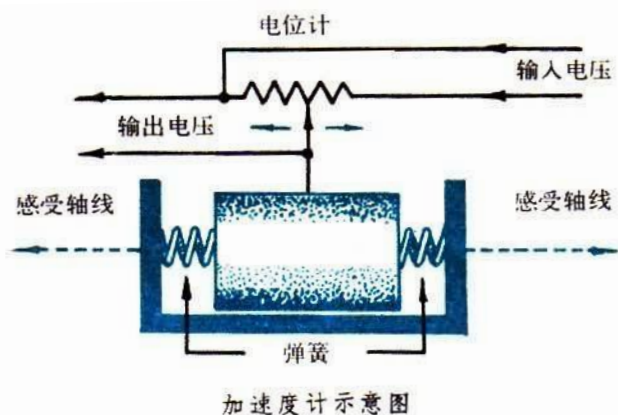
传统意义上的陀螺仪是指的转子陀螺仪，转子陀螺仪的运动特性区别于一般刚体的根本原因在于转子旋转所产生的角动量，这种陀螺仪是服从牛顿力学的。

在一定的初始条件和一定的外在力矩作用下，陀螺会在不停自转的同时，环绕着另一个固定的转轴不停地旋转，在导航系统中作为水平、垂直、俯仰、航向和角速度传感器

陀螺仪具有两个特殊的性质，定轴性和进动性，利用这两个定律可得到与陀螺固连载体的三轴角速度，三轴正交，因此属于双自由度陀螺仪，可以输出三轴的角速度



Pitch	俯仰	(点头)
Yew	偏航	(摇头)
Roll	横滚	(翻滚)



加速度计也叫作加速度传感器，有质量块、阻尼器、弹性元件、敏感元件等组成。

传感器在加速过程中，通过对质量块所受惯性力的测量，利用牛顿第二定律可以获得加速度值。



## 三轴加速度计讲解：

由于万有引力定律，载体在地球上，不论运动还是静止，都会受到指向地心的力，重力G，拓展为三维（世界坐标系下）

$$a_{wg} = (0, 0, G)^T$$

加速度计受到重力和常值加速度，质量为m，达到稳态时，有：

$$a + g = \frac{F}{m} = f$$

f是比力，加速度计可测得比力，因此，真实的加速度为：

$$a = f - g$$

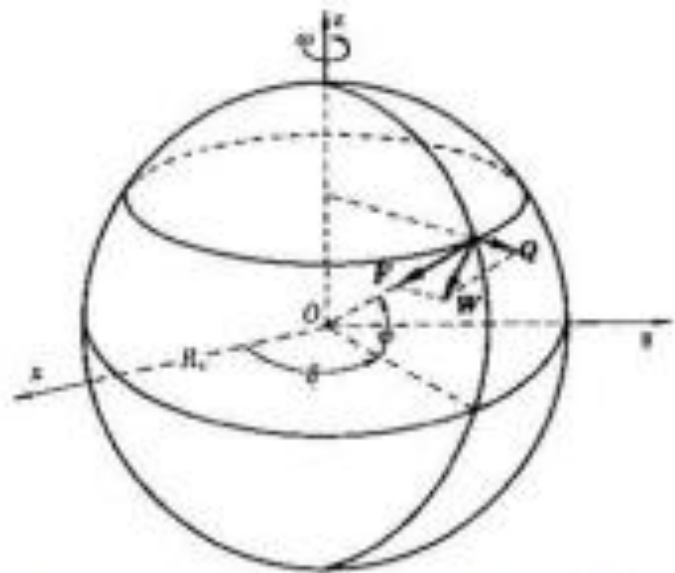


图1 重力和重力加速度的方向。



我们总是希望传感器输出的参数是可信且能直接使用的，但实际情况并非如此，惯性仪器和系统在制造、装调中总是存在误差，所以这些误差因素成为误差源。误差源大致分为：

- 元件误差：主要是**陀螺漂移、指令角速度刻度系数误差**、加速度计零偏和刻度系数误差、计算机舍入误差、电流变换装置误差等
- 安装误差：陀螺和加速度计在平台上的安装误差
- 初始条件误差：包括平台的初始对准、计算机在解算力学编排方程时引入的初始速度及位置误差
- 干扰误差：主要包括冲击与振动运动干扰
- 其它误差：模型误差之类的

SLAM中主要考虑的是IMU中的陀螺仪漂移、加速度计零偏、传感器噪声等误差





➤ 陀螺仪零偏：

陀螺静止时，陀螺仪仍然会有一个很小的输出，这个输出值叫做陀螺仪零偏或者偏置，其会受到陀螺仪的上电状态、温度、内部结构等因素影响，使得在陀螺仪静止时输出不为0

➤ 加速度计零偏：

加速度计静止时，会输出不为零的测量值，这个测量值就是加速度计零偏或偏置

➤ 通常在IMU静止时，IMU的输出是一条复合白噪声信号缓慢变化的曲线，曲线的平均值就是零偏，因此我们一般用维纳过程来建模偏置随时间变化的过程：

$$\dot{b}(t) = n_b(t) \sim \mathcal{N}(0, \sigma_b^2)$$

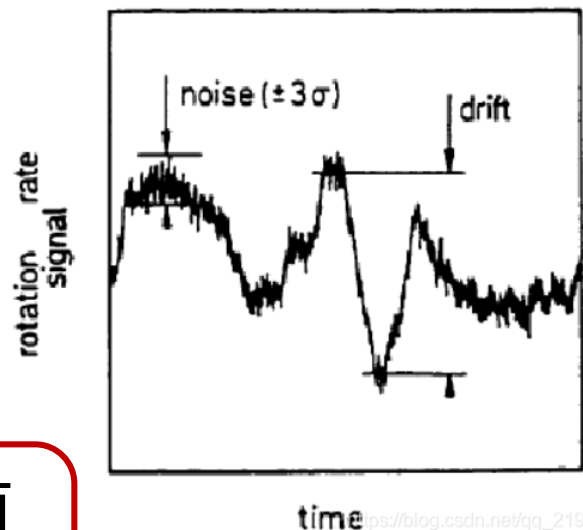
随机游走

➤ 噪声：传感器基本都会受到一个高斯白噪声，建模为：

$$n(t) \sim \mathcal{N}(0, \sigma_a^2)$$

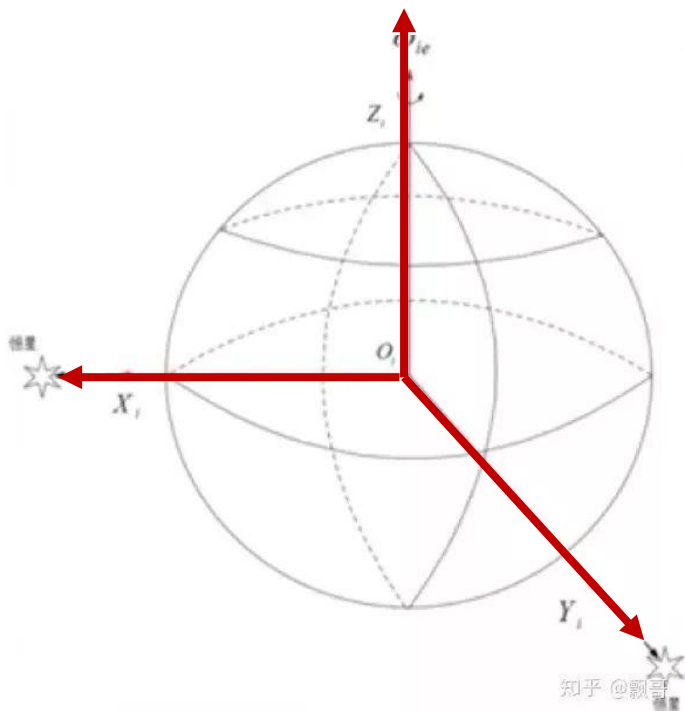
IMU测量的真值在零偏和噪声的影响下，输出测量值

$$m = t + b + n$$





## 简易版



## 地心惯性坐标系（ECI坐标系或i系）

原点在地球中心，Z轴沿地轴指向北极，X轴和Y轴位于赤道平面内，分别指向两个恒星，这个坐标系不会随着地球自转而变化，是一个固定的坐标系，因此传感器测得的量测值就是相对于固定坐标系的，不用考虑地球自转的影响

VINS-MONO

ORB\_SLAM3

都使用此坐标系下建模的IMU量测模型



## 简易版

➤陀螺仪测得的角速度：

$$\widetilde{\omega}_m = \omega_t + b_\omega + n_\omega$$

➤加速度计测得的线加速度：

$$\begin{aligned}\widetilde{a}_m &= a_t + b_a + n_a \\ &= R_W^B (a_{wt} - a_{wg}) + b_a + n_a\end{aligned}$$

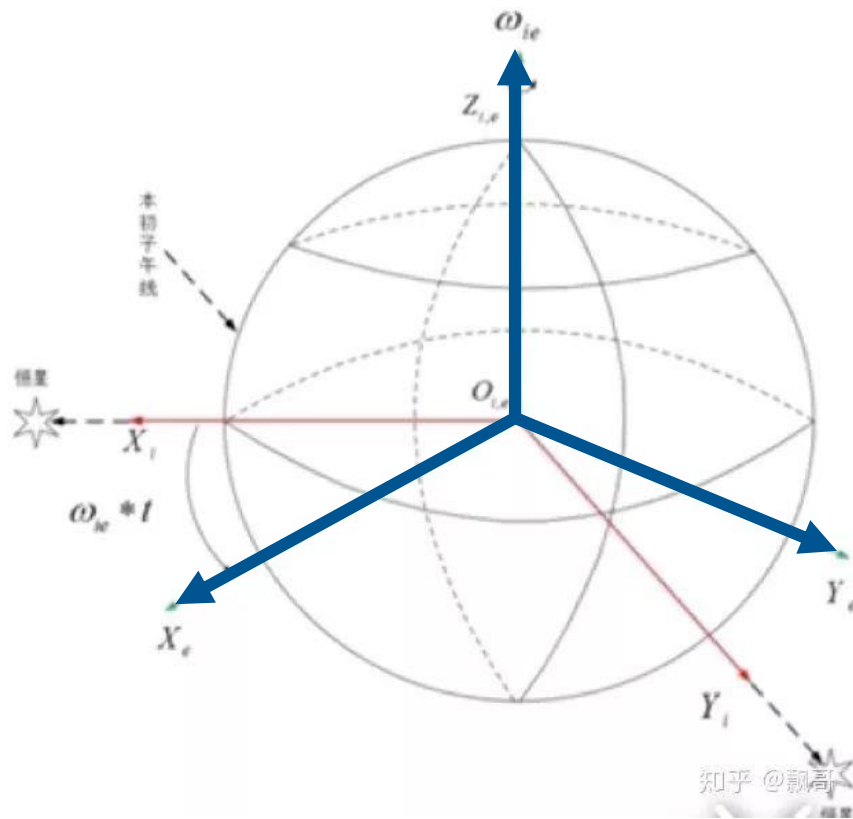
正负与选定的坐标轴朝向有关



## 详细版

### 地心地固坐标系（地球坐标系/E系/ECEF坐标系）

原点在地球中心，Z轴沿地轴指向北极，X轴和Y轴位于赤道平面内，X轴指向本初子午线，E系跟随地球自转方向，E系相对于I系的角运动大小就是地球的自转角速度，在此坐标系下，传感器测得的量测值需要考虑地球的自转影响。



MSCKF使用此坐标系下建模的IMU量测模型



### 详细版

陀螺仪的输出量是IMU坐标系相对于惯性系I系的测量值，因此需要加上由于地球自转引起的在E系下的地球自转角速度分量

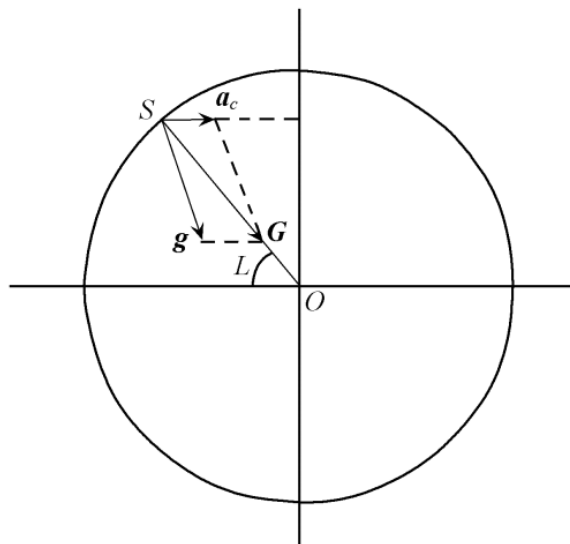
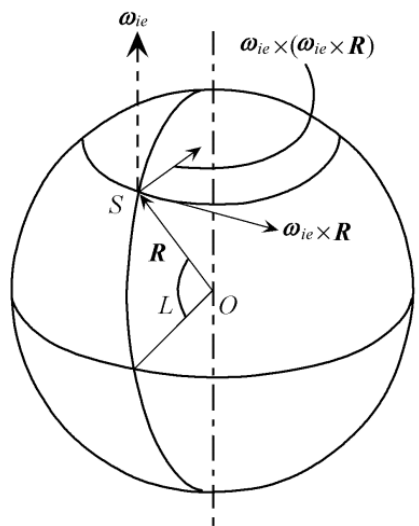
➤ 陀螺仪测得的角速度： $\widetilde{\omega}_m = \omega_t + b_\omega + n_\omega$

$$\omega_t = \omega_i + \omega_{ie} = \omega_i + R_g^i \omega_{ge}$$

重力坐标系到  
惯性系的变换

➤ 加速度计测得的线加速度：

$$\widetilde{a}_m = a_t + b_a + n_a$$



根据哥氏定理：

$$\left. \frac{dR}{dt} \right|_i = \left. \frac{dR}{dt} \right|_e + \omega_{ie} \times R$$

两边求导，可以得到速度对时间的导数，即加速度

根据加速度计的原理，根据牛顿第二定律：

$$F + mG = m \left. \frac{d^2 R}{dt^2} \right|_i$$

受到的非引力外力

地球引力

单位质量上作用的非引力外力，称为比力

变换得到：

$$\left. \frac{d^2 R}{dt^2} \right|_i = f + G$$

$$f = \frac{F}{m}$$

因此可以得到：

$$\left. \frac{dV_{eT}}{dt} \right|_T = f - (2\omega_{ge} + \omega_{eT}) \times V_{eT} + g$$

$$\begin{aligned} \widetilde{a}_m &= a_t + b_a + n_a \\ a_t &= R_G^i (a_G - g_G + 2[\omega_G \times] V_I^G + [\omega_G \times]^2 P_I^G) \end{aligned}$$

# 1 IMU的预积分详细推导

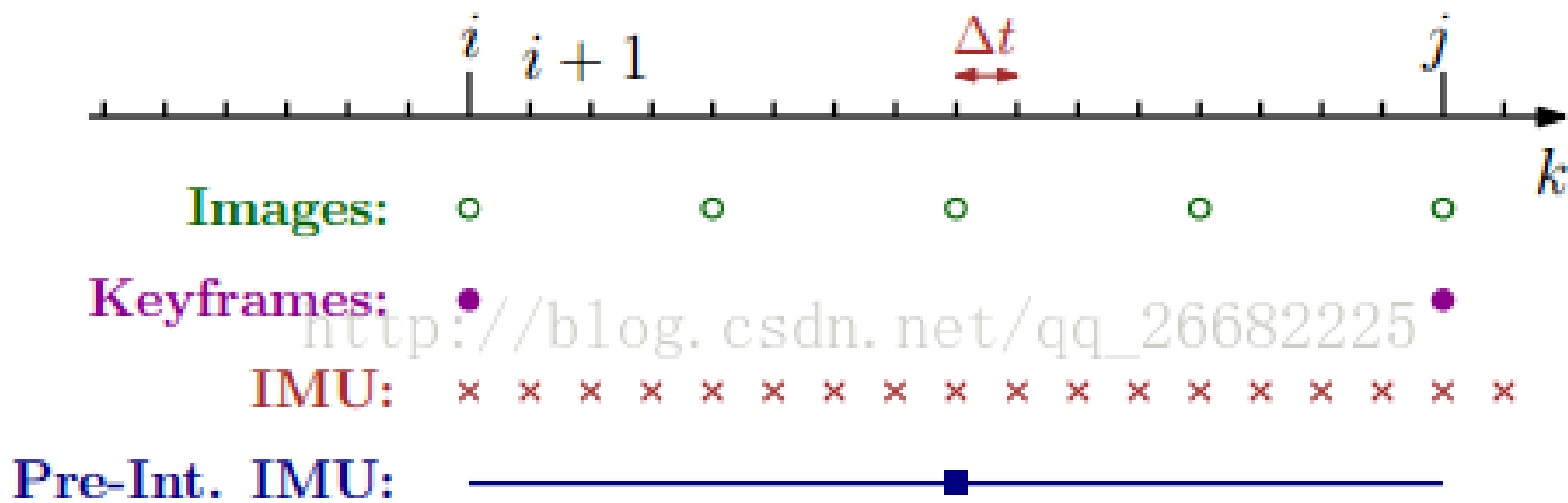


Fig. 4: Different rates for IMU and camera.

预积分：将一段时间内的IMU测量值归为一个值的过程，叫做预积分





IMU输出量：三轴角速度测量值 $\omega_m$  和三轴线加速度 $a_m$

角速度：单位时间转过的角度，因此旋转 $R$ 对时间的导数是角速度

线加速度：加速度积分是速度 $V$ ，速度积分是位移 $P$

$$\dot{q} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \omega^\wedge & \omega \\ -\omega^T & 0 \end{bmatrix} q = \frac{1}{2} \Omega(\omega) q = q \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ \frac{1}{2} \omega \end{pmatrix}$$

$$\delta R = I - [\delta\theta \times] \quad \delta R^T = I + [\delta\theta \times]$$

$$\dot{R} = R \omega^\wedge = R \text{EXP}(\omega)$$

$$\dot{V} = a$$

$$\dot{P} = V$$



ORB\_SLAM3  
VINS-MONO  
MSCKF

纯手推

5

## 讨论与交流 (如何寻找论文的创新点)

# 欢迎关注3D视觉工坊

我们这里有3D视觉算法、SLAM、点云处理、三维重建、计算机视觉、深度学习、自动驾驶、图像处理、技术干货以及前沿paper分享！

如果你也想成为主讲人，欢迎加入我们。

➤ 报名方式：请发送邮件至[vision3d@yeah.net](mailto:vision3d@yeah.net)

公众号



交流群请添加客服





**客服微信，咨询课程**



**3D视觉工坊知识星球**

- ◆ 课程PPT和注释代码
- ◆ 补充知识点 PDF版和视频版
- ◆ 答疑



**感谢聆听**

Thanks for Listening