

传感器

一、IMU

1、陀螺仪

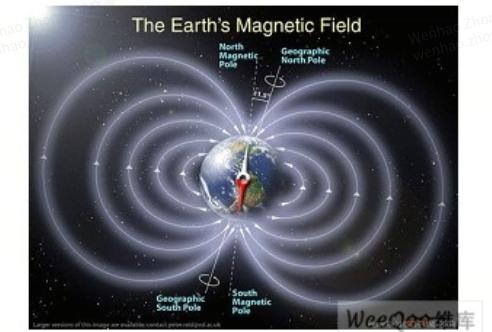
2、加速度计

3、磁力计

磁力计（也称为磁强计或磁罗盘）是测量磁场强度和方向的传感器。在惯性测量单元（IMU）中，磁力计通常用于提供航向信息，并与加速度计和陀螺仪结合使用，以实现更精确的姿态估计。

背景知识

如图1所示，地球的磁场象一个条形磁体一样由磁南极指向磁北极。在磁极点处磁场和当地的水平面垂直，在赤道磁场和当地的水平面平行，所以在北半球磁场方向倾斜指向地面。用来衡量磁感应强度大小的单位是Tesla或者Gauss（1Tesla=10000Gauss）。随着地理位置的不同，通常地磁场的强度是0.4-0.6 Gauss。需要注意的是，磁北极和地理上的北极并不重合，通常他们之间有11度左右的夹角。



地磁场是一个矢量，对于一个固定的地点来说，这个矢量可以被分解为两个与当地水平面平行的分量和一个与当地水平面垂直的分量。如果保持电子罗盘和当地的水平面平行，那么罗盘中磁力计的三个轴就和这三个分量对应起来，如图2所示。

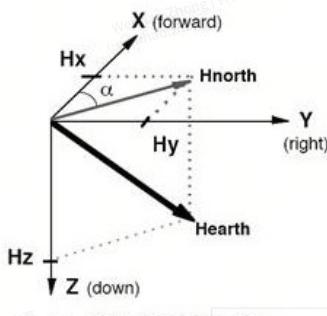


图2 地磁场矢量分解示意图

实际上对水平方向的两个分量来说，他们的矢量和总是指向磁北的。罗盘中的航向角（Azimuth）就是当前方向和磁北的夹角。由于罗盘保持水平，只需要用磁力计水平方向两轴（通常为X轴和Y轴）的检测数据就可以用式1计算出航向角。当罗盘水平旋转的时候，航向角在0°- 360°之间变化。

数据使用

磁力计的数据主要包含以下几个方面：

- 1. 磁场强度：**磁力计测量地球磁场的强度，通常以微特斯拉（ μT ）为单位。
- 2. 磁场方向：**磁力计提供磁场在三个轴上的分量（通常是 X、Y 和 Z 轴），这些分量可以用来确定地球磁场的方向。

航向估计：

- 磁力计数据可以用于确定设备的航向（方位角），即设备相对于地磁北极的方向。
- 通过计算 X 和 Y 轴上的磁场分量的反正切值，可以得到设备的航向角。

Code block

```
1 double heading = atan2(mag_y, mag_x);
```

姿态估计：

- 与加速度计和陀螺仪结合使用，磁力计数据可以用于实现更准确的姿态估计。常见的方法有互补滤波、卡尔曼滤波和四元数融合。

二、GNSS

GNSS定位技术（全球导航卫星系统，Global Navigation Satellite System）是利用卫星进行定位的技术。

根据精度的差异，目前使用的GNSS可以分为两类：**GPS和RTK，分别对应标准/单点GNSS和高精度/差分GNSS**

两种距离计算：

当接收机接收卫星信号时，它可以测到两种类型的“距离”：

类型	英文名	中文名	精度	特点
伪距 (Pseudorange)	Code measurement	伪代码距离	米级	通过信号到达时间计算得到
载波相位 (Carrier phase)	Phase measurement	载波相位距离	毫米级（但有整周模糊度）	测得更精细，但有“整周不确定”

伪距：

卫星发出一个信号，接收机接收到后测得时间延迟：

$$\Delta t = 0.07 \text{ 秒}$$

乘以光速 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，得到距离 $\approx 21,000,000 \text{ 米}$ 。

但！

卫星和接收机时钟都有微小误差，电离层、对流层都会影响传播速度——
所以这个距离不是“真距离”，而是一个**伪距离 (Pseudorange)**。

载波相位：

当我们用“载波相位”测距时，信号波长非常短（L1 频率约 1575.42 MHz → 波长约 19 cm）。

接收机能测出信号相位变化的“分数部分”（比如多了 0.3 个波），

但它不知道一开始已经过去了多少个完整的波周期。

也就是这句话：

“我知道波的相位现在是 0.3 个波，但不知道前面经过了 237 个、238 个，还是 239 个波。”

于是我们引入一个未知量：

$$N = \text{整周模糊度 (integer ambiguity)}$$

观测方程就变成：

$$\text{测距} = \text{几何距离} + N \times \lambda + \text{误差}$$

其中 λ 是波长。

1、GPS

Global Positioning System（全球定位系统），属于GNSS中的标准GNSS或者单点GNSS

位置的求解原理：利用一个接收机同时接受到了多个卫星发送的信号，利用这些信号的时间延迟可以推算出与每个卫星的伪距离，然后通过多个卫星距离就可以确定当前接收机的位置。

但是由于将大气、电离、时钟等误差都考虑了进去，所以GPS的定位精度是米级精度。

2、双天线GPS

双天线系统使用两天线之间的固定距离（基线）来测量和计算相对位置和方向。基线长度通常是已知且固定的（比如0.3m-2m）。

通过已知的基线长度和两个天线之间的载波相位差，并且由于基线长度较短，接受到的信号方向矢量基本相同，所以可以直接确定出整周模糊度（无需基站），因此可以算出两个天线之间的距离，然后根据已知的基线长度就可以得到姿态角，求解出航向和俯仰。

双天线系统的计算过程

1. **获取坐标数据** 两个天线分别接收 GPS 信号，并计算各自的坐标。
2. **坐标转换** 将两个天线的坐标转换为笛卡尔坐标系 (X, Y, Z)，方便后续的向量计算。
3. **计算基线向量** 计算两天线之间的基线向量（即坐标差异）。
4. **计算方位角和俯仰角** 使用基线向量计算天线之间的方位角（水平角度）和俯仰角（垂直角度）。

优势

- **精度更高：**通过消除大部分共同误差（如大气延迟和多路径效应），双天线系统能提供比单天线更高的定位精度。
- **定向能力：**双天线系统可以提供精确的方位角和俯仰角测量，对于导航和姿态控制非常有用。

相比于单天线的GPS，双天线GPS对精度并没有显著提升（仍然是普通GNSS的米级误差），只要功能是可以用来求解航向，顺带给出俯仰。

3、RTK

RTK (Real-Time Kinematic, 实时动态差分技术) 是一种用于高精度卫星定位的技术，属于高精度/差分GNSS。

相比于GPS，RTK最大的差异是利用已知位置的基站（或者网络差分），将大气、星历、时钟等误差全部消除，利用载波相位技术，将定位误差压缩到厘米级别。

RTK 的基本原理

1. 差分定位

RTK 使用一种差分定位的方法，即同时使用两个接收器（基站和移动站）来接收来自 GPS 或 GNSS 卫星的信号。基站位于已知的固定位置，而移动站则处于需要确定精确位置的地方。

2. 误差消除

基站通过已知位置计算出接收到的卫星信号中的误差，并将这些误差数据通过无线电或互联网传输给移动站。移动站使用这些误差数据对其接收到的卫星信号进行校正，从而消除大部分误差。

3. 载波相位测量

RTK 技术还利用了卫星信号的载波相位测量来进一步提高精度。载波相位测量比传统的伪距测量（基于信号到达时间）更精确，但需要解决整数周模糊度问题，这也是 RTK 技术的核心难点之一。

RTK 的本质就是求解整周模糊度

1 2 3 4 四、RTK 的本质：解整周模糊度！

RTK 的核心任务就是：

在实时情况下，用双天线差分观测消除误差，并且把 N 精确求成整数。

当 RTK 成功“固定整周模糊度”时：

- 每颗卫星的 N 都是整数；
- 位置误差缩小到厘米级；
- RTK 状态 → Fix (RTK Int) 

当 RTK 还没完全确定 N 时：

- N 还不是整数，只是实数近似；
- 解算器不敢认为“确定”；
- RTK 状态 → Float (RTK Float) 
- 精度只有 10~30 cm 左右。

补充：网络rtk

网络RTK (VRS、FKP、MAC) 把“基站”拆成全国连续运行参考站 (CORS) 网络，用户端还是单台移动站，感觉上“没拿基站”，实际后台仍在给你做差分。

Table

维度	内容
核心功能	把绝对坐标误差从米级压到厘米级
工作原理	基站（已知坐标）+ 流动站 同时收星 → 载波相位差分 → 实时修正公共误差（电离层、星历、钟差等） 微信公众号(...)
精度	平面 $1 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$, 高程 $1.5 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$; 与基线长度有关, 但与天线数量无关
需要几根天线	常规单天线就够；第二根天线不会提升定位精度
典型场景	测绘放样、精准农业播种、无人机起降、自动驾驶车道级定位

RTK 的优势和挑战

优势

- 高精度：**RTK 能够实现厘米级的定位精度，比传统 GPS 定位精度高得多。
- 实时性：**RTK 提供实时定位数据，适用于需要高精度实时定位的应用。

挑战

- 整数周模糊度：**解决载波相位测量中的整数周模糊度问题是 RTK 技术的关键难点之一。
- 环境限制：**RTK 对通信链路和环境条件有较高要求，例如需要开阔的视野、稳定的基站通信等。
- 成本：**RTK 系统通常比传统 GPS 定位系统更昂贵，需要更多的设备和维护成本。

四、相机