

零速修正

零速修正（Zero Velocity Update Technology，ZUPT）是一种常用于惯性导航系统（INS）中的技术，特别是在车辆、行人导航等需要高精度定位的应用中。通过检测系统的零速状态并在此状态下修正IMU（惯性测量单元）的累积误差，ZUPT能有效减少由于IMU漂移引起的定位误差，尤其是在没有外部定位数据（如GPS）或外部定位数据更新频率较低的情况下。

这里的叙述只针对车辆定位任务场景中的卡尔曼滤波框架下的INS算法

一、基本描述

imu中含有加速度计和陀螺仪，由于传感器噪声和偏差（如加速度计的零偏和陀螺仪的漂移），IMU测量的位置信息会随着时间的推移产生累积误差。ZUPT的基本原理是在系统静止（即零速）时，通过**检测零速状态并将速度和其他状态变量进行修正**，从而减少漂移和累积误差。

基本步骤：

- 零速状态检测：加速度和角速度阈值、方差阈值、
- 零速修正：修正系统速度还有其他的状态估计（例如位置、加速度偏置）、调整协方差矩阵

把零速修正当成是一种特殊情况的条件判断即可

优点：

- 减少漂移
- 提高定位精度
- 计算量小，实时应用

缺点：

- 对检测精度依赖高，误检会放大误差
- 需要与其他传感器结合（例如gps等，单纯的imu做零速检测意义不大）

二、相关文章

1、基于IMU和地磁传感器的捷联惯性导航系统

<https://www.analog.com/cn/resources/analog-dialogue/articles/strapdown-inertial-navigation-system-based-on-an-imu-and-a-geomagnetic-sensor.html>

主要是在手推轮椅场景下，零速检测阈值对车辆场景的意义不大。

文章提出加速度计读数存在一个基线误差（静止也不为0,估计就是偏置+随机游走的结果），多了一个基线误差的估计然后再进行零速检测。

没啥意义，直接估计一个静止的均值输出就可以了

2、车载GNSS/INS组合导航中零速检测方法的改进

http://www.xml-data.org/CHDLXX/html/06217ff5-df40-44f4-bdd4-b028c6246aa0.htm#outline_anchor_7

四种零速检测：

SHOE探测器：

$$T(z_n) = \frac{1}{N} \sum_{k \in \Omega_n} \left(\frac{1}{\sigma_a^2} \left\| \mathbf{y}_k^a - g \frac{\bar{\mathbf{y}}_n^a}{\|\bar{\mathbf{y}}_n^a\|} \right\|^2 + \frac{1}{\sigma_w^2} \left\| \mathbf{y}_k^w \right\|^2 \right)$$

ARED探测器：

$$T_w(z_n^w) = \frac{1}{\sigma_w^2 N} \sum_{k \in \Omega_n} \left\| \mathbf{y}_k^w \right\|^2$$

AMVD探测器：

$$T_v(z_n^a) = \frac{1}{\sigma_a^2 N} \sum_{k \in \Omega_n} \left\| \mathbf{y}_k^a - \bar{\mathbf{y}}_n^a \right\|^2$$

AMD探测器：

$$T_m(z_n^a) = \frac{1}{\sigma_a^2 N} \sum_{k \in \Omega_n} \left(\left\| \mathbf{y}_k^a \right\| - g \right)^2$$

文中实验给出检测准确率和计算代价的均衡选择是ARED（使用陀螺仪来判断），对其进行改进====》其实就是要低通滤波器过滤掉高频的噪声，跟上面的大差不差吧。。。。。

可以参考的点：零速检测使用窗口内的imu数据来判断

3、基于手机内置传感器的车辆组合定位方法

<http://i2nav.net/ueditor/jsp/upload/file/20220913/1663033368474082827.pdf>

静止状态和运动状态有不同的运动模型来进行位姿预测，使用IMU原始数据来构建判断函数：

- 静止：零速度观测更新和零航向角速率修正（静止时默认航向不变）
- 运动：前向速度约束

可以参考的点：零航向角速率修正

4、Zero-Velocity Detection—An Algorithm Evaluation

<https://ieeexplore.ieee.org/document/5523938>

三种检测方法，同2



Here, $T(z_n^a, z_n^\omega)$ are the test statistics of the detector and γ , the detection threshold. The test statistics for the four detectors in the test are as follows [7].

The Stance Hypothesis Optimal Detector (SHOE)

$$T(z_n^a, z_n^\omega) = \frac{1}{W} \sum_{k=n}^{n+W-1} \frac{1}{\sigma_a^2} \|\mathbf{y}_k^a - g \frac{\bar{\mathbf{y}}_n^a}{\|\bar{\mathbf{y}}_n^a\|}\|^2 + \frac{1}{\sigma_\omega^2} \|\mathbf{y}_k^\omega\|^2. \quad (2)$$

[▶ View Source](#) ⓘ

The Acceleration Moving Variance Detector (MV)

$$T(z_n^a, z_n^\omega) = \frac{1}{\sigma_a^2 W} \sum_{k=n}^{n+W-1} \|\mathbf{y}_k^a - \bar{\mathbf{y}}_n^a\|^2 \quad (3)$$

[▶ View Source](#) ⓘ

The Acceleration Magnitude Detector (MAG)

$$T(z_n^a, z_n^\omega) = \frac{1}{\sigma_a^2 W} \sum_{k=n}^{n+W-1} (\|\mathbf{y}_k^a\| - g)^2. \quad (4)$$

[▶ View Source](#) ⓘ

The Angular Rate Energy Detector (ARE)

$$T(z_n^a, z_n^\omega) = \frac{1}{\sigma_\omega^2 W} \sum_{k=n}^{n+W-1} \|\mathbf{y}_k^\omega\|^2. \quad (5)$$

三、总结

主要分为零速检测和零速更新两个步骤

- 检测方面：基本还是传统的统计学方法来检测，针对加速度计和陀螺仪的原始数据进行分析，在其上会针对仪器的偏置和随机游走噪声进行去噪操作。如果有底盘这样的直接的速度监测就可以大大方便零速检测。
- 更新方面：将000作为速度观测输入到滤波器中，进行更新；还有零角度更新。可能会有一些误差协方差矩阵的变化。