

提高 IMU 性能的几种方法



微机电系统（MEMS）陀螺仪和加速度计比以往任何时候都更小、更轻、更强大。目前最先进的芯片比十年前有了飞跃性的进步，使得集成了这些传感器的低成本 MEMS 惯性测量单元（IMU）可以提供与战术级系统相媲美的性能，而这些系统以前只能在昂贵的高端应用中找到。

尽管性能有了大幅提升，但 MEMS 惯性测量单元仍有一些独特的特性需要用户注意。通过在系统中考虑这些特性并遵循良好的 IMU 数据实践，可以确保您的应用获得最佳性能。

以下是一些提高惯性传感器性能的小窍门：

PART.01

◆使 MEMS IMU 免受振动影响◆

将 MEMS 与不必要的振动隔离开来对于获得精确的测量结果至关重要。用户通常对系统的整体运动（如车辆轨迹）感兴趣，而对测量振动不感兴趣。振动

有多种来源：系统组件（如电机）、传感器所连接结构因地形运动而产生的共振，甚至是附近人员行走产生的振动。通过深思熟虑地将 IMU 安装在隔振平台上，可以最大限度地减少这些影响，提高传感器性能。振动隔离不仅对数据准确性非常重要，还能提高系统的使用寿命。即使是最坚固耐用的 IMU 也包含敏感元件，暴露在高冲击事件中可能会损坏这些元件。

MEMS 传感器在振动时也会产生噪声成分，称为振动整流误差（Vibration Rectification）。也就是说，振荡振动信号会在传感器输出中整流为不理想的偏移，出现虚假的直流分量，从而对测量精度产生不利影响。通过最大限度地减少 IMU 上的振动，就能最大限度地减少误差并提高整体系统性能。

将 MEMS 与不必要的振动隔离开来对于获得精确的测量结果至关重要。用户通常对系统的整体运动（如车辆轨迹）感兴趣，而对测量振动不感兴趣。振动有多种来源：系统组件（如电机）、传感器所连接结构因地形运动而产生的共振，甚至是附近人员行走产生的振动。通过深思熟虑地将 IMU 安装在隔振平台上，可以最大限度地减少这些影响，提高传感器性能。振动隔离不仅对数据准确性非常重要，还能提高系统的使用寿命。即使是最坚固耐用的 IMU 也包含敏感元件，暴露在高冲击事件中可能会损坏这些元件。

MEMS 传感器在振动时也会产生噪声成分，称为振动整流误差（Vibration Rectification）。也就是说，振荡振动信号会在传感器输出中整流为不理想的偏移，出现虚假的直流分量，从而对测量精度产生不利影响。通过最大限度地减少 IMU 上的振动，就能最大限度地减少误差并提高整体系统性能。

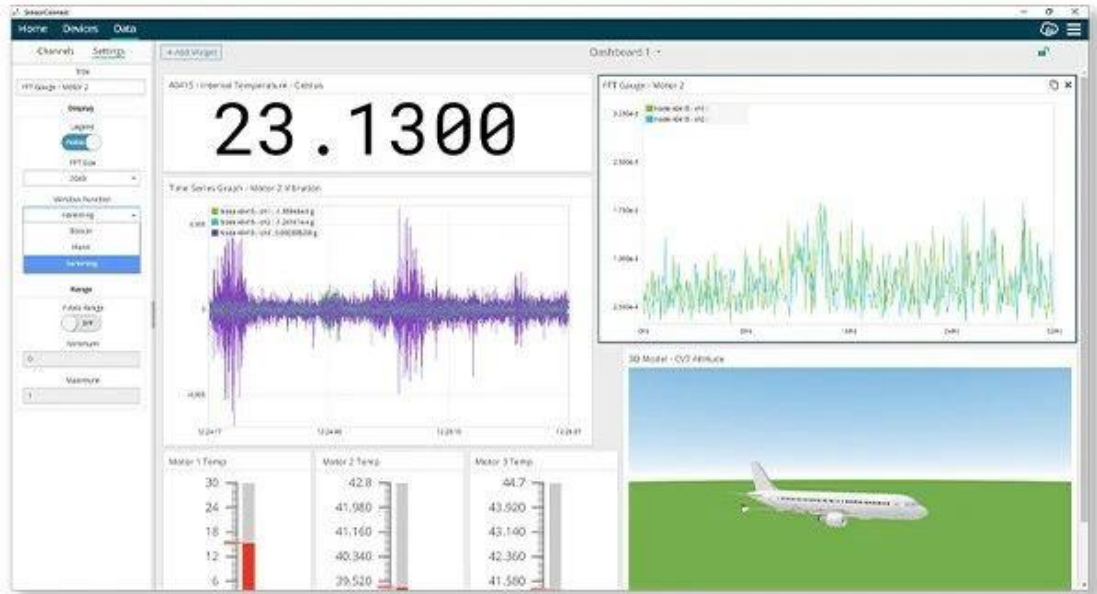
PART.02

◆定期捕捉陀螺偏差◆

所有陀螺仪都会受到各种效应的影响，从而导致其开启偏置或在没有输入旋转时输出非零偏移的变化。这种误差在 MEMS 传感器中更为明显，这也是 MEMS 传感器目前不能用于 "陀螺罗盘"（gyrocompass 利用摆式陀螺的特性寻找和指示真北向的仪表）的原因。

如果您使用的是姿态和航向参考系统 (AHRS) 或惯性导航系统 (INS)，这些设备中的滤波算法会实时估算这一偏差，但滤波器需要一定时间（有时需要几分

钟)才能确定准确的偏差值。如果您使用的是基础的 IMU 来读取角速率测量值, 它将无法估算出这一偏差。在这两种情况下, 最好定期捕捉这一偏差, 因为这样做可以优化设备的性能。



捕捉偏差要求设备在捕捉期间保持静止。在此过程中, 任何振动源(如汽车发动机)也必须关闭。在 Parker 的 MicroStrain 设备中, 您可以使用 SensorConnect 应用程序或 MIP SDK 启动捕获。几秒钟后, 设备将估算出偏差并将其存储在内部存储器中。定期执行此操作是消除应用中陀螺仪老化效应的最佳方法。捕捉这一偏差, 因为这样做可以优化设备的性能。

进行积分时, 使用积分的 $\Delta\theta$ 和 ΔV , 而不是原始角速率和加速度

当今的 MEMS IMU 数据传输率很高, 能达到 1 kHz 或更高! 如果您正在设计一个需要对角速率和加速度信息进行数学积分的系统, 例如导航滤波器, 那么直接使用角速率和加速度输出可能很有吸引力。这些值的单位大家都很熟悉, 如果查看标准物理方程, 就会发现它们被直接列举出来(例如 $F = ma$)。但是, IMU 通常会输出一组更有用的不同量: 角速率的时间积分(称为 $\Delta\theta$)和加速度的时间积分(称为 ΔV)。

使用这些数据而不是瞬时数据的好处如下:

1、这些积分包含了设备在实际运动中旋转和加速时所受到的复杂的锥形和摇橈（coning and sculling）效应。考虑到这些效应，即使在最大速率下， $\Delta\theta$ 和 ΔV 值也比典型的瞬时值积分更为精确。

2、由于 IMU 以最快的速率为您进行积分，因此您可以以更低的速率请求这些值，从而节省系统宝贵的 CPU 循环周期。例如，如果设备以 1,000 Hz 的频率报告数据，但您的滤波器只需要 50 Hz 频率的信息，那么通过使用这些积分，您可以节省 20 倍的计算量，同时提高精度。精度的提高来自于 IMU 以最大速率捕捉动态，同时考虑到锥形和摇橈（coning and sculling）效应。

PART.03

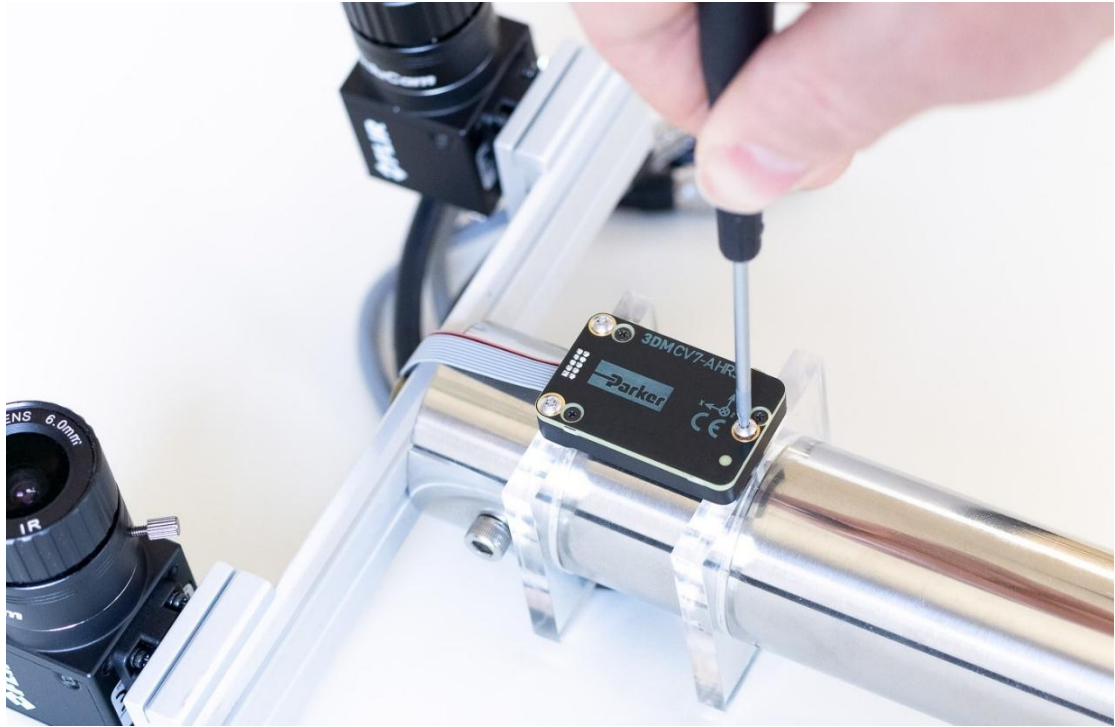
◆注意时间同步◆

在您的 IMU 使用过程的某个阶段，您可能会了解到时间就是一切！准确的时间戳和时间对准的重要性往往在产品开发后期常被忽视。如果您没有考虑到这一点，而您的系统又没有按照预期运行，那么您可能现在才发现问题所在。

时间同步不准确会导致惯性测量出现明显的比例因子误差。例如，当系统时钟与 IMU 时钟不同步时，时钟之间的漂移会造成微小的误差累积，其效果就像 IMU 的角速率和加速度输出乘以一个错误的比例因子。随着系统动态性能的提高，这种误差也会随之增大。

应用要求越高，时间调整就越重要。

有两种方法可以缓解这种情况：使用精确基准（硬件脉冲或其他）对系统中的所有时钟进行校准，并通过算法补偿任何不对齐的事件；或者使用能够生成事件数据的 IMU。第一种方法很常见，但在有许多组件的系统中实施起来往往相当复杂。MicroStrain 在 3DM-CV7-AHRS 中增加了第二种方法，以帮助我们的客户满足严格的定时需求。



有了事件驱动的 IMU，硬件输入脉冲可以生成软件信息（反之亦然），从而使以前难以处理的事件得到很好的处理。例如，在视觉里程测量中，了解从一个相机帧到下一个相机帧的集成 IMU 输出非常重要。如果没有事件驱动的 IMU，这可能会变得相当棘手，但有了事件驱动的 IMU，就会变得非常简单：将摄像头的快门输出引脚连接到 IMU，并对其进行配置，以便在接收到脉冲时提供 $\Delta\theta$ 和 ΔV 输出。这样就能获得与相机生成的图像一致的精确积分，从而大大简化了该领域的时间校准问题。反过来，事件驱动式 IMU 可以在数据量有效时产生脉冲，用于驱动硬件（如摄像头）上的捕捉事件，并保持同样严格的时间对齐。

通过遵循这些简单的提示，您可以提高 IMU 性能，让您的投资发挥最大效益。