

### 0.0.1 前言

以六轴姿态传感器为例，简析平衡车俯仰角姿态解算

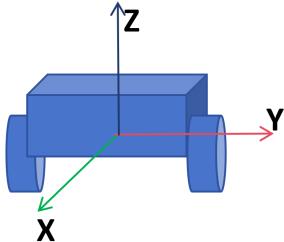


图 1: 平衡车三轴示意图

六轴分别为：加速度xyz轴，角速度xyz轴（也称陀螺仪xyz轴）

加速度三轴分量下文简称 $a_x, a_y, a_z$ ，角速度三轴分量下文简称 $g_x, g_y, g_z$

### 0.0.2 加速度轴

直立状态下， $a_x, a_y$ 近似为0， $a_z$ 为1g重力加速度，当平衡车前倾时， $a_z$ 逐渐减小， $a_x$ 逐渐增大，二者的矢量和为重力方向

设平衡车俯仰角为 $\alpha$ ，则

$$\tan \alpha = \frac{a_x}{a_z}, \alpha = \arctan \frac{a_x}{a_z}$$

这样算出来的俯仰角与平衡车启动时的初始姿态无关，且长时间运行仍保持稳定不变，仅有轻微抖动，但只适用于平衡车静止的情况。当平衡车开始匀加速运动时，运动加速度会与重力加速度叠加，按此方法计算得到的俯仰角不再垂直。当路面状况不良，车体颠簸或抖动时，也会产生较大的加速度突变，进一步干扰俯仰角的计算。

### 0.0.3 角速度轴

角速度计的 $g_x, g_y, g_z$ 输出当前时刻平衡车绕x,y,z轴旋转的角速度值。要得到平衡车的俯仰角度值（y轴的角度值），只需计算 $g_y$ 对时间t的积分I，即 $\alpha = \sum g_y \Delta T$ （ $\Delta T$ 表示采样间隔）。这么做会产生一些问题：传感器并非百分百精确，即使平衡车静止，传感器也可能一直输出角速度值（称为零漂），运行时间一长，这些误差产生的角速度值就会不断累积，导致算出来

的俯仰角度值越来越离谱。此外，传感器通电时，若平衡车不处于直立状态，那么俯仰角为0的位置就是通电时的位置，而非直立位置。

#### 0.0.4 互补滤波

为了解决上述问题，我们需要综合使用加速度轴和角速度轴的数据先上公式（注：不需要函数传参，直接一条式子就能实现）：

$$\alpha_t = k \arctan \frac{a_x}{a_z} + (1 - k)(\alpha_{t-1} + g_y \Delta T)$$

简单来讲，俯仰角为加速度轴和角速度轴各自测量得到的俯仰角的加权平均值，且以角速度轴测得的俯仰角为主，k值约为0.001 ( $g_y$ 零漂在0.002以内)。

我们可以将公式变形：

$$\alpha_t = \alpha_{t-1} + g_y \Delta T - k(\arctan \frac{a_x}{a_z} - \alpha_{t-1} + g_y \Delta T)$$

用自然语言陈述会更容易理解：准确的俯仰角等于角速度轴俯仰角减去一个矫正值，这个矫正值等于加速度轴俯仰角与角速度轴俯仰角之差乘系数k。

显然这个矫正值会随时间积累把角速度轴俯仰角“拉”向加速度轴俯仰角，由于加速度俯仰角能计算出绝对位置且不会偏移，这个拉力补偿刚好能够解决纯角速度轴计算的问题，同时也避免了纯加速度轴的带来的加速偏差和抖动问题，这就是姿态解算中互补滤波算法的实用之处。

当然，该算法并非尽善尽美：当角速度轴的零漂始终存在且较大时，补偿值提供的拉力与零漂相持平，此时会产生静态误差；积分产生作用需要时间积累，一开始的角度仍存在较大偏差，一段时间后才会被拉回正常值；当车体剧烈震荡时，加速度轴的抖动仍会作用在滤波后的结果上，无法完全避免。

因此可以通过叠加PID算法、准确调校传感器减小零漂、使用其他滤波算法等方式实现更加灵敏准确的姿态解算。

### 0.0.5 使用指南

套公式即可

$$\alpha_t = k \arctan \frac{a_x}{a_z} + (1 - k)(\alpha_{t-1} + g_y \Delta T)$$

$\alpha_t$ 为最终解算得到的俯仰角

k为手动调整的超参数，大约0.001

$a_x, a_z$ 为加速度计的x轴，z轴输出值

$g_y$ 为角速度计的y轴输出值

$\Delta T$ 为采样间隔

$\alpha_{t-1}$ 为上一离散时刻的俯仰角