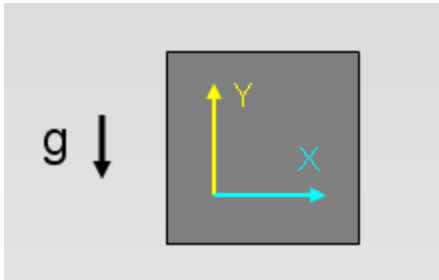


互补滤波器

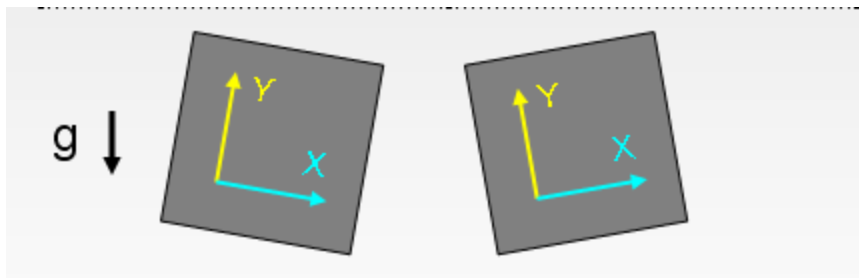
定义：是集成加速度计和陀螺测量平衡的一个简单的解决办法的平台。

传感器：



两轴加速度计：

1. 测量加速度实际上是推动每个单元的块。
2. 可以用来测量重力加速度，上图中 x 轴加速度为 $0g$, y 轴加速度为 $1g$ 。
3. 可以用来测量斜角。



上图中 x 轴方向上有重力的作用，左边的图中 x 有正向的加速度，右边的图中 x 有负向的加速度。这就使 y 轴方向的加速度减少。

由 y 轴得到的信息是否还有用？可能不是：

- a. x 轴方向上改变一个很小的角度它的灵敏度远远高于 y 轴。
- b. 它不依赖于方向倾斜

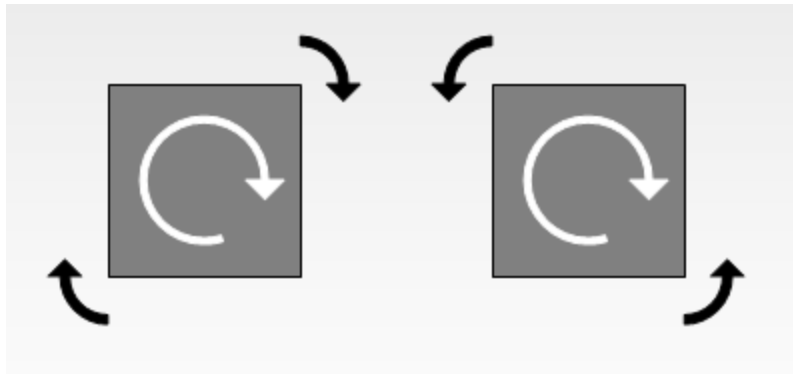
陀螺仪：



陀螺仪：

1. 测量角速度（旋转的角度）。
2. 当静止时读“0”。

3. 读取旋转时的方向值。



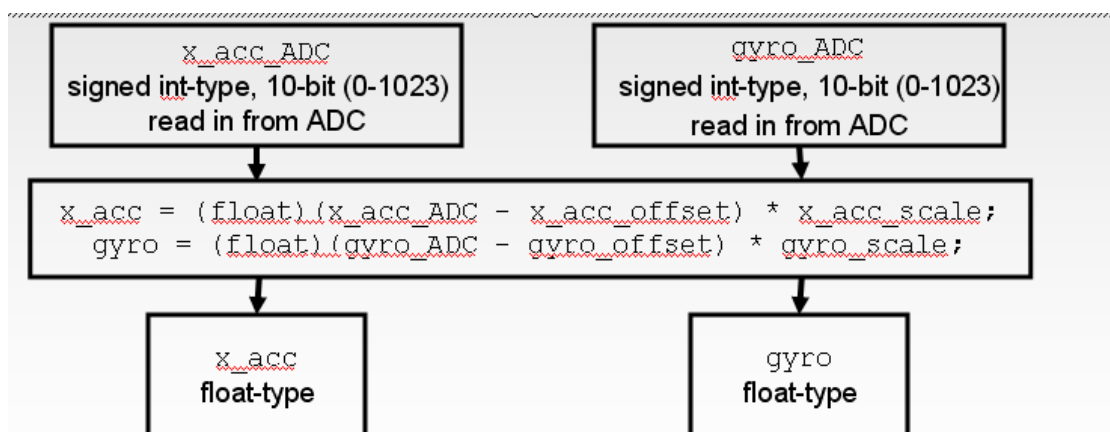
左图为陀螺仪正转，右图为陀螺仪反转。

读传感器的值

第一步是要看每个传感器的模拟输入(通过类比数模转换器,ADC),并让他们成为有用的单位。这需要调整偏移和数值范围。

偏移是很容易找到的: 传感器水平和/或静止的时候读传感器的整型值。如果它的值颤动,则选择一个平均值。偏移量应该是一个整型变量(或常量)。

取值范围取决于传感器。它是由多因素预期的单位得来。这可以从传感器“数据手册”或实验得到。它有时被称为传感器常数、增益、或灵敏度。取值应该是一个浮点型的变量(或常量)。



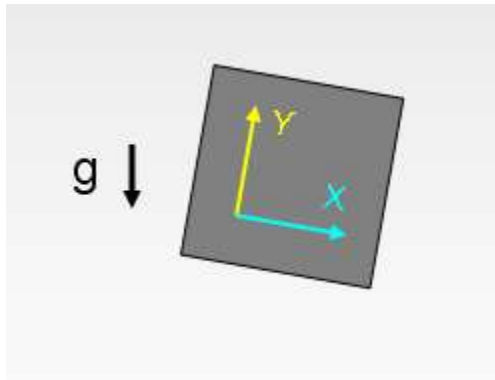
即使没有 ADC 的结果也可以抵消负面的偏移,它们将会被去掉,所以不会使变量发生改变。单位可以是度或弧度(每秒陀螺仪),它们必须是一致的。

更多的关于加速度计

如果必须要有一个 360° 角旋转的估量,有 y 轴方向上的测量会很有用,但不是一定必须要。有了它,我们可以用三角法找到两个轴的反正切的数值和计算两个轴的角度。没有它,我们还可以用正弦或余弦和 x 轴单独算出角度,因为我们知道重力的大小。但是三角法消耗处理器时间而且是非线性,所以,它可以避免就应该尽量避免。

为平衡平台,最重要的是确保角度靠近垂直。如果平台倾斜从两个方向超过 30°,那可能就

没有更多的控制器可以做全速行驶去纠正它，在这种情形下,我们可以用小角度近似和 x 轴节约处理器时间和简化编码复杂度。



平台有一个倾斜的角度 θ ，但是是静止的(没有水平加速度)

X 轴方向上: $(1g) \times \sin(\theta)$

小角度近似: $\sin(\theta) \approx \theta$ ，按幅度来算的话 $\theta = \pm\pi/6 = \pm 30^\circ$ 。

因此编码的二进制码如下:

$x_acc = (\text{float})(x_acc_ADC - x_acc_offset) * x_acc_scale$

如果 x_acc_scale 角度将取值输出到 $1[g]$ ， x 轴是径直指向下， x_acc 将按弧度来算。

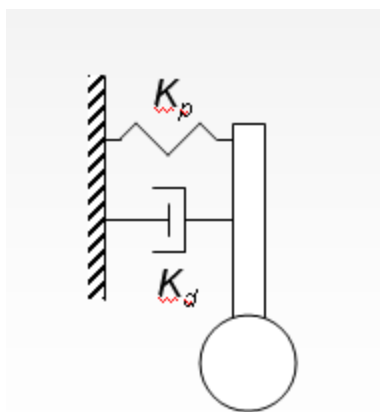
为了获得角度， x_acc_scale 应该在 $180/\pi$ 之间取值。

所需要的测量

为了控制平台,最好是知道基础平台角度和角速度。这可能是一个角度 PD(比例/微分)控制算法的基础,该算法已经证实了该系统类型可以很好地工作。像这样的:

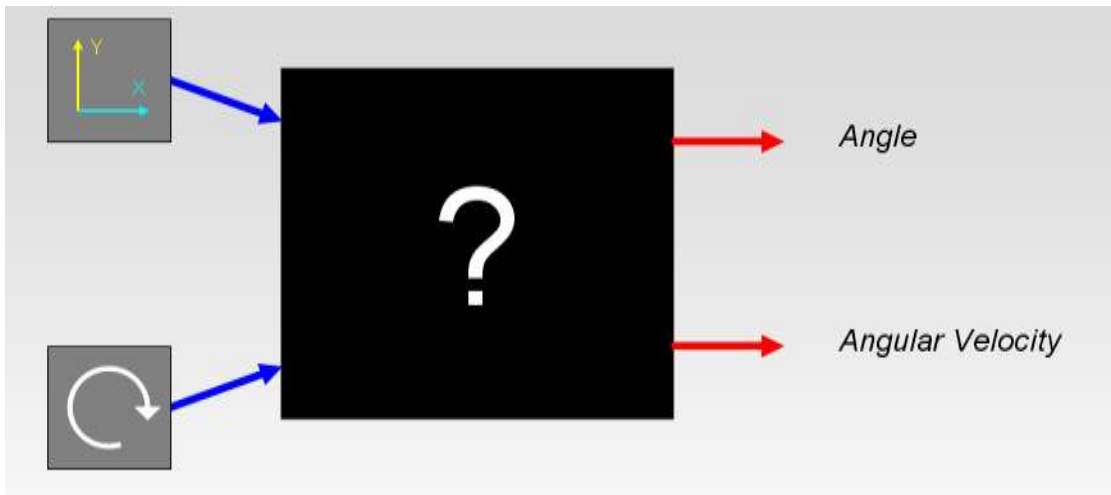
$\text{电机输出} = K_p \times \text{角度} + K_d \times \text{角速度}$

电机真正的输出又是另一回事。但常规的想法是,这种控制建立可调谐 K_d 和 K_p 使它达到稳定和平稳的性能。这是不太可能超越的水平点除了 **proportional-only** 控制器之外。(如果角度是正向的,但是角速度是负向的,即它反馈回来的是水平的,电机就会提前减慢。)

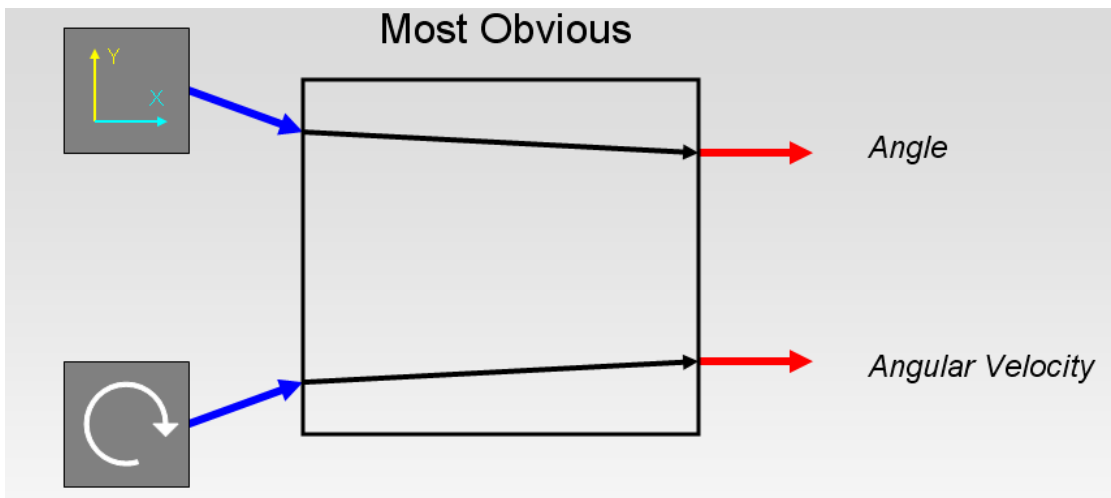


事实上,这种 PD 控制方案就像对智能车添加一个可调弹簧和阻尼器。

映射传感器



这是最好的方法吗？？



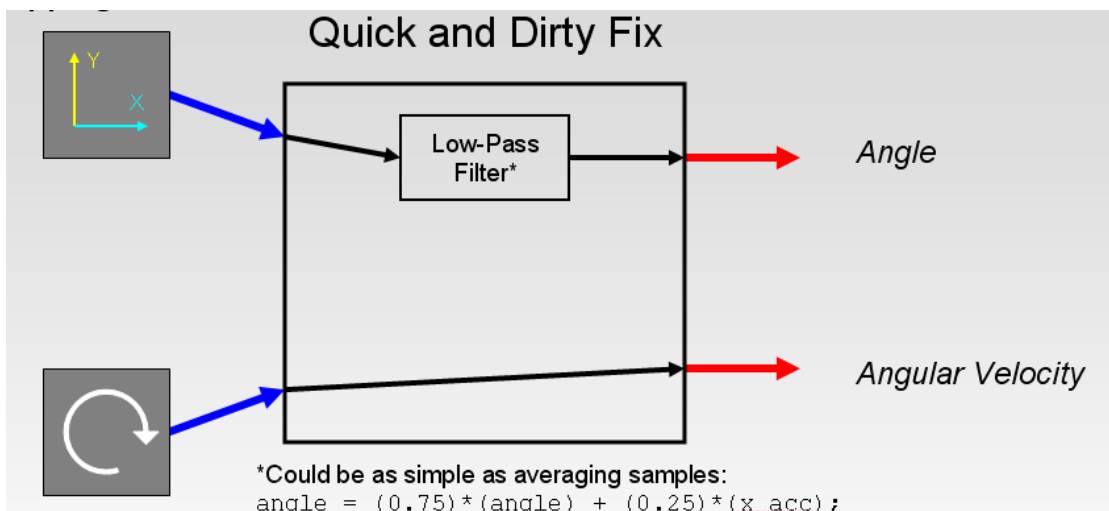
赞成的观点：1.直观。

2.容易编码

3. 陀螺给快速、准确的角速度测量

反对的观点：1.噪声。

2. x 轴要读水平方向任何角度改变的加速度。(想象一下平台是水平,但平台电机使它向前加速,加速度计也无法和引力鉴别开。)



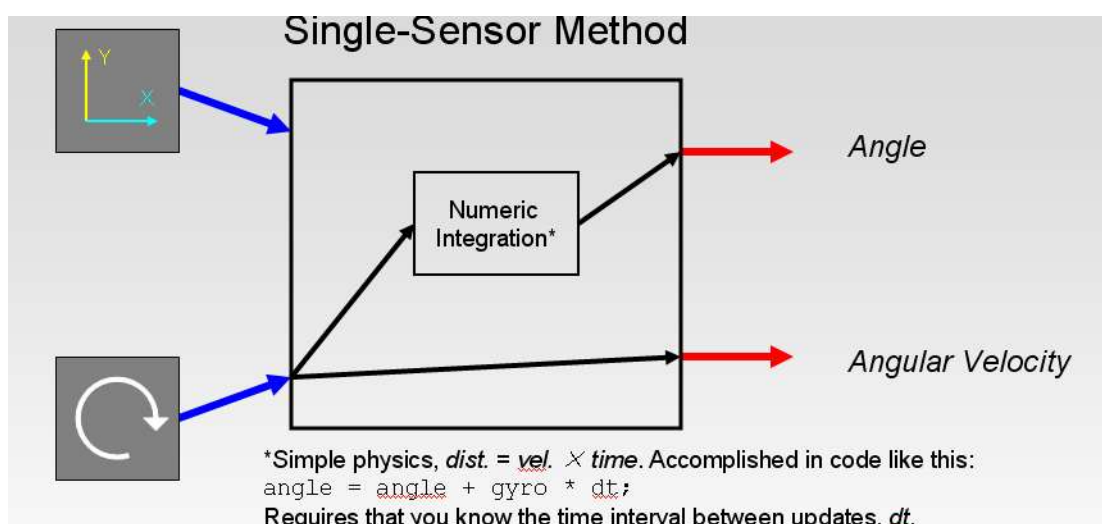
0.75 和 0.25 是参考数值。这些可以调谐滤波到满意的变化时间常数。

赞成的观点:

1. 依然很直观。
2. 依然很容易编码。
3. 过滤掉短周期水平加速度, 唯一可以通过的是长周期的加速度(重力)。

反对的观点:

1. 测角由于取平均值而滞后, 过滤器越多就越能滞后, 滞后一般会影响稳定性。

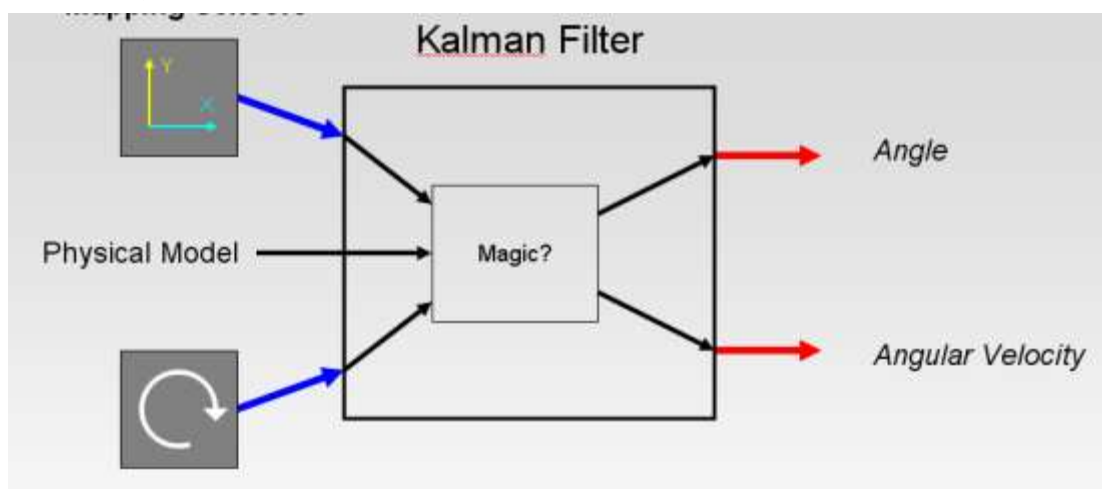


赞成的观点:

1. 只有一个传感器来读。
2. 快速, 滞后不是问题
3. 不受制于水平加速度。
4. 容易编码。

反对的观点:

1. 可怕的陀螺漂移, 如果陀螺没有准确的读出平衡时的零点(而且它不会), 小速度将持续增加角度, 直到它远离实际的角度。

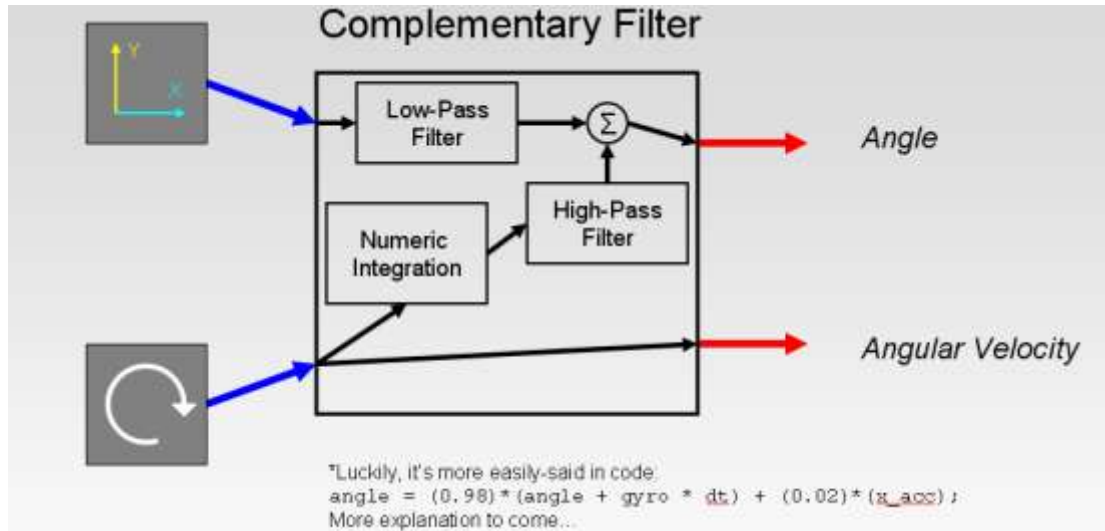


赞成的观点:

1. 想象一下理论上完美的滤波器可以滤去杂波、准确的估计。
2. 考虑到系统的已知的物理性质(质量、惯性等)。

反对的观点:

1. 我不知道它是如何工作的, 它的算法很复杂的, 需要了解一些线性代数的知识。不同情况有不同形式。
2. 可能很难编码。
3. 会消耗处理器的时间。



赞成的观点:

1. 可以帮助解决噪声、漂移、水平加速度的依赖性。
2. 快速估计角度, 比只有低通滤波器时的滞后明显减弱。
3. 处理器不是很密集。

反对的观点:

1. 和低滤波相比需要了解更多的理论知识, 但没有像卡尔曼滤波器那样。

更多关于数字滤波器

数字滤波器有很多的原理, 其中大部分我不懂, 但是没有理论符号的基本概念很容易掌握 (z-domain 转移函数, 如果你想研究它), 这里有一些定义:

整合: 这很简单, 想像一个汽车以一个已知的速度移动, 你的程序是一只钟每隔几毫秒滴答响一次, 为了在每一个滴答声响得到新的位置, 你应把旧的位置加上改变的位置。这个位置的改变只是自从上次滴答响, 这辆小汽车的速度乘以时间, 你由单片机定时器或其他已知的定时器得到数值。在代码:

新位置=旧的位置+速度*变化的时间。

对于平衡的平台来说: 角度=原来的角度+陀螺仪的值*变化的时间。

低通滤波器: 低通滤波的目的是只让长期信号的变化量通过, 过滤掉短期的波动。一种方法是力的变化建立在随后的时间一点一点地通过程序循环。在代码中:

$$\text{angle} = (0.98) * \text{angle} + (0.02) * x_acc$$

例如, 开始是零的角度, 加速计突然跳跃到 10° , 角度估计的改变像随后的迭代:

Iter.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
θ	0.20°	0.40°	0.59°	0.78°	0.96°	1.14°	1.32°	1.49°	1.66°	1.83°

如果传感器保持在 10° , 角度估计将会上升直至在它的水平这个值。所花费的时间, 达到充分数值既取决于过滤常数(例如 0.98 和 0.02)也取决于采样率的回路(dt)。

高通滤波器:理论和低通滤波器相比这有点难以解释,但作用上它恰恰和低通滤波器相反:它允许短周期信号通过,过滤信号而达到稳定,这能用来抵消漂移(过滤掉直流成分)。

采样周期:每个程序之间经过循环所需时间的长短。如果采样率是 100 赫兹,采样周期为 0.01 秒。

时间常数:滤波器的时间常数表现为一个相对持续的信号,对于一个低通滤波器,分析了信号的时间常数远比通过信号改变而短于过滤的时间常数。对于高通滤波器那就是相反的,这个时间常数, τ , 是一个低通滤波器。

$$y = (a) \cdot (y) + (1-a) \cdot (x);$$

所以如果你知道所需的时间常数和采样率,你可以选择滤波器系数。

补充:这表示滤波器的两个部分总是合成一部分,输出是一种精度高的值、单位的线性估计这样做是有意义的。读得差不多了,我感觉这滤波器不是准确的互补,但是当时间常数远比采样率大的时候是一个很好的近似(对任何数字控制来说是一个必要条件)。

仔细看看角互补滤波器

```
angle = (0.98) * (angle + gyro*dt) + (0.02) * (x_acc);
```

Integration.

Low-pass portion acting on the accelerometer.

Something resembling a high-pass filter on the integrated gyro angle estimate. It will have approximately the same time constant as the low-pass filter.

如果这个过滤器运行一个循环中执行 100 次/秒,时间常数对低通、高通滤波器是:

$$\tau = \frac{a \cdot dt}{1 - a} = \frac{0.98 \cdot 0.01 \text{sec}}{0.02} = 0.49 \text{sec}$$

在这个定义中是徘徊在信任陀螺仪和加速度计的边界,如果这个时间短于半秒钟,陀螺仪整合和滤除水平加速度噪声优先。如果时间期长于半秒钟,平均加速计的质量比陀螺仪更重,可能这一点有漂流。

大多数情况下,设计滤波器通常用其他的方式,首先,选择一个时间常数,然后用它来计算滤波器系数。挑选时间常数在这个地方你可以调整响应。如果你的陀螺仪漂移平均每秒 2°(可能是一个最坏的估计),你可能想要一个小于一秒的时间常数,让你可以保证在任一个方向上从未漂移超过两度。但时间常数越低,加速度计水平噪声将允许通过。像许多其他控制的情况下,有一个权衡,唯一的办法就是去试验。

记住,选择正确的采样率系数是非常重要的,如果你改变你的程序,增加更多的浮点运算和

是导致你的采样率下降的两个因素。你的时间常数会变大有两个因素除非你重新计算你的过滤条件。

举个例子,考虑使用 26.2 毫秒的收音机更新你的控制回路(通常是一个缓慢的思想,但它是工作的)。如果你想要一个 0.75 秒的时间常数、过滤器术语应该是这样的:

$$a = \frac{\tau}{\tau + dt} = \frac{0.75\text{sec}}{0.75\text{sec} + 0.0262\text{sec}} = 0.966$$

So, angle = (0.966)*(angle + gyro*0.0262) + (0.034)*(x_acc);
 The second filter coefficient, 0.034, is just (1 - 0.966).

滤波器上陀螺仪的偏压它也是值得去思考。这个过滤器陀螺肯定不会造成漂移的问题,但它仍然可以影响角的计算方法。举例来说,我们误选错了偏移和我们的速率陀螺静止时报告 5°/秒的旋转,它算术上可以证明(这里我不会)角度估计等于偏移速度乘以时间常数。因此,如果我们有一个 0.75 秒时间常数,这将给一个常数 3.75° 角的偏移量。

另外,这可能是一个坏的情形(陀螺仪不应该那么远偏移),长角度偏移和一个漂泊角度偏移量相比较是很容易处理的。举例说来,你可以在相反的方向旋转加速度计 3.75° 来调节它。

对某些实验结果的足够理论

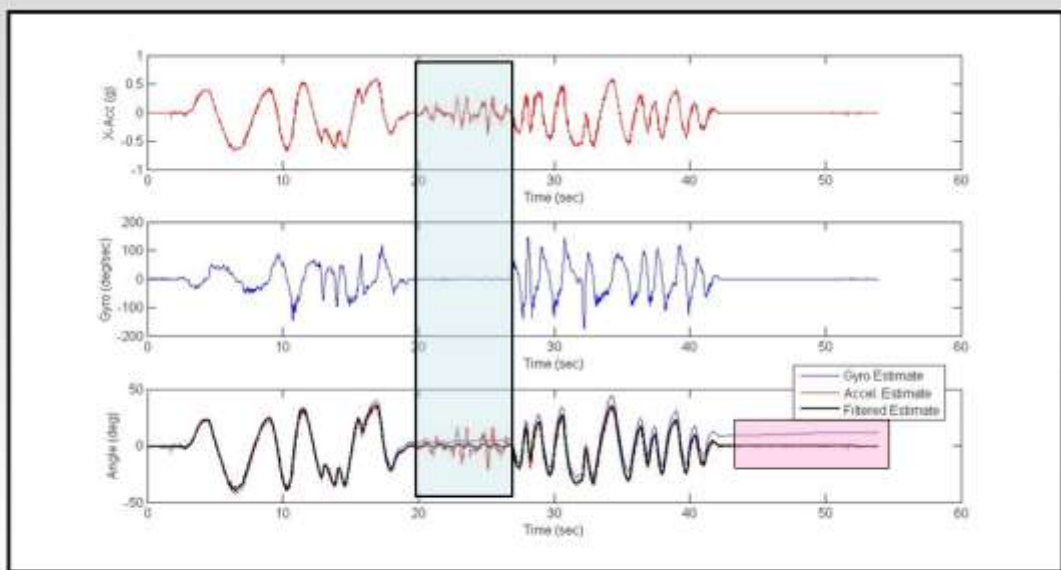
控制平台:自定义 PIC-based 无线控制器,十位精度的 ad。

数据采集:一个串行 USB 收音机,做在 Visual Basic 上。

陀螺:ADXRS401、模拟装置 iMEMS /秒 75° 角速率传感器。

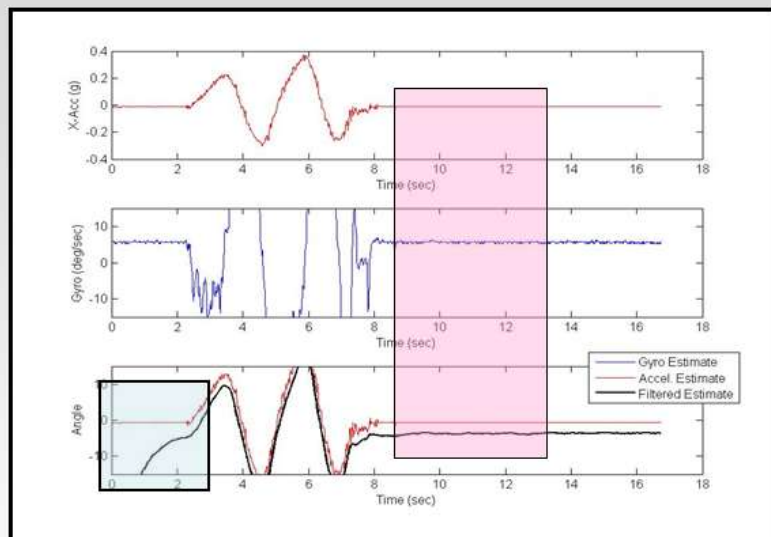
加速度:ADXL203,模拟设备两轴 iMEMS 加速度计。





Sample Rate: 79 Hz
Filter Coefficients: 0.98 and 0.02 } Time Constant: 0.62 sec

注意过滤处理两个问题:水平加速度干扰而不旋转(强调蓝色)和陀螺漂移(突出红色)。



Sample Rate: 84 Hz
Filter Coefficients: 0.98 and 0.02 } Time Constant: 0.58 sec

这里有两件事情需要注意:第一,不可预见的启动问题(蓝色凸显),如果你不适当初始化你的变量这是什么都可能发生的,长时间常数是前几秒钟可以不确定。这是很容易地确保所有重要的变量将被初始化为 0,或者任何一个“安全”的数值。其次,注意到严重的陀螺偏移量(红色突出),大约 6°/秒,以及如何创造一个恒角度在偏移角度估计中。角度偏移约等于陀螺偏移乘以时间常数)这是一个很好的坏的情形的例子

总结

我认为这个过滤器,很适合 D.I.Y.平衡解决方案,原因如下:

1. 这似乎工作,角度估计是准确,响应快的,但是对横向加速度和陀螺仪漂移是不敏感的。

2.微处理器是安全的,它需要少量的浮点操作,但总之你使用的这些应在你的控制代码中。100 赫兹或以上它可以很容易的控制回路。

2. 和备选的方案例如卡尔曼滤波器相比这更直观,更容易解释理论。这可能没有任何解释为什么它运转的要好,但在教育项目,如第一,它就是一个优势。

之前我说 100%的可能性,这是一个完美的解决办法来平衡平台,我想看看一些硬件测试...也许 D.I.Y. 赛格威吗?

另外,我也不确定这当中有多少适用于水平定位。我怀疑不是太多:没有地心引力,有一个小的加速度计就可以给一个绝对的参考。当然,你能将它两次求积分估计目标位置,但是这将漂移很多。虽然,过滤技术可以用一系列不同的传感器实行,也许一个加速度计及一个编码器集合——但想定的情况根本不模拟。(编码器不存在绝对定位装置...如果轮子失去牵引力一样会漂移,一个好的对水平方向定位的模拟量将使用 GPS 做长期估计和惯性传感器进行短期整合。)