

还原道路Pitch研究

Pitch（俯仰角）作为欧拉角之一，对于车辆的朝向的确定有着重要的作用。当我们想对车辆的控制系统进行相关分析时，了解车辆行驶路面的坡度(可视为Pitch在某一时刻的瞬时切线)就显得尤为重要。

我们采用IMU对车辆行驶中的pitch值进行观测，观测频率为100Hz。但由于存在着如路面不平，车身加速减速带来的抖动等影响，我们对于pitch的观测存在这或多或少的偏移(bias)和噪声(noise)。

我们希望通过该研究，

- 对pitch观测中存在的偏移和噪声来源有一个较为初步的认识
- 用一个合理的数学模型对该问题进行简单地建模
- 通过所得的模型，尝试滤除观测值(observation)中的偏移与噪声，尽量还原真实的路面坡度变化情况。

由于公司目前测试车辆的场所中，只有厦门仙岳公园在整个路段有较大坡度变化，因此我的研究分析主要也是基于仙岳公园的数据。

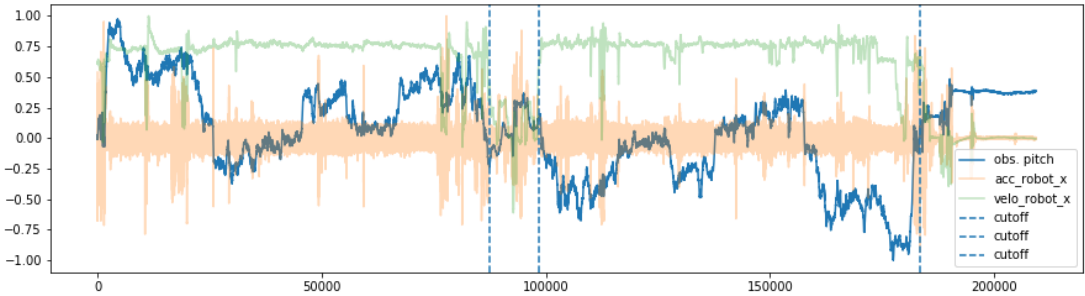
一些假设

基于对数据的探索和一些物理常识的判断，我提出了一些假设：

- 观测的噪声来源有二：
 1. 观测中存在的随机误差，即一些不可控因素所导致的观测值围绕真实值的上下波动，通常服从零均值的高斯分布(Gaussian Distribution)。
 2. 观测中由于存在不平的路面(bumpers)，以致车身颤抖，进而使得观测值围绕真实值波动。这种波动的模式与路面的bumper程度密切相关。对仙岳公园的数据进行探索后，我认为这种由于相对较小的bumpers导致的噪声也应当服从某一零均值的高斯分布，且起离散程度(dispersion)与路面的平整成都密切相关。
- 观测的偏移来源：
 - 我个人认为当bumpers的程度过大，或者某一位置的坡度存在着突变的时候，车身的颤抖就加剧成为车辆的点头等更大幅度的动作。量变导致质变，进而原本的噪声也变成了有明显模式的偏移。通常来讲，这种偏移与车辆的急速加速/减速有较为强的相关关系，即我们可能可以通过对加速度的研究来刻画这种偏移。

数据探索

通过一些基本的数据探索，我们发现，pitch的观测存在着一个较大的偏差（可能由于测量机器事先标定不准），我通过一定的方法估计出了这种偏差并去除。此外，仙岳公园的行驶轨迹具有明显的对称性，这对于我们检验pitch还原效果也有一定帮助（同意位置上坡下坡的pitch值应当近似呈相反数）。由于最初我对数据并不很熟悉，进行过很多EDA，但下图能够基本说明我们需要理解的一些关键信息。



该图刻画了车辆在某一天完成仙岳公园的一个round trip中的各个量的值（max abs normalized，即所有数据的最大绝对值为1），横轴为出发后的每一个timestamp（间隔为0.01s）。

图中主要画出了pitch的观测值，acceleration和velocity（行进x方向），同时用虚线定位出了2段比较对称的道路，非对称部分主要为调头或靠边停车等。

从图中我们能比较明显地感受到：

- 车辆加速度的变化会引起车辆速度的变化（which is for sure by newton's law）。
- 加速度的峰值会导致：1)pitch观测的波动变大；2)pitch观测的二阶相变（不连续突变）

进而我们希望用更加具体的模型来刻画这种关系。

模型明确

为了得到加速度和pitch波动的具体关系，我研究了各个加速度波动明显的地方，并通过多次车辆的行驶记录综合分析，发现pitch的偏移程度在绝大多数地方与加速度存在着某种关系，在较少的地方存在时间延迟的某种关系，在一些极少的地方呈反相关。综合考虑，我决定用一种简单的方式来刻画这种函数关系。回到我们的模型，pitch的观测由3部分组成：1）真实的坡度信息；2）bias；3）noise。由于我不会wiki打latex或者markdown，就从我的gitlab直接截图了

The intuition of the model comes from the fact that the observation of values like pitch, yaw and velocities are subject to bias and noise from many sources.

The model is given as follows:

$$pitch_t = f(x_t, y_t) + b(acc_t) + \sigma_t$$

where

- $f(x_t, y_t)$ is a function to characterized the true signal of pitch
- $b(acc_t)$ is a fuction of acceleration to capture the bias resulted from the jitters of the vehiele
- σ_t is modeled as Gaussian noise to capture the effects from the road bumpers, varying from time to time, since the levels of bumpers are different.

Bias

For this model, it mainly captures the bias resulting from the jitters of the vehiele. After close examination on the relationships of pitches and many other quantities available, I found the there is a significant pattern for pitch and acc_robot_x. Therefore, I tried methods to capture such relationship. It turned out to be desirable in some cases to model the bias of pitch obsevation as a fuction $bias_t = b(acc_t)$ of acc_robot_x (written as acc for simplicity).

$$bias_t = b(acc_t) = shrink(TH(MA(acc_t)))$$

where MA is a moving average filter, TH is a thresholding function which takes values (abs sense) below a specific threshold down to 0 and $shrink$ serves to shrink larger values (abs sense) more and smaller values less (which can be also viewed as a link fuction).

We can compute the actual value of the bias and reduce them from the original pitch values and get

$$pitch_{reducedbias} = pitch - bias$$

Noise

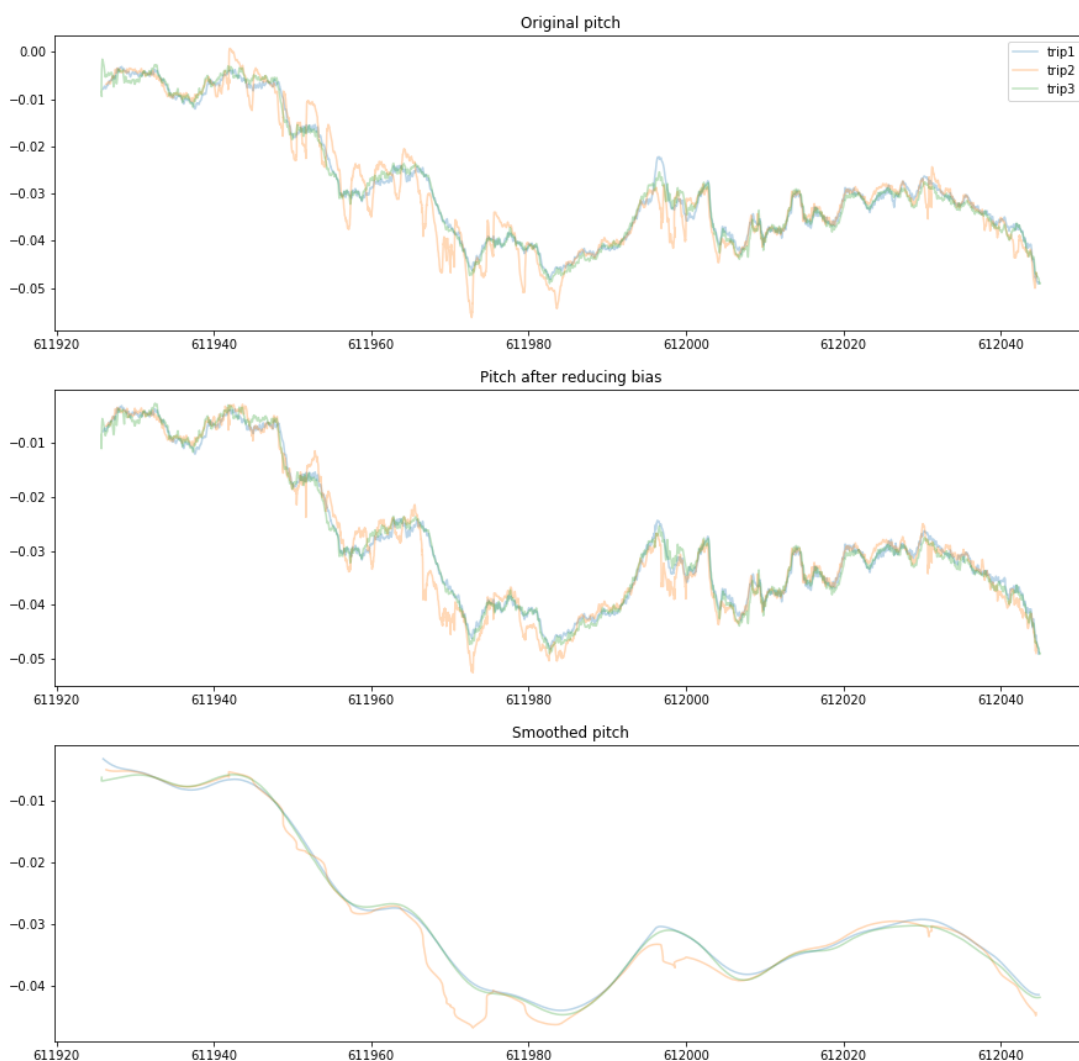
Then for the noise, we have the assumption that the effects of bumpers can be models as some time (location) specific gaussian noise for small bumpers can be generally views as being symmetric, and the influence from larger bumpers have already been captured in the bias part (larger bumpers will lead to significant jitters of the vehiele body.)

Then the noise can be erased by gaussian filters. Therefore, we have

$$pitch_{smoothed} = GF(pitch_{reducedbias}) = f(x_t, y_t)$$

where GF is some gaussian filter.

模型结果



如图是仙岳公园的三次round trip的一小段数据，我对他们分别用我们的pitch还原方法逐步还原，得到了最后较为平滑的pitch值。

- 第一幅图是原始数据，我们可以看到trip2有很多zigzag的较为大幅的波动
- 第二幅图利用加速度的信息去除了bias，我们可以明显看到波动幅度变小，trip2更加接近真实情况（由于缺少ground truth，我们近似认为这里较为平稳的trip1和trip3在某种程度上代表了ground truth的水平）
- 第三幅图利用高斯滤波去除了我们模型中的高斯噪声，得到了连续平滑（except for trip2, whose acceleration data is a disaster）

综合来看，这里的模型对于坡道的还原有其合理性，且在大部分地方有不错的效果。同时，该模型还可以为我们更加深入地理解pitch observation中的误差来源。

但该模型确还有很多问题待解决：

- 如何正确刻画在部分路段中出现的具有时间延迟性的Pitch观测偏移与加速度的关系
- 参数的选择很大程度上是heuristic的