

# 关于开发"石英道路称重仿真系统"的意义和方案

“ "石英道路称重仿真系统"的意义简短地讲是为了优化现实的称重系统,其方案简短地讲就是用一个C++开发的QT桌面应用 来实现;



## "石英道路称重仿真系统"的意义

首先分析一下当前算法优化工作中存在的难点:

- **数据采集工作量大:**只能通过人工的方式到装有动态称重系统的道路,安排车辆往复跑动进行数据采集,过程耗时,采集数据量小;
- **人为设计试验存在缺陷:**人为设计试验难免会存在漏洞和数据校验、标记错误;
- **特殊情况过多:**道路实况会出现各种因为司机人为操作、传感器异常造成的纷繁复杂的特殊情况,要在试验中重现/覆盖这么多特殊情况并不现实;
- **数据标注质量不高:**在人工试验过程中,能记录下来在信息有限,诸如车速、车向、多车道情况、温度、车辆实际重量等多维信息并没有标记,以至于可重用性不高;

这些难点可以在一个功能完备的道路称重仿真系统中被解决;基于这些难点需求,同时结合客观物理规律考虑,我们要设计的仿真系统中应该具备如下功能:

- **物理力学作用模拟机制**: 司机的主观操作、车辆的速度/加速度变化、重心漂移、由于各种因素导致的每个轮胎的承重不一... ..
- **传感器功能模拟机制**: 轮胎重力和接触胎转速如何使得传感器发生状态的变化以产生各种波形... ..
- **道路车况模拟机制**: 每个车辆的行为不是独立的, 每一个司机的决策同时受到其它司机行为的影响, 但是不合规则的异常操作也会存在... ..
- **可视化机制**: 使用动画展示整个道路状态有助于我们从顶层把握全局信息;

现在假设我们已经设计出来了具备上述仿真机制的系统, 那么其具备哪些意义呢?

- **试验自由度大增**: 虽然现实中设计了一些异常跑车的试验, 比如变道、跟车紧凑等, 但是却难以模拟传感器异常, 更难以模拟多个异常的复合情形, 事实上多个异常情形的组合情况的空间复杂度是骇人地大, 但是在仿真系统里却可以方便设计这样的试验;
- **海量的优质标注数据**: 由于试验是虚拟且数据类型丰富的, 我们可以方便得到各种情形下的优质海量数据, 这对于优化算法可谓是汗牛充栋的;
- **算法设计的自由度大增**: 由于数据量的大大提升, 以至于可以带来算法设计上质的改进, 利用大量数据来进行模糊算法的设计变得可行(比如神经网络、各种启发式算法等等);
- **与现实互补**: 它与现实试验并不冲突, 还能良性互补, 现实的试验数据可用于改进仿真系统, 仿真系统的结果有助于使得现实试验更具针对性(只需在现实中测试那些已经在仿真系统中表现不佳的情况);

## 对"石英道路称重仿真"问题的重新审视

在设计传感器处理算法的过程中, 我们仅仅考虑的是波形  $f(t)$  如何对应车辆重量  $m$  的实现, 但是现在需要设计仿真系统, 我们需要对从物理底层 到传感器反应、再到波形产生等整个过程机制进行思考, 这需要我们 对"石英道路称重仿真"问题进行重新审视, 以便于抽象出一个数学模型, 并且阐释进行仿真软件设计(尤其是其可以产生的海量数据)的意义;

我们需要特别关注的就是 **各种异常因素对波形的影响及其归因**. 异常因素可能是人为的、传感器自身的、现场环境的... .. 总之我们令 异常情形是一个有限集合  $\{g_i\} = G$ , 那么  $g_i(W) = W'$  表示异常因素 **将波形  $W$  变成了波形  $W'$** ,  $W$  则是车辆正常匀速直线通过 石英传感器且传感器性能正常时的波形;

因此  $W' = g_i(W)$  是一种对波形信号的非线性变换作用(可见数字信号处理). 那么  $g_i \circ g_j(W) = W'$  则表示多个异常因素的复合作用, 比如  $g_i \circ g_j \circ g_k(W) = W'$  可表示司机既有斜向行驶、又有加速度、又有传感器敏感度下降三种异常因素; 因此归因的过程就是 求目标函数  $g_k^{-1} \circ g_j^{-1} \circ g_i^{-1}(W') = W$ ;

以上是比较宏观、通用的形式化描述, 对应到每种异常行为, 目前我们采用的思路是以"异常数据剔除"为基础、以识别/校正各种异常波形的针对性 算法来解决的, 其难点就是需要在算法中嵌入对各种异常情形的先验认识, 然后编写针对各种异常情形的处理算法, 并且这些算法间还是相关的, 加入一个新的异常识别处理子模块就可能影响之前其余的功能, 改了这个又影响那个, 牵一发而动全身, 另外人为罗列所有异常情况、将其

如何分类管理也是一个及其主观性的问题... ..

综上,假如我们能够找到每种异常情况对应的**模糊变换**,也就是说,我们假设每种异常情形的作用的数学表达是统一规范的,例如如下形式:

$$g_i(W) = h_{\Theta_i}(A_i \odot W), W \in \mathbb{R}^n, A_i \in \mathbb{R}^{n \times n}$$

其中 $A_i$ 是异常情形 $i$ 对波形的线性变换部分, $\Theta_i$ 是异常情形 $i$ 对波形的参数部分(比如如果异常 $i$ 是 液体运输车,那么 $\Theta_i$ 可以是载液体重量、车辆加速度、重心位置等等相关参数);而 $h_i$ 是一个非线性变换函数,它对向量 $A_i \odot W$ 的每一位进行变换;

那么为了求出每种异常情况对应的**模糊变换** $h_{\Theta_i}(A_i \odot W)$ 的参数 $A_i$ 等等,我们需要大量异常情况 $i$ 下的 数据序列对 $(W, W')$ ,值得注意的是对应的现场参数 $\Theta_i$ 也必须是精准标注的,这也正是现实试验难以提供、仿真平台可以办到的事情;

提供以上这样的数学模型,其实是想强调一下仿真平台的意义和可以独当一面的地方;当然这样的算法解决思路不一定是必须的,毕竟当前的算法 精度只是需要略微提升的,我们可以利用仿真平台的生成数据辅助当前算法方案的优化;

## "石英道路称重仿真系统"实现的方案及工作计划

"石英道路称重仿真系统"实现的整体架构已经给出了,现在我们针对其中可以预见的三个尤为困难的地方来进行讨论,那就是:物理力学作用模拟机制、传感器功能模拟机制、以及这两者的交互机制;

### 物理力学作用模拟机制

目前考虑到的物理量有车辆位置 $(p_X, p_Y)$ 、车辆尺寸 $(s_W, s_H)$ 、车辆速度 $(v_X, v_Y)$ 、车辆加速度 $(a_X, a_Y)$ 、车辆重心位置 $p_G = (p_X, p_Y, p_H)$ 、车辆轮胎承重 $F_c \in \mathbb{R}^4$ (或者 $\in \mathbb{R}^6$ 六轮车等等)、车辆朝向 $\theta$ ...

现在我们需要考虑的是,在时间步 $(t, t + \Delta t)$ 之内,这些物理量相互作用的逻辑关系以及更新次序(这里有一个前提假设,那就是每一种物理量至少在微小时间步 $\Delta t$ 内是恒定的),我们假设 $\lambda(\cdot)$ 是一个匿名的相关函数,比如 $y = \lambda(x)$ 就表示 $x$ 是 $y$ 改变的因素,而具体是什么机制则没有显式表达,那么:

$$a^{t+\Delta t} = \lambda(\text{司机}, a^t)$$

$$v^{t+\Delta t} = \lambda(v^t, a^t)$$

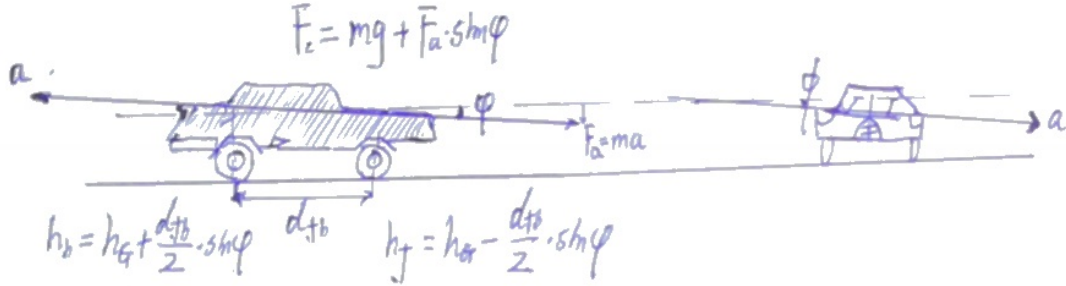
$$p_G^{t+\Delta t} = \lambda(a^t, p_G^t)$$

$$F_c^{t+\Delta t} = \lambda(F_c^t, \theta^t, a^t, s)$$

$$p^{t+\Delta t} = \lambda(p^t, v^t)$$

$$\theta^{t+\Delta t} = \lambda(\theta^t, v^t)$$

其中重心更新机制 $p_G^{t+\Delta t} = \lambda(a^t, p_G^t)$ 可能是尤其复杂的(尤其对于载有可移动介质的车辆),我们现在来探讨一下:

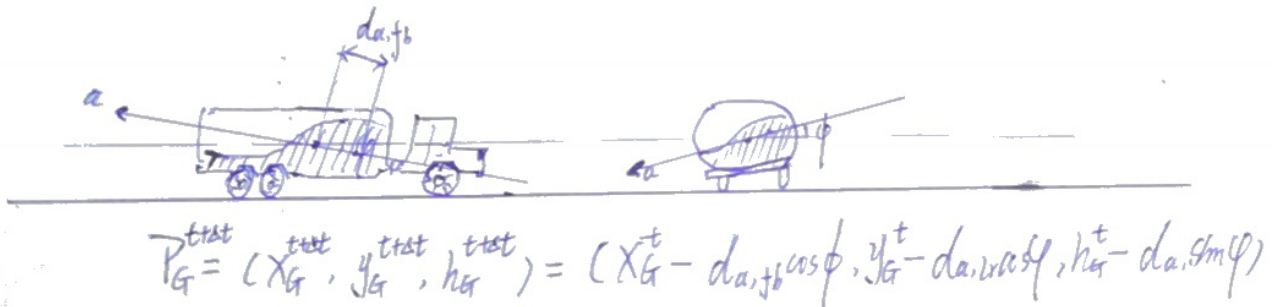


首先根据示意图,我们不难看出当车有一个向后的加速度 $a$ 时,汽车由于伽利略力和轻微形变的作用会"变重",重量(水平方向)是: $F_c = mg + F_a \sin(\varphi)$ ,其中 $\varphi$ 是和汽车重量 $ma$ 有关的(可以记作 $\varphi = \lambda(ma)$ ,可以想象自行车这样轻的载具骤停会直接翻起来),那么前后轮的承重分配机制如下(左右轮同理,只需要分析偏离中心线的角度 $\phi$ ):

$$a < 0 \begin{cases} G_{c_1} + G_{c_2} = F_c \dot{\varepsilon}_f \\ G_{c_3} + G_{c_4} = F_c \dot{\varepsilon}_b \end{cases}$$

其中 $\text{varepsilonpsilon}_f$ 和 $\text{varepsilonpsilon}_b$ 是对前后重量的分配系数,其和前后轮距 $d_{fb}$ 相关,具体形式是:

$$a < 0 \begin{cases} \varepsilon_f = \frac{h_b}{h_b + h_f}, h_b = h_G + d_{fb} \sin(\varphi)/2 \\ \varepsilon_b = \frac{h_f}{h_b + h_f}, h_f = h_G - d_{fb} \sin(\varphi)/2 \end{cases}$$



对于载有可移动介质的车辆,还涉及到一个重心漂移的问题,不难发现重心漂移方向和



加速度方向同轴但反向,现在设水平方向重心漂移 的距离是 $d_a$ ,我们可以知道其和此刻的车辆倾斜角度 $\varphi$ ,空车质量 $m$ ,以及介质重量 $m_f$ 相关,即 $d_a = \lambda(\varphi, m, m_f)$ ,另外显然:倾斜角度 $\varphi$ 越大,空车质量 $m$ 越小,以及介质重量 $m_f$ 越大,重心漂移越严重,因此可得经验公式:

$$d_a = \kappa \frac{m_f}{m} \varphi$$

对于多轮车,还涉及到后方多轮分重的仿真机制,在后期方法实现中,我们再迭代地明确并优化所有没有讨论到的物理力学作用模拟机制;

## 传感器功能模拟机制

石英传感器的称重原理是:利用受压时自身电荷量不同程度的变化输出不同的波形,来得到车辆的重量信息;这使得我们必须建模石英传感器本身 的电学特性,由于刚开始一周的研究工作,这方面的实现思路还有待详细化,但是可以预期的是,其实现复杂度和难度要远小于对物理力学作用 的模拟机制;

## 作用力和传感器的交互机制

作用力和传感器的交互机制是仿真和现实真实度差距的最关键机制,这个过程是一系列机制的集合:

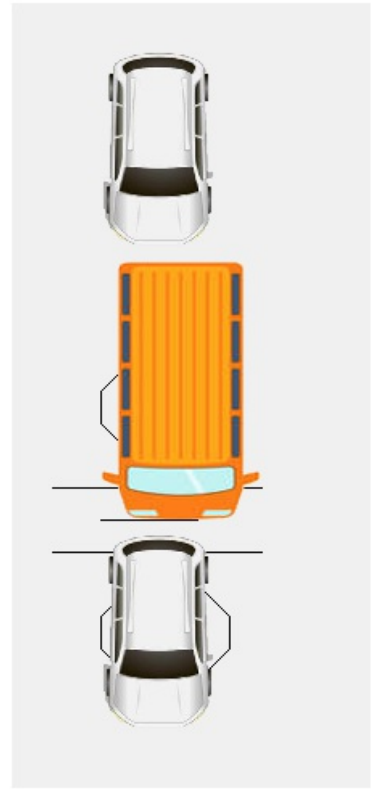
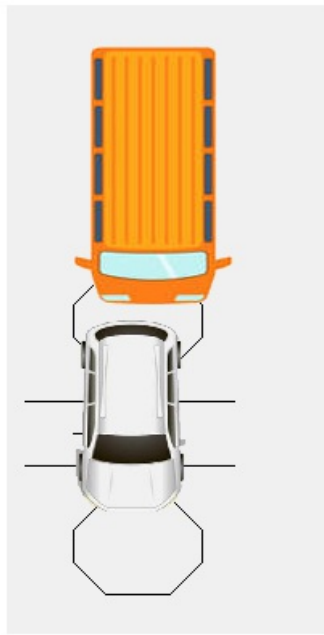
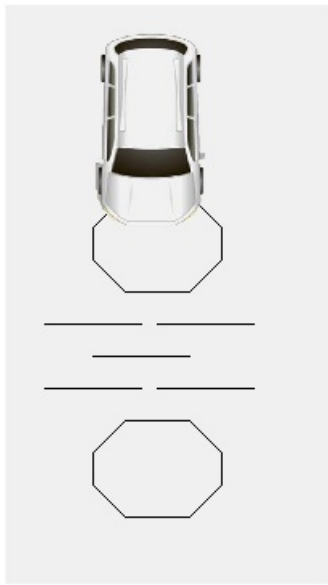
- **判断车胎和石英传感器接触:**从几何的角度讲,就是判断车胎的表征线段集合,与传感器表征的线段集合是否在平面上有交点;
- **分析接触过程中车辆的速度方向:**车辆车胎接触传感器时候的行驶方向、加速度、质点位置都会影响不同车胎的承重,进而影响接触效果;
- **计算传感器的电学状态:**根据传感器的产品参数计算在当前承重下的电荷量状态(也就是作为一个电容的瞬时状态);
- **根据传感器状态输出波形图:**波形图看似连续,其实是一个离散的数据时间序列,每一点都是电路电压放大后的一次采样;

## 工作计划

结合当前的实现方案、目前对项目的认知、当前实现进度、以及自身代码能力的水平,暂时对计划安排如下:

- **开发物理力学作用模拟机制模块:**七月上半月第二周;
- **开发传感器功能模拟机制模块:**七月下半月第一周;
- **开发作用力和传感器的交互机制模块:**七月下半月第二周;
- **道路车况模拟机制模块:**八月上半月第一周;
- **整合并完成道路车况可视化模块:**八月上半月第二周;
- **异常行为机制集合模块:**八月下半月第一周;
- **数据生成规范化和测试校正:**八月下半月第二周;

当前实现了单车道多车跟车的可视化功能,这耗费了一周的时间,因为从底层开发这样一系列功能还有许多需要考虑的细枝末节,就光 车辆图像在不同角度下的保真变换计算就能耗费一道两天时间,因此不可低估走到最终版本所需要的成本;



## 总结

在本文中我们首先阐述了当前石英道路称重算法面临的难点,然后陈述了开发"石英道路称重仿真系统"的意义,然后分析了这样一个系统应该具备 的功能以及架构,接下来讨论了一些技术实现思路细节和关键难点,最后结合客观情况给出了时间安排;

可以预见的是,一步步按计划进行开发和测试的迭代,一个功能完善的"石英道路称重仿真系统"指日可待;