

基于三轴加速度的饮水量测量

概要

随着生活水平提高，人们越来越重视科学饮水。一个人每天要喝2000ml以上的水才能保持水分的平衡，但是日常生活中，人们一般都不清楚自己一天中喝了多少水，因此市场上出现了可以监测饮水量的智能水杯。

目前监测水杯饮水量的方法主要有两种：第一种用压力传感器和3D加速度传感器，第二种用电容传感器和3D加速度传感器。基于压力传感器和3D加速度传感器方法的缺陷是，当水杯被拿起的时候，压力传感器没有与桌面接触，所以不能对水杯称重。如果在拿起期间，用户喝了水后再次加水，被喝掉的水无法被准确记录。第二种方法里，电容传感器是用来判断水的高度的，但它只能测量一侧的水位，如果杯体倾斜或者晃动，会导致饮水量计算不准确。

我们主要参考了成都小爱未来智慧科技有限公司的一篇专利¹，它的假设杯子为内径和高度已知的圆柱体，工作原理如下：

1. 在用户每一次拿起水杯之前，我们根据压力传感器称出杯中水的质量 m ，然后根据密度求体积，再根据杯子形状求出临界倾斜角度 ϕ
2. 当用户拿起杯子时，如果杯子倾斜角度大于临界角度 ϕ ，并且加速度变化在阈值内，就可以判定用户在饮水，否则为倒水，不计入饮水量里。
3. 当用户要结束喝水时，杯子的倾斜角度最小，记为 ψ 。此时根据杯子特性和倾斜角度计算杯中水的余量，饮水量等于原始水量 - 剩余水量。

它可以解决“拿起水杯 > 喝水 > 加水 > 放下杯子”的 user story，但是仍无法解决“... > 加水 > 喝水 > 放下杯子”的 user story。

在本项目中，我们探索是否能够仅使用三轴加速度数据来估计饮水量。我的思路是：首先记录饮水过程中的三轴加速度数据，绘制图形，观察饮水动作是否对应着某种模式 (pattern)；对 pattern sequence 进行分析，尝试通过加速度变化率识别临界

¹ <https://patentimages.storage.googleapis.com/a3/a1/ba/cfa1063148b6ac/CN104819752A.pdf>

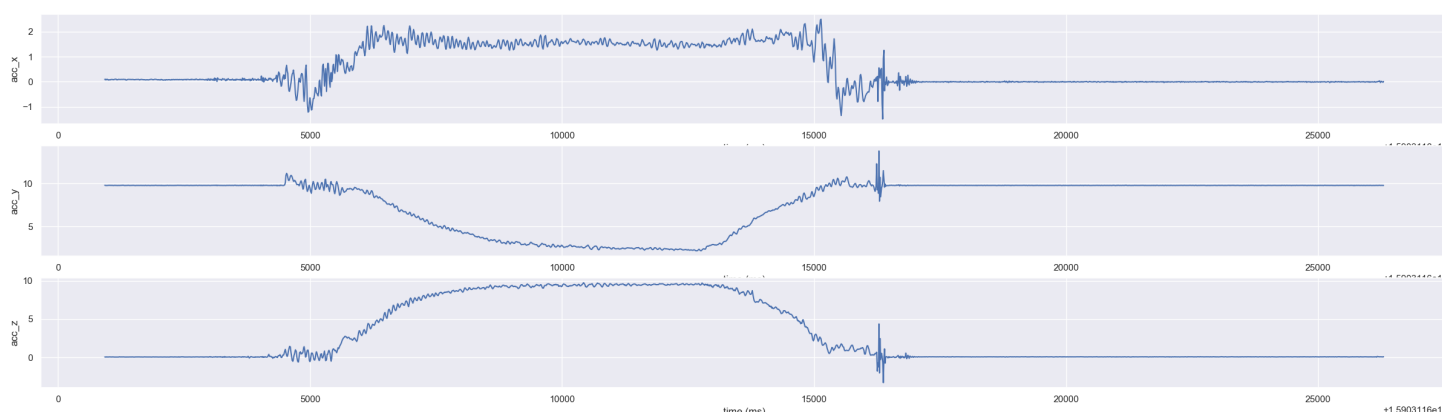
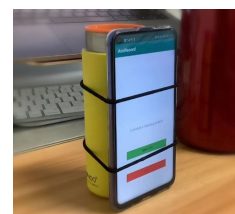
饮水点和结束饮水点，然后通过三轴加速度计算对应的角度 ϕ 和 ψ ，再参考上述专利的做法计算饮水量。

通过实验和分析，我们发现：1) 饮水动作在沿杯身方向的加速度曲线上，存在一个平底碗状模式。2) 我们还观察到，喝水起始点不在平底波形的两个端点，从加速度变化率曲线上未发现明显的识别特征。然而我们用MPU6050采集到的数据抖动过大，平滑后用指数函数拟合效果极差，用做差方式 (老师也赞同用此方法) 求出的加速度变化率曲线也不平滑，抖动过大的原因可能与传感器精度不够高有关。此外，加速度变化率下界变动范围广，从 -0.02 到 -0.08 都有，无法通过设一个简单的阈值来识别是否进入饮水状态。

虽然我们没能实现仅依赖加速度数据计算饮水量，但在本项目中，我收获良多。首先我第一次接触了 Arduino 开发板，通过网络搜索完成了硬件连接、数据读取和通过蓝牙模块发送数据的功能。此外，通过与同学交流，我设计了整个数据处理和分析流程：分段 > 平滑 > 求导（拟合后求导或直接做差分）> 饮水起止点识别 > 根据三轴加速度计算倾角 > 根据倾角和杯子特性计算饮水量；并且实现了从平滑到饮水起止点识别的部分。

预实验

采购器材到货前，我编写了一个简单的 APP，记录手机三轴传感器的数据，并保存为文件。将手机绑到水杯上，进行喝水实验，并根据保存数据做图。



上图是喝一口水时，手机传感器记录的三轴加速度图，其中 y 轴沿杯身向上。由于 x 和 z 轴对应的数据取决于杯子的倾斜方向，是不确定的，故而我们使用 y 轴的加速度来识别饮水的起止点，另外两轴的数据仅用于辅助计算杯子倾斜角度。