

# 六轴陀螺仪姿态解算研究

马昉昶,王勤湧,郭张乐,范鹏宇,项畅清

(温州商学院,浙江 温州 325000)

**摘要:**六轴陀螺仪是三轴陀螺仪与三轴加速计的合称,它是在三轴陀螺仪这个传感器的基础上增加上三轴加速器这个元器件。由于六轴陀螺仪收集的加速度、角速度等数据会受到噪声信号的影响,所以要对这些收集到的数据进行滤波处理。在众多的滤波方式中,选用较为普遍的一阶互补滤波、卡尔曼滤波和DMP,在滤波后获得更加精确的数据同时对这三种滤波方式进行对比。

**关键词:**六轴陀螺仪;一阶互补滤波;卡尔曼滤波;DMP(Digital Motion Processor)

**中图分类号:**TP302 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3044(2018)03-0243-02

**DOI:**10.14004/j.cnki.ckt.2018.0346

陀螺仪是自动控制系统中的一个信号传感器,因为它成本低、体积小、重量轻等优点被广泛运用于飞行器行业,为飞行器提供准确的方位、水平、位置、速度和加速度等信号。本文通过对六轴陀螺仪姿态解算的方法分析,来阐述六轴陀螺仪如何向飞行器的单片机反馈信号,同时在匿名上位机该仿真软件的帮助下,我们会分别使用三种算法对六轴陀螺仪的波形进行仿真测试并记录,从而来分析各个滤波方式的优劣<sup>[1]</sup>。

## 1 一阶互补滤波

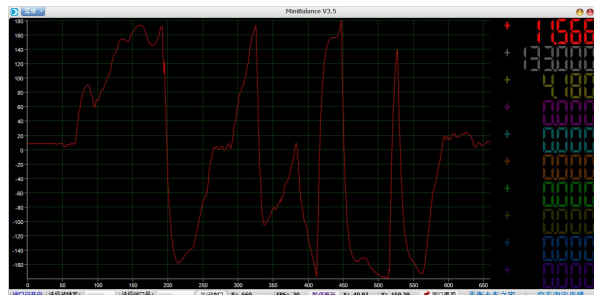
因为MPU6050收集获得的加速度和角速度数据会被传感器噪声信号的影响,从而使得我们不能直观的通过加速度和角速度这两个数据来获得该轴上的角度。所以我们需要对加速度和角速度这两个数据进行互补滤波来近似得到一个比较准确的角度。

互补滤波算法可以同时滤除低频和高频的干扰,能更好地实现传感器的数据融合,以下为一阶互补滤波的实函数

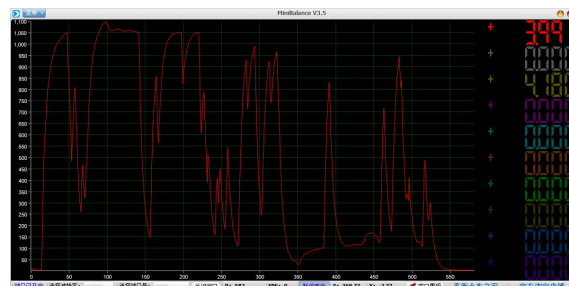
```
void filter(float angle_m, float gyro_m)
{
    angle = K1 * angle_m + (1-K1) * (angle + gyro_m * dt);
    //本次滤波的输出值 = 本次采样值 + 上次滤波的输出值
}
```

公式中angle\_m和gyro\_m分别是经过陀螺仪采集数据计算后得到的角度与角加速度;K1是对加速度计取值的权重;dt是滤波器的采样时间。在获得上一次滤波的输出值以及本次陀螺仪采集得到数据的情况下,我们就可以通过该公式获得本次滤波后的输出值<sup>[2]</sup>。

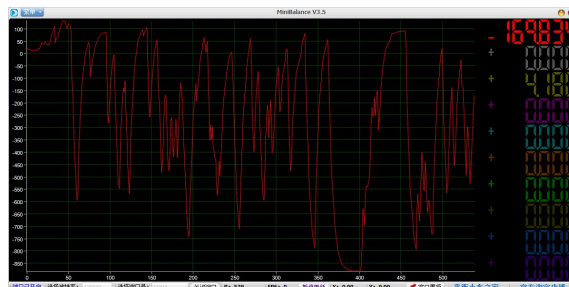
X轴方向的波形图如下:



Y轴方向的波形图如下:



Z轴方向的波形图如下:



## 2 卡尔曼滤波

在测量方差已知的情况时,卡尔曼滤波能够从测量噪声的数据中估计动态系统的状态,所以卡尔曼滤波对于六轴陀螺仪收集的动态数据的处理有很大的帮助<sup>[3]</sup>。

首先,卡尔曼滤波需要一个离散控制过程的系统,这一过程可以使用一个线性随机微分方程来描述:

过程方程: $X(k) = A X(k-1) + B U(k) + W(k)$

量测方程: $Z(k) = H X(k) + V(k)$

上述方程中k表示一个实际的值,也就是第k时刻的真实量,比如X(k)为第k时刻系统状态,Z(k)为第k时刻测量值,而U(k)则为第k时刻对系统的控制量。A和B为系统参数,是相对于多模型系统的矩阵;H为测量系统的参数,是相对于多测量系统的矩阵。W(k)和V(k)分别为过程中的噪音及测量中的噪音。它们被假设为高斯白噪声(White Gaussian Noise),他们的协方差(covariance)分别是Q和R。若以上条件满足,那么卡尔

曼滤波将比较理想。

在该系统中,需利用该过程模型去预测下一状态的系统,也即下一状态结果=上一状态结果+现在上状态控制量(控制量可为0),公式为:

$$X(k|k-1)=A X(k-1|k-1)+B U(k)$$

接着在系统结果已经更新之后,我们需要对方方差(covariance)进行更新,至于如何更新协方差呢,这就要使用到  $X(k|k-1)$ 、 $X(k-1|k-1)$  的协方差,也就是下一状态和上一状态的协方差,其公式为:

$$C(k|k-1)=A C(k-1|k-1) A' + Q$$

其中  $C$  表示协方差,  $A'$  表示  $A$  的转置矩阵,  $Q$  是系统过程的协方差。

随着得到对系统的预测结果之后,我们便需要开始收集现在状态的测量值。结合预测的结果及收集好的测量值,便可得到现今的最优估算值,相应公式为:

$$X(k|k)=X(k|k-1)+K_g(k) (Z(k)-H X(k|k-1))$$

上式中  $K_g$  为卡尔曼增益(Kalman Gain),由协方差和  $H$  矩阵计算得到,相应的公式为:

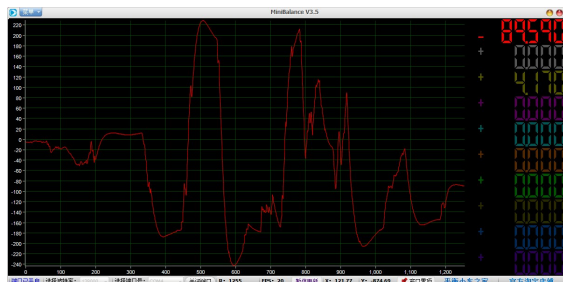
$$K_g(k)=C(k|k-1) H' / (H C(k|k-1) H' + R)$$

有了第  $k$  时刻状态下最优的估算值  $X(k|k)$ ,我们还需更新这第  $k$  时刻状态下的协方差以便卡尔曼滤波能运行下去直至系统过程结束,该过程公式为:

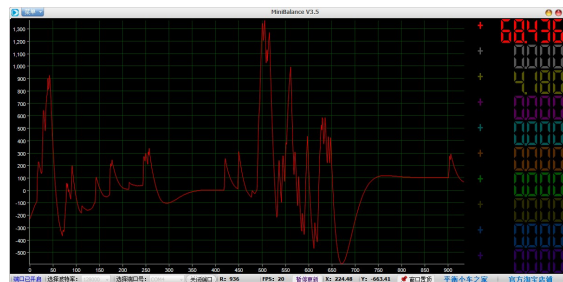
$$C(k|k)=(I-K_g(k) H) C(k|k-1)$$

其中  $I$  为 1 的矩阵,对于单模型单测量,  $I=1$ 。  $C(k|k)$  是系统进入  $k+1$  状态时上述公式中的  $C(k-1|k-1)$ 。<sup>[4]</sup>

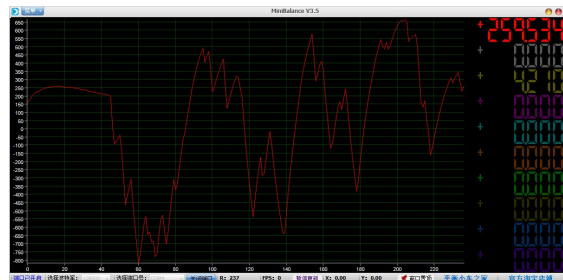
X轴方向的波形图如下:



Y轴方向的波形图如下:



Z轴方向的波形图如下:



### 3 DMP(Digital Motion Processor)

DMP(Digital Motion Processor)为 MPU6050 自带的数字运动处理器硬件加速引擎,通过 I2C 接口可以输出 6 轴姿态数据。同时,InvenSense 公司提供了相应的嵌入式运动驱动库,结合 DMP 可以将原始数据直接转换成四元数输出。而通过四元数可以计算出欧拉角,即航向角(yaw)、横滚角(roll)和俯仰角(pitch)。使用内置的 DMP,不但可以让 6 轴的代码设计更加简洁,而且省略了 MCU 的姿态解算过程。可以技巧有效的降低 MCU 负担,进而提高系统实时性。

在对四元数进行相应的格式转换后,可以采用如下公式计算欧拉角

$$\text{pitch}=\text{asin}(-2 * q_1 * q_3 + 2 * q_0 * q_2) * 57.3; // \text{俯仰角}$$

$$\text{roll}=\text{atan2}(2 * q_2 * q_3 + 2 * q_0 * q_1, -2 * q_1 * q_1 - 2 * q_2 * q_2 + 1) * 57.3; // \text{横滚角}$$

$$\text{yaw}=\text{atan2}(2 * (q_1 * q_2 + q_0 * q_3), q_0 * q_0 + q_1 * q_1 - q_2 * q_2 - q_3 * q_3) * 57.3; // \text{航向角}$$

其中  $\text{quat}[0] \sim \text{quat}[3]$  是 MPU6050 的 DMP 解算后的四元数,  $q_{30}$  格式,所以要除以一个 2 的 30 次方,其  $q_{30}$  是一个常量: 1073741824,即 2 的 30 次方,然后带入公式,计算得到欧拉角<sup>[5]</sup>。

### 4 对比解析

	缓慢倾斜 缓慢回位	快速倾斜 快速回位	水平移动	反复倾斜	多次提起 放下
一阶互补滤波					
卡尔曼滤波					
DMP					

以上对比可知,一阶互补滤波计算量小跟随性好,卡尔曼计算量大,动态性能更优,四元数算法输出的是三个量 Pitch、Roll 和 Yaw,数据较为平滑。(下转第256页)

求的场合中使用,这是由于此种使用方法稳定性比较差,波纹系数高,实验设备体系较差。工频倍压整流高压发生器就是这种传统机器基础上研发的,比起传统高压发生器,其结构较为简单,故障率较低,过载运行能力较强。

其二,绝缘电阻。绝缘电阻大部分都是使用能够直接得到度数并且输出电压仪表实现,规定的加压一分钟得到阻值就是电气设备绝缘电阻。吸收比测试是指测试产品不同时候对电气设备绝缘电阻比值检测的实验,吸收比能够将机电设备及变压器绝缘体局部缺陷及受潮的程度展现出来,实验结果较为敏感。一般在常温中如果吸收比  $< 1.3$ ,那么表示绝缘体已经具有缺陷。

其三,介质损失角。高压电气设备介质损耗及绝缘缺陷具有密切的联系,并且此种练习和实验物体大小具有函数关系。部分浸渍绝缘材料及填充材料设备因为在制造过程中都会因为温度变化出现变化,所以介质中都具有一定的孔隙,其中的间隙残留空气就会因为强电场力游离,以此导致出现介质损耗,从而出现局部温度过高的现象,游离还会出现氮氧化物和臭氧,从而导致绝缘材料腐蚀、老化及分解<sup>[6]</sup>。

### 3 结束语

高压电气设备绝缘事故会导致高压电气设备在运行过程中出现一定的问题,所以就要全面掌握高压设备绝缘技术,以此提高绝缘状态。高压电气设备在日常运行过程中会受到自

然环境和高压情况等因素的影响,从而导致绝缘部分出现一系列的问题,从而对电力设备在运行过程中的效率造成影响。对于此种问题,就要对产生这种问题的因素进行全面的分析,并且提出针对性的防范措施,使用积极有效的检测方式进行解决。基于此,本文就分析高压电器设备绝缘事故,之后针对性地提出一系列的防范措施。我国电气工程相关人员要在重视高压电气设备绝缘技术,根据高压电气设备绝缘实验技术的今后发展进行深入的研究,从而将高压设备在社会生产活动过程中的功能性及安全性充分地展现出来。

## 参考文献:

- [1] 韩常辉,孙伟坤.高压电气设备的绝缘预防性试验方法及安全措施[J].科技创新与应用,2016(33):178.
- [2] 张勇.变电站高压电气设备在线绝缘监测系统的研究[D].山东大学,2015.
- [3] 俞晖,黄婷婷.高压电气设备的绝缘预防性试验浅析[J].科技与企业,2013(20):318-318.
- [4] 朱伟.高压电气设备绝缘在线监测技术专利分析[J].中国发明与专利,2012(1):50-52.
- [5] 焦书来,官宁.高压电气设备绝缘预防性试验的重要性[J].城市建设理论研究:电子版,2015(35):2311-2311.
- [6] 纵珠明.变电站高压电气设备绝缘在线监测的应用研究[J].城市建设理论研究,2016(17):241-241.

(上接第244页)

## 参考文献:

- [1] 郭秀中.陀螺仪理论及应用[M].航空工业出版社,1987.
- [2] 郭晓鸿,杨忠,陈喆,等.EKF和互补滤波器在飞行姿态确定中的应用[J].传感器与微系统,2011,30(11).

- [3] 宋文尧. 卡尔曼滤波[M]. 科学出版社, 1991.
- [4] 孔令磊, 汤洁. 由TMS320C32芯片实现陀螺仪漂移卡尔曼滤波算法研究[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(7).
- [5] 张允华. 互补滤波器在四元数法姿态解算中的应用[J]. 通讯世界, 2015, 35.