

## 1、实验名称及目的

**设计实验：**理解卡尔曼滤波原理，设计卡尔曼滤波器，设计算法实现滤波器功能。进一步，处理加速度和角速度数据，并绘制出相关姿态角数据图，与原数据解算的姿态角和 Pixhawk 自带姿态角解算出的数据作比较，以加深对卡尔曼滤波器的理解。

## 2、实验效果

设计出卡尔曼滤波器，建立过程模型和观测模型。实验结果表明，卡尔曼滤波器的滤波效果要比互补滤波好，另一方面与 PX4 中自带的滤波算法比较接近。

## 3、文件目录

文件夹/文件名称		说明
HardInloop	e4_ekf_A.bin	滤波器数据
	ekf_cf.slx	数据采集模型文件
	plot_filter.m	作图程序
	px4_read_binary_file.m	Bin 文件读取程序
Attitude_cf.m		互补滤波器实现
Attitude_ekf.m		卡尔曼滤波器实现
Attitude_estimator.m		用于解算传感器数据（实飞）
ekf_cf_sfun.mexw64		用于在 Simulink 模型中记录数据并将其写入到 MATLAB 工作区
logdata.mat		传感器数据（实飞）

## 4、运行环境

序号	软件要求	硬件要求	
		名称	数量
1	Windows 10 及以上版本	笔记本/台式电脑 <sup>①</sup>	1
2	RflySim 平台免费版	卓翼 H7 飞控 <sup>②</sup>	1
3	MATLAB 2017B 及以上	遥控器 <sup>③</sup>	1
		遥控器接收器	1
		数据线、杜邦线等	若干
		SD 卡及读卡器	1

①：推荐配置请见：<https://doc.rflysim.com/1.1InstallMethod.html>

②：须保证平台安装时的编译命令为：droneyee\_zyfc-h7\_default，固件版本为：1.12.1。其他配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

③：本实验演示所使用的遥控器为：福斯 FS-i6S、配套接收器为：FS-iA6B。遥控器相关配置见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

## 5、实验步骤

### Step 1:

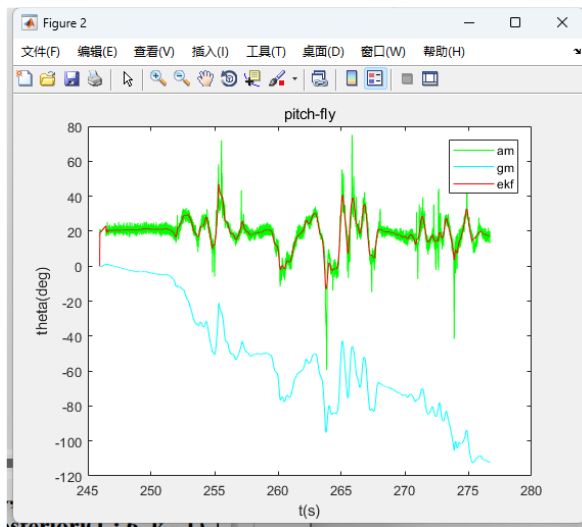
卡尔曼滤波器实现见文件“Attitude\_ekf.m”，其主要部分如下。

```
function [ x_aposteriori, P_aposteriori, roll, pitch] =  
Attitude_ekf( dt, z, q, r, x_aposteriori_k, P_aposteriori_k)  
%函数描述:  
% 状态估计的拓展卡尔曼滤波方法  
%输入:  
% dt: 更新周期  
% z: 测量值  
% q:系统噪声, r:测量噪声  
% x_aposteriori_k: 上一时刻的状态估计  
% P_aposteriori_k: 上一时刻估计协方差  
%输出:  
% x_aposteriori: 当前时刻的状态估计  
% P_aposteriori: 当前时刻的估计协方差  
% roll,pitch: 欧拉角, 单位: rad  
w_m = z(1:3); %角速度测量值  
a_m = z(4:6); %加速度测量值  
g = norm(a_m,2); %重力加速度  
% w_x_=[ 0,-(wz-bzg, wy-byg;  
% wz-bzg, 0 ,-(wx-bxg);  
% -(wy-byg), wx-bxg, 0];  
w_x_ = [0, -(w_m(3) - x_aposteriori_k(3)), w_m(2) -x_aposteriori_k(2);  
w_m(3) - x_aposteriori_k(3), 0, -(w_m(1) - x_aposteriori_k(1));  
-(w_m(2) - x_aposteriori_k(2)), w_m(1) - x_aposteriori_k(1), 0];  
bCn = eye(3, 3) - w_x_*dt;  
% 预测  
% 更新先验状态矩阵  
x_apriori = zeros(1, 6);  
x_apriori(1: 3) = x_aposteriori_k(1 : 3); %角速度漂移  
x_apriori(4 : 6) = bCn*x_aposteriori_k(4 : 6); %加速度归一化值  
%[x]x  
x_aposteriori_k_x = [0, -x_aposteriori_k(6), x_aposteriori_k(5);  
x_aposteriori_k(6), 0, -x_aposteriori_k(4);  
-x_aposteriori_k(5), x_aposteriori_k(4), 0];  
% 更新状态转移矩阵  
PHI = [eye(3, 3), zeros(3, 3);  
-x_aposteriori_k_x*dt, bCn];  
GAMMA = [eye(3, 3)*dt, zeros(3, 3); % 噪声驱动阵  
zeros(3, 3), -x_aposteriori_k_x*dt];  
Q = [eye(3, 3)*q(1), zeros(3, 3);  
zeros(3, 3), eye(3, 3)*q(2)];  
% 预测误差协方差矩阵  
P_apriori = PHI*P_aposteriori_k*PHI' + GAMMA*Q*GAMMA';  
% 更新  
R = eye(3, 3)*r(1);  
H_k = [zeros(3, 3), -g*eye(3, 3)];  
%卡尔曼增益  
K_k = (P_apriori*H_k')/(H_k*P_apriori*H_k' + R);  
% 状态估计矩阵  
x_aposteriori = x_apriori' + K_k*(a_m - H_k*x_apriori');
```

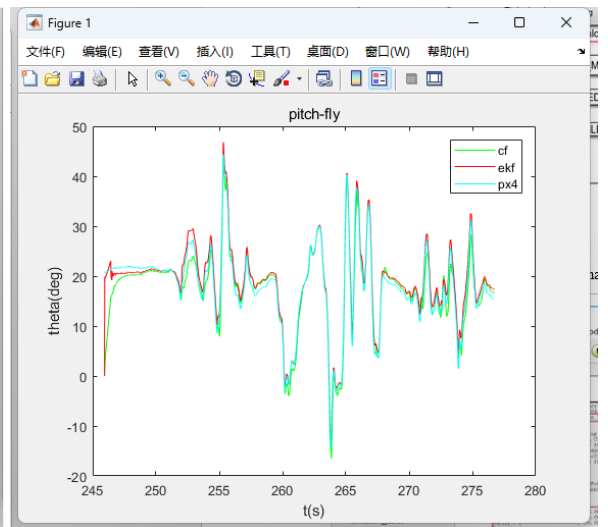
```
% 估计误差协方差
P_aposteriori = (eye(6, 6) - K_k*H_k)*P_apriori;
% 计算滚转角和俯仰角，分别对应 roll,pitch
k = x_aposteriori(4 : 6) /norm(x_aposteriori(4 : 6), 2);
roll = atan2(k(2), k(3)); % 滚转角
pitch = -asin(k(1)); %俯仰角
end
```

## Step 2:

运行“e4.3”中文件“Attitude\_estimator.m”即可得到如下图所示的滤波结果及对比图。  
以实飞过程的俯仰角为例。



对陀螺仪与加速度计数据进行卡尔曼滤波

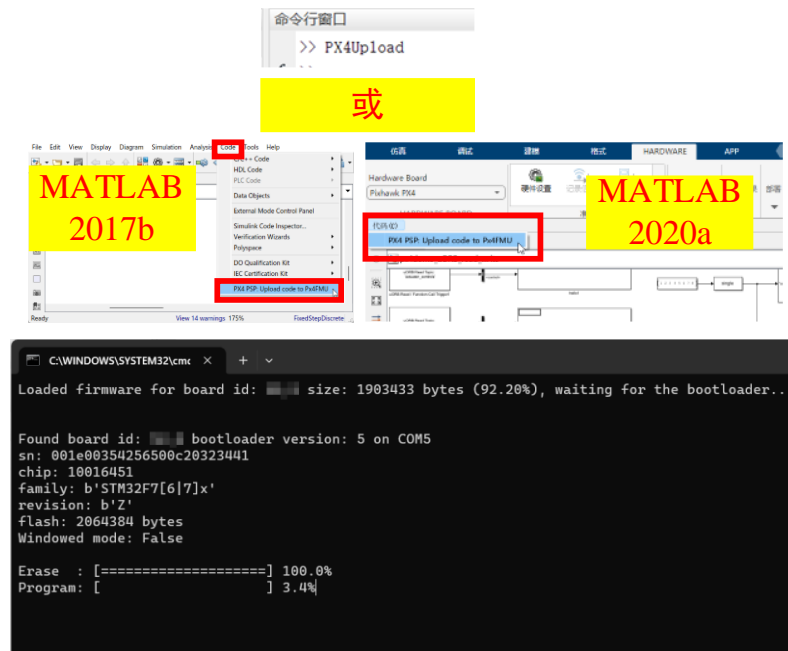


卡尔曼滤波对比线性互补滤波与PX4自带滤波算法

## Step 3:

根据互补滤波和卡尔曼滤波算法，设计 Simuink 模型“ekf\_cf.slx”模型。该模型同时运行互补滤波算法和卡尔曼滤波算法，并将得到的结果存储在 SD 卡中。





## Step 6:

飞控的 LED 指示灯变红意味着 PX4 软件没有正常工作。因此，在连接好遥控器接收机和飞控后，等待 10s 以上直到飞控的指示灯变绿（如果飞控的指示灯没有变绿，请重新拔插飞控）。准备就绪后，将遥控器 CH5 拨到最顶部（程序变量 `ch5>1500`，最远离使用者的档位），手动晃动飞控，数据采集完成后将遥控器 CH5 拨到最底部（最靠近使用者的档位）停止写数据到 SD 卡。



## Step 7:

将 SD 卡取出，使用读卡器读文件“ekf1\_A.bin”复制到实验代码目录“e4\e4.3”。

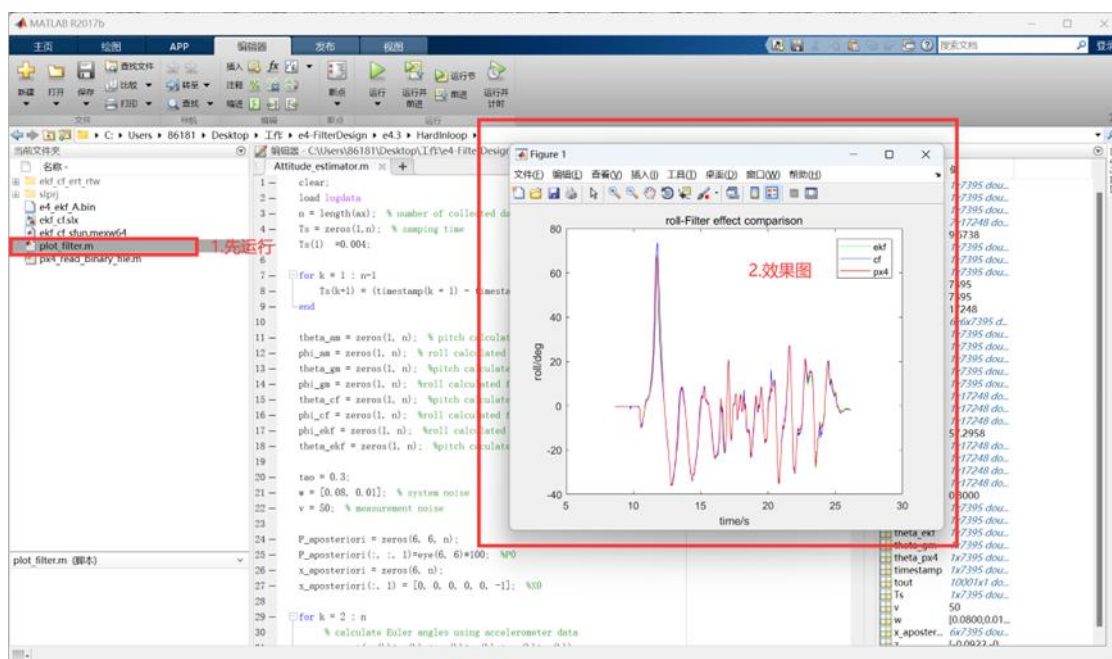
« 工作 » e4-FilterDesign » e4.3 » HardInloop

在 HardInloop 中搜索

名称	修改日期	类型	大小
ekf_cf_ert_rtw	2023/1/10 17:40	文件夹	
slprj	2023/1/10 17:40	文件夹	
e4_ekf_A.bin	2020/8/19 12:58	BIN 文件	472 KB
ekf_cf.slx	2020/8/19 12:58	Simulink Model	42 KB
ekf_cf_sfun.mexw64	2023/1/5 16:49	MATLAB Mex	120 KB
plot_filter.m	2020/8/19 12:58	MATLAB Code	1 KB
px4_read_binary_file.m	2020/8/19 12:58	MATLAB Code	2 KB

## Step 8:

运行“plot\_filter.m”文件。得到旋转飞控时互补滤波，卡尔曼滤波以及 PX4 自带的滤波算法效果对比图。



## 6、参考文献

- [1]. 全权,杜光勋,赵峙尧,戴训华,任锦瑞,邓恒译.多旋翼飞行器设计与控制[M],电子工业出版社, 2018.
- [2]. 全权,戴训华,王帅.多旋翼飞行器设计与控制实践[M],电子工业出版社, 2020.