

1. 实验名称及目的

滤波器设计实验：利用数据采集模型和飞控采集加速度计和陀螺仪数据，按步骤完成互补滤波，处理所得数据并绘制相关姿态角数据图；基于 4.1 基础实验，改变滤波器参数，分析滤波器参数对滤波效果的影响；理解卡尔曼滤波原理，并设计卡尔曼滤波器实现滤波器功能。

2、实验原理

互补滤波是一种用于融合多个传感器或测量数据的滤波方法，其原理是通过将多个信号按照一定的权重进行组合，以得到更准确的估计结果。互补滤波的原理可以总结为以下几个步骤：1、获取传感器数据：首先，需要获取多个传感器的数据或者不同的测量信号。这些传感器可以是不同类型的传感器，例如加速度计、陀螺仪、磁力计等，或者是来自于不同的测量设备或算法的输出。2、定义权重：根据应用的需求和特定的条件，需要为每个传感器或信号定义一个权重。权重可以反映传感器的可靠性或者对特定信号的重要程度。通常，较可靠、准确的传感器会被分配较高的权重，而不可靠或噪声较大的传感器会分配较低的权重。3、互补滤波器输出计算：使用权重对传感器数据进行加权求和，得到最终的估计值。常用的互补滤波方法是简单的加权平均，可以用以下公式表示：综合输出 = (权重 × 传感器测量值) + ((1 - 权重) × 先前估计值)，其中，权重是在 0 到 1 之间的数值，先前估计值是上一时刻的滤波器输出。4、迭代更新：在每个时间步骤或数据采样点上，重复步骤 2 和步骤 3，以更新估计值。根据传感器的测量数据和权重的设定，互补滤波器会根据每个传感器的可靠性自适应地融合各个数据源，产生更准确的估计结果。

互补滤波的优点是简单实用、计算效率高，并且能够有效地融合多个传感器的数据。然而，需要根据具体应用场景仔细选择权重和调整参数，以达到最佳的性能和结果。同时，互补滤波也有其局限性，不适用于动态系统模型和非线性的传感器或测量信号。对于这些情况，其他更复杂的滤波方法如卡尔曼滤波或扩展卡尔曼滤波可能更合适。

卡尔曼滤波是一种用于估计系统状态的递归滤波器，它结合了系统的动态模型和传感器测量数据，提供了对系统状态的最优估计。卡尔曼滤波的原理基于线性系统和高斯噪声的假设。卡尔曼滤波的原理可以分为两个主要步骤：预测和更新。

1、预测（时间更新）步骤：

在预测步骤中，基于系统的动态模型，使用先前的状态估计和控制输入，预测系统在下一个时间步的状态。这个预测通过以下两个方程完成：状态预测方程（系统模型）：根据系统的动态方程和控制输入，估计系统在下一个时间步的状态。协方差预测方程：估计系统状态的不确定性或协方差随时间的演化。

2、更新（测量更新）步骤：

在更新步骤中，基于传感器的测量数据，将预测的状态与测量数据进行融合，得到对系统状态的更新估计。这个更新通过以下两个方程完成：卡尔曼增益方程：计算卡尔曼增

益，该增益决定了预测状态与测量数据之间的权衡。状态更新方程：根据卡尔曼增益和测量数据，更新系统状态的估计值，并计算更新后的协方差。卡尔曼滤波的关键思想是不断对系统状态进行迭代优化，通过结合先前的状态估计和新的测量数据，得到更准确的状态估计，并且考虑了状态估计的不确定性。需要注意的是，卡尔曼滤波仅在满足线性系统模型和高斯分布噪声假设的情况下才能提供最优的估计。对于非线性系统或非高斯噪声，可以使用扩展卡尔曼滤波（EKF）或无迹卡尔曼滤波（UKF）等变种来进行状态估计。

对于基本实验，如果没有硬件，可以使用'e4\4.1\logdata'。直接获取数据，对应的滤波器代码为“e4\4.1\Attitude_estimator0_fly.m”；如果你有硬件，你会得到一个类似于'e4\4.1\4_A.bin'的文件，对应的过滤器代码为'e4\4.1\Attitude_estimator0.m'。'e4\4.1\4_A.bin'和'e4\4.1\logdata. bin'中的数据。通过“e4\4.1\log_data”获取。它们都包括三轴陀螺仪数据、三轴加速度数据和自包含估计的姿态 PX4 软件中的过滤器。文件'e4\4.1\4_A.bin'直接存储了 Pixhawk 自动驾驶仪的数据另一个文件“e4\4.1\logdata”。马特储存了四轴飞行器实际飞行的数据。

3、实验效果

- (1)为得到准确的姿态角数据，使用互补滤波算法对陀螺仪和加速度计的数据进行融合。
- (2)互补滤波算法中对陀螺仪和加速度计数据的使用是通过参数 τ 来控制的，改变 τ 值大小会影响互补滤波效果。
- (3)设计出卡尔曼滤波器，建立过程模型和观测模型，滤波效果优于互补滤波。

4、文件目录

文件夹/文件名称	说明
第 08 讲_实验四_滤波器设计实验.pdf	实验配套课件。
e4.1	互补滤波器基础实验资料，详细操作见： Readme.pdf
e4.2	互补滤波器参数设计实验资料，详细操作见： Readme.pdf
e4.3	卡尔曼滤波器设计实验资料，详细操作见： Readme.pdf

1、实验名称及目的

基础实验：利用数据采集模型和 Pixhawk 采集加速度计和陀螺仪数据，按步骤完成互补滤波，处理所得数据并绘制相关姿态角数据图；与原数据解算的姿态角和 PX4 自带姿态角解算出的数据作比较，以理解互补滤波器的优点。

2、实验原理

互补滤波是一种用于融合多个传感器或测量数据的滤波方法，其原理是通过将多个信号按照一定的权重进行组合，以得到更准确的估计结果。互补滤波的原理可以总结为以下几个步骤：1、获取传感器数据：首先，需要获取多个传感器的数据或者不同的测量信号。这些传感器可以是不同类型的传感器，例如加速度计、陀螺仪、磁力计等，或者是来自于不同的测量设备或算法的输出。2、定义权重：根据应用的需求和特定的条件，需要为每个传感器或信号定义一个权重。权重可以反映传感器的可靠性或者对特定信号的重要程度。通常，较可靠、准确的传感器会被分配较高的权重，而不可靠或噪声较大的传感器会分配较低的权重。3、互补滤波器输出计算：使用权重对传感器数据进行加权求和，得到最终的估计值。常用的互补滤波方法是简单的加权平均，可以用以下公式表示：综合输出 = (权重 × 传感器测量值) + ((1 - 权重) × 先前估计值)，其中，权重是在 0 到 1 之间的数值，先前估计值是上一时刻的滤波器输出。4、迭代更新：在每个时间步骤或数据采样点上，重复步骤 2 和步骤 3，以更新估计值。根据传感器的测量数据和权重的设定，互补滤波器会根据每个传感器的可靠性自适应地融合各个数据源，产生更准确的估计结果。

互补滤波的优点是简单实用、计算效率高，并且能够有效地融合多个传感器的数据。然而，需要根据具体应用场景仔细选择权重和调整参数，以达到最佳的性能和结果。同时，互补滤波也有其局限性，不适用于动态系统模型和非线性的传感器或测量信号。对于这些情况，其他更复杂的滤波方法如卡尔曼滤波或扩展卡尔曼滤波可能更适合。

详细内容请参考上层路径文献[3]第 08 讲_实验四_滤波器设计实验.pptx，文献[4]第 08 讲_可观性和卡尔曼滤波器 V2.pptx。

3、实验效果

为得到准确的姿态角数据，使用互补滤波算法对陀螺仪和加速度计的数据进行融合。这种算法相当于对陀螺仪数据做高通滤波，而对加速度计数据做低通滤波。这样可以有效消除陀螺仪和加速度计的测量噪声，将两者数据进行互补。

4、文件目录

文件夹/文件名称	说明
Attitude_cf.m	互补滤波器实现
Attitude_estimator0.m	用于解算传感器数据（手摇飞控硬件在环）
Attitude_estimator0_fly.m	用于解算传感器数据（实飞）

e4_A.bin	传感器数据（手摇飞控）
log_data.slx	代码生成模板文件。
log_data_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）
px4_read_binary_file.m	用于读取 PX4 飞控系统生成的二进制日志文件的 MATLAB 函数

5、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 ^①	1
2	RflySim 平台免费版	Pixhawk 6C 飞控 ^②	1
3	MATLAB 2017B 及以上	遥控器 ^③	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>

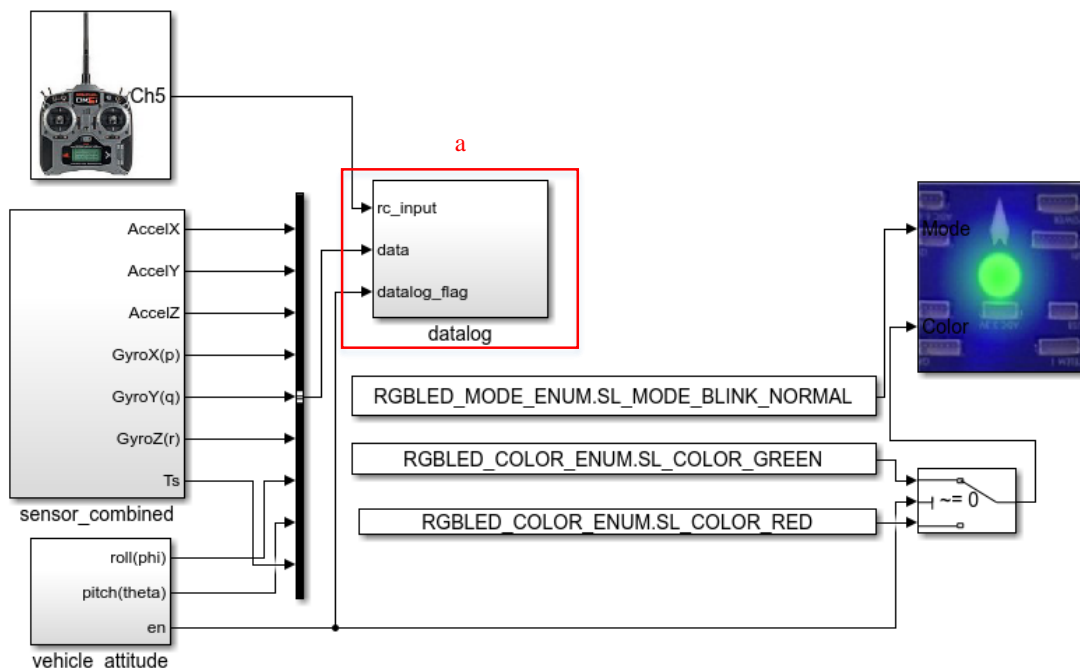
②：须保证平台安装时的编译命令为：px4_fmu-v6c_default，固件版本为：1.13.3。其他配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

③：本实验演示所使用的遥控器为：天地飞 WFLY-ET10、配套接收器为：WFLY-RF209 S。遥控器相关配置见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

6、实验步骤

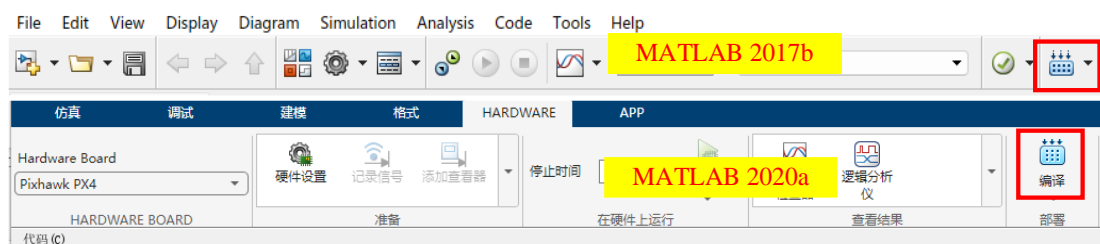
Step 1:

打开”log_data.slx”文件。该文件使用 PSP 工具箱的模块搭建，可以读取加速度、角速度、时间戳和飞控自带算法解算出的姿态角数据。我们可以使用遥控器控制开始写入数据以及停止写入数据，最终将数据存储到飞控的 SD 中。

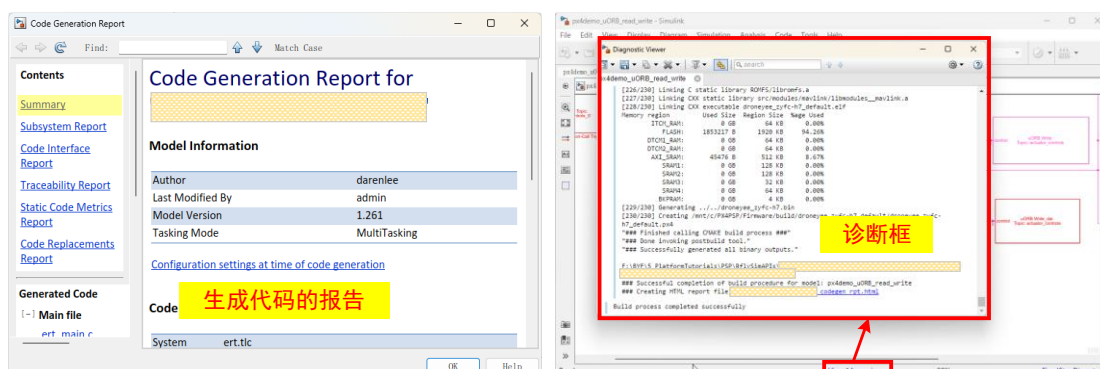


Step 2:

编译并下载文件“log_data.slx”到 Pixhawk 中。

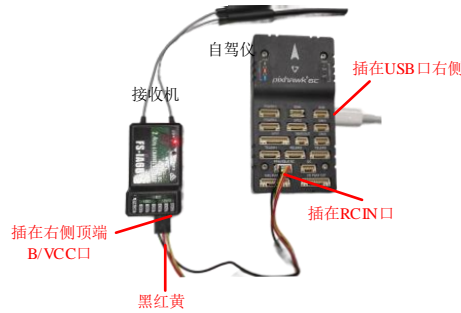


在 Simulink 的下方点击 View diagnostics 指令，即可弹出诊断对话框，可查看编译过程。在诊断框中弹出 Build process completed successfully，即可表示编译成功，左图为生成的编译报告。



Step 3:

用 USB 数据线链接飞控与电脑。在 MATLAB 命令行窗口输入：PX4Upload 并运行或点击 PX4 PSP: Upload code to Px4FMU，弹出 CMD 对话框，显示正在上传固件至飞控中，等待上传成功。



Step 4:

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，开始采集数据。手动转动飞控，在数据采集完成后将遥控器 CH5 拨到最底部停止写数据到 SD 卡。**注：手动控制应该注意什么时候开始写入数据，什么时候停止写入数据，避免写入很多无用的数据。**

Step 5:

将 SD 卡取出，使用读卡器将文件“e4_A.bin”复制到实验代码目录“e4\4.1”下。使用函数

```
[datapoints, numpoints] = px4_read_binary_file('e4_A.bin')
```

解码数据，数据保存在“datapoints”中，数据个数保存在“numpoints”中。

Step 6:

互补滤波器可参考“Attitude_cf.m”文件。其中，“theta_am”和“phi_am”分别代表由加速度计计算出的俯仰角和滚转角； theta_cf”和“phi_cf”分别代表由互补滤波计算出来的俯仰角和滚转角。

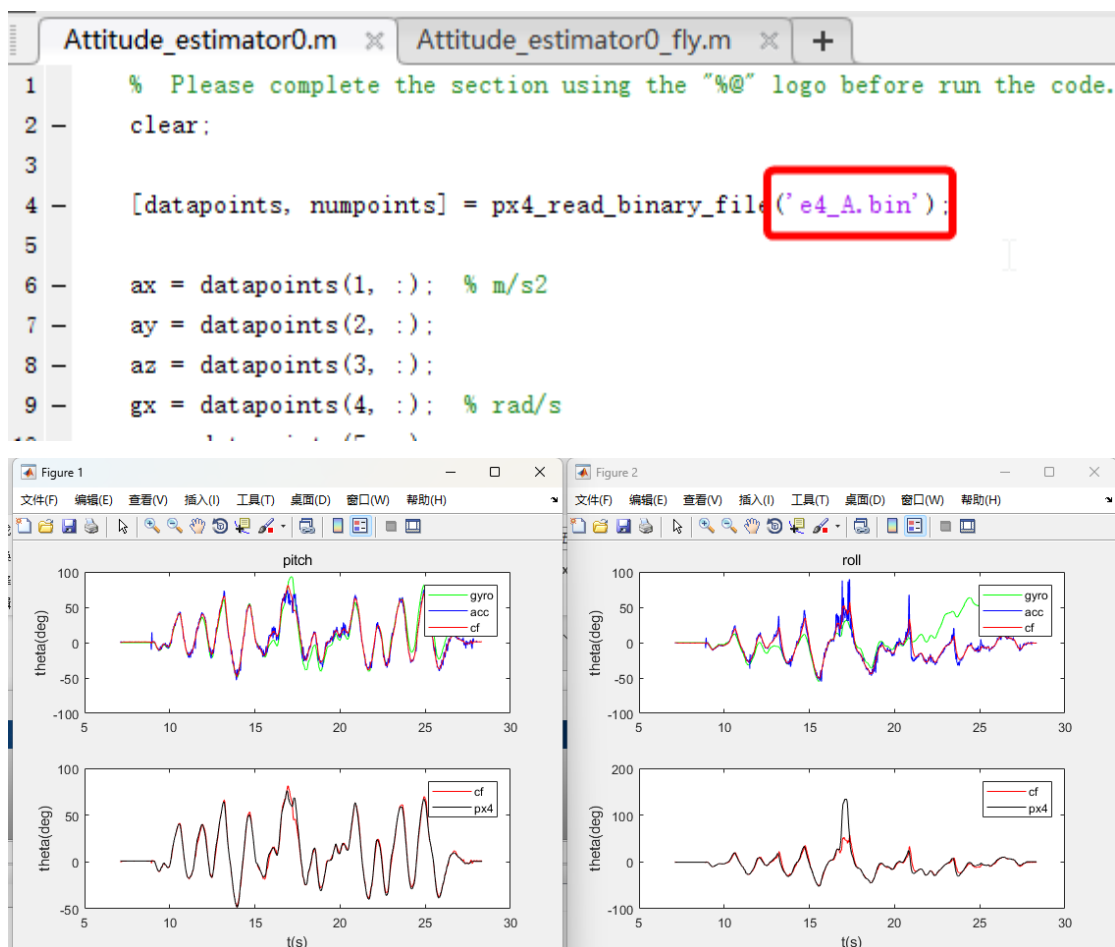
```
function [ phi_cf, theta_cf ] = Attitude_cf(dt, z, phi_cf_k, theta_cf_k, tao)
%函数描述:
% 互补滤波姿态结算。
%输入:
% dt: 时间间隔,单位: s
% z: 三轴角陀螺仪和三轴加速度计测量值, [gx, gy, gz, ax, ay, az]',
% 单位: rad/s, m/s2
% phi_cf_k, theta_cf_k: 上一时刻的角度值, 单位: rad
% tao: 滤波器系数
%输出:
% phi_cf, theta_cf: 解算的姿态角, 单位: rad
gx = z(1); gy = z(2);
ax = z(4); ay = z(5); az = z(6);
%使用加速度计测量值计算姿态角
g = sqrt(ax*ax + ay*ay + az*az);
theta_am = asin(ax/g);
phi_am = -asin(ay/(g*cos(theta_am)));
```

```

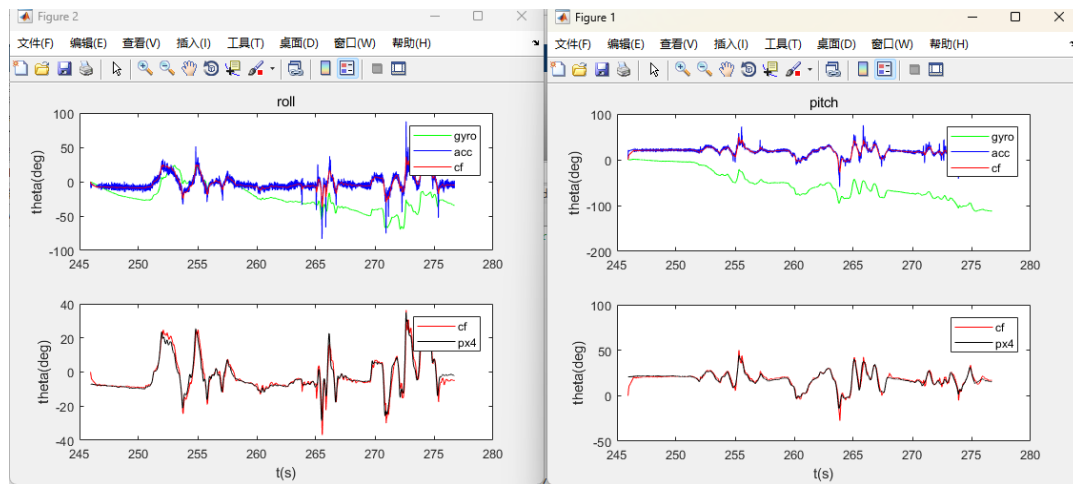
%互补滤波
theta_cf = tao/(tao + dt)*(theta_cf_k + gy*dt) + dt/(tao +
dt)*theta_am;
phi_cf = tao/(tao + dt)*(phi_cf_k + gx*dt) + dt/(tao +
dt)*phi_am;
end

```

运行“Attitude_estimator0.m”文件，即可看到硬件在环仿真时，生成的陀螺仪数据，得到的姿态角对应“gyro”、直接使用加速度计数据计算的姿态角对应“acc”、使用互补滤波解算的姿态角对应“cf”和PX4自带算法解算的姿态角对应“px4”。**注：运行时请注意下图文件名与自主采集的数据文件名相同。**



运行“Attitude_estimator0_fly.m”文件，即可看到实飞时，生成的陀螺仪数据，得到的姿态角对应“gyro”、直接使用加速度计数据计算的姿态角对应“acc”、使用互补滤波解算的姿态角对应“cf”和PX4自带算法解算的姿态角对应“px4”。



7、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.
- [3]. 第 08 讲_实验四_滤波器设计实验.pptx.
- [4]. 第 08 讲_可观性和卡尔曼滤波器 V2.pptx.

8、常见问题

Q1: 无

A1: 无

1、实验名称及目的

分析实验：基于基础实验，将互补滤波器

$$\hat{\theta}(k) = \frac{\tau}{\tau + T_s} (\hat{\theta}(k-1) + T_s \omega_{ybm}(k)) + \frac{T_s}{\tau + T_s} \theta_m(k)$$

的参数 τ 值进行改变，对所给数据进行滤波，分析滤波器系数对滤波效果的影响。

3、实验原理

在互补滤波器中，滤波器系数对滤波器的效果具有重要影响。滤波器系数反映了对传感器数据或测量信号的不同权重分配，可以理解为各个数据源在最终估计结果中的相对贡献程度。滤波器系数的选择应根据具体的应用需求和系统特性进行调整。以下是对滤波器系数对滤波器效果的几个方面影响的原理解释：

1、传感器可靠性和准确性：滤波器系数可以用来表示传感器的可靠性和准确性。对于更可靠、准确的传感器，可以分配较大的系数，使其在滤波器输出中具有更大的权重。这样可以确保更可靠的传感器的数据更大程度地影响最终估计结果，从而提高整体滤波器的准确性。

2、噪声和不确定性处理：如果某个传感器存在较大的噪声或不确定性，可以分配较小的滤波器系数，以减小其在滤波器输出中的权重。这有助于抑制噪声对最终估计结果的影响，并提高滤波器对于稳定信号的跟踪能力。

3、响应速度和时延：滤波器系数还可以影响滤波器的响应速度和时延。较大的系数将使滤波器更快地响应输入信号的变化，但可能会引入较大的误差。较小的系数可以平滑估计结果，减少噪声，但会导致相对较长的滞后时延。

选择滤波器系数通常需要进行实验和调试，以平衡对可靠性、准确性、响应速度和时延等因素的权衡。在实际应用中，根据具体情况可以采用经验法则、实时监测和反馈控制等方法来优化选择滤波器系数，以达到最佳的滤波效果。重要的是要根据应用的特定要求和系统的特征定制滤波器系数，以提高滤波器的性能和适用性。

详细内容请参考上层路径文献[7]第 08 讲_实验四_滤波器设计实验.pptx，文献[8]第 08 讲_可观性和卡尔曼滤波器 V2.pptx。

3、实验效果

互补滤波算法中对陀螺仪和加速度计数据的使用是通过参数 τ 来控制的，改变 τ 值大小会影响互补滤波效果。当 τ 值很大时，加速度计所起的作用很小，主要使用陀螺仪的值，而当 τ 值很小时，陀螺仪所起的作用很小，主要使用加速度计的值。

4、文件目录

文件夹/文件名称	说明
----------	----

Attitude_cf_tao.m	互补滤波器
logdata.mat	传感器数据

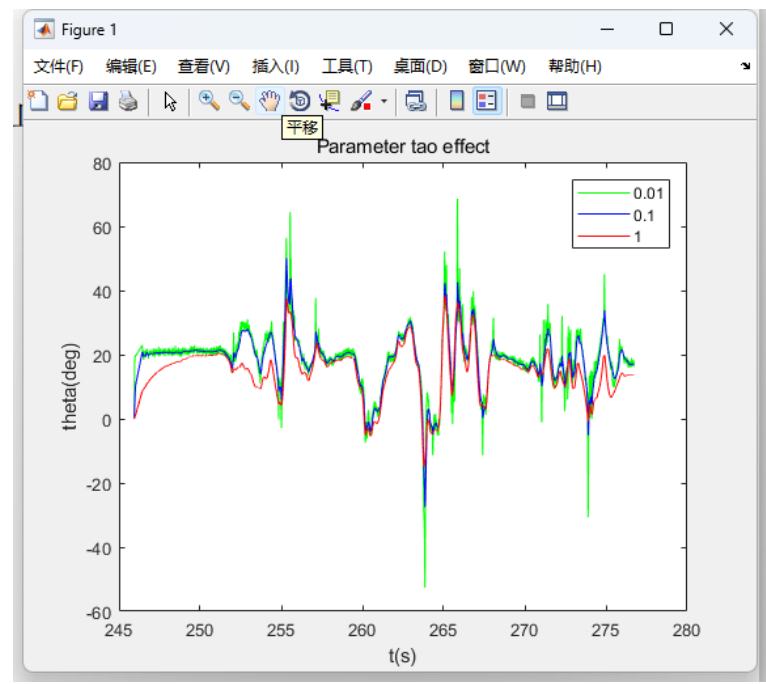
5、运行环境

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 ^①	1
2	RflySim 平台免费版		
3	MATLAB 2017B 及以上		

6、实验步骤

Step 1:

在 MATLAB 中运行文件 “Attitude_cf_tao.m”，得到 τ 分别为 0.01，0.1，1 时的滤波效果，如图所示。



7、参考文献

[5]. 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.

[6]. 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.

[7]. 第 08 讲_实验四_滤波器设计实验.pptx.

[8]. 第 08 讲_可观性和卡尔曼滤波器 V2.pptx.

8、常见问题

Q1: 无

A1: 无

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、实验原理

卡尔曼滤波是一种用于估计系统状态的递归滤波器，它结合了系统的动态模型和传感器测量数据，提供了对系统状态的最优估计。卡尔曼滤波的原理基于线性系统和高斯噪声的假设。卡尔曼滤波的原理可以分为两个主要步骤：预测和更新。

1、预测（时间更新）步骤：

在预测步骤中，基于系统的动态模型，使用先前的状态估计和控制输入，预测系统在下一个时间步的状态。这个预测通过以下两个方程完成：状态预测方程（系统模型）：根据系统的动态方程和控制输入，估计系统在下一个时间步的状态。协方差预测方程：估计系统状态的不确定性或协方差随时间的演化。

2、更新（测量更新）步骤：

在更新步骤中，基于传感器的测量数据，将预测的状态与测量数据进行融合，得到对系统状态的更新估计。这个更新通过以下两个方程完成：卡尔曼增益方程：计算卡尔曼增益，该增益决定了预测状态与测量数据之间的权衡。状态更新方程：根据卡尔曼增益和测量数据，更新系统状态的估计值，并计算更新后的协方差。卡尔曼滤波的关键思想是不断对系统状态进行迭代优化，通过结合先前的状态估计和新的测量数据，得到更准确的状态估计，并且考虑了状态估计的不确定性。需要注意的是，卡尔曼滤波仅在满足线性系统模型和高斯分布噪声假设的情况下才能提供最优的估计。对于非线性系统或非高斯噪声，可以使用扩展卡尔曼滤波（EKF）或无迹卡尔曼滤波（UKF）等变种来进行状态估计。

详细内容请参考上层路径文献[7]第 08 讲_实验四_滤波器设计实验.pptx，文献[8]第 08 讲_可观性和卡尔曼滤波器 V2.pptx。

3、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。

4、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）

5、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 ^①	1
2	RflySim 平台免费版	Pixhawk 6C 飞控 ^②	1
3	MATLAB 2017B 及以上	遥控器 ^③	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：px4_fmu-v6c_default，固件版本为：1.13.3。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：天地飞 WFLY-ET10、配套接收器为：WFLY-RF209 S。遥控器相关配置见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

6、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);
```

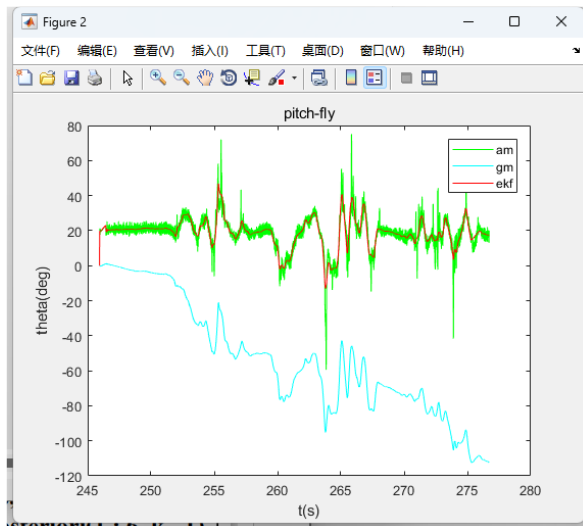
```

% -(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

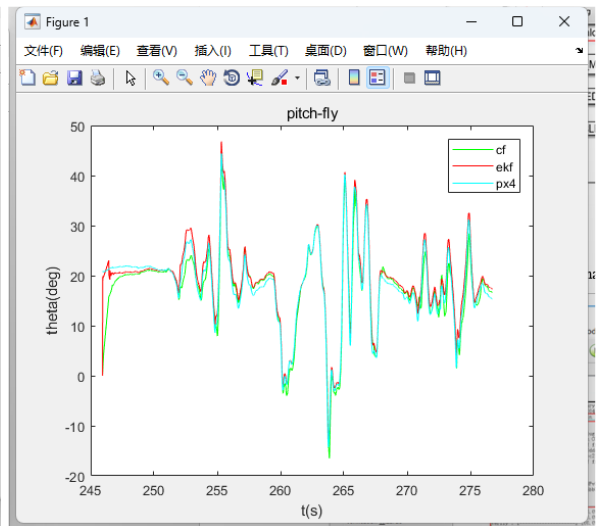
```

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。



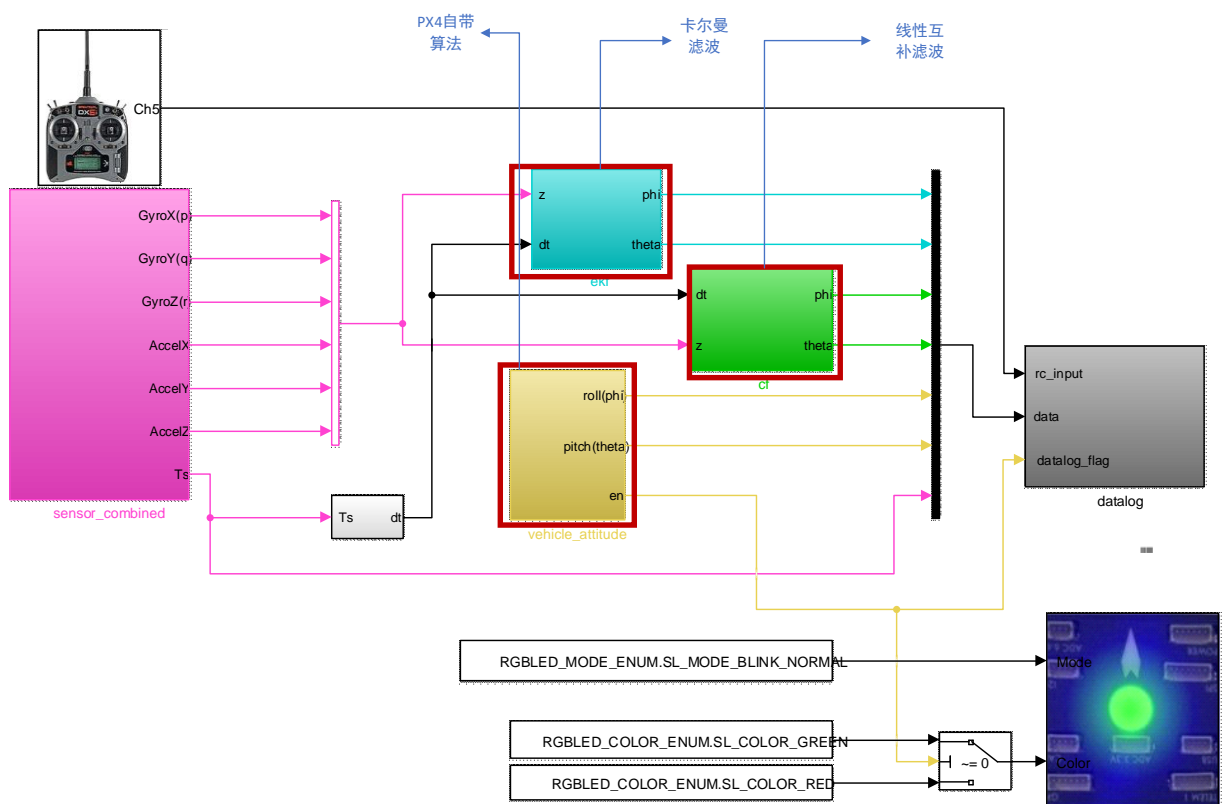
对陀螺仪与加速度计数据进行卡尔曼滤波



卡尔曼滤波对比线性互补滤波与PX4自带滤波算法

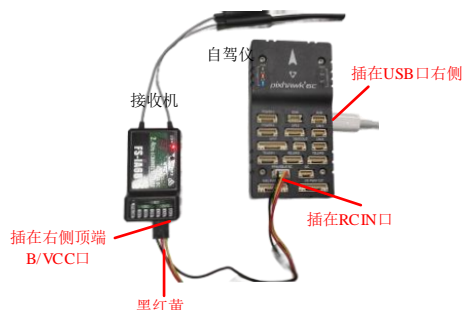
Step 3:

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 4:

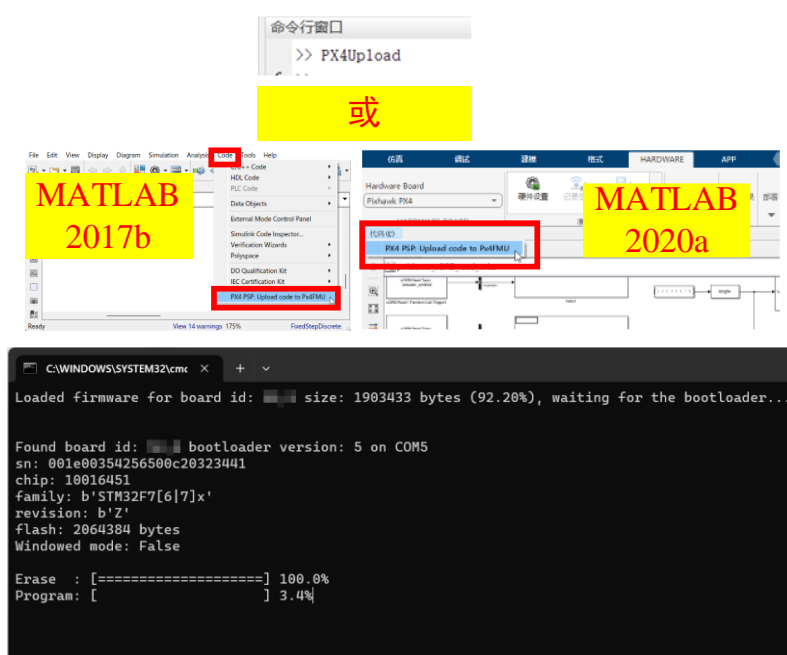
将遥控器与遥控器接收器对码完成并在飞控中插入 SD 卡后，如图将遥控器接收机和飞控连接好。



注意：电源线接线顺序从上到下依次为黑红黄

Step 5:

在 MATLAB 命令行窗口输入：PX4Upload 并运行，弹出 CMD 对话框，显示正在上传固件至飞控中，等待上传成功。



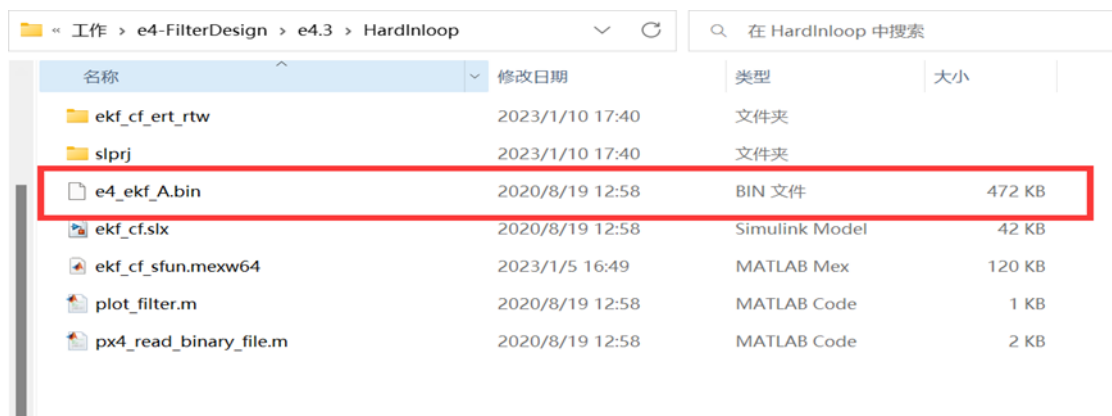
。

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。

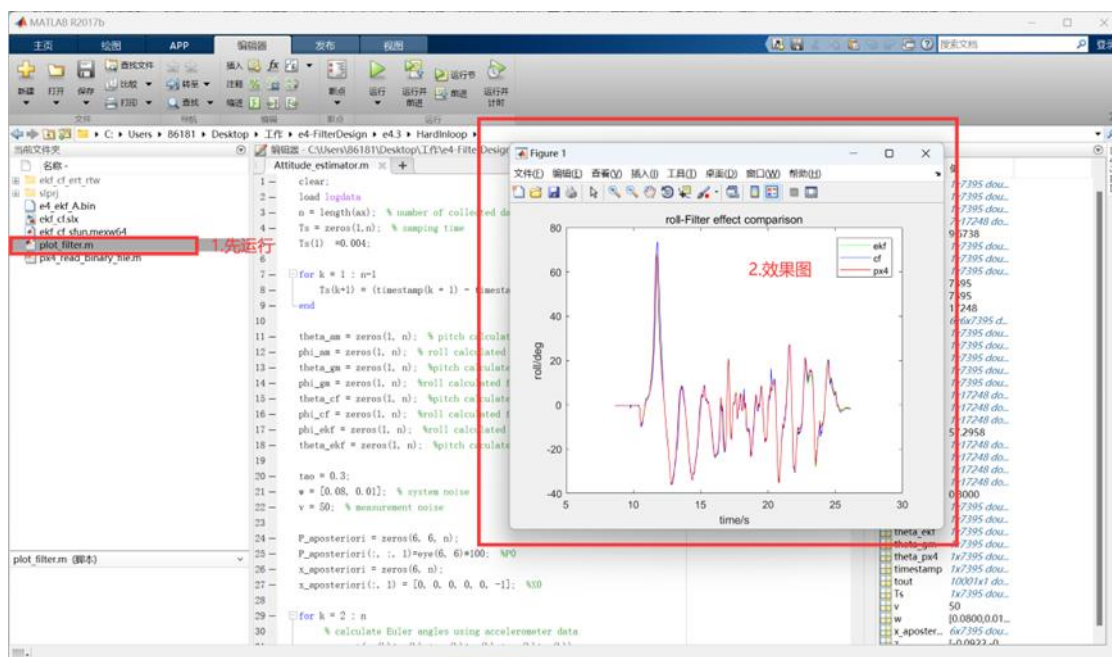
Step 7:

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\4.3”。



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。



7、参考文献

- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. 第 08 讲_实验四_滤波器设计实验.pptx.
- [12]. 第 08 讲_可观性和卡尔曼滤波器 V2.pptx.

8、常见问题

Q1: 无

A1: 无