

## 1、实验名称及目的

传感器标定实验：使用 Levenberg-Marquardt(LM)算法实现三轴加速度计的标定。

## 2、实验效果

通过建立误差模型和 LM 算法，最终得到标定后的参数如下图：

```
***Accelerometer data collected***  
***The collected data are averaged from the previous 100 data points***  
**** The first derivative of Fx tends to zero ****  
**** epsilon_1 = 1.000000e-06  
***Number of iterations: 3.000000e+00  
  
Ka9_8 =  
  
    0.9992    0    0  
    0    0.9984    0  
    0    0    1.0007  
  
ba9_8 =  
  
    0.0107  
    0.0038  
   -0.0114
```

## 3、文件目录

文件夹/文件名称		说明
rawdataFile	e_acc_A.bin	飞控飞行日志文件。
px4_read_binary_file.m		MATLAB 飞行日志读取处理函数。
acquire_data_ag.slx		获取飞控中加速度计数据模型文件。
calFunc.m		加速度计误差模型函数
callM.m		对飞控中采集到的数据基于误差模型进行计算并标定。
lm.m		Levenberg-Marquardt 求解最小值函数。
Methods for Non-Linear Least Squares Problems.pdf		非线性最小二乘问题的方法介绍文档，其中有对 The Levenberg-Marquardt Method 的详细讲解。
calP9_8.mat		标定后的尺度因子和偏移的 mat 文件，用于 e3.2 小节。
AccRaw.mat		采集的特征点 mat 文件，用于 e3.2 小节。
accdata.mat		原始的加速度计数值，用于 e3.2 小节。

## 4、运行环境

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

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

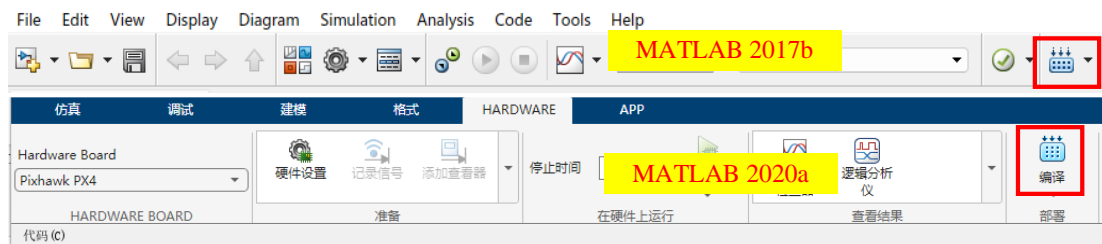
配套飞控请见：<http://doc.rflysim.com/hardware.html>

- 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

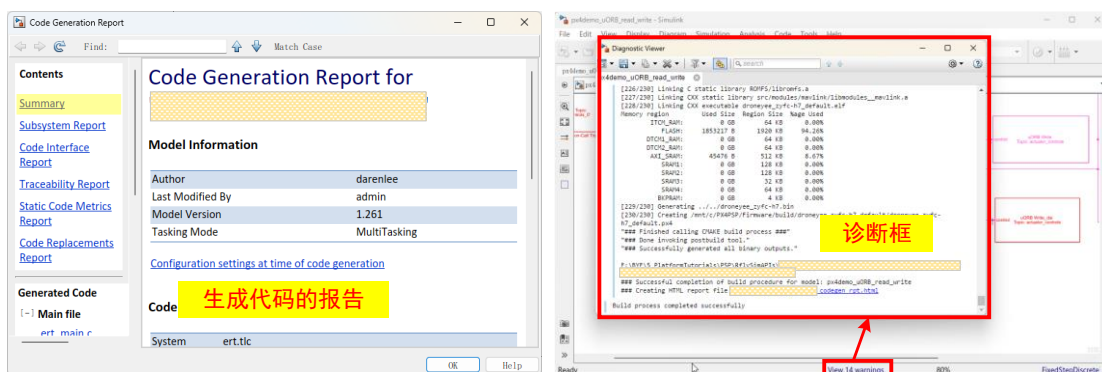
### Step 1:

打开 MATLAB 软件，在 MATLAB 中打开 acquire\_data\_ag.slx 文件，在 Simulink 中，点击编译命令。



### Step 2:

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。



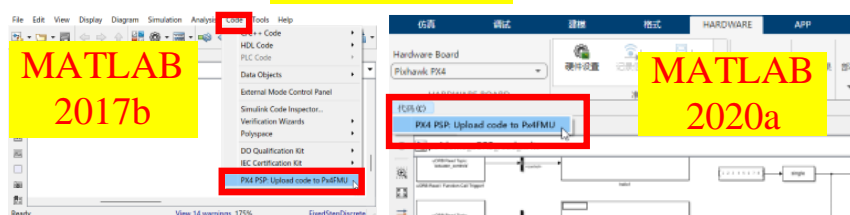
### Step 3:

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。



命令行窗口  
>> PX4Upload

或



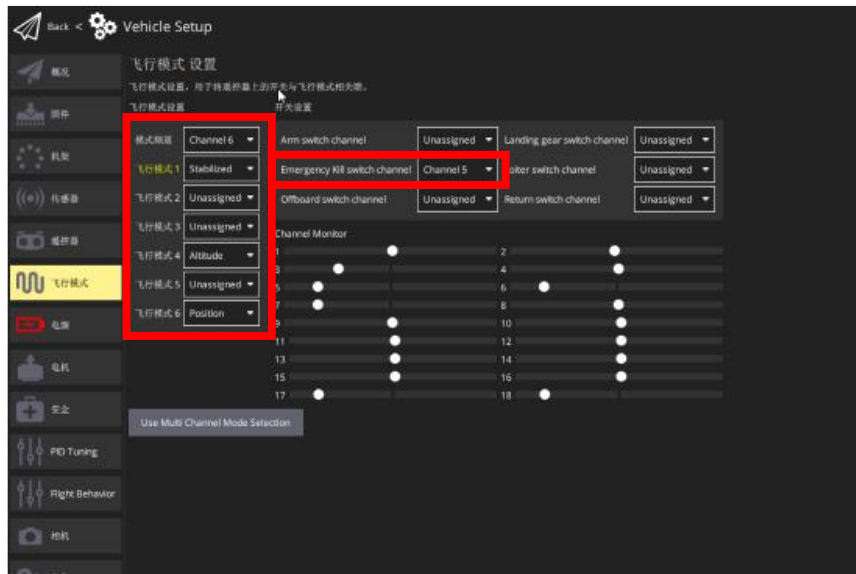
```
C:\WINDOWS\SYSTEM32\cmd
Loaded firmware for board id: size: 1903433 bytes (92.20%), waiting for the bootloader...

Found board id: bootloader version: 5 on COM5
sn: 001e00354256500c20323441
chip: 10016451
family: b'STM32F7[6|7]x'
revision: b'Z'
flash: 2064384 bytes
Windowed mode: False

Erase : [=====] 100.0%
Program: [ ] 3.4%
```

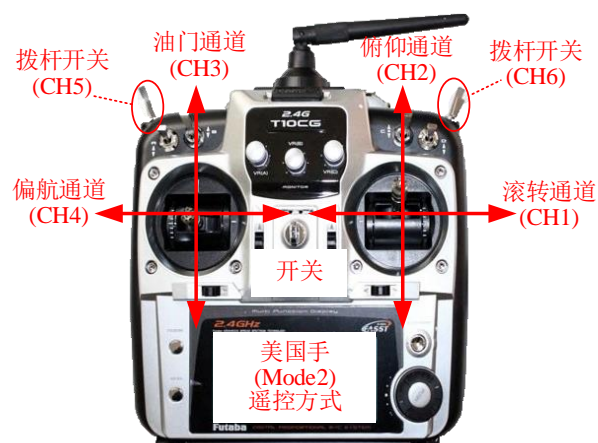
## Step 4:

上传成功后，打开 QGroundControl 软件。确认无人机机架及遥控器通设置如下：



## Step 5:

遥控器的设置如下图。注：遥控器设置中，CH5 通道需设置为二段式开关，CH6 通道设置为三段式开关。



## Step 6:

拨动遥控器的 CH5 到最底部，即：CH5>1500，自驾仪开始往 SD 卡中写入数据，模型中设置的是采集十个特征点，所以需要将自驾仪面向十个方向放置，将飞控分别按照下

图进行摆放，每次放置的时候保持自驾仪不动，红灯慢闪说明采集到一个特征点，采集到全部特征点时红灯将快闪。采集完成后将遥控器 CH5 拨到最底部，即：CH5<1500，停止写数据到 SD 卡。

注：若暂时无法采集到飞控中的数据，可使用本实验文件夹中的“rawdataFile/e3\_A.bin”文件，也可进行下一步实验，但需将 e3\_A.bin 文件复制到本实验文件夹中。



① 朝上



② 朝下



③ 朝左



④ 朝右



⑤ 朝前



⑥ 朝后



⑦ 朝左45°



⑧ 朝右45°



⑨ 朝前45°



⑩ 朝后45°

## Step 7:

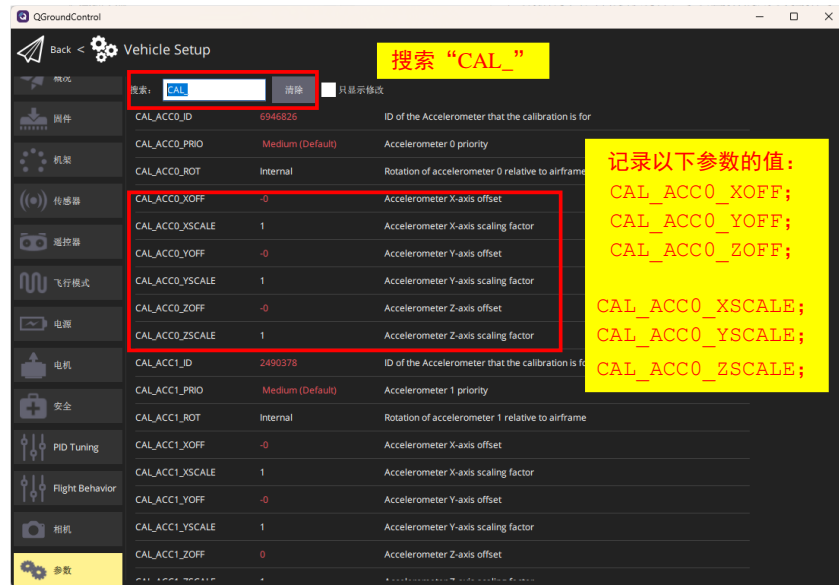
读取数据。将 SD 卡取出，使用读卡器将文件“log/e\_acc\_A.bin”复制到目录到本实验文件夹中，使用本实验所提供的函数，在 MATLAB 命令行中依次逐行输入：

```
clear;clc;
[datapoints, numpts]=px4_read_binary_file('e_acc_A.bin');
acc_acq_num = size(find(datapoints(4, :)),2)
```

最终数据保存在“datapoints”中，数据个数保存在“numpts”中，采集到的特征点将保存到“acc\_acq”中。注：若依次运行完上述命令后，得出的“acc\_acq\_num” $\neq 10$ ，即表示 Step 6 中未完全采集所有特征点，需重复 Step 6 或使用“rawdataFile/e3\_A.bin”文件

## Step 8:

打开 QGC 软件，在飞控与电脑正常连接的情况下，在“Vehicle Setup”-“参数”中，进行如下图的操作。



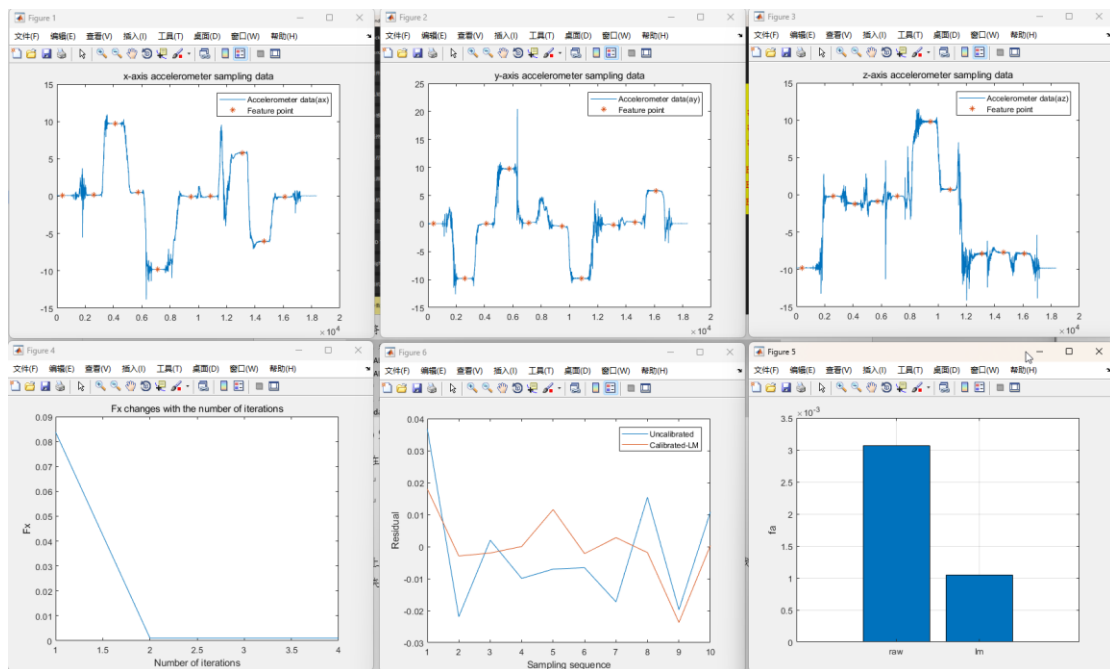
将记录的数值对应填写在 calLM.m 文件中，如下所示：

```
% 程序第 18 行
CAL_ACC_SCALE= [1;1;1]; % 3*1
CAL_ACC_OFF=[0;0;0]; % 3*1

% 确认第 21 行程序中的 bin 文件名称是否与采集到的文件名称对应。
[datapoints, numpoints] = px4_read_binary_file('e_acc_A.bin');
```

## Step 9

在 MATLAB 中，运行 calLM.m 文件，MATLAB 将会弹出如下图像，其中第 1 行分别是：X、Y、Z 轴的加速度计的采集数据和特征点，第 2 行分别是：LM 算法的迭代次数、标定前后的对比图、标定前后的数据指标图。



MATLAB 命令行中也将弹出，最终标定后的参数，如下图所示。

---

```
***Accelerometer data collected***  
***The collected data are averaged from the previous 100 data points***  
**** The first derivative of Fx tends to zero ****  
**** epsilon_1 = 1.000000e-06  
***Number of iterations: 3.000000e+00  
  
Ka9_8 =  
  
    0.9992      0      0  
      0    0.9984      0  
      0      0    1.0007  
  
ba9_8 =  
  
    0.0107  
    0.0038  
   -0.0114
```

## 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.