

ANO TC ANO Technology&Creation

匿名科创

凌霄飞控

用户手册

V1.05

2021.05.16

匿名团队出品

踏实做技术，用心做飞控

匿名 Q 群 | 190169596

匿名官网 | www.anotc.com

匿名网店 | anotc.taobao.com

目录

1	凌霄飞控特点及功能.....	4
1.1	凌霄飞控的特点	4
1.2	凌霄飞控系统硬件组成.....	5
1.3	凌霄飞控的“无限”可能性	6
1.4	凌霄 IMU 的功能	7
1.5	凌霄 IMU 支持的 API 指令	8
2	凌霄飞控系统硬件介绍.....	9
2.1	凌霄飞控硬件组成	9
2.2	凌霄飞控接口介绍	10
3	凌霄飞控使用方法	11
3.1	凌霄飞控配置步骤	11
3.2	凌霄飞控如何连接上位机.....	12
3.2.1	方法 1: 使用 USB 线.....	12
3.2.2	方法 2: 使用匿名数传	12
3.2.3	方法 3: 使用其他数传	12
3.3	凌霄飞控校准方法	13
3.4	飞行器相关配件连接配置.....	14
3.4.1	电机、电调连接	14
3.4.2	电源连接.....	14
3.4.3	接收机连接.....	14
3.4.4	遥控器配置.....	15
3.4.5	光流模块连接.....	15
3.4.6	GPS 模块连接	15
3.5	凌霄飞控的基本操作方法.....	16
3.5.1	飞控解锁、加锁	16
3.5.2	飞控基本遥控飞行	16
3.5.3	飞行模式切换.....	17
3.5.4	失控保护.....	17
3.5.5	低电压保护.....	17
3.6	凌霄 IMU 灯光信息	19
4	其他知识点	20
4.1	匿名坐标系	20
4.2	单参数调参	20

手册更新简略说明

V1.05: 更新罗盘型号, 加入 QMC6310

V1.04: 更新 3.5.4 飞控模式切换部分内容。

V1.03: 更新 3.6 罗盘灯光指示说明。

更新 3.5 部分说明内容。

V1.02: 更新 3.4, 第 4 条, aux 通道说明。

V1.01: 更新 3.6 部分灯光信息说明。

V1.00: 初版。

注意事项

- 1、 安装飞行器时，请确保飞行器重心在机架中心，有负载的在机架中心的垂直方向上。
- 2、 在固件升级、调试过程中请断开电调与电池的连接或移除所有桨翼！
- 3、 飞行时切记先打开遥控器，然后启动多旋翼飞行器！着陆后先关闭飞行器，再关闭遥控器！
- 4、 切勿将油门的失控保护位置设置在 50%以上。
- 5、 在正常飞行过程中应避免摇杆打到“内八”或“外八”的位置，避免触发紧急上锁导致坠机！
- 6、 低压保护的目的是不是娱乐！在任何一种保护情况下，您都应该尽快降落飞行器，以避免坠机等严重后果！
- 7、 GPS 与指南针模块为磁性敏感设备，应远离所有其他电子设备。
- 8、 GPS 模块为选配模块(非标配)，请选用此模块的用户关注说明书中涉及 GPS 的内容，未选用此模块的用户请忽略 GPS 控制模式下的相关内容。
- 9、 强烈建议将接收机安装到机身板下面，天线朝下且无遮挡，以避免无线信号因遮挡丢失，而造成失控。(经验：数传天线与接收机天线呈 90 度摆放，尽量不要平行，防止无线信号互相干扰)
- 10、 飞行前请检查所有连线正确，并且确保连线接触良好。
- 11、 使用无线视频设备时，安装位置请尽量远离主控制系统 (>25cm)，以避免天线对主控制器造成干扰。
- 12、 飞控必须使用多旋翼专用电调（一般不带 bec 功能），使用旧版固定翼飞机使用的电调（比如天行者/skywalker）会出现偶然无规律的抖动、甚至炸鸡等异常现象。
- 13、 请尽量使用质量较好的电机、电调、螺旋桨，特别是螺旋桨，动平衡相当重要，推荐电调使用好赢乐天，电机和螺旋桨使用大疆、银燕、朗宇等产品。只有搭配良好的飞行器套件才会取得优秀的飞行效果。
- 14、 飞控更新源码的版本后，一定要清空所有参数，恢复默认 PID，恢复默认参数，然后重新校准所有传感器，避免出现参数异常。

1 凌霄飞控特点及功能

1.1 凌霄飞控的特点

纵观近两年各类多旋翼相关比赛的规则和大家的“解题思路”，我们发现，比赛限制飞控完全自制的情况几乎没有，而且从零开始做竞赛用飞控也几乎无法拿奖，飞控工程越来越复杂，比赛时间却相当紧迫，短时间内能飞稳定就以及很难了，更别说去调试导航以及目标识别。同时比赛也越来越趋向于考核大家多传感器融合导航以及目标识别的能力，已经不是 N 年前自己写个飞控，能悬停就能拿奖的阶段了。

此时，飞控越来越扮演着一个基础模块的角色，用竞赛组织方规定的 mcu 充当大脑，大脑综合各个传感器的信息，进而通过控制指令来控制飞控完成规定的飞行动作。

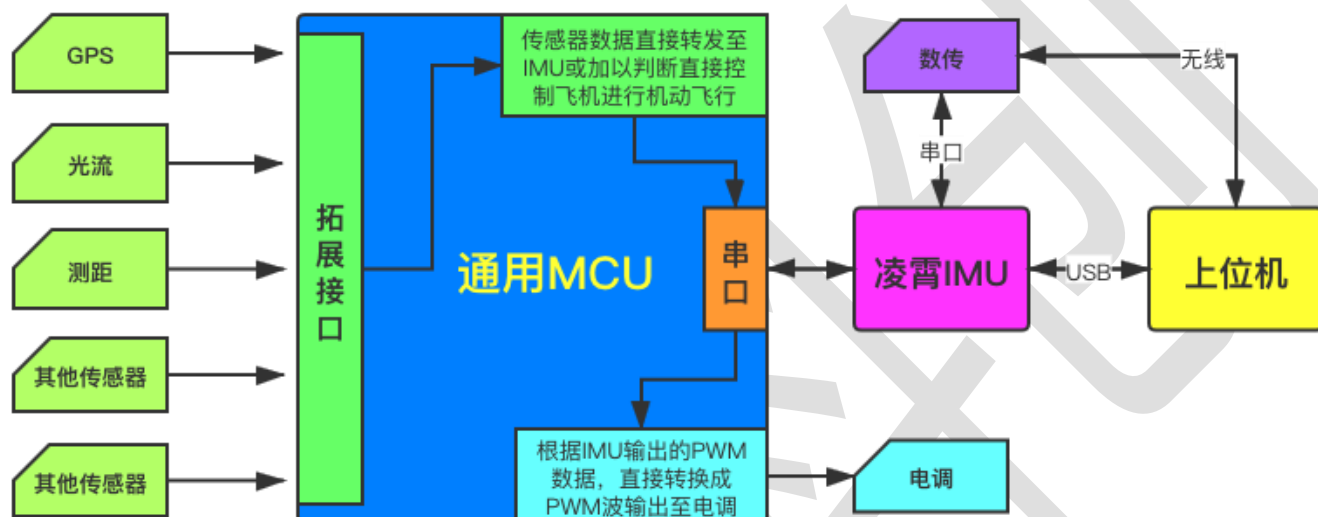
鉴于此，为了进一步提升性能和简化二次开发难度，匿名团队开发了新款凌霄飞控，在提供稳定飞行性能的同时，提供专用的二次开发接口，让不关心飞控底层的用户能够以更快的速度高效率的对飞控进行二次开发，只需发送前进后退的命令，即可完成指定动作的飞行，快速完成需要功能并能稳定的执行飞行任务。

目前飞控技术越来越复杂，国内各家开源飞控都出现了为了保留核心竞争力而不完全开源的情况（打着开源的旗号，却在源码设置重重阻碍，例如关键源码改为汇编或者关键源码封装成 lib，不提供源码），匿名创新的采用了硬件模块分离的思路，将不开源的部分做成单独硬件，也就是“凌霄 IMU”，相比汇编、lib 封装的模式，其移植需要在特定编译器、特定 mcu 系统间进行，且随着二次开发的进行，有用户代码影响核心飞控源码的风险。

而匿名的模块化方案，完全不限限制外部 MCU 以及编译环境，比如 51、STM、NXP 甚至树莓派等，都可以简单的配合凌霄 IMU 从而组成性能强劲的飞控系统，各种竞赛官方要求的核心板更是不在话下。同时匿名团队依然坚持保留完全开源的拓空者系列飞控，让需要了解飞控底层的用户能得到完整的飞控源码，充分了解底层，滤波、姿态解算、控制逻辑等。飞控相关源码均为标准 C 语言格式，并尽量做好注释，方便用户对飞控底层的学习和移植。

1.2 凌霄飞控系统硬件组成

凌霄飞控系统的核心是匿名凌霄 IMU 模块。由凌霄 IMU 完成传感器融合、数据滤波、姿态解算、控制算法以及电机 PWM 输出。此时，只需要由一个辅助单片机，将遥控控制数据或者用户导航指令，通过串口发送给凌霄 IMU，然后接收凌霄 IMU 输出的 PWM 数据并转换成 PWM 波输出给电调，即可完成整个飞控的功能。其逻辑框图如下：



看似通用 MCU 需要做许多工作，但我们仔细梳理一下通用 MCU 必须要做的事情：

■ 驱动部分：

- 接收机信息采集：串口采集 SBUS 信号或者 IO 采集 PWM 信号，仅仅需要 IO 驱动或者串口驱动。
- GPS 信息采集：串口驱动
- 光流信息采集：串口驱动
- 其他传感器信息采集：IO、PWM、串口等驱动
- 电调控制：PWM 输出，PWM 驱动
- 电池电压监测：ADC 驱动
- 与凌霄 IMU 通信：串口驱动

综上：通用 MCU 只需要串口驱动、IO 驱动、PWM 驱动、ADC 驱动即可，可以说对任意单片机来说这些都是最最基础的外设了。

■ 算法部分：

- 遥控控制飞控飞行：直接将采集到的遥控控制数据转发至 IMU 即可，无需任何算法。
- 传感器数据处理：GPS、光流传感器数据仅需通用 MCU 采集并转发至 IMU，无需任何算法，同时 GPS、光流数据及其他传感器对用户是开放的，用户可直接使用，加入自己的导航逻辑。
- 控制算法：所有滤波、姿态、控制算法，均在 IMU 内部运行，凌霄 IMU 直接输出 PWM 数值给通用 MCU，通用 MCU 只需将 PWM 数值转换成 PWM 波输出，无需任何算法。

综上：在不增加导航控制逻辑的情况下，通用 MCU 部分几乎不用加任何逻辑算法，仅仅进行数据转发和执行即可。

1.3 凌霄飞控的“无限”可能性

从以上分析可以看出，通用 MCU 几乎就是只进行消息的传递，那么可能有人会有疑问，那还要这个通用 MCU 干什么，直接凌霄 IMU 自己做好了。这个问题很好，凌霄飞控系统的设计思路，就是为了冲破这个疑问。

■ 这个疑问暂且不谈，我们先看看想要控制一个飞控，有哪些方法：

◇ A: 遥控器控制

◇ B: 修改飞控源码，加入一个自己的 pid，根据某个传感器数据，进行 pid 运算，使用速度闭环或者位置闭环控制飞控。

■ 那么我们再看看两种控制方法的特点：

◇ A: 匿名称之为“人眼 PID”，全由人控制，仅能用于娱乐或者简单用途，精确控制是不可能的。

◇ B: 可以实现自动飞行、复杂控制逻辑，并且控制精度高，自动化程度高。但是，修改飞控源码是那么的简单的吗，肯定不是的。修改源码其难度随着飞控技术的进步，同步提高，必须要看懂源码，才能知道自己需要加入的逻辑从哪下手。

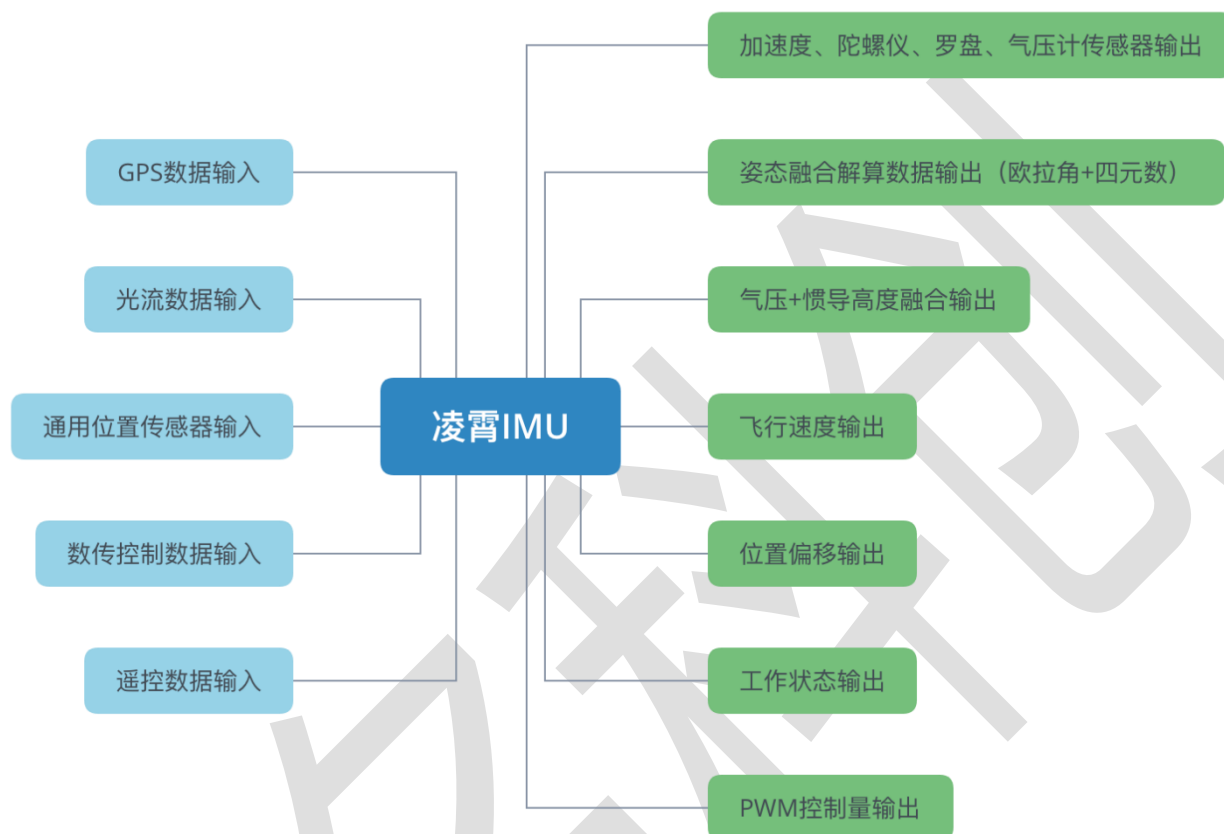
目前开源飞控的窘境就是在此，开源飞控功能越来越多，控制算法复杂度越来越高，飞行效果越来越好，同时提高的，还有新手的入门难度，想要二次开发的开发难度。

那比如我是做导航算法的，或者我是做避障算法的，或者我是做图像识别、视觉控制的，需要一个无人机载体，又或者我是参加电赛的，无人机只是我的一个运行载体，我需要通过视觉或多传感器组合识别、检测、导航等方式控制无人机实现一定的飞行任务，很明显，A 控制方案肯定是行不通的。B 方案呢，可行，但是这和我的初衷不是一个方向，我仅仅需要飞控稳定飞行并且按我要求执行飞行动作即可，而从头学习飞控底层系统会浪费大量时间和精力。

此时，有一个“模块”，你只需通过串口，发送速度和方向，或者发送目标点坐标和速度，那么这个“模块”就能直接输出电机所需的 PWM 信息，从而控制飞机按指令飞行呢？不用担心，凌霄 IMU 就是这个模块，它全都帮你搞定，你只需告诉它，你需要怎么飞。你可以用 51 去控制它，可以用 ARM 去控制它，还可以用 arduino、树莓派去控制它，将你的工作重心转移到无人机上层的检测、感知、识别和控制上，而无需关心飞控底层算法，就像使用无刷电调那样的来使用凌霄 IMU。

1.4 凌霄 IMU 的功能

凌霄 IMU 具有的主要功能如下：



1.5 凌霄 IMU 支持的 API 指令

凌霄 IMU 所有功能的输入输出均通过串口实现,支持全面的串口指令控制。其支持的串口 API 指令如下:

- 移动控制指令: 格式: 移动距离+移动速度+移动方向, 可实现 0-359 度随意方向的移动 (须有光流或 GPS)。
- 一键飞行指令: 格式: 期望动作, 如一键解锁, 一键锁定, 一键悬停, 一键降落, 一键返航等。
- 目标点飞行指令: 格式: 目标 XYZ 坐标, 可实现指点飞行, 飞行器自动飞向目标点 (近期固件升级实现)。
- 高度控制指令: 格式: 目标高度+变化速度, 可通过该指令控制飞行器的上升下降。
- 姿态控制指令: 格式: 期望姿态角, 可直接通过该指令控制飞行器的姿态。
- 速度控制指令: 格式: 期望速度的 XYZ 分量, 可直接控制飞行器的速度 (须有光流或 GPS)。
- 自旋控制指令: 格式: 自旋速度值, 可通过该指令控制飞行器顺时针或逆时针旋转。
- 校准指令: 格式: 校准类型, 可实现罗盘、6 面、快速水平等校准功能。
- 模式选择指令: 格式: 飞行模式, 可通过该指令修改飞行模式, 比如自稳、定点、程控等模式。

还可以通过 API 指令实现飞行参数修改、恢复默认、复位解算、控制输出信息、设置输出频率等等功能, 这里不再一一列举。

所有指令具体格式, 请查看资料包内匿名通信协议, 协议介绍内有所有指令的具体格式及用法。

2 凌霄飞控系统硬件介绍

2.1 凌霄飞控硬件组成

凌霄飞控系统由两大部分组成：凌霄 IMU+通用 MCU，通过串口进行数据通信。

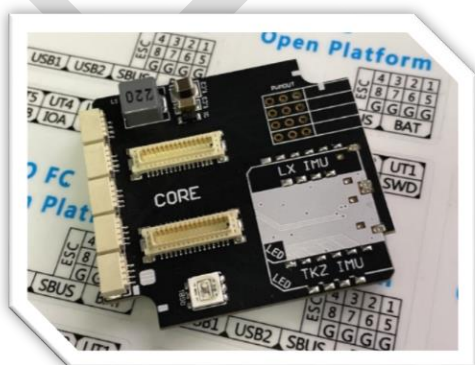
凌霄 IMU 硬件配置：

- 惯性传感器：BMI088（加速度、陀螺仪）
- 磁场传感器：IST8310/QMC6310（罗盘）
- 气压传感器：SPL06（气压高度）
- 串口 1：连接通用 MCU
- 串口 2：连接数传，通过数传可以连接上位机或者通过数传控制飞行
- USB：可通过 USB 线连接上位机
- IMU 内部配置有柔性 PCB 减震、电阻加热恒温。

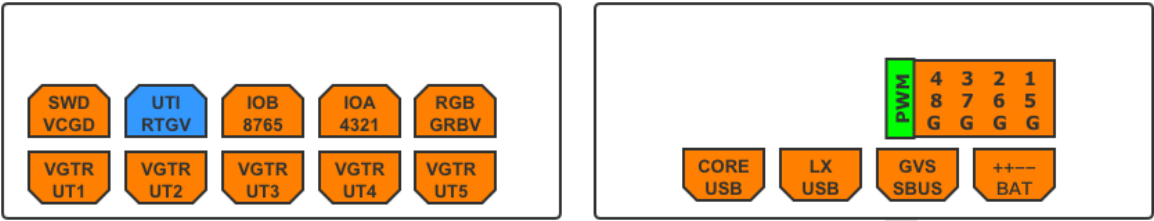


- ◆ DM、DP：USB 信号线，直接连接至 USB 座的 DM、DP 引脚。
- ◆ U1-TX、U1-RX：串口 1 信号线，U1-TX 连接对侧芯片 RX 引脚，U1-RX 连接对侧芯片 TX 引脚。
- ◆ U2-TX、U2-RX：同串口 1。
- ◆ 5.0V、GND：模块供电引脚，需提供 5V500ma 电源。

对于通用 MCU，匿名团队提供 STM32F4、TM4C、MSP432 三种核心板，提供该 3 种芯片的所有源码。因为通用 MCU 所必须的硬件外设仅为 ADC、串口、PWM、GPIO，各类单片机均可方便的移植，故通用 MCU 大家可以方便的修改为自己熟悉的芯片或者项目要求的芯片。



2.2 凌霄飞控接口介绍



- 橙色接口表示该接口为通用开源 MCU 接口。
- 蓝色接口表示该接口为凌霄 IMU 接口。
- ◆ 串口 RTGV: R 为串口 RX, T 为串口 TX, G 为 GND, V 为 5V 输出。
 - ◆ LED: 该接口可外接大功率共阳 RGB 灯, V 为 5V 输出, BRG 分别为蓝色、绿色、红色输出。
 - ◆ SWD: V 为 3.3V 输入, C 为 SWD 的 CLK 信号, G 为 GND, D 为 SWD 的 DIO 信号。
 - ◆ SBUS: S 为 SBUS 的信号线, V 为 5V 输出, G 为 GND。
 - ◆ PWM: G 为 GND, 12345678 分别为 1 到 8 通道的 PWM 输出。
 - ◆ BAT: 两个正, 两个负, 正接电池正极, 负接电池负极。注意, 这里必须接电池电压, 飞控会采集此端口电压, 用于低电压保护。

3 凌霄飞控使用方法

3.1 凌霄飞控配置步骤

当您拿到凌霄飞控后，请严格按照以下步骤进行组装调试，可从流程上尽量避免硬件或调试错误导致的飞行问题。

- 1、飞行器硬件组装，安装好机架、电机、电调，焊接好相关连接线；
- 2、凌霄飞控安装至组装好的飞行器上，连接好电调和接收机；
- 3、使用 USB 或者匿名数传将飞控连接到配套上位机对飞控进行校准；详见 3.3；
- 4、设置遥控器，将某个 3 段式开关映射至 AUX1（辅助通道 1）上，将此 3 段开关拨到低挡位，表示飞行模式 1；注意，AUX1~5 分别是遥控通道 5~9
- 5、在上位机检查数据显示第 135 项：0x40 帧中显示的遥控通道数据。调试并设置遥控器；详见 3.4.4；
- 6、使用电池供电，不安装螺旋桨，使用遥控，飞行模式 1 下解锁飞行器，确认电机启动顺序是否正确，确认 4 个电机转向是否正确；
- 7、安装螺旋桨，在安全环境，使用遥控，飞行模式 1 下解锁飞行器，在定高+自稳模式下进行试飞；
- 8、若飞行效果不稳，则按照本文单参数调试方法对飞行参数进行调整；
- 9、试飞通过后，若您配有配套的光流、GPS，则可按本文后续教程进行定点模式测试。

3.2 凌霄飞控如何连接上位机

3.2.1 方法 1：使用 USB 线

使用 USB 线连接 LX_USB 接口至电脑。



上位机选择 HID 通信方式，搜索设备后，可以看到凌霄 IMU，选中并确定，然后打开连接即可。

3.2.2 方法 2：使用匿名数传

匿名数传串口连接至飞控凌霄串口 2（接口图种蓝色凌霄串口），另一个匿名数传通过 USB 连接至电脑。

此时是匿名数传连接电脑，同样选择 HID 通信方式，搜索设备后，可以看到匿名数传，选中并确定，打开连接即可。

3.2.3 方法 3：使用其他数传

硬件连接方法同匿名数传连接方法一致。

若使用自己的无线数传进行连接，需保证使用的数传必须支持串口全双工工作方式，且工作在透传模式，因为飞控和上位机的通信是双向的，普通单向数传是无法使用的。同时请保证数传最少有 115200 的最小有效带宽，避免数据阻塞。

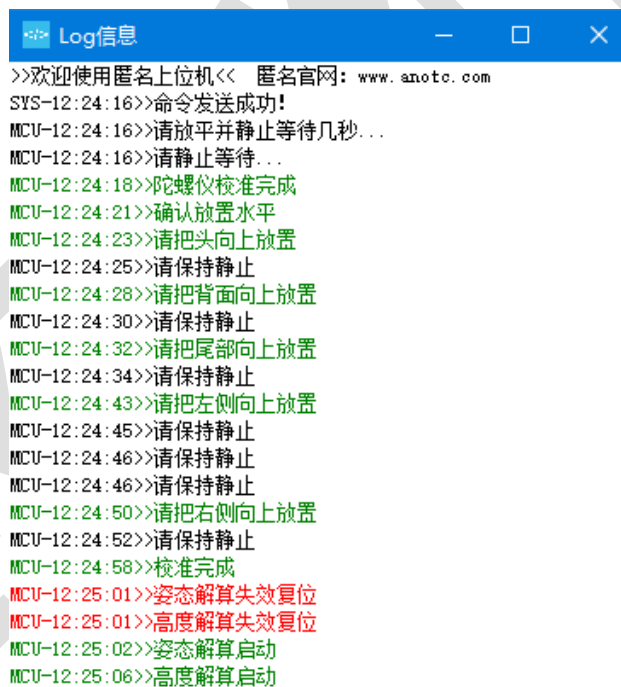
3.3 凌霄飞控校准方法

凌霄 IMU 支持任意角度安装，倾斜、倒装均可以，建议用户呈水平正装或者倒装。飞控安装好后，需进行校准工作。校准方法如下：

- 1、飞控连接上位机，打开通信连接；
- 2、在凌霄 IMU 界面，点击 6 面校准，根据上位机文字提醒，进行 6 面校准；
- 3、点击磁力计校准按钮，根据上位机文字提醒，进行磁力计校准。

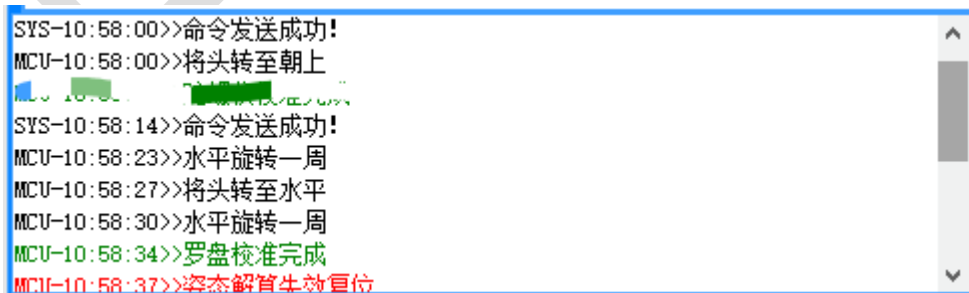
在机架发生微小变化时，可使用快速水平校准进行水平校准，发生较大角度变化时，推荐重新进行 6 面校准。发现陀螺仪漂移时，可使用陀螺仪校准，减小漂移，但飞控开启自动校准陀螺仪后，此功能不常使用。

■ 6 面校准提示：



```
>>欢迎使用匿名上位机<< 匿名官网: www.anoto.com
SYS-12:24:16>>命令发送成功!
MCU-12:24:16>>请放平并静止等待几秒...
MCU-12:24:16>>请静止等待...
MCU-12:24:18>>陀螺仪校准完成
MCU-12:24:21>>确认放置水平
MCU-12:24:23>>请把头向上放置
MCU-12:24:25>>请保持静止
MCU-12:24:28>>请把背面向上放置
MCU-12:24:30>>请保持静止
MCU-12:24:32>>请把尾部向上放置
MCU-12:24:34>>请保持静止
MCU-12:24:43>>请把左侧向上放置
MCU-12:24:45>>请保持静止
MCU-12:24:46>>请保持静止
MCU-12:24:46>>请保持静止
MCU-12:24:50>>请把右侧向上放置
MCU-12:24:52>>请保持静止
MCU-12:24:58>>校准完成
MCU-12:25:01>>姿态解算失效复位
MCU-12:25:01>>高度解算失效复位
MCU-12:25:02>>姿态解算启动
MCU-12:25:06>>高度解算启动
```

■ 罗盘磁力计校准提示：

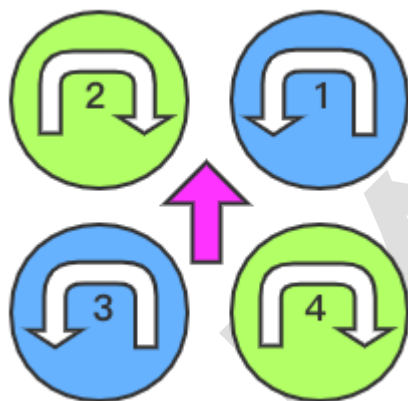


```
SYS-10:58:00>>命令发送成功!
MCU-10:58:00>>将头转至朝上
SYS-10:58:14>>命令发送成功!
MCU-10:58:23>>水平旋转一周
MCU-10:58:27>>将头转至水平
MCU-10:58:30>>水平旋转一周
MCU-10:58:34>>罗盘校准完成
MCU-10:58:37>>姿态解算生效复位
```

3.4 飞行器相关配件连接配置

3.4.1 电机、电调连接

飞行器电机转向及电调连接顺序如下图：



务必注意以下几个要点：

- 飞控前进方向，右前方是 1 号电机
- 电机、电调连接顺序，从右前方 1 号开始，逆时针 1、2、3、4
- 电机旋转方向，1、3 号电机逆时针旋转，2、4 号电机顺时针旋转
- 螺旋桨风力方向，按图示方向转动时，所有螺旋桨务必保证为向下吹风

3.4.2 电源连接

从飞控 POW 口，插入飞控配套 4P 导线，另一头将端子剪断，根据引脚顺序，将两个正极连接至电池正极，两个负极连接至电池负极。

飞控支持 2S 到 4S 电池供电。

注意，因为飞控有低电压保护逻辑，避免飞行中电压过低发生事故，故飞控必须使用电池供电，在供电的同时，可采集电池电压。

3.4.3 接收机连接

凌霄飞控支持 SBUS 输出模式的航模遥控接收机，飞控接收机接口为 3P，分别为 SVG 端子，见硬件示意图。按照定义连接至接收机即可。

3.4.4 遥控器配置

下面以默认的美国手方式介绍遥控器控制通道的方向定义。

通道方向定义：

- ROL：右摇杆左右方向，摇杆向左，通道值减小，摇杆向右，通道值增加。
- PIT：右摇杆前后方向，摇杆向后，通道值减小，摇杆向前，通道值增加。
- YAW：左摇杆左右方向，摇杆向左，通道值减小，摇杆向右，通道值增加。
- THR：左摇杆前后方向，摇杆向后，通道值减小，摇杆向前，通道值增加。

同时飞控需要至少一个 3 段式开关，配置为 AUX1（辅助通道 1，第 5 通道），用于控制飞控飞行模式。

通道值定义：

- 所有通道，中位值为 1500，低值 1000，高值 2000。
- 开关通道 1000、1500、2000 分别对应功能 1、2、3。
- AUX1 通道默认控制飞控模式，功能 1、2、3 分别对应自稳+定高、定点、程控模式。

3.4.5 光流模块连接

若您配置有匿名光流模块，飞控源码默认配置串口 4 为光流模块接口，默认波特率 500000。

3.4.6 GPS 模块连接

若您配置有匿名 GPS 模块，飞控源码默认配置串口 1 为 GPS 模块接口，默认波特率 115200。

3.5 凌霄飞控的基本操作方法

3.5.1 飞控解锁、加锁

飞控解锁方法 1:

油门摇杆打到右下方 (对应通道值 THR 在 1100 以下, YAW 在 1900 以上), 同时方向摇杆打到左下 (对应通道值 ROL 在 1100 以下, PIT 在 1100 以下)。(俗称内八字)

飞控解锁方法 2:

油门摇杆打到左下方 (对应通道值 THR 在 1100 以下, YAW 在 1100 以下), 同时方向摇杆打到右下 (对应通道值 ROL 在 1900 以上, PIT 在 1100 以下)。(俗称外八字)

飞控锁定方法:

在解锁状态下, 同样使用内八或者外八字, 即可加锁。

3.5.2 遥控触发校准的方法

快速水平校准:

将飞机调到水平, 将油门摇杆打到左下方 (对应通道值 THR 在 1100 以下, YAW 在 1100 以下), 同时方向摇杆打到左下 (对应通道值 ROL 在 1100 以下, PIT 在 1100 以下)。

磁力计校准:

将油门摇杆打到右下方 (对应通道值 THR 在 1100 以下, YAW 在 1900 以上), 同时方向摇杆打到右下 (对应通道值 ROL 在 1900 以上, PIT 在 1100 以下)。触发后, 需按照相关流程校准。(3.3)

3.5.3 飞控基本遥控飞行

- 凌霄 IMU 板载高精度气压计, 并且配合完善的定高源码, 可以实现稳定的定高功能。所以飞控默认开启定高, 同时配合匿名光流的激光测距模块, 可以实现激光+气压计智能定高模式。(此模式不用手动开启, 飞控会自动判断)
- 定高模式下, 最好使用油门摇杆自动回中的遥控器。此模式下油门摇杆不直接控制占空比输出量, 油门摇杆控制上升、下降的速度。当油门摇杆高于 50%也就是 1500 时, 飞行器上升, 当油门摇杆低于 50%也就是 1500 时, 飞行器下降, 当油门等于 50%时, 飞行器保持当前高度。(1500 上下设置有大约

+5%死区)

3.5.4 飞行模式切换（遥控）

MCU 部分开源代码默认使用遥控器 AUX1 通道（通道 5）进行切换，有以下注意点：

- 没有必要的传感器有效时，无法切换对应的模式，比如没有光流和 GPS，无法进入定点模式，会提示速度传感器异常。
- 此时发送模式指令后，会有相应提示，并且无法解锁。
- 相应传感器有效后，会切换到发送指令后对应的模式。
- 推荐起飞前就将飞控切换至所需的模式，这样可在起飞前检查必备传感器是否工作正常，避免空中切换带来的风险。

AUX1 范围	定义
1000-1200	模式 1，自稳+定高控制模式，无位置控制
1200-1400	失控保护设置值识别范围
1400-1600	模式 2，定点模式，速度控制。 GPS 模块定位正常：本模式为 GPS 定点模式 光流模块正常工作：本模式为光流定点模式 GPS 和光流同时正常工作：本模式为 GPS+光流定点模式。 GPS 和光流都不正常工作：同模式 1，姿态控制模式，且在锁定状态无法解锁。
1600-1800	失控保护设置值识别范围
1800-2000	模式 3，程控模式 同模式 2，但是实时控制数据无效，只能通过指令方式控制。 返航也需要在此模式。

3.5.5 失控保护

- 当 AUX1 通道在 1200-1400、1600-1800 之间时（遥控器失控保护输出设置到该范围内），或者失去 PPM/SBUS 信号，表示进入遥控失控状态。
- 当进入遥控失控状态时，如果无 GPS 或者 GPS 无效，则飞控自动降落，此时由于没有 GPS，飞控降落过程中会无法避免的不停水平漂移。如果失控时有 GPS 且 GPS 有效，则飞控进入返航模式。

3.5.6 低电压保护

请根据自己使用的航模电池参数，设置报警电压、返航电压、降落电压。

- 推荐报警电压：单节 3.7V

- 推荐返航电压：单节 3.6V（低于此电压，若有 GPS，则进行返航，若没有，则无动作）
- 推荐降落电压：单节 3.5V（低于此电压，飞行器自动降落）

3.5.7 GPS 模式返航

- MCU 部分开源代码默认使用 AUX1（通道 5）连续切换模式 2->模式 3，并停留在模式 3 时，触发 GPS 返航（对应通道值示例：1500->2000->1500->2000->1500->2000）。用户也可用其他条件直接发送返航指令实现。

3.5.8 一键起飞/降落

- MCU 部分开源代码默认使用 AUX2（通道 6）实现一键起飞和降落。

解锁后：AUX2 从 1000 变到 1500，即可触发起飞。

起飞后：AUX2 从 1500 变到 1000，即可触发降落。

- 用户也可通过直接发送对应指令实现一键起飞和降落。

3.6 凌霄 IMU 灯光信息

飞控底板上设置有大功率 LED，用以指示重要报警信息、飞控状态信息等。

校准提示类显示优先级最高，其次为报警类提示信息，正常运行模式提示优先级最低。只有当无任何报警信号、不在校准时，会进行飞控状态灯光指示。

状态	灯光	注释
开机校准	蓝色快闪	陀螺仪校准中（或 IMU 预热中），预热完成并静止后，进入下一步。
开机解算复位	黄色快闪	姿态复位中（或 IMU 预热中），预热完成并复位对准后，进入下一步。
开机解算复位	白色快闪	高度解算复位中，复位对准后，进入正常运行状态。
正常运行提示	带颜色短 闪+间隔	<p>解锁时：绿色快闪数次，恢复正常指示。</p> <p>上锁时：红色快闪数次，恢复正常指示。</p> <p>飞控正常运行，灯光提示为电量指示(长)+模式指示(长)+罗盘指示(短)+通用速度指示(短)+定位状态指示(短)一个循环闪烁 5 次（2 长+3 短），每次的意义如下：</p> <p>1-电量指示：满电~没电，绿色~红色渐变色单次闪烁，白色代表未检测到电池。</p> <p>2-模式指示：姿态自稳，自稳+定高，定点，程控，四个模式分别为白，橙，绿，蓝。（若出现红色，说明没有正确进入当前设定的模式，如对应传感器无效等）。</p> <p>3-罗盘指示：未检测到干扰为绿色，检测到磁干扰为红色。</p> <p>4-通用速度指示：通用速度数据未接入：白色；无效：红色；有效：绿色。</p> <p>5-定位状态指示：无定位数据接入：白色；无效：红色；GPS 有效：绿色；通用位置数据有效：蓝色。</p> <p>示例 1：绿，绿，橙，红，绿：电量足，定点模式，罗盘有干扰，通用速度无效，GPS 有效。</p> <p>示例 2：黄，蓝，绿，绿，白：电量过半，程控模式，罗盘正常，通用速度有效，未接入 GPS。</p> 
罗盘校准步骤 1	紫色快闪	罗盘校准第一步提示，请将飞机机头朝上或朝下，自动进入步骤 2。
罗盘校准步骤 2	蓝色呼吸	垂直旋转提示，蓝色呼吸期间，飞机机头朝上端在胸前，人原地逆时针转 360 度以后，自动进入步骤 3。
罗盘校准步骤 3	黄色快闪	此时将飞机放水平，自动进入步骤 4。
罗盘校准步骤 4	绿色呼吸	水平旋转提示，绿色呼吸期间，飞机水平端在胸前，人原地逆时针转 360 度以后，校准结束。
罗盘校准完毕	红色/绿 色	常亮 2 秒，红色表示校准失败，绿色标识校准成功。
数据保存中	绿色	在数据存储过程中，绿色长亮。
传感器故障	红色短闪 +长间隔	Bmi088: 闪 1 次，ist8310: 闪 2 次，spl06: 闪 3 次
低压报警	红色短闪 +短间隔	高频红色闪烁，表示电压低于报警电压

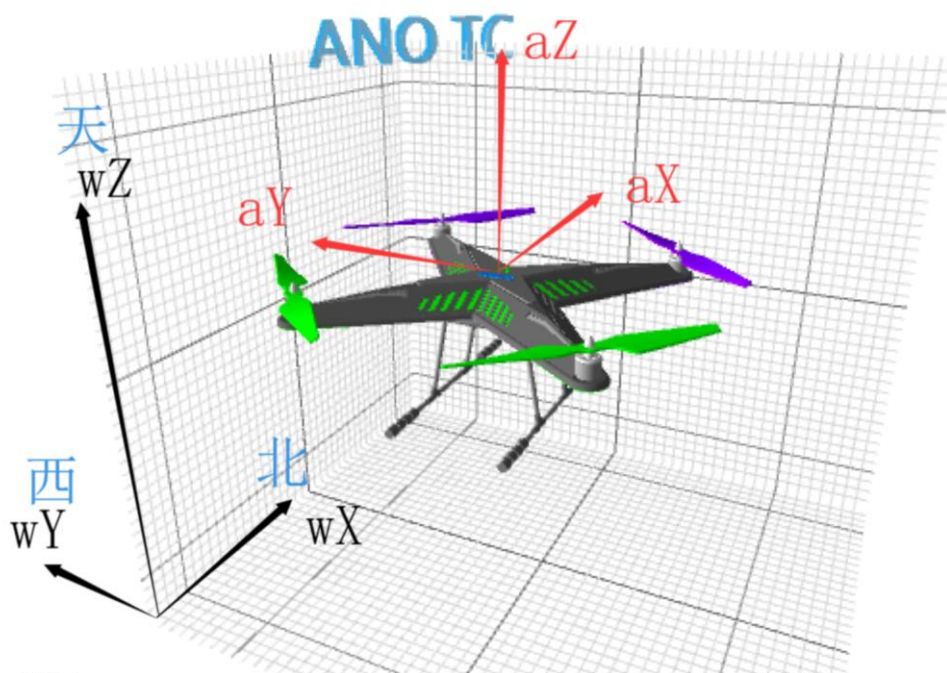
4 其他知识点

4.1 匿名坐标系

载体：机头为 x 正，左侧为 y 正， z 方向满足笛卡尔直角坐标。

地理：北为 x 正，西为 y 正，天为 z 正。

注意：约定地理坐标约等于世界坐标，该坐标系为匿名科创飞控参考坐标系，程序里所涉及的所有直角坐标系定义均为此坐标系，欧拉角的定义除外。



4.2 单参数调参

油门控制：凌霄飞控采用自适应高度控制器全自动控制油门，现已测试 120, 150, 180, 250, 380 轴距的无刷及空心杯机型验证其稳定性，均无需调参。

姿态控制：凌霄飞控的姿态控制采用类 ESO 观测器进行估计和扰动补偿，并总结出单参数调参方案，可以只调节一个参数即可实现姿态稳定。现已测试 120, 150, 180, 250, 380 轴距的无刷及空心杯机型验证其稳定性，均只需要调一个参数。具体调参方法也很简单，一般只会出现以下两种情况：

- 若姿态出现频率较高(约 2Hz 以上)且幅度较小的震荡，适当调小参数；
- 若姿态调节无力，且出现频率较低(约 2Hz 以下)幅度较大的震荡，适当调大参数即可。

TIPS：若自己无法区分现象，也可拍摄视频咨询客服帮忙判断；若出现其他异常情况，则可能是动力配置与控制器设定差异过大的小概率事件，或者是存在其他严重干扰。具体请咨询客服帮助解决。