

# 多旋翼飞行器：从原理到实践

## 第五讲 通信系统配置和测试

单上求



北京航空航天大学  
BEIHANG UNIVERSITY



可靠飞行控制研究组  
RELIABLE FLIGHT CONTROL GROUP

# 大纲



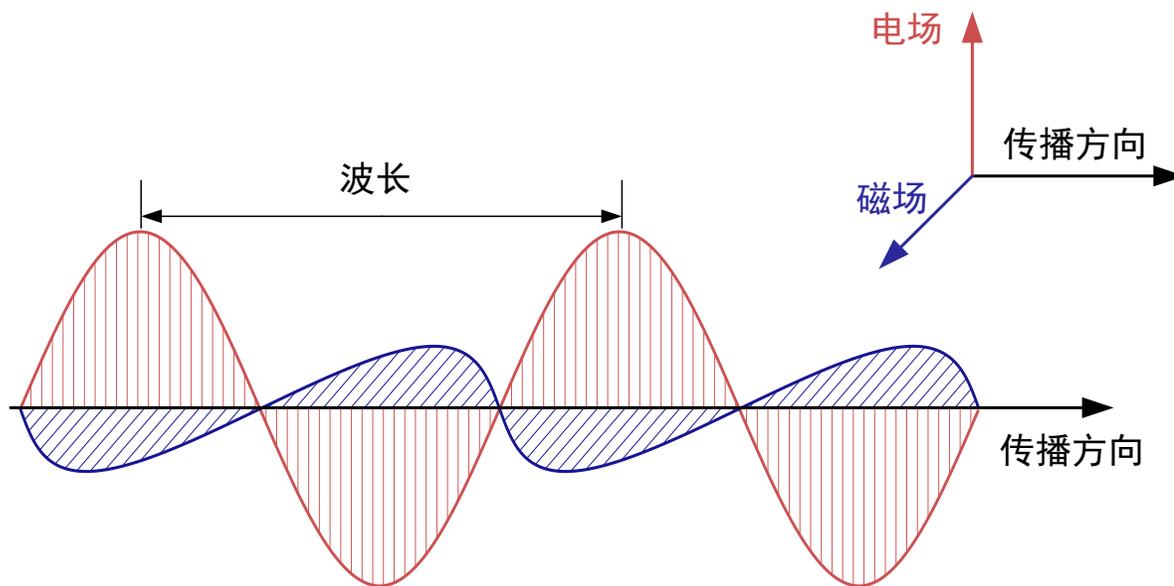
1. 无线电通信原理
2. 遥控器和接收机
3. 数据传输
4. 图像传输
5. 自组网传输
6. 本讲实践

# 1. 无线电通信原理

## 电磁波



- 19世纪，法拉第、奥斯特、麦克斯韦等发现了电磁感应。
- 英国科学家麦克斯韦思考利用电磁相生的性质让电磁场持续传播
- 德国物理学家赫兹在首次证实了电磁波的存在。
- 1898年，意大利工程师马可尼首次成功发射了无线电波。



# 1. 无线电通信原理

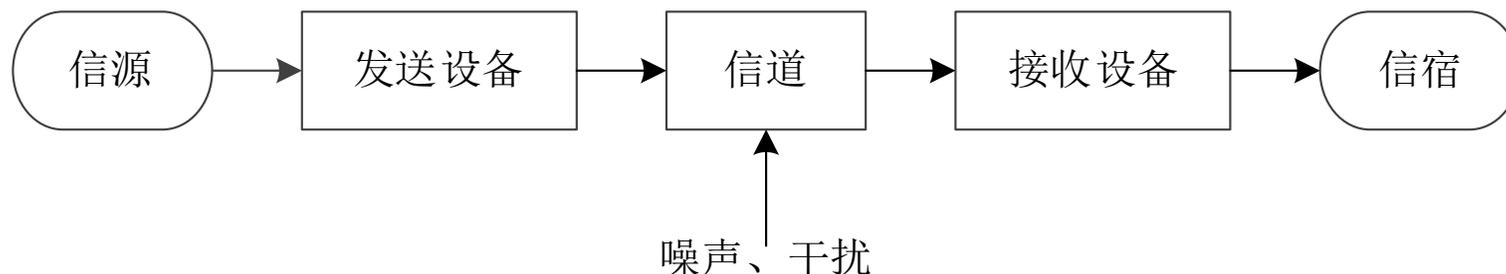
## 通信系统的组成



通信的过程就是**信源**和**信宿**通过信道收发信息的过程。

一个最基本的通信模型包括**信源**、**发送设备**、**信道**、**接收设备**、**信宿**五个部分。

- **信源**是指产生或发出消息的人或机器，是信息的发送者。
- **信宿**是指接收信息的人或机器，是信息的接收者。
- **发送设备**的作用是产生适合于在信道中传输的信号，使发送信号的特性与传输媒介相匹配。
- **接收设备**的基本功能是完成发送过程的反变换。
- **信道**是指传输信号的通道。



通信系统的简化模型

# 1. 无线电通信原理

## 频率与波长



电磁波的传播速度、波长和频率有如下关系：

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$\lambda$ : 电磁波的**波长**

$v$ : 电磁波的**传播速度**，在真空中等于光速，即30万千米/秒，在空气中电磁波的传播速度略小于光速，通常按光速计算。

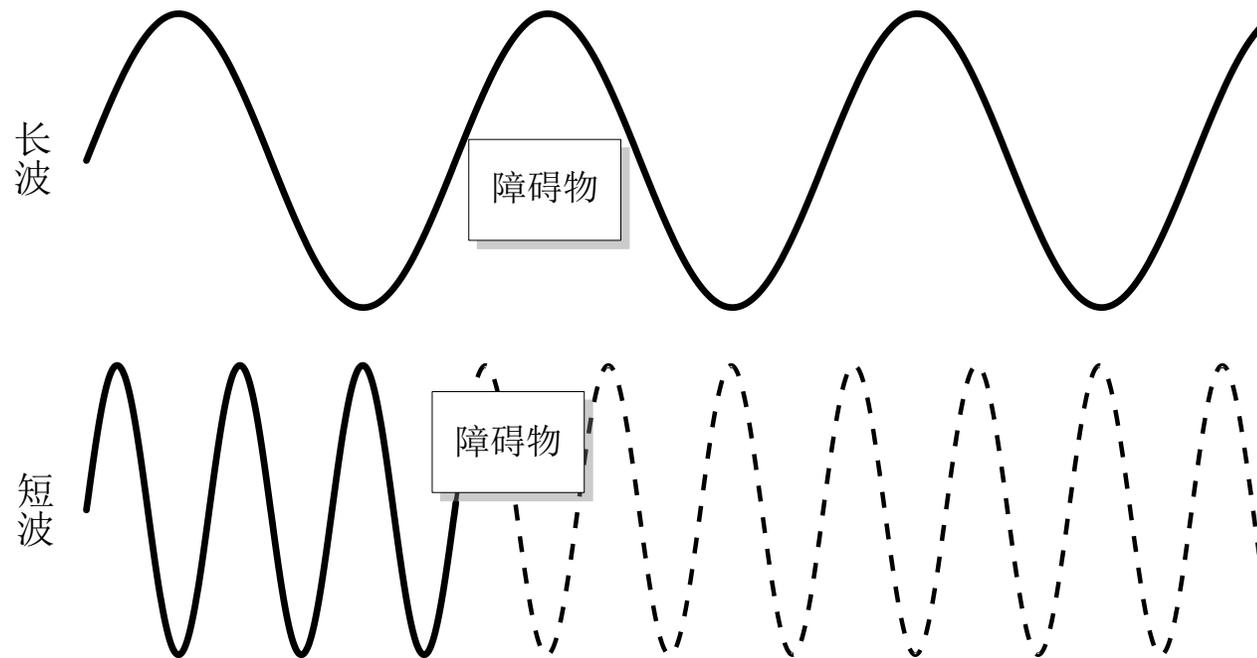
$f$ : 电磁波的**频率**

# 1. 无线电通信原理

## 频率与波长



如图所示，当电磁波的波长大于障碍物时，会发生**衍射**（绕射现象），此时障碍物对波的传播没有过多的影响；当电磁波的波长小于障碍物时，此时不会发生衍射现象（绕射现象），波会在障碍物表面发生**反射**和**折射**现象（要考虑波的入射角度），被障碍物反射的波改变了原来的传播方向。



不同波长电磁波与障碍物示意图

# 1. 无线电通信原理

## 调制与解调



通常把上文的正弦或余弦波信号称为**载波**。而发射器把信息加载到载波的过程就叫**调制**，接收器把信息从载波上分离的过程就叫**解调**。

调制用的载波可以分为两类：1) 用**正弦信号**作为载波；2) 用**脉冲串或一组数字信号**作为载波。最常用的模拟调制方式是用正弦波作为载波的幅度调制和角度调制。

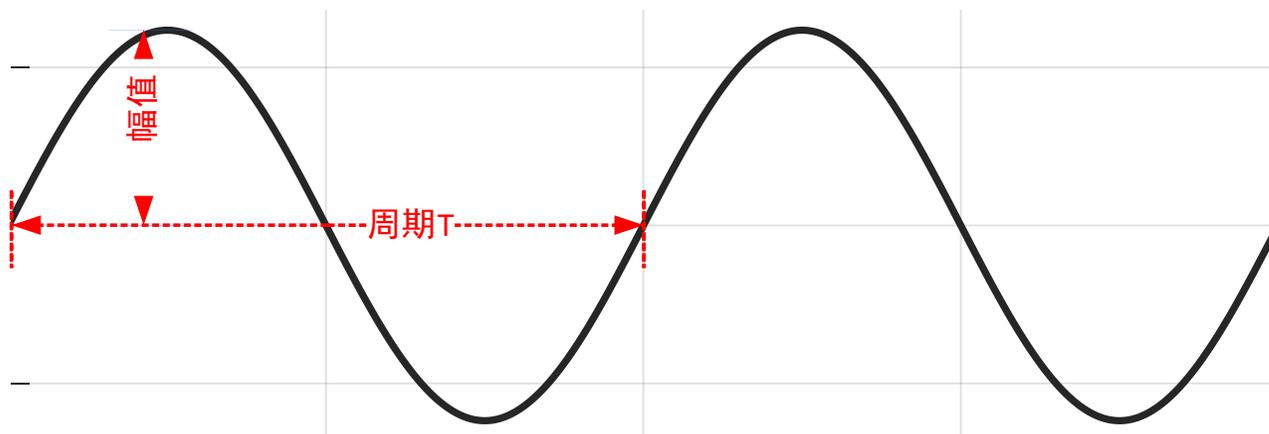
# 1. 无线电通信原理

## 调制与解调



正弦（余弦）函数有三个参数——**振幅**、**频率**和**相位**，频率 $f = 1/T$ ， $T$ 为正弦函数周期，如图所示。

改变其中任一参数都会改变函数的形状。于是，这三个参数就对应三种最常见的调制解调方式——**振幅调制（调幅）**、**频率调制（调频）**和**相位调制（调相）**。



# 1. 无线电通信原理

## 调制与解调



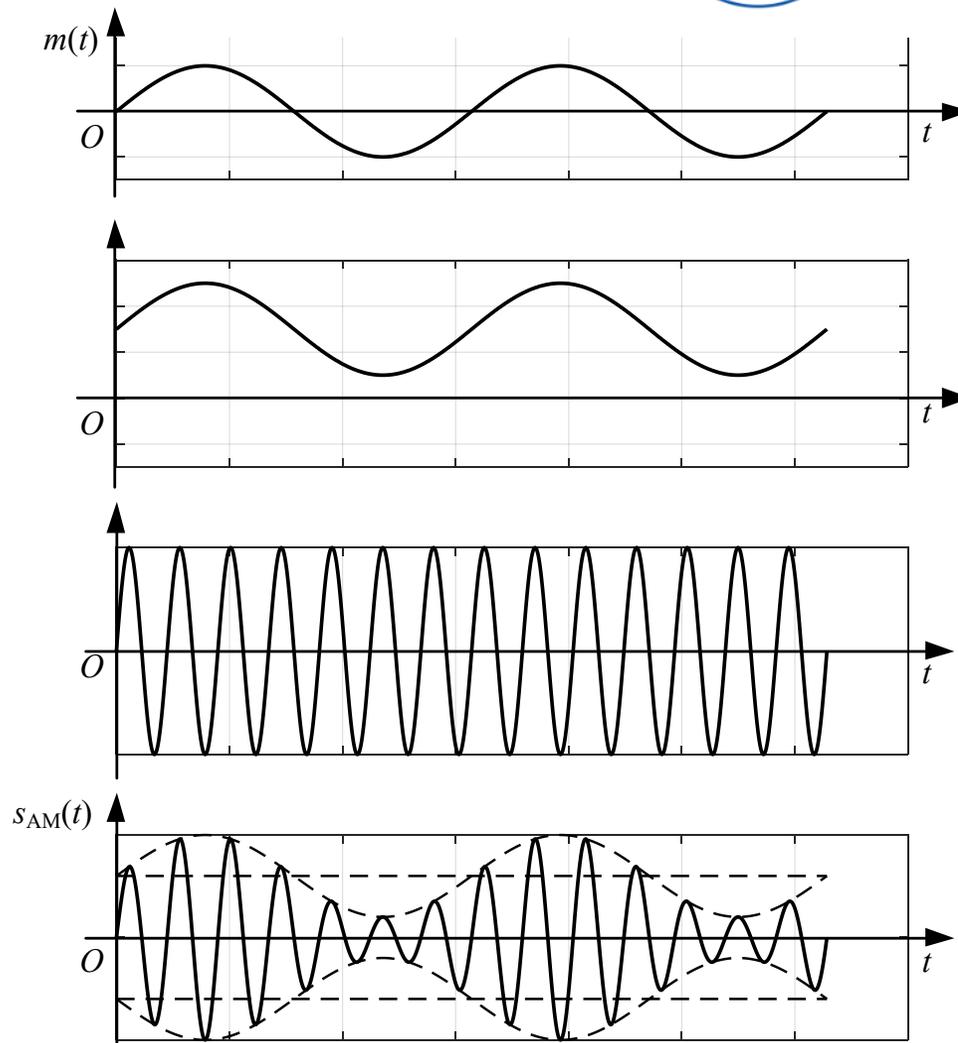
**振幅调制** (AM) 又称为常规调

幅, 调制信号  $m(t)$  叠加直流  $A_0$  后与

载波相乘, 就可以形成调幅信号。

如图所示。

$$s_{AM}(t) = [A_0 + m(t)] \cos \omega_c t$$



## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器



**遥控器**也称RC遥控（Radio Control，无线电控制），是一种通过发射无线电波实现一定范围内控制的设备。



## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器



#### (1) 遥控器的基本结构

一部普通遥控器的结构主要有壳体、电源开关、显示屏幕、设置按钮、旋钮、天线、摇杆、拨动开关和挂带卡环等。

- 壳体是遥控器的外壳，对遥控器的控制面板和电路起到保护作用；
- 电源开关控制遥控器通电与断电；
- 显示屏幕是主要的人际交互界面，可显示遥控器的状态参数；
- 通过操作设置按钮可调整遥控器的参数和模式；
- 旋钮为模拟输入开关，在遥控器设置混动模式下进行设置；
- 天线主要用于发射搭载控制指令的电磁波；
- 通过拨动摇杆可改变无人机的姿态；
- 设置拨动开关，可增加无人机的控制功能；
- 挂带卡环是用来连接遥控器挂带。

## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器



### (2) 遥控器的使用习惯

业内形成了三种约定俗成的操作习惯——**美国手**、**日本手**和**反美国手**（中国手）。本书推荐初学者以美国手入门。



油门：控制上下运动，对应固定翼油门杆  
俯仰：控制前后运动，对应固定翼升降舵  
偏航：控制机头转向，对应固定翼方向舵  
滚转：控制左右运动，对应固定翼副翼

## 2. 遥控器和接收机

### 接收机



**接收机**是机载接收遥控器指令的设备，对于多旋翼飞行器，它接收的信号通常转化输出给自驾仪或伺服机构（如电调、舵机）。接收机与遥控器兼容才能通信，即二者必须能够**对频**。

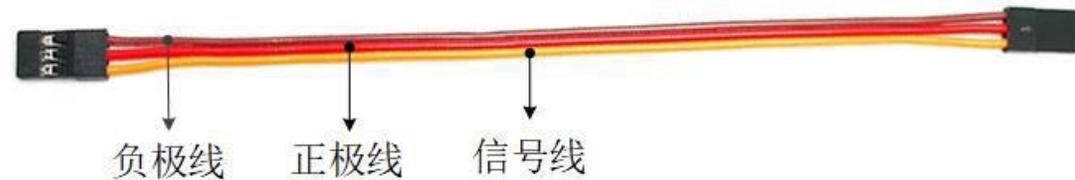


## 2. 遥控器和接收机

### 接收机

**舵机线**一般由三根线并联组成，两端安装插头，盒状的接插件俗称“母头”，其匹配的接插件俗称“公头”。三根线分别为信号线、正极线和负极线，如图所示。

公头可分为有防错设计和无防错设计，有防错设计的公头（图(a)）；无防错设计的公头（图(b)）。



(a) 有防错公头

(b) 无防错公头

## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器与接收机的频率

**发射器**和**接收器**必须事先约定好频率才能完成通信，对于遥控器和接收机这一约定频率的过程叫做**对频**（或对码）。



2.4GHz

可使用频点多

可自动对频

越障能力较弱

72MHz

越障能力较强

采用伸缩天线

抗干扰性较差

2.4GHz遥控器和接收机



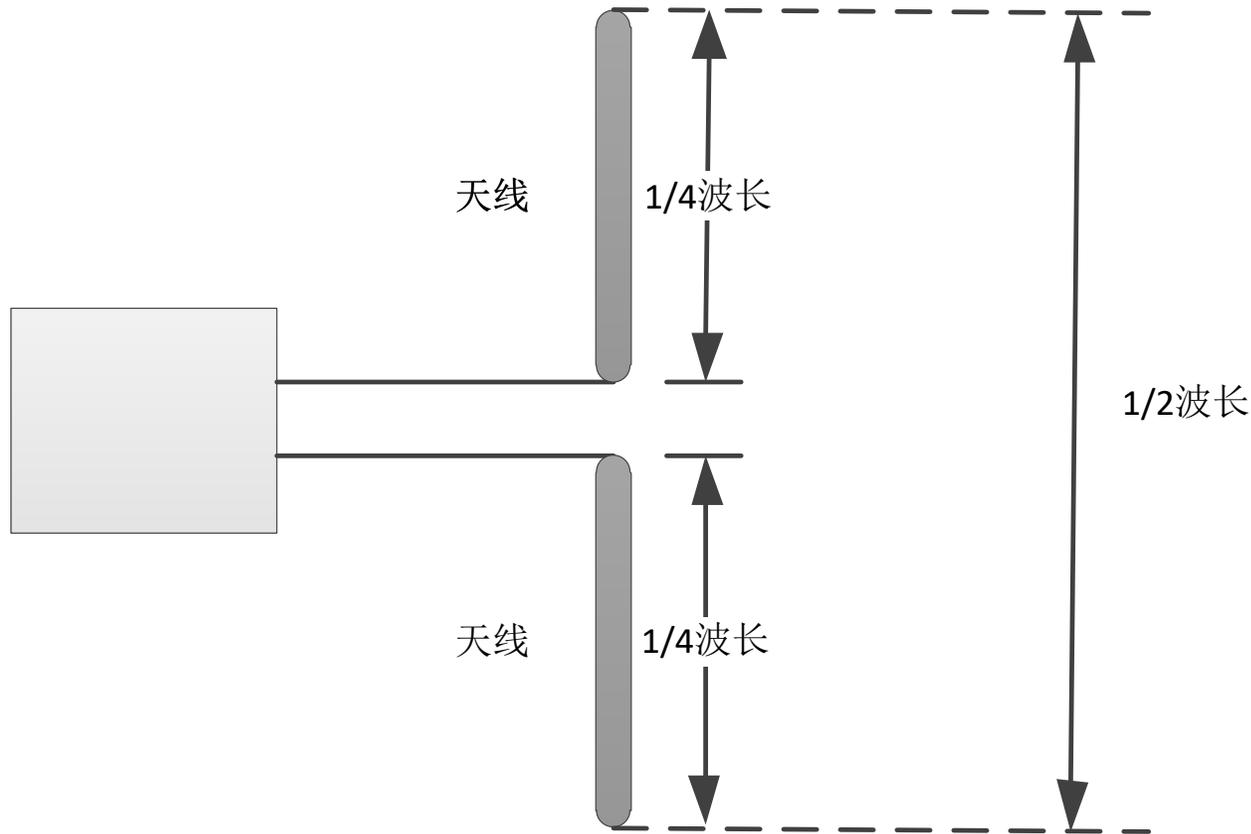
72MHz遥控器和接收机

## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器与接收机的频率



常用的天线一般为**谐振天线**，是以**驻波**形式向外传播的，而半波长是能够构成驻波的最小单元，因此天线的长度可设计为波长的**1/4**或**1/2**。



天线与波长关系示意图

## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器和接收机的选购



选购考虑因素：

- **价格**。国外品牌遥控器（如Futaba）价格较高，国内品牌遥控器价格相对较低。
- **通道**。六通道、八通道、十四通道和十八通道等，通道数量越多价格越高。

根据实际需求选择合适遥控器。

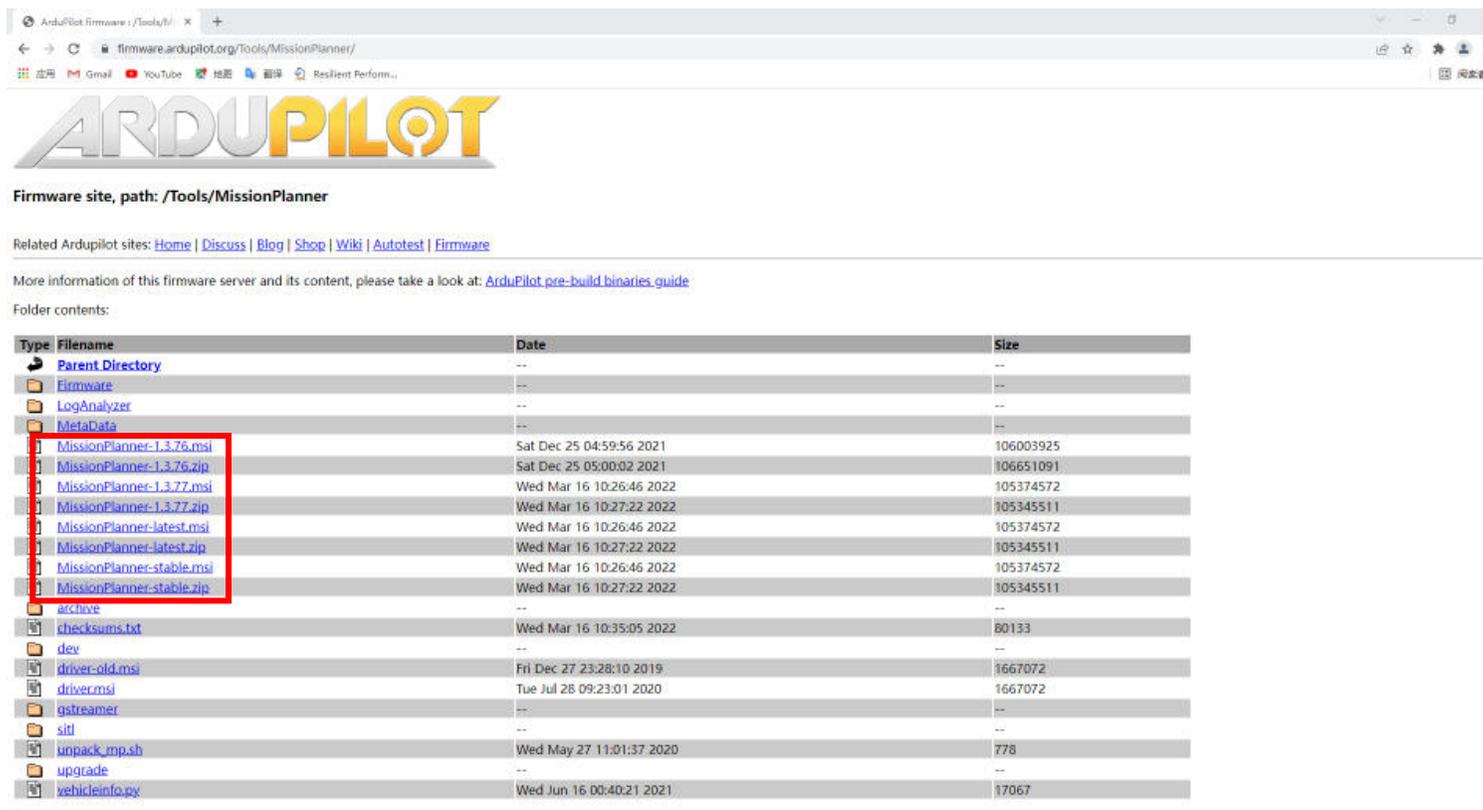
## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器配置和测试



遥控器校准需使用**Mission Planner**软件，可在

<https://firmware.ardupilot.org/Tools/MissionPlanner/> 网页下载Mission Planner 软件安装包。



## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器和接收机配置和测试



#### (1) 配置准备

- 遥控器供电，开机
- 接收机供电，如右图
- 遥控器和接收机**对频**
- S.Bus信号模式选择（通常已设置）



接收机供电接线图

## 2. 遥控器和接收机

### 遥控器接收机配置和测试

对频

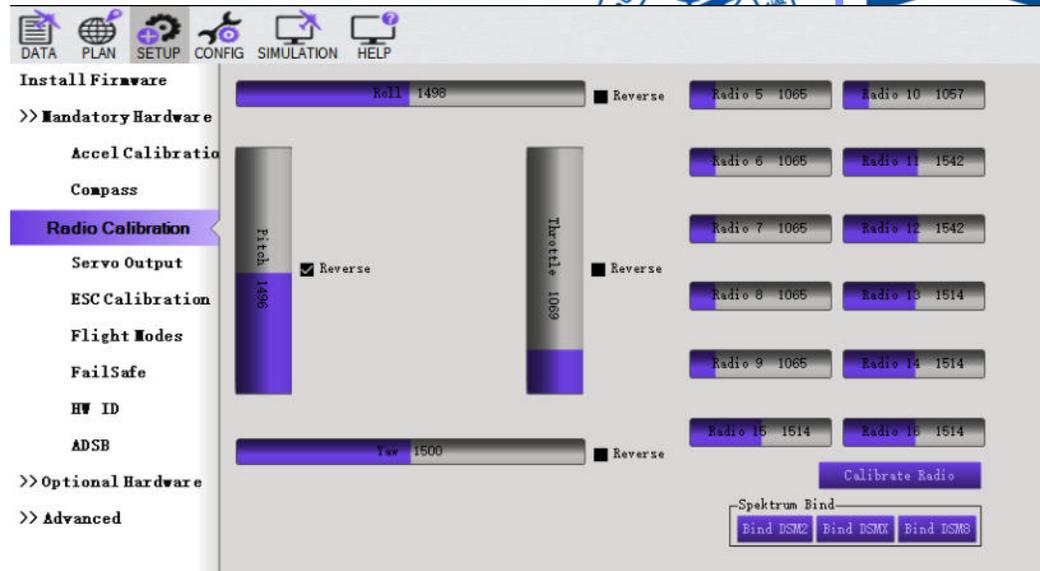
- 遥控器对准要在与接收机完成对码的基础上进行

通电

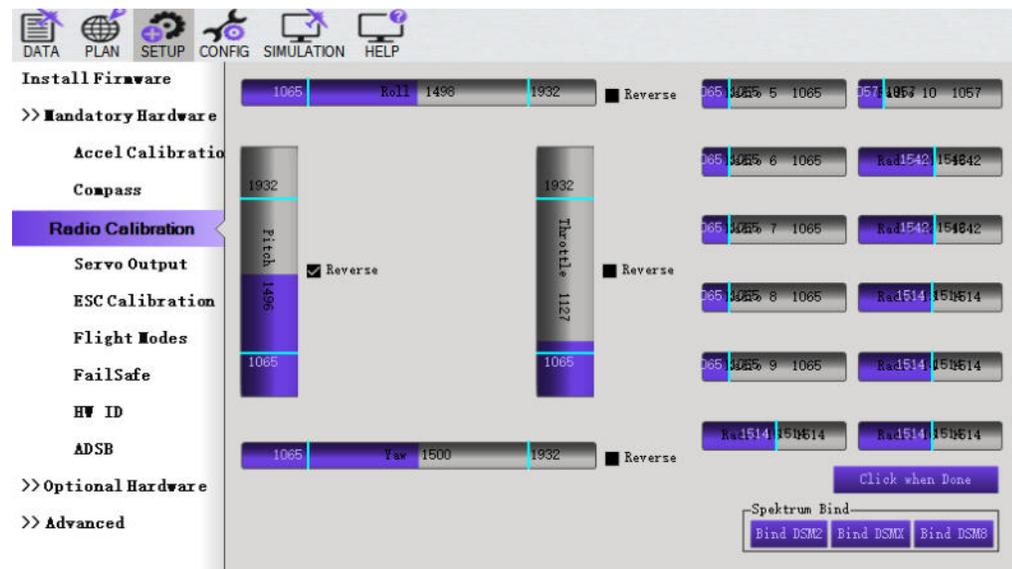
- 打开地面站软件，打开遥控器开关，接收机供电

校准

- 初始设置-必要硬件-遥控器校准-校准遥控-完成时点击



校准初始界面



校准完成界面

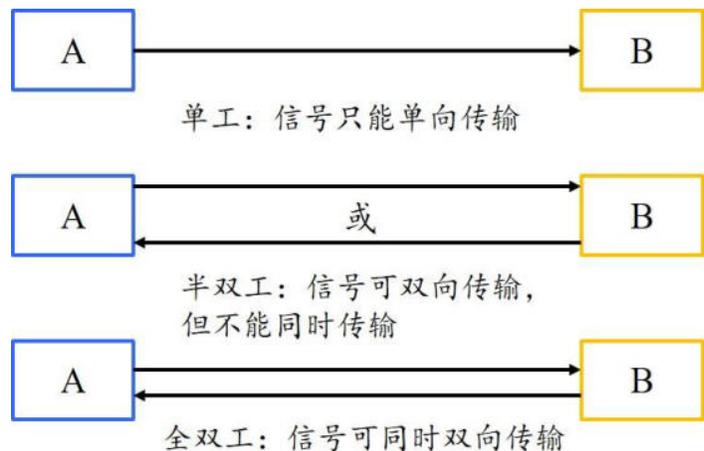
# 3. 数据传输

## 数传基础



**数传电台**简称**数传**，是自驾仪和地面站（地面终端设备）之间一根隐形的数据线，常常也称为数据链。地面站通过它可以实时了解飞行器的状态、给飞行器下达命令和修改自驾仪参数。

只能单向传输信息的数传，称为**单工**的。大部分机载数传设备通常选用能够双向通信的，即**双工模式**。双工又可细分为两种，一种叫**半双工**，一种叫**全双工**，如图所示。



# 3. 数据传输

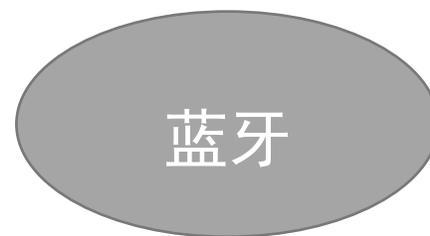
## 数传基础



数传模块一般是成对使用，使用前要将每个模块连接电脑进行配置。设置数传模块的前提是软件必须按照数传的波特率连接模块。

多机控制一般会进行**组网通信**。

组网通信手段：



### 3. 数据传输

#### 数传的选购



选购数传除了参考价格外，最重要的性能指标是数传的**最远通信距离**。一般传输距离和功耗成正比。传输数据量较大还应考虑数传的最大传输速率和带宽。对于可视距离以内的飞行，可以选用Wi-Fi模块或蓝牙模块。

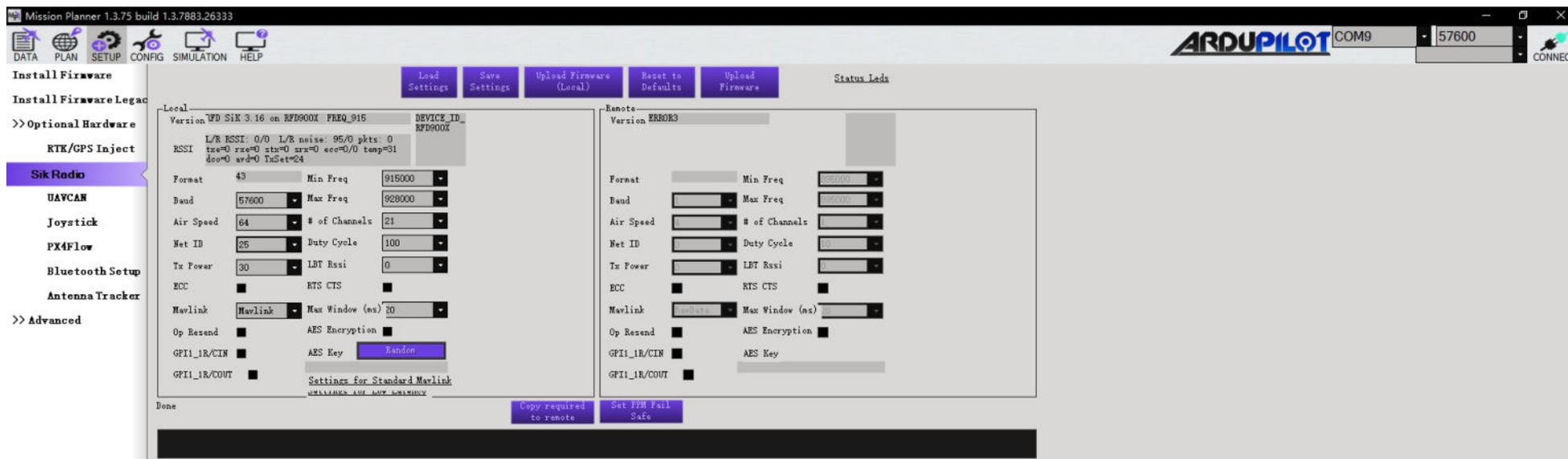


# 3. 数据传输



## 数传配置和测试

数传模块是成对使用，通常都是配置完成的。根据实际需求在Mission Planner软件中设置数传设备的参数和配置。两个数传模块的波特率设置相同才能正确收发数据，用同样的方法连接电脑配置第二块数传。



## 4. 图像传输

### 图传基础



**图像传输设备**是将摄像头捕捉的图像传输到地面显示器的无线通信设备，一套图传设备由**图传发射模块 (a)**和**图传接收模块 (b)**组成。图传发射模块是机载设备，与摄像头连接；图传接收模块一般放置地面接收发射模块传输的信号。



(a) 图传发射模块 (b) 图传接收模块

# 4. 图像传输

## 图传基础



根据所传输信号的时域特征，图像传输可分为**模拟图像传输**和**数字图像传输**。



一种简单模拟传输模型



一种简单数字传输模型

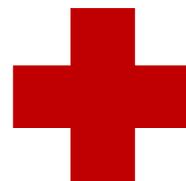
# 4. 图像传输

## 图传基础



成本低	抗干扰能力差
使用方便	信号容易失真

模拟图像传输



抗干扰能力强	带宽需求大
传输保密性高	传输要求和实现复杂度高

数字图像传输

## 4. 图像传输

### 图传的选购



数字图传设备在**传输距离**、**图像质量**都要优于模拟图传设备，但价格也同样要高于模拟图传设备。**最大图像分辨率**也是在选购图传设备需要考虑的重要因素。若需要远距离传输图像信号时，单组图传功率不够，可在传输路径上增加中继设备，延长传输距离，保证图像传输质量，如图所示。



**无线电设备的发射功率要严格遵守国家无线电管理的有关规定。**

## 4. 图像传输

### 图传配置和测试



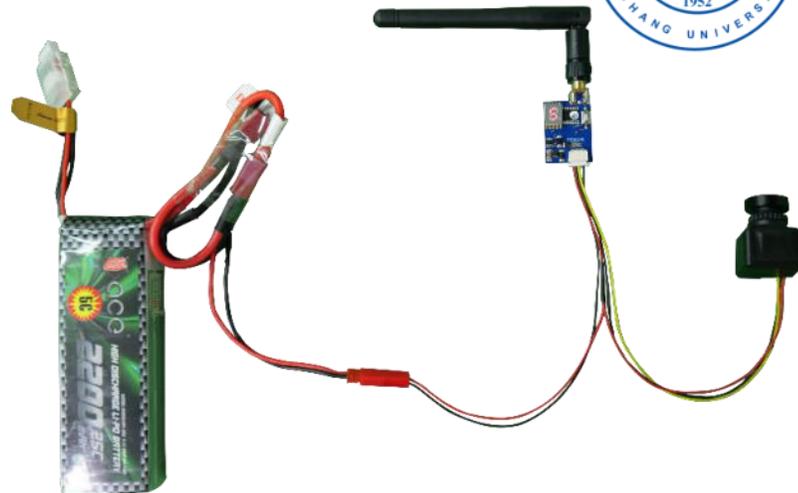
#### (1) 图传发射模块配置

图传发射模块安装在**机载端**，  
与摄像头和电源连接，如图所示。

一般的图传发射模块都会显示

**信道、信道频点、频率**等参数，如

图所示。



## 4. 图像传输

### 图传配置和测试

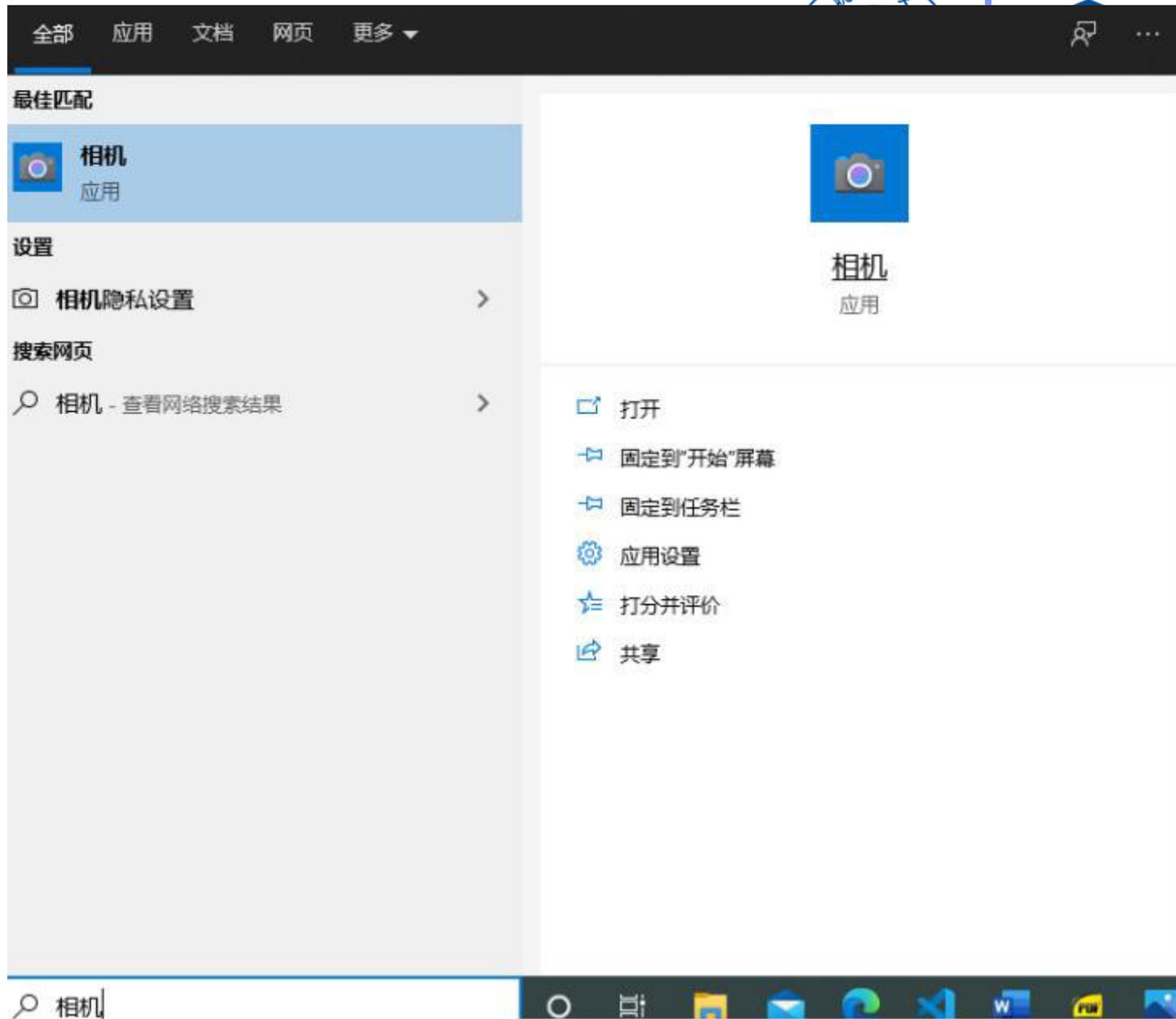
#### (2) 图传接收模块配置

图传接收模块可支持

手机或者平板、电脑以及

显示器等连接方式。如图

所示。



## 4. 图像传输

### 图传配置和测试



#### (3) 图传接收模块与图传发射模块对频

将两个模块放置室外空旷处。

- 连接图传发射模块和摄像头，并供电；
- 将图传接收模块与显示器连接；
- 再次长按扫频键3秒进行对频，此时显示器会显示摄像头拍摄到画面，如图所示。



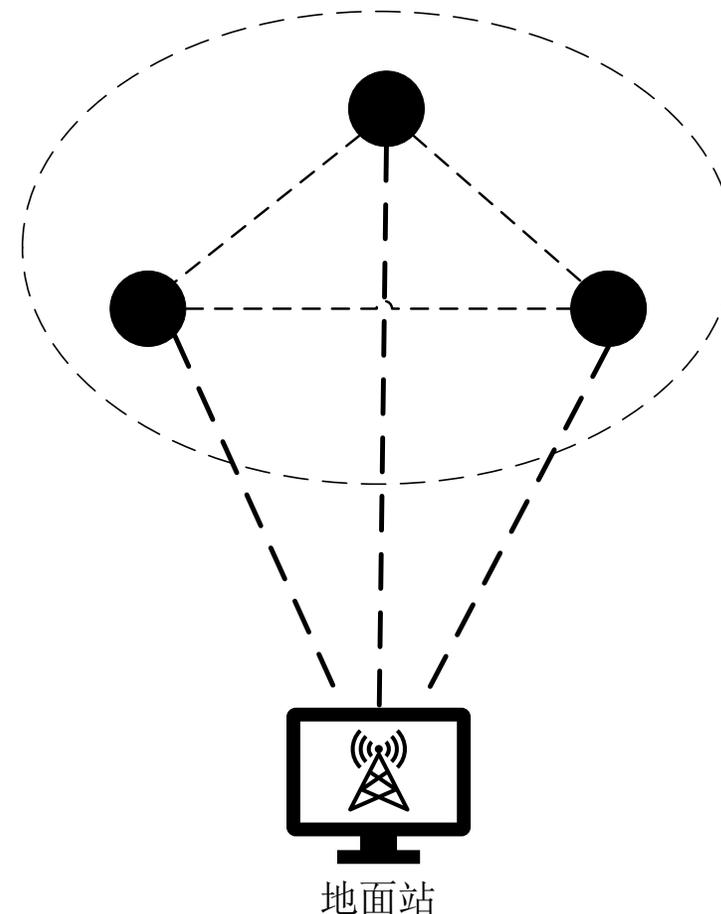
# 5. 自组网传输

## 自组网技术概述



无人机机群

**自组网电台**是基于自组网技术的一种电台。自组织网络是近年来无线移动通信网络发展的一个热点，其主要特征是无中心、自组织、多跳路由和动态拓扑，右图是一种简单地自组网模型。



## 5. 自组网传输

### 自组网技术概述



**窄带自组网电台**具有高功率、高速调频和高接收器灵敏度，适合一般无人机通信系统使用。

**宽带自组网电台**具有带宽大、通信距离远、组网灵活等特点，可适用于应急通信、单兵通信系统、抢险救灾、消防救援、应急保障、反恐维稳、特种作战等多种领域。

**移动自组网 (Ad Hoc)**：移动自组网是一种随建即连的网络，是一群移动网络节点的集合，可以在没有固定基础设施的环境中组成网络。网络中的节点时刻都在移动，可以随时加入或者离开网络，网络中的节点可以作为通信主机，也可以作为路由器，为网络中其他节点提供中继服务。

# 5. 自组网传输

## 自组网技术概述



无线Mesh网络(Wireless Mesh Network, WMN)

- **网状路由器**：通常是固定的或可移动的设备，路由器与其相连的客户机组成主干网络，为客户端提供多跳的无线连接。
- **网状客户机**：通常是移动的设备，可以作为通信主机和路由器，每个设备都是网络中的节点，其中一个节点可以与一个或多个对等节点直接通信。

无线Mesh网络与Ad Hoc网络共有特性为：

- **自组织**：网络终端的用户可随时加入或离开网络，能够与其他节点自行组网，延伸网络覆盖范围；
- **自愈性**：网络中节点或拓扑结构出现故障时，网络会自行调整以适应这种变化；
- **多跳性**：网络中任意节点可以与其他不相邻的节点通信，并自主确定最优传输路线；
- **分布式**：网络中的节点可直接互相通信，不需要通过中心节点转发。

# 5. 自组网传输

## 自组网技术概述



二者主要区别如表所示：

Ad Hoc网络	无线Mesh网络
节点或设备通常是移动的	节点一般是静止的
网络拓扑结构不稳定	网络拓扑结构较稳定
主要目的是实现用户之间的通信	要目的是实现用户接入网络
用户数量较少，对算法速度要求高	用户数量多，可用于骨干网，对网络的稳定性、吞吐性要求较高
通常组成自由通信较小的网络	可组成异构的较大网络

## 5. 自组网传输

### 自组网通信协议



(1) **WiFi**: 是一种基于802.11协议的无线局域网通信技术。以其**高传输速率**、**广范围覆盖**、**无线传输**等优势被广泛应用各个领域。WiFi适用于室内短距离通信，可传输图像、视频等数据。

(2) **Zigbee**: Zigbee技术是一种**低功耗**、**近距离**、**低成本**的**双向**无线数据传输技术。适合远距窄带通信场景，主要适用于家庭、楼宇等场所，还可用于无人机电光秀表演时的通信。

(3) **LoRaWAN**: LoRaWAN网络架构是一个典型的**星形拓扑结构**，该标准同样适用于远距窄带通信，与Zigbee相比LoRaWAN的带宽更窄，LoRaWAN还可扩展为局域网，也可用于无人机电光秀表演通信。

## 5. 自组网传输

### 自组网通信协议



(4) 自定义网络协议：自定义网络协议是相对标准网络协议提出的。当标准网络协议不适用当前的通信场景，用户可以自定义网络协议。

- 标准网络协议往往兼顾全局，不适合追求某种网络特性（如带宽、最远传输距离等）的场景；
- 自定义网络协议可以自行约定特殊的数据结构，没有通用性，因此在一定程度上提高了**安全性**。

## 5. 自组网传输

### 无人机机群组网拓扑结构



无人机机群组网拓扑结构可根据实际应用场景分为多种类型。如无人机机群内部组网可分为**有中心节点**和**无中心节点**，无人机机群的中心节点可以是**地面站**或**长机**，**长机**通常是无人机机群网络的中心节点，分别与地面站和机群中的节点通信；无人机机群与地面站通信可分为**中继**和**无中继**模式，使用中继模式的拓扑结构可有效增加无人机机群的作用范围。

## 5. 自组网传输

### 无人机机群组网拓扑结构



- **无人机机群**内的个体通常携带近距窄带通信设备，实现与邻机的互联互通，也可携带远距宽带通信设备，直接与地面站通信；
- **长机**一般搭载远距宽带通信设备和近距窄带通信设备，通过远距宽带通信设备与地面站和中继机通信，通过近距窄带通信设备与无人机机群通信；
- **中继机**主要搭载通信中继设备，为长机提供中继服务。

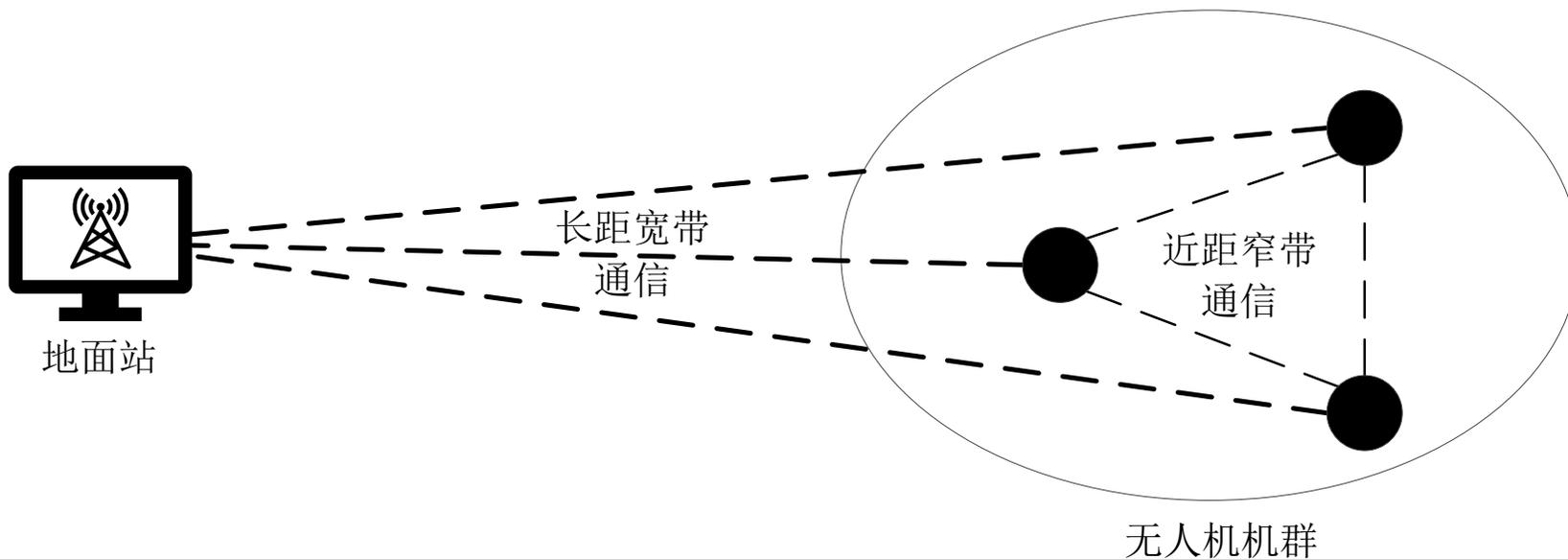
## 5. 自组网传输



### 无人机机群组网拓扑结构

#### (1) 地面站为中心节点的拓扑结构

无人机机群内的个体均是网络的**节点**，地位平等。无人机之间互相分发本机的状态信息。各无人机与地面站直接通信，如图所示。该拓扑结构适合**近距、无遮挡**的室内外场景。



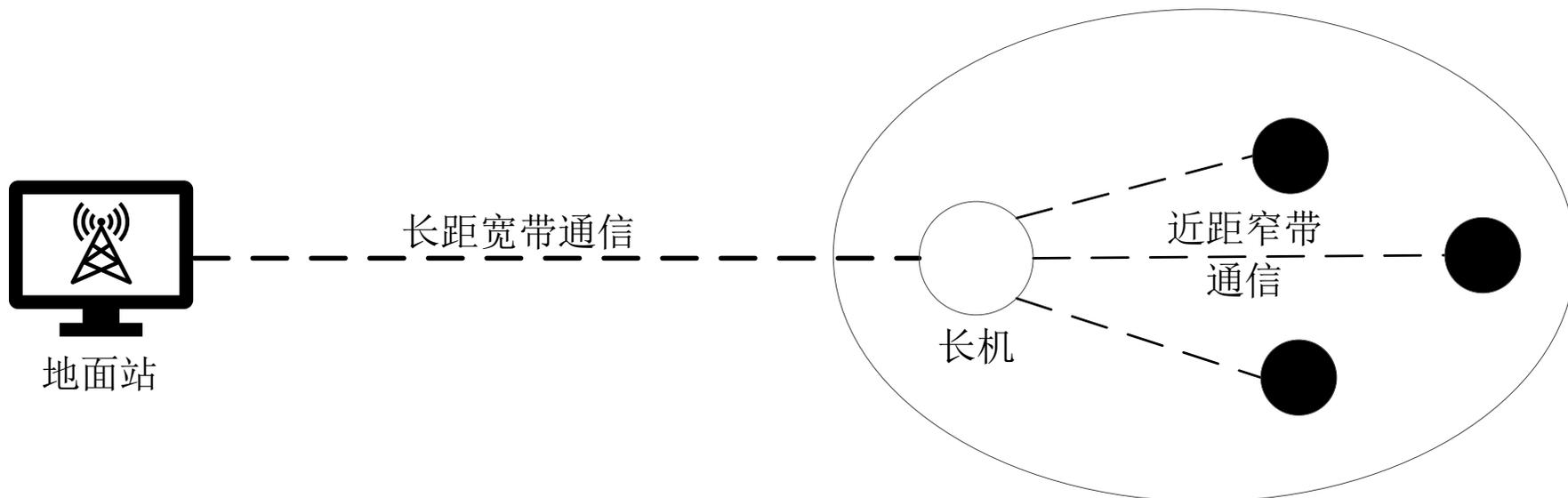
## 5. 自组网传输

### 无人机机群组网拓扑结构



#### (2) 长机为中心节点的拓扑结构

在这种拓扑结构中，无人机机群以长机为网络中心节点，无人机与无人机之间不直接通信。无人机接收长机发送的指令。长机接收地面站的控制指令，并发送无人机机群的状态信息，同时接收无人机状态信息，如图所示。该拓扑结构适合长机与地面站**远距宽带**通信。

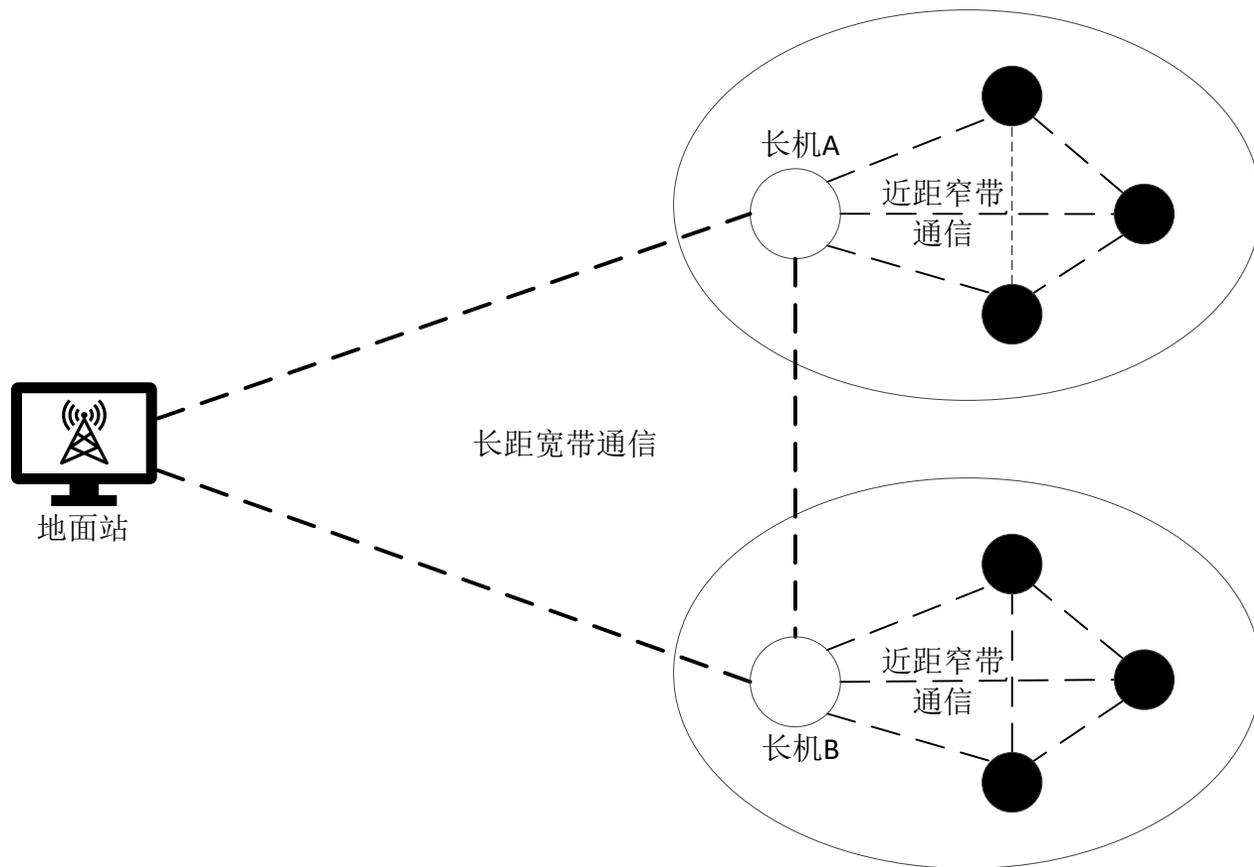


## 5. 自组网传输

### 无人机机群组网拓扑结构

#### (3) 多长机为中心节点的拓扑结构

在这种拓扑结构中，地面站同时与多架长机通信，**长机**与其附近的无人机机群组成**有中心节点**的拓扑结构。无人机能够与邻机和长机通信。长机接收地面站的控制指令并接收无人机状态信息，如图所示。同时还可以与其他长机通信，共享无人机机群的状态信息。



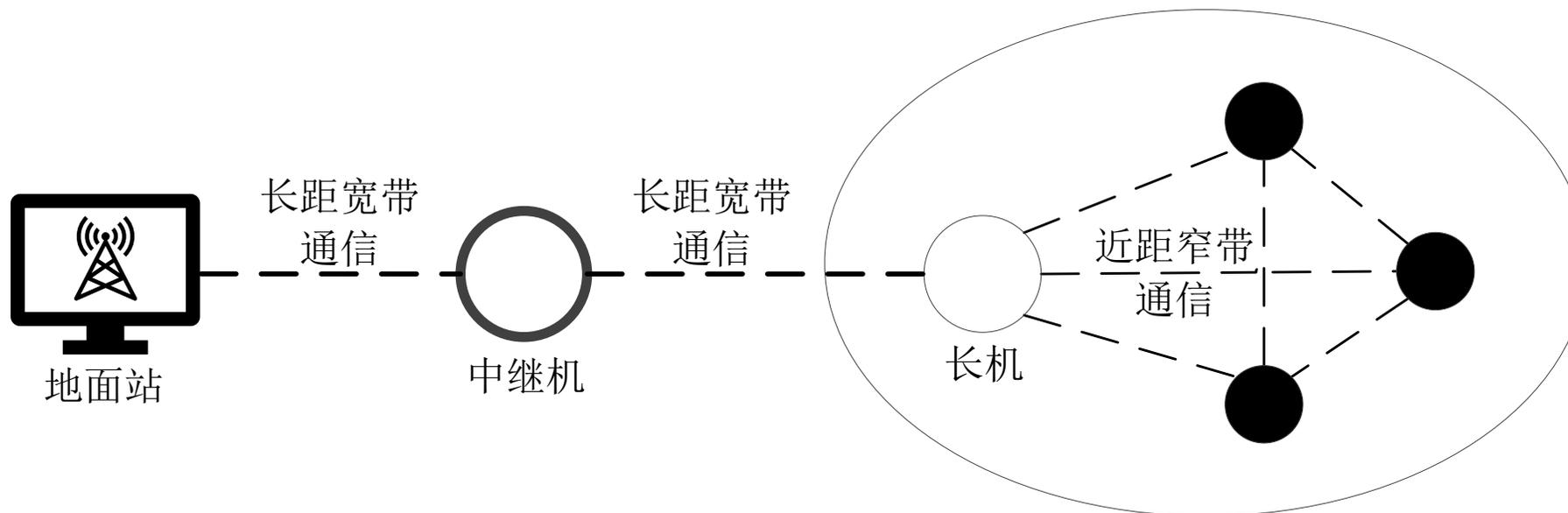
## 5. 自组网传输

### 无人机机群组网拓扑结构



#### (4) 中继拓扑结构

这种拓扑结构增加了中继机。中继机通过远距宽带链路分别与地面站和长机通信，为长机提供中继通信，延伸长机**作用距离**，拓展无人机机群的**作用范围**。该拓扑结构中，长机分别与中继机和无人机机群通信，如图所示。该拓扑结构适用于**较远距离通信场景**；或是长机与地面站之间有障碍物。



# 6.本讲实践

## 课堂实践：遥控器与接收机对频



### (1) 实践目标

#### 1. 准备

- 硬件：遥控器和配套接收机各一个，自驾仪一块，Windows系统的计算机一台、数据线一套，以上可参见附录A。
- 软件：地面站软件Mission Planner一套，以上可参见附录A。

#### 2. 目标

学习并掌握遥控器和接收机的对频过程。

# 6.本讲实践

## 课堂实践：遥控器与接收机对频



### (2) 实践步骤

- 将遥控器与接收机放置一起，间距大约50cm左右。
- 安装遥控器电池，打开遥控器。
- 给接收机供电，如图所示。
- 用笔尖长按接收机侧面的对频（ID SET）开关1秒左右，如图所示，待接收机LED灯开始闪烁便松开（LED灯闪烁表示接收机正在寻找距离最近的遥控器），开始对频。
- 接收机LED灯闪烁后变为常亮则遥控器与接收机对频完毕。



接收机与自驾仪连接图



对频操作



# 6.本讲实践

## 课堂实践：遥控器设置



### (1) 实践目标

#### 1. 准备

- 硬件：遥控器一个。

#### 2. 目标

- 熟悉并掌握该型遥控器的基本设置。
- 能根据要求设置遥控器。

## 6.本讲实践

### 课堂实践：遥控器设置



#### (2) 实践步骤

第一步，控制界面语言和声音设置。

- 打开遥控器开关，长按遥控器面板的“**Mode**”（模式）按钮，弹出“**BASIC MENU**”（基础菜单）页面；
- 滚动遥控器面板的“**滚轮**”，选中“**系统设置**”，按下“**滚轮**”中间“**Push**”（确认）按钮，使用滚轮将光标选择到“**语言选择**”，按下“**Push**”（确认）按钮，再次旋转“**滚轮**”，选择需要的语言，然后再按下遥控器“**Push**”（确认）按钮，确认选定的语言；
- 在本设置界面，使用“**滚轮**”选定“**Sound**”（声音），按下“**Push**”（确认）按钮选中该项，转动滚轮选择遥控器提示音的开或关，再次按下“**Push**”（确认）按钮确认。

## 6.本讲实践

### 课堂实践：遥控器设置



#### (2) 实践步骤

##### 第二步，控制模式设置。

- 长按遥控器面板的“**Mode**”（模式）按钮，进入“**BASIC MENU**”（基础菜单）设置界面，单击“**MODEL TYPE**”（机型选择），进入机型选择页面；
- 在“**MODEL TYPE**”（机型）选项中，旋转“滚轮”选择机型为“**MULTICOPTER**”（多旋翼模型）；
- 长按遥控器面板的“**Push**”（确认）按钮1秒钟，面板界面显示“**Are you sure?**（确定改变？）”，然后再次按下“**Push**”（确认）按钮，面板界面显示“**Please wait...**（请等待）”，待该字样消失，则多旋翼控制模式设置成功。

## 6.本讲实践

### 课堂实践：遥控器设置



#### (2) 实践步骤

##### 第三步，油门通道反向设置

长按遥控器面板的“**Mode**”（模式）按钮，进入“**BASIC MENU**”（基础菜单）页面，选中“**REVERSE**”（舵机相位）设置页面，将“**THRO**”油门从“**NOR**”（正向）修改为“**REV**”（反向），长按“**Push**”按钮确认。

## 6. 本讲实践

### 课堂实践：遥控器设置



#### (2) 实践步骤

#### 第四步，CH5和CH6模式切换通道设置。

- 一般将遥控器的“**CH5**”（第五通道）映射为左上角的三段开关,用于自驾仪的模式切换。
- 长按遥控器面板的“**Mode**”（模式）按钮进入“**BASIC MENU**”（基础菜单）页面，选择进入“**AUX-CH**”（辅助通道）设置页面；
- 单击“**CH5**”（第五通道）按钮，进入第五通道设置页面，选中“**SwC**”，使用“滚轮”将其调整为“**SwE**”，此时CH5映射为遥控器左上角“**SwE**”三段开关（短杆）；
- 按下“**End**”键返回上一级菜单，将“**CH6**”（第六通道）对应通道由“**VrA**”修改为遥控器的三段开关“**SwG**”，此时CH6映射为遥控器右上角“**SwG**”三段开关（短杆）。

# 6.本讲实践

## 课堂实践：遥控器设置



### (2) 实践步骤

#### 第五步，通道确认。

重启遥控器,按下遥控器的“**End**”（返回按钮），出现“**SERVO**”（舵量显示）界面，此时拨动各摇杆，可以看到每个通道舵量显示情况。

- CH1：对应遥控器右手横向摇杆，摇杆从左侧拨动到右侧。
- CH2：对应遥控器右手竖向摇杆，摇杆从上侧拨动到下侧。
- CH3：对应遥控器左手竖向摇杆，摇杆从上侧拨动到下侧。
- CH4：对应遥控器左手横向摇杆，摇杆从左侧拨动到右侧。
- CH5：对应遥控器左上角“**SwE**”三段开关（短杆）。
- CH6：对应遥控器右上角“**SwG**”三段开关（短杆）。



# 6.本讲实践

## 课堂实践：遥控器校准



### (1) 实践目标

#### 1. 准备

- 硬件：遥控器和配套接收机各一个，自驾仪一块，Windows系统的计算机一台、数据线一套，以上可参见附录A。
- 软件：地面站软件Mission Planner 一套，以上可参见附录A。

#### 2. 目标

- 熟悉Mission Planner软件使用界面。
- 掌握遥控器校准过程。

## 6.本讲实践

### 课堂实践：遥控器校准

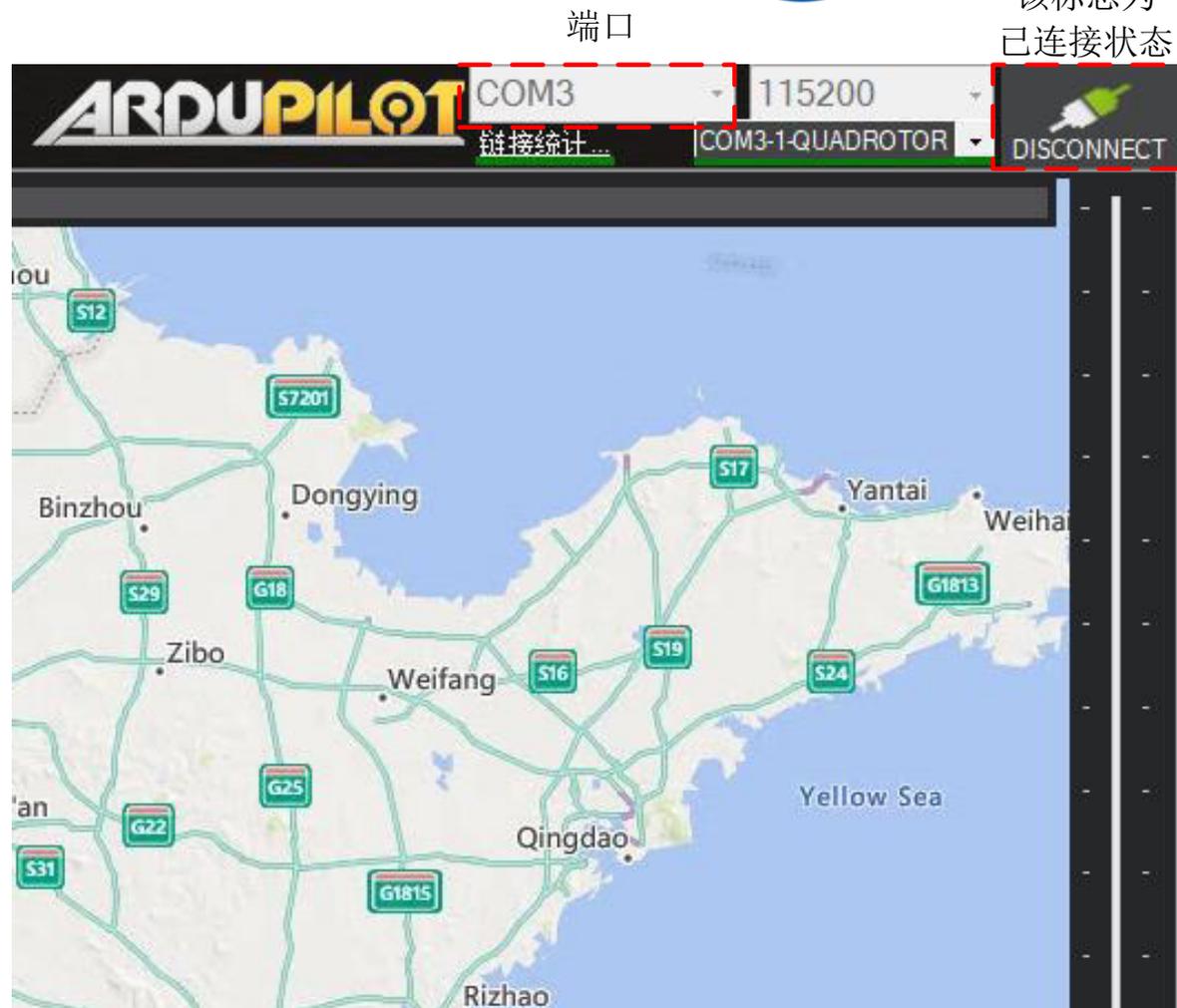
#### (2) 实践步骤

第一步，打开遥控器开关，按供电顺序连接接收机、自驾仪和电脑。

第二步，打开地面站软件，在右上角选择对应端口，点击“**连接**”按钮，使自驾仪与地面站建立连接，如图所示。



该标志为  
已连接状态



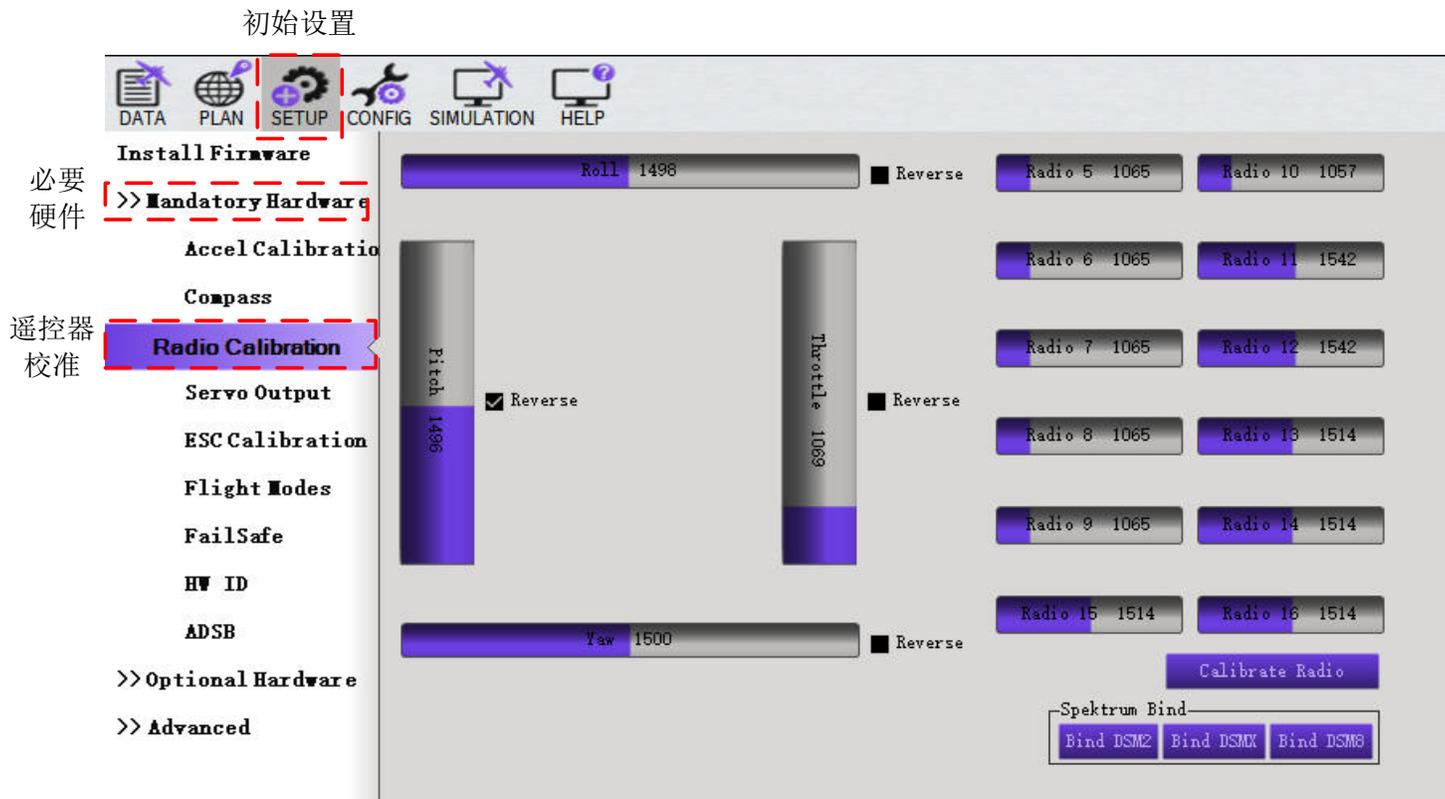
# 6. 本讲实践

## 课堂实践：遥控器校准



### (2) 实践步骤

第三步，在地面站“初始设置”中的“必要硬件”查找“遥控器校准”（连接成功后才会出现“必要硬件”选项）。

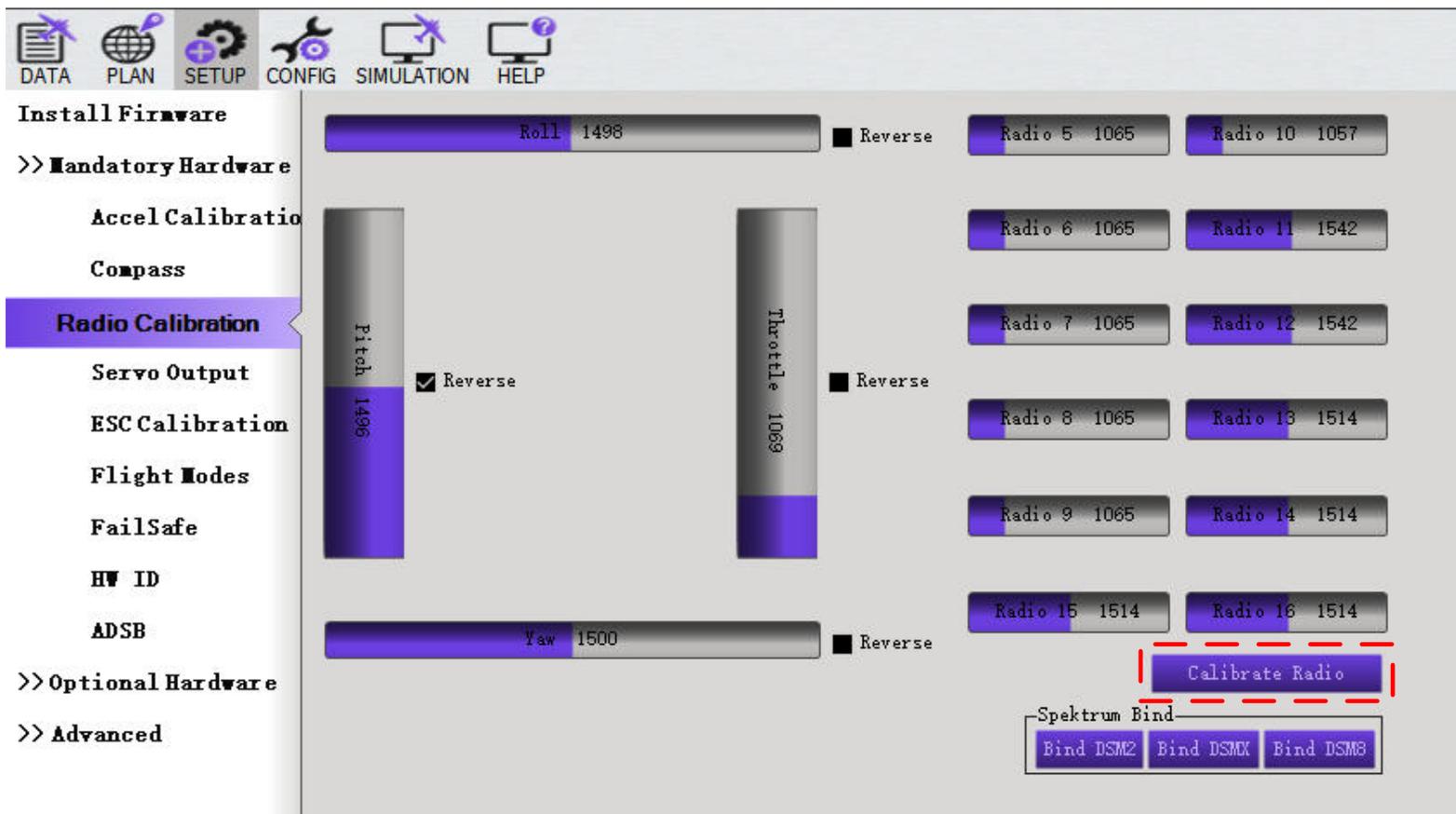


# 6.本讲实践



## 课堂实践：遥控器校准

(2) <sup>实践步骤</sup>第四步，保持遥控器全部摇杆处于回中状态，点击“校准遥控”



校准  
遥控

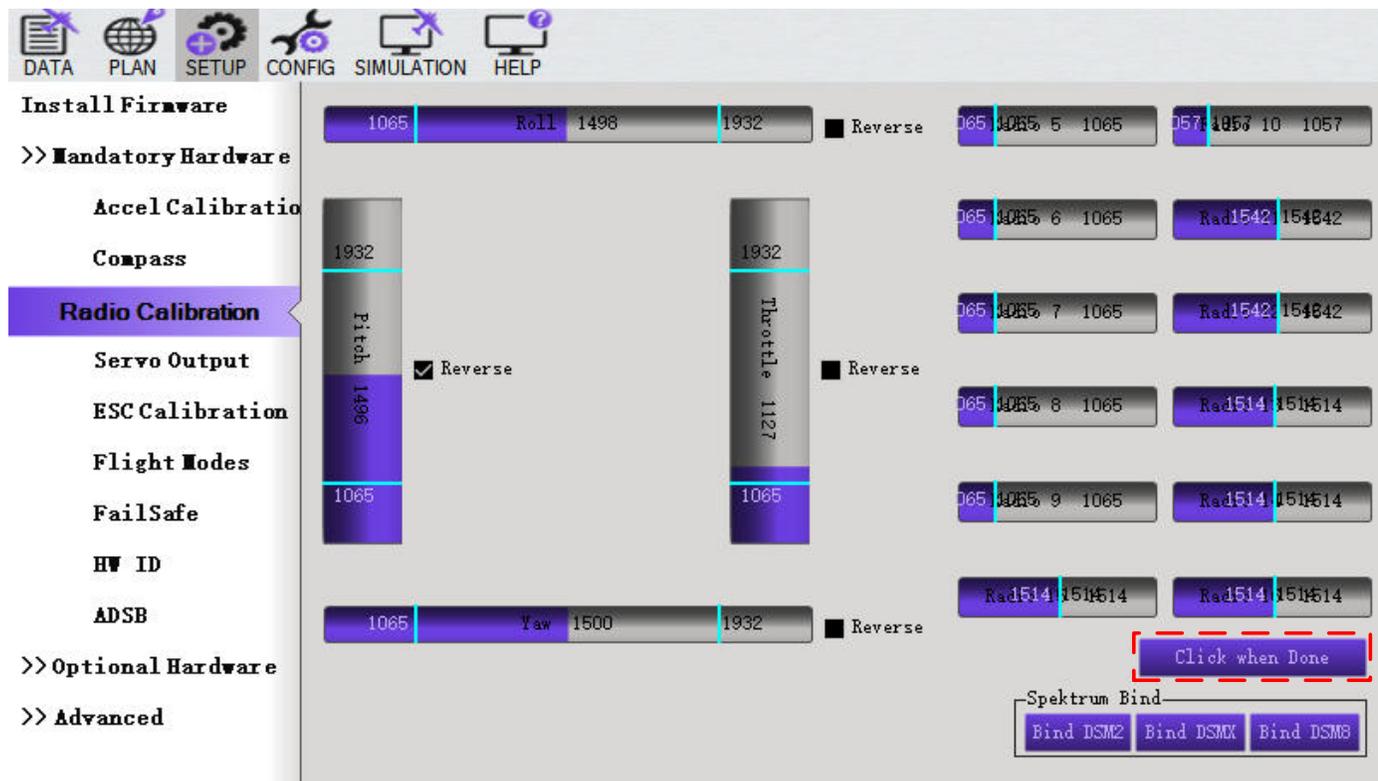
# 6.本讲实践

## 课堂实践：遥控器校准



### (2) 实践步骤

第五步，拨动摇杆、开关和旋钮确定最大行程。若发现摇杆方向与软件界面显示相反，需要在遥控器“舵机相位”内设置，若一致点击“完成时点击”，遥控器校准完毕。





# 6.本讲实践



## 课堂实践：数传设备的调试

### (1) 实践目标

#### 1. 准备

- 硬件：数传模块一对，自驾仪一块，电池一块，Windows系统的计算机一台、数据线一套，以上可参见附录A。
- 软件：地面站软件Mission Planner 一套，以上可参见附录A。

#### 2. 目标

- 练习使用Mission Planner软件。
- 掌握数传设备调试，为数传设备远距实验做准备。

## 6.本讲实践

### 课堂实践：数传设备的调试

#### (2) 实践步骤

第一步，分别设定**数传模块参数**，使用USB数据线连接数传模块与电脑，如右上图所示。

第二步，打开地面站软件，在右上角选择对应**端口**和**波特率**，如右下图所示。



# 6.本讲实践

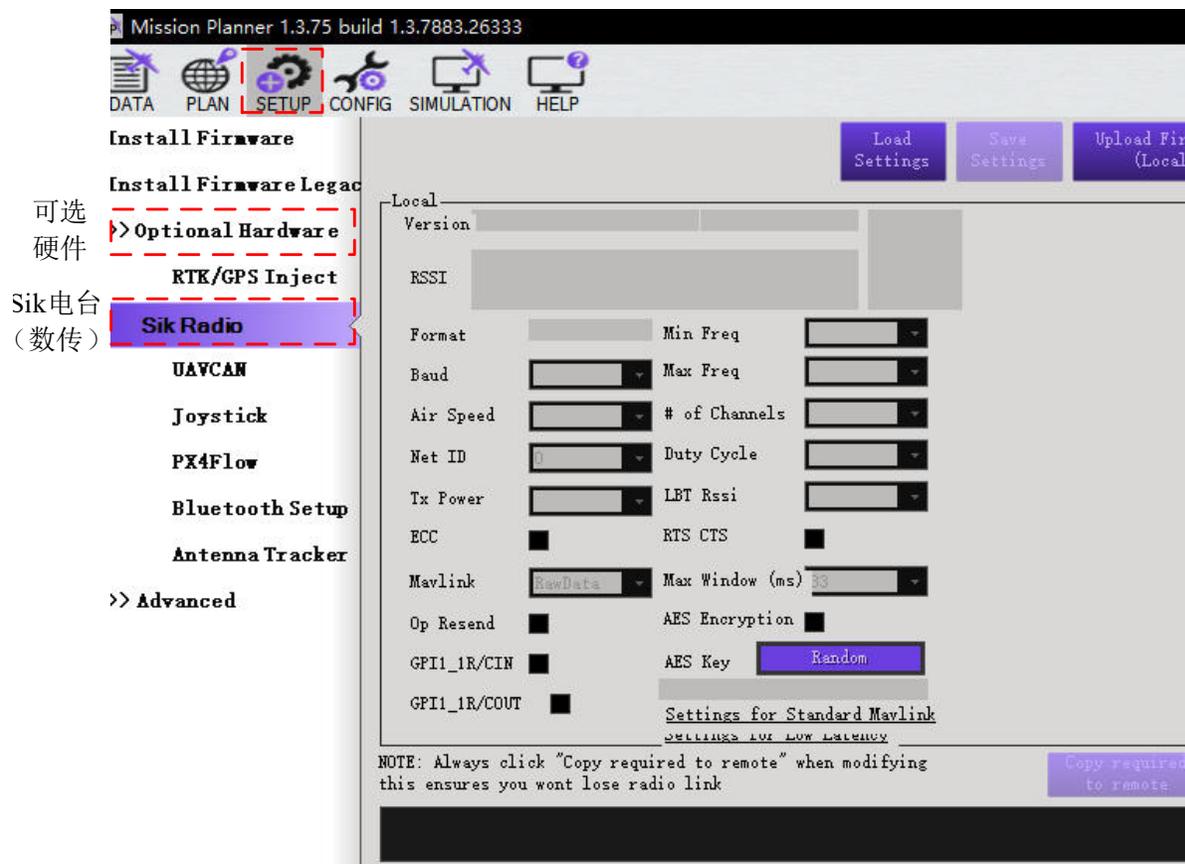
## 课堂实践：数传设备的调试



### (2) 实践步骤

第三步，在“**初始设置**”中“**必要硬件**”查找“**Sik电台（数传）**”。

初始设置



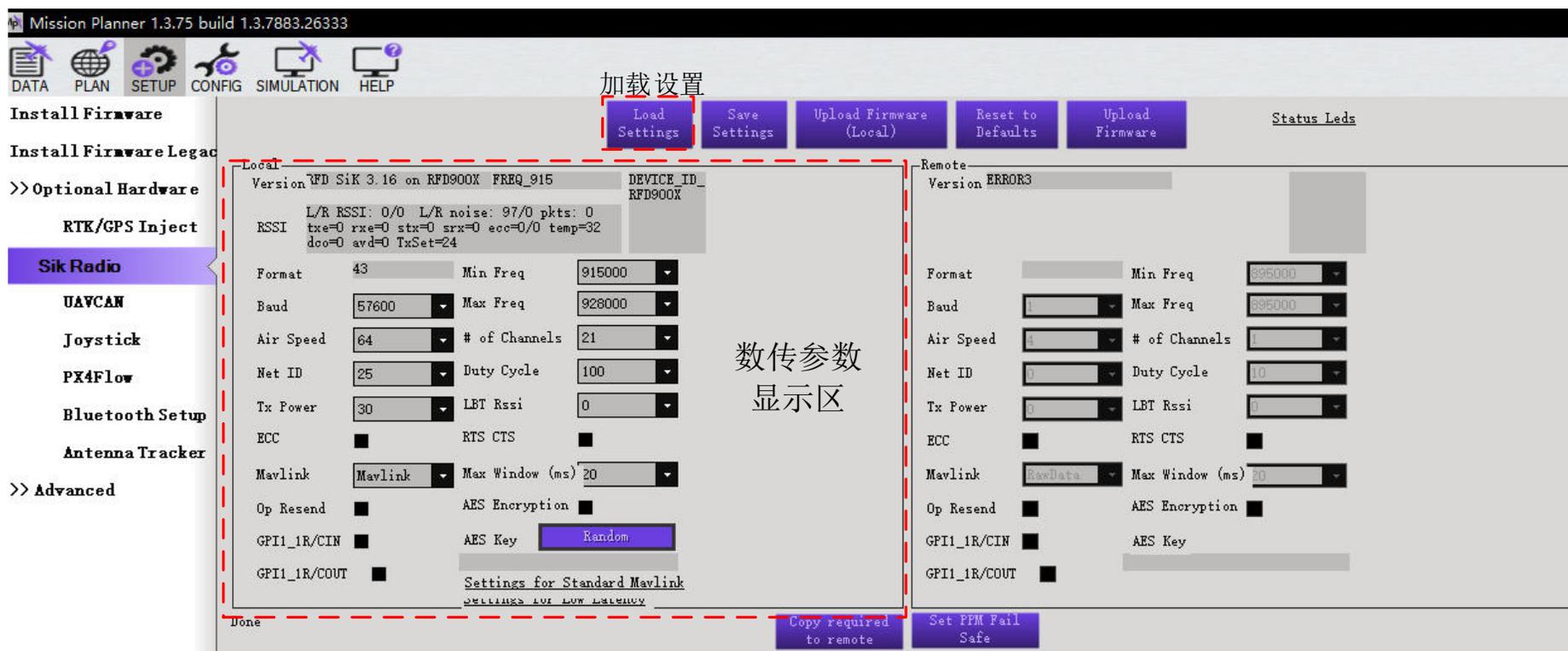
# 6.本讲实践



## 课堂实践：数传设备的调试

### (2) 实践步骤

第四步，点击界面中间“**加载设置**”按钮，加载结束后，界面左侧显示数传模块参数。



# 6.本讲实践

## 课堂实践：数传设备的调试



### (2) 实践步骤

第五步，波特率必须与地面站  
右上角设置一致，其他参数可不调  
整，然后点击“**保存设置**”，记  
下该模块的各项参数。

第六步，重复上述步骤完成另  
一个数传模块的参数设定，保持两  
个模块参数一致。



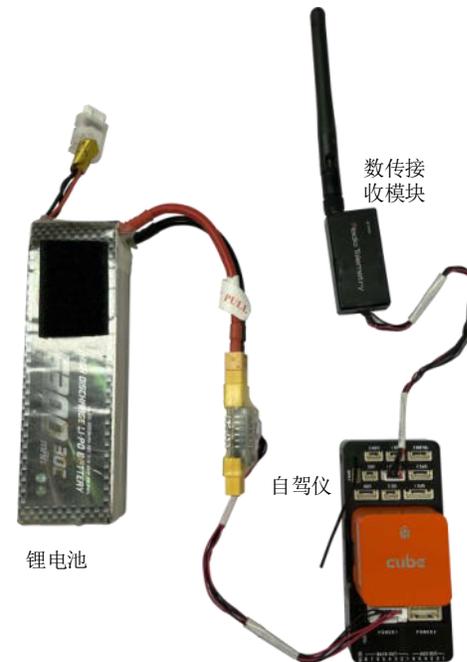
# 6.本讲实践



## 课堂实践：数传设备的调试

### (2) 实践步骤

第七步，其中一个数传与电脑连接，另外一个与自驾仪连接，自驾仪可用锂电池供电，如右上图，点击“**加载设置**”按钮，此时地面站软件电台参数界面两侧都会显示参数数据，如右下图。



# 6.本讲实践

## 课堂实践：数传设备的调试

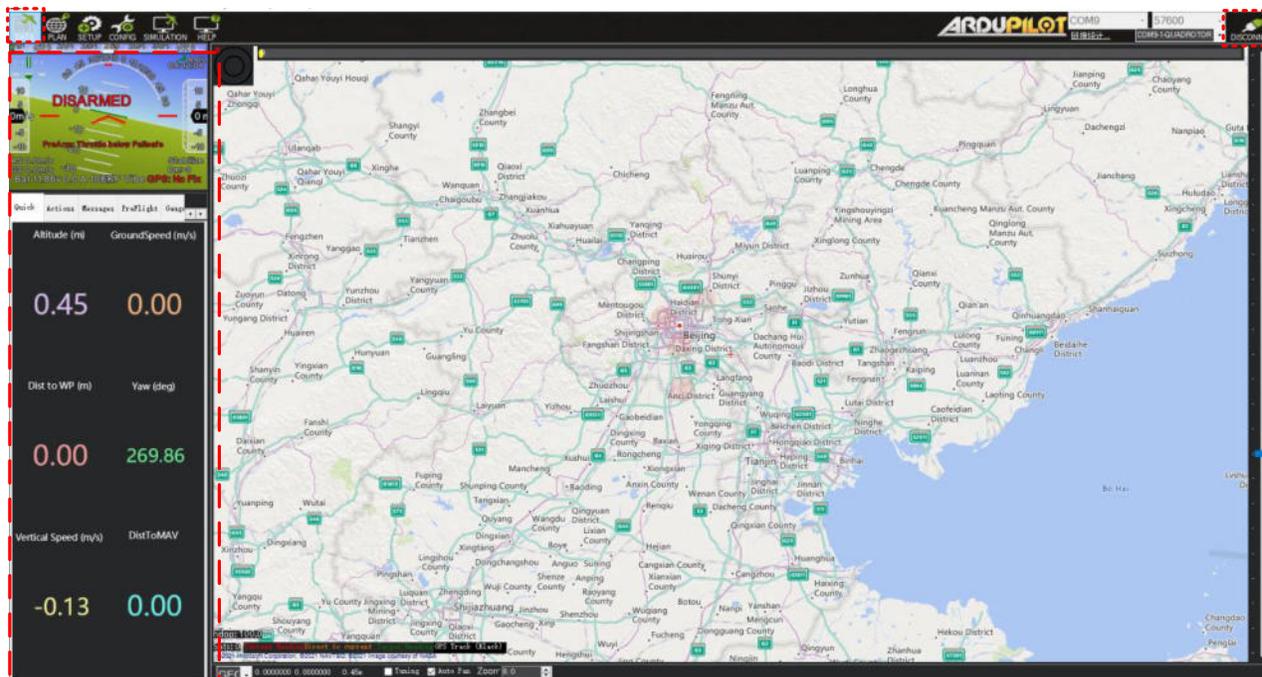


### (2) 实践步骤

第八步，点击界面右上角“**连接**”，待数据加载完毕后，点击左上角“**飞行数据**”；移动自驾仪，则界面显示相应参数。

飞行数据

连接/  
断开连接



飞行数据显示区



## 6. 本讲实践

### 课堂实践：数传设备的远距调试



#### (1) 实践目标

##### 1. 准备

- 硬件：数传模块一对，自驾仪一块，电池一块，Windows系统的计算机一台、数据线一套，以上可参见附录A。
- 软件：地面站软件Mission Planner一套，以上可参见附录A。

##### 2. 目标

- 熟悉数传设备远距调试。

## 6. 本章实践

### 课堂实践：数传设备的远距调试



#### (2) 实践步骤

第一步，进行本次实践所用的数传设备要在室内完成调试，然后将所需设备移至室外，将无人机和地面站间隔约**30m左右**的距离放置，确保数传收发天线之间**通视、无障碍物**。



间隔30m左右

通视、无障碍物



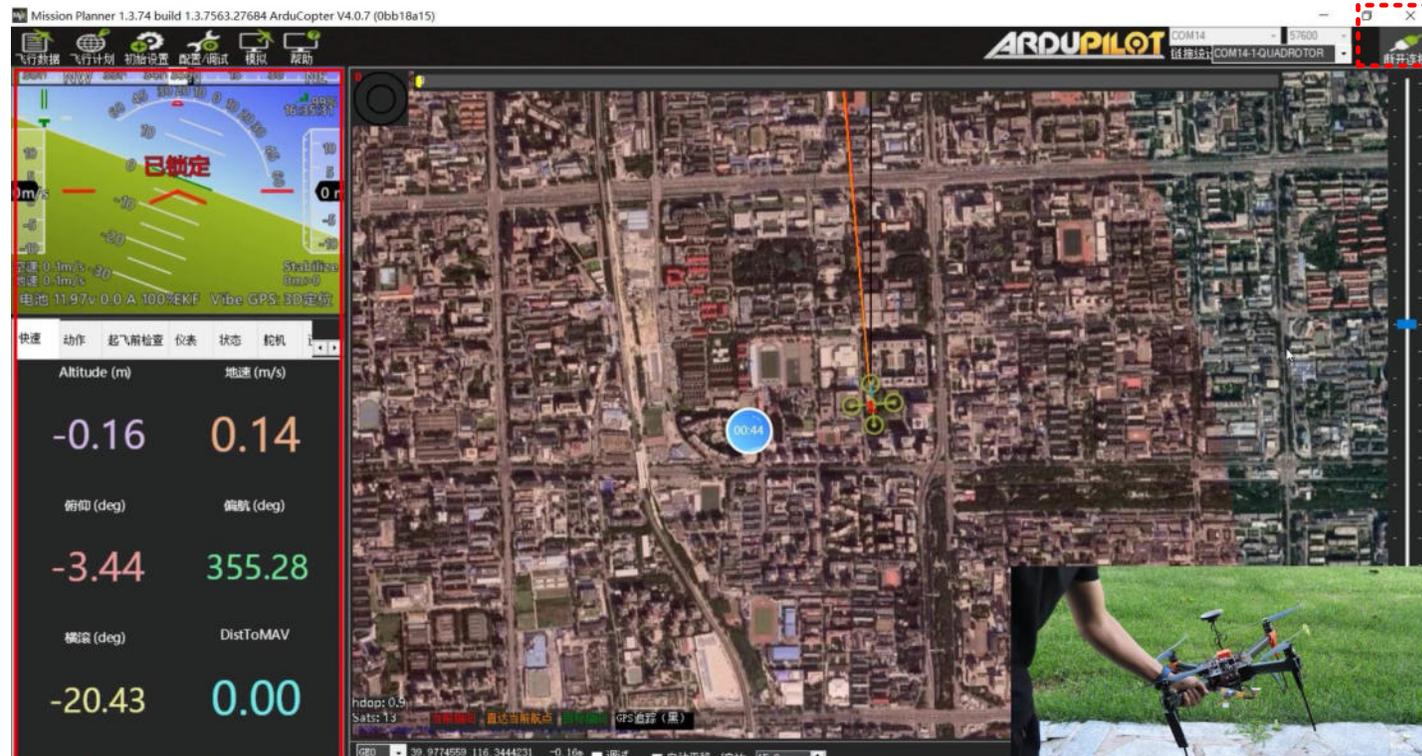
# 6.本讲实践

## 课堂实践：数传设备的远距调试



### (2) 实践步骤

第二步，对所有设备进行通电，在电脑上打开软件，点击右上角“**连接**”按钮；连接成功后，移动多旋翼，若在地面端观察到相应的数据变化，则表明数传设备远距工作正常。



飞行数据显示区



# 6. 本章实践

## 课堂实践：图传设备的调试



### (1) 实践目标

#### 1. 准备

- 硬件：图传发射和接收模块一对，摄像头一个，电池一块，Windows系统的计算机一台（带“相机”功能）、数据线一套，以上可参见附录A。
- 软件：地面站软件Mission Planner一套，以上可参见附录A。

#### 2. 目标

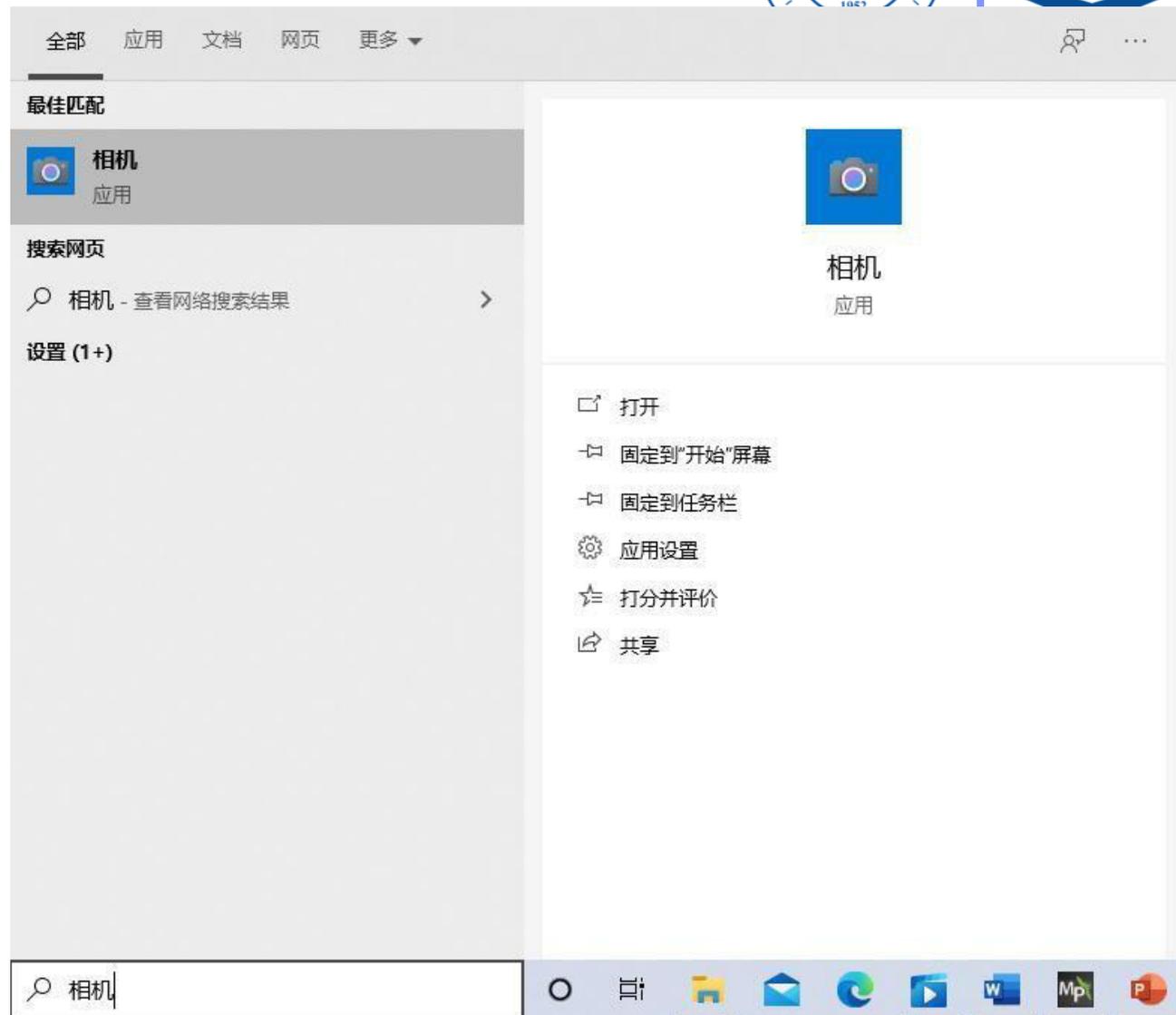
- 掌握图传发射和接收模块的连接与调试。

# 6.本讲实践

## 课堂实践：图传设备的调试

### (2) 实践步骤

第一步，使用USB数据线连接图传接收模块与显示器，在显示器界面搜索“**相机**”并打开，此时图传接收模块未与图传发射模块对频，相机界面显示雪花状态。



## 6. 本讲实践

### 课堂实践：图传设备的调试

#### (2) 实践步骤

第二步，使用信号线将**摄像头与图传发射模块连接**，用锂电池为摄像头和图传发射模块供电。

第三步，长按图传接收模块**扫频键**3秒进行对频，对频结束后显示器则显示摄像头拍摄画面，如右图。





# 6.本讲实践

## 课堂实践：图传设备的远距调试



### (1) 实践目标

#### 1. 准备

- 硬件：图传发射和接收模块一对，摄像头一个，电池一块，遥控器一个，数据线一套，以上可参见附录A。

#### 2. 目标

- 熟悉图传设备远距调试。

## 6.本讲实践

### 课堂实践：图传设备的远距调试



#### (2) 实践步骤

第一步，进行本次实验所用的图传设备要在室内完成调试，然后将所需设备移至室外，将无人机和地面站间隔约**30m**左右的距离放置，确保图传收发天线之间通视、无障碍物。



间隔30m左右

通视、无障碍物



## 6.本讲实践

### 课堂实践：图传设备的远距调试



#### (2) 实践步骤

第二步，打开遥控器，分别给设备通电，待图传设备连接成功后，若在遥控器（地面终端）看到摄像头拍摄画面，则表明图传设备远距工作正常。





(1) 通信的基本原理

(2) 多旋翼通信设备:

- 遥控器和接收机
- 数据传输设备
- 图像传输设备

(3) 自组网传输的拓扑结构



可靠飞行控制研究组  
RELIABLE FLIGHT CONTROL GROUP

□ 感谢王培为本讲课程准备做出的贡献



R f l y 官 网



研 究 组 公 众 号



视 频 号



B 站 官 方 账 号



优 酷 账 号

# 相 关 书 籍

## RELATED BOOKS



### 多旋翼飞行器

#### 从原理到实践

ISBN9787121454158

组装试飞



### 多旋翼无人机

#### 远程控制实践

ISBN9787121447129

开发实践



### 多旋翼飞行器

#### 设计与控制实践

ISBN9787121377648

开发实践



### 多旋翼飞行器

#### 设计与控制

ISBN9787121312687

理论研究



可靠飞行控制研究组  
RELIABLE FLIGHT CONTROL GROUP

