

目录	1
----	---

目录

一 前言	2
1.1 本文适用人群	2
1.2 本文主要内容	2
二 预备知识	2
2.1 无人机、航模	2
2.2 固定翼飞行器	3
2.3 如何控制固定翼飞行器？	3
2.4 控制通道	3
2.5 执行器件及其控制方式	4
三 材料清单	4
四 控制器选型	5
五 控制电路设计	5
5.1 AD 软件简介	5
5.2 单片机最小系统设计	5
5.3 电机驱动电路设计	5
5.4 舵机控制电路设计	6
5.5 通信电路设计	6
5.6 电源部分设计	7
5.7 其他电路设计	7
六 绘制电路板	7
七 编写控制程序	8
7.1 STM32QubeMX 简介	8
7.2 要实现的功能概览	8
7.3 使用 STM32QubeMX 帮我们配置初始工程	8

一 前言

1.1 本文适用人群

1. 不满足于上层软件设计，想弄清硬件运行原理的 DIY 爱好者
2. 对电子技术、软件编程感兴趣而不知从何入手
3. 有意向参加机器人、智能车等软硬综合比赛
4. 机器人爱好者、模型（航模、车模）爱好者

本文主要面向北京邮电大学大一、大二学生，作为北邮机器人队预备队的教程，当然也欢迎其他爱好者参考。

1.2 本文主要内容

1. 飞行器相关介绍
2. 常见电子执行器件（电机、舵机）及其驱动方式介绍
3. PCB 设计（原理图设计及 Layout）
4. 使用 STM32QubeMX 根据分配的引脚功能生成工程
5. 单片机编程

需要注意的是，有些内容与我们整个训练关系不大，会简略跳过，有兴趣的同学请自行对相关关键词进行搜索。同时，软件的安装等也无法很详尽地说明，如果大家对有些软件的安装有所疑问，请配合搜索引擎。

二 预备知识

2.1 无人机、航模

除了军用无人机，生活中我们所提及的无人机及航模的概念实际上非常接近。目前也没有明确的概念来区分二者，因此本文中不区分这两者概念，统一称为“飞行器”。

2.2 固定翼飞行器

固定翼飞行器是最常见的飞行器。常见的客机、战斗机等，都可以归于固定翼飞行器的范畴。与多轴飞行器相比，固定翼飞行器巡航速度快，负载大。

2.3 如何控制固定翼飞行器？

固定翼飞行器一般包含主翼、尾翼、机身、发动机等。飞行器的动力来自于发动机，对于电动飞行器而言，发动机就是电机。飞行器的拐弯通过主翼上的副翼、及垂直尾翼上的方向舵来控制。爬升则通过水平尾翼上的升降舵来控制。

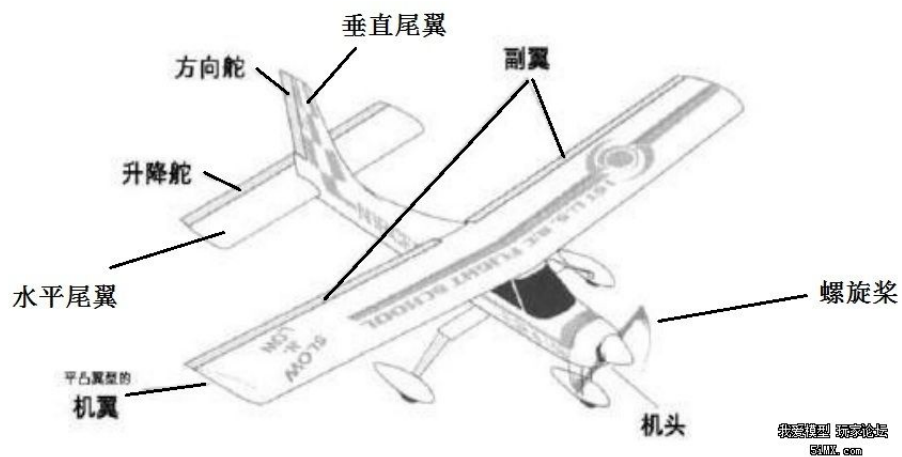


图 1: 固定翼飞机

依据伯努利定律，飞行器的升力来自于机翼上下两侧的压力差，因此通过控制左右副翼的升降，可以控制飞行器的“横滚”、控制升降舵的升降，则可以控制飞行器的“俯仰”。

2.4 控制通道

常见“三通”、“四通”都指的是飞行器的控制通道。三通一般为三个控制通道：油门、方向舵、升降舵。四通则为油门、方向舵、副翼、升降舵。当然了，也可以自制无动力的三通滑翔机，则此时三个通道为：副翼、方向舵、升降舵。

2.5 执行器件及其控制方式

电机，飞行器上常用直流电机，包括空心杯电机及无刷电机。在飞行器上一般使用空心杯电机。空心杯电机是一种常见的有刷电机，想必大家小时候都玩过四驱车，里面的马达就是一种有刷电机。在中学物理中，大家学的电动机模型就是有刷电机。控制有刷电机的方式很简单，通过在电机两端加上一定的电压，即可驱动有刷电机，而改变电压的大小，即可调速。



图 2: 空心杯电机

无刷电机，是航模的主要动力，动力强劲，重量也比一般的有刷电机（除了空心杯）轻很多。无刷电机的驱动较为复杂，因为无刷电机内部没有一种叫做“电刷”的东西，因此得通过外部进行电流的换向。驱动无刷电机不能直接在两端施加电压，而应外接一个叫做“电子调速器”的东西，俗称电调。通过改变输给电调信号的“脉宽”（即高电平宽度），来实现无刷电机的调速。

舵机，是航模上控制舵面（升降舵、副翼、方向舵）的主要元件。舵机内部包含了简单的控制电路，对舵机输入一定的“脉宽”，即可使舵机转动到相应位置。

三 材料清单

下面列出制作一个微型固定翼飞行器所需要的清单，出于训练的目的，飞行器的电路板及程序都由我们自己设计及编写。

- 1、Jbug 空机
- 2、720 空心杯电机 *2
- 3、电磁舵机或微型舵机 *2
- 4、电路板
- 5、1S 锂电池

四 控制器选型

我们的目标是设计一个可以控制（通过电脑或者手机）的飞行器，而且程序的编写尽量简洁，不涉及太多单片机底层的操作。（实际上，等你接触过许多单片机，你会发现在单片机底层上浪费的时间是很不值得的）

因此我们选择了 ST 的一个常见型号，STM32F103C8T。32 位单片机，72M 主频，对我们的需求绰绰有余。更主要的是，ST 的官方工具 STM32CubeMX 非常好用，能让我们将更多精力聚焦于控制与算法，而不是配置 IO 口功能。

五 控制电路设计

5.1 AD 软件简介

Altium Designer 是一个简单的 PCB 设计软件。设计 PCB 的一般流程是通过在原理图定义各个网络名及其连接，接着在 PCB 文件中通过走线将各个元件实际上连接起来。该软件可以在 BT 上下载。

5.2 单片机最小系统设计

所谓单片机的最小系统，即指能使单片机运行起来的最小单元，一般包含给单片供电的电源电路、程序下载及调试电路、晶振电路、复位电路，及相应的 LED 提示电路等。

需要注意的是，这里设计了一些接在 3.3V 与 GND 之间的电容，目的就是电源进行滤波，以防止电源波动较大，对程序运行产生影响。这些电容也叫去耦电容。

5.3 电机驱动电路设计

因为本飞行器使用的是空心杯电机，前面提到，控制空心杯的方式非常简单，只要改变电压即可调速。而在电路上设计一个可控的电压源是比较麻烦的是，因此我们用另一个办法来等效改变电压。如图：

我们可以通过控制在一个周期内，mos 管导通的时间，来等效地控制电压。这就是常见的 PWM 控制。只要 PWM 的频率高到一定程度，控制效果就接近于直接改变电压来控制速度。（一般使用 8K-25K 的频率）至于为什么不用三极管而用 Mos 管，主要原因是：三极管管压降（ V_{ce} ）大，会有较大电压浪费在三极管上。

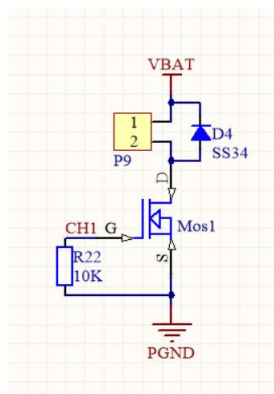


图 3: 有刷电机驱动电路

图中的 R22 是一个下拉电阻，保证在单片机刚上电时引脚悬空的时候，mos 不会误触发成导通状态。D4 是续流二极管，在 Mos 关闭状态，给电机的电流一个续流通路，否则 mos 管 D 极的感应电动势可能会击穿 mos。

单片机输出 PWM 波的引脚必须是定时器 (如 TIM1)，因此分配引脚的时候要注意不要分配错了。

5.4 舵机控制电路设计

前面提到，控制舵机是使用 PWM 信号，因此直接从单片机引出一个能输出 PWM 波的引脚，与另外两个插针 (3.7V, GND) 组成了舵机的接口。

需要注意的是，控制舵机的电流不是由单片机产生的，不要想当然的认为是单片机的高电平驱动了舵机。单片机只提供了一个信号给舵机自己的控制电路。

5.5 通信电路设计

通信部分我们使用一个蓝牙串口，较为简单。实际上更为常用的是使用 NRF24L01 等无线射频芯片来达到较为远距离的传输。但出于设计简单考虑，我们还是选择蓝牙。

蓝牙的电路参考说明手册进行连接即可，需要注意的是，蓝牙的 RX 需接单片机的 TX，蓝牙的 TX 需接单片机的 RX，接反会无法接受数据。(普通的串口接法)

5.6 电源部分设计

单片机及传感器一般使用的电压为 3.3V，因此我们需要一个 3.7V 降为 3.3V 的电路。一般使用 LDO(线性稳压器，与之相对的是开关稳压器，感兴趣的同学可以去查查)。

处于体积考虑，我们选择了 sot23-6 封装的 RT9193，引脚连接参考官方手册。

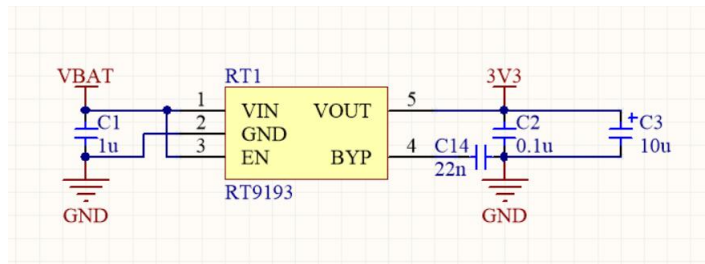


图 4: 电源电路

5.7 其他电路设计

出于拓展考虑，我还在电路板上设计了一个 MPU9250 及其相应电路。MPU9250 是一个 9 轴传感器，可测三轴角速度、三轴加速度、三轴磁场强度。可以通过对这些信息进行解算，得出俯仰角、横滚角、偏航角，并实现自动控制。

当然，这是比较高的要求了，没有基础的同学可以略过。

六 绘制电路板

绘制电路板的教程这里就不写了，参考视频教程。需要注意的是，视频中对过孔大小的描述为 10mil 10mil 是错误的，一般 PCB 厂的加工能力为 12mil, 20mil，因此打过孔的时候，尽量打成 12mil, 20mil。如果过孔孔径超出 PCB 厂加工能力，工程师会帮你自动调整，但如果板子面积较小无法自动调整，可能会打回修改。因此过孔大小尽量设置为 12mil, 20mil。

七 编写控制程序

7.1 STM32QubeMX 简介

7.2 要实现的功能概览

作为一个飞行器，首先肯定要能驱动飞行器上的电机、舵机等，同时要能接受远程控制的信息，对遥控指令进行响应。

概括一下：电机、舵机驱动（需要相应定时器引脚，电机与舵机的驱动频率不同，因此必须为不同的定时器）

蓝牙遥控（需要一个 USART 串口）

7.3 使用 STM32QubeMX 帮我们配置初始工程

新建工程，搜索我们要的芯片型号：STM32F103C8T 等，可以仅输入到 F103，具体的型号可以再选择。

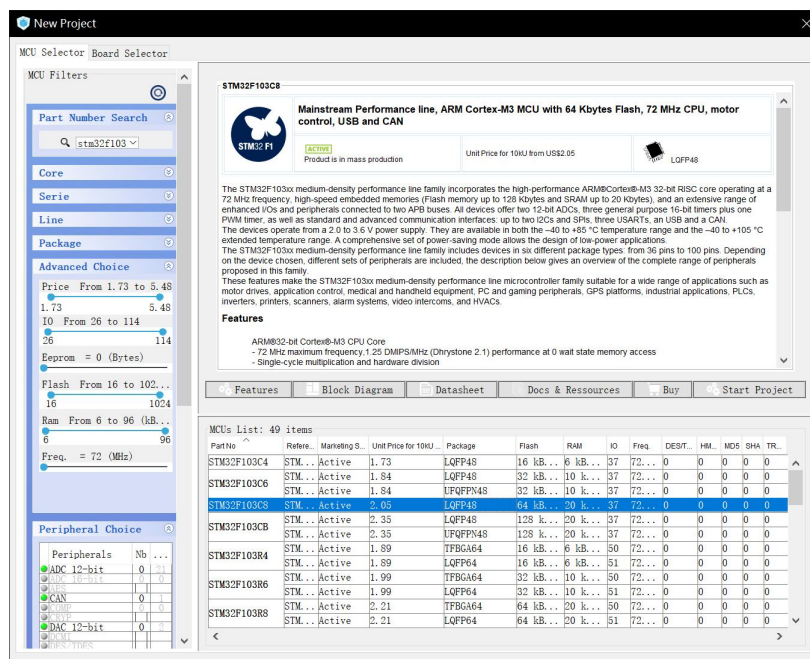


图 5: STM32QubeMX 芯片选择界面

首先，配置晶振。晶振产生的时钟信号是整个单片机的时钟来源（虽然很多单片机都有内部振荡器，当没有外部晶振时可以作为替代，但精度等都比不

上外部晶振)。

点击 Pin_Out-RCC-High Speed Clock 中, 选择 crystal, 即表示我们使用外部晶振。在 Clock Configuration 中, 输入 Input frequency 为 8M, 并在 HCLK 中输入 72M, 然后按回车, 软件会自动帮我们选择合适的倍频系数等等。

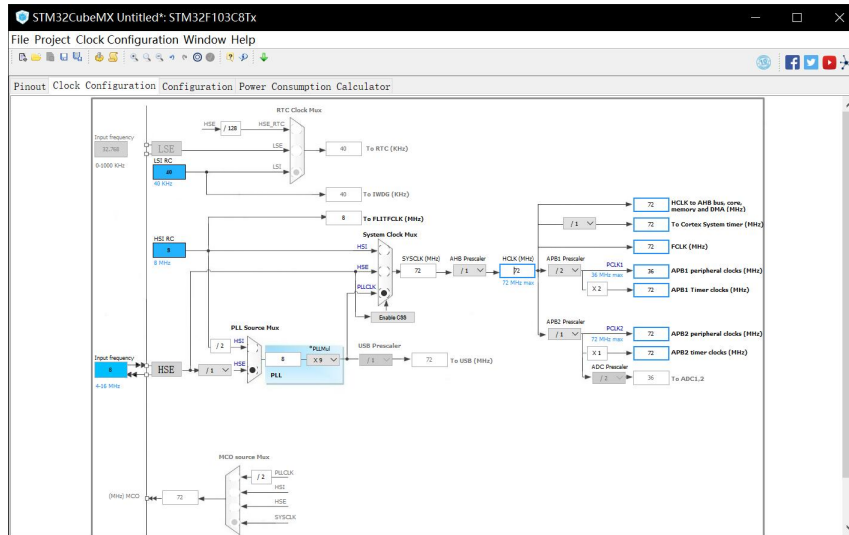


图 6: 时钟配置

接下来配置我们要使用的引脚, 需要注意的是, 有些引脚是不能用的 (或者说用了之后会非常麻烦), 比如说晶振引脚、下载引脚、调试引脚等, 这些引脚最好不要使用。

我们要输出两种频率的 PWM 波, 显然需要两个定时器。至于选用哪个定时器, 如果没有特殊情况, 应该是在 PCB 设计时候就决定了 (即用哪个定时器好走线)。

因此, 我们决定使用 TIM4 作为空心杯电机的驱动信号 (频率 8K), TIM1 作为舵机的驱动信号 (频率 50), 因为有两个空心杯电机和两个舵机, 因此每个定时器都使用两个通道 (Channel)

配置定时器, 在 Pin_Out 中, 选择 TIMn, 然后选择我们要使用的通道, 选择 PWM generation Chn。这里只是配置了定时器的引脚, 关于定时器的频率、PWM 占空比等设置, 在 Configuration 中, Control 分栏下面, 会有各个定时器。双击定时器, 即出现参数设置。我们要设置的参数仅有几个, Prescaler (预分频系数)、Counter_Period (自动装载值, 字面上理解是定时器

周期), 以及每个通道的 Pulse。其中, 预分频系数与自动装载值决定了该定时器所有通道 PWM 的频率, 每个通道的 Pulse 决定了该通道的占空比。

频率计算公式为:

$$f_o = F / ((pre + 1) * count_period) \quad (1)$$

F 为定时器信号源频率, 如果前面按照我说的那样配置时钟的话, 那么 F=72M。因此, 如果我们要使频率为 50HZ, 参数可取: pre=71, count_period=20000 频率为 8K 的参数请大家自行计算。

占空比计算公式为:

$$duty = pulse / count_period * 100\% \quad (2)$$

因为我们是通过改变占空比来实现调速的, 因此实际上这个 Pulse 初值可以不用管, 设为 0 就行了。

接下来配置串口。点击 Pin_Out, 选择 PCB 设计已经选好的串口, 如 USART2, 模式选择异步 (asynchronous)。然后设置 USART2 的参数, 默认波特率就是 115200, 因此不必修改了。