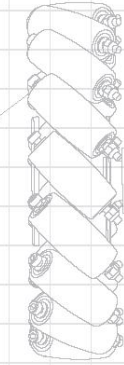




Using a 33-HS motor driver chip and Field-Oriented Control (FOC), the RoboMaster G200 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.



Exclusively designed for the RoboMaster M2000 P18 Brushless DC Gear Motor and G200 Brushless DC Motor Speed Controller, the M2000 Accessory DC Buck/Boost converter module and a terminal board.

RoboMaster System Specification Manual, RoboMaster System User Manual, Introduction of RoboMaster System Modules

The M2000 Accessory DC Buck/Boost converter module and a terminal board, together, constitute an auxiliary circuit for the RoboMaster system.

# ROBOMASTER 超级对抗赛

# 技术报告

沈阳航空航天大学 TUP 战队 编制

2022 年 08 月 发布

# 目录

<b>1. 步兵机器人</b> .....	<b>6</b>
1.1 其它学校步兵机器人分析综述 (2.5) .....	6
1.2 机器人功能定义 (5) .....	6
1.3 机器人核心参数 (2.5) .....	7
1.4 设计方案 (25) .....	7
1.4.1 机械结构设计 .....	7
1.4.2 硬件设计 .....	14
1.4.3 软件设计 .....	16
1.4.4 算法设计 .....	21
1.4.5 其它 .....	33
1.5 研发迭代过程 (10) .....	33
1.5.1 版本迭代过程记录 .....	33
1.5.2 重点问题解决记录 .....	33
1.6 团队成员贡献 (2.5) .....	34
1.7 参考文献 (2.5) .....	35
<b>2. 哨兵机器人</b> .....	<b>37</b>
2.1 其它学校哨兵机器人分析综述 (2.5) .....	37
2.2 机器人功能定义 (5) .....	37
2.3 机器人核心参数 (2.5) .....	37
2.4 设计方案 (25) .....	38
2.4.1 机械结构设计 .....	38
2.4.2 硬件设计 .....	41
2.4.3 软件设计 .....	42
2.4.4 算法设计 .....	48
2.4.5 其它 .....	错误! 未定义书签。
2.5 研发迭代过程 (10) .....	48
2.5.1 版本迭代过程记录 .....	48
2.5.2 重点问题解决记录 .....	48
2.6 团队成员贡献 (2.5) .....	51
2.7 参考文献 (2.5) .....	51
<b>3. 英雄机器人</b> .....	<b>52</b>
3.1 其它学校英雄机器人分析综述 (2.5) .....	52
3.2 机器人功能定义 (5) .....	52

3.3 机器人核心参数 (2.5)	53
3.4 设计方案 (25)	54
3.4.1 机械结构设计	54
3.4.2 硬件设计	62
3.4.3 软件设计	64
3.4.4 算法设计	64
3.4.5 其它	65
3.5 研发迭代过程 (10)	65
3.5.1 版本迭代过程记录	65
3.5.2 重点问题解决记录	66
3.6 团队成员贡献 (2.5)	67
3.7 参考文献 (2.5)	68
<b>4. 工程机器人</b>	<b>69</b>
4.1 其它学校工程机器人分析综述 (2.5)	69
4.2 机器人功能定义 (5)	69
4.3 机器人核心参数 (2.5)	69
4.4 设计方案 (25)	70
4.4.1 机械结构设计	70
4.4.2 硬件设计	72
4.4.3 软件设计	73
4.4.4 算法设计	78
4.4.5 其它	79
4.5 研发迭代过程 (10)	79
4.5.1 版本迭代过程记录	79
4.5.2 重点问题解决记录	79
4.6 团队成员贡献 (2.5)	80
4.7 参考文献 (2.5)	80
<b>5. 空中机器人</b>	<b>81</b>
5.1 其它学校空中机器人分析综述 (2.5)	81
5.2 机器人功能定义 (5)	81
5.3 机器人核心参数 (2.5)	错误! 未定义书签。
5.4 设计方案 (25)	错误! 未定义书签。
5.4.1 机械结构设计	错误! 未定义书签。
5.4.2 硬件设计	错误! 未定义书签。

5.4.3 软件设计 .....	错误! 未定义书签。
5.4.4 算法设计 .....	错误! 未定义书签。
5.4.5 其它 .....	错误! 未定义书签。
5.5 研发迭代过程 (10) .....	错误! 未定义书签。
5.5.1 版本迭代过程记录 .....	错误! 未定义书签。
5.5.2 重点问题解决记录 .....	错误! 未定义书签。
5.6 团队成员贡献 (2.5) .....	错误! 未定义书签。
5.7 参考文献 (2.5) .....	错误! 未定义书签。
<b>6. 飞镖系统 .....</b>	<b>88</b>
6.1 其它学校飞镖系统分析综述 (2.5) .....	88
6.2 机器人功能定义 (5) .....	88
6.3 机器人核心参数 (2.5) .....	88
6.4 设计方案 (25) .....	89
6.4.1 机械结构设计 .....	89
6.4.2 硬件设计 .....	93
6.4.3 软件设计 .....	94
6.4.4 算法设计 .....	96
6.4.5 其它 .....	97
6.5 研发迭代过程 (10) .....	97
6.5.1 版本迭代过程记录 .....	97
6.5.2 重点问题解决记录 .....	97
6.6 团队成员贡献 (2.5) .....	99
6.7 参考文献 (2.5) .....	100
<b>7. 雷达 .....</b>	<b>101</b>
7.1 其它学校步兵机器人分析综述 (2.5) .....	101
7.2 机器人功能定义 (5) .....	101
7.3 机器人核心参数 (2.5) .....	102
7.4 设计方案 (25) .....	102
7.4.1 机械结构设计 .....	102
7.4.2 硬件设计 .....	103
7.4.3 软件设计 .....	103
7.4.4 算法设计 .....	103
7.4.5 其它 .....	错误! 未定义书签。
7.5 研发迭代过程 (10) .....	110

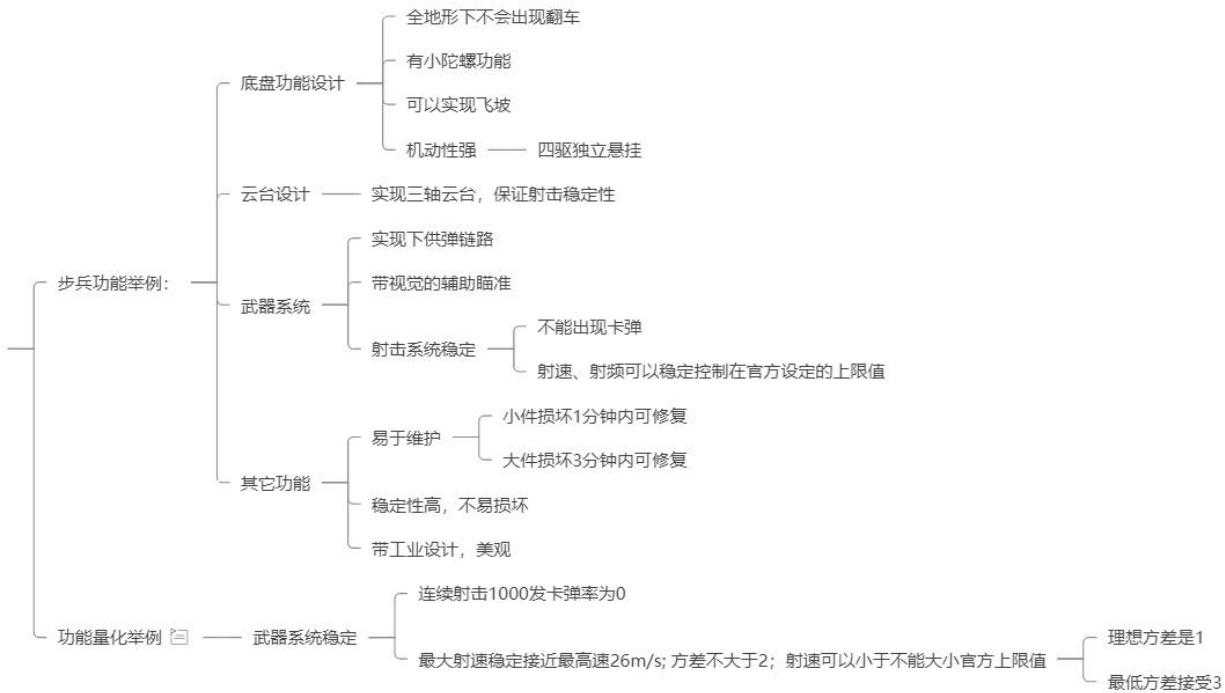
---

7.5.1 版本迭代过程记录 .....	110
7.5.2 重点问题解决记录 .....	110
7.6 团队成员贡献（2.5） .....	111
7.7 参考文献（2.5） .....	111

# 1. 步兵机器人

## 1.1 其它学校步兵机器人分析综述（2.5）

根据对 2022 赛季比赛的分析，许多学校步兵机器人底盘采用了舵轮底盘与全向轮底盘，机动能力不俗。还有小部分学校取消了传统的四驱独立悬挂，采用了自适应悬挂系统，进一步提高了步兵底盘的稳定性。很大一部分机器人底盘机动性与射击能力已经十分稳定。



## 1.2 机器人功能定义（5）

### 1.2.1 机械各模块需求分析

**底盘部分：**2022 赛季场地新增全场盲道、35.5 度高斜坡及障碍块台阶等复杂路况，故要求底盘及附属模块（悬挂、轮系、防撞）坚固可靠，在满足盲道缓震的需求的同时满足飞坡对悬挂的硬性需求。同时，为满足顺利通过障碍块台阶及 200mm 高台阶，整车中心应放低。

**云台部分：**2022 赛季场地新增旋转前哨站，对云台的灵活性提出了很大要求。应满足pitch轴和yaw轴的配平及灵敏。同时兼顾轻便和高强度，以应对飞坡落地的巨大冲击力。为应对大小能量机关的激活，发射模块应具备 5m 弹道落点分布在 7\*7cm 区域，7m 弹道落点不超过一块小装甲板。供弹模块应避免出现单发模式连发射击的情况，

## 1.2.2 各模块设计方向

底盘部分：纵置悬挂，采用 8 根四组 110mm 避震器，1.6mm 弹簧钢弹簧，短臂轮组，电机与麦轮非直接连接，梁式底盘，加强防撞杠，轮组模块化。

云台部分：俯仰角度增大，强化与底盘连接，pitch 轴重心配平，弹仓加深加大防漏弹，pitch 轴电机非直连以解决过热问题和保护电机。

## 1.3 机器人核心参数（2.5）

机械参数	数值
整车重量	20.35kg
俯仰角	-25° —— +53°
长宽高	580*500*480
接近角	21°
离去角	42°
通过角	41.7°
最大爬坡角度（120w 水平面出发）	42°

## 1.4 设计方案（25）

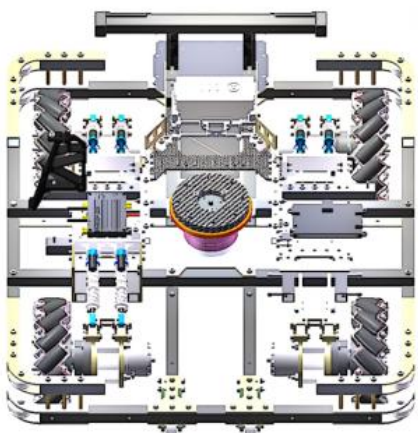
### 1.4.1 机械结构设计

#### 1.4.1.1 底盘设计

底盘为保证强度使用梁式底盘，转角处采用 3mm 环氧树脂板材进行连接，yaw 轴及以上部分堆叠于主梁之上。同时为避免连接处松动变形，延长了连接件，并通过增加孔位以及提高孔位间距来提高连接性能。

全车框架使用 15\*15mm 铝方管，在保证强度的同时大大减轻了车体重量。

前后方装甲板固定于主体延伸出的 3mm 板材，并通过连接件加固。

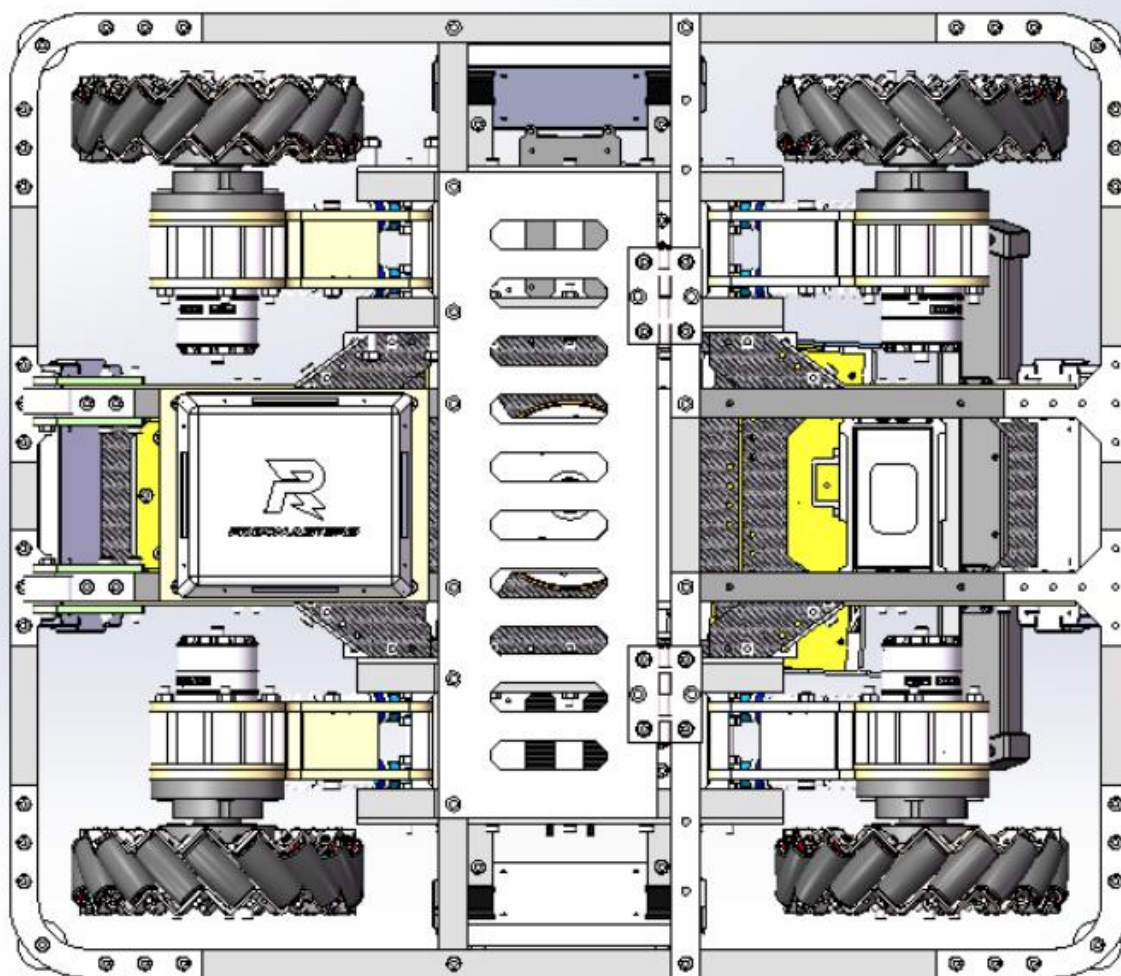


侧方装甲板固定于铝方管上，以保证受冲击后的强度。

底盘铝管与铝管间使用 12.9 级镀镍 M4 内六角螺栓，配合防松螺母使用。在保证强度的同时也减小过大钻孔给铝管带来的弯矩。所有铝管钻孔要保证加工精度，装配不顺时应考虑精度问题。

整车大量使用了榫卯结构，辅以打印件连接，相较于前代机器人在优化空间方面得到了很大的改善，



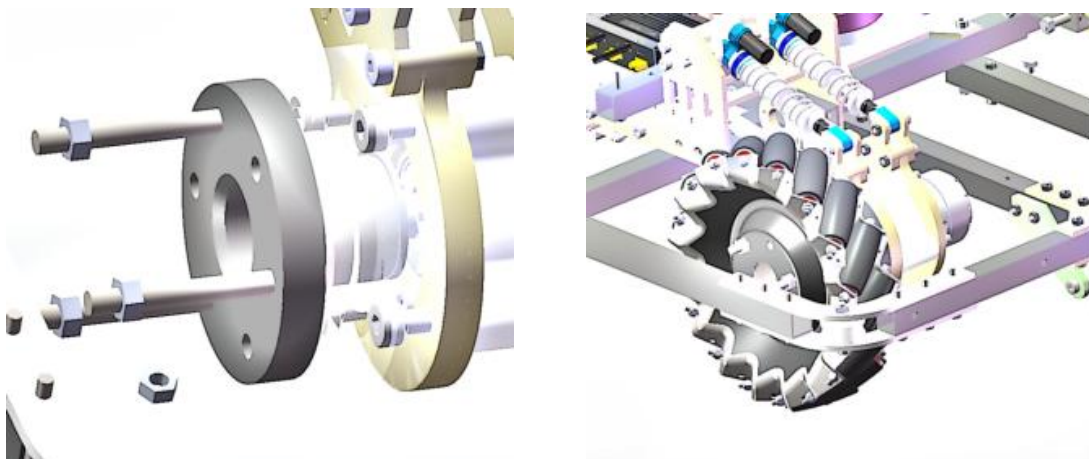


同时为满足方便检查底盘线路，底壳设计为可翻盖的结构，使用发了螺母进行固定，以保证临场可以迅速打开排查线路，提供了宽敞的布线空间。同时保证底盘结构的整洁，不会在下台阶时被边缘卡住。

底盘可翻盖结构示意图

### 1.4.1.2 轮系及悬挂

轮组采用电机非直连的形式，通过转接件连接麦克纳姆轮，以分散冲击力保护电机。转接件分两部分，中间通过两个薄壁轴承分散应力，用卡簧固定两连接件。



悬挂选用 8 根四组 110mm 长避震器，使用 1.6mm 线径弹簧钢弹簧，并适量添加液压油以保证避震器阻尼正常。避震安装角度经计算与轮组平行，可保证在飞坡落地时避震器仍以正角度相对地面。

### 1.4.1.3 裁判系统安装

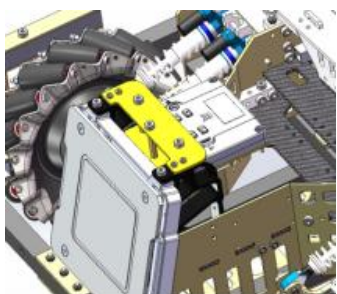


图 1：主控安装方式

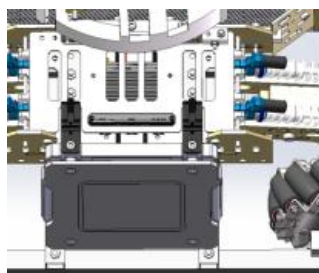


图 2：电源管理模块

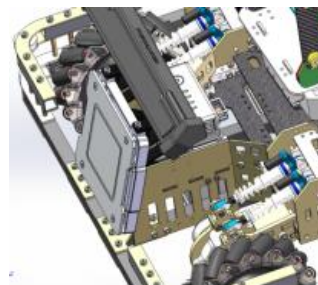


图 3：灯条安装方式

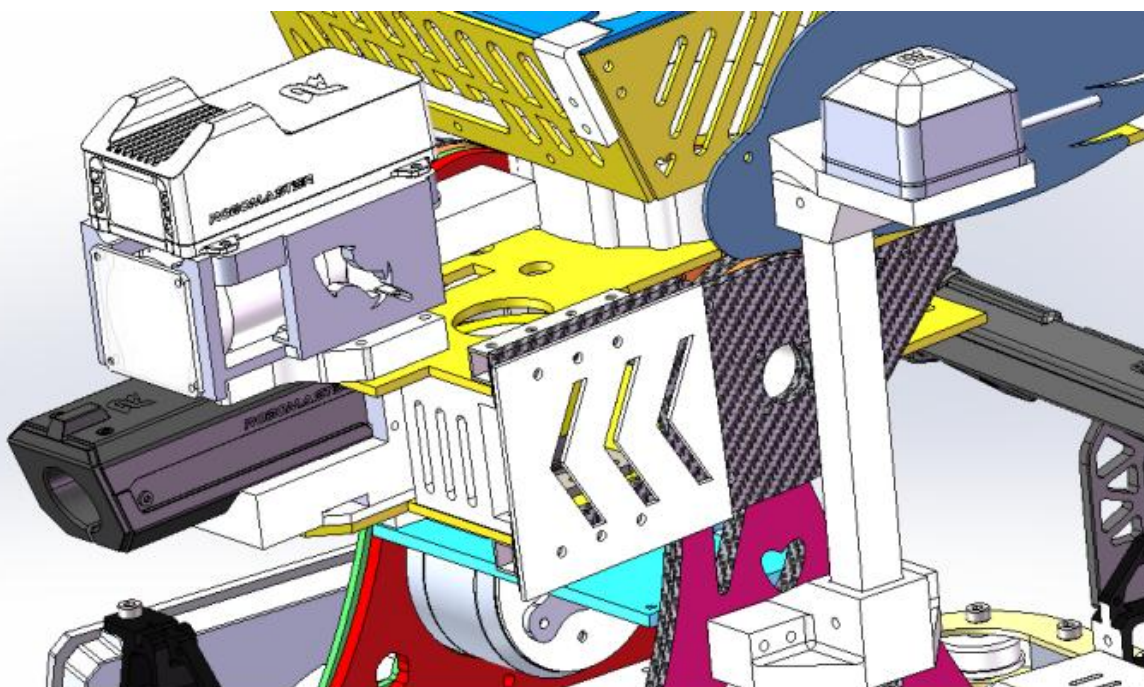


图 4：测速模块、图传、UWB定位模块安装方式

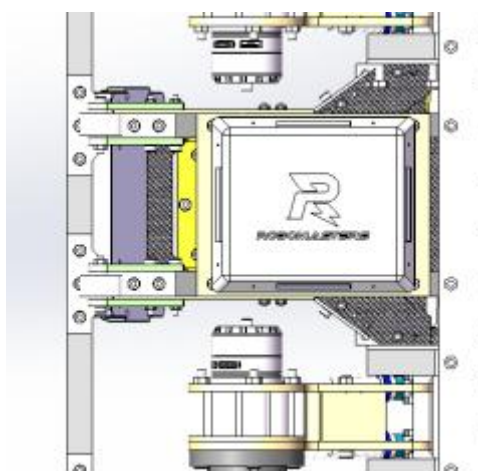
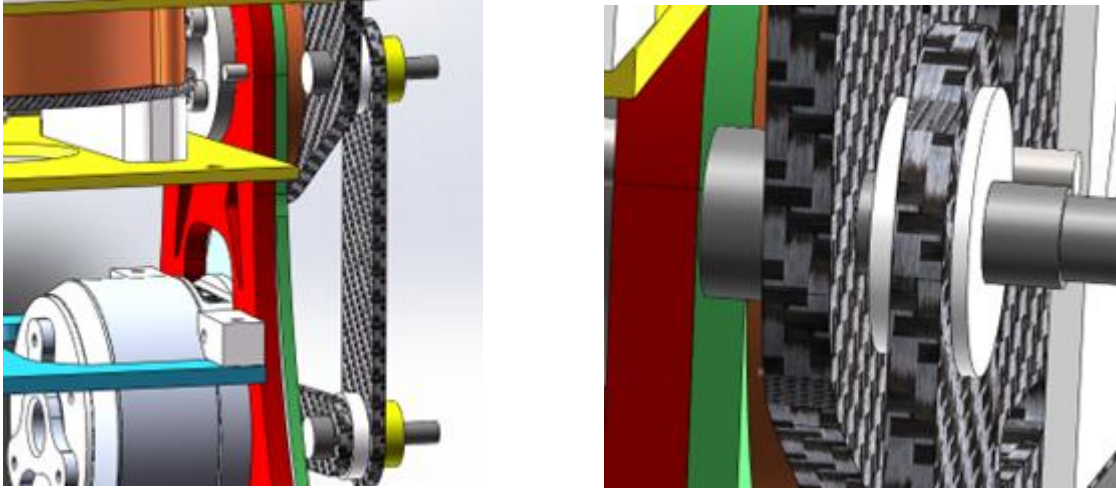


图 5：RFID 场地交互模块安装方式

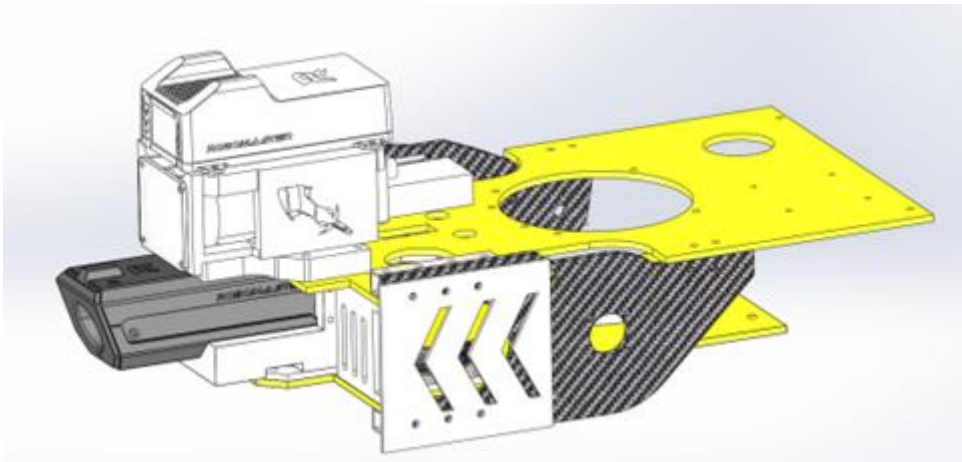
#### 1.4.1.4 云台轴系连杆设计

云台 pitch 轴采用了连杆设计，通过连杆传动一方面可以把 pitch 轴传动的 6020 电机高度降低从而降低云台重心，另一方面运用平行四边形连杆可以保证相对杆始终保持平行，并且两连杆的角速度，角位移和角加速度也始终相等。该处两连杆长度比为横杆：竖杆=1：2。

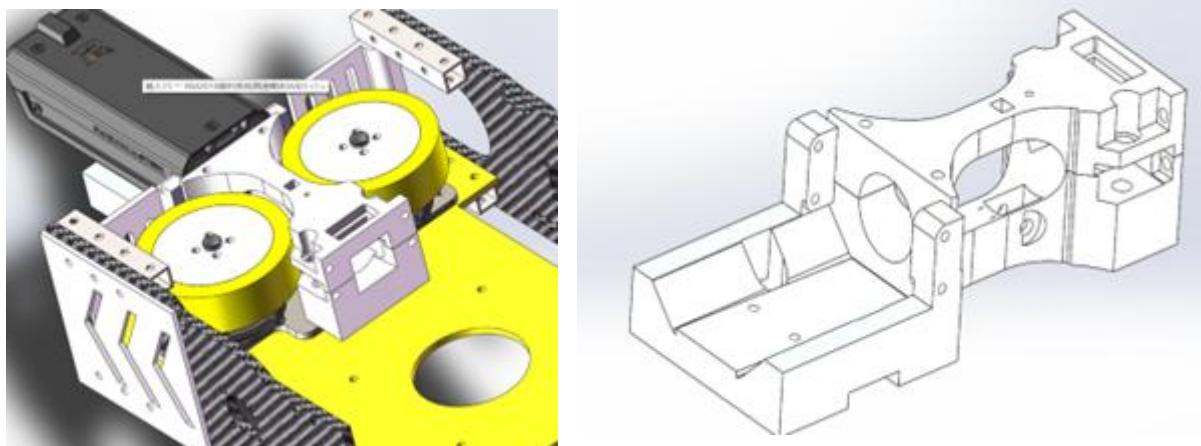


连杆连接处采用的是光杆直径为 6mm 的塞打螺丝穿入内径为 6mm 的法兰轴承中，法兰轴承直接嵌入安装到连杆中，连杆材质选取碳纤维板，在保证强度够硬的同时更加轻量化。

#### 1.4.1.5 发射模块



发射模块两侧的两块黑色 4mm 环氧板作为承力结构，安装发射机构和上下两块黄色的 3mm 环氧板

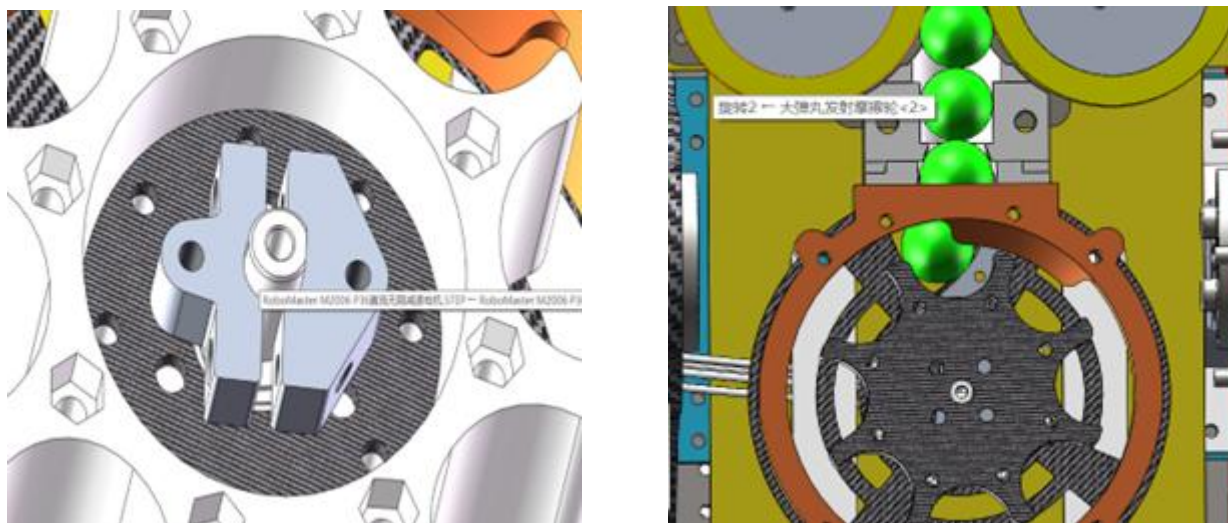


发射机构动力部分采用去掉减速箱的 3508 电机作为摩擦轮电机。

发射机构打印件分为上下两部分，因为打印机精度问题导致内壁粗糙，所以选择用上下打印件来夹住一段碳管，碳管根据打印件的槽口进行人工加工。我们的限位采用的是左右限位，用的是内径 4mm 的 U 型轴承。打印件后上方的槽口为荧光充能装置。

考虑到赛场上突发情况可能会翻车，我们将打印件延长出来了 60mm 来支撑测速模块，测速模块上方的摄像头安装件也被延长出 30mm，二者可以将测速模块固定牢固，避免因翻车造成的测速模块位移。

### 1.4.1.6 供弹模块



供弹模块的动力输出部分我们采用的是 2006 电机通过 6mmD 型孔联轴器进而控制八爪拨盘转动拨弹。八爪拨盘一层可以拨动八发 17mm 荧光弹丸，一共可以同时拨动三层。弹仓口位置上方设计的小挡片，可以预防上方的荧光弹丸掉落至弹仓口造成卡弹。

供弹链由于发射机构与弹仓直连的设计，从弹仓口拨出的子弹距离摩擦轮只有 3 发荧光弹丸的距离。

## 1.4.2 硬件设计

### 1.4.2.1 硬件选型

为了满足步兵机器人各项功能的设计目标，战队电控组和硬件组针对步兵机器人的实际情况采用了全新的设计，其相关电子元件及电路设计主要参数及布局如下所示。

设备型号	个数	功能
M3508 电机+C620 电调	6	机器人底盘运动*4 与 发射机构摩擦轮*2
GM6020 电机	2	云台 yaw&pitch
舵机 (25KG)	1	弹舱盖开合
M2006 电机+C610 电调	1	拨盘
NUC	1	视觉算法运算平台
大恒工业相机	1	图像采集
超级电容	1	底盘功率存储与释放
INA226 功率计	1	读取底盘电机功率
RoboMaster DR16 接收机	1	接受遥控器信号,控制机器人
Robomaster 开发板(C型)	1	控制各电机运行
裁判系统	1	检测机器人状态,判罚犯

		规机器人
--	--	------

### 1.4.2.2 接线拓扑图

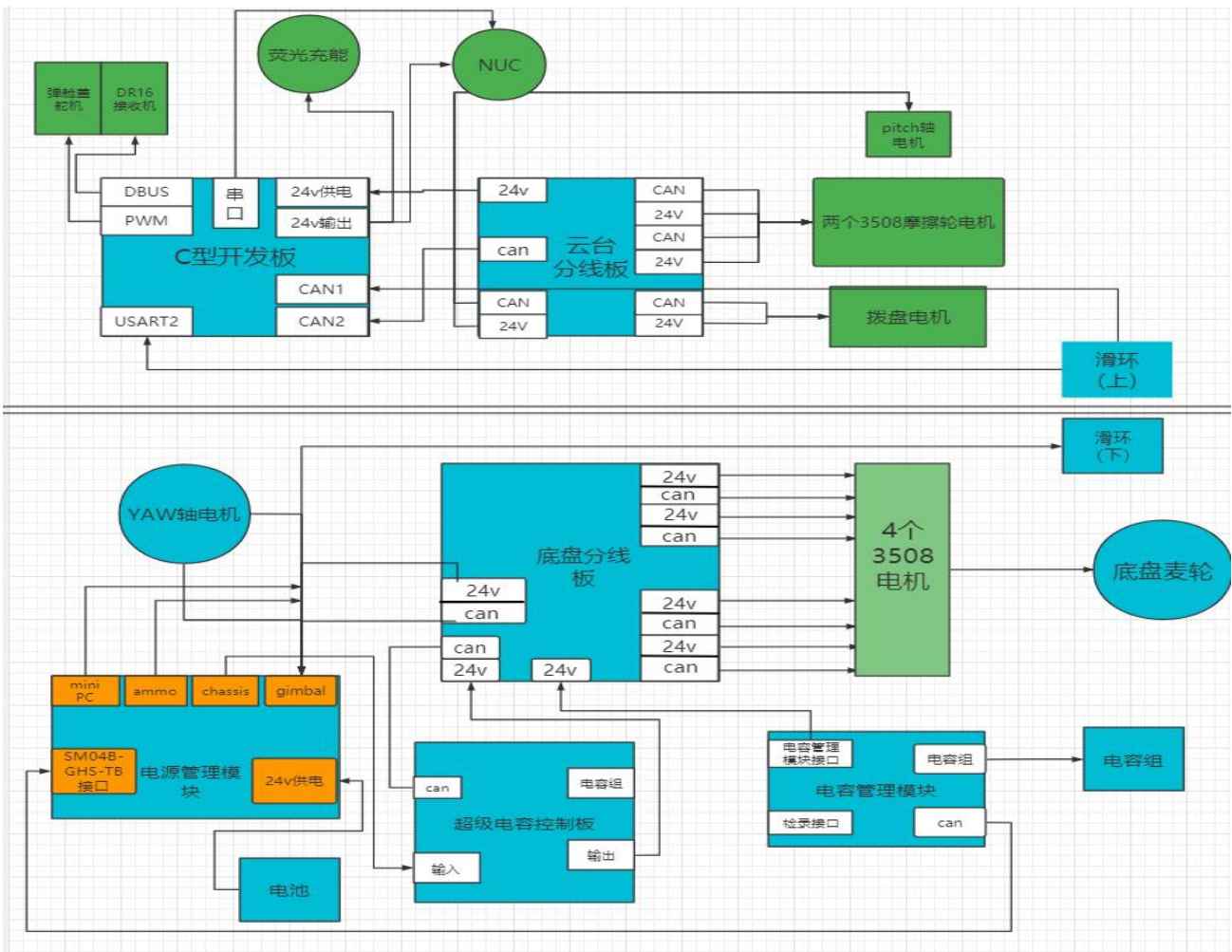


图 13 硬件接线拓扑图

### 1.4.2.3 超级电容电容组

## 1.4.3 软件设计

### 1.4.3.1 控制理论

嵌入式软件控制包括操作系统和控制系统两部分。针对于操作系统，程序的控制程序是以 FreeRTOS 操作系统为基础的，以该操作系统为基础的程序在多任务控制上与以往相比有着无可比拟的优越性。采用嵌入式实时操作系统(RTOS)可以更合理、更有效地利用 CPU 的资源，简化应用软件的设计，缩短系统开发时间，更好地保证系统的实时性和可靠性。FreeRTOS 是一个迷你的实时操作系统内核。作为一个轻量级的操作系统，功能包括：任务管理、时间管理、信号量、消息队列、内存管理、记录功能、软件定时器、协程等，可基本满足较小系统的需要。为机器车以及相关的机器人配置及实现以 FreeRTOS 实时操作系统为基础的多任务控制，优化并且提高机器车的整体性能，提高其完成任务的效率以及提高优化其可操纵性。

针对于控制系统，控制系统将控制器和被控制的对象，根据一定的方法连接构成一个有机整体，以保证各种复杂的控制任务的实现。控制系统最基本的核心是反馈或者闭环控制，通过取自被控量的反馈信息，然后对被控量和控制目标之间的偏差进行不断的修正，最后达到对被控对象进行控制的功能。控制器，执行器，传感器以及被控对象一起组成了反馈控制系统，它的得出是根据控制误差采用一定的控制算法经过运算获得的。将输出控制利用执行器施加到被控对象，然后使系统输出值尽可能地逼近期望输出值，总体来看，反馈控制过程是一个动态过程，它的最终目标是使控制误差等于 0，也就是让系统输出逼近或者等于期望的输出。

### 1.4.3.2 算法说明

步兵机器人嵌入式算法主要分为四部分组成，即云台和底盘控制算法、视觉数据处理算法、机器人模式控制算法和底盘限功率算法。

底盘控制算法：底盘采用了串级 PID 作为控制策略，利用电机的速度反馈建立负反馈环路，把距离环的输出作为速度环的期望速度，实现了底盘运动的精准控制。

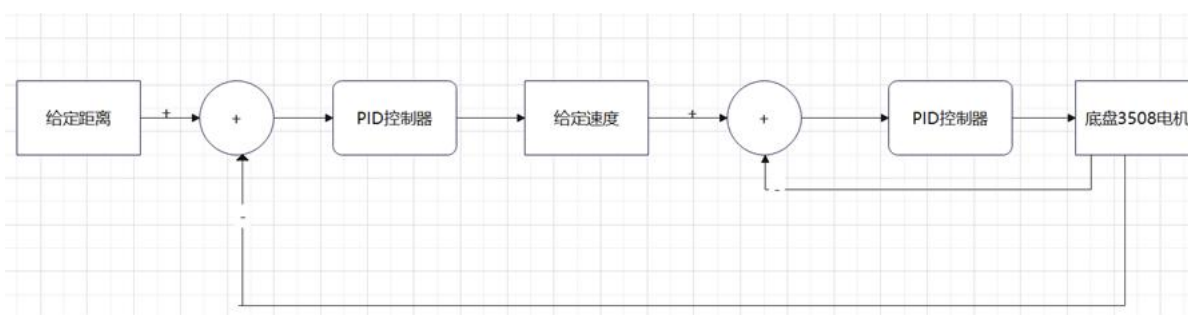


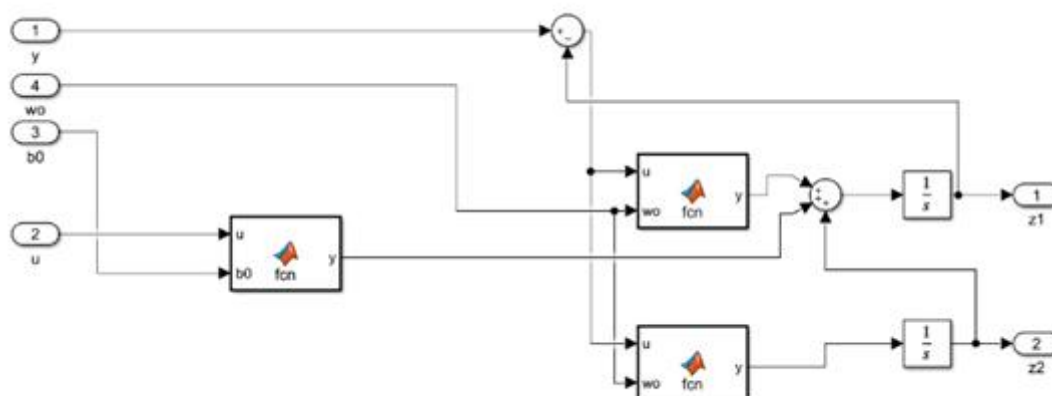
图 14 底盘 PID

云台控制算法：本赛季的云台控制策略的一个技术创新点，采用了前馈加 ladrc 的控制算法。Ladrc 控制器有很好的控制效果和鲁棒性，同时使用带宽法进行参数配置，相较于传统 pid 而言，极大的简化了调参过程



和响应效率。

Ladrc 的核心是将积分串联型作为被控对象的标准型，将不符合标准型的动态归为扰动。Ladrc 控制器分为线性扩张状态观测器和线性状态误差反馈律，扩张状态观测器用于观测系统的状态变量和扰动，线性状态误差反馈律用于反馈并消除误差。云台可以通过陀螺仪直接测量角速度和欧拉角，为提高控制器的扰动抑制比，我们采用了降阶的扩张状态观测器，建立了两个被观测量，即角速度和扰动的观测量，同时在控制量中实时消



除扰动，可以达到一个很好的抗扰效果。如下图所示：

图 15 云台 LADRC

云台的跟踪速度尤为关键，为提高云台对指令信号的跟踪速度，我们设计了一个前馈器，用于获得云台的速度信号和加速度信号，对于积分串联型对象，即指令信号的微分信号和二阶微分信号。通过两个串联的微分器即可获得这些信号。

为保证控制器的稳定性和精度，所有的微分器和积分器全部使用双线性变换法进行离散化，双线性变换法在所有采样时间内均可以保持良好的稳定性，且具有较高的精度，很适合用于数字控制器的设计。云台控制律结构图如下：

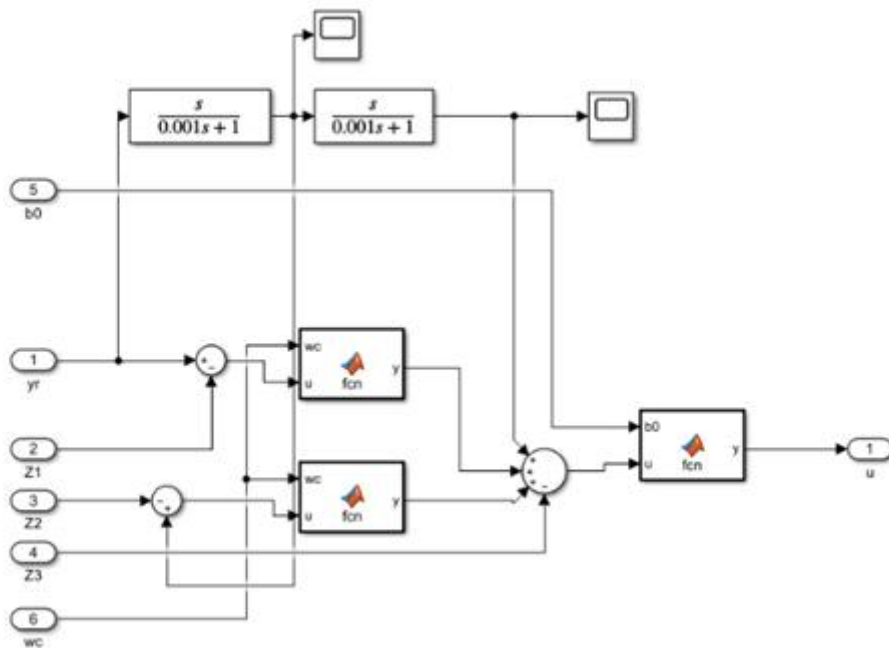


图 16 前馈 LADRC

**视觉数据处理算法：** 视觉数据处理改进移植了深圳大学 2021 年的哨兵开源电控自瞄方案，在得到视觉发来的目标相对角度后，先把相对角度转换为电机角度，用一阶卡尔曼滤波平滑曲线，再与特定时间点云台电机坐标融合，得到目标装甲板在世界坐标系下的确切坐标。

**预测处理方面，** 需要将世界坐标存入一个队列中，新进数据与队列做平均差分，得到一个相对目标的速度加速度，根据获得的速度加速度的数据进行预测角的计算。为提高响应，避免云台运动过快对图像和预测数据产生干扰，在初始识别到目标时，应关闭预测，使用真实角度。

**底盘限功率算法：** 鉴于硬件设计时的限制以及经济性和稳定性的考虑，底盘功率读取仅通过单个功率计进行，因此读取的数据与裁判系统反馈的一致，皆为底盘总功率，仅仅提升了反馈速度。也因此在做底盘限功率算法设计时，只能通过速度分配比例乘总功率来模糊转换为各电机实际功率。然后设置目标功率上限，进行速度与电流双环 PID 控制来限制底盘功率。

### 1.4.3.3 代码设计介绍

代码设计主要是基于 FreeRTOS 的多任务分时区调度功能实现，使用 FreeRTOS 创建多个任务并对其进行合理的调度，主要的系统任务包括：系统硬件的初始化任务，软件定时器数据收发任务，状态更新任务，开始

任务。而主要的控制任务包含在“开始任务”中包括：底盘任务，云台任务，射击任务，陀螺仪任务，校准任务，延时任务。通过对这些任务进行合理调度从而控制机器人整体。

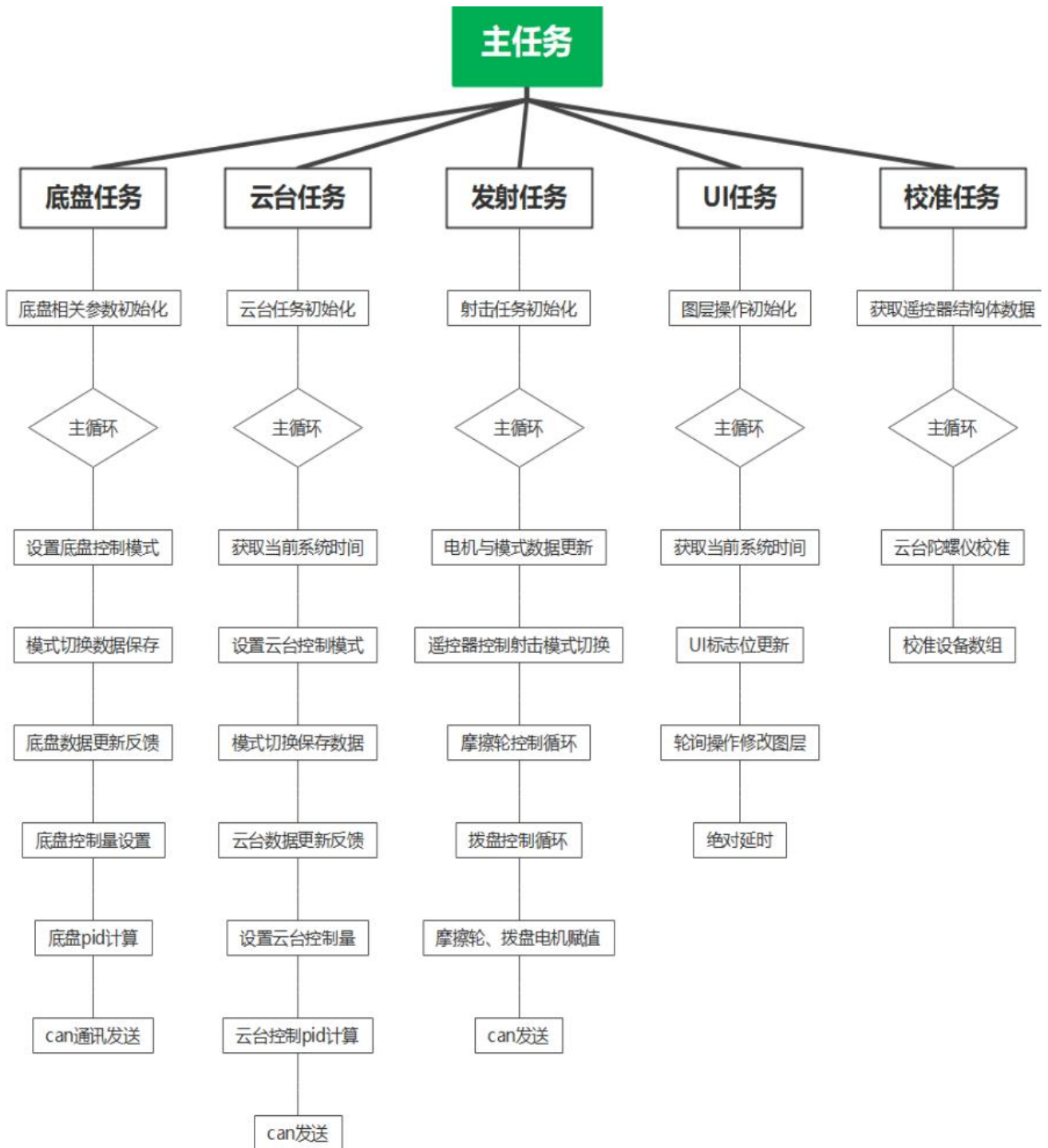


图 17 程序框图

### 1.4.3.4 UI 界面绘制

本赛季我们为操作手提供了更加丰富实用的 UI 界面。仔细研究深大 UI 开源代码后，在此基础上，衍生出了这版 UI。

界面左侧从上倒下分别是：弹舱盖状态、拨盘是否堵转、自瞄是否瞄准到敌方装甲板、摩擦轮状态。

界面右侧则添加了：小陀螺是否开启、当前打符模式（大/小符）、手动修正弹速次数和超级电容剩余电量。

以上 UI 图像红色为关闭，绿色为开启。在优化过代码逻辑后，经过实际测试，UI 图像更新速度在 0.5 秒左右。

在界面中央则绘制了视阔线，通过对比视阔线可提前判断步兵能否通过狭窄地带，避免出现底盘卡在地形的情况。



图 17UI 示意图

### 1.4.3.5 便捷操作设计

赛场环境要求操作手针对于各类情况都做出快速的反应以应对多变的赛场环境，为此我们为操作手设计的众多便捷操作的快捷键。

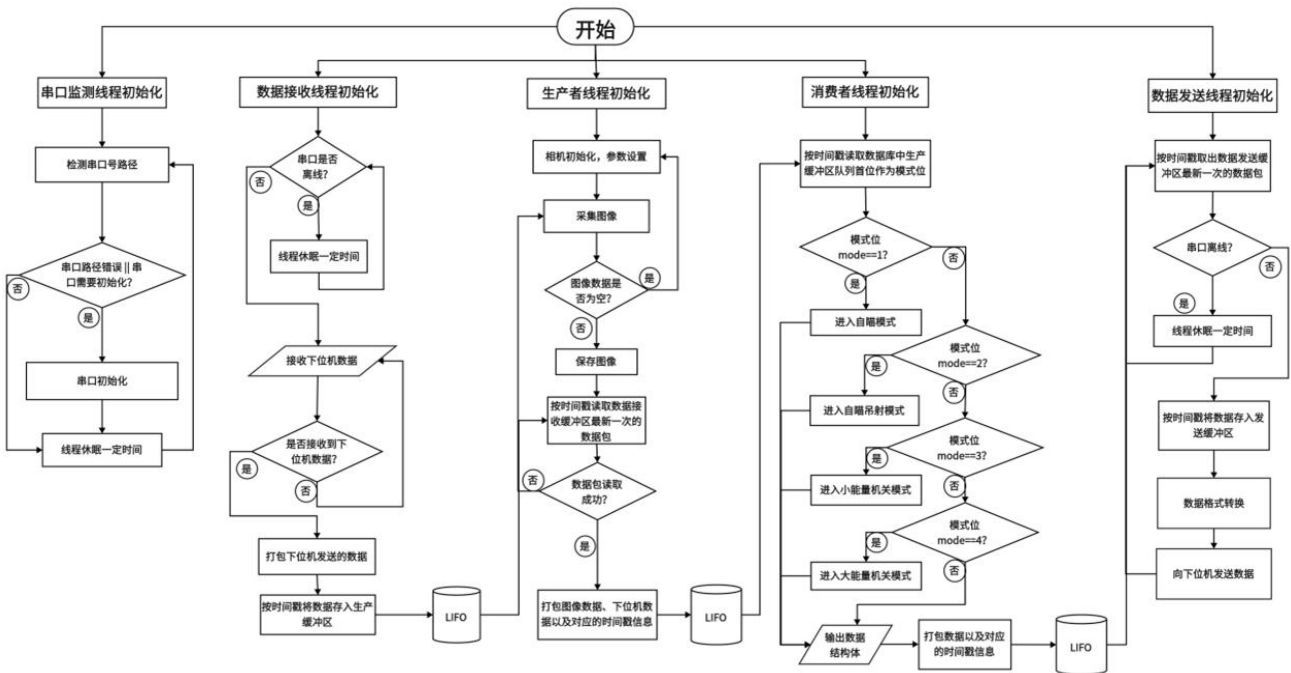
- B 键 Reset：程序里不可观测的 bug 难以排除，操作手一旦发现疯车按 B 键即可重启
- G 键小陀螺：按下给 G 键开关小陀螺模式

- F 一键掉头：步兵机器人作为比赛中对抗最为激烈的兵种，血量随时都可能下降至安全线以下，因此程序中添加一键掉头键，便于机器人在残血状态下可以以最快的速度逃生，在状态恢复后为团队做出更大的贡献。
- Ctrl+c/v：针对具有击打大符能力的四号步兵设计，按下 Ctrl+c/v 通过串口向 nuc 发送数据，将瞄准模式切换到大/小符模式，更有针对性的处理大小符。
- Ctrl+c/v：对于没有打符要求的三号步兵，这一功能被替换成了手动增减弹速，每按一次摩擦轮转速设定值都会增减 100rad/s，通过手动微调可以防止赛场上出现掉速或超射速的情况。同时通过 UI 试试将调节次数显示出来，方便操作手参考。
- Shift：按住 shift 释放超级电容的电量，为底盘提供爆发性的速度，在追击，飞坡，撤退时提供足够的机动性。

#### 1.4.4 算法设计

步兵机器人作为 RoboMaster 系列赛事中历史悠久的兵种之一，其发展技术也相对成熟。在整个比赛中，由于其体积小、灵活性和机动性强的特性，常常成为机器人阵容中战术执行与伤害输出的中坚力量。基于上一赛季的经验总结和本赛季规则在起伏路段等区域做出的变更，我们认为步兵机器人的核心功能在于稳定。因此我们在 2022 赛季从底层通讯到感知算法彻底重构了步兵机器人的算法部分代码，其改进优势着重表现在更加合理的程序业务流程、更好的程序鲁棒性、复杂环境下更优秀的目标检测效果和全新的粒子滤波器，并且我们添加了易于追溯程序问题的日志系统。同时为了降低不同兵种之间的算法部署难度，我们添加了配置文件读取功能，不同兵种之间通用一套代码，显著降低了在代码维护方面的人力资源成本。

### 1.4.4.1 算法流程图



### 1.4.4.2 多线程设计

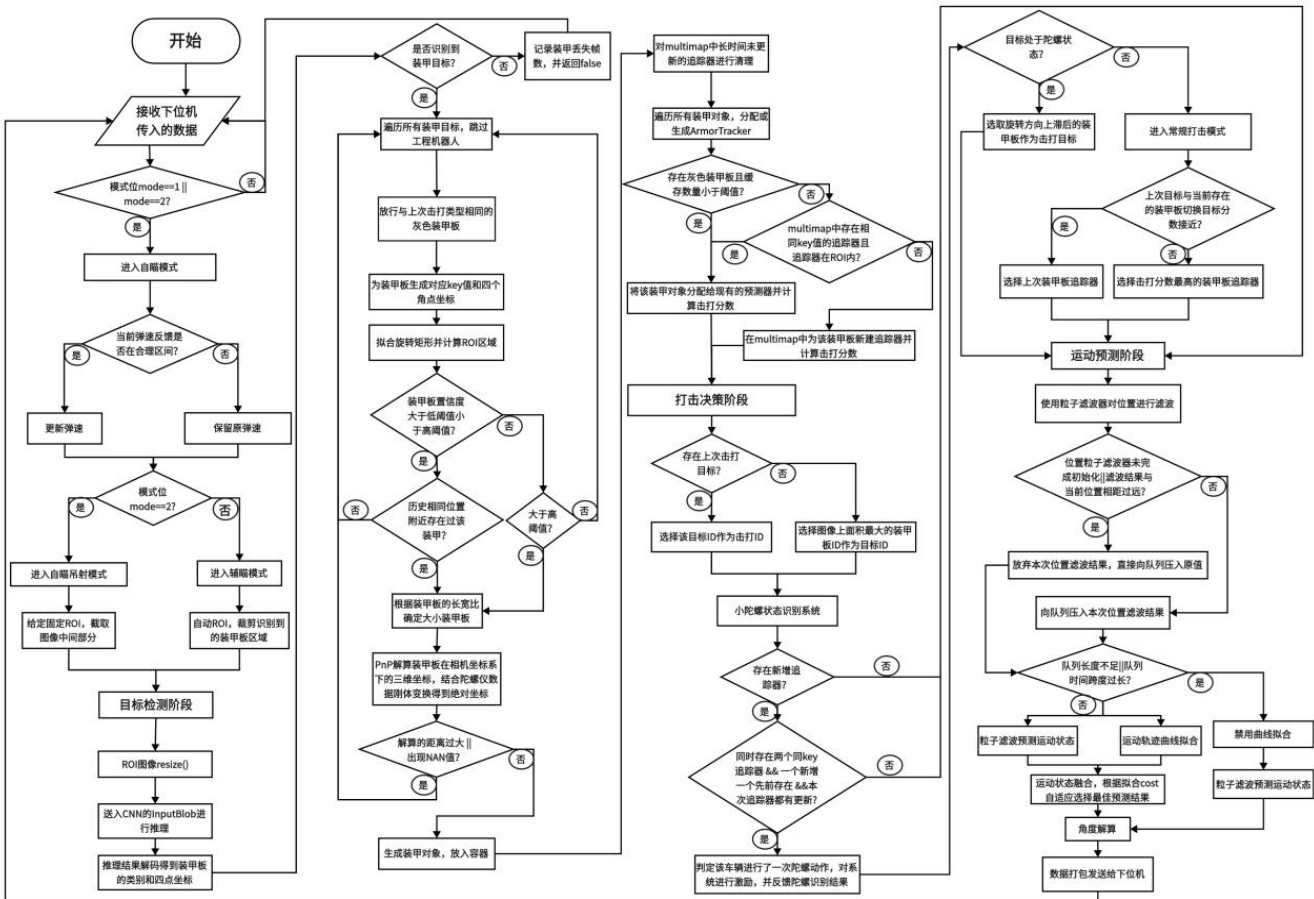
算法实现方式采用流水线式多线程处理思路，共分五个线程：监控线程，数据接收线程，数据发送线程，图像生产线程，主任务线程。各线程具体任务功能如下表所示。

名称	运行频率 (HZ)	核心功能
监控线程	1	初始化和关闭串口；监控串口设备工作状态，需要时对串口设备复位。
数据接收线程	≥100	接收下位机发送的机器人状态数据和操作手的模式切换指令，并将接收到的机器人状态数据存入缓冲区，供图像生产线程使用。
数据发送线程	100 (受主线程处理速度影响)	读取任务线程缓冲区的待发送数据，并将其发送至下位机。
图像生产线程	100-210	从图像传感器中采集并生成 RGB 图像数据；从缓冲区内读取数据接收线程的机器人状态数据，与当前图像数据一同打包存入缓冲区供主线程使用。

主线程	≤130	从缓冲区中读取图像生产线程打包的目前图像与机器人状态数据；根据目前的机器人状态数据选择进入自瞄模式或者能量机关模式，待相应模式主函数执行完毕后将处理数据打包压入缓冲区，送交数据发送线程。
-----	------	---

### 1.4.4.3 核心任务设计

本赛季算法的核心任务主要包括装甲板自动瞄准任务和能量机关自动瞄准任务。



若程序目前任务为装甲板自动瞄准任务，我们首先对下位机反馈的陀螺仪数据和弹速进行处理，将四元数转换为旋转矩阵。若弹速值和弹速波动范围在合理区间内，则对当前弹速进行更新；反之则保留上次弹速值。之后检查目前程序的运行模式，若为吊射模式且近期未检测到目标则强行截取画面中心区域作为 ROI，其他情况下则检测近期是否检测到目标，若检测到目标则根据最近目标位置截取 ROI。然后将已经过 ROI 裁剪的图像进行 resize 至 416\*416 像素大小，之后送入 CNN 的 InputBlob，进行推理并对推理结果解码得到装甲板的类别和四点坐标。若本次未识别到装甲目标，则记录目标丢失帧数并返回 false；若识别到装甲目标则进入下一步，生成装甲板对象。

接下来我们使用检测到的目标生成可供击打的装甲板对象。首先遍历所有装甲板，工程机器人没有攻击能

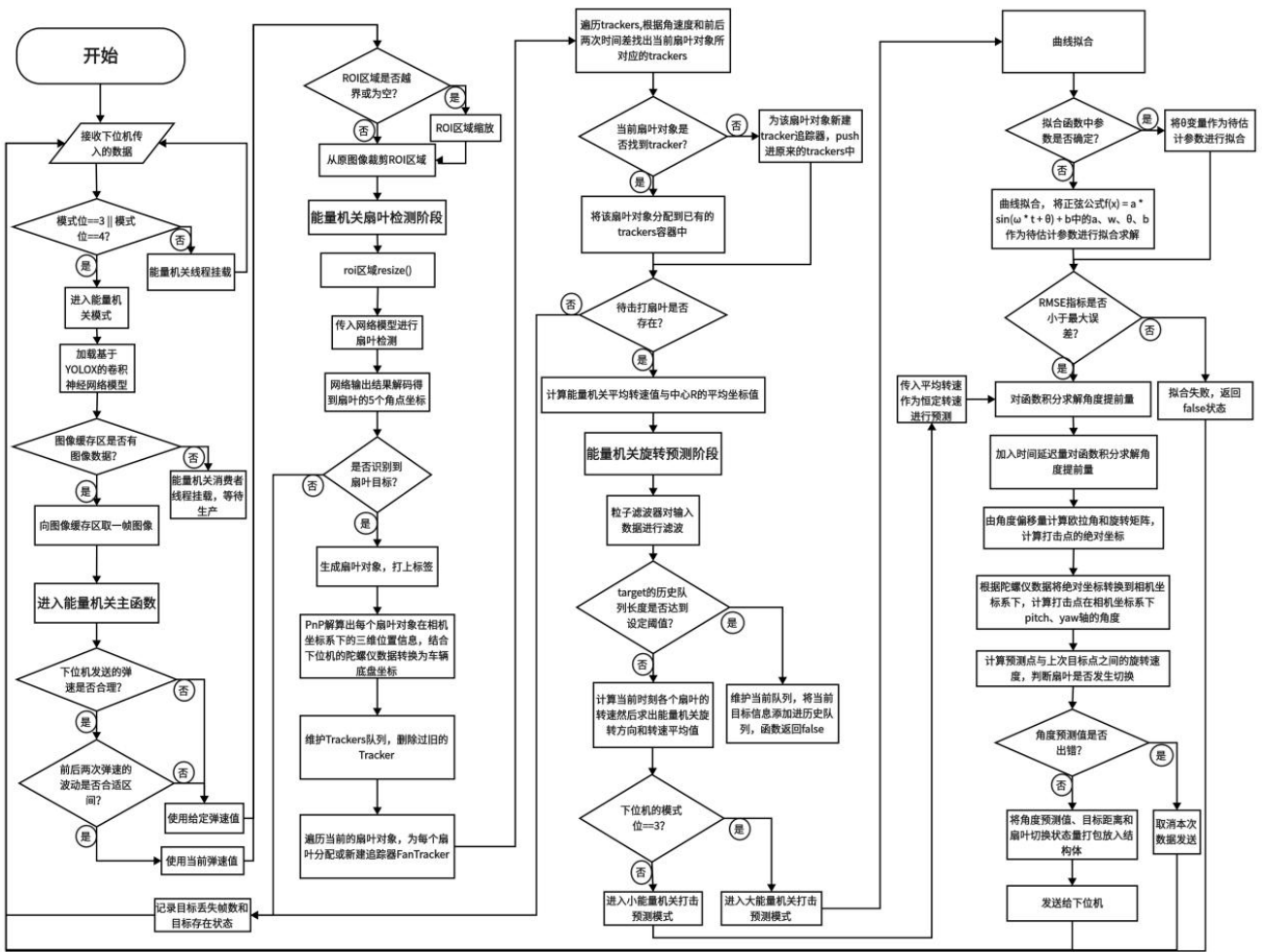
力，且血量高，击打无明显收益，所以我们加入限制条件自动忽略掉工程机器人。考虑到敌方装甲板在命中后会短暂熄灭，我们加入条件放行此种情况下检测到的灰色装甲板。之后为装甲板生成对应的 ID 值和四个角点坐标，根据角点坐标拟合旋转矩形并计算 ROI 区域。为防止网络的置信度波动造成的装甲板不稳定识别，装甲板的置信度放行条件我们采用双阈值，大于低阈值而小于高阈值的装甲板需在历史相同位置存在过才放行。然后根据装甲板类型和长宽比确定大小装甲板，进行 PnP 解算后进行坐标变换得到装甲板在世界坐标系下的坐标信息，为防止装甲板类型出错导致 PnP 解算出现问题，解算出的距离过大或者出现 NaN 值直接跳过该装甲板，当以上所有条件满足后才生成装甲板对象。若本次未成功生成任何一个装甲板对象，则记录目标丢失帧数并返回 false。

完成装甲板对象创建后先对 `multimap` 中长时间未更新的追踪器进行清理，再接下来为装甲板对象在 `multimap` 中分配或新建追踪器。遍历所有装甲对象，若该装甲对象的颜色为灰色且记录的灰色帧数小于给定阈值，则将其分配给现有的预测器，若该装甲对象不为灰色装甲板且在 `multimap` 中存在相同 key 的追踪器且在该追踪器 ROI 内，则此装甲对象分配至该对象处，更新该追踪器并计算击打分数；如果 `multimap` 中不存在匹配的追踪器，则在 `multimap` 中为该装甲板新建追踪器并计算击打分数。

完成追踪器分配后进行击打决策，如存在上次击打目标，则选择该 ID 作为目标 ID，若不存在则挑选图像上面积最大的装甲板的 ID 作为目标 ID。完成 ID 选择之后进行小陀螺状态识别，识别策略是把小陀螺模块看作一个系统，将功能分解为两部分，即激励与响应，当存在新增追踪器时，便触发陀螺状态检测，若同时存在两个追踪器，且一个为新增，一个先前存在，且两个追踪器本次都有更新，便视作该车辆进行了一次陀螺动作，对系统进行激励。陀螺识别系统由增益和衰减函数两个函数构成。增益函数分三段，分别对应初值为 0 的情况，初值与目前值相反的情况、初值与目前值同号的情况。衰减函数假设整个陀螺状态为一阶马尔可夫过程，只取决于上一个状态。增益函数可分为两段，分别对应陀螺状态已确定与陀螺状态未确定的状态。根据目标车辆 ID 的陀螺状态反馈结果，若目标处于陀螺状态，则进行击打装甲板选择，取旋转方向上滞后的装甲板作为击打目标；反之则进入常规打击模式，若上次目标与当前存在的装甲板切换目标分数接近则仍选择上次装甲板追踪器，反之则选择击打分数最高的装甲板追踪器。

完成击打决策后进行运动预测，首先使用粒子滤波器对位置进行滤波，降低测距噪声的影响，若预测器未初始化则放弃预测直接根据目标当前位置信息进行击打，若已完成初始化则检测目前预测器历史信息队列长度，若长度不足则根据匀速直线运动模型使用粒子滤波对目标运动状态进行预测，若长度达到设定阈值，则在进行粒子滤波预测的同时异步进行运动轨迹曲线拟合，根据拟合 cost 自适应的选择曲线拟合或粒子滤波预测的结果，再将预测的角度数据进行弹道补偿后传给数据发送线程，经过数据格式转换发送给下位机，完成本次循环。





在能量机关主程序中，程序首先判断接收到的弹速是否在合适范围，合适则更新弹速，把接收到的陀螺仪数据转换成矩阵形式。之后进行 ROI 截取，若近期检测到目标，若检测到目标则根据最近目标位置截取 ROI，否则不截取 ROI，直接使用原图。之后我们将已经过 ROI 裁剪的图像进行 resize，送入 CNN 的 InputBlob，进行一次推理，对推理结果解码后得到能量机关已激活扇叶和未激活扇叶的类别和五点坐标，经过 PnP 解算得到扇叶对象在相机坐标系下的三维位姿信息，结合陀螺仪数据转换到世界坐标系下，得到目标在世界坐标系下的位姿信息。

下一步我们为每个扇叶对象分配或新建追踪器。遍历当前识别到的所有扇叶对象，在原来的追踪器中寻找同一预测器对象，判断方法是根据扇叶的旋转矩阵求解轴角，通过轴角求解转速，找出追踪器中转速最小且小于最大转速上限同时时间跨度最短的追踪器，如果找到，则将其分配对应的追踪器对象中，更新并放入新的追踪器队列。如果没找到，则新建追踪器并放入新的追踪器队列。

下一步是挑选出待激活扇叶进行旋转角度预测。首先遍历所有追踪器，求出能量机关转速平均值和中心 R 坐标的平均值，送入预测器。在预测器主函数中程序首先会判断下位机发送的模式位是否改变：若改变则初始化队列，将本次速度放入历史队列，函数返回 false；若未改变则首先使用粒子滤波器对能量机关转速进行滤波，之后判断历史队列长度是否达到阈值，对历史队列进行维护，小于阈值则将当前扇叶信息放入历史队列，函数返回 false。大于或等于阈值则弹出队列前端的数据，压入目标最新数据，开始进行预测。若为小能量机关模式则将历史队列的平均转速并计算历史队列的平均旋转速度，并将其作为转速；若为大能量机关模式，已

知大能量机关的旋转速度函数为  $f(x) = a\sin(\omega x + \theta) + b$ ，如果拟合函数参数均未确定，则将函数中的  $a, \omega, \theta, b$  四个参数作为待估计参数，进行非线性最小二乘求解；如果函数参数确定，则仅对函数中的  $\theta$  进行拟合求解。根据曲线拟合中 RMSE 指标对拟合结果进行评估，若评估误差过大，超过设定的最大阈值，则依旧沿用之前的参数；反之，则使用此次拟合的参数。之后根据弹速和发弹延迟给定积分上下限，对函数进行积分，计算角度提前量。

完成预测过程后进行击打点计算。根据角度提前量求解在以装甲板中心为中心的世界坐标系下的待击打点的坐标，左乘旋转矩阵并加上平移向量，解出目标击打点的三维空间坐标。之后进行角度解算与弹道补偿，如果解算出的角度值出错，则跳过此次数据发送并返回 false。最后将预测的相对角度、距离和扇叶切换状态信息打包放入结构体，供发送线程发送给下位机，结束本次调用。

### 1.4.4.4 预测算法

击打敌方装甲板时，敌我双方车辆往往均不处于静止状态，且不同于现实中火药动力子弹或炮弹动辄能达到 Mach1 的弹速，在 Robomaster 赛事中敌我双方机器人枪管发射弹丸的弹速相较于双方车辆移动速度的差距较小，这就导致在进行击打时需要对目标未来位置进行预测以对双方的运动进行补偿，以求实现更加有效的装甲板击打效果。

特性 \ 方法	优点	缺点
卡尔曼滤波 (KF)	效果稳定，使用广泛。	基于线性高斯系统假设，不适用于非线性高斯系统。
粒子滤波 (PF)	迭代型贝叶斯滤波器，适用于非线性，非高斯系统，且采样数越多，估计越准。	预测效果与采样粒子数有关，但粒子数较大时计算量较大。
曲线拟合 (Curve Fitting)	可对已知运动模型的物体进行较为精确的运动建模。	较为依赖于预设曲线模型，若分布与预设模型距离不符时拟合效果可能较差。

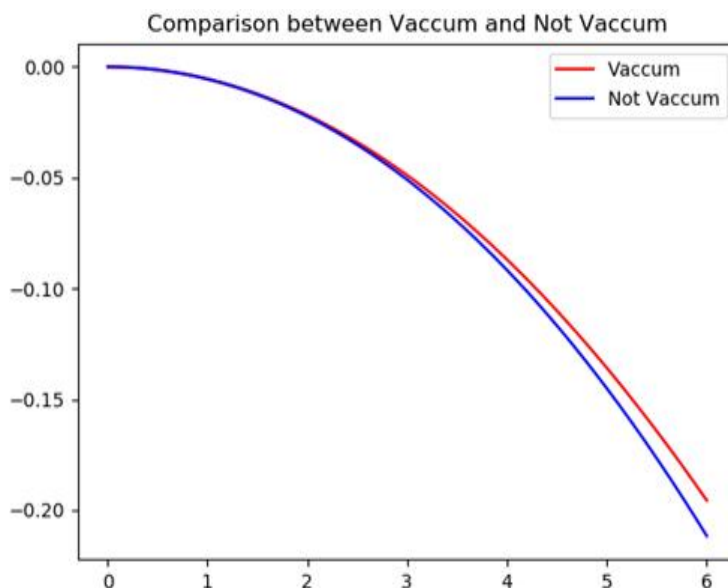
卡尔曼滤波效果稳定，使用广泛。但卡尔曼滤波基于线性高斯假设，只适用于线性高斯系统，而场上的车辆的运动大概率不符合线性运动规律，且运动噪声也可能不符合高斯分布。粒子滤波虽然计算量较大，但使用 Eigen 库进行矩阵化计算，耗时在 1ms 内，处于可以接受的水平，且粒子滤波更适用于类似车辆坐标的这种非线性非高斯系统的预测；曲线拟合的方法残差项较少，拟合参数较少时耗时也处于可以接收的水平，并且可以通过拟合后的 RMSE 指标来对曲线拟合结果进行评价，误差较大时可以禁用。综上所述，我们选择了粒子滤波与曲线拟合相结合的方法来进行运动预测。

### 1.4.4.5 弹道补偿

赛场上我方机器人相对目标所在的位置可能具有不同的高度差和距离差,由此会导致弹道出现较严重的下坠现象。为了实现装甲板进行更精确地击打,我们需要对弹道解算部分加入补偿算法,目前各参赛队使用的弹道补偿主要有以下几种方式。

特性 \ 方法	优点	缺点
曲线拟合	实现简单,计算量少,效果鲁棒。	参数量受限,需要大量测试,且较难确保每次击打点一致;噪声不一定为白噪声。
无空气阻力模型	计算简单,便于理解。	忽略了空气阻力对弹道的影响,致使解算存在一定误差。
水平方向上空气阻力模型	与无空气阻力模型相比更为完善。	未考虑竖直方向上的空气阻力对弹道的影响,仍存在一定的误差。

在 2021 赛季我们采取的是传统的曲线拟合方法,但该方法需要大量的测试,且当拟合变量维数较多,或现实场景数据点存在着训练集未测量到的点,容易出现过拟合现象,导致曲线拟合结果不具有实际的物理意义,存在一定的风险。因此,我们采用使用四阶龙格-库塔法与迭代法求解弹道学微分方程的方法来解算弹道所需的补偿值。其实际效果如下图所示。



其原理如下。弹丸飞行时主要收到空气阻力和重力两个力的作用：

$$\begin{cases} F_g = mg \\ F_f = \frac{1}{2}C\rho Sv^2 \end{cases}$$

$F_g$ 方向竖直向下， $F_f$ 方向与弹丸速度方向相反。由这两个式子，我们能很轻松的推导出加速度的表达式：

$$\begin{cases} a_g = g \\ a_f = \frac{1}{2} \frac{C\rho Sv^2}{m} \end{cases}$$

令  $k = \frac{1}{2} \frac{C\rho S}{m}$  则有  $a_f = kV^2$ 。根据上面的式子，我们可以列出如下的微分方程组：

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = -kv^2 * \cos\theta \\ \frac{dw}{dt} = -kv^2 * \sin\theta - g \\ \frac{dx}{dt} = u \\ \frac{dy}{dt} = w \\ v = \sqrt{u^2 + w^2} \end{cases}$$

化简得：

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = -kuv \\ \frac{dw}{dt} = -kwv - g \\ \frac{dx}{dt} = u \\ \frac{dy}{dt} = w \\ v = \sqrt{u^2 + w^2} \end{cases}$$

上述式子是  $u, w, x, y$  关于自变量  $t$  的微分方程组，即自然坐标系的弹丸质心运动微分方程组，当  $u, w, x, y$  初值给定，弹道唯一确定。此时方程组自变量为  $t$ ，已经可以用来求解。

但不难注意到， $t$  作为一个自变量，且该微分方程组没有解析解，我们很难确定  $t$  在到达目标位置时的值，但若是以  $x$  为自变量，在目标静止的前提下，该值显然唯一确定。在自然坐标系下有  $\frac{dy}{dx} = p$ ，即为目前弹丸质心的运动方向。

$$\begin{cases} \frac{du}{dx} = -ku * \sqrt{1+p^2} \\ \frac{dp}{dx} = \frac{-g}{u^2} \\ \frac{dy}{dx} = p \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{du}{dx} = -kv \\ \frac{dp}{dx} = \frac{-g}{u^2} \\ \frac{dy}{dx} = p \\ \frac{dx}{dt} = 1 \\ \frac{dx}{v} = \frac{u}{\sqrt{1+p^2}} \end{cases}$$

化简得：

上式是  $u, p, y, t$  即为关于自变量  $x$  的微分方程组。我们可以通过迭代法，通过改变  $\theta_0$  大小来调整弹道，最终让弹道经过目标位置，以此获取所需的补偿角度。

#### 1.4.4.6 反陀螺

陀螺识别部分实现原理较为简单。我们可以陀螺识别模块看作一个系统，这样就可以将该部分的功能分解为两个部分来看，即激励与系统响应。

首先是激励部分，激励部分未作过多处理，当存在新增追踪器时，便触发陀螺状态检测，若同时存在两个追踪器，且一个为新增，一个先前存在，且两个追踪器本次都有更新，便视作该车辆进行了一次陀螺动作，进行激励。

其次是系统响应部分。该系统可视作由两部分构成，第一部分只在激励时调用，另一部分则在每次循环中都进行调用。第一部分分三段，分别对应：

- 初值为 0 的情况。此时，函数会为该车辆的陀螺分数赋初值。
- 初值与目前值相反的情况。出现该情况说明目标车辆旋转方向改变，或着出现陀螺切换状态的误识别，函数为目前陀螺旋转分数乘上一个衰减系数。
- 初值与目前值同号的情况。出现该种情况说明有较大可能出现了陀螺状态，函数为目前陀螺旋转分数乘上一个增益系数。

第二部分则假设整个陀螺状态为一阶马尔可夫过程，只取决于上一时刻的分数，共分为四段：

- 分数低于低阈值且陀螺状态已确定。若为该情况则从分数 map 中移除该分数，并重置该 ID 的陀螺状态。
- 分数低于低阈值且陀螺状态未确定。若为该情况则对目前分数按未确定时的衰减函数进行分数衰减。
- 分数高于低阈值且陀螺状态已确定。若为该情况则对目前分数按已确定时的衰减函数进行分数衰减。若陀螺分数大于分数高阈值，则强制使分数等于高阈值，避免分数过高。
- 分数高于低阈值且陀螺状态未确定。若为该情况则对目前分数按未确定时的衰减函数进行分数衰减，并确定目标 ID 的陀螺状态。

在击打目标的选择上，我们采用如下方式。击打目标选择原计划根据装甲板中心多帧位置与旋转矩阵进行陀螺解算得到陀螺旋转中心与半径并瞄准旋转轨迹圆心上最近的一点，在角度阈值达到一定范围内开火。但这样的方法很难对旋转和平移复合运动的陀螺进行准确击打，因此并未采用。目前采用的是瞄准旋转方向上落后的一块装甲板这一较为简单的方法。

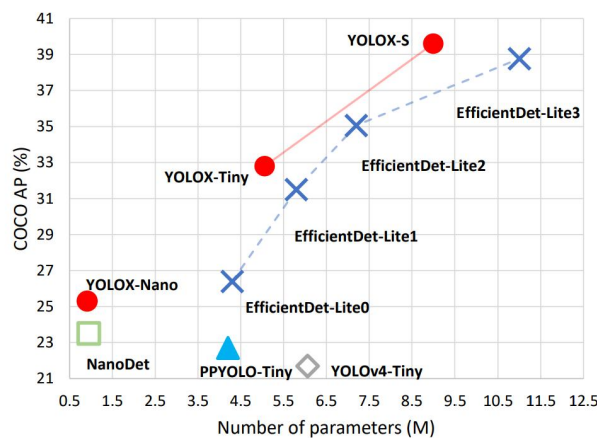
#### 1.4.4.7 目标检测算法

目标检测任务是视觉任务中最重要的一环，可以说是视觉一切任务的基石。

目前 Robomaster 赛事中的目标检测任务主要存在两种方法，一种是基于传统机器视觉与特征工程的方法，另一种则是基于卷积神经网络的方法。这两种方法两者各有利弊：基于传统机器视觉的方法通常速度较快，但调参过程往往较为复杂；基于神经网络的方法速度可能略逊一筹，且需要较为大量的数据集对神经网络进行训练，但具有较强的鲁棒性。权衡上述利弊后，我们选用了基于神经网络的方式来进行目标检测任务。

PnP 算法是 Robomaster 竞赛中常用的一种位姿解算算法，通过目标三个以上特征点在世界坐标系下的坐标与像素坐标即可获取目标与相机间的相对距离与相对位姿。为了便于使用 PnP 算法解算目标位姿，我们的目标检测算法检测结果应较为类似与关键点检测，通过神经网络进行识别后，获取目标的类别信息与关键点信息。

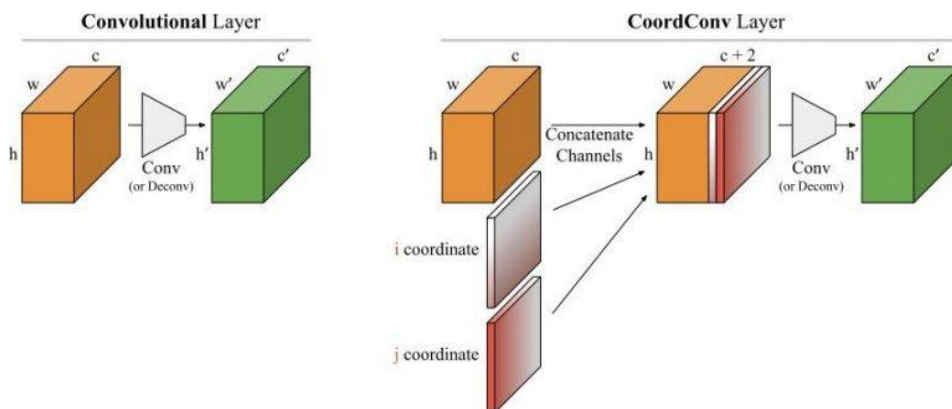
YOLOX 是近年来目标检测界的最新成果之一，采用解耦检测头，配合 SimOTA 数据增强，在 COCO 数据集上达到了 SOTA 的表现，且其轻量化版本 YOLOX-Nano 在保证推理速度的前提下，也有着不俗的精度表现，这正是我们所需要的，因此我们选择了 YOLOX-Nano 作为我们网络的 baseline。



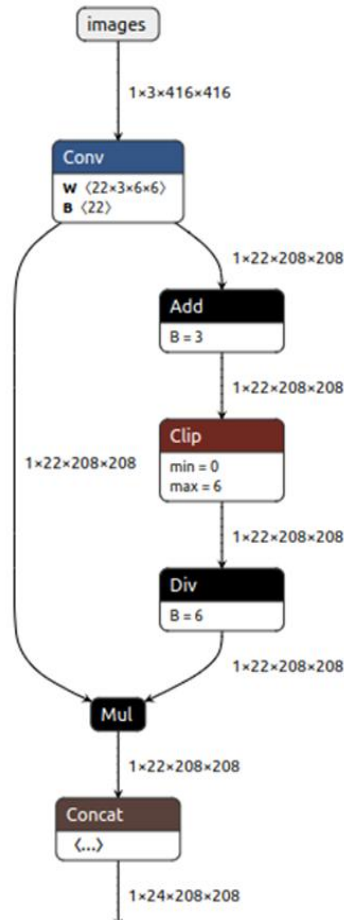
但因为设备性能限制与检测需求的不同，直接使用原版的 YOLOX-Nano 并不能满足我们的需求，所以我们

对网络进行了如下修改。

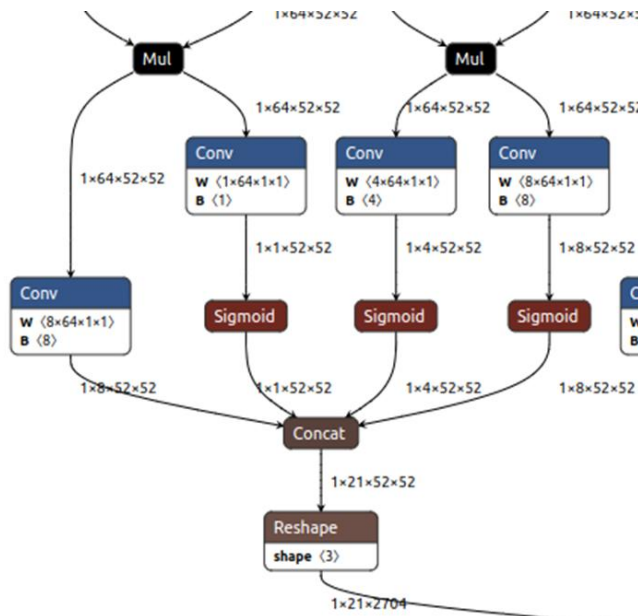
1. CoordConv 由 Uber 团队于 2018 年提出, 通过显式地为特征图 concat 上位置编码后再送入卷积, 从而提升卷积层进行数值回归能力, 这一模块对于对位置信息高度敏感的任务有一定的帮助, 我们也尝试在网络中添加了这一模块以提升角点回归精度。



2. Focus 层的概念提出于 YOLOv5, 是一种采用切片操作把高分辨率的图片/特征图拆分成多个低分辨率的图片/特征图的下采样操作, 但近期有研究指出 Focus 层在移动端设备的表现并不理想, 因为其涉及到大规模的 concat 操作, 内存开销较大。借鉴 yolov5s6 的修改, 我们将网络的头部的 Focus 层更换为  $6*6$  卷积, 修改后的 Focus 层既保证了较大的感受野, 又减小了内存开销, 提高了推理速度。

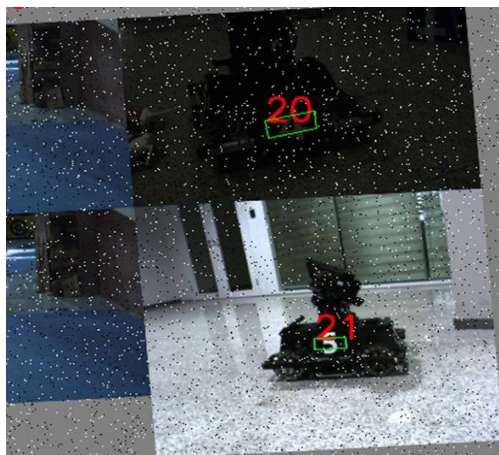


3. ShuffleNetV2 是一款轻量级网络，对移动设备推理进行了特殊优化，并提出了指导轻量级网络设计的四条准则。遵照这几条准则，我们将 YOLOX-Nano 的 backbone 部分换成了 ShuffleNetV2，并进行了一些其他微调，以加快推理速度。
4. 如前文所提到的，视觉所需要进行的目标检测任务，与关键点检测任务更加相似。因此我们将检测头 reg 分支由回归矩形检测框的 xywh 改为回归所需的特征点 xy 坐标，以装甲板目标为例  $x_1y_1x_2y_2x_3y_3x_4y_4$  八个维度，并使用 WingLoss 作为关键点回归损失函数，并进行训练；同时我们还为检测头增加了 color 分支，将分类数由“类别×颜色”变为“类别+颜色”。有效减少了分类维度，在数据集总量不变的前提下，增大了各类的样本数，降低网络的学习难度。





此外，为了进一步提高网络的分类准确率，我们还尝试了在训练阶段对数据集进行椒盐噪声数据增强。



椒盐噪声作为一种常见的噪声类型，在图像中经常出现。为图像中添加椒盐噪声，不仅可以增加图像的多样性，还可以模拟装甲板贴纸出现小幅度破损的情况。因此，在常用的 Mosaic 数据增强与 HSV 数据增强外，我们尝试了为图像中随机增添椒盐噪声进行数据增强的方法。在添加椒盐噪声数据增强后，网络分类准确率有了一定的上升，说明添加椒盐噪的数据增强方法对提高网络分类准确率有一定的帮助。

### 1.4.5 其它

## 1.5 研发迭代过程（10）

### 1.5.1 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
DUCK Mark II	探明纵置悬挂的设计方向，以及实验飞坡中心等问题	2021.
DUCK Mark III	中期过渡版本，试验新结构新技术的安全性	2022.3.10
DUCK Mark IV	最终版本	2022.5.1

### 1.5.2 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
1	步兵以 15m/s 的速度发射 100 发弹丸，大概率出现卡弹；底盘悬挂过软，车体强度过低，轮组安装存在严重误差。			DUCK Mark II	机械工程师：王雅正 王聪 嵌入式软件工程师： 安核瑞，曹梓钰
2	车体结构强度过低，且重量没有得到很好控制。轮组结构易损。	车体主要结构强度不足，减重设计不足，轮组镂空不合理	加强铝管连接部分的强度，改善设计。	DUCK Mark III	王聪，王雅正
3	使用自瞄射击时，若视野范围内存在多辆车辆会出现切换。	由击打时装甲板闪烁引起	为程序添加灰色装甲板缓冲区，使装甲板短暂熄灭不影响装甲板类型判断	DUCK Mark III	视觉软件工程师：顾昊

## 1.6 团队成员贡献（2.5）

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
王雅正	机械设计制造及其自动化、大二、步兵组负责人	负责机器人底盘部分的设计制造以及全车的线路布置。对接嵌入式和算法组的调试。2022 超级对抗赛及单项赛操作手。	50
洪志博	飞行器制造工程、大一、步兵机械组成员	负责机器人底盘部分零部件的设计、制造及装配。	32.5
赵梓合	飞行器动力工程、大二、视觉算法组组长	负责整个机器人的算法架构开发，包括整体逻辑架构、调试优化、日志模块和对接机械、嵌入式组综合优化机器人性能等	17.5

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
王聪	车辆工程、大二、步兵机械组成员	负责步兵机器人云台部分的改进与设计,	20
王国琦	大一、步兵机械组成员		10
孙家辰	车辆工程、大二、步兵机械组成员	负责自动步兵机械部分的改进与研发, 参与普通步兵云台部分的改进与设计制造。	20
顾昊	自动化、大二、地面机器人算法负责人	负责整个机器人的算法功能开发, 包括神经网络识别模块、粒子滤波器等	15
曹梓钰	电子信息工程、大二、嵌入式组成员	负责整车嵌入式软件功能完善与参数调试、硬件线路搭建、优化底盘限功率算法并与机械对接优化弹道	15
安核锐	自动化、大二、嵌入式组成员	负责整车嵌入式软件功能完善与参数调试、硬件线路搭建、设计步兵 UI 界面	15
顾俊豪	机器人工程、大二、嵌入式组组长	负责步兵程序框架搭建与基础功能实现, 与视觉机械对接明确优化方向, 调试打符自瞄部分云台算法等	5

## 1.7 参考文献 (2.5)

[1] Harry-hhj et al. (2021) 上海交通大学 RoboMaster 战队 2021 赛季视觉代码框架[SourceCode].

<https://github.com/Harry-hhj/CVRM2021-sjtu>

[2] Megvii (2021) YOLOX[SourceCode].

<https://github.com/Megvii-BaseDetection/YOLOX>

[3] Robomaster (2019) RoboRTS—Tutorial[PDF].

[https://github.com/RoboMaster/RoboRTS-Tutorial/blob/master/pdf/projectile\\_model.pdf](https://github.com/RoboMaster/RoboRTS-Tutorial/blob/master/pdf/projectile_model.pdf)

[4] 钱林方. 火炮弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2016

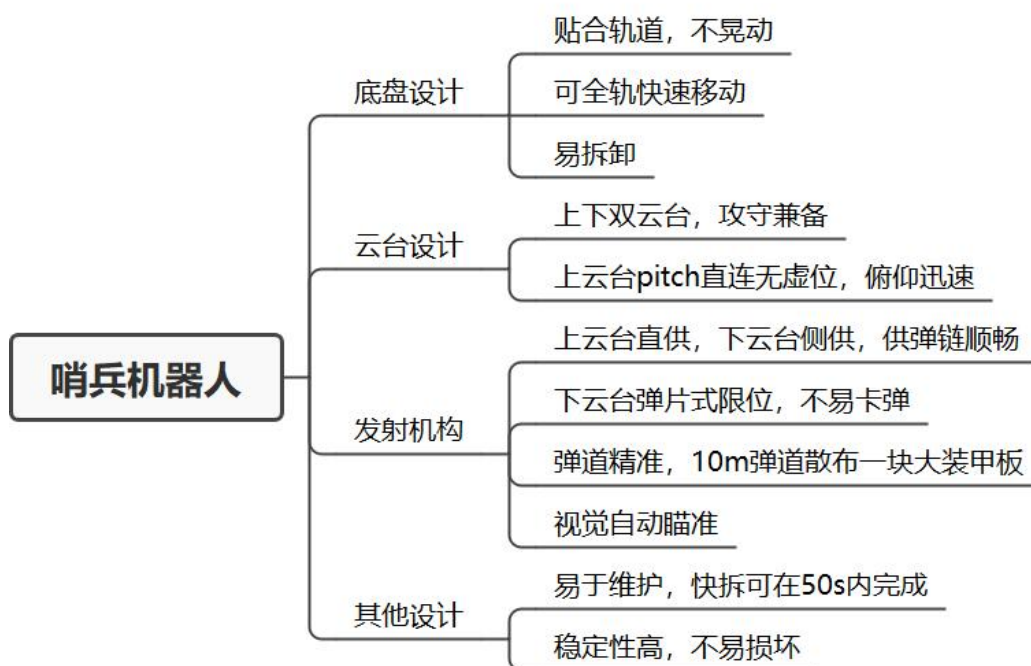
- [5] Sebastian Thrun et al. Probabilistic Robotics[M]. Boston. The MIT Press, 2000
- [6] Ningning Ma, Xiangyu Zhang, Hai-Tao Zheng, Jian Sun. ShuffleNet V2: Practical Guidelines for Efficient CNN Architecture Design[C]. Salty Lake: Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV), 2018
- [7] Rosanne Liu, Joel Lehman, Piero Molino, Felipe Petroski Such, Eric Frank, Alex Sergeev, Jason Yosinski. An Intriguing Failing of Convolutional Neural Networks and the CoordConv Solution[C]. Montreal: Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2018
- [8] RM2019 机甲大师赛官方赠与步兵代码开源
- [9] 深圳大学 RM2019 步兵电控全套开源

## 2. 哨兵机器人

### 2.1 其它学校哨兵机器人分析综述（2.5）

根据对 2022 赛季比赛的分析，众多学校哨兵机器人均实现了底盘刹车系统和上下双云台的设计，从而实现了哨兵在轨道上的快速移动和攻防兼备的功能。其中上海交通大学云汉交龙战队 2021 年哨兵机器人刹车中介式弹射机构开源，不仅针对已经出现的撞柱弹射结构做了一定程度的应用扩展，而且增加了自锁刹车机构，使其能在轨道任意地点实现敏捷地反向运动，为我们队伍的底盘设计提供较大帮助。而对于上下双云台结构而言，前哨战被摧毁前，作为以干扰为主的攻击型力量，其超远距离的精准识别和打击能力决定了前中期对对手的威胁大小；前哨战被摧毁后，作为基地防御的防御型力量，其打击能力与存活能力决定了基地范围内哨兵防御能力的强弱。因此，在确保哨兵机器人打击范围、精确度与生存能力的前提下实现上下双云台功能是十分有必要的。

### 2.2 机器人功能定义（5）



### 2.3 机器人核心参数（2.5）

哨兵机器人主要参数包括机器人重量，长、宽、高等基本参数，具体参数如下表所示。

类别	参数
长度	450mm

宽度	455mm
高度	770mm
重量	15kg
上云台俯仰角	-10°~26°
下云台俯仰角	-10°~58°

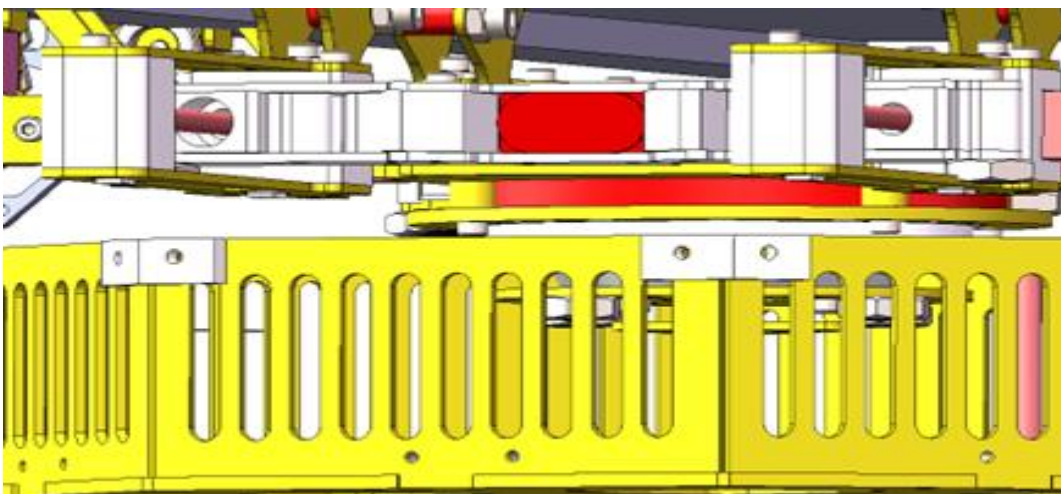
## 2.4 设计方案（25）

### 2.4.1 机械结构设计

#### 2.4.1.1 底盘结构设计

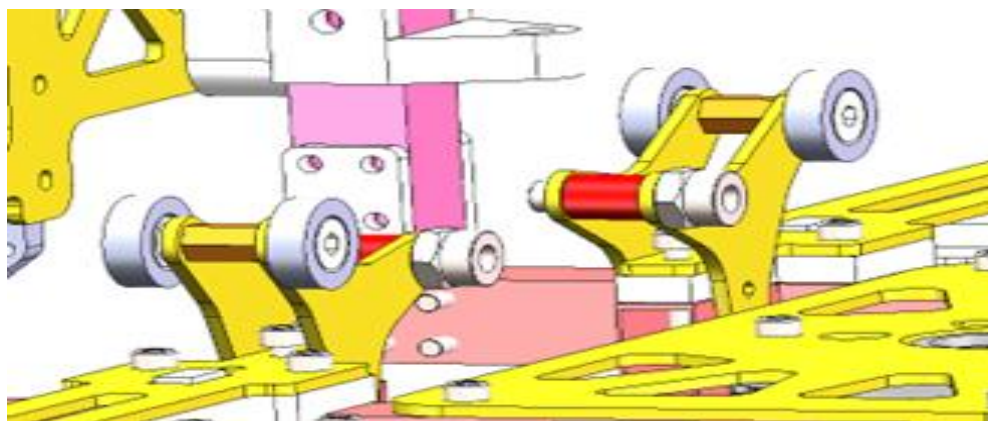
设计思路：2022 赛季哨兵轨道依旧是直轨，所以哨兵运动难度不高。但是直的轨道也就意味着对于哨兵的速度有着一定的要求，哨兵在战场上的位置靠后，对于小陀螺已经普遍应用的战场环境，更要求哨兵能够进行防守反击，快速移动躲避伤害，来保存基地护盾成为更多队伍哨兵机器人的优先项。

设计方案：哨兵是全自动机器人，为了让其自动改变行进方向，我们采用了通过激光测距模块，主动轮 3508 电机编码器及缓冲机构的组合。如下图：



当哨兵位于轨道边缘以及程序自主想进行变向时，测距仪和编码器共同作用会给电机提供反转的信号来实现改变哨兵行进方向来防止哨兵在此期间撞到轨道的两侧导致哨兵机械结构受损，致使其在赛场上因机械结构损伤而无法运作以及躲避敌方步兵和英雄的弹丸攻击。

为了能够实现哨兵机器人驱动轮紧贴轨道，既不至于空转又不至于压力过大导致移动速率降低，通过采用辅助轮通过拉簧连接，使辅助轮可以通过拉簧贴紧轨道，如下图：

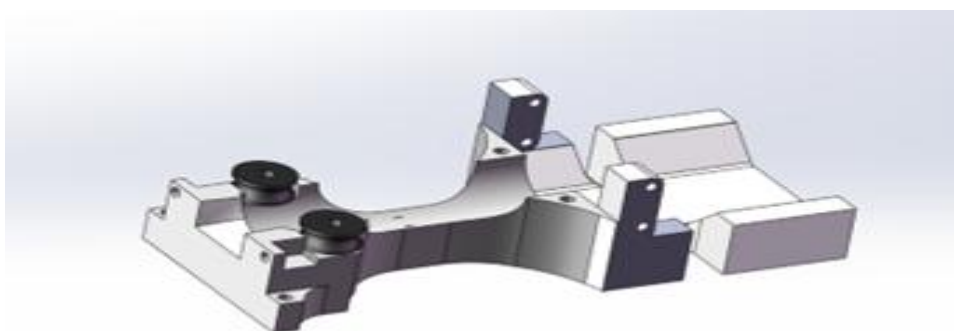


### 2.4.1.2 上云台结构设计

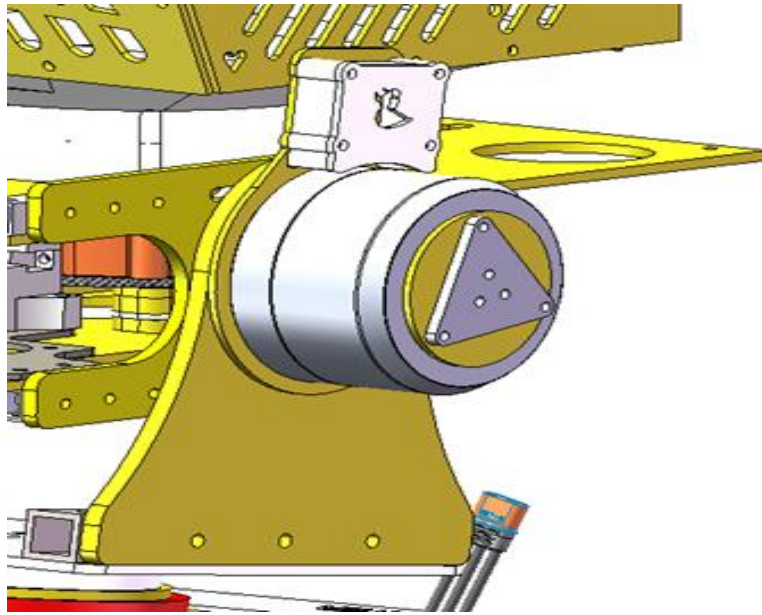
设计思路:在 2021 赛季中发现云台设计的哨兵供弹链路长且复杂, 问题排查比较困难, 并且存在卡弹问题, 所以本赛季上云台直接选择弹仓直连的方式。这种直连的方式也可以使上云台弹道更加精准。

设计方案: 根据各个零件的功能来选取零件的材质, 尽可能的保证整个机器人的轻巧。整个机器人主要用到的材料是环氧板和玻纤板, 还有个别是定制的加工件和购买的标准件。

整体的发射机构以及拨盘都是用的 3D 打印件, 发射机构通过采用塞打螺丝穿两个 U 型轴承的限位来使每一次弹丸在接触到摩擦轮之前都停在一个地方来提高发射的精度。通过这种限位以及弹仓直连的设计将上云台的精度达到了 7m 一个小装甲板 10m70%小装甲板, 并且在实战中依旧稳定。如下图所示。



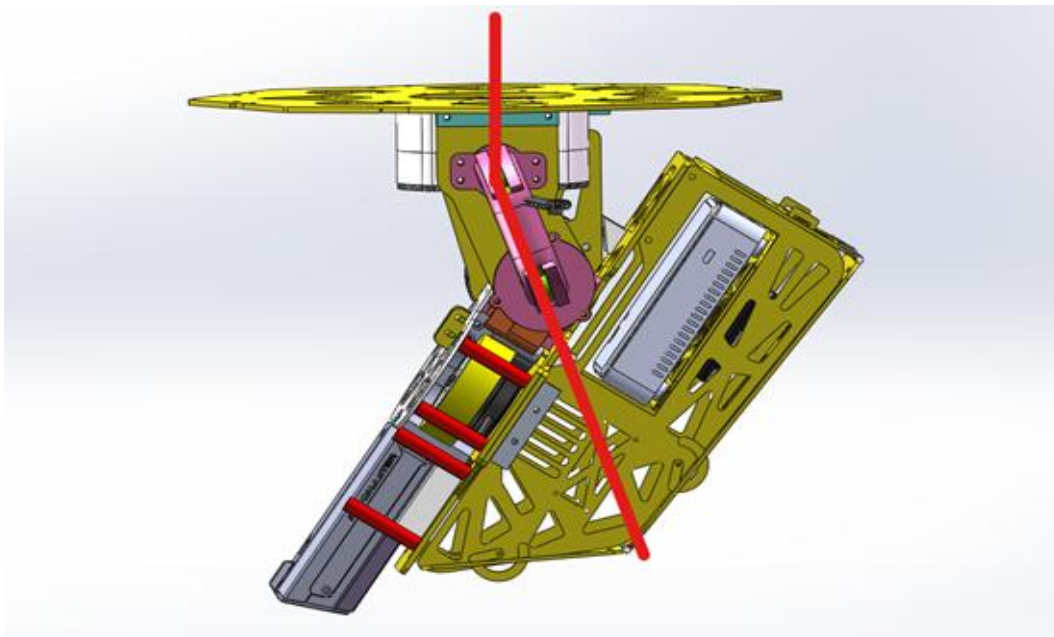
Pitch 轴通过定制的加工件穿 6020 电机直连来控制上云台的俯仰, 该加工件以及电机直连 pitch 轴可以有效的解决 pitch 存在虚位的问题, 以及这样的放置可以使上云台俯仰相应的更加迅速。在发射座后侧紧挨着中心板和 c 板, 最小程度也图方便将重要的设备一同保护, 并对后侧的左右后三个方向拉上防弹网, 可以保证走线顺畅以及防止被弹丸击中线路被破坏的状况。如下图所示。



### 2.4.1.3 下云台结构设计

设计思路：下云台采用侧供弹的方式，使弹仓云台分离来减少云台重量，使下云台的响应更加迅速，更加轻巧。

设计方案：为了使哨兵的俯角更低所以采用了使 pitch 中心与 yaw 轴中心偏离的设计使下云台更能向下倾的击打敌方装甲板，如下图所示。



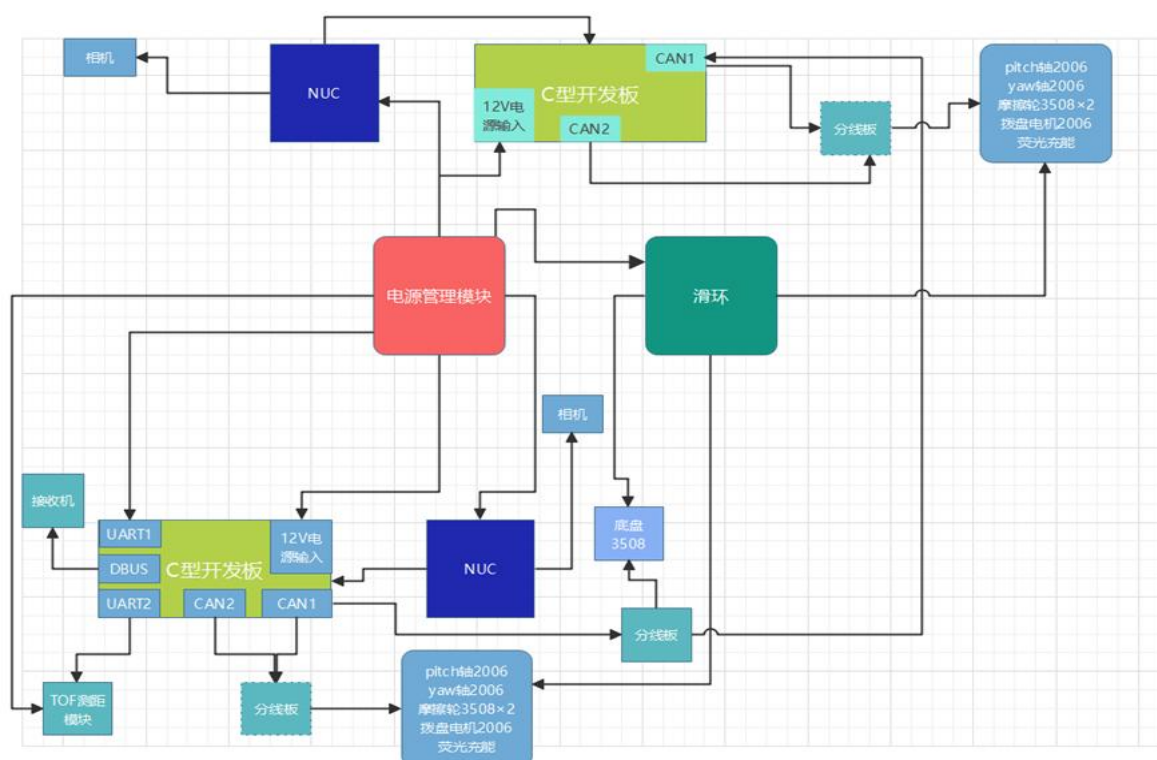
云台上板和云台下板使用铜柱支撑，增强上板和下板的连接，增加稳定性。下云台的发射机构限位采用弹片式限位，并且可以通过改变板上孔的位置来可以在测试过程中比较方便的改变弹片据摩擦轮的距离，找到弹道更加稳定的位置，如下图所示。





## 2.4.2 硬件设计

### 2.4.2.1 整机硬件框图



### 2.4.2.2 关键器件选型

为了满足哨兵机器人各项功能的设计目标，战队电控组和硬件组针对哨兵机器人的实际情况采用了全新的设计，其相关电子元件如下所示。

设备型号	个数	功能
3508 电机	5	控制摩擦轮转动、驱动哨兵主动轮的转动

6020 电机	4	控制哨兵上下云台的 Pitch、Yaw 轴转动
2006 电机	2	控制拨盘转动
NUC	2	通过图像处理完成自瞄等功能
TOF 激光测距	1	为电机提供距离信号
大恒工业相机	1	采集图像
海康相机	1	采集图像
RoboMaster DR16 接收机	1	接受遥控器信号，控制机器人
RoboMaster 17mm 荧光弹丸 充能装置	2	为 17mm 荧光单位充能
RoboMaster 开发板(C 型)	2	控制各电机运行
裁判系统	1	检测机器人状态，判罚犯规机器人

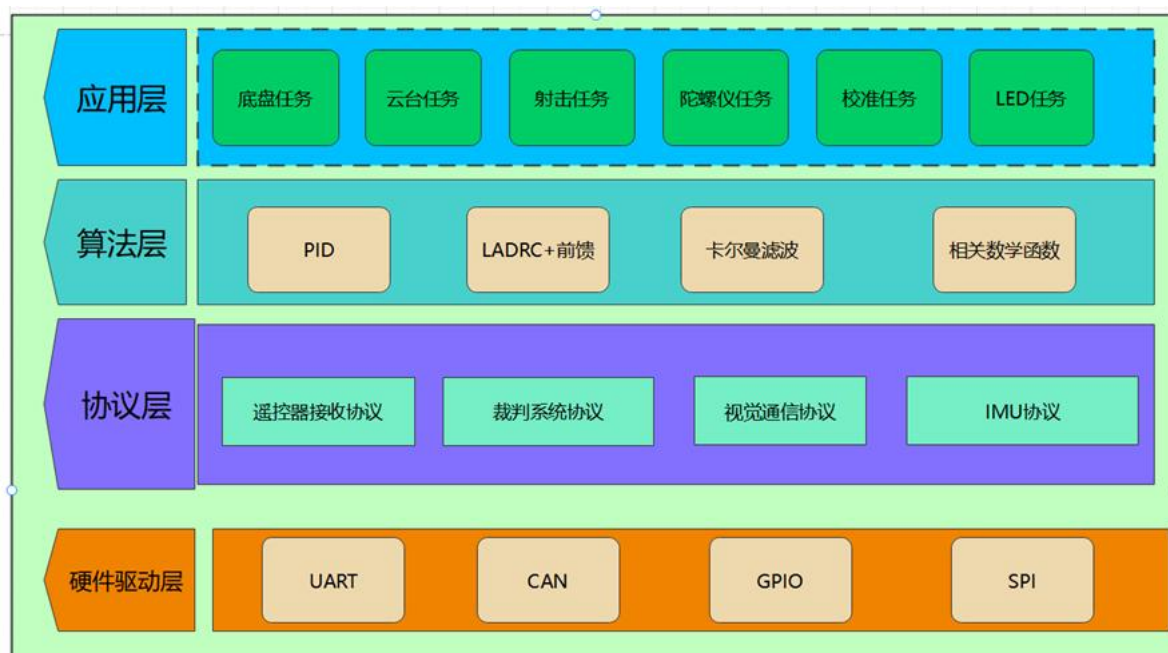
## 2.4.3 软件设计

### 2.4.3.1 代码设计思想及框架

代码整体遵循分层设计思想，分为算法层、应用层、协议层、和硬件驱动层，层与层间不跨层调用，低耦合，高移植性，稳定性好。代码开发并且设计的控制程序是以 FreeRTOS 操作系统为基础，采用嵌入式实时操作系统可以合理、有效地利用 CPU 的资源，简化应用软件的设计，缩短系统开发时间，更好地保证系统的实时性和可靠性。

代码设计主要基于 FreeRTOS 的多任务分时区调度功能实现，使用 FreeRTOS 创建多个任务并对其进行合理的调度，主要的系统任务包括:系统硬件的初始化任务，软件定时器数据收发任务，状态更新任务，开始任务。而主要的控制任务包含在“开始任务”中包括：底盘任务，云台任务，射击任务，陀螺仪任务，校准任

务，LED 任务，通过对这些任务进行合理调度从而控制机器人整体。具体架构框图如下：



### 2.4.3.2 程序逻辑

代码设计的细节通过主要的底盘，云台和射击三大任务的控制逻辑来展示。三者共同点均为进行初始化，初始化的过程主要是对各控制器参数，数据获取，模式进行赋值操作，进而进行模式的设置。

通过遥控器左右两个拨杆的状态与赛场上实际状态来确认哨兵机器人处于什么控制模式下。确定了控制状态，因控制状态在极端情况下面临着迅速切换的情况，所以需要进行切换的状态保存以进行其的过渡。

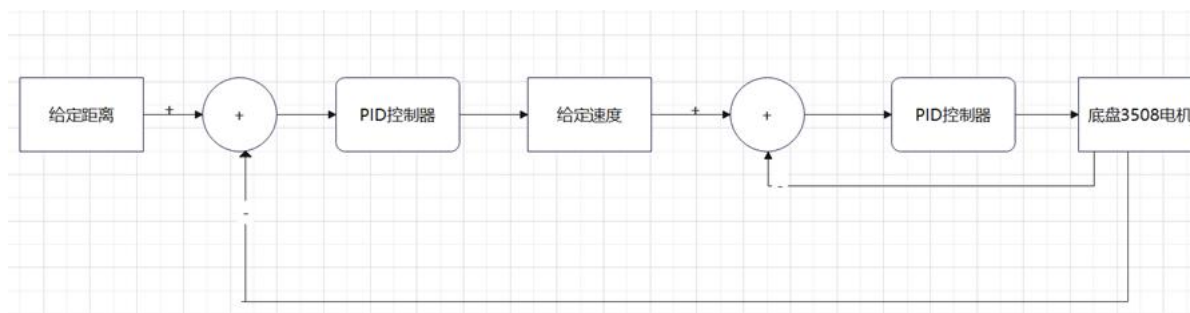
最后根据所在的控制模式选择相应的控制方案，从而实现较为理想的控制效果。具体控制逻辑框图如下：



### 2.4.3.3 控制算法说明

哨兵机器人嵌入式算法主要分为四部分组成，即底盘控制算法、云台控制算法、视觉数据处理算法和机器人模式控制算法。

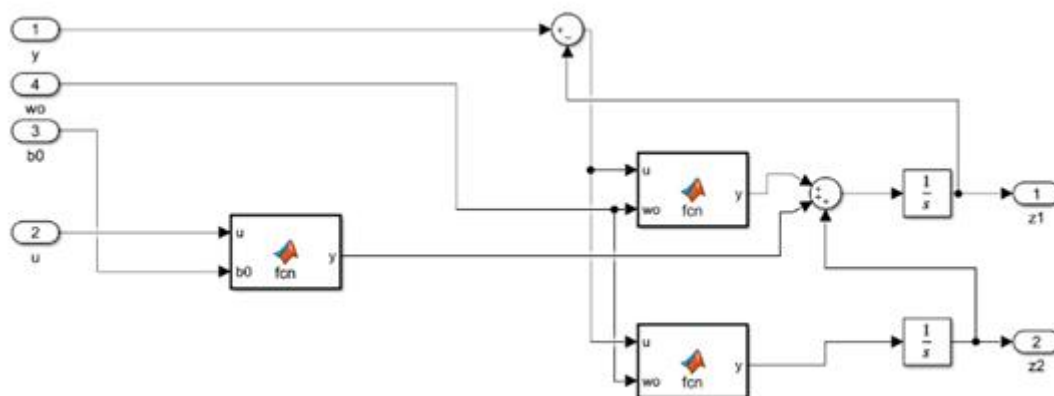
底盘控制算法：底盘采用了串级 PID 作为控制策略，利用电机的速度反馈和 TOF 激光测距的距离反馈建立负反馈环路，把距离环的输出作为速度环的期望速度，实现了底盘运动的精准控制。在逃跑模式中利用了



随机数的生成作为距离环设定值，实现了该模式下的全轨随机变向逃跑。

**云台控制算法：**本赛季的云台控制策略的一个技术创新点，采用了前馈加 **ladrc** 的控制算法。**Ladrc** 控制器有很好的控制效果和鲁棒性，同时使用带宽法进行参数配置，相较于传统 **pid** 而言，极大的简化了调参过程和响应效率。

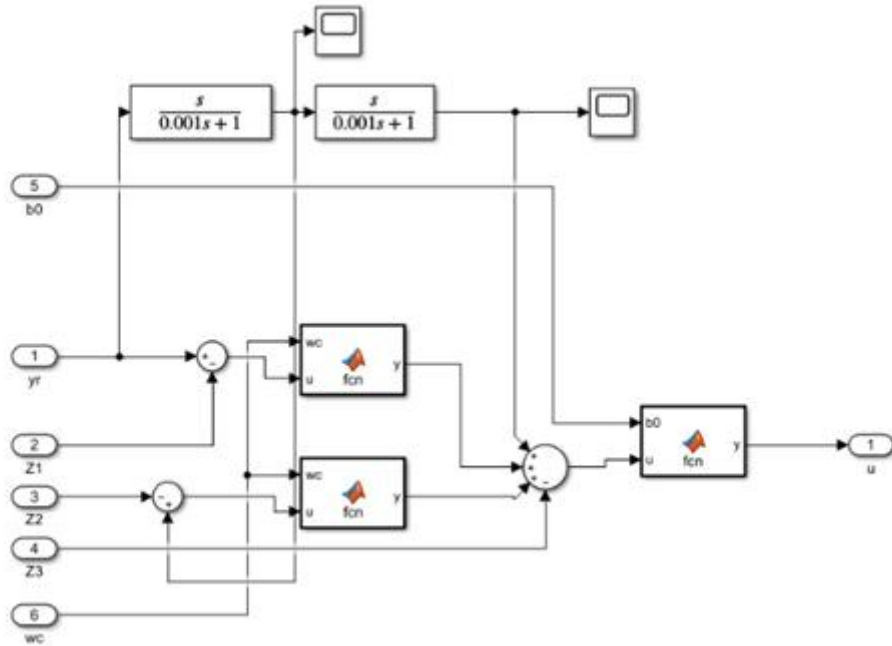
**Ladrc** 的核心是将积分串联型作为被控对象的标准型，将不符合标准型的动态归为扰动。**Ladrc** 控制器分为线性扩张状态观测器和线性状态误差反馈律，扩张状态观测器用于观测系统的状态变量和扰动，线性状态误差反馈律用于反馈并消除误差。云台可以通过陀螺仪直接测量角速度和欧拉角，为提高控制器的扰动抑制比，我们采用了降阶的扩张状态观测器，建立了两个被观测量，即角速度和扰动的观测量，同时在控制量中实时消



除扰动，可以达到一个很好的抗扰效果。如下图所示：

云台的跟踪速度尤为关键，为提高云台对指令信号的跟踪速度，我们设计了一个前馈器，用于获得云台的速度信号和加速度信号，对于积分串联型对象，即指令信号的微分信号和二阶微分信号。通过两个串联的微分器即可获得这些信号。

为保证控制器的稳定性和精度，所有的微分器和积分器全部使用双线性变换法进行离散化，双线性变换法在所有采样时间内均可以保持良好的稳定性，且具有较高的精度，很适合用于数字控制器的设计。云台控制律结构图如下：

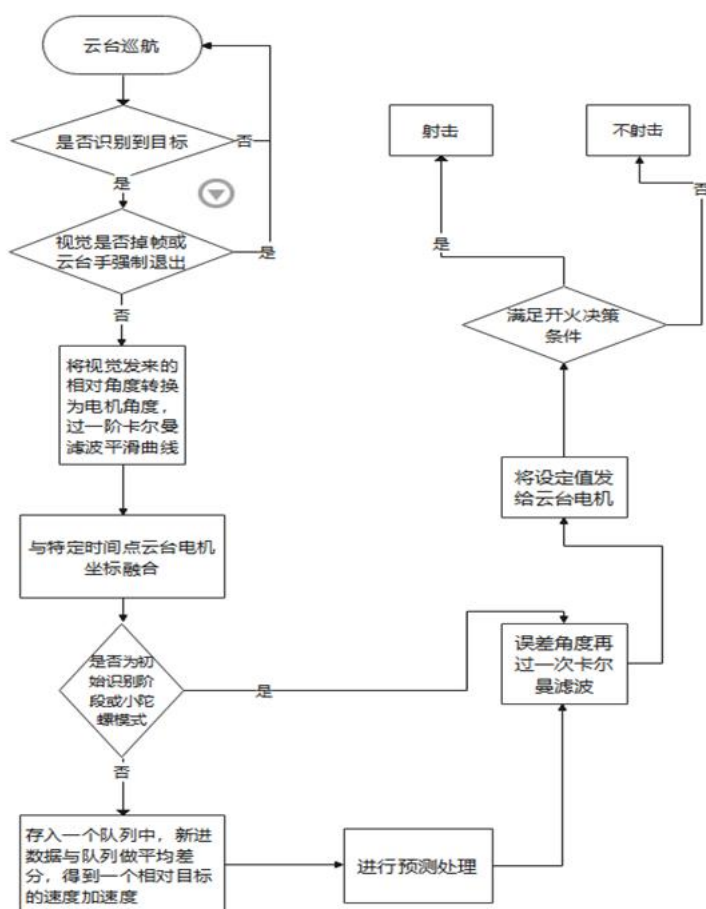


视觉数据处理算法：视觉数据处理改进移植了深圳大学 2021 年的哨兵开源电控自瞄方案，在得到视觉发来的目标相对角度后，由主控程序实现自动开火打击。具体先要把相对角度转换为电机角度，用一阶卡尔曼滤波平滑曲线，再与特定时间点云台电机坐标融合，得到目标装甲板在世界坐标系下的确切坐标。

预测处理方面，需要将世界坐标存入一个队列中，新进数据与队列做平均差分，得到一个相对目标的速度加速度，根据获得的速度加速度的数据进行预测角的计算。为提高响应，避免云台运动过快对图像和预测数据产生干扰，在初始识别到目标时，应关闭预测，使用真实角度。

云台运动到一定区间时，即可进入开火策略判断，根据预测偏置大小和云台误差来判定目标装甲板是否相对静止或云台已经实现运动超前和进入开火区间。各方面准备就绪后，开始打击。

具体流程如下：



机器人模式控制算法：机器人运动模式控制采用了有限状态机的思想，不同的主模式下分设子模式，经过组合涵盖了机器人的全部模式，在不同的模式下采用对应的控制算法以及运动解算，实现了机器人丰富的模式控制。

#### 2.4.3.4 基于裁判系统的机器人控制优化设计

- 裁判系统的读取：采用串口通信获取哨兵所需要的裁判系统信息。
- 枪口热量：为了符合规则的要求，防止因枪口超热量而导致的机器人血量减少问题。我们通过对官方提供的裁判系统通信附录的解读，成功获取到了精确的枪口热量并设置了枪口热量限制，枪口热量达到该限制值则进行低射频射击。
- 枪口射速：关于枪口射速的读取，实时的枪口射速是通过服务器的日志来进行调试，我们通过多次测试选择加入弹速修正的算法，实现了从裁判系统读取到的实际弹速与设定弹速的闭环控制，将弹速误差缩小在 $\pm 0.5$ 米每秒以内。
- 车间通讯：根据裁判系统串口协议附录，我们实现了云台手通讯控制哨兵机器人在前哨战模式下左右移动的功能以及下云台前后侦察切换的功能。

### 2.4.3.5 开发调试工具

- 控制代码开发平台：Keil5 Vision 5.36.0.0
- 调试与仿真设备：J-Link 仿真器
- 仿真环境：Keil5 自带的 Debug 功能和 J-Scope 软件

### 2.4.4 算法设计

哨兵视觉算法与步兵几乎完全相同，唯一的一处不同是在击打目标选择上。

哨兵在击打目标时有一层额外的英雄判断逻辑，若英雄在距离阈值内则激活。该逻辑优先级高于其他所有逻辑，意味着不论目前哨兵位于什么状态，一旦视野范围内存在英雄目标便会主动进行攻击，用于防御敌方英雄吊射哨兵。

其他部分完全相同，在此不做赘述。

## 2.5 研发迭代过程（10）

### 2.5.1 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	完成第一版哨兵实物制作并调试	2021.12.15
V1.1	完成第二版车实物制作及优化结构和控制逻辑	2022.4.2
V2.0	更换磨损物件，完成最终版，备战分区赛	2022.5.1

### 2.5.2 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
1	底盘的辅助轮存在胶皮在测试中脱落的情况	底盘测试存在高强度的移动，左右急刹，对胶皮磨损严重。	购买轴承胶皮一体的聚氨酯成型滚轮包胶轴承。这样辅助轮的硬度也适合，稳定性	V1.1	机械工程师: 赵明宇, 庞翔曦



序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
2	下云台的供弹链卡弹问题	哨兵机器人供弹方式是上供弹,供弹链过长是一个显著缺点,并且弯折处的角度会使弹丸的受力不合理,导致弹丸卡弹。	也提高了  机械方面:重新打印了新的输弹管并更换了新的轴承。更换完轴承和输弹管后,哨兵的卡弹问题以及弹道散布状况相较于之前得到了改善。  电控方面:在程序控制方面我们采取拨盘反转的方法解决卡弹问题。首先通过向电调发送的控制电流值是否超过7500判断电机是否因卡弹而发生堵转,若发生卡弹超过250ms则拨盘电机反转半格,反之则进入正常射击判断。	V2.0	机械工程师:赵明宇,庞翔曦 嵌入式软件工程师:李铭骏

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
3	上云台拨盘卡弹	通过大量的测试,我们推测是由于发射机构的限位是左右U型轴承进行限位,由于U型轴承是硬限位,所以轴承的间距过近会使17mm弹丸通过限位所需要的力过大,导致拨盘电机无法推动弹丸通过限位。	通过调整打印件的参数以及在U型轴承与打印件接触面之间加一个0.5mm的垫片,使垫片与U型轴承的内径贴紧,将外径垫高。	V2.0	机械工程师: 赵明宇, 庞翔曦
4	底盘测距模块数据异常	比赛场地哨兵轨道表面烤漆,光线不稳定,对于激光测距等光器件的使用不是很友好,导致实际仿真的距离数据与真实数据有很大偏差。	我们采用了底盘主动轮编码器结算距离替代测距模块数据的办法,运用在底盘巡航模式中模式,以保证底盘的正常巡航。	V2.0	嵌入式软件工程师: 李铭骏, 龚艳佳
5	巡航状态下预测点晃动严重	相机同步出现问题, Gamma 色彩校正环节耗时过长。	去除 Gamma 校色, 优化时间戳匹配算法。	V1.1	视觉软件工程师: 顾昊

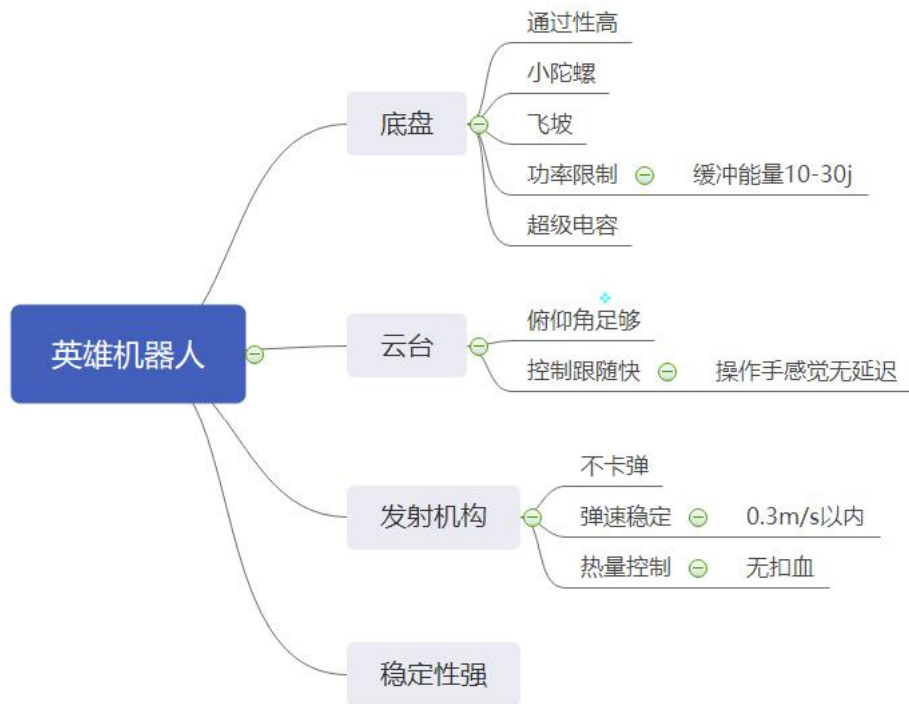
## 2.6 团队成员贡献（2.5）

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
李铭骏	自动化、大二、哨兵机器人电控组负责人	负责哨兵机器人的嵌入式开发，包括底盘控制、云台控制、视觉系统的嵌入式环境开发等	15
赵明宇	车辆工程、大二、哨兵机器人机械组负责人	负责整车下云台和底盘的研发，设计及加工制作	20
庞翔曦	车辆工程、大二、哨兵机器人机械组成员	负责整车下云台与上云台的加工制作及临场装配与设计优化	10
龚艳佳	电子信息工程、大一、哨兵机器人电控组成员	负责对电控程序的二次封装，部分参数整定及底盘模式的优化	15
顾昊	自动化、大二、地面机器人算法负责人	负责整个机器人的算法功能开发，包括神经网络识别模块、粒子滤波器等	27.5
赵梓合	飞行器动力工程、大二、视觉算法组组长	负责整个机器人的算法架构开发，包括整体逻辑架构、调试优化、日志模块和对接机械、嵌入式组综合优化机器人性能等	12.5

## 2.7 参考文献（2.5）

- [1] RM2021 上海交通大学云汉交龙战队哨兵机器人刹车中介式弹射机构开源
- [2] RM2021 深圳大学哨兵机器人嵌入式开源
- [3] RM2021 哈尔滨工业大学哨兵机器人机械结构开源

### 3. 英雄机器人



#### 3.1 其它学校英雄机器人分析综述 (2.5)

#### 3.2 机器人功能定义 (5)



### 3.3 机器人核心参数（2.5）

类别	参数
长度*宽度*高度	614*580*564
picth 轴转轴中心高度	414
重量（满弹含裁判系统）	24.8kg
云台俯仰角	-30~30°
最大载弹量	50 颗

## 3.4 设计方案（25）

### 3.4.1 机械结构设计

#### 3.4.1.1 整体设计说明

在本赛季中，我们参考了 2021 年华南理工大学等学校的开源，与上一赛季结合，优化，得到本赛季英雄机器人的基本框架。相较上赛季，本赛季大幅缩减车体尺寸、实现模块化设计。但赛季之初没有解读好规则，没有将英雄的 10m 吊射放在首位，导致在赛场上没有发挥英雄的高伤害优势。

#### 3.4.1.2 核心机构设计说明

##### 3.4.1.2.1 Pitch 轴

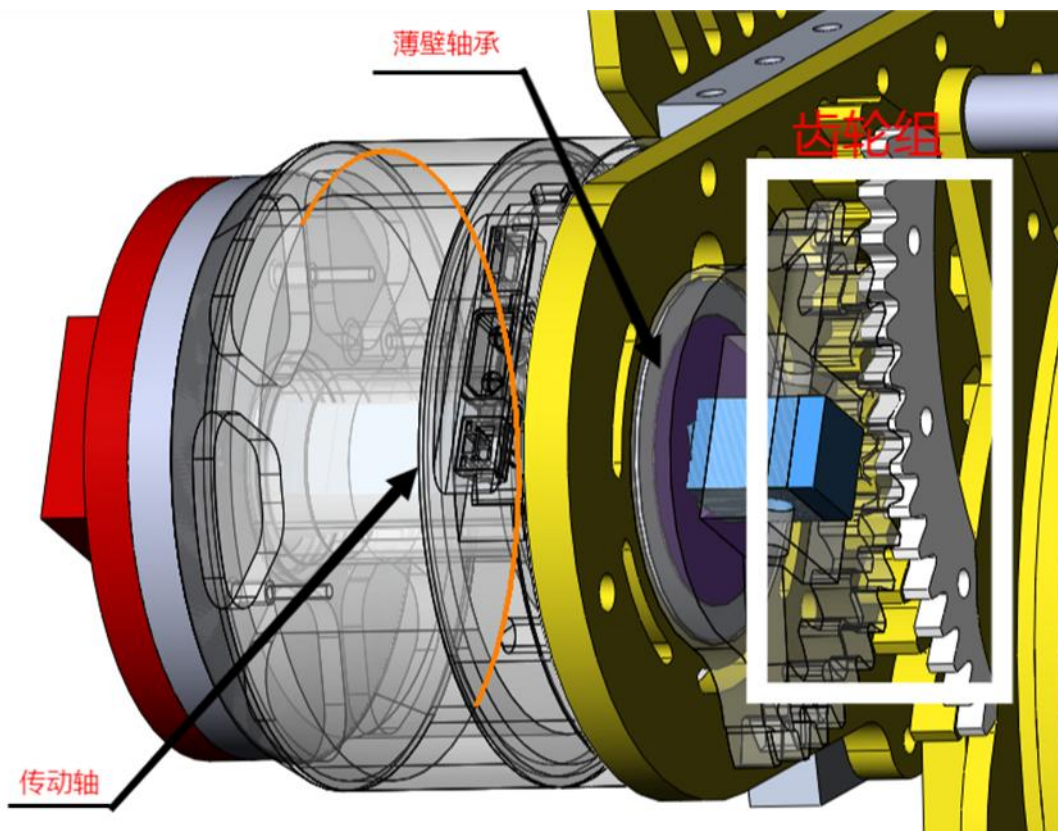


图 3-4-1pitch 轴示意图

Pitch 轴采用了双排齿轮的方式，这样及避免了直连做 pitch 轴对电机的损害变小，又拥有了和直连一样的稳定性。两排齿轮模数不同，分别对应一个方向的齿隙，减小了传统齿轮传动时因加工精度或磨损带来的传动虚位。在传动轴上增加一薄壁轴承，提高了传动轴的径向负载能力，这样及可以拥有稳定的电机转动传送又不会有太大的阻尼出现误差。

##### 3.4.1.2.2 发射机构

射机构的难点在于如何保证每颗弹丸与摩擦轮相接触的位置固定不变，以及让每颗弹丸受力方向一致。

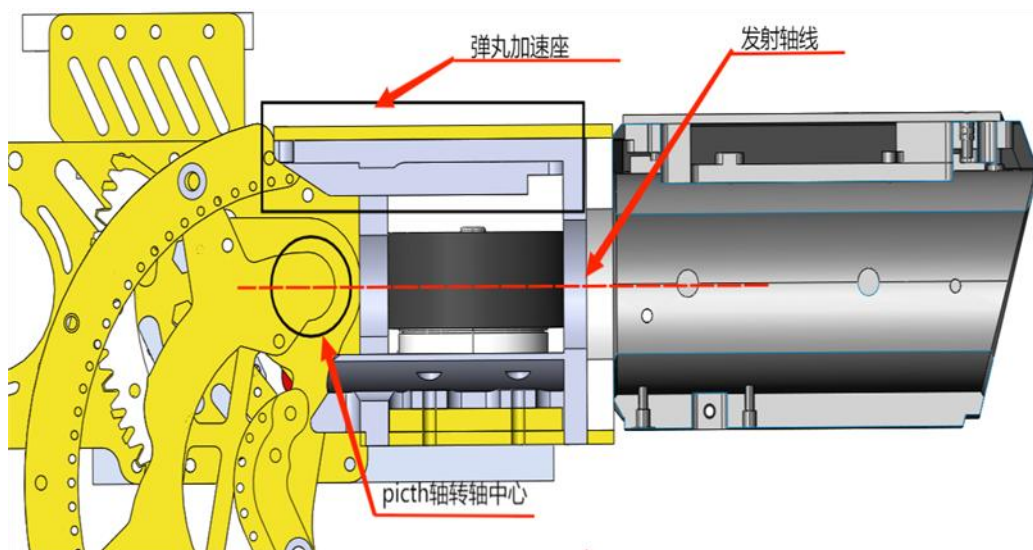


图 3-4-2 发射机构示意图

由于我们采用了拉簧做限位机构，每颗待击弹丸受到下一颗弹丸传递的能量会影响其与摩擦轮相接触的位置。但每颗弹丸直径与磨损程度均不可控，无法做到完全一致，仅能尽量减少波动。例如：较小余量的供弹结构、拨叉平稳匀速拨弹、摩擦轮对称同高和合理的安装误差等。

为了使每颗弹丸受力方向一致应使发射轴线过 picth 轴转轴中心减少后坐力带来的枪口跳动，设计合理的弹丸加速座，确保待击弹丸在从离开限位到与摩擦轮相接触这个过程始终沿同一方向运动。

在约 5000 次发射后，3508 电机会向两侧轻微弯曲、固定螺丝松动，导致双摩擦轮高度不一致，使发射散步变大。此时应调换左右摩擦轮并重新上紧紧固螺丝。

摩擦轮最好提前 20 天备好，放在阴凉通风的环境中自然硫化。未经硫化的新摩擦轮不耐磨，会提前结束使用寿命。

## 3.4.1.2.3 供弹结构

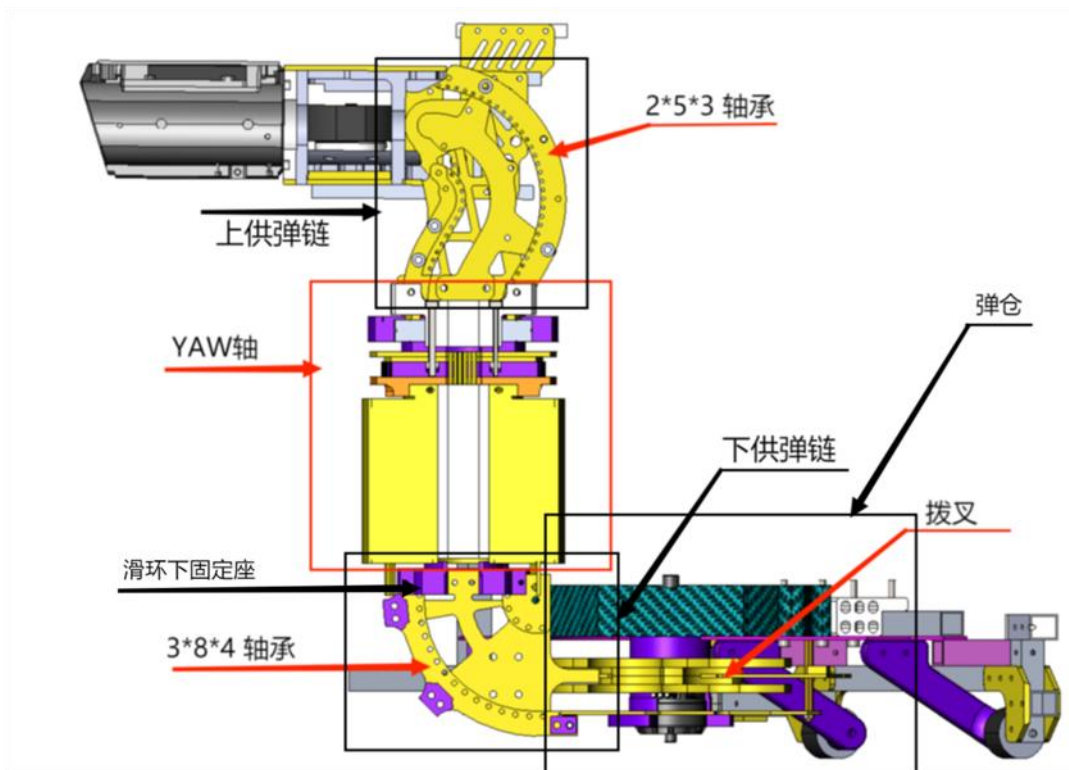


图 3-4-3 供弹结构示意图

可将整个供弹结构分做 1) 上供弹链 2) 下供弹链 3) 弹仓。因为上供弹链拐角更多造型更复杂，所以使用更小的轴承使由轴承构成的链路更平缓，让供弹更顺滑。因 3420 环氧板厚度不均以及 3D 打印出的支持块精度不足使弹仓壁左右厚度不一，导致其在收到弹丸冲击时会发生位移增加了弹丸的阻力。我们用垫片补偿了误差，确保在该部分被螺丝上紧后不会松动。滑环下固定座与下供弹链仅由内侧 4 颗 M3 防松螺丝固定，既不利于安装，也会因高强度冲击使螺丝松动导致卡死整个供弹结构。后将螺丝位置改为在外侧安装，情况明显好转。

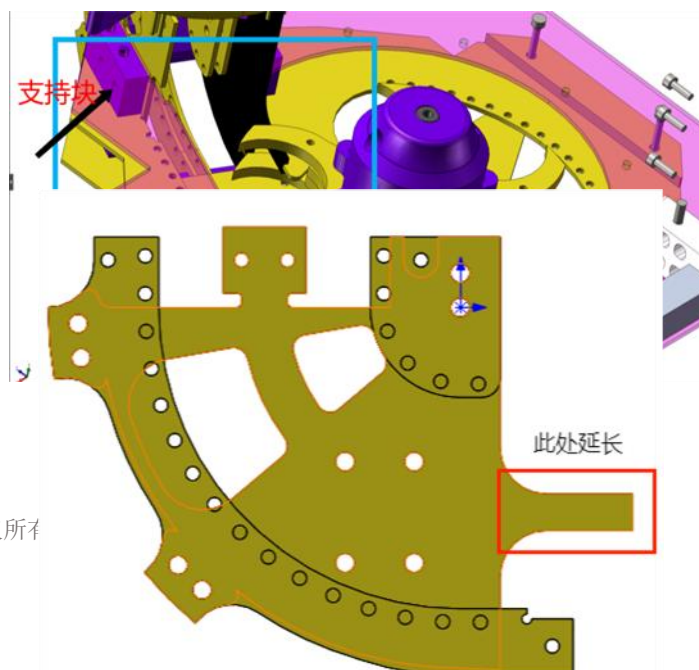




图 3-4-4 弹仓与下供弹链的连接处

图 3-4-5 下供弹链示意图

在实测中卡弹问题一直困扰我们,造成卡弹的最大原因是弹仓与下供弹链的连接处因拨叉结构导致供弹弯角处无法在阻力最大的侧面添加轴承导致卡弹,最后我们采用较光滑的碳板制作弯角右壁解决了这个问题。

### 3.4.1.2.4 Yaw 轴

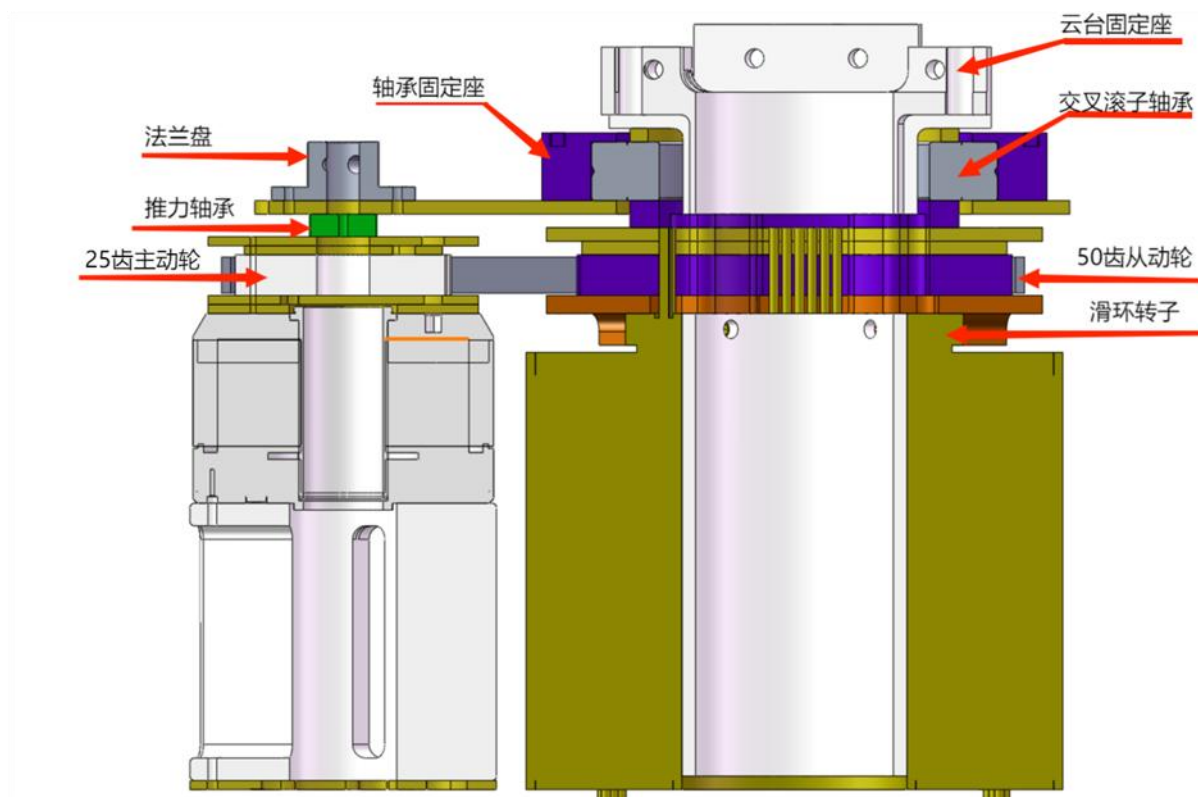


图 3-4-6 YAW 轴展示

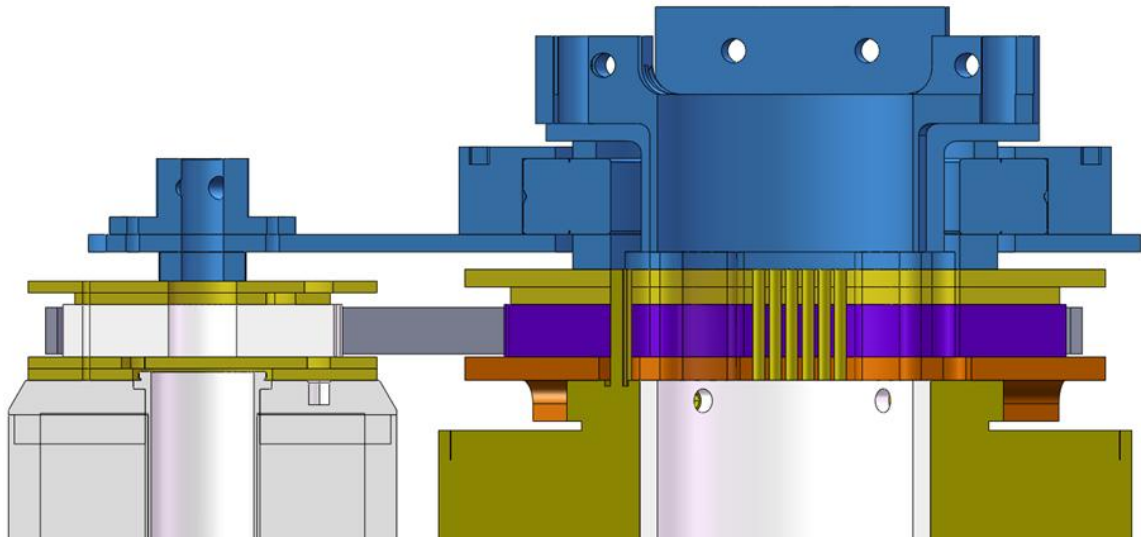


图 3-4-7 YAW 轴上部分示意图

采用 2:1 的同步带轮进行要求驱动降低了 6020 电机的负载的同时，方便整车一键掉头，带来了极大的灵活性，提高了英雄在赛场上的生存能力。

可将这一部分近似看作悬臂梁，在主动轮与云台支撑板间插入一推力轴承并用一法兰盘和  $\phi 8$  的光轴加固，提高该结构的抗剪能力，有效承受在下台阶时云台剧烈运动产生的弯矩。

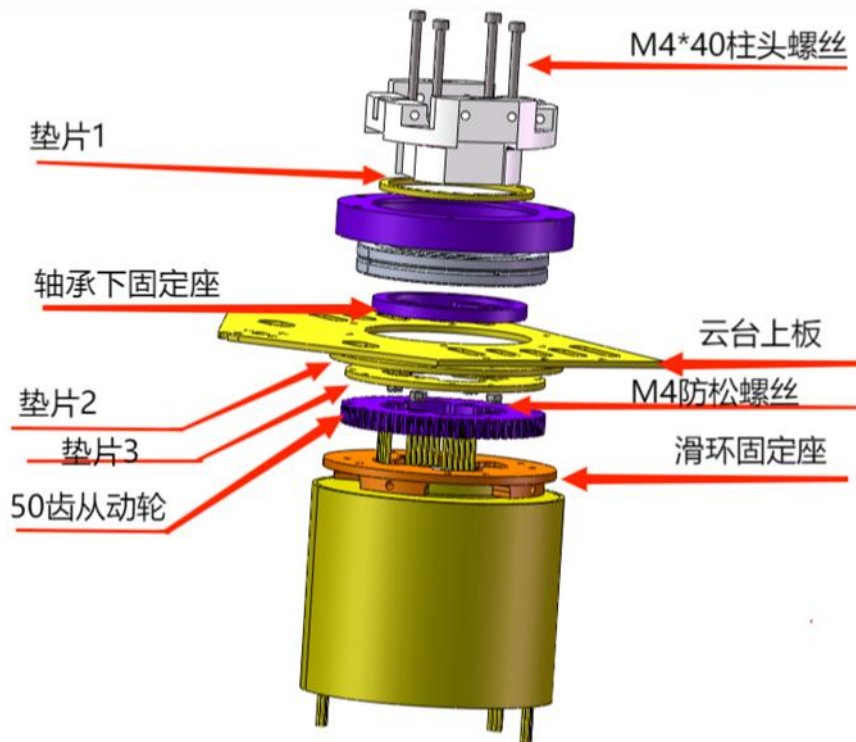


图 3-4-8 YAW 轴从动轮部分爆炸图

从动轮部分安装较复杂。首先将 4 个“M4 防松螺母”埋入“50 齿从动轮”；其次按“垫片 2”、“垫片 3”、“50 齿从动轮”和“滑环固定座”的顺序用 8 对“M3 螺丝防松螺母组合”拧紧的同时套入同步带；再次按“轴承固定座”、“交叉滚子轴承”、“轴承下固定座”的顺序用 6 颗“M3 螺丝”拧在云台上板上；最后按“垫片 1”、“云台固定座”的顺序放在“交叉滚子轴承”中间；最后小心地用“M4\*40 柱头螺丝”穿过“云台固定座”的固定孔位并拧紧。

尽管预留了安装孔，让工具能伸入，但还是安装复杂。采用环氧板与打印件，虽然降低了成本但对装配产生了巨大影响，误差大。长期使用后由于打印的同步带轮磨损导致同步带不能完全啮合，其产生的阻力令 YAW 轴变涩，影响控制精度，但在可接受范围之内。

### 3.4.1.2.5 轮组

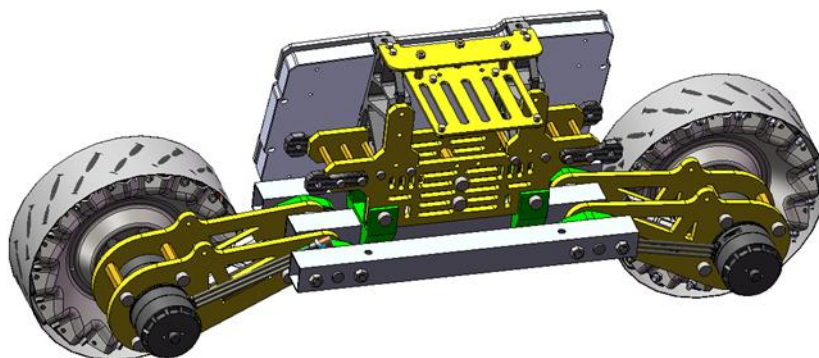
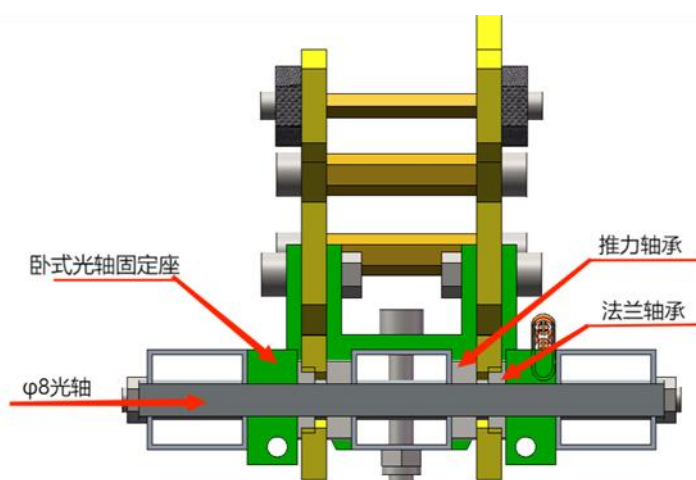


图 3-4-9 轮组整体图

轮组虽然采用传统纵臂独立悬挂，但表现较好，可以满足英雄下台阶，飞坡等需求。小巧紧凑、空间利用率高，为其他电子元件的安装预留挂点。轮组转轴一根长光轴穿过三根铝方管，并用两个  $\phi 8$  卧式光轴固定座夹紧，再用一对法兰轴承与一对推力轴承保证轮组固定板强制同心。



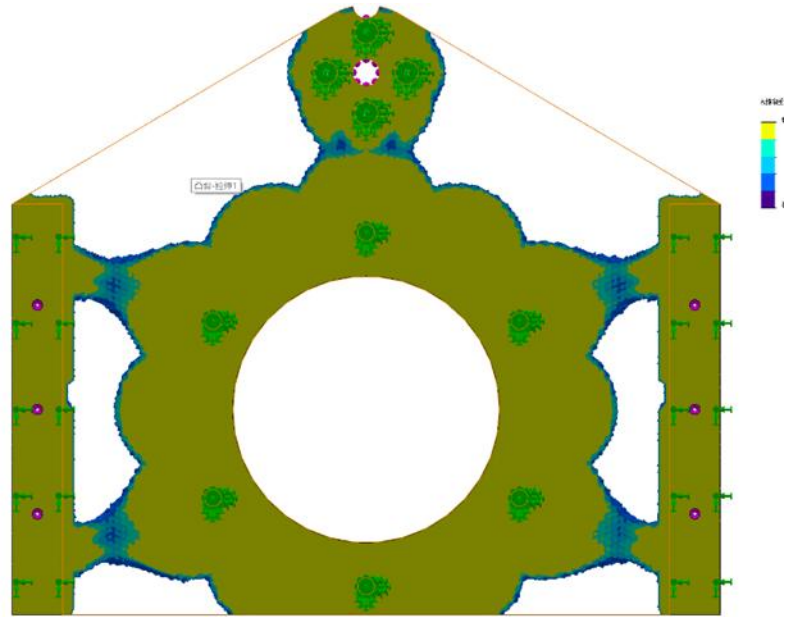


图 3-4-10 轮组转轴剖面图

图 3-4-11 云台上板初设计图

### 3.4.1.3 核心零件有限元分析

云台上板是英雄机器人的核心零件之一，基于仿真的轻量化思想，我们对在零件强度满足安全系数的情况下同时兼顾美观与保护内部电子元件，使零件减重 30%。

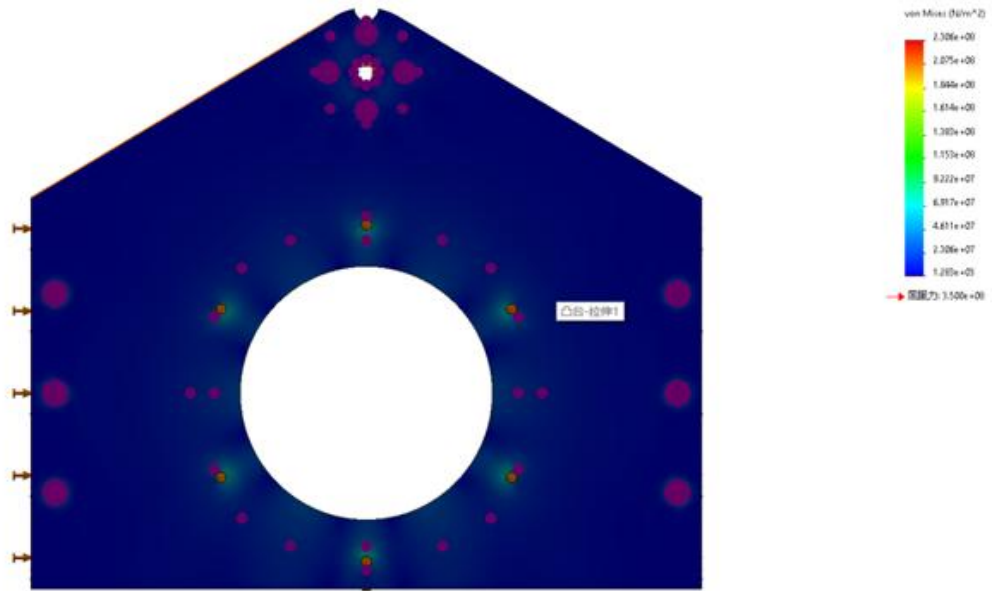


图 3-4-12 云台上板设计洞察分析图

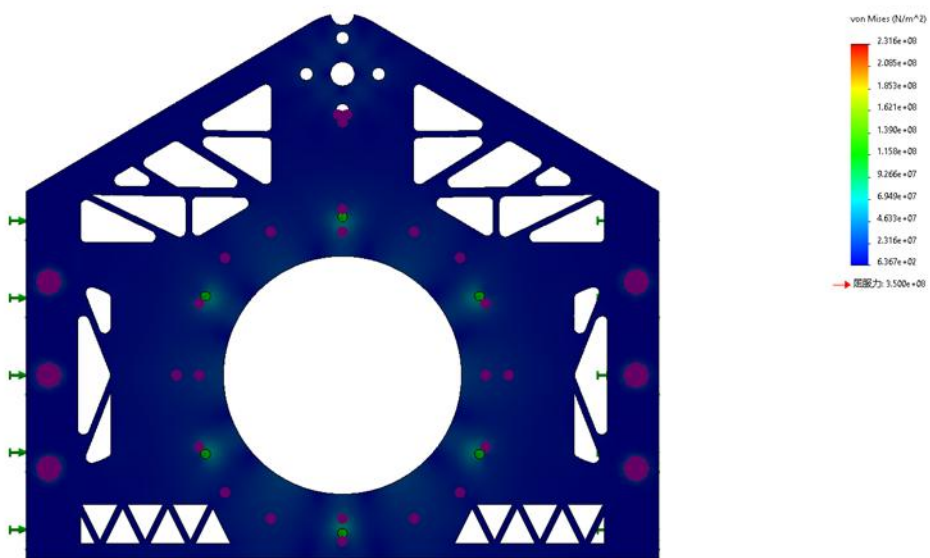
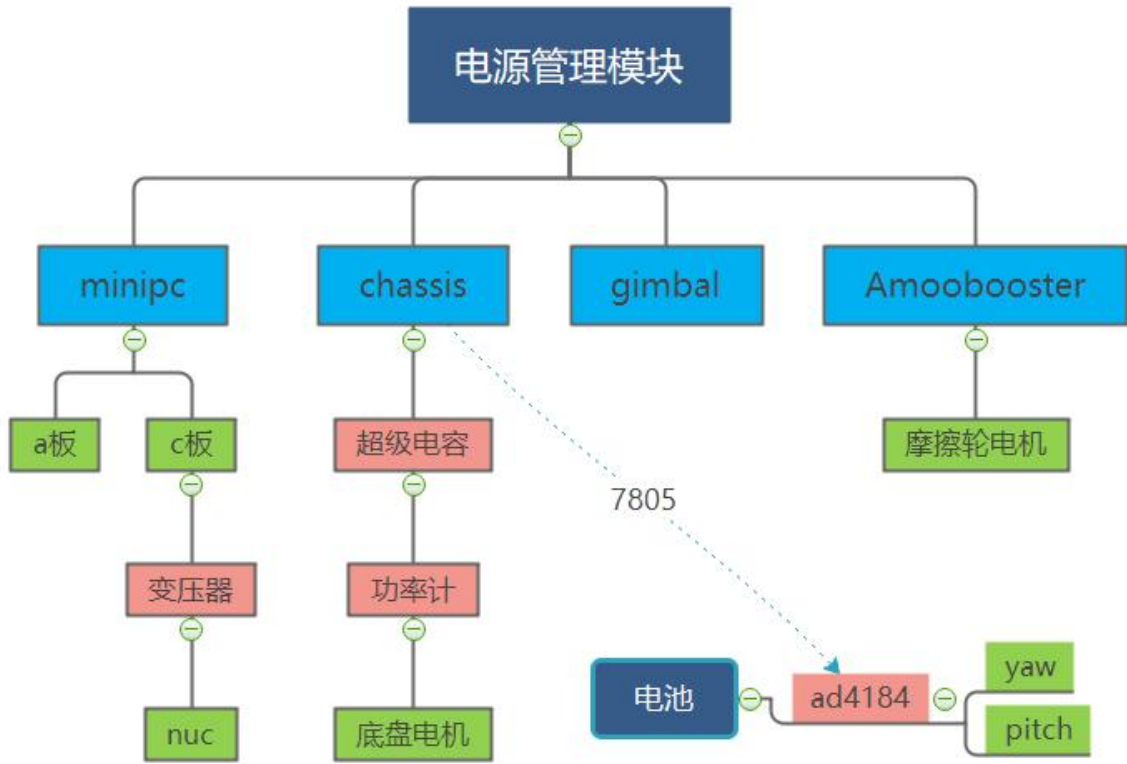


图 3-4-13 云台上板轻量化处理后示意图

### 3.4.2 硬件设计

设备型号	个数	功能
3508 电机	5	驱动麦卡纳姆轮的转动、控制拨盘转动
6020 电机	2	控制云台的 Pitch、Yaw 轴转动
3508 电机转子	2	控制摩擦轮转动
NUC	1	通过图像处理完成自瞄等功能
大恒工业相机	1	采集图像
电容控制板	1	控制电容充放电
RoboMaster DR16 接收机	1	接受遥控器信号，控制机器人
超级电容	1	储存释放电力
Ina226 功率计	1	采集底盘功率
C620 电调	7	驱动 3508



### 3.4.3 软件设计

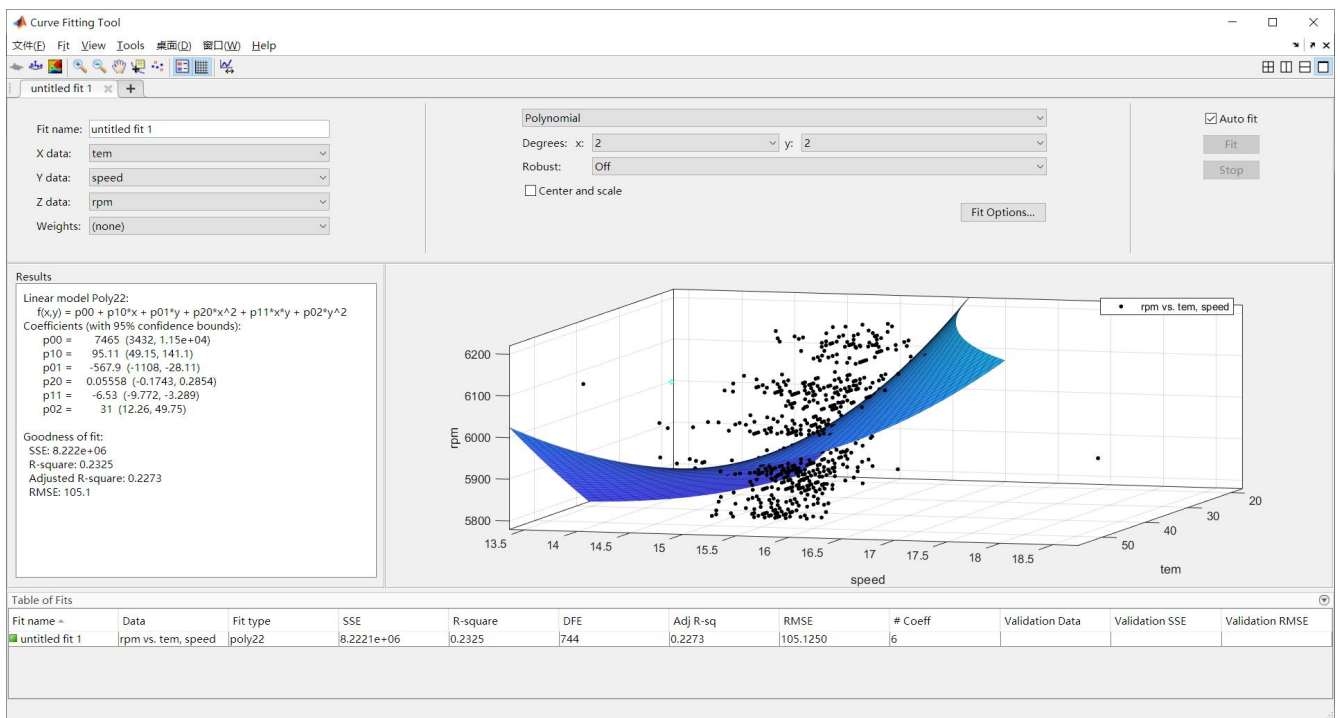


### 3.4.4 算法设计

控制算法与队内其他机器人的算法相同底盘和摩擦轮为 pid，云台控制为 ladrc。

在弹速控制上使用三闭环对摩擦轮转速做控制，三闭环分别指对摩擦轮转速闭环的 pid 控制，对温度变化进行的转速设定值的闭环控制，对弹丸的反馈弹速做的闭环控制。这里特别感谢 辽宁石油化工大学田旭的技术支持。对温度补偿的做法为记录打弹时的电机温度弹速和弹速设定值并用 Matlab 生成拟合函数最后用这个拟合函数来匹配对应温度的转速做法如下图。





视觉算法与步兵完全相同，只是弹道参数不同，在此不做赘述。

## 3.4.5 其它

## 3.5 研发迭代过程（10）

### 3.5.1 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	发射机构样机，仅包含发射机构/picth 轴/完整供弹链，用来寻找发射机构最佳参数。	2021.10.18
V1.1	第一版具有完整功能的英雄机器人，一边调试一边改进	2021.12.15
V1.2	东部分区上场机器人，解决之前出现的所有问题。	2021.4.15

## 3.5.2 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案&实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
1	英雄以 70w 功率开启超级电容后飞坡会被弹起并向前翻滚。	软质地面会吸收机器人飞坡的能量, 导致未利用全部悬挂行程, 使机器人落地姿态不对	更换竖直导向轮材质并重新设计其位置; 同时增大开启超级电容后轮组电机的输入电流, 另其加速更后, 该问题不再发生。	V1.0	机械工程师: 赵文浩 房雨鑫 嵌入式软件工程师: 胡德宏
2	由 PLA 打印制成的云台固定座仅能承受在 2 次飞坡, 之后便会断裂, 无法使用	Fdm3D 打印为层层堆叠, 当受力方向与堆叠方向相垂直时, 其结构稳定性会大大降低。	用 6061 铝机加工, 并采用有限元分析简化形状后, 该问题不再发生。	v1.1	机械工程师: 赵文浩 刘子建
3	英雄出现预计弹速 15.5m/s, 但实际弹速仅有 9m/s	经过长时间的击打, 3508 转子会有轻微的变化, 这一变化是由于每次击打会对只有四颗螺钉固定的 3508 转子有较大的	每日训练后, 重新上紧固定螺钉, 或将左右摩擦轮对调。该问题不再发生。	V1.2	机械工程师: 赵文浩 房雨鑫刘子建

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案&实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
		弯矩, 导致双摩擦轮不同高。			
4	打弹次数多时超弹速	摩擦轮和电机温度上升让胶轮物理性质改变弹丸弹速提升超弹速	记录弹速温度转速曲线做出拟合函数使温度升高时转速降低	v1.3	机械工程师: 赵文浩 房雨鑫 刘子建 嵌入式软件工程师: 胡德宏

### 3.6 团队成员贡献 (2.5)

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
吴佳明	机械设计及其自动化、大三、	负责机器人云台机构设计	7%
胡德宏	机器人工程、大二、	负责机器人电控和硬件程序编写	22%
刘子健	通讯工程、大二、	负责机器人底盘结构、发射机构方案 B 设计	21.5%
赵文浩	安全工程、大二、	负责机器人轮组、供弹机构设计	21.5%

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
房雨鑫	机械电子工程、大一、	负责发射机构方案 A 设计，整车加工制作	13%
郝胤宣	飞行器制造工程、大二	负责整车加工制作	5%
顾昊	自动化、大二、地面机器人算法负责人	负责整个机器人的算法功能开发，包括神经网络识别模块、粒子滤波器	10%

### 3.7 参考文献 (2.5)

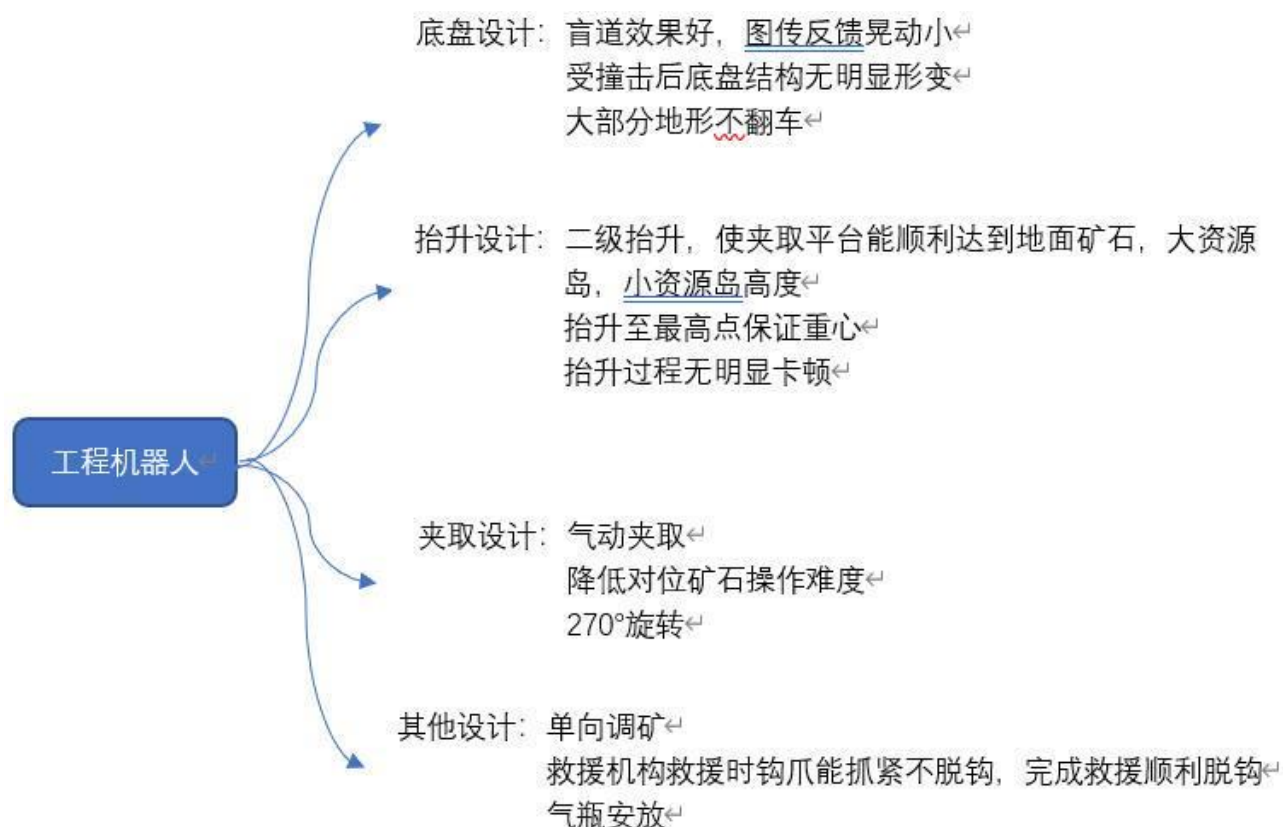
- [1]. 李佑晗. 基于麦克纳姆轮移动平台的振动优化技术研究【J】. 汽车工艺师, 2020, 207 (10): 50-53.
- [2]. 卢浩文, 谢佳洽, 李泽寰, 等. 基于三维软件的麦克纳姆轮移动平台悬架系统研究【J】. 数字技术与应用, 2016, 000 (011) : 39-39. [SEP]
- [3]. 周雨青, 叶兆宁, 吴宗汉. 球类运动中空气阻力的计算和分析【J】. 物理与工程, 2002 (01) : 55-59.
- [4]. 赵清锋. 斜面上抛体运动中位置速度关系的讨论【J】. 物理教学 2021, 43 (06) : 42-44.
- [5]. 钱林方. 火炮弹道学 (第二版)【M】. 北京: 北京理工大学出版社, 2016.

## 4. 工程机器人

### 4.1 其它学校工程机器人分析综述（2.5）

其他学校多采用空接形式对大资源岛矿石进行接取，各动作之间衔接较快。小部分学校在原本三个移动轴系上增加旋转轴系，可以适应不同角度对矿石的夹取和兑换，对下赛季可能出现的机械臂兑换站进行提前研究。同时方便对矿石方向的调节。悬挂方面效果很好，操作手界面抖动较轻，可以作为参考。

### 4.2 机器人功能定义（5）



### 4.3 机器人核心参数（2.5）

重量	30.2KG
----	--------

尺寸	585*590*595
最大伸展尺寸	1000*585*995
执行器件	电机, 气缸

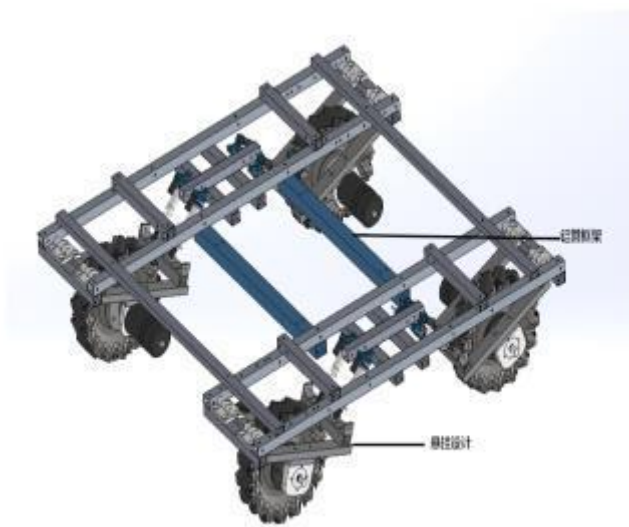
## 4.4 设计方案（25）

### 4.4.1 机械结构设计

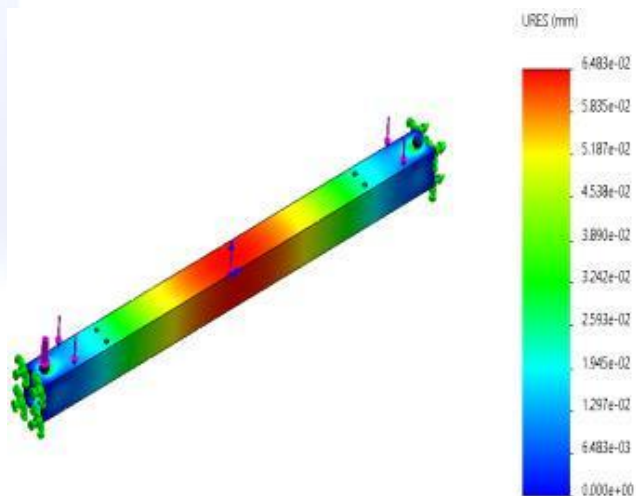
#### 4.4.1.1 底盘设计

##### 1. 框架

机器人的结构框架设计遵循两个原则<sup>[3]</sup>：（1）简洁：避免大量焊接、装配或撞击造成的误差累积；（2）比强度与比刚度大：使机器人在重量限制下尽可能稳定，耐撞。



框架设计



底盘横梁位移仿真

##### 2. 纵臂式悬挂：

纵臂悬挂在左右方向位移受限，前后位移自由，在横向没有位移。当横移急停导致纵臂压缩

时，情况与横臂前后位移压缩一样，前后麦轮轴距增大，侧倾明显，而横臂压缩时前后轴距不变。纵臂式悬挂的转动轴垂直于车体前进方向，车体在受正向冲击时，悬挂可以绕转轴旋转，同时能吸收更多的振动，受侧向冲击时，悬挂系统的铰接点承受扭矩。

综合赛场上的实际情况，前后急停的概率远大于横向急停。因此采用纵臂式独立悬挂。

### 3.救援

救援机构需要将救援卡伸缩到阵亡机器人场地交互模块下使阵亡机器人感应复活。常见将圆周运动转换为直线运动的机构有：凸轮、齿轮齿条、曲柄滑块、带传动。在此选取齿轮齿条传动，使用GM2006 电机，电机通过联轴器与齿轮连接。

救援机构主要由GM3508 电机、KPO0 轴承座、法兰盘、光轴组成。车体前端放置采用KW11 微动开关（按下通电，松开断电），机器人进行救援时，操作手可以选择车体正对阵亡机器人撞击触点开关进行救援，优点：简单方便；亦或者是操作手对赛场情况进行判断，手动救援，优点：灵活。

#### 4.3.1.2 抬升设计

二级抬升利用了动滑轮行程倍增机构，可分为两段高度进行抬升，一级抬升为夹取平台，位于链轮内侧，可抬升 260mm，二级抬升可沿抽屉滑轨向上升 300mm（抽屉滑轨行程 350mm）。

### 4.4.2 夹取机构设计

#### 1. 直线运动机构设计

直线运动机构可分为直线导向部分与牵引部分，直线导向部分负责将机构约束在一个自由度内，而牵引部分负责控制机构的运动。牵引部分不考虑使用同步带传动，是由于该方案对张紧要求较高，大载荷下易滑齿。直线运动机构有“直线导轨+链传动”，“直线导轨+气缸”，“滑套+链传动”，“滑套+气缸”四种组合，可根据不同方案的优点进行选择。

直线运动机构的应用场合包括：夹取机构的升降和平移，夹爪的伸缩。

在夹取平移直线导向部分的选择上，夹取机构所需的导轨长达 200mm，故采用行程 250mm 抽屉滑轨。抽屉滑轨和抬升滑套一侧通过 10x15mm 铝管相连。抽屉滑轨型号多样，价格低廉，易安装在铝管上，考虑到与内固定轨连接的夹取平台会对外固定轨产生倾覆力矩，影响精钢珠滚动，因此适用于行程较短的场合。

牵引部分，选用尺寸为MA16x250 的气缸伸缩控制夹爪部分前后位移；在直线导向部分的设计过程中，需要尽量遵守“刚性矩形”原则。运动体应固定在一个刚体上，刚体的四角通常与两条导轨上的四个铝块相连，以保证其直线运动时的刚度足够大，不出现任何扭转。“刚性矩形”。其他场合均需要微调节流阀参数以达到最佳效果。

夹爪平移导向采用滑套，牵引采用微型气缸，夹手两侧使用拉力弹簧，使夹手自动对中。

## 2. 旋转机构设计

夹爪有三个自由度，一个是前伸自由度，一个是夹取自由度，一个是旋转自由度。夹取通过GM3508 电机翻转，矿石大约 600g，爪子部分为 800g，爪子重心大约在 1/2 处长长度大约为 250mm，由公式  $M=FL=mgl=1.400\times 9.8\times 0.25=3.43N/m$

已知 3508 电机扭矩为 3N/m所以需要两个 3508 电机带动矿石的翻转。

## 4.4.2 硬件设计

### 4.4.2.1 整机硬件框图

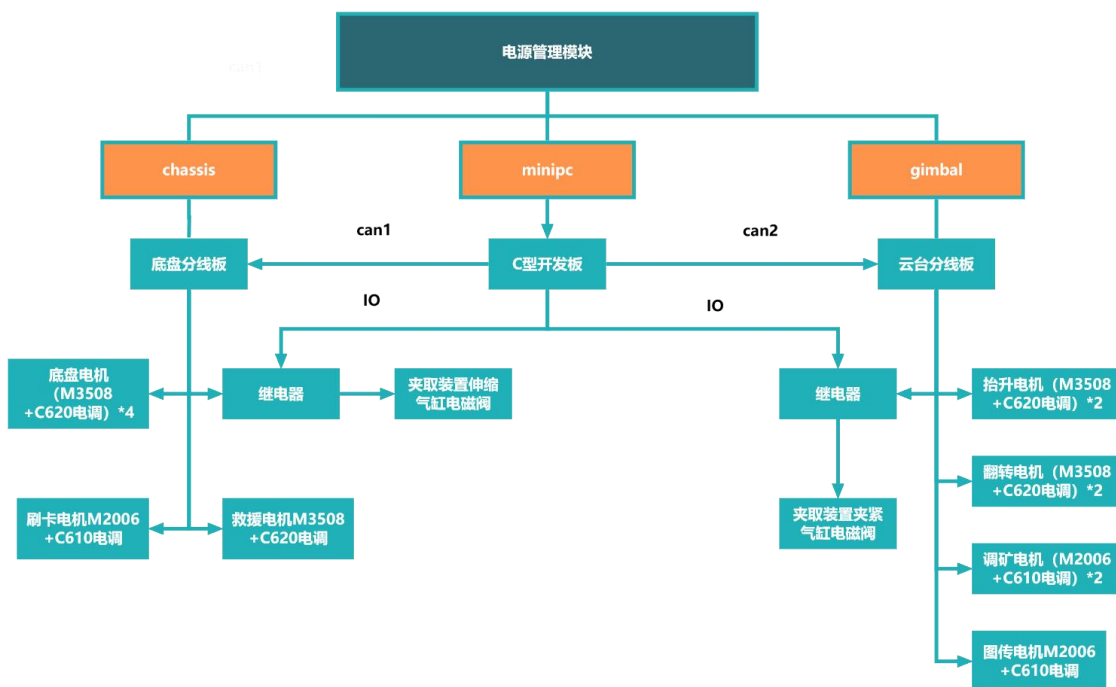


图 3.1 硬件框图



## 4.4.2.2 电子元件及电路设计参数

为了满足工程 机器人各项功能的设计目标，战队电控组和硬件组针对工程 机器人的实际情况采用了全新的设计，其相关电子元件及电路设计主要参数及布局如下所示。

设备型号	个数	功能
3508 电机+C620 电调	9	底盘*4, 抬升*2, 抓手旋转*2, 抓手救援
M2006 电机+C610 电调	4	矿石调整*2, 刷卡救援, 图传 pitch
MINI 气缸*3	4	抓手伸缩*2, 抓手松紧
电磁阀	2	控制气缸
继电器	2	控制气缸
RoboMaster DR16 接收机	1	接受遥控器信号, 控制机器人
Robomaster 开发板(C 型)	1	控制各电机运行
裁判系统	1 ( 套 )	检测机器人状态, 判罚犯规机器人

## 4.4.3 软件设计

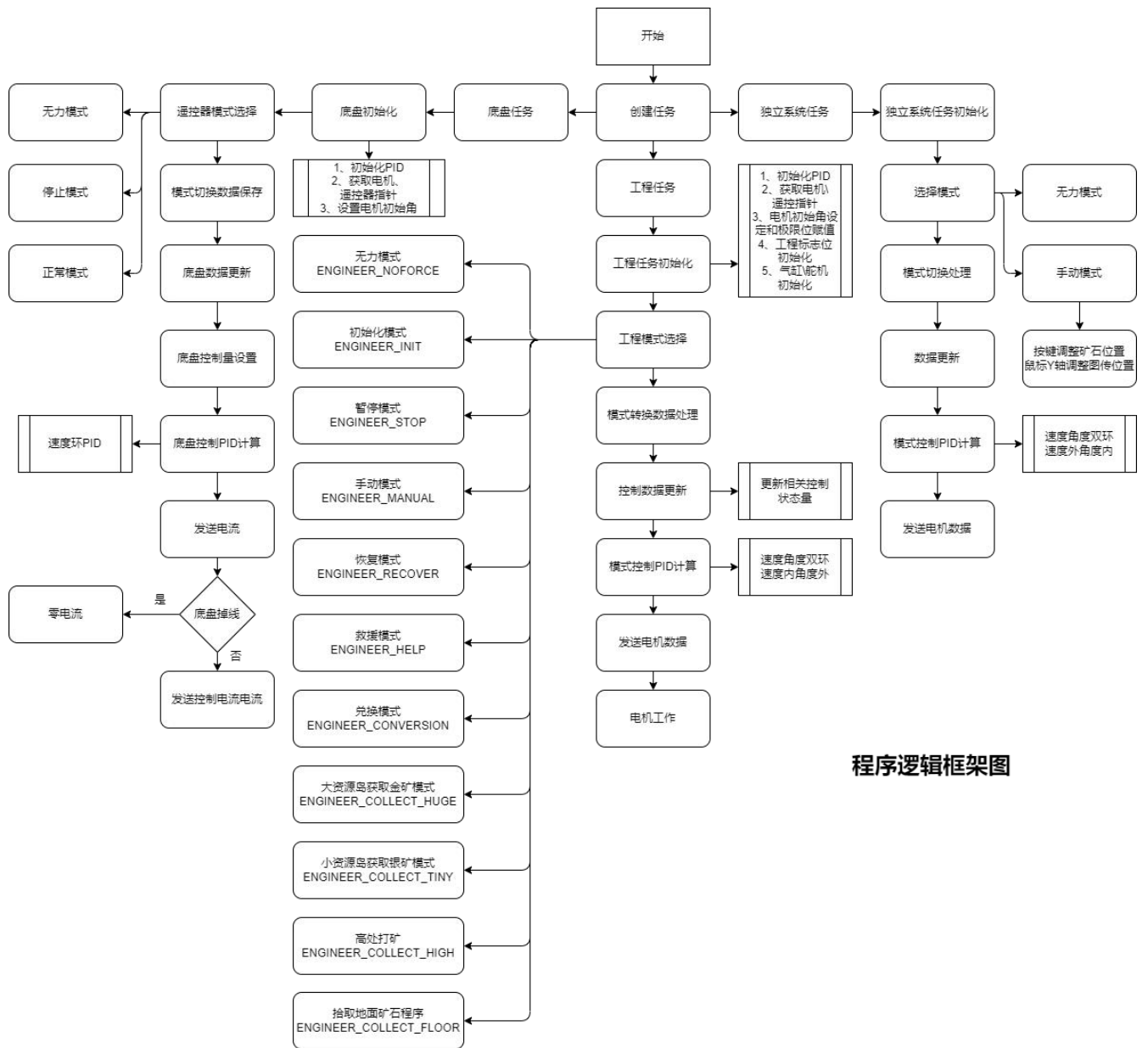
### 4.3.3.1 控制理论

嵌入式程序的控制程序是以 FreeRTOS 操作系统为基础的, 以该操作系统为基础的程序在多任务控制上与以往相比有着无可比拟的优越性。采用嵌入式实时操作系统(RTOS)可以更合理、更有效地利用 CPU 的资源, 简化应用软件的设计, 缩短系统开发时间, 更好地保证系统的实时性和可靠性。

FreeRTOS 是一个迷你的实时操作系统内核。作为一个轻量级的操作系统，功能包括：任务管理、时间管理、信号量、消息队列、内存管理、记录功能、软件定时器、协程等，可基本满足较小系统的需要。为机器车以及相关的机器人配置及实现以 FreeRTOS 实时操作系统为基础的多任务控制，优化并且提高机器车的整体性能，提高其完成任务的效率以及提高优化其可操纵性。

### 4.3.3.2 代码设计介绍

代码设计主要是基于 FreeRTOS 的多任务分时区调度功能实现，使用FreeRTOS 创建多个任务并对其进行合理的调度，主要的系统任务包括:系统硬件的初始化任务， 软件定时器数据收发任务，状态更新任务，开始任务。而主要的控制任务包含在“开始任务”中包括：底盘任务，工程任务，陀螺仪任务，校准任务，延时任务，复位判断任务。通过对这些任务进行合理调度从而控制机器人整体。



程序逻辑框架图

图3.2 嵌入式程序框图

为了帮助操作手更好的操控工程机器人完成各项任务，我们为工程机器人绘制了UI 操作界面。包含辅助操作手取矿的落矿辅助线与避免机器人碰撞的视廓线，和机器人模式和各电机状态。



图3.3 工程 东部赛区UI 示意图

左侧为模式状态，右侧为常用开关，可以实时更新，方便操作手操作，减少误操作。

### 4.3.3.3 防止误操作设计

考虑到比赛过程中操作手会产生紧张情绪或场地内一些其他因素可能导致一些非正常操作对工程机器人产生损伤，导致其无法正常工作或者工作效率降低。我们针对于这些因素设计了初始化模式、恢复模式、手动模式、手动复位等功能。

- 初始化模式：为了防止工程车在比赛中因死亡的因素造成复活后上电程序错乱，我们设计了初始化模式，当比赛前和复活后，现进行一次初始化，可以是程序正常进行，所有电机气缸舵机找到限位并停止。
- 恢复模式：在比赛进行中，操作手可能因按键失误、忘记操作步骤或者其他等操作导致位置状态发生变化，可以进行恢复模式，所有电机舵机气缸恢复初始状态。
- 手动模式：在比赛过程中，可能因场地和车的原因，导致一些功能不能正常工作，此时可以进行手动模式。
- 手动复位：为了防止出现意外，操作手可以在比赛中对单片机进行一次复位处理，程序重新执行。  
(相关代码见附录)

### 4.3.3.4 操作设计

工程车任务多，操作繁琐，按键也比较多，为此我们设计了方便操作的一键取矿，一键兑换，一键恢复等模式切换功能，为了防止发生意外，在每个模式下某些按键又有不同的功能。

- SHIFT底盘减速：因为工程车在救援与取矿兑换的情况下需要底降速处理，因此设置减速模式。
- Ctrl 键停止模式：在比赛进行中，如果发生意外情况，比如电机疯转或者某一结构发生干涉，可以按下G键进行工程任务的停止，所有电机停止不动。
- 长按Ctrl 键手动模式：进入手动模式前先进入停止模式。
- G键恢复：在操作过程中，操作手由于紧张或者对程序理解不深等原因，可能忘

- 记自身处于何种模式下，或者忘记某一操作步骤，可以按下G键进行恢复。
- X、C、Z键取矿模式：Z键银矿石拾取，X键金矿,C键地面矿石拾取
- V键兑换模式：V键进入兑换模式
- F键救援：F进入救援模式，左键救援，右键刷卡，ctrl+左组合救援
- B键初始化：气缸恢复初始位置，电机往初始状态缓慢运动，直至到达机械限位重新设置为初始位置
- R键更改图传位置：为了增加操作手的视野，按下R键会进行图传四个位置的切换，为别为上中下和看显示屏。
- QE键左右旋转：Q左旋，E右旋

注：在取矿和兑换两个模式下，鼠标左键为下一步，右键为结束或者上一步。

#### 4.4.4 算法设计

工程机器人嵌入式算法主要分为三部分组成，即夹取和底盘控制算法、机器人模式控制算法。

① 云台和底盘控制算法：云台部分采用了串级 PID 作为控制策略，利用电机的速度反馈和位置反馈建立负反馈环路，把速度环的输出作为角度环的期望角度，实现了云台角度的精准控制。

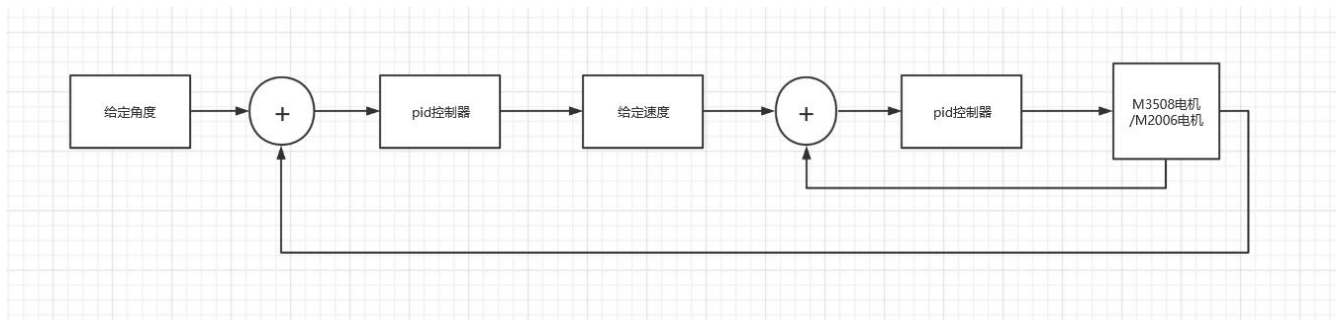


图4.1 夹取PID算法

底盘速度控制利用电机速度反馈建立了负反馈环路，实现了对底盘速度的精准控制。

② 机器人模式控制算法：机器人运动模式控制采用了有限状态机的思想，不同的主模式下分设子模式，经过组合涵盖了机器人的全部模式，在不同的模式下采用对应的控制算法以及运动解算，实现了机器人丰富的模式控制。

## 4.4.5 其它

# 4.5 研发迭代过程（10）

## 4.5.1 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	初代底盘与夹取设计，保证核心功能正常运行	2021.12.24
V1.1	更改夹取平台尺寸，更换悬挂，增加调矿机构，图传安装	2022.6.9
V1.3	最终版本，加固悬挂，装甲板，增加防弹网	2022.6.25

## 4.5.2 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
1	悬挂系统过硬，过盲道 颠簸现象严重	避震器选型不正确，悬挂结构问题	更改避震器弹簧，更改避震器安装角度	V1.1	机械工程师：赵浩宇、刘宇皓
2	夹取平台尺寸更改	规则更改	更换气缸，抽屈滑轨，更改夹爪尺寸	V1.1	机械工程师：刘疏桐、刘宇皓
3	悬挂合页断裂	结构强度不足，训练赛被撞坏	更换避震器，更换合页	V1.2	机械工程师：赵浩宇

## 4.6 团队成员贡献（2.5）

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
赵浩宇	机械设计制造及自动化, 大四, 工程组负责人	负责工程底盘结构与气路设计, 布线, 整车制造	25%
刘疏桐	车辆工程, 大四, 机械组负责人	负责工程抬升与夹取设计。整车制造	20%
顾俊豪	机器人工程, 大二, 电控组负责人	负责机器人电控和硬件程序编写, 工程操作手	20%
刘宇皓	机械设计制造及其自动化, 大二, 工程组机械成员	负责部分机构与零件设计, 整车加工制造与维修	20%
朱宇虹	机械设计制造及自动化, 大二, 工程组机械成员	参与工程车部分零件设计改进与制造	7.5%
葛怡霖	飞行器动力工程, 大二, 工程组机械成员	参与工程车部分零件设计改进与制造	7.5%

## 4.7 参考文献（2.5）



## 5. 空中机器人

### 5.1 其它学校空中机器人分析综述（2.5）

随着雷达这一兵种的出现，无人机更多的是辅助云台手获取更多信息，补充雷达死角。虽然其仍可安装 17mm 机动发射机构，但高达 300 金币的昂贵价格也使本就紧张的经济雪上加霜。因此大多数学校仅搭载图传为云台手提供额外的战场信息。

### 5.2 机器人功能定义（5）



### 5.3 机器人核心参数（2.5）

表 1.1 主要参数表

类别	参数
长度*宽度*高度	1650*1650*500
重量（含裁判系统）	12.8kg
云台俯仰角	0~60°
最大续航时间	4min30s
最大载弹量	500 发

表 1.2

## 5.4 设计方案（25）

### 5.4.1 机械结构设计

#### 5.4.1.1 桨叶保护机构

因在更换电池时桨叶保护机构与电池发生干涉，所以我团队对桨叶保护机构进行快拆设计，方便在赛场上快速更换电池，确保空中机器人的正常运行。

桨保底座通过 4 颗 m3\*30 的螺丝直接固定在 E200 电机上；桨保底托通过内嵌 m2.5 螺丝螺母组合夹住桨保支架；用内圈加强件补足桨保支架的强度，同时预留气孔，减小对空中机器人升力的影响；桨保上圈与桨保下圈均通过榫卯结构固定在桨保支架并用工业环氧树脂粘牢接缝；将桨保上圈、桨保下圈、内圈加强件、桨保支架和桨保底托构成的整体称为桨保主体，在桨保主体用工业环氧树脂粘接上下 2 层孔径 25mm、线径 2mm 的尼龙网，用来阻挡飞镖和 42mm 大弹丸；桨保主体通过一根定制 m2.5 六角扳手（一段 70mm，一段 15mm）同时穿过桨保底托与桨保底座来达到固定桨保主体的作用。同时在桨保底托上预留的六角锁紧槽可有效防止桨保主体松脱，避免在赛场上因被流弹击中导致炸机。

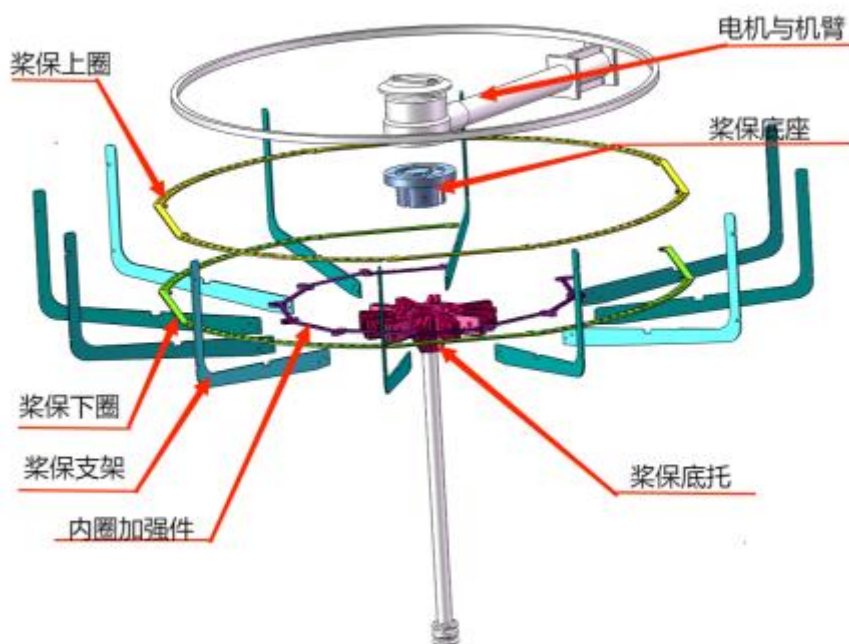


图 5.1.1 桨保爆炸图

### 5.4.1.2 发射机构

前期主要考量的指标是 3-5m 内的打击效果，速度极差以及不同射频下的击打散布。测试样本以 100 发为一组，搭建 5m 的击打距离，用复写纸记录弹丸落点，并记录每一发的射速，掉速是否严重等问题。所以我团队在测试中搭建了发射测试台。



图 5.1.2 发射散布图

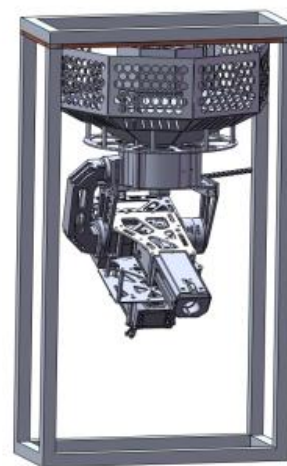


图 5.1.3 发射测试台示意图

但发射测试台也存在以下问题：测试条件过于理想，没能模拟空中机器人的空中姿态，装载在机架与测试结构的打击效果有一定的差距。

在发射测试台各项数据收集完毕后，我团队对该发射机构进行优化，解决了在测试中发现的问题。

### 5.4.1.3 拨弹机构

无人机追求在 30S 内发射 500 发弹丸，因此射频必须要高，而射频又受到卡弹和落弹效率的影响，在满足不卡弹的前提下，我们队伍采用的拨盘参考了官方 ICRA 步兵车的设计，射频稳定在 18-20 之间，存在小概率卡弹问题。采用双层拨盘，减小了空弹的概率，同时拨叉上增加的搅拌棍可以搅拌弹丸，提升供弹效率。

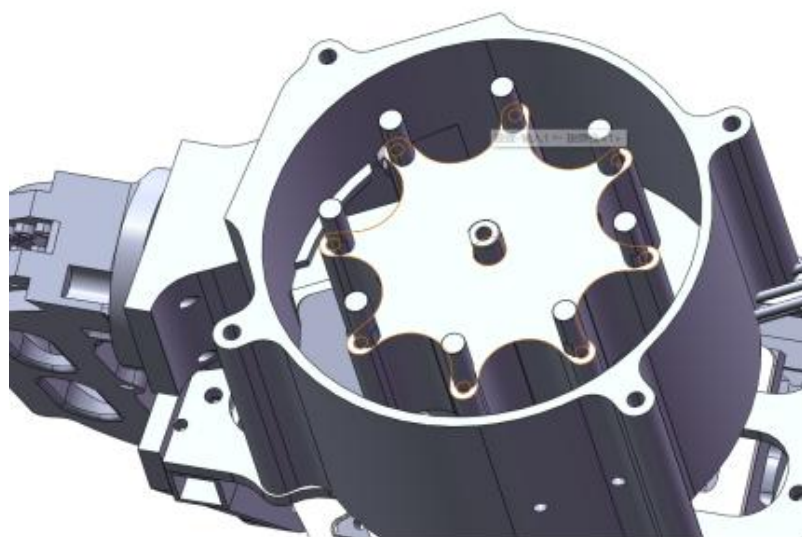


图 5.1.4 拨弹机构示意图

### 5.4.2 硬件设计

设备型号	个数	功能
DJI E2000 专业版动力系统	4	动力系统
DJI A3 配合 DJI Guidance	1	导航控制系统
4 X TB47S	1	供电
DT7&S-BUS	1	遥控器&接收机

RoboMaster GM6020	1	Yaw 轴电机
RoboMaster GM3510	1	Pitch 轴电机
Snail 2305	2	摩擦轮电机
大恒工业相机	1	采集图像
英特尔 NUC	1	图像处理设备

### 5.4.3 软件设计

### 5.4.4 算法设计

### 5.4.5 其它

## 5.5 研发迭代过程（10）

### 5.5.1 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	发射测试台，探究发射机构的最佳参数	2021.12.18
V1.1	机架测试完毕	2022.4.2
V1.2	整机完成，所有问题均已解决	2022.4.26

## 5.5.2 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
2	空中机器人出现预计弹速 29m/s，但实际弹速仅有 21m/s。	经过长时间的击打，Snail 2305 会有轻微的变化，这一变化是由于每次击打会对只有四颗螺钉固定的 Snail 2305 有较大的弯矩，导致双摩擦轮不同高。	每日训练后，重新上紧固定螺钉，或将左右摩擦轮对调。该问题不再发生。	V1.0	
3	机架单独测试时仅能飞行 30s	为了减重只用了 2 块电池，导致电压急速降至 19v 触发电量保护	当重新加回 4 块电池后，问题解决	V1.2	
4	桨叶保护机构在受到 42mm 大弹丸击打后，整体碎裂，造成缠桨	桨保支架过长，其抗弯刚度过低	重新设计桨叶保护机构，增加内圈加强件零件，提升强度	V1.2	

## 5.6 团队成员贡献（2.5）

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)

赵文浩	安全工程、大二、	负责空中机器人的机械部分研发	40%
胡德宏	机器人工程、大二、	负责空中机器人的嵌入式开发	30%
赵梓合	飞行器动力工程、大二、视觉算法组组长	负责整个机器人的算法架构开发，包括整体逻辑架构、调试优化、日志模块和对接机械、嵌入式组综合优化机器人性能等	15%
顾昊	自动化、大二、地面机器人算法负责人	负责整个机器人的算法功能开发，包括神经网络识别模块、粒子滤波器	15

## 5.7 参考文献（2.5）

- [1]. 赵清锋. 斜面上抛体运动中位置速度关系的讨论【J】. 物理教学 2021, 43 (06) : 42-44.
- [2]. 周雨青, 叶兆宁, 吴宗汉. 球类运动中空气阻力的计算和分析【J】. 物理与工程, 2002 (01) : 55-59.
- [3]. 东北大学 T-DT 战队 RM2019、RM2020 空中机器人开源  
<https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=11031&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26orderby%3Ddateline>

## 6. 飞镖系统

### 6.1 其它学校飞镖系统分析综述（2.5）

今年大部分高校的飞镖系统仍然采用的是纯机械设计，这种设计方案重点就在于飞镖自身的飞行姿态以及发射架的稳定性。但是就比赛结果来看，纯机械结构的效果并不理想，因为纯机械结构的飞镖抗干扰能力较差，所以设计一枚带飞行控制的飞镖是明年的发展方向。

### 6.2 机器人功能定义（5）

因为飞镖需要连续打击不同方位、不同距离的目标，所以需要有一个能够绕水平面与垂直面旋转的机构，以及一个能够实现角度调整的机构。即发射架主体需要被分为两个部分——可转动底盘和可调角导轨。此外由于飞镖打击的目标小，因此发射架的稳定性至关重要。综合上述因素考虑，我们预期在确保飞镖能正常连发的前提下，还需要实现下述功能。



### 6.3 机器人核心参数（2.5）

机械参数	数值
整车重量	15kg
俯仰角	28—38°
长宽高	815*440*750
yaw 轴	±30°

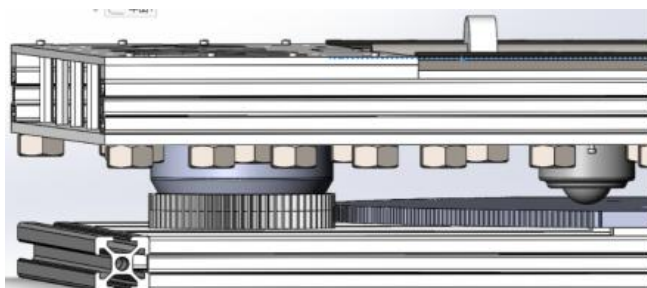


## 6.4 设计方案（25）

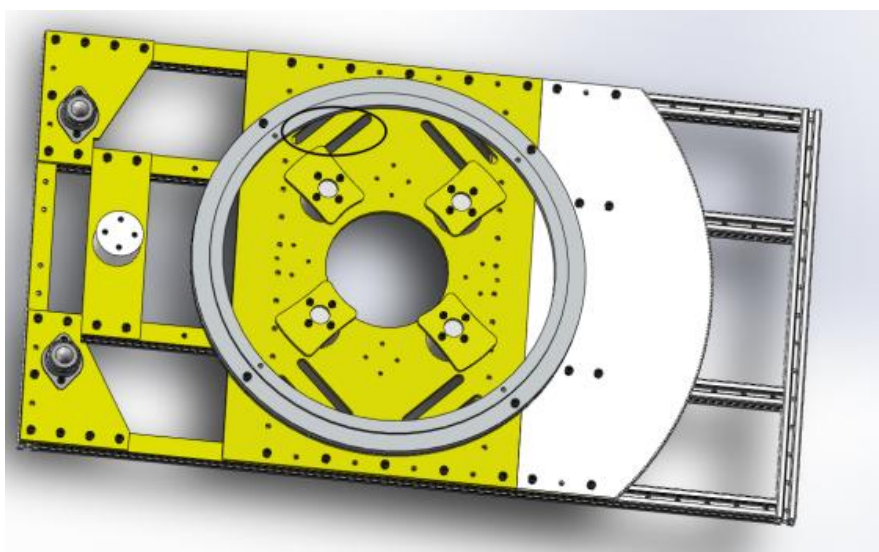
### 6.4.1 机械结构设计

#### 底盘设计

**Yaw 轴传动设计思路:**采用齿轮啮合的转动方式，可较为精准的控制发射机构绕 Yaw 轴的旋转角度。具体设计如图所示：

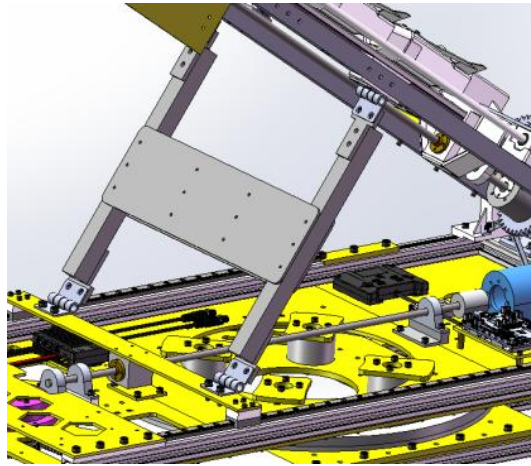


图齿轮传动



餐桌轴承放置位置展示

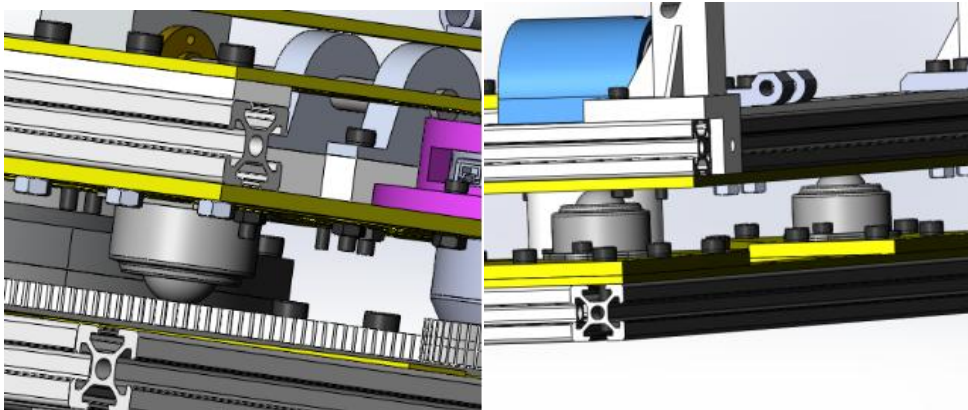
**Pitch 轴设计思路:**通过 3510 电机连接丝杆搭配滑轨实现对发射模块俯仰角的调整。具体设计如图所示：



pitch 轴动力装置

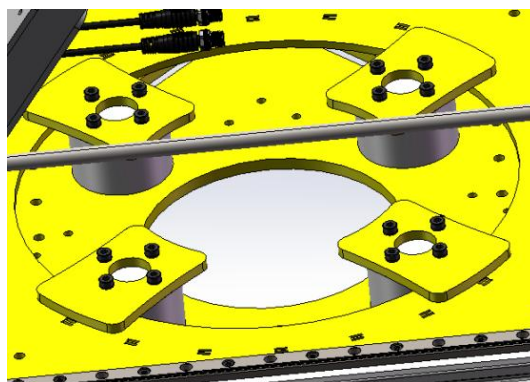
### 底盘加固

发射机构的转动是通过餐桌轴承连接底盘的上下两部分实现的。这种设计结构使得餐桌轴承的轴向会承受发射架大部分的重力。这样虽然可以使 yaw 轴转动更加平稳，但是轴承会有承受载荷过大而损坏的风险。因此我们在底盘上设计了三个牛眼轮用来分担餐桌轴承的受力，同时使 yaw 轴转动时更加丝滑而平稳。



牛眼轮

因为餐桌轴承自身材质刚性不足、寿命较低，发射架在长期使用后，转动时会有轴向的位移，导致轴承晃动而影响整体的稳定性。针对这个问题，我们设计了一个板夹装置，能较好地解决了轴承晃动问题。此外对于底盘上下两部分连接位置狭小、装配困难的问题，我们在餐桌轴承下表面连接板处加设了几处镂空以便安装。具体结构如下图所示：

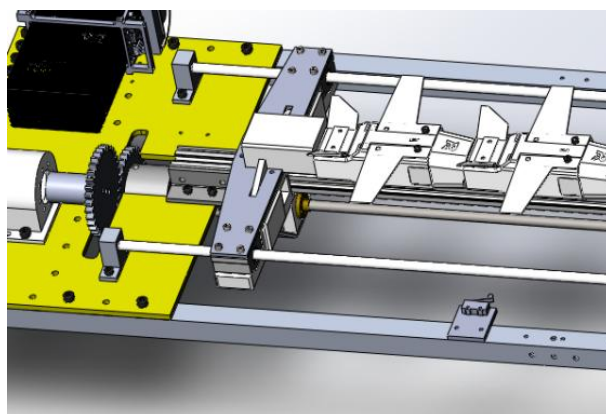


底盘加固

## 发射机构设计

### 推动装置

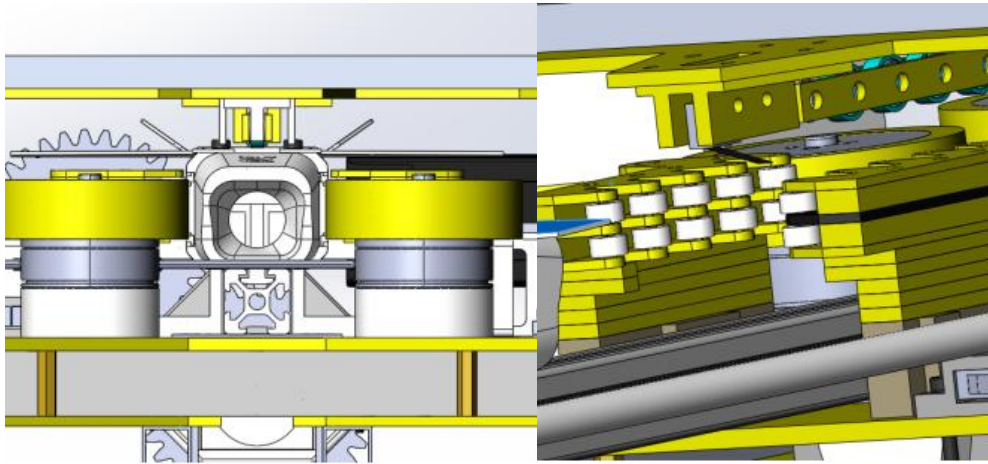
发射机构设计我们采用的是一次性填装弹体的方案，通过齿轮搭配丝杆的装置进行传动，经过摩擦轮加速，实现飞镖发射。此外，为了使推动更加稳定，我们在推动装置两端使用了直线轴承与光轴进行限位。具体结构如图所示：



推动装置

### 限位装置

飞镖需要从一个超远距离对前哨站或者基地进行打击，这对于发射架的精度要求很高。经过细致地分析后，我们设计了上下，左右限位装置。同时采用轴承与上表面和左右表面相切的方案，确保飞镖在进入摩擦轮之前的姿态尽可能一致，进而减小弹体落点的散布。具体结构如下图所示：



上下限位

左右限位

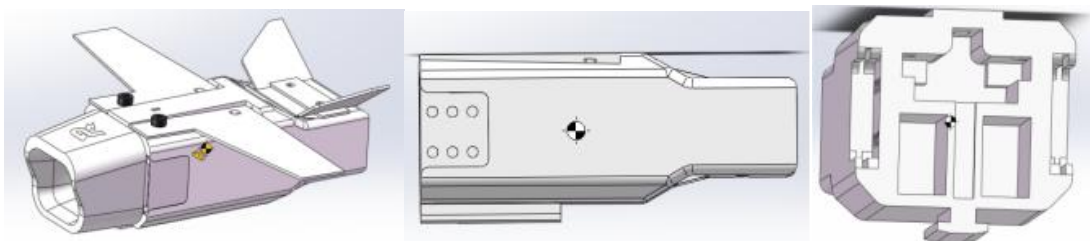
## 飞镖设计

弹体最初被设计为实心，当时我们认为只要摩擦轮速度足够的大，就能够带动弹体以抛体姿态落地，并没有对弹体的形状进行进一步的设计。在测试的时候，效果并不理想，弹体在飞行的过程中出现翻跟斗的情况，影响了后续整个的飞行轨迹。为了解决这个问题，我们多次改变飞镖的外形设计，最终确定为仿飞机外形，测试结果比较理想。

飞镖整体使用 3D 打印的 PLA 材质，翅膀采用 0.8mm 厚的碳板（1mm 厚的亚克力）加工而成。

之后我们对弹体进行了减重并优化了它的结构。经过大量测试，用环氧板当配重块填充在弹体前端，可以使其重心偏前，实现击打装甲板时，弹体姿态几乎垂直于装甲板的效果。

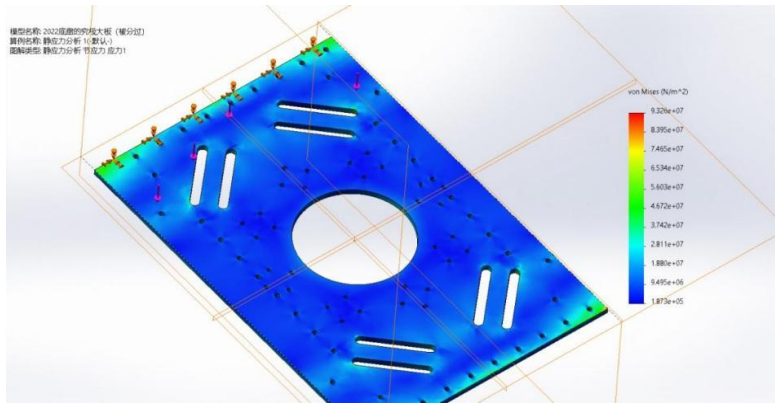
经过不断改进，弹体姿态渐渐稳定，但又出现弹体发射一次之后就报废的弊端。经过观察后我们发现尾翼和翅膀相对易碎，所以我们将其设计成了可拆卸结构。测试效果与之前无差，而弹体的使用效率得到了大大的提高，减少了测试时产生的损耗，节约了成本。



弹体整体结构

## 有限元件分析

作为发射架主要承力板，餐桌轴承连接板的强度至关重要。为防止因材料强度不足影响飞镖架的稳定性，我们在装配之前使用 SolidWorks 进行了有限元分析，在外力设置为 1000N 的情况下屈服力整体在  $1.880e+07$ — $9.945e+07\text{N/m}^2$ （受力面给的是以四个固定点为圆，内缩和外扩 5mm 的圆的范围内）满足我们的设计需求，所以合理。



受力分析图

## 6.4.2 硬件设计

为了达到飞镖机器人各项功能的预设目标，战队电控组和硬件组针对飞镖机器人的实际情况采用了全新的设计，其相关电子元件及电路设计主要参数及布局如图所示：



飞镖系统整体示意图

设备类型	数量	功能
3508 电机	6	控制摩擦轮转动，向前推动弹体，控制 pitch 轴俯仰
6020 电机	1	控制 yaw 轴旋转
微动开关	2	计算发射弹体数量，自动停止
激光瞄准器	1	手动瞄准前哨战装甲板

RoboMaster DR16 接收机	1	接收遥控器的信号，控制机器人
RoboMaster 开发板 (A 型)	1	控制各电机运行，处理数据，为激光瞄准器供电
裁判系统	1 (套)	检测机器人状态，判罚犯规机器人

### 硬件系统框图



飞镖机器人供电线路图



飞镖机器人信号传输线路图

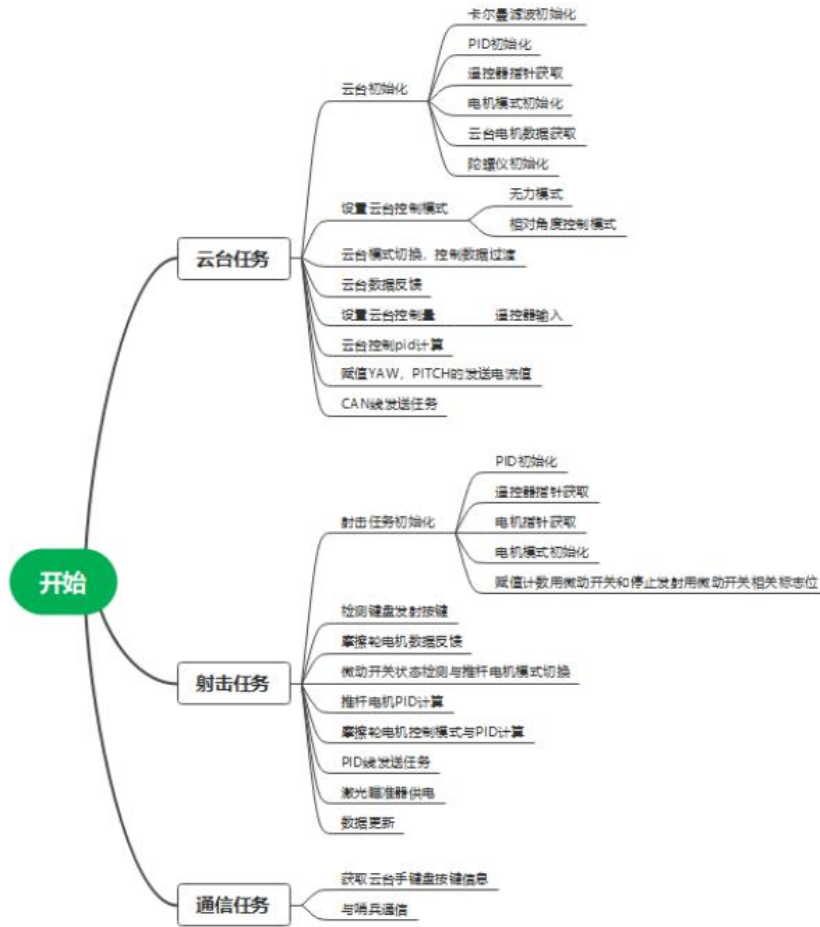
## 6.4.3 软件设计

### 控制理论

为机器人开发并且设计的控制程序是以 FreeRTOS 操作系统为基础的，以该操作系统为基础的程序在多任务控制上与以往相比有着无可比拟的优越性。采用嵌入式实时操作系统 (RTOS) 可以更合理、更有效地利用 CPU 的资源，简化应用软件的设计，缩短系统开发时间，

更好地保证系统的实时性和可靠性。FreeRTOS 是一个迷你的实时操作系统内核。作为一个轻量级的操作系统，FreeRTOS 的功能包括：任务管理、时间管理、信号量、消息队列、内存管理、记录功能、软件定时器、协程等，可基本满足较小系统的需要。为机器车以及相关的机器人配置及实现以 FreeRTOS 实时操作系统为基础的多任务控制，优化并且提高机器车的整体性能，提高其工作的效率以及优化其可操纵性。

飞镖嵌入式控制代码使用 CubeMX 生成底层，用 Keil5 软件进行编写，其中链接了 HAL 库，C 语言库，ARM 数学库等便于调用与编程的库文件。调试与仿真设备使用 J-Link 仿真器与 J-Scope 软件 进行辅助调试，仿真环境采用 Keil5 自带的 Debug 进行参数仿真。程序采用了面向对象编程的思想，将各组件封装成结构体，将对组件的操作封装成函数，实现了程序的高度解耦，方便后期代码调试维护。代码设计主要基于 FreeRTOS 的多任务分时区调度功能实现，使用 FreeRTOS 创建多个任务并对其进行合理的调度，主要的系统任务包括：系统硬件的初始化任务，软件定时器数据收发任务，状态更新任务，开始任务。而主要的控制任务包含在“开始任务”中，其中包括：云台任务，射击任务，陀螺仪任务，校准任务，延时任务，通信任务。通过对这些任务进行合理调度从而控制机器人整体。关于代码的结构介绍通过流程图的形式展现如下图所示



飞镖嵌入式代码流程图

有关代码设计的细节主要通过射击任务来体现。关于发射机构的控制，首先进行射击任务的初始化，初始化的过程主要是对各 PID 控制器参数，数据获取，模式进行赋值操作，进而进行摩擦轮转速的具体控制。通过安装在飞镖发射架上限位处的计数微动开关获取发射的弹体数量信息，从而根据发射弹体的不同设置不同的摩擦轮转速，以达到能够精准控制弹体发射瞬间的姿态，进而调整好飞镖在飞行过程中的轨迹，从而使其击中前哨站。

通信任务中，与哨兵通信也是我们的一个创新点，飞镖直接通过遥控器读取云台手键盘按键信息，并将按键信息发送给哨兵，从而使哨兵听从云台手指令，实现哨兵在轨道上的横移、下云台的前后旋转及一键初始化，使哨兵的防御范围更广。

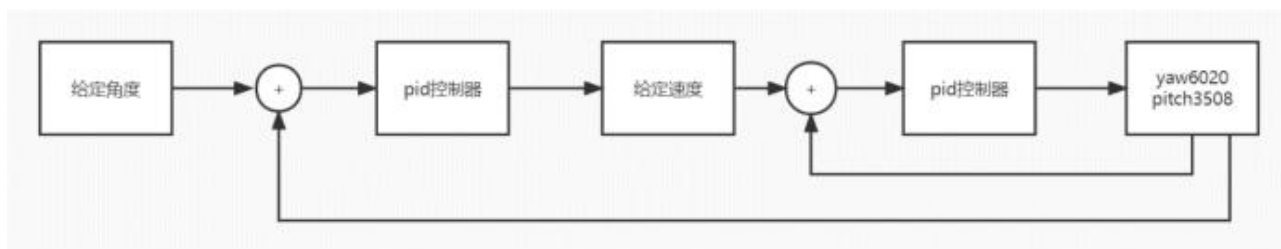
### 6.4.4 算法设计

飞镖机器人嵌入式算法主要由云台控制算法和发射机构控制算法组成。

- ① **云台控制算法**：云台部分采用了串级 PID 作为控制策略，利用电机的速度反馈和位置反馈建立负反馈环路，把速度环的输出作为角度环的期望角度，实现了云台角度的



精准控制。



5.2.1 云台控制算法流程图

- ② **发射机构控制算法**：发射机构同样采用串级 PID 作为控制策略，由于弹体之间的差异，导致同样的摩擦轮转速下，两发不同的弹体发射后的轨迹也不同，所以在读取发射弹体数量后，摩擦轮转速会根据不同的弹体设置不同的转速，使其更加精准。计数功能是通过装在飞镖发射架上限位处的微动开关来实现。

## 6.4.5 其它

### 基于裁判系统的机器人控制优化设计

裁判系统的读取上，我们采用串口加双 DMA 空闲接收的方式来获取飞镖所需要的裁判系统信息。

在机器人通信中，我们通过读取云台手键盘信息来发射飞镖及控制哨兵的底盘和下云台，使哨兵能有效防守前方及后方。

## 6.5 研发迭代过程（10）

### 6.5.1 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	实现飞镖系统基本的功能：yaw 轴与 pitch 轴的转动以及飞镖的发射	2021.11.30
V1.1	飞镖架的稳定性有所提高，飞镖的飞行姿态稳定	2022.3.20
v1.2	飞镖命中率提高	2022.5.10

### 6.5.2 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 & 实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
----	------	--------	-----------------	-----------	------

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
1	弹体个体之间的参差	因为飞镖装配时可能产生的误差,再加上打印机自身精度的缘故,这导致飞镖个体之间存在差异。	我们在弹体进入摩擦轮前增加了一个微动开关,经过多次测试,我们得到了每个飞镖对应的摩擦轮转速。在检测到有一个飞镖后,摩擦轮转速将更改为该飞镖对应的参数。通过这种方式减小个体差异引起的误差。	V1.0	机械工程师: 罗阳
2	丝杆晃动	在测试时我们发现在电机带动丝杆转动时,丝杆会产生垂直于轴向的位移,这直接影响了发射的稳定性	我们在丝杆固定端多加了一个立式轴承座,限制住了丝杆法向的位移。改进后丝杆稳定性得到显著提高		机械工程师: 刘文辉
3	弹体易碎	因为飞镖弹体设计结束后需要经过大量的测试,虽然我们已经开始对其进行	我们使用了加强筋对弹体的尾部进行了加固,经过大量实验证明。		机械工程师: 黄一铭

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
		了可拆卸设计 但是在测试过程中弹体尾部仍然易碎			
4	推杆无法正常回退	由于控制逻辑的关系,自动停止微动开关的程序优先级低于遥控器控制的程序优先级,导致了在推杆碰到微动开关后无法回退,出现了推杆结构卡死的结果	在认识到问题所在后,我们将自动停止微动开关的程序优先级提到最高。		
5	发射机构异常	因为 can 线通道异常原因,导致 can1 的 1 号 id 控制的电机转速异常,出现了尿弹的现象	在修改了 id 后,发射机构正常运行。		

## 6.6 团队成员贡献 (2.5)

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
刘文辉	车辆工程、大二、机械设计负责人	负责飞镖发射架的设计与改进	30%

姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
黄一铭	飞行器设计与制造、大二、机械设计负责人	负责飞镖的设计与改进	25%
罗阳	智能工程制造、大一、机械组成员	负责飞镖发射架的改进	20%
丁浩文	电子信息工程、大二、嵌入式成员	负责整个机器人的算法架构开发,包括整体逻辑架构、调试优化、日志模块和对接机械、嵌入式组综合优化机器人性能等	25%

## 6.7 参考文献 (2.5)

[1] RM2021+华南理工大学+普渡华南虎+飞镖机械设计开源

[2] 微型飞行器姿态的智能控制方法研究\_陈向坚

[3] 微型飞行器飞行姿态控制方法研究\_段洪君

[4] 低雷诺数下的飞机机翼结构设计及优化\_王秀香

## 7. 雷达

### 7.1 其它学校雷达机器人分析综述（2.5）

在本赛季中，经过与其他学校交流以及观察，大部分使用雷达机器人的学校，雷达机器人的主要功能是为云台手提供广阔的视野，并且定位，由云台手直接向操作手下达战术指令，预警主要由云台手完成，程序自动决策能力较弱。同时对于现交流过的学校，雷达的作用仅仅为测量深度，包括我校在内，对于雷达点云的应用过于简单。下个赛季雷达机器人主要趋势是越来越自动化，将大部分工作交由程序完成，同时对雷达点云应用加深，多元化应用点云。

### 7.2 机器人功能定义（5）

#### 7.2.1 战场定位

- 提供开阔的视野：雷达机器人位于场外雷达基座处，搭载摄像头和激光雷达，经过计算激光雷达范围可完全覆盖场内，摄像头可覆盖以自身为基点，连接敌我双方飞坡点形成扇形，即可覆盖敌方全场，以及我方大部分场地。
- 战场车辆定位：雷达识别到敌我双方车辆，并将其定位到小地图，此小地图可经裁判系统通信显示到我方操作手客户端小地图，在客户端小地图上显示雷达识别敌方车辆以及我方定位模块定位我方位置。

#### 7.2.2 战术定位

- 车辆预警：由小地图定位和摄像头识别车辆，经由预设区域，可使车辆定位或识别在该区域时，在雷达 UI 界面预警闪烁，并经裁判系统通信发送预警信息，最终在操作手客户端显示。
- 战局评估：雷达提供广阔的视野，以及敌我双方车辆定位，可由云台手总览全局，合理规划我方车辆位置及行为，抢占先机。

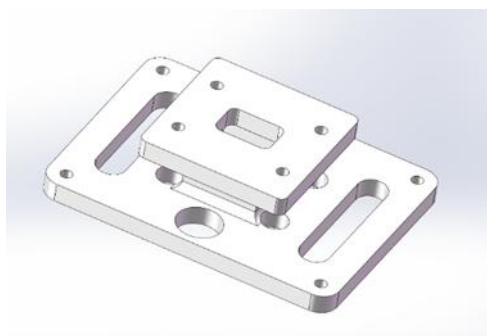
## 7.3 机器人核心参数（2.5）

设备名称	数量	参数（或型号）
激光雷达	1	Livox Mid70
工业相机	1	MVSUA630C-T
相机镜头	1	MVL-MF0824M-5MPE
电磁铁	1	200N（吸引力）
雷达支架	1	1400mm（高度）
Dell G15 5511	1	2.44kg

## 7.4 设计方案（25）

### 7.4.1 机械结构设计

雷达站整体机械结构主要分为四个部分，一是传感器端，包括激光雷达和摄像头，一为运算平台，运算平台选用笔记本电脑，型号为 Dell G15 5511，一是雷达支架，包含电磁铁，一为裁判系统，按照裁判系统固定规范，在一块木板上依次固定主控模块，电源管理模块，电池架。



上图为雷达支架与传感器连接固定件，其中激光雷达安装在该固定件中间位置，相机可安装在左侧或者右侧位置。传感器端的底层结构为层状结构，两块玻纤板之间加上铝方管以加固，减少晃动。底盘上装有两个连接件，与两台（一台备用）工业相机相连。工业相机与激光雷达朝向一致，可在底盘上以任意顺序同向安放（激光雷达在中心最佳），所有传感器均使用螺栓固定，以减少场上震动带来的影响。底盘下方与支架连接件可绕 pitch 轴转动，以方便在场上调整角度。

## 7.4.2 硬件设计

### 7.4.2.1 器材选型

程序中采用了激光雷达测距的方法，硬件设备为 Livox-Mid70，70 代表它的圆形 FOV 角度，即扫描区域的水平和垂直角度。根据粗略估计，70.4 的圆形 FOV 基本能覆盖 3/4 到 4/5 的区域，在赛场盲区仅为己方补弹区和空中机器人起始位置。激光雷达能通过获取其视野内的点云信息，也即一堆(x,y,z)三维坐标点。根据官方数据，livox-mid70 的误差范围在 2cm 左右，对于反射率 10% 的物体的量程可以达到 90m，性能指标远远超出比赛要求。

## 7.4.3 算法设计

雷达站作为一个信息型兵种，计算机视觉是雷达站的主要工作方式。为了让雷达实现其功能，需要通过程序实现对敌方车辆的识别，车辆坐标的相关解算，场上信息的获取，生成决策并最终通过裁判系统将数据发送给云台手并在其他各兵种 UI 界面显示。主要功能分为更为开阔的视野、对战场敌方（我方）车辆定位和雷达自动决策三个部分。本赛季程序参考上海交通大学 2021 赛季开源，以其为框架，对各个功能模块完善优化。由于最初程序帧率低于一帧，我们对此进行优化，采用了双层网络预测并优化了数据传递，同时在检测过程中利用图像拼接等方法，合理利用性能，提高帧率，将帧率从平均低于 1 帧提升至平均 30 帧。由于在比赛期间录制视频会导致显示视频卡顿等问题，我们重构了视频录制，并通过裁判系统读取信息，使程序智能化加深。而对于本赛季裁判系统“丢包”现象严重的问题，我们设置了系统时钟与裁判系统读取时间相互验证，保证程序对于比赛结束的准确性，减少对于裁判系统的依赖。同时依据本赛季需求，我们做了重构 UI 界面，改善位姿估计并优化预警功能，加入雷达安全线程，控制哨兵，己方位裁判系统读取和雷达定位相结合等一系列优化。我们做的一系列优化将雷达站各项功能完善，将大部分任务都交给程序控制，在维持其鲁棒性的同时增强了其自动决策能力。

### 7.4.3.1 功能介绍

雷达站主要功能分为开阔的视野、对战场敌方（我方）车辆定位和雷达自动决策三个部分。

#### 7.4.3.1.1 开阔的视野

雷达站由于其优越的高度优势，能够提供相对于其它兵种更为广阔且稳定的视野，使得云台手能够及时获知战场的整体信息，同时其视野图像也可供雷达程序做进一步的分析。该功能技术实现主要依靠雷达机械结构设计，传感器选型及安装以及雷达站前端 UI 绘制。

#### 7.4.3.1.2 战场车辆定位

对场上车辆定位，是雷达站最为核心的功能之一，它可以为全队提供敌我位置相关战术信息。在比赛过程中，该功能除了能在 UI 上为操作手提供实时的小地图信息外，更能为雷达站进行进一步的分析与决策提供了可能。其在信息处理流程中顺序靠前，因此其精度决定了后续分析和决策的可靠性。

该功能实现主要依靠神经网络给出车辆的图像预测框以及对激光雷达点云和图像预测框信息融合来得到车辆在设定坐标系上的位置，此外为了准确得到车辆的世界坐标，一套结合场上标记的相机位姿估计系统被应用。同时，为了提高程序的鲁棒性，一系列操作被用于降低误识别和数据噪声带来的影响，例如对于己方车辆，采取裁判系统位置与读取位置相结合，根据车辆上次出现位置以及时间，进行判定，得到更准确的己方位置。

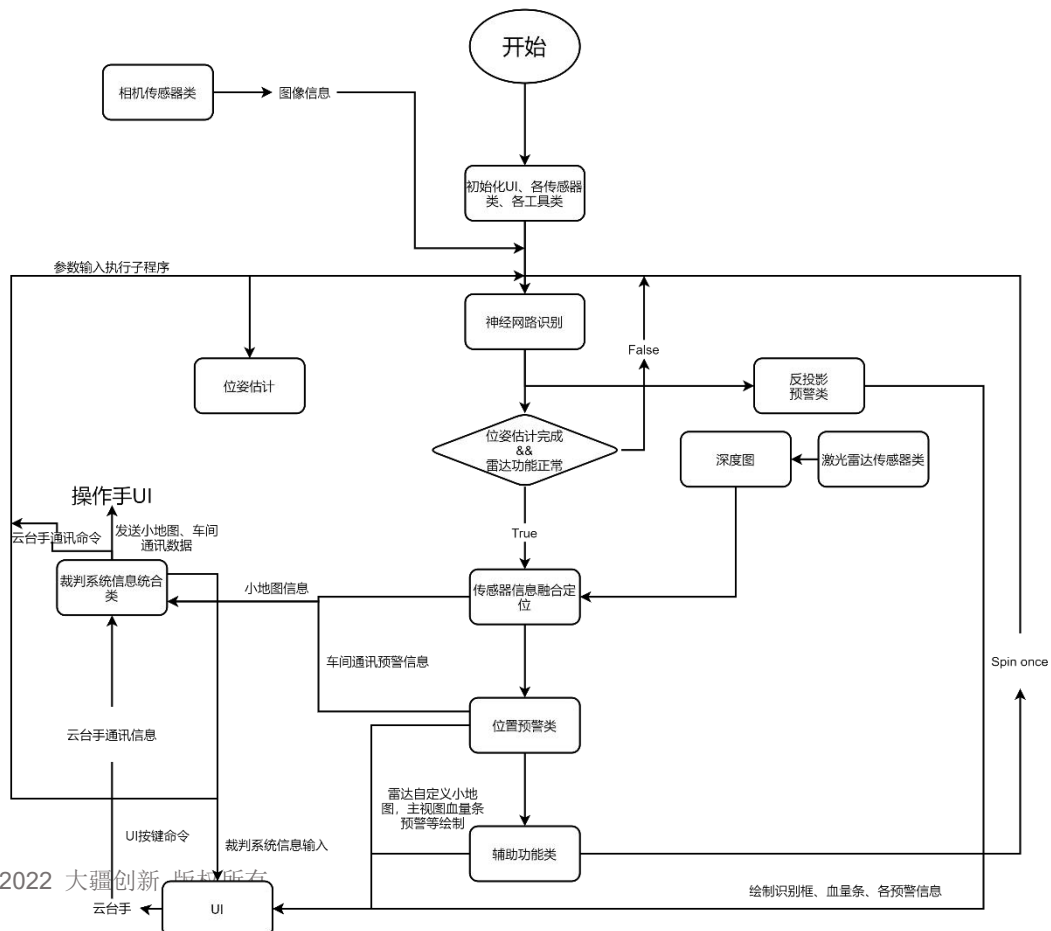
### 7.4.3.1.3 雷达自动决策

雷达对其处理的信息拥有决策能力，该功能决定了雷达站的战术定位，本赛季其决策功能主要应用于防御方面，即位置和信息预警，该功能在赛场上能提供给操作手视野盲区的信息，辅助其对战场全局信息进行判断、反应来避免被敌方袭击。

此功能主要分为三个部分，即飞镖预警、车辆预警和基于裁判系统时间的场上事件预警。飞镖预警采用了传统视觉对飞镖头发出的灯光进行识别，车辆预警使用车辆定位得到的位姿及位置信息，采取图像反投影检测和直接位置检测两种方式检测进入预警区域的地方车辆，事件预警则主要依赖从裁判系统获得的比赛剩余时间，进行 UI 绘制来警示云台手。预警信息主要通过雷达站 UI 及车间通信进行反馈。

### 7.4.3.2 主程序流程图

程序会在功能初始化后进入主循环，主循环中包括了读取相机图像、神经网络预测、雷达节点订阅、信息融合、预警处理、串口通讯和其他子程序。主循环会在内部功能执行前检查各个外部命令的置位符，若置位为真，则会在内部功能执行过程中执行相应的子程序，包括相机位姿估计，开/关视屏录制，控制飞





镖预警等。

### 7.4.3.3 多传感器融合

雷达采集的点云数据存储于数据包中，经过处理可得到物体对于的三维坐标，若仅知道三维坐标，而不知道这些坐标代表的是什么物体，这样获取到的信息是无法使用的，于是我们就需要多传感器融合，把点云数据映射到图片上。相机采集到的像素图片也是基于自身坐标系的三维坐标变换后得到的二维坐标，为了两者融合起来以获得图像中特定物体的三维信息，就需要将多个传感器的数据统一到一个坐标系下，这个就是外参标定，我们称之为 **camer-LIDAR 联合标定**。另外内参标定主要是获取传感器本身的物理信息和一些畸变参数以对位置数据进行最初的矫正，内参矩阵可以用来将图像像素坐标转换成相对于相机坐标系的三维坐标。

### 7.4.3.4 神经网络融合

通过相机传感器类得到工业相机一帧图像后，将图像送入神经网络进行预测。由于雷达站项目对帧率的要求并不高，程序采用了双网络预测的设计，主要是为了克服在雷达站整体视野下装甲板尺度较小，受背景干扰较大的问题。经试验，经过该方法处理，装甲板预测的准确度和召回率均有显著提高。

具体实现为，第一层负责识别预测图像中可能存在的所有车辆，主要使用预测出的 **car** 标签，其中输入尺寸为  $1280*1280$ 。考虑到对图像上每个车辆预测 ROI 都运行一次神经网络过于浪费算力，在第一个网络预测出 **car** 标签的 **bounding box** 后，将原始图像对应于所有 **bounding box** 的 ROI 取出，记录下每一个 ROI 宽高、坐标信息用于后续装甲板 **bounding box** 的映射，然后缩放 ( $128*128$ ) 并横向拼接所有车辆 ROI 形成单一图像，作为第二层网络的输入。第二层网络采用修改了 **Detect** 层的 **YOLOV5s** 网络，使其输出



为装甲板四点及装甲板类别，输入尺寸为  $128*128*N$ ， $N$  为拼接的车辆 ROI 数量。

通过判断置信度及装甲板 **bounding box** 中心是否在拼接图像内，筛选出当前 ROI 的装甲板类别，然后通过记录的对应原始车辆 ROI 信息将装甲板 **bounding box** 重新映射为真实大小，最后，将所有映射后的装甲板预测框合并输出。由于是各个 **id** 车辆，而在比赛中车辆 **id** 具有唯一性，则每个 **id** 的定位框也只需要唯一一个，所以，装甲板去重只需要遍历各个 **id**，然后取所有预测出的装甲板中置信度最高的一个便可。

该方案同时也可去除一些误识别的装甲板，因为通常来说，若该 **id** 的装甲板在视野中出现，其置信度必然高于误识别。为修正部分装甲板 **bounding box** 偏移带来的后续定位误差，输出的 **bounding box** 应用

了自由缩放，可以动态修改 bounding box 的大小以减小定位抖动，在近距离作用明显。因为减少了第二层网络的处理复杂度、输入数据复杂度，改进后的算法相较于原方案提升了 20 帧以上。

### 7.4.3.5 位姿估计

从流程图中，可以看到，在进行传感器融合定位前，除了需要雷达传感器正常连接传输信息，还需要完成相机位姿估计，该工作也是进行反投影预警的前置条件。在主循环中，若位姿估计未完成，则会跳过信息融合阶段，只通过反投影预警类绘制车辆 bounding box 显示在自定义 UI 上，该操作也使得位姿估计工作能在程序启动后进行，使得在位姿估计未能完成的情况下，前置功能能够正常运行。本赛季采用了大范围手动标定的方式，经过计算，重选了点位，达到了理想的效果。具体方案为，使用 PnP 四点法（SOLVEPNP\_P3P）估计位姿，其算法公式如下：

$$x^2 + 1 - xq - b(x^2 + y^2 - xyr) = 0 \Rightarrow (1 - b)x^2 - by^2 - xq + bxyr + 1 = 0$$

$$y^2 + 1 - yp - a(x^2 + y^2 - xyr) = 0 \Rightarrow (1 - a)y^2 - ax^2 - yp + axyr + 1 = 0$$

四点分别为敌方基地顶端，（敌）我方前哨站顶端，我方 R0/B0 定位标签的右上方角点，这些位置的空间坐标可通过规则手册及小地图等比例缩放计算得到。为了适应后续场地变化，以模块化方式存储点位，点位的选取可以在后续开发中继续添加或修改。



位姿估计后，可以通过观察主视图上飞镖闸门是否位于飞镖预警区域内或飞坡预警区 z 轴偏移来判断估计后的位姿是否正确。

### 7.4.3.6 反投影预警类

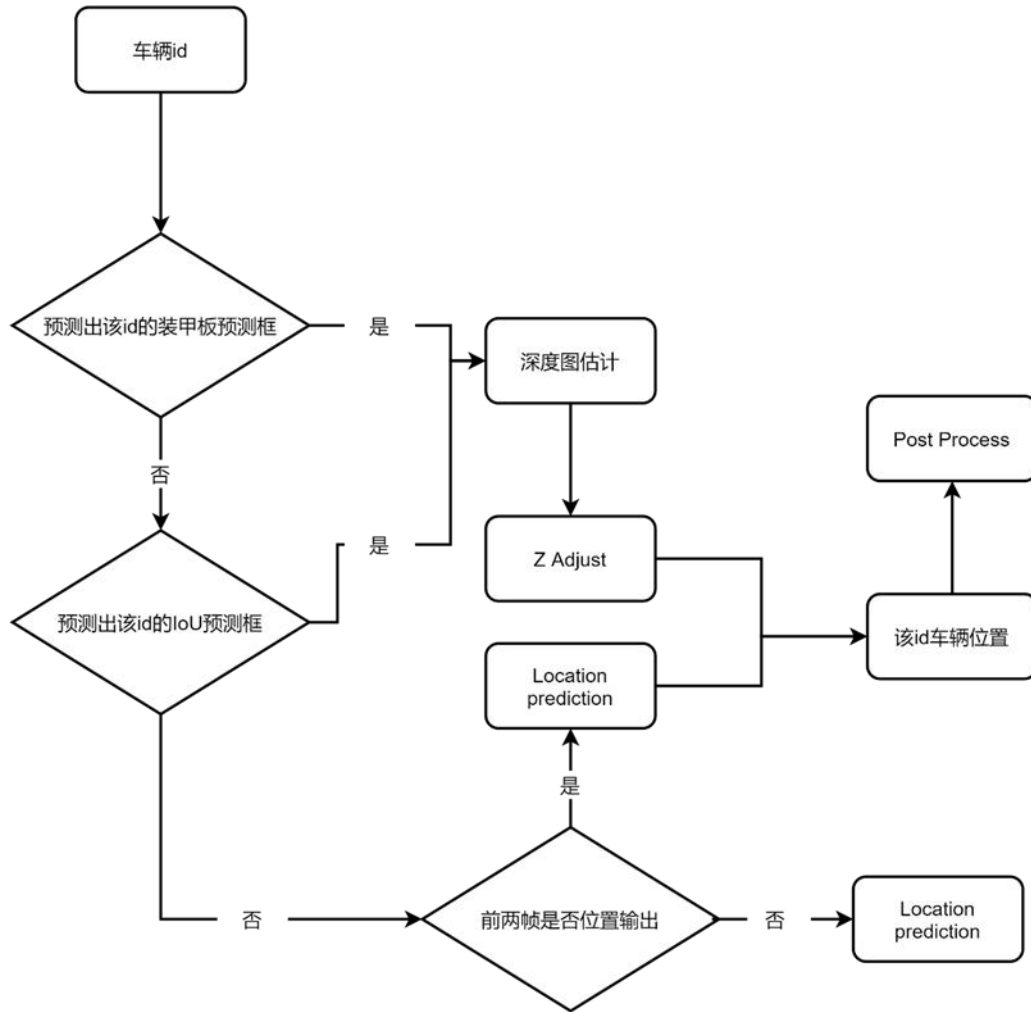
反投影预警无需用到激光雷达信息，可以在多传感器信息融合前进行，且可以通过反投影预警类对图像预测框做一些后处理。反投影预警的前置条件是相机位姿已知。在比赛前根据比赛规则手册提供的信息以及通过小地图等比例缩放计算，可以得到预警区域的空间坐标，为方便起见，规定预警区域在 BEV（鸟瞰图）图下为凸四边形且至多只有一对边高度不同，这样根据位姿，相机标定信息，可以将预警区域四点投影到图片中，其也为一凸四边形。只需判断敌方各个车辆 id 对应的装甲板框任意一点落于对应凸四边

形内便认为该目标出现于预警区域中，触发自定义 UI 中对应区域闪烁。点落于凸四边形判断可采用以下办法，即顺时针遍历凸四边形四点，对于每一个点，计算以该点和预判断点为端点向量和以该点和沿顺时针该点下一点为端点的向量的外积，若这些外积同号，则可说明点在凸四边形内。

### 7.4.3.7 传感器信息融合定位及位置预警类

当完成位姿估计和雷达正常工作时，便进入信息融合定位阶段，这一部分全部整合在位置预警类中，其包含三个阶段，取雷达深度图计算各个装甲板世界坐标位置，对位置做后处理（包含  $z$  轴突变平滑，以及简单位置预测器预测），然后对各个敌方车辆位置做位置预警。

首先是第一阶段，取雷达深度图计算各个装甲板世界坐标位置。该步骤基于上述投影得到的雷达深度图，其为相机坐标系  $z$  坐标矩阵，它的各个像素点和图像各个像素点一一对应（忽略联合标定误差），故而可直接对装甲板定位框对应深度图 ROI 取均值作为该框中心点对应相机坐标系中点的  $z$  坐标值，再转换至世界坐标系，便得到对应 id 车辆在世界坐标系中位置，取其作为小地图（BEV）中坐标值。为减弱装甲板运动带来的坐标抖动，程序中对装甲板定位框做了等比缩放操作，同时略微修正定位靠后的问题。



### 7.4.3.8 帧间预测

多传感器合并逻辑中的 Location Prediction 是一个帧间预测器，存储两帧车辆位置，当当前车辆 id 没有任何定位框估计时，若其前两帧都预测出了位置，则该帧位置由前一帧位置加上乘上一个缩放系数的前两帧位置的偏移向量。并对预测进行计数，当一个目标预测次数超过阈值则停止预测。此帧间预测器主要用于处理装甲板突然被遮挡的情况。

### 7.4.3.9 位置预警

合并逻辑中的 Post Process 是位置预测后的在算法上后处理，即位置预警。这是一个比较简单的功能，在地图上划定一系列凸四边形预警区域，用与上述相同的凸四边形内点检测方式便可获知敌方车辆是否出现在预警区域内。

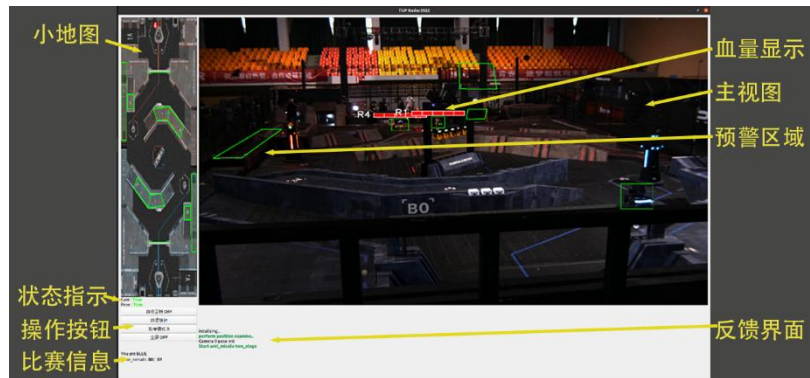
### 7.4.3.10 视频录制

为了在赛后获悉雷达站视角记录的赛场信息，设计实现了实时视频录制功能。为了尽可能降低视频录制对程序主要功能的性能影响，将此功能单独放置于一异步线程中。考虑到队列的先入先出特性，线程间数据依靠队列传输。实测无帧损失的录制对帧率影响在三帧以内，属于可以忽略的范畴。为控制输出视频

大小，此功能交由自动控制，依比赛的开始和结束开启或关闭录制。

### 7.4.3.11 UI 界面

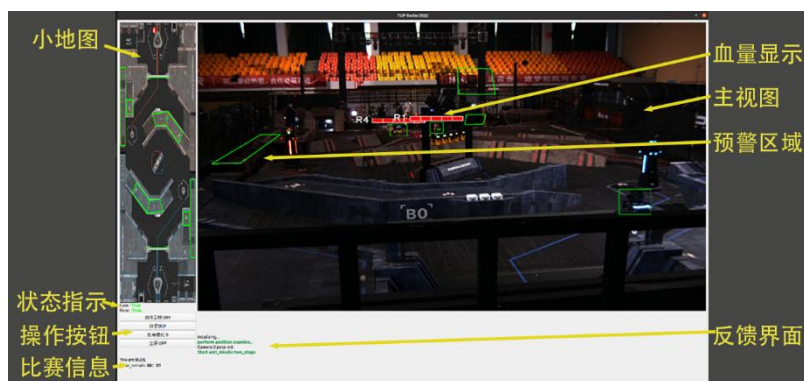
自定义 UI 基于 PyQt5 设计，可适应自由缩放。本赛季考虑到裁判系统信息不必全部显示，将血条与车辆编号绘制在了主视图上，并调整优化了视图布局。



### 7.4.3.12 裁判系统通信

通过 USB 转 TTL 进行和裁判系统的串口通信，来读取裁判系统信息和发送信息到裁判系统。考虑到裁判系统通讯异常的情况，为保证程序的容错性和可靠性，程序内设计了一系列脱离裁判系统的处理措施，包括比赛自动中断、录制自动开启与关闭、系统时钟辅助计时等。同样考虑到裁判系统的丢包现象造成的云台手通信异常的可能性，在云台手无法控制的情况下，程序将大部分功能交由自动控制，并在 UI 界面上预留按键提供给场地人员操作。

## 7.4.4 UI 交互开发



自定义 UI 基于 PyQt5 设计，可适应自由缩放。

在本赛季雷达站 UI 界面，包含四个按钮：自动录制，位姿估计，反导模式，全屏。可由云台手按钮控制程序部分功能。另外设置按键映射，可由按键控制程序的阶段结束，防止读取数据丢失导致的程序状态切换问题的出现。

## 7.5 研发迭代过程（10）

### 7.5.1 版本迭代过程记录

版本号或阶段	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	雷达站基本构架完成	2021.12.1
V1.1	优化神经网络推理，改为双层网络，推理速度由基础的 1 帧到达平均 30 帧	2021.12.23
V1.2	优化 UI 界面，适应本赛季；优化神经网络推理细节，提升至平均 35 帧；优化位姿估计，提高精度；补充程序框架内容	2022.3.8
V1.3	整体机器人算法的优化和核心功能模块的二次封装，包括位姿估计、小地图绘制、车间通讯等；经由测试，优化代码，完善	2022.6.10
V1.4	异步录制视频；雷达安全线程；UI 界面优化；裁判系统通信，车间通信的测试与传递信息的修改；哨兵的控制，以及云台手键位的测试和修改；雷达站策略的优化；相机曝光，断连等问题的解决	2022.6.23
V1.5	雷达站程序一键全启动；点云录制优化	2022.6.25

### 7.5.2 重点问题解决记录

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
1	神经网络推理速度过慢，帧率仅不到一帧	神经网络整图输入，过多的无用信息；同时一帧帧输入，GPU 性能过剩	神经网络改为双层网络，第一层为车辆的识别，第二层输入车辆 ROI，同时进行拼接，识别装甲板	V1.0	算法工程师：赵梓合
2	在比赛过程中开启录制视频使得视频显示卡顿	录制视频造成系统内存占用，	设置异步线程	V1.4	算法工程师：于子均 算法工程师：邸皓

序号	问题描述	问题产生原因	问题解决方案 &实际解决效果	机器人版本号或阶段	解决人员
		资源紧张;画面掉帧带来视觉上的卡顿			
3	采用新版裁判系统服务器不能与飞镖进行通信	接收信息未按十六进制信息接受	将接受到的信息按照十六进制进行处理	V1.4	算法工程师: 赵梓合

## 7.6 团队成员贡献 (2.5)

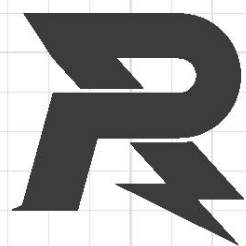
姓名	基本信息 (专业、年级、队内角色)	主要负责工作内容描述	贡献度 (所有成员贡献度合计为 100%)
赵梓合	飞行器动力工程、大二、视觉算法组组长	负责整个机器人的算法开发, 包括感知算法、推理部署、战术策略、UI 界面开发等	45%
邱皓	机器人工程、大二、雷达机器人第二负责人	负责整体机器人算法的优化和核心功能模块的二次封装, 包括位姿估计、小地图绘制、车间通讯等	30%
于子钧	智能制造、大一、视觉组组长	负责感知网络的优化和核心功能模块的二次封装, 包括数据集标注、网络推理部分的封装优化等	20%
王雅正	机械	负责设计机器人的机械结构, 包括传感器支架、传感器固定平台等	5%

## 7.7 参考文献 (2.5)

[1] 上海交通大学交龙战队 2021 赛季雷达站程序开源 [Z] COMoER/LCR\_sjtu: 上海交通大学云汉交龙战队 21 赛季雷达站程序开源 (github.com)

- [2] Pixel-level Extrinsic Self Calibration of High Resolution LiDAR and Camera in Targetless Environments [Z] [2103.01627] Pixel-level Extrinsic Self Calibration of High Resolution LiDAR and Camera in Targetless Environments (arxiv.org)
- [3] Comparison and Evaluation of Advanced Motion Models for Vehicle Tracking [Z] Comparison and Evaluation of Advanced Motion Models for Vehicle Tracking (psu.edu)
- [4] Vehicle Tracking Based on Nonlinear Motion Model [Z] Vehicle Tracking Based on Nonlinear Motion Model | SpringerLink
- [5] Attention Is All You Need [Z] [1706.03762] Attention Is All You Need (arxiv.org)
- [6] Camera-LiDAR-Calibration Manual [Z] dvlab-research/MSAD: Multi-Scale Aligned Distillation for Low-Resolution Detection (CVPR2021) (github.com)
- [7] LeViT: A Vision Transformer in ConvNet's Clothing for Faster Inference [Z] ICCV 2021 Open Access Repository (thecvf.com)
- [8] ROS.org [Z] Documentation - ROS Wiki





邮箱: [robomaster@dji.com](mailto:robomaster@dji.com)

论坛: <http://bbs.robomaster.com>

官网: <http://www.robomaster.com>

电话: 0755-36383255 (周一至周五10:30-19:30)

地址: 广东省深圳市南山区西丽镇茶光路1089号集成电路设计应用产业园2楼202