

V1.0

Using a 55-56 motor driver cable and Field-Effect Transistor (FET), the RoboMaster C630 provides DC Motor Speed Control for ambient practice control over motor torque.



Especially designed for the RoboMaster M630E P180 Brushless DC Motor and C630 Brushless DC Motor Speed Controller, the M630E Accessories Kit includes universal cables and a terminal block.

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

The M630E Accessories Kit includes universal cables and a terminal block, creating a complete on-board control system for your RoboMaster robot.

第二十一届全国大学生机器人大赛 ROBOMASTER 2022 高校单项赛

赛季规划

RoboMaster 组委会 编制
2021年 11月 发布

目录

1. 规则技术点分析.....	4
2. 技术方案分析.....	4
2.1 机械结构方案设计.....	4
2.2 硬件方案设计.....	5
2.2.1 硬件整体框图.....	6
2.2.2 单板硬件说明.....	6
2.2.3 重要传感器选型说明.....	7
2.3 软件方案设计.....	7
2.3.1 软件程序架构.....	8
2.3.2 软件算法方案设计.....	8
2.4 视觉方案设计.....	10
2.4.1 视觉程序架构.....	10
2.4.2 装甲板识别.....	11
2.4.3 坐标矫正.....	11
2.4.4 预测方案.....	12
2.5 测试方案设计.....	13
3. 项目进度计划.....	13
4. 赛季人力安排.....	14
4.1 团队架构设计.....	14
4.2 团队建设思路.....	14
5. 预算分析.....	15
5.1 预算估计.....	15
5.2 资金筹措计划.....	15

1. 规则技术点分析

通过研读本赛季规则，对于平衡步兵，在新赛季，调整了平衡步兵的装甲，从 4 小装甲改为 2 块大装甲，降低了平衡步兵的机械设计难度，再结合前一赛季对平衡步兵机器人有额外的枪口热量加成，使得平衡步兵的性价比相比上赛季有所提高，所以研制平衡步兵也成为了本赛季的一大目标和挑战。

对于 RoboMaster 这样复杂的赛场环境，需要平衡步兵有很强的抗干扰能力，并且需要可以小陀螺，再加上需要精准射击的云台，对电控控制提出了较高的要求。

2. 技术方案分析

2.1 机械结构方案设计

关于机械部分我们认为整个机器人(轮轴以上的部分)可以看成是一个倒立摆的模型，对其进行受力分析发现，当其重心偏高的时，机器人倾斜相同的角度车轮需要运动的距离就越长，对于车轮来说越长的运动距离意味着越长的控制时间，这就会影响到控制的时效性。所以我们在设计机械结构的时候尽可能地使机器人的重心偏下，同时，另一方面，机器人如果想要运动，就需要给其一个倾角，用角度来换取速度，也就是说倾角的大小是和电机输出功率挂钩的，为了能够使机器人获得更大的功率输出和更多的活动空间，我们的结构尽可能的向瘦 V 字靠近，这样还有一个好处就是在上坡下坡时直立车可以有更大的调整角度，使其上下坡更加顺利，而且在对战过程中受到冲击时会有更多的缓冲空间。

对于平衡步兵来说，意味着我们需要一个非常强劲的动力来使它保持平衡，所以在电机选择上也非常重要。我们选择了塔脉科技大扭矩电机，可以提供 18N.M 的扭矩，从而可以给平衡步兵提供充足且易控制的动力，同时也能提高机器人的运动速度，缩短其响应时间。

我们平衡步兵的设计方案主要有三种，第一种是采取像苏黎世理工大学的 Ascento 双轮跳跃机器人那样的三连杆轮腿结构，第二种是像腾讯 Ollie 机器人那样的四连杆轮腿结构，这两种结构都能使机器人更加的灵活，提高了机器人对复杂战场的适应能力；第三种是普通的轮式结构，虽然其相较前两种方案来说显得比较落后，但是其简单的结构更能保证其的稳定性，且易于制作和维护。鉴于我们目前的人力资源有限且备赛时间紧迫，我们最终讨论决定先采用第三种普通轮式结构的方案。采用该方案我们只需要重新设计底盘结构，调整内部空间分配即可。

对于这种平衡步兵的底盘设计，我们可以参考市面上的平衡车的结构设计。整个底盘我

们都是采用的铝管焊接而成，这样有利于提高这个框架结构的强度同时减轻整车的重量；底盘框架和轮组之间的悬架结构我们是采用了弹性元件（避震弹簧）、导向机构（也是弹簧方向保持柱）、避震器、加缓冲块的方案。电机和车轮固定在悬架上，车架通过导向机构和弹簧与悬架相连接，且通过避震器配合缓冲弹簧来减轻机器人运动过程中车架的震动幅度，能够稳定机器人的视野，保证其射击精度，并且减少对上层机构的冲击。缓冲块主要的作用是在震幅超过悬架的缓震幅度时对其进行限位并合理缓冲余下的冲击。这样的结构中，整个车架对悬架的压力对于悬架来说是一个激振载荷，因此整个悬架的自振频率必须与这个激振频率隔离开来，防止机器人自身发生自激振荡。

2.2 硬件方案设计

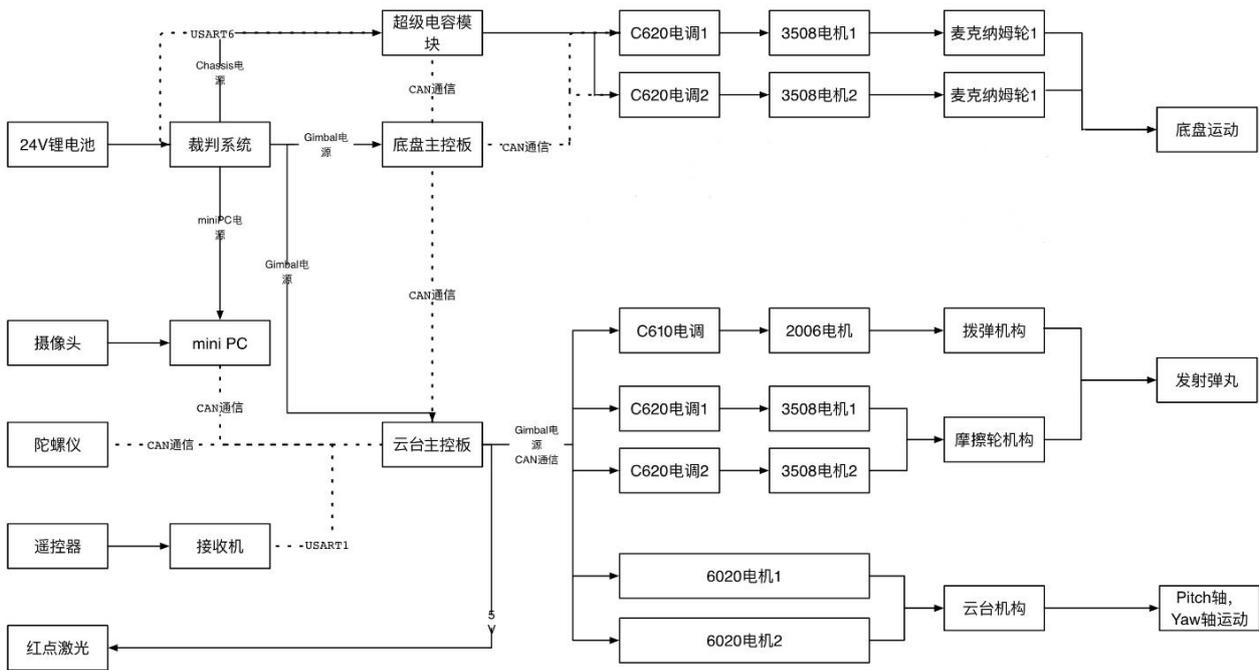
硬件主要分为自研 IMU，底盘，云台三部分。

自研 IMU：针对 RoboMaster 赛场的特点，我们为机器人重新设计了性能更高、抗冲击性更好、零漂更小的九轴陀螺仪模块，以 STM32F446RET6 为主控制器，配合 ICM-42688-P 高性能六轴 IMU 芯片和 RM3100 三轴电子罗盘地磁传感器模块，实现对整车姿态信息的采集和处理，并通过 CAN 总线将解算后的信息发送到主单片机，完成对整车的控制和决策。整个模块的成本在 60 元左右，每台机器人在九轴陀螺仪模块的投入上减少了近 300 元。

底盘/云台：核心控制电路板为实验室自研，分为核心板+底板，核心板使用 stm32f427VIT6 作为主控芯片，主频 180M 满足运算需求，核心板集成了多种保护，防反接保护，设计有缓启动电路，支持热插拔，有过流保护具有 1A 电流上限的快速关断功能，同时所有用户接口均有防静电设计。底板主要引出核心板接口为核心板供电，因为各个机器人所需求的功能不一样，我们通过修改底板来适配不同的功能以达到最优的使用体验。

同时，底板集成了 jlink 功能，调试可以直接使用 typec 接口非常方便。同时也有对应的保护如防反接，过流，过压保护等。

2.2.1 硬件整体框图



2.2.2 单板硬件说明

单板	设计需求	风险评估
底盘控制板	通过 CAN 线进行与超级电容板以及云台控制的通信，通过串口线实现裁判系统的通信，通过与电调的通信以及 IMU 的数据，实现平衡车的运动控制。	串口线有可能会出现问题，因此电控要做好掉线检测及处理
云台控制板	通过串口实现遥控器控制，通过 CAN 与 IMU 和底盘进行通信，并对 pitch 轴和 yaw 轴的云台进行控制，控制两个摩擦轮和一个拨弹叉，以实现拨弹射击，控制射速的功能，与妙算通信，实现视觉的自瞄等等功能的部署。	
自研 IMU	运算性能更高、抗冲击性更好、零漂更小，成本更低。	

单板	设计需求	风险评估
超级电容组	存储接近理论值能量、安全可靠	电容过压容易爆炸应做好保护电路
超级电容管理模块	能根据实际情况正确的切换不同的模式、能够充分利用电容的能量	

2.2.3 重要传感器选型说明

超级电容需要采集各个主要回路上的电流，采用 2 毫欧采样电阻将电流转化为电压信号，经过放大后输入单片机的 ADC 进行采集。由于超级电容控制板上存在 MOS 管驱动电路，电流和电流波动较大，防止信号干扰尤为重要。综合考虑，我们最终选择了电流放大器 INA240，INA240 具有增强 PWM 抑制功能，能有效抑制驱动 MOS 管时产生的 PWM 信号，并且其有四种放大倍数可以选择，使设计更加灵活。另外，这款芯片货源充足，价格合理，非常适合该应用场合。

IMU 能够返回云台的位置数据，协助完成云台的位置控制和自瞄等功能，一个稳定、噪声少的 IMU 能提高控制的精度，保证机器人射击的准确性。我们选用了 ICM20602 六轴运动传感器，并在板上集成 STM32F446RET6 高性能控制器，将 IMU 数据解算处理，并通过 CAN 通信将数据传回控制器，大幅度的减少了主控制器的运算需求，提高了主控制器控制的实时性和软件复杂性。同时，将 IMU 分开安装也有利于机械安装。

2.3 软件方案设计

在硬件条件搭建完成以后，首先需要进行云台和底盘的基于 STM32 单片机分别的电控调试，然后再进行基于 linux 的计算机视觉（包括自瞄，运动预测等等算法）的调试。

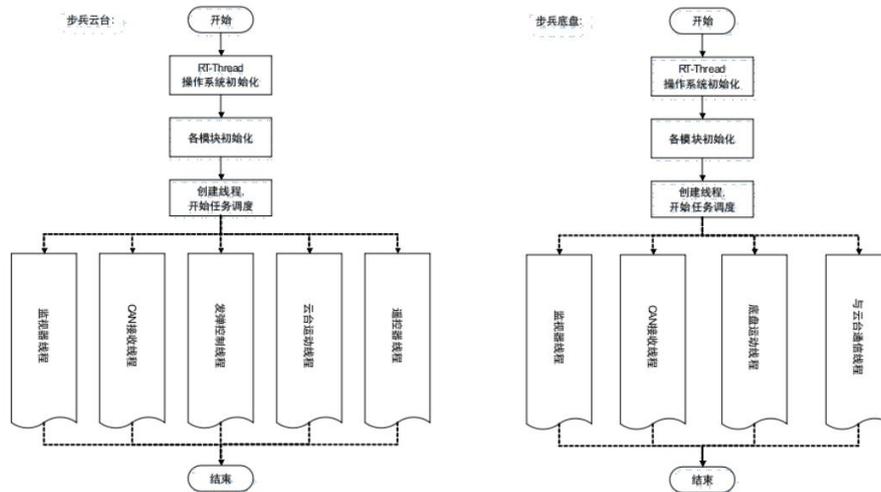
云台部分的电控调试主要包括，云台姿态的控制以及控制器优化，摩擦轮的控制以及拨弹叉的对位等控制，与 IMU，底盘以及妙算端自瞄等算法的通信，并且预留好与上位机/遥控器的通信接口，这些大部分与普通步兵的控制区别不大。

底盘部分的电控调试主要包括，机器人的两轮平衡控制（借助 IMU 完成姿态检测），与云台，超级电容，裁判系统部分的通信部分。

关于 IMU 的姿态解算，之前的赛季采用过 madgwick 算法（梯度下降法），采用优化的 PID 对 IMU 热岛进行温度控制，经过零飘校准后陀螺仪解算出的角度较为理想。

其中云台部分的前期调试相对容易，底盘部分需要考虑到机器人的机械设计并进行建模分析，从而实现平衡步兵底盘功能的实现。

2.3.1 软件程序架构



2.3.2 软件算法方案设计

该组别主要有两个方面的性能对比赛的结果有着较大的影响：射击精准度和底盘运动的稳定性。因此主要从以下几个方面进行算法的方案设计：

2.3.2.1 底盘运动控制

底盘的相关控制主要考虑采用串级 PID 的控制方案。通过底盘 IMU 获取当前机器人底盘的运动状态，首先是通过一组 PID 将底盘的角速度变化设为 0，然后通过角度环控制角速度将底盘的角度控制为机器人的机械零点就能实现平衡的控制，再在角度环外面套一层速度 PID，实现对速度的控制，即采用“速度环+角度环+角速度环”输出电机信号使得机器人能够在保持平衡的状态下进行前后运动。

将运动解算结果作为平衡控制中速度环的输入量，将用于转向的 PID 输出与该串级 PID 的输出叠加，即可得到机器人最终的运动控制结果。

2.3.2.2 IMU 姿态解算

姿态解算采用 Madgwick 算法（梯度下降法），采用优化的 PID 对 IMU 热岛进行温度控制，经过零飘校准后陀螺仪解算出的角度较为理想。

2.3.2.3 云台姿态控制

云台姿态使用串级 PID 进行控制，反馈数据取陀螺仪数据，将角度设定值的变化速度叠加到角度环的输出上，提高动态响应速度。

使用鼠标控制云台姿态时，鼠标的数据会先进行梯形滤波再设定给云台，保证设定值的平滑性，提高前馈效果。

Pitch 轴：添加重心补偿，按照陀螺仪角度确定当前 Pitch 轴重力带来的扭矩，并进行补偿，注意，PID 输出应先进行重心补偿计算，再进行连杆补偿计算。同理，调试时应先调好连杆补偿，再调试重心补偿。

参数调节：明确各参数的含义，用系统特性分析指导参数调节，例如，阻力很小的系统不应添加积分项；电机电流环响应速度很快，则角速度环不应添加微分项。

2.3.2.4 摩擦轮控制优化

摩擦轮驱动电机为 3508 小转子，采用优化的 PID 控制。摩擦轮稳态工作时，采用 PID 控制，PID 需要仔细调参。

摩擦轮发射弹丸的瞬间将原 PID 的 I 暂停计算，等效于有输出偏置的 PD 控制，这样能够保证转速的一致性，且有利于发射弹丸后转速的快速稳定，连发时积分项不会越来越大导致稳态转速偏高。

2.3.2.5 自瞄电控端

设定值平滑

程序中使用平滑模块对视觉发来的姿态进行平滑处理，来避免设定值偶尔出现阶跃的情况，有效消除了自瞄时云台嗡嗡的响声，提高了自瞄稳定性，减少甩头。

云台设定值变化速度限幅

程序中对平滑过后的云台设定值进行了变化速度限幅，如果平滑后云台设定值的变化速度仍然很大，则程序只允许按照预先设定的最大转速旋转，避免出现设定值变化过快的情况，这种情况可能导致云台转动过快超调，也可能导致云台前馈效果减弱，跟随性能降低。

云台设定值规划

当前程序中尝试将平滑后的设定值与当前设定值作差作为一个闭环控制的 Error，使用纯 P 控制，这样做可以使得云台到达设定值时有一个自然减速的过程，换句话说，就是云台设定值变化时会自动规划一段减速过程，避免出现角度设定值的变化速度发生突变的情况，如

果角度设定值变化速度发生了突变，则势必会造成超调，因为云台角速度是不可能突变的。加入这一层优化后，自瞄过程会明显更加优雅和稳定。

2.3.2.6 云台前馈

云台粗略前馈的原理，是将云台设定值的变化速度取一大部分直接叠加到云台角速度环的设定值上。（取一大部分而不是全部是因为如果取全部而角速度环存在超调等，容易造成闭环控制抖动）

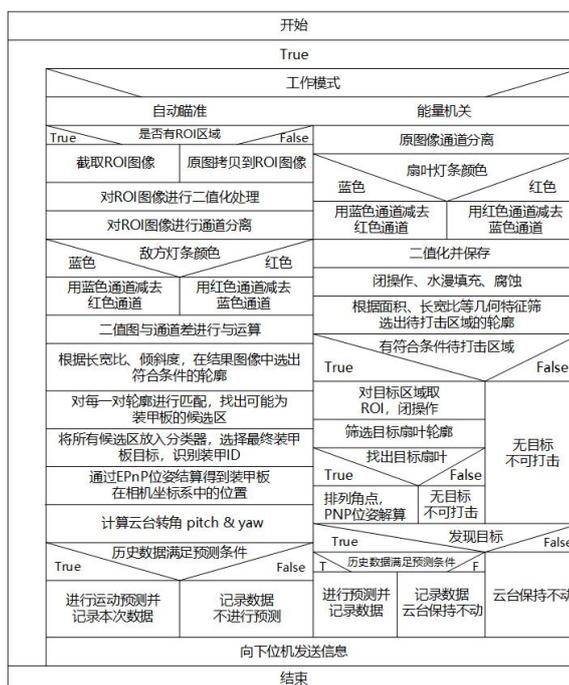
云台加入前馈后，对阶跃响应的提高效果很微弱，主要的优势是跟随特性。普通的角度环输出角速度的时候是需要有比较死的限幅的，不然大角度阶跃的时候容易严重超调。这就使得普通角度环控制时转头速度偏慢。如果添加了前馈，则在云台设定值做过平滑处理的前提下，大幅度转头可以做到非常快速且超调量很小。配合前文描述的自瞄云台设定值平滑，可以在自瞄时做到迅速稳定跟随目标的效果。

2.3.2.7 抗干扰算法研究

对于 RoboMaster 这样复杂的赛场环境，需要平衡步兵有很强的抗干扰能力。我们准备研究一些高级的控制算法，以提高在冲击等干扰下的机器人稳定性。以及探索一些自适应算法，以达到重心自适应等。

2.4 视觉方案设计

2.4.1 视觉程序架构



2.4.2 装甲板识别

我们上一赛季通过传统算法实现识别，即使在国赛出现场地干扰元素的情况下依然能够稳定识别。本赛季我们改进的方向有：

1. 通过定量测量相机在不同曝光下成像的效果标定阈值，实现参数调节的自动化。
2. 改变图像预处理方案，实现不依赖于颜色的判断，增加传统算法的鲁棒性。
3. 通过实现对能量机关圆心的识别，实现车辆的自动对位和在装甲板超出相机视野后的自动对心。
4. 尝试神经网络的五点模型，使用纯网络方法自动确定待激活装甲板的位置，进一步提高识别的鲁棒性和对角点提取的准确性。

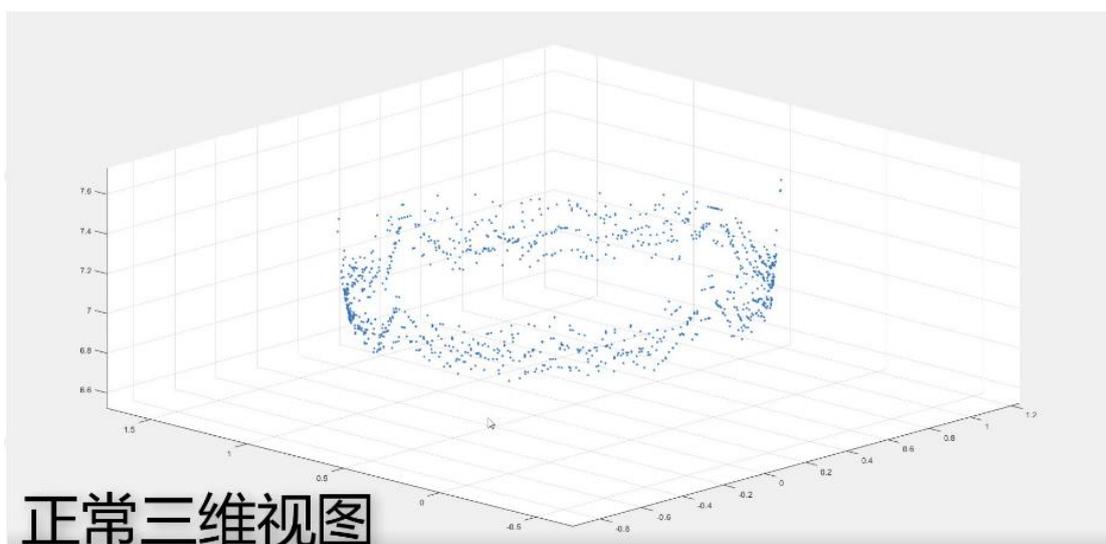
2.4.3 坐标矫正

能量机关预测的难点之一在于远距离获得装甲板的坐标噪声大。

通过收集固定摄像头识别到的能量机关三维坐标，并通过 Matlab 进行绘图观察，可以发现，相机 PNP 解算出的 Z 轴误差是其它轴误差的主要来源。我们不应该把误差分解到每个坐标轴上分析和检测。

摄像头上的每个像素点应该对应着相机坐标系下的一条直线，则相机能测量的最准的应该是角度信息。测不准的是距离信息，所以误差主要反映在直线距离上，而不是简单的 Z 轴误差。

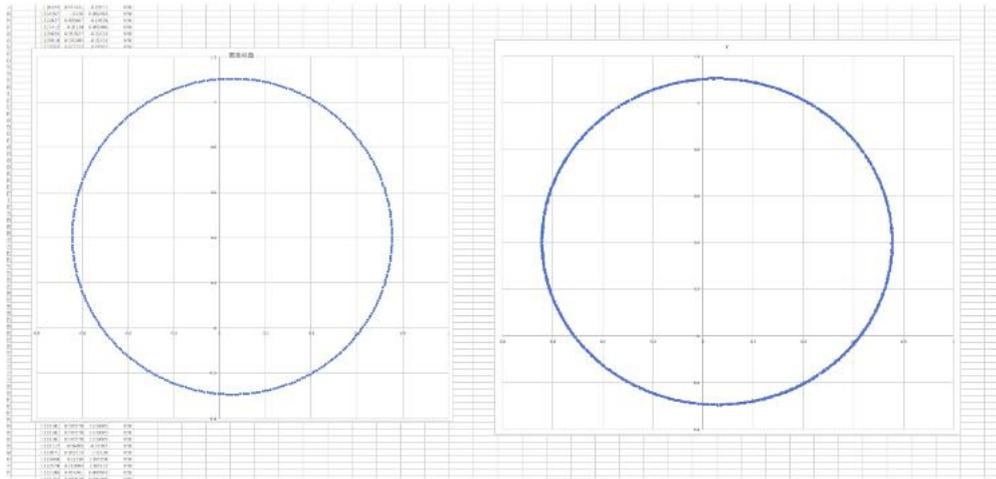
通过 Matlab 的三维视图，可以很明显地验证这一想法。



可以推测，这个视角的变化对应的是相机视角的变化。所以将这些点沿着相机的视角投影到已知的能量机关所在的平面上，就可以大大减小误差。

将上述数据使用相似的方法进行投影，可以得到非常完美的圆形。

下图左侧为一个理想的圆，右侧为理想的圆和视觉投影后的数据同时显示，可以看出视觉投影修正后数据精度会非常高。



使用这样的方法，固定相机情况下，视觉使用 200 帧图像进行圆拟合，圆的半径和圆心位置测量可以达到毫米级。

因此，能量机关瞄准模式下，视觉可以将识别到的点投影到已知位置（通过对位实现：操作手人工对心以确定能量机关方向，使用地图已知尺寸作为距离）的能量机关平面内进行二维的圆拟合。

2.4.4 预测方案

2.4.4.1 小能量机关

已知转动方向和转动速度后，弹道时间对应的扇叶转动角度是已知的，此时只需要将扇叶当前角度加上扇叶在弹道时间内转过的角度，就能算出弹道计算目标点的坐标了，弹道计算与基础自瞄相同，不再介绍。

计算过程中需要注意一些细节：

进行运动预测时，应该使用当前扇叶坐标，绕拟合圆心旋转对应角度后得到

不要使用当前扇叶坐标对应的角位置结合拟合圆心和实际半径计算，误差大

取当前扇叶坐标时，可以取最近几个点取平均（时刻也要相应平均），提高稳定性

计算平均值时，应在径向和切向分别进行（例如对拟合的半径和角位置进行分别平均），不是 XY 分别进行，否则平均结果不在原来的圆上。

取扇叶坐标时，需要时刻注意扇叶切换和扇叶角位置跨圈带来的影响，不要产生计算错误。

2.4.4.2 大能量机关

时间零点识别

通过能量机关转速（需要非常滞后的滞后滤波）可以识别大能量机关的速度表达式中的时间零点。当转速最接近转速表达式中的直流分量对应转速时，时刻对应着转速表达式的正弦分量的过零点。

为了提高识别精度，由于是通过速度确定时间，则应该选择速度随时间变化最快的点作为触发点，即上一段中描述的正弦分量过零点。当速度等于过零点对应速度时，有两种情况（正弦函数有 0 或 π 两处零点），需要根据当前能量机关的加速度方向进行进一步确定。

运动预测细节

运动预测时不再是匀速，则应该在当前角度的基础上加上从当前时刻开始直到弹道时间结束这一段时间内转速表达式的积分。预测不使用位置表达式，而是在当前位置的基础上考虑当前的转速表达式在接下来一段时间内的积分，因为转速表达式好识别，实时识别的位置更准确。

2.5 测试方案设计

电控备赛过程中的测试主要以各模块独立测试性能和稳定性为主，最后有少量的整车稳定性测试。

机械备赛过程中结合仿真和实践对各零件、模组进行测试，装配整车后对整车进行强度等性能的测试。

3. 项目进度计划

2021.10.25-2021.11.25 一代图纸设计；云台控制代码实现；底盘运动代码实现；实现识别方案；运动预测算法设计；控制板设计与制作。

2021.11.26-2021.12.26 一代车实物制作；机器人布线；

2021.12.27-2022.01.20 电控视觉联合调试；中期形态拍摄。

2022.02.20-2022.03.25 弹道测试；测试视觉算法，操作手训练。

2022.04-2022.05 二代图纸设计；算法优化；性能与稳定性测试；分区赛准备。

2022.05-2022.08 三代图纸设计；算法优化；性能与稳定性测试；国赛准备。

4. 赛季人力安排

4.1 团队架构设计

角色	职责职能描述	人员要求	人数
机械	图纸设计，实物装配	新队员+老队员	2
电控	车体控制，代码优化	新队员+老队员	2
硬件	线路连接，联合调试	新队员+老队员	2
视觉	图像识别，运动预测	新队员	1

4.2 团队建设思路

团队崇尚“技术第一、乐于奉献”，吸纳学校各个专业的同学加入，着力于培养队员们的专业能力，着重提高队员们的技术水平。

在机械结构设计方面，吸引学校机械设计与机器人专业的同学加入我们的团队，提供平台让大家有机会将课上所学的理论知识在实际中应用，进一步提高自己的专业能力，同时团队对成员进行各方面培训，让大家的能力得以快速提高。

在嵌入式控制与硬件设计方面，吸纳学校自动化、电子信息、测控、电气等相关专业的同学，大一以智能车比赛为平台让大家进行单片机等基础理论知识学习，大二选拔有技术、有能力、有热情的同学加入我们。

在视觉识别方面，我们同样采取大一以智能车比赛为平台让大家进行基础理论知识学习，大二选拔有技术、有能力、有热情的同学加入我们，今年我们的目标是尝试新算法，优化已有的算法，解决去年出现的识别、预测存在误差的问题，做到精准识别，与电控、机械配合做到精准打击。

在运营宣传方面，以经济管理类的同学为助力，完成实验室日常运营工作，如定期推送、团建、小卖部运行等，进一步提高团队在校内外的影响力，让更多人了解 HERO，同时培养赛务组队员们的组织协调、招商运营等综合能力

5. 预算分析

预算估计主要包括：物资需求+场地需求。

5.1 预算估计

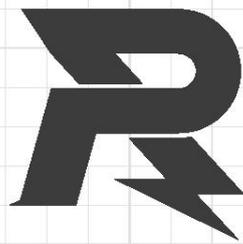
场地需求如下：由于机器人设计、研发、制作等工作完成之后操作手需要模拟实战训练，以及稳定性，持久性等的各项参数的测试，需要独立搭建测试场地。场地的搭建需要提前进行设计以及物资的采购、制作等工作，也需要学校的场地、资金等支持。

物资需求如下表：

类目	子类目	费用	说明
研发耗材	机械部件	5000	碳纤维和玻璃纤维板材 3D 打印耗材 机械标准件等
	控制相关	12000	电机、控制板等
	视觉相关	7000	运算设备、相机
比赛差旅	无	3000	车费、住宿费

5.2 资金筹措计划

来源项	预计金额	筹措思路
学校赞助经费	20000	科技立项
招商赞助经费	5000	增加广告位



邮箱: 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