

V1.0

Using a 55-55 motor driver cable and Field-Effect Transistor (FET), the RoboMaster C830 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.



Exclusively designed for the RoboMaster M8301 P180 Brushless DC Motor and C830 Brushless DC Motor Speed Controller, the M8300 Accessories Kit includes universal cables and a terminal block.

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

The M8300 Accessories Kit includes universal cables and a terminal block, enabling a complete on-board control system by four independent motors.

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	3
2. 技术方案分析	3
2.1 机械结构方案设计.....	3
2.2 硬件方案设计.....	5
2.2.1 硬件整体框图.....	5
2.2.2 单板硬件说明.....	6
2.2.3 重要传感器选型说明.....	6
2.3 软件方案设计.....	7
2.3.1 电控整体思路设计.....	7
2.3.2 底盘设计.....	7
2.3.3 云台.....	8
2.3.4 摩擦轮控制优化.....	9
2.3.5 自瞄电控端.....	9
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.....	10
2.4.3 坐标矫正.....	10
2.4.4 预测方案.....	12
2.5 测试方案设计.....	13
2.5.1 机械弹道测试方案设计.....	13
1. 项目进度计划	13
2. 赛季人力安排	14
2.1 团队架构设计.....	14
2.2 团队建设思路.....	14
3. 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

通过对这个赛季和上个赛季的比赛规则进行分析，对于步兵机器人而言，规则变化在于能量机关击打点新增自旋装置，因此对于步兵机器人的弹道命中率有更高的要求。考虑到本规则下步兵会在超级对抗赛中使用，因此本赛季步兵机器人应结合超级对抗赛比赛规则对规则难点进行针对性优化。

结合步兵轻便灵活的定位，因此对机器人的避震性能提出更高的要求。我队本赛季针对步兵机器人优先级一级子项目，即针对快速上下斜坡的要求，设计新一代悬挂系统。设计目标以快速、灵活运动为第一标准。

处于激活能量机关的考虑，需要步兵有效提高命中精准度，我队本赛季针对步兵机器人优先级一级子项目，即提高命中精度，对发射模块进行优化。设计目标是提高发射精度，实现 8m 内弹道散布在 100*100mm 的范围。

针对能量机关击打点新增自旋装置的情况，在提高小弹丸命中率的情况下，提高云台响应速率并降低 Yaw 轴偏移程度。本队本赛季针对步兵机器人优先级二级子项目，即提高云台响应与 Yaw 轴同轴度并减小转动惯量。设计目标是提高响应程度，减小机器人自旋时云台振动浮动，实现战场上稳定击打目标。

2. 技术方案分析

2.1 机械结构方案设计

步兵机器人可以分成三个模块，分别是底盘模块，云台支架模块和发射模块，以下分别对这三个模块进行设计。

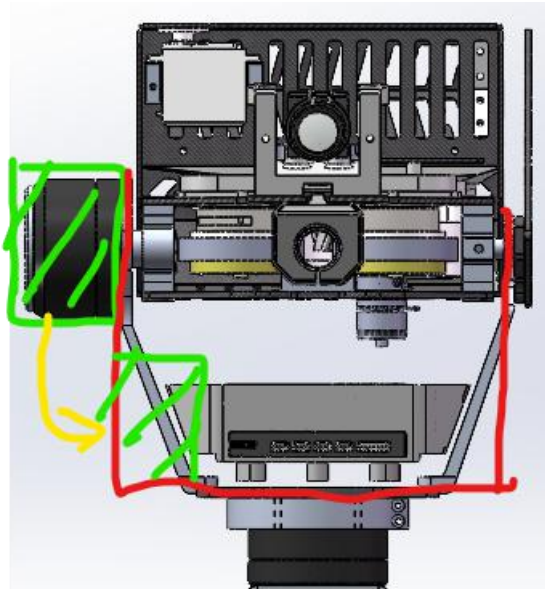
考虑到今年的步兵比赛环境较往年更加恶劣，因此底盘模块拟开发自适应悬挂以获得更好的地面适应能力与云台防抖能力。考虑到我队上个赛季已经拥有较成熟的独立悬挂系统，且自适应悬挂系统开发经验几乎为 0，因此自适应悬挂系统的开发在适当借鉴开源方案以实现自适应功能的基础上，也必须要与去年的独立悬挂系统表现相当。

由于这个赛季步兵底盘尚未绘制制作完毕且上个赛季步兵底盘方案较成熟，本赛季步兵自适应悬挂系统表现应与上赛季相当。根据有关测试，上个赛季步兵底盘总质量为 14.5kg，最大运动速度 $V=3.2\text{m/s}$ 。这些是这个赛季自适应悬挂底盘需要达成的技术指标。

底盘的实际困难点主要集中在自适应悬挂系统的设计，因为设计难度较大且设计经验较

少，因此容易出现方案存在结构不合理与实际表现不理想的情况。对此需要引入基本的仿真分析，对其结构合理性进行判断。

云台支架部分考虑到上个赛季的结构存在一定的不合理性，比如电机直连导致转动惯量较大，两边支架铝加工件加工难度较大等，因此本赛季打算采用如图所示结构。



步兵云台结构方案

上个赛季的步兵云台质量是 3.5kg，经过 solidworks 的计算其水平转动惯量是 $28811\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ ，由上图可以看出，云台结构的主要变化是将 6020 电机移动位置。同时发射模组整体尺寸没有较大的变化。

其转动惯量= $28811-0.468*115*115+0.468*68*68=24785.7\text{kg}\cdot\text{mm}^2$ ，减小 14.0%。

已知采用 6020 电机作为 Yaw 和 Pitch 轴电机，额定转矩为 $1.2\text{N}\cdot\text{m}$ 。

之前的云台最大角加速度为 $1.2\text{N}\cdot\text{m}/28811\text{kg}\cdot\text{mm}^2=41.65\text{r}/\text{s}^2$ 。

现在云台最大角加速度为 $1.2\text{N}\cdot\text{m}/24785.71\text{kg}\cdot\text{mm}^2=48.42\text{r}/\text{s}^2$ ，提高 16%。

以击打能量机关为例，击打能量机关时 YAW 轴最大旋转角度大约为 11.4° ，因此之前的云台需要的时间 $t_1=(11.4/41.65)^{0.5}=0.52\text{s}$ ，现在的云台时间 $t_2=(11.4/48.42)^{0.5}=0.48\text{s}$ 。缩短时间 7.7%。

该模块设计难度较低，且开源方案较多，因此不存在困难点。在设计时完成基本功能的情况下需注重轻量化设计。

这个赛季对于弹道的精准度有较大的要求，由于上个赛季的发射模块效果一般，在借鉴了其它学校的开源方案之后，这个赛季打算采用 U 型轴承加波珠螺丝预置的方案。U 型轴承

的限位具备较优异的定位效果，且定位稳定性极好，因此使用一个对弹丸进行基本的定位。然而考虑到弹道精度受装配影响较大、当前弹道仍然不理想等因素，需要使用波珠螺丝对弹道进行调节。波珠螺丝作为一种可以调节的起到一定限位作用的螺栓，这种既有一定的柔性预置弹丸能力，也具备比较好的可调性。该模块需要实现实现 8m 内弹道散步在 100*100mm 的范围，以较好完成击打能量机关的目标。

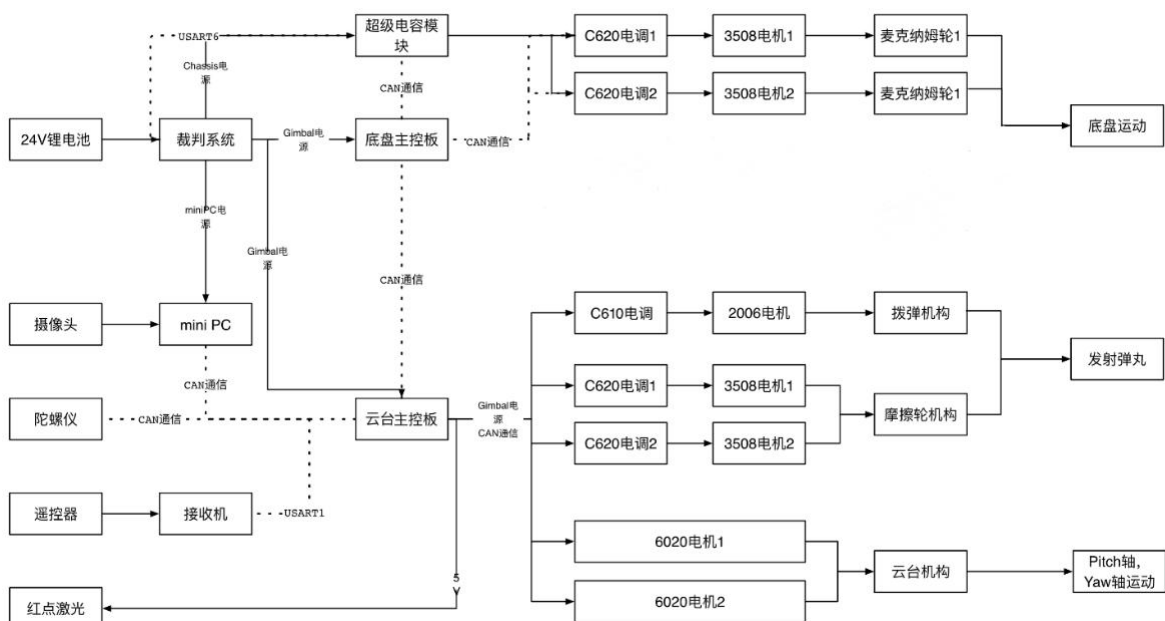
该模块的设计难度在于如何平衡波珠螺丝的螺纹可调性与稳定性的关系，由于波珠螺丝预置时会受到较大冲击，导致螺纹磨损和螺纹失效，使波珠螺丝安装失败。需要对弹丸预置效果较好的地方进行定量分析，将其对弹丸的预置效果等价转换成 2 个 U 型轴承对弹丸的预置，实现弹道较好的同时兼顾稳定性。

2.2 硬件方案设计

针对自身需求，开发一款高可靠性的工业级 STM32F427 核心板，其尺寸将为 4.5cm *4.5cm，板载两路 CAN 收发器、蜂鸣器、用户按键、RGB、USB OTG 等众多外设，以满足软件同学进行日常调试和算法验证，同时利用共 80Pin 的板对板连接器，引出绝大多数的控制资源，降低项目的硬件开发成本和难度，因此各个项目可根据具体需求开发专用底板。

同时，该核心板的保护设计将尽可能完善，包括电源的过压保护、欠压保护、过流保护、过热保护、防反接保护、ESD 防护、缓启动和多途径供电时的灌电流保护，以及针对数字信号和模拟信号接口不同特性分别设计的过压保护、负电压保护和 ESD 防护……以满足 RoboMaster 赛场上对可靠性的需求。

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
工业级 STM32F427 核心板	开发一款高可靠性的工业级 STM32F427 核心板，其尺寸为 4.5cm * 4.5cm，板载的两路 CAN 收发器、蜂鸣器、用户按键、RGB、USB OTG 等众多外设，以满足软件同学进行日常调试和算法验证，同时共 80Pin 的板对板连接器引出了绝大多数的控制资源	核心板的可靠性一直存在问题，特别是与较大感性负载共用电源时，比如机器人急停、换向、碰撞所产生的浪涌电压有时会对其他设备产生致命的影响。除电源直接影响外，感性负载驱动器的控制信号若隔离不彻底，也会给控制器带来难以预测的问题。
九轴陀螺仪模块	针对 RoboMaster 赛场的特点，要求性能更高、抗冲击性更好、零漂更小的九轴陀螺仪模块，同时处理器要求能够进行硬件浮点运算。	陀螺仪的温漂，抗干扰能力的强弱可能会对整个模块的产生影响。
主控板	底板主要引出核心板接口为核心板供电，同时根据不同机器人需求，可通过修改底板来适配不同的功能，同时底板集成 jlink 功能，typec 接口，方便调试。添加对应的保护如防反接，过流，过压保护等。	机器人急停、换向、碰撞所产生的浪涌电压有时会对其他设备产生致命的影响。除电源直接影响外，感性负载驱动器的控制信号若隔离不彻底，也会给控制器带来难以预测的问题。

2.2.3 重要传感器选型说明

二代陀螺仪采用 ICM20602 和地磁计 IST8310，主要作用是和陀螺仪和地磁计通讯，采集数据并通过 CAN 接口和主单片机进行通讯，由于自带单片机，因此能进行一定程度的数据处理，将处理后的数据传回到主机，而三代在二代的基础上进行了一定程度的升级，主要体现在 ICM20602 更换成 ICM42688-P，地磁计换成 RM3100 模块，性能更加优异。

2.3 软件方案设计

2.3.1 电控整体思路设计

由于比赛时间只有 1 分 30 秒，要求以最快的速度通过设定的任务点，到达能量激活点，并在 2.5 秒的时间内精确打击到点亮的装甲模块。

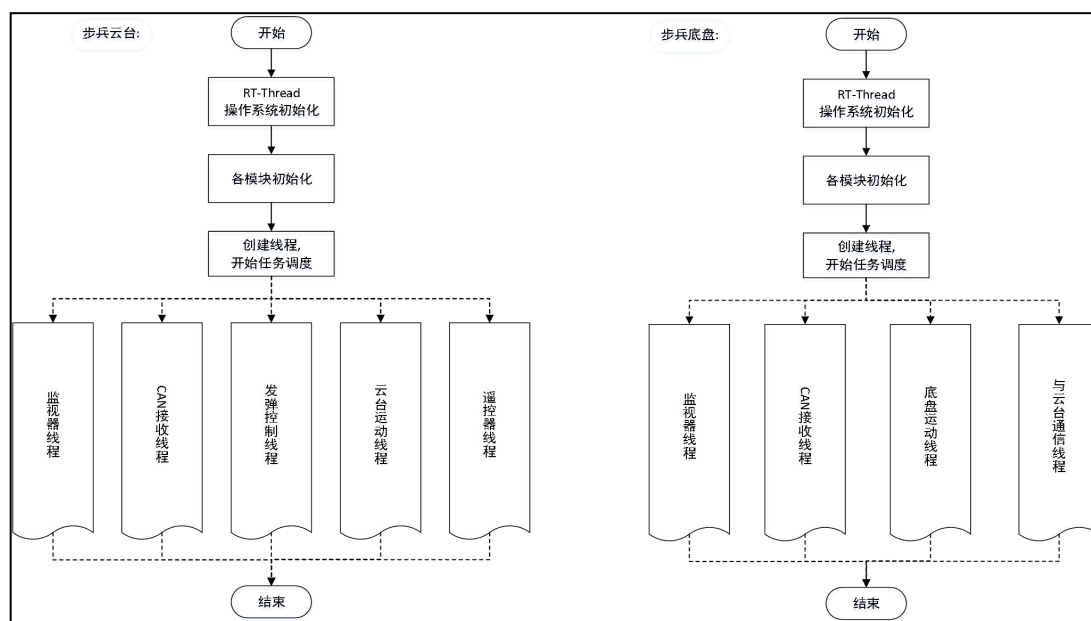
因此，常规步兵在设计上有以下需求及目标：

①合理规划步兵前进路线，优化底盘运动算法，使底盘运动能在坡道，转弯以及直道上更快，更稳；

②优化通信协议，实现运算平台与主控之间的通信无阻；

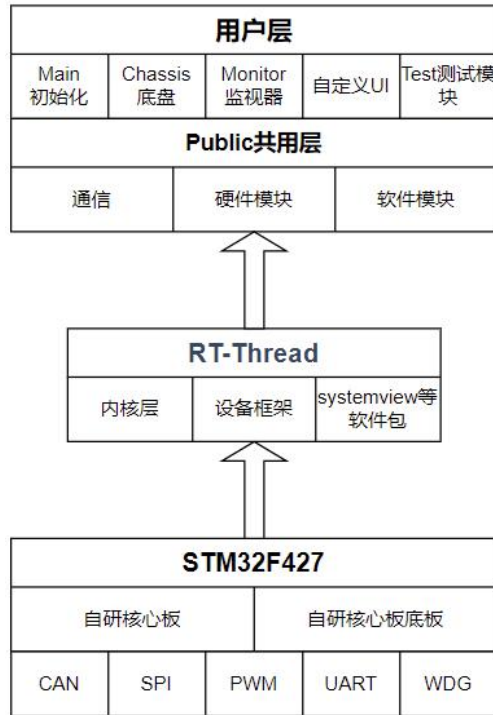
③优化云台响应速度以及精准度，提高射击准确度。

程序是基于 RT-Thread 设计的，常规步兵的主要部分是云台和底盘，因此绘画出云台和底盘的流程图来说明整体架构，其中左侧是底盘的启动过程，右侧是云台的启动过程。



2.3.2 底盘设计

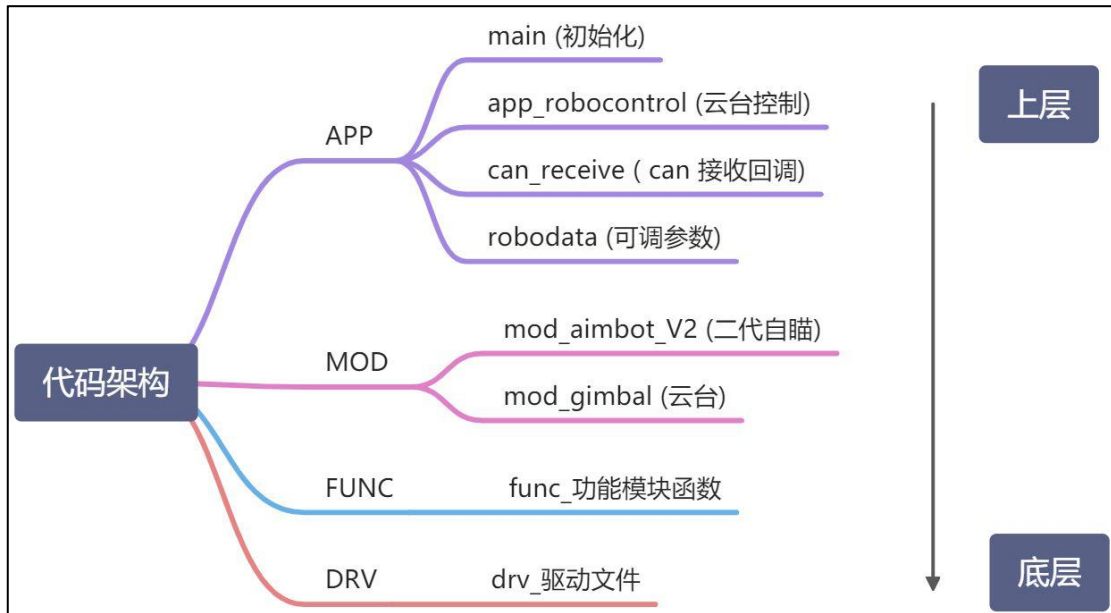
底盘代码是在 RT-Thread 嵌入式实时操作系统的基础上编写用户层代码。整体架构设计如下：



2.3.3 云台

2.3.3.1 程序框架设计

云台与底盘相同，也使用 RTT 操作系统，程序框架如下：



2.3.3.2 IMU 架构

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做为理想的值。

2.3.3.3 云台姿态控制优化

- (1) Yaw 轴：存在阻力时，考虑适当加积分项。
- (2) Pitch 轴：添加连杆补偿，按照编码器角度确定机械结构状态，计算和补偿力臂变化，使得 PID 输出经过补偿后直接对应云台 Pitch 轴的扭矩。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。
- (3) 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。

2.3.4 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，以提高转速的一致性，及发射弹丸后转速的快速稳定。

2.3.5 自瞄电控端

2.3.5.1 控制优化

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；对平滑过后的云台设定值进行了变化速度限幅，避免出现设定值变化过快的情况，使控制更加稳定顺滑。尝试添加前馈控制，做到在大幅度转头时可以非常快速且超调量很小。使云台在自瞄时做到迅速稳定跟随目标的效果。

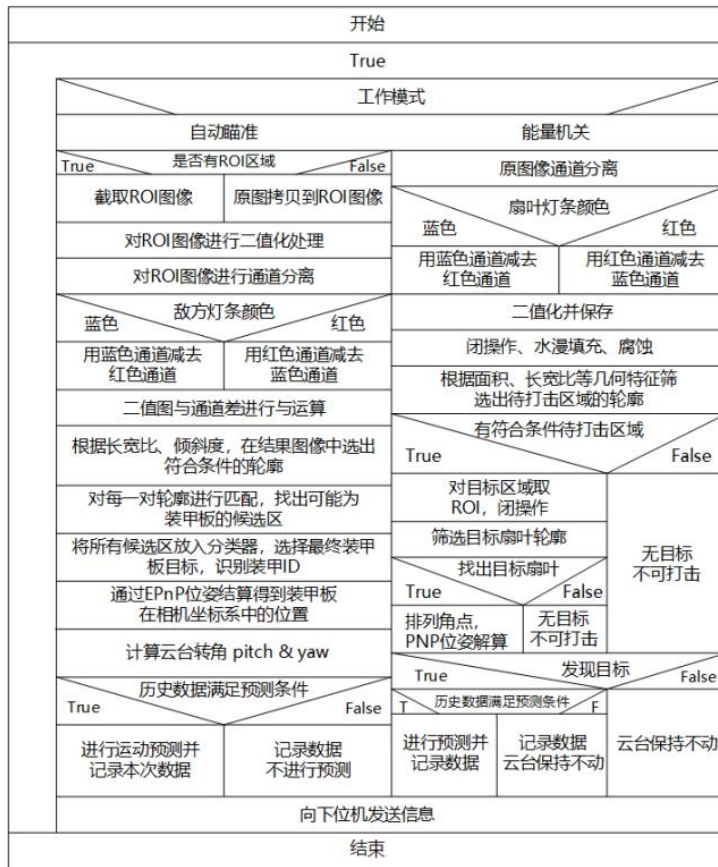
2.3.5.2 其他优化处理

卡弹识别与处理

该处理主要是为了应对卡弹导致电机堵转，以致于烧坏电机的情况。如果出现电机输出电流较大但电机转速很低的情况，则很可能是出现了卡弹堵转现象，需要对卡弹进行处理，否则不但无法正常发弹，电机还会过热。

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。

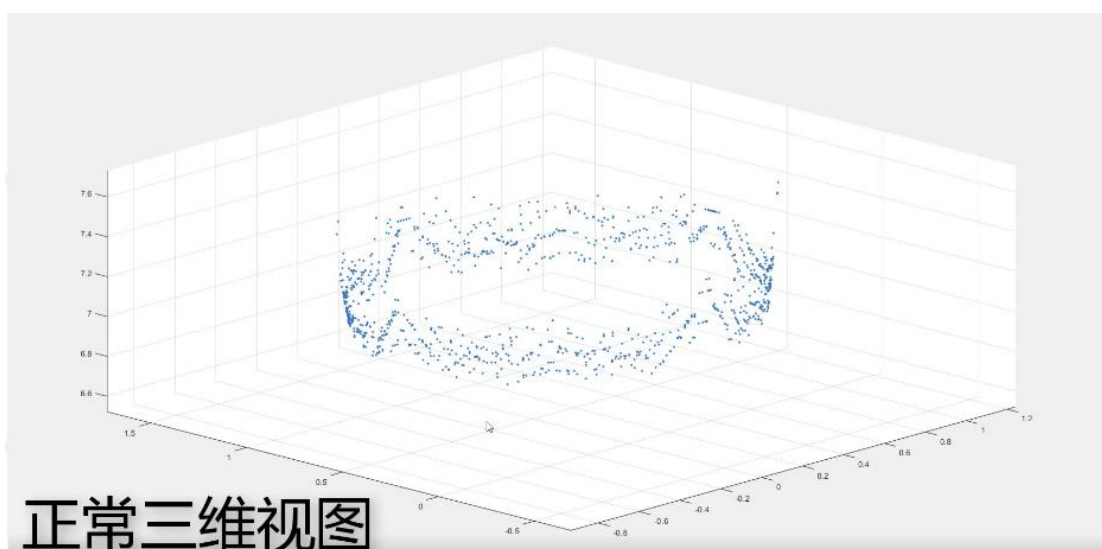
2.4.3 坐标矫正

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。

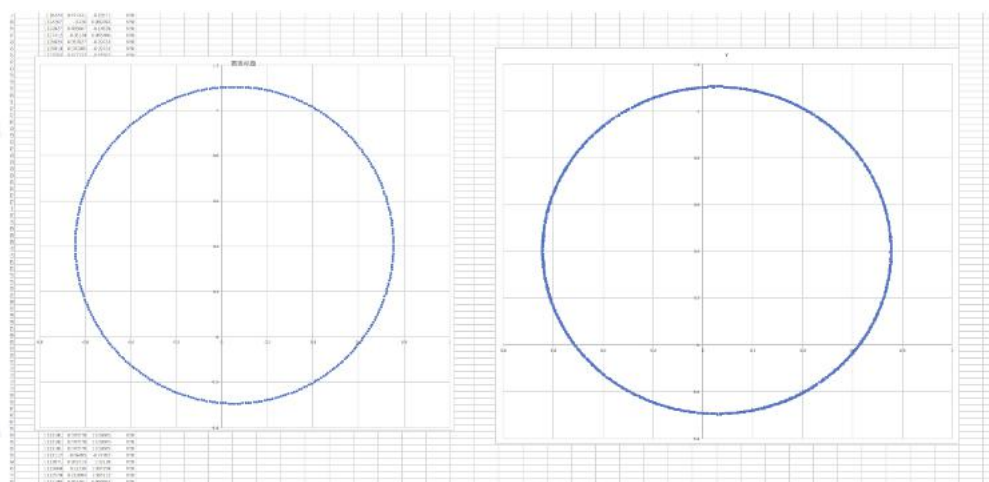
通过 Matlab 的三维视图，可以很明显地验证这一想法。



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

2.5.1 机械弹道测试方案设计

机械弹道测试使用固定平台，将待测试的目标云台装配到固定支架上，并使用重物使其在发射弹丸的时候抖动尽可能小。然后可以对其进行俯仰、平转等手动调节的方式，实现弹道测试的多方面需求。

关于测试弹道的过程中，由于测试结果存在随机性，因此每次测试小弹丸弹道散步基本以 100 发为一轮，并且在测试完毕后统计弹道散步。考虑到小弹丸弹道服务于能量机关击打，因此测试以单发为主，统计单发命中散步。

使用复写纸记录弹丸击打位置，并使用坐标纸精准量化弹道散步，并将所有弹道记录整理成档案，方便进行后续数据统计分析与技术传承。



弹道测试机构

1. 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。

2. 赛季人力安排

2.1 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

2.2 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

3. 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

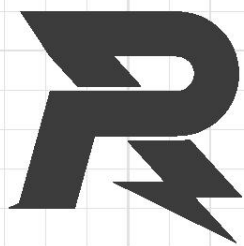
场地需求如下：由于机器人设计、研发、制作等的工作完成之后操作手需要模拟实战训练，以及稳定性，持久性等的各项参数的测试，需要独立搭建测试场地。场地的搭建需要提前进行设计以及物资的采购、制作等工作，也需要学校的场地、资金等支持。

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