



Using a R2-M6 motor driver chip and Field-Oriented Control (FOC), the RoboMaster C200 Brushless DC Motor Speed Controller enables precise control over motor torque.

Exclusively designed for the RoboMaster 600W 48V Brushless DC Motor and C200 Brushless DC Motor Speed Controller, the 48V48W Assembly Kit includes power cables and a terminal board.

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

600 48V48W Assembly Kit includes several cables and a terminal board, enabling a complete propulsion system setup for your RoboMaster system.

ROBOMASTER 高校单项赛

赛季总结

哈尔滨工业大学（深圳）南工骁鹰 编制

2022 年 9 月 发布

目录

1. 规则技术点复盘	2
1.1 规则技术点分析回顾	2
1.2 实际实现技术点	2
1.3 异同原因分析	3
1.4 解决方法分析和经验总结	4
2. 技术方案复盘	5
2.1 机械结构方案	5
2.2 硬件方案	12
2.3 软件方案	12
2.4 算法方案	13
2.5 测试方案	14
3. 项目进度复盘	25
4. 赛季人力安排复盘	34
5. 预算复盘	34
6. 技术方案参考文献	38
附录 学术创新成果	39

1. 规则技术点复盘

本赛季初，我们对高校单项赛的步兵竞速与智能射击赛项进行了详细的规则技术点分析以及技术方案分析。下面将对赛季规划的内容进行分析回顾，总结经验。

1.1 规则技术点分析回顾

在步兵竞速与智能射击单项赛中，步兵机器人需完成以下任务：从启动区出发，以最快的速度依次通过设定好的若干任务点，到达能量机关激活点，在 50 发弹丸以内激活能量机关。根据规则可以得出，该单项比赛更注重的步兵机器人的运动性能以及瞄准击打性能，对于对抗性能的要求相对更低。

为实现稳定飞坡，需要在保证整车结构强度的前提下，尽可能减轻重量，以增强机器人的加速性能、减轻飞坡落地时车体结构所受的冲击。同时，需要优化悬挂设计，在飞坡落地时起到良好的吸震作用。鉴于单项赛道上没有设置起伏路段，悬挂设计的侧重点应与对抗赛有所不同。此外，整车的重心方位也是影响飞坡姿态的关键因素之一，需要调整重心以实现落地时尽可能四轮同时接触地面。为提高机器人加速性能，除减重外，还可以通过优化驱动电机减速箱减速比、优化超级电容模块等方式实现。

能量机关激活方面，机器人底盘需要适应旋转起伏台（旋转起伏台在规则更新后取消），保证激活能量机关过程中发射机构的平稳。因未有旋转起伏台具体参数和机制，需要先自行对其工况进行设计模拟，对底盘悬挂的自适应性、减震性能等方面做设计优化。云台方面，若有需要，初步计划在云台使用 z 轴增稳方案，以减少起伏对发射机构带来的干扰。此外，需要加快云台的响应速度，测试优化弹道散布，实现软件层面上的云台增稳，需要优化视觉方案，实现良好的自动识别瞄准、轨迹预测等功能。

基于上述分析，我们在赛季初提出了以下技术点：

- 轻量化设计
- 优化轮子驱动电机减速比
- 优化超级电容模块
- 优化弹道散布
- 云台增稳
- 能量机关激活
- 采用横臂悬挂

1.2 实际实现技术点

- 轻量化设计

通过科学合理的轻量化设计，单项赛步兵机器人从 1.0 版的 18.6kg，到 2.0 版的 17.5kg，降到 2.5 版的 17.1kg，共减重 1.5kg。

- M3508 电机减速比

通过更换四个轮子的驱动电机减速箱，将减速比从 1:19 变为 1:14，增大机器人飞坡出坡时的速度。

- 超级电容模组容量提升

在不改变电容模组体积的情况下增大其标称能量，接近规则允许的 2000J。

- 悬挂调校以及陀螺仪修正

通过调校悬挂，使得车身重量尽可能平均分配到四轮，同时利用底盘陀螺仪进行角度修正，从而解决加速起步瞬间车身扭转问题。

- 采用纵臂悬挂

在赛季规划中，通过运动仿真模拟，对比了纵臂悬挂与横臂悬挂的优劣，并得出横臂悬挂在飞坡时吸收冲击的性能优于纵臂悬挂的结论。但在最终确定方案时，依旧采用了纵臂悬挂。因为相对于平行四连杆横臂悬挂，纵臂悬挂结构重量更小，且更有利于调整底盘前后重量分布，向后调整中心，优化飞坡姿态。当落地时底盘与地面夹角足够小，地面支撑力对悬挂摇臂力臂足够大，悬挂减震效果不亚于横臂悬挂。

- 弹道优化

通过一系列测试，优化拨弹、枪管、单发限位、摩擦轮等机构，将 30m/s 弹速的弹道调至最佳。

- 能量机关激活

集合数据读取、装甲板识别、预测以及弹道计算等一系列算法设计。

1.3 异同原因分析

对比实际实现技术点与规划技术点，可发现我们在云台增稳、悬挂形式采用、以及悬挂调校以及陀螺仪修正几个方面有不同之处。

由于规则变动，旋转起伏台被取消，因此我们没有实现云台增稳适应旋转起伏台的方案。

采用纵臂悬挂代替初始方案的横臂悬挂，则是由于模拟仿真方案并不完善，仿真结果与实际有出入，通过后续设计以及测试中对实际情况的考量和取舍，最终选取纵臂悬挂方案。

在赛季初的规划中，并没有考虑车启动时的偏向对飞坡效果的影响。在实测中我们发现，在加速启动时如果车发生偏向，会导致消耗更多时间和电容用于调整车身，同时更容易出现操作失误导致与坡道两侧围栏刮蹭导致减速翻车。通过调整避震器预紧量，使得车身重量分布均匀，同时用底盘陀螺仪进行角度修正解决这一问题。

1.4 解决方法分析和经验总结

在实际备赛阶段，出现与预期不符的情况，或者更优技术方案的提出都将影响备赛的节奏。在确定方案时应该集思广益，将方案从机械、电控、视觉各方面进行考量，避免闭门造车。同时也应当将进度节点适当提前，从而有更充足时间进行测试，发现问题，及时解决优化。

在确定技术方案时，合理运用仿真软件，例如我们选取悬挂方案中使用 Adams 进行运动仿真模拟。模拟的参数应该根据实际情况而定，同时也应该考虑各种变量，我们在模拟中对于车体重心位置并没有设置多变量。导致最终确定方案与仿真结果不同。

在调试阶段，不同方向技术人员也应当同时参加。例如在飞坡调试时，机械组成员、电控组成员以及操作手同时参与。这样可以对车辆的机械结构及时检修，寻找缺陷，电控根据操作手实际体验对控制、UI 等方面进行优化。如此一来可以多角度发现问题，综合考虑解决方案，提高效率。

2. 技术方案复盘

2.1 机械结构方案

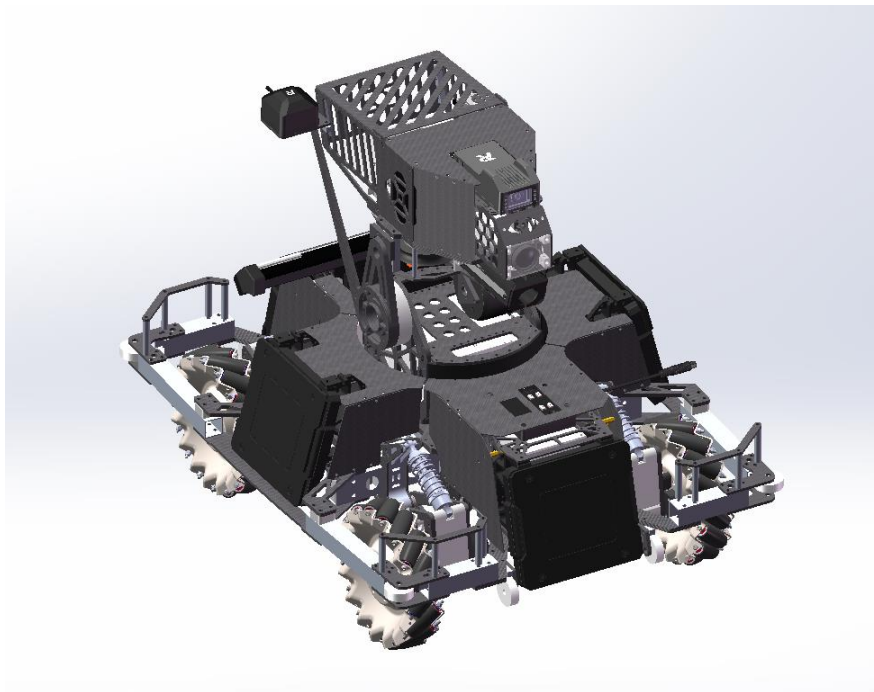


图 1 步兵机器人

该款步兵战术定位为飞坡后对敌方哨兵机器人进行输出以及激活能量机关。根据这一需求，步兵需要具备良好的飞坡性能、精准的打击能力以及躲避敌方机器人追击的功能。因此，设计时需要满足机械结构轻量化、高机械强度、高机械效率的要求。同时，我们在设计时也对其他方面性能进行了一定的取舍平衡。更轻、更快、更准是设计的最终目标。

2.1.1 云台供弹及发射机构

云台供弹及发射机构需求分析

项目	指标
弹舱	载弹量 250 发，下台阶、飞坡不漏弹
射频	能够稳定实现单发、双发，最高射频可达 25Hz 且不卡弹
射速	射速稳定可调节，最高不超过 30m/s
命中率	5 米小装甲中速挡 100%命中，8 米小装甲高速挡 100%命中

配平	载弹 75 至 150 发时，云台发射机构质心应尽量与 pitch 轴线重合
维护	炮管打印件、摩擦轮等维护更换方便，裁判系统独立拆装
走线	布局合理，保护线材及接口处，方便线路检查

云台采用上供弹方式，拨弹轮有八个拨爪，打印件上碳板对拨爪增强，拨盘底部采用横向 2-5-2.5 轴承减小弹丸与侧壁摩擦。在安装轴承时，注意安装垫片，防止轴承外圈卡死导致螺栓松动。

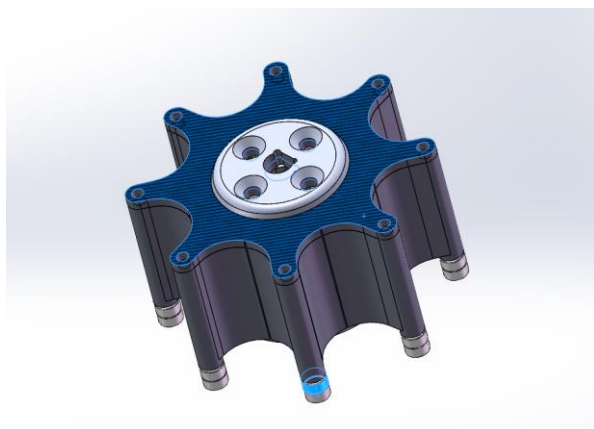


图 2 拨弹轮

枪管采用尼龙打印件制作，图中标蓝为枪管与 M3508 电机（去减速箱）配合面，安装时保证紧密配合，可进一步使摩擦轮电机与枪管相互位置精确。

关于单发限位，采用上下深沟球轴承外套 TPU 打印件、左右打印件内壁突起限位，同时使弹丸对中，在与弧形摩擦轮接触前保证弹丸位于弧形中心。TPU 作为打印耗材具有硬度低、韧性和弹性较好的特性。通过 3D 打印 TPU 套于轴承外，可增大限位机构与 17mm 弹丸接触面，同时良好的弹性可以适应弹丸本身的公差。在实际测试后，我们在轴承外套弧面粘贴特氟龙胶带，从而增加其耐磨度与光滑程度。

设计时应注意保证弹丸在脱离单发限位后恰好与摩擦轮接触。在实测中我们发现，由于装配和弹丸自

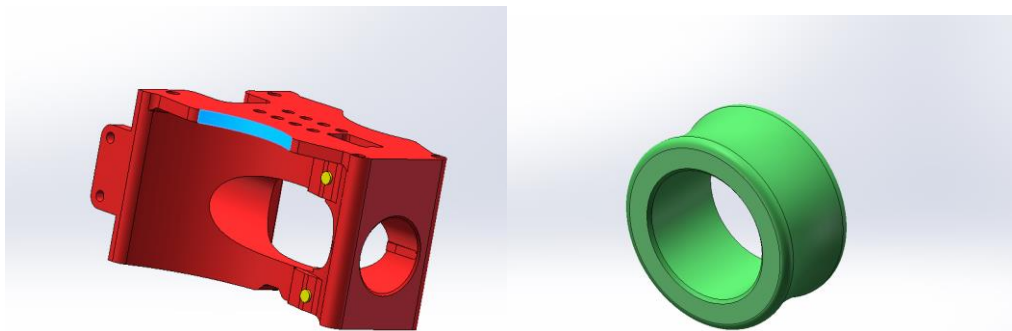


图 3 枪管（左），单发限位轴承外套（右）

身形状带来的误差，若弹丸仍处于单发限时与摩擦轮接触，弹丸会受到单发限位的扰动，导致发射命中率降低约 30%。

根据小弹丸发射机构测试（详见后文）的结果，我们采用了弧形摩擦轮方案。采用铝加工件聚氨酯包胶（硬度 55），弧形半径 8.5mm，摩擦轮最小外径 60mm，中心距 73mm。

在测试过程中，摩擦轮易受磨损，因此在云台设计上留出空间，方便摩擦轮单独更换。

为了保证强度、刚度，同时减重，云台主要承载板为 5mm 碳纤板，并大面积镂空以减重、过线。在小弹丸通过摩擦轮时，由于挤压电机会对承载板产生较大的弯矩，因此电机固定处不作镂空减重，且增加板材作为结构补强。。

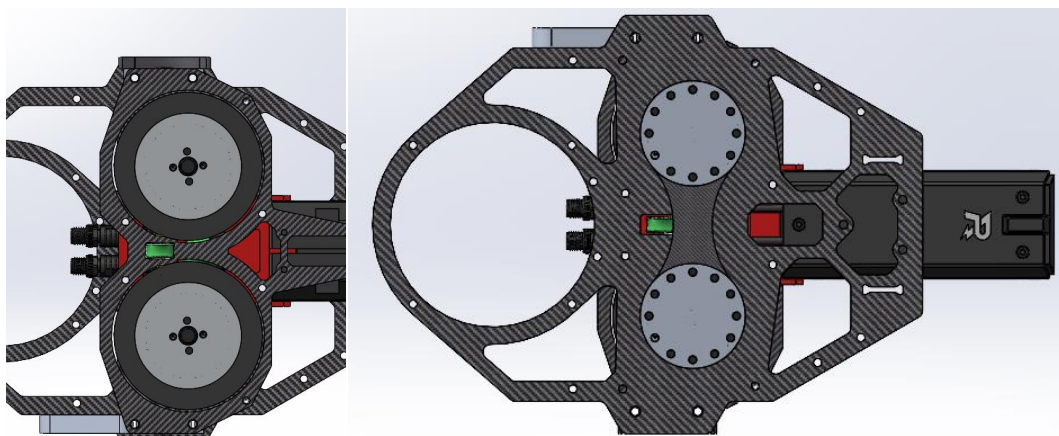


图 4 摩擦轮快拆以及主承载板

云台空间小，容纳了三个电机及电调、开发板、中心板、摄像头、图传发送端、测速模块、舵机等元器件，需要合理布局。航空线冗余线体积较大，需要做好固定，分配空间。由于摩擦轮电机倒置安装，拆解减速箱后留有一齿轮外露，随转子转动，因此应加置保护盖，同时也防止线材收齿轮磨损。

云台外壳由薄板材配合连接件和铝柱构成，可快速拆装，对接口处、线材保护良好，便于检查维护线材情况。

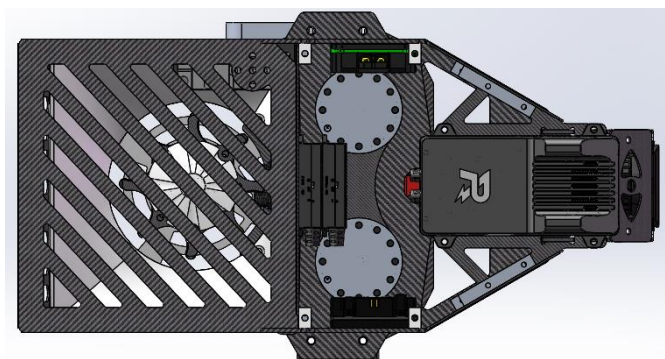


图 5 云台布线空间

2.1.2 云台支架

云台支架需求分析

项目	指标
整体结构	轻量化设计，机械强度高，可容纳 NUC
pitch 轴	连杆传动，保证精度
yaw 轴	保证结构强度，承受飞坡带来的冲击
走线	可穿过滑环，保护线材及接口

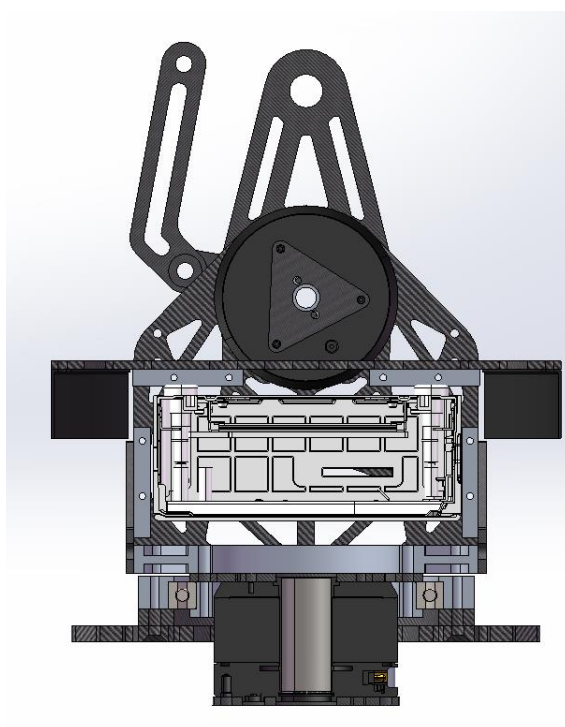


图 6 云台支架

yaw 轴轴承采用 61816-2Z 深沟球轴承，相对交叉滚子轴承成本更低，且满足强度要求。轴承内外圈均采用铝加工件及板材夹紧固定，铝加工件与轴承采用过渡配合，为保证完全夹紧，本应接触的上下两面留有 0.2mm 间隙，螺栓固定时均匀上紧可得到良好的夹紧程度，同时保证构件与轴承轴线重合。安装轴承时用轴承胶消除。

在整车设计时，关键零部件采用静应力分析、拓扑算例进行结构优化，下面以云台底座一个关键承重部件为例：

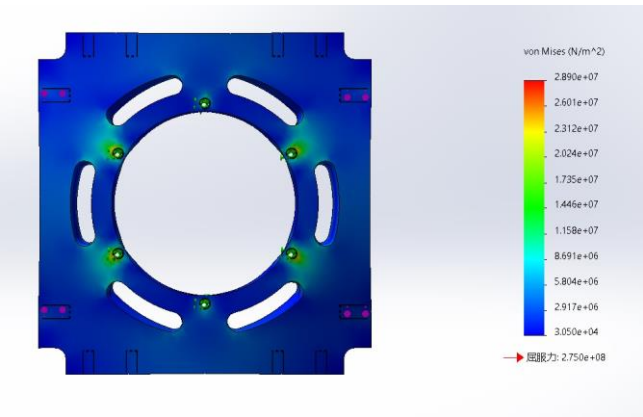


图 7.1 优化前

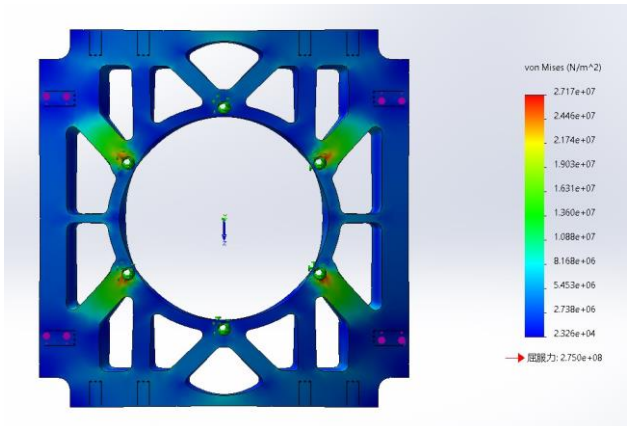


图 7.2 优化后

进行轻量化处理后，零件在满足强度安全系数情况下，减重 24%。

pitch 轴采用连杆传动而非直连，目的是将驱动电机收进“脖子”内，减小云台整体体积，减小 yaw 轴转动惯量。传动时各转轴轴承应尽量消除间隙，以增加传动精度，减小对电机的损害。因此连杆选择精度高的外包加工，同时做备件测试不同配合公差，安装轴承时用轴承胶消除。

NUC 安装的上盖板处两侧及中心留有过线孔、检查孔（采用合页加板材开闭），方便走线及检查。盖板外圈安装保护片，避免线材和接口收到弹丸击打或者在旋转时与车身其他部位刚蹭。

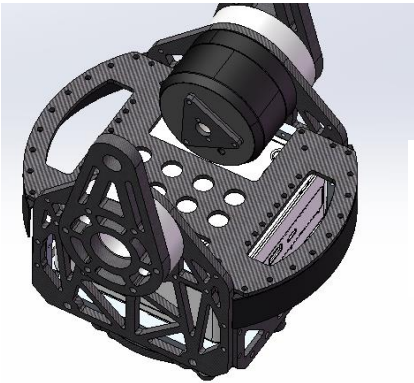


图 8
盖板
及保护片

2.1.3 底盘

底盘需求分析

项目	指标
整体结构	轻量化设计，结构简洁，机械强度高
重心	重心高度低，前后位置可调整，便于飞坡测试。
走线	布局清晰合理，空间足够，留有固定线材的结构
轮组	模块化设计，保证连接强度，方便装配更换
保险杠	方便更换维修，接近角、离去角适应场地地形及飞坡需求

井字形框架采用薄壁大口径铝方管制作，以装甲板及其支架作为末端结构支撑。大截面提供良好的抗弯性能，同时装甲板及支架可提供强度的补足，可以省去部分额外加强结构，简化结构，减轻重量，便于装配。为了进一步减重，对铝方管进行了大面积镂空处理，在末端以及轮组连接处填充打印件加强结构。同时，镂空后方管内部可用于走线，以节省空间，保护线材。

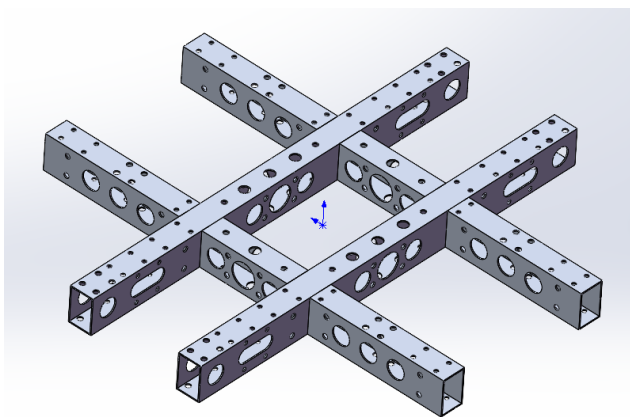


图 9 井字形框架

井字形框架末端空间用于安装各电子元件，根据硬件框图合理排布，方便走线。可以通过调整前后侧电子元件的位置对整车进行重心调整。

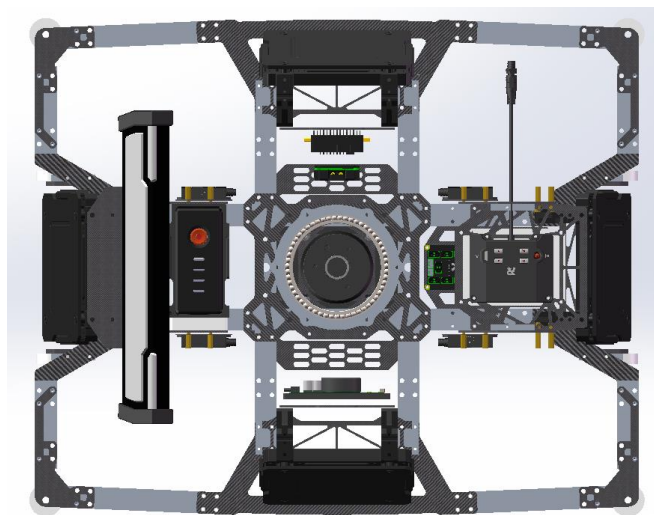


图 10.1 车架俯视图

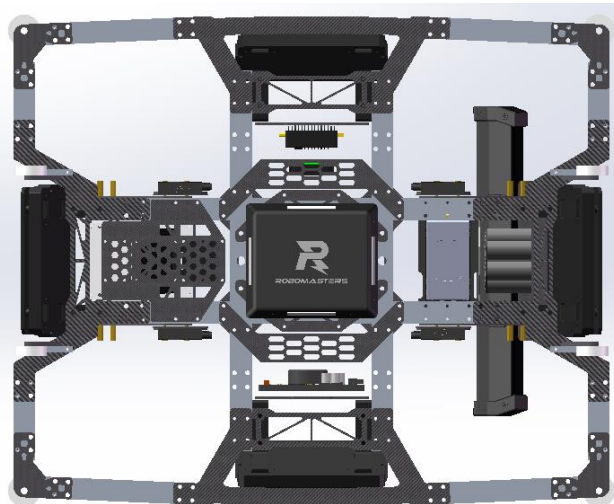


图 10.2 车架仰视图

在小陀螺状态时，装甲板交错分布可减小地方弹丸命中率。距离中轴线更近的两装甲板增加安装高度，相邻装甲板高度相差 34mm，如此在小陀螺状态下仍能保证云台俯角足够大，在近战中取得优势。



图 11 装甲板交错布置

轮组采用模块化设计，方便装配。

图 12

由于麦克纳姆轮滚子呈 45° 分布，为使小陀螺旋转时效率达到最高，设计上将四轮与地面接触点相连后近似构成正方形。

轮组采用单摇臂独立悬挂，单端支撑，结构简洁，相对于自适应悬挂减轻了连杆结构的重量，装配、维护难度更低的同时，能满足该款步兵的战术定位要求。

2.1.4 外壳

云台支架需求分析

项目	指标
保护能力	大小弹丸全向全速打击 10min 不发生明显损坏，保护线材以及接口
拆装	拆装简便
人机交互	电池、主控模块保护充分且交互简便

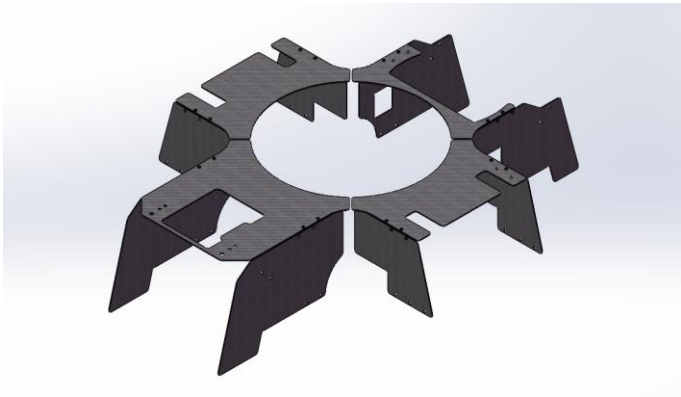
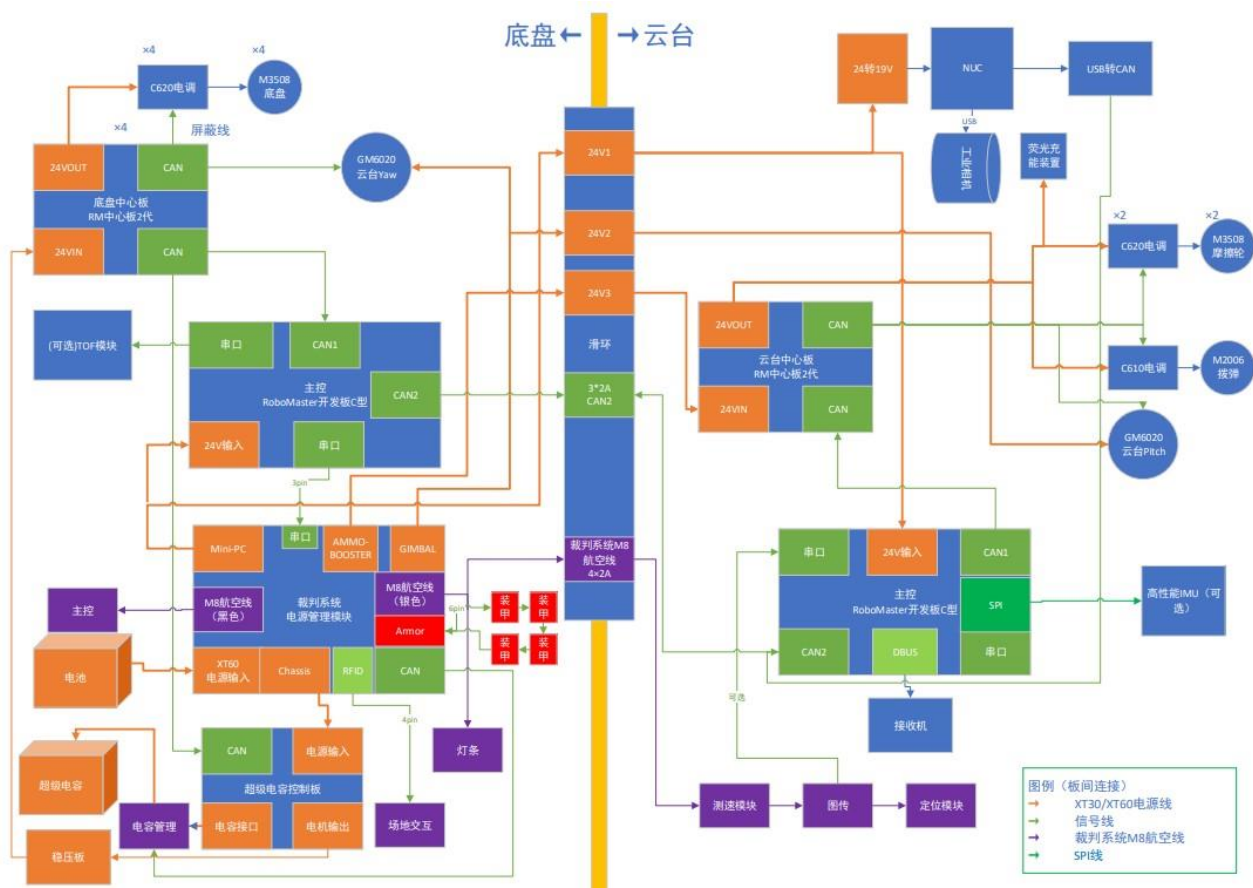


图 13 外壳

外壳采用 1mm 厚碳板以及 PVC 板加连接件拼接而成，分为前后左右四个部分，每个部分均可独立拆装，只需拆卸 4-6 个螺栓即可完成。外壳上留有电池以及主控模块操作位置。

2.2 硬件方案

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
ROBOMASTER 电调中心板	电调中心板是一款专为实现电源及 CAN 通信接口扩展的转接板。中心板具有结构紧凑、接口集成度高等特性，可同时提供 7 套动力系统的供电	几乎无风险

单板	设计需求	风险评估
SPI 转 CAN 板	用于收集编码器信息，与主控板通信	几乎无风险
超级电容控制板	用于管理超级电容的充放电和升降压，与主控板通讯	超级电容过充引发起火风险，输出电压不稳定导致整车设备不安全的风险
超级电容板	用于集成超级电容组	超级电容过充导致起火的风险，超级电容串联不均 压导致的个别电容超压的风险
USB 转 CAN	用于小电脑与主控板通信	几乎无风险
Jlink WIFI 调试板	用于无线调试，方便研发	几乎无风险
大风车扇叶板	用于模拟赛场上的大风车	扇叶旋转过程中引起的机械伤人
5V 转 3.3V 模拟信号转换板	用于工程机器人拉线传感器模拟信号的转换	几乎无风险
G4 主控板	主控板	几乎无风险
F7 主控板	主控板	几乎无风险
NX 载板	转接板	几乎无风险

2.3 软件方案

由于 RoboMaster 机甲大师超级对抗赛软件设计方案向下兼容 RoboMaster 机甲大师高校单项赛，因此我们沿用对抗赛的软件整体架构。

2.3.1 重要功能：

对于击打能量机关来说，最重要的是弹速的稳定性。发射系统的摩擦轮采用了滑膜控制。摩擦轮的主要功能是通过旋转挤压摩擦弹丸，给弹丸一个初速度，对于机器人来说，弹速的

稳定有助于在限定的弹速下调到更优的弹速，也有助于视觉自瞄的解算。摩擦轮空转与发弹两种状态下的旋转阻尼完全不同，如果采用传统 pid，每次发弹的过程很难做到一致，滑膜具有对扰动不敏感的特点，采用滑膜控制可以让发弹的过程相对一致。另外，我们发现摩擦轮在温度升高时会胀大，从而影响弹速。我们首先采用线性的温升模型对弹速进行补偿，测试发现需要调整的参数过多，且效果不佳，最后用裁判系统中的弹速反馈形成弹速闭环对弹速进行补偿，取得了不错的控制效果。

对于飞坡来说，最重要的底盘的优化和整车的速度。在输出功率有所限制的条件下，底盘功率采用按需求分配的策略。首先解算出未限制输出下的底盘各电机输出，然后根据各电机输出占比和总可用功率分配底盘电机输出，实现了对功率的最大化利用。

2.3.2 测试方案

我们自制了等比例的能量机关模块进行击打能量机关测试。扇叶旋转通过 3508+减速齿轮控制，由自制 mpu6050 检测击打，该模块通过 can 总线与主控 MCU 通信。灯光特效由自制灯板模拟，灯光策略由 MCU 通过串口通信控制。能量机关颜色通过敲击装甲板选取，能量机关旋转方向通过手拨扇叶的幅度和方向选取。

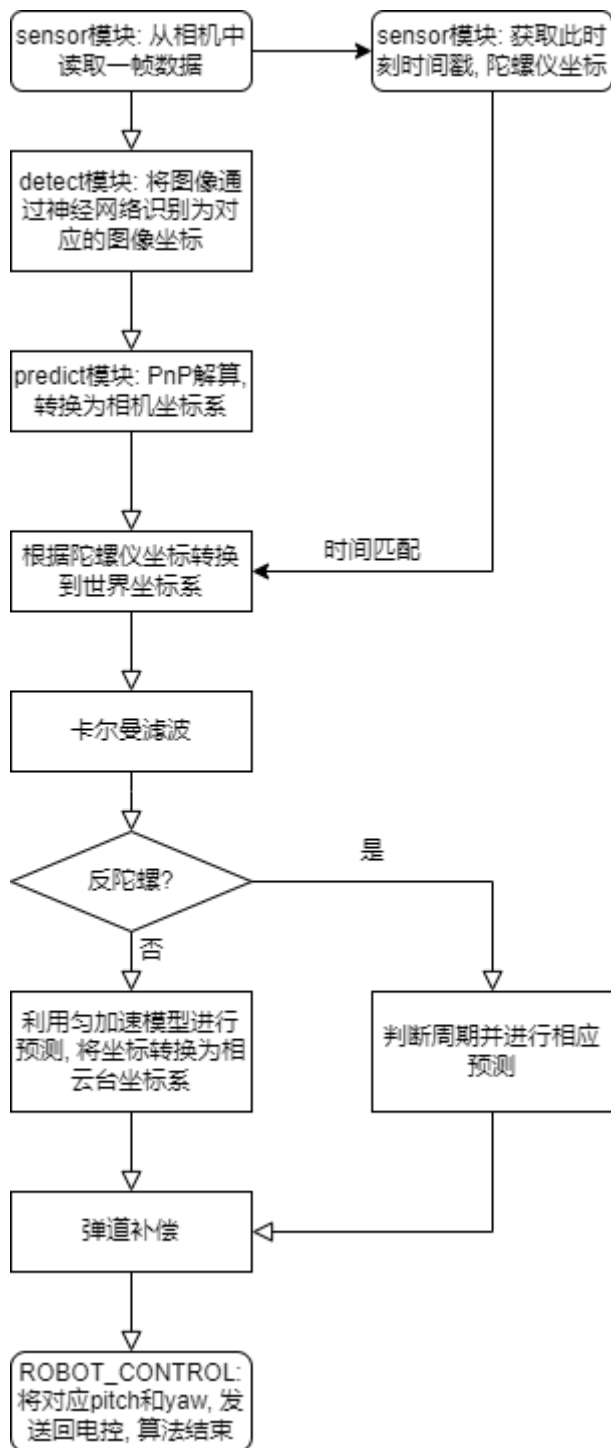
2.4 算法方案

2.4.1 整体架构

整个算法流程主要分为三个部分，sensor, detect 和 predict

- Sensor 主要处理传感器的数据
- Detect 负责识别装甲板

- Predict 进行解算，预测以及弹道计算等后处理步骤



2.4.2 多线程并发库

简要介绍: 采用 ROS 中消息模型的思想, 实现了 Publisher/Subscriber 信息模型, 用于各个模块之间的管道通信, 并且经过包装, 使得调用十分简便, 且线程锁的加入也使整个并发过

程具有良好的线程安全性，可以从容处理各个模块之间来回传输的数据

原理解释:

摘要: 采用了 STL 中的队列 `std::queue<T>` 实现了核心的信息存储，以字符串作为每个收发管道的唯一标识符(以哈希表保存)，从 `Publisher` 中通过 `push(const T&)` 方法传入数据，然后在需要数据的地方声明具有相同标识符的 `Subscriber` 并调用 `pop()` 方法获取数据

详细描述:

创建管道

当使用构造函数 `Publisher<T>(const string&)` 或 `Subscriber<T>(const string&)` 时，查找静态的无序表(`unordered_map<string, weak_ptr>`)，若没有结果，则创建强指针然后返回(指针指向的类型是一个辅助类 `ObjManager`)

绑定到管道

与上一条情况相同，但是如果此时在表中查找到已经存在的管道，则直接将弱指针转换为强指针，然后获得该管道

发布信息

`Publisher::push` 方法

如果管道不为空，使用 `unique_lock` 锁住，然后将信息写入管道，完成之后唤醒其他的锁(在 `Subscriber` 里面的 `condition_variable`)

获取信息

`Subscriber::pop` 方法

使用 `condition_variable` 等待队列不为空，收到唤醒之后使用 `std::queue::pop()` 获取队列的首元素

析构

使用了智能指针中强指针和弱指针并用的方式，在记录进哈希表中时保存弱指针，而建立起与管道连接时使用的是强指针，可以既保留哈希表中对应的地址，又可以保证析构时所有的队列都能够成功释放

清空时会自动销毁队列中的元素

使用示例:

```
// in the first part...

Publisher<std::string> pub("sensor_data");

pub.push("hello");


//in the other part...

Subscriber<std::string> sub("sensor_data");

assert("hello", sub.pop());
```

优点:

使用简单, 无需初始化即可使用, 语法也易于理解, 并且具有可靠的并发能力, 可以在多个线程中互相通讯, 而且也可以实现多个发布多个订阅

缺点:

Publisher 必须在另一边 **Subscriber** 开始进行 **pop()**之前声明, 对于采用主函数中开启多线程的操作会导致捕捉管道失败, 所以需要提前在开启其他线程之前开启发布器的线程

此外, 由于从内部取数据是 **move** 操作, 所以数据只能在进程间拿取一次, 对于需要多方接收统一数据的场景(比如赛场内录)就会需要再次发送, 较为麻烦。

2.4.3 弹道模型

- 为了让后续的能量机关自动发射时机解算更加精确, 我们采用了带空气阻力的弹道模型
- 推导过程:

$$F_{rx} = ma_y$$

$$F_{ry} - mg = ma_y$$

$$F_{rx} = -kv_x, F_{ry} = -kv_y$$

-

$$ma_x = m \frac{dv_x}{dt} = -kv_x$$

-

$$ma_y = m \frac{dv_y}{dt} = -mg - kv_y$$

-

微分方程初始条件:

-

$$t = 0, v_{0x} = v_0 \cos \alpha, v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

-

解出初速度的 **x**, **y** 分量

$$v_x = v_0 \cos \alpha * e^{-kt/m}$$

$$v_y = (v_0 \sin \alpha + \frac{mg}{k}) * e^{-kt/m} - \frac{mg}{k}$$

-
- 再通过位移与速度的微分关系 $dx = v_x dt, dy = v_y dt$

- 解出位移 x, y

$$x = \frac{m}{k} (v_0 \cos \alpha) (1 - e^{-kt/m})$$

$$y = \frac{m}{k} (v_0 \sin \alpha + \frac{mg}{k}) (1 - e^{-kt/m}) - \frac{mg}{k} t$$

-
- 最后联立获得轨迹方程

$$y = (\tan \alpha + \frac{mg}{k v_0 \cos \alpha}) x + \frac{m^2 g}{k^2} \ln(1 - \frac{k}{m v_0 \cos \alpha} x)$$

-
- 考虑到通过确定的 x, y 来计算 t 与 α 会涉及到多次迭代，降低程序效率
- 我们在代码中通过枚举枪口抬起角度 α 与某范围的 x 计算 y 和子弹飞行时间 t
- 计算出多条弹道轨迹后将 α 和 t 保存为一张二维表，考虑到弹道轨迹之间可能存在无法覆盖的空间，我们在两根弹道相邻轨迹之间的进行了二维线性插值，并且在查询弹道表的过程中也使用了二维线性插值。

2.4.4 手眼标定

算法介绍：

算法意在建立完善的机器人坐标系统，打通电控与视觉的联系，并标定相机光心的实际坐标，使得预测器 EKF 有坚实的算法和数据基础。具体表现为，能稳定解算目标在世界坐标系下的位置，机器人移动云台，相机从不同角度拍摄到目标，解算得到的目标在世界坐标系下的位置变换在可接受的范围内。

算法原理：

1、坐标系定义：

Base 系（世界坐标系）：原点在云台的旋转中心（yaw 转轴与 pitch 转轴的近似交点）

云台系（gripper 系）：原点与 base 系重合，到 base 系的旋转矩阵由陀螺仪 imu 解算获得。

相机系（cam 系）：“固定”在云台系上，与云台系的旋转和平移都是定值，是待标定的内容。

2、手眼标定：

手眼标定实际上是求解矩阵方程 $AX=XB$ ，其中 A 是相机（cam 系）前后两次空间变换的其次矩阵， B 是机械臂末端（gripper）系前后两次变换的其次矩阵，通过多次求解该方程即可解出 X 。

在实现上采用 opencv4 的 `calibrateHandEye()` 函数进行求解。

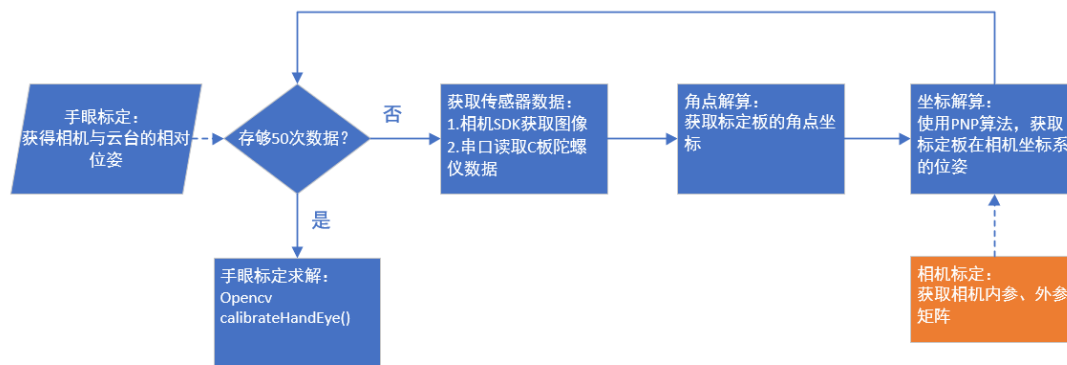
```
$ calibrateHandEye()
void cv::calibrateHandEye ( InputArrayOfArrays R_gripper2base,
                           InputArrayOfArrays t_gripper2base,
                           InputArrayOfArrays R_target2cam,
                           InputArrayOfArrays t_target2cam,
                           OutputArray R_cam2gripper,
                           OutputArray t_cam2gripper,
                           HandEyeCalibrationMethod method = CALIB_HAND_EYE_TSAI
                           )
```

其中：

$R_gripper2base$, $t_gripper2base$ 是云台系（gripper）相对于机器人基坐标系（base）的旋转矩阵与平移向量，平移向量为 0，旋转矩阵由陀螺仪数据计算得到。

$R_target2cam$, $t_target2cam$ 是标定板相对于相机的旋转矩阵和平移向量，由 `SolvePNP()` 运行 PNP 算法结合标定相机标定数据得到。

流程图：

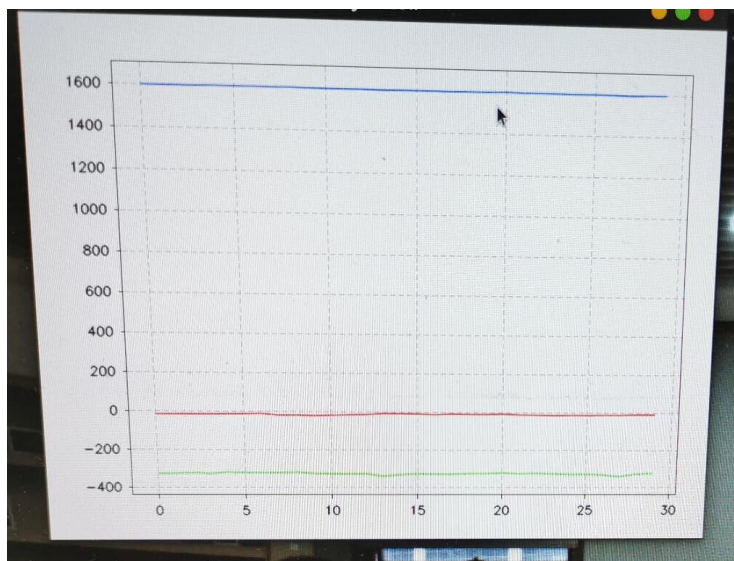


3、坐标转换：

通过 PNP 算法获得装甲板在相机坐标系（Cam）下的位姿（平移和旋转），通过旋转和平移变换解算到云台系（利用 $R_cam2gripper$ 和 $t_cam2gripper$ ），再通过旋转变换解算到 base 系（通过 $R_gripper2base$ 和 $t_gripper2base$ ）。这样，将在 base 系完成对目标的 EKF 跟踪，更具有鲁棒性和可解释性，同时使得目标的位置不受到云台自身运动状态的影响。

算法验证

为了验证算法的效果，我们将机器人底盘固定，并且在其正前方约 1.6m 处固定放置了一块标定板，在持续晃动云台（改变 pitch 和 yaw）的过程中，观察解算的标定板坐标值。其结果如下：



蓝色代表目标解算位置的距离（z 方向位移），红色和绿色分别代表目标解算位置的 x 方向和 y 方向位移。（单位 mm）

可以得出结论，我们的坐标系统和标定方法具有可行性和可以接受的准确性。

2.4.5 大能量机关预测

1. 功能简介:

预测器功能主要分为三部分：坐标解算、参数估计、滤波器预测

1.1 坐标解算

坐标解算部分在开始的时候通过对神经网络得到的特征点做 pnp 解算得到目标的相机坐标，结合从电控读取的 imu 数据转换到云台系，再通过预先标定好的相机系-世界系转换矩阵得到待击打目标在世界系下的坐标。计算旋转中心->装甲板中心的向量，并降维、归一化转化到单位圆上计算旋转角度，与上一次记录的数据比较判断是否切换目标，如果有记录偏置。

经过滤波器之后将预测出的角度量加上偏置，结合弹道模型计算待击打点。

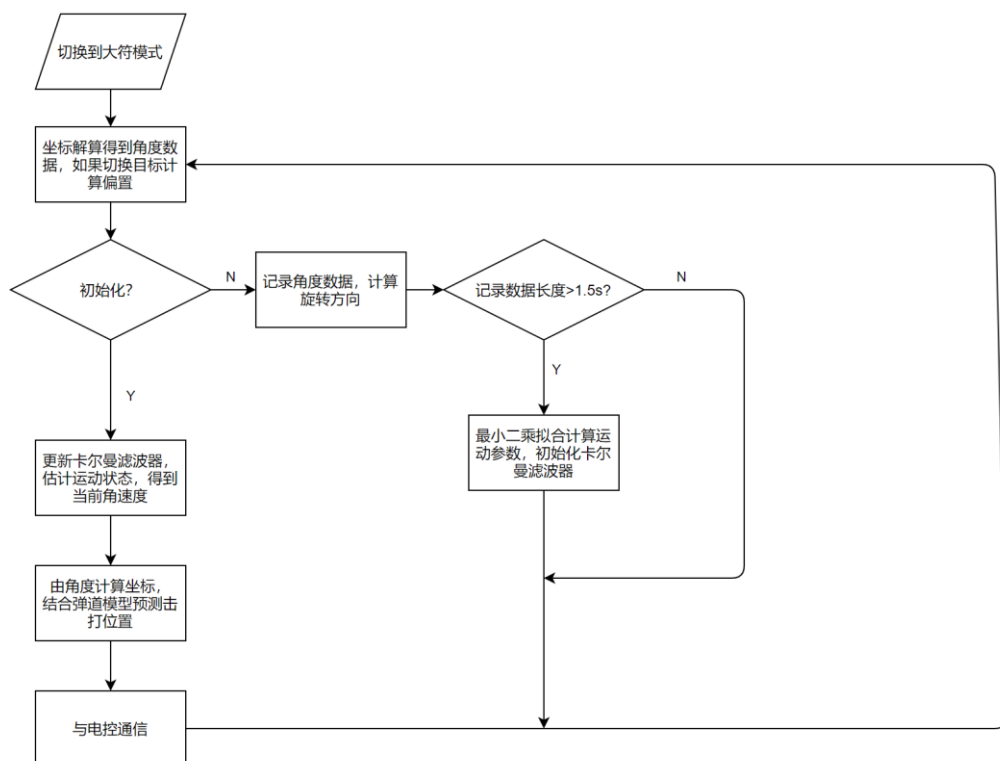
1.2 参数估计

考虑到滤波器收敛时间问题，先对运动参数进行估计，使用估计值初始化滤波器。通过对前 1.5s 采样得到的数据做非线性方程最小二乘拟合，计算旋转运动方程 $spd = a \cdot \sin(wt) + (2.090 - a)$ 中的参数 a, w 和当前时间 t（实际上相当于三角函数的相位 $\phi = wt$ ）。

1.3 滤波器预测

对于非线性的运动方程，使用扩展卡尔曼滤波（EKF）算法跟踪和预测击打点。

1.4 预测器流程图



2. 重要算法原理阐述

2.1 非线性方程最小二乘法拟合—LM 算法

对于非线性的运动方程，使用扩展卡尔曼滤波（EKF）算法跟踪和预测击打点。

LM 算法本质上就是在 Gauss-Newton 法的基础上添加了一个惩罚项，用信赖域法求解惩罚因子。该算法的主要思想是通过惩罚因子来调节步长。

迭代公式如下：

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{x}_k + (\mathbf{H} + \alpha \mathbf{I})^{-1} \mathbf{G}$$

其中 \mathbf{H} 为多维向量的 Hessian 矩阵，近似计算公式为 $\mathbf{H} = \mathbf{J}^T \mathbf{J}$ ， \mathbf{J} 为雅可比矩阵，可以通过解析法或数值法求取； \mathbf{G} 为多维向量的一阶梯度。

当下降太快时使用较小的 α ，使整个公式接近高斯牛顿法；当下降太慢时使用较大的 α ，使整个公式接近梯度法。

算法伪代码如下：

Input: A vector function $f : \mathcal{R}^m \rightarrow \mathcal{R}^n$ with $n \geq m$, a measurement vector $\mathbf{x} \in \mathcal{R}^n$ and an initial parameters estimate $\mathbf{p}_0 \in \mathcal{R}^m$.

Output: A vector $\mathbf{p}^+ \in \mathcal{R}^m$ minimizing $\|\mathbf{x} - f(\mathbf{p})\|^2$.

Algorithm:

```

 $k := 0; \nu := 2; \mathbf{p} := \mathbf{p}_0;$ 
 $\mathbf{A} := \mathbf{J}^T \mathbf{J}; \epsilon_{\mathbf{p}} := \mathbf{x} - f(\mathbf{p}); \mathbf{g} := \mathbf{J}^T \epsilon_{\mathbf{p}};$ 
stop:=( $\|\mathbf{g}\|_{\infty} \leq \varepsilon_1$ );  $\mu := \tau * \max_{i=1, \dots, m} (A_{ii});$ 
while (not stop) and ( $k < k_{max}$ )
     $k := k + 1;$ 
    repeat
        Solve  $(\mathbf{A} + \mu \mathbf{I}) \delta_{\mathbf{p}} = \mathbf{g};$ 
        if ( $\|\delta_{\mathbf{p}}\| \leq \varepsilon_2 \|\mathbf{p}\|$ )
            stop:=true;
        else
             $\mathbf{p}_{new} := \mathbf{p} + \delta_{\mathbf{p}};$ 
             $\rho := (\|\epsilon_{\mathbf{p}}\|^2 - \|\mathbf{x} - f(\mathbf{p}_{new})\|^2) / (\delta_{\mathbf{p}}^T (\mu \delta_{\mathbf{p}} + \mathbf{g}));$ 
            if  $\rho > 0$ 
                 $\mathbf{p} = \mathbf{p}_{new};$ 
                 $\mathbf{A} := \mathbf{J}^T \mathbf{J}; \epsilon_{\mathbf{p}} := \mathbf{x} - f(\mathbf{p}); \mathbf{g} := \mathbf{J}^T \epsilon_{\mathbf{p}};$ 
                stop:=( $\|\mathbf{g}\|_{\infty} \leq \varepsilon_1$ ) or ( $\|\epsilon_{\mathbf{p}}\|^2 \leq \varepsilon_3$ );
                 $\mu := \mu * \max(\frac{1}{3}, 1 - (2\rho - 1)^3); \nu := 2;$ 
            else
                 $\mu := \mu * \nu; \nu := 2 * \nu;$ 
            endif
        endif
    until ( $\rho > 0$ ) or (stop)
endwhile
 $\mathbf{p}^+ := \mathbf{p};$ 

```

在实现上,使用 C++的矩阵库 Eigen3 完成基本的矩阵运算,使用数值法求解雅可比矩阵。

2.2 拓展卡尔曼滤波

2.2.1 算法介绍

卡尔曼滤波是一种已知系统数学模型,通过系统实际输入输出数据,将预测值和实际观测值进行数据融合,对系统状态做出最优估计的算法。

扩展卡尔曼滤波(Extended Kalman Filter, EKF)是标准卡尔曼滤波在非线性的情形下的一种扩展形式,它是一种高效率的递归滤波器(自回归滤波器)。EKF的基本思想是利用泰勒级数展开将非线性系统线性化,然后采用卡尔曼滤波框架对信号进行滤波,因此它只具有一阶精度,是一种次优滤波。

2.2.2 算法流程

状态转移方程:

$$\mathbf{x}_k = f(\mathbf{x}_{k-1}) + \mathbf{u}$$

观测方程:

$$\mathbf{y}_k = h(\mathbf{x}_k) + \mathbf{v}$$

\mathbf{u}, \mathbf{v} 为过程噪声和观测噪声

将方程线性化

$$\begin{aligned}x_k &= F_{k-1}x_{k-1} + u \\y_k &= H_kx_k + v\end{aligned}$$

F , H 为 f 和 h 的雅可比矩阵

由此得到 EKF 算法预测和更新两个步骤:

预测:

$$\begin{aligned}x_p &= Fx_e \\P &= FPF^T + Q\end{aligned}$$

更新:

$$\begin{aligned}y_p &= Hx_p \\K &= PH^T(HPH^T + R)^{-1} \\x_e &= x_p + K(y - y_p) \\P &= (I - KH)P\end{aligned}$$

式中 Q 为状态转移误差协方差矩阵, R 为观测误差协方差矩阵, 无下标量为观测量, 下标 p 表示预测量 (predict), 下标 e 表示滤波后的估计量 (estimate)。

在实现上, 使用 C++ 的矩阵库 Eigen3 完成基本的矩阵运算, 使用解析法求解雅可比矩阵。

2.2.3 预测器使用的数学模型

状态转移方程:

$$\begin{aligned}a_{k+1} &= a_k \\w_{k+1} &= w_k \\spd_{k+1} &= a_k * \sin(w_k * t_k) + (2.090 - a_k) \\t_{k+1} &= t_k + \Delta t \\re_{k+1} &= re_k * \cos(spd_k * \Delta t) - im_k * \sin(spd_k * \Delta t) \\im_{k+1} &= re_k * \sin(spd_k * \Delta t) - im_k * \cos(spd_k * \Delta t)\end{aligned}$$

观测方程:

$$\begin{aligned}re &= re \\im &= im\end{aligned}$$

re, im 分别为装甲板在单位圆上的实部和虚部

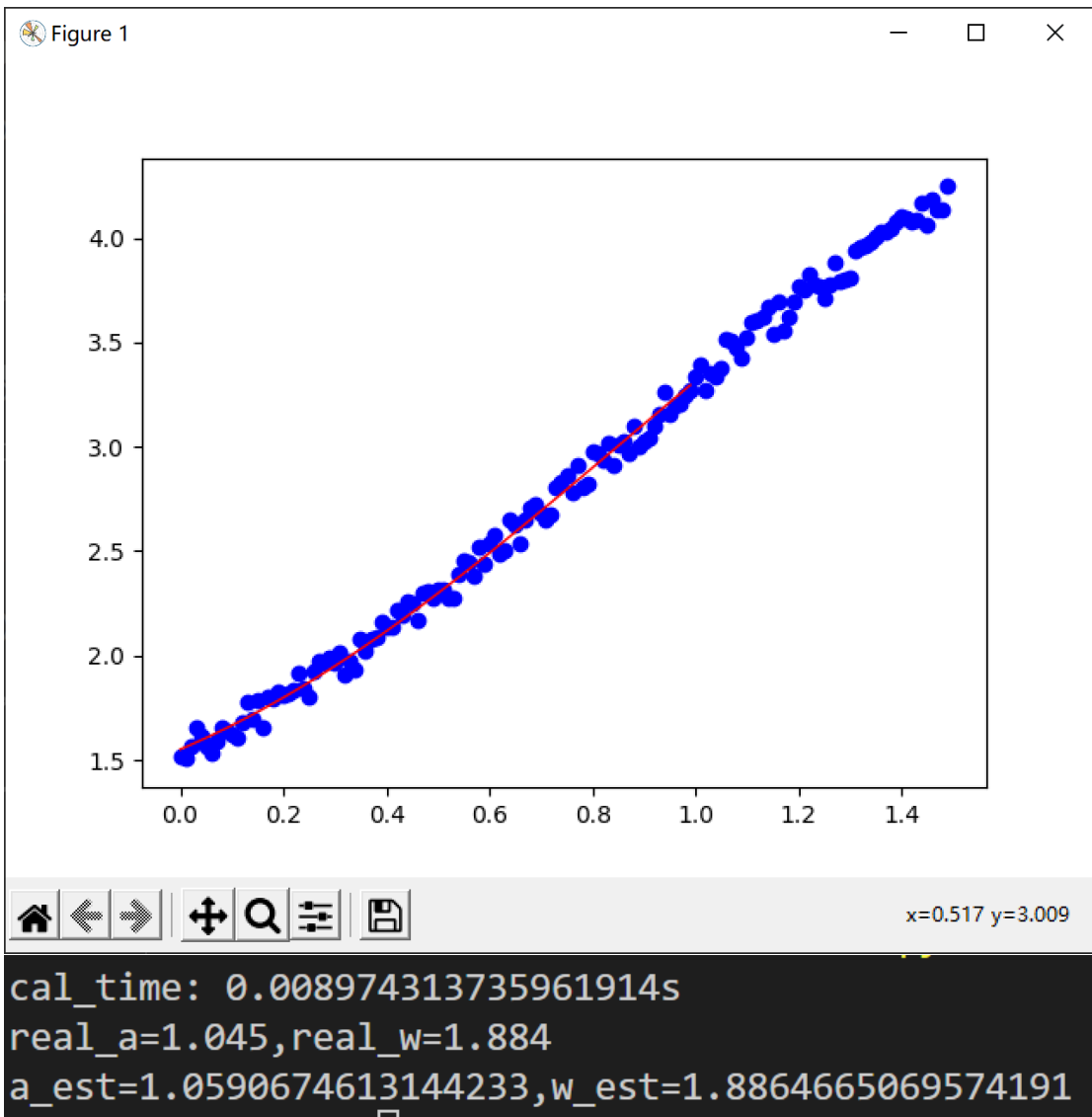
值得注意的是, 由于 EKF 只具有一阶精度, 所以在最后两个方程中角度变化用 $spd * \Delta t$ 来近似表示而没有采用积分的方式。经测试, 所用状态转移方程与积分表示的方程滤波效果无明显差异, 且雅可比求解更加简单

3. 算法性能与结果展示

3.1 运动方程参数估计

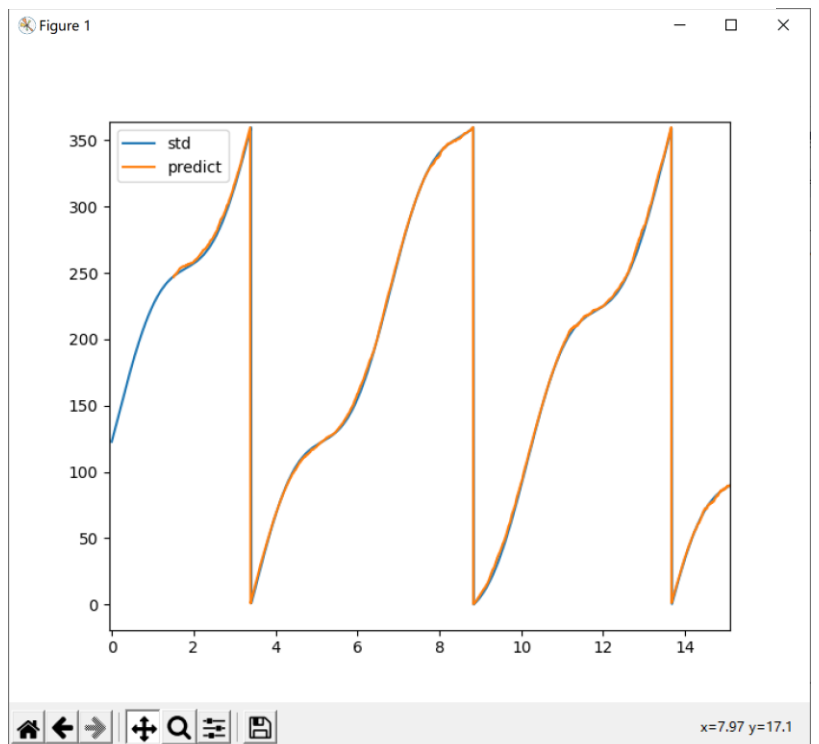
蓝色为采集到的角度数据, 红色为最小二乘估计得到的函数曲线。

计算时间在 0.01s 以内; 参数准确度: 幅值误差 ± 0.05 , 频率误差 ± 0.01 ; 使用拟合的参数初始化滤波器, 收敛时间在 0.1s 以内。



3.2 卡尔曼滤波跟踪和预测性能

蓝色为实际角度数据，黄色为使用滤波得到的状态量估计值预测 1s 以后的角度，误差在 $\pm 2^\circ$ 以内，结果如下



可以得出结论，算法具有较好的预测性能。

2.5 测试方案

2.5.1 17mm 发射机构测试

Robomaster 作为以射击为主的机器人竞赛，发射机构的性能决定着机器人赛场上的输出能力，是衡量机器人性能的重要指标。稳定准确的发射机构是赛场上克敌制胜的法宝。而通过步兵、哨兵、无人机甚至英雄机器人上的 17mm 发射机构发射 17mm 小弹丸，是赛场上最基本也是最重要的输出手段，且具有射速高、高速连发与单发兼具等特点。

目前主流的 17mm 发射机构为摩擦轮发射，以聚氨酯为摩擦轮外圈材料，通过一对高速反向旋转的摩擦轮将弹丸挤压并射出。很多队伍已经经过长时间的研发、测试和迭代，总结出一套较完整的 17mm 发射机构技术体系，以保证机器人在赛场上强悍稳定的输出能力。影响摩擦轮发射机构的因素众多，因此其研发和测试是必要且长期的。

本赛季针对之前发射机构研发中实际经验较少且技术薄弱的环节进行了一系列测试并制定了详细的测试方案，最终在一学期内完成三轮测试，对发射机构性能的影响因素有了更深的理解，同时得到基本满足性能需求的方案设计。（下述“重点问题解决”中附测试记录与改进方案）

2.5.1.1 发射机构需求分析

发射机构

弹舱容量	合盖 250 发
射频	稳定单发，连发最高 25Hz 流畅拨弹，射频可调
射速	15、18、30 射速和各射频下射速稳定，不超弹速
命中率	8m 小装甲 100%命中
稳定性	发射机构刚度、装配精度达标
维护	电机和摩擦轮的更换难度较低

2.5.1.2 摩擦轮发射机构性能的影响因素分析

经过之前的发射机构研发和测试，我们初步认为影响聚氨酯摩擦轮发射机构性能的主要有以下几个关键因素：

- 摩擦轮形状、硬度、间距、转动惯量
- 两摩擦轮定位和装配精度
- 摩擦轮承载机构的刚性
- 弹丸接触摩擦轮时的初始状态（速度、位置）
- 弹丸中心与炮管轴心是否重合

其余影响因素有：

- 单发限位装置对弹丸的作用
- 弹丸通过摩擦轮以后受到的阻力（包括炮管的约束、弹丸与发射机构炮管及测速模块内壁的摩擦与碰撞）
 - 测速模块固定方式与同轴度
 - 弹丸新旧程度、磨损情况
 - 炮管内壁的摩擦系数
 - 拨弹机构、供弹方式

由于测试成本和时间有限，我们将上述影响因素按影响程度从重到轻划分为三个优先级，重点测试优先级高的影响因素，并制定了初步的测试方案：

优先级	影响因素	测试方案
一	摩擦轮形状、硬度、间距、转动惯量	摩擦轮形状：圆柱型、U 型 硬度梯度：50/55/60/65 摩擦轮最小间距：13.5/13/12.5/12 摩擦轮转动惯量：增厚内芯、钢制内芯
	两摩擦轮定位和装配精度	利用 3508 电机 $\Phi 28.6$ 凸台定位
	摩擦轮承载机构的刚性	增加板材厚度、改善结构
	弹丸接触摩擦轮时的初始状态（速度、位置）以及弹丸中心与炮管轴心是否重合	使单发限位同时具有约束弹丸位置的功能，尝试上下二轴承、方形对角四轴承、等边三角形弹簧拨珠顶丝等限位方式

二	弹丸通过摩擦轮以后受到的阻力（包括炮管的约束、弹丸与发射机构炮管及测速模块内壁的摩擦与碰撞）	对比测试不同炮管内径对弹丸散布的影响，改善弹丸内壁光滑度，对比无枪管和长枪管发射的弹丸散布，加强测速模块的固定强度，使其更加稳固；对比测速模块安装前后弹丸散步区别判断是否与测速内壁碰撞
	测速模块固定方式与同轴度	炮管伸出一段圆管（与炮管一同加工保证同轴），将测速模块套于其上并夹紧
三	单发限位装置对弹丸的作用	如上一级需求所述，采用不同限位方式使弹丸与炮管同轴心，重点对限位与摩擦轮的间距作梯度对比测试
	弹丸新旧程度、磨损情况	将弹丸按新旧程度分为三等，进行对比测试
	炮管内壁的摩擦系数	对内壁精细打磨或润滑
	拨弹机构、供弹方式	将本队自研的拨弹机构与已有优秀开源做对比测试，分析各自优劣并进行改进 上供弹与下供弹同时测试，使其均满足需求

2.5.1.3 测试方案

第一轮测试主要进行第一版测试方案的编写，调研赛场上性能优异的发射机构设计及关键尺寸，初步确定需要测试的设计方案、第一版测试架和测试靶的制作以及第一版测试方案实施。本轮测试主要对“弹丸位置与摩擦轮接触的初始状态对发射散布有较大影响”这一猜想作验证，主要思路是通过单发限位约束弹丸位置于理想位置，以下是测试方案确定前的分析过程。

我们认为，单发限位装置除了对弹丸施加向前的阻力以达到单发效果外，其对小弹丸的影响还体现在以下两个方面：当小弹丸与单发限位装置保持接触时，其给小弹丸的作用力对小弹丸在炮管中的位置（是否同轴）影响较大。小弹丸与摩擦轮接触时，弹丸自身的重力远

小于摩擦轮所施加的摩擦力，可以忽略不计。但单发限位对小弹丸的作用力较大，不可忽略。综上两个因素，我们得到初步结论：单发限位应尽量约束弹丸中心与炮管轴心重合以降低与炮管或测速模块摩擦的概率，同时对小弹丸的作用力适中且在小弹丸与摩擦轮接触的同时脱离单发限位。

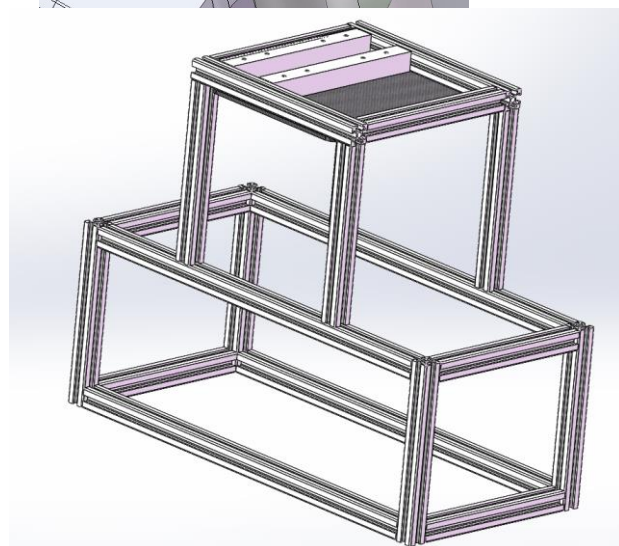
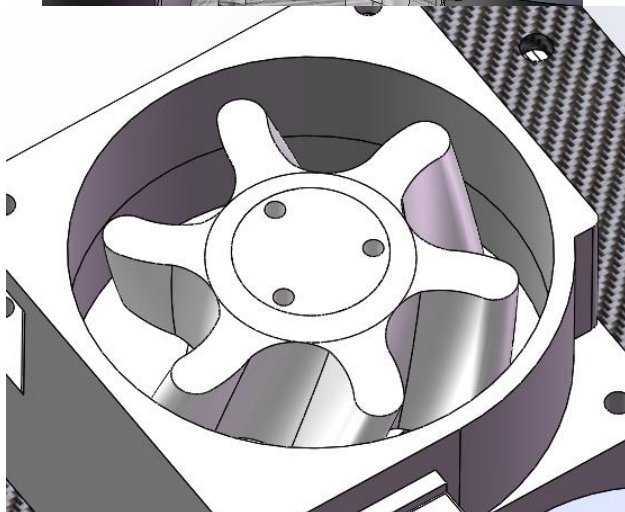
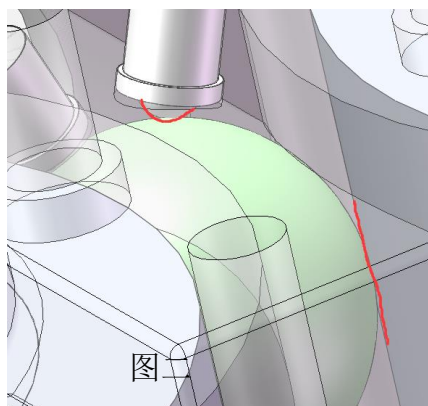
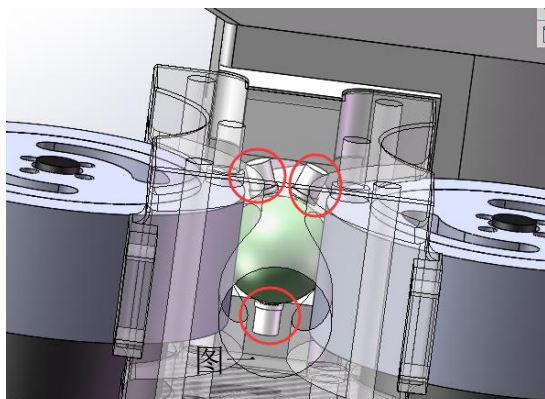
以上述对发射机构设计的分析为出发点，我们第一版测试方案中单发限位采用三个内嵌于炮管内壁的弹簧拨珠对弹丸进行定心，如图一所示。同时通过图纸几何关系约束，调整单发限位的位置使弹丸脱离其约束时恰好接触摩擦轮。此外，我们使一对摩擦轮相对于炮管的轴线中心对称布置，以保证摩擦轮与小弹丸接触发生形变时，对小弹丸的挤压力相互抵消，尽可能使弹丸所受合力沿炮管轴线方向。

为满足高射频需求，采用六爪螺旋状双层拨弹，如图三所示。

测试架采用 20*20 铝型材搭建。测试架顶部为测试平台，安装测试的发射机构，并用碳板和铝方管加固提高刚性。测试架底部放置重物（图中未画出）来保证发射测试时测试架的稳定。如图四所示。

为保证摩擦轮电机安装板的刚度和两摩擦轮的定位精度，使用 5mm 玻璃纤维板安装摩擦轮电机，并利用电机底部的 $\Phi 28.6$ 凸台定位。

第一轮测试发射机构设计如图五所示。



图三

图四

第一轮测试发射机构

单发限位

弹簧拨珠三点限位

炮管

内径18mm, 无枪管

摩擦轮

聚氨酯摩擦轮60硬度, 最小间距13mm, 外径60mm, 铝芯
一对摩擦轮相对炮管轴线中心对称

拨弹

六爪螺旋状双层拨弹

图五

摩擦轮电机

安装于5mm玻璃纤维板上, 利用电机底部凸台定位

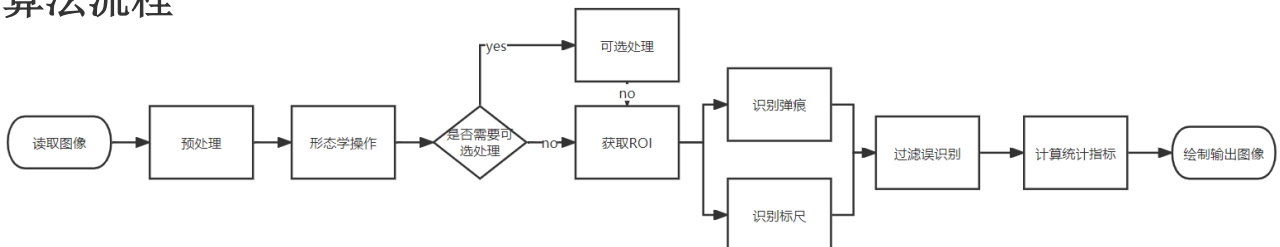
测试重点观察单发限位装置对弹丸的实际作用效果、观察摩擦轮磨损状况、观察弹丸左右散布及上下散布、统计命中率。

2.5.1.4 分析统计命中率及弹丸散步的视觉工具

基本思想

通过传统视觉算法识别出每个弹痕，根据弹痕的位置、面积等统计出小弹的散布信息。

算法流程



优缺点分析

优点

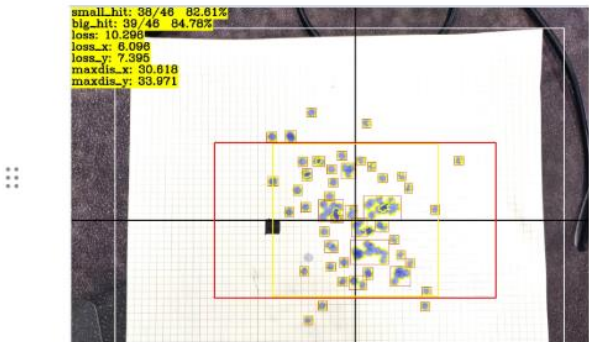
- 统计指标较全面，可以用于从多方面分析射击质量
- 对于直方图均衡化等额外图像处理手段，提供了可选参数接口，使用时可以根据需要指定
- 根据识别到的标尺来计算相对大小，可以避免照片分辨率不同对程序的干扰
- 使用面积比例方式估算粘连弹痕的实际数目，避免了弹痕粘连时的统计错误

缺点

- 鲁棒性不够强，拍摄的图像较清晰才能正常工作
- 弹痕粘连过于严重时无法正确统计

具体效果可见测试结果分析：

日期：1月10日 弹速：30m/s 射频：高 摩擦轮：55（钢芯） 炮管：原炮管
PID：34 23 0.30 1.03 电机输入7200，速度27~28



可能影响因素：摩擦轮种类，以下改变摩擦轮继续进行测试（PID参数相同）

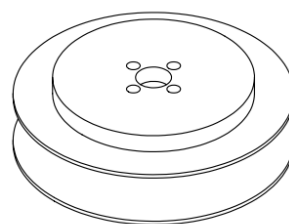
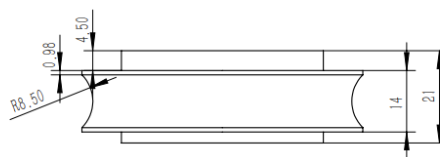
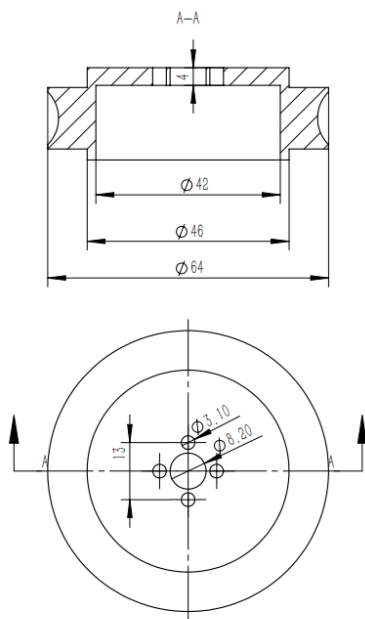
2.5.1.5 测试总结及图纸

测试结果总结如下表：

摩擦轮 形状	直型	直型	U 型	U 型	直型	U 型
摩擦轮 硬度	60	50	55	55	55	55
摩擦轮 间距	13					
摩擦轮 内芯	铝芯	铝芯	铝芯	铝芯	钢芯	铝芯

摩擦轮 转速	4600/8100	4600/6900	4600/7450	4600/7450	4600/8100	4600/7450
单发限位	上下轴承 左右凸台限位	凸台限位	4 凸台限位	4 凸台限位	4 凸台限位	上下轴承 左右凸台限位
炮管内 径	19mm	19mm	19mm	21mm	21mm	19mm
拨弹， 转速	六爪螺旋，6600/3960					
枪管	短枪管	短枪管	短枪管	无	无	无
装甲 板命 中率	(8m 30m/s 小 /大装甲板) 2Hz: 93.89%/95.42% 高频: 95.42%/98.47%	小装甲 板: 84.31% 大装甲 板: 97.52% (8m 30m/s)	(8m 30m/s 小 /大装甲板) 2Hz: 98.08%/99.31% 高频: 94.00%/99.44%	(8m 30m/s 小 /大装甲板) 2Hz: - 92.30%/98.81% 高频: - 94.23%/98.26%	小装甲 板: 82.61% 大装甲 板: 84.76% (8m 30m/s)	(8m 30m/s 小/大装甲 板) 2Hz: 99.85%/100% 高频: 99.31%/100%
弹速 是否 稳定	27-28m/s, 较稳定	27- 28m/s, 较稳定	29.4- 30.0m/s, 较 稳定	29.4- 30.0m/s, 较 稳定		29.4- 30.0m/s, 较稳定
射频 是否 稳定		较为稳 定, 偶尔 卡弹	偶尔卡弹	偶尔卡弹		较为稳定, 偶尔卡弹

摩擦轮图纸：



铝芯，包胶硬度55，2个

3. 项目进度复盘

以下为赛季规划期间提出项目进度规划：

时间	项目
11.1~11.30	设计制作步兵底盘，设计制作发射机构测试系统
12.1~1.20	跟据测试结果设计制作第一代整车，进行飞坡和激活能量机关调试
1.21~2.14	根据测试结果分析问题，优化设计，制作第二代机器人
2.15~3.15	继续调试，操作手训练，根据实际操作进行结构、控制、视觉上的优化
3.16~单项赛	编写检修手册，维护车辆，飞坡、激活能量机关进一步优化，操作手训练

实际上，在 1 月 20 日前，第一代机器人整车装配基本完成，但未进行电控调试以及激活能量机关测试。原因是未能把握好发加工时间，铝加工件未能及时发货，导致整体装配进度延后 5~7 天。装配后仅在遥控器模式下测试了飞坡功能。

由于深圳市疫情导致延迟返校，导致进度延后，直至五月份才完成二代车装配，开始调试。导致区域赛前操作手未能有足够的时间进行训练，在区域赛前的飞坡功能也未能保证稳定实现。区域赛单项赛中，得益于经验丰富的老操作手，稳定的 5 发能量机关激活，我们成功取得了晋级国赛的资格。

区域赛结束后，我们对机器人进行了部分优化，飞坡姿态的问题得到解决。同时解决了超级电容容量不足、加速启动车身偏向等一系列问题，操作手也能按照计划正常进行训练。

对于机器人的设计来说，在赛前仔细斟酌考量是必须的，但同时也应注意不要过分纠结。先做出合乎总体设计要求的测试版机器人，也就是一代车，从而在实际测试中验证猜想，发现更多关键问题，更有利于进度推进。而对于发加工问题，一些加工周期较长的零部件，比如铝加工件，应注意预留时间，选择合适的加工商，也可尽量提前完成其设计首先加工。减少发加工带来的过长的进度延后。

应对突发事件、不可抗力，如春季学期开学前的疫情，应当灵活应对。疫情期间无法返校，在对机器人设计的时候就应充分考虑，提前设计好，多在线讨论方案，发现问题，避免回校后改错浪费时间。同时将需要购买的物资提前统计，在回校前购买，也可节省加工以及运输过程的时间。

4. 赛季人力安排复盘

4.1 团队架构设计

以下为赛季规划中的团队架构设计：

角色	职责职能描述	人员要求	人数
组长兼主力机械设计人员	统筹安排整个步兵组各项目负责人员的任务，组织管理整组以实现整组的正常运作；对步兵机器人进行机械设计、绘制、迭代、完善	要求大二级以上有较强的组织管理能力，对相关技术有深入、全面的了解和掌握，熟练掌握solidworks绘图和机械设计，最好有比赛经验的正式队员	1 人
电控组成员	主要负责步兵机器人底层控制逻辑编写、机器人及环境数据的采集处理，实现机器人基本运动和特殊功能，同时要负责机器人主控板、功能拓展板设计及电气和通信线路的铺设，为步兵机器人的电子设备控制提供完整解决方案	要求大二及以上具有软件设计、算法设计能力，能独立完成控制方案设计与执行，最好是有比赛经验的正式队员。	2-3 人
测试组成员	设计并测试不同方案的准确度和可行性，并对数据进行分析从而对机器人优化	要求有创新思维，记录数据严谨且细心；且有独立提出、设计和实现测试方案的能力	2 人
主要装配人员	主要负责步兵机器人的拆装和修缮	熟练使用各类加工装配工具	1 人

角色	职责职能描述	人员要求	人数
梯度队员	增加对赛事和相关技术的了解，并承担一定的步兵组任务，辅助主力队员完成机械结构装配、测试等工作	要求掌握基本加工能力，熟悉机器人硬件以及布线，具有一定的技术基础，并且有深入学习的耐心和热情	3—5 人

实际备赛期间，我们根据规划进行人力安排，效果较好。在执行方面，对于新成员，应当将任务分配尽可能细化，并落实到每个人身上。应当给予明确的引导，提高积极性，在实际装配、调试中传授经验，帮助新队员尽快理解设计思维，获得独立发现、分析、解决问题的能力。

4.2 团队建设

本赛季团队建设流程包含以下多方面内容：

● 团队架构分工

在团队架构分工方面，我们本赛季最大的问题在于主力队员单薄，整体队伍体量大，但很多研发任务无人推进的情况。与目标相比，缺少强有力的主力研发队伍，许多任务仍旧依靠顾问推进，造成了赛季后期职责划分不清晰，分工混乱，管理无法照常进行的局面。

典型的完全沿用过去的管理体系，与当前的队伍体量完全不相符，导致了在赛季前期和中期，尽管完全按照赛季规划的步骤进行分工管理，但无法取得预设成果。后期受疫情影响研发进度全部停滞，队伍管理趁此时进行及时改进，去除所有负责人的管理任务，主力队员只负责研发，其他管理制度与任务分配由队长和项管直接对接，才在分区赛最后一个半月内效率得到巨大提升。

● 团队人员招募

新队员招募方面，我们取得了建队以来前所未有的好势头，超量达成赛季初的人员招募目标。尽管新队员在这一年中的表现水平良莠不齐，但无论是留下负责下一赛季研发的人员数量，还是下一届主力总体水平，都因大基数的新队员数量而有了强有力的保障。

● 团队人员培训

培训方面，我们实现了建队以来首次系统化培训流程。每轮培训都制定了较好的课程安排和考核目标，由顾问录制相关视频，不同的队员负责讲解，带领大家到实验室实地感

受备赛时会遇到的问题，以便新队员更好地融入比赛氛围，并全程记录了培训过程。

但在后期与新队员的配合中，仍旧能感受到由于一开始的培训不够全面而造成的诸多问题，例如培训讲解与考核不够全面，0 基础的队员在面对实际问题时依旧不知所措。此外，在进队后，由于缺乏引导与培养，导致不少新队员人浮于事，并没有真正参与进来，从而造成了人员流失。

总的来说，完成了进队前培训流程的规范化，但内容依赖于培训主讲人，没有预设好比较全面的培训范围；此外，进队后没有主力队员身体力行地引导，导致不少人边缘化。

● 团队文化建设

我们的团队文化建设，主要依赖于定期的团建、各类小型活动，备赛期间的沟通，工位安排，以及队内合作等方式。在这个赛季，我们基本完成赛季初要求的团队文化建设，构建了较好的文化交流氛围，杜绝了闭门造车的现象。

5. 预算复盘

5.1 资金花销复盘

以下为赛季规划中的预算估计：

类目	子类目	费用	说明
研发耗材	机械部件	6500	数量：1 费用估算逻辑：包含整车机械部件费用以及备用件费用
	硬件相关	13500	费用估算逻辑：机器人的制作需要迭代；场上突发情况导致零件损毁需要更换备用件
	工具相关	3000	工具多为往届队员遗留，需求较小
比赛差旅	餐饮费用	2000	仅考虑单项赛参赛队员
	住宿费用	1500	仅考虑单项赛参赛队员
	租车费用	600	货拉拉

实际上机械部分，由于总共制作了两版车，实际花销接近预算估计的两倍。而工具相关费用花销约 2000 元。

5.2 成本控制与管理

在机械结构设计中，要求设计者对材料性质、加工难度、加工精度等方面有深刻的理解。一般来说更强的性能、更高的加工难度和精度往往会带来更高的成本。在关键设计部分精益求精，在其他地方合理把控。同时，除了标准件外，也可设计广泛使用的成品件，例如两面连接件、电机联轴器等，可适配不同机器人，多次使用。此外，于机械结构、电机及其他硬件设施，定时维护检修、做好必要的保护保养处理从而减少损坏，也是控制成本的必要举措。

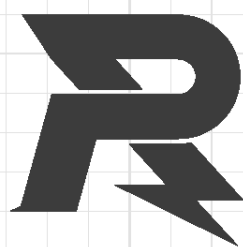
队伍应当建立系统的报销流程，对于千元以上金额较大的订单需经过更严格的审核。同时也要和其他队伍以及各个加工商加强交流，寻找合适的加工选择，购买价格合理，品质更优的耗材。

6. 技术方案参考文献

- [1].RoboMaster 2021 青年工程师大会答辩 哈尔滨工业大学（舵轮步兵部分）
- [2]. RoboMaster2021 技术交流活动 哈尔滨工业大学 步兵机器人 开源报告
- [3].哈尔滨工业大学 竞技机器人队 金子旭《结构设计的逻辑思维》
- [4]. RoboMaster2021 技术交流活动 华南理工大学 步兵机器人 开源报告
- [5].RoboMaster 创梦之翼战队自瞄系统设计
- [6].广东工业大学 DynamicX 机器人队 开源报告 rm-controls

附录 学术创新成果

内容	性质	是否发布
小弹测试数据记录	测试数据	未发布
框架 FreeRTOS	技术文档	未发布
2022 电控框架说明（C 语言版）	技术文档	未发布
框架初始化流程与层级结构	说明文档	未发布
小地图坐标绘制测试	测试结果记录文档	未发布
视觉 Com 通信模块	技术文档	未发布
Predict_run	技术文档	未发布
Location_alarm 说明文档	说明文档	未发布
Draw_map 说明文档	说明文档	未发布



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