



Using a 32-bit motor driver chip and Field-Effect Transistors (FETs), the RoboMaster C200 Brushless DC Motor Speed Control enables precise control over motor torque.

Exclusively designed for the RoboMaster M1024 P18 Brushless DC Motor Driver and C200 Brushless DC Motor Speed Controller, this M1024 Assembly Kit includes several wheels and a terminal board.

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

The M1024 Assembly Kit includes several cables and a terminal board, ensuring a complete assembly system when for the RoboMaster Robot.

ROBOMASTER 超级对抗赛

技术报告

华南农业大学 Taurus 编制

2022年09月 发布

目录

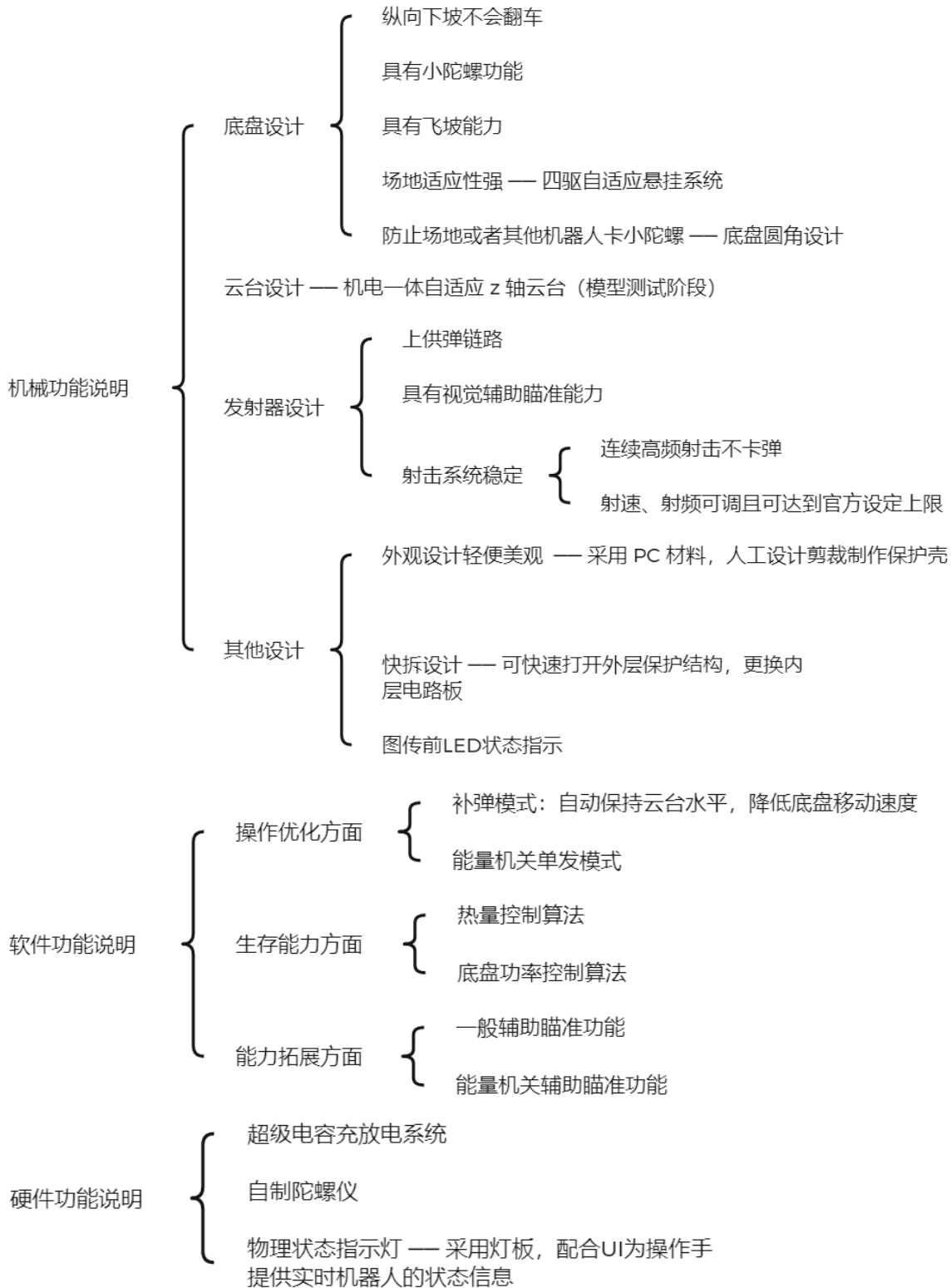
1. 步兵功能综述	4
1.1 步兵功能总览	5
1.2 其它学校步兵机器人分析综述	7
1.2.1 华南理工大学步兵分析	7
1.2.2 哈尔滨工业大学步兵分析	8
1.2.3 深圳大学步兵分析	8
2. 机器人核心参数	9
2.1 机械结构参数	9
2.2 机器运动参数	9
2.1 嵌入式硬件参数	9
2.2 传感器介绍	10
2.3 执行器件介绍	10
2.4 MiniPC 介绍	11
3. 设计方案	13
3.1 机械结构设计	13
3.1.1 底盘结构设计方案	13
3.1.2 云台结构设计方案	18
3.1.3 发射器结构设计方案	19
3.1.4 硬件设备安装与走线	21
3.1.5 核心零件仿真分析与设计优化	23
3.2 嵌入式硬件设计	25
3.2.1 核心板及底板设计介绍	25
3.2.2 单板硬件说明	27
3.2.3 超级电容方案设计	28
3.3 嵌入式软件设计	33
3.3.1 系统架构	33
3.3.2 程序流程	33
3.3.3 重点功能	39
3.3.4 陀螺仪软件设计	42

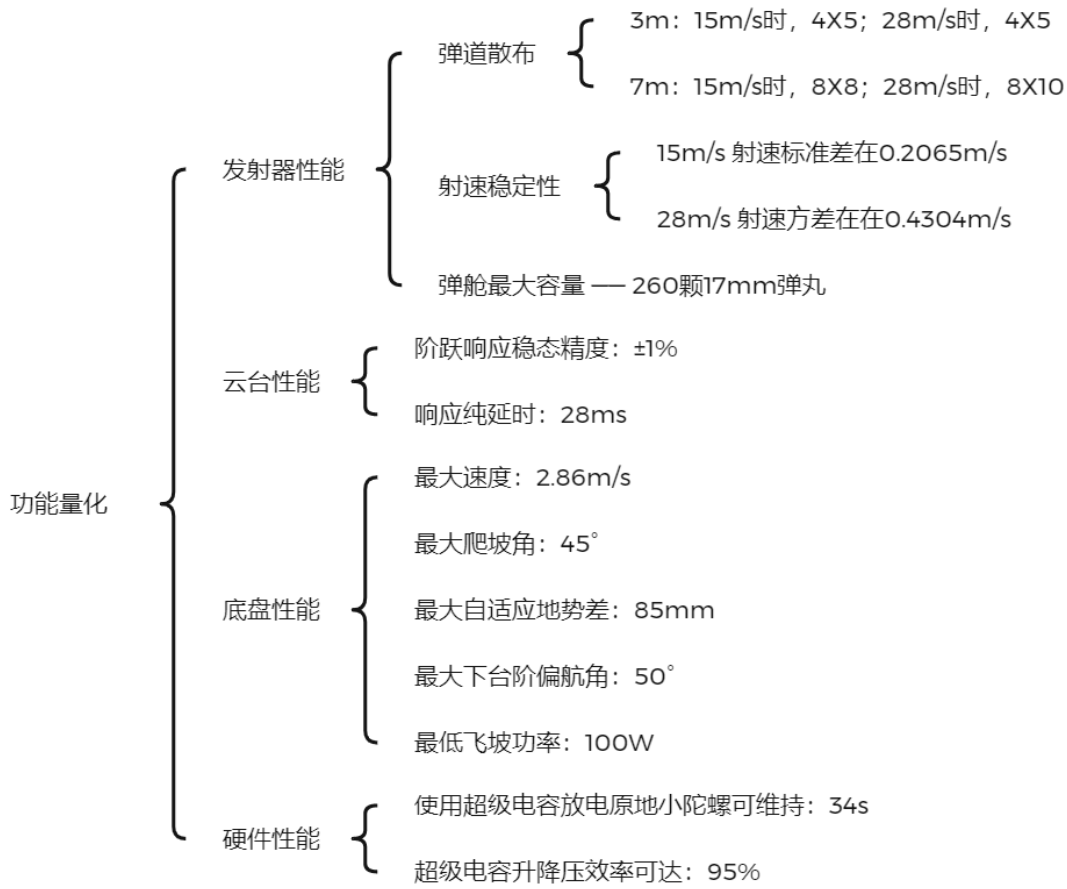
3.4	视觉算法设计	45
3.4.1	辅助瞄准算法	45
3.4.2	能量机关辅助瞄准算法	51
3.5	自动步兵算法设计	54
3.5.1	自动步兵硬件框图	54
3.5.2	自动步兵通讯协议	55
3.5.3	系统架构	56
3.5.4	定位算法	57
3.5.5	导航算法	57
3.5.6	决策算法	58
3.5.7	视觉检测算法	59
3.5.8	雷达视觉定位算法	60
3.6	人机交互设计方案	61
3.6.1	自定义 UI 界面	61
3.6.2	半自动化的设计	62
3.7	保护壳设计方案	62
4.	研发迭代记录	65
4.1	机械设计	65
4.1.1	底盘版本迭代过程记录	65
4.1.2	底盘迭代过程记录	66
4.1.3	发射器版本迭代过程记录	65
4.1.4	发射器迭代过程记录	67
4.2	嵌入式软件	68
4.2.1	版本迭代过程记录	68
4.2.2	重点问题解决记录	68
4.3	嵌入式硬件	69
4.3.1	版本迭代过程记录	69
4.3.2	重点问题解决记录	69
4.4	视觉算法	70
4.4.1	版本迭代过程记录	70
4.4.2	重点问题解决记录	70

4.5 自动步兵算法	71
4.5.1 定位算法迭代优化	71
4.5.2 决策算法迭代优化	71
4.5.3 导航算法迭代优化	72
5. Z轴自适应减震云台	73
5.1 机械减震结构	73
5.2 电控减震原理	76
6. 团队成员贡献	77
7. 参考文献	79

1. 步兵功能综述

1.1 步兵功能总览





1.2 其它学校步兵机器人分析综述

1.2.1 华南理工大学步兵分析

信息来源	功能完成度	技术要点	研发启示
RM2021 - 华南理工大学 - 普渡华南虎 - 舵轮步兵电控开源 https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12207&fromuid=52209 (出处: RoboMaster)	1. 对操作手十分友好的人机交互界面 2. 具有较为完善的功率控制, 实现了在功率控制下流畅的舵轮控制	1. 我们的机器人之前只有较为简单的人机交互, 我们可以参考他们的 ui 界面, 改进我们的界面 2. 需要精确的底盘功率计算, 以及精确的控制功率输出	1. 对 ui 界面代码进行模块化的迭代, 设计一套适合自己队伍的 ui 界面 2. 研发一套更加实用的功率控制算法
RM2021-华南理工大学-普渡华南虎-舵轮步兵机器人开源 https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12219&fromuid=52209 (出处: RoboMaster)	1. 实现了舵上减震, 比我们设计的舵轮底盘减震效果好很多 2. 实现了舵轮在主动轮和从动轮之间的转换, 实现了拖拽救援	1. 使用了简单的独立悬挂, 但是由于结构合理, 仍然具有不错的效果 2. 在舵轮轮系中多加入一个双轴舵机, 实现可以改变轮子的轴心	1. 在舵轮底盘的轮系中也尝试加入可以使轮子轴心改变的结构, 使之容易被工程拖拽救援 2. 把舵轮底盘的减震从舵轮下部移到整个舵向电机上, 可获得更大的减震行程, 实现更好的减震效果

1.2.2 哈尔滨工业大学步兵分析

信息来源	功能完成度	技术要点	研发启示
RM2021- 哈尔滨工业大学-I Hiter 战队-步兵机器人开源 https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12251&fromuid=52209 (出处: RoboMaster)	1. 同样具有完善的功率控制 2. 视觉方案较为创新, 并且在比赛中可以看到有很理想的效果。	1. 需要精确的底盘功率计算, 以及精确的控制功率输出 2. 能准确识别装甲板, 且实现效果较好的预测	1. 研发一套更加实用的功率控制算法 2. 优化我们的视觉方案, 从而实现更准确的瞄准打击

1.2.3 深圳大学步兵分析

信息来源	功能完成度	技术要点	研发启示
RM2021_ 深圳大学 _RobotPilots 战队_自适应舵轮双枪步兵_机械开源 https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12325&fromuid=52209 (出处: RoboMaster)	1. 在舵轮底盘本来占用空间就很大的情况下, 加上了自适应的连杆结构 2. 只用了一个拨盘同时给两个枪管使用, 牺牲了爆发, 但是减轻了云台的重量, 也减小了云台体积	1. 使用了合页代替传统的摇臂, 在不牺牲自由度的情况下换来了更简单的设计	1. 尝试在本队的舵轮底盘上的减震机构也使用合页

2. 机器人核心参数

2.1 机械结构参数

表 2-1 步兵机械主要参数

项目	参数 (单位)
长	530 (mm)
宽	475 (mm)
高	470 (mm)
整车重量	17.9 (kg)

2.2 机器运动参数

表 2-2 步兵机器运动参数

项目	参数 (单位)
云台自由度	2
云台俯仰角	-17 ~ 38 (°)
底盘最大移动速度	2.86(m/s)
爬坡角度	45(°)

2.1 嵌入式硬件参数

表 2-3 步兵电路部分参数

项目	参数 (单位)
电路板总功耗	3 ~ 4 (W)
电容组容值	1968.3 (J)
电容组工作电压范围	12.5 - 23.7 (V)
电容组最大充电电流	10 (A)

2.2 传感器介绍

表 2-4 传感器清单

器件	数量/个	功能
思岚 A2 激光雷达	1	场内定位传感器（自动步兵）
CH110 九轴陀螺仪	1	底盘 IMU（自动步兵）
500W 像素广角摄像头	1	雷达站视觉定位（自动步兵）
自制 IMU	1	提供云台的姿态角与角速度

2.3 执行器件介绍

表 2-5 执行器件数量及功能

器件	数量/个	功能
M3508	4	底盘四轮驱动电机
GM6020	2	云台两轴驱动电机
M2006	1	发射器拨盘驱动电机
朗宇电机	2	摩擦轮驱动电机
舵机	1	弹舱盖开合

2.4 MiniPC 介绍

对于小电脑的选型，我们在保证电脑足够的性能下，性价比、体积小巧的 MiniPC，具体参数配置及实物图如下：

处理器	第十代英特尔酷睿i7-10510U 处理器 (1.8GHz-4.9GHz睿频加速技术, 四核八线程, 15W功耗)
内存	DDR4 2133Hz-2666Hz (最大支持64G)
内存	双通道DDR4-2666 SO-DIMM插槽 (最大可达64GB)
图形	英特尔® UHD620核芯显卡 HDMI 2.0a 端口, 4K 60Hz DP端口, 4K 60Hz
音频	高达7.1环绕立体声 (通过HDMI 和 DisplayPort) 前面板配有耳机/麦克风接口
外设链接	2个 USB 3.0 端口 (前面板) 2个 USB 3.0 端口 (后面板) 2个内部 USB 2.0 端口 1个Type-c 端口 (不支持视频输出)
存储	1个 M.2 22X80 插槽, 支持 NVME 1个SATA 3.0 插口 支持2.5寸HDD\SSD
网络	英特尔® 千兆有线网卡 英特尔® 双频 Wireless-AC 3160无线网卡 (802.11ac) 2x2 双模蓝牙® 4.0
系统BIOS	64Mb 闪存 EEPROM, 英特尔®平台创新框架用于EFI即插即用 高级配置和电源接口 V3.0b, SMBIOS 2.5 英特尔®可视 BIOS 英特尔®快速BIOS更新支持
机箱尺寸	128mmX128mmX38mm
电源	19V, 45W AC-DC 电源适配器

图 2-1 MiniPC 配置表



图 2-2 MiniPC 实物图（斜）



图 2-3 MiniPC 实物图（正）

3. 设计方案

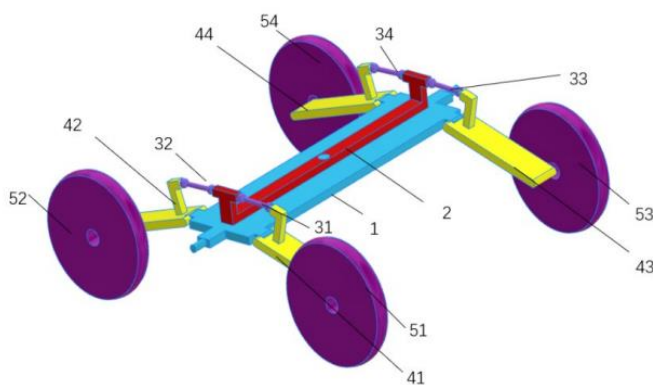
3.1 机械结构设计

步兵机器人作为整场比赛机动性最强的机器，在设计上有更高的要求，从赛场场地中，地形十分复杂，且充满对抗，包含 13° 、 15° 和 17° 坡，以及公路飞坡和全盲道地形，因此对于机器人的底盘悬挂系统和整车结构以及框架的强度与质量分布提出了较高的要求。设计需要更加的轻量化以及较好的地形适应能力，在上下坡时能有充足的抓地力并且尽可能车轮与地面同时为保证飞坡的姿态良好，并充分缓冲落地时的冲击力。步兵机器人除了对抗还需具备击打大能量的本领，因此对弹道要求是高射速下 7 米距离发射器的散布必须在一块大装甲板范围内，在此基础上再进一步提高。

对此本赛季我们将步兵机器人打造成一台具有自适应底盘，搭载 Z 轴减震云台同时搭配 3508 发射器的机器人。

3.1.1 底盘结构设计方案

为了更好的适应赛场上不同坡度的复杂地形，经讨论决定，步兵底盘将采用自适应悬挂的方式，下图为大连理工大学的自适应简易模型。



图中，1 为车体，2 为横连杆，铰接在车体中央，3 为球铰连杆，4 为摇臂，5 为麦克纳姆轮。

图 3-1 自适应模型图

从上赛季赛场上其他学校的机器来看，自适应悬挂的底盘相对于独立悬挂的底盘，在过盲道时减震效果明显好于独立悬挂的底盘，而且自适应底盘自身特点是抓地性较强，当机器一个轮子经过台阶时，自适应底盘能一个轮子在台阶上同时保持其它三个轮子与地面接触，从而实现让其四个轮子都有支撑面，保证了车的稳定性，而独立悬挂底盘在此种情况下，机器的底盘最多三个轮子有支撑面，会使机器整体处于前倾或者后仰状态而导致不稳，因此自适应能降低翻车概率。

在参考了大连理工大学的自适应步兵开源图纸和技术文档、上海交通大学的自适应英雄开源图纸、华南理工大学广州城市学院的自适应步兵开源图纸和报告，并且在与华南理工大学的交流学习中，以及在本赛开始所作的测试结果来看，总结得出自适应底盘有如下结论：

当自适应减震位于底盘下部时，如图 3-2，则用拉簧减震加可伸缩但无阻尼的拉杆，此拉杆可自己设计制作，此方案需调整拉簧的硬度，确保机器一开始时拉簧处于拉伸状态，过盲道时轮子能较顺畅的抬起，即减震效果好，飞坡时受到较大冲击力时能抵抗住而不至于底盘的底部和框架蹭地。在本方案中，经测试，最终选用的拉簧线径需较大，才能满足上述要求，较软的拉簧会出现明显的“点头”，导致在平面上的运动姿态不行，线径较大的拉簧在装配存在一定的装配难度，因为拉簧与伸缩连杆是相互制约的，这导致装配难度提高；当自适应减震位于底盘上部时，则用压簧，此方案可选用独立悬挂的减震作为连杆同时作为减震。

在该方案中，经测试，我们选用 85mm 长的避震器，由于一根避震强度较弱，因此一个轮子采用两条避震器连接，如图 3-3，目前所用压簧的型号有线径 2.0mm 和 1.5mm，长度有 53mm 和 74mm，共四种压簧，测试结果发现，采用线径 2.0mm 长度 53mm 和线径 1.5mm 长度 74mm 所组成的搭配方式，在平地上和盲道上跑的效果较好，但是飞坡的效果较差；采用两根线径 2.0mm 长度 53mm 所组成的搭配方式，在平地上和盲道上跑的效果稍微差一点，但是飞坡的效果较好。

综上，我们进行掂量和取舍，一致认为在平地 and 盲道所带来的震动比在飞坡时所带来的伤害要小，所以我们舍弃在平地上和盲道上的优势，着重飞坡，这样的选择使整车在飞坡时能让弹簧和避震器吸收冲击而避免框架直接撞地，这对整车和框架上的保护是比在盲道上的保护很有必要的。

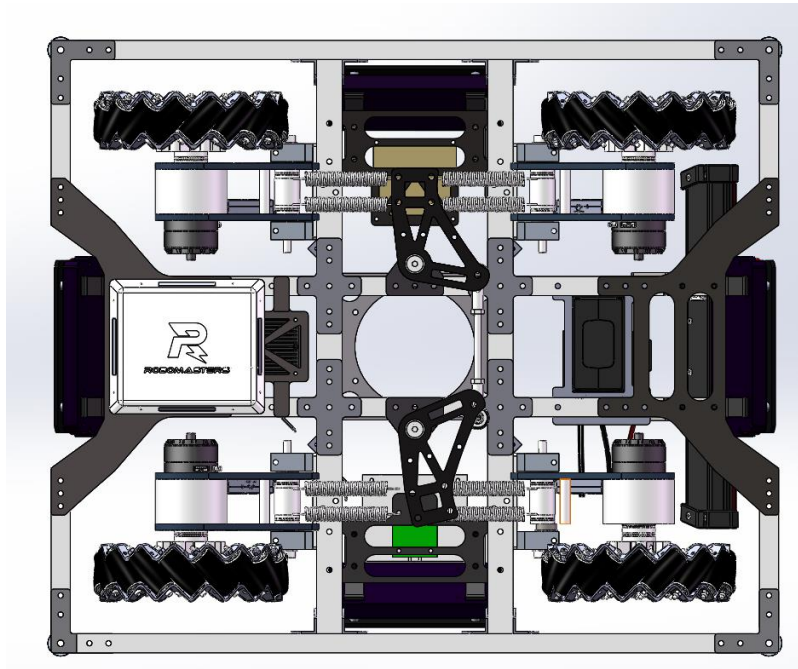


图 3-2 拉簧作为减震的底盘

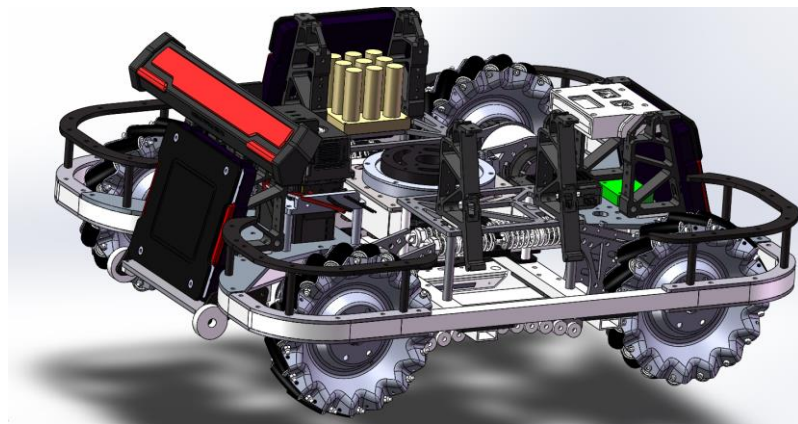


图 3-3 压簧作为减震的底盘

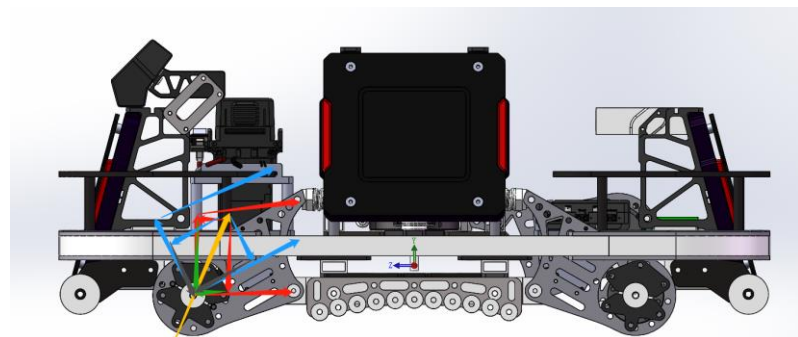


图 3-4 轮系遇障受力分析

底盘在通过盲道或者其他障碍时，其震动的大小与轮子的中心跟转轴的中心连线和水
平面的夹角的大小有关，其受力解析图如上图 3-4，分析如下：轮子与固定转轴的相对位置

有三种情况，当轮子中心与固定转轴的中心的连线接近水平时，如图 3-4 的红色线，此处可视为水平，当轮子遇到障碍时，假设障碍给轮子的力与水平方向成 θ 角向上，如图 3-4 黄色箭头，无论轮子受到什么样的力，总可以把该力分解为两个正交分力，其中一个是与轮子中心与转轴中心的连线，另一个是与连线垂直且过轮子中心的垂直线，如图 3-4 的绿色线，分解出的两个力各自的效果是第一个力会冲击固定轴，第二个力会带动轮子绕固定转轴旋转，同时被减震器所吸收，当轮子慢慢发生旋转时，沿固定轴方向的力逐渐减小，另一个分力逐渐增大，并被减震器吸收，直至该力消失。当轮子相对转轴在下方时，假设轮子中心与固定转轴的中心的连线与水平线成 β 角时，如图 3-4 的蓝色线，假设轮子受到的力与上一种情况相同，则分解的情况与上述一致，不同的是，此种情况的分力如图 3-4 的黑色线所示，明显可看出冲击转轴的分力更大，这对转轴很不利，特别是在飞坡时瞬间冲击力很大，对轴的伤害很大，久之会出现虚位，使机器运动异常。当轮子相对转轴在下方时，此种情况与第二种分析类似，最终是转轴的冲击力更小。因此在设计时，理论上是轮子相对转轴越往上越好，但是这样会导致底盘很低很低，所以需要进行取舍，经测试发现，当轮子与转轴连线接近水平时，底盘高度约 65 到 75mm，在可接受范围内。若将轮子再往上抬，底盘会太低，不利于赛场上复杂的地形；若将轮子往下降，这在遇到障碍时对轴的冲击较大，不适合经常走盲道和飞坡，最终我们选定轮子稍微往下降，且其跟转轴连线与水平线夹角在 5-12 度范围内，这样的底盘不会太低同时越障时对轮子的转轴冲击不会太大。

本赛季步兵外框架抛弃上赛季铝框架的思想，由于 POM 的密度是 1.42 克/立方厘米，强度达 50.5MPa；UPE 的密度是 0.88 克/立方厘米，且耐磨、耐冲击、耐腐蚀、自润滑、吸收冲击能，强度达 40MPa 左右，综合选用 UPE，其强度够用且重量轻，因此四个边角采用 UPE 材料做成圆弧，上下用碳板夹住连接到铝管上，相较于铝框架，此框架会重大约 0.7kg，但是旋转半径小 70mm，对对抗更有利。

框架前后加飞坡导轮，装甲板底部加上一层板材，一方面保护装甲板免磕地，另一方面固定导轮。飞坡无导轮时，车子在着地瞬间，轮子由于减震会被抬起，接着是框架和装甲板着地，由于框架和装甲板都有边角，会立即定在地上，车子还有往前冲的惯性，会提高飞坡翻车的概率；当在框架前加导轮时，车子着地时，轮子被抬起，顶住导轮，此时导轮可以顺滑过去，车子不会翻车，但是有一个弊端，经过测试，用 120W 的功率和一硬一软的弹簧去飞坡，大约飞坡 150 次后，导轮以及固定的连接件严重损坏不能使用；把弹簧调硬后，增加轮子触地时间，减轻导轮的冲击载荷，导轮的使用寿命大大增加。因此，我们决定导轮方案可行，搭配全硬弹簧飞坡，赛场前把导轮换新，且飞坡时都会开超级电容，相当于无功率限制飞坡，这样的飞坡姿态更加减轻导轮的冲击，足够打所有比赛。

赛场上地形十分复杂，有不同坡度的路段，有不同高度的台阶，步兵机器人在下台阶时必须顺畅无阻，不能卡在台阶上或者翻车，因此在底盘上加上拱形板材，上面加满轴承，使底盘的最低点在拱形板材的轴承上，这样下台阶时车子可以顺着轴承滑下去，不至于卡在台阶上。经测试，该车即使在以最低速度下台阶也不卡且翻车，甚至可以边小陀螺边下台阶。后在与华南虎战队的交流中，得到建议，可以将轴承和板材换成 UPE 等较光滑的材料，一方面可以减轻重量，另一方面也方便维护和装配，因为轴承在底部，与地面接触较多，容易生锈导致不顺滑，经测试后，换 UPE 材料下台阶时达到一样的效果，成本也差不多，所以最终选用 UPE 作为拱形板材加在车子底部。

步兵机器人的救援机构采用最简单的方式，在原来的 UPE 框架上立起 3 根柱子，上面加一条板材，柱子的高度配合工程机器人的救援机构的高度进行调整，内侧加黑色 PC 板和较硬的渔网，可以减缓子弹的击打，同时保护轮子。

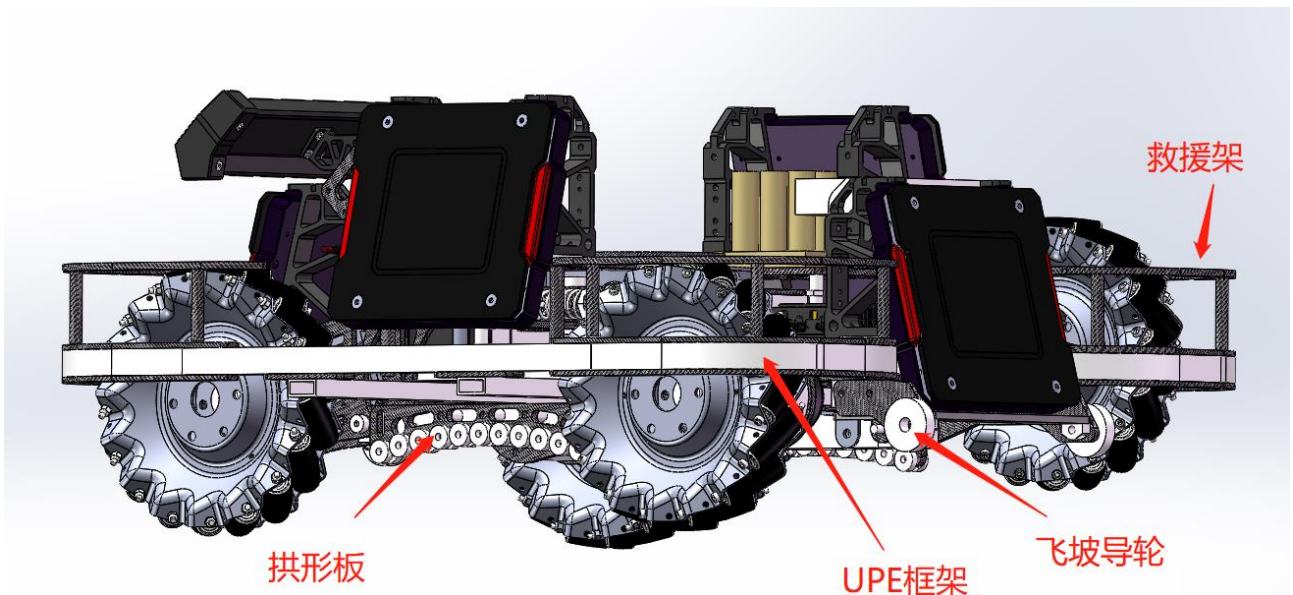


图 3-5 底盘附加件

3.1.2 云台结构设计方案

本赛季的 yaw 轴沿用上赛季的设计，将 yaw 轴电机沉到底盘，减小云台高度同时降低重心，经仿真得，yaw 轴电机在底板上和将电机沉到底板下，云台整体下降 40mm，重心下降 26mm，一方面对飞坡和下台阶来说较友好，另一方面在整车布局和结构上都较紧凑。

本次步兵的云台材料采用板材，相较于之前的设计，减少了铝加工件的使用，减少了成本和时间。板材对比铝加工件，板材迭代成本比较低，迭代速度也较快，加工误差小，精度高。由于小电脑体积较大，在设计时将小电脑放在 yaw 轴上端、云台支撑板下端之间，随着云台一起转动，而且在四个装甲板背后，让四个装甲板刚好可以起到保护小电脑的作用。云台的 6020 电机的定子固定在板子上，另一端通过铝加工件传递转动发射器部分。

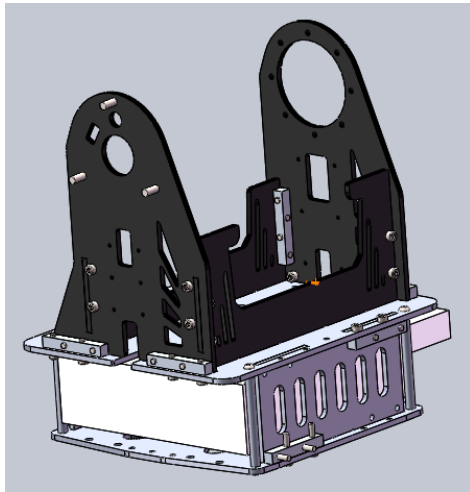


图 3-6 云台图

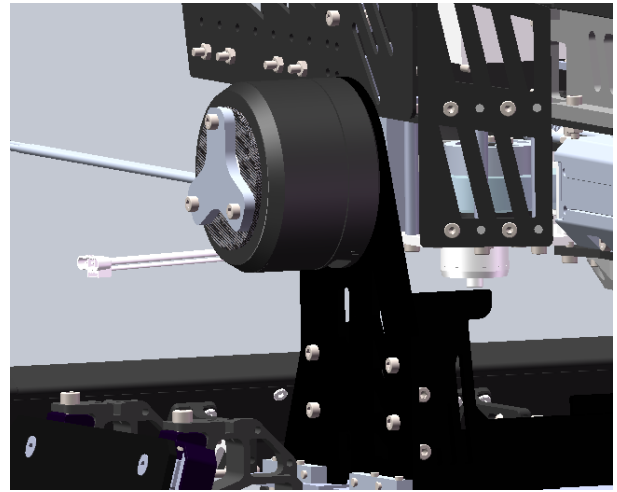


图 3-7 云台 PIT 轴细节

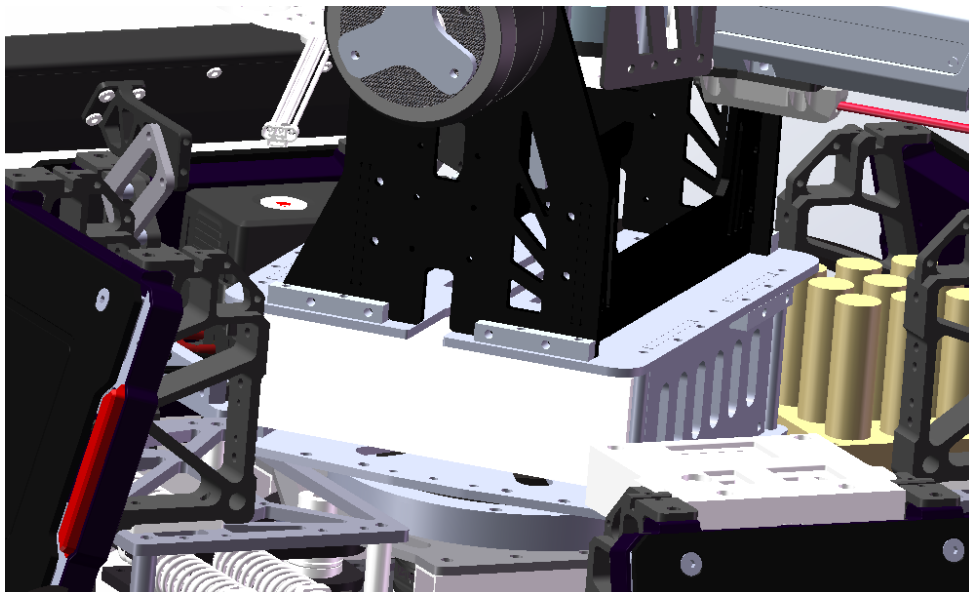


图 3-8 MiniPC 放置

3.1.3 发射器结构设计方案

发射器可以分为拨盘机构、链路、限位和摩擦轮四个部分。

(1) 拨盘采用八个拨齿的结构，每个拨齿之间相隔 45 度，由于电机是逆时针转动，所以在拨盘设计上采用了由大到小的设计，子弹进入拨盘后，会一直与后面的拨齿紧贴并被推着，但不会碰到前面的拨齿，这样就能保证每一颗子弹受到拨盘的力是近似一样的，出拨盘的姿态也能保证。

(2) 链路：链路采用内径为 18mm 的圆型管，内置外径 5mm，内径 2mm 的微型轴承，链路在发射机构上可以起到一个规整出拨盘的子弹的作用，由于拨盘电机有误差，子弹出拨盘的姿态不能完全一样，由于子弹规格是 $16.8 \pm 0.2\text{mm}$ ，进入链路后，只有 0.5mm 的移动范围，所以子弹在误差允许的范围内不会出现很大的左右偏移，并且链路还有优化弹道的作用，可以采用规定链路内的子弹数来优化。

(3) 限位：目前有四种方案，第一种，采用轴承作为限位，用弹簧作为固定方式，弹簧作为固定方式，有较高的容错率，轴承位置不需要做很多的迭代，但打久了弹簧会疲劳，那么轴承就起不到限位的作用，第二种：同样采用轴承作为限位，用销轴作为固定方式，相比于弹簧，不仅少了有一个左右自由度，还不会出现疲劳现象，但是轴承位置需要迭代，需要 0.1mm 的迭代，缺少容错，但一旦测出稳定位置，可以一直使用，第三种，采用限位开关作为限位，这种方案是子弹通过限位开关时，将限位开关铁片弹起来，这样能够缓冲子弹，但起不了规整子弹作用，所以这种方案很看重出链路的子弹姿态（只要不出现较大的偏移即可），第四种，采用无枪管方案，可搭配轴承或紧固螺钉作限位方式，在连接件下部加上一个槽（U 型、V 型，选用需要看测试效果），槽的设计，我们认为将一颗子弹放上去，左右摆动打印件，子弹都能在槽上滚即可，这种方式好处在可以稳定子弹滚动路线，能极大减少因拨盘、链路而产生的误差。其次轴承与螺钉的选用，轴承对子弹是线接触，螺钉对子弹是点接触，我们测试出来螺钉会比轴承好很多，弹道更集中，但高射速散布仍有待提高。

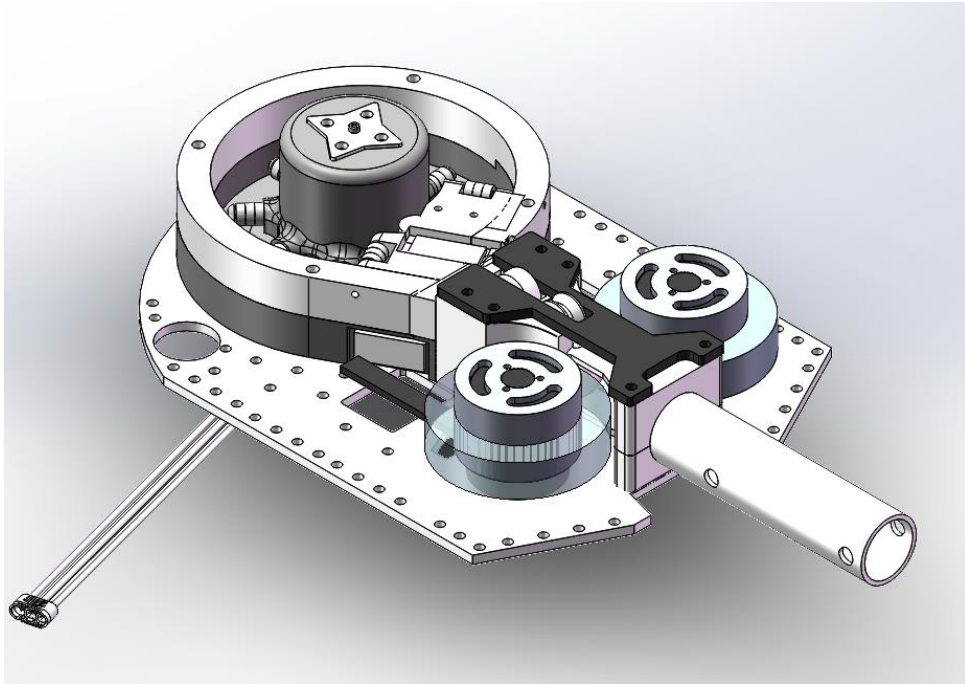


图 3-9 发射器（轴测图）

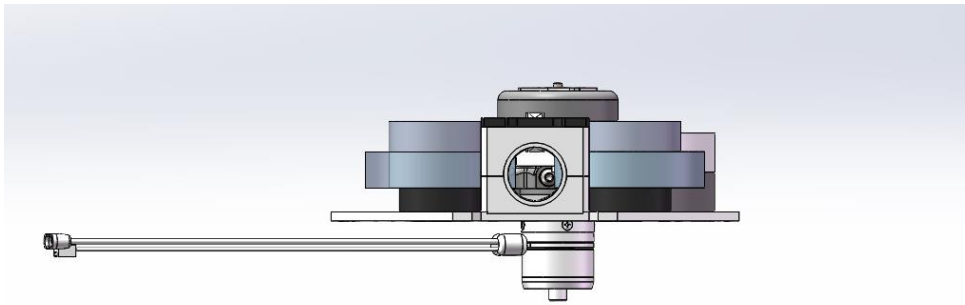


图 3-10 发射器（正视图）

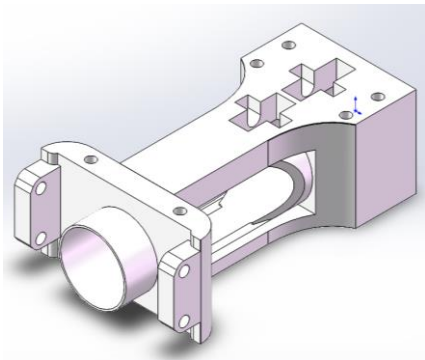


图 3-11 销轴-轴承（方案一、二）

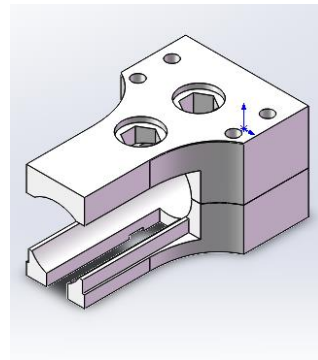


图 3-12 无枪管（方案四）

3.1.4 硬件设备安装与走线

在机械设计的过程中，为方便硬件固定电路板，将之前的步兵的多余空间去掉，机械上每一块板子都预留出孔位和镂空。如图 3-13 底盘分为五大部分，方便维护同时也方便检查线路的通断，电调直接贴在摇臂上，电线沿着铝管分布，既能保护线免受拉扯也方便走线的固定；如图 3-14 云台的支撑板，当底盘的一大束滑环线要走到云台发射器上的主控板时，滑环线从 YAW 轴的 6020 电机穿出后在小电脑下部走出，沿着图示箭头走向固定在板子上，最后穿过云台的从动端到发射器上板，发射器下板的镂空如图 3-15 所示，发射器上板的镂空如图 3-16 所示，线从镂空处穿过，尽量减少电线裸露在外面，全程走线比较紧凑。

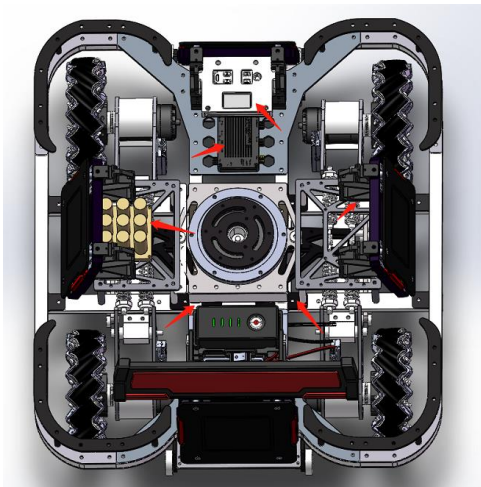


图 3-13 底盘走线示意

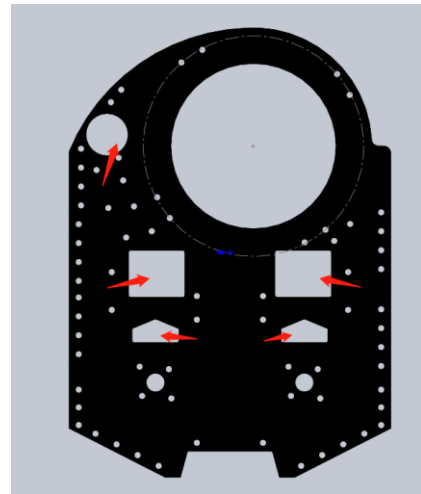


图 3-15 发射器走线孔位 1

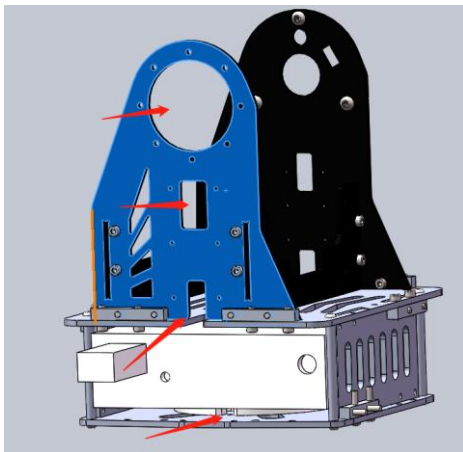


图 3-14 云台走线孔位

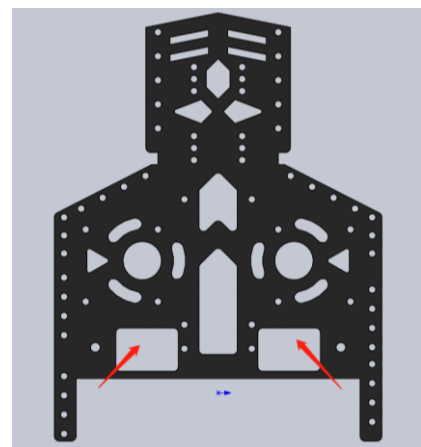


图 3-16 发射器走线孔位

电源管理模块用螺丝垫隔离柱固定在底盘最下一层板上（图 3-17），分电板固定在前装甲板背后，同时靠近电源管理模块，既保护了电路板也缩短线的长度，轮子 3508 电机的电调固定在摇臂上（图 3-18）。为了使小陀螺能正常转动，且左右装甲板底部有自适应连杆和减震器通过，我们将超级电容控制板和电容模组分开放置左右装甲板后。

云台上的电机的电调、小蜜蜂以及 24 转 12、24 转 19 等硬件则用魔术贴贴在板子上，主控板则用螺丝和尼龙柱固定在落弹台的侧板子上，所有线均从发射器上板下面穿出接到主控板上（图 3-19）。

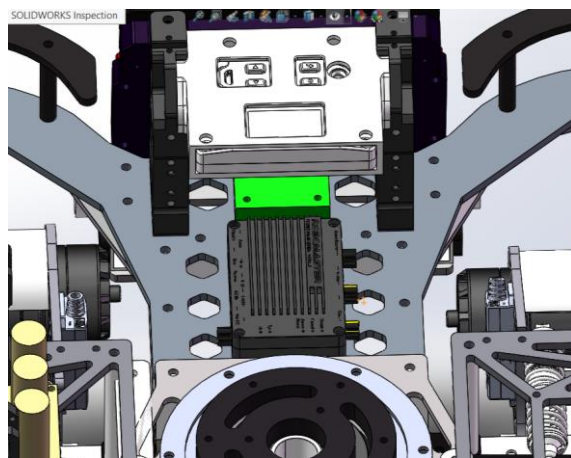


图 3-17 电源管理模块和分电板固定方式

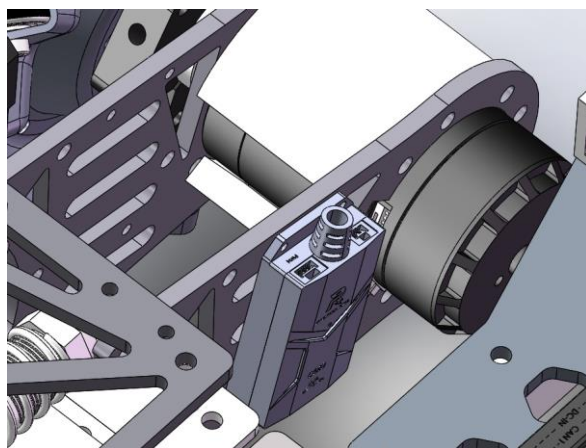


图 3-18 电调固定方式

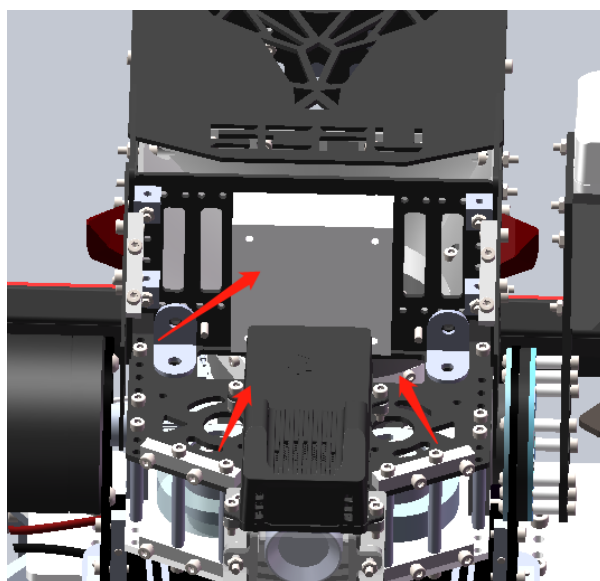


图 3-19 主控板固定方式

3.1.5 核心零件仿真分析与设计优化

底盘框架最底下的两条横向铝管，中间承受整个云台的重量，两侧连接四个轮系，其有限元分析如图 3-20，可看出，铝管的一端出现弯曲变形，这直接导致底盘轮系外八，优化方向有两个：一个是直接将铝管换成不锈钢管，成本约 180 元，两根不锈钢管重量比原来的铝管重 0.5kg；另一个方案是将云台与这两条铝管连接处加碳板，将压力分散到四周其他铝管上，同时在底部加一块大底板，将两条横向铝管和两条连接轮系的铝管连到碳板上，使之成为一体，该方案成本约 500 元，整体重量较原来约重 0.4kg，综上，换不锈钢管最直接最方便解决该问题。

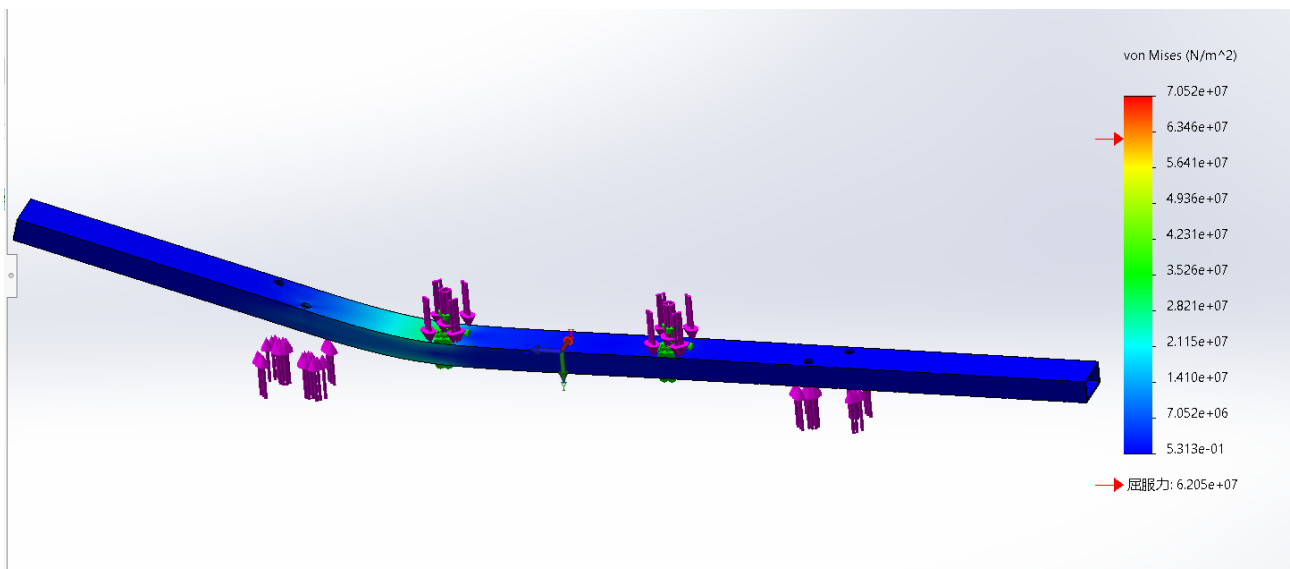


图 3-20 框架横向铝管有限元分析

轮组固定电机和轮子的摇臂如图 3-20 和图 3-21 所示，从有限元分析可得出，摇臂在固定到铝管上的固定点附近有较大的受力，因此在设计是固定孔附近减少镂空，板子其他位置没有明显的受力变形出现，可多镂空减轻板子的重量。



图 3-21 固定电机的摇臂

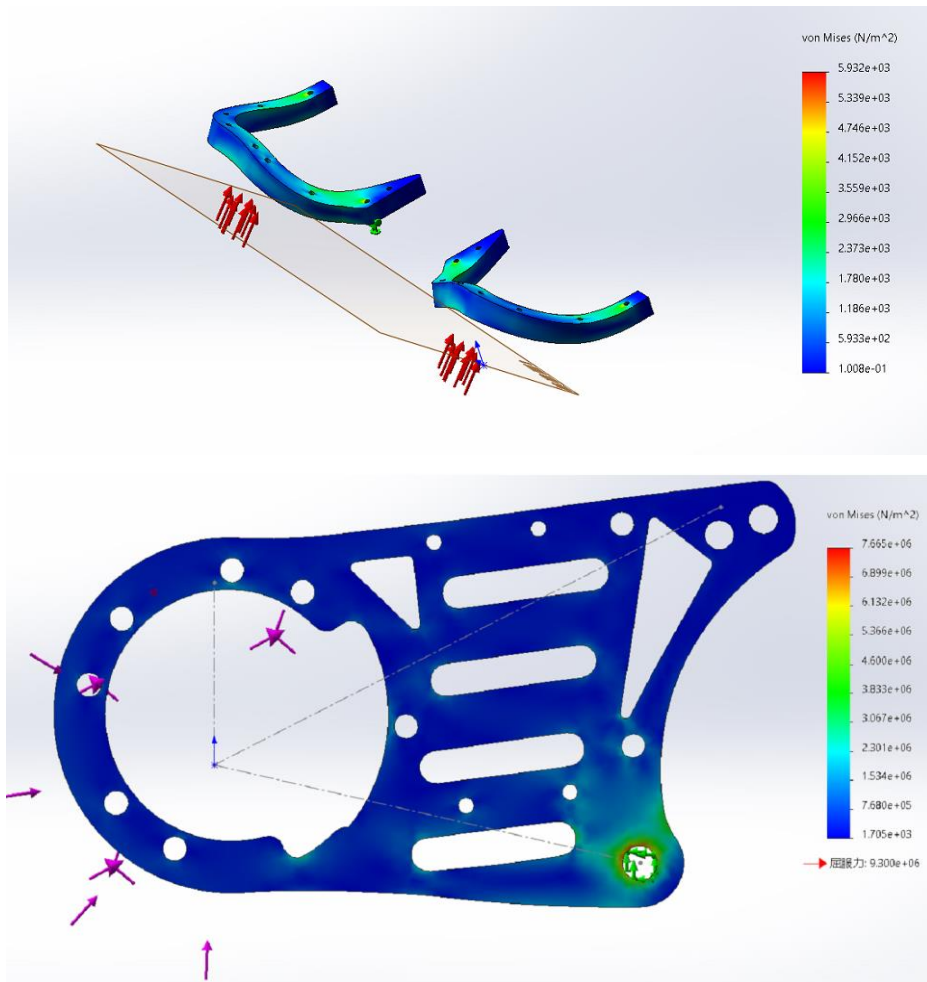


图 3-22 固定电机的摇臂

3.2 嵌入式硬件设计

控制电路板方面，队伍内所有机器人统一采用“自制核心板 + 接线底板”的方案：相同的核心板，根据不同机器的需求而定制具有不同接口的底板，兼顾了稳定性与灵活性。针对超级电容，我们自主设计了电容控制板，具有电容状态检测、电控充放电控制以及电容充电保护功能。

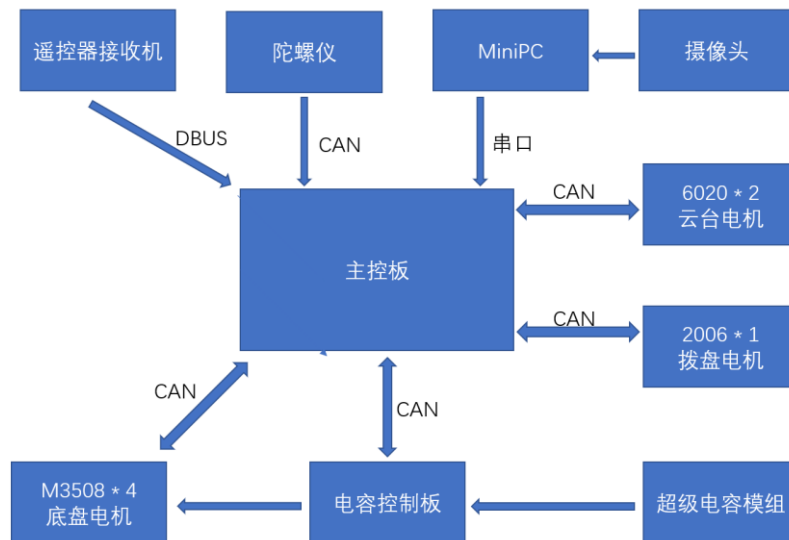


图 3-23 步兵硬件系统拓扑图

3.2.1 核心板及底板设计介绍

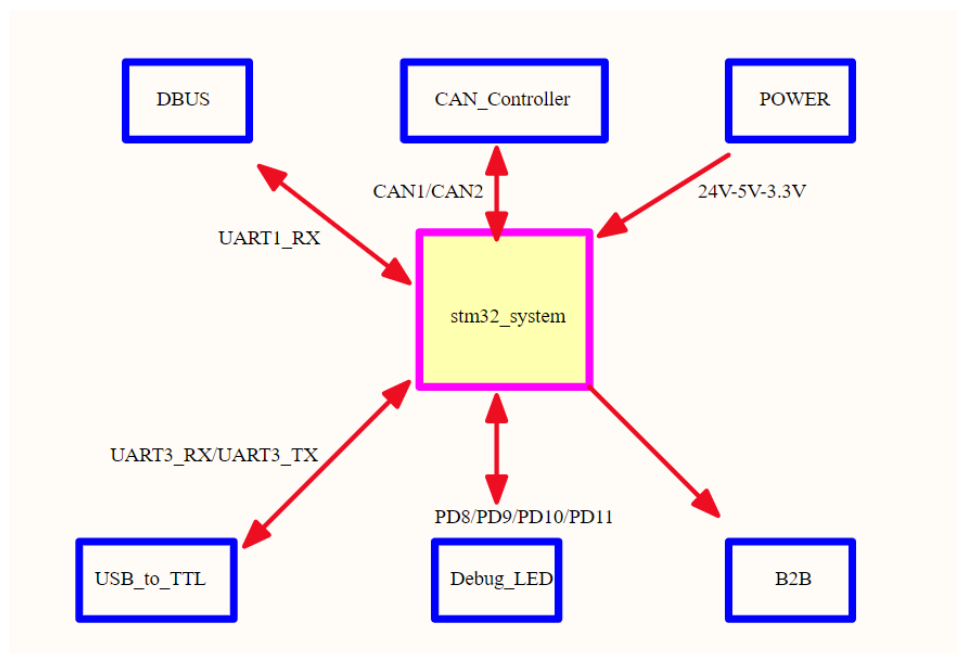


图 3-24 核心板硬件拓扑图

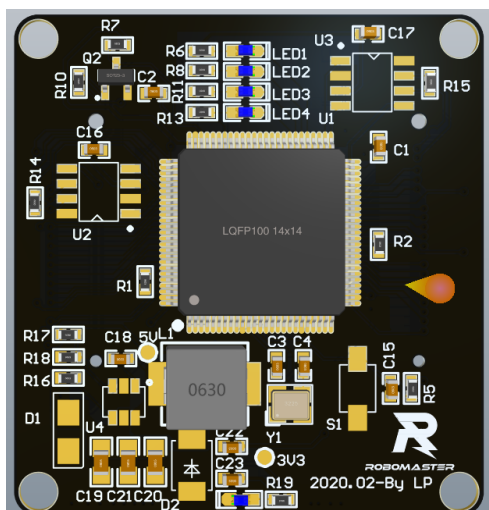


图 3-25 自制核心板（正面）

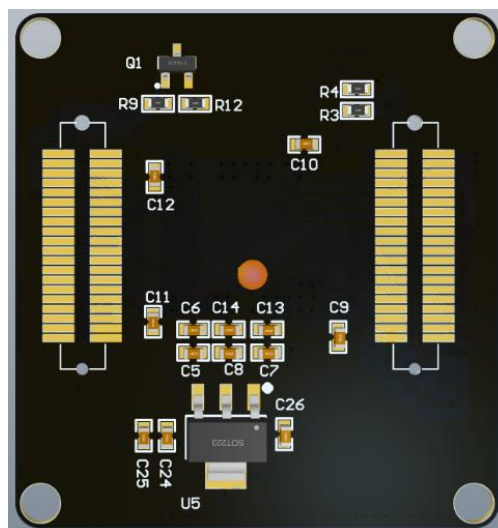


图 3-26 自制核心板（背面）

表 3-1 步兵自制核心板资源

主控板资源说明	
1	主控为 STM32F407VET6，主频达 168MHz
2	5V1A 稳压电路
3	4 路 PWM 接口
4	1 路 6 pin 通信接口（裁判系统串口，底盘 can）
5	4 路串口、1 路 SWD
6	4 路 LED 状态显示灯

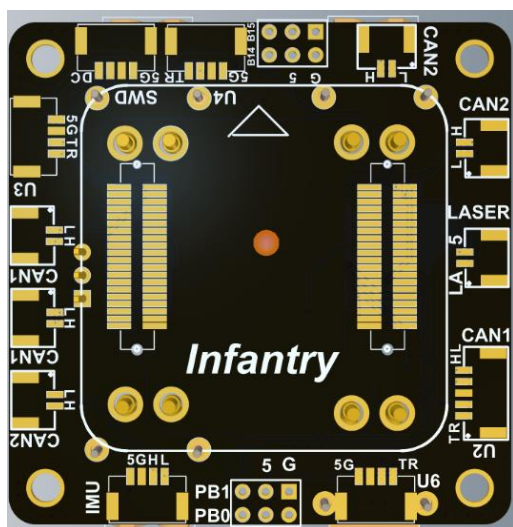


图 3-27 步兵接线底板（正面）

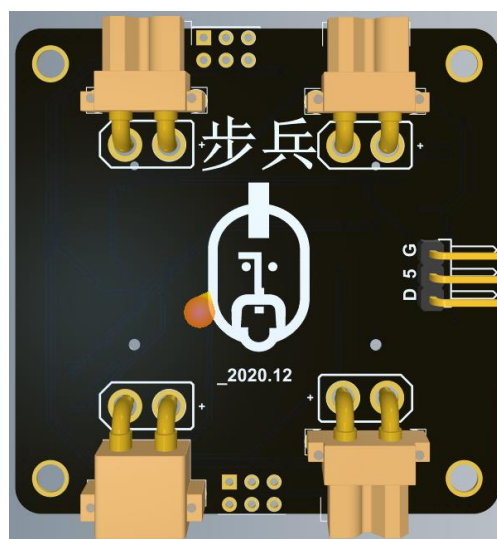


图 3-28 步兵接线底板（背面）

表 3-2 步兵接线底板接口

步兵底板接口说明	
1	1 路 6 pin 通信端口
2	1 路 SWD 端口
3	1 路激光控制端口
4	1 路陀螺仪 CAN 端口
5	1 路 DBUS 排针
6	1 路 XT30 电源输入端，3 路 XT30 电源输出端
7	4 路 PWM 排针
8	若干 CAN 端口

3.2.2 单板硬件说明

单板	设计需求	风险评估
核心主控板	根据队内统一需求，将 STM32F407 作为主控芯片，并附加 CAN 芯片，引出芯片各引脚，通过板对板连接器进行外接，从而提高核心主控板的拓展性。	中
步兵底板	基于核心主控板的研发，我们只需要给主控板画相应需求的载板，将核心板上的引脚在底板上以端子的形式引出。	低
分电分 CAN 板	基于电控布线的需求，不可避免的需要对电源的分接和 CAN 的拓展。	低
陀螺仪	根据电控对陀螺仪精度的需求，自研陀螺仪。	低
超级电容模块	基于上一年的电容控制板存在严重的散热问题，2022 赛季硬件组自行设计了新的超级电容模块，主要是为了解决原有散热问题和提高电容效率。	低

3.2.3 超级电容方案设计

基于上一年的电容控制板存在严重的散热问题，2022 赛季我们决定对电容控制板的充电芯片进行改进，选择了一种最新的国产芯片，此芯片同时有升降压的拓扑功能，电压电流等各方面也符合我们的要求，最终决定在此芯片上开始了 2022 赛季超级电容控制板的研发，研发周期：两个月。下面将对其中的部分细节作介绍。

3.2.3.1 板载供电系统

首先是板载供电系统，两个最主要的部分：24V 转 5V、与 5V 转 3.3V 降压电路。

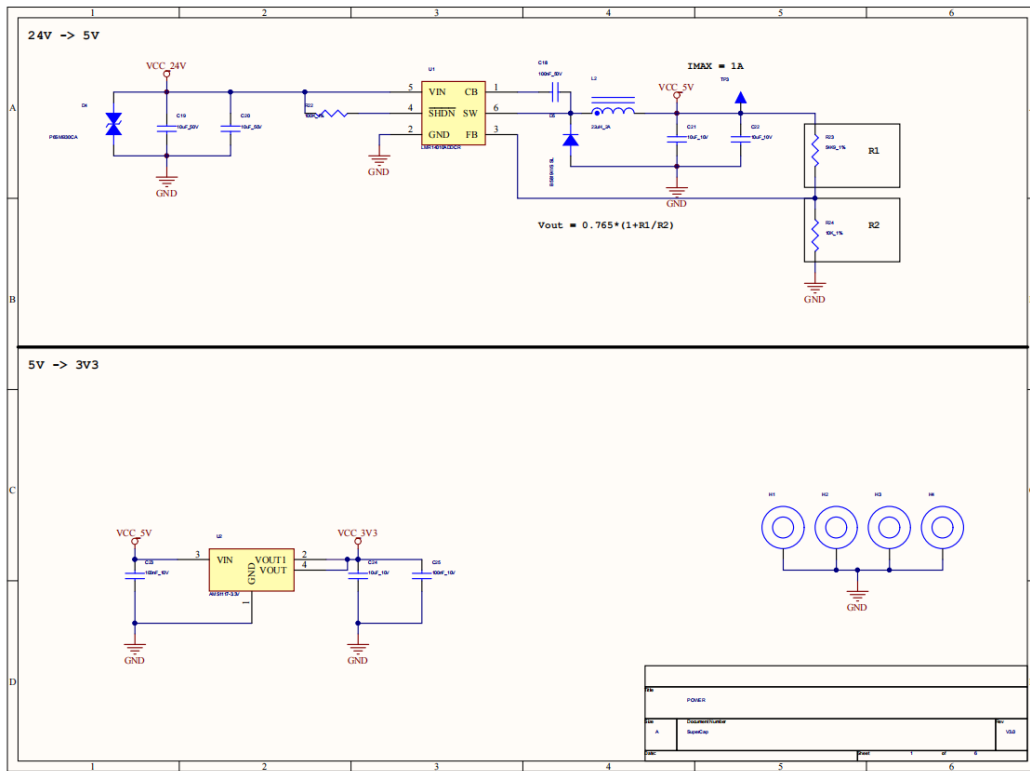


图 3-29 降压电路原理图

3.2.3.2 硬件充电芯片外围电路

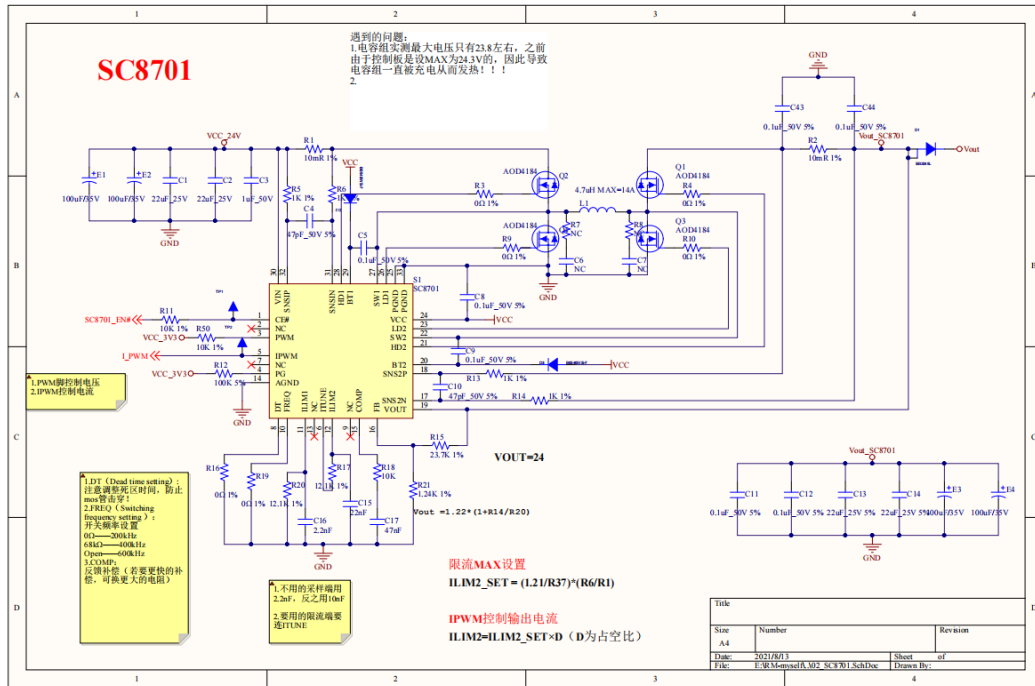


图 3-30 电容硬件充放电原理图

MOS 管控制电路开关以及电流采样电路：

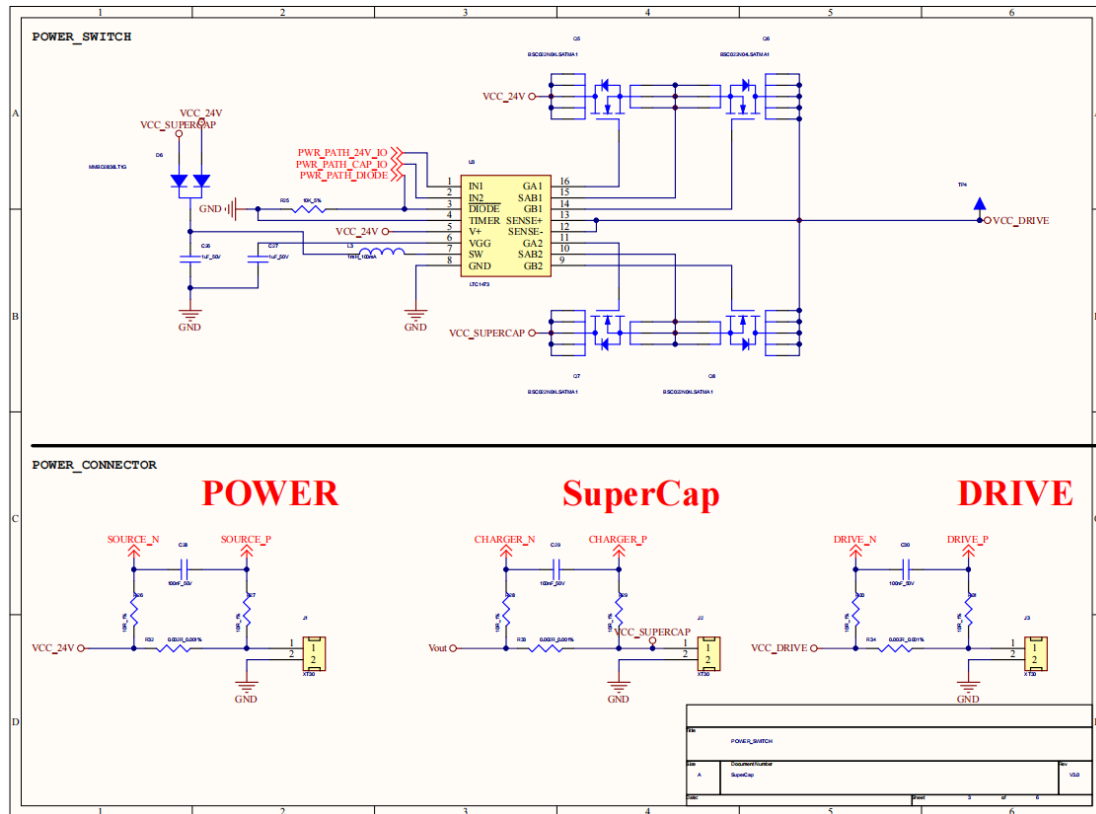


图 3-31 开关电路及电流采样电路原理图

3.2.3.3 主控 STM32F103RCT6 外围电路

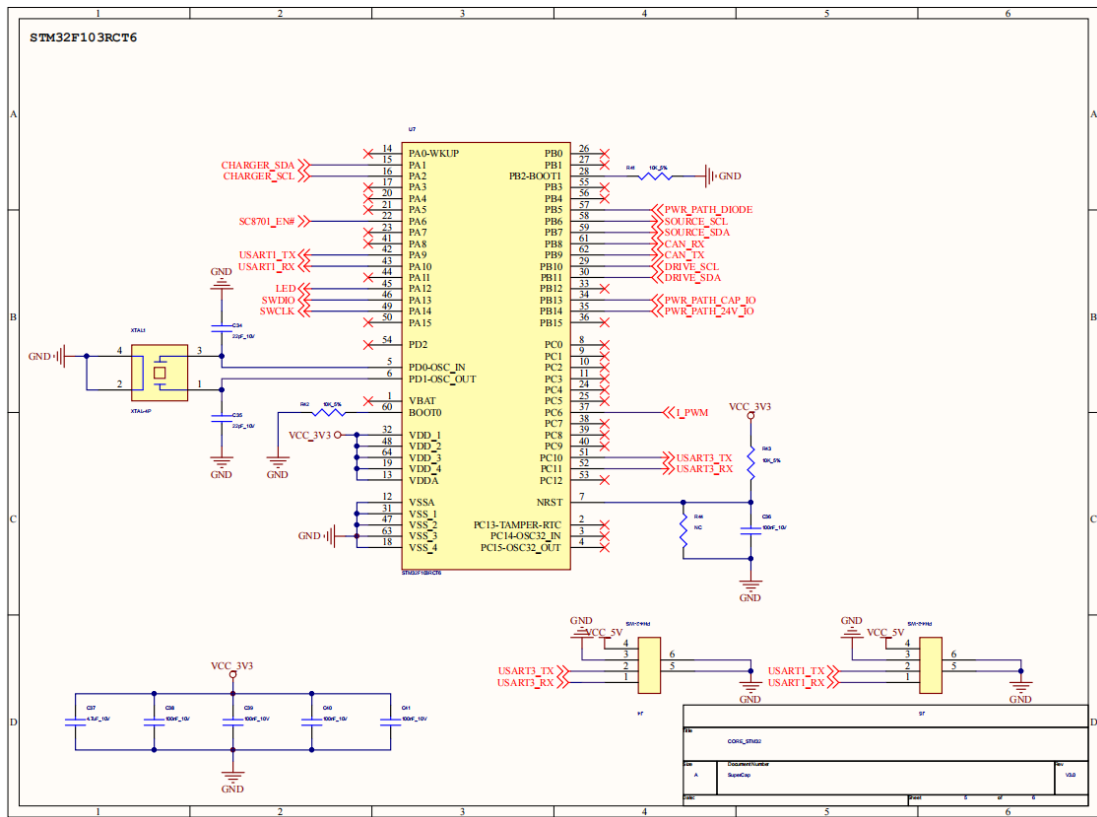


图 3-32 主控芯片外围电路原理图

3.2.3.4 电容组参数及相关计算

我们选用的是 9 个 2.7V 60F 的电容组：

- 总电压为 $24.3V = 2.7V * 9$;
- 单个电容标准能量： $E = \frac{1}{2} * C * U^2 = 218.7J$ （U 为电容耐压值，C 为电容容量）；
- 电容组总容量： $E_{总} = 9 * 218.7J = 1968.3J$.

3.2.3.5 充放电硬件策略

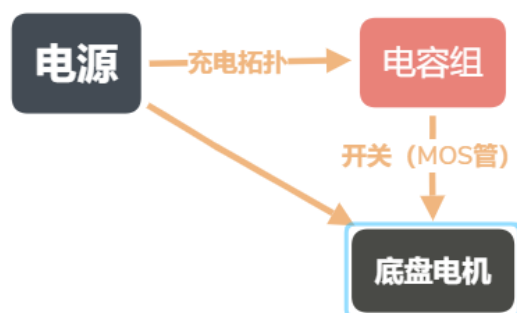


图 3-33 充放电硬件框图

1. **充电拓扑**：选用国产芯片 SC8701（此芯片支持最大 10A 电流对电容组进行充电，同时具有过压保护和过热保护，电压接近顶峰可进行恒流充电）。
2. **放电策略**：利用 MOS 管特性控制电容组与电机的单向通路。
3. **实际效果**：在实际利用上，电容组最低可放电到 12V。电容利用率达到 80%左右；电容控制板有功率控制作用，并未出现超功率的现象。

3.2.3.6 充放电软件控制

在实际超级电容的使用中，除去超级电容控制板自身的硬件和软件的驱动，还需要主控端配合整台机器底盘行为进行控制。程序流程图如下：

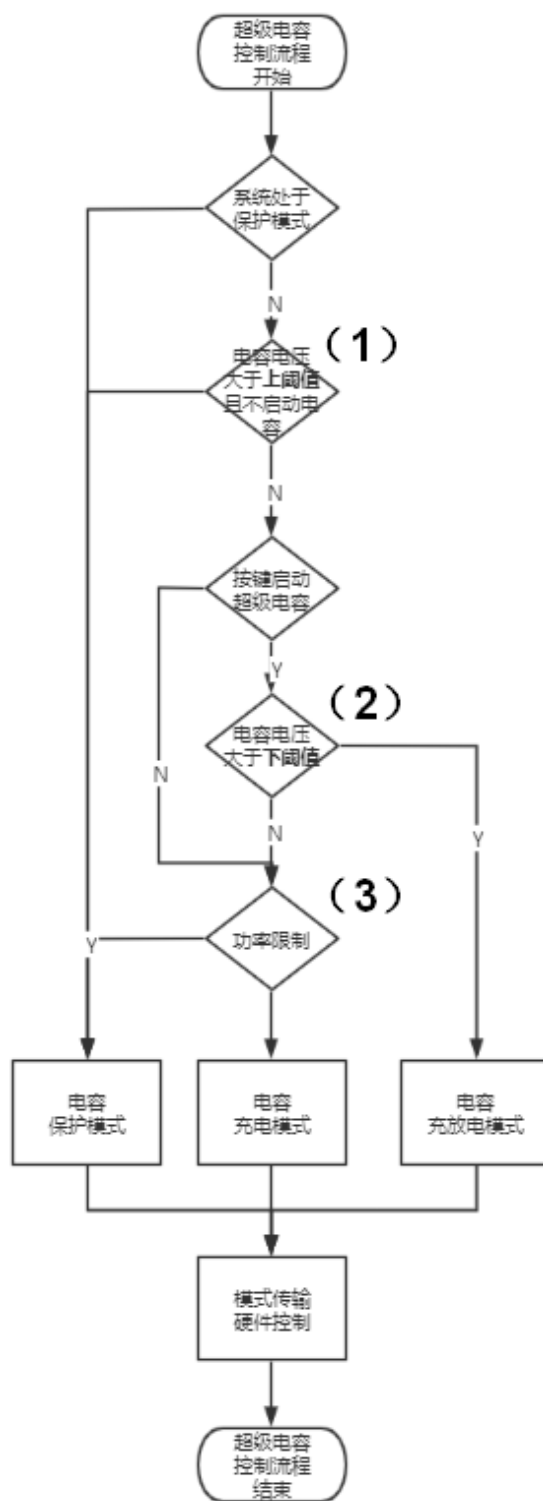


图 3-34 超级电容软件控制流程

其中，条件（1）和（2）是软件层面对于电容组进行保护，防止过冲过放；条件（3）是为了配合功率控制功能：当底盘正处在功率控制状态，说明底盘已经超功率，在消耗缓冲能量，此时停止给电容组充电；反之，说明底盘功率有剩余，则用于给电容充电以实现功率使用率最大化。

3.3 嵌入式软件设计

3.3.1 系统架构

步兵程序使用 FreeRTOS 系统，采用任务调度的控制逻辑，主要设定底盘任务，云台任务，发射器任务来控制整台步兵的运行状态。整个系统中，共有系统模式切换任务、通信状态检测任务、底盘任务、云台任务、发射器任务、视觉串口发送任务、CAN 发送任务和裁判系统通信任务。



图 3-35 步兵机器人软件框架

3.3.2 程序流程

3.3.2.1 系统状态机

下图为系统状态切换任务的流程图与系统状态机的状态图。

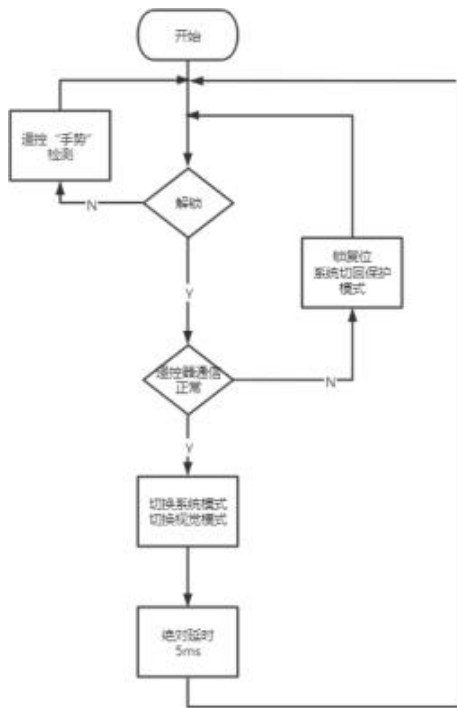


图 3-36 系统模式切换流程

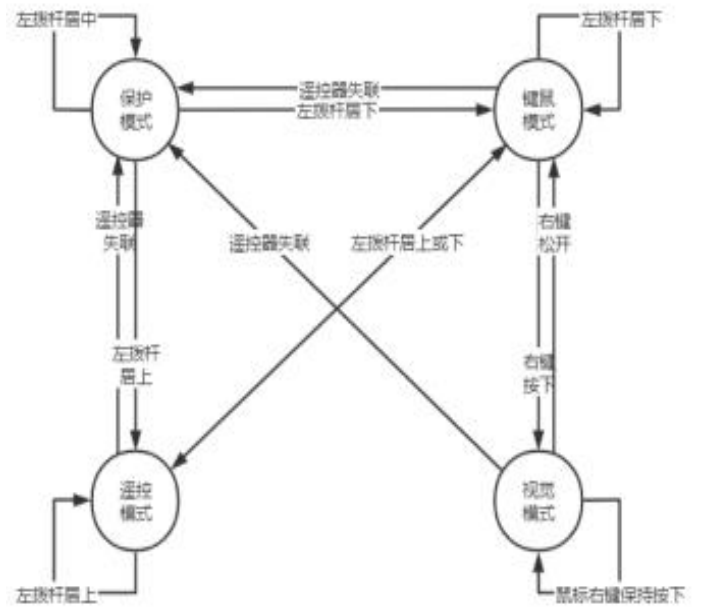


图 3-37 系统状态图

以下为视觉模式切换函数流程图：

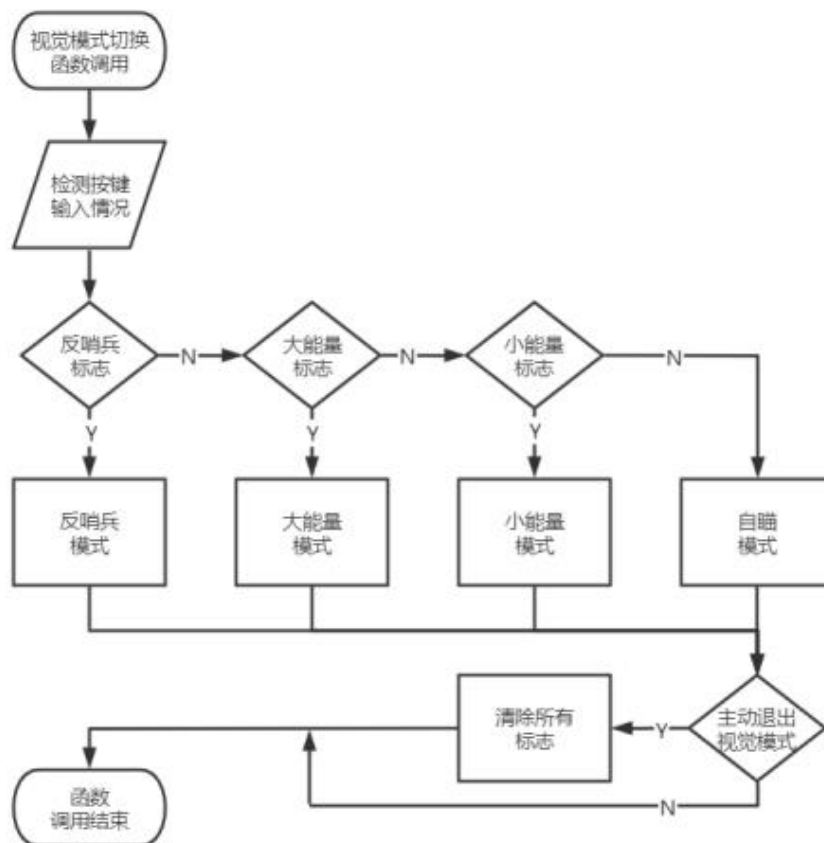


图 5-4 视觉模式切换函数流程

3.3.2.2 底盘状态机及行为

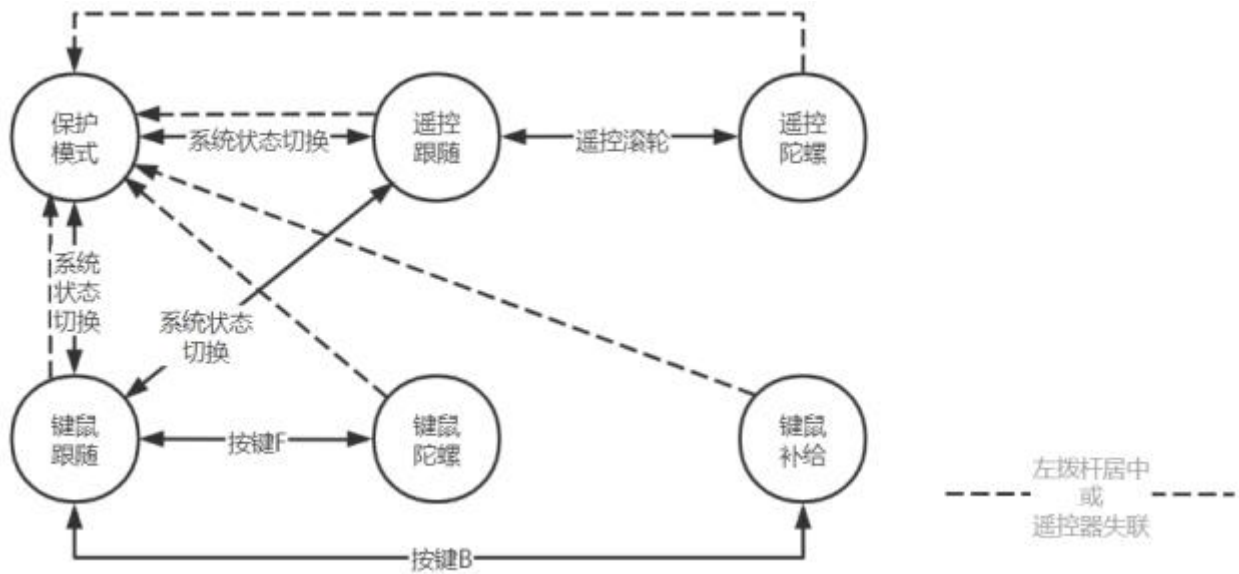


图 5-5 底盘状态图

以下底盘在各个模式下的行为介绍：

表 5-1 底盘模式及行为

底盘模式	底盘行为
保护模式	底盘电机电流置 0，底盘无力
遥控/键鼠跟随模式	底盘跟随云台运动
遥控/键鼠陀螺模式	底盘开启小陀螺
键鼠补给模式	底盘左右颠倒，速度降低

3.3.2.3 云台状态机及行为

云台状态与系统状态在状态对应上，多了一个补给状态，在此状态下，云台保持水平，且俯仰偏航角控制灵敏度降低。

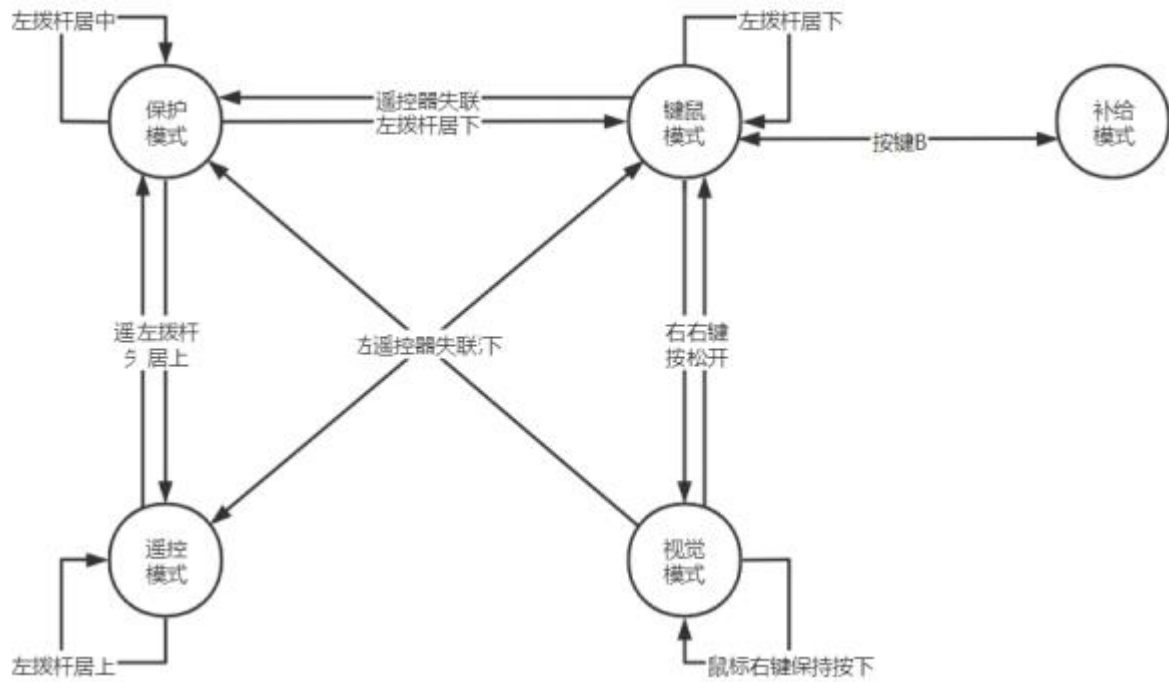


图 5-6 云台状态图

以下云台在各个模式下的行为介绍：

表 5-2 云台模式及行为

云台模式	云台行为
保护模式	云台电机电流置 0，云台无力
遥控模式	云台通过遥控器摇杆控制
键鼠模式	云台通过鼠标控制
补给模式	云台保持水平，且偏航控制灵敏度降低

3.3.2.4 发射器状态机及行为

发射器状态主要分成：摩擦轮状态，拨盘状态和弹舱盖状态三部分。

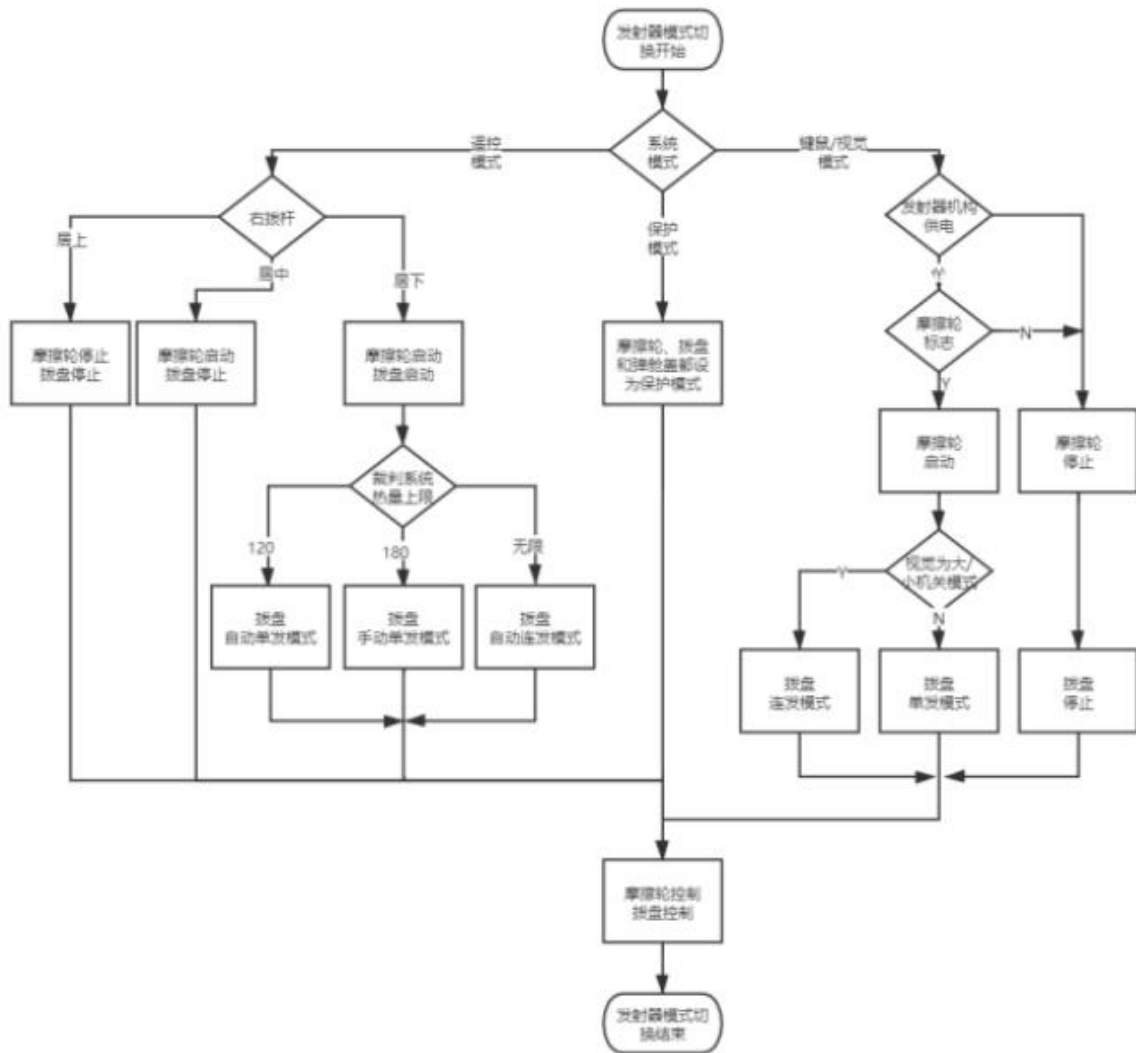


图 5-7 摩擦轮与拨盘状态切换流程图

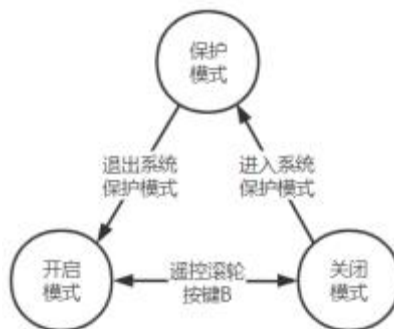


图 5-8 弹舱盖状态图

表 5-3 拨盘模式及行为

拨盘模式	拨盘行为
保护模式	拨盘电机电流置 0，拨盘无力
（遥控）手动单发模式	遥控滚轮一拨一发
（遥控）自动单发模式	遥控右拨杆居下，先连发，后热量控制单发
（遥控）自动连发模式	遥控有拨杆居下，无热量控制
（键鼠）单发模式	鼠标左键一下一发，有热量与射频控制
（键鼠）连发模式	鼠标左键按下连发，有热量与射频控制

3.3.2.5 通信检测任务

通信检测任务主要是定时检测各个电机、超级电容、陀螺仪和遥控器的通信情况并改变标志位。

3.3.2.6 视觉信息串口发送任务

视觉信息任务主要是将当前机器云台俯仰角，视觉模式等数据打包，通过串口发送给小电脑，控制视觉部分切换代码模式，回传回所需的数据。

3.3.2.7 CAN 信息发送任务

当底盘任务、云台任务、发射器任务执行完后唤醒 CAN 发送标志，CAN 信息发送任务在 CAN 发送标志唤醒后执行，分别通过相应的 ID 控制底盘电机、云台电机和发射器模块。

3.3.2.8 裁判系统信息发送任务

裁判系统信息发送任务主要用于发送自定义 UI 的相关数据。

3.3.3 重点功能

为减少操作手操作难度，增加机器在赛场上的可靠性，针对特殊场景及需求，我们自主编写了底盘功率控制、自瞄以及能量机关等算法。

3.3.3.1 底盘功率控制算法

功率控制是保证场上除工程机器人和空中机器人以外其他所有地面机器人正常运动的重要因素，仅依靠裁判系统 UI 与操作手人工控制是难以实现的。对此，经过多种方案的测试，最终采用电压不变，限制电流的思路，实现底盘功率控制。算法流程图如下：

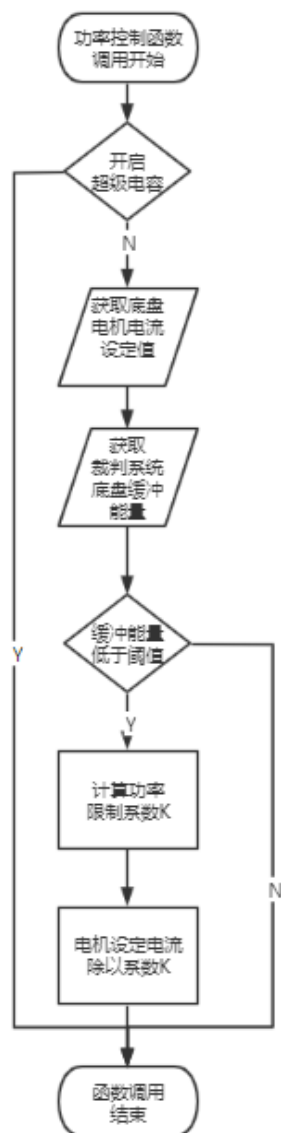


图 3-38 底盘功率控制算法流

算法结构简单清晰，效果明显。其中，功率限制系数 $K = K_p * (BufferEnergyMin - BufferEnergy)$ 。在底盘功率调试时，只需要调节 K_p 和 $BufferEnergyMin$ 两个超参。 $(BufferEnergyMin - BufferEnergy)$ 表征功率控制强度， K_p 表征功率控制强度的斜率。

3.3.3.2 发射机构热量与射频控制算法

类似于底盘功率控制算法，发射机构热量与射频控制算法能够优化操作手的实际体验，直接提高了机器在复杂赛场环境中的生存能力，并能最大化火力输出。

算法的实现前提是发射器拨盘部分，采用位置闭环控制，能够精确到单颗弹丸的控制。热量控制的实现是根据自行计算的枪管热量与裁判系统反馈的枪管最大热量，限制拨盘的转动，同时，考虑到实际缺弹漏弹的情况，需要预留部分热量余量。对于频率控制方面，由于任务周期固定，为实现对发射弹丸的频率实现精确控制，只需要定时使能拨盘，在满足热量控制的条件下，经过鼠标右键或遥控器控制发弹，即可使得发射器以固定频率发射弹丸。经拨盘电控调试，当前射频设置为 11.1Hz。

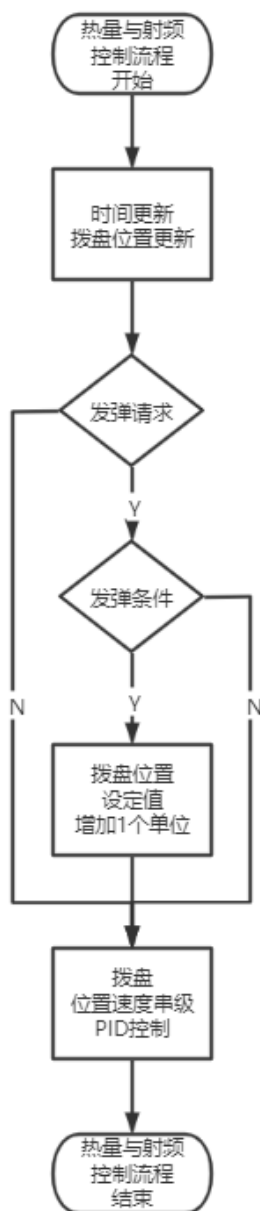


图 3-39 拨盘热量与射频控制算法流程

其中，发弹条件共有 3 点：

- 距离上一次发弹时间间隔大于发弹设定周期；
- 当前枪管热量大于热量设定下限；
- 当前拨盘位置偏差小于 0.5 倍单颗弹丸位置偏差常数。

第一、二点分别对应于射频与热量控制部分，第三点主要用于规避的是拨盘电机响应误差累积致使控制滞后的问题。

3.3.4 陀螺仪软件设计

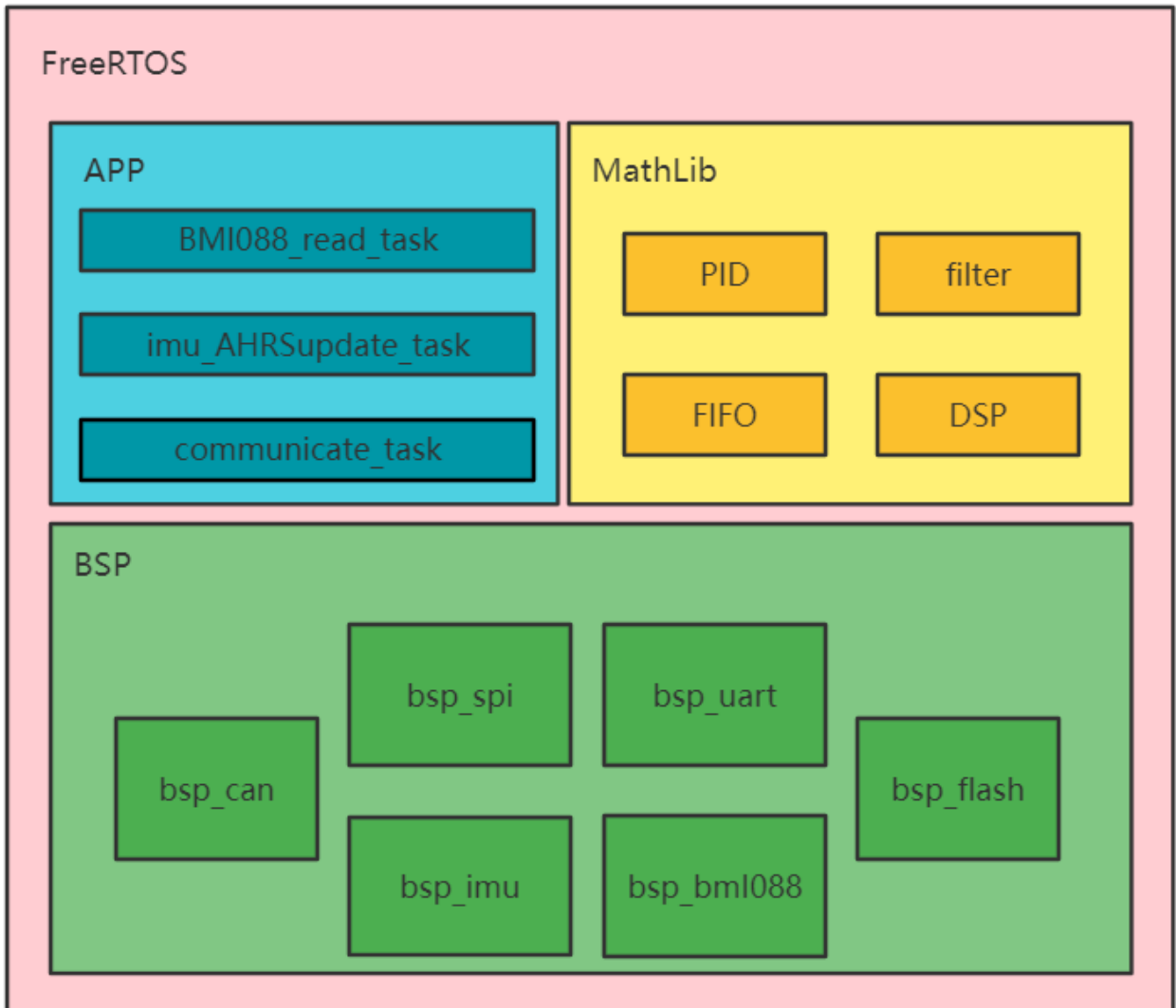


图 3-40 陀螺仪软件架构

以下为陀螺仪内置嵌入式程序流程图：

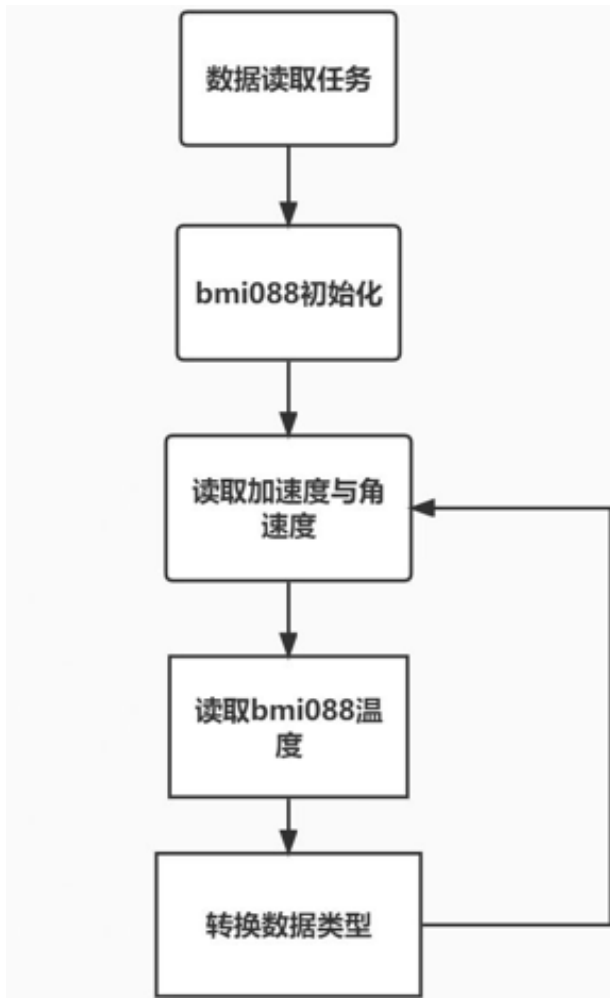


图 3-41 陀螺仪数据读取任务

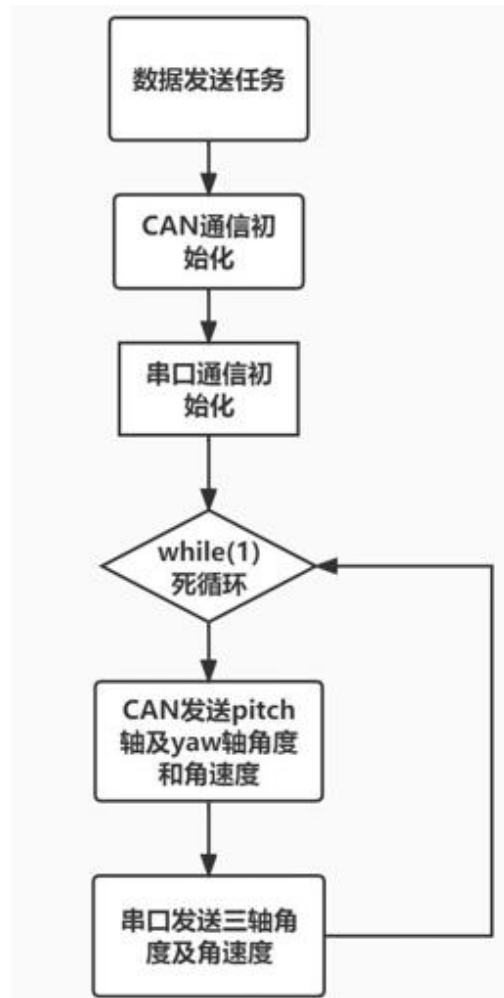


图 3-42 陀螺仪数据发送任务

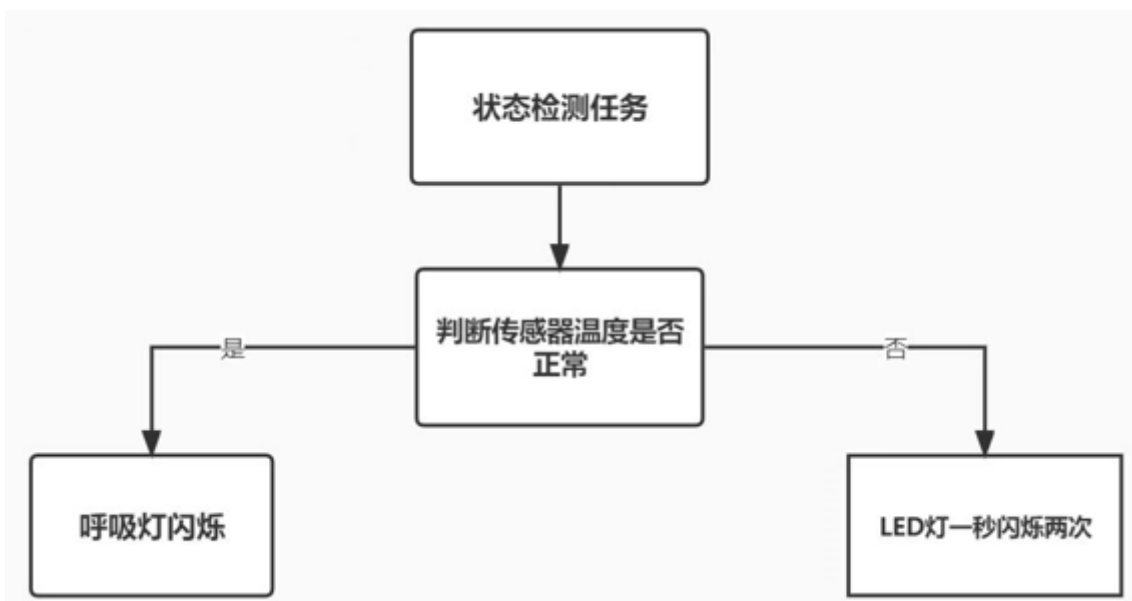


图 3-43 陀螺仪状态检测任务

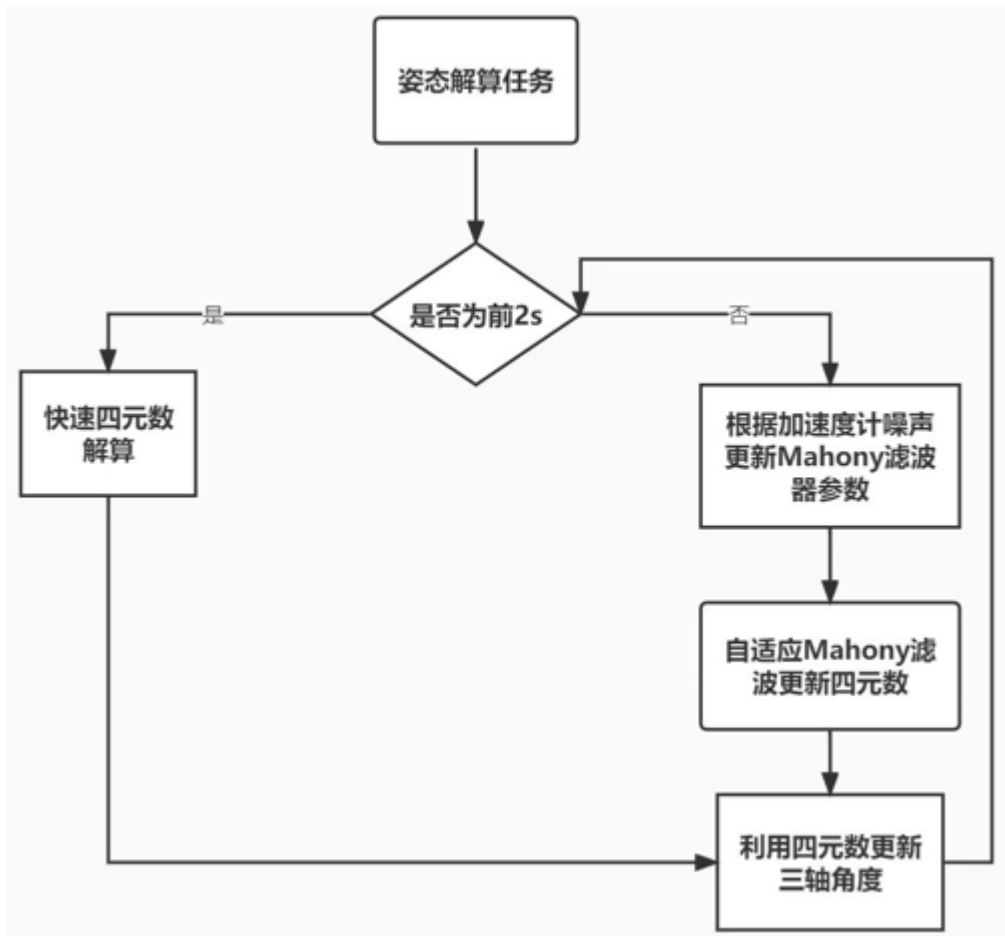


图 3-44 姿态解算任务

3.4 视觉算法设计

3.4.1 辅助瞄准算法

3.4.1.1 摄像头选择

摄像头的选择，根据不同兵种的需要，选用合适焦距的镜头。步兵计划打击目标的最远距离在 4-6m，我们选用了 6mm 的镜头为步兵视觉使用，以在有较为广的视野，尽可能得去击打远距离的目标。（另外选用 8mm 或 12mm 镜头为英雄视觉使用。）我们选用的摄像头，帧率最高可达 245 帧。

工业出产镜头得到的图像偏蓝，会对装甲板的识别造成一定影响。我们使用相机 sdk 中相关函数实现白平衡，设定一次后便可不再变动。标定方面，在用圆点标定板标完后，我们写了合适的测试代码，该代码能检验相机图像在畸变矫正后的结果，通过准确的流程操作，得到合适的畸变参数和内参，以使装甲板信息解算准确。至此，视觉摄像头部分的准备完毕。

3.4.1.2 装甲板识别

在装甲板识别中，为了满足自动射击的实时性，本算法通过降低摄像头的曝光以提高摄像头的帧率，同时低曝光的图像输入能够有效取出大部分非灯光的冗余信息，如下图。



图 3-45 低曝光图像

本算法采取了自动曝光的调整算法以取得一个最佳的曝光值。本算法探究了灯条的 HSV 值在不同曝光条件下的变化。发现曝光在从低到高的变换中，首先是饱和度逐渐增大，最后饱和度到最大值之后，亮度会逐渐增大。本方案通过对比事前确定好的最佳曝光下的灯条的饱和度和当前灯条的饱和度来确定一个最佳的曝光。自动调整一个合适的曝光之后，事前确定好的二值化阈值和 PNP 参数就可以在不同的环境下有效。

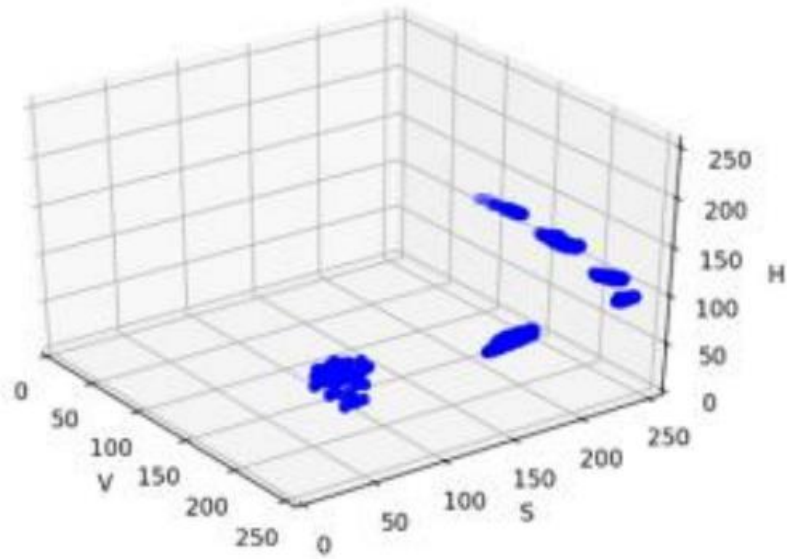


图 3-46 不同曝光条件下 HSV 分布图

在一些预处理操作之前，可以将图像进行分割并分配合适个数的线程，以实现多行并行二值化和一些形态学处理等操作，最后再合并图像，以提升处理速度。

缩短发送给电控的数据频率，间接提升控制响应速度。

对于输入得到的低曝光图像进行颜色通道相减，调节合适的颜色阈值参数和亮度阈值参数，进行二值化和形态学等预处理操作后，融合图像中装甲板的颜色信息和亮度信息，得到较好的二值化图像。



图 3-47 二值图像



图 3-48 识别效果图

使用最小包围矩形拟合灯条，初步筛选出合适的灯条。再使用灯条角度差排序，加入长宽比、角度差、中心高度差、长度差等筛选条件，灯条两两匹配筛选出装甲板对象。决策上以同一装甲板（最接近 roi 中心）、同一数字（同一装甲板可能不同的装甲板）依次为优先进行打分，选择出最佳装甲板的信息。得到装甲板信息后，选用装甲板灯条上合适的四个点为 PNP 解算作准备。

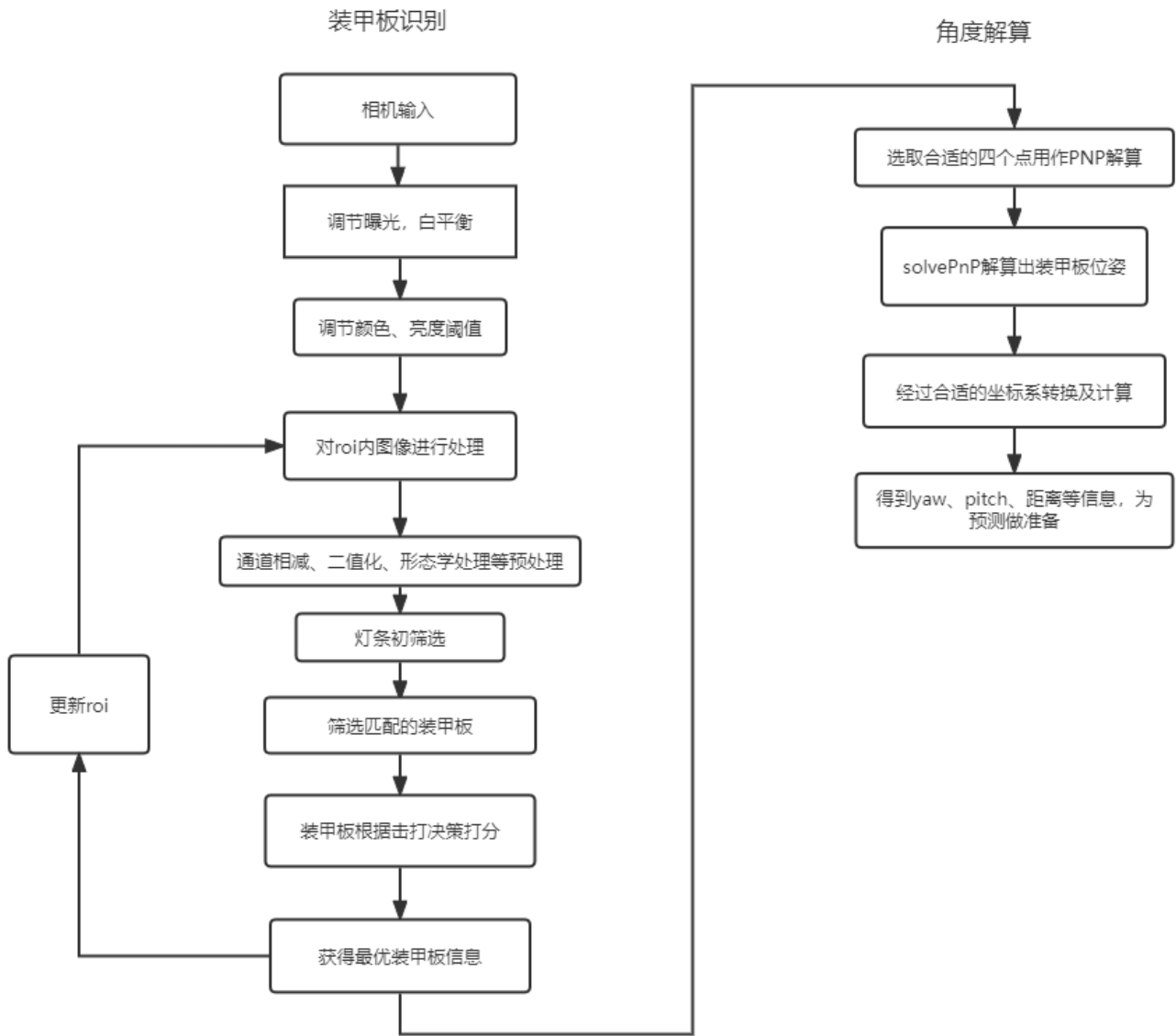


图 3-49 识别计算流程

3.4.1.3 角度解算

得到最佳装甲板信息后，将其进行 PNP 角度解算，得到相机坐标系中目标装甲板的坐标和相应的姿态角（位姿）。经过坐标系变换到云台坐标系，并再加一定的运算得到云台到目标装甲板的 pitch, yaw, 距离等信息。提取出装甲板，旋转臂，旋转中心等关键要素，分析出目标形状位置及有效击打区域。

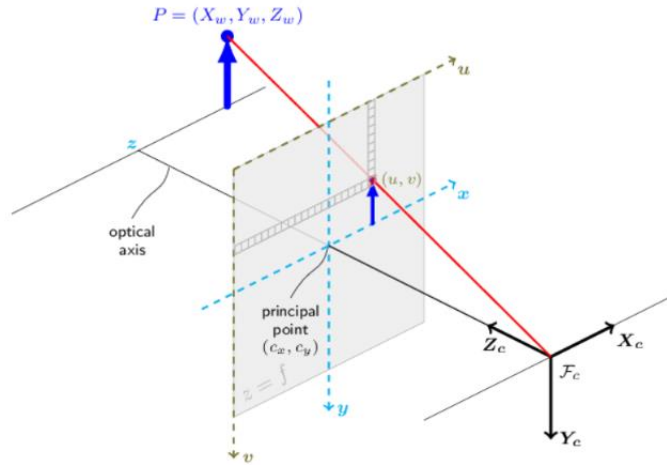


图 3-50 坐标系顺规

有旋转矩阵

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix}$$

那么可求出各轴旋转角度:

Z 轴:

$$\theta_z = \text{atan2}(r_{21}, r_{11})$$

Y 轴:

$$\theta_y = \text{atan2}(-r_{31}, \sqrt{r_{32}^2 + r_{33}^2})$$

X 轴:

$$\theta_x = \text{atan2}(r_{32}, r_{33})$$

其中，视觉得到的角度，需要的是相机坐标系转换到云台中心坐标系，而非枪管坐标系，不然直接解算的角度会偏大，视觉和电控之间的角度数据会因幅值差异而拟合不上。

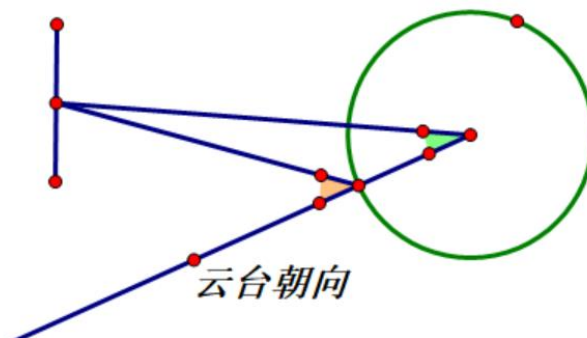


图 3-51 云台偏角

3.4.1.4 辅助瞄准实现方式

在实际击打中，击打中装甲板，装甲板会进行闪烁，不可避免地会丢帧。利用拉格朗日插值法等进行合理地补帧插值，来配合预测器的运行。

由陀螺仪得到云台 pitch 轴以及 yaw 轴的转角经电控发送至视觉电脑。两者的数据进行合适的拟合及对齐时间戳，得到目标准确的绝对角度及角速度等信息。根据 $v = \omega r$ 得到线速度等数据，运用二阶卡尔曼，考虑相应的时间延迟（子弹飞行、通信延迟、发射延迟等），实现对目标位置的预测。对于 pitch 轴的转角，需要经过重力补偿，计算得到抬升合适角度的发射角。最后的数据转换为角度发送给电控进行控制。

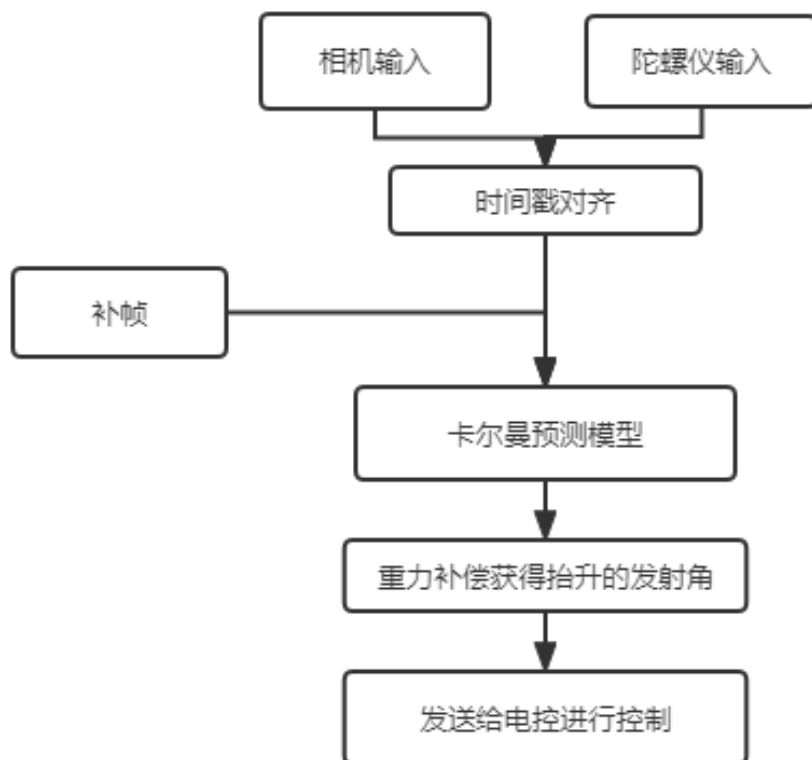


图 3-52 预测流程

3.4.2 能量机关辅助瞄准算法

能量机关识别过程中，步兵机器人装载的摄像头可以根据图像上中心点的颜色信息识别出圆心点的位置，但因圆心点处颜色信息范围较少，且比赛场地环境复杂，颜色信息容易丢失，导致能量机关算法识别出现偏差，因此我们需要第二种识别算法辅助判断能量机关中心点的位置。

为此，我们加入了本算法作为中心点判断的辅助识别，在预处理预测圆心点方面，我们首先将目标旋转臂和装甲板定义为外轮廓，进行一个矩形的识别框选，计算得出外轮廓四个顶点的坐标，分为内外两组点，其次再定义目标装甲板为内轮廓，框选该区域并计算中心点，通过对内轮廓中心点与两组点的距离分析，选取距离较远的组点连接的变为内边，因此可判断中心点沿内边的射线方向上有圆心。稍后通过固定时间内装甲板的坐标变化及官方机械臂半径数据判断圆心所在位置。

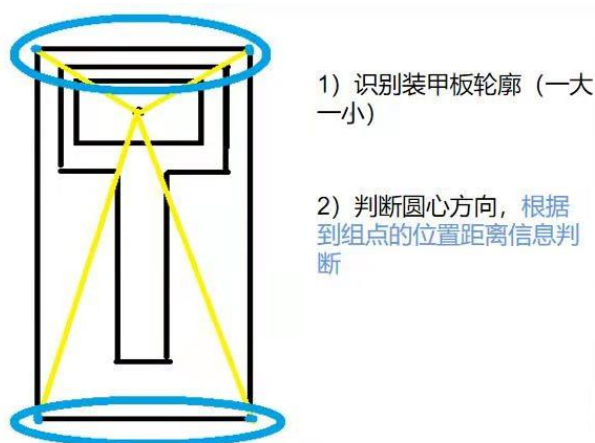


图 3-53 能量机关中心识别

因为大能量模式下的能量机关旋转方式为变速运动且新赛季速度函数为随机，情况分析更为复杂，再加上高射速下弹道稳定性的情况，所以该模式下的装甲板较难击中，击打成功率不高。因此急需在预测算法上实现改进拟合，并找到较为方便识别的情况加以利用，从而实现击打成功率的提升。

经过多次测试以及对官方转速函数图像的思考，我们选取运动中一定范围的转速数据来逼近波峰波谷从而解算得出 a 和 w ，得出近似的拟合函数。

在预测方面，则计算一定时间内采集到的系数的大小与峰值点数据的接近程度计算出合适的拟合点，并计算分析旋转的周期时间来设置计时器，将本地时间匹配到函数周期中模拟周期运动，并通过击打延时进行积分运算得出目标的预测角度。

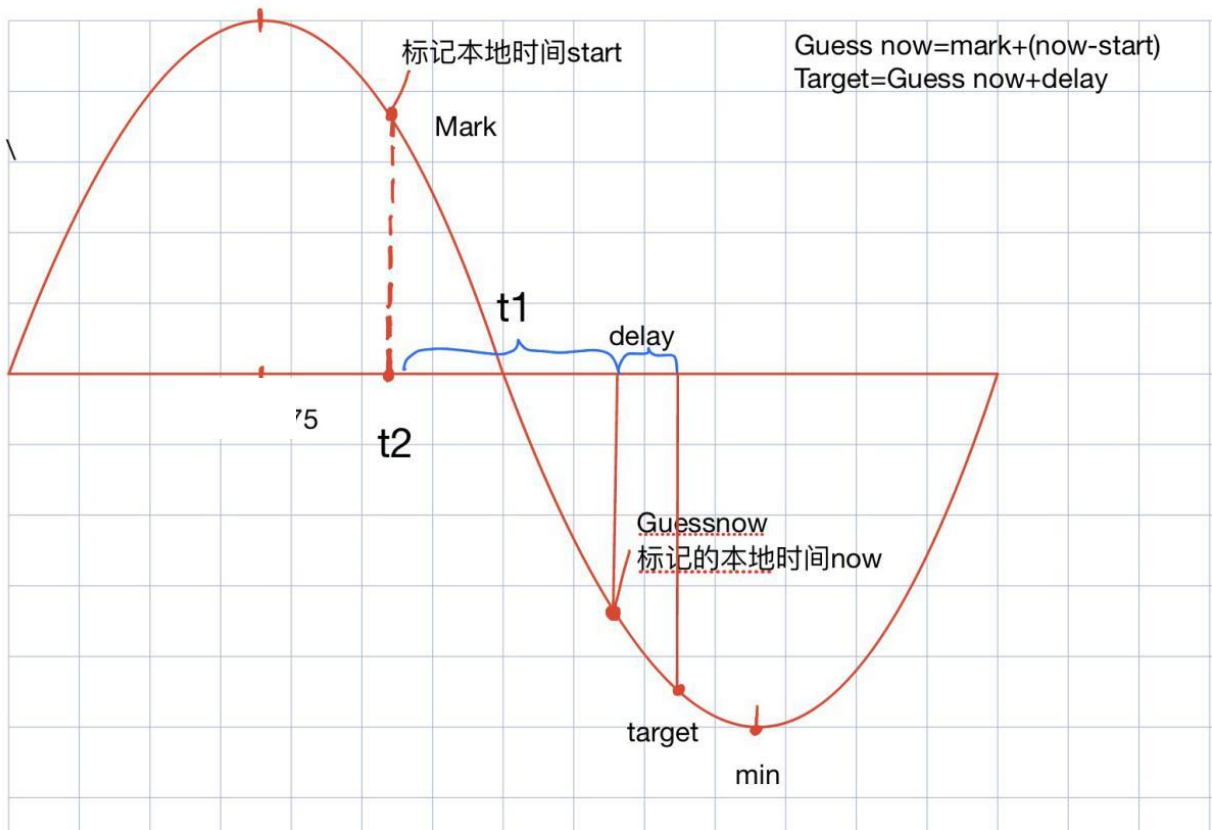


图 3-54 大能量预测

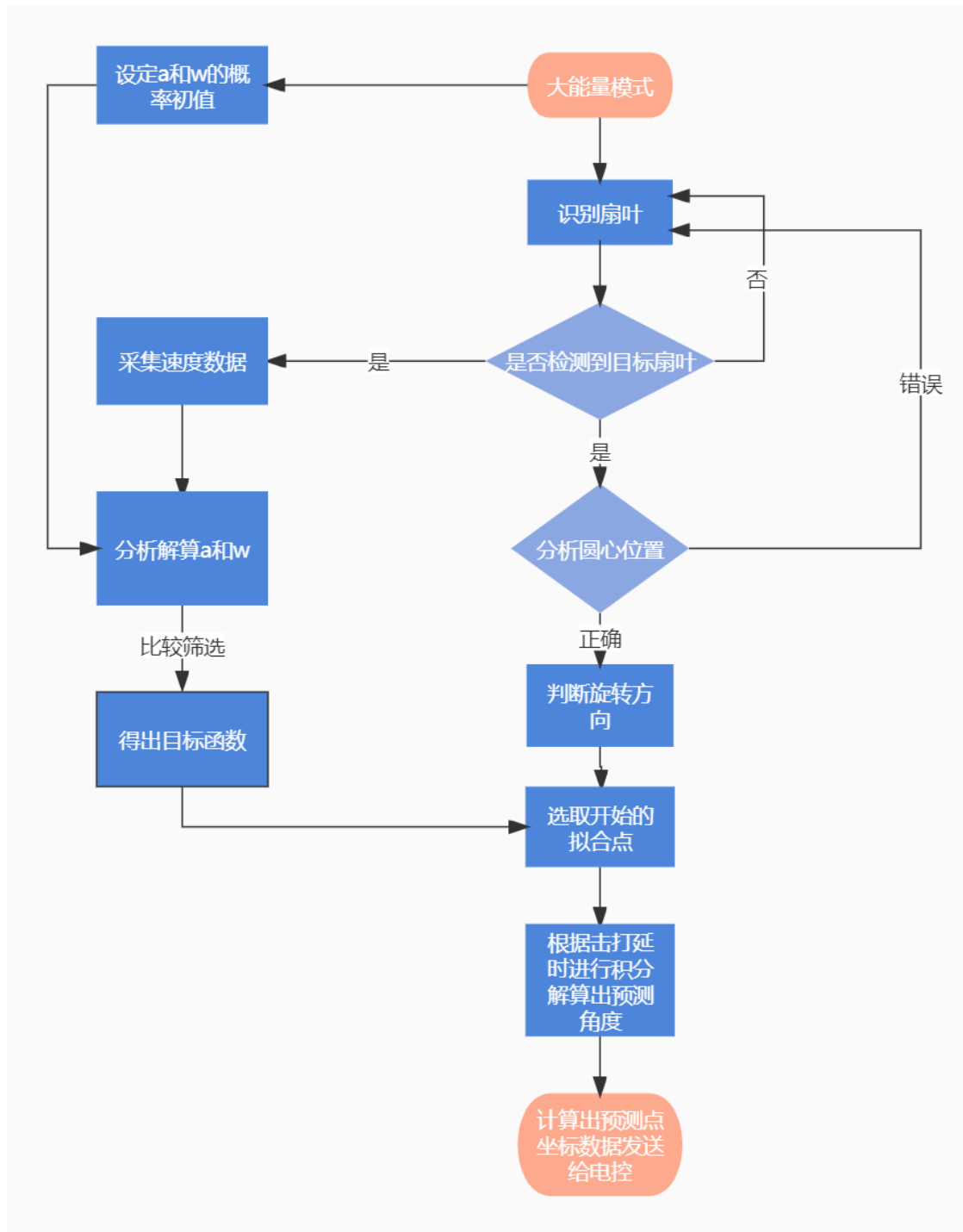


图 3-55 能量机关辅助瞄准代码流程

3.5 自动步兵算法设计

3.5.1 自动步兵硬件框图

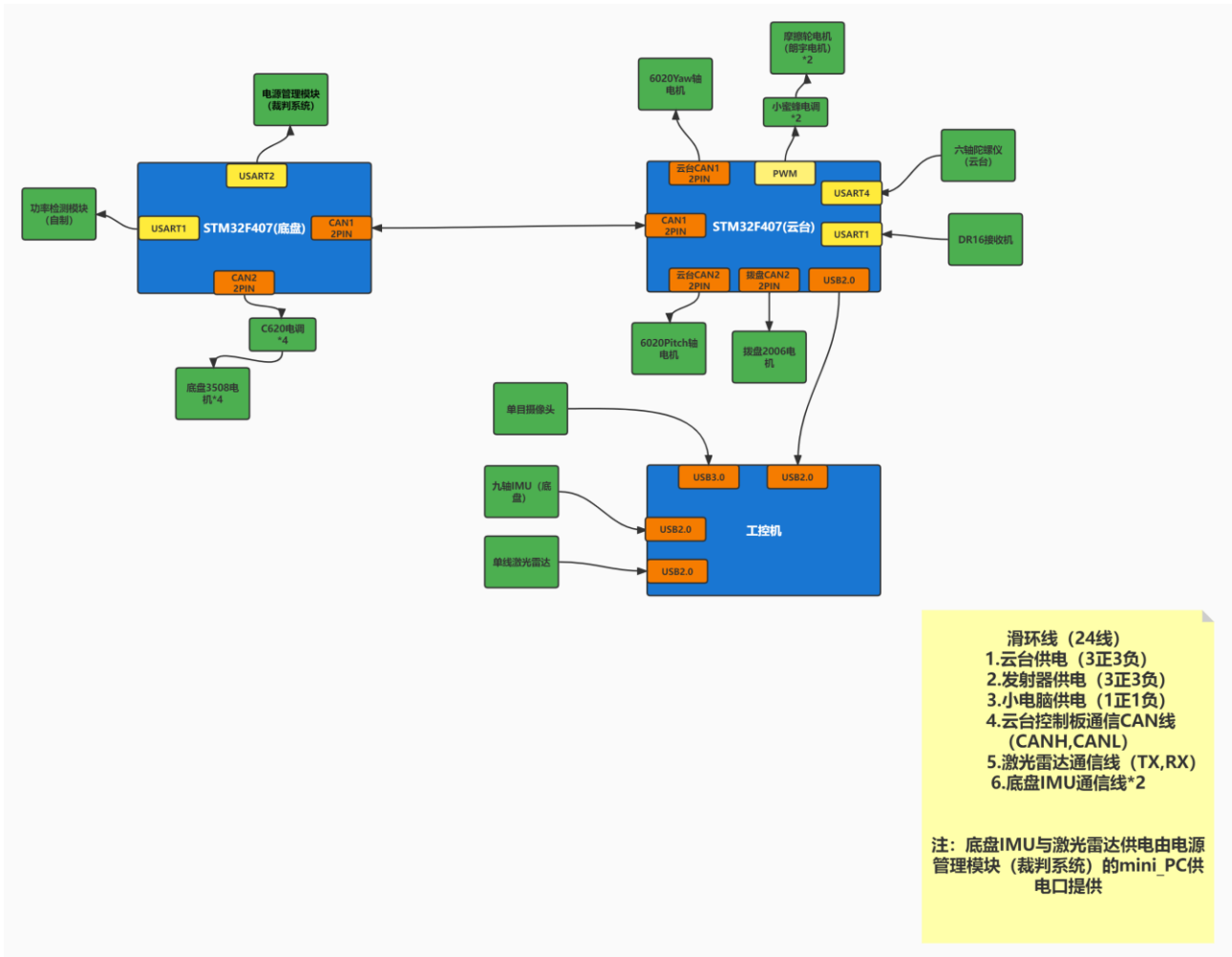


图 3-56 自动步兵硬件框图

3.5.2 自动步兵通讯协议

自动步兵通讯协议采用基于修改后的 RM 协议，可根据需求设置相应的数据包（结构体），发送和接收不定长数据包，最大支持 128 字节，当前测试最高收发通讯频率为 500hz。硬件上采用云台控制核心板的 STM32_USB_DEVICE_CDC 硬件外设，并与 Mini PC 连接实现 USB 虚拟串口通讯。



图 3-57 自动步兵通讯协议

项目中的通讯协议基于 FreeRTOS 架构，有很高的移植性，针对 FreeRTOS 系统仅需在已有的代码框架中增加两个任务，开启相应的 Cubemx 配置，并在相应的数据更新代码段中调用 `rm_queue_data` 函数发送相应数据包。解包任务则自动检测 FIFO 中是否有帧头，并反序列化数据，根据数据包 ID 进入对应的处理事件。

程序逻辑

需要发送的数据入发送队列函数：

`rm_queue_data(数据包ID,数据包结构体,长度);`



图 3-58 自动步兵通讯代码逻辑

项目中主要由云台核心板发送两个数据包分别为裁判系统数据包与机器人状态数据包（包括底盘速度，云台姿态等）。由 Mini PC 发送两个数据包分别为底盘运动数据包与与云台控制数据包。

Mini PC 中 ROS 操作系统中运行通讯节点，可随时检测设备连接情况，节点定义与 STM32 上相同的数据包结构体即可实现通讯，随后发布相应的 ROS 消息话题，或通过订阅相应的话题从而实现上下位机的通讯。

3.5.3 系统架构

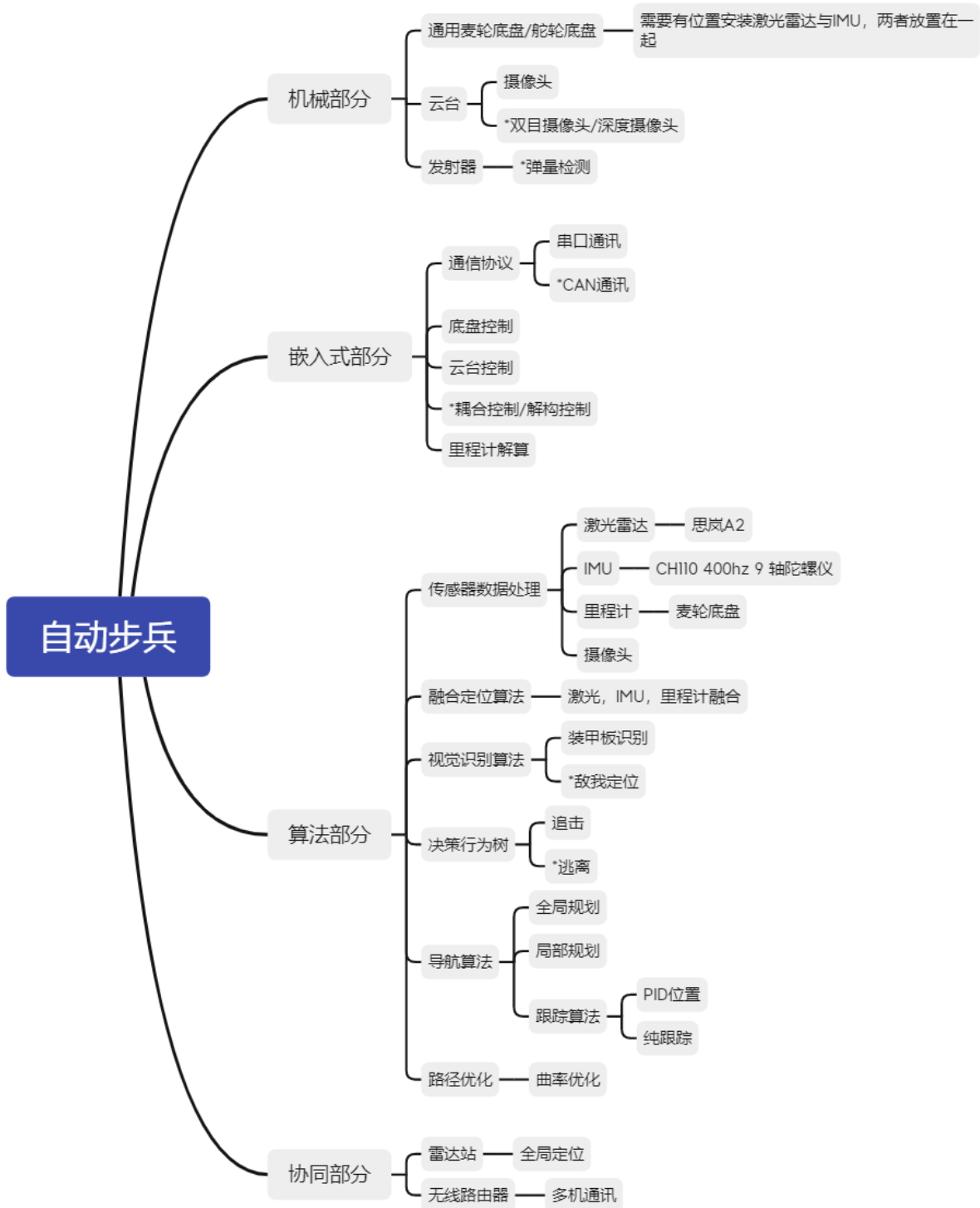


图 3-59 自动步兵系统架构

3.5.4 定位算法

在定位算法上，我们采用的传感器包含有由电机编码器反馈转速并根据麦克纳姆轮逆运动学解算获得的编码器里程计信息，以及安装在底盘的 IMU 陀螺仪和思岚 A2 激光雷达。目前有通讯节点获取底盘速度并与 IMU 采用拓展卡尔曼滤波(EKF)实现对机器人的位置估计，并发布机器人 base_link 相对于 odom 坐标系的 tf 变换。

考虑到如果只使用里程计作为小车定位，其误差会随时间累积。所以我们在此基础上使用激光雷达数据并采用 AMCL 算法实现对小车定位的修正发布由 map 到 odom 坐标系下的 tf 变换，以补偿里程计位置估计的累加误差。AMCL 原理是先用里程计数据进行积分获得预估位置，再在该位置附近以正态分布或均匀分布撒点，并使用每个粒子所处位置模拟一个传感器信息跟观察到的传感器信息作对比，从而赋给每个粒子一个概率。之后根据生成的概率来重新生成粒子，概率越高的生成的概率越大。在迭代有限次之后，所有的粒子逐渐收敛，推算出机器人准确位置。

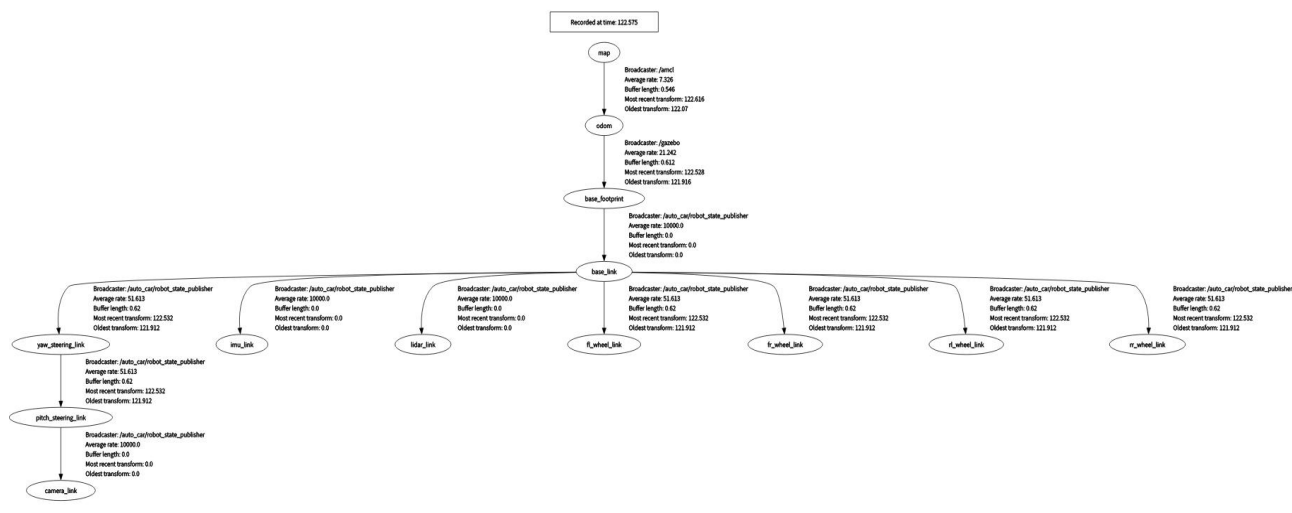


图 3-60 机器人 TFtree

3.5.5 导航算法

自动步兵导航算法分为全局路径规划和运动控制。在全局规划方面，我们使用 move base 导航包，其提供的 A*算法利用 map_server 所提供的由小车通过激光雷达所创建出来的地图和小车当前自身的位置以及目标的位置等数据来规划出从起点到目标终点的一条最优路径。

为了使自动步兵能小陀螺跟踪全局路径，我们重写了速度规划器。速度规划器通过检测全局路径话题是否存在，当接收到全局路径便根据当前坐标选取机器人前方固定距离全局路径上的点作为局部目标点，通过监听 base_link 与 map 坐标系的 tf 变换获取旋转矩阵，根据当前航向角再将速度分解到 base_link 坐标系的 x 和 y 方向上，同时给机器人固定的 wz 角速度，就能实现小陀螺移动。

避障方面由全局路径规划算法，当机器人小陀螺时基本近似一个圆形，所以在全局规划的过程中约束条件设置机器人半径为机器人小陀螺时的圆形半径。

3.5.6 决策算法

决策部分由以多参数状态机切换机器人当前行为。其中包含准备状态、随机搜索状态、追击状态、攻击状态和防御状态。由多线程的状态机节点监听多个状态参数并管理机器人当前行为，其中包括是否发现敌方（视觉识别装甲板）、是否发现敌方坐标（雷达识别敌方坐标）、裁判系统比赛状态、血量、剩余子弹数量、枪管热量、自身坐标与最优攻击距离等。由线程一不断更新状态量，线程二控制云台行为，线程三根据状态切换底盘行为，实现云台与底盘控制的解耦。最优攻击点与防御点的获取通过采样地图上多个离散的目标点，根据目标函数（敌我距离，直线距离间是否有障碍物等约束条件）计算得出权值最高的目标点，通过调用move_base服务启动导航服务。

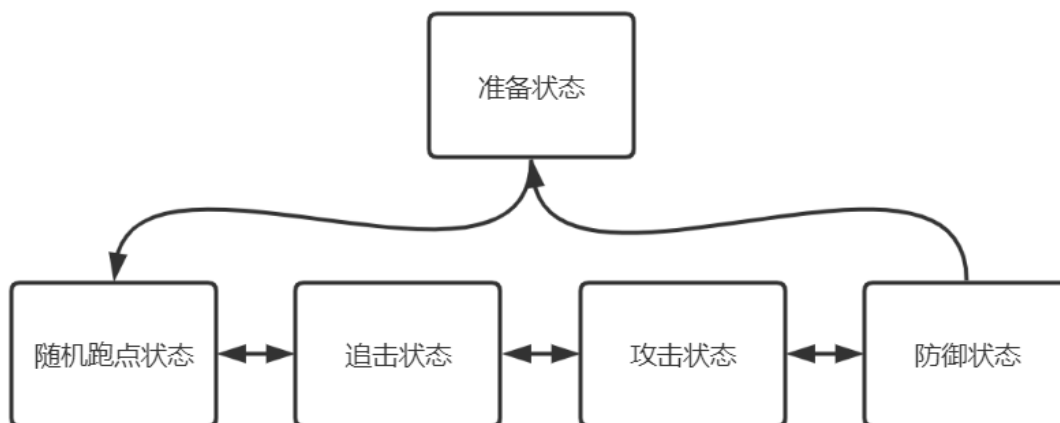


图 3-61 基本状态机切换示意图

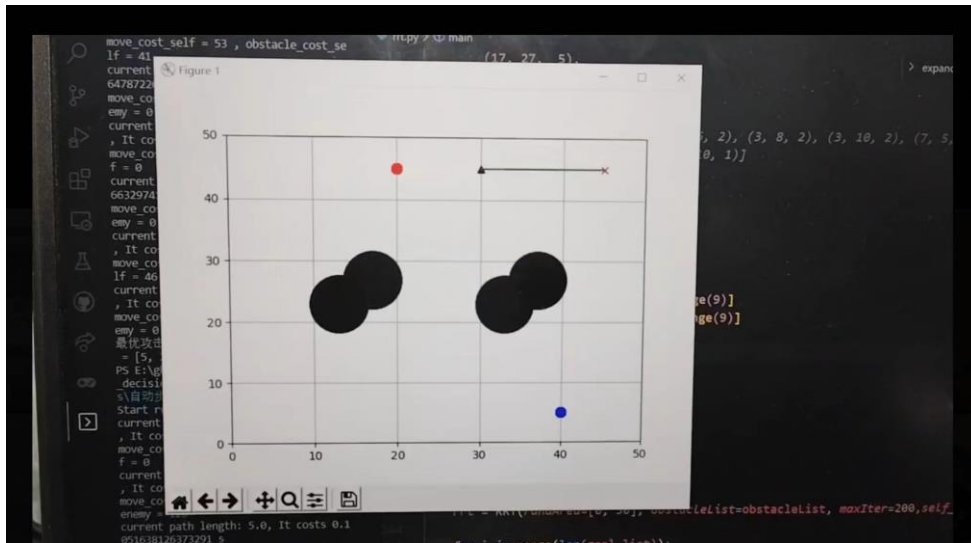


图 3-62 最优攻击位置算法目标函数演示

3.5.7 视觉检测算法

视觉装甲板识别与普通步兵相同，再此不过多赘述。不同点在于我们利用检测出来的装甲板位于相机坐标系下的pitch、yaw和距离信息转化为发布装甲板与camera_link的tf变换，从而决策算法可以根据监听敌方装甲板在map坐标系下的坐标变换，从而实现短距离的视觉辅助追击敌方。

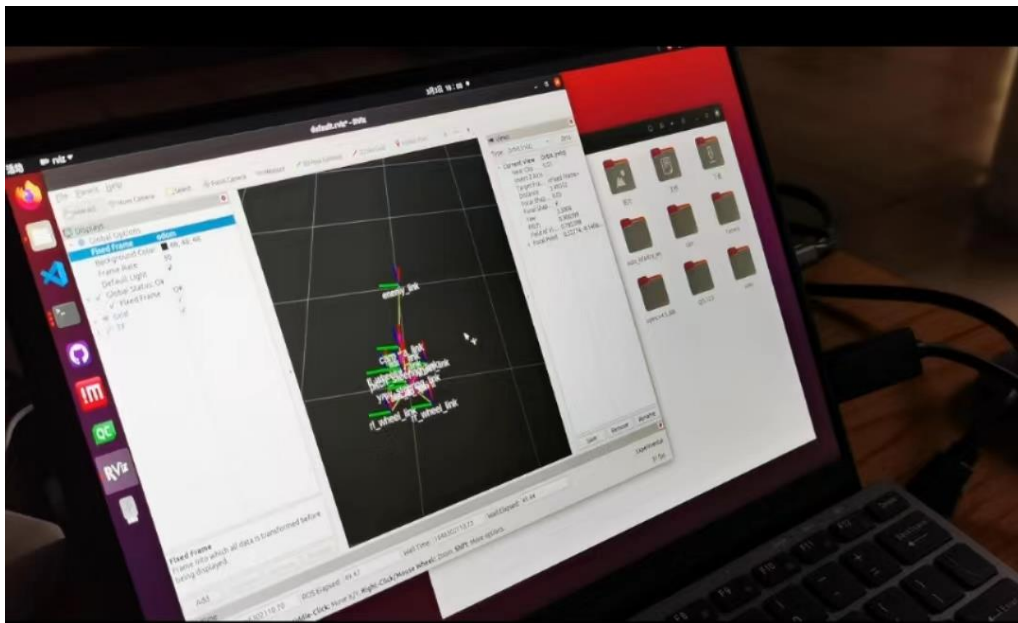


图 3-63 装甲板绝对位置定位

3.5.8 雷达视觉定位算法

目标识别算法:

在识别上考虑到系统的实时性因而使用较为经典速度较快的 yolo3 目标检测识别网络, 并使用 darknet 框架进行训练, 使用 opencv 的 dnn 模块进行模型以及权重的调用, 在网络识别目标上考虑到识别目标的普适性, 因而选择小车的装甲作为识别的目标, 考虑到有修正我方定位的需求, 因而将红蓝装甲板进行分类, 分别进行目标检测和识别, 由于考虑到实时性, 网络的整体维度较小, 场地较大, 若直接将图片整体降低维度输入到网络中, 将导致场地远处的关键特征丢失, 导致无法识别远处的目标, 因而需要通过以往的计算坐标转换回相机坐标, 并基于以往的坐标得到小车坐标所在区间后对该区间进行图像切割并识别。

识别权重帖子: <https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=21574>

目标跟踪算法:

由于识别的帧数不高, 因此使用扩展 kalman 滤波框架进行预测, 从而补充数据帧, 并且对识别目标进行实时跟踪。

多线程调度:

由于系统的实时性需求较高, 因而考虑使用多线程来提高并发性, 分别将识别和坐标计算以及图像数据获取分别以独立的线程进行处理, 并使用共享内存的方式进行数据交换, 从该 workflow 来看, 各个线程之间为直接约束, 因而考虑使用生产者消费者模型, 通过添加缓冲区并添加控制信号, 将各个线程之间的直接约束转换为间接约束, 并且在系统的工作过程中只对数据操作的关键性代码进行独立加锁, 提高系统整体的并发性, 从而提高系统的实时性。

透视变换:

在程序开启后对场地边界点进行标记, 然后与设定好的透视变换矩阵相乘, 获取得到目标点在当前变换后的图像区域中的坐标, 再进一步换算为以左上角为原点的地图坐标系。

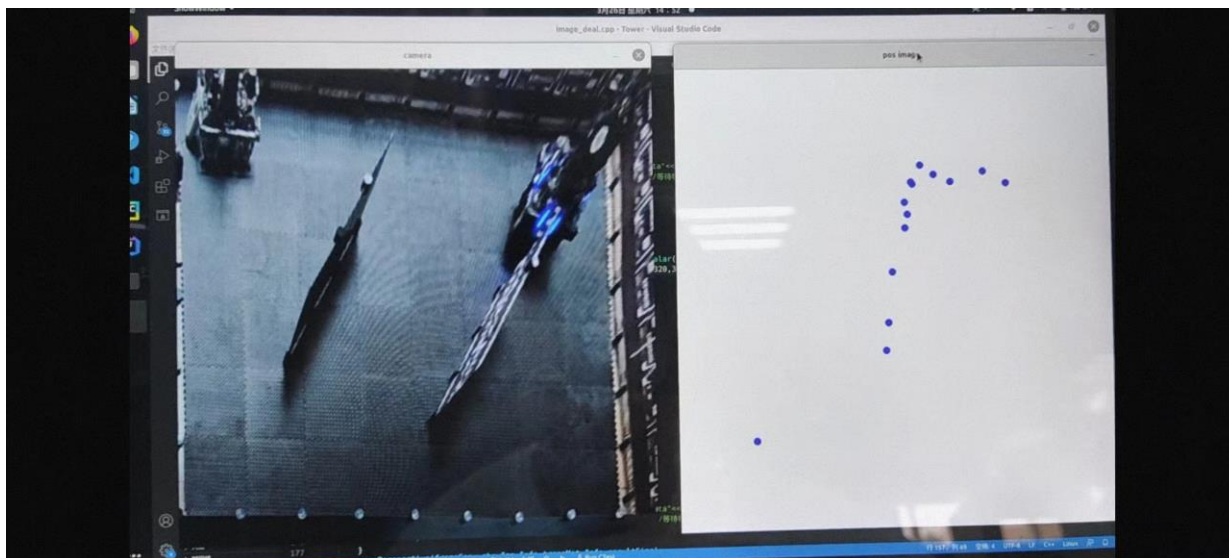


图 3-64 雷达视觉定位效果图

3.6 人机交互设计方案

3.6.1 自定义 UI 界面

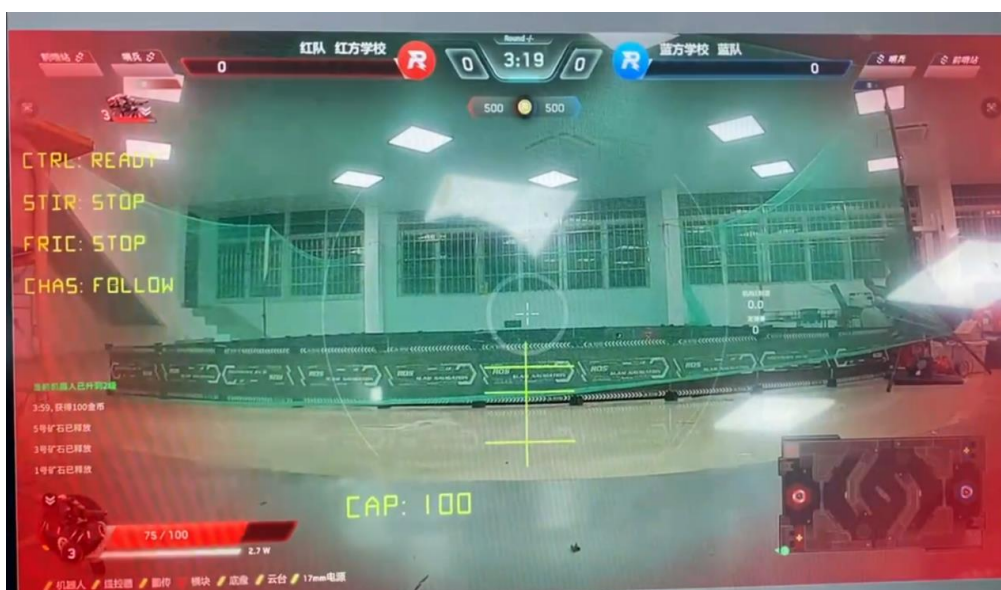


图 3-65 步兵自定义 UI 界面

左边的四行字母分别代表控制模式，发射器模式，摩擦轮状态以及底盘模式，中间为辅助瞄准的准星，中间偏下为当前超级电容的剩余能量百分比，因为上赛季我们的人机交互并不是十分的完善，导致操作手比赛时总是不知道自己的机器处于什么状态，于是这赛季我们对 ui 进行改进，从而优化了操作体验。

表 3-3UI 元素说明

UI 名字	对应部分	对应状态
CTRL	整车任务状态机	READY: 可以进行操作 PROTECT: 保护模式, 整车断电
STIR	拨盘电机状态	RUN: 拨盘电机就绪 STOP: 断电保护状态
FRIC	摩擦轮电机状态	RUN: 摩擦轮电机就绪 STOP: 断电保护状态
CHAS	底盘模式	PROTECT: 保护模式 FOLLOW: 跟随模式 ROTATE: 小陀螺模式

在后续, 我们将考虑加上指示灯反馈, 实现在离线模式下也可以实现状态的反馈, 让操作手和队员知道当前机器的状态, 方便日常维护以及上场前的检修。

3.6.2 半自动化的设计

1. 补弹模式: 当操作手打开弹仓盖时, 进入补给模式, 此模式下, 使机器的速度变得缓慢, 方便操作手调整机器, 进行补弹。
2. 一键调头: 按自定义按键后, 云台直接 180° 转向。

3.7 保护壳设计方案

本赛季步兵发射器采用黑色碳板作为保护, 碳板具有强度高, 质量小, 精度高, 适合作为发射器的保护罩, 镂空和设计思路来自与金牛座外形, 头部酷似牛头, 可拆式保护罩, 兼顾保护效果与美观, 同时具有快速拆卸的特性, 能够便捷拆开保护进行发射器的维修, 镂空利于走线布线, 也可方便观察发射器工作的情况, 同时也减轻了部分重量, 即美观又轻便。

云台部分保护壳采用圆形镂空, 最大程度与云台贴合, 防止弹丸落与其中, 底盘采用黑色 1mmPC 板作为保护壳, 设计灵感来自于汽车外形, 与装甲板能更好的贴合, 麦轮及减震的

保护外形酷似牛角，流线形设计有利于减轻步兵旋转与移动时受到的阻力，最大程度保持步兵机器人灵活的特性，同时四个面与装甲板呈平行关系，均为 75° ，防止与装甲板干涉的同时，能够有效的反射弹丸的击打对车体造成的影响，在起到保护作用的同时能最大程度提高整车的灵活性。

全车多处采用三角形结构，有利于结构的稳定，在受到弹丸击打时不易产生变形与破损，各部分的连接采用螺丝与魔术贴相结合，有利于快速拆卸进行内部检修与维护，保护壳与四边的铝管通过轧带固定，便于拆卸的同时能紧密固定与底盘上，在 PC 板的弯曲线后贴有大量纤维胶布，起到强化作用，使其不易变形损坏，提高抗击打强度与使用寿命，整车以哑光黑色为主调，整体呈现出简约轻便的气质。

由于步兵框架的迭代，保护壳外观将会做出适当调整，下图非最终方案。

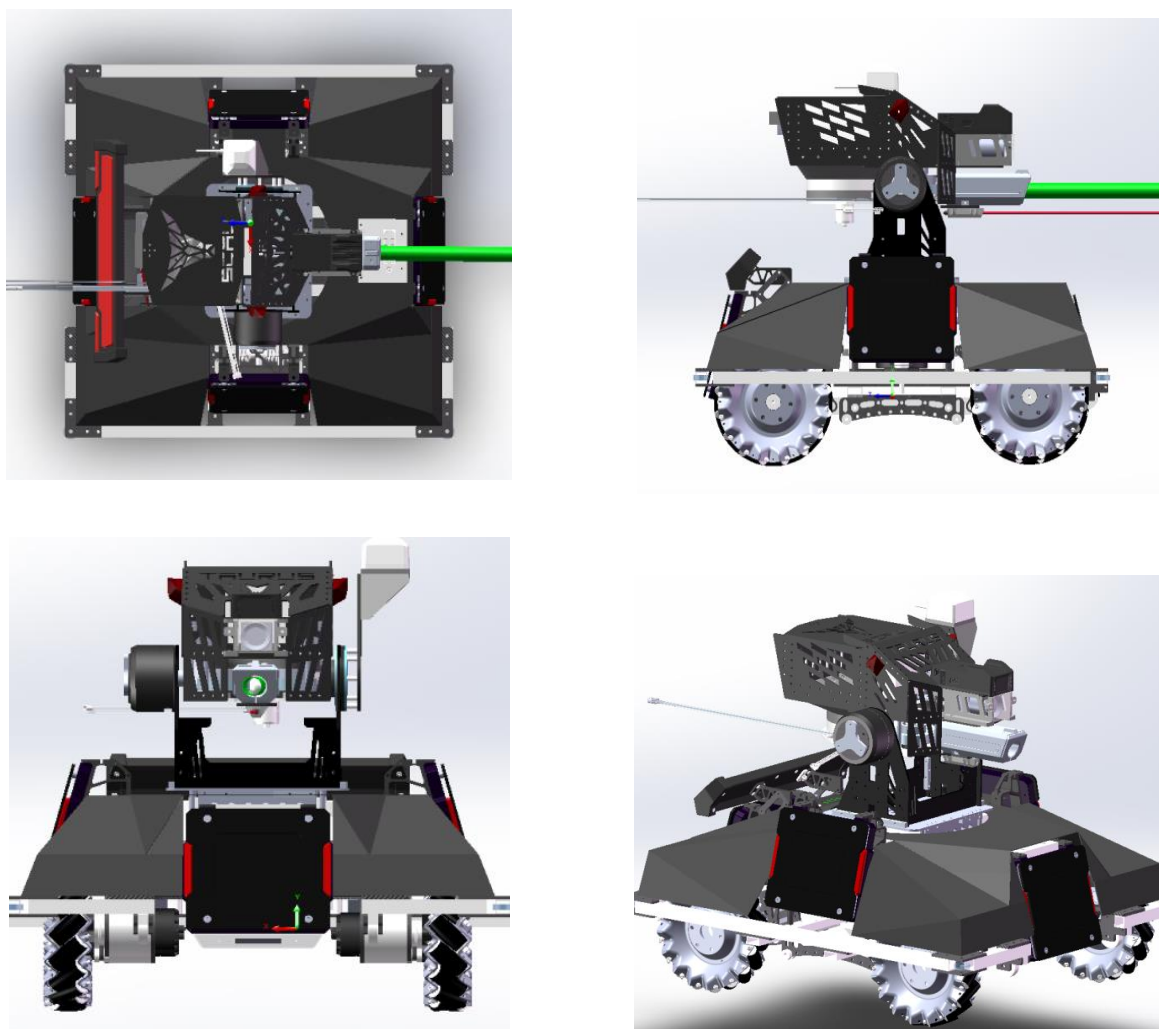


图 3-66 保护壳多视图呈现

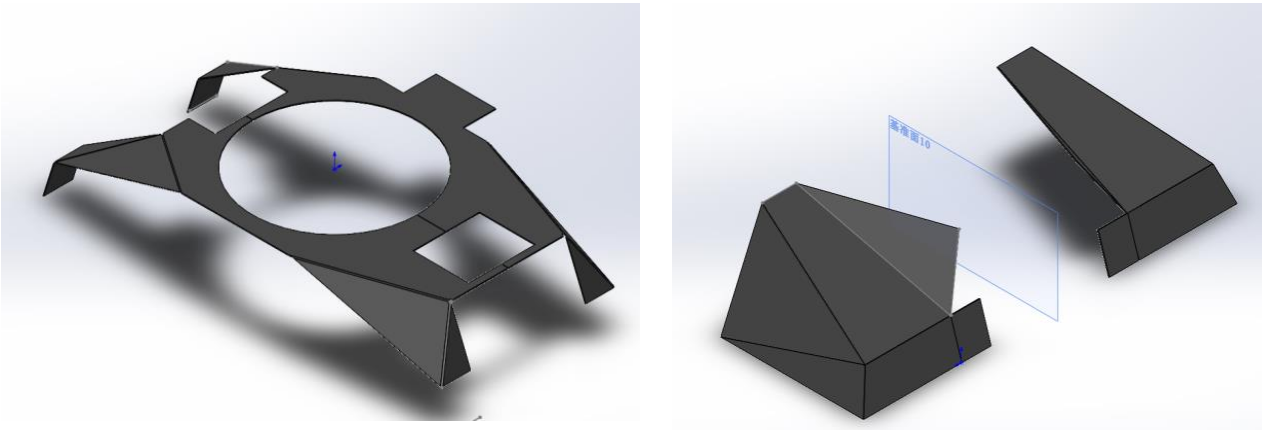


图 3-67 保护壳零件渲染图

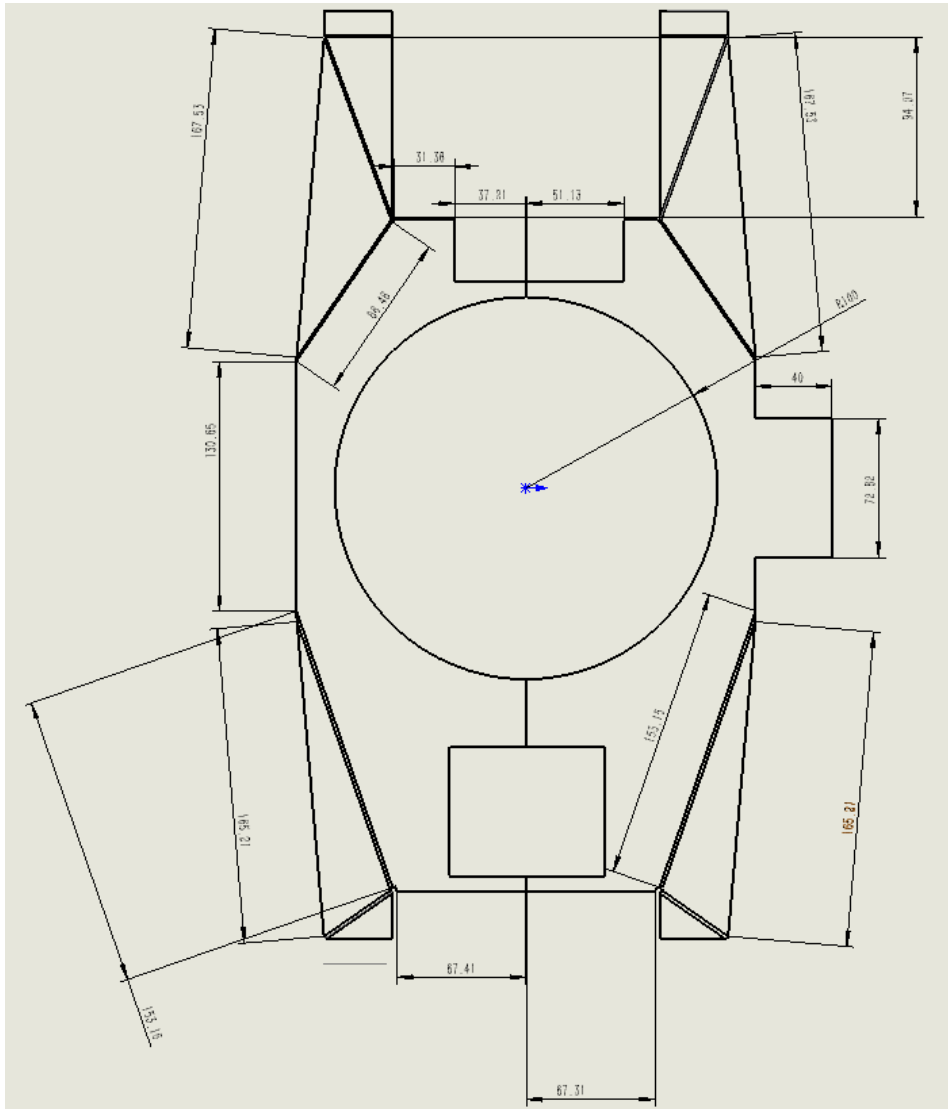


图 3-68 保护壳平面设计图

4. 研发迭代记录

4.1 机械设计

4.1.1 底盘版本迭代过程记录

版本号	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	恢复上赛季整车机械结构	2021.09.10
V2.0	拉簧自适应底盘	2021.10.30
V2.1	压簧自适应底盘	2021.12.15
V2.2	圆形框架	2022.04.01

4.1.2 发射器版本迭代过程记录

版本号	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	打印机等加工误差	2021.12.10
V1.1	无枪管方案	2022.01.10
V1.2	螺丝做限位	2022.01.10
V1.3	弹簧做限位	2022.03.01
V1.4	限位的个数及相对位置	2022.04.01

4.1.3 底盘迭代过程记录

	问题描述	原因分析	方案与效果	版本号	负责人
1	整车底盘轮系铝加工件较多，成本较高，装配难度大，强度过剩；底盘做成一块大底板装配时配合度要求高，且不易电控走线；独立悬挂在复杂地形上姿态不稳，容易翻车。	铝加工件可代替有些复杂结构，方便达到目的；底板是激光加工，精度较高，轮系与轮系依靠铝管连接，且铝管孔位是自己手动加工，加工误差大，导致装配难。	方案：采用板材代替铝加工件，将底盘分模块化设计；将独立悬挂改自适应连接。 效果：降低加工成本且缩短加工周期，方便装配，底盘抓地性增加。	V1.0	陈秋杰
2	拉簧无法兼顾减震和自适应连杆的作用；底盘运动时左右点头严重；自适应行程短，无法适应赛场地形。	拉簧自身特性和连接方式决定了其只能其减震作用，左右点头是由于拉簧较软，若换线径较大的拉簧，则减震效果很差且装配较难。	用压簧和避震器代替拉簧和连杆，且选用较长的避震器能直接加大自适应的行程。可以解决左右点头的问题。	V2.0	陈秋杰
3	需调整好避震器和连杆的相对位置，选好压簧的型号	压簧的软硬和避震器内避震油的浓度直接影响底盘的减震效果。	购买多种不同浓度的避震油很压簧的线径和长度进行测试，在摇臂上多设计几个孔位，方便调整避震器的位置。	V2.1	陈秋杰
4	方形框架的对角线长，小陀螺或者对抗时不容易摆脱敌方战车的围堵。	相同最大尺寸的方形的投影面积比圆形大，旋转半径也大。	采用碳板夹 UPE 作为外围圆形框架，加工成本和重量上都较为划算。	V2.2	陈秋杰

4.1.4 发射器迭代过程记录

	问题描述	原因分析	方案与效果	版本号	负责人
1	两个打印件在相同尺寸下在同一发射器上测试数据不同	打印机存在 1mm 误差，导致弹道不准	①改用光固化迭代，光固化比 pla 打印精准 ②可以通过调节螺丝松紧来优化弹道	V1.0	叶健乐
2	无枪管方案中，下方槽延伸到摩擦轮前停止和延伸到摩擦轮后停止，两者数据不同	槽在摩擦轮前停止，此时子弹还没有加速完全，若无下方无约束，子弹就会无规律散布	可以通过改变槽到摩擦轮的距离来测试，取最佳数据。我们测试结果是槽在摩擦轮后 2mm 处最好。	V1.1	叶健乐
3	螺丝方案中，在相同条件下，相比轴承方案一直不理想	螺丝对于子弹是点接触，而枪管表面光滑，靠一个点无法限制一颗子弹	采用无枪管配合螺丝，效果出奇的好，在 3m 处，弹道能稳定在 4*5 范围内	V1.2	叶健乐
4	弹簧搭配轴承方案中，在连续发射 200 颗子弹后，弹道会明显变差	弹簧过度使用后会发生形变疲劳，此时轴承就下沉，弹道变差	可以用销轴作为限位方式，这样就可以避免疲劳，弹道跟弹簧没啥区别	V1.3	叶健乐
5	采用前后轴承方案，无法突破高射速，弹道能打出一张 A4 纸	前后轴承对子弹只有一个线接触约束，不能稳定进入摩擦轮的子弹，	用上下轴承替代前后轴承，高射速下，弹道能稳定一块小装甲板	V1.4	叶健乐

4.2 嵌入式软件

4.2.1 版本迭代过程记录

版本号	功能或性能详细说明	完成时间
V1.0	上个赛季最终的上场版本	2021.08.08
V1.1	针对调试新增遥控器模式下的功能	2022.01.01
V2.0	重构代码，分层分模块	2022.03.05
V2.1	新增系统状态监控任务与看门狗复位	2022.03.20
V2.2	加入自定义环形缓存数据结构模块与微秒级定时器模块	2022.04.01

4.2.2 重点问题解决记录

	问题描述	原因分析	方案与效果	版本号	负责人
1	机器剧烈碰撞或者运动中烧写代码时有失控的可能	1. 剧烈碰撞导致硬件供电波动，程序跑死； 2. 烧写代码程序部分失控	增加系统底层与应用层检测逻辑，当出现超过 2 个检测周期的异常，则自动复位，最终能有效规避车失控的情况出现。	V2.1	曾子敬
2	视觉数据时间轴不匹配	视觉侧图像与数据处理、通信具有延时	电控端传感器存储历史值，进行动态时间轴匹配。	V2.2	曾子敬
3	视觉自瞄，目标突然出现时，云台会出现过冲	目标突然出现时，原本数据是常数，但由于滤波器处于收敛过程，从而有了一个不存在的变化率	利用上位机精确测定各种极限情况下的滤波器收敛时间，保证收敛后再进行处理。同时，减少非必要滤波，减少收敛时间。	V2.2	曾子敬

4.3 嵌入式硬件

4.3.1 版本迭代过程记录

版本	功能或性能详细说明	完成时间
V2018	超级电容方案：先升压到 27V 再用 BQ24060 芯片对电容组进行充电。	2018 年
V2021	超级电容方案：利用国产芯片 SC8701 芯片（可升降压）对电容组进行充电。	2021 年 4 月
V2022	超级电容方案：正在研发数控电源方案和半数控电源方案。	未完成

4.3.2 重点问题解决记录

	问题描述	原因分析	方案与效果	版本	负责人
1	V2018 版本需要经过升压再给电容组进行充电，过程复杂，同时升压部分发热严重，效率较低。	升压部分 PCB 布局走线存在设计问题。	重新设计 PCB	V2018	陈颖雄
2	电容组发热严重	电容组由于自身存在容量误差，实测最大电压只有 23.8 左右，之前由于控制板是设 V_{max} 为 24.3V 的，因此导致电容组一直被充电从而发热。	将最大充电电压降到电容组的实际最大电压	V2021	邝梓轩

4.4 视觉算法

4.4.1 版本迭代过程记录

版本号	功能或性能详细说明	完成时间
21.6	识别代码部分重构，更好的识别效果，优化预处理	2021.06
21.9	预测升级，使用二阶卡尔曼模型及更好的数据处理	2022.01
22.3	更换更好的几何预测模型；数据处理更平滑	2022.03

4.4.2 重点问题解决记录

	问题描述	原因分析	方案与效果	版本	负责人
1	灯条拟合效果需要更加稳定。	灯条拟合方式可改进，以及图像噪点的存在	灯条拟合方式更改及 PNP 解算点算法优化。	21.6	陈潇扬
2	目标静止时，绝对 yaw、pitch 角度信息不符合实际。	视觉数据与电控数据时间戳对齐问题，以及视觉线程帧率不稳定	将数据存入历史队列，取相近时间点的数据拟合。固定数据发送频率，便于时间戳对齐。	22.8	陈潇扬
3	目标车突然变向，响应会有延迟。预测数据波形有不稳定。	预测模型有缺陷。构建的模型与实际车的运动情况不匹配。	尝试不同的预测模型：最终选用坐标预测并得到了较快的预测效果。	22.3	陈潇扬
4	更改预测后，视觉角度解算代码部分架构需要优化	更改预测后，视觉角度解算代码部分架构需要优化	角度解算重构优化：补帧与预测决策优化。	22.3	陈潇扬
5	当前视觉中，识别解算线程的帧率在 100~150 帧，为了稳定只能锁定在 100 帧。	视觉线程帧率慢一定程度影响了电控控制的速度	图像预处理多线程加速（多行并行处理） -->尝试中	22.4	陈潇扬

4.5 自动步兵算法

4.5.1 定位算法迭代优化

由于当前 amcl 定位效果不佳，且更新频率较低。且当前激光雷达帧率较低，在小陀螺过程中，激光雷达数据出现明显的运动畸变问题，导致全局代价地图的变形。正在增加激光去畸变算法同时使用 Cartographer 的纯定位功能，实现更好的定位效果。同时结合雷达对自身的场上定位实现更加准确的定位效果。

4.5.2 决策算法迭代优化

当前决策算法存在当目标移动，离散的最优目标点跳动较大的问题。我们正在尝试基于光线扩散的代价地图的攻防算法，由于机器人发送弹丸类似光线直线传播，而由于障碍物将会遮挡光线的原理。我们在 matlab 上对该算法原理进行了验证，通过该方法可以合理的找到最佳的防御点，即使光线最暗点，同时可以根据当前状态参数与代价地图结合，从而确定最优的目标点区域，从而导航到目标点。

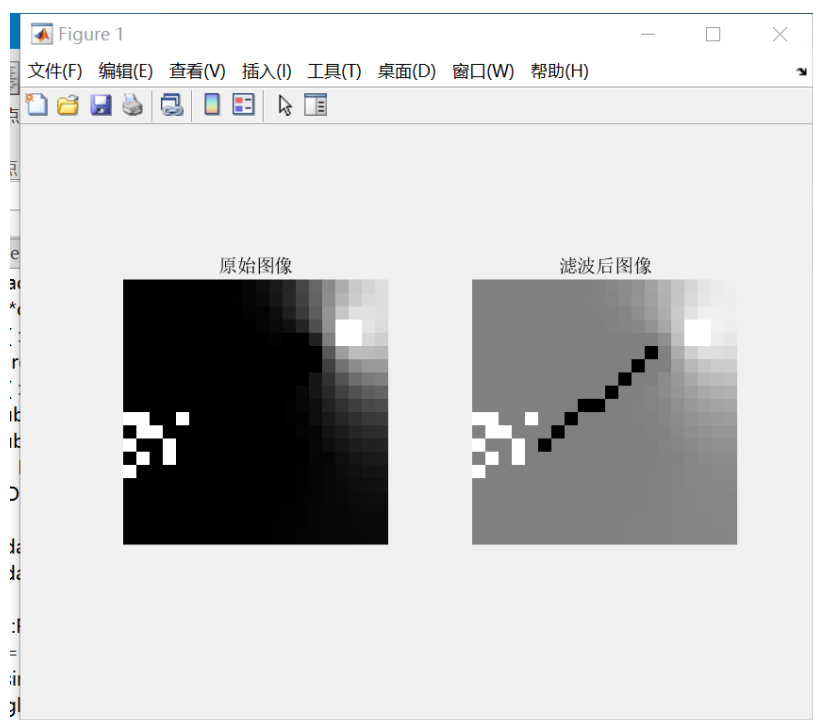


图 4-1 算法原理效果图

4.5.3 导航算法迭代优化

当前导航算法依赖 `move_base` 框架下的全局规划算法 A* 但是没有采用局部路径规划算法。所以其避障能力优先，由于全局代价地图更新速度不高，测试中仍然存在撞击障碍物或敌方机器人而产生固连的问题。后续优化思路为修改 `move_base` 框架，增加局部路径规划与代价地图，提高局部避障能力。同时优化当前的小陀螺速度规划器的跟踪效果结合在 `move_base` 框架中。

5. Z 轴自适应减震云台

本赛季更改了地形规则：从部分盲道到全盲道地形，这意味着对参赛队伍的机器性能提出了更高的要求，如此颠簸的地面，对机器上的小电脑、摄像头、电机等物资极其不友好。因此从机械上要求结构更加紧凑和牢固，并想办法解决还在削弱震动带来的负面影响。面对规则的改动，结合大疆新发布的如影 4D 防抖云台，并且在师兄的指导下，我们开始了对 Z 轴云台的探索。

5.1 机械减震结构

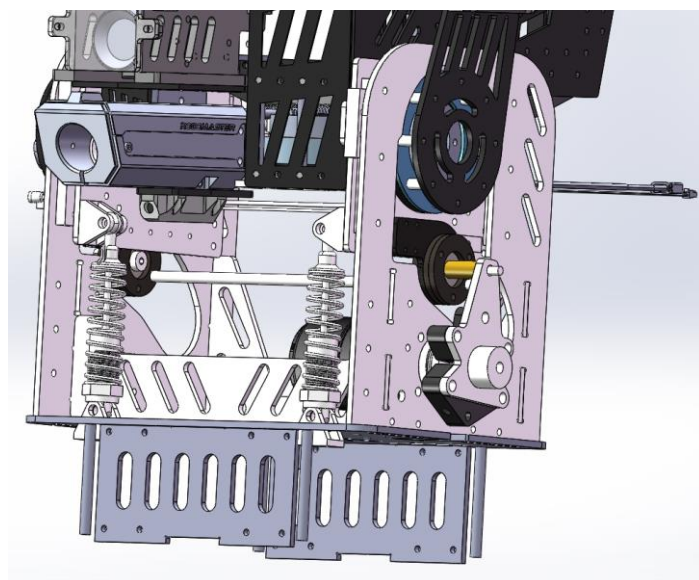


图 5-1 第一版 Z 轴云台

第一版 Z 轴云台将原来的云台侧板和 PITCH 轴固定板分离开，两块板之间加上两条滑轨滑块，在固定 PITCH 轴的板子加上竖直放置的避震器，如图 5-1 所示。我们将避震器加在云台的前端，主要是考虑到飞坡时云台有向前的惯性，可以让避震器吸收冲击，减轻对云台的冲撞。经计算，采用一个 3508 原装电机作为动力驱动，云台两侧用四个竖直滑轨滑块连接，保证云台能上下运动且基本无虚位；在两侧横向各加一条滑轨滑块，通过曲柄连杆机构将电机动力传递到横向滑块，再带动竖直滑块运动，进而实现云台沿着一定规律上下运动。3508 电机放置在 PITCH 轴电机的另一端，一方面可以配平左右的重量，另一方电机的运动

幅度较好，且装配较简单，并将动力通过螺杆传递到另一端，另一端仍采用曲柄连杆机构；选用 85mm 的避震器，其有效行程约 25mm，整车装完预算压簧的压缩量约 10mm，这样的云台在振动时有上下运动和缓冲的空间，如图 5-2 所示。

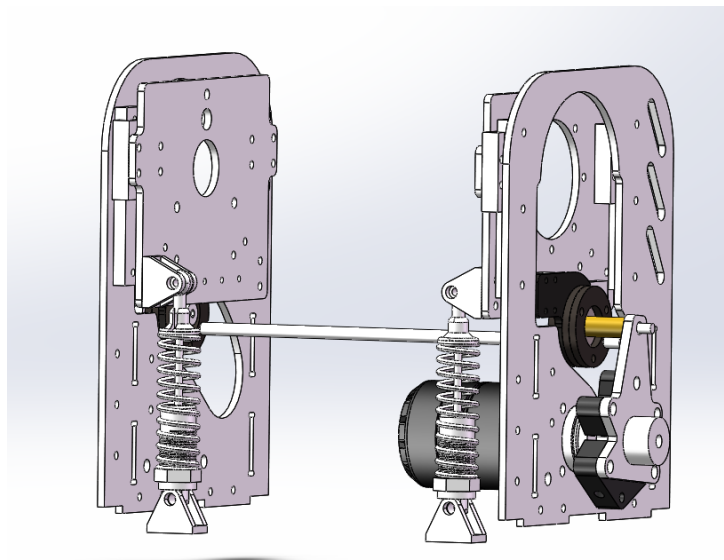


图 5-2 连杆等机构图

经测试，出现的问题如下：

- 1.当横向和垂直方向的滑块同时起作用，其运动并不顺滑。
- 2.云台振动幅度大于避震的行程，且只有两根避震器，云台前后端受力不均匀。
- 3.电机传动出现严重滞后性，即左右滑轨运动不同步。

针对第一版出现的问题进行改进，如图 5-3 为第二版云台图。首要解决电机动力问题，将 3508 电机置于两侧板之间，若要使电机的输出动力同时到达两侧板子并起作用，需让两侧各自对电机的扭矩相同，由扭矩公式得，扭矩等于力乘力臂，因此电机动力输出端位置应靠近云台较重一侧，即靠近 6020 电机一端。电机输出端与螺杆之间加几块板子的目的是让电机的动力更好的传递到螺杆上，减少因螺杆的变形带来的延时现象，如图 5-4。

在避震器上选用 105mm 的型号，其有效行程约 36mm，搭配线径 1.5 长度 74mm 的压簧，且前后各加两根避震，解决前后不平衡问题。

经测试，在未加电机控制时，仅靠 4 根避震器能看到云台由明显的消抖，但仍未达到预期效果。接下来将调整避震器内避震油的浓度和压簧的软硬，并且计算前后避震器到云台重心的距离，使之达到前后平衡。当加上电机时，若振动幅度较大，连杆打到最上端，进入死角，出现卡死，电机回不去现象，且滑块受力不合理导致运动不顺滑。

目前队伍暂时进行到这里，接下来将根据第二版出现的问题进行修改，着重解决死角和运动不顺的问题。因为目前的 Z 轴云台超出预计重量，我们将通过有限元分析和 ADAMS 仿真等仿真软件，进行镂空和安全强度计算，适当减重。

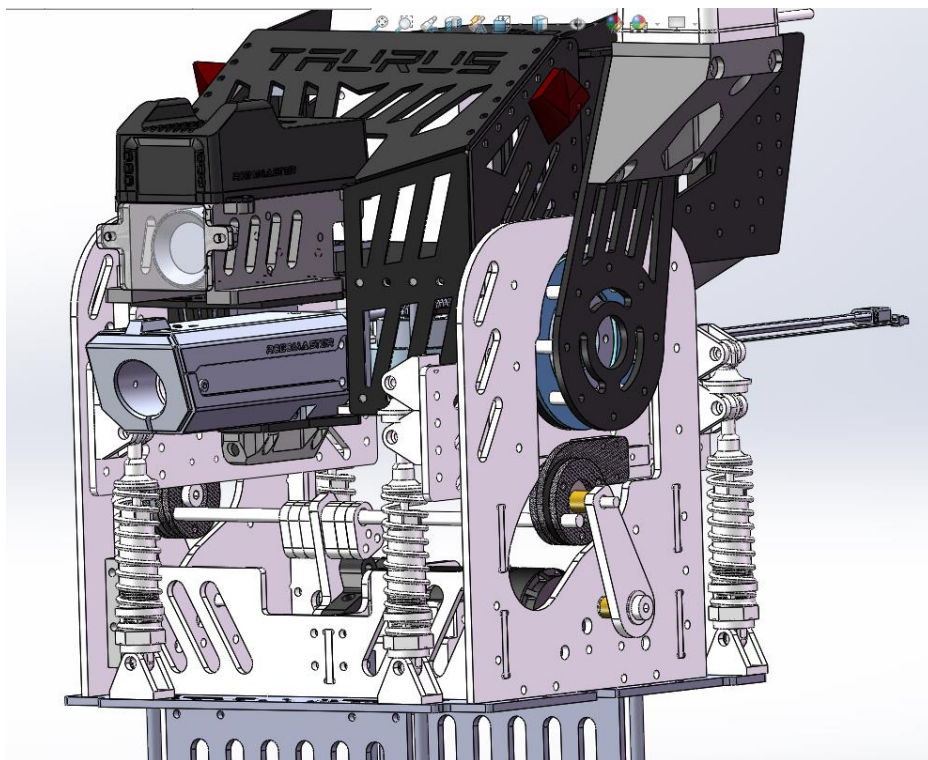


图 5-3 第二版 Z 轴云台图

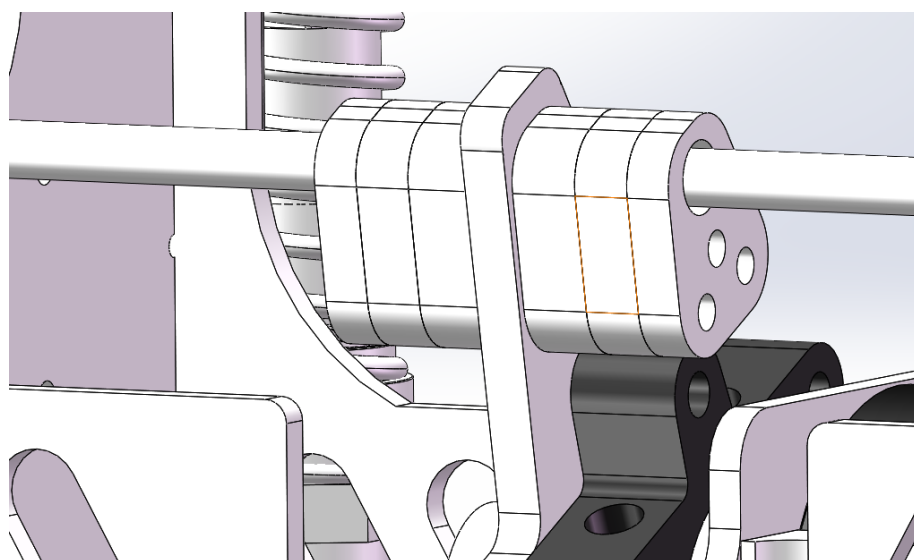


图 5-4 板子加强部分

5.2 电控减震原理

当机器人在运动的过程中，途径盲道等不平坦地形时，整车不可避免会产生震动，由于底盘本身只采用了机械减震方式，无法彻底隔绝震动。经汽车悬挂中的主动式悬挂与可变阻尼器的启发，我们设想，在云台处，加入机电一体化减震装置，当不给电机上电时，让云台沿垂直地面的方向（下称“Z轴”）能够自由振荡，构成“弹簧—质量块—阻尼器”模型。因为实际机器人运动过程中产生的震动幅度和频率是会改变的，同时也由于是上供弹，云台本身的质量也在改变，我们无法只通过调节弹簧劲度系数和阻尼器的阻尼系数来让系统恰好过滤掉可变频率和幅值的脉冲激励。对此，我们目前有两种可能的方案：

1. 以修改电机速度闭环控制参数的方式，给 Z 轴云台提供一个可变阻尼。当系统高频震动时，减弱控制强度，让云台更倾向于自由震动；当系统震动频率降低，则增大速度闭环控制强度，让云台基本钳位。
2. 通过 Z 轴加速度计进行两重积分获得 Z 轴方向上的震动幅值，经过变换，得到电机应当旋转的角度进行补偿。

对于方案 1，目前尚未得到较好的效果。对于方案 2，目前尝试对 Z 轴加速度计做一次积分得到 Z 轴速度，将速度映射为电机转速进行补偿，目前有一个初步的减震补偿效果，但是由于重力加速度分量和其他两轴加速度无法完全解耦，Z 轴加速度积分仍然会有较大的累计误差，暂时采用周期性复位校准以及 0 点死区等方法处理。

6. 团队成员贡献

姓名	年级	专业	角色	主要负责内容	贡献度
曾子敬	2019	自动化	电控组组长、步兵组电控负责人	1. 步兵机器人总体研发进度 2. 普通步兵电控部分测试与维护 3. 电控侧视觉辅助瞄准研发 4. Z轴云台电控部分研发	9%
骆振邦	2019	电子信息类工科	双枪步兵、自动步兵电控负责人	1. 双枪与自动步兵电控部分测试与代码维护 2. 陀螺仪算法研发 3. 电控侧辅助瞄准研发 4. 飞镖电控负责人	9%
刘锦晖	2020	电气工程及其自动化	普通步兵电控负责人	1. 普通步兵电控部分测试与代码维护 2. 无人机软硬件负责人 3. 无人机机械测试与优化	4%
翁宗标	2020	自动化	普通步兵负责人	普通步兵电控部分测试与代码维护	2%
刘旭龙	2020	电子信息类工科	双枪步兵电控负责人	双枪步兵电控部分测试与代码维护	3%
邝梓轩	2019	自动化	硬件组组长	1. 超级电容研发 2. PCB焊接	8%
陈浩铭	2019	软件工程	视觉组组长	全队视觉代码的维护	9%

姓名	年级	专业	角色	主要负责内容	贡献度
陈潇扬	2019	自动化	视觉自瞄负责人	视觉辅助瞄准算法研发	5%
徐泽铭	2019	自动化	视觉能量机关负责人	视觉能量机关辅助瞄准算法研发	5%
陈秋杰	2020	机械设计制造及其自动化	机械组组长 步兵总负责人	1. 步兵机器人总体研发进度 2. 底盘结构、Z轴云台设计装配与测试	9%
叶健乐	2019	机械设计制造及其自动化	机械组组员	步兵机器人发射器、云台的设计、装配与测试	8%
梁挺强	2020	机械设计制造及其自动化	机械组组员	步兵机械装配、与舵轮底盘研发	4%
黄泽凯	2020	机械设计制造及其自动化	机械组组员	1. 能量机关机械设计与装配 2. 步兵机械装配 3. 步兵保护壳设计	4%
区诗凯	2020	机械设计制造及其自动化	机械组组员	1. 能量机关机械设计与装配 2. 步兵机械装配 3. 步兵保护壳设计	4%
梁乐彬	2019	农业机械化及其自动化	导航组组长	ROS 应用程序框架设计, 决策算法设计	9%
梁重轩	2019	信息与计算科学	导航组组员	哨岗视觉定位算法设计	4%
申国豪	2020	人工智能	导航组组员	机器人定位算法设计, 导航参数优化	4%

7. 参考文献

参考内容	资料链接
RM2021-大连理工大学-自适应底盘技术报告	https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=11060&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26orderby%3Ddateline
RM2021-上海交通大学-云汉交龙战队-英雄机器人-机械结构开源	https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12241
RM2021-哈尔滨工业大学-I Hiter 战队-步兵机器人开源	https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12251&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26orderby%3Ddateline%26typeid%3D167
RM2021-深圳大学 RobotPilots 战队-步兵机械开源	https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12267&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26orderby%3Ddateline%26typeid%3D167
RM2021-华南理工大学-普渡华南虎-机械设计开源-英雄机器人	https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12210&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26orderby%3Ddateline%26typeid%3D11
RM2021-华南理工大学广州学院-野狼战队-步兵机械开源	https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=12216&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26orderby%3Ddateline
东北大学 T-DT 战队 RM2019 英雄机器人开源	https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&tid=11032&extra=page%3D1%26filter%3Dtypeid%26orderby%3Ddateline