

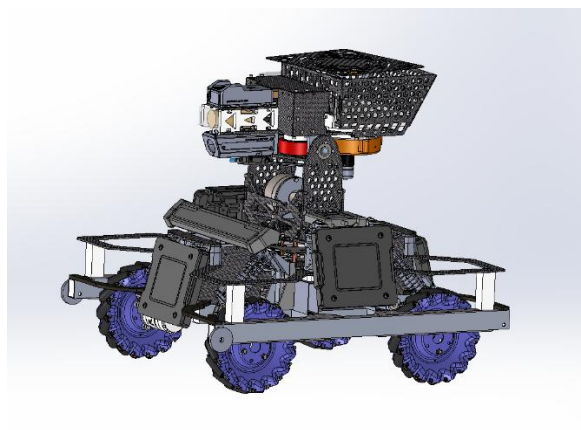


RoboMaster2021 技术交流活动

步兵机器人 开源报告

哈尔滨工业大学 | Hiter 战队

2021 年 8 月



目录

1.	需求确定.....	1
2.	结构设计.....	1
2.1	云台 pitch 轴.....	1
2.1.1	设计需求.....	1
2.1.2	设计方案.....	1
2.1.3	技术细节.....	2
2.2	云台 yaw 轴.....	2
2.2.1	设计需求.....	2
2.2.2	设计方案.....	2
2.2.3	技术细节.....	3
2.3	底盘铝架.....	4
2.3.1	设计需求.....	4
2.3.2	设计方案.....	4
2.4	底盘合页.....	5
2.4.1	设计需求.....	5
2.4.2	设计方案.....	5
3.	程序逻辑.....	6
3.1	自定义 UI 功能说明.....	6
3.2	操作手便捷按键（半自动化设计）.....	7
3.3	全车控制结构.....	7
3.4	控制逻辑设计.....	8
4.	算法设计.....	9
4.1	辅助瞄准.....	9
4.1.1	需求分析.....	9
4.1.2	方案设计.....	9
4.1.3	关键算法.....	10
4.2	能量机关部分.....	11
4.2.1	需求分析.....	11
4.2.2	关键算法.....	11
5.	技术参数.....	13
6.	创新性.....	13

1. 需求确定

步兵机器人是 Robomaster 比赛中最为基础的兵种，任务繁多，且上场数量不为 1，重要性不言而喻，主要的功能有：使用 17mm 弹丸击打对方机器人，激活能量机关，飞坡进攻，提供视野，配合己方机器人实现战术目的。为了实现这些目标，必须设计一套优秀的进攻系统，即拨弹和发射，要求不多发，不卡弹，弹频高，打得准，故采用了轴承拨叉式拨盘以及定位珠预置。底盘要求强度高，防撞性能好，悬架水平，飞坡不影响性能，所以采用了焊接大截面铝方管做底盘骨架，并加导轮以减少对底盘核心零件的冲击。

2. 结构设计

2.1 云台 pitch 轴

2.1.1 设计需求

步兵车身空间较小，pitch 轴的设计应以能够有效利用空间，尽可能降低重心。由于步兵对弹道要求较高，因此设计过程也应考虑传动效果牢靠稳定，保证发射弹丸后不会晃动等。

2.1.2 设计方案

步兵的 pitch 轴方案大体分为两种，直接传动和间接传动。直接传动有易于调试，安装更换方便，机构简单等优点。间接传动有放置位置灵活，空间布局合理，易于调整重心等优点。由于步兵对重心，空间布局有较高需求，因此选取间接传动为此次的设计方案。间接传动中选择以平面四连杆模型为设计原理，可以保证传递速度和力的效果最佳。示意图如下，箭头所指四点即为平面连杆转轴四点。

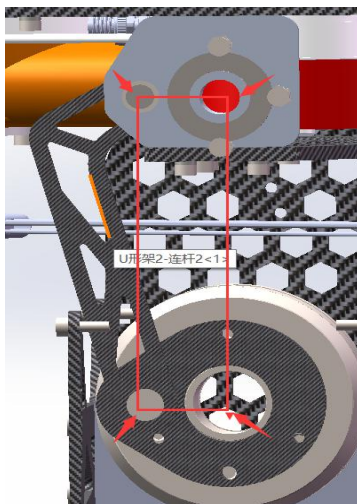


图 2.1.2 pitch 连杆

2.1.3 技术细节

具体结构如下爆炸图所示，调距垫片可以调整 6020 电机的位置，以便合理配置重心，整体结构为板材嵌套法兰轴承，中间用平面轴承间隔处理，值得注意的是曲柄和摇杆中间的距离应尽可能减小，塞打螺栓长度应略小于结构总宽，便于用螺母将其夹紧，保证其平面性，否则将产生空间运动变形，也应挑选配合合适的塞打螺栓和轴承，避免间隙过大影响传动效果。

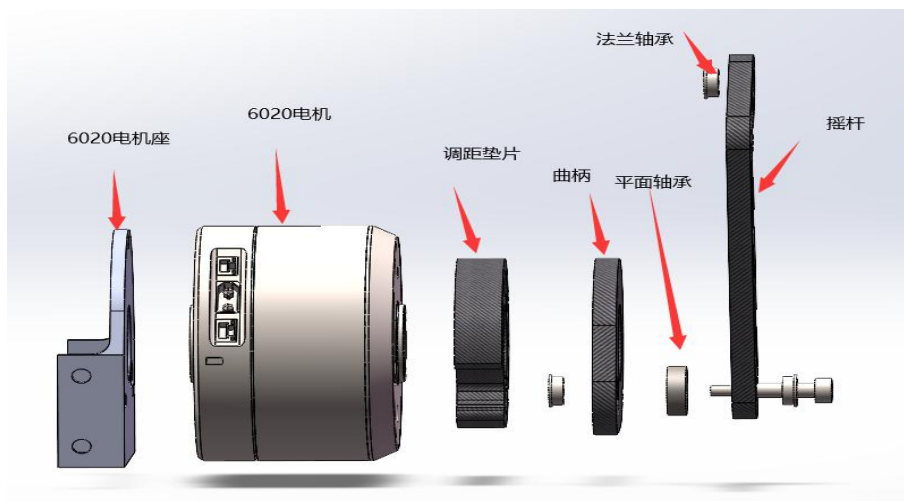


图 2.1.3 pitch 轴爆炸图

2.2 云台 yaw 轴

2.2.1 设计需求

步兵的 yaw 轴既需要节省底盘空间，方便安装，也要考虑到步兵兵种要经受各种恶劣环境的需要。步兵在实战中要下台阶，飞坡，甚至翻车撞击，因此 yaw 轴的强度至关重要。而且随着小陀螺技术的成熟，对陀螺的转速，平稳性都在不断进步，因此 yaw 轴的寿命长，安装精度高也是需求之一。

2.2.2 设计方案

同样 yaw 轴传动也可以分为两类直接传动和间接传动。间接传动主要以同步带传动为代表，同步带传动可以很好的保证 yaw 轴的强度，但也存在以下问题。

1. 安装较为繁琐且精度难以保证，由于同步带易脱齿，所以需要有较强的涨紧要求，使得在正常情况下，同步带自身就存在应力，会对 yaw 轴径向有个恒定方向的力，也就造成了云台 roll 方向的偏转，严重影响小陀螺时云台的稳定。

2. 寿命较短，损耗较大，同步带长时间告诉传动后，会产生皮带磨损，也会影响 yaw 轴传动效果。

3. 占用空间大，对车的重心有影响，需要较多零件安装，也增加了整车的质量。

因此，此次步兵选用了 yaw 轴直连电机的传动方式。整体结构如图。

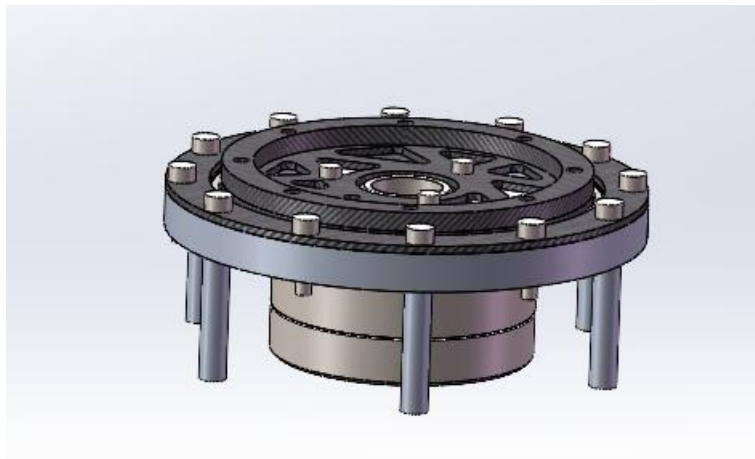


图 2.2.2 yaw 轴

2.2.3 技术细节

具体细节如下方爆炸图。由整体结构可知，通过调整板材高度，和 yaw 轴与云台的链接方式，使得除 yaw 轴转矩由电机提供，其它方向的力尽可能由轴承传到至铝柱，防止 6020 电机遭受冲击损坏。

固定件与轴承之间采用过盈配合，保证其传动稳固可靠，其它连接部分使用较多螺栓和定位孔，保证 yaw 轴的装配精度，为小陀螺性能提供良好的保障。

轴承的选用标准，参考其它兄弟院校的开源资料，主要考虑到了重量，适用环境，价格等因素，最终选用 RA9008 交叉滚子轴承。



图 2.2.3 yaw 轴爆炸图

2.3 底盘铝架

2.3.1 设计需求

赛场上步兵所处环境恶劣，飞坡、下台阶、上下大角度坡、撞击等都是对底盘的考验，而底盘核心结构之一便是铝架，铝架一旦出问题，步兵战斗力会大幅下降，因此铝架的设计是重中之重，强度与刚度都必须非常优秀。

2.3.2 设计方案

这个赛季，我们采用了我们一贯的传统：焊接铝架，但是我们采用了更大截面铝管，即 20-30 管，这样的铝架刚度比较高，而且会使整个底盘零件比较少，各部分的连接非常简单，大幅减轻整车重量，且安装拆卸都非常便利，对机械的同学非常友好。

前后固定装甲板的铝管是焊上去的，而轮系合页和防撞都固定在最长的整根铝管上，并且左右各有一根加固铝管，这样即使是飞坡这种的大冲击也不能使铝架发生明显变形，这套铝架自从做出来上车，一直到国赛结束都没出过问题，且这套铝架都是我们自己加工，从切

管到打孔铣槽再到焊接都是我们自己手动加工，没用任何数控仪器，所以非常经济廉价，自然他也有一些手动加工的缺点，精度不够高，但是认真一些，多做几根，总是能达到理想的效果，小陀螺起来也可以做到云台几乎不动。

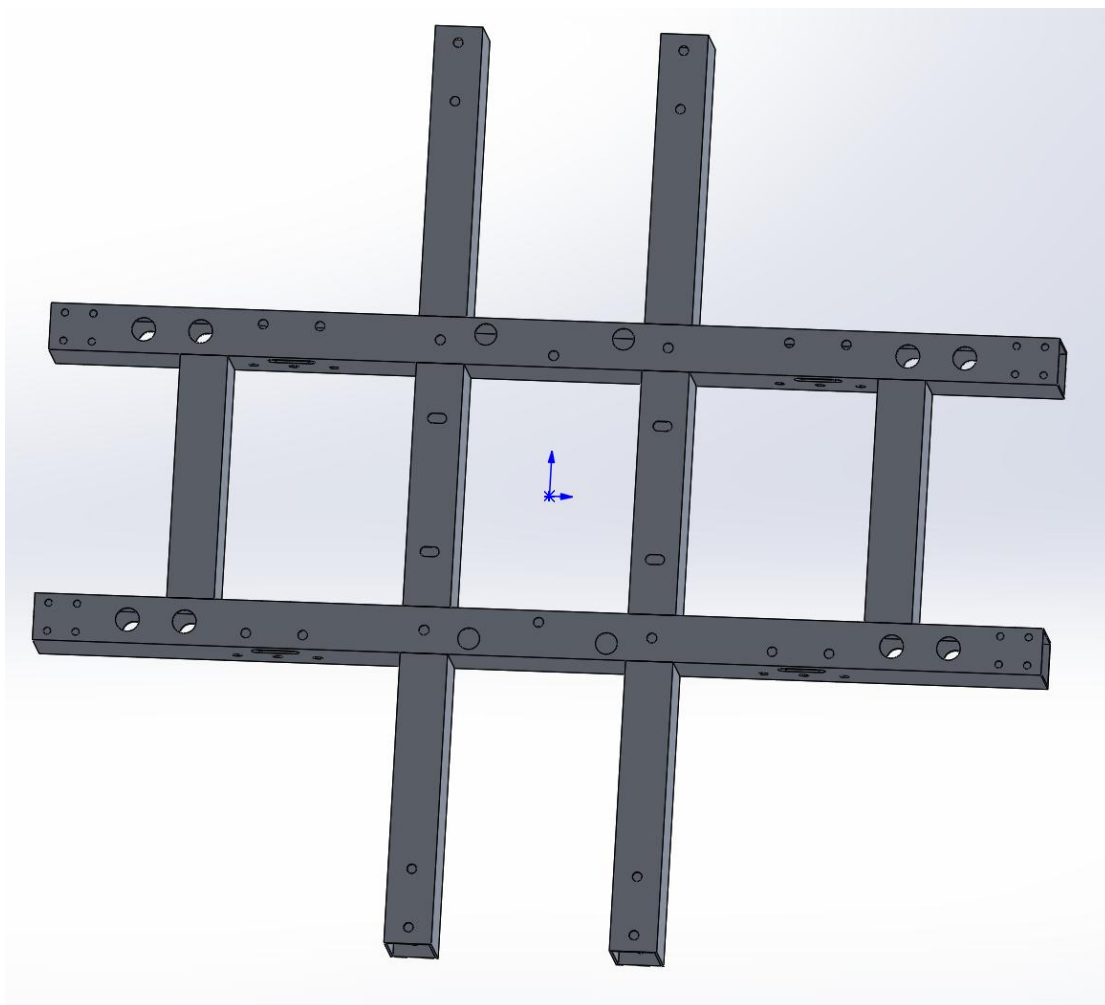


图 2.3.2 底盘铝架

2.4 底盘合页

2.4.1 设计需求

轮系与合页是底盘另外一个核心的地方，如果合页发生松动，轮子就会外八明显，可能会走不直，运动起来也消耗更大的功率，而步兵的战场环境比较恶劣，飞坡，上下大角度坡，下台阶，撞击，都会对合页有影响，使合页松动或者变形。

2.4.2 设计方案

我们设计了这样一套合页：中间一个 7075 铝制加工件，抱紧塞打螺栓，两侧各一个小垫片，然后是外侧的 7075 铝制加工件，用角接触球轴承承担大轴向力和大径向力，塞打螺栓和

外侧加工件不接触，即合页中间，塞打螺栓，轴承内圈，垫片相对底盘固定，轴承外圈和合页两侧会一起转动。由于塞打螺栓和合页中间是抱紧的，所以螺母不用拧的特别紧，这样可以防止合页两侧的 M3 螺栓受较大剪力。

开始我们考虑了深沟球轴承，但是由于我们的麦轮是单端，这里的轴承会受不小的轴向力，深沟球轴承容易坏，所以放弃了深沟球的想法，转而在角接触球轴承，这套结构也是自上车起没有坏过的。

这里的主要缺点是贵，一套下来要 200 多块。我这里用的角接触球轴承型号比较特殊，有点贵，一个 15 块钱，这是我们未来会优化的地方。

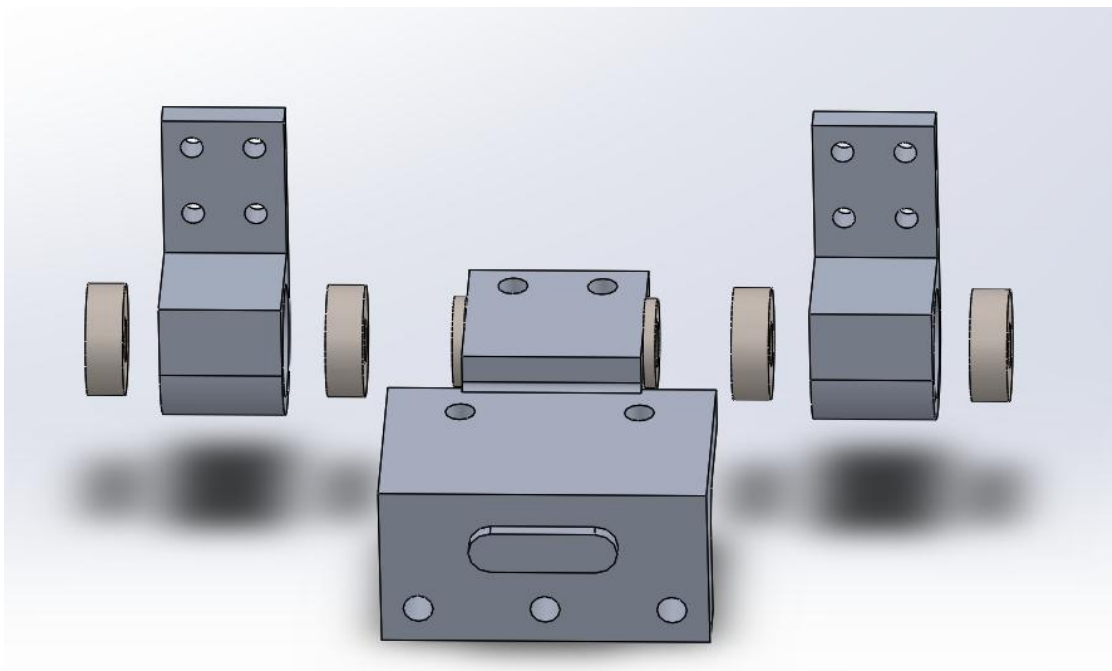


图 2.4.2 底盘合页爆炸图

3. 程序逻辑

3.1 自定义 UI 功能说明

标尺：静态标尺、体积碰撞标尺

标志位：视觉通信帧率是否正常、电容电量、弹舱盖开合状态、和雷达通信是否正常

数据位：弹丸量、底盘运动状态、拨盘是否堵转、底盘运动速度

3.2 操作手便捷按键（半自动化设计）

增加一键掉头功能，方便在血量很少时能够快速撤退；同时在补给区补完弹丸后能够迅速掉头，增加机器人的灵活性

3.3 全车控制结构

采用双控制板设计，分别为主控（放置在底盘上）和云台控制板（放置在云台上）。

主控负责全车的 CAN 总线控制。云控负责 IMU 数据采样计算、弹仓盖舵机控制，并通过串口与主控通信。

底盘有两块中心板，分别用来连接 Yaw 轴电机、超级电容以及四个轮组电机。

云台部分与底盘通过导电滑环连接。云台中心板连接 Pitch 轴电机、拨弹电机、两个摩擦轮电机和紫外充能装置。云控负责数据采集以及弹仓盖舵机的控制。

控制板运行的都是由我队自行设计的 OS。

系统监视器具有最高优先级，通过读取 OS 记录的时间点，计算出各个任务执行的时长、帧率并与设定值对比，监控异常情况。发现错误及时记录，相应模块进入安全模式并尝试重启。

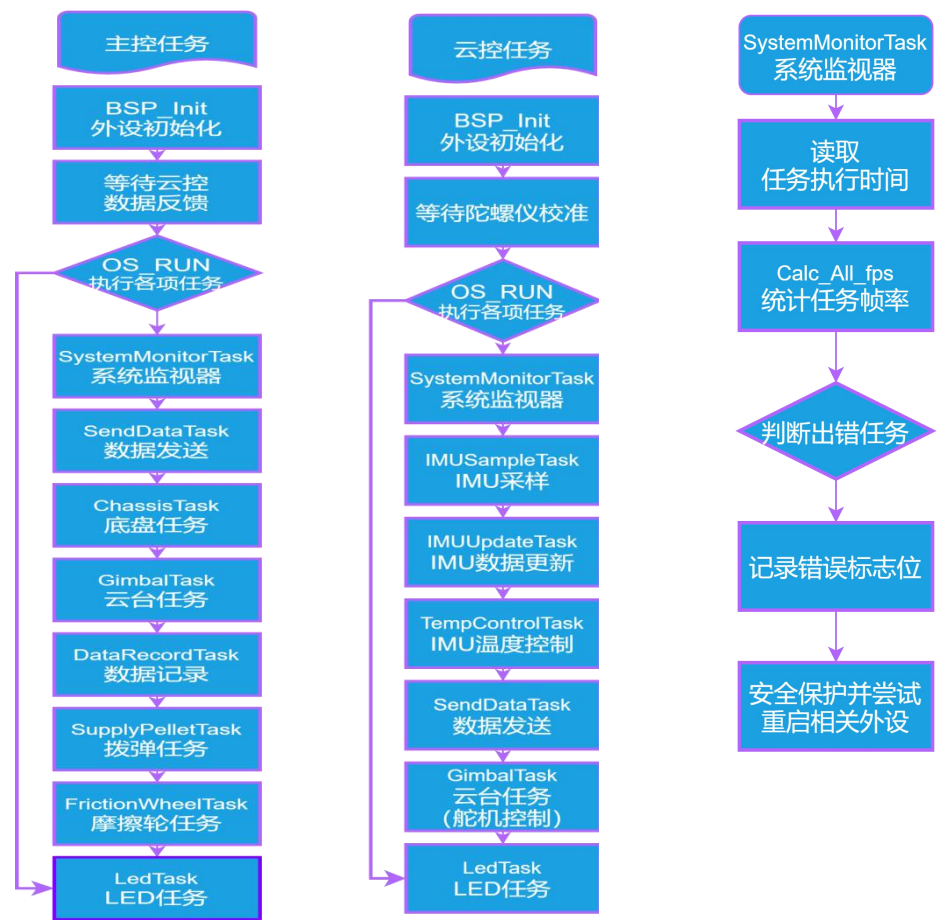


图 3.3 全车控制结构逻辑图

3.4 控制逻辑设计

底盘、云台和拨弹任务逻辑相似，先是进行控制模式选择，然后对输入数据解码，闭环计算，控制输出。底盘还涉及到超级电容充放电以及轮组电机功率的计算与控制。云台与拨弹电机还引入了 TD（时序差分法）对阶跃信号进行平滑处理。

摩擦轮引入转速温度补偿来抑制温度升高引起包胶受热膨胀，导致子弹射速波动较大的情况。同时针对摩擦轮高速、扰动较大的特点，采用了滑膜控制。

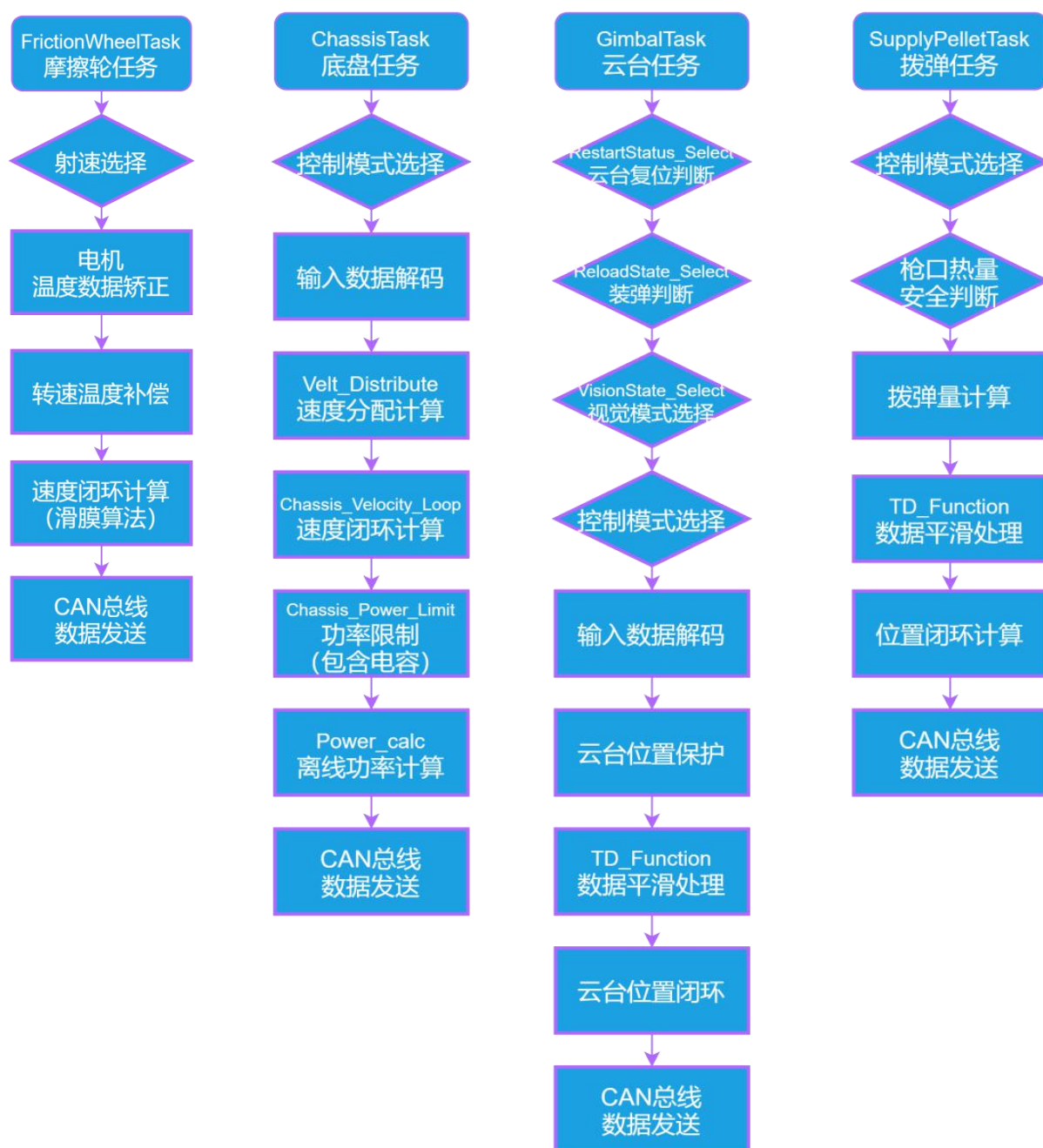


图 3.4 控制逻辑图

4. 算法设计

根据比赛规则，步兵主要功能分为辅助瞄准和能量机关两大部分，以下分别进行介绍。

4.1 辅助瞄准

4.1.1 需求分析

辅助瞄准图像处理方面算法主要涉及装甲区域提取、数字识别与装甲板类别区分，其具体需求分析如下：

1. 装甲区域提取：

每一块装甲都有明显的两个同尺寸灯条信息。根据两灯条的空间形状特性，提取所有可能为装甲的灯条组合。

2. 装甲类别区分与数字识别：

根据两灯条的空间形状特性无法完全区分装甲类别，因此需能利用数字识别来区分装甲类别，进一步避免误识别。

4.1.2 方案设计

图 4-1 为步兵辅助瞄准程序流程图。首先获得图像，利用色彩空间转换对图像进行二值化。然后两两遍历得到的灯条，评估这两个灯条能组成装甲板的概率，初步提取一个包含所有装甲的集合。再使用 CNN 判断装甲板贴纸内容，以识别数字和图案，并对场地中干扰灯条进行排除，以距离最近的装甲作为目标进行轨迹预测，最后预测得到的角度信息发送给电机。

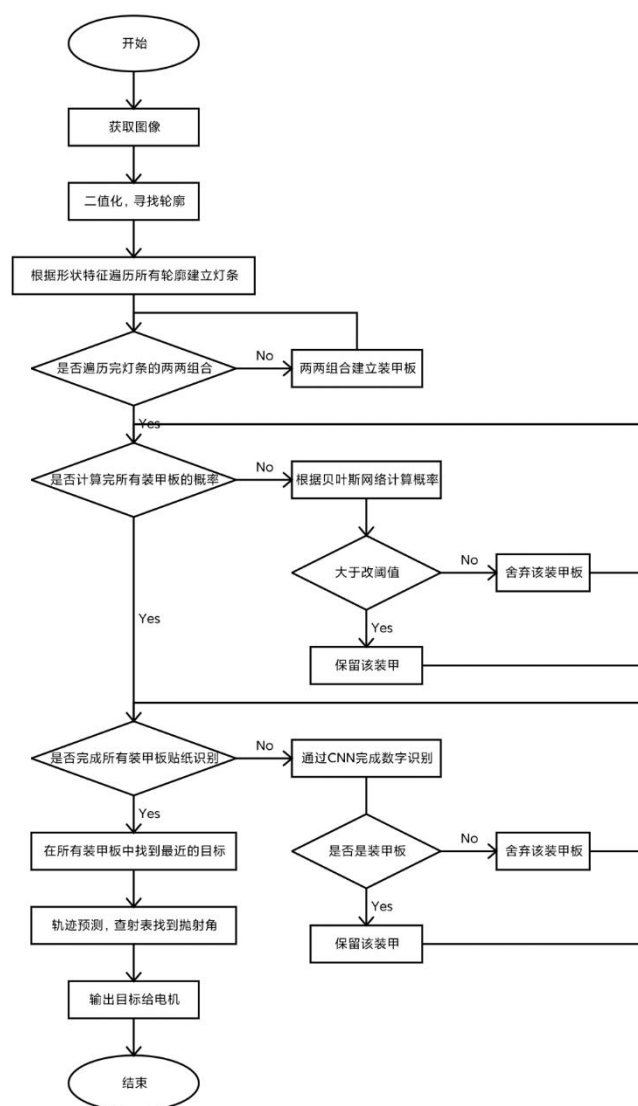


图 4.1.2 辅瞄程序流程图

4.1.3 关键算法

1. 装甲区域提取：

装甲区域初步提取：建立简单的二层贝叶斯网络，计算视野中任意两灯条组成一个装甲板的概率。该二层贝叶斯网的唯一子节点为“组成装甲板的概率”；三个父节点，分别为“长度相同的概率”“平行的概率”“四个内角和矩形内角的相似度”。子节点的概率由三个父节点共同决定，保证真装甲不会被漏识别。

2. 装甲类别区分与数字识别：

基于概率的 CNN 训练器训练数字数据集，可以做到给出其他测试数据在各个标签的概率。由于误识别的装甲提取的“数字”信息各标签概率都明显低于真装甲，所以一个宽松的概率阈值就可以彻底过滤假装甲。

3. 云台角度解算：

抛射角计算在考虑空气阻力等诸多条件时难以得到解析解，因此考虑通过查表实现抛射角解算。首先，根据前述工作结果，利用 solvePnP 解算出的装甲板中心坐标，计算出云台到中心坐标的距离 ρ 和天顶角 θ 。用 MATLAB 模拟出某固定射速下的一族抛物线曲线，其数值分布如图 3-2 所示。由于弹速实际波动不大，加之步兵击打范围较小，故用射速统计平均值代替当前电控返回射速。

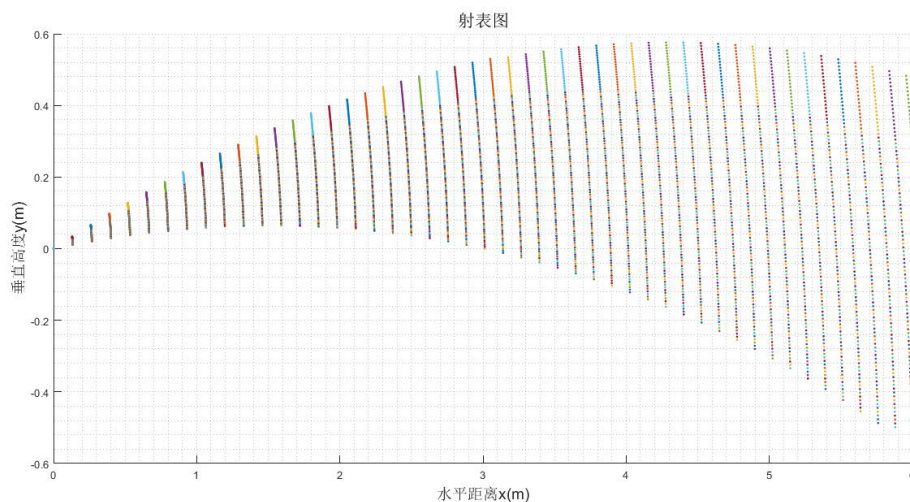


图 4.1.3 射表数据分布图

将模拟好的射表写入 tiff 文件中，在得到 ρ 和 θ 后，进行查表，反向得到相应的云台 pitch 值。

4.2 能量机关部分

4.2.1 需求分析

能量机关代码主要包含箭头识别、装甲板识别，装甲板位置解算，云台位置预测三个部分。抓图和识别解算分为两个线程，可以显著提高处理速度，以下分识别和解算两个部分分别展开。

4.2.2 关键算法

1. 识别

识别部分主要包括箭头识别和装甲板的识别。将相机抓取到的图像进行通道做差、二值化操作，再根据形态学特征，将组成箭头的灯条进行一一匹配得到整个箭头，使用 OpenCV 库的 RotatedRect 类来框住整个箭头，这样就实现了箭头的定位。然后再根据待击打的装甲板和箭头的位置关系取 ROI，所提取的 ROI 里面仅包含装甲板，这样可以提高识别的精确性和对于图像的处理速度，提取出装甲板，识别部分也就完成了。

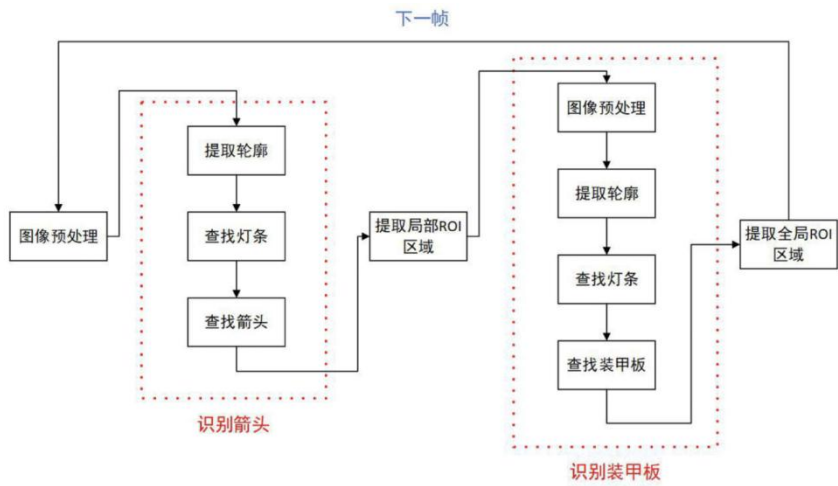


图 4.2.2.1 能量机关识别流程图

2. 解算

完成了装甲板的识别之后，根据已标定的相机内参和畸变参数、相机安装位置信息等可以实现坐标转换，从而解算装甲板在机器人坐标系下的坐标。

处理小能量机关时，由于其转动角速度恒定不变，根据其转速和能量机关的尺寸信息，可以较为准确预测出子弹击中装甲板时目标装甲板的世界坐标，对装甲板的特征角点进行 PnP 解算，便可得知目标装甲板在机器人坐标系下的坐标。

处理大能量机关时，由于其转速规律是正弦变化的，得知其实时转速才能对其运动进行预测。我们的思路是：求取出程序进入大能量机关模式时，相机抓到第一帧图片，该时刻大能量机关转速在转速正弦函数里面所对应的相位。首先记录一段大能量机关的转角随时间变化的数据，由于数据质量参差不齐，带噪信息很多，为了实现程序性能的鲁棒性，我们采用了 RANSAC 算法来对数据进行曲线的拟合，从而得到目标相位。求解出目标相位后，便可以得到能量机关的实时转速，后面的预测以及解算过程便和小能量机关同理了。

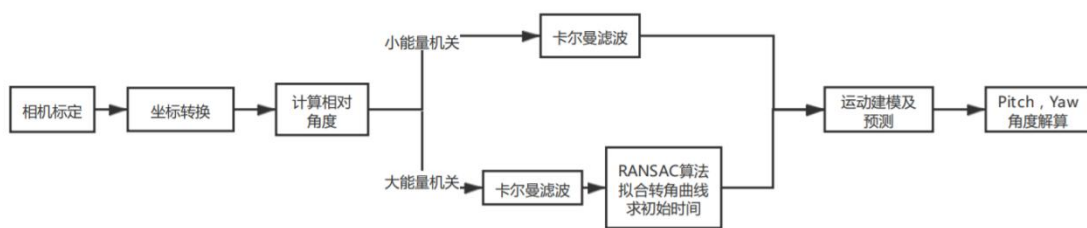


图 4.2.2.2 能量机关解算流程图

5. 技术参数

机器人技术参数：长 540mm，宽 470mm，高 490mm，重心高度 195mm。电路功耗在 8W-10W，全车共有三个传感器，均为测量距离用，6 个 3508 电机，2 个用于摩擦轮，4 个用于底盘轮系，2 个 6020 电机，分别为 pitch 轴和 yaw 轴驱动电机，1 个 2006 电机，用于拨弹机构。步兵机器人使用自研电路板，分两类，一类用于主控，芯片为 stm32f407。另一类用于云台控制，芯片为 stm32f405，陀螺仪芯片为 bmi088。

6. 创新性

步兵飞坡始终是一个大家都头疼的问题，国赛没有几个学校经常飞，大抵是因为飞坡隐患太大，一旦翻车，会出现不可逆转的劣势，或者飞坡对机器人损伤过大，导致技术人员不能及时维修好，影响下一局比赛。

我们的步兵在分区赛时飞坡很差，于是国赛的车针对此下了很大功夫，修改了重心位置，简化了底盘结构，提高底盘刚度和强度，但飞坡姿态始终一般，我们这个赛季并没有解决这个问题，但是如果机器人足够结实，力的传导足够合理，姿态不好也问题不大。对此，我们针对性的加了导轮，几乎 90° 砸在地上我们的车也不会翻，而且导轮着地后，麦轮再着地，冲击会小很多，对底盘损伤很小，缺点是导轮那一套结构受到的冲击非常大，可能要常换。