

中国科学技术大学

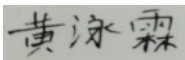
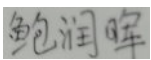
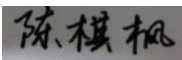
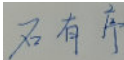
第二十二届 RoboGame 机器人大赛报名表

院系	信息科学技术学院	专业	电子信息类		
参赛内容	<input type="checkbox"/> 冰壶机器人 <input checked="" type="checkbox"/> 变形机器人				
队伍名称	阿西莫夫的fans	指导老师信息	姓 名	邵长星	老师签字
			电子邮箱	starshao@ustc.edu.cn	邵长星
参赛队信息					
职务	姓名	学号	手机	学校邮箱	备注
队长	黄泳霖	PB21061206	18378520568	hq1072217396@mail.ustc.edu.cn	
队员	石有序	PB21061220	18844410103	syx123@mail.ustc.edu.cn	
队员	陈棋枫	PB21050982	15556936038	cqf@mail.ustc.edu.cn	
队员	鲍润晖	PB20111647	18552457919	simplemarble@mail.ustc.edu.cn	
队员					

参赛承诺:

我们保证以本承诺为有约束力的协议, 遵守中国科学技术大学第二十二届 RoboGame 组委会的有关规定, 认真进行机器人的设计制作等工作, 就比赛相关问题积极与组委会交流, 服从组委会的活动安排与最终裁判。

对于由本队引发的一切不良后果由本队承担相应责任。

所有参赛队员 (签字):    

备注:

- 1、请各参赛队负责填写此表格, 电子版发送给 robogame@163.com。

- 2、每队参赛人员人数需在 5 名以内；
- 3、队员电子版签字用签名照片；电子版指导教师签名经过教师同意后输入姓名即可。
- 4、本次活动最终解释权归中国科学技术大学 RoboGame2022 组委会所有。

中国科学技术大学 RoboGame2022 机器人大赛组委会

2022 年 4 月 9 日

参赛计划书

队伍名称： 阿西莫夫的 fans

系别（全称+代号）： 电子信息类（6 系）

类别：

☐ 冰壶机器人

☒ 变形机器人

说明

1. 请参赛队伍在上方勾选自己的参赛类别。
2. 请参赛队伍在完成计划书撰写，并文档中的批注删除，导出 pdf 文件提交。

承 诺 书

组委会承诺：

我们组委会保证及时解决各参赛队就比赛相关问题提出的疑问，为各参赛队的制作计划等保密，公正处理机器人比赛相关事务，选拔优秀成员担任比赛裁判，保证裁判的公正。

2022RoboGame 组委会

2022 年 4 月 9 日

参赛者承诺：

我们队承诺对本人填写的各项内容保证是本队的原创，没有抄袭他人。

我们保证以本承诺为有约束力的协议，遵守中国科学技术大学第二十二届 RoboGame 组委会的有关规定，认真进行机器人的设计制作等工作，就比赛相关问题积极与组委会交流，服从组委会的活动安排与最终裁判。

对于由本队引发的一切不良后果由本队承担相应责任。

参赛队员（签字）：黄泳霖

陈棋枫

鲍润晖

石有序

2022 年 5 月 14 日

中国科学技术大学



中国科学技术大学 RoboGame 2022

阿西莫夫的 fans 队

参赛计划书

小组成员：黄泳霖，陈棋枫，石有序，鲍润晖

学科专业：电子信息类

指导教师：邵长星

完成时间：2022.5.14

目录

1. 队伍简介	4
1.1 队名介绍	4
1.2 成员介绍与分工	4
2. 机械部分	4
2.1 功能与结构概述	4
2.2 模块设计与选型	5
2.2.1 底盘	5
3. 电路部分	10
3.1 电路框图	10
3.2 供电系统	11
3.2.1 电源	11
3.2.2 分电方案	12
3.2.3 稳压方案	16
3.3 控制系统	17
3.3.1 主控模块	17
3.3.2 计算平台	19
3.4 执行系统	19
3.4.1 电机	19
4. 算法部分	22
4.1 控制程序架构	22
4.2 主控程序设计方案	22
4.2.1 流程规划	22
4.2.2 控制算法	25
4.3 视觉方案	30
5. 宣传计划	32
6. 经费预算	33
7. 时间安排	34

1. 队伍简介

1.1 队名介绍

阿西莫夫的 fans 队：阿西莫夫以一己之力构建了精巧恢弘的机器帝国，我们深信这不仅仅是人类脑中的玄幻世界，伴随在动力学、系统结构、传感技术、控制技术和人工智能的飞速发展，我们必将会把越来越精巧的智慧富裕机器。命名是艰难而耗时的大事，要一语中的，直发其精神，我们选择阿西莫夫来命名，寄希望于手中的机械！

1.2 成员介绍与分工

姓名	学号	专业	分工
黄泳霖	PB21061206	电子信息类	电路设计，机械设计
石有序	PB21061220	电子信息类	电路设计，视觉
鲍润晖	PB20111647	计算机科学与技术学院	程序设计，视觉
陈棋枫	PB21050982	工程科学学院	机械设计，程序设计

2.机械部分

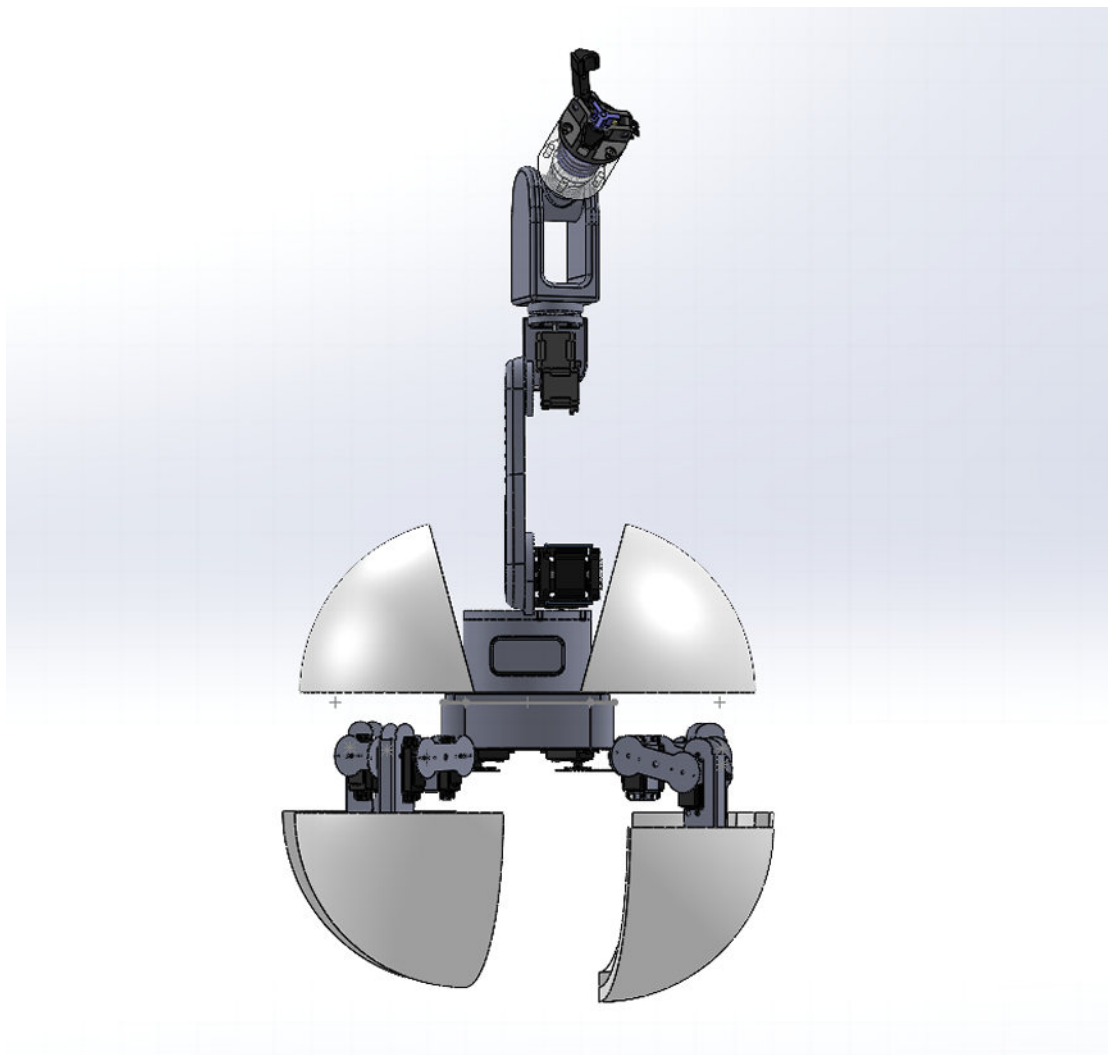
2.1 功能与结构概述

初始状态为一个球形，下部为四足，足内空间装四只麦克纳姆轮。变形时下部四足展开，上方滑盖打开露出机械臂。再次变形时四足抬升，露出下方的麦克纳姆轮，上方的机械臂固定关节，机械爪经过一系列变形后形成炮口，变成一辆可以发射“炮弹”的小车。

2.2 模块设计与选型

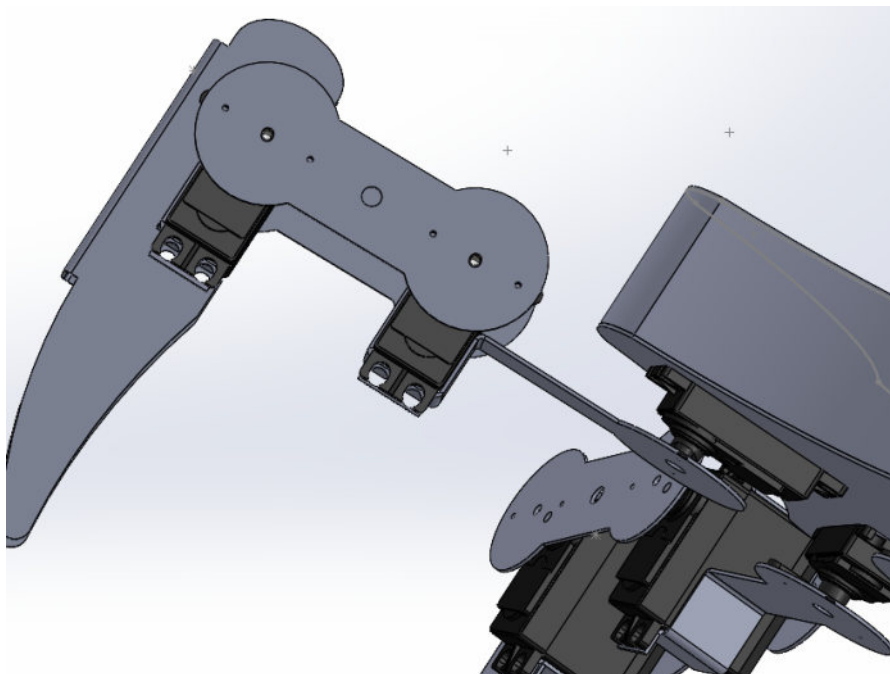
2.2.1 第一个形态：四足机器人

整体简图。



足部结构：

由一个底座和四条腿组成，每条腿配三个舵机，固定一块圆壳。以实现足部的左右平移和上下移动



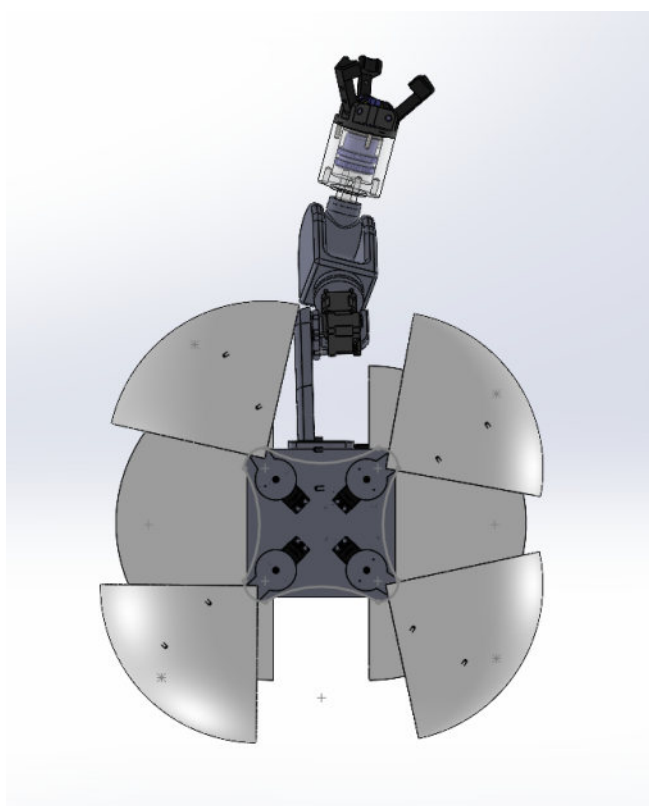
2.2.2 第二个形态：炮车

在其下部安装麦克纳姆轮（具体模型还在设计中）

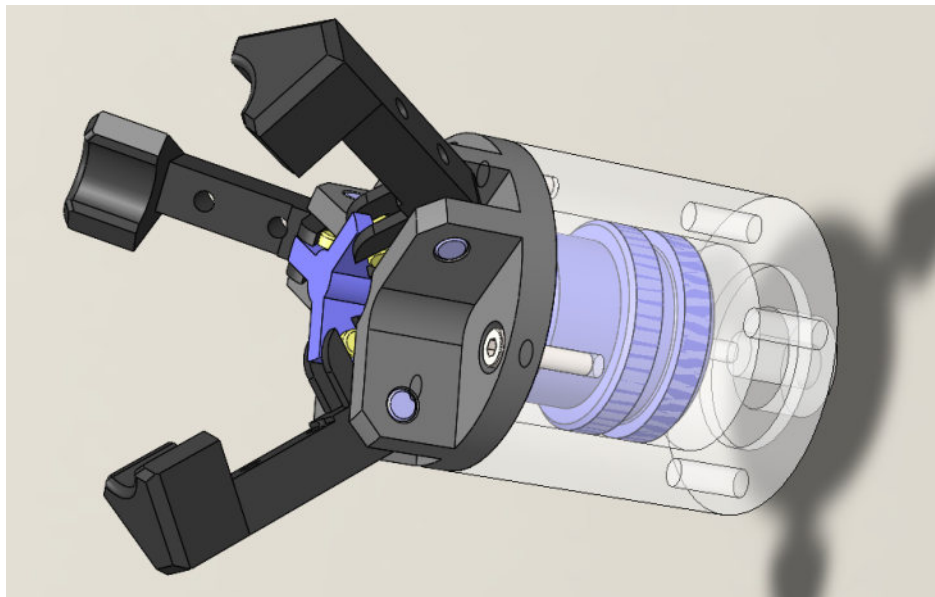
正在考虑中的变形方案是：①在腿部与球壳间加一转轴，去掉上部的球壳，在球形态时球壳朝下腿朝上，机械腿形态时腿朝下球壳朝上，车轮形态时二者朝上。同时在中心加一根可从下部伸出的支柱，用于变换形态时抬高机器人，使其他零件不会触地影响变形；

②四足外展平铺，好处是车的重心较低，容易保持平衡；

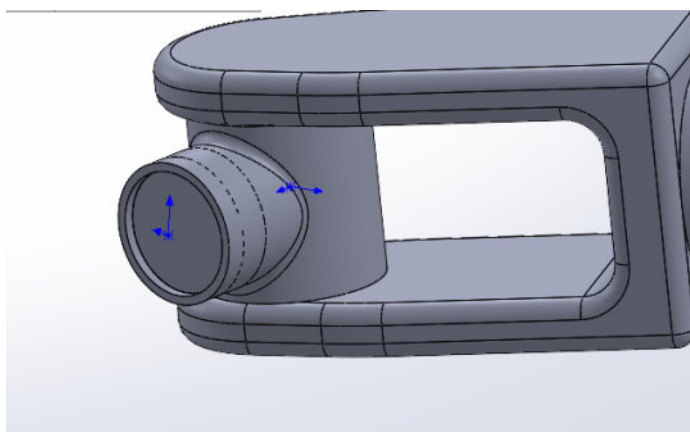
③中间用一圆形板分隔，上部分球壳打开时形成两层球壳重叠，将机械臂部分暴露出来。



同时对于机械爪的结构，目前仍未确定。目前机械爪结构如下：

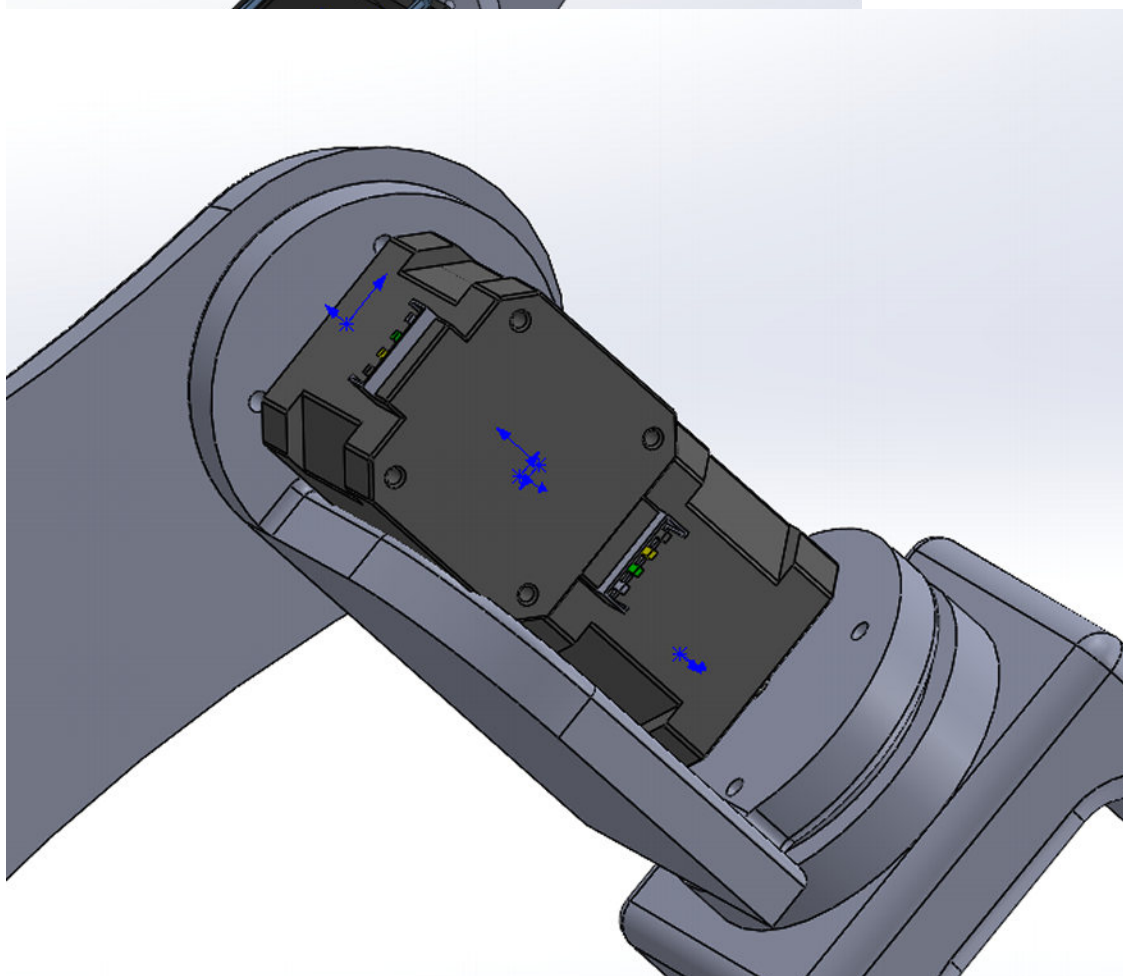
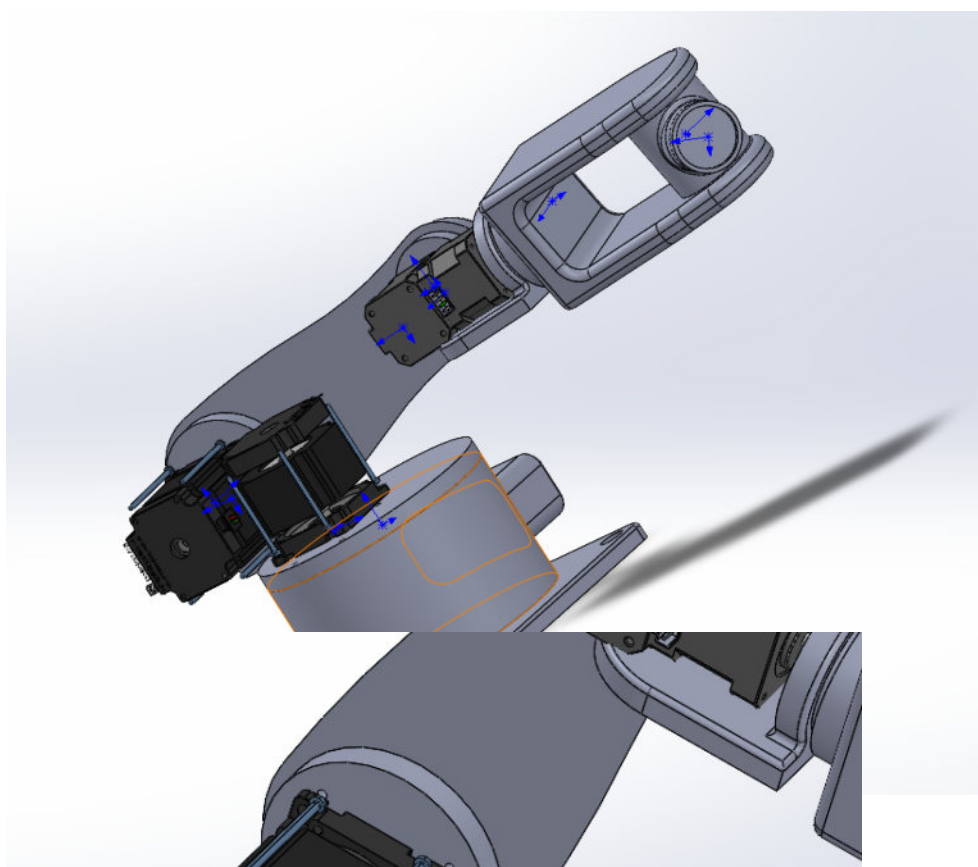


炮口的变形目前有两个考虑方向：①机械爪后张，暴露中心炮口。由于该变形模式涉及机械机构与图中存在较大差异，所以需重新设计一款满足要求的机械爪；②最后一级机械臂两头各安装机械臂和发射装置，变形时旋转 180° ，可参考下图；



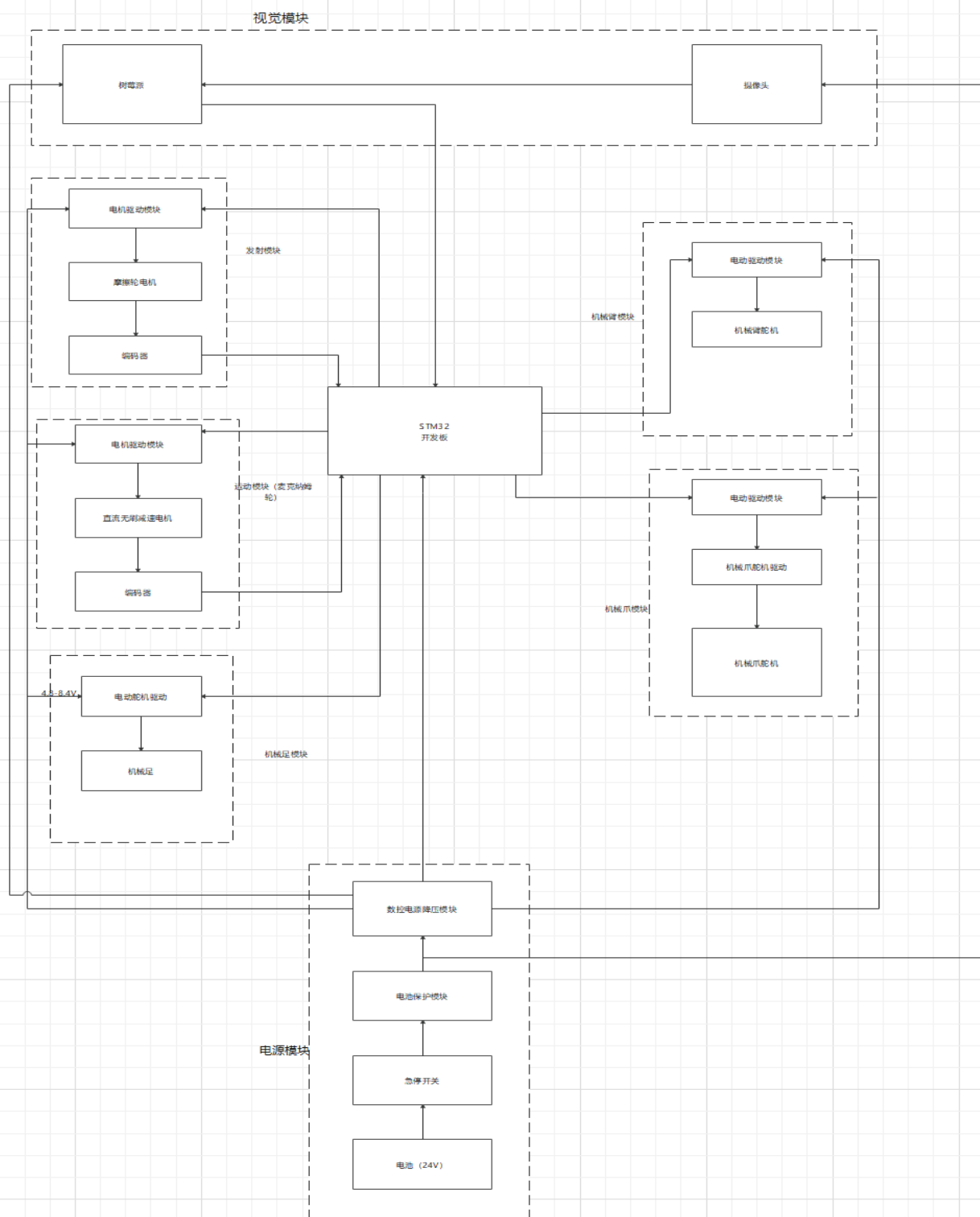
机械臂整体模型：

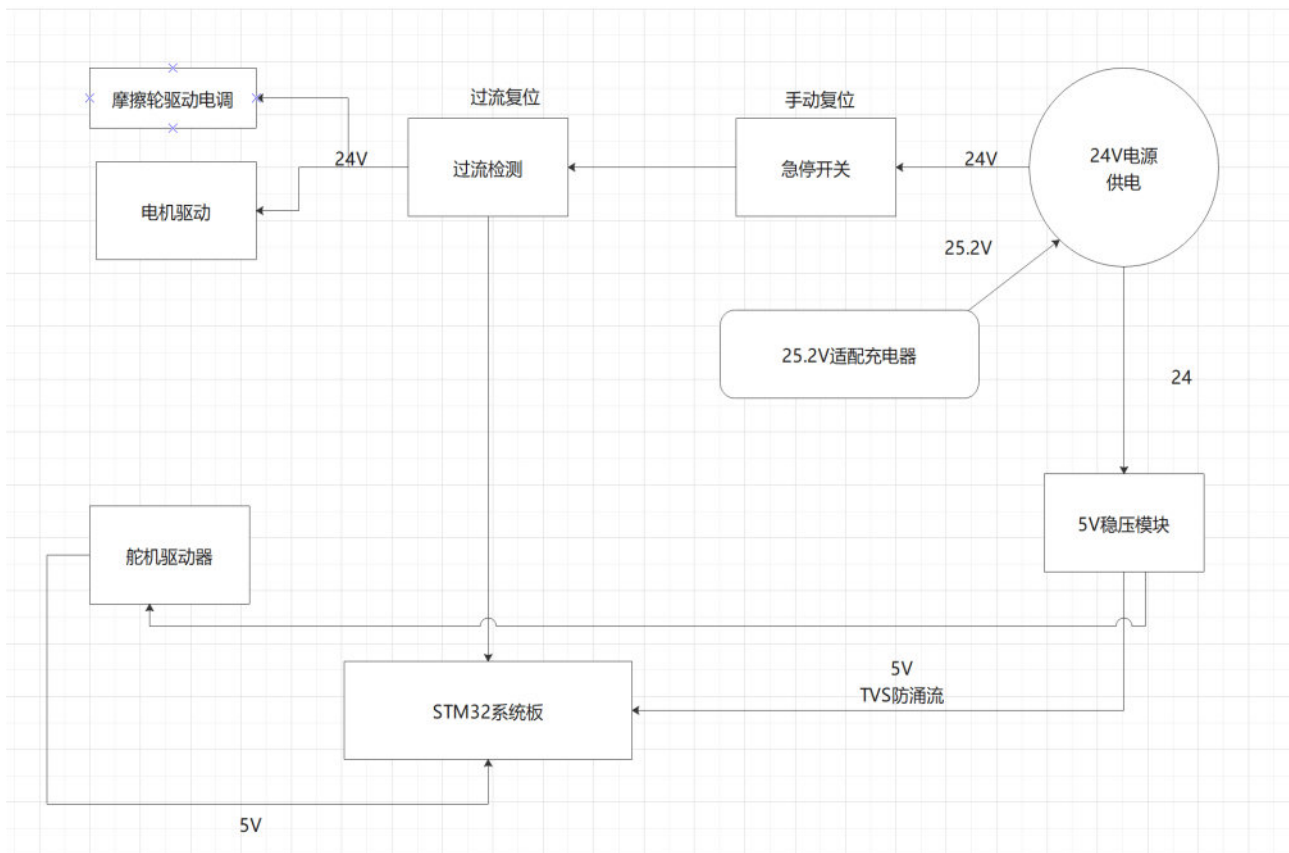
该机械臂配备四台舵机，有六个自由度。便于抓取物体和后期调整发射角度及方向



3.电路部分

3.1 电路框图





3.2 供电系统

3.2.1 电源

考虑到机械足上舵机较多，需要传感器与电机同时工作，为确保各模块正常运行，故选择迪普威科技出品的 DC- 24680 的动力锂电池组，如下图



参数如下: 输入电压: DC25.2V

输出电压: DC24V

接口规格: 5.5mm 通用接口

输出电流: 10(可以定做小电流)

电池容量: 6800mAh

体积: 110*58*42MM (

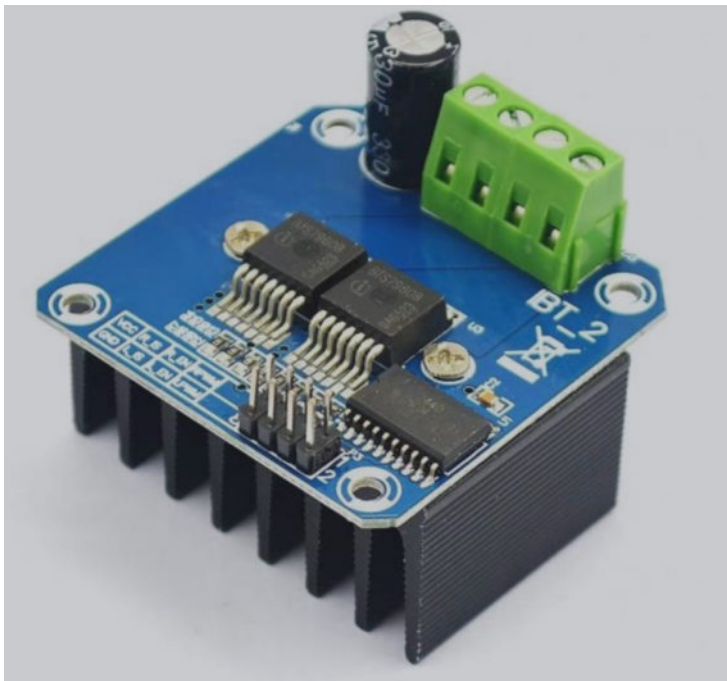
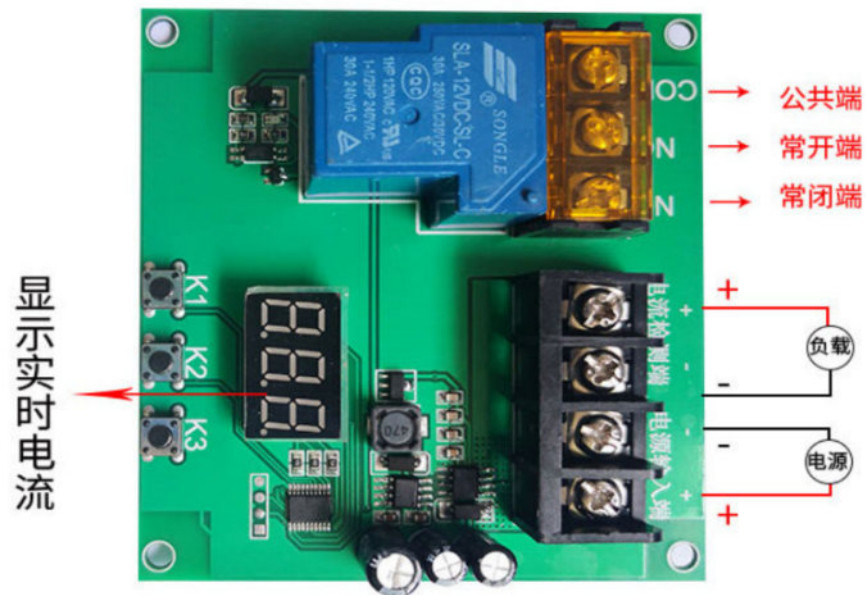
重量: 356 克

3.2.2 分电方案

电源保护模块:

由于在整个电路系统中同时含有电机与单片机等器件, 为了防止因为电机堵转造成电流 过大而使整个电路系统瘫痪, 需选用过流保护模块对整个电路电流进行实时监控, 并在必要时候切断电源。

产品型号	YYI-4
产品尺寸	92.837mm*87.249mm
检测范围	电压（7~30V） 电流（0~30A）
检测精度	0.1A（100MA）
待机电流	20MA
继电器输出	可控30A以内直流线路通断



电机驱动模块：

直流电机驱动使用的是 BTS7960

电机驱动模块，产品实物图如下：

的

具有以下特点

本驱动采用大功率驱动芯片BTS7960组成的全H桥驱动模块，具有过热过流保护功能。双BTS7960 H桥驱动电路，具有强劲的驱动和刹车效果，有效隔离单片机与电机驱动！大电流43A！

- 1、双BTS7960大电流(43A)驱动；
- 2、与单片机5V隔离，有效保护单片机；
- 3、能够实现电机正转反转，两路PWM输入限高25kHz频率；
- 4、两路过流过热报错信号输出；
- 5、隔离芯片5V电源（可以与单片机共用5V）；
- 6、电源电压5.5V至27V；

舵机驱动模块：

因此在此次机器人比赛中，我们会使用较多的舵机。每个电机控制信号需要一定频率的PWM波。为了合理地生成控制信号，避免达到主控芯片的性能极限，我组使用PWM生成模块，实物图如下。



特点:

PCA9685 芯片被包裹在小板的中央

电源输入端子

绿色电源指示灯

在 4 组 3 针连接器中方便你一次插入 16 个伺服电机(伺服电机的插头稍宽于 0.1", 所以你可以放 4 对 0.1"的接头)

接线板上输入的反向极性保护

级联设计

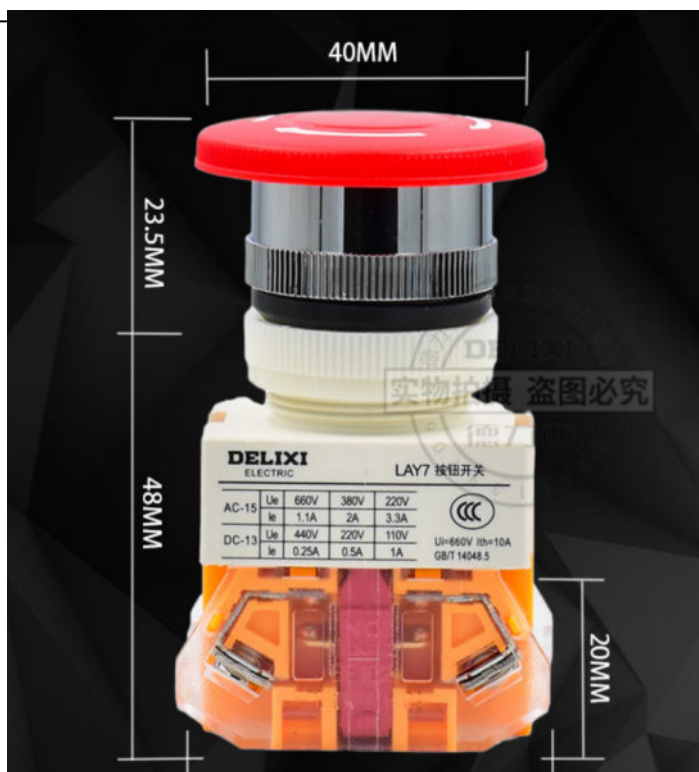
V+线上放置一个大电容(在某些场合你会需要) 外围输入最大电压取决于这个 10V1000 uf 的电容

所有 PWM 输出线上都放一个 220 欧姆系列电阻器来保护他们, 并能轻易的驱动 LED。

急停开关:

为了防止机器人因自身或者环境产生故障对周围人或物产生伤害, 需要配置急停开关来阻断机器人运行。

急停开关的选型如下:



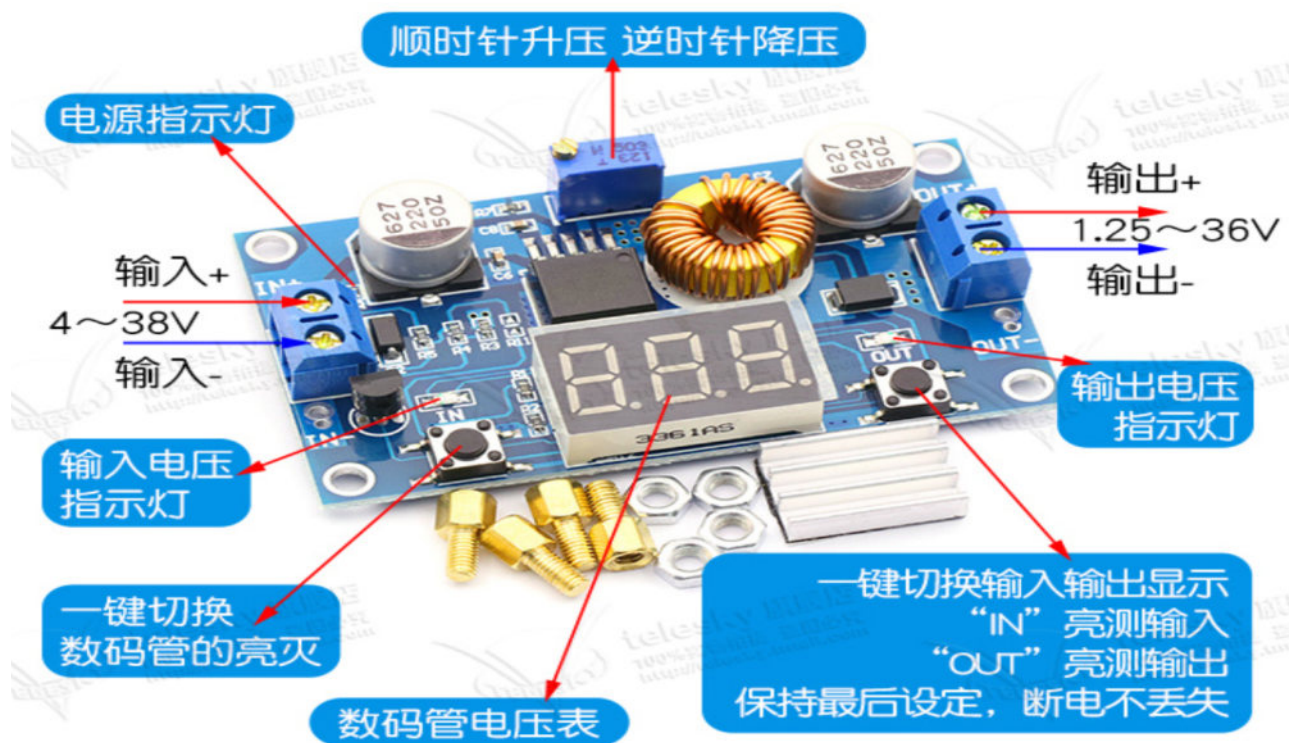
产品品牌：	德力西	额定绝缘电压：	600V
产品名称：	急停旋钮开关	操作频率：	1200次/小时
产品型号：	LAY7-11ZS	自由发热电流：	10A
触点形式：	1常开1常闭	触电接触电阻：	$\leq 50\text{M}\Omega$
产品颜色：	红色	防护等级：	IP55
国家标准：	GB14048.5	认证证书：	CCC/CE

3.2.3 稳压方案

锂电池组 24V 电压无法直接给电子元件供电，需要稳压模块调整电压，因此采用 Telesky 店铺定制的 DC-DC 5A 可调数控降压数显电源模块，其具有如下特点。

- 4-38V 输入电压，1.25-36V 连续可调输出
- 输出电流最高 5A，可以 4.5A 连续使用
- 转换效率高，具有过热保护

- 实时显示输入输出电压，可自校准



3.3 控制系统

3.3.1 主控模块

STM32 是由意法半导体基于 ARM Cortex-M 研制和生产的一系列 32 位单片机。STM32F103 器件采用 Cortex-M3 内核，CPU 最高速度达 72 MHz。该产品系列具有 16KB ~ 1MB Flash、多种控制外设、USB 全速接口和 CAN。考虑到本届赛事的实际需要，经过综合考虑，我组选择型号为 STM32F103ZET6 的微控制器，作为机器人的主控下位机。

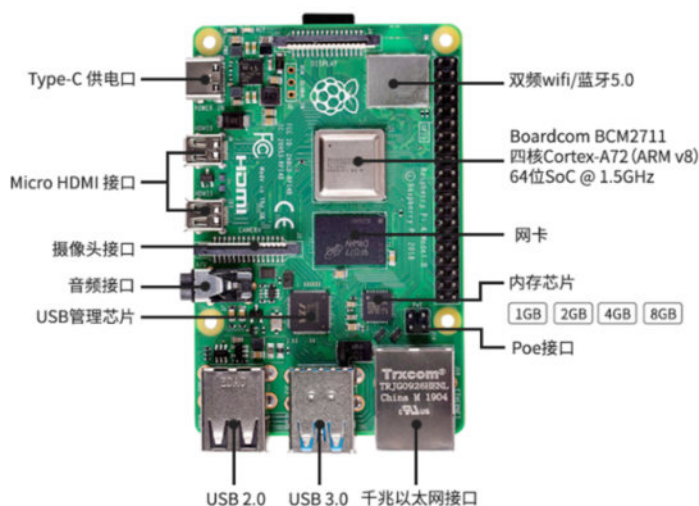
功能	特点
内核	ARM 32 位的 Cortex™-M3 CPU 内核 最高 72MHz 工作频率 单周期乘法和硬件除法
存储器	从 256K 至 512K 字节的闪存程序存储器 高达 64K 字节的 SRAM 带 4 个片选的静态存储器控制器
时钟、复位和电源管理	2.0 ~ 3.6 伏供电和 I/O 引脚 上电/断电复位 (POR/PDR)、可编程电压监测器 (PVD)

	<p>4 ~ 16MHz 晶体振荡器</p> <p>内嵌经出厂调校的 8MHz 的 RC 振荡器</p> <p>内嵌带校准的 40kHz 的 RC 振荡器</p> <p>带校准功能的 32kHz RTC 振荡器</p>
低功耗	<p>睡眠、停机和待机模式</p> <p>VBAT 为 RTC 和后备寄存器供电</p>
ADC	<p>3 个 12 位模数转换器, 1μs 转换时间 (多达 21 个输入通道)</p> <p>转换范围: 0 至 3.6V</p> <p>三倍采样和保持功能</p>
DAC	2 通道 12 位 D/A 转换器
DMA	支持的外设: 定时器、ADC、DAC、SDIO、I2S、SPI、I2C 和 USART
调试模式	<p>串行单线调试 (SWD) 和 JTAG 接口</p> <p>Cortex-M3 内嵌跟踪模块 (ETM)</p>
快速 I/O 端口	<p>所有 I/O 口可以映像到 16 个外部中断</p> <p>几乎所有端口均可容忍 5V 信号</p>
11 个定时器	<p>4 个 16 位定时器</p> <p>每个定时器有 4 个用于输入捕获/输出比较/PWM 或脉冲计数的通道和增量编码器输入</p> <p>2 个 16 位带死区控制和紧急刹车, 用于电机控制的 PWM 高级控制定时器</p> <p>2 个看门狗定时器 (独立的和窗口型的)</p> <p>系统时间定时器: 24 位自减型计数器</p> <p>2 个 16 位基本定时器用于驱动 DAC</p>
13 个通信接口	<p>2 个 I2C 接口 (支持 SMBus/PMBus)</p> <p>5 个 USART 接口</p> <p>3 个 SPI 接口 (18M 位/秒), 2 个可复用为 I2S 接口</p>

3.3.2 计算平台

为了计划使用树莓派对“炮车”形态下的发射进行精度的控制

树莓派 (Raspberry Pi) 是一款为学习计算机编程教育而设计的, 基于 Linux 系统的微型电脑。相对于面向硬件的 STM32 单片机, 树莓派具有更加贴近实际电脑的强大算力, 因此在此次机器人比赛中, 我们将它作为上位机, 进行图像处理操作, 并且与 STM32 进行通信, 指导机器人的运动和操作。我们选择树莓派 4b, 其实物图和具体参数如下。



型号	PI3 B	PI3 B+	PI4 B
处理器	64位1.2GHz四核		64位1.5GHz四核
运行内存	1GB		1GB, 2GB, 4GB, 8GB 可根据型号选择
无线WiFi	802.11n 无线 2.4 GHz	802.11n 无线 2.4GHz / 5GHz 双频WiFi	
蓝牙	蓝牙4.1 BLE	蓝牙4.2 BLE	蓝牙5.0 BLE
以太网网口	100Mbps	300Mbps	千兆以太网
USB 口	4个 USB 2.0 端口		2个 USB 3.0 端口 2个 USB 2.0 端口
GPIO 口	40个GPIO引脚		
视频音频接口	1个全尺寸HDMI端口 MIPI DSI显示端口 MIPI CSI摄像头端口 立体声输出和复合视频端口		2个视频和声音 micro HDMI端口, 最高支持4Kp60, MIPI DSI显示端口 MIPI CSI摄像头端口 立体声音频和复合视频端口
多媒体支持	H.264, MPEG-4解码: 1080p30 H.264编码: 1080p30 OpenGL ES: 1.1, 2.0 graphics		H.265: 4Kp60解码 H.264: 1080p60解码, 1080p30编码 OpenGL ES: 3.0图形
SD卡支持	Micro SD卡接口		
供电方式	Micro USB		USB type C
POE	无	POE(需额外加模块)	
输入功率	5V 2.5A		5V 3A
分辨率支持	1080分辨率		高达4K分辨率支持 双显示屏
工作环境	0-50°C		

3.4 执行系统

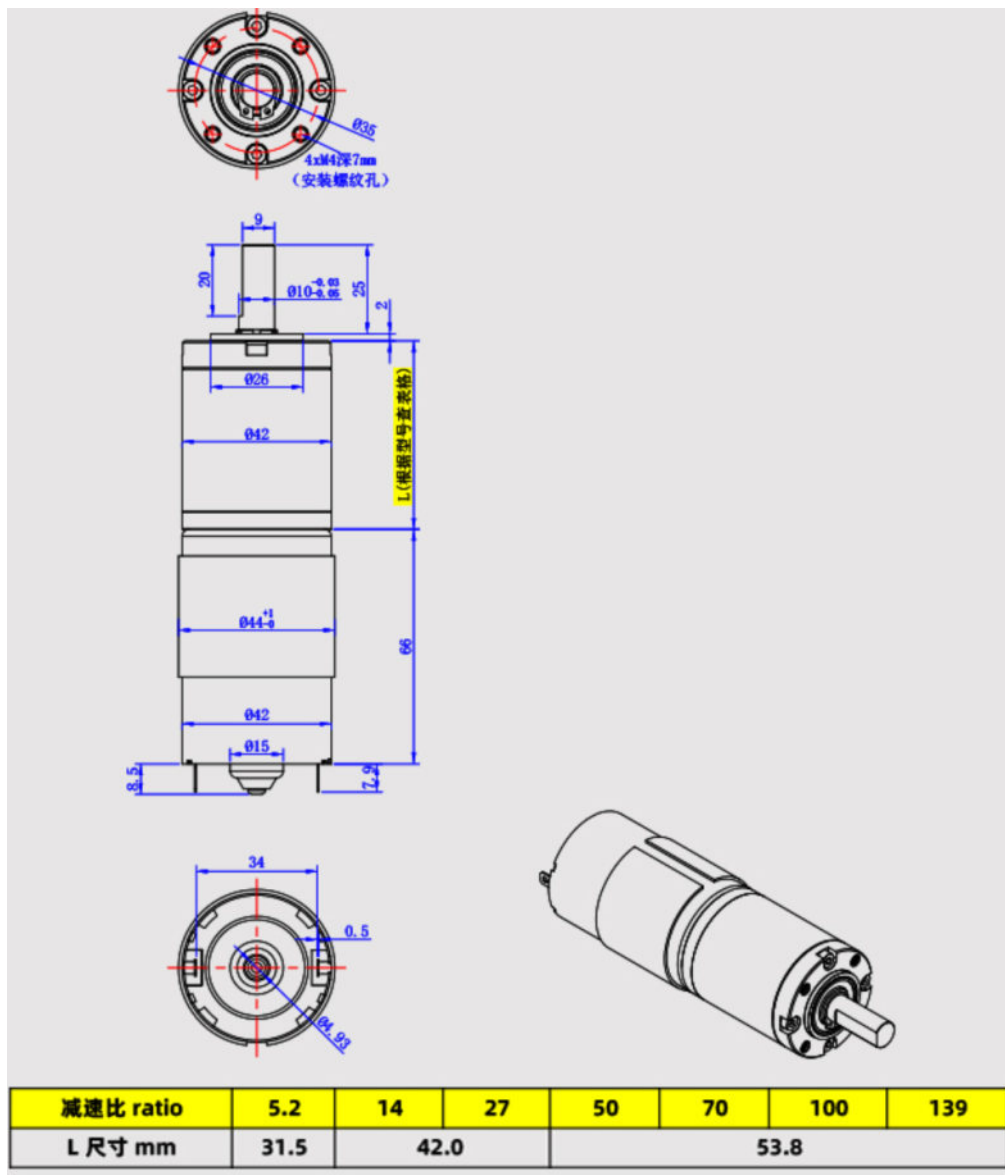
3.4.1 电机

选



为了保证麦克纳姆轮的动力, 我们拟选 MY42GP-775 直流减速电机

官方认证, 当然更有保障!



舵机：

考虑到实际中机器人机械臂需要高速转动，为保证其转动的正确性，我组采用了型号为 DS3120 的舵机，它具有如下特性。

- 堵转大电流防烧防水
- 金属齿轮不扫齿，虚位小
- 中间金属散热良好
- 大扭矩动力足

- 数字舵机，控制精度高，线性度好



4.算法部分

4.1 控制程序架构

应用层：接收遥控信号，自动瞄准射击目标

模块层：底盘速度解算（见 3.2.2.2 麦克纳姆轮控制原理），机械臂控制（见 3.2.2.4 机械臂控制），运动步态解算（见 3.2.2.1 足式运动步态形式），遥控信号解释

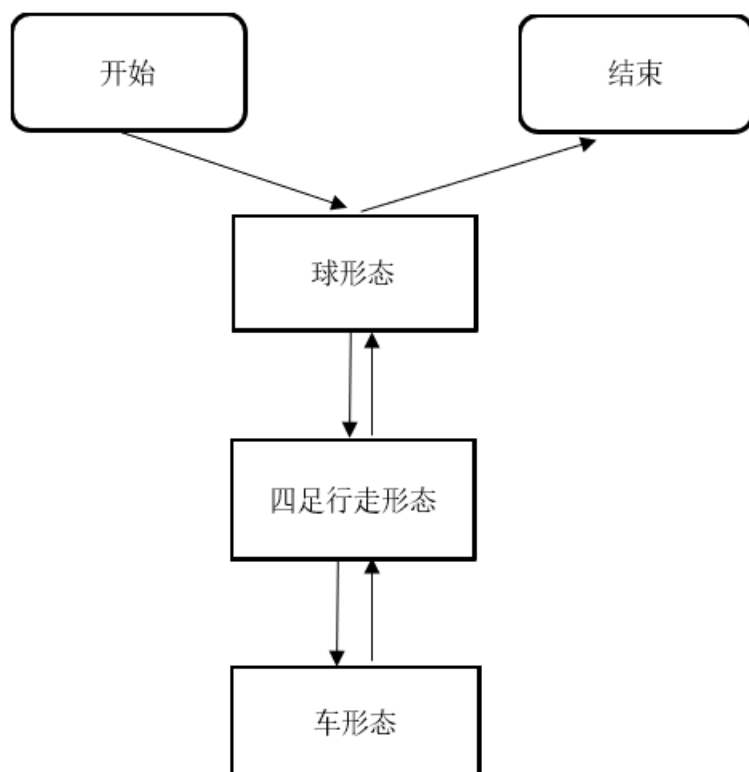
执行器层：PID（见 3.2.2.3PID 控制），电机控制算法等

外设层：输出 pwm 波等

4.2 主控程序设计方案

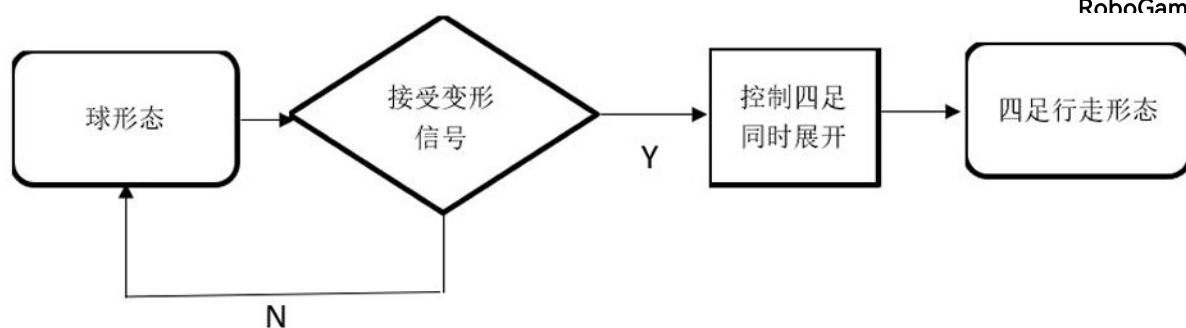
4.2.1 流程规划

总流程说明：

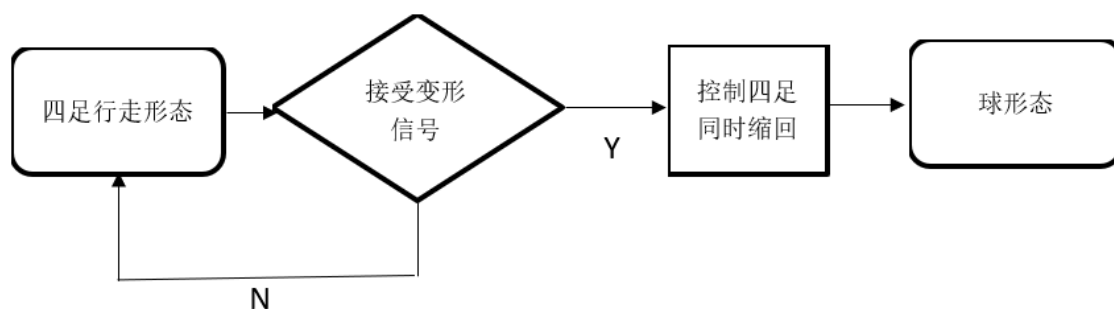


形态变化子流程：

球形态变化四足行走形态：

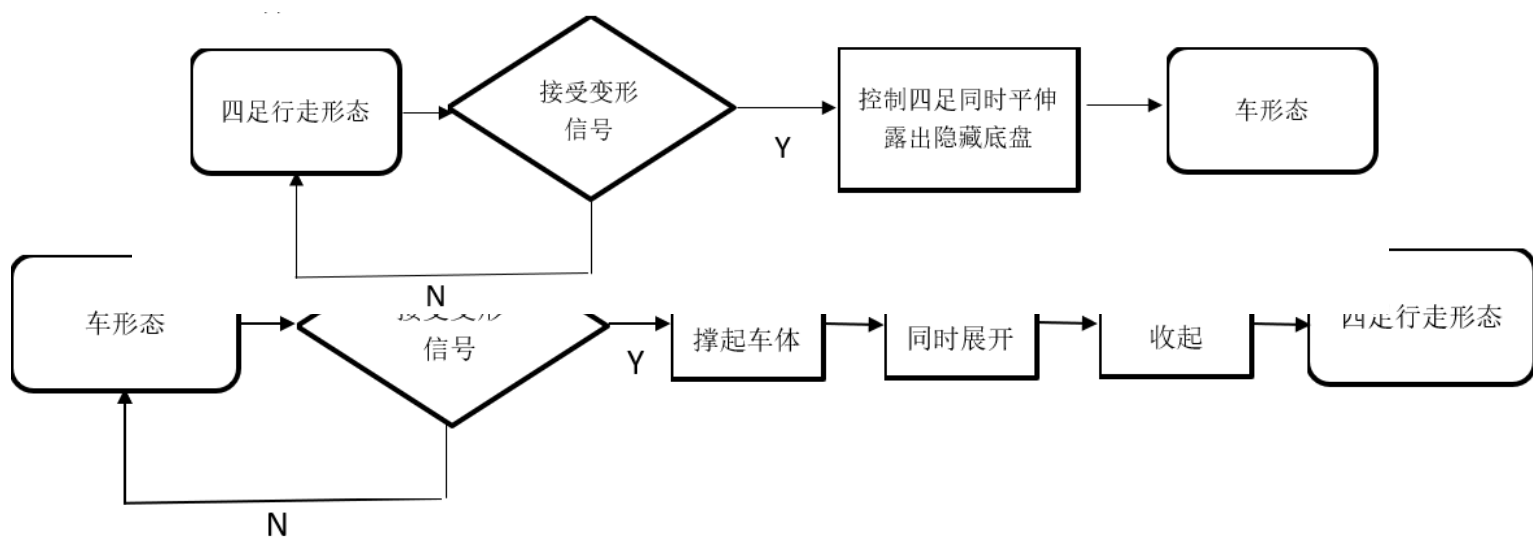


四足行走形态变化球形态:



四足行

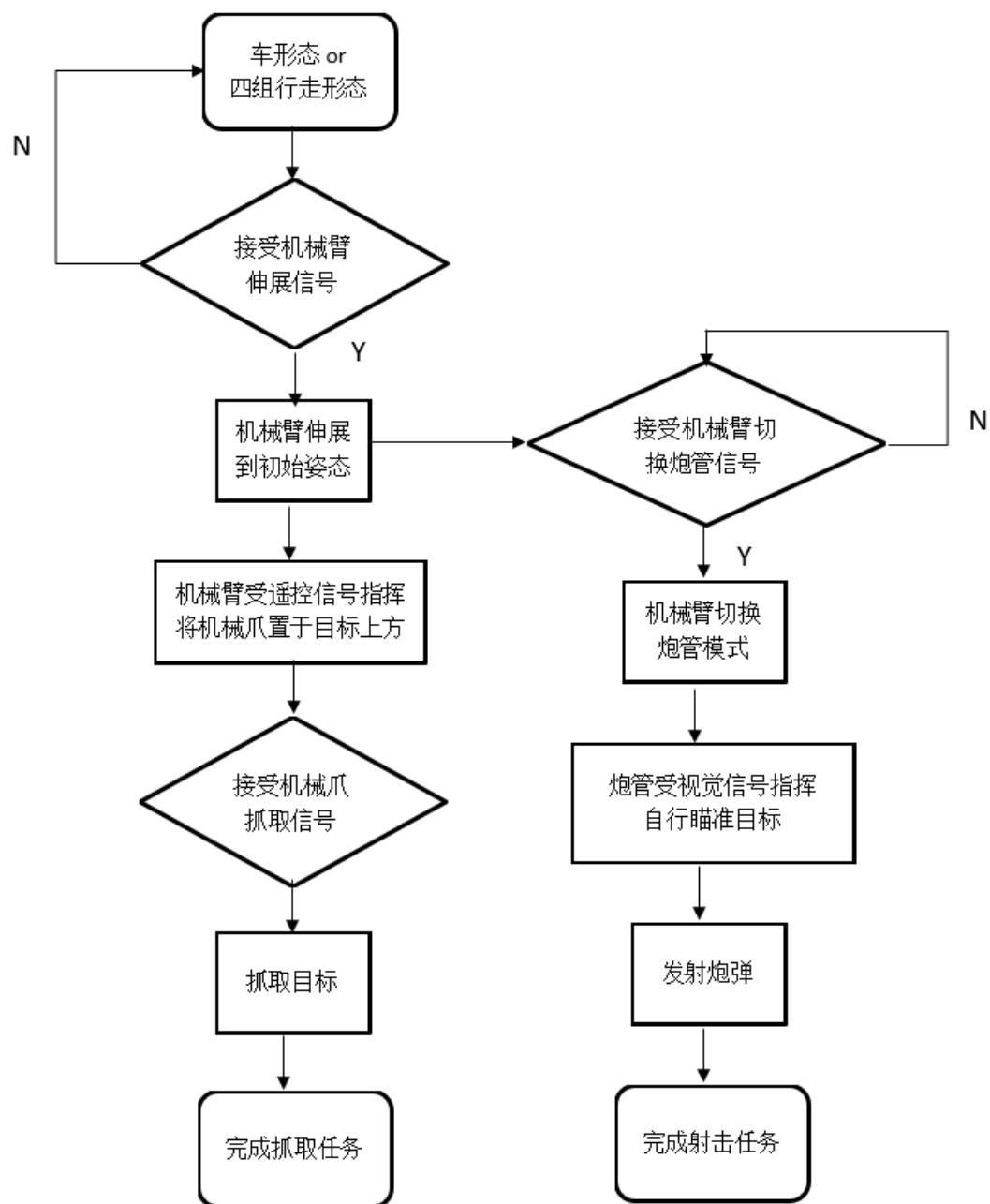
走形态变化车形态:



车形态变化四足行走形态:

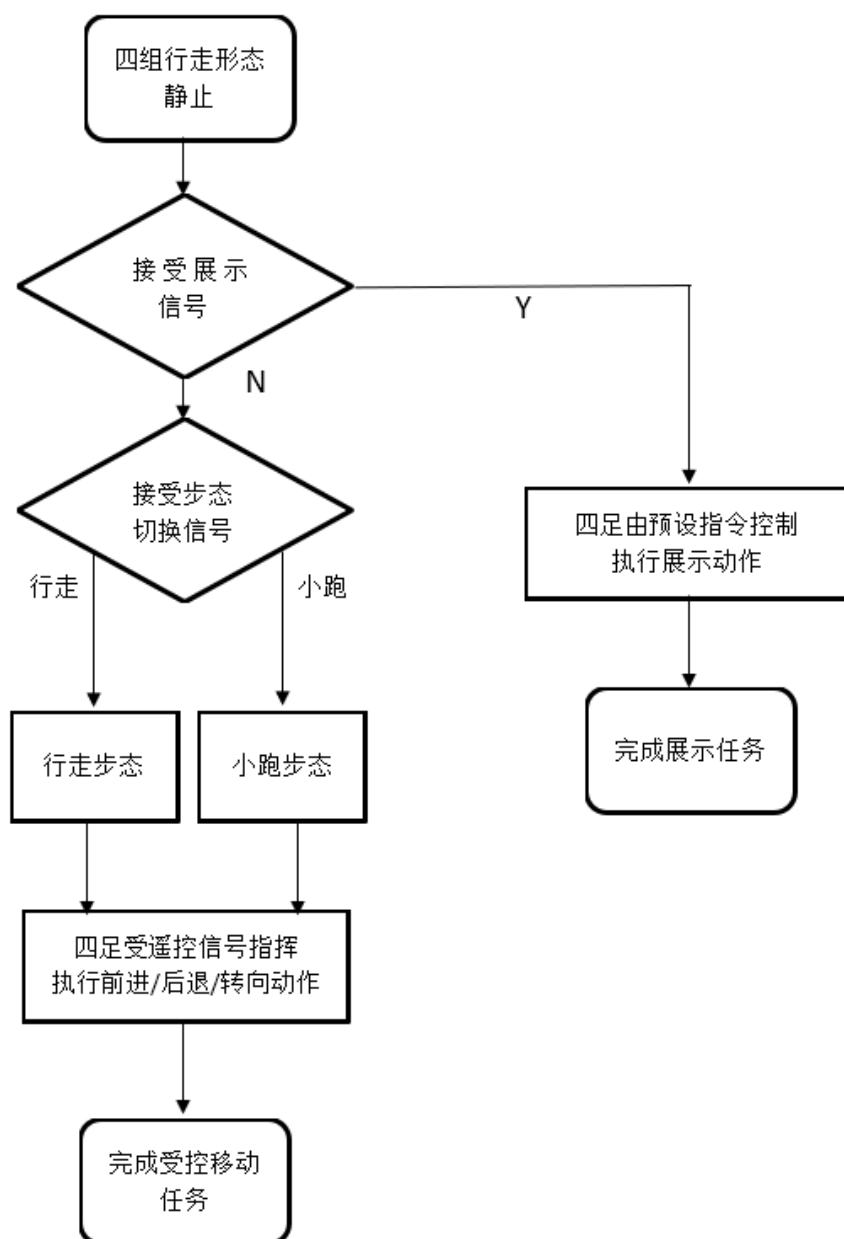
功能实现子流程:

机械臂/炮管功能实现:



示功能实现：

四足受控
行走 / 展



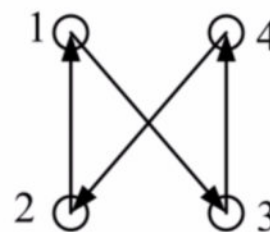
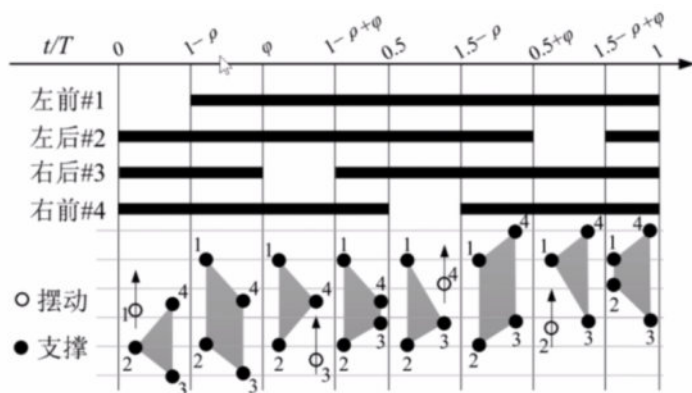
4.2.2 控制算法

3.2.2.1 足式运动

步态形式:

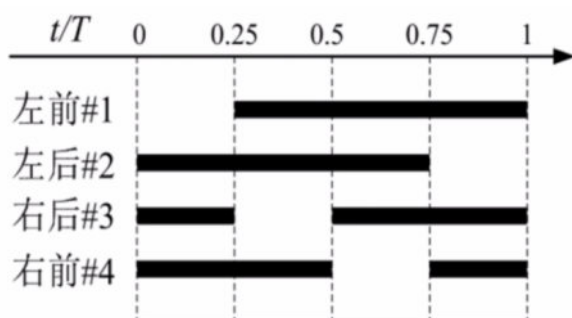
行走(walk):

Walk 步态是一种静态步态，即在运动过程中始终有三条腿处于支撑相，至多只有一条腿处于摆动相，四足动物在 walk 步态中四条腿最常见的轮换顺序为 1→3→4→2→1



Walk 步

态的临界形式是 $\rho=0.75$ 且 $\phi=0.25$ ，即不存在明显的四足支撑相，任意时刻只有三条腿处于支撑相，这是静态步态中速度最快的步态

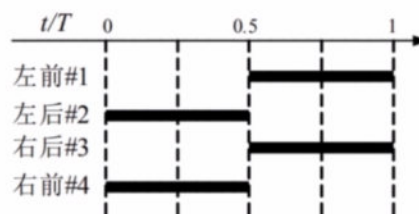
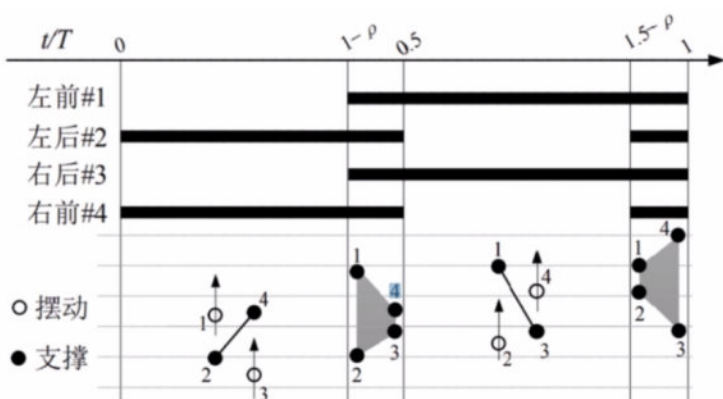


小跑(trot):

Trot 步态是一种动态步态，适用于中低速跑动，并且具有比较大的运动速度范围。另一个重要特征是在中等速度下的 Trot 步态具有最高的能量效率。这些优点使得 Trot 步态成为最常用的四足步态。

Trot 步态的特征是以对角的腿成对运动，即腿 1 和腿 3 运动一致，腿 2 和腿 4 运动一致，理想情况下对角腿同时抬起并同时着地。

在一个运动周期内，四条腿的抬起时刻为 $\phi_1=0$ ， $\phi_2=0.5$ ， $\phi_3=0$ ， $\phi_4=0.5$ ， $1-p$ 为处于摆动相的时间，但是 $1-p$ 一定要小于 ϕ ，因为只有这样，Trot 步态才成立。



3.2.2.2 麦克纳姆轮控制原理:

正运动学模型 (forward kinematic model) 将得到一系列公式, 让我们可以通过四个轮子的速度, 计算出底盘的运动状态; 而逆运动学模型 (inverse kinematic model) 得到的公式则是可以根据底盘的运动状态解算出四个轮子的速度。需要注意的是, 底盘的运动可以用三个独立变量来描述: X 轴平动、Y 轴平动、yaw 轴自转; 而四个麦轮的速度也是由四个独立的电机提供的。所以四个麦轮的合理速度是存在某种约束关系的, 逆运动学可以得到唯一解, 而正运动学中不符合这个约束关系的方程将无解。

先试图构建逆运动学模型, 由于麦轮底盘的数学模型比较复杂, 我们在此分四步进行:

- ①将底盘的运动分解为三个独立变量来描述;
- ②根据第一步的结果, 计算出每个轮子轴心位置的速度;
- ③根据第二步的结果, 计算出每个轮子与地面接触的辊子的速度; ④根据第三步的结果, 计算出轮子的真实转速。

· 底盘运动的分解

我们知道, 刚体在平面内的运动可以分解为三个独立分量: X 轴平动、Y 轴平动、yaw 轴自转。

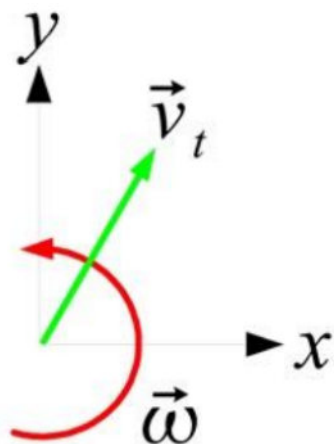
如下图所示, 底盘的运动也可以分解为三个量:

表示 X 轴运动的速度, 即左右方向, 定义向右为正;

表示 Y 轴运动的速度, 即前后方向, 定义向前为正;

表示 yaw 轴自转的角速度, 定义逆时针为正。

以上三个量一般都视为四个轮子的几何中心 (矩形的对角线交点) 的速度。



· 计算出轮子轴心位置的速度

定义：

为从几何中心指向轮子轴心的矢量；

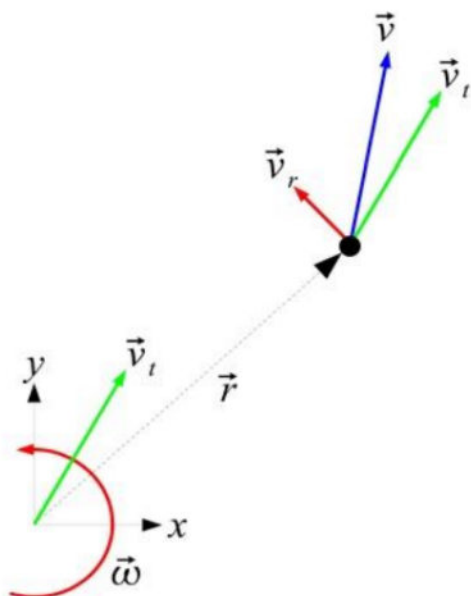
为轮子轴心的运动速度矢量；

为轮子轴心沿垂直于的方向（即切线方向）的速度分量；

那么可以计算出： $\vec{v} = \vec{v}_t + \vec{\omega} \times \vec{r}$

分别计算 X、Y 轴的分量为：

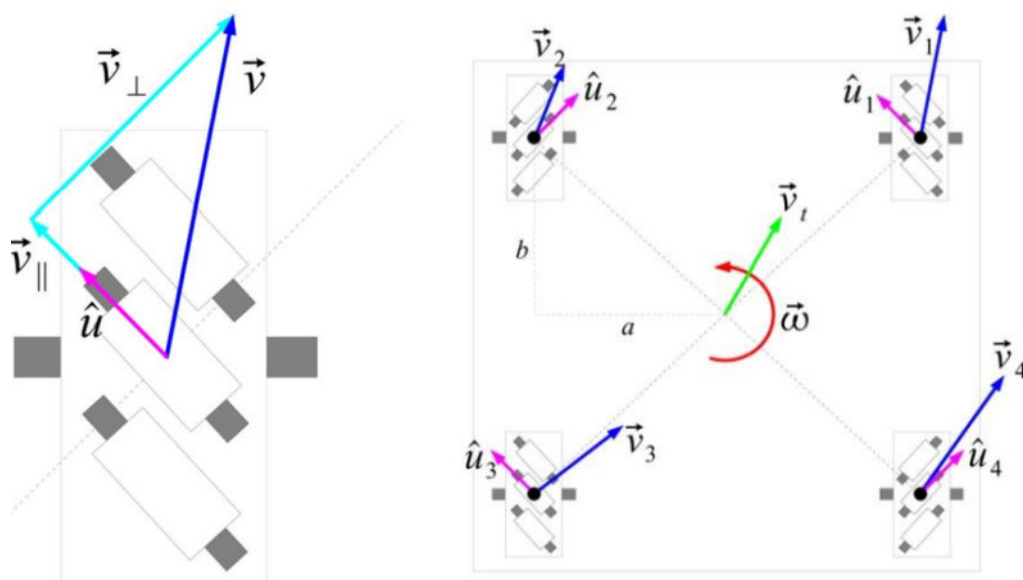
$$\begin{cases} v_x = v_{t_x} - \omega \cdot r_y \\ v_y = v_{t_y} + \omega \cdot r_x \end{cases}$$



·计算辊子的速度

根据轮子轴心的速度，可以分解出沿辊子方向的速度和垂直于辊子方向的速度

。



·计算轮子的速度

也可以由辊子速度计算得轮子转速

$$v_w = \frac{v_{\parallel}}{\cos 45^\circ} = \sqrt{2} \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} v_x + \frac{1}{\sqrt{2}} v_y \right) = -v_x + v_y$$

又由速度关系：

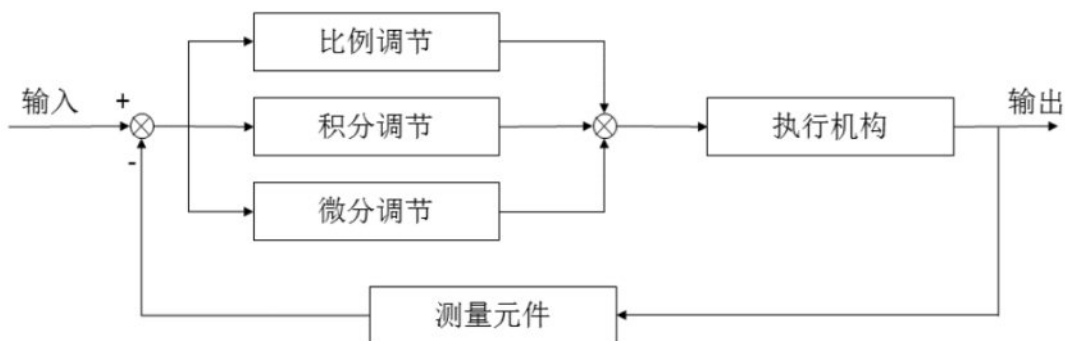
$$\begin{cases} v_x = v_{tx} + \omega b \\ v_y = v_{ty} - \omega a \end{cases}$$

最终可以根据底盘运动状态计算四个轮子的转速：

$$\begin{cases} v_{w1} = v_{ty} - v_{tx} + \omega(a+b) \\ v_{w2} = v_{ty} + v_{tx} - \omega(a+b) \\ v_{w3} = v_{ty} - v_{tx} - \omega(a+b) \\ v_{w4} = v_{ty} + v_{tx} + \omega(a+b) \end{cases}$$

3.2.2.3PID 控制：

PID 算法的执行流程是非常简单的，即利用反馈来检测偏差信号，并通过偏差信号来控制被控量。而控制器本身就是比例、积分、微分三个环节的加和。其功能框图如下：



对于离散情况：

我们假设系统采样周期为 T 。假设我们检查第 K 个采样周期，很显然系统进行第 K 次采样。此时输入量为 $rin(t)$ ，输出量为 $rout(t)$ ，偏差可以表示为 $err(K)=rin(K)-rout(K)$ ，那么积分就可以表示为： $err(K)+err(K+1)+\dots$ ，而微分就可以表示为： $(err(K)-err(K-1))/T$ 。

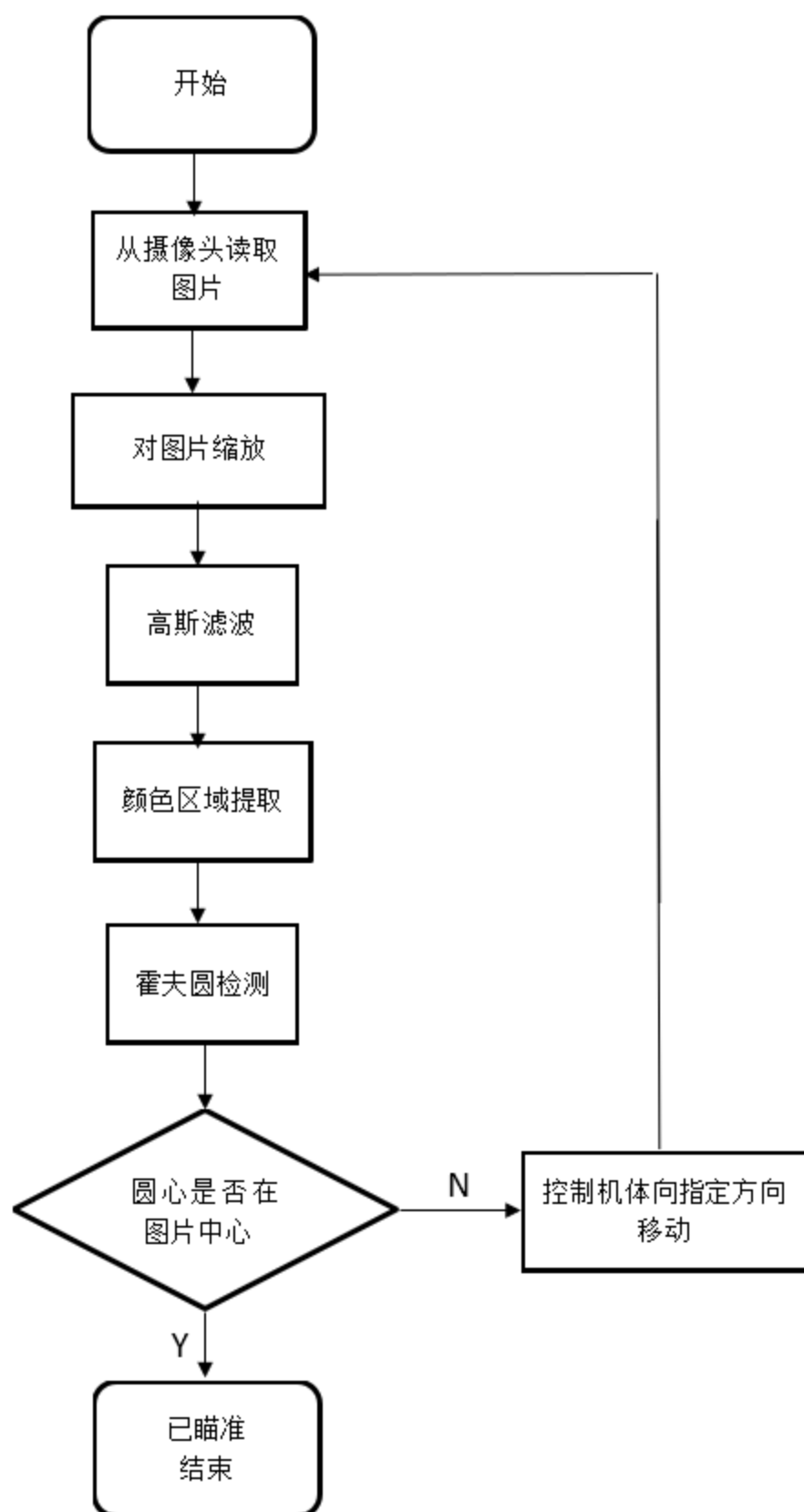
于是我们可以将第 K 次采样时，PID 算法的离散形式表示为：

$$U(k) = K_p (err(k) + \frac{T}{T_i} \sum err(k) + \frac{T_D}{T} (err(k) - err(k - 1)))$$

4.3 视觉方案

图像处理模块采用的是树莓派+摄像头的方案，通过 python 的 opencv 库实现图像处理。

考虑靶子是固定的，且涂有指定颜色，靶子所处平面与炮管几乎垂直。



5.宣传计划

宣传方式：①将制作过程录像，剪辑后投放到各视频平台，并转发到 qq 空间/微信朋友圈

②将机器人模型上传至 GitHub。

6.经费预算

类别	项目	数量	预计单价	预计总价
机械	机械制作 (总计)	1		500
电路	直流减速电机	4	103	412
	电机驱动	4	15	60
	舵机	16	75	1200
	舵机驱动	1	23	23
	24V 电源	1	160	160
	电源保护模块	1	145	145
	电源稳压模块	1	28	28
	STM32 和开发板	1	178	178
	遥控器	1	629	629
	树莓派	1	800	800
	摄像头	1	20	20
	导线及其他零件	1	200	200
合计	4355			

7.时间安排

时间	进度
5.15-6.4	完成最终模型的搭建
6.5-7.15	参加培训，学习各自负责领域的知识；机械部件加工、购买 需要的材料，搭建好机器人的机械部分，放置电路元件。
8 月 15 日——9 月 5 日	连接电路部分，依次完成各控制程序的初步编写与测试（搭建好一个电路控制部分，测试一个控制程序）
9 月 6 日——9 月 25 日	对控制程序进行优化，使机器人可以流畅连贯完成动作。
9 月 26 日——10 月 15 日	根据比赛场地调整机器人，准备比赛。