

参赛计划书

队伍名称： 黑星队

系别（全称+代号）： 工程科学学院

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）：景昊 丁凯歌 薛琳 刘睦悻 于弈扬

2022 年 5 月 14 日

中国科学技术大学



中国科学技术大学 RoboGame 2022

黑星队

参赛计划书

小组成员：景昊 薛琳 刘睦怵 于弈扬 丁凯歌

学科专业：工程科学

指导教师：张世武

完成时间：5 月 15 日

目录

- 1. 队伍简介 5
 - 1.1 队名介绍 5
 - 1.2 成员介绍与分工 5
- 2. 机械部分 6
 - 2.1 功能与结构概述 6
 - 2.2 模块设计与选型 6
 - 2.2.1 底盘 6
 - 2.2.2 移动 6
 - 2.2.3 取壶机构 7
 - 2.2.4 存壶机构 8
 - 2.2.5 推壶机构 8
- 3. 电路部分 11
 - 3.1 电路框图 11
 - 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 13
 - DC 直流 15A 升压变换器 400W 恒流电源变压器 10V-60V 可调升压电源模块 13
 - LM2596S DC-DC 直流可调降压稳压电源模块板 3A 5A 75W 24V 转 12/5V 13
 - 3.3 控制系统 13
 - 3.3.1 主控模块 13
 - 3.3.2 计算平台 14
 - 3.4 执行系统 15
 - 3.4.1 电机 15
 - 3.5 执行系统 16
 - 3.5.1 电机 16
 - 3.5.2 巡线模块 20
 - 3.5.3 姿态模块 21
- 4. 算法部分 22
 - 4.1 控制程序架构 22
 - 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	23
4.3 视觉方案	23
经费预算	24
5. 时间安排	25

1. 队伍简介

1.1 队名介绍

源自于某本网络小说

1.2 成员介绍与分工

景昊 工程科学学院 负责部分机械设计及电控中电机部分

丁凯歌 工程科学学院 小车建模 机械搭建及部分计划书编写

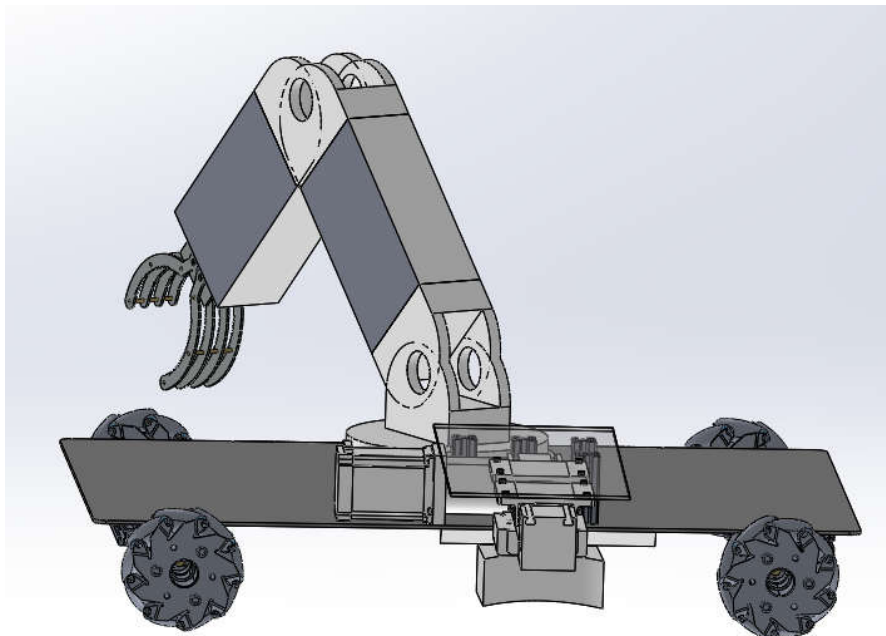
薛琳 网络空间安全学院 负责电控中电路部分和算法部分

于弈扬 信息科学技术学院 负责算法中控制部分和视觉部分

刘睦怵 信息科学技术学院 负责软件框架和机械设计部分

2. 机械部分

2.1 功能与结构概述



移动功能：通过减速电机带动麦克纳姆轮进行前后和左右移动

巡线功能：使用开源的巡线模块搭配 TCRT500 进行识别

识别冰壶：通过机械臂上的摄像头识别冰壶上的二维码

抓取冰壶：使用机械臂和底板旁倾斜的面将冰壶拖拽进行冰壶的拿去和放回

发射冰壶：利用同步带滑台延展的部分带着冰壶进行加速

2.2 模块设计与选型

2.2.1 底盘

底盘使用官方提供的底盘，在其上方添加下面的模块

2.2.2 移动

本次设计中考虑转向等问题，决定使用麦克纳姆轮。其转向功能以及承载质量的功能均符合这个冰壶小车的设计。

WHEELTEC 100mm麦克纳姆轮

一体成型制造·多种内径可选·金属联轴器



产品信息介绍

✓ 参数说明

轮子直径	100mm
重量 (一组4个含联轴器)	1.52kg
负载能力	40kg
厚度 (不含联轴器)	50mm
支撑轮轴直径	2mm
支撑轮个数	9个
联轴器内径	5 6 8 10 12 14 15 16 18可选
表面材质	铝合金(表面氧化喷砂)

【注】负载能力是4个轮子同时作用的数据，不是单个轮子的。

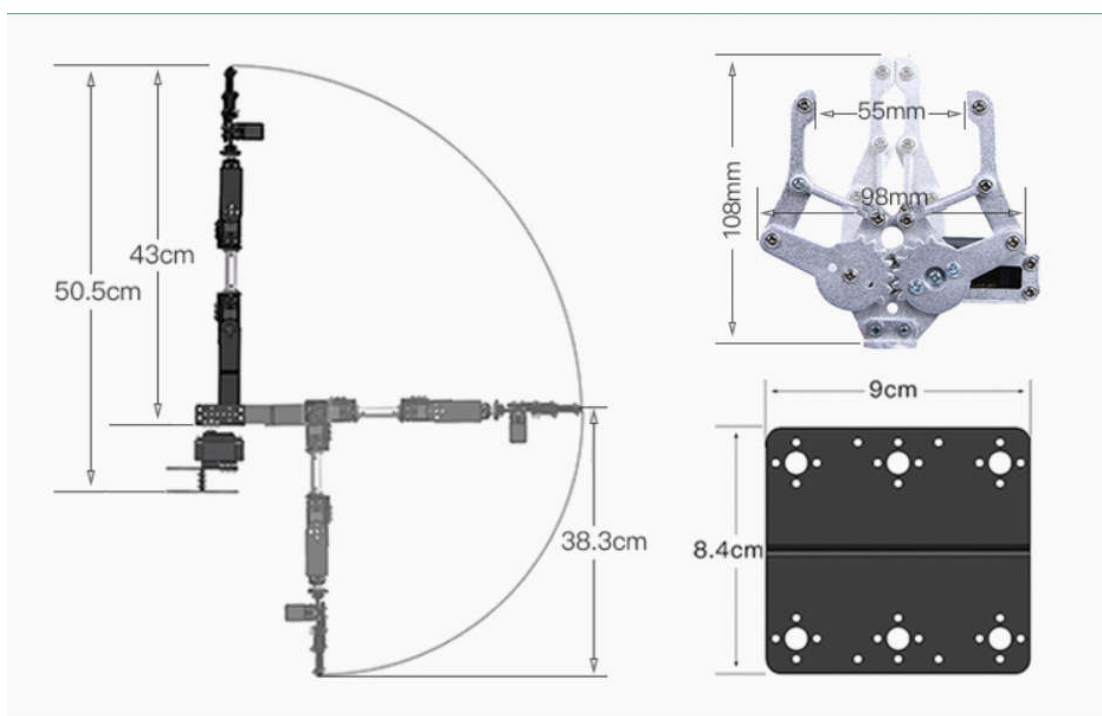
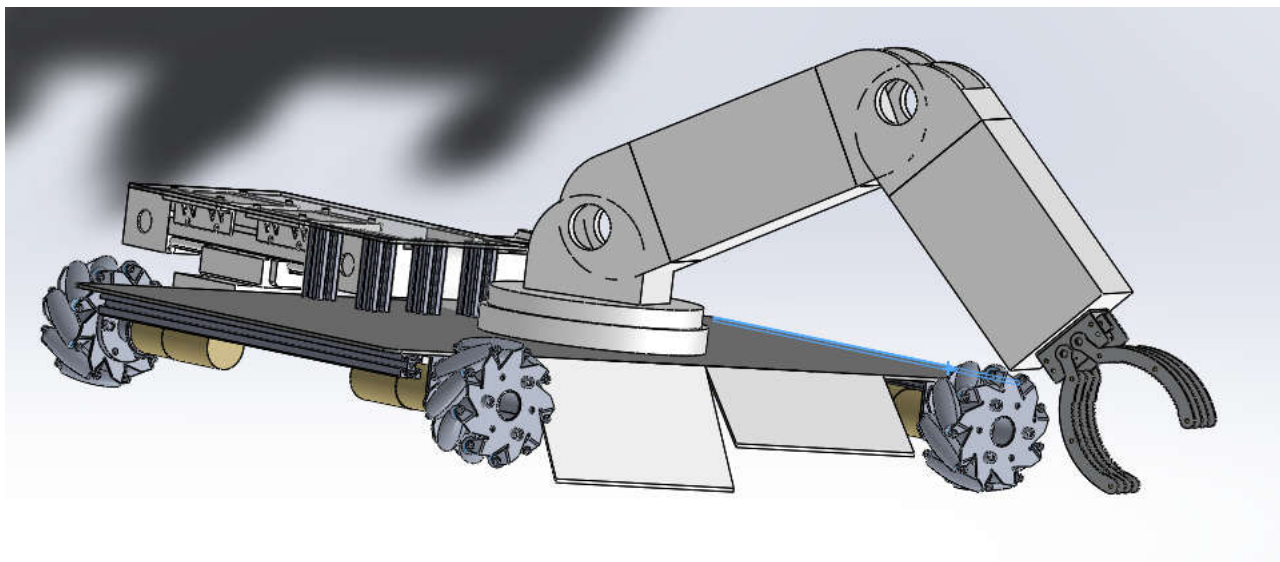
【注】联轴器内径有多种可选，因系统显示有限，如有其他内径或定制需求可联系客服。

2.2.3 取壶机构

本次设计中考虑夹取冰壶对舵机有着较高的要求，所以考虑使用斜面来配合机械臂进行拉的动作，所以本次使用 $30\text{kg} \cdot \text{cm}$ 的舵机配合机械臂的运动，拉 5cm 平台上的冰壶时，斜面的坡度约为 75° ，需要 5N 的力（摩擦因数为 0.1 ，冰壶重 1.3kg ），而机械臂抓取的重量为 8N 以上（询问机械臂商家），应是可行的。将冰壶放到地面的斜坡使用减速带，可以以较小的力度将其放下。

共设置两个斜面，准备采用亚克力板材料，固定在底盘上，一斜面角度为 75° 左右，用来拉 5cm 平台上的冰壶，另一斜面直接接触地面用来放下冰壶。

机械臂则是选取某宝上较为成熟的机械臂零件直接进行拼装。



2.2.4 存壶机构

存壶预计直接在底盘上存放（如果布线过于杂乱，会将存壶机构抬高），在存壶部分周围放上减速带（小的圆形或三角形凸起带），用来确保冰壶不会移动过大距离。

2.2.5 推壶机构

投壶机构是在机械臂放下冰壶，机器人转身后将冰壶发射出去。（同步带在赛道上带动冰壶进行运动）

同步带选择

滑轨选择：导程 125mm

根据冰壶高度：90mm++

匀速扭矩计算约为 $T=1.5\text{kg}\cdot 0.1\text{m}\cdot 9.8\cdot 0.04=0.06\text{N}\cdot \text{m}$

加速扭矩:

转动惯量: 电机: 约为 $0.5\text{kg}\cdot \text{cm}^2$

同步带: $2.1\text{kg}\cdot 0.015\cdot 0.4\cdot 20.5\text{kg}\cdot \text{cm}^2=0.0252\text{kg}\cdot \text{cm}^2$ (可忽略)

冰壶+推杆: $1.5\cdot (12.5/2/3.14)^2=5.94\text{kg}\cdot \text{cm}^2$

加速度: $n=3/0.125/\text{s}=24\text{r/s}=1440\text{rpm}$

$B=n^2\cdot 3.14/0.2/\text{s}^2=753.6/\text{s}^2$

$A=B\cdot J=6.518\cdot 0.0753.6\text{N}\cdot \text{M}=0.466\text{N}\cdot \text{M}$

安全系数为 3 时, 需要扭矩为 $1.4\text{N}\cdot \text{m}$, 所以选择扭矩为 $1.8\text{N}\cdot \text{m}$ 或 $2.2\text{N}\cdot \text{m}$ 的步进电机。

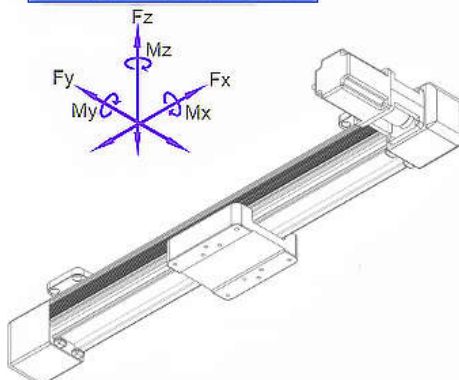
要加速到 3m/s , 所需要的加速长度约为 300mm 。

导程考虑: 75mm 时难以加速到 3m/s (电机转速接近 2500rpm)

所以选择 125mm 导程的同步带

因此选择 60mm 宽的同步带

60同步带模组导轨



导轨规格: $60\cdot 60\text{mm}$

导轨材质: 铝合金+轴承钢

标准滑块规格: $130\cdot 115\text{mm}$, 其它滑块尺寸见附图

长度: 6米以内任意尺寸

直度/扭拧度: $\leq 0.1\text{mm}/300\text{mm}$

每米重复定位精度: 0.1mm

扭矩: $0\sim 15\text{N}\cdot \text{m}$

导轨	60	60
力/力矩	静态	动态
$F_x(\text{N})$	300	200
$F_y(\text{N})$	200	160
$F_z(\text{N})$	300	200
$M_x(\text{N}\cdot \text{m})$	20	16
$M_y(\text{N}\cdot \text{m})$	16	12
$M_z(\text{N}\cdot \text{m})$	40	30

速度: $0\sim 1500\text{mm/s}$

无悬臂承载力: 300N

导程 (同步轮周长): 125mm

同步带规格: 聚氨酯钢线HTD5m, 宽度25mm

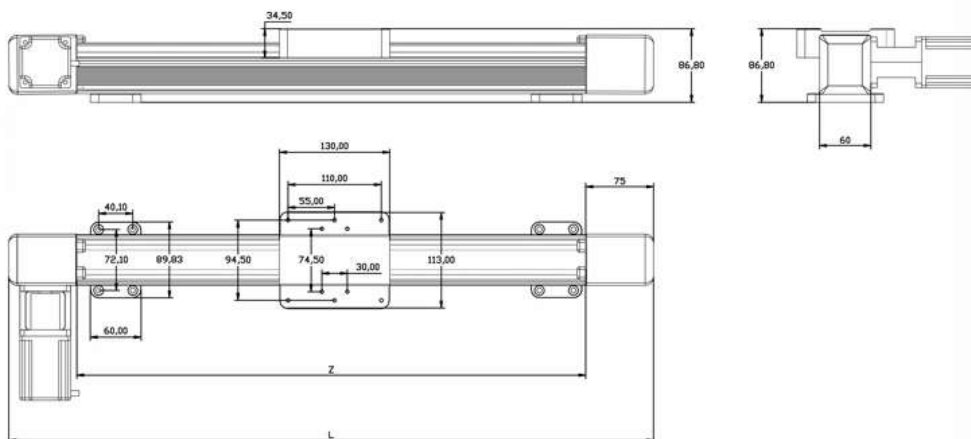
同步带轮齿数: 25齿

同步轮型号: HTD5M

滑块加尾座重量: 2500g ; 导轨本体重量/ 100mm : 400g

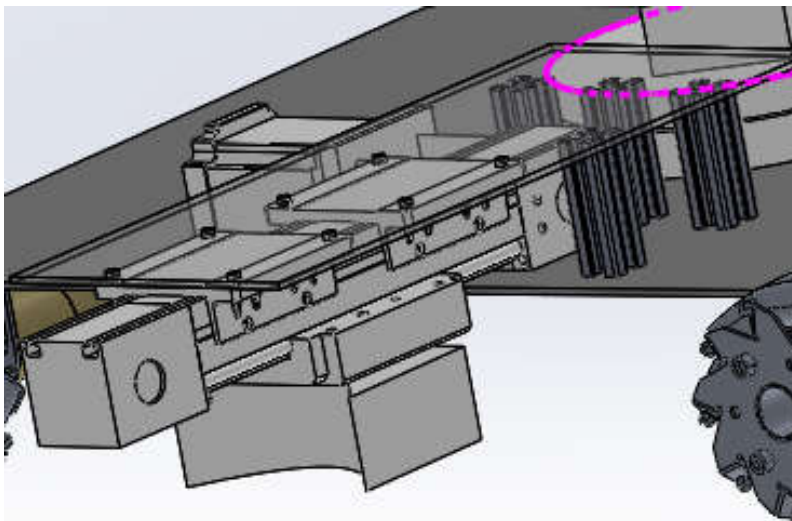
适合电机类型: 67/86步进/400w/750w伺服

60模组导轨外形尺寸图



Z=有效行程+150MM

L=有效行程+300MM

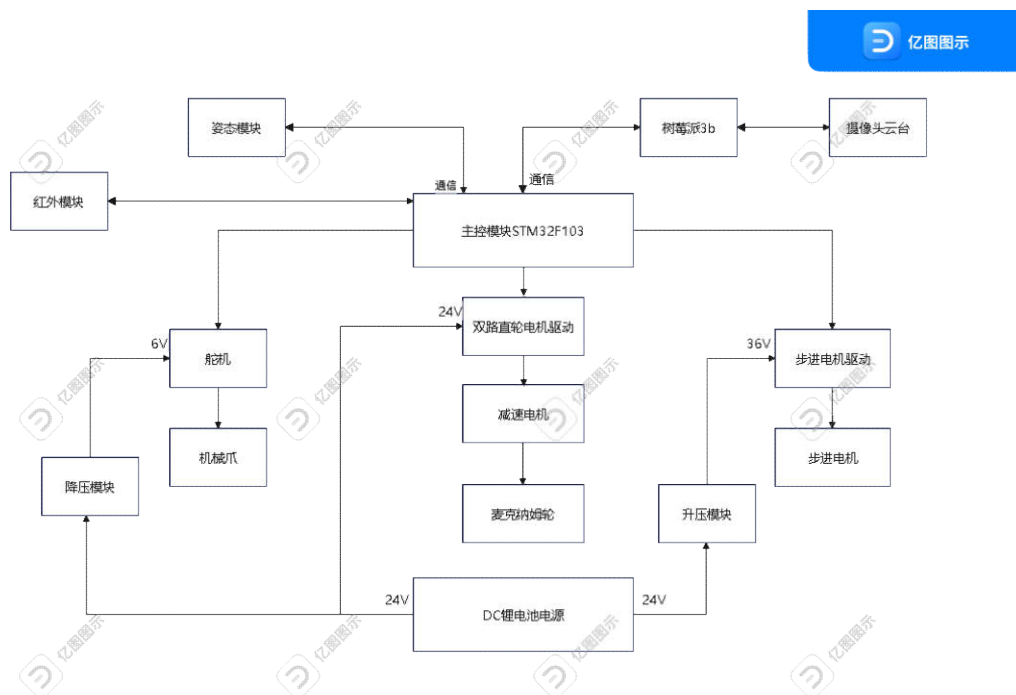


重心:

由于机械臂重约为 0.9kg，冰壶重 1.3kg，而同步带导轨重 4kg 左右，可能造成重心偏移，所以准备将同步带确定为 300mm（有效行程），此时同步带的总长度为 450mm 左右，不仅可以增加加速长度提高容错空间，同时可以将重心移到小车中间。

3. 电路部分

3.1 电路框图



3.2 供电系统

3.2.1 电源

由于要驱动 6 个 $30\text{kg} \cdot \text{cm}$ 金属舵机，4 个减速电机，一个 57 步进电机。其峰值功率应不会超过 480w，持续工作功率应不会超过 240w，选用 24V 聚合物锂电池。同时施加不同的电压适配模块使得输入到不同驱动器的电压符合驱动所需要的电压。



型号	24V9800
标称电压	24v
工作电压	16.2V-25.2v
容量	9800ma
电芯	6串A品聚合物锂电芯
尺寸	106*67*62mm
重量	816g
可持续电流	10A
过流保护值	50A

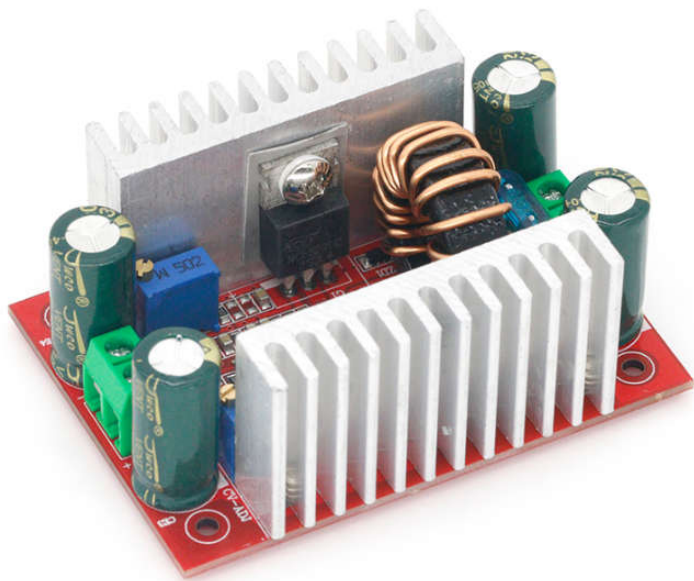
3.2.2 分电方案

锂电池通过急停模块后再分电输送给各个电机模块，方便随时按下急停按钮使电机全部停止供电。

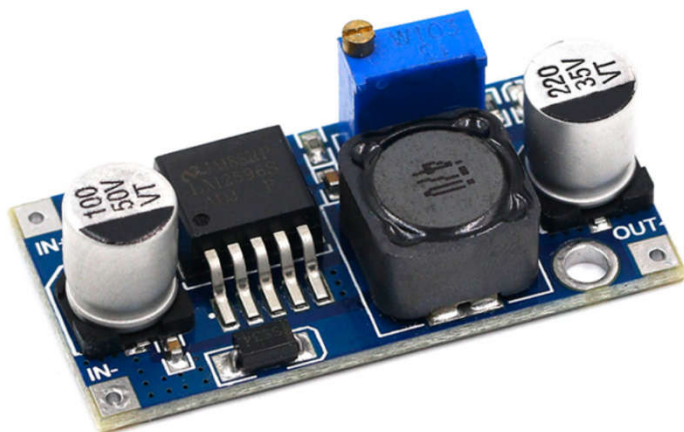
利用同时并联的各个引脚输送给各个驱动模块电压。

3.2.3 稳压方案

DC 直流 15A 升压变换器 400W 恒流电源变压器 10V-60V 可调升压电源模块



LM2596S DC-DC 直流可调降压稳压电源模块板 3A 5A 75W 24V 转 12/5V

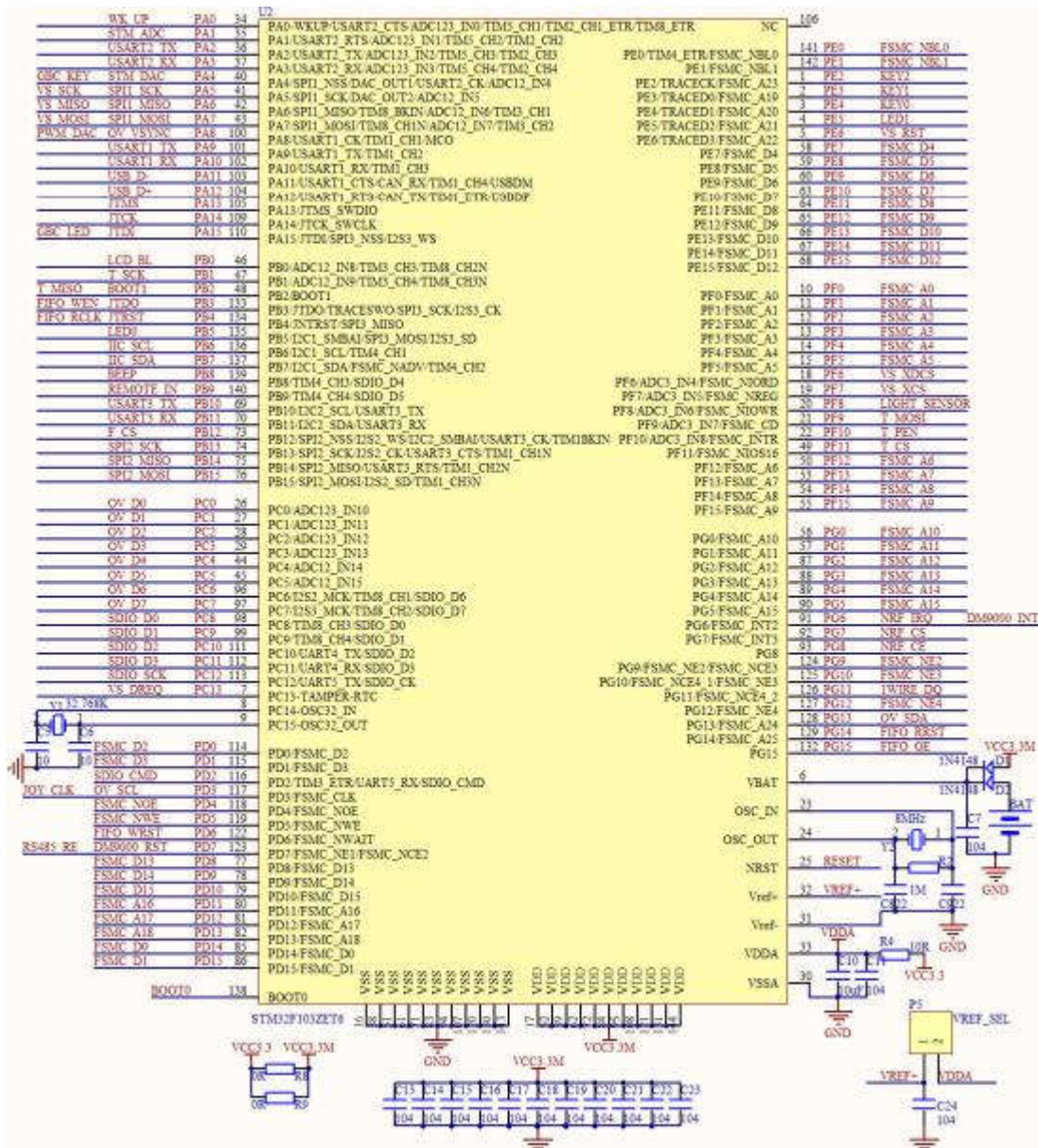


3.3 控制系统

3.3.1 主控模块

主控模块的核心是以 STM32F103 为芯片的开发板

以下是 STM32F103 芯片的主要部分原理图

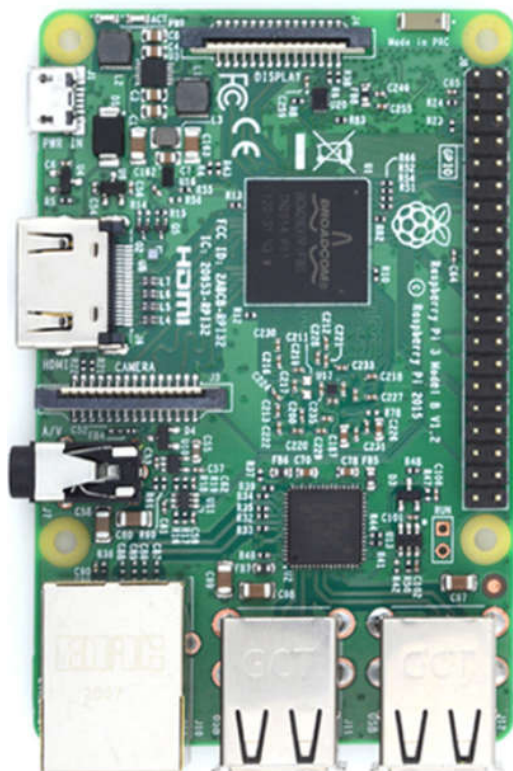


考虑到该芯片的配置，拥有 64KB SRAM、512KB FLASH、若干不同级别定时器，若干不同协议的通信端口，大量快速的 I/O 端口，以及支持的外设种类丰富和强大的可拓展性以及开源方便性，我们决定使用以 STM32F103 为芯片的开发板作为主控模块。我们认为这块开发板作为主控模块足以胜任此次任务的计算能力要求和拓展能力要求。

3.3.2 计算平台

树莓派 3B

拥有较强的计算能力，能够配合摄像头外设完成信息捕捉，传回给单片机控制电机运动抓取或放置冰壶。



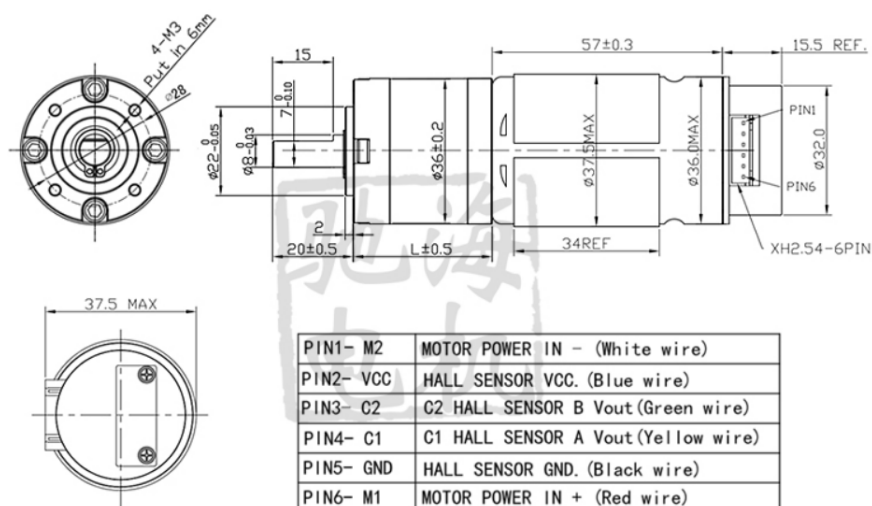
3.4 执行系统

3.4.1 电机

1 减速电机

由于对加速运动的不确定,所以选择推荐的 1:51 电机(根据培训时的讲解,选择额定 12v, 30w 的减速电机)

使用电压: DC12.0V 最大功率30W										
减速比(变比)	1: 3.7	1: 5.2	1: 14	1: 19	1: 27	1: 51	1:100	1:139	1: 264	1: 515
空载电流(mA)	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400	≤400
空载转速 (rpm)	1600	1150	420	310	220	115	60	42	22	11.5
额定转矩(kg.cm)	1.5	2.5	5.0	7.5	12.5	17.0	30.0	40.0	50.0	60.0
额定转矩(N.m)	0.15	0.25	0.5	0.75	1.25	1.7	3.0	4.0	5.0	6.0
额定转速 (rpm)	1200	850	320	250	170	95	45	32	18	10
额定电流(A)	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0	≤2.0
堵转电流(A)	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10	≤10
堵转转力(kg.cm)	≥4.0	≥7.0	≥15.0	≥22.0	≥25.0	≥35.0	≥50.0	≥50.0	≥60.0	≥60.0



3.5 执行系统

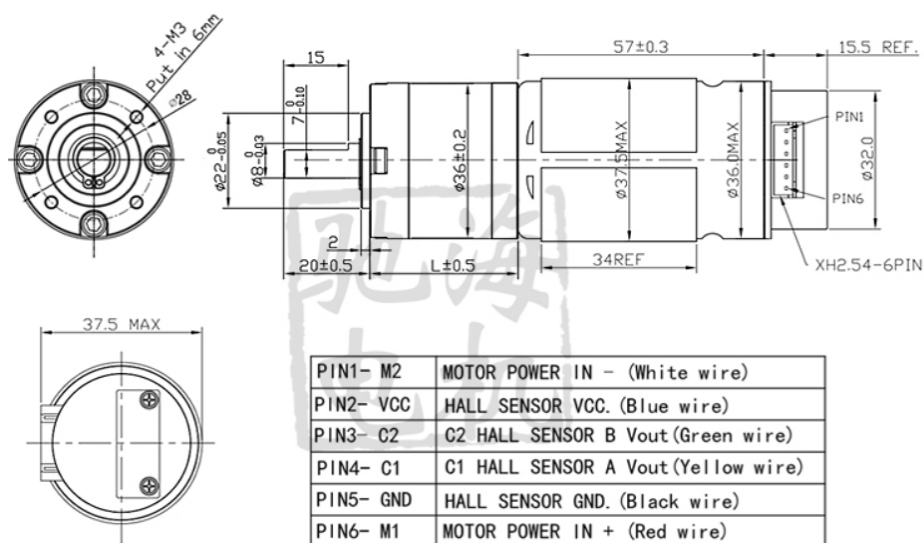
3.5.1 电机

1 減速电机

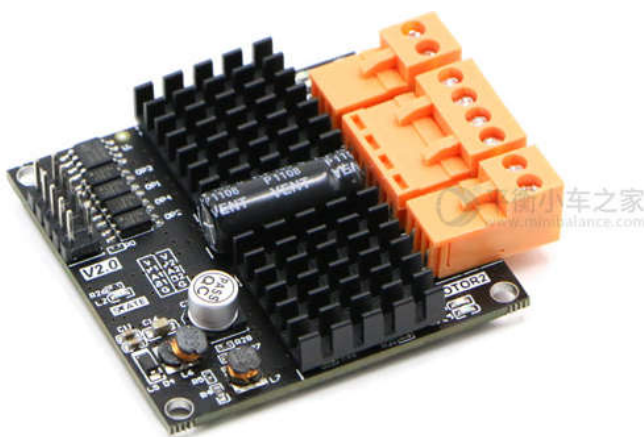
预估计小车需要的扭矩约为 $25\text{kg} \cdot \text{cm}$ ，由于对加速运动的不确定，出于安全容错考虑，选择推荐的 1:51 电机（根据培训时的讲解，选择额定 24v ， 120w 的减速电机），其额定转矩为 $3.5\text{N} \cdot \text{m}$



型 号	CHP-36GP-555 ABHL 永磁行星编码减速电机
轴 直 径	8mmD字型轴双滚珠轴承定位结构
轴 长	20.0MM单向出轴
电 压	DC 6V-24V
重 量	480g左右，不同参数重量不同
接线规格	XH2.54-6PIN端子连接头
编码器规格	AB双相编码器17线基本信号电压3.3V或5.0V
应用案例	智能自平衡双轮车、智能循迹小车、 智能家电、机器人、摄像摇臂、电动切胶纸机



减速电机配备的驱动



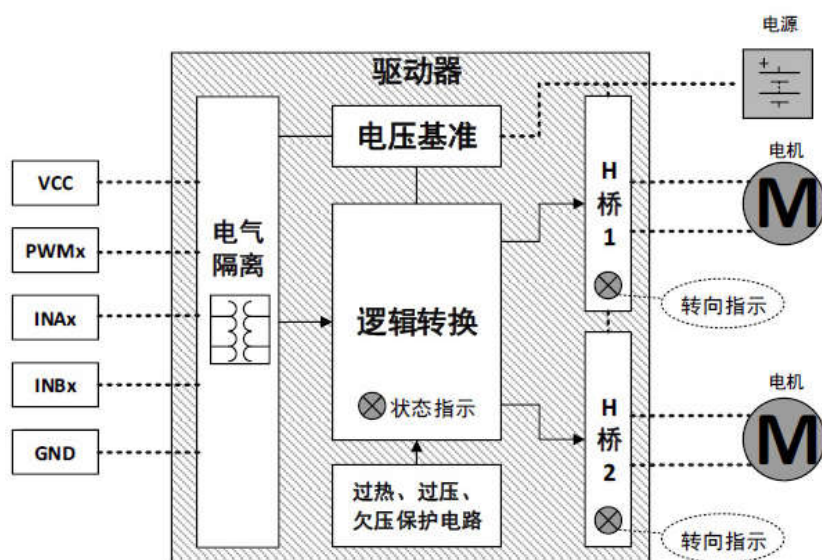
尺寸	50*50*12.5mm
重量	26g
多重保护	内置过电压、欠电压、过热保护电路
控制信号	控制信号全隔离，充分兼容3-5v电压输入
功率	大功率，可同时驱动两只300W电机

高速PWM隔离输入，最小脉冲宽度3us，隔离带宽10MHz

支持满占空比输入，可脱离MCU，实现外部开关直接控制，可串联限位开关

驱动器运行电压6.5-28V，支持7-24V电压等级直流有刷电动机

每通道具有双色转向指示灯指示电机运转方向



2.57 步进电机

在之前的机械部分已经计算了同步导轨需要的步进电机的扭矩大小（ $2.2\text{N} \cdot \text{m}$ ），以及所需加速的转速（最大 1440rpm，3m/s 加速），所以选择型号为 57CM23 的电机以及配套驱动，其相数为 2，额定电流为 3.2A，重 1kg，机身长 80mm。



步进驱动器参数

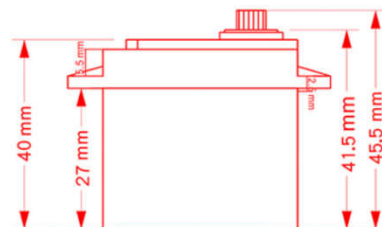
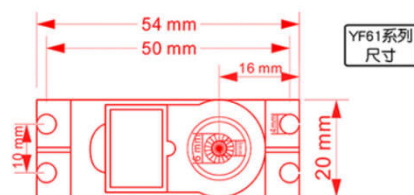
供电电源	24 - 48 VDC
输出电流	拨码开关设定, 8种选择, 最大5.0安培 (峰值)
电流控制	PID电流控制算法
细分设置	拨码开关设定, 16种选择
速度范围	选配合适的步进电机, 最高可达3000rpm
共振抑制	自动计算共振点, 抑制中频振动
参数自适应	驱动器初始化自动检测电机参数、优化控制性能
脉冲模式	支持方向&脉冲, CW/CCW双脉冲, A/B正交脉冲输入
脉冲滤波	2MHz数字信号滤波器
空闲电流	在电机停止运行后电流自动减半

步进电机规格参数

步距精度	±5%(整步、空载)
温升	80 °C Max
环境温度	-10 °C — +50 °C
绝缘电阻	100MΩmin. 500VDC
耐压	500VAC for one minute
径向跳动	0.06 Max. (450g-load)
轴向跳动	0.08 Max. (450g-load)

3.舵机

所选舵机的型号为 YF6125, 用于机械臂的抓取, 拉推等动作。根据之前的培训, 可能直接用 PWM 波对其进行控制, 先预计用 stm32 直接对其控制, 暂时不考虑单独驱动。



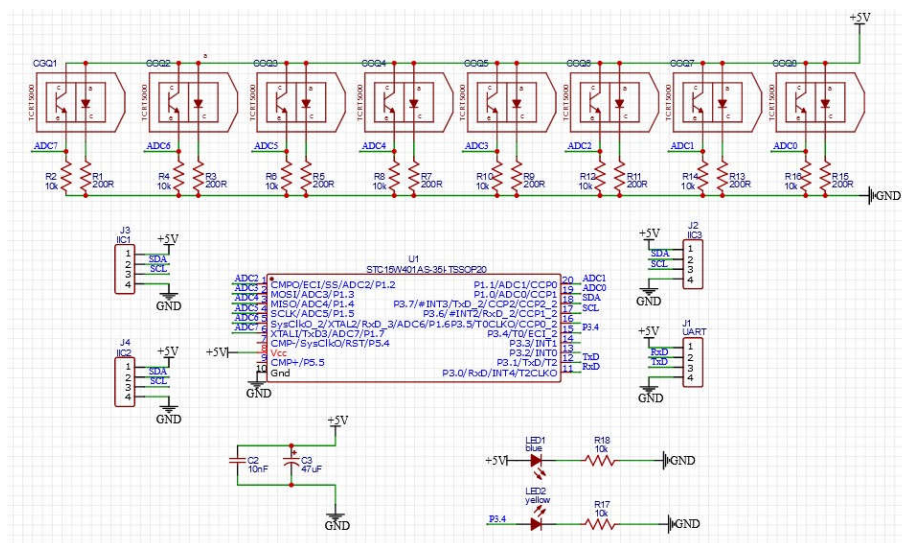
YF6125: 60g

YF6130: 66g

工作电压	工作电流
4.8-7.2V	120MA (空载) 1450MA (堵转)
轴承	舵机速度(YF6130)
2BB	0.22s/60°(4.8V) 0.16s/60°(7.2V)
脉宽	舵机速度(YF6125)
500-2500usec	0.18s/60°(4.8V) 0.14s/60°(7.2V)
转动角度	舵机扭力(YF6130)
180°	28.5kg.cm(4.8V) 33.8kg.cm(7.2V)
工作死区	舵机扭力(YF6125)
2US (微秒)	23.5kg.cm(4.8V) 26.8kg.cm(7.2V)
齿轮类型	接线定义
25T金属齿轮组	黄--信号 红--正极 褐--负极
连接线长度	角度偏差
26.5cm	回中误差0度, 左右各45°误差≤3°

3.5.2 巡线模块

红外模块采用 Hello World 对的开源模块（十分感谢），通过 8 路 ADC 通道接受红外探测器的电压强度，从而确定每个点的光的强度。



TCRT5000 光电传感器



TCRT5000光电传感器

红外反射式

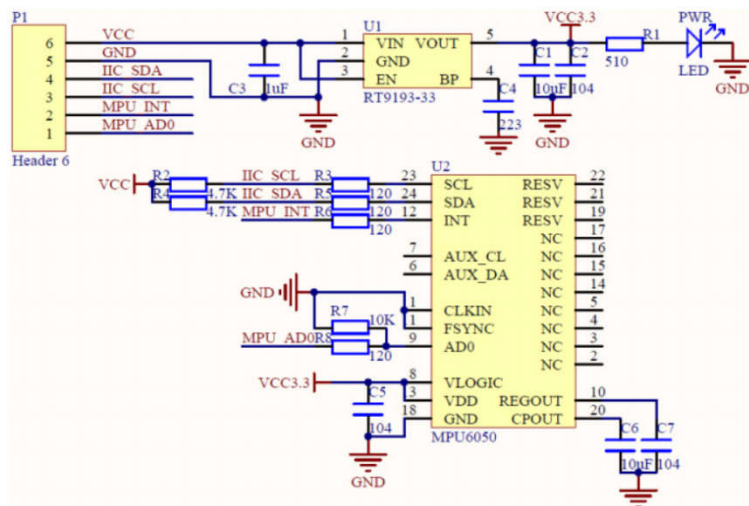


- 反向电压：5V
- 正向电流：60mA
- 正向电流：3A
- 功耗：100mW
- 工作温度范围：-25℃ to +85℃
- 集电极发射极电压：70V
- 发射极集电极电压：5V
- 集电极电流：100mA

巡线模块准备选取光电传感器的数量，要使得机器人足以辨别黑线所在位置（最好）

3.5.3 姿态模块

发射冰壶时需要调整机器人的角度，为此可能需要较为精确地确定小车的姿态。所以计划选用 MPU6050 模块来实时获取机器人的状态。



项目	说明
接口特性	3.3V/5V
通信接口	IIC 接口
通信速率	400KHz (Max)
测量维度	加速度：3 维 陀螺仪：3 维
加速度测量范围	$\pm 2/\pm 4/\pm 8/\pm 16g$
陀螺仪测量范围	$\pm 250/\pm 500/\pm 1000/\pm 2000^\circ /s$
ADC 位数	16 位
分辨率	加速度：16384LSB/g(Max) 陀螺仪：131LSB/($^\circ /s$)(Max)
输出速率	加速度：1KHz (Max) 陀螺仪：8KHz (Max)
姿态解算输出速率	200Hz (Max)
温度传感器测量范围	-40℃~85℃
温度传感器精度	$\pm 1^\circ C$
工作温度	-40℃~85℃
模块尺寸	16mm*18mm

表 1.1 ATK-MPU6050 六轴传感器模块基本特性

4. 算法部分

4.1 控制程序架构

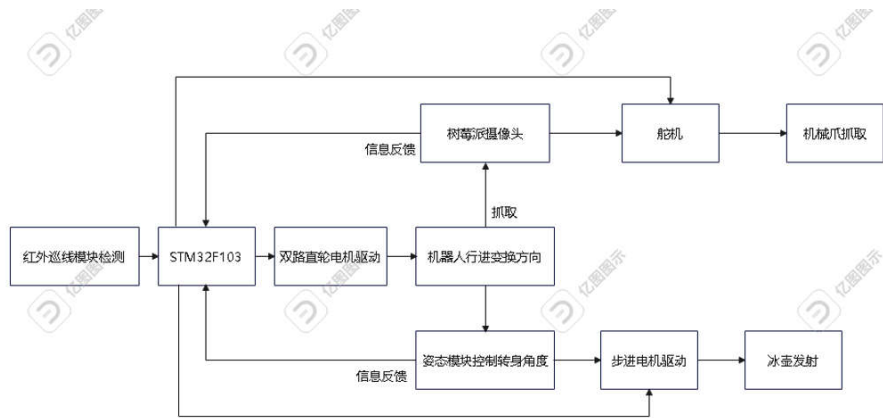
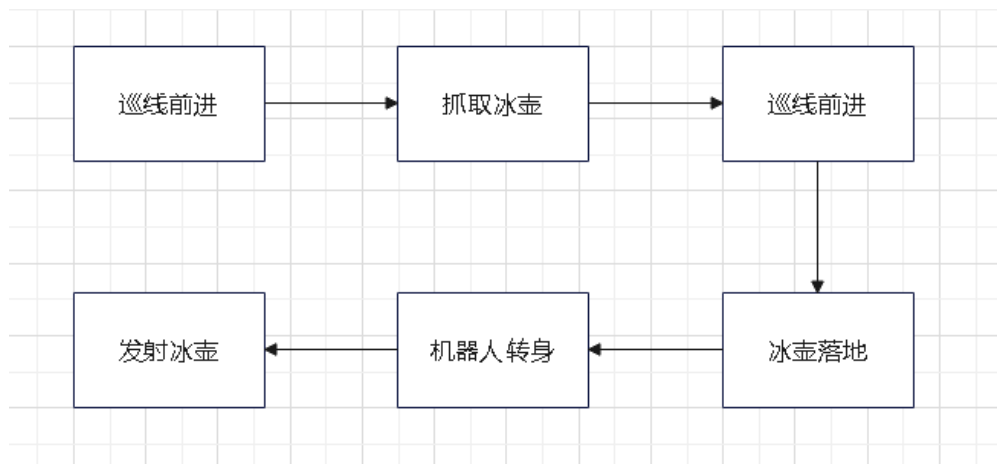


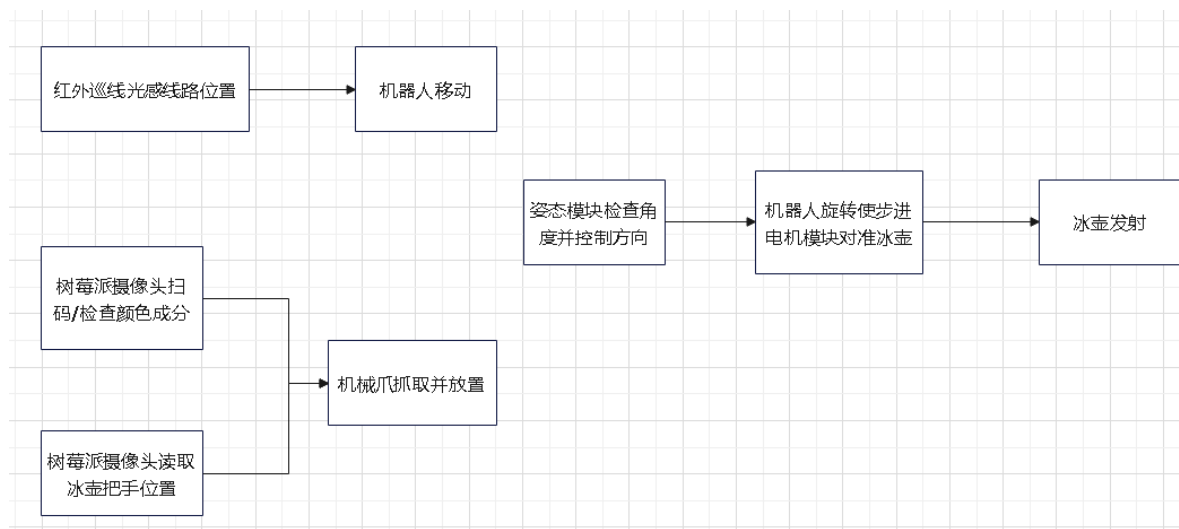
表 6-1

4.2 主程序设计方案

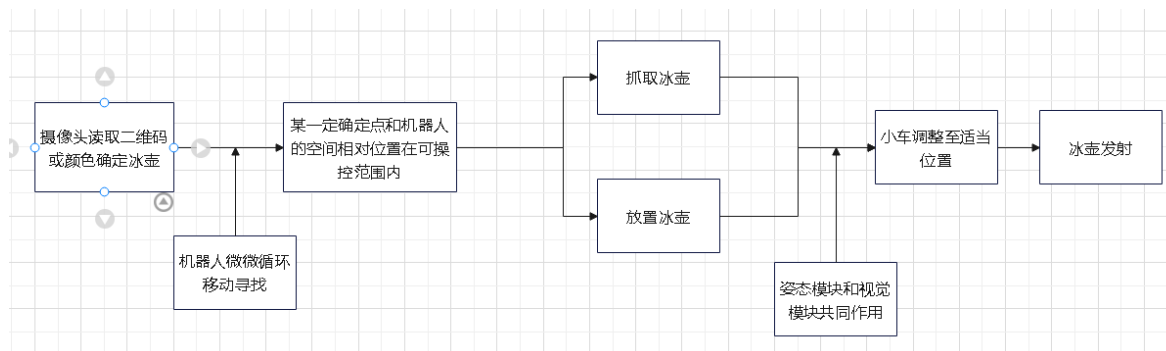
4.2.1 流程规划



4.2.2 控制算法



4.3 视觉方案



经费预算

	商品名	单价	数目	总价格
机械部分				
	减速电机+支架	140	4	560
	双路直流电机驱动	150	2	300
	麦克纳姆轮（一组）	460	1	460
	电源	210	1	210
	机械爪连杆	100	1	100
	25kg舵机	50	7	350
	底板	700	1	700
	亚克力板	200	1	200
	工具（	120	1	120
	零件	100	1	100
	铝型材	10	4	40
	同步带导轨	700	1	700
	步进电机+驱动	100	1	100
	升压模块	17	1	17
	降压模块	10	8	80
电控部分	stm32ZET6	298	2	596
	树莓派+摄像头	900	1	900
	巡线模块	300	1	300
	摄像头云台	30	1	30
合计				5863

5. 时间安排

时间	进度
一审前	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。
二审前	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）
三审前	对控制程序进行优化，使机器人可以流畅连贯完成动作。
预选赛前	根据比赛场地调整机器人，准备比赛。