



# 目录

1. 团队文化	2
1.1 对比赛文化及内容的认知及解读	2
1.2 队伍核心文化概述	2
1.3 队伍共同目标概述	3
1.3.1 技术方面	3
1.3.2 管理方面	3
1.3.3 成绩方面	3
1.4 队伍远期目标	3
2. 项目分析	4
2.1 规则解读	4
2.1.1 超级对抗赛	4
2.1.2 高校单项赛	4
2.1.3 规则变化及分析	4
2.2 技术方案分析	5
2.2.1 机械结构设计	5
2.2.2 硬件方案设计	7
2.2.3 软件方案设计	9
2.2.4 算法方案设计	10
2.2.5 测试方案设计	17
3. 项目进度计划	19
4. 赛季人力安排	20
4.1 团队架构	20
4.2 人员安排	21
4.3 各技术组分工	22
5. 预算分析	23
5.1 竞赛预算估计	23
5.2 实验室建设预算估计	23
5.3 资金筹措计划	23
6. 技术方案分析参考文献	24

# 1. 团队文化

## 1.1 对比赛文化及内容的认知及解读

自 2013 年创办至今，Robomaster 机甲大师高校系列赛（以下简称 RM）始终秉承“为青春赋予荣耀，让思考拥有力量，服务全球青年工程师成为追求极致、有实干精神的梦想家”的理念，致力于培养与吸纳具有工程思维的综合素质人才，即将科技之美、科技创新理念向公众广泛传递。

RM 关注青年工程师文化的传播及发展，即以打造全球顶级大学生机器人科技创新竞技赛事为目标，为青年工程师的成长与交流搭建了一个平台。面向学校，RM 旨在推进青年学子不断精进技艺，勇于挑战；面向社会，RM 旨在不断传播青年工程师文化，为国家工程师队伍培养有创新意识与实践能力的年轻人才。

同时，RM 是考察团队协作、技术创新、运营管理、现场操作等多个方面的综合型赛事。其要求参赛队员将理论转向现实，由个体组成团队，由既有发展创新转向实践应用比赛。其要求各队伍在有限的准备时间中尽可能做出更为精巧的机器人，需要各战队规划团队内部成员的任务分工、进展安排；需要各团队统筹策划运营、招商、宣传等各个方面，使整个系统运转良好，为战队的技术研发提供有力保障；需要团队对经验传承及后续团队培养流程进行完整制定，为每届战队成员提供支撑，促进人员的循环和沟通。这无疑为全方面发展人才培养做出了贡献，有利于人才发展的多元化。

作为首个全球性设计对抗类机器人比赛，RM 的核心精神既是竞技，也是热爱。因为热爱，选手们选择参与赛事，不断提升自己的本领，学习专业知识；因为热爱，同一个团队的成员才会相遇、相聚，彼此支撑，碰撞思想，协作完成任务；因为热爱，各地高校队伍相聚一堂，为同一件事物而喜悦、激动，相互交流创新思路，约定下次再决输赢。

## 1.2 队伍核心文化概述

北京邮电大学鸿雁战队成立于 2021 年 11 月，汇聚全校多个学院、多个专业的青年学子，旨在激励队员发展创新，综合提升实践能力。

本着“厚德博学，敬业乐群”的精神，我们勇于探索，敢于挑战。2022 年将是北京邮电大学鸿雁战队报名参与 RoboMaster 机甲大师高校系列赛的元年，也是一切开始的起点。尽管是首次参赛，但战队将始终秉持精益求精的原则，本着不余全力的观点，严格要求、尽力做好。

列队鸿雁再出发，携手共谱新征程。鸿雁性喜成群，鸿雁战队团结一心。在 RM 比赛的筹备中，团结协作是鸿雁战队的准则，互帮互助是鸿雁战队成员的羁绊。前辈引领后辈，各组之间积极交流、携手共进、团结有爱。振翅飞翔，我们向往苍穹和未知的知识；破空迎风，我们无畏困难险阻，直面风雨。执此初心，踏上征程，寒去暑至，南来北往。

## 1.3 队伍共同目标概述

### 1.3.1 技术方面

1. 提升成员技术实力
2. 做好技术储备，为后续其他项目报名参赛做准备
3. 条件允许的情况下尽可能尝试技术创新

### 1.3.2 管理方面

1. 制定并完善战队管理制度制定
2. 完成实验室建设，制定实验室使用管理规范

### 1.3.3 成绩方面

最理想成绩：RMUT 2022 全国赛工程采矿项目一等奖。

保底成绩：RMUT 2022 区域赛（北部赛区）工程采矿项目一等奖。

尽管北京邮电大学 RoboMaster 沙河实验室于 2021 年 11 月刚成立，实验室历史相远不及其他参赛队伍，同时队内成员由五名大一、三名大二同学构成，管理层四人中有三人为大一新生，在技术和管理方面仍需学习。但是我们始终热爱机器人竞技，有探索未知、学习技术的心，有一只有 20 余年机器人技术积累和竞赛经验的校机器人队以及雄厚的机器人技术师资力量支持。2022，敬请期待！

## 1.4 队伍远期目标

2023 年报名参加 RMUT 2023 “步兵竞速与智能射击”、“工程采矿”、“英雄吊射”以及 RMUL 2023 “3V3 对抗赛”和“步兵对抗赛”；  
2024 年报名参加 RMU 2024 所有项目，包括 RMUC 2024、RMUT 2024 “步兵竞速与智能射击”、“工程采矿”、“飞镖打靶”、“英雄吊射”以及 RMUL 2024 “3V3 对抗赛”和“步兵对抗赛”。

## 2. 项目分析

### 2.1 规则解读

#### 2.1.1 超级对抗赛

RMUC 2022 中，工程机器人需完成以下几项任务：

1. 抓取资源岛释放的金矿石以及小资源岛的银矿石并于兑换站将矿石成功兑换；
2. 使用携带的工程救援卡复活己方除自身外其他战亡地面机器人，或将己方其他战亡地面机器人移动至补血点；
3. 移动障碍块协助己方地面机器人，或对敌方地面机器人的移动进行干扰；
4. 存放弹丸为步兵机器人或英雄机器人进行弹药补给。

#### 2.1.2 高校单项赛

RMUT 2022 工程采矿项目中，工程机器人需完成以下任务：

1. 抓取资源岛释放的金矿石以及地面采矿点的金矿石并于兑换站将矿石成功兑换。

#### 2.1.3 规则变化及分析

##### 2.1.3.1 机器人制作规范

工程机器人制作规范变化	分析
1. 最大伸展尺寸(mm,L×W×H)由1000×1000×1000增加至1200×1200×1000。	放开最大延伸尺寸，意味着结构设计上将有更多可能。

##### 2.1.3.2 超级对抗赛

规则变化	分析
1. 矿石释放机制改变，资源岛第二批矿石释放由“1、3、5号矿石逐个随机释放，间隔5秒”改为“其中首先同时释放1号、5号的矿石，间隔5秒后释放3号矿石”；	增加金矿石抓取难度以及不确定性，极大程度上避免一队抓取所有金矿石的可能。
2. 起伏路段面积较上一赛季翻倍。	增加对避震系统稳定性与耐用性的考验。

### 2.1.3.3 高校单项赛

规则变化	分析
1. 取矿点数量增加，由上赛季的资源岛改为资源岛+地面采矿点；	增加自动化难度，提高对遥控的依赖。
2. 矿石初始位置由上赛季的“五个资源岛底座凹槽内”改为“1号、5号矿石置于资源岛凹槽内；3号矿石置于飞坡附近地面采矿点；2号、4号矿石由资源岛对应机械爪夹取”；	增加抓取矿石难度。
3. 矿石初始姿态由上赛季的“条形码面朝下”改为“1号二维码朝下，矿石倾斜放置在最外侧隔板上，矿石侧面侧边与隔板顶部齐平，倾斜角度为 $37^\circ$ 左右，5号二维码朝上，2号、3号、4号二维码朝下”；	必须有可调整矿石姿态装置；提高对抓取矿石装置的稳定性与可靠性的要求。
4. 资源岛矿石凹槽由上赛季的“矿石凹槽深度相同”改为“2号、4号矿石凹槽较深”。	增加抓取矿石难度，提高空接矿石优势。

## 2.2 技术方案分析

### 2.2.1 机械结构设计

根据上一节的规则解读，参考各大战队 2021 赛季工程机器人开源图纸与设计思路后，我队设计了此机器人。机构可大致分为以下几部分：

#### 2.2.1.1 底盘结构设计

为保证机器人可以登上资源岛小坡，且能在比赛全程有较高的稳定性，底盘将设计一款高度较低的底盘，保证机器人自身重心在底部，取矿后重心在中下部。

#### 2.2.1.2 矿石抓取结构设计

RMUC 2021 赛季真空吸盘空接方案为其获得较大优势。在 RUMT 中，该方案同样可以在取矿高度、取矿速度上取得优势。

主方案将仿照吸盘结构，结构上按照自行设计的矿石存储结构尺寸进行重新设计。考虑到使用吸盘吸矿石四周有脱落风险，在抓取资源岛 1 号、5 号矿石时将从上方使用吸盘进行抓取。

考虑到战队中无人曾使用过真空吸盘结构，战队在设计之初准备了备用方案。备用方案仅将真空吸盘结构更改为传统的夹爪结构，其余结构均不做变动，以保证矿石存储结构可以正常使用。

#### 2.2.1.3 矿石存储结构设计

大多数战队单次携带矿石数量为 2-3 枚，需要至少前往兑换站两次才可完赛，

而多次取矿在 RMUT 工程采矿项目中对最终成绩有极大影响，因此我队在遵守《机器人制作规范手册》中对工程机器人尺寸要求的情况下，将整车框架拉至最大，对整车顶部机械结构尺寸进行严格把控，保证机器人顶部有大约 460mm × 460mm 的空余空间存储从资源岛获得的四枚金矿石，同时使用矿石姿态调整机构抓取地面采矿点金矿石。最终机器人可同时携带全场五枚金矿石抵达兑换站完成兑换。

#### 2.2.1.4 矿石姿态调整结构设计

矿石姿态调整结构同样为本战队自行研发的机械结构，主体为多轴机械臂（目前计划为四轴机械臂，后期会跟及实际情况进行增减），机械臂顶端为真空吸盘结构，可用于抓取地面采矿点金矿石以及抓取矿石存储结构矿石进行兑换。

此机械臂需要考虑的设计因素有：运动与运动保持的稳定性，能够折叠收纳进入机器人侧方空间、同时不会遮挡装甲板，稳定吸取矿石。

计划的机械臂拥有三节机械臂，第一节由一个舵机控制旋转伸展出身，第二节通过 3 自由度三个舵机与第一节机械臂另一端相连，第三节通过 2 自由度三个舵机与第三节机械臂另一端相连，第三节机械臂末端连接一个舵机与吸盘相连，控制吸盘的旋转方向。

第一节、第二节、第三节机械臂的末端各安装一个 IMU 用于获取机械臂实际的姿态，用于机械臂的稳定控制。

此结构中吸盘将采用吸力较大的工业机械大型海绵真空吸盘，保证矿石在姿态调整过程中不会掉落。

与矿石抓取结构相同，此机构的备用方案同为仅将真空吸盘结构更改为传统的夹爪结构。

#### 2.2.1.5 多视角监控结构设计

初定机器人四周以及矿石抓取结构、矿石姿态调整结构末端均放置一枚 CSI 相机，同时连接至 mini-PC 以及 7 英寸屏幕。机器人四周的相机用于辅助驾驶；两结构末端相机用于获取矿石姿态、矿石与结构距离等信息。7 英寸屏幕可保证在 mini-PC 出现故障时，操作手可从 mini-PC 手中接管机器人，在所有功能均健全的情况下手动完赛。

## 2.2.2 硬件方案设计

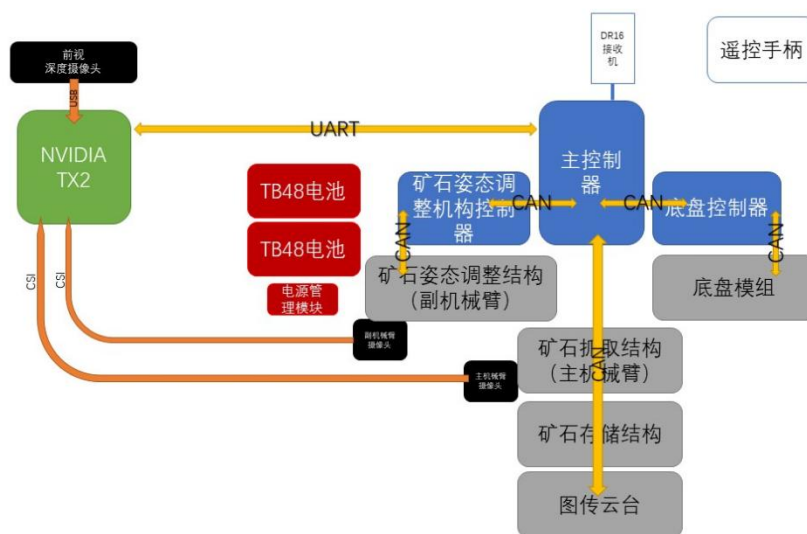


图 2-1 硬件整体框图

### 2.2.2.1 控制电路板的选用与分析

控制板	设计需求
主控制器	大疆开发板 A 型，主要控制器，通过 CAN 与另外两个用于辅助控制的 C 型开发板通信。需要具有两路 CAN 实现电机控制；有 PWM 接口，具备舵机控制能力；能接收接收机 D-BUS 数据；有足够的 IIC 接口，能接收例如陀螺仪、激光测距传感器等 IIC 传感器的数据；还需能扩展气动扩展板和其他扩展板。 与 Nvidia TX2 通过 CAN 通信，配合完成自动校正路径规划等任务。
矿石姿态调整机构控制器	大疆开发板 C 型，配合主控制器使用，通过 CAN 与主控制器通信。需要具有两路 CAN 实现电机控制；有 PWM 接口，具备舵机控制能力；能接收陀螺仪反馈数据；有足够的 IIC 接口，能接收例如陀螺仪、激光测距传感器等 IIC 传感器的数据。
底盘控制器	大疆开发板 C 型，配合主控制器使用，通过 CAN 与主控制器通信。需要具有两路 CAN 实现电机控制；有 PWM 接口，具备舵机控制能力；有足够的 IIC 接口，能接收例如陀螺仪、激光测距传感器等 IIC 传感器的数据。
Nvidia TX2	具有较强计算性能，进行摄像头捕获画面的处理、分析，接入 4 个车身环视 CSI 摄像头、主机械臂定位辅助 CSI 摄像头、副机械臂定位辅助 CSI 摄像头。与 A 型开发板通过 CAN 通信。



**2.2.2.2 四个主要功能模块：****2.2.2.2.1 底盘模组：**

控制板	设计需求
C620 电调 4 个	通过 CAN 与 C 型开发板通信，接收来自 STM32 的控制信号，对电机进行 FOC 控制
传感器	
3508 电机编码器 4 个	给 C620 电调反馈电机的位置数据
车身环视 CSI 摄像头 4 个	通过 CSI 与 TX2 通信，获取机器人四周的图像数据
执行机构	
3508 电机 4 个	输出动力

**矿石抓取结构（主机械臂）：**

控制板	设计需求
C620 电调 6 个	通过 CAN 与主控制器通信，接收来自 STM32 的控制信号，对电机进行 FOC 控制
C610 电调 1 个	通过 CAN 与主控制器通信，接收来自 STM32 的控制信号，对电机进行 FOC 控制
传感器	
3508 电机编码器 6 个	给 C620 电调反馈电机的位置数据
2006 电机编码器 1 个	给 C610 电调反馈电机的位置数据
定位辅助摄像头 1 个	通过 CSI 与 TX2 通信，获取主机械臂视角的图像数据
执行机构	
3508 电机 6 个	输出动力
2006 电机 1 个	输出动力
真空泵 + 真空吸盘 2 个	吸附矿石

**矿石姿态调整结构（副机械臂）：**

控制板	设计需求
传感器	
定位辅助摄像头 1 个	通过 CSI 与 TX2 通信，获取主机械臂视角的图像数据
IMU 3 个	参与机械臂的稳定控制
执行机构	
35kg 舵机 7 个	输出动力
真空泵 + 真空吸盘 1 个	吸附矿石

### 矿石存储结构:

控制板	设计需求
C610 电调 1 个	通过 CAN 与主控制器通信，接收来自 STM32 的控制信号，对电机进行 FOC 控制
传感器	
2006 电机编码器 1 个	给 C610 电调反馈电机的位置数据
执行机构	
2006 电机 1 个	输出动力

### 图传云台:

传感器	设计需求
云台相机	将图像传输到操作手屏幕
执行机构	
6020 电机 1 个	输出动力

## 2.2.3 软件方案设计

整车的控制分为上层控制，中层控制与底层基础控制。我们采用一块开发版 C 型进行底盘运动控制，以充当底层驱动板。另一块开发版 C 型控制相应的机械臂结构。中层控制我们采用开发版 A 型，接受遥控器指令与上层指令控制。上层控制为 TX2-miniPC 来进行，mini-PC 通过工业摄像头的机器视觉，对机器人整体的姿态进行解算，从而将其指令与数据传入中层控制，再下达给相应的底层控制。由于我们将运算任务相应的分散给各个部分，有效的运用了各方算力，从而使机器人的各个部分可以有效的专注于自身工作，更高效的完成任务。

在底层控制中，底盘控制我们主要采用 CAN 通讯进行开发板对电机的控制。通过开发板对期望速度进行解算，电机编码器返回的数据进行处理计算，从而精准地对电机进行位置控制和速度控制，从而精准的控制电机下一步运动，从而更好的控制机器人的整体运动。而对于主机械臂，负载较重的机械臂我们通过 M3508 进行操控。而负载较轻的副机械臂我们采取 PWM 通讯的舵机进行操控，从而使得机械臂的操控更加的灵活精准。底层控制的开发板我们采取轮询加中断的方式进行。

在中层控制中，我们采用开发板 A 型。由于中层控制的开发板需要进行大量的信息收发与处理工作，我们引入 FreeRTOS 系统进行多线程的操控。其中，由于自动化部分突发情况（如：比赛中突遇调试中未见的 bug）较多，遥控器操控的优先级比接收上层控制的高，从而可以让机器人在比赛中，操作手的操作优先级最高，能更好更快的完成任务。

在上层控制中，我们采用搭载 Nvidia TX2 的 mini-PC，集中处理视觉信息，对机器人的进一步行动做出指导。由于实际比赛中，操作手距离比赛场地较远，不易观察到机器人周围信息，此时，mini-PC 处理的视觉便起到了辅助操作手的功

能，让机器人的动作更加灵活精准。

## 2.2.4 算法方案设计

### 2.2.4.1 电控算法方案

#### 2.2.4.1.1 PID 算法控制

我们对每一个电机控制时，使用 PID 算法。即通过  $K_p$ (比例系数),  $K_d$ (微分系数),  $K_i$ (积分系数), 代入公式:

$$c(k) = K_p \text{err}(k) + K_i \sum \text{err}(k) + K_d (\text{err}(k) - \text{err}(k-1))$$

公式 2-1 PID 公式

进行实际调定。调定时，我们引入 Matlab 进行模拟，后通过 simulink 中的插件进行自动计算得到。之后再行 PID 电流环，速度环，位置环三环串级控制，实现电机的相应控制。对电机进行速度环测定，在向控制板输入 5000rpm 速度后，通过 STM32CubeMonitor 测定，效果如下图:

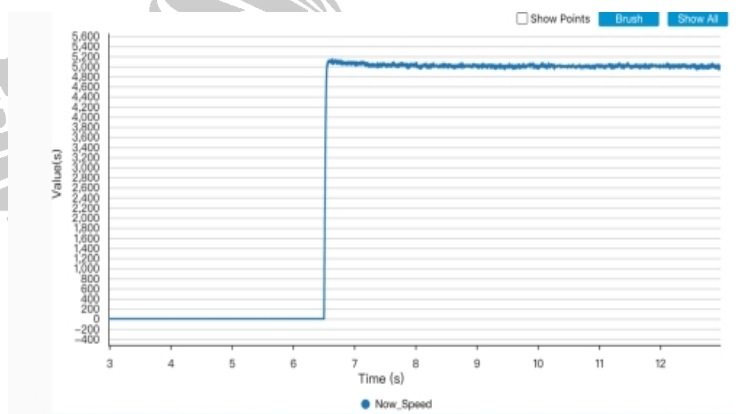


图 2-2 PID 曲线

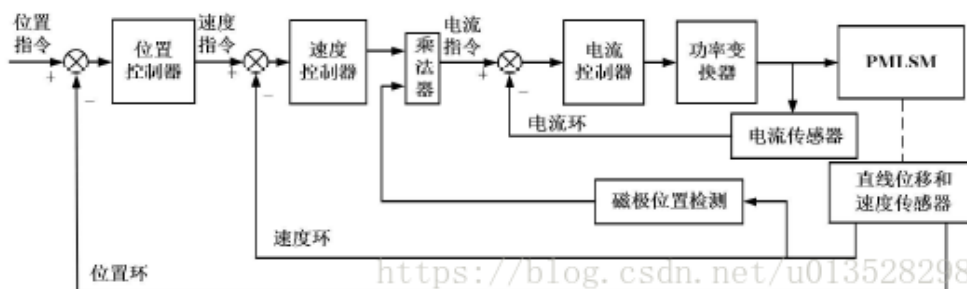


图 2-3 电机控制流程图

其中，我们进行参数调定时，运用了 Matlab 相关技术。其中，我们先通过 STM32CubeMonitor 测定相关电机的输入输出参数，导出一组数据，将数据导入到 Matlab 工作区中，Matlab 将自己通过神经网络算法得到相应的传递函数。此时，我们又通过 Matlab Simulink 中的 PID tuner 工具进行调定。将参数带入到控制板，再人工微调后，得到了比较理想的效果。

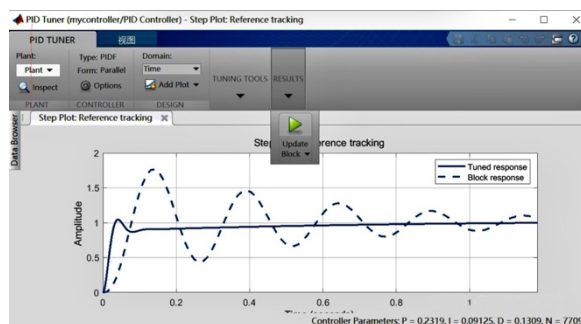


图 2-4 PID 曲线调参示意图

采用系统辨识获得 PID 参数，相比于传统算法，有以下优点：1、节省“盲调 PID”参数 2、在辨识出传递函数后，还可以设计专门的控制器，达到经验调参不能做到的效果，逼近完美。

如果使用 PWM 控制，即使在 PWM 信号占空比不变的条件下，随着电池电压逐渐下降，电机供给电压也随之下落，从而导致电机转速与给定值不完全一致，综合考虑，驱动器采用 PID 算法调整相应的电压供给，如此反复，直到达到给定转速。

#### 2.2.4.1.2 轨迹生成算法

对于本比赛，我队对于机器人从起点到达资源岛的过程采用机器人自动行动至资源岛的策略。我们可以采取直线路径规划的方式，但是由于场地中存在障碍快等因素，会存在速度与导航角的突变。我们采取生成贝塞尔曲线的方式进行轨迹规划。

$$B(t) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} P_i (1-t)^{n-i} t^i, t \in [0,1]$$

公式 2-2 贝塞尔曲线生成算法

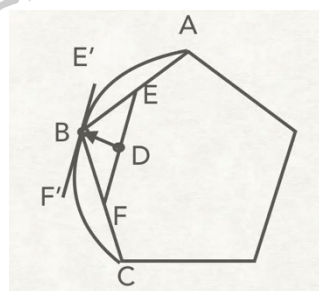


图 2-5 运动路径示例

由于比赛场地规划，我们理想的路径为多边形样式。以上图中顶点 B 为例，取 AB 和 BC 的中点 E、F，并连接 E、F，在 EF 上取点 D，使得  $\frac{FD}{DE} = \frac{BC}{AB}$ ，将直线 EF 按照向量 DB 平移到通过 B 点，并且使得平移后的 D 和 B 点重合，得到 E' 与 F' 点用作贝塞尔曲线的控制点。之后将该算法应用于各个顶点，可以计算出  $2 \times n$  个控制点，从而实现轨迹的生成。

我们根据场地具体大小与场地情况，设定相应控制点，通过调用队中已包装好的库函数进行计算生成相应轨迹。再根据相应轨迹曲线，设计机器人车辆的相

应速度与加速度。考虑到比赛场地是塑胶场地，摩擦力较小，对于曲线曲率较大的地方，应适当减小速度，以免甩出轨迹。

### 2.2.4.1.3 轨迹跟踪算法

由于实际比赛场地与调试场地不同，齿轮咬合不良等原因，即使在设计规定好路径点的相应期望速度，也会让机器人与期望情况产生偏离，导致机器人不在规划的轨迹上。因此，我们通过 PD 调整算法与开发版 C 型中的 BMI088 传感器，以及机器人上面的工业摄像头进行判断校准。机器人位置可通过定位系统得知，由此可得到机器人到当前目标点的向量  $\text{vector1}$ 、机器人到下一目标点的向量  $\text{vector2}$ ，而此二者的点乘结果为负时，便代表机器人已通过当前目标点，可以更新目标点至下一点。首先得到 P2 到 P1 的向量  $\text{v2}$ ，然后使用  $\text{v1}$  和  $\text{v2}$  的点积绝对值，除以 P1 到 P2 间的距离，即可得到  $\text{v1}$  在  $\text{v2}$  上投影的长度，进而可通过  $\text{v2}$  和投影长求出  $\text{v3}$ 。然后  $\text{v1}$  和  $\text{v3}$  加和即可得到表示法向误差的矢量  $\text{v4}$ ，对  $\text{v4}$  进行 PD 控制，再将输出与主速度挂钩，即可得到法向修正的速度向量  $\text{Vn}$ 。

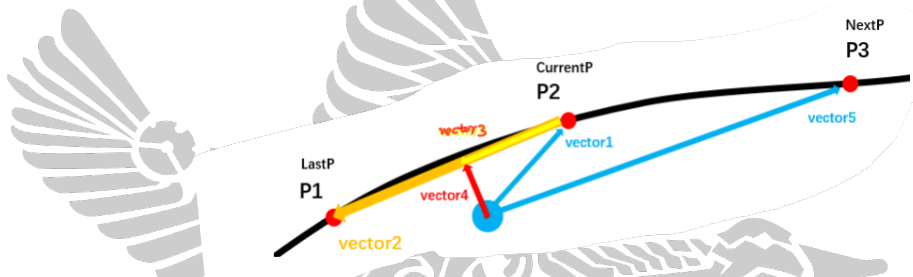


图 2-6 轨迹跟踪算法原理图

然后将目标点主速度  $\text{VP2}$  和法向校正速度  $\text{VN}$  合成得到最终输出速度  $\text{V}$ 。最终输出的  $\text{Omega}$  则由当前姿态角和当前目标点给出的目标姿态角 PD 控制得到。最后再经过底盘控制函数中的车体速度闭环后计算输出到各个电机，使实际速度尽可能逼近规划速度。

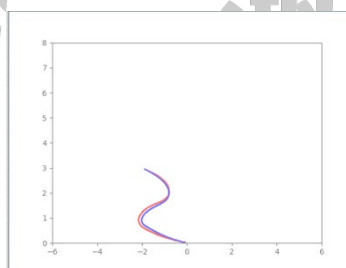


图 2-7 轨迹跟踪算法效果图

### 2.2.4.1.4 麦克纳姆轮底盘控制算法

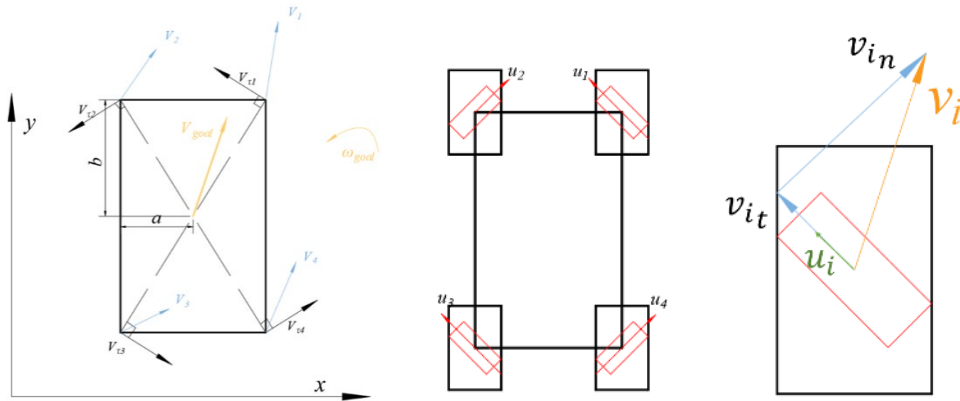


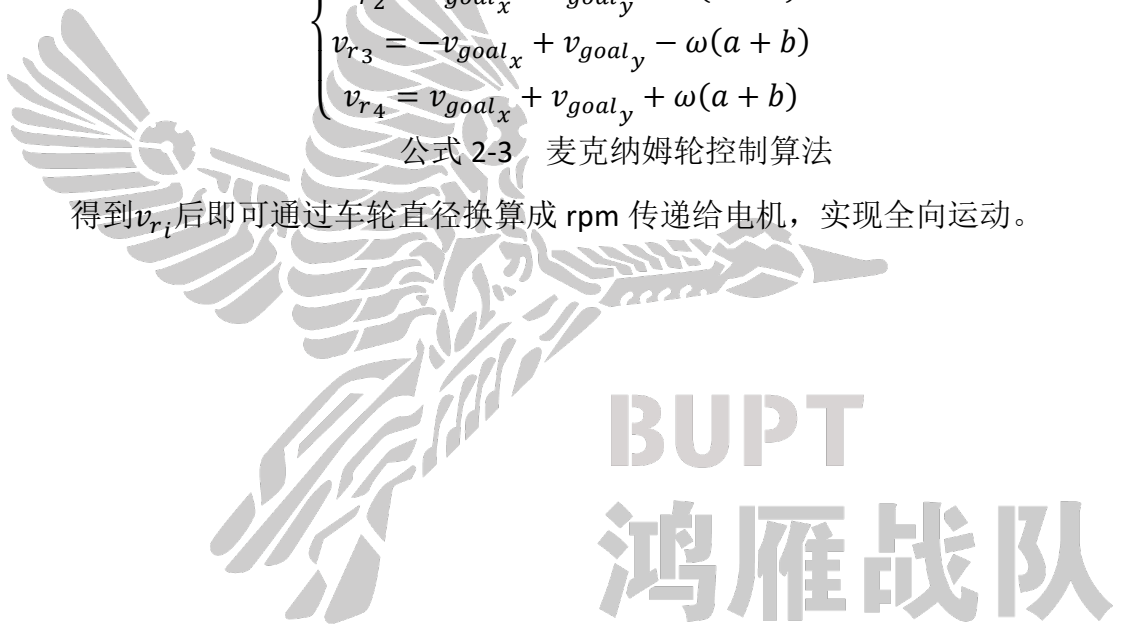
图 2-8,9,10 麦克纳姆轮全向移动原理示意图

根据相应的运动学分析与计算，可以得到：当已知底盘自身坐标系下期望速度  $\vec{v}_{goal}$  和角速度  $\omega_{goal}$  时，每个车轮的转速为

$$\begin{cases} v_{r1} = -v_{goal_x} + v_{goal_y} + \omega(a + b) \\ v_{r2} = v_{goal_x} + v_{goal_y} - \omega(a + b) \\ v_{r3} = -v_{goal_x} + v_{goal_y} - \omega(a + b) \\ v_{r4} = v_{goal_x} + v_{goal_y} + \omega(a + b) \end{cases}$$

公式 2-3 麦克纳姆轮控制算法

得到  $v_{r_i}$  后即可通过车轮直径换算成 rpm 传递给电机，实现全向运动。



### 2.2.4.2 视觉算法控制

工程机器人在视觉上的主要任务为金矿石的目标检测及定位,使用 YOLOv5、OpenCV 库及深度相机完成矿石的识别与位置转换,从而使机器人更快速、准确地进行操作与判断,同时也可以辅助操控手进行操作。

#### 2.2.4.2.1 数据集准备及目标检测

YOLOv5 算法可以对指定目标进行检测与分类,通过再抓取识别中应用 YOLOv5 算法,可以更为准确的自动定位金矿石位置。

首先建立已标记的训练数据集文件夹。使用矩形将图中金矿石框住,利用 labeling 工具自动生成类别及 txt 标签文件。将训练图片放在 images 文件夹下,将标签文件放在 labels 文件夹下。最终建立 yaml 文件,内容如下图所示,其中 train 和 val 是 images 的目录,nc 表示识别物体的种类数目,此处设定为金矿石这一类别。程序将自动识别 labels 目录下的图片标签,完成训练数据集的读取。

代码段 2.1 YOLOv5 矿石数据集训练代码

```
path: ../datasets/select #set root path
train: yolo_project/images #set train images path
val: yolo_project/images #set val path
# number of classes
nc: 1

# class name
names: ['mineral']
```

#### 2.2.4.2.2 坐标定位

利用 OpenCV 库中的 undistortPoints 函数,可以将图像坐标系中的某点坐标转化为世界坐标系中的坐标,应用该函数可以获得金矿石对于工程机器人的相对位置,从而可以实现自动抓取的功能。

运行训练程序,可以在测试训练集图片或实时视频流(逐帧拆分进行运算)中获得已被矩形框住的金矿石目标轮廓,以及图片中金矿石的位置坐标。设某点在世界坐标系中坐标为  $P_w(X_w, Y_w, Z_w)$ , 在相机坐标系中坐标为  $P_c(X_c, Y_c, Z_c)$ , 则有关系:

$$\begin{aligned} P_w &= [X_w, Y_w, Z_w]^T \\ P_c &= [X_c, Y_c, Z_c]^T \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix}$$

公式 2-4 世界坐标系转相机坐标系公式

其中  $R$  为正交旋转矩阵,  $T$  为平移矩阵, 可知  $R$  和  $T$  共需确认 6 个参数, 即相机的外部参数。又通过透视投影变换, 将三维的相机坐标系转换至二维图像坐标系坐标  $(X_p, Y_p)$  再由二维变换转化为像素坐标系坐标  $(X_{pix}, Y_{pix})$ 。用  $s_x$ 、 $s_y$  分

别表示  $x$  与  $y$  方向上像素的个数，最终可知图像一点  $(X_p, Y_p)$  的坐标与相机坐标系坐标有关系：

$$\begin{cases} f_x = f \cdot s_x \\ f_y = f \cdot s_y \end{cases}$$

$$Z_c \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$$

公式 2-5 世界坐标系转图像坐标系公式

其中右侧第一个矩阵为相机内参，第二个矩阵为相机外参。代入相机参数矩阵，可以实现相机坐标系到世界坐标系的转换，从而可以获得目标金矿石相对于工程机器人的相对位置坐标，最终将该位置坐标通过串口传至机械臂。

相机标定：利用张正友的棋盘标定法进行单目相机的标定，提取出角点，计算相机内参矩阵和畸变系数，后进行相机去畸变处理。

物体识别：预处理去噪声，进行图像膨胀填补缝隙，利用视频图像转灰度图，再二值化，用 Canny 算法进行边缘检测。后用最大外接矩阵框住识别出的物体，再次计算中心点，得到一个相机坐标系下的坐标。

坐标转换：利用 PnP 或者 PnP 与 Ransac 结合的算法，求出旋转向量和等价旋转矩阵，将得到的中心点坐标由相机坐标系转为世界坐标系。颜色检测：RGB 转 HSV，预设几个区间判断数值属于哪个范围，输出一个颜色。

### 2.2.4.2.3 图像匹配

当接取掉落的金矿石时，金矿石的位置可能不确定。因此使用视觉图像匹配来配合机械臂进行位置摆放，以及辅助操控手进行操作判断。将金矿石抓取后，固定一方向为正面朝向相机。此时该面有三种情况：顶面、侧面、底面，分别将三类图片存入程序。其中顶面四角有标识且中心空白，侧面标有 R 标且 R 标四面朝向相同，底面中心为条形码。判断上述三种情况改变对金矿石的放置方式，最终使条形码一面朝下摆放，方便进入兑换站进行识别。



## 代码段 2.2 YOLOv5 矿石数识别训练代码

```
import numpy as np
import cv2
imgname1 = 'pic0.jpg'
imgname2 = 'test0.jpg'

sift = cv2.xfeatures2d.SIFT_create()
img1 = cv2.imread(imgname1)
gray1 = cv2.cvtColor(img1, cv2.COLOR_BGR2GRAY) #将原图像 2 转化为灰度图像
kp1, des1 = sift.detectAndCompute(img1, None) #des 为描述子

img2 = cv2.imread(imgname2)
gray2 = cv2.cvtColor(img2, cv2.COLOR_BGR2GRAY) #将原图像 2 转化为灰度图像
kp2, des2 = sift.detectAndCompute(img2, None)

hmerge = np.hstack((gray1, gray2)) #将两张图水平拼接
cv2.imshow("gray", hmerge) #显示灰度图像
cv2.waitKey(0)

img3 = cv2.drawKeypoints(img1, kp1, img1, color=(255,0,255)) #将图 1 特征点标记为
红色圆圈
img4 = cv2.drawKeypoints(img2, kp2, img2, color=(255,0,255)) #将图 2 特征点标记为
红色圆圈
hmerge = np.hstack((img3, img4)) #水平拼接
cv2.imshow("point", hmerge) #拼接显示为 gray
cv2.waitKey(0)
# 使用 BFMatcher 解决匹配
bf = cv2.BFMatcher()
matches = bf.knnMatch(des1, des2, k=2)
# 调整 ratio
good = []
for m, n in matches:
    if m.distance < 0.75*n.distance:
        good.append([m])

img5 = cv2.drawMatchesKnn(img1, kp1, img2, kp2, matches, None, flags=2) #匹配图像
cv2.imshow("BFmatch", img5)
cv2.waitKey(0)
cv2.destroyAllWindows()
```

其中，当识别面为侧面时，使用图像匹配算法对图像进行特征点匹配，得到匹配后的 R 标侧面图片。通过将该图片与预先存入的正向 R 标图片进行对比，可以得到 R 标朝向，从而将金矿石位置信息传回机械臂及操控手，旋转至 R 标正向摆放，最终使金矿石呈现条形码朝下的状态放置在工程机器人顶层。

## 2.2.5 测试方案设计

### 2.2.5.1 场地道具复刻

机械组梯队队员使用 Solidworks 绘制一比一场地道具模型（金矿石），后由机械组组长寻找淘宝店铺进行加工。

由于官方场地道具出售预计三月中旬才能到货，一名原机械组梯队队员现电控组梯队队员主动尝试用两种方案对矿石进行二次加工，保证视觉组成员在寒假期间可完成矿石识别。

### 2.2.5.2 场地复刻

机械组梯队队员使用 Solidworks 绘制一比一场地模型，后自行寻找淘宝店铺进行加工。电控组队员配合完成灯效等结构，保证场地与参赛场地有至少 90% 相似度，视觉组成员可据此进行调试，实现工程机器人半自动化。

### 2.2.5.3 机械结构理论测试

图纸确定后使用 Ansys 进行有限元分析；使用 Adams 模拟机械运动，进行动力学仿真。

### 2.2.5.4 机械结构实际测试

所属结构	测试功能	测试目的
整机	尺寸测量	获得正常形态尺寸、最大变形尺寸、所有变形形态尺寸、地面正投影尺寸数据，确认机器人机械结构符合《机器人制作规范手册》。
底盘结构	直线偏差	消除误差。
	平移偏差	消除误差。
	爬坡能力测试	获取相关性能数据。
	避震能力测试	获取实际性能与理论性能误差数据。
其余结构	各部分响应速度	获取相关性能数据。

### 2.2.5.5 功能测试

分别测试机器人各功能独立运行是否正常。

测试功能	测试方式
矿石空接	模拟矿石下落空接
矿石吸取	吸取资源岛矿石、地面矿石
矿石姿态调整	操纵机械臂调整矿石姿态
矿石储存	尝试不同装载量
矿石视觉识别	测试能否准确识别矿石姿态
场地灯效视觉识别	测试能否准确识别各种灯效

### 2.2.5.6 场地测试

在拟真场地上进行多次完整测试，检查各功能配合运行是否正常，多次调试以减少误差。

### 2.2.5.7 暴力测试

在确保整机具有完赛水平并由充足备用件的情况下，暴力测试各机械结构的稳定性，观察有无零件连接强度不足、固定不牢、螺丝松动等情况。



### 3. 项目进度计划

时间区间	主要内容
2021. 11. 13-2021. 11. 16	组队，报名参赛
2021. 11. 17-2021. 12. 4	申请活动教室
2021. 12. 5-2021. 12. 13	完成赛季规划
2021. 12. 14-2022. 1. 11	期末复习
2022. 1. 11-2022. 1. 13	重新完成赛季规划
2022. 1. 14-2022. 1. 25	机械图纸设计、电控算法调试、视觉识别金矿石
2022. 1. 26-2022. 2. 20	春节放假
2022. 2. 21-2022. 3. 6	物资采购、零件加工、机械电控初步联调
2022. 3. 7-2022. 3. 20	机械电控联调
2022. 3. 21-2022. 4. 3	功能测试
2022. 4. 4-2022. 4. 10	场地测试
2022. 4. 11-2022. 4. 17	暴力测试
2022. 4. 18-2022. 5. 1	迭代
2022. 5. 2-2022. 5. 22	备战区域赛

## 4. 赛季人力安排

### 4.1 团队架构

分类	职位		职责职能简述
	指导老师		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提供关键性技术指导；</li> <li>2. 提供战队发展方向指导；</li> <li>3. 调配战队资金；</li> <li>4. 审核决策战队重大事务。</li> </ol>
	顾问		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 提供技术指导；</li> <li>2. 指导管理层决策战队事务；</li> <li>3. 参与战队评审监督。</li> </ol>
管理层	队长	胡家睿	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负责与指导老师、学校、组委会进行对接；</li> <li>2. 负责把控项目总体进度，对现阶段任务进度进行分析并调整安排下阶段任务安排；</li> <li>3. 负责综合考量战队现有资金以及研发成本，协调人力物力资源，全面管理工作；</li> <li>4. 与运营组组长一起负责战队资金把控；</li> <li>5. 负责实验室建设、器械采购、物资采购；</li> <li>6. 负责实验室、战队近远期规划；</li> <li>7. 负责实验室、战队活动经费、资金申请；</li> <li>8. 负责监督完成官方各个时间节点任务；</li> <li>9. 负责团队管理制度指定；</li> <li>10. 与队长、各组组长一起主持周会。</li> </ol>
	项目管理	张鑫垚	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负责把控项目总体进度，对现阶段任务进度进行分析并调整安排下阶段任务安排；</li> <li>2. 负责综合考量战队现有资金以及研发成本，协调人力物力资源，全面管理工作；</li> <li>3. 负责监督完成官方各个时间节点任务。</li> </ol>
	电控组组长	张鑫垚	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 负责监督把控电控组任务进度；</li> <li>2. 负责突破战队电控方向的技术难点，完成后制作技术文档；</li> <li>3. 负责电控组任务分工；</li> <li>4. 周会前阅读电控组成员周报，周会后制作下周任务安排；</li> <li>5. 与队长、项目管理、各组组长一起主持周会。</li> </ol>

	机械组组长	胡家睿	<ol style="list-style-type: none"> <li>负责监督把控机械组任务进度；</li> <li>负责突破战队机械方向的技术难点，并制作技术传承文档；</li> <li>负责机械组任务分工；</li> <li>周会前阅读机械组成员周报，周会后制作下周任务安排；</li> <li>与队长、项目管理、各组组长一起主持周会。</li> </ol>
	视觉组组长	佟欣阳	<ol style="list-style-type: none"> <li>负责监督把控视觉组任务进度；</li> <li>负责突破战队视觉方向的技术难点，完成后制作技术文档；</li> <li>周会前阅读电控组成员周报，周会后制作下周任务安排；</li> <li>与队长、项目管理、各组组长一起主持周会。</li> </ol>
	运营组组长	王艳	<ol style="list-style-type: none"> <li>与项目管理一起负责战队资金把控；</li> <li>与队长、项目管理、各组组长一起主持周会</li> </ol>
正式队员	电控组成员		<ol style="list-style-type: none"> <li>按任务安排完成每周任务；</li> <li>按时完成周报并参加周会；</li> <li>突破电控方向技术难点，完成后制作技术文档；</li> <li>培养电控组梯队队员。</li> </ol>
	机械组成员		<ol style="list-style-type: none"> <li>按任务安排完成每周任务；</li> <li>按时完成周报并参加周会；</li> <li>突破机械方向技术难点，完成后制作技术文档；</li> <li>培养机械组梯队队员。</li> </ol>
梯队队员	电控组成员		<ol style="list-style-type: none"> <li>学习电控方向相关知识；</li> <li>按时完成周报并参加周会；</li> <li>协助电控组正式队员完成部分电控工作。</li> </ol>
	机械组成员		<ol style="list-style-type: none"> <li>学习机械方向相关知识；</li> <li>按时完成周报并参加周会；</li> <li>协助机械组正式队员完成部分机械工作。</li> </ol>

## 4.2 人员安排

技术组	姓名	负责内容
电控组	张鑫垚	完成机器人底盘控制程序书写。
	程子铭	完成机器人复杂机械臂控制算法书写，完成场地灯效与机械爪程序书写。
	王艳	完成机器人简单机械臂书写。
	李禹泽	进行电控相关知识学习，协助机器人调试与程序烧录。

	管哲涵	进行电控相关知识学习，协助机器人调试与程序烧录。
机械组	胡家睿	完成机器人图纸设计与机器人搭建，并根据问题进行机器人迭代。
	郁璋源	完成场地图纸绘制与场地搭建。
视觉组	佟欣阳	完成机器人视觉相关程序书写。

### 4.3 各技术组分工

电控组：完成机器人机械臂，底盘，图传，遥控等基础操作的程序书写与代码烧录。对场地相应的机械爪与灯效进行程序编写与烧录。机器视觉对矿石的识别代码书写，帮助机器人抓取矿石。完成相应电路板设计与焊接。

机械组：完成机器人图纸设计，完成场地图纸设计，完成机器人搭建，完成场地搭建，配合机械组进行调试，购买零件与加工，对部分零件进行 3D 打印制作，对在测试过程中损坏的部分及时的维修。分析问题并进行机器人的迭代工作。

视觉组：识别矿石位置与姿态，实现自动对位、自动姿态调整，实现辅助驾驶、半自动化控制。



## 5. 预算分析

### 5.1 竞赛预算估计

物资类别	资金评估（元）
Robomaster 官方物资	15000
机加件	7000
标准件采购	2500
硬件加工	1000
深度相机	2000
场地搭建	3000

### 5.2 实验室建设预算估计

物资类别	资金评估（元）
FD3D打印机	20000
机械加工设备	6000
机械组物资	2000
机械组耗材	6000
电控加工设备	3000
电控组物资	3000
电控组耗材	1000
视觉组物资	6000

### 5.3 资金筹措计划

来源	预计金额	筹集思路
学校专项拨款	50000	学校专项拨款主要由教务处竞赛专项经费和工程实践训练中心部分教学经费构成,可以满足基本的备赛需求,保障战队的基本运行。
实验室建设专项拨款	50000	用于在新校区采购实验室必备物资。



## 6. 技术方案分析参考文献

参考文献	收获点分析
<a href="https://zhuanlan.zhihu.com/p/118543118">https://zhuanlan.zhihu.com/p/118543118</a>	利用 Matlab 进行 PID 调参
<a href="https://www.cnblogs.com/muxue/archive/2010/06/23/1763886.html">https://www.cnblogs.com/muxue/archive/2010/06/23/1763886.html</a>	贝塞尔曲线生成相关算法
<a href="https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&amp;tid=1229">https://bbs.robomaster.com/forum.php?mod=viewthread&amp;tid=1229</a>	学习其他战队真空吸盘结构设计
<a href="https://github.com/ultralytics/yolov5">https://github.com/ultralytics/yolov5</a>	使用 YOLOv5 进行目标检测
<a href="https://blog.csdn.net/qq_45701791/article/details/113992622">https://blog.csdn.net/qq_45701791/article/details/113992622</a>	YOLOv5 的训练集标记
黄万军 关于特定目标的智能识别和分拣技术研究[D].电子科技大学 2020.DOI:10.27005/d.cnki.gdzku.2020.001705.	使用深度相机进行视觉测距和定位

