

2025 中国机器人大赛暨 RoboCup 重庆区域赛

农业组--节水灌溉机器人

技术方案技术文档

重庆大学-万里战队

2025 年 7 月

目录

一.作品简介	3
二.硬件系统及外接设备	3
三.机械结构	6
1.底盘部分	6
结构设计:	6
功能:	6
材料选择:	6
美观设计:	7
2.云台部分:	7
结构设计:	8
功能:	8
3.3D 模型:	9
四、 电子与控制系统设计	9
1.控制系统架构	9
2.底盘控制与姿态反馈系统 (C 板)	10
3.定距控制与红外辅助决策 (F103)	10
4.执行机构与灌溉控制系统	11
5.模块化供电与系统冗余设计	11
五、 整体方案设计	11
六、 设计过程	12
七、 创新研发内容	13
附:	14
1.实物展示:	14
2.工程图:	15
3.爆炸图:	16

节水灌溉机器人资格认证

研发人：洪竞权，郝博文，赵江涛

(重庆大学国家卓越工程师学院, 重庆市渝北区两江大道9号, 401135, eie@cqu.edu.cn)

一. 作品简介

我们的节水灌溉机器人主要设计分为三个主体：

1. 底盘：底盘采用双层四驱底盘，使用碳纤维板搭建和铝柱搭建。
2. 云台：云台采用2个电机、丝杆和齿轮齿条控制自由度，由碳纤维板和3D打印搭建，机械臂上部采用3D打印和金属加工搭建
3. 硬件电路：硬件电路控制部分主要使用大疆C板开发板控制，电机驱动使用C610电机驱动模块，使用24V电源，以及红外传感器、Maixcam视觉模块等外接设备。

含有两个喷头，配合底盘运动可实现三自由度的双向同时喷灌，能够实现精准喷灌和高效喷灌。

程序设计上，本项目采用双主控架构，C板承担底盘运动控制、姿态解算与机械臂执行等高实时性任务，STM32F103则负责红外识别、灌溉决策、TFT显示与语音播报等上层逻辑处理。整套系统集成电机编码器、记米轮、IMU、红外传感器与视觉识别模块，实现底盘运动与灌溉任务的精确协同控制。通过多源信息融合、模块化供电与串口通信机制，确保机器人在复杂任务流程中稳定运行，实现精准灌溉与路径自主决策。

详细介绍请见下文。

二. 硬件系统及外接设备

大疆电池及电池架：

大疆TB48系列电池具有6768mAh大容量，输出电压稳定，能在较大的温度范围下持续工作。其电池架安装方式灵活，可分别选择使用对应两侧进行固定。该款电池架兼容DJI TB47系列和TB48系列等电池。电池架上配有电源开关，可控制电池供电；配有电池信息接口，可用于监测当前电池电量等数据。



大疆 C 型开发板:

RoboMaster 开发板 C 型采用高性能的 STM32 主控芯片，结构紧凑，接口丰富，集成高精度 IMU 传感器，保护功能强，配套步兵机器人专用例程，专为 RoboMaster 比赛步兵机器人量身打造，同时也可广泛应用于科研教育、自动化设备等领域。其上集成的 BMI 系列高精度陀螺仪为农业灌溉机器人提供了高分辨率、低漂移的姿态感知能力。在农田中地形起伏、坡度变化显著的环境下，机器人能够实时准确地感知自身倾斜角、旋转速率等信息，实现动态稳定控制与路径补偿修正，从而保障机器人在不平坦地形中也能平稳移动，不偏航、不倾覆，提升导航鲁棒性。



大疆 3508 电机及电调:

农业机器人需要频繁进行精确定位，如在行间导航、靠近灌溉区域时保持稳定速度和位置。项目选用的 DJI M3508 无刷电机具备大功率、低转速、高扭矩等特性，能够带动机器人在泥泞或有阻力的农田环境中前行。

其搭配的 C620 智能电调内部集成了高性能 PID 调节模块，可根据反馈数据动态调整电机输出，响应时间短、控制误差小。同时，电机本体自带的高分辨率编码器使得系统能实现真正意义上的闭环控制，精确测量轮速与位置，从而在复杂路径或转弯操作中保持精度，使机器人能够按照设定路径行驶，避免误灌或漏灌现象。



大疆 2006 电机及电调:

在农业灌溉机器人中，喷头或传感器模组往往需要上下调节高度，以适应不同作物的植株高度或灌溉角度。使用的 2006 丝杆电机具有线性驱动精度高、响应灵敏、输出扭矩大等特点，能够实现毫米级的精确升降，同时可承受较大负载，即便安装有水泵、喷嘴等重量较大的设备，也能稳定运行。



TFT 液晶显示屏:

本系统集成了一块高分辨率的 TFT 液晶显示屏，并配置电容式触控功能，支持多点触控操作。用户可通过触控屏实现直观的指令输入与参数设置，无需借助外部按键或上位机操作，大幅提升交互效率与人机友好性。同时，系统界面采用模块化 UI 设计，信息分区清晰，实时数据显示、设置菜单与告警信息可在不同视图中快速切换，适用于现场快速部署和动态调整。

TTS 语音模块:

在语音反馈方面，系统引入了 TTS (Text-to-Speech) 语音播报模块，支持实时数据的语音播报与交互提示。当检测到关键参数异常（如电压过压、温度超限、负载异常等），模块会自动播报报警信息，便于操作者在无屏幕查看条件下第一时间获知系统状态，实现真正意义上的“听觉可视化”。该功能特别适用于工业现场、低视野环境或移动平台中，增强系统在复杂环境中的适应能力。

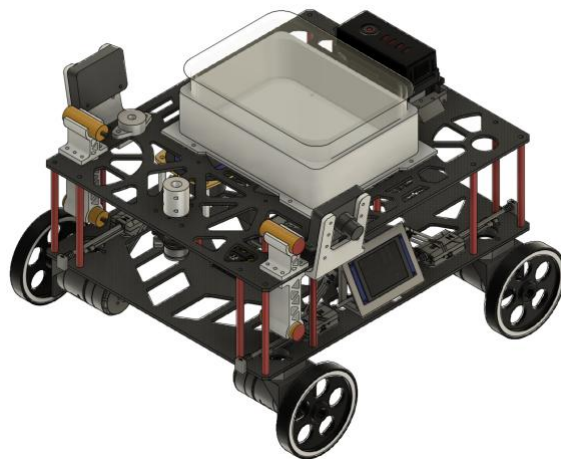
Maixcam 视觉模块:

视觉识别部分则引入了最新发布的 MaxiCam 视觉识别模块，该模块采用高速 CMOS 传感器与神经网络加速芯片，具备高精度、低延迟的图像处理能力。MaxiCam 支持对象识别、状态判断、动态追踪等多种 AI 视觉功能，且可通过标准 MIPI 或 USB 接口无缝接入主控系统。其识别精度优于以往同类模块，尤其在复杂背景或光照不均条

件下依然保持较高识别准确率，极大拓展了系统在自动识别、状态反馈和智能监测方面的应用场景。

三.机械结构

1.底盘部分



结构设计:

分为上底盘和下底盘，采用分层式结构。这种设计能将不同功能模块独立布置，将电机、电调等动力系统安装在下底盘，有利于结构的稳定和走线。

上底盘有多个安装位置和支撑结构，将各类电子设备、传感器和执行机构等系统布置在上底盘，便于安装、调试和后期维护，同时减少不同模块间的干扰，布局紧凑且合理。

功能:

为机器人提供承载平台和运动基础，下底盘配合驱动轮实现移动功能，上底盘则为上层设备提供安装支撑。

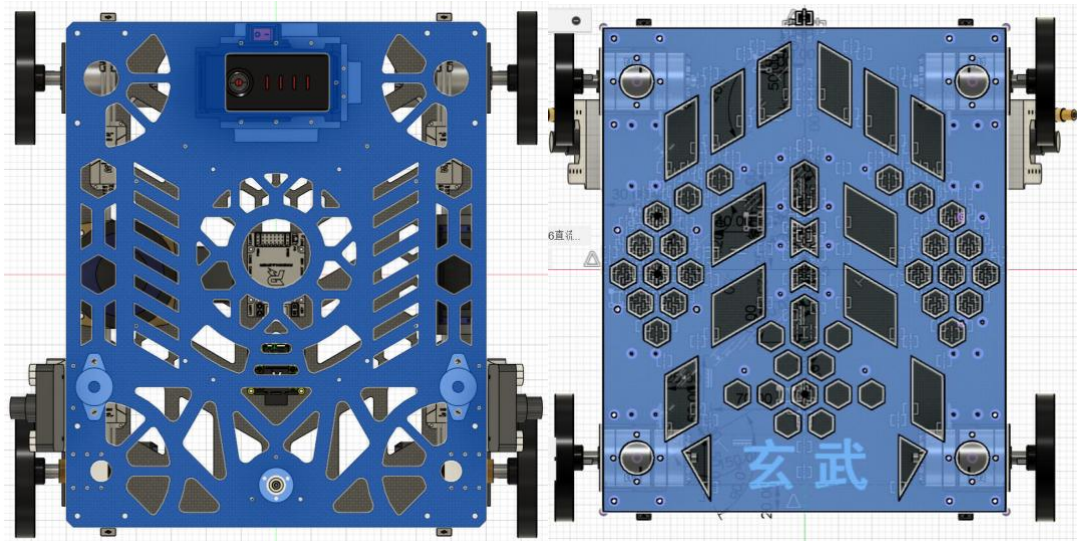
材料选择:

底板采用碳板，质量轻，结构强度高，便于加工和安装，也便于后期增加其他功能，提高拓展性。

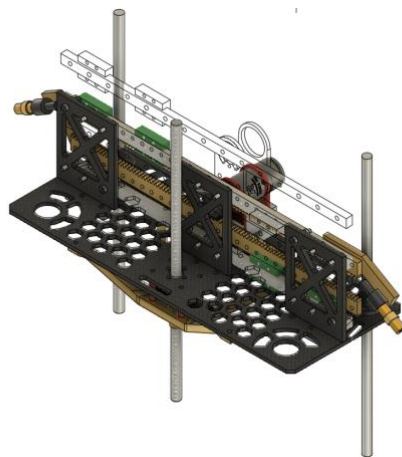
支撑结构采用 M5*150 铝柱，采用铝合金材质。铝合金具有密度低、强度高、抗腐蚀性能好的特点，能在保证底盘结构强度的同时，减轻整体重量，降低能耗，提高机器人的移动灵活性。

美观设计:

在结构设计方面，我们将玄武的元素融入到其中。比如双层底盘的镂空，在实现功能的基础上，对其进行了轻量化设计之美学镂空。如图所示，镂空图案模仿了龟甲上的鳞片和花纹。



2.云台部分:



结构设计:

传动部分通过丝杆、线轨、齿轮齿条等连接件将各部件、各层结构紧密连接在一起，确保整体结构的稳固性。在竖直方向上，使用丝杆螺母进行移动，具有较高的定位精确性。同时，使用铝柱进行轴向限位，降低摩擦的同时提高固定运行轨迹。

在横向方向上，利用齿轮齿条结构进行驱动，简单便捷，灵活性高，扩展了喷头的喷灌范围。此外，在停止喷灌时还可将其收回，最大化空间利用率。这种结构尤其适用于动态调节喷洒高度或角度的需求，例如在靠近高秆作物时自动升高，在短矮作物上方自动降低，实现精准对位灌溉，同时降低水资源浪费。

功能:

用于安装控制主板、通讯模块、摄像头等设备，是机器人实现数据处理、信号传输、环境感知等功能的核心区域。

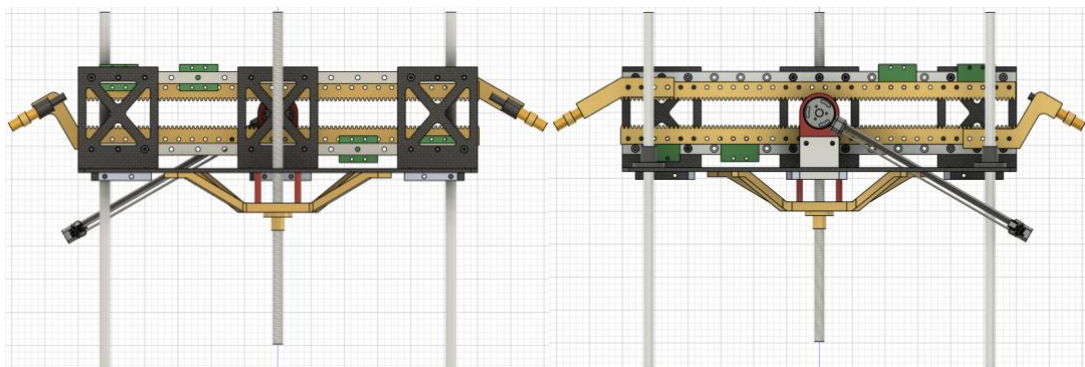
材料选择:

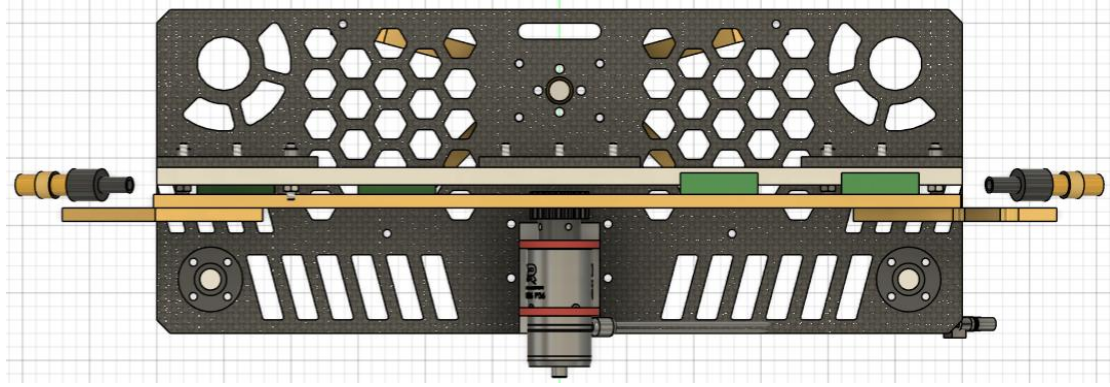
支撑结构采用铝柱。铝合金材料成本相对较低，加工方便；碳纤维材料强度高、重量轻，能在减轻重量的同时保证结构的稳定性，适合对重量和强度要求较高的上层设备安装支撑。

美观设计:

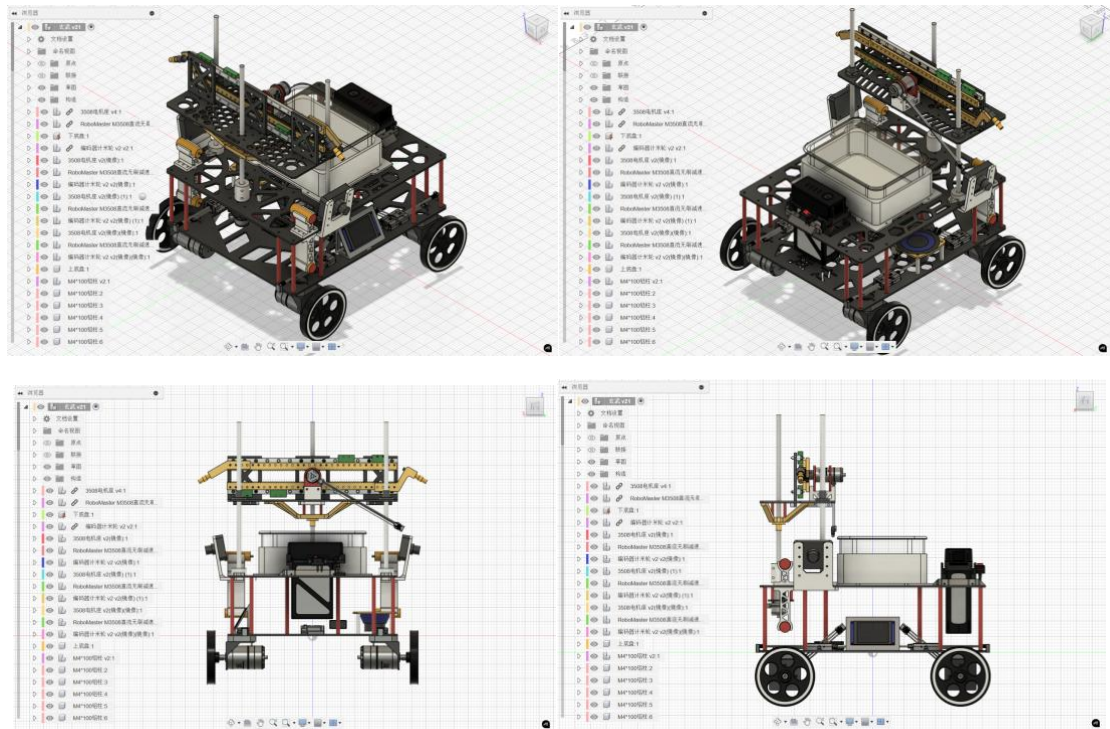
在云台的设计上，我们使用了齿条和丝杆，从前后方的角度看犹如两条盘旋在玄武龟甲上的玄蛇。能够双自由度移动定位的功能也象征了蛇的灵活。通过喷头向外界制造水雾也象征了玄武能够吞云吐雾、掌管水元素的神通广大。

从上方看，我们在云台的碳板上进行了多种几何图案的镂空，在满足了轻量化设计的同时增添美观性。





3.3D 模型:



四、电子与控制系统设计

节水灌溉机器人的电控系统采用双主控协同架构，将运动执行控制与识别交互控制进行功能解耦，提高了系统运行的稳定性与扩展性。系统以 DJI RoboMaster C 型开发板为核心执行单元，控制底盘四驱驱动系统与机械臂舵机系统；同时以 STM32F103 为识别与决策中枢，控制视觉模块、红外感知、灌溉策略、人机交互与语音播报。主从板之间通过串口通信建立实时信息共享机制，实现控制逻辑的统一协同。

1.控制系统架构

节水灌溉机器人的电控系统采用双主控分布式架构，由 DJI RoboMaster C 型开发板与 STM32F103 芯片协同工作，分别承担底盘与执行机构控制、识别决策、人机交互等任务。两块主控板各司其职，通过串口通信建立主从关系，既增强了系统的整体可扩展性，也提高了运行任务的并行性与稳定性。

其中，C 板作为底层执行与运动控制核心，主要负责底盘四轮驱动的速度控制、陀螺仪姿态闭环反馈、机械臂执行等任务，其控制节奏紧凑、对实时性要求较高。而 STM32F103 作为辅助主控，集中负责图像识别模块的数据接收与处理、TFT 液晶屏显示、TTS 语音播报提示、灌溉水泵开关控制等逻辑层和展示层任务，两者之间通过串口协调数据共享，使系统运行更为有序与高效。

2. 底盘控制与姿态反馈系统 (C 板)

在底盘控制方面，机器人采用了大疆 M3508 无刷电机与 C620 电调构建的四轮独立驱动系统。C 板通过 CAN 总线与电调模块进行高速通信，发送实时速度指令的同时，接收编码器反馈数据，以获取每个轮组的当前角度信息。结合底盘结构参数，系统对各轮累计旋转角度进行积分求和，并融合搭载的计米轮，从而精准推算出机器人当前的位移和路径长度，提高了整体路径估计的鲁棒性和抗误差能力。

尽管机器人本体为四轮独立驱动结构，其底盘运动控制与里程解算依旧沿用经典的麦克纳姆轮运动学模型。该模型可通过各轮速度的线性组合计算出整车在全向平面上的 X、Y 向位移与角速度，有助于保持控制系统结构的一致性和解算逻辑的清晰性。在此基础上，为进一步提升小车在直线运行过程中的方向稳定性，系统引入了 Yaw 轴姿态修正辅助机制。机器人实时读取 IMU 输出的航向角，并与期望航向角进行对比，根据偏差自动调整各轮速度分量，不仅能十分精准的旋转角度，同时还能小角度动态补偿，确保机器人严格按照设定方向保持直线运行，显著降低因偏航累积造成的路径漂移。

机器人搭载的高精度 BMI088 惯性测量单元 (IMU) 在整个运动控制中起到关键作用。为克服农业场地中存在的震动、磁干扰与高频姿态波动，系统在数据处理端采用卡尔曼滤波算法对 IMU 输出进行融合优化。卡尔曼滤波作为一种最小均方误差估计方法，能够在存在传感器噪声的条件下，通过“状态预测—观测更新”的迭代机制，动态融合加速度计与陀螺仪数据，输出高置信度的姿态解算结果。滤波后的 Yaw 角不仅用于底盘姿态修正，也为路径规划、定点转向和直线保持等动作提供了高度稳定的参考依据，使机器人在复杂路况中依然具备出色的路径跟踪能力。

3. 定距控制与红外辅助决策 (F103)

在路径控制方面，机器人采用了“定距推进 + 红外识别判断”的组合策略，以代替高成本的激光雷达或 GPS 定位。C 板负责底盘运动和位移累积，并在达到关键里程碑点（如 0.45m、1.45m、2.45m）时发出中断信号，由 F103 进行目标判定。

F103 控制双侧红外传感器激活，读取两侧反射信号判断是否有待灌溉目标物（如灌木盆栽）存在。若红外同时感应到两侧障碍物，或一侧满足预期条件，则判断当前位置为灌溉位点，发出停止与灌溉指令。若判断不成立，则机器人继续前进或略微调整角度再检测一次，从而构建一个具有容错能力的低成本决策闭环。

该策略避免了对复杂识别算法的依赖，在视觉不可靠或处理资源受限时也能保持任务执行的稳定性

4. 执行机构与灌溉控制系统

执行机构包括一套可升降喷灌云台与可伸缩机械臂。云台由 DJI 2006 电机驱动丝杆实现垂直升降，机械臂由 DJI 2006 电机驱动通过齿轮齿条进行横向移动。

由于两侧均配备灌溉臂，机器人采用“两侧同时灌溉”策略实现双边区域覆盖。

水泵控制由 F103 通过 l298n 电机驱动模块，具备启动延迟、定时关闭与多档灌水模式。开始灌溉任务时，机械臂伸出，F103 开启水泵。

5. 模块化供电与系统冗余设计

整个系统采用三路供电结构：动力系统由 24V 高压电源提供，主控与控制模块使用 3.3V 稳压供电，显示与语音模块使用独立通道隔离供电，防止干扰叠加。电源模块配有分流保护与状态指示灯，便于调试和维护。

各控制板、舵机、识别模块通过标准接口连接，支持快速更换与模块升级，方便后续调试优化与功能扩展。

五、整体方案设计

对竞赛规则的理解：比赛场地分成 A, B, C, D 四个区域，其中 A 区是用来验证功能的，这一个区域也是最简单的一个区域，可以使用开环控制来完成这一个区域的任务。

其次 B 区的灌木丛的排列也是有一定的规律，但是中间有一个斜坡用于阻挡机器人进行有目的性的浇灌，增加了比赛的难度。现在有两个方案，第一是将底盘拉高，确保底盘的高度超过了斜坡的高度，如果采用这种方案那么这类的浇灌即和正常规律的浇灌没有区别，也可以使用开环控制，但是这就势必会失去过斜坡的分数。第二种方案是使用定位模块，但是这种方案操作难度以及成本较高，看看比赛备赛时间充不充足。

C 区我们打算采用识别的方案，但是这种方案可能会导致，时间过长，识别成功后

直接进行自主的浇灌就可以了，但是因为我们只有一条机械臂，那么我们就需要走两边路线。

D 区也是使用色彩识别的方案，这个由于我们只有一条机械臂也需要走两边道路。

机械设计主要是底盘和机械臂，最初的机械臂使用到了塑料连接柱，但是因为塑料连接柱确实没有一定的硬度，并且没有合适的固定方式，所以放弃了这种方式。然后机械臂主要采用三角架模式的机械结构确保使用 3D 打印制造成品时不会因为支撑结构不牢固而导致整体结构不稳定。

底盘的设计主要是提高了底盘的高度，确保场地的胁迫在底盘以下，从而机器人能够通过斜坡不受坡度变化干扰。

水管喷头直接连接到水泵电机，喷头部分使用塑料连接柱定位，确保能够精准灌溉。

控制流程：第一步在 A 区使用开环控制（如果还有时间可以做十字的识别），通过 A 区就会进入 B 区，因为底盘足够高，B 区也能够开环控制。然后开环进入 C 区，先将机械臂调至左排开始使用识别功能，当识别到某一形态的灌木之后，控制小车停止，当识别到 6 次之后，将机械臂的趋向更换到右侧，运行同样的程序，计数 12 次之后后退并且开始识别十字开始转弯。进入 D 区后转换机械臂形态（识别色块的形态），根据不同颜色开始识别进行灌溉。也是走两边但是是没识别三次就再次识别最终停止。

机械设计包括机械臂的设计，本来我们想要做的是水果采摘机器人，后来进行灌溉机器人的改装，还是采用原来采摘机器人的机械臂设计，机械臂使用到了四个舵机控制，能够增加自由度，确保在 360 度机器人的机械臂都可以触及。

六、设计过程

上述分析和设计的具体实现，是否能够解决竞赛过程中的自主导航（最初使用 n10 雷达作为现场扫图和导航的功能，但是最终由于操作难度较大没有实现）、无线通讯（没有无线通讯的功能）、智能避障（没有智能避障的功能）、目标识别（目标识别使用了 openmv 视觉模块，通过模块上的镜头使用 Python 语言实现识别的功能）、变量施水（通过控制水泵电机的运行和停止）、自平衡（假如小车在运行过程中由于场地环境等问题出现偏歪的现象，可以使用 mpu9250 进行校准）、机械臂精准校位（使用 PCA968516 进行舵机的精准控制）等竞赛功能。

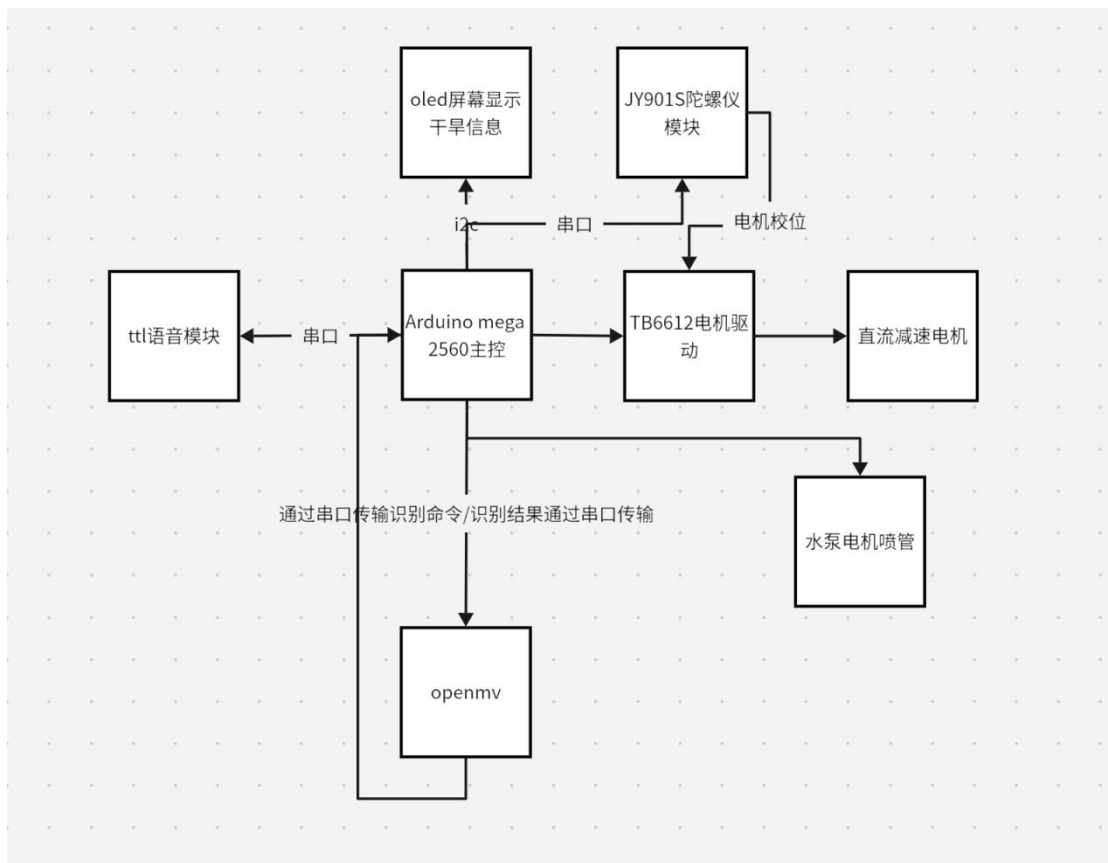


图 小车整体控制逻辑

七、创新研发内容

我们创新的内容大多是硬件上的创新，或者说模块上的创新。

我们摆脱了学长的经验束缚，不采用 STM32 系列单片机，采用 Arduino 系列单片机，一是开源较多，方便我们对编程的发展和模块的延申，其次

PCA968516 模块使用后可以极大的实现模块化控制，同时我们的设计最大的突出点也是模块化设计，虽然底盘，oled，openmv，机械臂，语音模块都是有 arduino 控制，但是供电却有三条路线，一是确保供电的稳定，其次是方便我们的模块化设计，很多模块需要额外的供电系统。（可见附件代码——机械臂控制）

我们更为创新的一点是采用了多串口传信息，确保信息的准确性，而且使用 jy901s 模块校位的策略也需要我们在模块上添加串口。

除此之外，我们在路径上也有所创新，在 C 区，由于盆栽的摆放顺序是混乱的，而且我们只有一个机械臂，不能同时对两路进行实时观测，所以创造性的采取了走两遍的

路径，因为机器人对于识别一系列的盆栽肯定是精准的，在路径规整的情况下，行走两遍路径会极大提高识别的准确率。

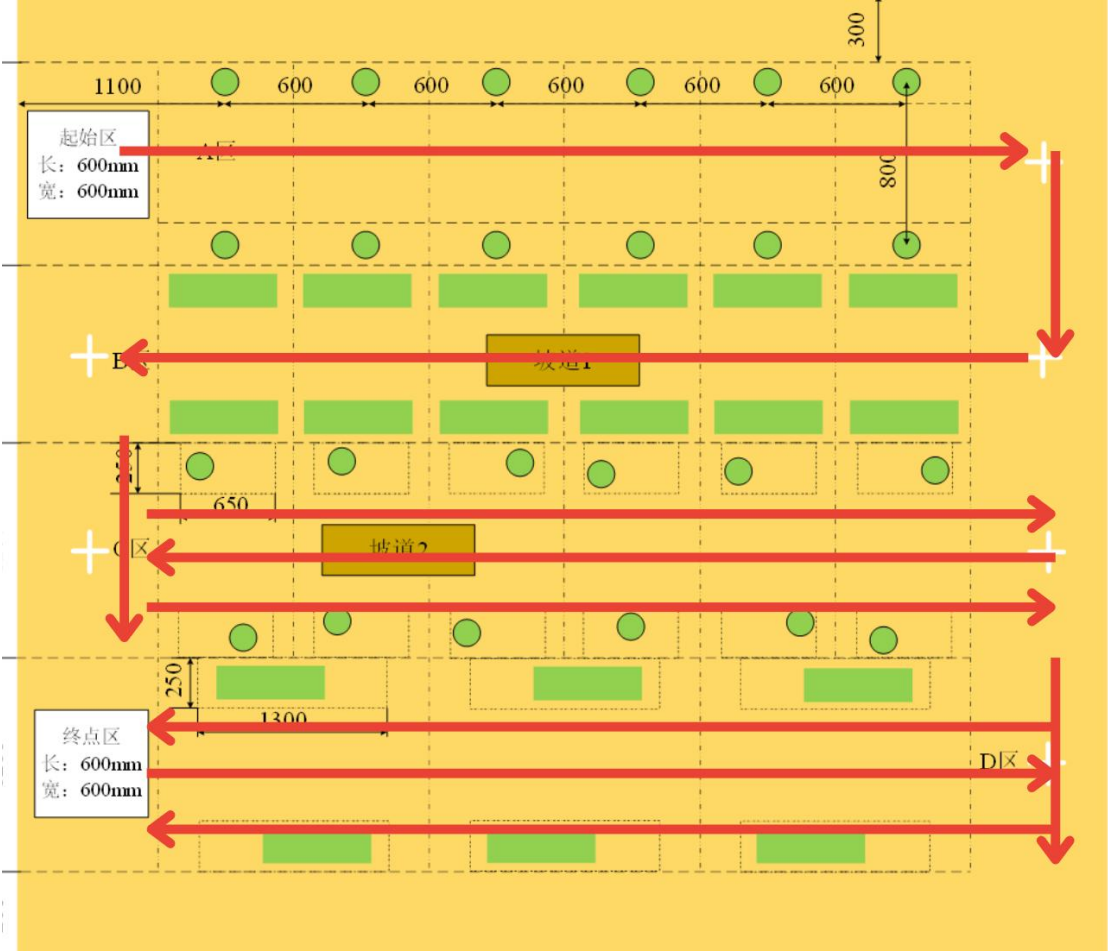


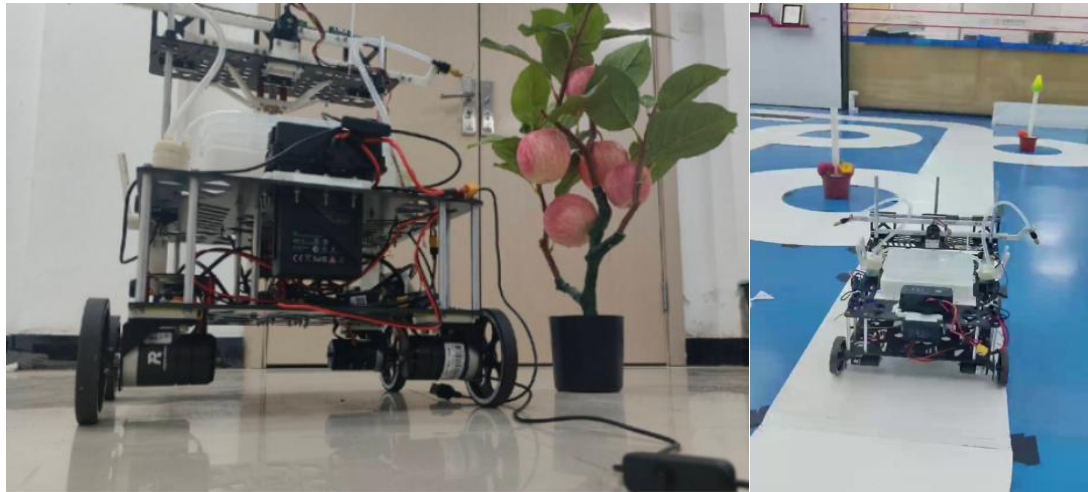
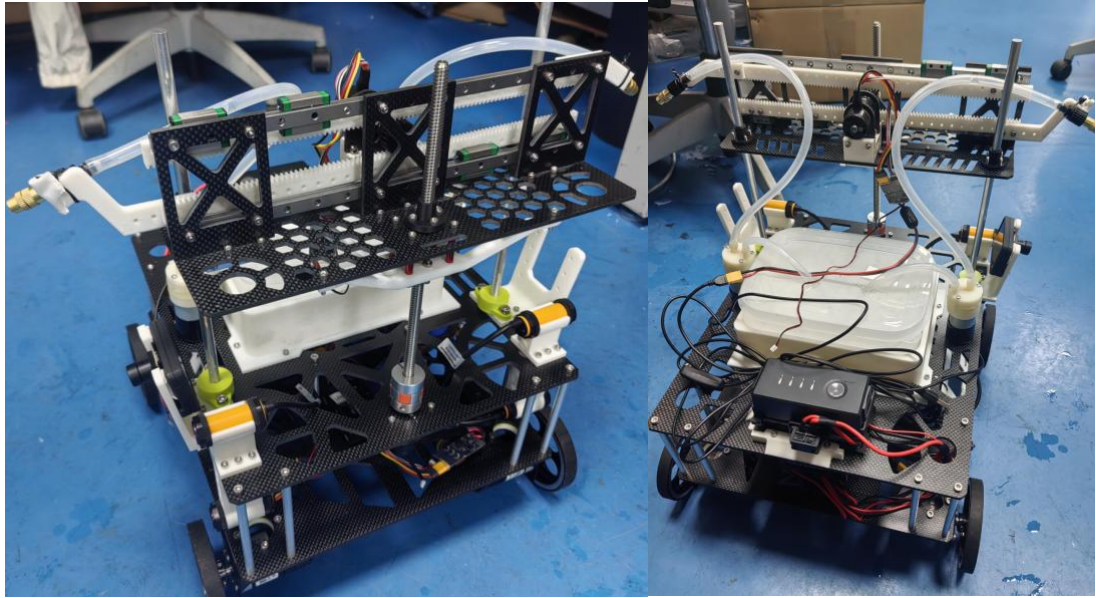
图 灌溉整体路线

同时，对于路径的规整，我们采用了陀螺仪校准的方式，每走一段距离，如果路径有一点偏，那就会通过串口调用陀螺仪，校准一次，陀螺仪即 Yaw 轴上的值如果大于 10（不是零是因为需要一定的容错率），就右转，Yaw 轴上的值小于 -10，就左转。（可见附件代码——陀螺仪校位）

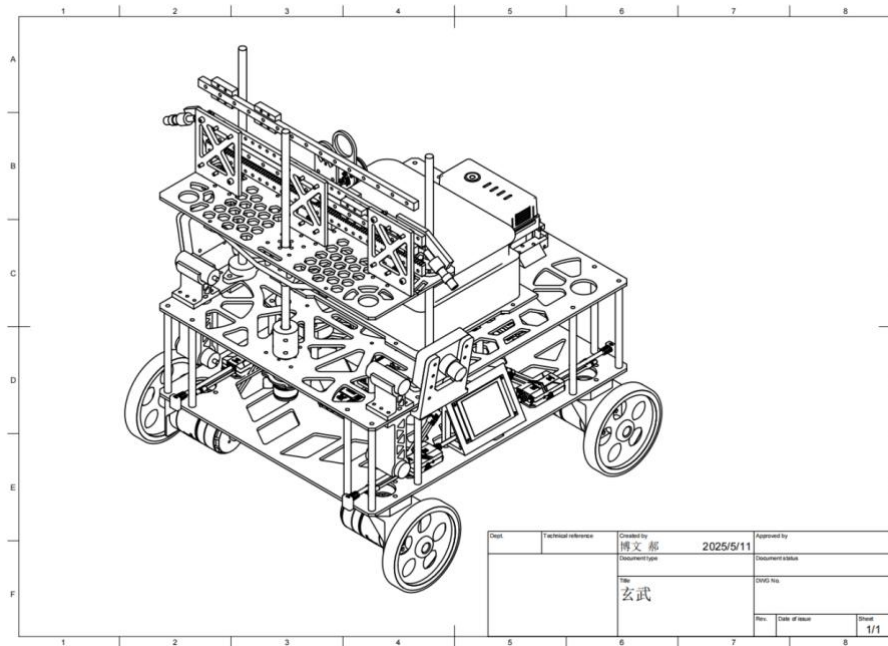
自主研发，提高机器人竞赛能力的展现，或者综合应用知识，满足机器人竞赛的某个要求的内容。

附：

1.实物展示：



2.工程图:



3.爆炸图:

