

2025 中国机器人大赛暨 RoboCup 全国赛

农业组--节水灌溉机器人

技术方案技术文档

重庆大学-玄武战队

2025 年 9 月

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。

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：

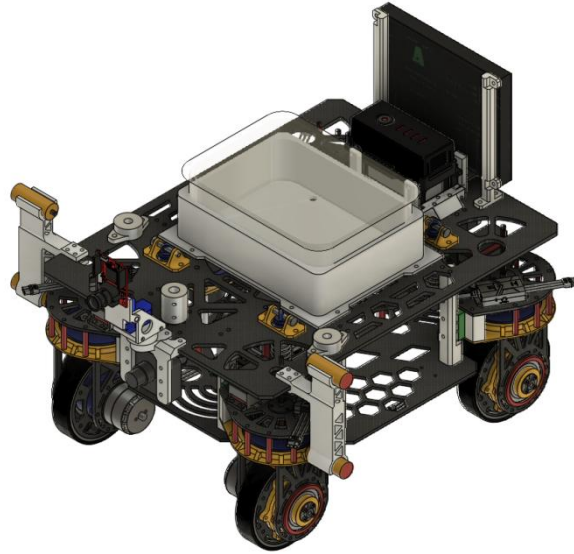
在语音反馈方面，系统引入了 TTS (Text-to-Speech) 语音播报模块，支持实时数据的语音播报与交互提示。当检测到关键参数异常（如电压过压、温度超限、负载异常等），模块会自动播报报警信息，便于操作者在无屏幕查看条件下第一时间获知系统状态，实现真正意义上的“听觉可视化”。该功能特别适用于工业现场、低视野环境或移动平台中，增强系统在复杂环境中的适应能力。

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，将动力系统安装在下底盘，控制与视觉系统布置在上底盘，便于安装、调试和后期维护，同时减少不同模块间的干扰。

在“玄武一代”的基础上，我将其升级为舵轮底盘，搭配自适应悬挂系统，避障性能与地形适应性能优越。

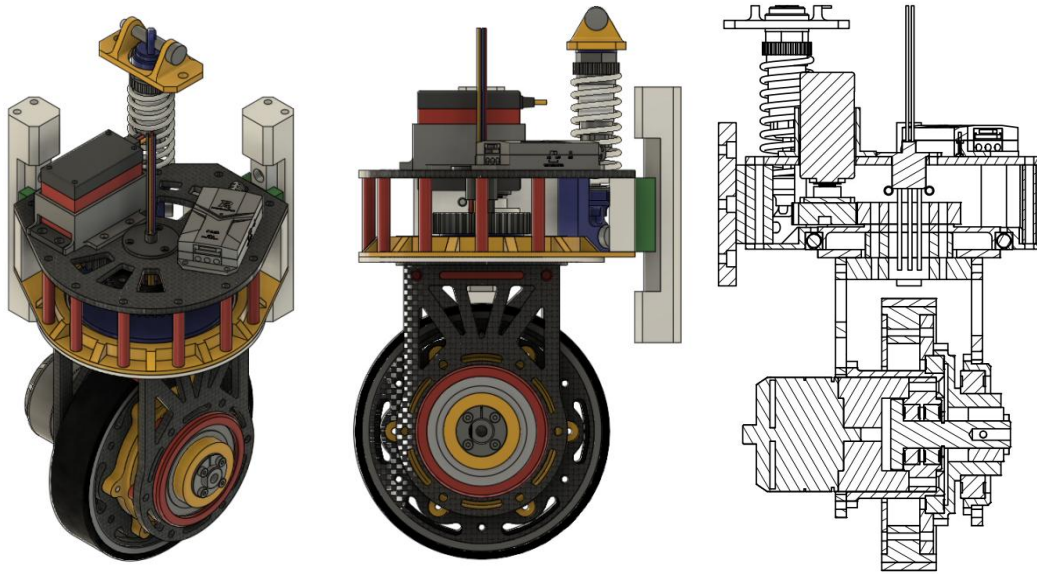
材料选择：

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。

悬挂上部分结构件选用 CNC 铝件，轻量化且强度高。其余部分零件选用 3D 打印件，定制化程度高，适用于非标结构件。

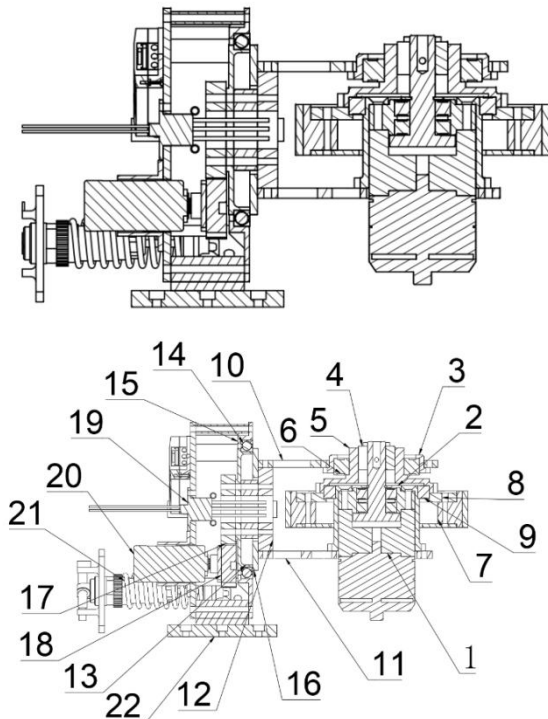
2. 舵轮设计：



结构设计：

舵轮为“玄武二代”的核心升级，我独立开发设计了这款集成伺服转向机构与减震系统的驱动舵轮，并发表了专利。

 国家知识产权局		发文日： 2025年10月28日
401120 重庆市两江新区天官园街道洪湖东路9号2306 重庆速腾专利代理 事务所(普通合伙) 黄朝023-63064503		
		
申请号：20252280198.X	发文序号：2025102802235280	
专利申请受理通知书		
根据专利法第28条及其实施细则第43条、第44条的规定，申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下：		
申请号：20252280198.X 申请日：2025年10月28日 申请人：重庆大学 发明人：洪竟权, 郝博文, 孙鹤梅, 杨倩, 任奔奔, 常锦宏, 孙奇栋, 赵江涛 发明创造名称：一种驱动舵轮 经核实，国家知识产权局确认收到文件如下： 权利要求书 1份 2页 权利要求项数：6项 说明书 1份 4页 说明书附图 1份 3页 说明书摘要 1份 1页 专利代理委托书 1份 2页 实用新型专利请求书 1份 5页 申请方案卷号：CN2285429		
提示： 1. 申请人收到专利申请受理通知书之后，认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时，可以向国家知识产权局请求更正。 2. 申请人收到专利申请受理通知书之后，再向国家知识产权局办理各种手续时，均应当准确、清晰地写明申请号。		
审查员：自动受理 联系电话：010-62356655		
<small>20101 纸质申请，回函请寄：100088 北京市海淀区中关村东路4号 国家知识产权局专利受理处 202303 电子申请，应当通过专利业务办理系统以电子形式提交相关文件。除另有规定外，以纸质等其他形式提交的文件视为未提交。</small>		



其中的核心结构包括避震器、伺服电机、无刷驱动电机、铝柱、连接架、转向齿轮和定位台。使用伺服电机搭配1：1.5减速比驱动实现360度转向，加入避震器连接底

盘，确保车体平台在经过起伏路段时不会造成抖动和倾斜。轮毂轴系和转向轴系设计，减小转向和驱动的机械阻力。

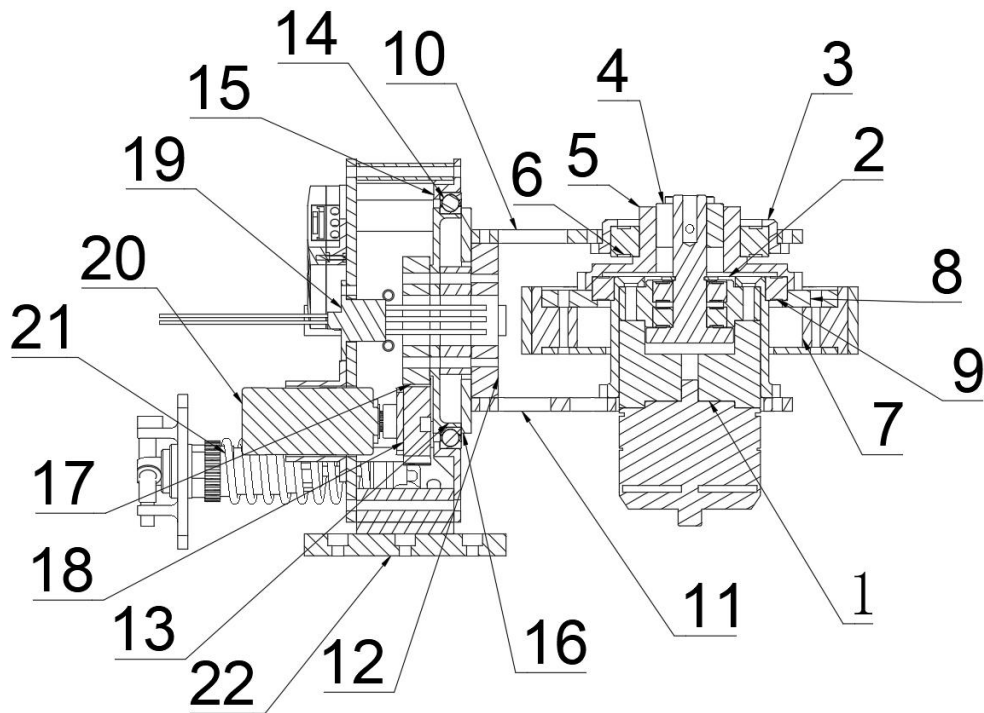


图 2.1.1.3 舵轮结构示意图

图中：1、电机；2、电机支架；3、上端轴承外支撑；4、涨套；5、输出转接件；6、上端轴承；7、轮毂；8、外侧轮辐；9、下端轴承；10、外轮支承；11、内轮支承；12、桥接件；13、舵上轴承内支撑；14、舵上轴承；15、舵上轴承外支撑；16、舵上轴承下支撑；17、从动齿轮；18、主动齿轮；19、滑环；20、伺服电机；21、避震器；22、滑轨。

电机 1(大疆 C3508)通过沉头螺丝安装在电机支架 2 上,电机支架 2 为 CNC 金属件,侧方留有一圈平台作为下端轴承 9 的内侧下支撑,电机 1 的输出轴通过涨套 4 将扭矩传递给输出转接件 5,而输出转接件 5 与外侧轮辐 8 连接,从而驱动滚轮转动。

上端轴承 6 与下端轴承 9 形成双端支撑,共同起到支撑作用。其中上端轴承 6 内侧与输出转接件 5 外侧接触,外侧与上端轴承外支撑 3 内侧接触,而上端轴承外支撑 3 与外轮支承板 10 连接,从而支撑上方重量;下端轴承 9 内侧与电机支架 2 的侧方槽接触,外下侧与外侧轮辐 8 的内侧槽接触,外上侧与输出转接件 5 内侧槽接触,从而起到对轴承的定位作用与对电机和滚轮间压力的传导作用。

外轮支承板 10 与内轮支承板 11 作为舵下轮组和舵上底盘的连接,共同起支撑作用,此二个支承板中间通过桥接件 12 连接,从而控制受力方向为纵向不发生偏移。

舵上部分由伺服电机 20 驱动,伺服电机和具有 24 齿的从主动齿轮 18 连接,具有 36 齿的从动齿轮 17 与主动齿轮 18 啮合,构成 1: 1.5 减速比(可通过调整齿轮齿数改变减速比),从而增大转向扭矩。

从动齿轮 17 与舵上轴承内支撑 13、垫块、桥接件 12 相连接,从而和舵下轮组保持一致的转动。其中舵上轴承 14 是四点接触球轴承,作为转接轴承,其内侧与舵上轴承内支撑 13 接触,内下侧与舵上轴承下支撑 16 接触,外侧与舵上轴承外支撑 15 接触,起到对轴承的定位作用和舵上底盘与舵下轮组的支承力传导作用。

伺服电机 20、滑环 19、电调安装在上方板件，滑环 19 一端与舵下轮组的电机线相接，另一端与舵上的电调相接，从而优化走线，避免转向导致的线路缠绕或损坏。

避震器 21 上下两端均通过塞打螺丝铰接在悬挂支架，而滑轨 22 与安装在舵上垫块的滑块形成滑动配合，从而约束了避震器 21 收缩或拉伸时的行程与方向。

材料选择：

舵轮的整体材料由碳板、CNC 铝件、3D 打印件组成。其中碳板主要作为两侧支撑件与轮辐等受纵向应力的平直结构件，CNC 铝件主要作为轮毂、轴承支撑等立体定制化结构件，3D 打印件则主要作为不受主要负载的非标结构件。

这样选材的好处是可以最大程度利用到各个材料的特性，适合加工制造工艺。

3. 云台部分：

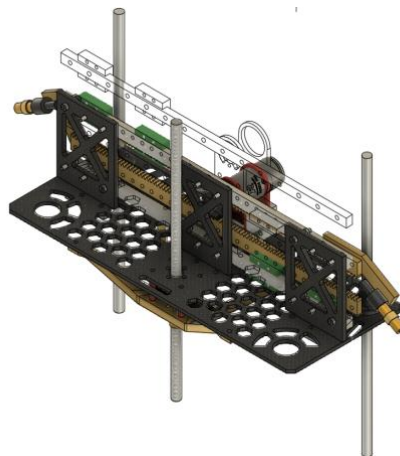


图 2.3.1 云台建模

结构设计：

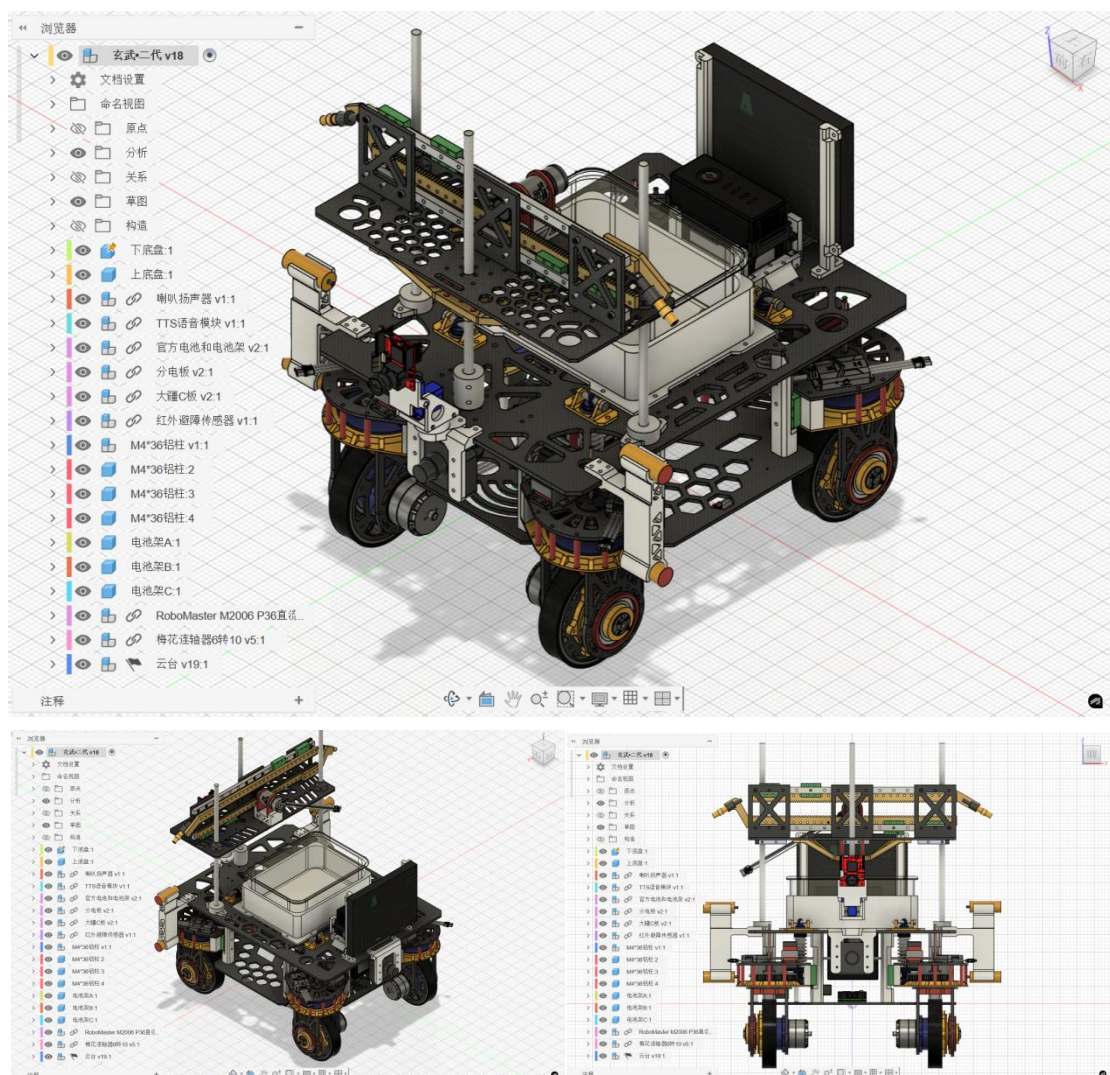
上层有多个安装位置和支撑结构，可安装各类电子设备、传感器和执行机构等，布局紧凑且合理，预留了不同设备的安装接口和固定位置。传动部分通过丝杆、线轨、齿轮齿条等连接件将各部件、各层结构紧密连接在一起，确保整体结构的稳固性。使用丝杆螺母进行垂直方向上的移动，具有较高的定位精确性。同时，使用铝柱进行轴向限位，降低摩擦的同时提高稳定性。在横向方向上，利用齿轮齿条结构进行驱动，简单便捷，灵活性高，扩展了喷头的喷灌范围。这种结构尤其适用于动态调节喷洒高度或角度的需求，例如在靠近高秆作物时自动升高，在短矮作物上方自动降低，实现精准对位灌溉，同时降低水资源浪费。

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。

4. 整车建模：



四、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。

五、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。

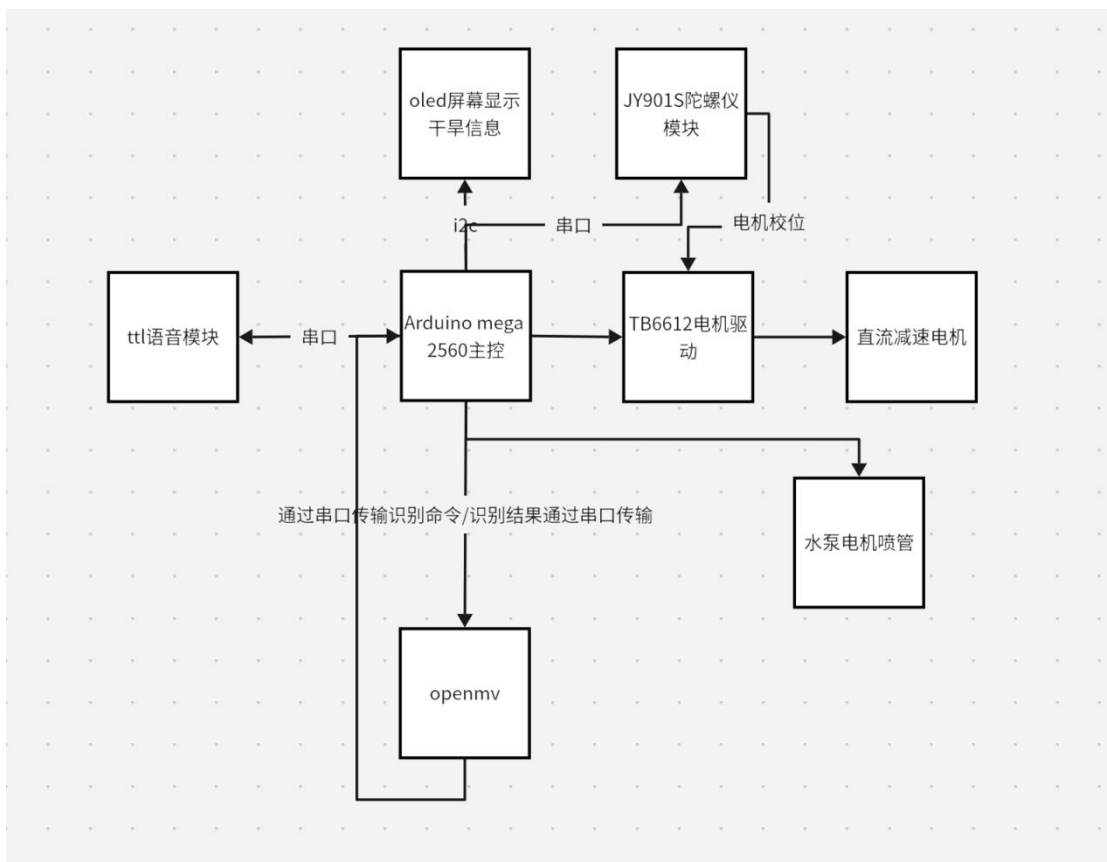


图 小车整体控制逻辑

六、创新研发内容

相较于第一代机器人，第二代机器人的核心创新点集中在底盘系统的迭代升级，重点突破了传统底盘转向灵活性不足、定位精度有限的痛点，通过自主研发伺服电机舵轮，实现了底盘性能的跨越式提升，为机器人高效完成比赛任务提供了坚实的硬件支撑。

针对第一代机器人底盘采用传统轮系，转向时需依靠车身整体位移、转向灵活性差、适应复杂比赛场地能力不足的问题，我们自主设计研发了伺服电机舵轮，将伺服电机与舵轮结构一体化集成，打破了传统轮系的设计局限。该舵轮核心优势在于实现了“原地转向”功能，转向过程中车身无需进行整体位移，仅通过舵轮自身的旋转即可完成 360° 任意角度转向，大幅提升了机器人在狭窄场地、复杂路径中的转向灵活性，有效规避了第一代机器人转向时易与周边环境发生碰撞、转向效率低的问题。

同时，自主研发的伺服电机舵轮采用闭环控制技术，相较于第一代机器人传统轮系的开环控制，转向精度得到显著提升，定位误差控制在毫米级，能够精准响应控制指令，确保机器人在执行直线行走、转向调整、定点停靠等比赛任务时，动作精准可控、稳定性强。此外，伺服电机舵轮还具备响应速度快、负载能力强、能耗低的特点，兼顾了机器人的运动性能与续航能力，相较于第一代机器人，第二代机器人的底盘运动平顺性、任务执行效率均得到明显优化，更好地适配中国机器人大赛的各类场景需求，充分体现了研发过程中的创新性与实用性。

附：

1. 实物展示：



2. 工程图:

