

doi: 10.7690/bgzd.2021.12.011

室内移动式浇花机器人

吕鹏飞¹, 高学山^{1,2}, 罗定吉¹, 刘欢¹, 石永杰³, 吕佳乐³, 牛军道¹, 郝亮超¹, 车红娟³, 赵鹏³

(1. 广西科技大学机械与交通工程学院, 广西 柳州 545000; 2. 北京理工大学机电学院, 北京 100081;

3. 广西科技大学电气与信息工程学院, 广西 柳州 545000)

摘要: 为减少人力资源浪费, 降低人工喷洒劳动强度, 提高盆栽浇水效率, 实现盆栽浇水的智能化, 研制一种移动式浇花机器人。其本体有移动平台和作业机构, 控制系统采用嵌入式设计, 集成线性 CCD 图像采集传感器、超声波传感器、土壤湿度检测传感器和无线通信模块等, 通过巡线的形式实现对盆栽自主浇水, 并对移动机器人进行运动学分析, 获得运动方程。实验结果表明: 该机器人运行稳定, 巡线及任务操作时动作准确, 能快速到达盆栽旁进行浇水, 具有较好的可操作性、实用性, 对室内智能化服务型机器人的开发起到了指导意义。

关键词: 机器人; ARM; 盆栽; 运动学**中图分类号:** TP242.6 **文献标志码:** A

Indoor Mobile Flower Watering Robot

LYU Pengfei¹, Gao Xueshan^{1,2}, Luo Dingji¹, Liu Huan¹, Shi Yongjie³,
LYU Jiale³, Niu Jundao¹, Hao Liangchao¹, Che Hongjuan³, Zhao Peng³

(1. School of Mechanical & Transportation Engineering, Guangxi University of Science & Technology, Liuzhou 545000, China;

2. School of Mechatronical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

3. School of Electrical & Information Engineering, Guangxi University of Science & Technology, Liuzhou 545000, China)

Abstract: In order to reduce the waste of human resources, reduce the labor intensity of manual spraying, improve the watering efficiency of potted plants, and realize the intelligentization of potted watering, a mobile flower watering robot has been developed. Its body has a mobile platform and an operating mechanism. The control system adopts an embedded design. It integrates a linear CCD image acquisition sensor, an ultrasonic sensor, a soil moisture detection sensor and a wireless communication module, etc, and realizes autonomous watering of potted plants in the form of line inspection. The kinematics analysis of the mobile robot is performed, and the motion equation is obtained. The experimental results show that the robot runs stably, moves accurately during line inspection and task operation, and can quickly reach the potted plants for watering. The robot has good maneuverability and strong practicability, and plays a guiding role in the development of indoor intelligent service robots.

Keywords: robot; ARM; potted plants; kinematics

0 引言

随着时代的发展进步和人口老龄化社会的到来^[1], 服务型机器人正逐渐应用于各行各业, 智能服务机器人也是目前大力发展的前沿技术之一^[2]。特别是日常生活中使用的各种机器人, 如康复、向导、移动式消毒和迎宾机器人等更是拥有广阔的应用市场^[3-4]。

随着社会经济的飞速发展, 人们越来越注重生活质量的提高。盆栽植物具有美化环境和清新空气等功能及室内生长的特性, 越来越受到人们的喜爱, 在写字楼、高校和大型会展中心等场合得到了广泛应用。在无人看管的假期, 盆栽植物经常在缺水死亡, 如果雇人进行日常护理, 不仅增加成本, 而且效率低下^[5]。经过调研发现, 目前市面上现存的

浇花设备主要有以下 3 种形式: 1) 将预备的水采用慢渗水的方式渗透到花盆中; 2) 预设好时间间隔, 采用控制器控制喷头实现浇水; 3) 通过放置在土壤中的湿度传感器采集花盆中的湿度信息, 判断是否需进行浇水作业。这些自动化设备在带来一定便利的同时, 也带来了一些附庸问题, 特别是储水设备和输水管道的安装位置^[6]。安装位置不当, 不仅使用不便, 而且会影响整体美观。笔者设计一种移动式浇花机器人, 能实现自动按照预定路径行走, 对需补充水分的盆栽进行浇水作业, 提高了浇水效率, 降低了人工喷洒作业强度, 减少了人力资源浪费。

1 系统总体设计

浇花机器人整体由机械系统和控制系统 2 部

收稿日期: 2021-08-29; 修回日期: 2021-09-27

基金项目: 国家重点研发计划项目“中国老年失能预防与干预管理网络及技术研究”(2020YFC2008503)

作者简介: 吕鹏飞(1993—), 男, 江西人, 硕士, 从事机器人技术研究。E-mail: 529668898@qq.com。

分组成。机械系统包括轮式移动平台、喷洒机械手；控制系统涉及硬件和软件系统，硬件、软件 2 个系统互相依赖，缺一不可^[7]。总体框架如图 1 所示。

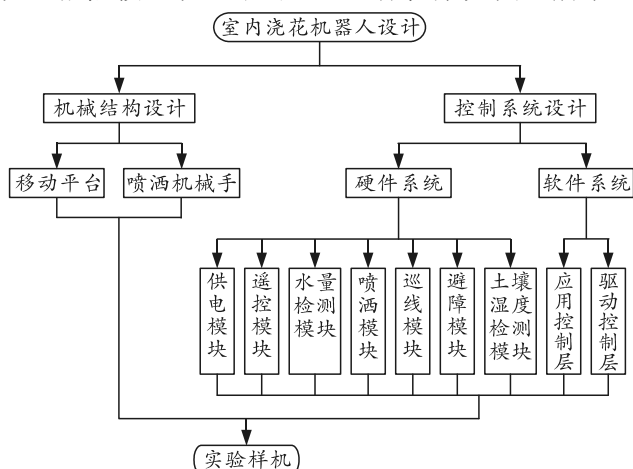


图 1 浇花机器人总体框架

2 机械系统设计

2.1 机器人工作环境分析

以大型绿萝为机器人喷洒的对象，工作环境如图 2 所示。绿萝具有高度高、植物外轮廓大等特点，实测得到绿萝的总高度约为 1 400~1 500 mm，其中花盆高度为 400 mm，外径最大处约为 1 000 mm；且绿萝在过道中的放置较为规律，成等间距排列，为机器人自动化喷洒的实现提供了可行性。



图 2 工作环境

2.2 机械系统结构框图

机器人的整体结构主要由移动平台和喷洒机械手组成。机器人总质量约为 50 kg(最大负载 20 kg)，水箱蓄水量为 15 kg，结构的长宽高为 600, 650, 1 200 mm。机器人本体移动机构采用动力轮驱动，为菱形分布的 4 轮结构，通过对移动平台左右动力轮的差速控制实现机器人移动功能。喷洒机械手为 RPP 型 3 轴机械臂，可实现对不同高度和外径的盆栽进行喷洒作业。机械系统结构如图 3 所示。

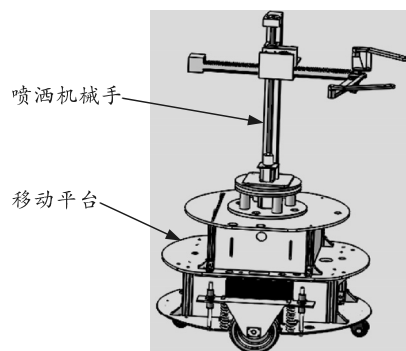


图 3 机械系统结构

2.3 移动平台设计

浇花机器人本体必须具备良好的移动行走能力。从产品设计角度出发，机器人工作的环境为相对平整的室内环境；因此，移动平台采用轮式移动结构^[8]。由于是应用于室内环境，空间相对狭窄，所以底盘轮子分布方式为前后随动轮、左右驱动轮的形式，使机器人能以其底盘中心为原点进行转向运动，提高其灵活性。移动平台的整体长宽高为 600, 650, 400 mm，承载能力为 50 kg，分为上下 2 层；上层用于放置控制系统硬件，下层用于放置水箱和动力系统。移动平台的机构如图 4 所示。

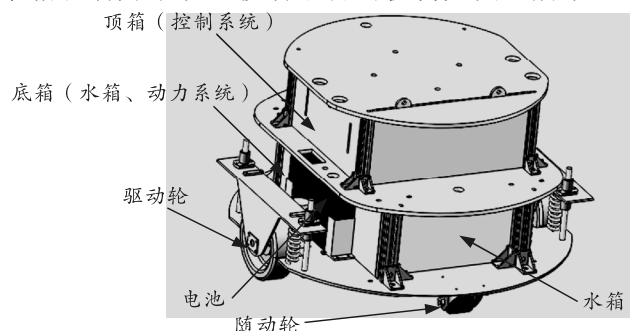


图 4 移动平台机构

2.4 驱动模块设计

笔者设计的机器人主要应用于道路相对平坦的室内环境，但考虑到机器人行走路线上可能会出现障碍物，为防止其影响机器人的稳定性，设计一种驱动模块。驱动模块机构如图 5 所示。

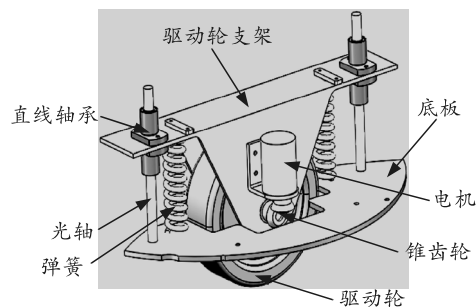


图 5 驱动模块机构

2.5 喷洒机械手设计

RPP 型喷洒机械手 3 维机构如图 6 所示。主要由 1 个底座的旋转运动部件和 1 个双十字交叉连接的直线运动部件组成，末端执行器采用的是 1 台 4 连杆机构。通过控制末端舵机的旋转角度，可使连杆机构展开与收缩，对不同大小的盆栽进行喷洒作业。机械手的运动简图如图 7 所示。喷洒装置机构如图 8 所示。机构运动简图如图 9 所示。

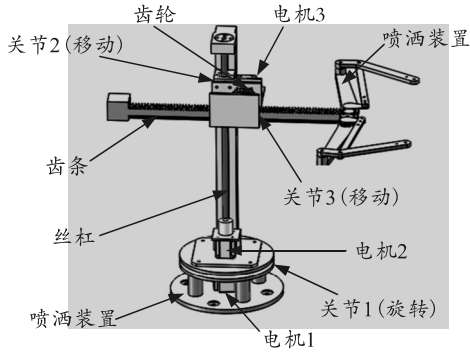


图 6 RPP 型喷洒机械手机构

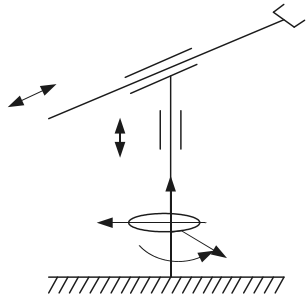


图 7 RPP 型机械手运动简图

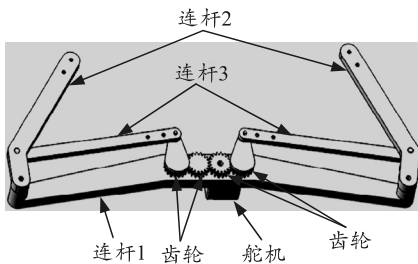


图 8 喷洒装置机构

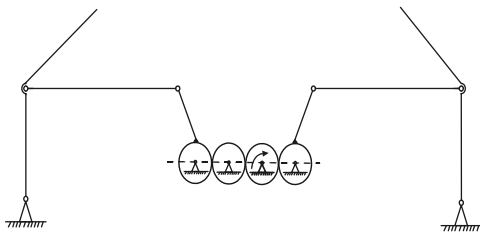


图 9 喷洒装置机构运动简图

3 机器人运动学分析

为更好地实现对机器人的控制，需建立机器人的线速度、角速度与驱动轮速度之间的关系。如图

10 所示，机器人有 4 个接触点、2 个标准驱动轮和 2 个随动轮。由于随动轮只是辅助运行，起支撑和变向的作用，因此，在运动学分析时可忽略不计^[9]。在简化模型之后，平台由左右 2 个轮子表示^[10]，假设移动平台质量是均匀的，重心位于底座的中心部位，忽略地面和轮子之间存在的摩擦力，建立的机器人运动模型如图 11 所示。

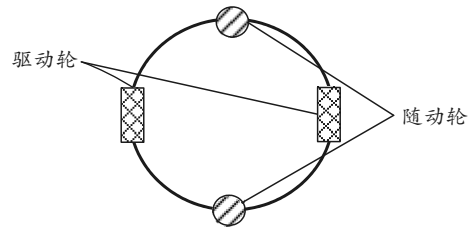


图 10 轮子排列

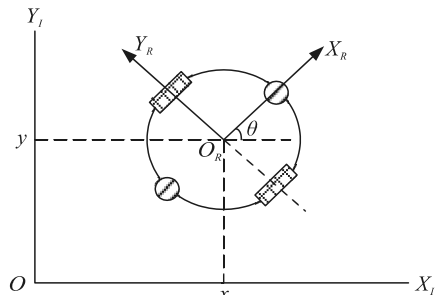


图 11 运动模型

图中 X_I-O-Y_I 构成了全局坐标系，在浇花机器人当前坐标中心建立机器人坐标系 $X_R-O_R-Y_R$ 。沿两驱动轮中心连线，连线的中心点作为机器人坐标系的原点 O_R ，过原点作垂直于 2 驱动轮之间的连线，指向前随动轮中心的方向作为机器人坐标系水平轴 X_R ，水平轴 X_R 逆时针旋转 90° 作为 Y_R 轴。其中，2 驱动轮的中心点在全局坐标系中的投影坐标为 (x, y) ，机器人坐标系 X_R 轴正方向与全局坐标系的 X_I 轴正方向之间的夹角 θ 为机器人的航向角，投影坐标和航向角构成机器人的位姿向量 $[x \ y \ \theta]^T$ 。假设左侧驱动轮的旋转速度为 ω_L ，右侧驱动轮的旋转速度为 ω_R ，两驱动轮的半径均为 r ，轴间距为 d ，则存在以下关系：

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= (r\omega_L + r\omega_R) \cos \theta / 2 \\ \dot{y} &= (r\omega_L + r\omega_R) \sin \theta / 2 \\ \dot{\theta} &= (r\omega_R - r\omega_L) / d \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式(1)进一步简化为：

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \theta / 2 & r \cos \theta / 2 \\ r \sin \theta / 2 & r \sin \theta / 2 \\ -(r/d) & r/d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L \\ \omega_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

由式(2)可得机器人中心位置的线速度和角速

度，分别如下式所示：

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \frac{r}{2}(\omega_L + \omega_R); \quad (3)$$

$$\omega = \dot{\theta} = \frac{r}{d}(\omega_R - \omega_L)。 \quad (4)$$

由式(3)和(4)可知：已知机器人的线速度和角速度，可计算出机器人左右两轮的速度。同时，通过对运动学的分析，得到了浇花机器人的运动规律和模型，为后续控制系统的开发提供了理论依据^[11]。

4 控制系统设计

浇花机器人的机械结构为后期控制系统的开发提供了良好的物理实验平台，而控制机械本体实现预期的运动功能非常重要^[11]。有 2 种工作模式用于控制浇花机器人，一种为自主控制模式，另一种为手动模式。在自主控制模式下，主控制器 STM32F4 通过处理判断无线通信模块 NRF24L01 传回的湿度传感器采集的盆栽土壤湿度信息，机器人自主移动到需浇水的盆栽位置，机械手对盆景进行喷洒，浇水结束后机器人返回原地。在手动模式下，由操作者通过操作遥控器发出指令来控制机器人运动。机器人控制系统主要由控制核心和无线通信、巡线、供电、智能避障、智能喷洒、电机驱动控制、土壤湿度检测和水量检测等模块组成，整体结构如图 12 所示。

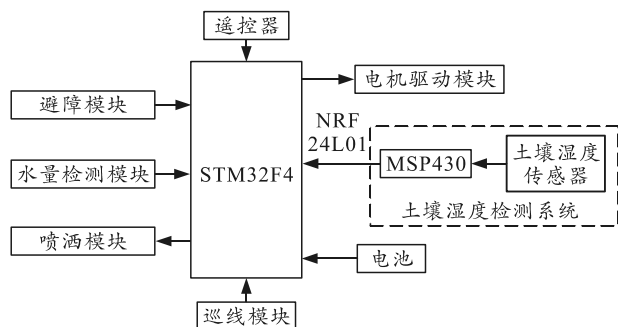


图 12 控制系统总体结构

4.1 系统硬件设计

1) 控制核心主要负责协调控制系统中各个模块部分^[11]。选择 ST(意法半导体)公司生产的 ARM 微控制器 STM32F4 作为浇花移动机器人的控制 CPU。ARM 芯片功能强大，操作频率可达 168 MHz 且兼容丰富的外设，被广泛应用于需要低功耗和高集成度的自主移动机器人平台中。

2) 动力源采用 2 个 24 V 12.5 AH 的锂电池，负责为控制器、电机驱动模块、电压转换电路和水泵等提供动力^[11]。

3) 电机驱动模块负责接收主控制器发送的指令，驱动机器人本体电机完成相应动作。

4) 土壤湿度检测系统负责检测土壤湿度信息，并将数据通过 NRF24L01 模块发送给主控板，通过分析数据来判断盆栽是否需要浇水。土壤湿度检测系统由超低功耗的微控制器 MSP430、无线通信模块 NRF24L01 和土壤湿度检测传感器 MS10 共 3 部分组成^[12-15]。

5) 在通信过程中采用了 NRF24L01 模块作为无线通信手段^[14]。无线通信芯片 NRF24L01 工作频率可达 2.4 GHz，其传输、工作频率等工作参数可通过 4 线 SPI 端口实现传输，并且传输距离满足室内数据传输的要求^[15]。

6) 喷洒模块主要由水泵和继电器组成。继电器具有高灵敏度、无驱动芯片、易于使用和操作等特点，可由控制器直接控制。通过控制继电器来间接控制水泵。

7) 巡线模块采用线性 CCD 图像采集传感器 TSL141。该传感器包含开关逻辑和移位寄存器电路，且具有 128 像素^[16]。另外，TSL1401 具有信号调节电路，输出值无需放大可直接连接 STM32F4 控制器的 A/D 采集端口^[4]。

8) 避障模块采用收发一体式设计的 KS106 超声波传感器，负责检测机器人移动过程中是否存在障碍物，该传感器探测范围为 138~6 000 mm，测人可达 1 500 mm，其探测频率可达 50 Hz；有 I²C、485 和串口 3 种通信方式可选，可自动响应主机的控制指令。

9) 水量检测模块使用压力传感器和水位传感器 XKC-23 实时检测储水箱的实际水量。水位传感器通过电位器调节控制相应阈值，当检测到水位时，输出高电平；未检测到水位时，输出低电平。压力传感器采用了 A/D 转换器芯片 HX711^[17]，无需对芯片内部的寄存器进行编程，与控制的通信接口只需 2 根线^[4,15]。

4.2 系统软件设计

机械系统的设计为控制系统的开发提供了良好的物理实验平台，而要实现预期功能，控制系统的软件设计显得非常重要。软件设计可分为超声波传感器中断初始化程序等驱动控制层和电机驱动程序的应用驱动程序、湿度检测传感器驱动程序和应用控制层。整体软件采用编译软件 keil5 进行编译，C 语言编程。图 13 所示为具体流程。

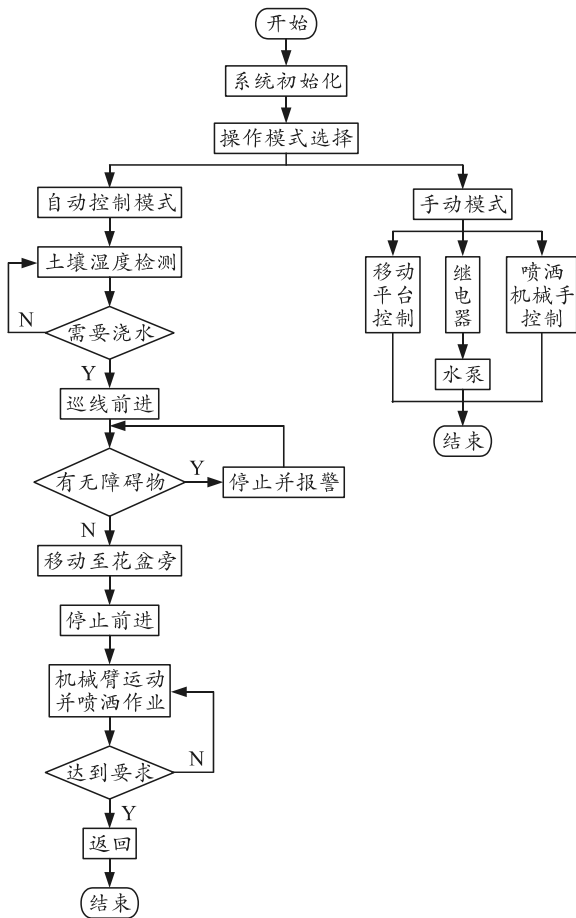


图 13 软件系统流程

5 室内移动式浇花机器人实验样机

浇花机器人的实际样机如图 14 所示。从实验调试结果来看：机器人本体机构较为合理，可实现对喷洒高度进行调节及对不同外径的植物进行喷洒作业；从机器人接收信号到喷洒机械手喷洒作业，系统运行稳定，可较好地实现预期功能。



(a) 机器人接受信号巡线前进



(b) 机械臂底座旋转 90°



(c) 喷洒装置展开并喷洒作业



(d) 机械臂上下移动喷洒



(e) 机械臂上下移动喷洒



(f) 喷洒结束

图 14 机器人喷洒作业过程

6 结束语

移动式浇花机器人系统采用 ARM Core-M4 内核的 STM32F4 作为移动机器人的控制中心，线性 CCD 图像采集传感器 TSL1401 作为巡线模块，微控制器 MSP430、土壤湿度检测传感器 MS10 作为土壤湿度检测模块，NRF24L01 无线收发芯片作为无线通信模块，机器人能够实现自动按照预定路径行走，对需要浇水的盆栽进行浇水作业；移动平台储水量可达 15 kg，负载可达 20 kg，为机器人后期加入其他功能模块提供了可能；RPP 型喷洒机械手，可实现对不同高度和外径的盆栽进行喷洒作业，加大了机器人的应用范围。同时，对移动机器人进行运动学分析，获得其运动规律及模型，可利用上述运动模型为控制系统的设计提供理论支撑。对样机进行实验调试的结果表明：机器人移动本体机构合理，系统运行稳定，较好地实现了浇花作业任务，在大型办公或娱乐等场所具有良好的经济效益和发展前景。

参考文献：

- [1] 方琪, 周世虹. 我国人口老龄化问题及其对策分析[J]. 锦州医科大学学报(社会科学版), 2017, 15(4): 31-34.
- [2] 苏剑波. 服务型机器人的新时代[J]. 自动化博览, 2014(7): 17-17.
- [3] 陈阳. 服务机器人技术研究现状与发展趋势[J]. 中国科学: 信息科学, 2012, 42(9): 1049-1066.
- [4] LYU P F, WANG S G, LI J, et al. "Design of Intelligent Watering Robot" 2020 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation(ICMA)[C]. Beijing: IEEE, 2020: 1499-1504.
- [5] 崔庆权, 宁晶. 多节点网络化智能盆栽浇花机器人的研究[J]. 电子测量技术, 2019, 42(1): 87-90.
- [6] 张展, 赫翔, 徐宇豪. 基于 UWB 定位的家用智能浇花机器人系统设计[J]. 现代物业, 2018(7): 58.
- [7] 宋黎明, 马福贵. 基于 STM32 的智能草坪修剪机器人设计[J]. 机电工程技术, 2020, 49(10): 141-143.