

IV. Технологии, материаловедение, энергоэффективность

For citation: Cao Hao, Yang Chen. Structural design of a microcontroller-based table tennis ball pick-up robot // Grand Altai Research & Education — Issue 1 (24)'2025 (DOI: 10.25712/ASTU.2410-485X.2025.01) — EDN: <https://elibrary.ru/QTAZVS>

UDK 007.52

STRUCTURAL DESIGN OF A MICROCONTROLLER-BASED TABLE TENNIS BALL PICK-UP ROBOT

Cao Hao¹, Yang Chen²

1 Hubei key Laboratory of Digital Textile Equipment, School of Mechanical Engineering and Automation Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China

2 School of Mechanical and Electrical Engineering, Wuhan Donghu University, Wuhan, 430212, China
E-mail: 2698830864@qq.com, 2862239192@qq.com

Abstract: In table tennis scenarios, there are many difficulties in picking up table tennis balls after training and matches. The traditional way of picking up table tennis balls by manpower is extremely inefficient, especially when the balls are scattered all over the field or even rolled to the narrow area, the manpower picking up not only consumes a lot of time and energy, but also easy to lead to the staff's discomfort due to frequent bending down. With the rapid development of science and technology, the application of robotics in various fields is becoming more and more extensive, and the research and development of table tennis ball pick-up robot has become a key direction to solve the problem. The microcontroller-based table tennis ball pickup robot designed in this paper takes STM32F103C8T6 microcontroller as the core controller, and integrates servo motors, infrared sensors, ultrasonic sensors and collection devices and other hardware modules. The robot can quickly and accurately identify the environment of the arena, and efficiently pick up and place the table tennis balls through the spiral pickup device and collection device. The design is highly flexible and stable, and can quickly and accurately locate the table tennis balls in small training venues, which greatly enhances the efficiency of picking up table tennis balls and improves the training experience of the athletes. The successful implementation of this design will significantly improve the efficiency of table tennis training and significantly reduce manpower investment, which has outstanding practicality and promotion value.

Key words: table tennis ball pick-up robot; STM32F103C8T6; sensors; spiral pickup device

一种基于单片机乒乓球拾取机器人的结构设计

曹浩¹, 杨晨²

1 武汉纺织大学, 湖北省数字化纺织装备重点实验室, 机械工程与自动化学院, 武汉, 430073

2 武汉东湖学院, 机电工程学院, 武汉, 430212

摘要: 在乒乓球运动场景中, 乒乓球训练与比赛后球的拾取工作存在诸多难题. 传统依靠人力拾取的方式效率极为低下, 尤其当乒乓球散落于场地各处甚至滚至狭小区域时, 人力拾取不仅耗费大量时间与精力, 还易导致工作人员因频繁弯腰而引发身体不适. 随着科技的飞速发展, 机器人技术在各领域的应用日益广泛, 乒乓球拾取机器人的研发成为解决该问题的关键方向. 本文设计的基于单片机的乒乓球拾取机器人, 以 STM32F103C8T6 单片机作为核心控制器, 集成伺服电机, 红外传感器, 超声波传感器及收集装置等硬件模块. 该机器人能够迅速对

场馆环境进行精准识别,通过螺旋拾取装置和收集装置有效实现乒乓球的自动拾取与投放操作.其设计具备高度灵活性与稳定性,在狭小训练场地中也能快速、精准地定位乒乓球位置,极大地提升了乒乓球的拾取效率,有力改善了运动员的训练体验.该设计的成功实施将显著提高乒乓球训练效率,大幅减少人力投入,具有突出的实用性与推广价值.

关键词: 乒乓球拾取机器人; STM32F103C8T6; 传感器; 螺旋拾取装置

0 引言

在体育训练与赛事举办的场景中,乒乓球作为一项极具影响力的运动项目的核心器材,其使用频率极高.无论是在专业的乒乓球训练场馆,还是学校、社区等业余运动场所,乒乓球在日常训练和比赛过程中常常会因各种原因掉落于地面.在多数情况下,目前主要依靠人工手动进行拾取,这在实际操作中暴露出了诸多问题.

从效率层面来看,人工捡球速度缓慢,尤其是在训练强度较大,乒乓球散落范围广的情况下,后勤人员需要耗费大量的时间和精力去逐一捡起乒乓球,严重影响了训练的连续性和效率.随着现代科技的飞速发展,机器人技术在各个领域的应用日益广泛且成果显著.在此背景下,将机器人技术引入乒乓球拾取工作领域具有极为重要的现实意义.研发一款专门针对乒乓球拾取的智能机器人,能够极大地提升乒乓球的回收效率,有效缓解人力负担.借助先进的传感器技术和智能控制算法,机器人能够迅速精准地定位乒乓球的位置,并在复杂多变的场地环境中灵活穿梭,准确无误地完成拾取任务,从而有效减少训练和比赛过程中的中断时间,提升整体运动体验.

本研究将重点围绕传感器的合理选型,机械结构的优化设计与制造,系统硬件的适配选型及程序流程的科学规划等关键方面展开深入探究.通过对这些核心内容的系统研究,致力于开发出一款具有高度实用性和创新性的乒乓球拾取机器人,以满足乒乓球运动场景中的实际需求,为乒乓球运动的高效开展提供有力的技术保障.

1 乒乓球拾取机器人的系统架构与工作原理

1.1 系统架构

该设计以 STM32F103C8T6 单片机作为控制核心,利用红外传感器对乒乓球馆内环境进行扫描识别,获取场馆内乒乓球的空间位置后将信息传回处理单元计算机器人与乒乓球的距离并规划路线;将处理好的信息传输到机器人控制系统,再由控制系统控制机器人电机运行,驱动机器人移动到目标位置拾取乒乓球;到达指定位置后,机器人内部拾取机构开始工作,控制系统驱动机器人前端滚筒状收集器工作,收集到的乒乓球通过机器人内部螺旋抬升机构集中运送到储存结构中,储存结构整体外形为箱型,上方可以开合;在机器人运动的过程中,超声波传感器开始工作,监测机器人周围的障碍物,实现自动避障;稳压模块进行降压和稳压操作以获得所需的电压.其控制系统结构如图1所示:

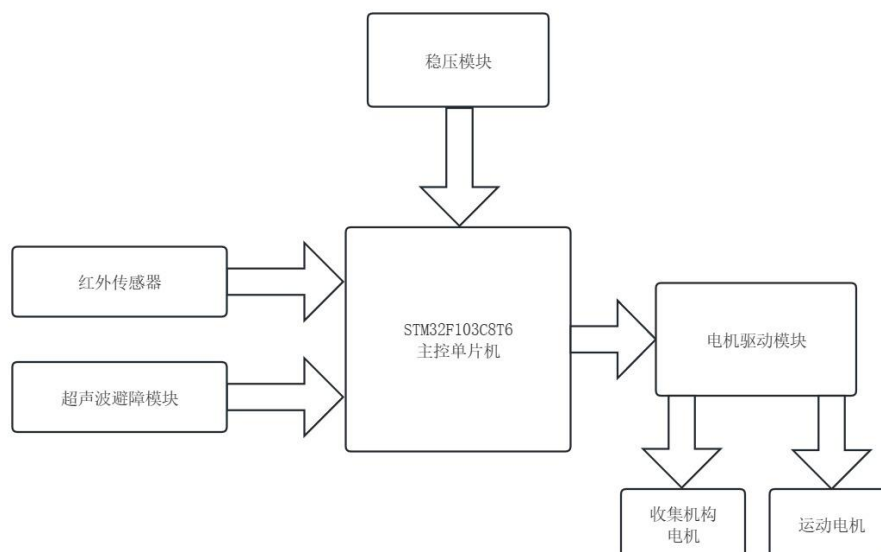


图1 机器人控制系统结构图

Figure 1. Robot control system structure diagram

1.2 工作原理

乒乓球拾取机器人在体育训练及赛事保障领域发挥着关键作用，其研发已成为智能机器人技术在体育场景应用的重要研究方向，设计思路与运行原理对提升乒乓球场地管理效率，降低人力成本意义重大。设计的乒乓球拾取机器人整体架构示意如图2所示：

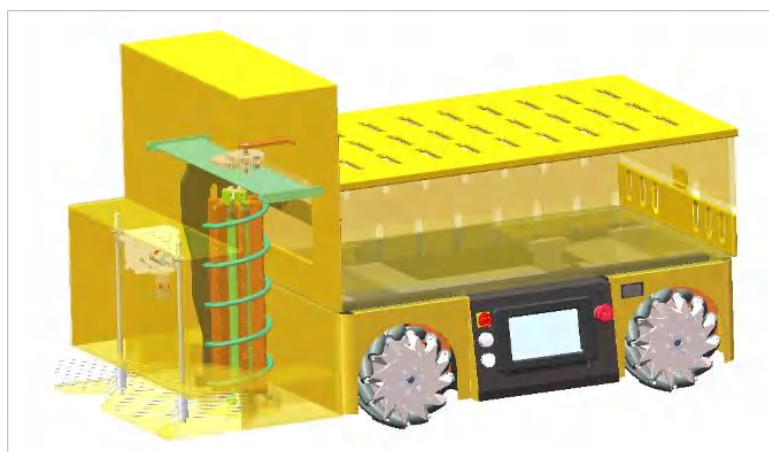


图2 乒乓球拾取机器人的整体结构

Figure 2. Overall structure of a table tennis ball pick-up robot

本设计旨在让机器人独立自主完成捡球，收集，回收全过程。这需要机器内部多种传感设备和工作模块参与分析运算与决策。其工作原理如下：

机器人启动后，红外传感器开始扫描场地，一旦检测到乒乓球，便将位置数据传至单片机。单片机依据预设算法计算机器人与球的距离并进行路径规划，随后驱动电机使机器人靠近目标。当机器人到达乒乓球位置后，拾取装置启动。直流电机带动锥齿轮旋转，海绵材质的“扫把”将乒乓球扫入机身。接着，乒乓球经

螺旋装置提升运输至收集容器. 螺旋装置由内部旋转体和螺旋轨道组成, 利用乒乓球重力与旋转体摩擦力实现稳定输送.

在整个工作过程中, 超声传感器持续监测环境, 若发现障碍物, 会立即反馈给单片机, 单片机随即调整机器人运动方向, 确保运行安全. 为保障机器人执行步骤的完整, 并形成闭环, 在工作流程图设计中, 设置了多次判定程序, 机器人系统工作流程图如图3 所示:

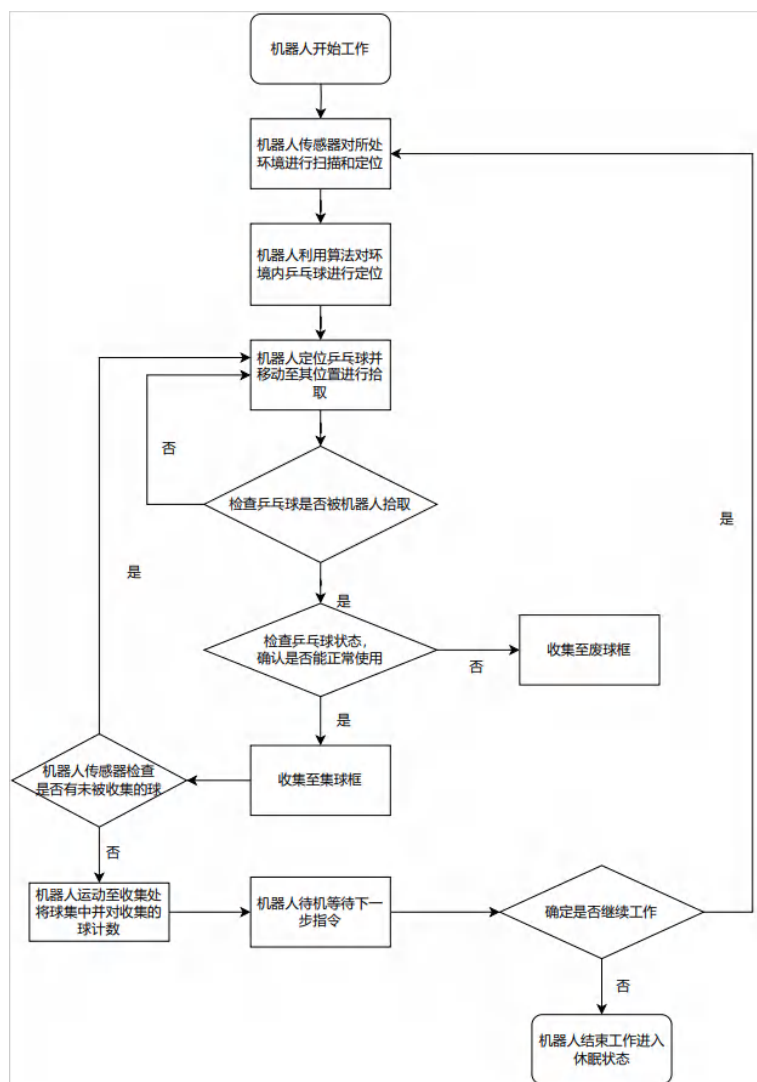


图3 机器系统工作流程图
Figure 3. Machine system workflow diagram

2 乒乓球拾取机器人的机械结构设计

2.1 车轮选型及底盘布局

乒乓球拾取机器人的车轮选型与底盘布局对其运动性能至关重要. 在车轮选择上, 经综合考量多种类型车轮的特性, 本设计选用麦克纳姆轮, 如图4 所示. 与传统车轮相比, 麦克纳姆轮独特的结构使其能够实现全向移. 其圆周分布的若干辊子, 在特定的轮速组合下, 可产生不同方向的合力, 从而让机器人在平面内实现前后, 左右, 斜向以及原地旋转等多种运动方式, 这一特性在乒乓球场地这种需要频繁改变方向和灵活走位的环境中优势显著.

在底盘布局方面, 为确保机器人运动的平稳性和高效性, 麦克纳姆轮采用对角线上轮子旋向相同的布局方式. 通过精确的力学分析与运动模拟可知, 这种布局能有效抵消辊子运动时产生的侧向力. 在机器人加速, 减速或转向过程中, 各轮子的受力分布更加均匀, 避免因受力不均导致的底盘晃动或偏移, 使机器人在运动过程中保持稳定的姿态, 进而精准地抵达目标位置拾取乒乓球. 底盘结构如图5 所示:

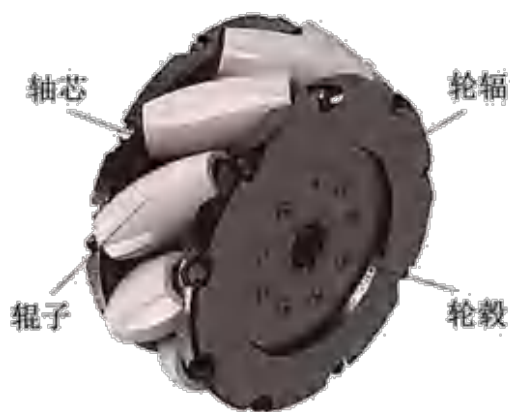


图4 麦克纳姆轮
Figure4. McNamee Wheel

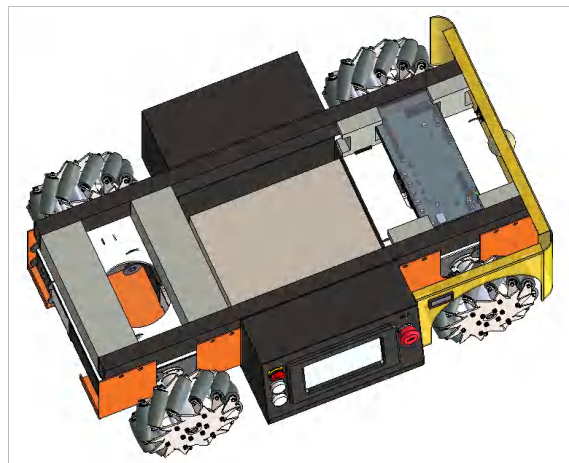


图5 底盘结构图
Figure5. Chassis structure diagram

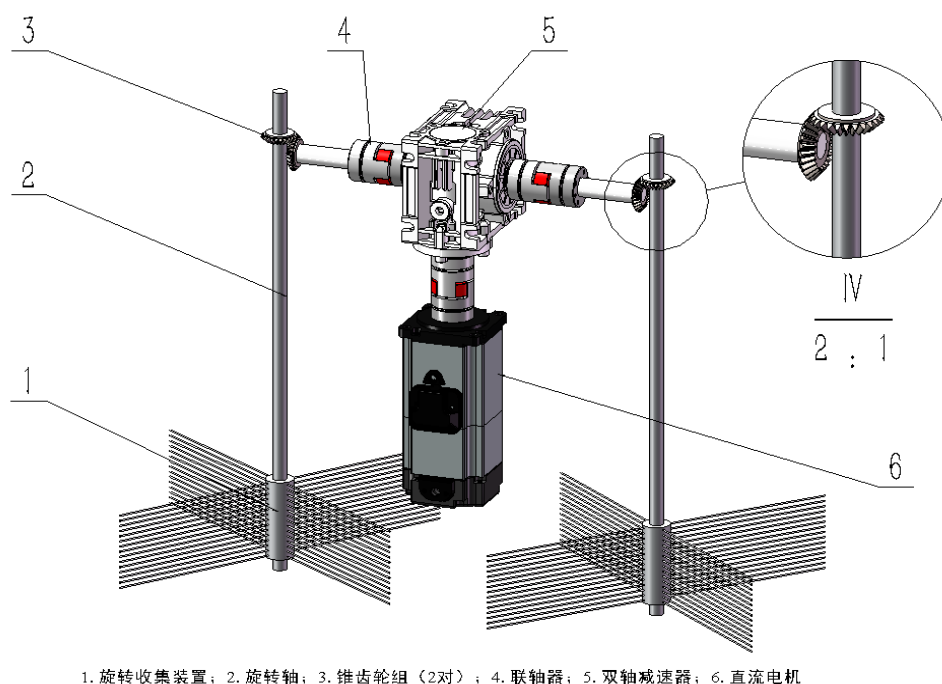
2.2 拾取装置的设计

在乒乓球拾取装置的设计上, 经过对众多现有收集装置的深入研究与分析, 本设计创新地采用了由直流电机和一对锥齿轮组成的结构.

锥齿轮安装于机器人内部, 与双头锥齿轮轴相互啮合且对称布置, 动力源为 CM08IG25SBV 小型调速直流电机. 根据扫地机器人的工作原理, 在锥齿轮另一端固定类似 "扫把" 的装置. 在材料选择上, 考虑到乒乓球的物理特性以及避免拾取过程中的弹力干扰, "扫把" 部分采用海绵材料. 海绵质地柔软, 既能保证与乒乓球良好接触, 又能有效防止乒乓球因碰撞而被弹走.

工作时, 直流电机启动, 带动双头锥齿轮轴运转, 进而驱动锥齿轮工作, 使一对 "扫把" 旋转, 将乒乓球扫入机器人内部, 实现高效收集. 在锥齿轮选型过程中, 充分考虑收集装置的成本, 材料获取便利性, 传动效率以及运行稳定性等因素, 选用 E-KGEAST1.0-2525-10 直型锥齿轮. 其模数为1, 减速比为1, 齿数为25, 轴孔径为 10mm, 齿宽 5.3mm, 确保了动力传递的高效与稳定, 满足乒乓球拾取的实际需求.

拾取装置整体结构如图6 所示:



1. 旋转收集装置; 2. 旋转轴; 3. 锥齿轮组 (2对); 4. 联轴器; 5. 双轴减速器; 6. 直流电机

图6 拾取装置结构图:

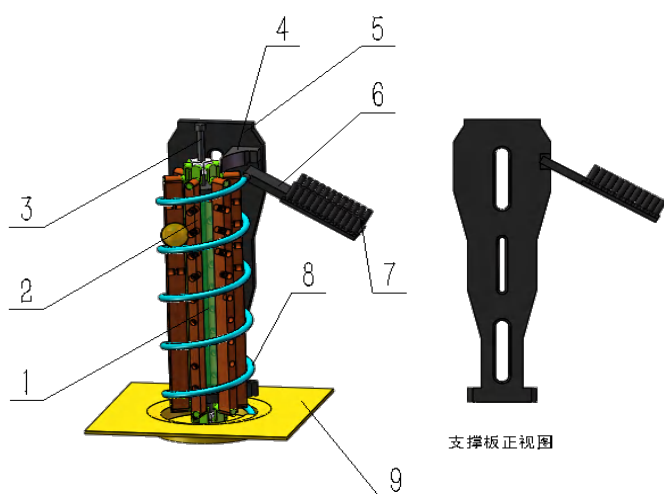
1 – 旋转收集装置; 2 – 旋转轴; 3 – 锥齿轮组 (2对); 4 – 联轴器; 5 – 双轴减速器; 6 – 直流电机

Figure 6. Structure of the pick-up device:

1 – Rotary collecting device; 2 – Rotary shaft; 3 – Bevel gear set; (2 pairs),
4 – Coupling; 5 – Twin-shaft reducer; 6 – DC motor

2.3 螺旋装置的设计

该装置由内部旋转体和螺旋轨道两大部分组成, 被拾取装置收集到机器人内部的乒乓球由螺旋装置抬升后被运送到收集框中, 装置底座存在坡度, 乒乓球由于自身重力向螺旋装置中心靠拢, 内轴与螺旋轨道将乒乓球固定, 同时内轴旋转使乒乓球向上运动, 示意图如图7所示. 当乒乓球运动至顶端后被导向板引导至输出板, 乒乓球通过输出板进入收集框.



1. 内轴; 2. 扫球板; 3. 传动轴; 4. 支撑板; 5. 乒乓球导向板;
6. 乒乓球输出板; 7. 导向护板; 8. 螺旋轨道; 9. 底座

图7 螺旋装置:

1 – 内轴; 2 – 扫球板; 3 – 传动轴;
4 – 支撑板; 5 – 乒乓球导向板;
6 – 乒乓球输出板;
7 – 导向护板; 8 – 螺旋轨道;
9 – 底座

Figure 7. Spiral device:

1 – Inner shaft; 2 – Sweeping plate;
3 – Drive shaft; 4 – Support plate;
5 – Table tennis guide plate;
6 – Table tennis output plate;
7 – Guide plate; 8 – Spiral track;
9 – Base plate

2.4 乒乓球收集容器的设计

乒乓球收集容器与螺旋装置的乒乓球输出板连接，用于储存收集到的乒乓球，其后方设计有可开合的盖板，便于工作人员取出乒乓球，使用可拆卸的顶盖封盖容器，便于出现故障时工作人员检查内部情况。因乒乓球为球形，不易固定，特将收集容器的底部设有坡度，前端高，后端低，落到容器内的乒乓球会因重力聚集到容器后半部分，减少滚动。同时，为防止乒乓球在掉落时产生连续的噪音与较大的回弹，在容器底部铺设了一层缓震海绵，其示意图如图8所示：

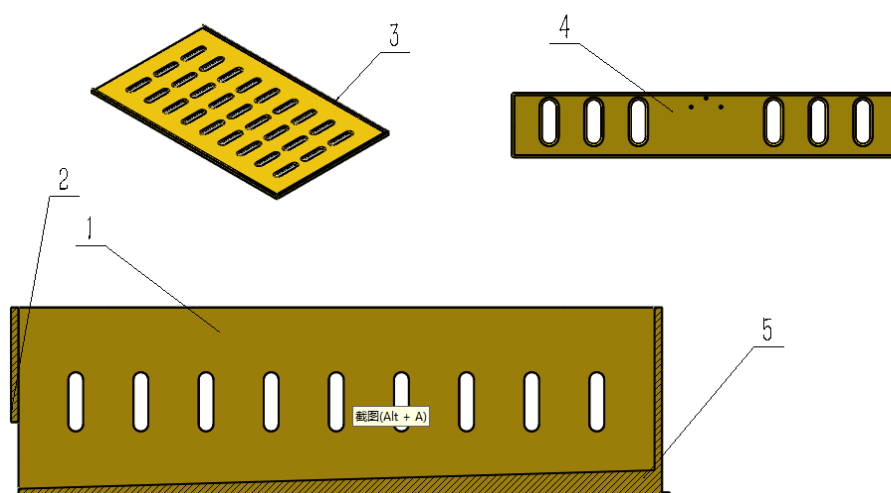


图8 乒乓球收集容器示意图

1 – 容器框架; 2 – 后盖板安装处; 3 – 顶部盖板; 4 – 可开合盖板; 5 – 底部斜坡

Figure 8. Schematic diagram of table tennis collection container:

1 – container frame; 2 – rear cover mounting; 3 – top cover; 4 – openable cover; 5 – bottom ramp

3 结束语

本文针对乒乓球训练场景中的拾球痛点，成功设计并实现了一种基于单片机的乒乓球拾取机器人，通过红外传感器与超声波传感器的协同工作，结合麦克纳姆轮全向移动平台和螺旋抬升机构，实现了高效、稳定的乒乓球拾取功能，为乒乓球运动场地管理提供了创新解决方案。通过对机械结构的优化设计，有效降低了运动能耗和机械故障率。未来研究将聚焦于引入先进算法提升抓取精度与速度，增强机器人对不同光照，地面材质等复杂环境的适应性，探索乒乓球分类收集功能，并积极推动成果在实际场馆中的应用转化，进一步拓展机器人的应用价值。

参考文献

- [1] 同世雄, 秦玉伟, 肖康. 基于视觉识别的乒乓球拾取机 [J]. 电子设计工程, 2022, 30(13):146-150.
- [2] 宋安琦, 李红楠, 申立佳, 等. 智能乒乓球拾取机器人设计 [J]. 科技创新导报, 2018, 15(36):2-4.
- [3] 何嘉良, 邱煜焜, 桂缀. 智能网球收集车 [J]. 科技与创新, 2019, (04):140-141.

- [4] 刘秀杰, 祝长生, 王安航, 等. 乒乓球捡取机器人的设计与实现 [J]. 机械设计与制造, 2022, (10):251-256+261
- [5] 彭飞, 王会良, 谷青峰, 等. 基于 STC89C52 单片机的智能搬运机器人设计 [J]. 科学技术创新, 2019, (10):74-75.
- [6] 冯长业. 基于麦克纳姆轮技术的自动化引导车 (AGV) 设计 [J]. 河南科技, 2024, 51(15):31-36.
- [7] 黄晓宇, 孙勇智, 李津蓉, 等. 基于 MPC 的麦克纳姆轮移动平台轨迹跟踪控制 [J]. 机械传动, 2023, 47(11):22-29.
- [8] 赵晓玉, 李宇, 李玲玲. 一种智能乒乓球捡拾机器人的设计研究 [J]. 科技风, 2020, (24):78-79.

References

- [1] Tong Shixiong, Qin Yuwei, Xiao Kang. Table Tennis Ball Picking Machine Based on Visual Recognition [J]. Electronic Design Engineering, 2022, 30(13): 146-150.
- [2] Song Anqi, Li Hongnan, Shen Lijia, et al. Design of an Intelligent Table Tennis Ball Picking Robot [J]. Science and Technology Innovation Herald, 2018, 15(36): 2-4.
- [3] He Jialiang, Qiu Yukun, Gui Zhui. Intelligent Tennis Collection Vehicle [J]. Science, Technology and Innovation, 2019, (04): 140-141.
- [4] Liu Xiujie, Zhu Changsheng, Wang Anhang, et al. Design and Realization of a Table Tennis Ball Picking Robot [J]. Machinery Design & Manufacture, 2022, (10): 251-256+261.
- [5] Peng Fei, Wang Huiliang, Gu Qingfeng, et al. Design of an Intelligent Handling Robot Based on STC89C52 Single-Chip Microcomputer [J]. Scientific and Technological Innovation, 2019, (10): 74-75.
- [6] Feng Changye. Design of an Automatic Guided Vehicle (AGV) Based on Mecanum Wheel Technology [J]. Henan Science and Technology, 2024, 51(15): 31-36.
- [7] Huang Xiaoyu, Sun Yongzhi, Li Jinrong, et al. Trajectory Tracking Control of a Mecanum Wheel Mobile Platform Based on Model Predictive Control (MPC) [J]. Journal of Mechanical Transmission, 2023, 47(11): 22-29.
- [8] Zhao Xiaoyu, Li Yu, Li Lingling. Design and Research of an Intelligent Table Tennis Ball Picking Robot[J]. Technology Wind, 2020, (24): 78-79.