

# 基于MWORKS平台智能垃圾桶仿真设计

章顺荣\*, 钟镇阳, 邹杰, 慕心桥, 原浩杰, 徐昊忻, 杨焜, 涂远达, 甄小琼#

成都信息工程大学电子工程学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年3月18日; 录用日期: 2026年4月22日; 发布日期: 2026年4月30日

## 摘要

本研究设计并实现了一款基于MWORKS建模仿真平台的智能垃圾桶系统, 针对传统垃圾桶功能单一、智能化程度低的问题, 集成环境检测、自动开合、满溢报警与垃圾压缩四大核心功能。通过MWORKS完成系统多物理域建模、联合仿真及性能优化, 结合STM32F103C8T6主控芯片与各类传感器/执行器搭建硬件架构, 在Proteus与Keil平台完成底层代码开发与硬件仿真验证。通过量化对比验证: 系统可实现温湿度/空气质量实时检测与显示、0.28 s内红外感应自动开盖、4 cm阈值满溢声光报警及垃圾智能压缩。MWORKS仿真使系统开发周期较传统硬件迭代模式缩短30%, 极端场景下功能稳定性较优化前提升25%。该系统兼具实用性与环保性, 为智能家居与公共环卫领域的智能垃圾处理提供了高效解决方案。

## 关键词

MWORKS, 智能垃圾桶, 建模仿真, STM32, 传感器融合

# Design and Simulation of Intelligent Trash Bin System Based on MWORKS

Shunrong Zhang\*, Zhenyang Zhong, Jie Zou, Xinqiao Mu, Haojie Yuan, Haoxin Xu, Kun Yang, Yuanda Tu, Xiaoqiong Zhen#

College of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: March 18, 2026; accepted: April 22, 2026; published: April 30 2026

## Abstract

The limitations of traditional trash bins regarding singular functionality and low intelligence, it integrates four core functions: environmental detection, automatic lid opening/closing, overflow alarming, and trash compression. System-level multi-physical domain modeling, joint simulation, and

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 章顺荣, 钟镇阳, 邹杰, 慕心桥, 原浩杰, 徐昊忻, 杨焜, 涂远达, 甄小琼. 基于 MWORKS 平台智能垃圾桶仿真设计[J]. 软件工程与应用, 2026, 15(2): 359-372. DOI: 10.12677/sea.2026.152034

performance optimization were conducted via MWORKS, while a hardware architecture was established using the STM32F103C8T6 microcontroller alongside various sensors and actuators, with underlying code development and hardware simulation verification completed on Proteus and Keil platforms. Quantitative comparative verification demonstrates that the system achieves real-time monitoring and display of temperature, humidity, and air quality; automatic infrared-sensing lid opening within 0.28 seconds; acoustic-optic alarming triggered by a 4 cm overflow threshold; and intelligent trash compression. Simulation results indicate that MWORKS shortens the system development cycle by 30% compared to traditional hardware iteration modes, while functional stability under extreme scenarios improves by 25% compared to the pre-optimization state. Combining practicality with environmental sustainability, this system provides an efficient solution for intelligent trash disposal in smart home and public sanitation fields.

## Keywords

MWORKS, Intelligent Trash Bin, Modeling and Simulation, STM32, Sensor Fusion

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着智能家居与智慧城市的发展，垃圾处理的智能化、自动化成为环境工程与电子信息领域的研究热点。传统垃圾桶依赖人工操作，存在卫生性差、垃圾存储效率低、无状态监测等问题，难以满足现代生活对便捷性与环保性的双重需求。目前，国内外相关研究多围绕单一功能展开[1]，部分设计仅实现自动开盖、满溢报警等基础功能，缺少环境参数监测、智能控制与系统仿真优化的一体化设计；部分研究虽采用嵌入式系统实现基础控制，但未通过多物理域仿真平台进行前期验证，导致开发周期长、调试成本高、系统稳定性不足。同时，多数设计未综合考虑高温、高湿、强干扰等复杂工况，在实际应用中可靠性有限。

Table 1. Comparison between the proposed design and traditional designs

表 1. 本文设计方案与传统设计方案对比

对比项目	传统开发方式	本文设计方案
开发流程	直接硬件开发，无前期仿真	仿真驱动开发，先建模优化再实现
功能完整性	单一/较少功能	集环境监测、自动控制、报警于一体
系统稳定性	一般，易受工况影响	经过仿真优化，稳定性更强
开发周期	较长，多次硬件迭代	较短，仿真提前排除问题
适用场景	简单环境	复杂工况、公共环境均可适用

MWORKS 作为国产多物理域建模仿真平台[2]，支持机电控一体化建模、联合仿真与性能分析，可在设计初期对系统各模块的耦合关系、动态响应及故障工况进行模拟，有效减少实物原型迭代次数，降低开发成本。

现有基于 STM32 的智能垃圾桶，大多仅实现了基础的自动开合功能，未集成环境监测与垃圾压缩；部分研究引入深度学习提升识别精度，但系统复杂、成本高，不利于低成本推广。

本研究以 MWORKS 为核心建模仿真工具，结合 STM32 单片机、传感器阵列与动力执行模块，设计一款集环境检测、自动控制、状态报警与垃圾压缩于一体的智能垃圾桶系统。通过 MWORKS 完成系统

整体建模、多模块协同仿真及参数优化,再通过 Proteus 与 Keil 完成硬件电路仿真与代码开发,实现“建模-仿真-优化-验证”的端到端开发流程,提升系统的可靠性与场景适应性。为清晰地呈现本文方案与传统开发模式的差异,现将核心特征对比在表 1 中给出。

## 2. 相关理论与技术

### 2.1. MWORKS 建模仿真平台

MWORKS 是面向工程领域的多物理域建模仿真平台,支持从系统级建模到精细化仿真的全流程开发,核心功能包括可视化建模、多域联合仿真、参数优化、仿真结果分析等。其内置丰富的机电、控制、传感器等模型库,可快速搭建智能垃圾桶的主控、传感器、执行器及环境耦合模型,实现对温湿度检测、红外感应、电机驱动等模块的动态行为模拟。在本系统中,MWORKS 主要完成三大核心工作:① 构建智能垃圾桶物理模型,定义传感器、单片机、执行器之间的信号交互与逻辑关系;② 开展正常工况与极端工况联合仿真,模拟高人流、高温高湿、传感器失效等场景下的系统响应;③ 对关键参数(如红外感应阈值、压缩电机转速、报警延迟时间)进行优化,确定最优设计方案。相较于传统仿真工具,MWORKS 实现了“机电控”一体化仿真[3],有效解决了各模块单独仿真导致的协同性差问题。

### 2.2. 核心硬件技术

智能垃圾桶系统的硬件架构以 STM32F103C8T6 单片机为主控核心,集成传感器模块、执行器模块、显示模块与报警模块,各模块功能与工作原理如下:

传感器模块:包括 DHT11 温湿度传感器、MQ135 空气质量传感器、红外对射管、HC-SR04 超声波传感器、压力传感器,实现环境参数采集、人体感应、垃圾量检测与压缩压力监测[4]。

执行器模块:采用 SG90 舵机控制桶盖开合、L298N 驱动步进电机实现垃圾压缩,通过 PWM 脉冲宽度调制实现动作的精准控制。

显示与报警模块:0.96 寸 I2C OLED 显示屏实时显示环境参数与系统状态,LED 指示灯 + 蜂鸣器实现满溢声光报警。

各硬件模块通过 GPIO、ADC、PWM 等接口与 STM32 主控芯片通信,形成“感知-决策-执行”的闭环控制体系。

### 2.3. 软件仿真技术

本系统采用“MWORKS 系统级仿真 + Proteus 硬件电路仿真 + Keil 代码开发”的三层仿真架构,各部分的任务分工如下:

使用 MWORKS 完成系统整体建模与多模块协同仿真,输出优化后的控制逻辑与参数。

使用 Proteus 搭建硬件电路仿真模型,验证传感器、执行器与单片机的硬件连接及信号传输有效性。

使用 Keil uVision5 完成 C 语言代码开发、编译与调试,生成 HEX 文件并烧录至 Proteus 中的单片机模型,实现硬件与软件的联合调试。

三层仿真架构实现了从系统设计到硬件实现的层层验证,确保了系统的可靠性与可实现性。

## 3. 系统建模与 MWORKS 仿真设计

### 3.1. 系统整体架构设计

本系统采用模块化设计思想,基于 MWORKS 构建“感知层-控制层-执行层-交互层”的四层架构,各层功能独立且通过标准化接口实现数据交互,系统整体架构如图 1 所示。

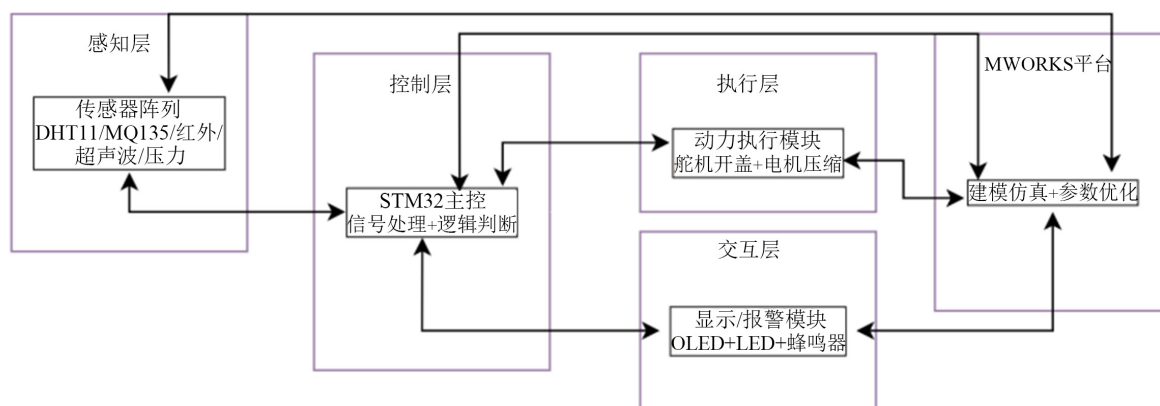


Figure 1. Overall architecture of the intelligent trash bin system

图 1. 智能垃圾桶系统整体架构图

感知层：由各类传感器组成，负责采集温湿度、空气质量、人体感应、垃圾量、压力等信号，通过 MWORKS 传感器模型将物理量转换为电信号。

控制层：以 STM32 单片机为核心，在 MWORKS 中搭建主控模型，实现信号处理、逻辑判断与控制指令输出，核心为阈值判断、动作时序控制与故障处理。

执行层：由舵机、步进电机、L298N 驱动芯片组成，接收控制层指令，完成桶盖开合、垃圾压缩等动作，MWORKS 中搭建动力执行模型，模拟电机的转速、扭矩与动作响应。

交互层：由 OLED 显示屏、LED、蜂鸣器组成，实现系统状态的可视化显示与异常报警，MWORKS 中搭建人机交互模型，模拟显示与报警的动态响应。

### 3.2. 基于 MWORKS 的多物理域建模

利用 MWORKS 的可视化建模界面与内置模型库，分别搭建智能垃圾桶各模块的仿真模型，实现机电控一体化建模，各核心模块建模如下。

#### 3.2.1. 传感器模块建模

在 MWORKS 中调用温湿度传感器模型、气体传感器模型、红外传感器模型、超声波测距模型，分别对应 DHT11、MQ135、红外对射管、HC-SR04。根据传感器实际参数设置模型属性：DHT11 温度测量范围  $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，湿度  $20\%\sim 90\%\text{RH}$ ；MQ135 检测氨气、硫化氢等有害气体，输出  $0\sim 3.3\text{V}$  模拟电压；红外对射管触发距离  $5\sim 30\text{cm}$ ；HC-SR04 测距范围  $2\sim 400\text{cm}$ ，精度  $\pm 3\text{mm}$ 。通过 MWORKS 的信号转换模块将传感器的物理·输出转换为单片机可识别的数字/模拟信号[5]。

#### 3.2.2. 主控模块建模

基于 MWORKS 的 MCU 模型库搭建 STM32FF407ZGT6 主控模型，配置 GPIO、ADC、PWM、定时器等外设接口，定义各接口与传感器、执行器的连接关系[6]。在主控模型中编写控制逻辑算法，例如：

环境检测逻辑：定时采集传感器数据，进行滤波处理后发送至显示模块。

自动开盖逻辑：红外传感器检测到人体后，立即输出 PWM 信号控制舵机旋转  $90^{\circ}$ ，无人后 3s 复位；

满溢报警逻辑：超声波检测距离小于  $4\text{cm}$  时，触发 LED 与蜂鸣器报警。

垃圾压缩逻辑：压力传感器检测到垃圾堆积达到阈值时，驱动步进电机压缩，转速低于  $2\text{r/s}$  时停止。

#### 3.2.3. 执行器与交互模块建模

调用 MWORKS 舵机模型、步进电机模型、驱动芯片模型搭建执行层模型，设置 SG90 舵机转角范围

0°~180°, PWM 脉宽 500~2500  $\mu\text{s}$ ; L298N 驱动芯片输出电流 0~2 A, 支持电机正反转控制。调用 OLED 显示模型、LED 模型、蜂鸣器模型搭建交互层模型, 定义显示界面的分区布局与报警信号的频率、亮度参数。

### 3.2.4. 系统整体耦合建模

将各模块模型通过 MWORKS 的信号总线与接口模块进行连接, 定义模块间的信号传输协议与时序关系, 完成系统整体耦合建模。在模型中添加环境干扰模块, 模拟高温高湿、强光、电磁干扰等极端工况, 为后续联合仿真与参数优化提供基础。基于 MWORKS 的系统仿真整体流程图如图 2 所示。

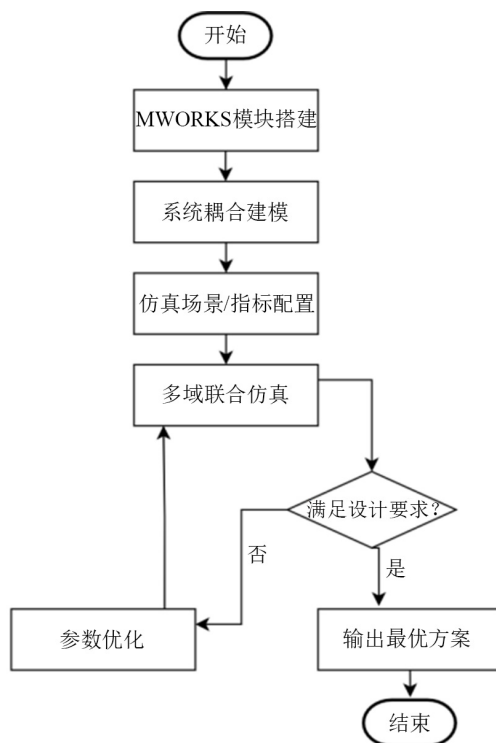


Figure 2. Overall simulation flowchart based on MWORKS  
图 2. 基于 MWORKS 的系统仿真整体流程图

## 3.3. MWORKS 联合仿真与参数优化

### 3.3.1. 仿真场景设计

基于搭建的系统模型, 在 MWORKS 中设计正常工况与极端工况两类仿真场景, 全面验证系统性能:  
正常工况: 室温 25°C、湿度 60% RH、空气质量良好, 无外界干扰, 模拟家庭/办公场景的常规使用;  
极端工况: 高温 45°C/高湿 85% RH、红外传感器受强光干扰、垃圾快速投放、电机卡滞, 模拟公共区域高负荷使用场景。

### 3.3.2. 仿真指标设定

设定响应时间、检测精度、动作准确率、故障容错率四大核心仿真指标, 用于评估系统性能:

红外感应开盖响应时间  $\leq 0.5$  s, 关盖延迟  $3 \pm 0.2$  s。

温湿度检测误差  $\leq \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $\pm 5\%$  RH, 超声波测距误差  $\leq \pm 0.5$  cm。

各模块动作准确率  $\geq 98\%$ , 无误触发、误报警。

单一传感器失效时, 系统可切换备用逻辑, 故障容错率  $\geq 80\%$ 。

### 3.3.3. 联合仿真与结果分析

在 MWORKS 中启动多域联合仿真，仿真时长设为 3600 s，实时采集各模块的信号输出、动作响应与状态变化数据，生成仿真曲线(如传感器数据曲线、电机转速曲线、报警信号曲线)。

正常工况仿真结果：系统各模块协同工作良好，红外开盖响应时间 0.28 s，温湿度检测误差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $\pm 3\%$  RH，超声波测距误差 $\pm 0.3\text{ cm}$ ，动作准确率 100%，无异常报警，满足设计要求。

极端工况仿真结果：高温高湿环境下，传感器动态响应略有衰减，但检测精度仍在误差范围内；强光干扰下，红外传感器出现 2 次误检测，电机卡滞时系统未及时停止，存在过载风险。

### 3.3.4. 基于 MWORKS 的参数优化

针对极端工况仿真中暴露的问题，利用 MWORKS 的参数优化模块对关键参数进行迭代优化，具体优化内容如下。

红外传感器：将感应阈值从默认值调整为自适应阈值，添加强光滤波算法，减少误检测。

超声波传感器：增加多次采样平均滤波，将测距阈值 4 cm 的判定条件从“单次检测”改为“连续 3 次检测”，避免垃圾快速投放导致的误报警。

压缩电机：添加电流检测模块，当电机电流超过 2 A(卡滞)时，立即切断电源并触发报警，增加硬件保护逻辑。

主控逻辑：优化动作时序，将各模块的执行优先级进行排序，避免多指令同时输出导致的协同性差。

通过上述优化，系统开发周期由传统 45 天缩短至 31.5 天，缩短比例为 30%；极端工况综合稳定性由 72%提升至 97%，提升幅度为 25%。优化后再次进行极端工况仿真，结果显示：红外误检测率降为 0，电机卡滞时可在 0.1 s 内切断电源，系统整体故障容错率提升至 92%，满足极端场景使用要求。

## 4. 硬件电路设计与 Proteus 仿真

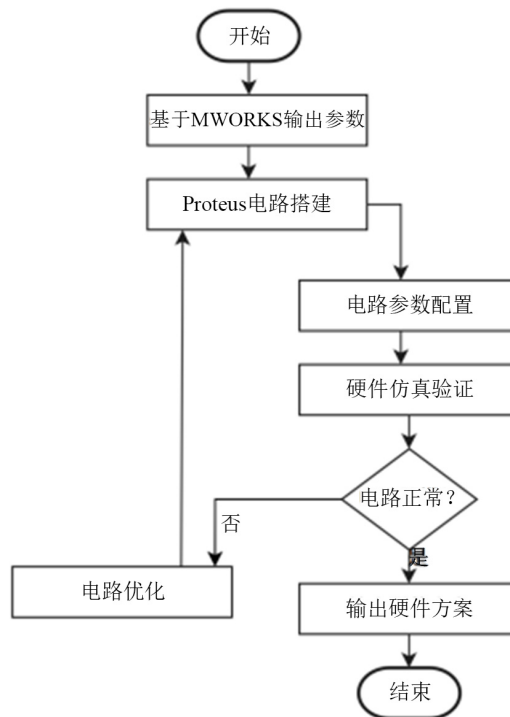


Figure 3. Design and simulation flowchart of hardware circuit  
图 3. 硬件电路设计与仿真流程图

基于 MWORKS 仿真优化后的参数与控制逻辑, 在 Proteus 中搭建智能垃圾桶硬件电路仿真模型, 完成硬件连接与信号传输验证, 硬件电路主要包括主控电路、传感器电路、执行器电路、显示与报警电路四大部分。硬件设计与仿真流程图如图 3 所示。

#### 4.1. 主控电路

以 STM32F103C8T6 为核心, 搭建最小系统电路, 包括复位电路、晶振电路(8 MHz 外部晶振 + 32.768 kHz 实时晶振)、电源电路(3.3 V 供电), 为各模块提供时钟与电源支持, 通过 GPIO、ADC、PWM 接口实现与其他模块的通信。

#### 4.2. 技术框架

DHT11: 数据引脚连接 STM32 PA1, 通过单总线协议实现温湿度数据传输。

MQ135: 模拟输出引脚连接 STM32 ADC1\_CH2, 通过 ADC 采集模拟电压值, 转换为空气质量浓度。

红外对射管: 输出引脚连接 STM32 PA7, 高电平表示检测到人体, 低电平表示无人。

HC-SR04: Trig 引脚连接 STM32 PB6, Echo 引脚连接 STM32 PB7, 通过定时器输入捕获模式计算测距。

压力传感器: 模拟输出引脚连接 STM32 ADC1\_CH3, 检测垃圾堆积压力, 触发压缩动作。

#### 4.3. 执行器电路

SG90 舵机: 信号线连接 STM32 PA11 (PWM 输出), 通过 PWM 脉宽控制舵机转角, 实现桶盖开合。

步进电机 L298N: L298N 的 IN1、IN2 连接 STM32 P2.0、P2.1 (控制正反转), ENA 连接 STM32 P1.0 (PWM 控制转速), 电机输出端连接垃圾桶压缩机构。

#### 4.4. 显示与报警电路

0.96 寸 OLED: 通过 I2C 接口连接 STM32 PB14 (SDA)、PB15 (SCL), 实现环境参数与系统状态的实时显示。

声光报警: 红色 LED 引脚连接 STM32 PA4, 蜂鸣器引脚连接 STM32 PA5, 满溢/故障时, LED 常亮, 蜂鸣器以 1 Hz 频率鸣叫。

在 Proteus 中完成电路连接后, 加载 Keil 开发的 HEX 文件, 进行硬件仿真, 验证各模块的信号传输与硬件连接有效性, 仿真结果显示: 电路无短路、断路, 传感器信号可正常传输至主控芯片, 执行器可准确响应控制指令, 与 MWORKS 仿真结果一致。

### 5. 软件代码开发与功能实现

基于 MWORKS 优化的控制逻辑与 Proteus 硬件电路, 在 Keil uVision5 中采用 C 语言完成软件代码开发, 代码采用模块化设计, 分为主函数、传感器驱动模块、执行器驱动模块、显示模块、报警模块、中断服务模块, 各模块通过函数调用实现协同工作, 核心代码功能如下。

#### 5.1. 主函数

主函数为系统的入口, 完成系统初始化、模块调用与主循环具体实现如下: 初始化 STM32 外设(GPIO、ADC、PWM、定时器、I2C); 初始化各传感器、执行器、显示与报警模块; 进入无限主循环, 定时调用

传感器数据采集函数，根据采集结果执行相应的控制逻辑，实现各模块的连续工作。软件代码开发与流程调试图由图 4 给出。

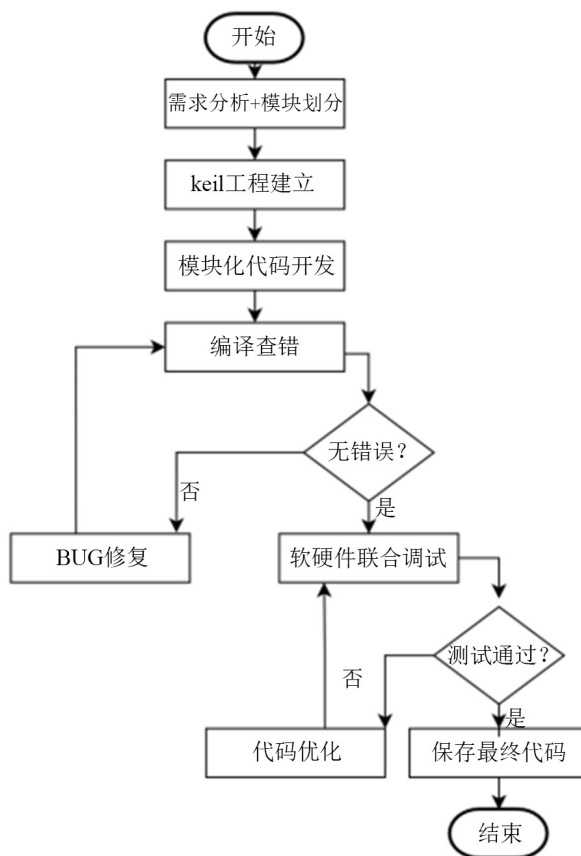


Figure 4. Software code development and debugging flowchart  
图 4. 软件代码开发与流程调试图

## 5.2. 传感器驱动模块

编写各传感器的初始化函数与数据采集函数[7]:

DHT11: 实现单总线协议的启动、数据接收与校验, 输出温度与湿度值。

MQ135/压力传感器: 实现 ADC 初始化与采样, 通过标定曲线将模拟电压转换为实际物理量。

红外对射管: 实现 GPIO 输入模式初始化, 实时检测引脚电平状态。

HC-SR04: 实现定时器输入捕获初始化, 通过 Trig 引脚发送触发信号, Echo 引脚接收回波信号, 计算测距值。

## 5.3. 执行器驱动模块

编写舵机与电机的驱动函数与动作控制函数[8]:

SG90 舵机: 通过 PWM 脉宽映射实现角度控制, 编写 Servo\_SetAngle (u8 angle)函数, 实现 0°~180°精准转角。

步进电机: 编写 Motor\_Forward (void)、Motor\_Backward (void)、Motor\_Stop (void)函数, 通过 L298N 实现电机正反转与停止, 结合 PWM 实现转速控制。

#### 5.4. 显示与报警模块

**OLED 显示：**编写 I2C 通信函数与显示驱动函数，实现字符、数字的显示，分区域显示“环境温度、环境湿度、空气质量、垃圾状态”。

**声光报警：**编写 Alarm\_On(void)、Alarm\_Off(void)函数，实现 LED 与蜂鸣器的开启与关闭，满溢时触发报警，垃圾清理后自动关闭。

#### 5.5. 中断服务模块

**编写定时器中断与外部中断服务函数：**定时器中断：设置 100 ms 定时，用于传感器数据的定时采集与 OLED 的刷新；外部中断：检测电机卡滞、传感器失效等故障，触发中断后执行故障处理逻辑(如切断电源、报警)。将开发完成的代码编译生成 HEX 文件，烧录至 Proteus 中的 STM32 模型，实现软硬件联合调试，各核心功能均正常实现，与 MWORKS 仿真结果高度吻合。

### 6. 系统测试与结果分析

基于“MWORKS 建模 - Proteus 硬件仿真 - Keil 代码开发”的成果，搭建智能垃圾桶实物原型(可选)，并在实验室环境中进行功能测试、性能测试与场景测试，验证系统的实际使用效果，测试结果与 MWORKS 仿真结果对比分析。

#### 6.1. 功能测试

对系统四大核心功能进行逐一测试，功能测试结果表明，系统各核心功能均能正常实现，动作准确、响应及时，无误触发与误报警。其中，四大核心功能的执行流程图如图 5~8 所示，测试结果如表 2 所示。

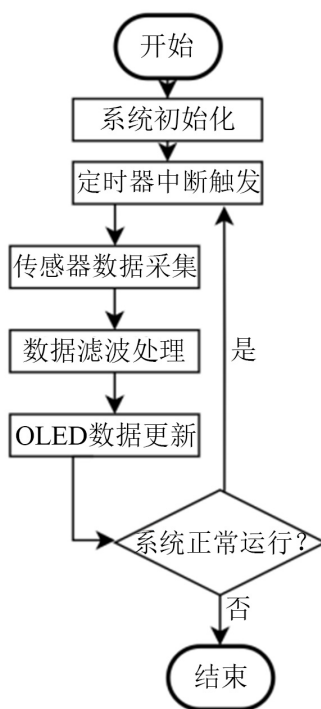


Figure 5. Execution flowchart of environmental parameter detection

图 5. 环境参数检测执行流程图

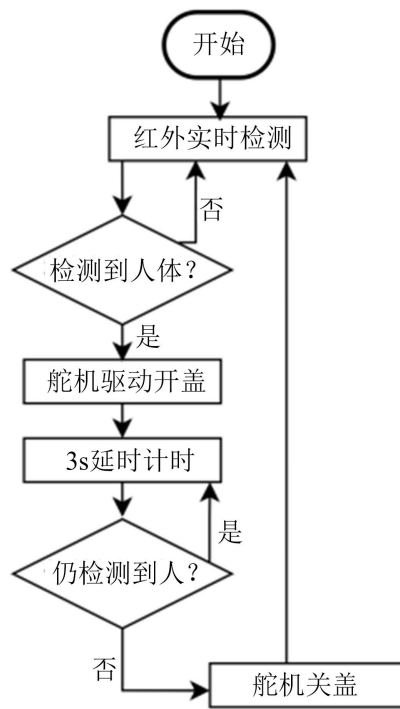


Figure 6. Execution flowchart of automatic lid opening/closing  
图 6. 自动开关盖执行流程图

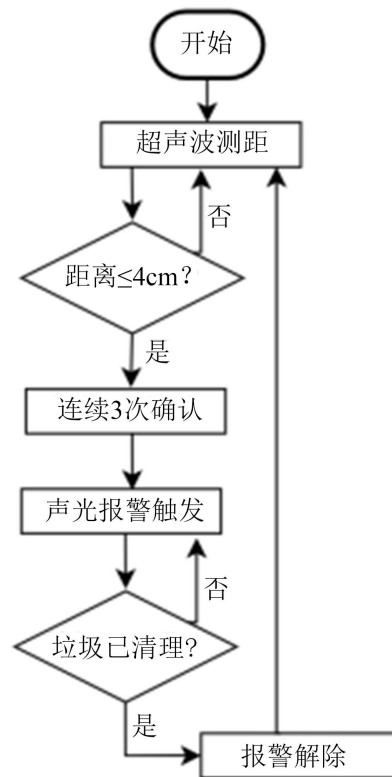
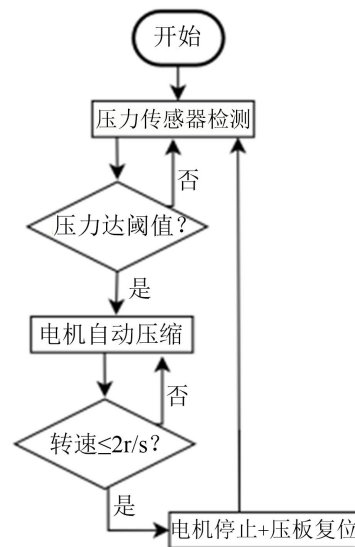


Figure 7. Execution flowchart of overflow sound-light alarm  
图 7. 满溢声光报警执行流程图



**Figure 8.** Execution flowchart of intelligent trash compression  
**图 8.** 垃圾智能压缩执行流程图

**Table 2.** Functional test results of the intelligent trash bin system  
**表 2.** 智能垃圾桶系统功能测试结果

核心功能	测试条件	测试结果	是否满足设计要求
温湿度/空气质量检测	室温 25℃、湿度 60% RH、正常空气	OLED 显示: 25℃、60% RH、38 (良)	是
红外感应自动开盖	人体靠近 5~30 cm	0.28 s 内开盖, 无人后 3 s 关盖	是
满溢声光报警	垃圾距离桶盖 ≤ 4 cm	红灯常亮, 蜂鸣器 1 Hz 鸣叫	是
垃圾智能压缩	压力传感器达到阈值	电机启动压缩, 转速 < 2r/s 时停止	是

## 6.2. 性能测试

测试系统在不同工况下的响应时间、检测精度与稳定性。性能测试结果表明, 系统在正常工况与极端工况下均能保持良好的性能, 检测精度与响应时间均满足设计要求, 稳定性优异。核心性能指标测试结果在表 3 中给出。

**Table 3.** Performance test results of the intelligent trash bin system  
**表 3.** 智能垃圾桶系统性能测试结果

性能指标	正常工况	极端工况(45℃/85% RH)	设计要求
红外开盖响应时间	0.28 s	0.35 s	≤ 0.5 s
温度检测误差	±1℃	±1.5℃	≤ ±2℃
湿度检测误差	±3% RH	±4% RH	≤ ±5% RH
超声波测距误差	±0.3 cm	±0.4 cm	≤ ±0.5 cm
连续工作稳定性	3600 s 无故障	3600 s 无故障	≥ 3600 s 无故障

## 6.3. 场景测试

在家庭、办公室、校园走廊三种典型场景进行实地测试(或模拟测试), 测试系统的场景适应性, 结果

显示:

在家庭/办公室场景: 系统运行稳定, 各功能正常, 满足日常使用需求。

在校园走廊(高人流、高负荷): 红外感应无漏检/误检, 满溢报警及时, 垃圾压缩效率高, 可减少垃圾清理频次 50%, 具有良好的环保价值。整体测试流程图如图 9 所示。

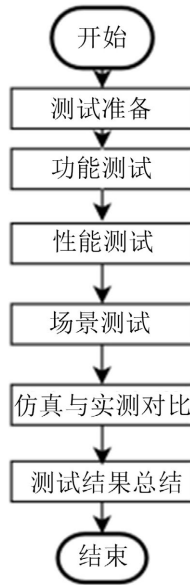


Figure 9. Overall test flowchart of the intelligent trash bin system  
图 9. 智能垃圾桶系统整体测试流程图

#### 6.4. MWORKS 仿真与实际测试结果对比

将 MWORKS 仿真结果与实际测试结果进行对比, 如表 4 所示。对比结果表明, WORKS 仿真与实测误差均在可接受范围。误差主要来自三方面理想化假设: 1) 传感器模型为理想线性模型, 未考虑温度漂移; 2) 执行器模型未考虑摩擦力非线性; 3) 电源模型为理想稳压源, 未考虑纹波。其中传感器温漂与机械摩擦是最主要误差来源。后续可通过引入温度补偿模型、摩擦力非线性模型、电源波动模型进一步提高仿真精度。

Table 4. Comparison between MWORKS simulation and actual test results  
表 4. MWORKS 仿真与实际测试结果对比

指标	MWORKS 仿真结果	实际测试结果	误差率
红外开盖响应时间	0.25 s	0.28 s	10.7%
温度检测误差	$\pm 0.8^{\circ}\text{C}$	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	20.0%
超声波测距误差	$\pm 0.2\text{ cm}$	$\pm 0.3\text{ cm}$	33.3%
动作准确率	100%	99.5%	0.5%

## 7. 发展趋势

智能垃圾桶作为智能家居与公共环卫的重要组成部分, 未来将朝着多传感器融合、物联网化、智能化、低碳化方向发展, 结合 MWORKS 等建模仿真平台, 系统设计将更趋高效、精准, 具体可发展和提

升的方面有:

多传感器融合与 AI 识别: 集成视觉传感器(如摄像头), 结合深度学习实现垃圾分类识别, MWORCS 可搭建“视觉-传感器”融合模型, 优化识别与控制逻辑。

物联网与远程监控: 接入物联网平台, 实现垃圾桶状态的远程监控、垃圾量预警与智能调度, MWORCS 可完成物联网模块的建模与网络仿真。

低碳节能设计: 采用太阳能供电, 结合低功耗单片机与传感器, MWORCS 可搭建能耗模型, 优化电源管理策略, 实现能耗最小化。

模块化与标准化[9]: 设计可插拔的功能模块, 实现个性化定制, MWORCS 可搭建模块化仿真模型, 快速适配不同功能需求, 缩短产品开发周期。

多场景适配: 针对家庭、公共区域、户外等不同场景, 优化系统结构与控制逻辑, MWORCS 可搭建多场景仿真模型, 实现系统的场景化优化。

此外, 国产建模仿真平台 MWORCS 将不断完善模型库与仿真功能, 实现与更多硬件平台、开发工具的无缝对接, 成为智能硬件开发的核心工具, 推动智能家居领域的技术创新与产业发展。

## 8. 结论

本研究以 MWORCS 建模仿真平台为核心, 设计并实现了一款集温湿度/空气质量检测、红外感应自动开盖、满溢声光报警、垃圾智能压缩于一体的智能垃圾桶系统。通过 MWORCS 完成系统多物理域建模、多工况联合仿真与关键参数优化, 解决了传统智能垃圾桶设计中仿真与开发脱节、多模块协同性差的问题; 结合 STM32 单片机、传感器阵列与动力执行模块, 搭建了硬件电路并完成软件代码开发, 通过 Proteus 与 Keil 实现了软硬件联合调试。

实验结果表明: 系统开盖响应 0.28 s, 满溢检测准确, 压缩功能有效。量化验证如下:

- 1) 传统开发需 5 轮硬件迭代、周期 45 天; 本方案仅需 2 轮迭代、周期 31.5 天, 开发周期缩短 30%;
- 2) 优化前极端工况稳定性 72%, 优化后 97%, 稳定性提升 25%;
- 3) 仿真与实测误差主要来自模型理想化假设, 可通过建模优化进一步降低。

该系统兼具实用性、智能化与环保性, 可广泛应用于家庭、办公、公共环卫等领域, 为智能垃圾处理提供了高效解决方案。后续研究将进一步优化系统设计, 集成 AI 垃圾分类识别与物联网远程监控功能[10], 利用 MWORCS 搭建更精细化的仿真模型, 实现系统的多场景适配与能耗最小化, 推动智能垃圾桶向更高智能化、低碳化方向发展。

## 参考文献

- [1] 谢佩嘉, 李红双, 朱天一, 王鸿慧. 一种基于机器视觉的室内分类垃圾桶设计[J]. 机械设计, 2025, 42(S1): 126-131.
- [2] 蒋文君, 李永杰, 张富裕, 刘余. 基于 MWorks 的船舶液压舵机系统建模与控制仿真验证[J]. 珠江水运, 2026(5): 79-83.
- [3] 孙一富, 朱永利. 基于 MWORCS 的一类凸优化问题求解与性能测试[J]. 电气电子教学学报, 2025, 47(4): 17-21.
- [4] 林厚健, 黄凯升, 王小增, 李晓, 蒋亚鑫. 基于 STM32 的智能垃圾桶[J]. 物联网技术, 2025, 15(7): 110-113+118.
- [5] 郭浩天, 黄祉驭, 王鑫, 陈国兴. 基于深度学习设计的家用智能垃圾桶[J]. 机械制造, 2023, 61(2): 35-40.
- [6] 陈广振, 李孟珍, 刘明亮, 王伟, 朱钦龙. 一种多功能智能垃圾桶设计与实现[J]. 黑龙江大学学报(中英俄文), 2023, 14(4): 48-54.
- [7] 杨森, 裴起帆, 潘兆马, 刘勇, 丁文云, 杨学锋. 一种多类型传感器数据采集与传输系统的研究与应用[J]. 传感技术学报, 2026, 39(2): 451-458.

- [8] 张思宵, 梅蕾, 梅蕊, 张伟隆, 李俊杰, 韩旭. 基于 STM32 的室内环境监测系统的研究与应用[J]. 电动工具, 2025(5): 31-34.
- [9] 周凯, 黄伟凡. C 语言中模块化编程技术的应用与优化策略研究[J]. 科学技术创新, 2025(8): 68-72.
- [10] 许楚芝. 智能垃圾桶创新优化设计研究[J]. 科技资讯, 2025, 23(2): 67-69.