

基金项目论文

# 智能送药小车设计

陈淼<sup>1</sup> 羊开云<sup>2</sup> 张胜利<sup>1</sup>

(1.浙江理工大学科技与艺术学院, 浙江绍兴 312369; 2.软视视频软件(杭州)有限公司, 浙江杭州 310012)

**摘 要:** 针对医疗行业正在向着智能化、自动化方向发展的需求, 设计了一个基于 STM32F103RCT6 的智能送药小车系统。系统采用 3 节 18650 锂电池供电; 通过 OpenMV 图像识别模块, 识别病房号; 通过 TSL1401 线阵线性 CCD 模块实现小车的循迹; 通过 HX711 称重传感器模块读取药品的实时重量; 通过 2.4G Zigbee CC2530 串口无线收发模块实现两小车的通信; 通过 0.96 寸 OLED 显示识别的病房号及往返时间等。实践表明, 系统性能良好, 可靠性高, 有一定的应用价值。

**关键词:** 智能送药小车; OpenMV; 线阵 CCD 模块; 无线收发模块

**中图分类号:** TN98

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1003-6970.2023.04.005

**本文著录格式:** 陈淼, 羊开云, 张胜利. 智能送药小车设计[J]. 软件, 2023, 44(04): 020-025

## Design of Intelligent Medicine Delivery Trolley

CHEN Miao<sup>1</sup>, YANG Kaiyun<sup>2</sup>, ZHANG Shengli<sup>1</sup>

(1.Keyi College of Zhejiang Sci-Tech University, Shaoxing Zhejiang 312369;

2.Soft Video Software (Hangzhou) Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310012)

**[Abstract]:** Aiming at the demand of the medical industry that is developing towards intelligence and automation, an intelligent medical delivery trolley system based on STM32F103RCT6 is designed. The system is powered by three 18650 lithium batteries; Through the OpenMV image recognition module, the ward number is identified; The trail of the trolley is realized through the TSL1401 linear linear CCD module; Read the real-time weight of pharmaceutical products through the HX711 load cell module; Through the 2.4G Zigbee CC2530 serial port wireless transceiver module to realize the communication of the two cars; Through 0.96-inch OLED display the identified ward number and round-trip time, etc. The practice shows that the system has good performance, high reliability and certain application value.

**[Key words]:** intelligent medicine delivery trolley; OpenMV; linear array CCD module; wireless transceiver module

### 0 引言

随着社会的发展及智能化水平的提高, 智能化设备正在渗透到各行各业。就目前而言, 许多医院已采用了智能抓药系统, 即不需要人工抓药便可以将药物传送到药房窗口, 节省了大量的人力。然而, 病房用药依然需要护士或者陪护去药房去取, 但是许多患者没有陪护且医院护士都比较忙, 这样会造成送药不及时的现象。因此, 设计一款智能送药小车就显得非常有必要, 它可以根据病房需要主动送药并及时返回, 大大的节省了人力和财力。

### 1 设计要求

制作一块场地来模拟真实环境, 黑色线表示院区走廊两侧的墙体。红实线表示小车行进的路径, 并在拐角处放置标识病房号的黑色数字。药房号分别为 1、2、3、4、5、6、7、8, 其中药房 3~8 可随机设定。小车首先在药房端扫描药品要送往的病房号, 待药品放置完毕以后, 开始沿着跑道自动运送, 运送过程中识别要送往病房号的位置信息并前往, 待药品取下后返回。

### 2 系统整体方案设计

根据需求, 设计了一个基于 STM32F103RCT6 的

基金项目: 浙江理工大学科技与艺术学院科研项目 (KY2020011); 浙江理工大学科技与艺术学院劳动一流课程建设项目 (Kykc2206)

作者简介: 陈淼 (1989—), 男, 安徽六安人, 硕士, 实验师, 研究方向: 嵌入式开发。

智能送药小车模拟系统<sup>[1-3]</sup>。系统主要由 STM32 控制模块、电源模块、电机驱动模块、OpenMV 图像采集模块<sup>[4,5]</sup>、线阵 CCD 循迹模块<sup>[6-8]</sup>、称重模块、无线通信模块、OLED 显示模块组成，其系统框图如图 1 所示。小车在药房端扫描需要送往的病房号，等待药物放置在小车上，当通过 HX711 称重模块检测到药物重量时，小车开始出发；通过 TSL1401CL 线阵 CCD 模块进行循迹，循迹过程中通过左右两边各放置的 OpenMV 模块识别病房的编号，当小车识别到正确的病房号时，到达药房门口停下，等待病房取下药物后并返回。两小车之间通过 2.4G 无线串口收发模块进行通信<sup>[9,10]</sup>，避免在行进间发生碰撞；OLED 屏幕用于显示识别到的病房号及往返一次所使用的时间等。

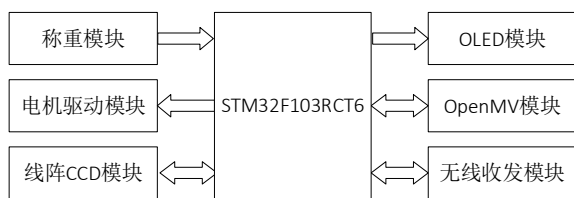


图 1 系统框图

Fig.1 System block diagram

### 3 系统硬件电路设计

### 3.1 单片机最小系统电路

主控芯片采用 STM32F103RCT6 单片机。该单片机是

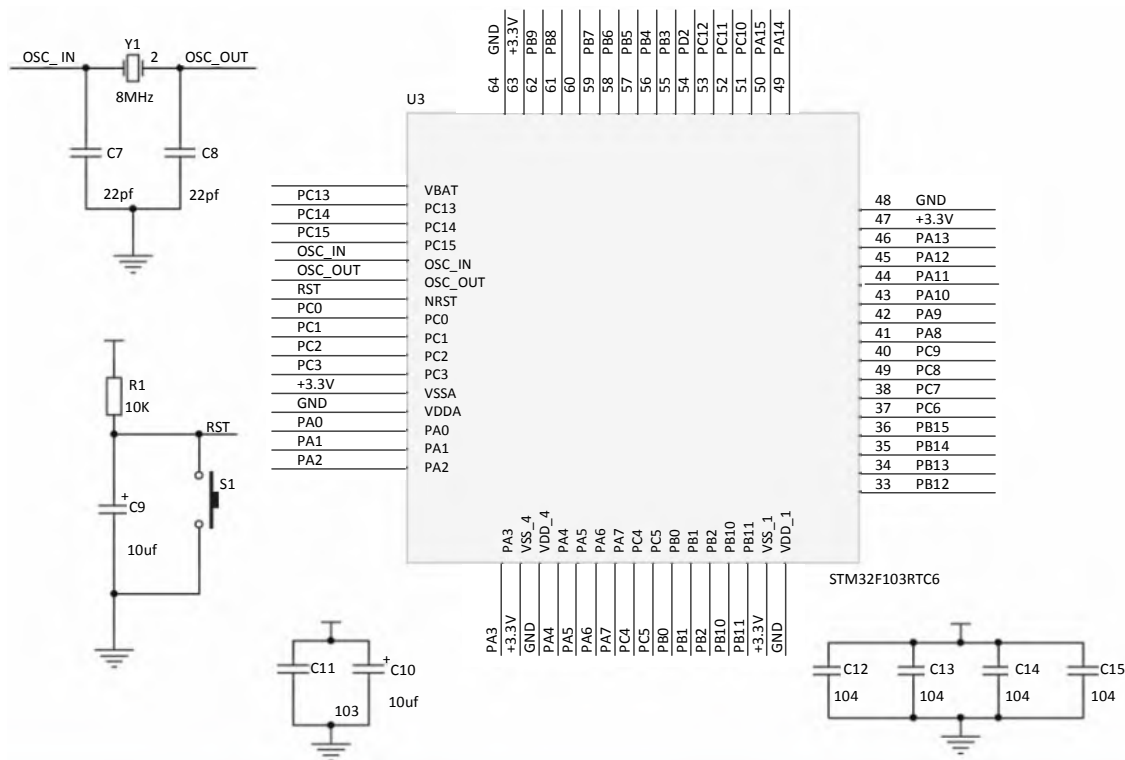


图 2 单片机最小系统电路

Fig.2 MCU minimum system circuit

主流增强型 ARM Cortex-M3 内核, 具有 64KB 的 Flash、CPU 时钟频率可达 72MHz, 性能优越, 成本低, 运行速度快, 可以满足数据的存储即处理。单片机最小系统包括主控芯片、电源电路、复位电路、时钟电路等, 电路图如图 2 所示。

### 3.2 电源模块

系统采用 3 节 18650 的锂电池供电，其电压为 11.1V。但是由于 OpenMV 模块、TLS1401 循迹模块、电机驱动模块及 HX711 传感器称重模块等用到的电压均为 5V，STM32 主控芯片的供电电压为 3.3V。所以需要进行电源转换，一组将输入电压转换为 5V 输出，一组转换为 3.3V 输出。其中 5V 电压输出采用 LM2596S-5.0 芯片，其最大可输出 3A 的电流，可满足系统需求。3.3V 电压输出采用 REG1117-3.3 芯片转换。其电路图如图 3、图 4 所示。

### 3.3 HX711 称重模块

HX711 称重模块主要是为了检测小车上药品的重量, 是一款高精度的称重传感器, 其片内集成稳压电路、时钟振荡器、24 位 A/D 等, 其响应速度快、抗干扰能力强、精度高。其电路如图 5 所示, 选择通道 A 进行信号采集, 放大倍数为 128 倍, 可通过程序控制。

### 3.4 OpenMV 数字识别模块

数字识别采用 OpenMV 模块实现。OpenMV

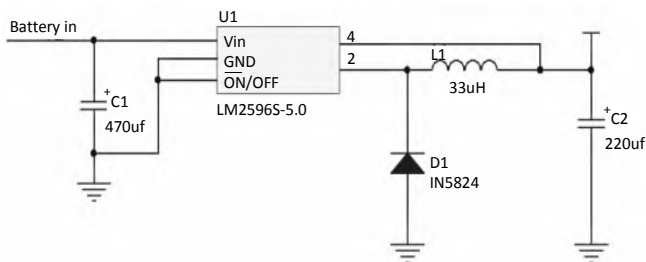


图 3 +5V 电源输出

Fig.3 +5V power output

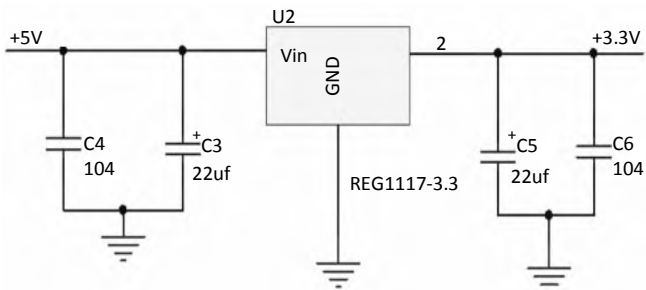


图 4 +3.3V 电源输出

Fig.4 +3.3V power output

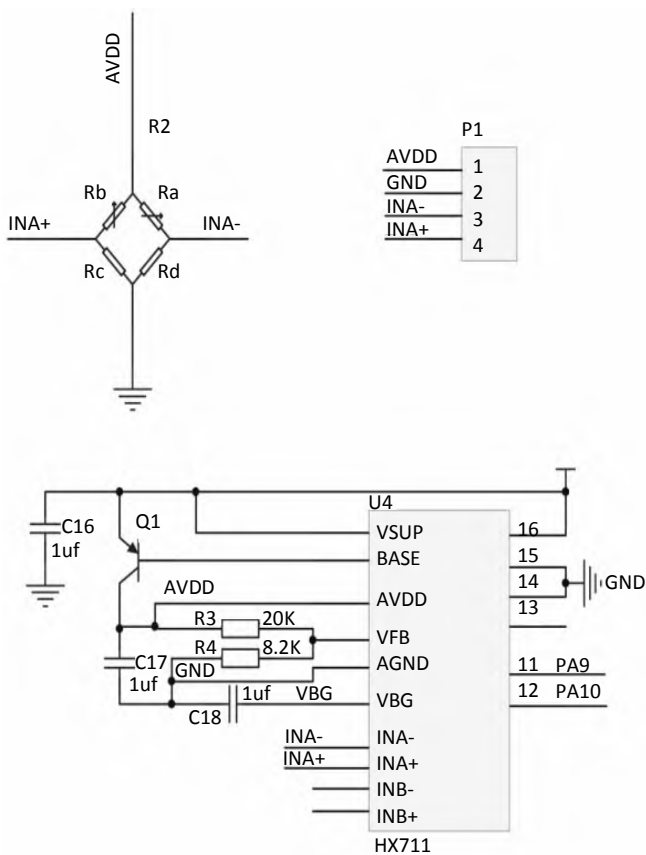


图 5 HX711 称重模块

Fig.5 HX711 weighing module

是一款开源的、低成本的图像处理模块。模块以 STM32F767CPU 为核心，集成了 OV7725 摄像头芯

片。在小巧的硬件模块上，可以高效的实现核心机器视觉算法，对于病房号的数字识别，OpenMV 可以快速准确的识别病房号的编号，其识别率在 98% 以上，故本设计采用 OpenMV 模块进行数字识别。

### 3.5 线阵 CCD 模块

小车的循迹采用 TSL1401 线阵 CCD 模块，线阵 CCD 模块相对于 OpenMV 进行巡线，其处理速度更快一点，且可以通过单片机的 ADC 依次采集每个感光单元的电压值（共 128 组）并存在数组中，精度非常高，所以循迹模块采用 TSL1401 线阵 CCD 模块进行循迹。

### 3.6 无线收发模块

无线收发模块主要用于两车之间的通信，避免两车发生碰撞，采用 2.4G 串口透传模块 ZIGBEE CC2530。该模块采用全双工通信，抗干扰能力强，通信距离远，在小车行进中，也可以实现稳定的收发。

### 3.7 电机驱动电路

通过 STM32 输出 PWM 控制，即可实现小车的转向与速度控制，但是 STM32 的 IO 口带负载能力较弱，而直流电机是大电流感性负载，不能直接驱动，所以采用 TB6612FNG 电机驱动芯片。TB6612FNG 是东芝半导体公司生产的一款直流电机驱动器件，它具有大电流 MOSFET-H 桥结构，双通道电路输出，可同时驱动 2 个电机，无需外加散热片，外围电路简单，只需外接电源滤波电容就可以直接驱动电机。其电路图如图 6 所示。

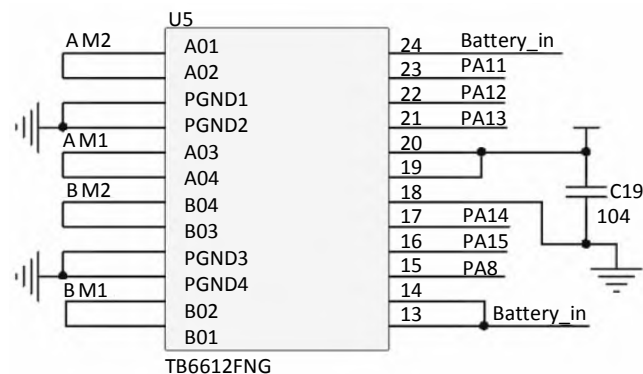


图 6 电机驱动模块

Fig.6 Motor drive module

## 4 软件设计方案

软件主要分为 4 个部分：(1) 图像识别部分，即如何在行进中快速且准确的识别到病房号；(2) 循迹部分，即如何保证小车行进中不脱离轨道从而到达正确的位置；(3) 如何高效的控制小车的转速，从而使得小车不偏离跑道并实现小车的转向；(4) 多个小车同时工作时，如何做到高效的避让。其整体流程图如图 7 所示。首先系统进行初始化，小车检测手持病房号，当检测到

病房号后, 检测是否放入药物, 当药物放置完毕后, 小车去寻找检测到的病房号, 检测到病房路径信息以后, 去往病房, 待药物放置完毕后返回。2 个小车通过相互通信实现避让。

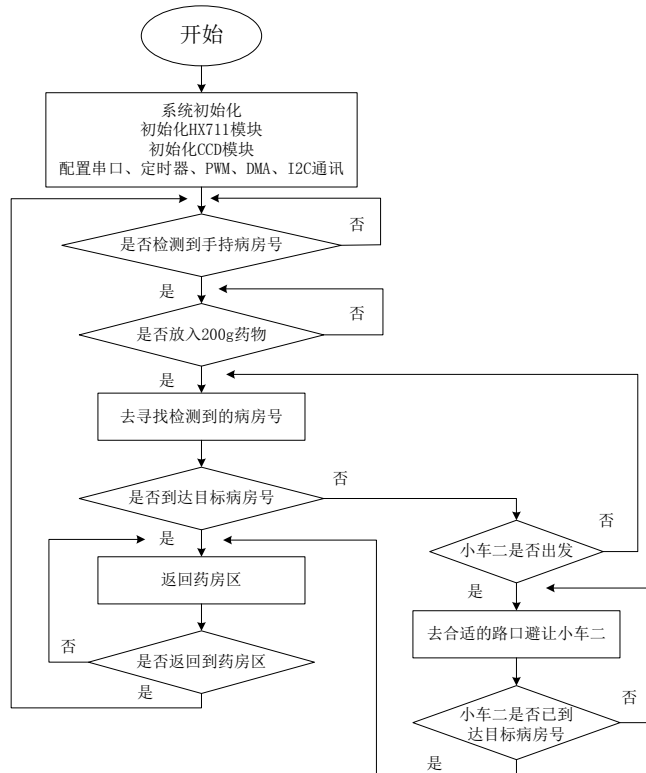


图7 系统整体流程图

Fig.7 Overall flow chart of the system

#### 4.1 OpenMV 数字识别算法

##### 4.1.1 图像预处理

小车在行进的过程中需要识别拐角处的数字, 从而判断去往正确病房的路径。系统将小车左右两侧各放一个 OpenMV 摄像头来抓取数字, 从而提高识别精度。首先对采集的图像进行预处理, 即将图片二值化, 为了更好的完成数字二值化的转换, 要找到合适的 LAB 最大值和最小值。其流程为: 先采集一张分辨率为  $120 \times 160$ , 类型为灰度图的图片, 通过调整阈值的方式, 找到合适的 LAB 最大值和最小值, 通过调试将 LAB 的阈值调整为  $(0, 100, -128, 23, -42, 127)$ , 系统效果良好, 可以将黑色的数字部分转换成黑点, 其他白色转换成白点, 图 8 为摄像头采集并二值化处理前后的效果对比图。

##### 4.1.2 图像模板匹配算法

二值化图像之后, 即可对图像的数字部分进行识别, 识别方式可以通过神经网络训练识别当前数字, 也可以通过模板匹配进行识别, 由于采用神经网络训练识



图8 二值化处理前后的效果对比图

Fig.8 Comparison of the effects before and after binarization  
别需要 OpenMV 系统具有很高的性能, 且训练时间长, 而 OpenMV 系统内部自带基于模板匹配算法的 NCC 算法<sup>[11]</sup>, 可以实现对各种数字的识别, 使用起来方便, 所以系统采用基于 NCC 的模板匹配算法。其原理为: 搜索图  $S$  尺寸大小为  $M \times M$ , 模板  $T$  的尺寸  $N \times N$ , 其中  $M > N$ , 模板  $T$  在  $S$  上滑动搜索, 滑动的上、下步长都为  $N$ , 即将  $S$  分成了若干个  $T$  尺寸的子图。其计算公式如式 (1) 所示:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

其中,  $E(S^{i,j})$ 、 $E(T)$  分别表示  $(i, j)$  处子图、模板的平均灰度值。

但是由于小车在循迹过程中角度会出现微小的偏差, 对采集到的病房图片的角度也会相应产生偏差, 而基于 NCC 的图像匹配算法不适合图像旋转缩放的模式识别, 为了解决图像角度偏差的问题, 系统采用了 OpenMV 内置的一个 3D 旋转图片的函数 `img.rotation_corr()`, 该函数可以根据  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴旋转图片的角度, 这就可以解决模板匹配中的角度偏差的问题, 将图片绕着  $z$  轴顺时针及逆时针旋转  $1 \sim 10^\circ$  图片之后再模板进行匹配。每次旋转  $1^\circ$  改变完图像之后就使用模板匹配寻找数字, 这样便可以准确的识别数字。

#### 4.2 TSL1401CL 路径循迹算法

小车路径循迹采用 TSL1401CL 线阵传感器实现, 其优点是精度高, 相对于 OpenMV 处理速度更快, 所以系统采用 TSL1401CL 模块循迹。TSL1401CL 的核心是 128 个光电二极管组成的感光阵列, 阵列后面有一排积分电容, 光电二极管在光能量冲击下产生光电流, 构成有源积分电路, 那么积分电容就是用来存储光能转化后的电荷。积分电容存储的电荷越多, 像素灰度低, 光强接近饱和, 像素点灰度趋近于全白, 则呈白线。由于系统光强相对稳定, 所以采用固定曝光, 这样采集的图像抖动小且更加清晰, 更有利于黑线的提取与二值化。

##### 4.2.1 线阵 CCD 数据预处理

线性 CCD 采用 8 位 AD 转换输出, 所以采集到的轨迹图像的灰度值在  $0 \sim 255$  之间变换。其中 0 代表黑



色，255 代表白色；为了更好的识别跑道边界，首先将采集到的图像二值化。系统采用固定阈值的方法，当采集到的数据大于 128，将其灰度值设为 255，即为白色；当采集到的灰度值小于 128，将其灰度值设为 0，即为黑色。这样即可将采集到的图像二值化。

4.2.2 小车位置判断

由于场地上除了白色和红色跑道之外，还有黑色的数字，这些数字也会被检测到。所以数据二值化之后，黑线和红线是 0，白线是 1。为了将数字产生的干扰去除，要把所有的 0 的数据宽度提取出来。把每个 0 的宽度起始索引和结束索引和数据宽度记录下来。经过实际测量红线的 0 像素点为 15 个左右。由于数字的识别与轨迹跟踪采用的是不同模块，所以数字的像素点不会全部采集，即数字的像素点不会出现连续大于 13 个 0，且数字与跑道有一定的间隔，所以基于此可以把数字黑线干扰去除一部分。小车跟踪红色跑道轨迹采用直接边缘检测算法。首先从 0-128 线阵 CCD 阵列最左边开始计算，如果检测到连续 13 个 0，那么这 13 个 0 中第 1 个的像素点即为红色跑道左边界。这里采用 13 为了避免跑道有误差情况存在。同样的道理从 128-0 线阵 CCD 阵列的最右边开始递减，如果连续检测到 13 个 0，那么这 13 个 0 中第 1 个 0 的像素点即为右边界。确定好跑道以后把数字干扰像素点变为 1。

确定好跑道边界以后，即可确定小车的偏差。小车的中心点即为检测到左边界和右边界的平均值。通过小车中心点的检测与理论中心位置 64 作比较，如果偏差小于 0，说明小车偏左，如果大于 0，说明小车偏右。可以通过偏离值来动态的控制小车轨迹。

4.3 PID 控制算法

系统通过控制 PWM 的大小来控制小车的前进速度，通过差速控制小车的内轮和外轮来实现小车的转向，PID 算法<sup>[12-16]</sup>作为工业控制领域最广泛的应用，在闭环系统中，可以自动对控制小车进行准确的校正。其原理为通过闭环控制系统控制小车的速度，再通过编码器 A、B 相测量小车行驶过程中的脉冲数，在固定时间内检测到的脉冲数的值经过计算得到电机的实际速度，然后将计算的速度与上一次测量的速度进行比较，其计算公式如式（2）所示：

$$R(i, j) = \frac{\sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^N |S^{i,j}(s, t) - E(S^{i,j})| \cdot |T(s, t) - E(T)|}{\sqrt{\sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^N [S^{i,j}(s, t) - E(S^{i,j})]^2 \cdot \sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^N [T(s, t) - E(T)]^2}} \quad (2)$$

其中  $u(t)$  为控制器输出控制量， $K_p$  为比例增益， $K_i$  为积分增益， $K_d$  为微分增益， $e(t)$  为输入偏差。

在循迹控制中，只需要 PD 控制器即可，公式中输入偏差  $e(t)$  为循迹传感器输出值，经过 PD 控制器后输出  $u(t)$  直接控制小车转向。当然也需要控制循迹车的前进速度，控制循迹车前进速度需要通过 PI 控制器来实现。结合 PD 控制器与 PI 控制器，共同实现小车的循迹与转向。

5 系统测试

根据系统要求，搭建好电路，其实物图如图 9 所示。建立测试过程：

- (1) 手持编号 X 让小车识别，然后放入 200g 药物重量，看小车能否到达 X 病房号。
- (2) 直接放 200g，不给小车提供病房号码，测试小车会不会运行。
- (3) 当小车 1 正在运输过程中，让小车 2 出发，测试两小车是否有自动避开功能。
- (4) 让小车 1 和小车 2 同时运输去中端病房，测试小车 2 会不会自动避开，等待小车 1 送完，小车 2 在继

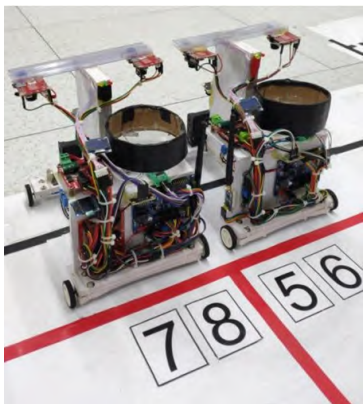


图 9 系统实物图

Fig.9 Physical picture of the system

表 1 测试结果

Tab.1 Test results

手持数字	手持识别	手持识别 时间	跑道识别 编号	完成送药 时间	返回药房 时间
1	成功	7s	成功	12s	10s
2	成功	7s	成功	14s	12s
6	成功	4s	成功	13s	10s
3	成功	6s	成功	17s	13s
8	成功	9s	成功	20s	18s
4	成功	7s	成功	8s	8s
7	成功	6s	成功	20s	17s
2	成功	5s	成功	12s	9s

续运行。

多次使用随机参数重复测试方案后, 得出测试结果如表 1 所示。

由测试结果可以看出, 小车能在规定的时间往返, 手持数字识别正确, 跑道识别号识别正确, 巡线无误差, 两车之间可以有有效的协调而不发生碰撞。

## 6 结语

设计的智能送药小车系统, 通过 OpenMV 识别病房号, 提高了数字识别的准确率; 通过 TSL1401CL 实现循迹, 提高了数字与跑道之间的抗干扰能力; 利用 PID 算法, 精准控制小车的巡线与转向, 使小车可以稳定的在跑道上行走。小车可以实现自主规划路线, 大大减少了人力成本。

## 参考文献

- [1] 王浩楠, 黄宇新, 唐金荣, 等. 基于 STM32 单片机的智能送药小车系统设计[J]. 电子制作, 2022(15): 74-76.
- [2] 廖冠中, 叶膳维, 庄朝淳. 基于 STM32 的智能送药小车[J]. 电脑编程技巧与维护, 2022(5): 131-133.
- [3] 卢雪红, 邵亚军. 基于 STM32 智能小车自主循迹避障系统设计与功能实现[J]. 世界有色金属, 2021(22): 165-168.
- [4] 付书添, 查雪红, 许超. 基于 OpenMV 视觉系统的智能送药小车[J]. 工业控制计算机, 2022, 35(07): 6-9.
- [5] 杨晓峰, 柳笑辰, 王佳奇. 基于 OPENMV 的智能送药小车设计[J]. 电大理工, 2022(1): 1-7.
- [6] 岳俊峰, 李秀梅. 基于机器视觉的智能小车自动循迹及避障系统[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2020(2): 200-207.
- [7] 杨明达, 杨舟, 黄永霖. 基于线性 CCD 的寻线智能车设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2014(4): 73-75.
- [8] 叶立威. 针对 TSL1401 线阵传感器的路径检测算法设计[J]. 福建电脑, 2020, 36(6): 84-86.
- [9] 任玲玲, 李浪, 闫庚龙, 等. 基于 Arduino 的蓝牙智能避障小车设计[J]. 电子制作, 2022, 10(19): 27-30+97.
- [10] 林建宇. 基于 CAN 总线的智能小车通信系统设计[J]. 上海电力大学学报, 2021, 37(6): 587-590.
- [11] 王恩国, 吴树范. NCC 边缘信息快速匹配算法[J]. 电子技术, 2017(12): 19-21.
- [12] 王辉, 廖峰林. 智能小车循迹与避障的仿真与实现[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2022, 41(2): 164-169.
- [13] 曲霄红, 张名师, 胡立华. 基于树莓派的智能小车路径规划方法及系统研究[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2020, 36(3): 48-51.
- [14] 吕彦卿. 室内智能小车的轨迹跟踪控制研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.
- [15] 薛婷, 贝绍铁, 李波. 基于蚁群算法的智能小车路径规划[J]. 计算机仿真, 2021, 38(12): 362-365.
- [16] 王冠博, 赵一帆, 郭嘉, 等. 循迹避障智能小车的实验设计[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(5): 38-42+47.