

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2023.02.009

# 基于 AprilTag2 的无接触物品配送车设计

吴立军<sup>1</sup>, 潘东旭<sup>1</sup>, 张佳杰<sup>2</sup>, 刘嘉欣<sup>2</sup>, 徐世龙<sup>2</sup>

(1. 芜湖职业技术学院电气与自动化学院, 安徽 芜湖 241006; 2. 安徽工程大学电气工程学院, 安徽 芜湖 241000)

**摘要:**随着无接触配送服务的兴起, 针对配送房间号数字识别准确率低, 易发生误识别的问题, 设计了基于 AprilTag2 的无接触物品配送车。以国产 GD32F103RCT6 单片机作为主控模块, 采用 AprilTag 标签识别及定位算法实现房间 ID 识别及位置信息检测功能, 利用寻迹 PID 算法实现车辆寻迹行驶功能; 同时, 利用压力传感器检测物品是否装载或卸下, 蓝牙模块实现双车通信, 避免车辆发生碰撞。经过测试, 房间号标签及位置识别准确率达到 99.5%, 无论是单车还是双车, 都能自动寻迹将物品快速配送至指定房间; 在物品装载或卸载前, 系统会通过语音提示用户, 方便用户装/卸载物品; 物品卸载之后, 系统会自动寻迹至起始位置等待下次配送。整个系统安全可靠、房间号识别准确率高、价格低, 能够较好地实现物品的无接触配送任务。

**关键词:** AprilTag; GD32F103RCT6; 定位; 无接触

**中图分类号:** TP368.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2023)02-0053-08

## Design of Contactless Goods Delivery Vehicle Based on AprilTag2

WU Lijun<sup>1</sup>, PAN Dongxu<sup>1</sup>, ZHANG Jiajie<sup>2</sup>, LIU Jiaxin<sup>2</sup>, XU Shilong<sup>2</sup>

(1. School of Electrical and Automation, Wuhu Institute of Technology, Wuhu, Anhui 241006, China;  
2. College of Electrical Engineering, Anhui Polytechnic University, Wuhu, Anhui 241000, China)

**Abstract:** With the rise of contactless delivery services, to address the problem of low accuracy and potential misidentification when recognizing room numbers for deliveries, a contactless item delivery vehicle based on AprilTag2 has been designed. The GD32F103RCT6 microcontroller is used as the main control module. The AprilTag tag identification and positioning algorithm is used to realize the room ID identification and location information detection function. And vehicle tracing function is realized by tracing PID algorithm. In addition, the pressure sensor is used to detect whether the goods are loaded or unloaded, and the Bluetooth module realizes mutual communication between vehicles to avoid vehicle collision. After test, the accuracy of room number tag and position recognition is 99.5%. It can automatically track and quickly deliver items to the designated room no matter its single or double vehicles. And the user will be prompted by voice before loading or unloading, which is convenient for the user to load/unload the goods. After unloading, the vehicle will automatically trace to the starting position for the next delivery. The overall system is safe and reliable, with high accuracy of room number identification and low price, which can better realize the non-contact delivery of goods.

**Keywords:** AprilTag; GD32F103RCT6; positioning algorithm; contactless

## 0 引言

随着后疫情时代的到来, 因新冠疫情而兴起的各种“无接触配送”服务, 将成为人们日常生活的新常态, 传统的“人+车”的配送模式也将被采用智能

算法的智能车、无人机等无接触配送模式所取代<sup>[1]</sup>。杨晓峰等<sup>[2]</sup>、付书添等<sup>[3]</sup>采用神经网络算法实现房间号的数字识别, 并以此为基础设计基于 OpenMV 的无接触智能送药小车; 齐曼等<sup>[4]</sup>采用模板匹配算法实现房间号数字识别, 设计基于 STM32 和

收稿日期: 2022-12-03

基金项目: 安徽省高等学校自然科学研究项目重点项目(KJ2021A1331、KJ2021A1318); 安徽省高等学校自然科学研究项目重大项目(KJ2021ZD0152); 安徽省高等学校省级质量工程项目(2021cjr055); 芜湖职业技术学院校级科学研究项目(Kjexpt202001); 芜湖职业技术学院横向项目(Wzyhx202206); 芜湖职业技术学院校级教学质量与教学改革工程(2022dsgzs02)。

作者简介: 吴立军(1988—), 男, 安徽怀宁人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 智能控制、机器人控制。

OpenMV 的全自动无接触送药小车。上述研究的数字识别准确率低,易发生误识别。为此,本文将传统数字房间号制作成 AprilTag 标签,解决了房间号识别率低及误识别问题,同时根据 AprilTag 定位算法实现了标签定位功能,并以此设计了一款基于 AprilTag2 的智能车,用于日常的无接触物品配送服务。车辆既可以在传染病隔离医院开展无接触送药、送餐服务,也可以在无人酒店、居民楼开展快递、外卖等物品的无接触配送服务。

### 1 总体方案论述

系统以 GD32F103RCT6 单片机作为主控单元,采用 2 个 OpenMV4 摄像头分别作为路径识别模块和 AprilTag 检测模块,通过路径识别模块识别地面颜色标线并使用寻迹 PID 算法实时控制车辆寻迹行驶;通过 AprilTag 检测模块实时检测 AprilTag 标签 ID(房间号)及位置信息。通过压力传感器检测是否有物品放入,当检测到有物品放入,语音提示开始 AprilTag 检测、识别目标房间 ID,根据识别的房间号,系统驱动车辆寻迹行驶至对应房间门口并语音播报提示房内人员去取物品,当系统检测到物品取下之后,自动返回起始位置等待下次物品配送。同时车辆配有无线通信模块,方便多车通信,实现多车配送不碰撞。系统框图如图 1 所示。

### 2 房间号识别、定位及路径识别原理

#### 2.1 AprilTag 房间号识别与定位算法

AprilTag 是由 Edwin Olson 等于 2011 年提出的一个视觉基准系统,可用于机器人、增强现实(aug-

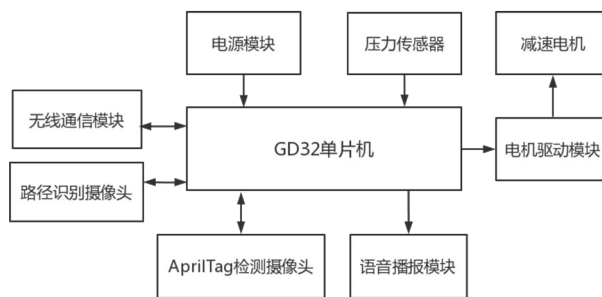


图 1 系统框图

ment reality, AR)、相机校准等任务<sup>[5]</sup>。相比于二维码等标签检测系统, AprilTag 具有标签结构简单、检测距离远、对角度和光强变化有很强的鲁棒性。2016 年 John Wang 等在 AprilTag 基础上提出了 AprilTag 2, 以更高的检测率、更少的误报和更低的计算时间改善了 AprilTag 视觉基准系统性能<sup>[6]</sup>。AprilTag2 系统可以检测标签的相对于相机的 6 个自由度信息及标签的数字 ID 信息。

AprilTag 标签根据有效载荷和最小汉明距离不同,分成不同家族,采用“TagXhY”命名,如 Tag16h5、Tag25h7、Tag36h11 等。其中 X 为有效载荷, Y 为最小汉明距离,标签的 X、Y 值越高,标签检测的准确率越高、稳定性高、鲁棒性越强<sup>[7-8]</sup>。本文综合考虑目标房间数及识别的准确率,选取 Tag36h11 标签,如图 2 所示。

为准确定位标签相对车辆的位置,采用图 3 所示的定位模型,其中自上而下分别为摄像头坐标系  $O_{cam}-X_{cam}Y_{cam}Z_{cam}$ 、像素坐标系  $O_{pix}-X_{pix}Y_{pix}$ 、成像坐标系  $O_p-X_pY_p$ 、世界坐标系  $O_w-X_wY_wZ_w$ ,其中标签中心点为  $C(X_w, Y_w, Z_w)$ <sup>[7-8]</sup>。

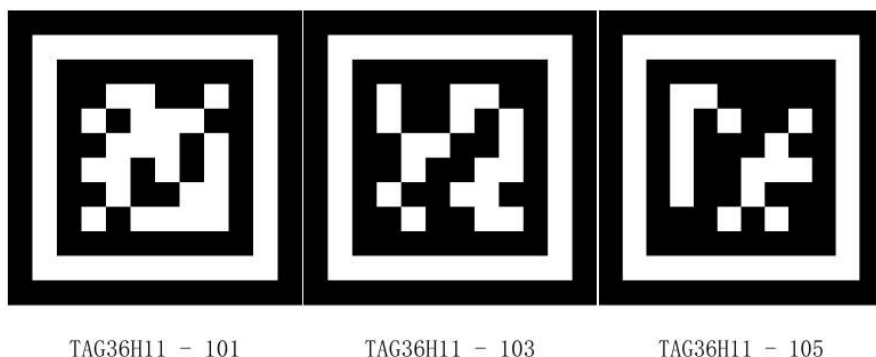


图 2 Tag36h11 标签

因为车辆只在平地上运动,故将车辆坐标系的各轴方向与世界坐标系保持相同。同时为了便于拓展摄像头的视野,本文将 OpenMV4 摄像头沿着世

界坐标系 Y 轴旋转 30° 安装,此时摄像头原点与车辆坐标系原点重合。根据文献[7],可得旋转矩阵  $R$ , 如式(1)所示。

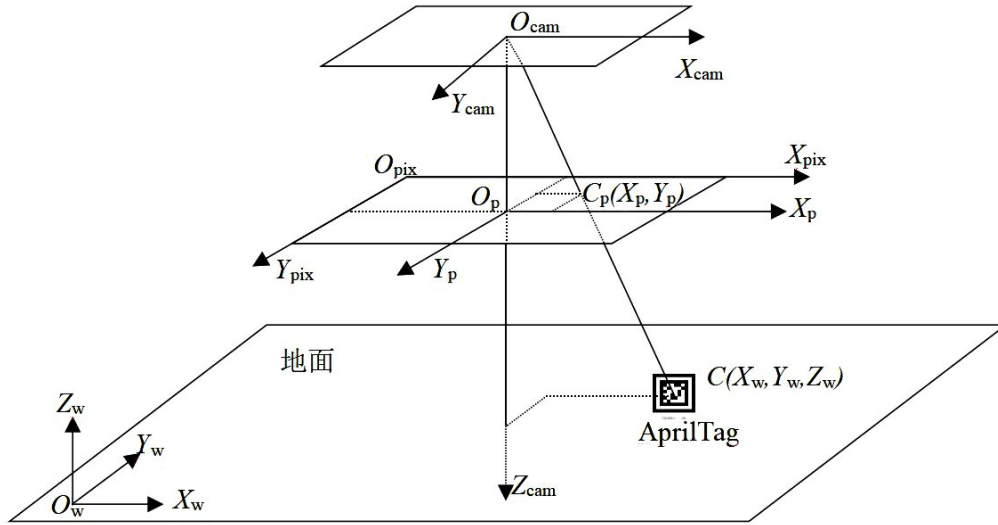


图 3 AprilTag 识别与定位模型

$$R = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 0 \\ 1 & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据文献[7-8],可得标签中心点 C 到摄像头坐标系  $O_{cam}-X_{cam}Y_{cam}Z_{cam}$  的变换关系如式(2)所示。

$$\begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & T \\ 0_3^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & a_1 \\ 1 & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & a_2 \\ 0 & 0 & 1 & a_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中:  $R$ 、 $T$  分别为旋转矩阵及偏移矩阵;  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  分别为相机坐标系原点  $O_{cam}$  相对于车辆坐标系原点在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴的偏移量。标签中心点  $C$  由相机坐标系到成像坐标系的变换关系式如式(3)所示。

$$Z_{cam} \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{cam} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_{cam} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中:  $f_{cam}$  为摄像头焦距,可以通过相机标定得到。成像坐标系的点  $(X_p, Y_p)$  到像素坐标系下的点  $(X_{pix}, Y_{pix})$  的变换关系如式(4)所示。

$$\begin{bmatrix} X_{pix} \\ Y_{pix} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/d_x & 0 & 0 \\ 0 & 1/d_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中:  $d_x$ 、 $d_y$  分别为  $X_{pix}$  轴及  $Y_{pix}$  轴像素与图像大小的比例。联立式(2)~(4),可得世界坐标系中的标签中心点  $C(X_w, Y_w, Z_w)$  到像素坐标系中的  $C(X_{pix}, Y_{pix})$  变换关系如式(5)所示。

$$Z_{cam} \begin{bmatrix} X_{pix} \\ Y_{pix} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3} f_{cam}}{2d_x} & -\frac{f_{cam}}{2d_x} & 0 & \frac{a_1 f_{cam}}{d_x} \\ \frac{f_{cam}}{2d_y} & \frac{\sqrt{3} f_{cam}}{2d_y} & 0 & \frac{a_2 f_{cam}}{d_y} \\ 0 & 0 & 1 & a_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

通过式(1)~(5),实现了世界坐标系下标签中心点  $C(X_w, Y_w, Z_w)$  到像素坐标系中的  $C(X_{pix}, Y_{pix})$  的转化。从而实现通过摄像头获取标签中心点  $C$  在世界坐标系下位置信息。

根据 AprilTag 标签定位与识别算法的特点,本文将目标房间号 101, 102, ..., 108, 制作 ID 为 101~108 的 Tag36h11 标签并打印出来粘贴在车辆行驶路径十字路口,供车辆识别和定位使用,如图 4 所示。根据配送任务的实际识别和定位需求,系统只需检测标签的 ID 值及标签中心  $CX$ 、 $CY$  坐标值,然后将检测到 ID 值与目标房间 ID 值比较,若标签 ID 与目标 ID 值相符,系统则根据标签中心  $CX$ 、 $CY$  坐标值判断标签位于车辆的左侧还是右侧,驱动车辆向对应方向转向行驶;若路口的标签 ID 值与目标 ID 值不符,系统驱动车辆直线行驶至下个路口继续检测判断,直至将物品送至目标房间再原路返回。

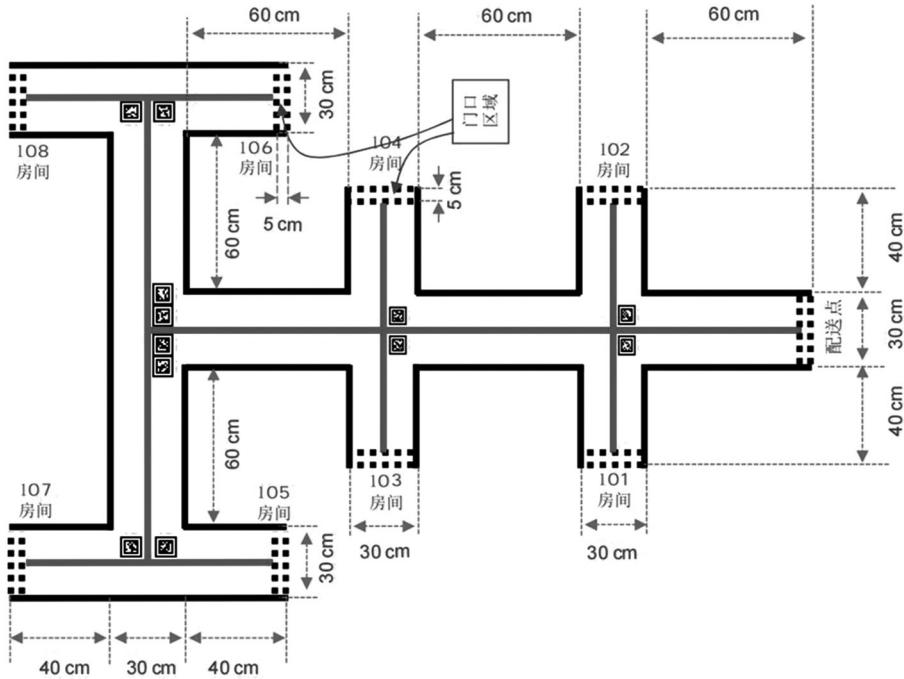


图 4 配送地图及 Tag36h11 标签固定位置

2.2 寻迹PID算法

由于小车需要跟随红色路径运动,行驶时 will OpenMV4 摄像头采集的图像分为:白-红-白区域,并设画面最底端水平方向为坐标 X 轴,画面中线为 Y 轴。同时将画面沿纵向平均分割为 A~E 五个矩形框,在每个区域中分别寻找红色色块,通过阈值判断红色色块所处区域的 X 轴值,然后将每个区域的中心点连接起来即为路径的预估线,预估线与画面中 Y 轴偏差即为车辆运动的偏移角度,如图 5 所示。摄像头将处理后的偏移角度数据传输至单片机,单片机通过 PID 算法驱动减速电机修正方向,寻迹 PID 结构图如图 6 所示。

其外环控制器计算如式(6)所示。

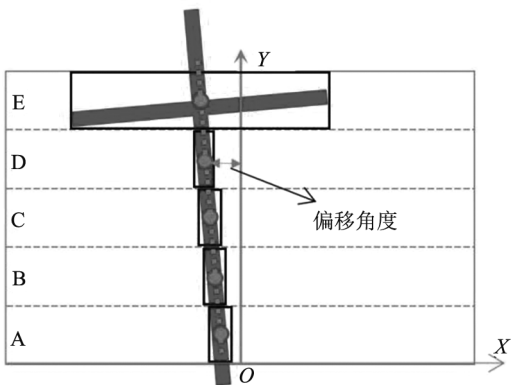


图 5 OPenMV4 寻迹算法

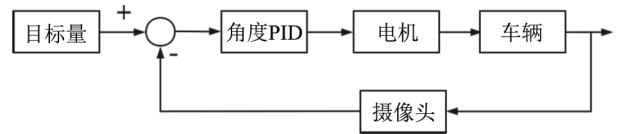


图 6 寻迹PID结构图

$$\dot{\varphi}_r(t) = k_{p_1}(\varphi_r - \varphi) + k_{i_1} \int (\varphi_r - \varphi) dt + k_{d_1} \frac{d(\varphi_r - \varphi)}{dt} \quad (6)$$

式中: $k_{p_1}$ 为外环比例系数; $k_{i_1}$ 为外环积分系数; $k_{d_1}$ 为外环微分系数; $\varphi_r$ 为当前期望的角度输入值; $\varphi$ 为当前采集到的偏差角。

内环控制器计算如式(7)所示。

$$U_\varphi(t) = k_{p_2}(\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi}) + k_{i_2} \int (\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi}) dt + k_{d_2} \frac{d(\dot{\varphi}_r - \dot{\varphi})}{dt} \quad (7)$$

式中: $k_{p_2}$ 为内环比例系数; $k_{i_2}$ 为内环积分系数; $k_{d_2}$ 为内环微分系数; $\dot{\varphi}_r$ 为上一级PID输出值; $\dot{\varphi}$ 为当前采集到偏差; $U_\varphi(t)$ 为最终输出电机控制量。

3 系统硬件电路设计

3.1 GD32F103RCT6 电路原理图

车辆以 GD32F103RCT6 单片机作为主控单元,对整个车辆的各种传感器信息处理及控制。GD32F103RCT6 是兆易创新公司生产的一款 32 位

单片机,其内核采用的是二代 ARM Cortex-M3,工作频率最高为 108 MHz,供电电压 2.6~3.6 V,价格较 STM32 单片机便宜,能够完美兼容 STM32F103RCT6 单片机。压力传感器、寻迹摄像头及数字识别摄像

头采集的信息通过单片机处理之后,控制车辆运送物品至指定房间门口,并语音提示相关隔离人员及时取用,物品拿走之后自动返回起始位置,实现了无接触物品配送。其电路见图 7 所示。

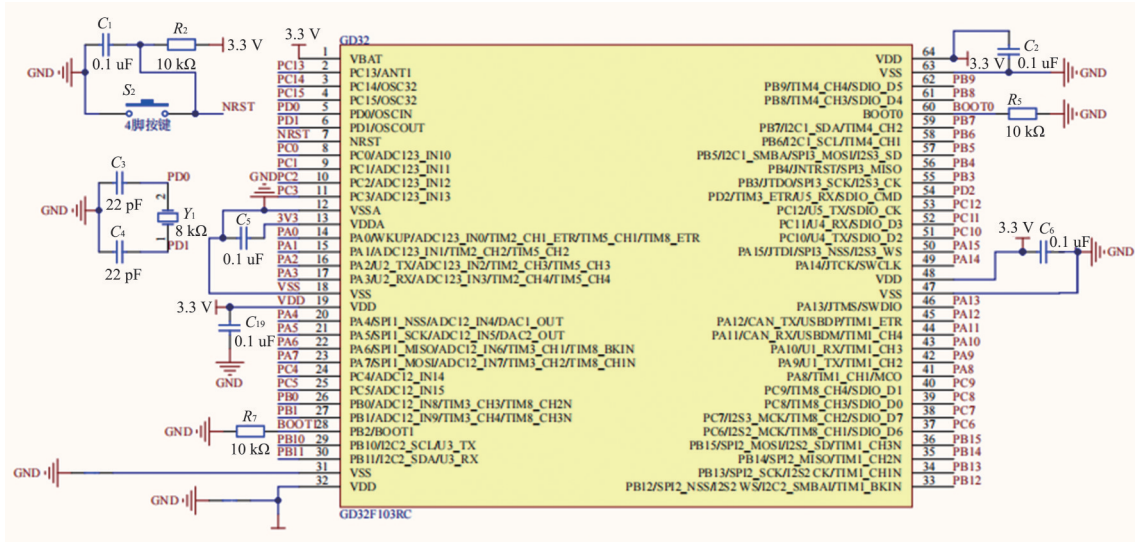


图 7 GD32F103RCT6 电路原理图

### 3.2 OpenMV 摄像头

车辆采用 2 个 OpenMV4 H7 PLUS 摄像头分别用作车辆寻迹模块和车辆的数字识别模块。OpenMV4 H7 PLUS 摄像头一款价格低、扩展强、自带专用的 IDE 软件、可使用 Python 编程的机器视觉模块<sup>[9]</sup>。同时摄像头模块系统允许拆卸,用户根据现场实际情况使用不同的感光元件模组与其相连。可用来进行颜色识别检测追踪、人脸识别、模板匹配、形状检测等功能,实物如图 8 所示。



图 8 OpenMV4 H7 PLUS 摄像头

OpenMV4 摄像头 1 作为寻迹模块使用,其 VCC 接 3.3V 电源、GND 与单片机 GND 相连、TX 口与单片机 PA3 相连、RX 口与单片机 PA2 相连;OpenMV4 摄像头 2 作为数字识别模块使用,其 VCC 接 3.3V 电源、GND 与单片机 GND 相连、TX 口与单片机 PA10

相连、RX 口与单片机 PA9 相连。

### 3.3 语音播报模块

系统利用 SYN6288 语音合成模块作为系统语音播报模块。其支持 GBK、GB2312 等格式文本转换成语音,可以任意合成中文文本,中文语音合成效果清晰、自然、准确<sup>[10]</sup>。SYN6288 语音合成模块采用 3.5 mm 标准音频接口,可以直接插音响使用,支持与单片机进行串口通信,非常适合本系统的语音提示播报。SYN6288 语音合成模块原理图见图 9 所示。其中 VCC 接 3.3V 电源、GND 接地、BNO 接单片机的 PA4、BPO 接单片机的 PA5、BUSY 接单片机的 PA6、TX 接单片机的 PA10、RX 接单片机的 PA9。

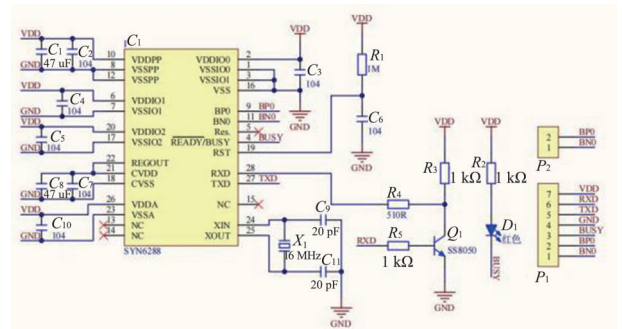


图 9 SYN6288 语音合成模块原理图

### 3.4 压力传感器

为了检测车辆是否载有物品及载物重量,采用 RP-C18.3-LT 电阻式压敏传感器将感应区域的压力

变化转换成电阻值变化,从而获得压力信息,其感应范围为0.2~60 N,传感器如图10所示<sup>[11]</sup>。传感器的电阻值随着感应区的压力增大而减小;在一定条件下,其电阻随压力变化是一条曲线,如图11所示。

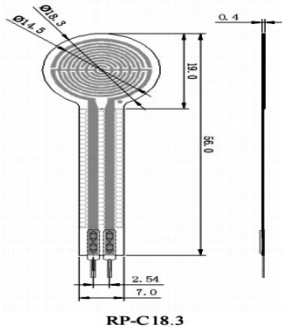


图10 RP-C传感器图

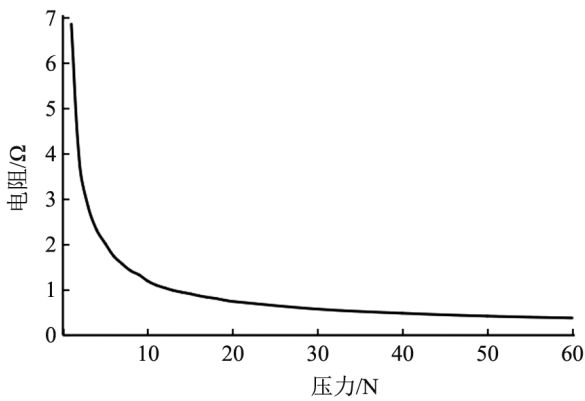


图11 RP-C传感器压力-阻值关系

为了采集传感器检测的压力值,将RP-C18.3-LT与电阻 $R_c$ 串联形成一个分压电路,然后将电阻 $R_{c1}$ 的输出电压经运放放大之后与GD32F103RCT6的PC3口相连,经AD采样处理之后获得 $R_{c1}$ 的电压,然后单片机处理之后得到压力传感器的实时压力值<sup>[12]</sup>。电路如图12所示,其中电阻 $R_{c1}=200\ \Omega$ 。

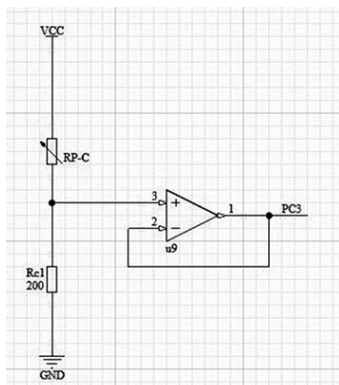


图12 RP-C分压采样电路

### 3.5 电机驱动模块原理图

系统的电机驱动模块采用TB6612FNG模块。TB6612FNG是日本TOSHIBA公司的一款直流电机驱动模块,具有体积小、驱动电流大、双通道输出等特点。其驱动电路见图13所示。

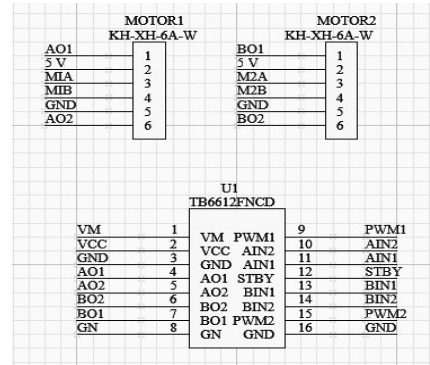


图13 电机驱动模块原理图

### 3.7 无线通信模块

采用主从一体的BT05蓝牙4.0模块作为车辆的无线通信模块,负责多车通信交互。模块可以使用UART接口与单片机连接,具有体积小、价格低、低功耗、收发灵敏度高等优点<sup>[13]</sup>。其电路原理图如图14所示。其中TXD接单片机PA3、RXD接单片机PA2。

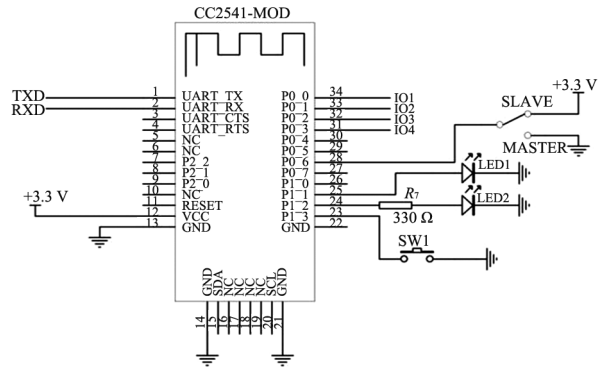


图14 DBT05 蓝牙模块电路原理图

### 3.7 整车成品图

在硬件电路设计的基础上,结合现场实际情况,进行车身设计,整个车身分2层设计,上层为物品摆放区域,下层主要为控制单元等硬件模块安装位置,整车成品如图15所示。

## 4 软件程序流程设计

### 4.1 系统主流程设计

车辆上电之后,首先进行系统初始化,再开始检测是否有物品摆放,一旦检测到物品摆放之后,

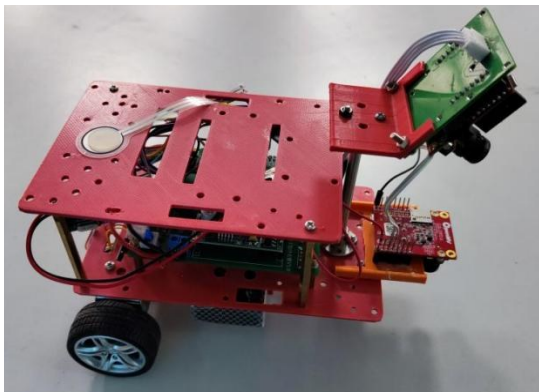


图 15 整车成品图

语音提示进行房间号识别,系统开始检测目标房间的 AprilTag ID。检测完成之后车辆与其他配送车辆通信,判断是否有其他车辆在配送路径中,若有则车辆自动寻迹行驶至避让点避让,再自动寻迹至目标房间;如果没有车辆在配送路径中,则直接自动寻迹至目标房间门口,语音提示房间里的人员取走物品。当系统检测到物品被取走之后,系统继续与其他车辆通信,检测是否有其他车辆在配送路径中,若有则车辆自动寻迹行驶至避让点避让,再自动寻迹至起始位置,如果没有车辆在配送路径中,则直接自动寻迹至起始位置,并语音提示配送完成,等待下次配送任务。系统程序主流程如图 16 所示。

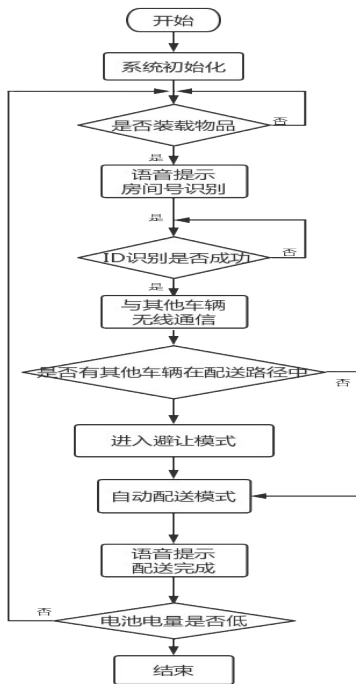


图 16 系统主流程

## 4.2 系统子程序设计

### 4.2.1 避让模式流程设计

当车辆完成配送目标房间的 ID 号识别之后,开启无线通信,与其他车辆通信,判断是否有其他车辆在配送途中,若有则进入避让模式,若没有则进入自动配送模式。车辆返回时,也是同样操作。车辆避让模式流程如图 17 所示,其中 101 房间门口为首选避让区域,若 101 房间门口有其他车辆,则启用 102 房间门口作为避让区域,默认采用 2 辆配送车。

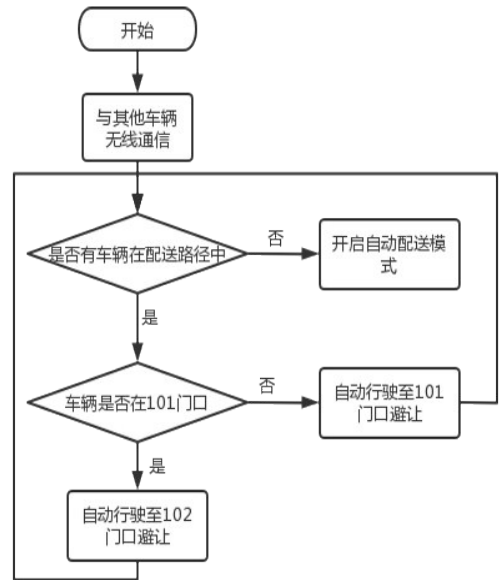


图 17 避让模式流程

### 4.2.2 自动配送模式

当配送途中没有其他车辆或者车辆已完成避让模式之后,车辆进入自动配送模式。自动检测十字路口,并对路口出现的 AprilTag 标签进行识别与定位,根据标签信息自动配送物品至目标房间,然后原路返回,流程如图 18 所示。

## 5 测试方案与测量结果

### 5.1 车辆房间号标签识别、寻迹、十字路口识别、车辆到位标识识别测试

车辆行驶的过程中依赖寻迹模块进行寻迹行驶,同时在行至十字路口时,具有路口识别功能,配合路口出现的 AprilTag 标签准确转弯至对应支路。当车辆行驶至房间口或返回至起始位置时,车辆要能够识别相应虚线标识,做到准确停车。

在测试过程中,根据实际情况及时调整摄像头阈值以及电机的调速阈值,具体测试结果如表 1 所示。

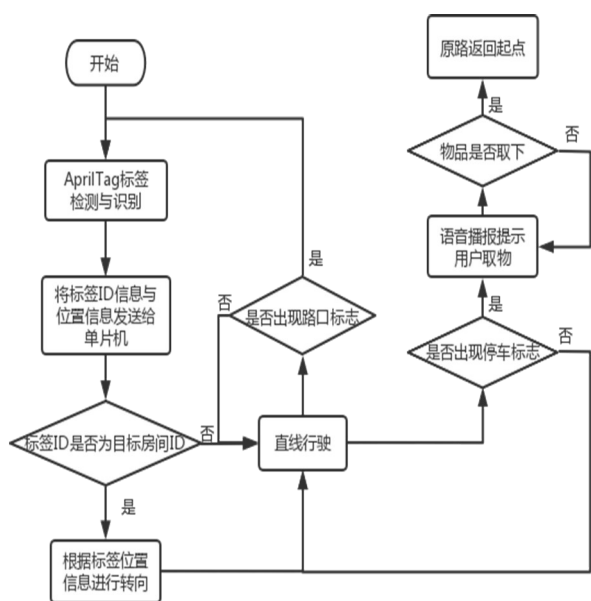


图 18 自动配送模式流程

表 1 标签识别、寻迹、十字路口识别、车辆到位标识别测试

测试项目	实验测次数	成功率/%
标签识别	200	99.5
车辆寻迹	200	99.0
十字路口识别	200	99.0
车辆到位标识别	200	99.5

### 5.2 车辆物品自动配送测试

将小车放置于配送起始位置,待物品装载完成后,根据语音提示将配送目标房间 AprilTag 标签放置在房间号识别区域内进行识别,识别完成之后车辆启动,自动寻迹至目标房间,人工卸载物品后按时自动返回。如若有多辆车参与配送,车辆之间无线通信,避免碰撞。

测试条件及方式如下。

1) 单车配送,识别标签 101、102,目标房间为近端房间。测试结果如表 2 所示。

2) 单车配送,识别标签 103~108,目标房间为中部及远端房间。测试结果如表 3 所示。

3) 采用两辆小车配送货物,双车通过无线实时通信,协同运送物品至同一房间。测试结果如表 4 所示。

### 5.3 测量结果分析

经过不断的现场测试及调试,房间号(AprilTag 标签 ID)识别准确率达 99.5%;寻迹测量方面,在配送结构示意图内检测小车轨迹,轨迹方向误差可以

表 2 单车中、远端房间配送结果

	次数/次	准确率/%	出界率/%	平均时间/s
房间 103	100	99	1	13.1
房间 104	100	98	2	13.9
房间 105	100	98	2	16.8
房间 106	100	99	1	17.3
房间 107	100	98	2	16.5
房间 108	100	98	2	16.9

表 3 近端房间配送结果

	次数/次	准确率/%	出界率/%	平均时间/s
房间 101	100	99	1	9.2
房间 102	100	98	2	9.8

表 4 两车协同运送至同一房间结果

	次数/次	碰撞次数/次	出界率/%	成功率/%	平均时间/s
房间 103	100	1	1	98	27.5
房间 104	100	0	2	98	26.7
房间 105	100	1	2	97	31.9
房间 106	100	0	1	99	32.1
房间 107	100	0	2	98	32.3
房间 108	100	1	1	98	31.7

控制在 3 cm 以内,寻迹成功率达 99%、十字路口识别成功率达 99%、车辆到位标识别成功率达 98%。单车配送时,近端房间配送平均时间不超过 10 s,中、远端房间配送平均时间不超过 17.5 s;双车协同配送时,中、远端房间配送平均时间不超过 33 s,发生碰撞的概率低。同时车辆寻迹行驶过程中的出界率不超过 2%。

## 6 结语

系统采用了模块化设计方法,先后完成了主控单元、AprilTag 标签识别模块、路径识别模块、电机驱动模块、压力检测模块、无线通信模块以及语音播报模块等电路的设计,整个装置较好地实现了设计要求。本文通过使用 AprilTag 标签 ID 替代传统的数字房间号,使得房间号的识别准确率达到

(下转第 110 页)