

基于 ARM 及机器视觉的智能药品运送 机器人系统设计与研究

江龙韬, 刘怡沛, 张卓

(河海大学 物联网工程学院, 江苏 常州 213002)

摘要: 针对目前新冠疫情下人力资源紧缺, 医疗人员工作风险高, 医疗配送服务系统自动化的需求; 设计出了一种基于嵌入式的医疗智能送药机器人系统; 工作人员可在初始药房位置给定机器人应配送的门牌号房间, 药品货物装载自动检测后, 机器人将完成包括送药病房门牌号识别、路径规划、停车卸货等一系列配送任务; 该系统以 STM32F407IGT6 高性能 ARM 芯片为控制核心, 搭载具有 KPU 神经网络运算器的 K210 嵌入式平台进行门牌号识别, 通过 OPENMV4Plus 开源硬件进行机器视觉寻迹, 能够在复杂的医疗环境下准确无误地完成自身的配送药物任务; 通过系统的实验测试, 该机器人运行高效稳定, 具有一定的推广价值。

关键词: 嵌入式; 医疗; 自动化; 机器视觉; STM32

Design and Research of Intelligent Drug Delivery Robot System Based on ARM and Machine Vision

JIANG Longtao, LIU Yipei, ZHANG Zhuo

(College of Internet of Things Engineering, Hohai University, Changzhou 213002, China)

Abstract: In view of the shortage of human resources in COVID-19, the high risk of medical staff and the need of automation in medical distribution service system. A medical intelligent drug delivery robot system based on embedded system is designed. The staff can give the house number that the robot should distribute at the initial pharmacy location. After the drug cargo is loaded and automatically detected, the robot will complete a series of distribution tasks of number identification of drug delivery ward, path planning, parking and unloading. The system takes high-performance ARM chip of STM32F407IGT6 as the control core, carries the embedded platform of K210 with the KPU neural network arithmetic unit for the house number recognition, and carries out the machine vision tracking through open source hardware of the OPENMV4Plus. The own drug distribution task can accurately complete in complex medical environment. Through the experimental test of the system, the robot runs efficiently and stably, and has certain popularization value.

Keywords: embedded; medical; automation; machine vision; STM32

0 引言

21 世纪以来, 国内外对机器人技术的发展越来越重视。机器人技术被认为是对未来产业发展具有重要意义的高新技术之一^[1-2]。随着近年来医疗产业需求的不断扩大, 医疗机器人创新技术和系统的不断涌现, 医疗自动化正逐渐成为具有巨大前景的新兴产业^[3-4]。就目前情况而言, 医疗机器人的研制主要集中在外科手术、康复和医院服务机器人系统等几个方面^[5-7]。但新冠肺炎疫情的爆发加速了机器人在医疗行业, 特别是在医院服务配送方面的应用发

展^[8-10]。针对疫情防控过程暴露出的核心问题, 如医疗物资匮乏、消毒任务繁重、医护人员短缺等, 投入和使用具有特定服务功能的机器人进行疫情防控无疑会具有极大的优势^[11-12]。

因此当今医疗行业迫切需要一种具有无人送药功能的新型机器人, 以此来节约医疗人力、提高诊疗效率, 更好地保护疫情中从事诊疗工作的医护人员^[13-14]。针对以上热点需求, 本文设计了一种以 STM32 嵌入式系统为核心, 结合神经网络数字识别, 机器视觉寻迹的医疗智能送药机器人。该机器人具备自动门牌号识别、自主送药路径规划、

收稿日期: 2022-04-12; 修回日期: 2022-04-24。

基金项目: 国家自然科学基金(61671202); 国家重点研发计划(2018YFC0407101); 江苏省大学生创新创业训练计划项目(202110294173Y, 2021102941428)。

作者简介: 江龙韬(2001-), 男, 江苏常州人, 大学本科, 主要从事嵌入式系统、自动化设备方向的研究。

通讯作者: 张卓(1978-), 女, 辽宁葫芦岛人, 博士, 高级实验师, 主要从事嵌入式系统应用、智能信息处理方向的研究。

引用格式: 江龙韬, 刘怡沛, 张卓. 基于 ARM 及机器视觉的智能药品运送机器人系统设计与研究[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(8): 211-217.

货物装载检测及卸取、智能人机交互等功能,实现了对医疗送药实时性及复杂性的功能需要。经具体实验测试表明,该机器人可自主识别病房号并规划路径送药,且能在医疗人员取药后自动返回,快速进行下一轮送药工作,可以在紧急医疗环境下提供高效准确的医疗配送服务。

1 系统结构及原理

结合医院地形特点,设计了一种实时性强、准确性高、性能稳定的智能医疗送药机器人,本文介绍的系统主要由以下几个部分构成:ARM 控制模块,传感器检测模块,神经网络识别模块,机器视觉循迹模块,电机驱动模块,动作提示模块。系统总体设计结构如图 1 所示。

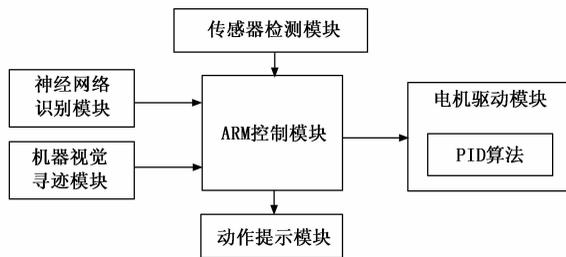


图 1 医疗智能送药机器人总体系统设计

- 1) ARM 控制模块:接收传感器及视觉模块传输的数据,进行路径规划,使用 PID 算法驱动电机进行运输任务。
- 2) 传感器检测模块:实时采集机器人车速,货物装载情况等数据。
- 3) 神经网络识别模块:在特定情况下识别病房门牌号,确定行进方向。
- 4) 机器视觉循迹模块:处理地面复杂状况,拟合正确路线防止机器人偏离。
- 5) 电机驱动模块:根据 ARM 模块发出的 PWM 信号驱动两轮电机。
- 6) 动作提示模块:到达路线标志点时,提示医疗人员进行装载卸货等操作。

本文所设计系统的工作重心主要包括整体硬件电路系统的搭建、高性能 ARM 芯片对于路径规划算法的设计与实现、机器视觉神经网络在复杂场景下的应用;通过完成以上 3 个部分,并将其在实际应用中紧密融合,最终可以使送药机器人完成快速稳定、及时准确的配送任务。

2 系统硬件设计

2.1 ARM 控制模块设计

ARM 控制模块以 STM32F407ZGT6 为核心进行设计,主要参考了 ST 官方的 STM32F40XXX 中文数据手册。该 CPU 基于 ARM Cortex-M4F 内核设计,内部 FLASH 为 1 024 KB, SARM 为 192 KB,同时具备 144 个可使用 GPIO 引脚,非常适合编写大型的复杂系统程序。设计时外部低速时钟 LSE 晶振设置为 32.768 kHz,高速外部时钟 HSE 晶振设置为 8 MHz,同时晶振电路分别带有 10 PF、20 PF

的负载电容构成晶体谐振器,可以为单片机提供精准的时钟频率。系统默认启动方式为 BOOT0=0, BOOT1=0 的主 FLASH 启动方式,以此种方式启动可以直接运行用户实现烧录的程序。设计时还预留了 SWD 方式的烧录调试口,该调试方式仅需 4 Pin 便可经 ST-Link/V2 进行完美的单片机硬件调试,为后续的程序编写提供了极大的便利。ARM 控制模块部分电路如图 2 所示。

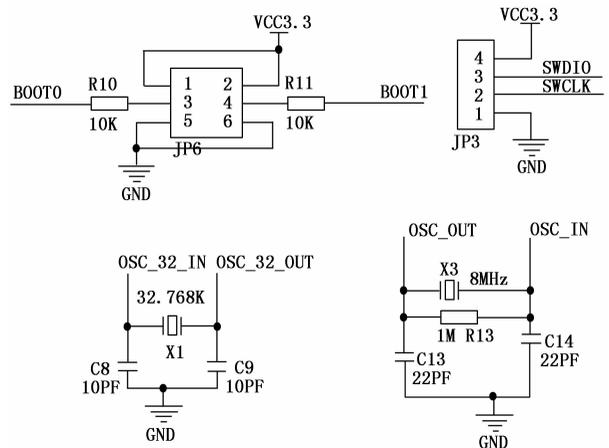


图 2 ARM 控制模块部分电路图

2.2 神经网络识别模块设计

神经网络识别模块以 RISC-V 内核的 K210 芯片为核心进行设计^[15-17]。该芯片拥有双核 64 bit 处理器,支持乘除平方根运算的双精度浮点数运算单元 FPU,标称的工作频率可达 400 MHz。处理器内部还设计了专门用于计算 CNN 卷积神经网络的神经网络处理器 KPU,使其算力可以达到 1 TOPS,超过了树莓派、Jetson Nano 等嵌入式平台,同时内部设置的 8 MB 超大 SARM 允许在实际应用中烧录轻量级神经网络模型。并且该芯片支持 Micropython 嵌入式语言,能够使用官方提供的 Maixpy 固件库,极大地方便了工程中的二次开发。在本设计中,将其与具有 200 万像素的 OV2640 摄像头配合使用,进行门牌号识别工作。

2.3 机器视觉寻迹模块设计

机器视觉寻迹模块采用国外硬件工程师 CHRIS ANDERSON 设计的 OPENMV4Plus 开源机器视觉模块^[18-20]。该模块以 STM32H743V1 芯片为主控,作为新一代的 Cortex-M7 处理器,其工作频率可达 480 MHz。同时板载 FLASH 为芯片内置 2 MB+32 MB,SRAM 为芯片内置 1 MB+32 MB,可用于存储复杂的图像处理程序。该处理器同样支持 Micropython 嵌入式编程语言,且搭配有完整的官方固件库,可配合 OPEVIDE 进行高效开发。在本设计中,与具备 30 万像素的 OV7725 摄像头配合使用,在进行二值化、腐蚀膨胀、拟合直线等复杂的图像处理任务下,处理速度可达到每秒 83 帧,满足实际场景下寻迹需求。

2.4 传感器检测模块设计

2.4.1 光电货物检测模块设计

光电货物检测模块由红外对管和 LM393 构成的单值电

压比较器组成, 红外对管的基本原理是一个对管发射出的红外线, 另一对管用来接收物体反射回的红外线, 将反射回来的光波强度映射为模拟量。集成电压比较器 LM393 的主要作用是将红外对管 U1 得到的模拟量与可调电位器 RP1 上的模拟量进行比较, 得到灵敏度可调的数字量输出, 单片机通过检测高低电平就可以得知是否有货物装载; 设计中采用的红外对管发射接收装置采用直径 4 mm 的红外发射管, 发射的光波为 950 nm 的红外线, 其额定的工作电压为 DC 3.0~5.5 V, 工作电流为 5~15 mA。同时电路中还设计了二极管 D1 用于电源正常工作指示, D2 用于红外对管 U1 模拟量与电位器 RP1 模拟量大小指示。光电货物检测模块电路如图 3 所示。

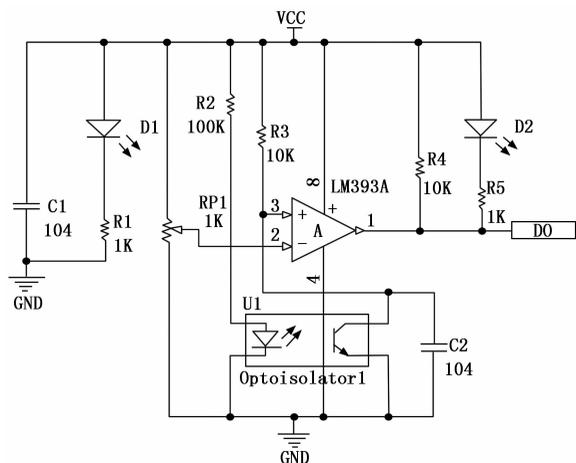


图 3 光电货物检测模块电路图

2.4.2 霍尔编码器模块设计

霍尔编码器模块采用了两通道增量式的 520-P13 磁性编码器。编码器电路包含一个用于磁电转换的磁栅和磁敏检测电路。该型号的磁性编码器工作电压为 5 V, 温度为 -20~+80 °C, 适用于 520 型号电机; 其引出的引脚一共有 6 Pin, 分别为 Motor+, VCC、A 相、B 相、GND、Motor-, 其中的 A 相、B 相引脚在电机转动时会分别发出相位相差 90 度的 100 kHz 方波, 分辨率为每圈 13 个脉冲。通过将 ARM 主控的通用定时器 TIMERX 设置为 Encoder 编码器模式, 就可对编码器输出的 AB 相脉冲进行捕获。将每秒捕获的脉冲数除以每圈脉冲再乘以车轮直径就可得到机器人实时速度, 根据需要使用一节互补滤波滤除高阶噪声之后就可以得到平滑的速度输出曲线。

2.5 电机驱动模块设计

电机驱动模块的驱动电路设计部分以 BTS7970 芯片为核心进行设计, 该芯片脉宽调制能力高达 25 kHz, 且具有通过限制过高电流降低功耗的功能, 能够保证送药机器人精准的调速控制及持续工作状态下的续航。实际设计中通过将 4 个 BTS7970 两两组合构成了两路 H 桥全桥驱动电路, 全桥驱动通过不同极性的 PWM 波能够分别导通 BTS7970 内部的不同 MOSFET, 从而达到控制电机正反转

转变速的功能。同时电路中加入了 LED 灯进行正反转的指示, 当电机正转时, LED1 亮 LED2 灭; 反转时, LED2 亮 LED1 灭, 极大方便了后续的硬件调试工作。具体电路设计如图 4 所示。

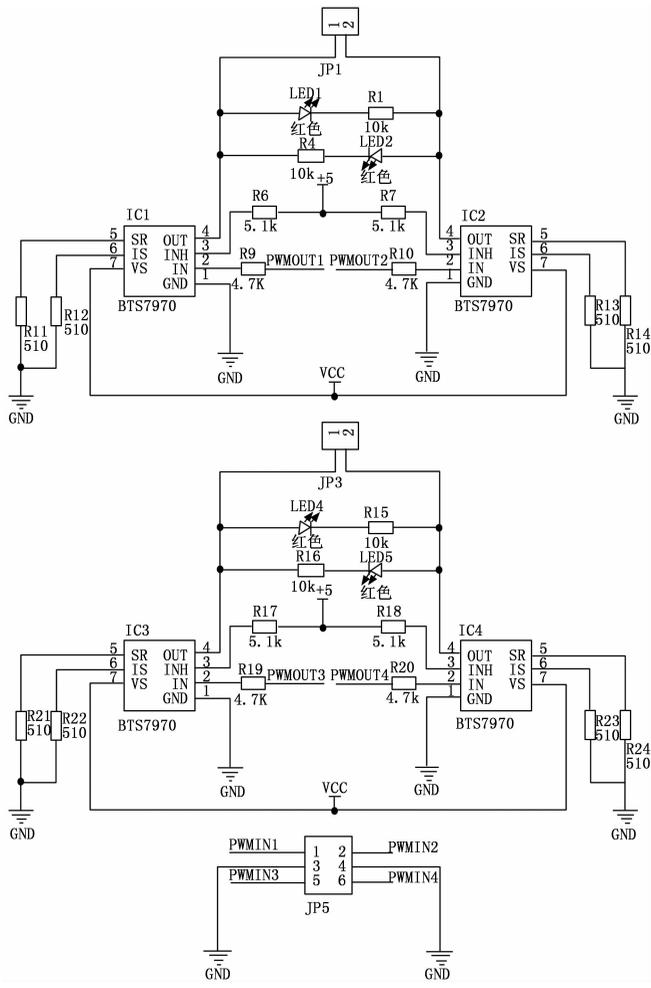


图 4 电机驱动模块电路图

电机驱动模块的电机部分使用了减速比为 1:30 的 JGB27-520 减速电机, 该型号电机额定转矩可达 3 kg/cm, 使用的电压为 DC 12 V, 最大输出功率为 7 W, 满足实际药物配送的载重需求。实际应用中与上述驱动电路相配合, 将两个减速电机分别接至 JP1 和 JP3 端口, 通过控制单片机发出每秒 10 kHz 的不同占空比 PWM 方波, 即可使驱动模块输出不同极性大小的电流, 进而控制该电机进行前进、后退、转弯, 达到配送药品的目的。主控实际分配的控制引脚如表 1 所示。

表 1 电机驱动模块管脚设置

状态	PA1	PA2	PA3	PA5
前进	PWM	0	PWM	0
后退	0	PWM	0	PWM
左转	PWM	0	0	PWM
右转	0	PWM	PWM	0
停止	0	0	0	0

2.6 动作提示模块设计

动作提示模块由一个有源蜂鸣器模块和红黄绿三色 LED 灯组成。有源蜂鸣器模块通过 BEEP 引脚拉低电平导通 PNP 三极管输出电流使蜂鸣器发出响声。实际应用中,当检测到货物为空时亮绿色 LED 灯提示人员装载药品,检测到载有药品时亮红色 LED 灯;当送药至指定门牌号病房前停车等待取药时,蜂鸣器发出声响同时黄色 LED 灯亮提示人员取药。具体电路如图 5 所示。

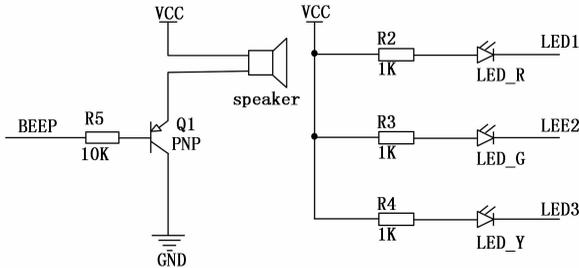


图 5 动作提示模块电路图

3 系统软件设计

3.1 ARM 主控模块软件设计

3.1.1 系统主程序设计

系统上电首先对各模块初始化操作,接着等待初始房间号识别,通过神经网络算法识别到初始门牌号之后等待货物装载,通过光电货物检测模块判断搭载货物后进行货物配送任务,配送过程中的程序算法分为 4 个部分:路径规划算法、机器视觉寻迹算法、神经网络识别号码算法、PID 控制位置和速度算法。其中机器视觉算法搭载于 OPENMV 平台上,主控通过 USART1_IRQHandler() 串口中断函数接收传送回来的路径实时坐标来计算当前位置与正确路径的偏移量,同时还通过传送的特殊字符进行十字路口的有无判断。神经网络算法搭载于 K210 平台上,用于在十字路口进行门牌号识别为机器人指示正确方向,主控通过 USART2_IRQHandler() 函数接收神经网络算法识别到的门牌号数据,判断方向进行差速转弯并继续寻迹。路径规划算法用于近端、中端、远端病房的判断,指示机器人正确的行进路线,同时记录行进过程中的十字路口及转弯等标志位,以便能够快速准确地返回原始药房。PID 算法通过串口 1 中断的出的偏移量、编码器得到的机器人速度以及转弯或是直线行进的判断,得出两个驱动电机的共 4 路 PWM 数值装填数值填入各自的 TIMX_CCRX 寄存器中,纠正路线偏移量的同时调整机器人速度。最终到达目标病房后,停车亮黄灯控制蜂鸣器发出声响,提示医护人员卸载药品。药品卸下后,返回到达药房停车,进行下一轮的配送工作。主程序流程如图 6 所示。

3.1.2 路径规划算法

路径规划算法首先通过目标病房号 road_num 进行近端病房的判断,若判断为近端病房,则直接寻迹至第一个

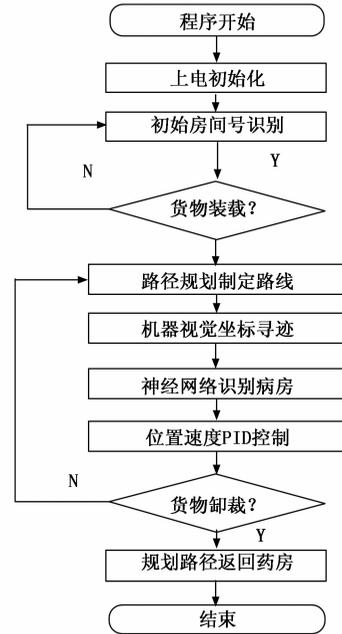


图 6 系统总流程图设计

十字路口,根据初始门牌号判断转弯,更新 dir_flag1 记录转弯方向,cnt_crossroad 加一记录检测到的十字路口数量,待货物卸载后,原路返回检测到第二个十字路口即 cnt_crossroad 等于 2 时,通过预先记录的 dir_flag1 即可决定转弯方向,进而快速准确的返回初始药房。若判断为非近端病房,则直接行驶至第二个十字路口,中间屏蔽掉第一个十字路口,若在第二个十字路口检测到目标门牌号,则之后的流程与近端病房一致。若未检测到,则进入远端病房模式,此模式下默认需经过两个十字路口才可到达目标病房,因此首先记录 cnt_crossroad 等于 2 时转弯方向 dir_flag1,接着记录 cnt_crossroad 等于 3 时转弯方向 dir_flag2,待卸下药品时即可检测到快速根据十字路口及转弯标志位返回药房。路径规划算法的程序流程如图 7 所示。

3.1.3 编码器互补滤波算法

工业传感器测量过程中,一阶互补滤波算法是比较常用的一种算法。此算法可以有效地滤除掉系统测量时引入的高频噪声,保留有用的低频测量数据。本系统所选择的霍尔编码器由于在 AB 相脉冲传输过程中容易受到电机产生外界高频磁场干扰,实际测量到的速度曲线存在较大的波动,因此使用该算法进行平滑速度曲线处理。算法的原理是将新的采样值与上一次的滤波结果进行线性加权计算得到新的滤波结果,算法的数学表达式如下:

$$y(t) = (1 - \alpha) * y(t - 1) + \alpha * x(t) \quad (1)$$

其中: $y(t)$ 为 t 时刻的滤波结果, $y(t - 1)$ 为上一时刻的滤波结果, $x(t)$ 为 t 时刻的采样值。 α 为加权系数,通常取接近于 0 的值,本设计中取值为 0.02。

实际应用中,该算法对于速度曲线的改善效果明显,使得经过互补滤波处理后的速度测量值可以作为电机控制

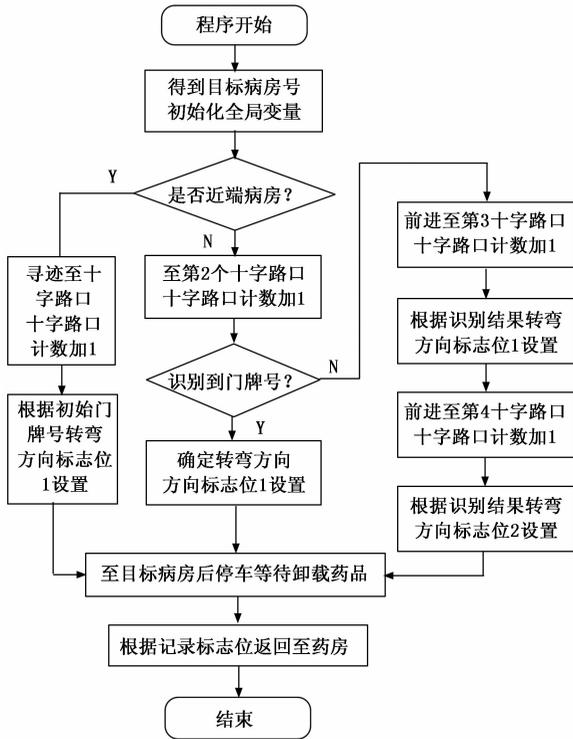


图 7 路径规划算法流程图设计

算法中的反馈速度帮助机器人进行闭环控制。

3.1.4 PID 电机调速算法

传统的单级 PID 控制器是一种线性控制器, 对线性对象有良好的控制效用^[21]。但对于本文设计的具有位置和速度双变量的送药机器人系统难以达到高效准确的控制效果。本文系统所设计的串级 PID 控制采用位置控制器和速度控制器串联工作^[22], 外环 PID 位置控制器的输出作为内环 PID 速度控制器的期望值, 由内环 PID 速度控制器的输出装填 4 路 PWM 占空比, 从而可以对机器人的位置及速度实现精准控制。具体设计如图 8 所示。

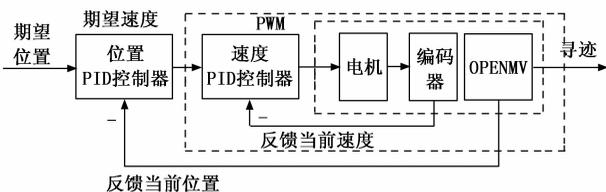


图 8 PID 算法框架设计

PID 控制器主要由比例、积分、微分三部分组成, 其核心就是对 K_p 、 K_i 、 K_d 参数的适当选取^[23]。作为比例控制系数的 K_p 能够提高系统的响应速度, 快速减少误差, 但对于微小误差没有能力将其消除; 设置 K_i 积分控制系数能够在系统调整过程中不断累计的误差进行积分, 并输出积分控制量, 最终消除静态误差; K_d 微分控制系数则是对系统变化的趋势做出反应并超前调节系统, 加快系统进入稳定状态的速度。

由于在 ARM 模块中时间过程为离散值, 实际应用中 PID 算法的数学表达式如下。

$$u(t) = K_p * err(t) +$$

$$K_i * \sum_0^t err(i) + K_d * [err(t) - err(t-1)] \quad (2)$$

其中: $u(t)$ 为 t 时刻控制的输出量, K_p 为比例系数, K_i 为积分系数, K_d 为微分系数, $err(t)$ 为 t 时刻系统的偏差值。

ARM 模块设置的定时器控制周期为 20 ms。经过系统建模与多次实际测试, 本系统最终选取的 PID 系数如表 2 所示, 其中左右电机由于响应速度的不同, 分别设置了对应系数。

表 2 PID 系数设置

闭环	K_p	K_i	K_d
左电机速度环	3.374	3.516 2	0.017 9
右电机速度环	3.484 2	3.412 0	0.018 1
寻迹位置环	5.123 1	0.012 4	8.458 6

3.2 神经网络识别算法

神经网络识别算法的核心是采用 YOLOv3 模型来对 OV2640 摄像头实时采集的图像进行处理。首先通过数据集进行本地训练, 可以得到搭载在 K210 平台上的 yolov3.kmodel 模型文件。烧录模型后首先使用 `kpu.load()` 函数加载事先训练好的 YOLOv3 模型, 接着通过 `kpu.run_yolo3(img)` 函数输入摄像头拍摄的 244×244 分辨率图像, 利用 KPU 卷积神经网络运算单元进行运算, 即可得到识别的结果以及对应的目标检测概率, 对概率大于 0.65 的结果使用红框进行标注, 左上角增添识别结果及目标概率。算法流程如图 9 所示。实际运用 K210 平台通过 UART 串口通信的方式将识别出的数字及具体图像坐标点传送给 ARM 主控模块, 主控内部程序通过输入的数字坐标来推算出具体门牌号, 进行道路口方向的选择和整体的路径规划。实际门牌号识别效果如图 10 所示。

3.3 机器视觉循迹算法

机器视觉寻迹算法核心是通过 OPENMV 自带的图像处理固件库对 OV7725 摄像头拍摄的图像进行一系列处理, 拟合路径中心坐标同时检测有无十字路口。为了加快每帧图像的处理速度, 该算法首先进行 ROI (region of interest) 图像感兴趣区域的设置, 由 320×240 分辨率设置为 200×100 分辨率^[24]。然后根据预设像素阈值对改变分辨率后的图像进行黑白二值化处理。由于黑白二值化处理后的图像边缘处有不规则分布的噪点, 对之后的拟合存在显著影响, 因此在拟合直线之前, 增加了对整体图像的腐蚀、膨胀处理, 即通过卷积运算去除掉小的白色噪点之后, 再对原有的白色阈值图像进行补偿增宽。最后通过调用 `find_lines()` 函数来拟合图像中的白色直线, 得到道路中心线的相关参数。通过 USART 串口通信将中心坐标 (X, Y) 传递给

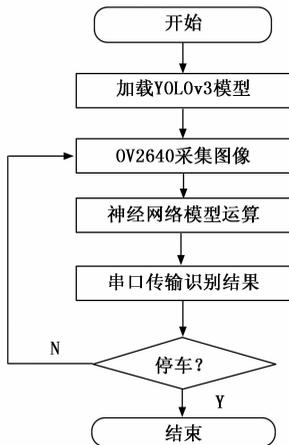


图 9 神经网络算法流程图

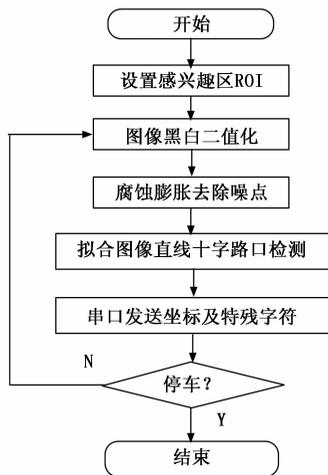


图 12 机器循迹算法流程图

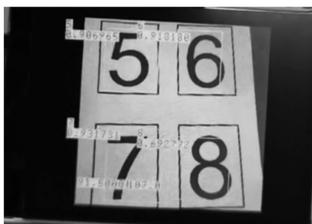


图 10 门牌号识别效果图

主控芯片计算路径偏移量。实际运行效果如图 11 所示。

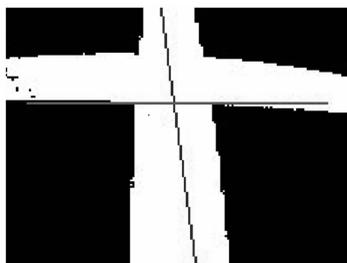


图 11 算法实际效果图

同时为了适应路径规划需求，设计了十字路口检测算法，首先通过拟合道路直线后得到上下末尾端点的横坐标 x_1 和 x_2 ，如果 x_1 大于等于 x_2 时，会在 x 方向 (x_2, x_1) 范围内， y 方向 (30, 130) 感兴趣区范围内，逐行横向遍历像素点，反之亦然。若发现白色区域有横向延伸趋势，则判断为十字路口，并记录其中心点的纵横坐标。同时通过串口发送特殊帧 0XFF 及十字路口中心坐标告知 STM32 主控前方存在十字路口。机器视觉算法的总体流程如图 12 所示。

4 实验结果与分析

4.1 测试步骤

为了验证本文所设计的基于嵌入式的医疗智能送药机器人在现实医疗配送服务中的可行性，与预先设想的效果进行对比，分别模拟实际的医疗环境对近端病房、中端病

房、远端病房进行测试，具体步骤如下：

- 1) 进行初始门牌号识别。
- 2) 搭载货物进行运送。
- 3) 到达指定门牌号后进行货物卸载。
- 4) 卸载货物后返回初始药房处。

在上述实验过程中，观察机器人运行的实际效果，记录一轮配送运行时间。模拟试验总计分为三轮，一轮近端 (1, 2 号病房)，一轮中端 (3, 4 号病房)，一轮远端 (5, 6, 7, 8 号病房)。其中 1, 2 号近端病房位置固定，用来进行测试基础功能的完备性。3~8 号中端及远端病房位置随机，用来模拟实际医疗环境中的病房配送任务。

4.2 测试结果及分析

表 2 近端病房测试结果

Num	1	1	1	2	2	2
T/s	14.3	14.6	13.5	14.6	14.5	14.7

由表 2 可知，近端病房配送一次药物的时间均值为 14.37 s，且每次时间波动变化不大，可以看出近端病房配送运行稳定。

表 3 中端病房测试结果

Num	4	3	7	8	6	5
T/s	20.4	20.5	20.2	20.7	21.2	20.5

由表 3 可知，中端病房配送药物的时间均值较近端病房增加了 6.22 s，但时间波动仍然较小，因此中端病房任务同样运行稳定。

表 4 远端病房测试结果

Num	3	5	7	4	8	4	6
T/s	25.6	25.4	24.2	24.1	27.2	28.1	25.9

由表 4 可知，远端病房由于配送的距离较长，每次配

送任务完成的时间上存在着较大差异, 但是最多不超过 29 s, 且每次配送任务都能完成, 因此相对满足现实中医疗服务的需求, 达到了设计的要求。机器人实际配送过程如图 13 所示。

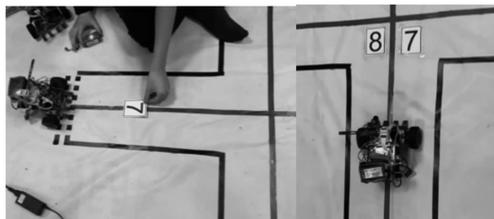


图 13 机器人配送实物过程

综上所述, 该机器人工作过程较为稳定可靠, 能够在不同距离病房的日常配送任务, 满足医疗配送机器人的设计要求。但是在长距离的配送服务中, 每次配送时间还是存在一些差异, 之后可以通过加入 TF 测距雷达、改进 PID 控制算法等方法进一步改善机器人的工作性能, 满足复杂场合下的配送任务。

5 结束语

未来无论是在专业的医疗服务领域还是在人们的日常药物配送活动中, 特种医疗机器人技术都将发挥巨大的作用, 帮助人们缓解极端情况下人力资源的紧张, 使之在更好的地方发挥价值。本文设计的一种用于医疗服务的智能送药机器人, 通过结合 OPENMV 提供的机器视觉寻迹及 K210 提供的数字门牌号识别, 可以实现路径的实时规划, 识别初始的送药病房号, 进而把所需要的药物送至目标病房。经过系统测试, 机器人的各项功能指标达到了预期的效果, 且在任务执行时运行稳定。目前该医疗机器人可以单独工作, 将来考虑加入组队联网算法, 以便进一步扩展其业务服务功能。

参考文献:

- [1] 谭 民, 王 硕. 机器人技术研究进展 [J]. 自动化学报, 2013, 39 (7): 963-972.
- [2] 医疗机器人创新技术研讨 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2021 (5): 13.
- [3] 赵新刚, 段星光, 王启宁, 等. 医疗机器人技术研究展望 [J]. 机器人, 2021, 43 (4): 385.
- [4] 张送根, 王 豫. 基于数据分析概述医疗机器人产业发展现状及未来趋势 [J]. 中国医疗器械信息, 2017, 23 (7): 14-18.
- [5] 杜志江, 孙立宁, 富历新. 医疗机器人发展概况综述 [J]. 机器人, 2003 (2): 182-187.
- [6] 刘文婷. 后疫情时代, 我国医疗机器人产业发展的危与机 [J]. 机器人产业, 2021 (2): 77-81.
- [7] 任佳妮, 杨 阳. 全球医疗机器人技术领域创新态势分析 [J]. 计算机技术与发展, 2021, 31 (4): 158-163.
- [8] 毛子骏, 刘子灵, 周光勇. 国际比较视野下机器人在医疗卫生领域的应用政策研究 [J]. 科技管理研究, 2021, 41 (10): 49-59.
- [9] 医疗机器人发展应用取得新突破 [J]. 仪器仪表标准化与计量, 2021 (5): 13.
- [10] 张送根, 王 豫. 基于数据分析概述医疗机器人产业发展现状及未来趋势 [J]. 中国医疗器械信息, 2017, 23 (7): 14-18.
- [11] 张 辉, 王耀南, 易俊飞, 等. 面向重大疫情应急防控的智能机器人系统研究 [J]. 中国科学: 信息科学, 2020, 50 (7): 1069-1090.
- [12] 王汉松, 董 斌, 罗雯懿, 等. 医疗机器人在发热隔离门诊中的应用进展 [J]. 中国卫生资源, 2020, 23 (4): 394-399.
- [13] 于健伟, 羊月祺, 李 鑫, 等. 新型冠状病毒疫情背景下医疗设备创新应用与发展趋势探讨 [J]. 中国医疗设备, 2021, 36 (3): 173-176, 180.
- [14] 张 辉, 王耀南, 易俊飞, 等. 面向重大疫情应急防控的智能机器人系统研究 [J]. 中国科学: 信息科学, 2020, 50 (7): 1069-1090.
- [15] 张玉杰, 董 蕊. 一种改进 YOLOv3 的红外人体检测嵌入式系统的设计 [J]. 光电子·激光, 2021, 32 (10): 1023-1029.
- [16] 王 浩. 基于 K210 芯片的 KPU 硬件加速人脸识别应用系统设计 [J]. 办公自动化, 2021, 26 (11): 58-59+39.
- [17] 陈利民, 严伟豪, 梁 音, 等. 嵌入式人脸识别实验系统的模型压缩及其分析 [J]. 南昌大学学报 (理科版), 2021, 45 (6): 601-606.
- [18] 吴继侠, 李佰猛, 刘 豪. 多模式智能灭火车设计 [J]. 中国工程机械学报, 2020, 18 (4): 343-347.
- [19] 周棕凯, 胡佳宁, 张晨一, 等. 基于图像和激光雷达的避障割草机控制系统设计 [J]. 农机化研究, 2022, 44 (9): 80-84.
- [20] 李成勇, 谭寒钟, 王 莎, 等. 基于 OpenMV 的智能“寻的”小车控制系统 [J]. 液晶与显示, 2020, 35 (8): 870-876.
- [21] 王素青, 熊维堂. 基于 STM32 的两轮自平衡小车系统设计 [J]. 实验室研究与探索, 2016, 35 (5): 146-150.
- [22] 周树道, 张阳春, 王 敏. 双变量串级 PID 板球控制系统的设计与实现 [J]. 科学技术与工程, 2021, 21 (4): 1454-1458.
- [23] 李 裴, 刘 慧, 李满堂, 等. 基于 STC 单片机的智能化病房温控系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30 (3): 126-132.
- [24] 董宗祥, 石红瑞, 杨 杰. 嵌入式智能小车测控系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (2): 357-359, 362.