

基于STM32的医院物流小车控制系统设计

卢媛媛 马梓琳 彭敏 李吉 许焱平

无锡太湖学院, 中国·江苏 无锡 214064

摘要: 针对现代化医院物资配送效率低、人工成本高、交叉感染风险大、药品抓取配送脱节等痛点, 设计一款基于单片机的智能医院物流小车系统。系统以 STM32 为主控核心, 集成电源管理模块、电机驱动模块、图像识别模块、超声波避障模块、机械臂驱动模块及声光报警模块, 摒弃传统循迹模式, 采用图像识别技术实现场景判断与自主导航, 搭配车子顶部机械臂完成药品自动抓取、转运与投放, 实现全流程无人物资配送。本文详细阐述系统总体方案、硬件电路设计与工作原理、软件流程设计等, 经在模拟医院环境中实验验证, 小车运行稳定、场景识别精准、避障响应迅速、机械臂抓取可靠, 可满足药品、标本、耗材等物资的自动化抓取与配送需求。

关键词: STM32; 医院物流小车; 图像识别; 机械臂抓取

Design of Hospital Logistics Car Control System Based on STM32

Lu Yuanyuan, Ma Zilin, Peng Min, Li Ji, Xu Yanping

Wuxi Taihu University, China Jiangsu Wuxi 214064

Abstract: Aiming at the pain points of modern hospitals, including low efficiency of material distribution, high labor cost, high risk of cross-infection, and disconnection between drug grasping and distribution, an intelligent hospital logistics car system based on a single-chip microcomputer is designed. Taking STM32 as the main control core, the system integrates a power management module, a motor drive module, an image recognition module, an ultrasonic obstacle avoidance module, a manipulator drive module, and a sound-light alarm module. Abandoning the traditional tracking mode, it adopts image recognition technology to realize scene judgment and autonomous navigation. Equipped with a top-mounted manipulator, the car completes automatic grasping, transportation and delivery of drugs, realizing full-process unmanned material distribution. This paper elaborates on the overall system scheme, hardware circuit design and working principle, and software flow design of the system. Experimental verification in a simulated hospital environment shows that the car operates stably with accurate scene recognition, rapid obstacle avoidance response and reliable manipulator grasping performance. It can meet the automatic grasping and distribution requirements of medical supplies such as drugs, specimens and consumables.

Keywords: STM32; Hospital logistics car; Image recognition; Manipulator grasping

0 引言

在智慧医疗与数字医院快速发展的背景下, 医院内部物资自动化配送已成为智慧院区建设的重要组成部分。现代医院诊疗节奏快、物资流转量大, 药品、检验标本、医用耗材等物资的高效、安全转运, 直接影响医院诊疗效率与服务质量。目前, 国内多数中小型医院仍采用人工推送转运车的传统配送模式, 存在诸多弊端: 人工配送效率低下、人力成本偏高, 长时间高强度搬运易造成医护人员精力分散; 人工搬运过程易引发药品磕碰、标本污染、物资错拿漏拿等问题; 在传染病区、无菌科室等特殊场景, 人工进出频繁, 大幅减少医患交叉感染风险。因此, 实现医院内部物资配送的无人化、智能化、精准化升级, 对优化医院人力配置、提升物资转运安全性、推进智慧医院数字化转型具有重要现实意义与应用价值。

1 系统总体设计

1.1 设计目标

本文设计一款基于 STM32 单片机的智能医院物流小车系统。系统摒弃传统磁条、红外有轨循迹方式, 搭载 OV7670 (带 FIFO) 视觉识别模块实现医院场景感知与无轨导航, 引入 A* 启发式路径规划算法完成全局最优路径搜索, 搭配机械臂结构、超声波雷达等, 实现药品自动识别、抓取、智能避障、定点投放等功能。

图像识别导航: 通过 OV7670 摄像头采集场景图像, 识别医院路径、科室标识、药品货架, 实现无轨自主导航与定点停靠;

智能避障: 超声波模块实时检测障碍物, 结合图像识别场景预判, 自动减速、绕行或停车, 避免碰撞;

机械臂抓取: 顶部机械臂接收指令, 精准抓取指定药

品,完成夹取、转运、投放动作;

安全预警:配备声光报警模块,行驶、避障、抓取、停靠阶段发出对应提示。

1.2 系统总体设计

系统采用模块化分层设计,分为主控核心层、视觉感知层、环境感知层、驱动层、执行层及辅助功能层,整体系统框图如图 1 所示。主控层为 STM32F407 单片机,负责图像数据处理、场景判断、逻辑运算与全局指令下发;视觉感知层采用 OV7670 图像模块,采集医院场景、药品、标识图像并传输至主控;环境感知层由超声波避障模块组成,辅助检测障碍物;驱动层包含电机驱动与机械臂驱动,放大控制信号驱动执行机构;执行层包含车轮电机、机械臂舵机,完成行驶与抓取动作;辅助功能层实现声光报警、状态指示等功能。

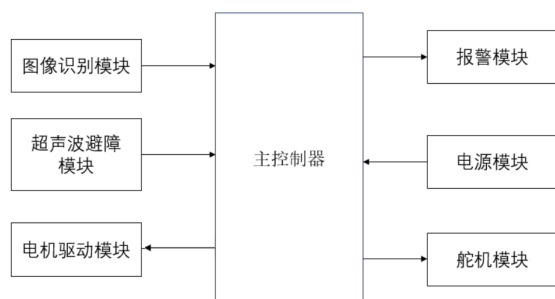


图1 系统框图

2 硬件电路设计

2.1 主控电路

主控芯片选用 STM32F407,最小系统电路包括电源电路、复位电路、时钟电路、下载调试电路,是单片机正常运行的核心保障。

电源电路:采用 AMS1117-3.3V 稳压芯片,将外部 5V 输入电压转换为 3.3V,为 STM32 内核及外设供电,输入端并联 $100\mu\text{F}$ 电解电容和 $0.1\mu\text{F}$ 瓷片电容,滤除高低频干扰,保证供电稳定。

复位电路:由 $10\text{K}\Omega$ 上拉电阻和 $0.1\mu\text{F}$ 电容组成,上电瞬间电容充电,复位脚保持低电平实现自动复位;手动复位按键并联在电容两端,按下可强制复位。

时钟电路:外部 8MHz 晶振搭配 22pF 负载电容,为单片机提供高精度时钟源,经内部倍频后达到 72MHz 主频,满足图像数据处理、多模块协同控制的响应速度。

2.2 电机驱动与机械臂舵机驱动电路

2.2.1 车轮电机驱动电路

选用 L298N 电机驱动芯片,该芯片为双 H 桥驱动,可同时驱动两路直流减速电机,支持正反转、调速控制,

驱动电流大、散热性能好,适配小车载重行驶需求,电路原理图如图 2 所示。

STM32 的 PA0、PA1 引脚连接 L298N 的 IN1、IN2 引脚,控制左侧电机正反转;PA2、PA3 引脚连接 IN3、IN4 引脚,控制右侧电机正反转;TIM2_CH1、TIM2_CH2 引脚输出 PWM 波,接入 L298N 的 ENA、ENB 使能端,调节电机转速;L298N 的 12V 引脚外接锂电池电源,GND 共地,输出端直接连接直流减速电机;H 桥两端并联续流二极管,防止电机启停时产生的反向电动势损坏驱动芯片。

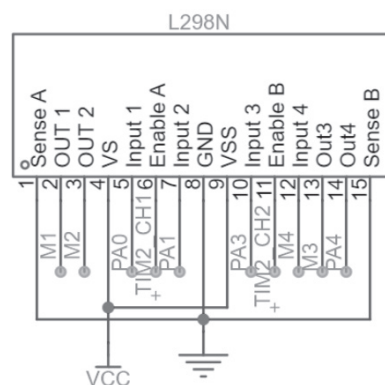


图2 电机驱动电路图

2.2.2 机械臂舵机驱动电路

小车顶部搭载机械臂,由 SG90 数字舵机控制(俯仰舵机+夹持舵机),实现药品夹取、抬升、投放动作,舵机驱动电路接口图如图 3 所示。舵机供电采用 5V 稳压输出,由 AMS1117-5V 芯片单独供电,避免舵机动作干扰主控与电机电路;俯仰舵机信号线接 STM32 的 PB0 引脚,夹持舵机信号线接 PB1 引脚,主控通过定时器输出 20ms 周期、0.5~2.5ms 高电平的 PWM 波,控制舵机旋转角度($0^\circ \sim 180^\circ$);舵机电源端并联 $100\mu\text{F}$ 滤波电容,抑制舵机动作产生的电压波动,保证驱动稳定。

车轮电机驱动采用逻辑电平控制:当 IN1 为高电平、IN2 为低电平时,左侧电机正转;IN1 为低电平、IN2 为高电平时,电机反转;ENA 引脚的 PWM 波占空比决定电机转速,占空比越大,转速越快。STM32 结合图像识别场景,改变 IO 口电平与 PWM 占空比,实现小车前进、后退、转向、加减速。机械臂舵机通过 PWM 脉冲角度控制:俯仰舵机控制机械臂升降,夹持舵机控制夹爪开合,STM32 根据图像识别的药品位置,输出对应占空比的 PWM 波,精准控制舵机旋转角度,完成“定位-夹取-抬升-转运-投放”全流程动作,抓取误差 $\leq 5\text{mm}$,满足医院药品精准抓取需求。

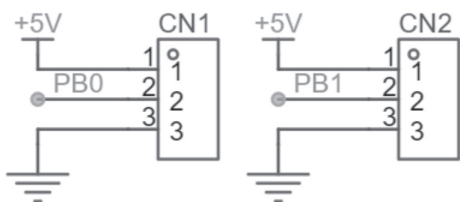


图3 舵机电路接口图

2.3 图像识别与超声波避障电路

2.3.1 OV7670 图像识别电路

采用 OV7670 CMOS 图像传感器（带 FIFO）模块，采集医院场景、药品货架、科室标识图像，实现场景判断与导航，电路原理图如图 4 所示。

模块采用 3.3V 供电，SDA、SCL 引脚为 I2C 通信接口，连接 STM32 的 PB10、PB11 引脚，实现图像参数配置（分辨率、帧率、曝光度）；像素数据输出引脚（D0-D7）连接 STM32 的 PC0-PC7 引脚，将采集的图像数据传输至主控进行处理；VSYNC（场同步）、HREF（行同步）引脚连接 STM32 中断引脚，实现图像数据的同步采集，避免数据丢包。OV7670 模块实时采集前方场景图像，通过 I2C 接口完成参数初始化，图像数据经并行接口传输至 STM32，主控通过图像处理算法识别路径边界、药品轮廓、科室二维码，判断行驶路线与抓取位置，替代传统循迹模块，实现无轨自主导航与场景自适应。

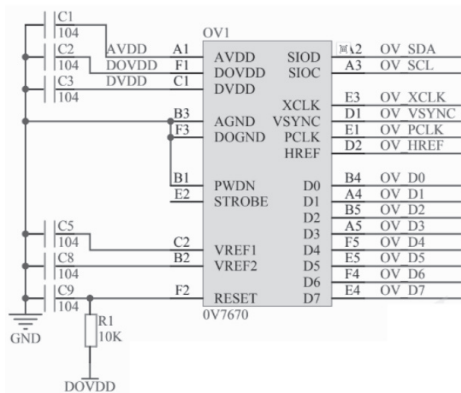


图4 OV7670 电路图

2.3.2 超声波避障电路

选用 HC-SR04 超声波模块，测距范围 2cm-400cm，精度高、响应快，配合图像识别实现双重避障，电路接口图如图 5 所示。模块的 Trig 引脚接 STM32 的 PB6，Echo 引脚接 PB7。STM32 向 Trig 引脚发送 10μs 高电平触发信号，模块自动发射 8 个 40kHz 超声波脉冲，遇障碍物后反射，Echo 引脚输出高电平，高电平持续时间即为超声波往返时间。通过公式距离 = （高电平时间 × 340m/s）/ 2 计算障碍物距离，当距离小于设定阈值时，STM32 结合图像识

别场景，控制小车停车或绕行，提升行驶安全性。



图5 超声波电路接口图

2.4 电源管理与声光报警电路

2.4.1 电源管理电路

采用 12V 锂电池供电，分为三路稳压输出，适配不同模块电压需求：一路经 AMS1117-3.3V 稳压后，供给 STM32 主控、OV7670 图像模块；一路经 AMS1117-5V 稳压后，供给超声波模块、舵机驱动模块；另一路直接供给 L298N 电机驱动模块，电路原理图如图 6 所示。电路中加入自恢复保险丝，防止短路、过流损坏器件，同时配备电源指示灯，实时显示供电状态。

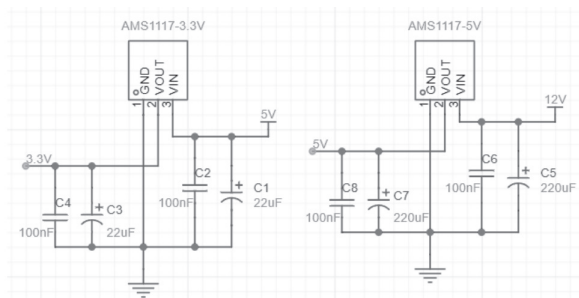


图6 电源电路图

2.4.2 声光报警电路

由有源蜂鸣器和 LED 指示灯组成，蜂鸣器接 PC0 引脚，LED 接 PC1 引脚，电路原理图如图 7 所示。小车正常行驶时，LED 常亮；检测到障碍物或抓取异常时，蜂鸣器间歇鸣叫、LED 闪烁；到达指定位置完成药品投放时，蜂鸣器长响 2 秒提示，实现多场景安全预警。

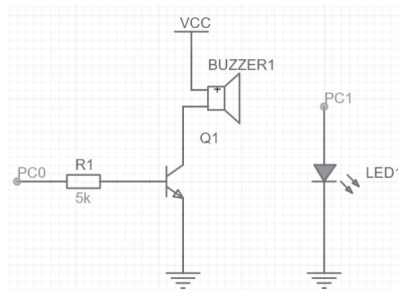


图7 声光报警电路

3 系统软件设计

编程软件使用 Keil MDK，软件设计采用模块化编程思想，使用 C 语言编写代码，引入 A* 路径规划算法实现

全局最优路径决策。主程序流程图覆盖系统上电到任务完成的全流程，串联图像采集、路径规划、避障行驶、机械臂抓取等环节，软件总体流程图如图 8 所示。

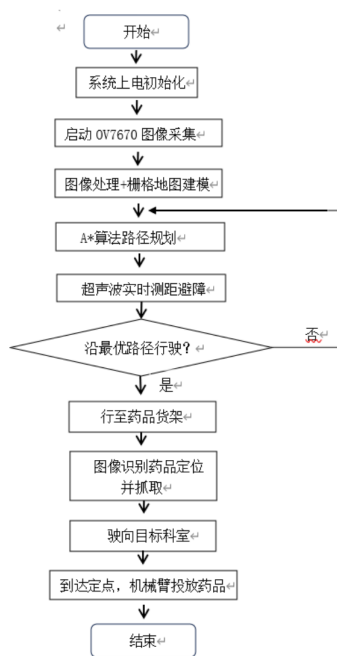


图8 主流程图

3.1 A* 路径规划算法设计

3.1.1 算法核心原理

A* 算法通过代价函数评估每个栅格节点的优先级，代价函数越小，节点优先级越高，核心公式如下：

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

式中： $f(n)$ ：节点 n 的总代价值，为算法选择节点的核心依据； $g(n)$ ：从起点到当前节点 n 的实际行驶代价，以栅格距离为计量单位，直行代价为 1、斜行代价为 $\sqrt{2}$ ； $h(n)$ ：从当前节点 n 到终点的启发式估计代价（曼哈顿距离），保证算法快速收敛且无死锁。曼哈顿距离计算公式（适配小车栅格行驶场景）：

$$h(n) = |x_n - x_{end}| + |y_n - y_{end}|$$

式中： (x_n, y_n) 为当前节点坐标， (x_{end}, y_{end}) 为终点坐标。

3.1.2 算法适配优化

针对 STM32 算力有限的特点，对 A* 算法做嵌入式适配：（1）采用栅格地图压缩技术，减少内存占用；（2）限制搜索深度与邻域范围，缩短运算时间；（3）结合图像识别实时更新障碍栅格，实现动态路径重规划。

3.1.3 算法执行流程

地图建模：通过 OV7670 图像识别采集医院场景，将

走廊、科室、障碍物转化为 $5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 栅格地图，标记可通行区域与障碍区域；

初始化列表：创建开放列表（存放待检测节点）、关闭列表（存放已检测节点），将起点加入开放列表；

节点遍历：选取开放列表中 $f(n)$ 最小的节点作为当前节点，移入关闭列表，遍历其 8 邻域可通行节点；

代价更新：计算邻域节点的 $g(n)$ 、 $h(n)$ 、 $f(n)$ ，若节点未入列表则加入开放列表，若已存在则更新更小代价值；

路径回溯：当终点加入关闭列表时，算法终止，从终点反向回溯父节点，生成全局最优路径。

4 结论与展望

本文设计的基于 STM32 的医院物流小车系统，融合图像识别场景判断与机械臂自动抓取技术，以模块化电路为核心，实现了无轨自主导航、智能避障、药品精准抓取、定点投放、安全预警等功能。系统硬件电路简洁可靠，成本低廉，软件逻辑清晰易维护，经测试运行稳定、性能达标，能够彻底替代人工完成医院药品、耗材等物资的抓取与配送任务，降低人工成本与交叉感染风险，为智慧医院物流自动化提供了可行方案。

后续可进一步优化系统：升级 AI 图像识别算法，提升复杂场景、多药品分类识别精度；将机械臂升级为四自由度，适配不同规格药品与摆放姿态；增加 WiFi/ 蓝牙无线通信模块，实现上位机远程调度与多车协同作业；加入温湿度监测模块，保障冷链药品配送安全；优化电源管理与机械臂结构，提升续航能力与抓取稳定性，扩大小车在医院各类物资配送场景的应用范围。

参考文献：

- [1] 高延增. STM32CubeIDE 嵌入式开发教程[M]. 北京：机械工业出版社，2025.
- [2] 尚雨彤，岳耀亮. 基于 STM32 的视觉分拣系统设计[J]. 信息与电脑，2025, 37(03): 66-68.
- [3] 付子聪，王丰. 融合改进 A* 与 DWA 算法的医用配送机器人路径规划[J]. 自动化应用，2023, 64(11): 19-23.
- [4] 程飞，左其波. 基于 OV7670 机器人视觉图像采集模块的设计[J]. 电子测试，2018(13): 28-29+27.

基金项目：江苏省大学生创新创业项目，编号：S2025 13571013。

作者简介：卢媛媛，无锡太湖学院学生，研究方向：自动化控制。