

**江苏科技大学**

**本 科 毕 业 设 计（论文）**

学 院 自动化学院

专 业 自动化

学生姓名 方贻培

班级学号 192210301210

指导教师 林焘

2023年 月

江苏科技大学本科毕业论文

图像识别的导航智能车

（Image Recognition Navigation Intelligent Car）

学生姓名：方贻培

指导教师：林焘

江苏科技大学

二O二三年六月

目 录

|  |
| --- |
| 摘要 ......................................................................... Ⅰ  Abstract ................................................................................................ Ⅱ  第1章 绪论 ..................................................................................................... 1  1.1 研究背景与意义.............................................................................................................. 2  1.2 国内外研究现状............................................................................................................. 3  1.3 主要研究内容与章节安排............................................................................................. 6  1.3.1 研究内容 ............................................................................................................. 19  1.3.2 章节安排 ............................................................................................................. 19  第2章 系统总体方案设计..................................................................................... 10  2.1 功能需求 ..................................................................................................................... 11  2.2 系统总体方案和各个功能模块 ................................................................................. 13  2.3 硬件选型 ...................................................................................................................... 14  2.4 方案实施步骤 ............................................................................................................. 15  2.5 小结 ............................................................................................................................. 15  第3章 室内定位研究与方案设计................................................................. 16  3.1 室内定位方案概述和选择 ......................................................................................... 17  3.2 视觉定位系统理论基础 ............................................................................................. 18  3.2.1 成像原理 ............................................................................................................. 19  3.2.2 可视标签和图像采集设备选型 ......................................................................... 20  3.2.3 ApriTag标签检测 ................................................................................................ 21  3.3 室内定位方案设计 ..................................................................................................... 22  3.3.1 引导地图模型 ..................................................................................................... 21  3.2.3 机器人循迹控制 ................................................................................................. 21  3.4 小结 ............................................................................................................................. 22  第4章 系统硬件电路设计.............................................................................. 10  4.1 系统总体硬件结构 ..................................................................................................... 22  4.2 模块电路设计............................................................................................................... 22  4.2.1 主控电路设计 ..................................................................................................... 21  4.2.2 电源电路设计 ..................................................................................................... 21  4.2.3 电流检测电路设计............................................................................................... 21  4.2.4 电机驱动电路设计 ............................................................................................. 21  4.2.5 MPU6050电路设计 ............................................................................................ 21  4.2.6 拓展高电流输出电路设计................................................................................... 21  4.2.7 拓展IO电路设计................................................................................................. 21  4.2.7 串口电路设计....................................................................................................... 21  4.3 小结 ............................................................................................................................. 22  第5章 系统软件设计......................................................................................10  5.1 系统总体软件结构 ..................................................................................................... 22  5.2 软件开发环境 ............................................................................................................. 22  5.3 基于FreeRTOS嵌入式操作系统的底盘运动实现 .................................................. 22  5.3.1 底盘运动任务设计 ............................................................................................. 21  5.3.2 调试串口任务设计 ............................................................................................. 21  5.3.3 通信串口任务设计 ............................................................................................. 21  5.3.4 陀螺仪任务设计 ................................................................................................. 21  5.3.5 电池电压任务设计 ............................................................................................. 21  5.3.6 状态灯任务设计 ................................................................................................. 21  5.3.7 按键任务设计 ..................................................................................................... 21  5.3.8 其它调试任务设计 ............................................................................................. 21  5.4 基于OpenMV Cam的图像处理实现 ....................................................................... 22  5.4.1 路线识别 ............................................................................................................. 21  5.4.2 十字路口识别 ................................................................................................... 21  5.4.3 终点识别 ........................................................................................................... 21  5.4.4 AprilTag标签识别 ............................................................................................. 21  5.5 基于OpenMV Cam的十字路口处理 ....................................................................... 22  5.5.1 直行路口 ........................................................................................................... 21  5.5.2 拐角路口 ........................................................................................................... 21  5.6 基于OpenMV Cam的返程处理 ............................................................................... 22  5.6.1 返程终点转弯 ................................................................................................... 21  5.6.2 返程拐角路口 ................................................................................................... 21  5.6.3 返程直行路口 ................................................................................................... 21  5.7 基于Esp32的WebServer上位机 .............................................................................. 22  5.8 基于串口的OpenMV Cam通信实现 ....................................................................... 22  5.8.1 底盘和OpenMV Cam通信 ............................................................................. 21  5.8.2 Esp32和OpenMV Cam通信 .......................................................................... 21  5.9 小结 ...............................................................................................................................22  第6章 系统测试和分析....................................................................................10  6.1 测试内容及环境 ......................................................................................................... 22  6.2 通信可靠性测试 .......................................................................................................... 22  6.3 十字路口转向及直行精度测试................................................................................... 22  6.3.1 转向精度测试 ................................................................................................... 21  6.3.2 直行精度测试 ................................................................................................... 21  6.4 停下识别AprilTag标签精度测试 .............................................................................. 22  6.5 返回转弯180°测试 .................................................................................................... 22  6.6 返回遇拐角测试 ........................................................................................................... 22  6.6.1 第1个拐角处理 ............................................................................................... 21  6.6.2 其它拐角处理 ................................................................................................... 21  6.7 终点停车可靠测试 ....................................................................................................... 22  6.8 运行总体性能测试 ....................................................................................................... 22  6.9 小结 ............................................................................................................................... 22  第7章 总结与展望...........................................................10  7.1 总结 ............................................................................................................................. 22  7.2 展望 ............................................................................................................................. 22  参考文献………………………………………………………………………………83  致谢……………………………………………………………………………………86  附录………………………………………………………………………………………90 |

摘要

自从20世纪30年代，材料的提纯技术得到足够的改进，半导体产业开始被学术界认可。这里的半导体也即集成电路。集成电路的组成是由成千上万，甚至上亿个晶体管组成，同时晶体管自从在贝尔实验室研制出来，许多半导体公司的技术得到了空前的发展，特别是在处理器（CPU）领域。比如，英特尔公司研发的处理器从最初的4004处理器、i8086处理器到现在的酷睿系列处理器，从这些方面可以看出晶体管对整个集成电路的巨大推动作用。所以，在有了强大的硬件平台的基础之上，电子工作者可以借此来完成算力更高的导航、识别、SLAM等。而本文也将借此设计出一款智能导航机器人。

在特定的场景下，比如医院里，较大传染性的病房需要无接触的收到药物，以方便病人的治疗，同时要保障医务人员和家属的身心健康，此时，需要一个能按指定路线，从指定地点自动导航到病房的送药物的小车；又比如酒店里，客人需要进食或者需要更换服务物品，或十分需要减少人员流动的情况下，只需在手机或个人电脑上点击需求，小车便能将物品送到门口，在充分保障酒店工作人员和客户双方身心健康的同时，也极大的便利的双方。还有许多需要减少人员间的交流的同时，保障人们安全，便利人们生活的场景。于是，本文设计开发出一款机器人，该机器人首要要求当然是安全、稳定、可靠，其次该机器人可以代替人去做一些基本的服务工作，以减少人员间的流动，同时保障人门的安全。

结合目前图像识别技术的发展，AprilTag标签检测的识别算法，一方面，概算法在嵌入式设备上的识别准确率能达到90%以上，算法运算花费的时间也完全能搭配各种机器人的运动，实现准确定位和导航。另一方面，硬件OpenMV Cam也为图像识别提供了很方便和高性价比的嵌入式开发平台。而传统的STM32单片机结合FreeRTOS也能很方便的开发出稳定性较强的机器人底盘驱动程序，所以本文用OpenMV Cam作为系统图像识别导航的主控，且采用基于FreeRTOS的实时操作系统去搭建机器人底盘和OpenMV Cam等上位机的通讯设计。同时，为了能在手机或电脑上指定导航目标点，采用了Esp32设计了款网页端的上位机。也利用了超声波测距模块进行距离的测量，能保持安全的距离，使小车更加智能。

通过对样机进行功能测试后得到得实验数据表明，本文设计的图像识别导航机器人在硬件和软件各项性能指标上，完全能达到需求。在图像处理上也实现了较稳定的算法，同时系统因采用一个OpenMV Cam配合彩色路线，便实现了识别导航，具备低成本的优势。还设计了网页端的智能交互，且进行了网页加密，保障了机器人运行的安全性和可靠性。

关键词：OpenMV Cam；智能导航机器人；AprilTAg；Esp32；FreeRTOS

ABSTRACT

Since the 1930s, the purification of materials has improved enough that the semiconductor industry has been recognized by academics. The semiconductors here are also known as integrated circuits. The integrated circuit is composed of thousands, even hundreds of millions of transistors, and since the transistor was developed in Bell LABS, many semiconductor companies have achieved unprecedented development of technology, especially in the processor (CPU) field. For example, Intel's development of processors from the original 4004 processor, i8086 processor to the current core series of processors, from these aspects can see the transistor to the entire integrated circuit of the great promotion. Therefore, on the basis of a powerful hardware platform, electronic workers can use this to complete higher computing power navigation, recognition, SLAM, etc. And this paper will also design an intelligent navigation robot.

In certain situations, such as hospitals, where a large infectious ward needs to receive medicines without contact to facilitate the treatment of patients and to protect the physical and mental health of medical staff and family members, a medicine delivery car that can automatically navigate to the ward from a designated location on a designated route is needed. For example, in the hotel, guests need to eat or need to change the service items, or very need to reduce the flow of personnel, just click on the demand on the mobile phone or personal computer, the car will be able to send items to the door, in the full protection of the hotel staff and customers both physical and mental health at the same time, but also greatly convenient both sides. There are also many scenarios that need to reduce communication between people while keeping people safe and making people's lives easier. Therefore, this paper designed and developed a robot, the first requirement of the robot is, of course, safety, stability and reliability, followed by the robot can replace people to do some basic service work, to reduce the flow of personnel, at the same time to protect the safety of people.

Combined with the current development of image recognition technology, AprilTag tag detection recognition algorithm, on the one hand, the budget method on embedded equipment recognition accuracy can reach more than 90%, the time spent algorithm operation can fully match the movement of various robots, to achieve accurate positioning and navigation. On the other hand, the hardware OpenMV Cam also provides a very convenient and cost-effective embedded development platform for image recognition. And the traditional STM32 microcontroller combined with FreeRTOS can also be very convenient to develop a stable robot chassis driver, so this paper uses OpenMV Cam as the main control of image recognition and navigation system. The real-time operating system based on FreeRTOS is used to build the robot chassis and the communication design of the upper computer such as OpenMV Cam. At the same time, in order to be able to specify navigation target points on the phone or computer, Esp32 is used to design a web-based host computer. The ultrasonic ranging module is also used to measure the distance, which can keep a safe distance and make the car more intelligent.

The experimental data obtained after the functional test of the prototype show that the image recognition navigation robot designed in this paper can fully meet the requirements in terms of hardware and software performance indexes. At the same time, because the system uses an OpenMV Cam with color route, it can realize the recognition and navigation, which has the advantage of low cost. The intelligent interaction of web page is also designed, and the web page encryption is carried out to ensure the safety and reliability of the robot operation.

Keywords: OpenMV Cam; Intelligent navigation robot; AprilTAg; Esp32; FreeRTOS

1. 绪论
   1. 研究背景与意义

得益于半导体产业的蓬勃发展，集成电路芯片实现了跳跃性的进步和成就。在这背景下，各种高运算力的处理器接踵而至，给人们提供了更高性能的硬件平台，也提供了更多的解决问题的方向。

针对于智能车搬运方案[[[1]](#endnote-0)]-][[[2]](#endnote-1)][[[3]](#endnote-2)]，为了节约成本和缩短开发周期，以往大部分的选择都是识别采用OpenMV进行数字或物品的识别，采用模板匹配的算法；路径寻找也一般都是在场地下铺彩色线，利用多路循迹模块，如TCR5000模块或其它灰度传感器进行循迹。以上这类型的方案，虽然已经尽可能的降低了实际的硬件成本，但是巡线用的灰度传感器完全可以使用OpenMV来实现，即图像识别和巡线用一个OpenMV传感器来实现。采用一个OpenMV实现物体识别导航的方案[[[4]](#endnote-3)]，有学者利用Arduino做机器人的底盘，OpenMV图像识别采用NCC匹配算法，循迹采用基于霍夫变换（Huff）直线检测原理的get\_regression()方法。此方案本人测试过，发现图像识别采用NCC匹配算法，识别正确率的高低受环境的影响较大，且会随着拍照角度变化。其次，因为采用霍夫变换去检测直线，进而进行巡线，需要二值化及图像腐蚀、图像膨胀、图像开闭运算等去对原始图像进行预处理，较为复杂，且很难处理巡线算法和NCC匹配算法的关系。但是一个OpenMV传感器同时实现图像识别和巡线的方案，给我提供了一个设计的方向，于是在此方向上，本文针对于一个OpenMV传感器同时实现图像识别和巡线设计出一款更加经济、更稳定和更可行的方案，同时自行设计开发出网页操控端，让机器人更智能。

这个方案能够解决在特定场景下，需要减少人员接触，并能将物品到指定目的，比如医院送药、酒店送物品等。这样避免了各项因人员接触带来的安全隐患。且本文设计的方案相对其它方案更经济、更安全和更灵活，所以应用前景广阔。

* 1. 国内外研究现状.

由于国外对移动机器人的研究起步较早、投资多、应用广泛，因此在移动机器人各种技术上都取得了比较成熟的科研成果。国外一开始在机器人视觉、自主移动机器人导航和其他系统相关技术展开了研究，最早的室外自主移动机器人是在斯坦福研究所（SRI）的NilsNilssen和CharlesRosen等人开发出来，命名为Shakey[[[5]](#endnote-4)]。之后美国设立了室外移动机器人的项目，进行快速推动研究，比如80年代和90年代美国能源部指定的RIPS-机器人和智能系统计划[[[6]](#endnote-5)]。这个阶段虽然师初级阶段，但是为后来的机器人发展积累了宝贵的理论和实验分析。从处理器的主要部件晶体管被研发出来，移动机器人的发展也上了高速前行的列车。

在国内，在对机器人的的研究起步较晚，基础设施也较差，总体研究水平也相对于过外较低。尽管如此，国内还是有许多科研人员带着热爱去专研移动机器人的技术，而清华大学师最早展开机器人研究的科研机构。同时近些年来，教育部为了促进机器人方面的研究，大力促进了各类机器人的比赛，比如全国大学生电子竞赛、RobotCup等。Frontier-ITM机器人就参加了RobotCup比赛，该机器人在比赛中展现了可靠的稳定性、开放性和极大的拓展性。中华牌月球车机器人，由湖南大学等多个高校研发，于2013年随着嫦娥三号登上月球。还有近些年来许多机器人公司也大力进行机器人技术的研究，比如大疆无人机（DJI）的无人机的技术，已经达到了全球领先，拥有较强的稳定性和智能性。

* 1. 主要研究内容与章节安排

1.3.1 研究内容

本文主要是基于OpenMV Cam实现十字路口、Apriltag标签、彩色线的识别。论文的主要研究内容包括：

1、机器人的移动底盘，采用FreeRTOS开发，并做好正逆解运动解析和写好于上位机通讯的协议，并写好串口调试的协议。

2、OpenMV识别彩色线，实现循迹功能。

3、利用对十字路口的感兴趣区域（ROI）进行划分，实现对十字路口各种路况的解析。4、首先利用OpenMV识别记录目标Apriltag标签，再利用OpenMV识别划分左右两个区域，识别十字路口的Apriltag标签，进而判断十字路口是左转还是右转，亦或是直行。

5、利用OpenMV识别矩形，进行终点的判断。

6、加入超声波HC-SR04模块进行距离的检测，小于一定距离会停车。

7、加入Esp32单片机，进行网页端控制。

1.3.2 章节安排

第一章，绪论。首先介绍课题研究背景与意义，在其中对比各个方案的优缺点，然后分析国内外研究的现状，最后介绍论文的研究内容和章节安排。

第二章，系统总体方案设计。首先写出课题的功能和性能需求，然后设计好系统总体方案和各个功能模块，并进行硬件选型概述，最后介绍方案实施步骤。

第三章，室内定位研究与方案设计。首先介绍室内定位方案的选择，然后介绍视觉定位系统的理论基础，这其中包括最基本的成像原理、可视标签和嵌入式设备平台和AprilTag标签，最后再进行小结。

第四章，系统硬件电路设计。本章首先概述系统总体硬件结构，然后进行主控电路、电源电路、电压检测电路、电机驱动电路、MPU6050电路、拓展高电流输出电路和拓展IO电路等模块电路的设计。最后再进行本章的小结。

第五章，系统软件设计。本章首先概述系统总体软件的结构，然后介绍软件的开发环境，再介绍基于FreeRTOS嵌入式操作系统的底盘运动实现，这包括调试串口任务、通信串口任务、正逆运动解析的底盘移动任务、LED状态灯任务、电池电压检测任务等，然后介绍OpenMV Cam的图像处理实现，设计了路线识别、十字路口识别、终点识别、AprilTag标签识别。然后重点分析了十字路口时直行路口还是拐角路口。还分析了基于OpenMV Cam返程时对终点转弯掉头的处理，对拐角路口的处理和对直行路口的处理。其次开发基于Esp32的WebServer的网页端操作，即上位机。再然后详细介绍基于串口的OpenMV与底盘和Esp32的通信。最后进行本章的小结。

第六章，系统测试和分析。本章首先介绍测试的内容及环境，然后首先进行通信可靠性测试，再进行十字路口转向及直行精度测试，然后进行停车识别AprilTag标签测试其识别精度，然后进行返程掉头测试和返程遇拐角测试，还要进行中带你停车可靠性测试，综合上述功能，进行总体性能测试。最后进行本站过得小结。

第7章，总结与展望。先总结本课题的设计及测试情况，再展望后期的改进方向。

1. 系统总体方案设计

2.1 功能需求

本文设计的图像识别的导航智能车实现的功能有：

1. 机器人底盘的开发--底盘的前后左右和旋转。
2. 准确定位--给定的目标点，并按指定路径到达，且到达后能停车，还能返回原点。
3. 指定物品--识别处给定的智能车的目标点。
4. 自动规避--距离小于一定值，会让车停下，当障碍物走后，再继续执行到目标点。
5. 综合上述功能，实现能在一开始指定目的地，然后智能小车能识别目标点，然后自动导航到目标点。

2.2 系统总体方案和各个功能模块

本文的基于图像识别的导航智能车设计是输入嵌入式产品的开发设计，所以系统的总体方案设计的主要步骤被分为硬件模块设计和软件模块设计。通过对功能需求的分析，在硬件模块设计方面，机器人底盘的开发选择运动控制较稳定的STM32作为主控制器，在图像识别定位和识别物品上选择性价比较高的OpenMV Cam，自动规避则选择廉价的超声波HC-SR04模块。同时为了拓展网页端控制功能，且快速开发HC-SR04测距，选择了Esp32进行网页端上位机的开发和HC-SR04的读取。还拓展了陀螺仪MPU6050模块和引出了许多拓展IO接口，方便后续开发。其总体的硬件模块设计框架如图2.1所示：

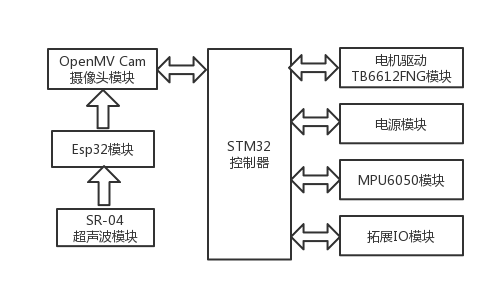


图2.1 总体的硬件模块设计框架

在总体的硬件设计模块设计框架中，每个模块都有极其重要的作用，其功能如下：

1. 底盘控制器STM32

该模块作为底盘设计的核心，主要负责收集OpenMV Cam的控制信息，并驱动底层的电机模块，同时收集电源的电压信息、陀螺仪MPU6050的姿态数据。作为核心，协调整个系统的关系。

1. 电机驱动TB6612FNG模块

TB6612FNG模块是负责整个底盘电机的运动状态，车轮的转速是采用电机驱动芯片与PWM脉冲编码输出单元来实现。

1. MPU6050模块

MPU6050模块是属于拓展开发模块，可以让主控制器STM32读取出姿态数据，方便后续拓展其他功能。

1. 拓展IO模块

引出的引脚，便于拓展其他功能。

1. 摄像头OpenMV Cam

该模块采集图像识别数据，并加入算法处理，然后发送处理后的数据到主控制器STM32，由STM32驱动电机运动，实现图像识别导航控制，这是整个系统最关键的部分。

1. 超声波HC-SR04

该模块可以测量与障碍物的距离。

1. WebServer的Esp32

该模块是双核运行的模块，所以其算力足以支持作为网页端的服务器，为此，开发出拓展的网页端控制模式。

在软件模块设计方面，机器人底盘的开发是基于FreeRTOS嵌入式操作系统的设计，设计底盘运动任务、调试串口任务、通信串口任务、陀螺仪任务、电池电压任务、LED任务、KEY任务等。图像识别的定位一方面是识别路径，采用了OpenMV识别彩色线进行划分方块进行巡线，另一方面是识别AprilTag标签，采用硬件平台固件内置的AprilTag算法，从而最大限度的加快了识别的速度。识别指定的物体，也采用了识别AprilTag进行模拟。自动规避则采用Esp32按协议读取HC-SR04模块的数据并通过串口传给OpenMV Cam进行检测障碍物处理。拓展处Esp32的网页端上位机开发，指令也是通过串口和HC-SR04数据一起传送给OpenMV，并在嵌入式网页开发上加入了加密保障，让整体方案更加安全、更加可靠和更加智能。其总体的软件模块设计框架如下所示：

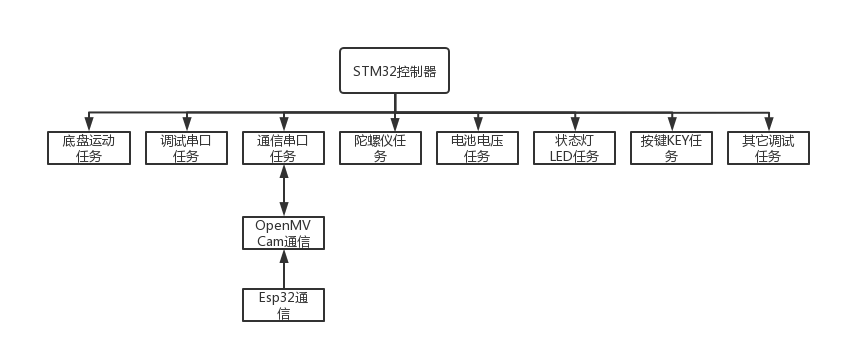


图2.2 STM32控制器的软件模块设计框架

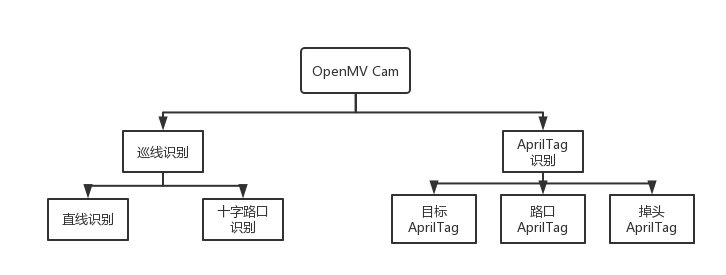


图2.3 OpenMV Cam的软件模块设计框架

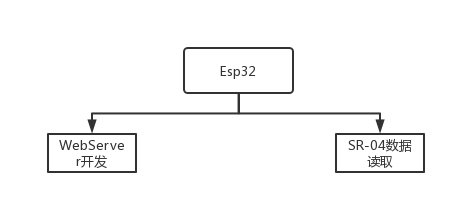


图2.4 Esp32网页端服务器开发

图2.2所示，是基于FreeRTOS开发的各个功能模块，同时显示了和OpenMV Cam和Esp32间的关系。图2.3所示，是基于MicroPython语言开发的OpenMV，主要是对彩色线和AprilTag标签的识别。图2.4所示，是基于Esp32下的FreeRTOS开发的网页端服务器，并且读取了超声波HC-SR04的测量距离，充分利用了其硬件资源。

2.3 硬件选型

对于硬件的选型，包括如下：

1. 机器人底盘选择STM32F103RCT6型号的单片机，该型号单片机含有
2. 图像识别选择OpenMV Cam M7 ，配合OV7725摄像头，M7系列含有
3. 网页端服务器开发选择Esp32，含有

2.4 方案实施步骤

按照系统总体方案和各个功能模块的设计，方案具体实步骤为：

1. 分析功能需求，主要是室内定位研究方案设计、系统硬件电路设计及硬件模块选型、系统软件设计、系统测试和分析这四个部分。
2. 室内定位研究方案设计，分析室内定位方案和理论基础，并进行可行性研究计设计可用的实际模型。
3. 系统硬件电路设计及硬件模块选型，分析硬件系统设计的总体方案和模块的选型及对应原理图电路的设计。
4. 系统软件设计，设计出可行的软件实施方案，并设计出对应的控制算法。
5. 系统测试和分析，包括系统总体的实际测试，并记录测试数据，然后由测试情况，分析本文设计系统的总体运行情况。

2.5 小结

本章依据实际功能需求，提出了详细的系统设计的总体设计方案，主要包括硬件和软件的设计，并做出了硬件的选型，最后做出了方案实施步骤，为接下来的工作明确了设计的总体路线。

第3章 室内定位研究与方案设计

3.1 室内定位方案概述和选择

室外定位依靠GPS、卫星等的定位方式，可以设计出定位系统，对环境的抗干扰性也较强。相对于室外定位的定位方式，室内定位如果也是采用卫星信号的话，会得到很差的效果，因为室内环境下，卫星的信号较差，且室内的要求精度更高。本节将简述集中室内定位的方案，并选择合适的定位方案进行本方案的设计。

目前室内的定位方案主要有：UWB（超宽带）脉冲信号、RFID定位、ZigBee室内定位、超声波定位、LED定位、WiFi定位、蓝牙定位、地磁定位和计算机视觉定位等。另外室内定位方案算法主要有：近邻法、三角测量法、指纹法等。

1. UWB（超宽带）脉冲信号

UWB脉冲信号定位，在由多个传感器选用TDOA和AOA定位算法对标签方位进行解析，多经分辨才能更强，精度才能更高，定位精度可达厘米级，同时抗干扰能力强。但是UWB定位难以完成大规模的室内掩盖，且系统计算量比较大。

1. RFID定位

RFID即超广波技术，利用射频信号的电磁传输特性在射频标签及射频阅读器之间实现数据通信。其优点有数据传输率高、安全性好，但是精度较低，抗干扰能力较弱，要求的计算量也较大，同时需要定位的区域部署大量的RFID设备，且要求定位人员手持RFID标签，很不方便，因此在室内定位的领域并没有得到广泛的应用。

1. ZigBee室内定位

Zigbee技术基于IEEE 802.15.4协议，主要原理是经过若干个待定位的盲节点和一个已知方位的参考节点与网关之间形成组网，每个细小的盲节点之间相互和谐通讯以完成全部定位。主要用于低数据传输、低功耗和低成本的无线传干起领域，但是一般的用户的智能设备不支持IEEE 802.15.4协议，因此在室内定位的领域也没有得到广泛的应用。

1. 超声波定位

利用超声波进行定位，但是超声波在空气中的衰减较大，不适合大型场合，另外反射测距时受多径效应和非视距传达影响很大，要形成精度较高的超声波定位，成本较高。因此室内定位也没广泛应用，但是在较小的避障小车里，要求的精度不高，可以采用此方案。

1. LED定位LED

LED定位，即可见光通信技术。此技术采用光源发出的高频闪烁信号来编码LED发射源的位置坐标信息，感光传感器将接收到的可见光信号解码并计算出移动设备的位置信息。其优点是对硬件部署要求不高，因为可以利用室内已经部署的LED灯光，且不受无线电波干扰。但是此技术要求LED灯光具备闪烁编码功能，并且会由于非视线通信问题造成定位精度急剧下降。

1. WiFi定位

室内的Wi-Fi网络可以作为一般网络基础设施，也可以利用其空间传播的路径损耗效应（Pathloss）建立路径损耗模型，从而实现位置数据的解算。此方案可以利用室内已经部署好的WiFi设备，当然如果室内无部署，就需要额外去部署。但是因为无线电波在室内空间的传播会存在阴影效应（Shadowing）和多路传播效应（Multipath），所以其受干扰较大，另外定位的精度也较低。因此此方案的室内定位未被广泛应用。

1. 蓝牙定位

定位原理和WiFi定位原理类似，此方案的优点是蓝牙设备较低功耗，但是需要大量部署beacon设备，且定位的精度也较低。因此此方案的室内定位也未被广泛应用。

1. 地磁定位

此方案的原理是，把地球视为一个磁偶极，且地磁场在不同点的特征是变化的，所以可以利用这个特征来表征某个确定点的位置信息[[[7]](#endnote-6)]。利用地磁场进行定位是对目标区域的特征点进行测量，关联地磁特这部分与位置坐标，后期采用匹配算法对当前测量的地磁信号进行位置的推算，估计出当前位置信息[[[8]](#endnote-7)]。优点在于对硬件成本要求低，无需部署设备，一般情况下抗干扰能力较强。缺点在于因为是依靠地磁场，所以其会受地磁场的变化而干扰，且定位精度不够高和开发难度较大。所以此方案暂时没有得到广泛应用。

1. 计算机视觉定位

计算机视觉技术是靠感光元件获取当前环境的图像，然后进行图像的处理，再提取出图像的特征点进行位置的计算。根据感光元件的数量，可以分为单目视觉和双目视觉，且还有专业获取图像深度信息的RGBD深度相机。单目相机在硬件结构上较简单，视觉信息不需要进行复杂的数据融合，所以处理速度很快，适合实时性要求高的场合；双目则因未获取了图像的深度信息，要进行数据融合，可以得到目标的更多位置信息。计算机视觉定位的优点是较容易获取外部位置信息，在可视范围内有较好的识别效果，且系统的鲁棒性较强。此方案的缺点是运算量大，算法复杂，硬件成本高，但是目前嵌入式硬件平台的发展，已经能提供很强大的运算平台，同时算法的开发也已经有很多成熟的方案，缺点已经不明显。所以近些年来的室内定位，广泛的采用了基于计算机视觉定位的方案。

综合上述的所有方案，本文设计的图像识别的导航机器人，要求能够进行图像识别，且进行精准的定位导航，所以选择了基于计算机视觉的定位方案。

3.2 视觉定位系统理论基础

3.2.1 成像原理

针孔相机模型，如图3.1所示。

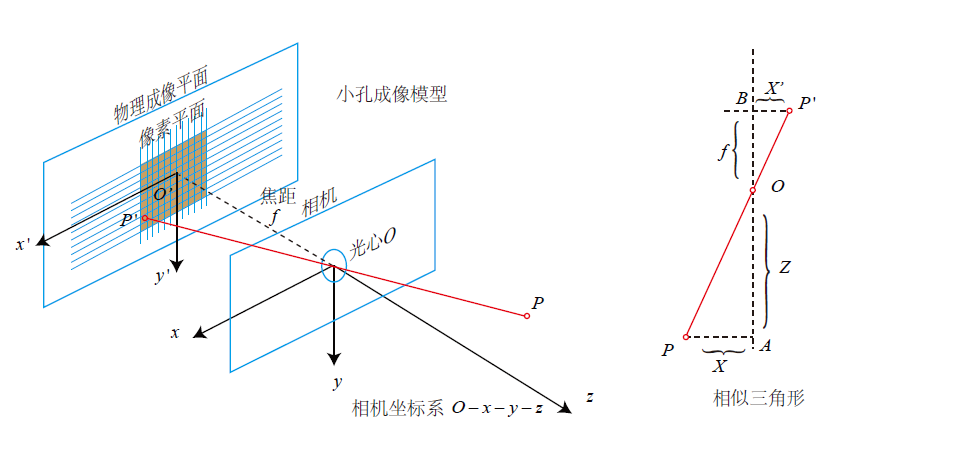


图3.1 针孔相机模型

设O-x-y-z为相机坐标系，O为摄像机的光心，现实世界的P点，经过小孔O的投影，落在物理成像平面上，成像点为。设P的坐标为，坐标为，且物理成像平面到小孔的距离为焦距f。于是，根据相似三角形可知， (3.1)

这其中的负号表示成像是倒立的。于是考虑实际情况不可能是倒立的，为了更符合实际情况，等价的把符号去掉，即把成像平面对称的放到相机前方，如图3.2所示。

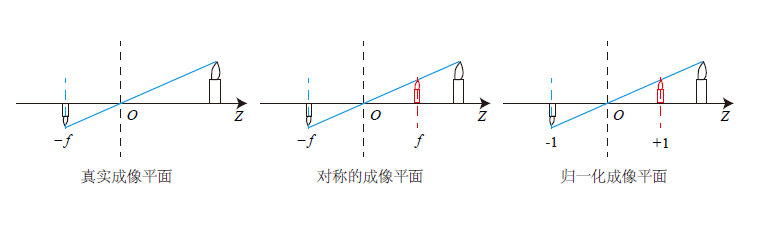


图3.2 真实成像平面，对称的成像平面，归一化的成像平面

于是可以把式3.1改写为

 （3.2）

再把，放到等式左边，整理可得

， （3.3）

式3.3即为空间点P再物理成像平面对应得点的坐标点。

3.2.2 可视标签和图像采集设备选型

目前常用的可视标签有二维码、条形码和AprilTag等，二维码可以存储百个字节的数据，但是要正确识别出数据，需要很高分辨率的摄像头，所以此限制对硬件提出了较高的要求，且实时性较低。而AprilTag标签，具有保持存储有效数据的基础上，大幅度的降低了对摄像头的需求，也提高了实时性和识别正确率。即使在很低的分辨率的情况下，还是能被检测到。综合考虑，本文在可视标签上，选择了AprilTag标签。

AprilTag标签根据组成维度和校验信息的不同分为许多个家族，即有TAG25M7、TAG25H9、TAG36H10和TAG36H11等家族。考虑TAG36H11家族，36表示改造家族维数为6，即属于6x6矩阵，可以存储36bit数据；11表示最小汉明距离，即任意两个存在变换关系的AprilTag标签之间信息编码差别的位数最少11位。汉明距离越大，表示两个AprilTag标签之间的差别越大，识别率越高。所以在考虑识别率的情况，本文设计采用了TAG36H11家族作为识别的AprilTag标签。

在图像采集设备上，选择OpenMV Cam M7系列的开源机器视觉模块。基于MicroPython开发OpenMV，有利出处理复杂的机器视觉算法。配合OV7725摄像头即可对TAG36H11家族标签的识别达到较高的帧率和较高的识别率。性能完全满足本文方案的需求。

3.2.3 AprilTag标签检测

AprilTag标签的检测过程，第一步式根据梯度检测出图像中的边缘，边缘检测算法可以是Canny算法等；第二部是找出图像中的四边形，即利用多边形凸包寻找等多边形检测算法，找出四边形；第三步是对图像进行二维码解码，在第二步检测到的四边形内生成点阵列用来计算每块色块的值，再根据局部二值模式构造出简单分类器对色块进行分类，多色块组成1或0的编码。得到编码后再与已知库内的编码尽心个匹配，即可得出解码的AprilTag标签。

3.3 室内定位方案设计

3.3.1 引导地图模型

本文设计的地图模型是基于大部分的酒店或者医院房间的布局，用绿色线代表寻的路径规划，交叉线代表十字路口，多个黑色矩形代表终点，在十字路口贴有TAG36H11家族的标签，用来模拟不同的房间号码。同时，采用初始识别的目标TAG36H11标签来模拟指定机器人应该到达的目的地，同时在终点处再给掉头TAG36H11 标签来模拟机器人已经到达指定地点，并且已完成本次导航的任务，可以掉头回原点。设计的引导地图模型如图3.3所示。

3.2.3 机器人循迹控制

在循迹控制方面，传统的方案一般采用灰度模块传感器，通过采集AD信号，判断车体的偏航误差，进而进行校正控制，达到巡线的效果。而本文的设计采用比较新颖的方法，即利用OpenMV对线的识别，划分上中下左右的5个ROI区域，按5个ROI的各种状况进行巡线处理，同时兼顾了十字路口的处理状况，是属于比较适合本课题设计的要求的巡线方法。

3.4 小结

本章节对室内定位的各种方案进行了概述和选择了适合本课题的方案，同时介绍了视觉定位系统的一些理论基础，包括小孔成像和可视标签。最后针对本课题，提出了合适的引导地图模型和机器人循迹控制方案。

第4章 系统硬件电路设计

4.1 系统总体硬件结构

分析总体的系统功能需求，设计出系统硬件的总体结构如图4.1所示。

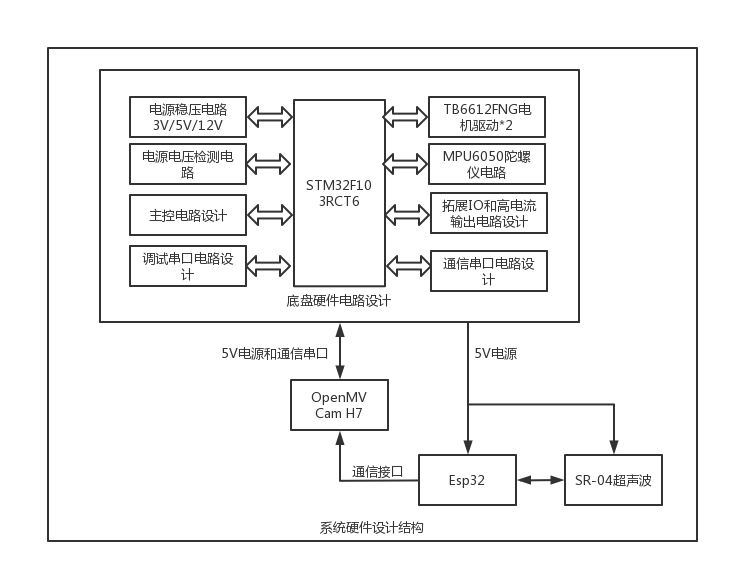


图4.1 系统总体硬件结构

对于机器人的底盘硬件电路设计含主控电路、电源稳压电路、电源电压检测电路、TB6612FNG电机驱动电路、MPU6050陀螺仪电路、拓展IO和高电流输出电路、串口通信电路设计。而OpenMV因为采用成熟的设计，直接用了官方的OpenMV Cam M7，后面给出相对应得接口图即可。同样的Esp32和HC-SR04也采用模块开发，后面也是直接给出相对应的接口图。

4.2 模块电路设计

4.2.1 主控电路设计

主控电路是一个处理器芯片稳定运行的保障，本设计采用STM32F103RCT6芯片，并进行了主控电路的设计，如图4.2所示。

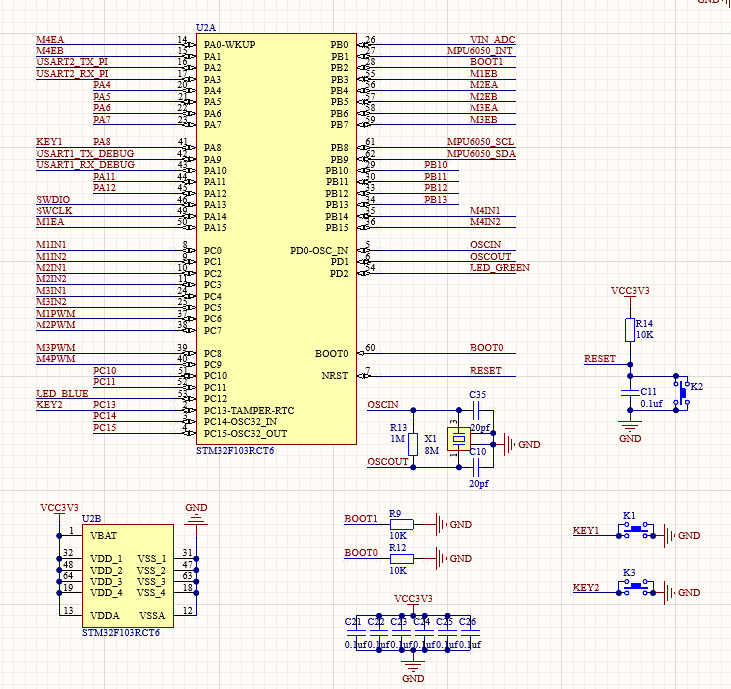


图4.2 主控电路

主控电路的核心是复位电路和时钟电路，其中复位电路是将处理器从运行状态复位到最开始上电时的状态，且复位引脚RESET为低电平有效。从上图的复位电路看出，RESET引脚一上电由于电容C11的充电，最初是低电平状态进行复位，当C11充满电，电阻R14将RESET上拉成高电平状态，使芯片进入运行状态。当按键K2按下RESET被拉低及进行复位。时钟电路时为处理器提供外部时钟信号，处理器在外部时钟的节拍下进行运作。选用8MHZ的时钟晶振与2个电容及1个1M电阻组成RC震荡电路作为系统的外部时钟源。

为了让芯片工作更加稳定，还设计了6个电容对3.3V电压进行滤波和稳压。同时拓展了2个按键输入IO，方便进行主控电路调试。

4.2.2 电源电路设计

电机驱动需要12V的电压，同时需要为其他拓展电路提供5V电源和为主控提供3.3V电源，所以需要12V降压到5V的电源电路，如图4.3，以及从5V降压到3.3V的电源电路，如图4.4。电源设计电路如下图所示。

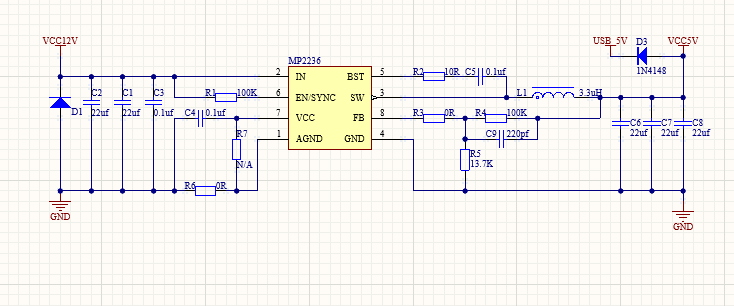


图4.3 12V转5V电路

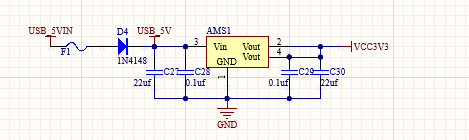


图4.4 5V转3.3V电路

图4.3采用了MP2236作为降压芯片，依据芯片的手册选择了降到5V的电路设计，且选用了二极管1N4148作为反向电压保护，使其作为保护USB口的电源电路组成的一部分。其中R6的设计，实现了模拟地和数字地分开，使电压更稳定，电路干扰较弱。电感L1的设计使电源的输出可以实现更稳定的电流输出，电容C6、C7、C8对输出的5V进行了稳压。

图4.4选用AMS1的高电流和高电压型号，电路设计也是依据手册的推荐，同时二级管1N4148也是作为反向电压保护，组成了保护USB口电源电路的另一部分。电压从5V输入，实现了3.3V输出。

4.2.3 电压检测电路设计

电压检测电路是为了能够读取出电池电压值，在电压较低时可以停止智能车的运作，同时通过上位机显示电压值，有利于对电池电压剩余量的掌握。电路如图4.5所示。

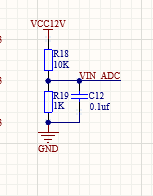


图4.5 电压检测电路

R11和R19的分压作用和下，我们可以得到

 (4.1)

进而得出

 (4.2)

所以X的值即为电压值。

4.2.4 电机驱动电路设计

电机驱动是为了带动底盘的4个电机运动，而且是能够进行pwm调速和转向控制的，还能进行编码器脉冲的读取。电路如图4.6所示。

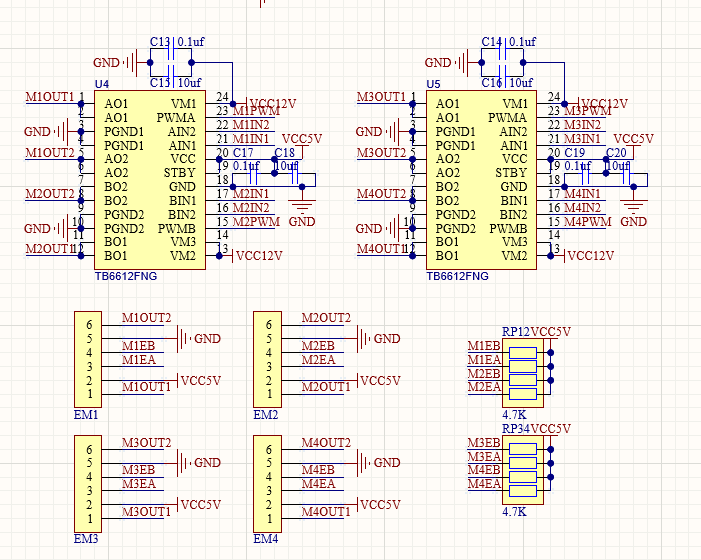


图4.6 电机驱动电路

电机驱动采用集成的TB6612FNG的电机驱动芯片，依据芯片的手册，对输入电源采用了电容进行滤波，同时为了方便，引出了4个集成的电机端接口。还对电机编码器的AB相脉冲输出进行了排阻上拉。比如M1PWM接口接入pwm信号进行调速，M1IN1和M1IN2接入GPIO引脚进行方向控制。

4.2.5 MPU6050电路设计

MPU6050陀螺仪能够获取机器人的姿态数据，依据姿态数据能够实现对车体的姿态的控制。电路如下图4.7所示。

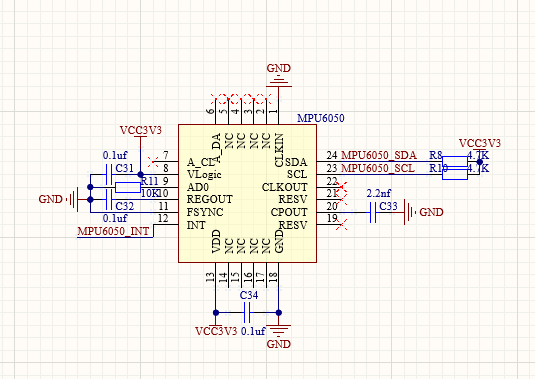


图4.7 MPU6050陀螺仪

电路的设计是依据了手册的典型电路，采用了IIC接口操作MPU6050，同时引出了中断接口，方便一定的频率去读取原始陀螺仪数据，然后进行控制。

4.2.6 拓展高电流输出电路设计

为了能够提供给OpenMV Cam等需要较高电流的输入的设备，设计了高电流输出的电路，如上图4.3的电源电路的5V输出。

4.2.7 拓展IO电路设计

把芯片没有用到的IO口引到外部排针，方便拓展其它功能，如下图4.8所示。

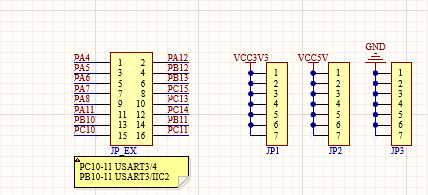


图4.8 拓展IO接口

4.2.8 串口电路设计

为了方便的调试底盘运动，设计了Type C接口的调试串口，如图4.9。同时，为了实现底盘系统和OpenMV系统的通信，引出了另一个通信串口，如图4.10所示。

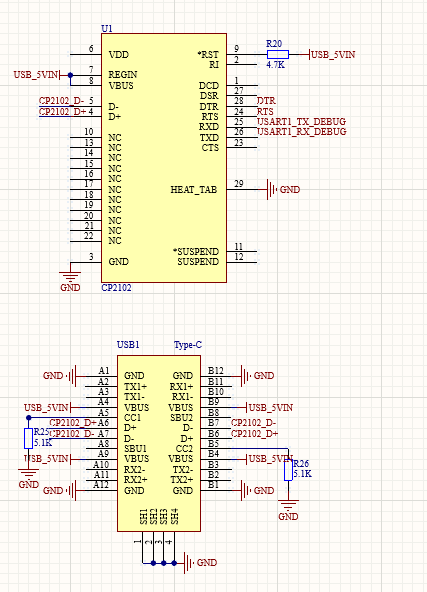


图4.9 Type C调试串口

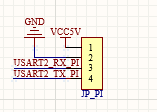


图4.10 通信串口

图4.9的调试串口电路选择了CP2102芯片，同时选择了16脚的Type C接口，按芯片典型电路设计了调试串口，极大的方便了后期的调试等需求。同时图4.10的通信串口，很方便的和OpenMV等上位机进行通信。

4.2.9 OpenMV Cam M7和Esp32的接口

图4.11为OpenMV Cam M7的接口图，图4.12为Esp32的接口图，如下所示。

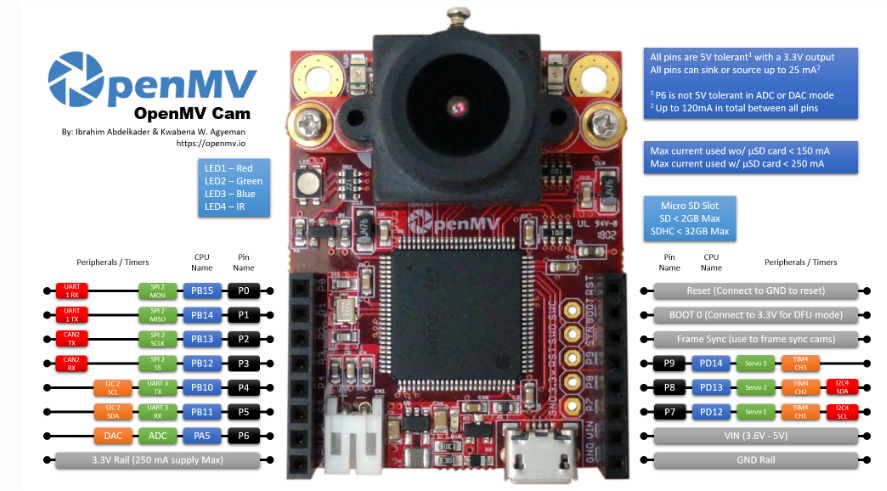


图4.11 OpenMV Cam M7接口

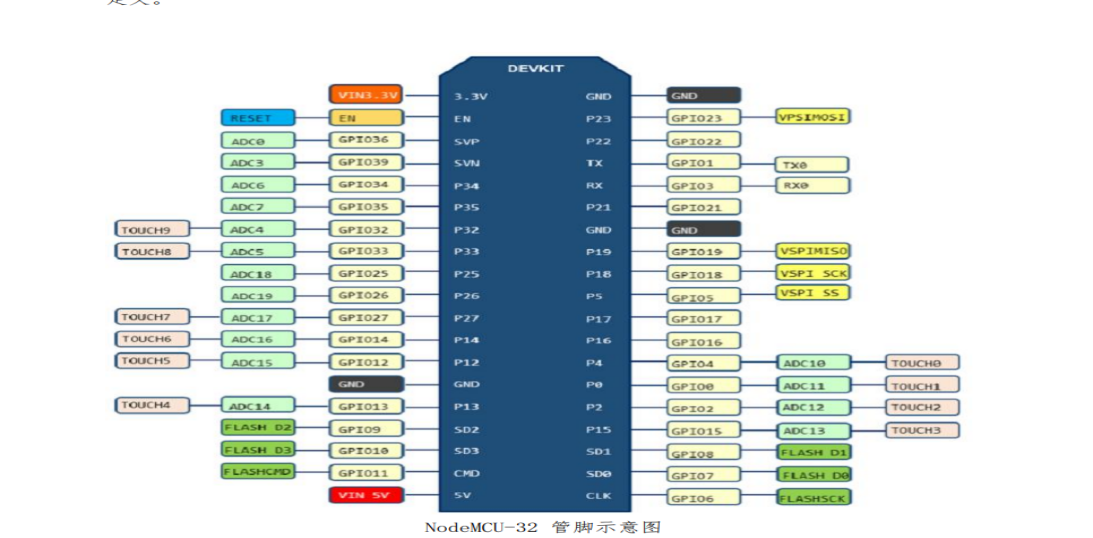


图4.12 Esp32接口

主要用到 OpenMV Cam M7的电源输入口和P0、P1、P4、P5的2个串口，Esp32的TX串口引脚和P5、P18的GPIO读取HC-SR04数据。

4.2.9 超声波HC-SR04

实物图如图4.13所示。



通过给Trig脚一个大于10us的高电平，循环发出脉冲信号，脉冲信号碰到障碍物会返回，返回的脉冲信号会使Echo脚变为高电平，读取Echo高电平时间即可测量距离L。计算公式为

 (4.3)

T为脉宽周期，C为声速。

4.3 小结

本章详细的阐述了硬件的设计，介绍了各个模块的电路设计，其中包括主控电路、电源电路、电压检测电路、电机驱动电路、MPU6050陀螺仪电路、拓展了高电流输出电源接口、拓展IO接口、串口电路、OpenMV Cam M7和Esp32的接口，介绍了超声波HC-SR04

的硬件原理。

第5章 系统软件设计

5.1 系统总体软件结构

系统总体软件结构如下图5.1所示。

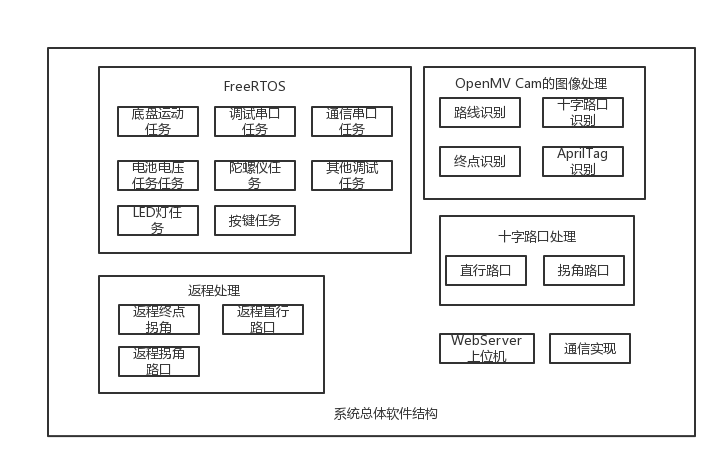


图5.1 系统总体软件结构

对于软件的设计，先介绍基于FreeRTOS的底盘结构，在对OpenMV Cam的图像处理进行功能模块的介绍，特别要注意十字路口的处理和返程处理手段，最后设计WebServer上位机，并利用通信设计，将整个系统联系起来。

5.2 软件开发环境

底盘运动系统是在FreeRTOS框架上运行，软件的开发环境有自己移植FreeRTOS的标准库，有基于STM32CubeMXd的FreeRTOS框架，因为后一种基于HAL库，开发效率比较高，所以本课题选择后一种软件开发环境。同时，底盘是需要下载烧录到单片机里的，这里选择ST官方的Keil5进行烧录和调试。OpenMV开发是基于MicroPython的，选择官方的OpenMV IDE进行开发。Esp32开发WebServer是在Arduino IDE用C语言进行开发。

5.3 基于FreeRTOS嵌入式操作系统的底盘运动实现

5.3.1 底盘运动任务设计

电机的运动方面，520的编码器电机为11线，1：30减速比，四倍频，所以电机编码器的分辨率为11\*30\*4=1320，即转一圈编码器产生的脉冲数为1320；TB6612FNG的电机驱动器，能够进行pwm调速和方向控制，配合上一章的电机驱动图4.6可得表5.1。

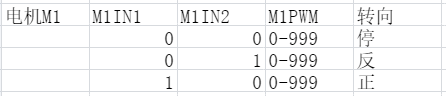


表5.1 电机M1的换相表

表5.1是以电机M1为例，其它电机也按照这个表进行控制。其中M1PWM的范围0-999，这样便可实现电机的调速。对于拥有4个编码器电机的底盘驱动，还需要对底盘进行运动解析才可使用。

对底盘4个电机进行正向运动学解析，即由轮子编码值得出底盘三轴里程计坐标。

首先机器人底盘属于四轮差速运动模型（SSMR）。

为了简化运动模型，做2个假设：①机器人轮子滚动时不产生空转；②机器人本体质量分布均匀，且质心（Center of Mass, COM）位于机器人几何纵向对称线上，但不一定位于几何横向对称线上。先对左侧两轮进行速度分析，建系如图5.2所示。

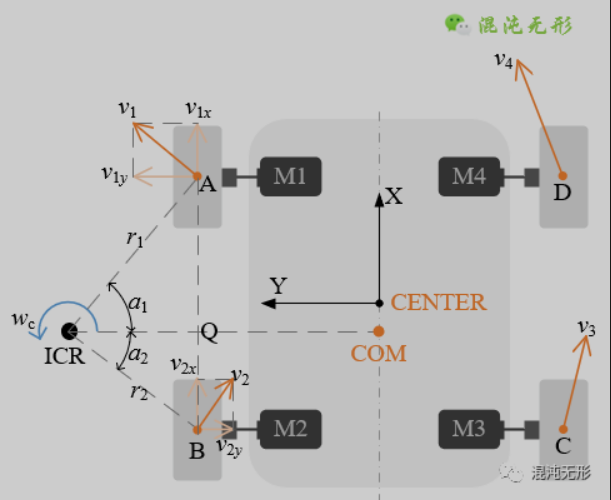


图5.2 SSMR运动模型1

以几何中心为原点建系X-CENTER-Y，以质心COM为原点建系X-COM-Y，COM和CENTER距离为dcc。机器人前向运动方向为X正方向，Y为向左为正方向，Z为垂直直面向外为正。A、B、C、D为轮子和地面的接触点。对图5.2的两个左侧轮分析其速度可得

 （5.1）

和表示两个左侧A和B的线速度，和分别对应其转弯半径。利用 RT△A-Q-ICR和RT△D-P-ICR可得

 （5.2）

α1和α2分别表示A-ICR、B-ICR与Q-ICR的夹角。化简可得

 （5.3）

其中、分别为和在X方向上的速度，即纵向速度。所以A和B的纵向 速度是相等的，同理分析C、D的纵向速度也相等。接下来分析A、D存在的速度关 系。

首先如下图5.3所示。

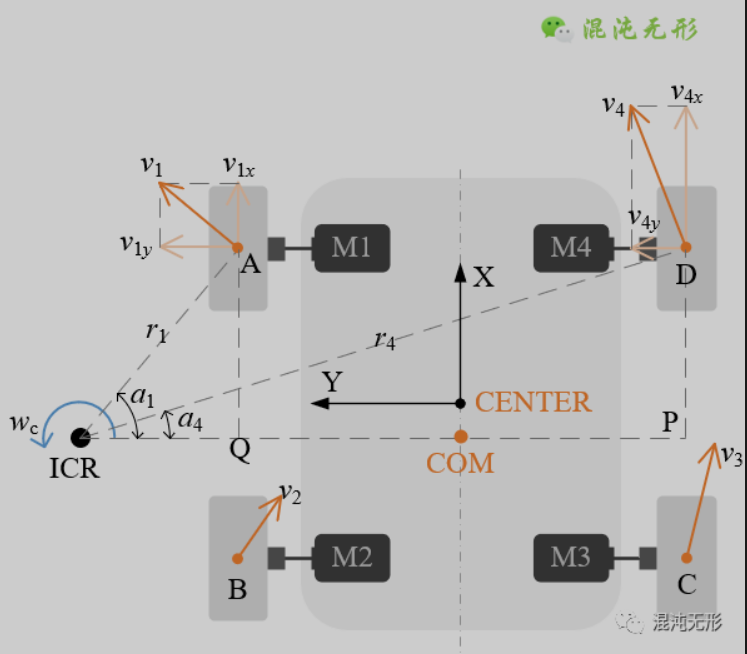


图5.3 SSMR运动模型2

采用同两侧轮的分析思路，对图5.3的两个前轮分析可得

 （5.4）

其中表示D的线速度，则对应其转弯半径。由RT△A-Q-ICR和RT△D-P-ICR 可得

 （5.5）

式中，α1和α4分别表示A-ICR、D-ICR与P-ICR的夹角。进一步化简可得

 （5.6）

其中、表示和的横向速度。所以A和D的横向速度相等。同理B和C 的横向速度也相等。综合式5.3和式5.6可得

，，，（5.7）

和分别表示左侧和右侧轮子的纵向速度，和分别表示前端和后端轮子的横 向速度。

进一步化简SSMR的模型为两轮差速驱动机器人的运动模型，可得

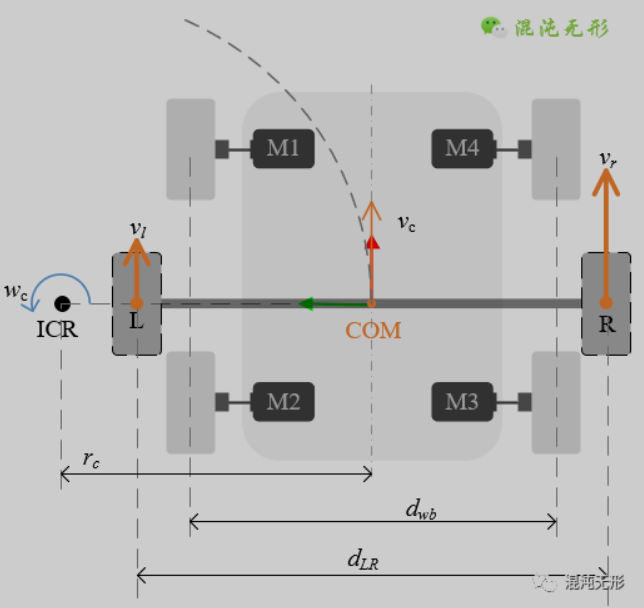


图5.4 SSMR简化模型

表示虚拟轮间距，表示底盘左右轮间距。所以简化的正运动模型式基于两轮 驱动模型的，很容易可得

 （5.8）

和可由式5.7得到，可以按两轮差速模型公式

 （5.9）

按5.9计算得的只是粗略的计算方式，准确的测量是要引入无量纲的参数γ，此处 为了采用5.9是为了简化分析。

同时，简化的逆运动学模型为

 （5.10）

综合式5.8和式5.10即为四轮驱动移动机器人的运动模型（SSRM）分析的结果。

5.3.2 调试串口任务设计

5.3.3 通信串口任务设计

5.3.4 陀螺仪任务设计

5.3.5 电池电压任务设计

5.3.6 状态灯任务设计

5.3.7 按键任务设计 .

5.3.8 其它调试任务设计

5.4 基于OpenMV Cam的图像处理实现

5.4.1 路线识别

5.4.2 十字路口识别

5.4.3 终点识别

5.4.4 AprilTag标签识别

5.5 基于OpenMV Cam的十字路口处理

5.5.1 直行路口

5.5.2 拐角路口

5.6 基于OpenMV Cam的返程处理

5.6.1 返程终点转弯

5.6.2 返程拐角路口

5.6.3 返程直行路口

5.7 基于Esp32的WebServer上位机

5.8 基于串口的OpenMV Cam通信实现

5.8.1 底盘和OpenMV Cam通信

5.8.2 Esp32和OpenMV Cam通信

5.9 小结

第6章 系统测试和分析

6.1 测试内容及环境

6.2 通信可靠性测试

6.3 十字路口转向及直行精度测试

6.3.1 转向精度测试

6.3.2 直行精度测试

6.4 停下识别AprilTag标签精度测试

6.5 返回转弯180°测试

6.6 返回遇拐角测试

6.6.1 第1个拐角处理

6.6.2 其它拐角处理

6.7 终点停车可靠测试

6.8 运行总体性能测试

6.9 小结

第7章 总结与展望

7.1 总结

7.2 展望

致谢

附录

参考文献

1. [] 吴必瑞，魏榛灺，姜良麒.OpenMV智能送药机器小车的设计与实现[J].宁德师范学院学报(自然科学版),2023,35(01):52-56. [↑](#endnote-ref-0)
2. [] 李虹,张宇晨,苗旭焘.OpenMV智能物料搬运方向的开发[J].电子技术与软件工程,2022(03):107-112. [↑](#endnote-ref-1)
3. [] 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. [↑](#endnote-ref-2)
4. [] 肖光亚.基于Arduino的智能送药小车[J].南方农机,2022,53(02):184-186. [↑](#endnote-ref-3)
5. [] 蔡自兴,贺汉根,陈虹.未知环境中移动机器人导航控制研究的若干问题[J].控制与决策,2002(04):385-390. [↑](#endnote-ref-4)
6. [] 新华网.机遇号、勇气号都达标美火星探测计划成功EB/OL].http://teeh.sinaeom/other/2004:04:27/1418355367shtml2004:04:27. [↑](#endnote-ref-5)
7. [] [↑](#endnote-ref-6)
8. [] [↑](#endnote-ref-7)