基于树莓派的安防巡逻机器人

曹沛文

2014自动化

河南大学民生学院

(单位全名 部门全名，市(或直辖市) 邮政编码) 宋体小四

**摘要**： 为了降低安防成本，提高安防巡逻的覆盖率、预警能力及自动化水平，本文提出一种解决方案，结合日益成熟的机器人科学、传感器科学，用较低的成本实现机器人在室内进行安防巡逻工作。

本文研究的安防巡逻机器人采用斯坦福人工智能实验室建立的ROS系统作为机器人的核心控制系统，将ROS运行在Raspberry Pi上，使用STM32作为下位机，依据光学摄像机和超声波传感器的数据导航，依据烟雾传感器、温湿度传感器及光学摄像机作为巡逻检测指标，完成既定路线的安防巡逻。

实物尚未完成，保留此段待补充。

解决的问题是什么，采用了什么方法，结果怎么样

**关键词**：树莓派 安防巡逻 PID 在线调参 ROS

**Abstract**：something write here

**Keywords**：Raspberry Pi Security Patrol PID Adjustment parameters online ROS

# 引言

机器人技术已经发展成熟。基础技术包括运动、控制、传感器、定位等，在基础技术上发展出来的有地图实时构图、路径自主规划、图像识别、语音识别等。更抽象的层面还有基于大数据各种应用，如智能调度、需求预测等。

使用机器人代劳人类的体力劳动可以有效降低人事成本、人事管理成本及人事安防成本。机器人工作不受时间限制，工作内容的数据化程度较高。机器人已经在工业生产领域普及，技术越来越成熟，成本也不断降低。安保行业机器人普及率目前几乎为零，其市场潜力巨大。相信不久的将来，机器人将开始从事安防工作，伴随着大数据，安保行业将会发展到一个新的高度。

本文旨在研究安防巡逻机器人的设计方案，并结合图像识别技术，试图提高机器人的巡逻水平。

# 选题的背景与意义

## 安防巡逻机器人研究背景

随着城市化进程的推进和各行业的深入发展，各个工作岗位及工作场地的功能划分越来越细也越来越规模化，特别是如超市、停车场、会展中心、物流港等各大公共场所的人流量、物流量伴随着效率的提高也在大幅增长。与之配套的安保工作缺口巨大，使用传统的安保人员已难以满足这些场所对安保事务高效管理的需求，安保工作自动化迫在眉睫。

机器人技术已经发展成熟。硬件技术方面，无论是控制核心PCB板的设计与制造，或机器人传感器的如CCD摄像感知系统、超声波测距仪、红外传感器等的标准化模块化，亦或电动、气动、液动机器人机械传动系统的小型化，

基础技术包括运动、控制、传感器、定位等，在基础技术上发展出来的有地图实时构图、路径自主规划、图像识别、语音识别等。更抽象的层面还有基于大数据各种应用，如智能调度、需求预测等。

机器人产业链尚不完备

## 安防巡逻机器人的现状

安防巡逻机器人主要依赖多传感器融合技术、导航技术、智能控制技术。这三个技术在近几年都有较大的发展但尚不成熟，基础技术不完备导致产业发展缓慢，安防巡逻机器人产品功能简陋、种类单一、价格昂贵。[1]

当前市面上大多数企业、单位及个人的安装主要由云台摄像头、建筑火警系统、门窗红外报警器及警卫人员组成。云台成本较低，且与公安系统联网后可以构成全覆盖的大规模监控系统，具有较好的警示作用和事后可追查性。建筑火警系统是个地方消防部门强制要求的，商品房、写字楼、商场等，火警检测装置及自动灭火装置已成为建筑的一部分。红外报警器主要用在店面门面、仓库门窗，用来预防非未经授权的闯入行为。安防人员，指组织的保卫处的所有人员，他们即可作上述安防设施的补充，亦可全面取代上述的安保设施。

安防巡逻机器人，实际上就是用机器人取代安防人员的工作。截至到2017年年底，全世界的安保行业仍主要由人类的劳动力构成。安保机器人的技术尚未成熟，市场几乎为零。

迪拜首个机器人警察于2017年5月上岗。同年7月迪拜警方宣布在年末投入无人车上街巡逻，并计划到2030年让机器人占到警力的25%。无论是机器人警察，还是无人巡逻车，其主要功能都是对视野内所有人进行面部识别，搜索排查跟踪嫌疑犯。

还有少量高档小区、高尔夫球场，已经部署了车式安防巡逻机器人，可按照既定既定路线自动寻巡逻，亦可手动遥控，该机器人的汇总图见附录一。

纵观全球的安防行业的自动化水平，最先进的安防机器人产品已能满足较为简单基础的安防需求，但普及率极低，从产品的多样性也可以看出，这部分市场仍未被打开，市场潜力巨大。

## 安防巡逻机器人存在的意义和对人们生活的影响

普及安防巡逻机器人，可以解决安防人员短缺问题，降低安防成本，提高安防系统的可靠性，提高保卫工作的部署效率，提高安保的数据化和自动化。安保行业整体发展不平衡，高端社区及企业的安防安保部门有大量资金支持，安保力量过剩；小机构小企业及个人很少拥有专业的安防团队，安保漏洞百出。安保机器人在执行低级安保劳动时比人力的效率更高，解放了安防人员的生产力，使安防人员可以把精力投入到更高级的安防工作上，减缓了安防人员短缺问题。安防巡逻机器人采用实时建图，划定工作范围后即可自动部署，还能自主采集地形数据，极大的缩短了安防部署的工作周期。机器人工作巡逻不同于人，总结工作经验主要凭主观经验，机器人工作时采集了大量的数据，结合数据科学进行分析，可以提取更抽象的规律，这对安防行业的发展有深远的影响。

安防巡逻机器人的普及对我们生活的主观影响很小。安防工作是幕后工作，安防的目的是预防灾难和损失的发生。

## 小结

从安防巡逻机器人当前的市场规模和整体价格可以看出，安防机器人现在还是一个非常小众的市场，但设计制作该机器人的主要技术已经成熟。

笔者将在下文详细展开讨论，使用技术整合，把相关各个功能模块整合在一起，在功能上进行微创新，制作一款低成本的小型入门级安防巡逻机器人。

# 系统设计

确定系统设计的目的，根据需求分析确定预期更能，从而确定整个大的框架。

## 功能预期

安防巡逻机器人，要具备代替安保人员执行简单巡逻的能力。结合机器人的功能特点，该系统需要实现以下几点功能：

* 1. 接受指令前进、后退、左转、右转进行移动。
  2. 使用PID对电机进行调速，保证转速与指令值相符。
  3. 能够沿地面粘贴的轨道线自主循迹。
  4. 通过测距传感器实现前方障碍物距离检测，避免碰撞。
  5. 能记录行驶轨迹，并依据里程计实现简单的构图和定位。
  6. 实时检测环境的温度、湿度、烟雾浓度。
  7. 调用摄像头，并将视频流实时发布。
  8. 识别环境中的人脸。
  9. 可以通过网络远程控制机器人。
  10. 可以设置触发警报。

## 系统总体方案设计

根据对系统的预期功能的分析，如图2-1所示，可以将该系统分为三层：执行层、控制层、高级层。

执行层：控制电机驱动、读取编码器、读取传感器、检测电压、接受控制指令、PID电机调速。本层负责底层的硬件控制，运算量小，程序代码较短，实时性较好。

核心层：收发执行层消息、收发高级层消息、采集视频消息、有一定的数据处理能力。本层向下负责输出硬件控制指令、收集传感器数据，向上负责汇总数据、接受高优先级控制，程序代码规模较大，有较大的运算量，无法保证良好的实时性。

高级层：接受从核心层发来的处理过的信息、处理人机交互信息、处理机器人采集到的视频等数据流，可以同时连接控制多个核心层。本层程序代码量庞大，处理数据海量，需要非常强的运算能力，数据连接、处理的实时性都很差。



图 2-1 系统总方案框图

分层后整个系统可以同时兼顾实时性和运算能力。

尺寸上，执行层和核心层使用的时微型MCU和嵌入式SoC，且和众多外设直接相连，整合后连为一个整体，尺寸较小，移动灵活；高级层使用工作站等高性能计算机，体积大，不便于移动和携带。故本系统所设计的机器人包含执行层和核心层两部分，高级层仅搭建简单功能供测试，投入生产时按照实际需求再对高级层部分做开发。

功能上，可以将系统分为运动模块和计算模块两个功能模块。执行层执行机械运动，核心层和高级层负责执行数据运算。执行层功能简单，使用小规模的代码可以很好的保证系统的实时性，在进行PID控制中实时性尤为重要。

综上，整个系统的重点在核心层。

## 系统设计：执行层

本层系统设计的关键时保证实时性，故系统控制流程采用采用少循环、多中断的设计。系统上电后，初始化环境变量，初始化相关I/O口的状态，初始化相关外设和芯片，激活所有使用的定时器、计数器，然后进入循环体，等待中断发生以执行对应的中断程序，等待接受指令代码并按照代码执行既定的程序。控制层系统逻辑框图如图2-2所示。



2-2 控制层逻辑框图

最高优先级的中断时产生PWM波的中断，PWM波频率较高，分辨率较高，代码仅进行少量运算和控制PWM口波形，为了保证了对电机电压的精确控制，必须保证该中断的实时性。

次一级的中断时PID中断，PID控制必须是实时的。离散的PID控制参数设定与采用周期有关，周期的不稳定将导致PID控制的效果变差。进入中断中先读入编码器连接的计数器计数，获得间接的速度采样，根据队列中最近若干次采样数据，调用算法产生输出。

其次时串口中断。串口负责接受上位机发送的指令。串口一次只能接收一个字节，控制命令需要将多个字节拼在一起。将串口接收函数放入中断，可以在不影响电机调速系统稳定性的前提下提高系执行层对命令的响应速度。

最低级中断是状态发布。采集里程计信息，反馈当前转速，测定电源电压，发送传感器读数。本中断采用定时中断，使状态信息按照固定频率发送给上位机。

整个执行层主要围绕对电机转速的控制工作，使用光电编码器对转速采样，构成一个闭环的转速控制系统，实时性是本层系统设计的核心。

## 系统设计：核心层和高级层共从组成系统

核心层和高级层在硬件上分离且有所分工和差异，但从系统层面看，它们仍是一个整体。系统部分的运行不依赖外设的型号，使用统一的标准将数据接入系统。系统负责向执行层发送抽象的转速命令，交由执行层解析完成调速，执行层还会实时发送里程计数据。对系统而言，小车的运动变成了一种逻辑状态，传感器的检测结果作为数据映射到寄存器中，抽象的系统就此基础上运行。

ROS(Robot Operating System)是斯坦福大学人工智能实验室和机器人技术公司Willow Garage合作开发的机器人后操作系统，它开放源代码，使用消息传递模式运行，可以抽象底层硬件，支持多进程，支持分布式部署，功能包齐全。[2]它支持使用C语言、Python等多种语言开发程序包开发，对硬件和软件都有良好的兼容性。这里选用ROS还能很方便地部署在基于Linux系统运行的核心层硬件上。



图2-3 核心层运动控制逻辑框图

外设采集的信息有：温度、湿度、烟雾浓度、碰撞距离、声音、前视图像、云台图像。将这些数据交给运行着ROS的机器大脑来思考，从而做出决策。

核心层像是一位警车司机，按照既定路线站点巡逻或按调度中心（高级层）指示行驶。核心层基于一定的规则，将小车依次移动到若干个特定的目的坐标。这个坐标可以是固定的巡逻线坐标，也可以是高级层根据计算或人为输入的地图坐标。核心层保证机器人能安全准确的移动至既定坐标，不关心为什么要去那里，避免发生碰撞、跌落、侧翻。核心层接到坐标后，输出合适的速度指令将。若前方出现障碍物，将自主减速或原地等待。如果有传感器检测值超过预警信息，将暂停巡逻，在该区域继续采集信息，向高级层发送消息并等待进一步指示。核心层控制小车运动的逻辑框图如图2-3所示。

核心层和高级层通过无线网络连接，构成一个分布式ROS系统，其内部节点及话题设计如图2-4所示。



图2-4 系统内的功能实现

核心层和高级层断开连接后能执行自主巡逻任务，上图是核心层的主要程序节点和消息的话题单元。

下位机串口驱动节点负责驱动硬件串口，接收和发送下位机的串口通讯数据，并将电池电压、电机转速数据按照规定的格式发布到话题。读取转速设置，并将转速设定值按照下位机接收格式通过串口发送。

里程计节点读取车轮转速数据，计算位移偏移量，计算出机器人当前坐标及方向，并发布到“当前坐标方向”话题，供其他节点订阅。本节点在系统中起到了定位的作用。

环境传感驱动节点驱动外设温度传感器、湿度传感器、烟雾浓度传感器，代入已经调试测定的传感器矫正参数，生成准确的环境变量并发布到环境指标话题。

避障驱动传感器定时产生脉冲，驱动超声波模块并计算反馈信号延时，并根据温度和气压，计算出超声波速率，最终准确计算出障碍物的距离，障碍物的距离格式化为毫米单位的短整形数据在“障碍距离”话题中发布。

摄像头驱动节点包含外设的驱动程序。该节点负责驱动高清摄像头，将视频以流的形式发布到“画面”话题，高级层与核心层连接后可以共享该视频流。

模式识别节点负责设定系统的控制模式。最高级别模式为用户控制模式（MODE\_0）：用户使用机器人身上的实体按键可以选择启动、暂停或执行指令的程序。远程控制模式（MODE\_1）：需要核心层与高级层网络互连，可以直接执行远程的控制命令或运行远程设定的控制程序。

导航节点为机器人提供导航服务。节点根据里程计生成的定位信息确定当前位置，读取设定的路线地图，算出下一个需要靠近的导航点坐标，并输出该坐标与机器人的相对方向角。在下一个导航方向消息发布前，该方向上不会遇到地图上的已知障碍物。

速度导航节点负责控制差速电机的设定速度。该节点首先保障输出的速度设定不会因变化过大导致打滑、转弯过快导致侧翻，前方出现障碍物时能及时停车。其次，输出的速度要符合“目地方向”的设定值。

高级层的详细设计属于安防巡逻机器人的集群控制和战术规划，超出了本课题的研究范围，本文不在详细讨论。

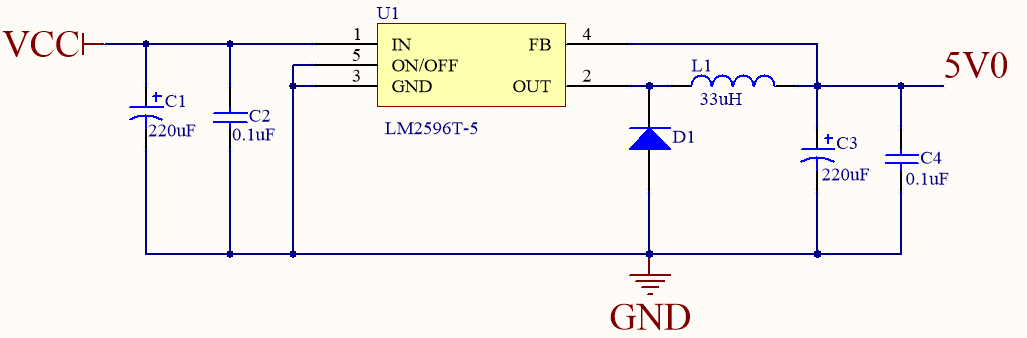
# 硬件设计

本章节根据第二章的系统设计讨论基于树莓派的安防巡逻机器人的硬件设计。包括集成电路板的设计、选用电子模块的连接、驱动电路的构造。

## 电源电路

机器人的所有模块都需要用电，不同模块对电源电压的需求有所不同，机器还需要电压检测装置检测电池电量。这里首先设计管理电源的硬件电路。

机器人的电机驱动模块需要较高的电压，可以直接将7.4V的电源引过去。剩下的控制电路均使用的是5V的电源，可以将7.4V电源降压到5V再使用。电源变压模块的电路图如图3-1所示。

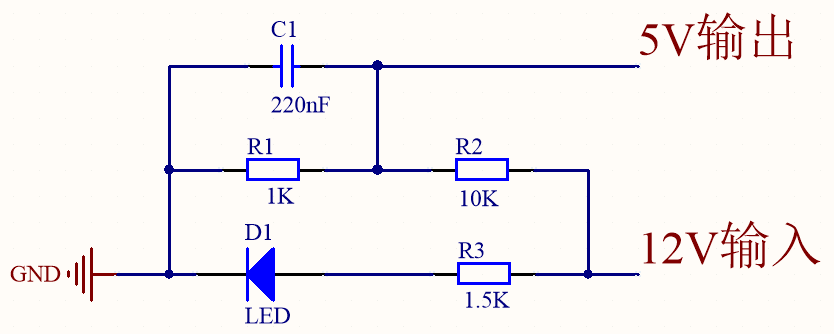


3-1 电源降压稳压模块电路图

在实际测试过程中，经常发生变压稳压电路烧毁的情况，为方便调试，将变压稳压电路制作为独立的模块，通过排插接入系统。

本模块的核心是一颗LM2596芯片，这是一个降压型电源管理单片集成电路的开关电压调节器，输出电流的驱动能力可达3A。该芯片工作原理是通过内部逻辑电路总的放大器与比较器进行运算，当电压超过5V设定值后停止输出，当电压低于5V时电源导通。这个变压原理与PWM脉冲调宽给外设输出特定电压的原理类似。由于不是一个连续的功率输出，故配上由电容、电感、二极管构成的滤波电路后，输出电压更稳定安全可靠。

解决了电源电压问题，机器人还要能够实时检测电池所生的电量。电压检测是通过一个串联电阻电路，根据欧姆定律得到按比例缩小的电源电压，将电源电压输入到电压检测元件上。本方案采用通用的锂电池组，根据锂电池的电量与电压特性，锂电池电量在10~90%时电量与电压呈较完美的线性，单节锂电池的电量在3.5~4.2V，常见的锂电池组由从1S到6S，即满电时电压从4.2V到25.2V不等。本方案采用的MCU为STM32系列，自带内部ADC，最大检测电压3.3V，故电源电压的缩小倍率不应低于8倍，这里我们电压检测模块的是11倍分压，如图3-2所示。



3-2 电压检测模块

输入电源与GND之间并联有两条串联电路，二极管LED灯和R3电阻器组成了电源工作指示电路，R1和R2组成了电阻器分压电路，电阻器应选用误差较小的，以提高系统检测精度。分压后的输出电压与GND之间还有一个电容器，用来保护输出端电压的稳定与安全。

## 电机驱动及编码器电路

为了方便做闭环控制和上位机里程计设计，机器人驱动轮的选用配备编码器的直流电机，电机的接线也直接和编码器放在一起，公用一组排线，方便连接安装。电机实物如图3-3和图3-4所示。

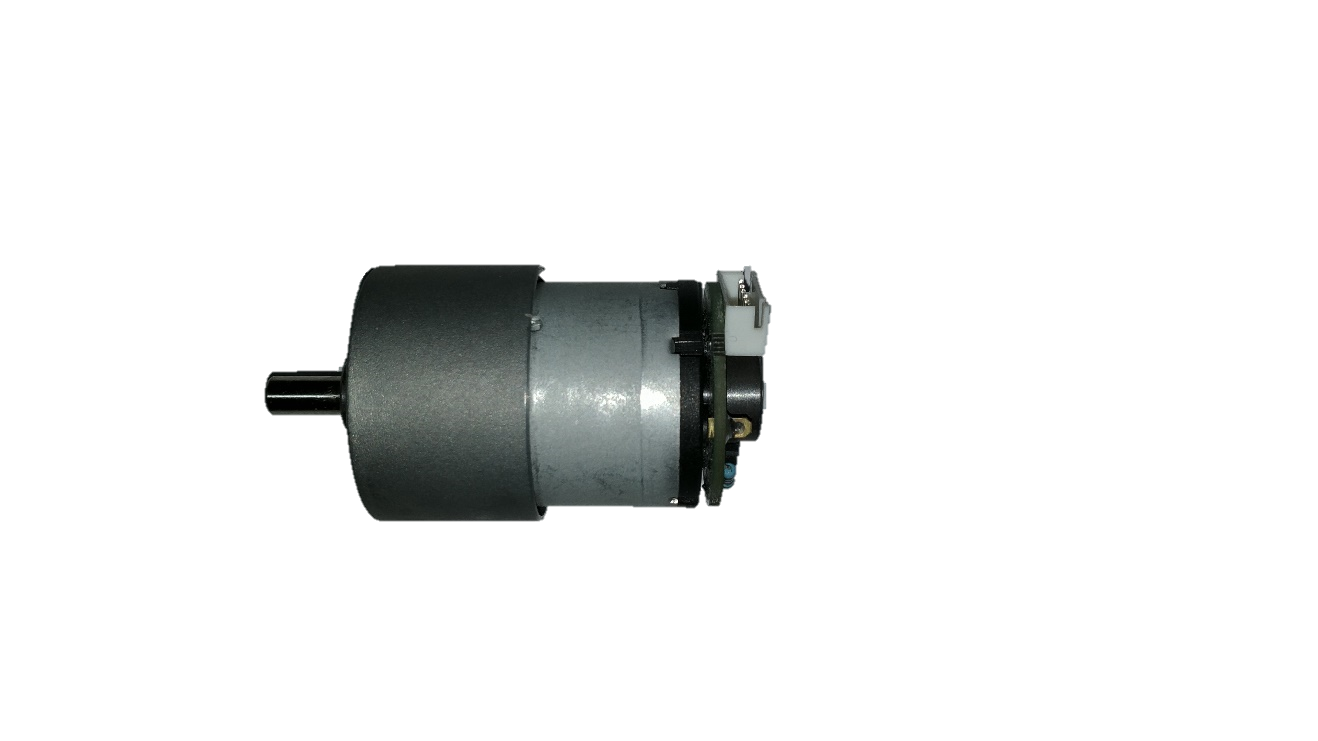


图3-3 带编码器电机俯视图

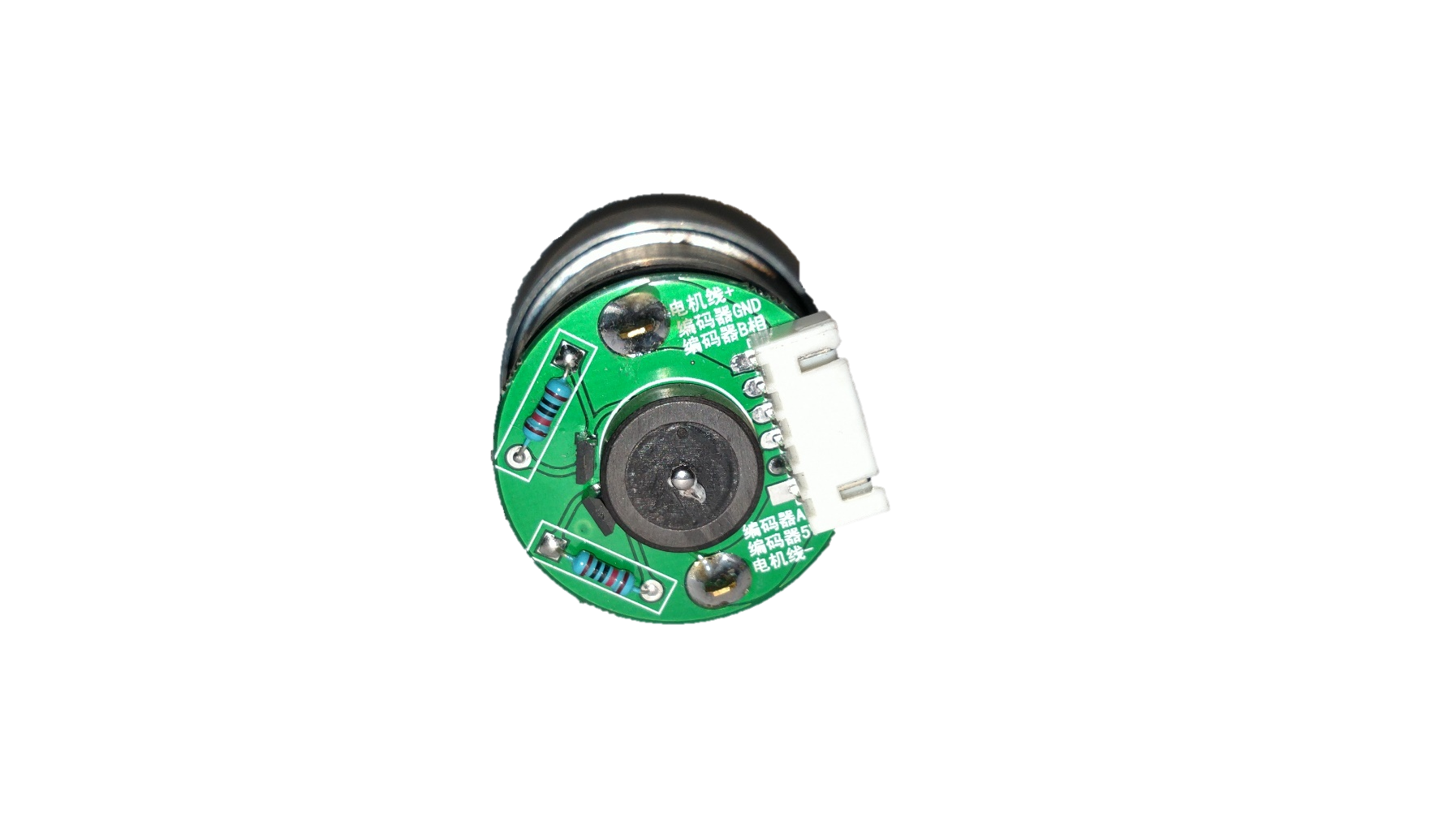


图3-4 电机编码器线路板

编码器由地线GND、5V电源VCC、编码器A、编码器B四根线组成，AB两根线可以直接与单片机I/O口相连。电源线接入所需电源线路。

电机选用12V有刷直流电机，对电机的速度控制可以通过调节电机输入电压实现。本系统使用PWM脉冲调宽实现对电压的调节。如图3-5所示是单片机驱动电机的驱动电路。

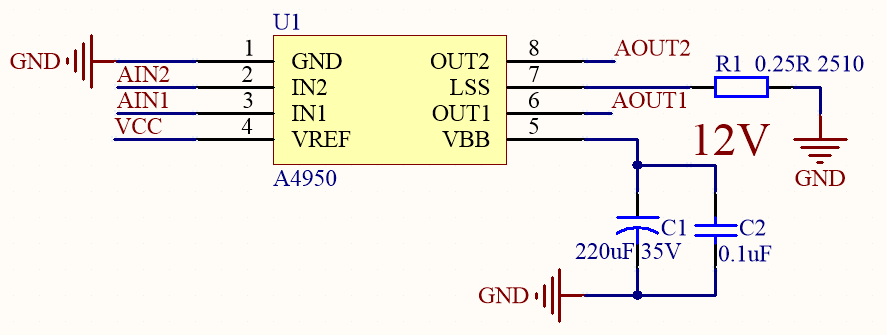


图3-5 A4950驱动电路

A4950芯片是一种广泛应用在汽车领域的全桥DMOS PWM电机驱动器，每颗芯片可提供高达3.5A的峰值输出电流，工作电压在0 - 40V。芯片内部还设有保护电路，包括过电流保护、电动机接地、电源短路、因滞后引起的过热关机、VBB 欠压监视以及交叉电流保护。

GND和VREF分别连接单片机的0V和5V。VBB是驱动电源，本系统使用的是12V的直流电压源，由外置的锂电池组提供。IN1和IN2连接到单片机I/O口，接收单片机由传出的PWM控制信号。OUT1和OUT2是为电机提供电压源的输出，输出与VBB电源相同电压的PWM波。

## STM32最小系统版

本系统选用STM32F103C8T6作为微控制单元，共有35个I/O口，内置ADC模块

## 传感器及插线板电路

## 下位机与树莓派

树莓派是一个

## 机器人的机械结构

本系统共使用两套硬件MCU和传感器若干，所占空间较大，不便于在简单的万用洞洞板上安装，故根据巡逻机器人的需求设计了机器人外壳，并通过3D打印制作。

机器人采用2轮差速移动控制，外加一个全向轮，三个轮子构成一个三角形，有利于机器人在平面地面站立的更稳固。电池组及控制板灯核心部件安装在机器人中心，根据传感器分布需求及安装设备的空间需求，将机器人底盘形状设计成圆形既有良好的结构强度也有赏心悦目的外观。如图所示是巡逻机器人底盘的俯视图。

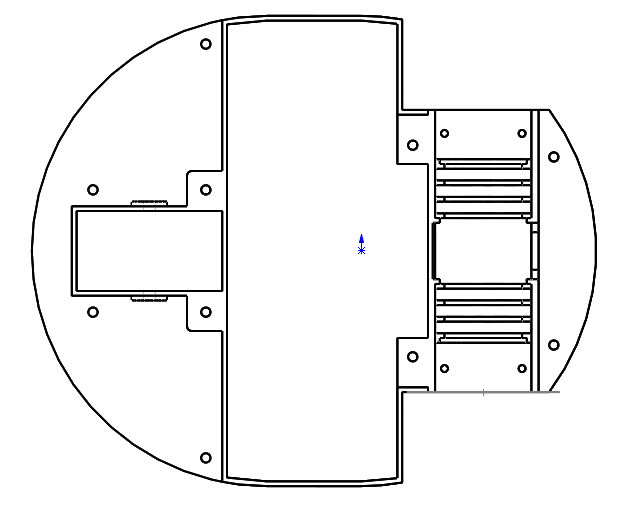


图 机器人底盘俯视图

后轮由两个电机通过联轴器及轴承相连，轮轴向小车底盘长期提供向上的支持力。当后轮电机做功时，轴承还会向底盘传递向前或向后的力。电机与轴承相连，电机会受到向上、向前、向后的作用力，故电机安装应当完全固定。底盘根据电机外形设计一个能正好与电机外壳相吻合的多层支架，分为上下两部分将电机完整地固定起来。如图所示时只安装左后轮固定配件的效果图。

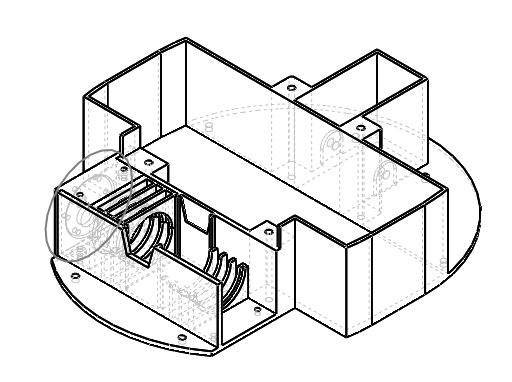


图 后轮电机固定示意图

前轮使用万向轮，不提供动力，为被动轮胎，机器人底盘已经根据选配的万向轮型号预留了前轮安装位，并预留了螺丝孔。使用螺丝和轴承即可将万向轮安装在地盘上。

前轮左右侧空余的空间是预留做安装在机器人前侧的传感器，考虑到机器人的使用场景较多，不同的场景对传感器的需求差异较大，这里不设计具体的传感器安装位，预留固定传感器支架的螺丝孔。

## 小结

根据机器人的需求对使用到的各种更能进行模块化设计，最后拼接连线，即可成为一个完整的机器人硬件开发平台。如图所示是机器人组装完成后的实物图。

图 机器人完整实物图

# 软件设计

给出主程序流程图（应为一死循环）和各个模块的流程图，流程图要与第三章各个模块相对应。流程图使用Visio绘制，字体、字号、风格要保持一致。对各个流程图要进行文字描述，别人看了这一部分知道怎么编码实现。

## 下位机：嵌入式控制板程序

## 上位机：树莓派控制程序

## 服务器：远程指挥系统

# 结果测试

PID参数调节

给出设计系统的实物照片（注意黑白打印要清晰），讲明白测试时的场景，测试结果，及对结果的简单评价，要与第一章问题相对照，看是否解决了提出的问题。

（要用数据说话，整理数据结果，统计误差规律）

# 结论

再次阐明解决的问题、采用的方法、结果，以及未来的改进计划。

# 参考文献：

应以期刊为主

著作：[序号]作者.译者.书名.版本.出版地.出版社.出版时间.引用部分起止页

期刊：[序号]作者.译者.文章题目.期刊名.年份.卷号(期数). 引用部分起止页

会议论文集：[序号]作者.译者.文章名.文集名 .会址.开会年.出版地.出版者.出版时间.引用部分起止页

1. 陈志华，谢存禧，曾德怀．巡逻机器人的研究现状与应用前景 [J]．机电工程技术．2003，32 (6) : 19 - 22．
2. 李建勇，刘雪梅，李雪霞，等．基于Ros的开源移动机器人系统设计［J］．机电工程，2017，34( 2) : 205 - 208．
3. http://www.18650.com.cn/news/15373317.html

# 附录

## 附录一



图8-1 一种量产的安防巡逻机器人

硬件设计总图、程序源代码等

六、图片格式：正文文字中，先见文后见图，全文统一按顺编号，

图片格式为JPG格式，分辨率为400DPI以上。

七、注释文献：

[注释] 宋体五号

①注释1宋体小五号

②注释2宋体小五号