

分类号: TD242

UDC: \_\_\_\_\_

密 级: 公 开

单位代码: 10424

工 程 硕 士 学 位 论 文  
**基于 MSP430 的清洁机器人  
运动控制系统设计**

姜尧维

申请学位级别: 工程硕士      领域名称: 控 制 工 程

指导教师姓名: 王晓宁      职 称: 副教授

山 东 科 技 大 学

二零一二年五月

论文题目：

## 基于 MSP430 的清洁机器人运动控制系统设计

作者姓名：姜尧维

入学时间：2010 年 9 月

领域名称：控制工程

研究方向：智能机器人

指导教师：王晓宁

职 称：副教授

论文提交日期：2012 年 5 月

论文答辩日期：2012 年 6 月

授予学位日期：

# **DESIGN OF MOTION CONTROL SYSTEM IN CLEANING ROBOT BASED ON MSP430**

**A Dissertation submitted in fulfillment for the requirements of the degree of**

**MASTER OF PHILOSOPHY**

**from**

**Shandong University of Science and Technology**

**by**

**Jiang Yaowei**

**Supervisor: Associate Professor Wang Xiaoning**

**College of Information and Electrical Engineering**

**May 2012**

# 声 明

本人呈交给山东科技大学的这篇硕士学位论文，除了所列参考文献和世所公认的文献外，全部是本人在导师指导下的研究成果。该论文资料尚没有呈交于其它任何学术机关作鉴定。

硕士生签名：

日 期：

## AFFIRMATION

**I declare that this dissertation, submitted in fulfillment of the requirements for the award of Master of Philosophy in Shandong University of Science and Technology, is wholly my own work unless referenced or acknowledged. The document has not been submitted for qualification at any other academic institute.**

**Signature:**

**Date:**

## 摘 要

本文提出了一种智能清洁机器人的运动控制系统设计方案。工作时，该机器人沿着房间的墙边行走一周，对清扫房间进行扫描以获取房间的基本信息。扫描结束后，机器人从房间的一个墙角出发，沿着与房间宽边墙壁平行的方向前进。当机器人接近长边墙壁时，向远离宽边墙壁方向后转弯，移动一个车身宽度的距离，向另一侧长边墙壁行驶，继续清扫房间。遍历房间后，机器人会执行补偿清扫。该机器人沿直线行驶，当遇到障碍物时，自动躲避并绕过障碍物，然后继续按躲避前的路线行驶。当行驶到有落差的行驶路面边缘时，该机器人会自动退回以避免跌落。

该清洁机器人以 MSP430F149 单片机为核心，单片机输出两路 PWM 方波信号，驱动 L298N 芯片控制两个直流减速电机转动，通过调节机器人两个后轮的转速差，令机器人完成前进、后退、左转和右转等基本动作。同时机器人安装了一个万向轮来代替两个前轮，使机器人的转向更加灵敏，可任意方向移动。通过超声波测距传感器和红外线避障传感器检测障碍物，机器人能够及时躲避障碍。通过开关型霍尔传感器测量轮子的转数，单片机可计算机器人完成特定动作时的行驶距离。通过防跌落传感器检测 8cm 以上的地面落差，防止机器人从高处跌落。通过电子罗盘检测机器人行驶方向，通过调整 PWM 波的占空比，使机器人始终保持直线行驶。本论文将通过可靠的硬件设计和稳定的软件算法，使清洁机器人清扫时尽量减小重复率并加大覆盖率。

**关键词：** 清洁机器人，MSP430F149，避障，导航，L298N

## Abstract

This paper designs a kind of control system for the intelligent cleaning robot. Firstly, the robot walks along the walls of the room which the robot will clean for the basic information of the room. Secondly, after the scan, from a corner of the room, the robot walks along with the direction which parallel the width of the room. After cleaning the blind area, the robot will walk all over the room. The robot runs along the straight line. When encountering an obstacle, it can automatically go around the obstacle and continue the former route. When traveling near the stairs or the edge of the table, the robot will automatically return to avoid dropping.

The cleaning robot is based on the MSP430F149 microprocessor. The MSP430F149 outputs two PWM square waves to drive L298N and control two DC motors. By adjusting the speed of the two wheels, the robot can move forward or backward and turns left or right. At the same time with the installation of a universal wheel which replaces the two front wheels, the robot moves more smoothly in any direction. By means of ultrasonic sensor and infrared sensors to detect obstacles, the robot can always avoid any obstacle. By means of the hall sensor to measure the speed of the two wheels, the MSP430F149 calculates the distance when the robot completes a specific step.

Through the fall sensor to detect the drop of the ground level, the robot is prevented from a fall from a height. Through the electronic compass to detect the moving direction of the robot, by adjusting the duty cycle of the PWM wave, the robot always walks on a straight line. This task will be based on the reliable hardware and steady software, so the cleaning robot can minimize the repetition and increase the coverage.

**Keywords:** Cleaning robot, MSP430F149, L298N, Obstacle avoidance, Navigation

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>1 绪论</b> .....            | 1  |
| 1.1 课题的提出 .....              | 1  |
| 1.2 清洁机器人的发展现状 .....         | 1  |
| 1.3 本课题主要研究内容 .....          | 3  |
| <b>2 整体设计方案</b> .....        | 4  |
| 2.1 硬件设计方案 .....             | 4  |
| 2.2 软件设计方案 .....             | 5  |
| 2.3 机器人的机械结构 .....           | 6  |
| <b>3 硬件设计</b> .....          | 8  |
| 3.1 微控制器 .....               | 8  |
| 3.2 电源管理 .....               | 10 |
| 3.3 电机驱动模块 .....             | 14 |
| 3.4 测速模块 .....               | 21 |
| 3.5 红外避障模块与红外防跌落模块 .....     | 22 |
| 3.6 电子罗盘 .....               | 24 |
| 3.7 超声波测距模块 .....            | 25 |
| <b>4 软件设计</b> .....          | 29 |
| 4.1 系统主程序的设计 .....           | 29 |
| 4.2 串口接收中断程序 .....           | 32 |
| 4.3 读取串口接收数据程序 .....         | 33 |
| 4.4 定时器A中断程序 .....           | 34 |
| 4.5 定时器B中断程序 .....           | 41 |
| 4.6 I/O中断程序 .....            | 42 |
| <b>5 实验中遇到问题及拟解决方案</b> ..... | 44 |

---

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 5.1 清洁机器人的重心问题 .....     | 44        |
| 5.2 电源芯片负载问题 .....       | 44        |
| 5.3 避障模块的检测范围问题 .....    | 45        |
| 5.4 超声波测距模块的信号串扰问题 ..... | 45        |
| 5.5 步进电机与直流电机的比较 .....   | 47        |
| 5.6 电子罗盘的种种问题 .....      | 47        |
| 5.7 计算障碍距离时变量的范围问题 ..... | 47        |
| <b>致谢</b> .....          | <b>48</b> |
| <b>参考文献</b> .....        | <b>49</b> |
| <b>附录 电路原理图</b> .....    | <b>51</b> |



# Contents

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Introduction</b> .....                                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Raising of project.....                                      | 1         |
| 1.2 Present situation of cleaning robots.....                    | 1         |
| 1.3 Research contents.....                                       | 3         |
| <b>2 OVERALL DESIGN</b> .....                                    | <b>4</b>  |
| 2.1 Hardware design.....   | 4         |
| 2.2 Software design.....   | 5         |
| 2.3 Mechanical structure of the robot.....                       | 6         |
| <b>3 Hardware Design</b> .....                                   | <b>8</b>  |
| 3.1 MCU.....   | 8         |
| 3.2 Energy management.....                                       | 10        |
| 3.3 Motor drive.....   | 15        |
| 3.4 Speed test.....  | 21        |
| 3.5 Infrared obstacle avoidance and protection from falling..... | 21        |
| 3.6 Electronic compass.....                                      | 24        |
| 3.7 Ultrasonic sensor.....                                       | 25        |
| <b>4 Software Design</b> .....                                   | <b>29</b> |
| 4.1 Main program.....  | 29        |
| 4.2 Serial port receive interrupt program.....                   | 32        |
| 4.3 Read the serial receive data program.....                    | 33        |
| 4.4 TimerA interrupt program.....                                | 34        |
| 4.5 TimerB interrupt program.....                                | 41        |
| 4.6 I/O interrupt program.....                                   | 42        |
| <b>5 System Debugging</b> .....                                  | <b>44</b> |

---

|   |           |
|---|-----------|
| 5.1 Gravity center of cleaning robot .....          | 44        |
| 5.2 Load of power supply .....                      | 44        |
| 5.3 Testing scope of obstacle avoidance module..... | 45        |
| 5.4 Signal crosstalk.....                           | 45        |
| 5.5 Problems of electronic compass.....             | 47        |
| 5.6 Scope of variable .....                         | 47        |
| <b>Acknowledgements .....</b>                       | <b>48</b> |
| <b>References.....</b>                              | <b>49</b> |
| <b>Appendix.....</b>                                | <b>51</b> |

# 1 绪论

## 1.1 课题的提出

在当今世界，科学技术使人类的生活和思维方式不断变革，科技产品已深入到人类生活的各个角落。在控制、感知、驱动、材料等领域不断进步的技术背景下，机器人开始出现在制造之外的服务领域，开辟了机器人应用的新天地[1]。服务机器人的出现有着深刻的社会因素，其中包括劳动力成本上升、人类想摆脱枯燥乏味的日常事务、人口的老龄化和社会福利制度的日益完善。

清洁机器人是一种能够自动执行房间清扫的家用服务机器人，涉及了机械学、传感器技术、计算机技术、控制技术、机器人技术、人工智能技术等多门学科<sup>[2]</sup>。20世纪80年代人们开始进行清洁机器人的研究，现在已经开发出多种成功的产品，许多发达国家都将其视为机器人研究的新领域并给予重视。在很多国家里，车站、机场、办公室、工厂等公共场合的清洁任务已经逐步交由机器人来完成<sup>[3]</sup>。专家预测清洁机器人是未来几年需求量最大的服务机器人，将会有很大的成长空间。同时，只要其性能优越，价格又可以令大众接受，相信清洁机器人会大量走入普通家庭。

从技术层面来讲，研究智能清洁机器人会运用到机器人的多项关键技术，具有很强的代表性；从市场前景层面来讲，智能清洁机器人将大大降低人们的劳动量，提高劳动效率，特别适合家庭和公共场合的室内清洁。因此，清洁机器人的开发既具有科研上的挑战性与前瞻性，又具有广阔的市场前景<sup>[4]</sup>。

## 1.2 清洁机器人的发展现状

清洁机器人最早出现于美国，随后进入到欧洲与日本，风靡港澳台，进入大陆的时间是上世纪90年代末期。现在清洁机器人的生产厂商有很多，比较著名的有德国Karcher，英国Dyson，澳大利亚Floorbotics，美国irobot，瑞典伊莱克斯，荷兰飞利浦，韩国三星、LG，台湾联腾电子以及国内的KV8。

与传统吸尘器相比，智能清洁机器人更省时、省力，整个清洁过程不需要人参与，

帮助人们省下更多的时间上网、看电视、陪家人<sup>[5]</sup>；清洁机器人在工作时，噪音极小，不影响人们生活和休息；有些机器人内部装有活性炭，可吸附空气中的有害物质；由于其体积很小，一些普通吸尘器清扫不到的死角，它都可以处理；工作过程中电量不足时，机器人会停止工作移动到充电器进行自动充电，充电完毕后，会返回到原来清扫中断时的地点继续清扫工作；机器人工作时，当探测到有障碍物时会自动选择躲避障碍物，然后自主选择新的清扫路径；机器人有防跌落智能感应器，当机器人行驶到边沿时会自动退回来，所以不用担心它掉下去；机器人不但有真空吸口，还有底部的旋转滚刷以及侧部的旋转毛刷，这些都强化了清洁去污能力；机器人能够检测污垢情况，进行多次的清扫工作；用户可通过“虚拟墙”设置一个对机器人有阻隔作用的墙壁，控制机器人的活动空间；最新型的智能清洁机器人使用新型 3D 地图影射技术定位自身位置，用户能够通过互联网操作家中的机器人，在家中无人时，监视家中情况。

目前，大多数投入市场的清洁机器人的结构组成基本一致。清洁机器人的基本结构一般包括四部分：控制系统、感知系统、移动机构、清洁系统<sup>[6]</sup>。控制系统是清洁机器人的核心，一般采用微控制器，通过对感知系统采集到的信号分析与计算，对移动机构和清洁系统发出控制信号，控制机器人完成移动和清扫等各种行为；感知系统依赖于传感器技术，主要作用是感知外部的环境信息并将其读入控制系统，一般常用的传感器有：CCD 摄像机、超声波测距传感器、红外避障传感器、接触传感器和碰撞传感器等；移动机构确保清洁机器人可以自动移动<sup>[7]</sup>，一般的结构有：轮式、履带式、步进式或其他方式，轮式和履带式适合移动在平整的地面上，步进式适合于条件较差的路面移动；清洁系统一般有：喷水器、地刷和吸尘器，喷水器向地面喷洒清水，地刷用于强力清扫地板上的吸附物，吸尘器吸取地板上较小的物体及灰尘。

尽管国内对于清洁机器人的研究取得了很大的进展，但是仍有许多关键技术问题需要解决或提高。例如，有些机器人只能随机移动，有的能在单个房间内较简单的以一定路线移动，有的机器人当遇到障碍物时，虽然能够做出躲避动作，但绕过障碍物时却无法沿着之前的清扫路线继续清扫。由于清洁效果不佳、无法遍历或者重复率高而遍历时间太长等原因，很多产品无法令人满意，所以路径规划是一个比较重要亟待解决的技术问题。

### 1.3 本课题主要研究内容

本课题旨在设计一种基于单片机的清洁机器人，在路径规划上追求高覆盖率与低重复率，在用时更少的情况下达到更好的清扫效果。机器人的具体设计要求如下：

- (1) 清洁机器人在清扫房间前，先绕房间一周，利用测速传感器测行驶速度，利用单片机内部定时器计时，计算房间的长与宽，并规划好路径。
- (2) 清洁机器人利用方向传感器对行驶方向进行检测，单片机根据检测信号控制两个电机的转速和转动方向，使机器人可以直线正向或反向行驶，以及转90度弯或180度弯。
- (3) 清洁机器人利用避障传感器对障碍物进行检测，能够及时躲避，绕过障碍物后，能够回到原路线上继续前进，尽量做到既不重复已经清扫过的路径，又不漏掉未清扫的路径[8]。
- (4) 当行驶到有落差的路面边缘时，即桌子上或楼梯附近运行时，机器人通过防跌落传感器对路面落差进行检测，当有跌落危险时会自动退回。

本课题的研究主要包括智能机器人的硬件设计与软件编程。其中硬件设计包括传感器的选取，单片机的选取，电机的选取，各种控制芯片的选取，全部电路的设计等；软件设计包括控制各传感器采集信号，接收、处理与计算传感器传回的信息，根据计算结果规划机器人行驶路径，并输出控制信号驱动电机。

## 2、整体设计方案

### 2.1 硬件设计方案

该清洁机器人以单片机为核心，与行驶方向检测模块、速度检测模块、避障模块、防跌落模块、电机驱动模块和电源模块组成了闭环控制系统。系统的电路原理框图如图 2.1 所示。

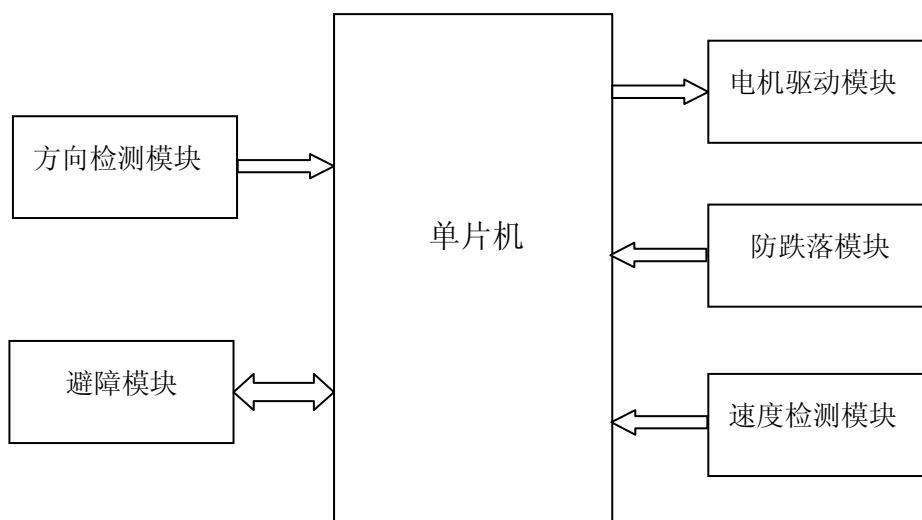


图 2.1 系统原理框图

Fig2.1 The block diagram of the system

系统主要包括：

- (1) 行驶方向检测模块：通过电子罗盘采集方向数据信号，使机器人始终保持直线行驶，最大可能减小路径重复率。
- (2) 速度检测模块：通过霍尔传感器采集电机转数信号，读入单片机计算单位时间内的行驶距离。
- (3) 避障模块：避障模块分别由超声波测距传感器与红外线避障传感器组成。超声波测距传感器发出超声波，通过单片机记录的超声波遇到障碍物后的返回时间计算障碍距离检测障碍，使机器人可以时时躲避障碍；红外线避障传感器发出红外线，红外线遇到障碍物后发生反射，传感器检测到频率匹配的反射红外线后，向 I/O 口输出

低电平信号，单片机由此知晓前方有障碍物。

- (4) 防跌落模块：通过红外线传感器发射红外线并检验规定距离内是否返回红外线，检测路面落差，防止跌落。
- (5) 电机驱动模块：通过单片机输出的两路 PWM 方波信号，经光电隔离后，驱动 L298N 芯片控制两路直流减速电机，令机器人完成前进、后退、左转和右转等基本动作。
- (6) 电源模块：通过线性稳压芯片稳压得到系统需要的各种电源电压。

## 2.2 软件设计方案

软件设计上，编写了相应程序使清洁机器人能够自主导航避障。清洁机器人的清扫工作包括三个步骤：扫描房间信息、“弓”形清扫和反“弓”形清扫。模拟房间情况如图 2.2 所示。

- (1) 扫描房间信息:清洁机器人清扫起点为 AB 墙夹角，先沿着房间的四面墙壁行驶一周，对清扫房间进行扫描，检测房间基本信息。在此过程中，根据前、左、右三个方向的避障传感器检测结果判断行驶方向，机器人的行驶方向的选择顺序为：左、前、右。只要左方无障碍物机器人就左转 90 度，当左方检测到障碍物时，机器人直线前进，当前方和左方同时有障碍物时，机器人右转 90 度，继续前进。检测房间基本信息后，计算房间的长和宽，为接下来的清扫工作做准备。
- (2) “弓”形清扫：机器人 R 回到房间 AB 角，以此墙角为出发点，沿着墙壁 A 前进，并默认此路径为清扫区域一，当接近墙壁 D 时，机器人的右轮子转动、左轮子静止不动，向左后转弯，这样保证了每次掉头时，只移动了一个车身宽度，进入清扫区域二；当接近墙壁 B 时，机器人的左轮转动、右轮静止不动，向右后转弯，进入清扫区域三。这样，机器人沿与房间宽边墙壁平行长边墙壁垂直的方向上下往返清扫，直到遍历房间。当遇到障碍物时，机器人向左（或向右）转 100 度弯行驶，右侧面（左转看右面，右转看左面）传感器继续检测障碍，如果已无障碍，机器人向右转弯并继续检测右侧传感器，直到右侧无障碍，机器人左转回到此次避障转弯前初始行驶的直线轨迹上；如果有障碍，机器人左转 80 度行驶，即在未行使到墙边时，进入下一个清扫

区域。单片机记录此次区域号和行驶距离。当正“弓”形清扫结束后，统计所有未完全清扫区域，将相邻区域合并，组成重点清扫区域，例如图中的 J 区域和 K 区域。

- (3) 反“弓”形清扫：结束“弓”形清扫后，机器人来到与清扫出发点横坐标相同，纵坐标不同的墙角 AD 作为出发点，清扫过程与“弓”形阶段相同，这样可对“弓”形阶段中漏掉的地方进行补偿清扫，增大清扫覆盖率。

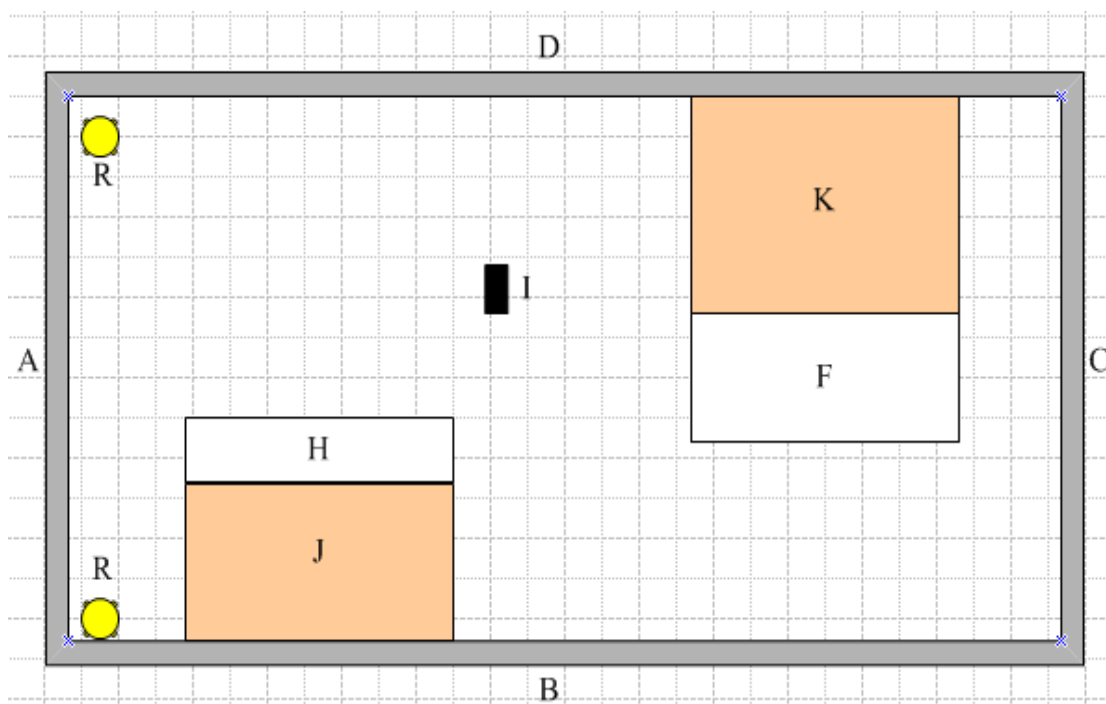


图 2.2 房间模拟图

Fig2.2 The simulator of the room

### 2.3 机器人的机械结构

机器人的机械结构如图 2.3 所示，在机器人底盘靠近外侧处一共安装 3 个超声测距波传感和 6 个红外避障传感器用于避障，前方，左侧和右侧各有 1 个超声波传感器，在每个超声波传感器的两侧各安装一个红外线避障传感器。机器人正前方底盘外安装红外避障传感器，传感器整体垂直地面，以检测路面落差防止跌落。电子罗盘安装在机器人地盘前半部，注意罗盘上的白色箭头必须与小车的正前方方向一致。底盘反面安装一个万用轮来代替两个前轮，使小车的转向更加灵敏，可任意方向移动。机器人的主控板和 L298N 电机驱动板紧挨着安装在底盘正面后半部，尽量保证两者在底盘上位置靠后并左



右对称，使两个轮子受力平均。L298N 通过杜邦线驱动两路电机，两个电机分别控制一个轮子，通过螺丝固定。测速板在底盘反面，正对两个电机未安装减速箱一侧的输出轴。

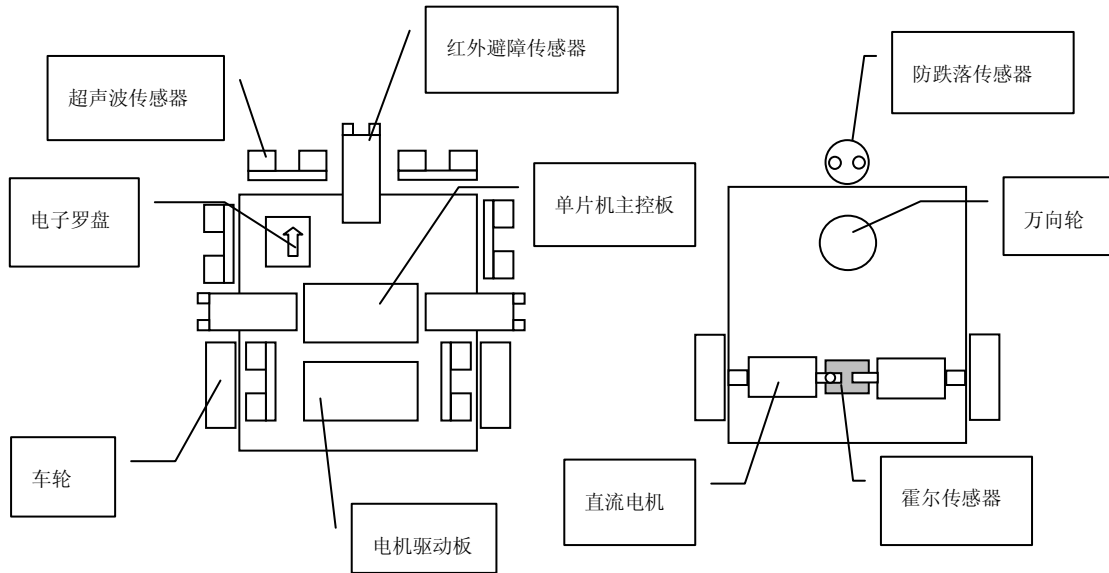


图 2.3 机器人机械结构图

Fig2.3 The mechanical structure of the robot

## 3 硬件设计

### 3.1 微控制器

#### 3.1.1 MSP430 简介

1996年，由美国德州仪器公司（TI）生产的MSP430系列单片机华丽登场。它是一种16位、超低功耗、具有精简指令集（RISC）的混合信号处理器（Mixed Signal Processor）。该系列单片机针对实际应用需要，在一个芯片上集成了不同功能的模拟电路模块、数字电路模块和微处理器，以提供“单片”解决方案<sup>[9]</sup>。

MSP430系列单片机处理能力强，运算速度快。它拥有16位数据宽度的CPU寄存器，采用精简指令集（RISC）架构，具有十分丰富的寻址方式包括7种源操作数寻址和4种目的操作数寻址、简洁而实用的27条内核指令以及大量的模拟指令和高效的查表处理指令<sup>[10]</sup>。同时在MSP430单片机中，最大256KB的Flash只读存储器（ROM）和最大18KB随机存储器（RAM）可参加多种运算。该系列单片机可以在最大8MHz外接晶振和内置数字振荡器（DCO）的驱动下，可实现25MHz的CPU主频。另外，16位的数据宽度、最短40ns的指令周期和多功能的硬件乘法器（能实现乘加）相配合，能实现数字信号处理的某些算法（如FFT等）<sup>[9]</sup>。

TI公司宣称MSP430系列单片机是世界上功耗最低微控制器<sup>[11]</sup>。该系列单片机之所以有超低的功耗是因为其采用1.8~3.6V的电源电压的同时，拥有独特的时钟系统设计<sup>[12]</sup>。时钟系统是MSP430系列单片机最关键的部件，它包含基本时钟系统和DCO数字振荡器时钟系统，并可对多种时钟源进行分类管理。用户可通过时钟系统灵活的切换时钟源，通过软件随时更改CPU的运行速度，为不同的外设提供不同频率的时钟信号。MSP430单片机时钟系统中有一种活动模式（AM）和五种深度不同的低功耗模式（LPM0、LPM1、LPM2、LPM3、LPM4）。通过控制时钟系统中多个相应的控制位即CPUOFF、SCG0、SCG1、OSCOFF，控制内部的CPU、FLL倍频环、数字时钟发生器和外接晶振的开关，MSP430单片机可以进入不同深度的低功耗模式以降低功耗<sup>[13]</sup>。当单片机执行程序时，时钟系统处于活动模式，全部时钟均开启，此时功耗正比于CPU

主频,每 MHz 为 200~400 uA,仍然处于微安级上。当单片机运行在低功耗模式 4 (LPM4) 下,整个时钟系统全部关闭,单片机内部所有模块停止工作,功耗最低可降到 0.1uA。因此,用户通过时钟系统可以在功耗和性能之间寻求最佳的平衡点,实现理想的设计效果<sup>[14]</sup>。

MSP430 系列单片采用模块化结构,拥有较丰富的片内外设,具备高性能集成优势,完美整合了在程序失控时可使系统迅速复位的看门狗 ( WDT );可进行模拟电压比较的模拟比较器 A ;具有捕获与比较功能,可用于测量频率、周期、计数、精准定时、产生 PWM 方波的 16 位定时器 ( Timer\_A 和 Timer\_B );可实现异步、同步及多址访问和多机通信等应用的串行通讯接口 ( USART0 、 USART1 ) 以及硬件乘法器、LCD 液晶驱动器、10 位 /12 位 ADC 、16 位 Sigma-Delta AD、直接寻址模块 ( DMA ) 和基本定时器 ( Basic Timer ) 等外围模块。其中,10/12 位硬件 A/D 转换器转换速率高,可达 200kbps ,能够完成大部分数据采集任务;LCD 控制器能直接驱动多达 160 段的液晶;硬件 I<sup>2</sup>C 串行总线接口可实现存储器串行扩展;为快速传输数据,而采用直接数据传输 ( DMA ) 模块。另外,MSP430 单片机具有较多的 I/O 端口,最多可达 48 个,其中 P0 、 P1 、 P2 端口能够同时接收多个外部上升沿或下降沿的中断输入<sup>[15]</sup>。这些模块的结构独立而完整,在不同型号的 MSP430 系列单片机中,同一种模块的使用方法和寄存器都是相同的,降低了用户学习和开发 MSP430 单片机的难度。并且,这种可扩展的单片机使用户能够为不同的设计要求进行适当的选型。同时,用户可以单独激活需要使用的模块,关闭不用的模块,以降低系统功耗。此外,MSP430 单片机的高集成度还能造就物理尺寸较小的解决方案,进而最大限度地降低总物料成本。

由于只读存储器目前主要为 FLASH 型,MSP430 单片机拥有十分方便的开发调试环境。FLASH 型单片机有 JTAG 调试接口与可电擦写的 FLASH 存储器,用户可以先下载程序到 FLASH 内,再通过软件控制程序运行,通过 JTAG 接口读取的片内信息对单片机内部程序进行调试。这种方式只需要一台 PC 机和一个 JTAG 调试器,而不需要仿真器和编程器,十分方便灵活。

MSP430 单片机可在-40~+ 85 摄氏度的环境温度下运行,所以以其为核心所设计的产品可适用于工业环境下。

### 3.1.2 单片机选型

本系统所选用的单片机需要为三个超声波测距模块发出控制信号的同时并接收他们传回的障碍物检测信号；需要接收四个红外线避障传感器传回的障碍物检测信号；需要接收两路测速模块传回的电机转数信号；接收电子罗盘传回的 TTL 电平的串口数据信号；为控制电机输出两路 PWM 方波；系统还需要定时器完成为定时中断程序定时、输出两路 PWM 波、记录高电平时间的功能。本系统需要一款 I/O 口比较多、功能比较强大的单片机。所以，本系统选择了功能比较齐全且管脚资源丰富的 MSP430F149 单片机作为本系统的控制器。

### 3.1.3 单片机电路的设计

单片机接口电路如图 3.1 所示。MSP430 供电电压为 3.3V，低频晶振为 32768HZ，高频晶振为 8M，复位电路围绕 IMP809 芯片搭建。在本设计中，由于外围电路较多，一共用到了 20 个 I/O 口。

在本系统中，MSP430F149 单片机的 P2.0、P2.1 和 P2.2 为三个超声波测距模块发出控制信号，同时 P4.1、P4.2 和 P4.3 接收他们传回的障碍物检测信号；P1.0、P1.1、P1.2、P1.3、P1.4、P1.5 接收红外线避障传感器传回的障碍物检测信号；P2.5 接收防跌落传感器传回的信号；P2.3 和 P2.4 接收两路测速模块传回的电机转数信号；串行通讯接口 P3.5 接收电子罗盘传回的 TTL 电平的串口数据信号；P1.6 和 P1.7 输出两路 PWM 方波。

## 3.2 电源管理

对于任何系统而言，电源在提供足够的电压同时，必须安全性高、稳定性好、散热快、带负载能力达到系统需求。

在本系统中，MSP430 单片机的供电电压为 3.3V，L298N 电机驱动模块的逻辑部分、超声波测距模块、霍尔传感器测速模块、电子罗盘以及红外线避障模块的供电电压均为 5V，同时两个直流减速电机需要 6V 驱动电压。另外，电源模块还需要为系统提供复位信号。

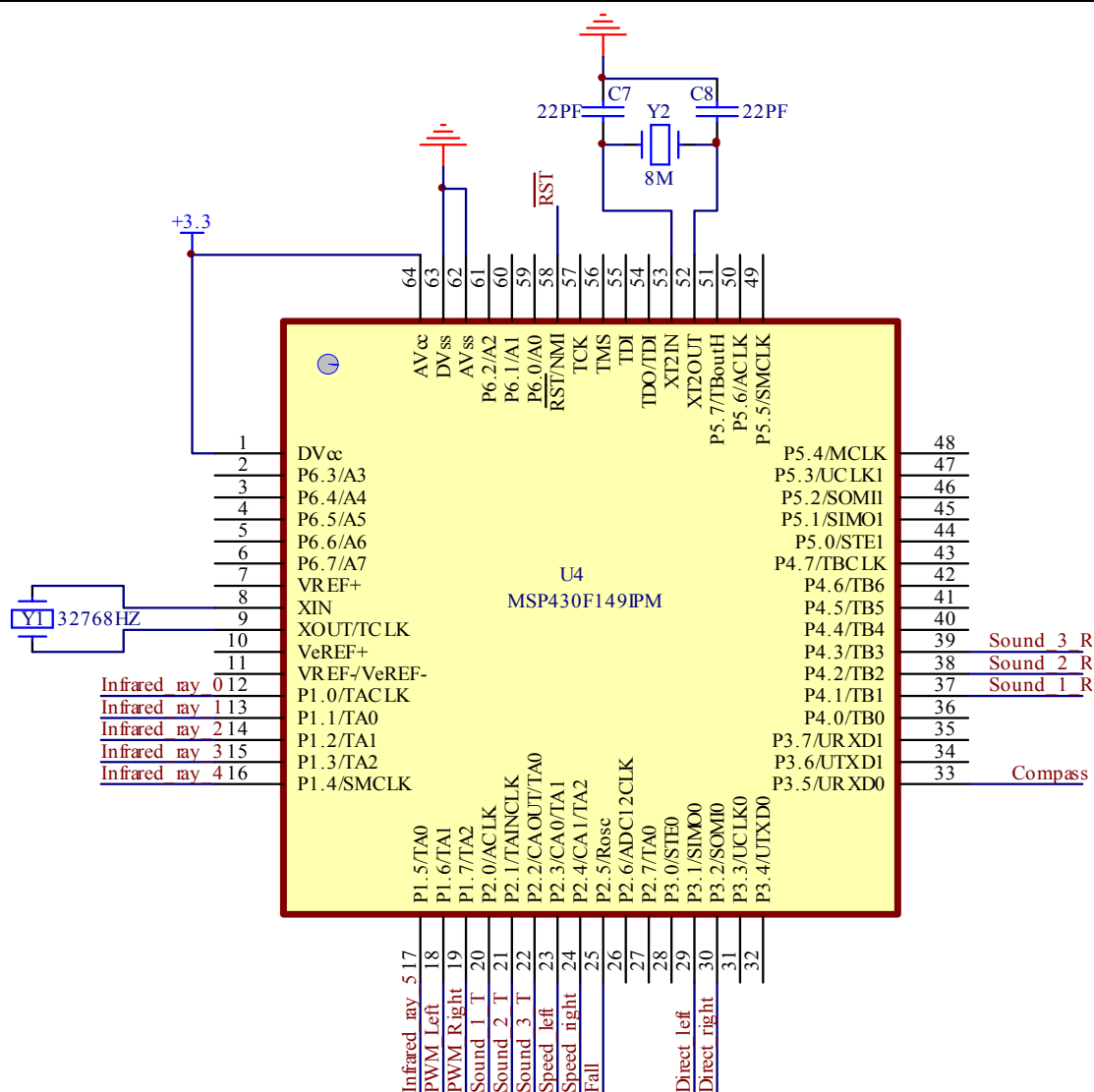


图 3.1 单片机接口电路原理图

Fig3.1 The schematic diagram of SCM interface circuit

### 3.2.1 电池

系统的能量完全由一块可充电锂电池提供,该电池容量为 900mAh;标称电压为 7.4V,其开路电压最高可达 8.4V;工作输出电流极高,瞬间放电可达 18A,持续放电达 13.5A;重量较轻,仅有 44 克,能量体积比高。但是,该电池并未加装保护板,须提防过放电,工作电压不可低于 6.4 伏,这个电压不是电池开路电压而是工作电压,因为所有电池都有内阻,放电时的电压会低于电池不工作时开路的电压。实验中,电池电量下降到开路电压为 7.0 伏时就应该及时充电。本文中会用 VCC 来表示该电源输出的电压。

### 3.2.2 6V 电源电路

6V 电源部分通过 L7806 芯片来实现。TO-220 封装形式的 L7806 芯片为传统的线性稳压器，可提供稳定的 6V 输出电压，同时输出电流可达到 1.5A，但要求输入电压比输出电压高 2V 至 3V，本系统的电池开路电压最高为 8.4V，满足 L7806 的输入要求。本系统中使用的电机的额定电压为 6V，该电源电路单独为两个电机供电。该电机在 6V 额定电压下运行时电流为 150mA，但是电机在阻力过大时电流将达到 300mA，两个电机需要的带负载能力可达 600mA。L7806 芯片基本可以满足设计要求，但须加装散热片。另外，为使电源输出的纹波足够小，在芯片的输出管脚放置 0.1uF 滤波电容；为减小输入端受到的干扰，输入管脚放置 0.33uF 的滤波电容<sup>[16]</sup>。在稳压芯片输入端串接一个二极管，防止电池正负极接反。6V 稳压电路如图 3.2 所示。

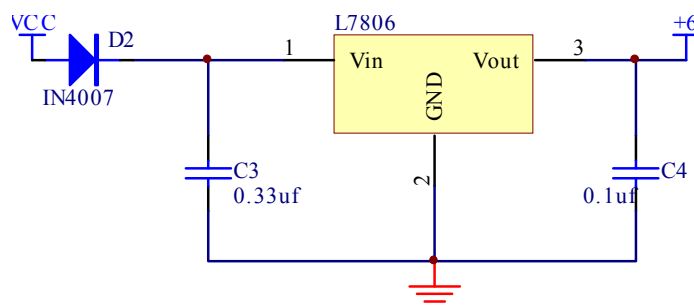


图 3.2 6V 稳压电路原理图

Fig3.2 The schematic diagram of 6V voltage-stabilizing circuit

### 3.2.3 5V 电源电路

5V 电源部分通过 L7805 芯片来实现。TO-220 封装形式的 L7805 芯片为传统的线性稳压器，可提供稳定的 5V 输出电压，同时输出电流也可达到 1.5A，但要求输入电压比输出电压高 2V 至 3V，本系统的电池开路电压最高为 8.4V，满足 L7805 的输入要求。本系统中不仅 L298N 电机驱动模块的逻辑部分、超声波测距模块、霍尔传感器测速模块、电子罗盘和红外线测距模块需要该电路供电，MSP430 单片机需要的 3.3V 电压也需要 5V 电源电路输出后降压提供。L7805 芯片基本可以满足设计要求，但同样须加装散热片。另外，为使电源输出的纹波足够小，在芯片的输出管脚放置 0.1uF 滤波电容；为减小输入端受到的干扰，输入管脚放置 0.33uF 的滤波电容。在稳压芯片输入端串接一个二极管，

防止电池正负极接反。5V 稳压电路如图 3.3 所示。

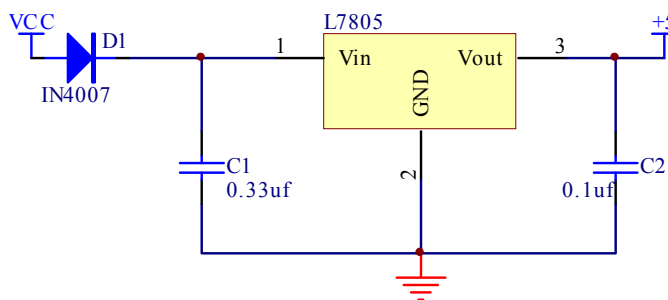


图 3.3 5V 稳压电路原理图

Fig3.3 The schematic diagram of 5V voltage-stabilizing circuit

### 3.2.4 3.3V 电源电路

3.3V 电源部分通过 LM-1117-3.3 芯片来实现。SOT-23 封装形式的 LM-1117-3.3 芯片为低压差线性稳压器，可将输入最低 4.5V 的电压稳压到稳定的 3.3 伏输出电压，只要求输入电压比输出电压高 1.3V 至 1.5V，这样该电路的输入接+5V 即可，可减小稳压器功耗，提高能源利用效率。同时输出电流也可达到 800mA。本系统中 MSP430 单片机需要的 3.3V 电压需要该电源电路提供。LM-1117-3.3 芯片基本可以满足设计要求。另外，为使电源输出的纹波足够小，在芯片的输出管脚放置 10uF 滤波电容；为减小输入端受到的干扰，输入管脚放置 10uF 的滤波电容。3.3V 稳压电路如图 3.4 所示。

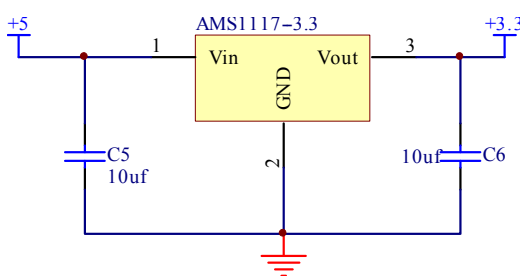


图 3.4 3.3V 稳压电路原理图

Fig3.4 The schematic diagram of 3.3V voltage-stabilizing circuit

### 3.2.5 复位模块

系统断电后，由于电源电路中并联在稳压芯片输出端的滤波电容需要放电时间，其中难免有残压，MSP430 单片机的 Vcc 端的电位不会立刻降到 0V。如果断电后立即上电，系统可能会进入错乱状态。这样就需要复位芯片来保证系统在上电时进行初始化<sup>[17]</sup>。本

系统采用 SOT-23 封装的 IMP809 复位芯片搭建复位电路。IMP809 可向 3V、3.3V 和 5V 系列微处理器提供复位信号，其功耗很低，特别适合于电池供电的场合。

IMP809 主要性能参数如下：

- (1)  $V_{cc}$ : -0.3V~6V
- (2) 最小复位脉宽: 140ms
- (3) RESET输出电压: -0.3V~ $V_{cc}+0.3V$
- (4) RESET输出电流: 20mA
- (5) 复位阈值电压: 1.1V

复位电路的工作原理图如图 3.5 所示。如果电源电压降低到复位阈值电压 1.1V 以下，复位电路向单片机的 RST 发出一个低电平复位信号，电源电压再次上升到复位阈值电压时，该复位信号也会继续保持 140ms。这样，可以保证系统在断电后一定可以得到一个复位信号，同时也能实现对电源的监视，当电源不稳定时，保证系统及时复位。

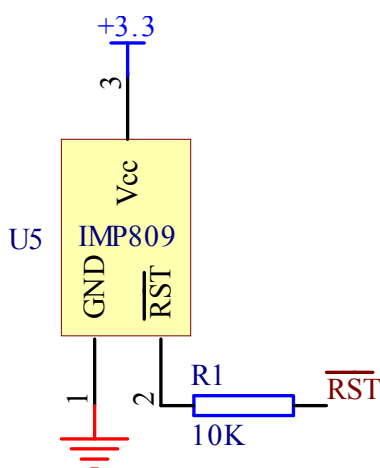


图 3.5 复位电路原理图

Fig3.1 The schematic diagram of reset circuit

### 3.3 电机驱动模块

该机器人通过两个直流电机的转速变化，可完成直走、后退、左转和右转。MSP430F149 单片机 P1.6 和 P1.7 输出两路 PWM 方波，通过 L298N 电机驱动板控制电机的转速与转向。



### 3.3.1 电机

本设计中的两个电机选用直流减速电机，即在普通直流电机的基础上加装齿轮减速箱。普通的直流电机拥有很高的转速，有时候每分钟可以达到上千转，这种转速对于单片机控制的实时性要求很高，如果单片机跟不上，那就会造成失控。加了减速装置后，降低了电机的转速，提高了电机转动的力矩，这样较低的转速方便单片机进行控制，同时较大力矩增加机器人的行动力。该种电机供电电压范围是 3~6 伏（3 伏时空载转速为 130 转每分钟，6 伏时空载转速为 200 转每分钟），最大扭矩为 1kg/cm。

需要注意的是，两个直流减速电机因其本身的齿轮结构不同，转速会有一些差异，即使得到相同的电压，电机转速也未必相等。一个电机的转速会随着端电压变大而变大，但两者间的关系不是线性的。空载时同样的一个电机在相同的端电压下，转速会随着电机升温而越来越快，在达到一定转速时，会有微小的波动。还有，两个轮子受力不均，两个轮子行驶路面的摩擦系数不同，机器人行驶时可能存在颠簸，都会影响电机的转速。总之，通过单纯的确定电机端电压的开环控制，使机器人直线行驶并不可靠。想要使机器人直线前进，必须通过适当的传感器采集信号对两个电机进行控制。

### 3.3.2 L298N 芯片

L298N 为双全桥电机专用驱动芯片( Dual Full-Bridge Driver )，内部包含 4 信道逻辑驱动电路，可接收标准 TTL 逻辑准位信号；内含二个 H-Bridge 的高电压、大电流双全桥式驱动器，可同时驱动 2 个 46V、2A 以下的直流电机，且可以直接透过电源来调节输出电压；此芯片可直接由单片机的 IO 端口来提供模拟时序信号，节省了单片机 IO 端口的使用<sup>[18]</sup>。L298N 的引脚如图 3.6 所示，Pin1 和 Pin15 可与电流侦测用电阻连接来控制负载的电路；OUT1、OUT2 和 OUT3、OUT4 之间分别接两个直流电机；input1~input4 输入控制电位来控制电机的正反转，TTL 电平兼容，输入低电平电压-0.3V~1.5V，输入高电平电压 2.3V~VS，低电平输入电流-10uA，高电平输入电流 100uA；Enable A 与 Enable B 则通过输入的占空比可调的 PWM 方波控制电机的转速，TTL 电平兼容，输入低电平电压-0.3V~1.5V，输入高电平电压 2.3V~VS，低电平输入电流-10uA，高电平输入电流 100 uA；VSS 为逻辑电源电压；VS 接功率电源电压，为电机供电。

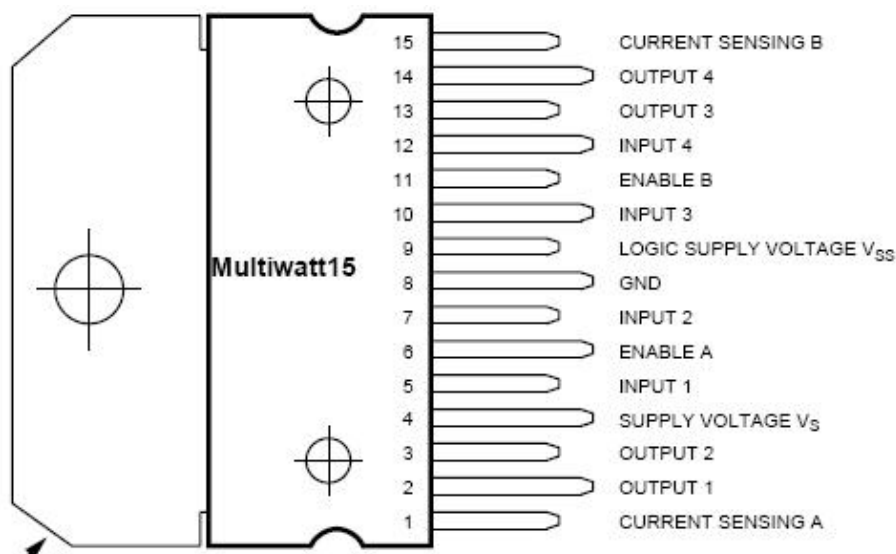


图 3.6 L298N 引脚图

Fig3.6 the pin diagram of L298N

L298N 的主要电气特性参数如下：

- (1) 逻辑电源电压VSS: +5V
- (2) 功率电源电压VS: 最大50V
- (3) 峰值输出电流: 3A
- (4) 最大持续输出电流: 2A
- (5) 逻辑输入低电平电压: -0.3V~1.5V
- (6) 逻辑输入高电平电压: 2.3V~VSS

电机驱动电路主要由一个芯片 L298N（H 桥集成电路）和 2 个 HC04 六反相器芯片构成。持续输出电流为 2A，最高电流 4A，最高工作电压 36V，加入多级驱动，超高输入阻抗，对输入信号没有驱动要求，适合各类 I/O 口，可以驱动感性负载，比如：直流电机，继电器、步进电机和开关电源晶体管。

L298N 芯片通过其内部的 H 型全桥式电路可以很方便地控制直流电机的四种运行方式，即正转、正转制动、反转、反转制动<sup>[19]</sup>。以一路驱动电路为例，它的基本原理图如图 3.7 所示。该 H 桥电路由四个晶体管组成，每个晶体管的基极与一个与门相连，当与门输出高电平时，晶体管导通；当与门输出低电平时，晶体管截止。4 个晶体管分别为 T1、

T2、T3、T4，四个与门为Y1、Y2、Y3、Y4，通过控制IN1、IN2和ENA（IN1和IN2逻辑互补），来控制四个与门的输出结果，从而控制四个晶体管导通与关断。T1、T2为一组，T3、T4为另一组，两组的状态互补，一组导通则另一组必须关断，当T1、T2导通时，T3、T4关断，电流流经T1、电机、T2，电机左端电平高，右端电平低，电机正传；当T3、T4导通时，T1、T2关断，电流流经T3、电机、T4，电机左端电平低，右端电平高，电机反转。通过控制ENA来改变PWM方波的占空比，可以控制相应晶体管的导通时间，占空比越大，晶体管导通时间越长，电机两端有效电压越高，电机转速越快；通过控制IN1和IN2可以控制电机的转动方向。

在H桥电路控制电机过程中，电机两端电压总是在 $V_S$ 、0和 $-V_S$ 间变化。当两端电压由 $V_S$ 或 $-V_S$ 变化到0时，电机处于制动状态，但由于惯性电机还在转动。这时电机工作在发电状态，电机的反电动势产生续电流，续电流会使电机发热，严重时烧毁电机。这时就必须加上四个二极管，在续电流产生时，将其导走。四个二极管分别为D1、D2、D3和D4，它们的位置如图3.7所示。当T1、T2由导通至关闭时，产生从左向右的续电流，D1和D2会导走电流；当T3和T4由导通至关闭时，产生从右向左的续电流，D4和D3会导走电流。当电机两端电压由 $V_S$ 变化至 $-V_S$ 时，电机由正转变为反转，T1和T2由导通变为截止，T3和T4由截止变为导通。在这种情况下，理论上要求IN1和IN2完全互补，但是，晶体管的导通与关断都需要时间，绝对的互补控制逻辑必然导致上下两个晶体管直通短路，即在T1关断的过程中，T3导通了。这样晶体管容易发热，严重时会被烧毁，同时也增加了晶体管的能量损耗<sup>[20]</sup>。另外，频繁的改变转动方向也会使电机的减速齿轮箱磨损过度，降低电机的使用寿命。上述情况可以通过软件避免发生，先关闭一组晶体管，延时一个足够的死区时间，再打开另一组晶体管。

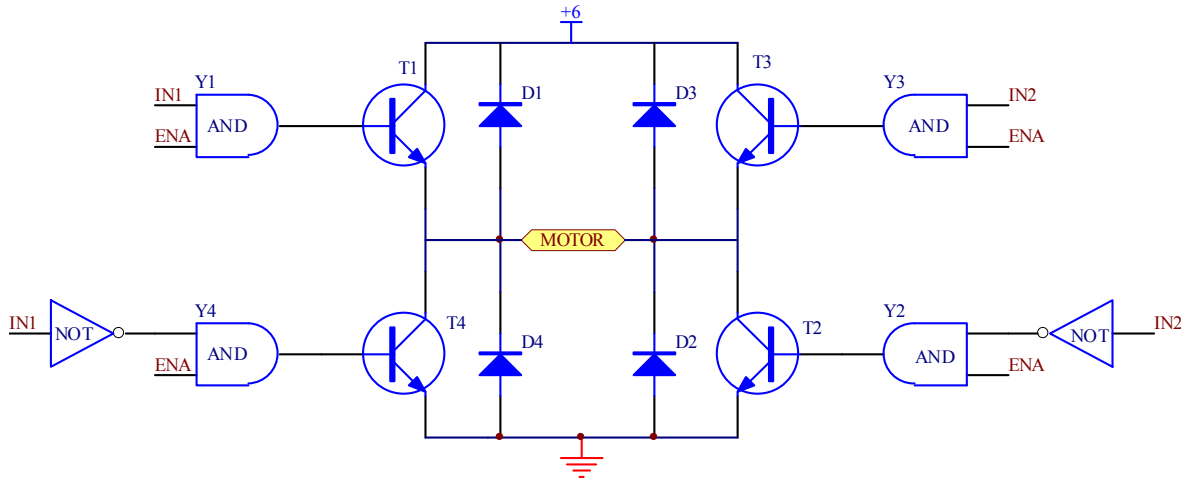


图3.7 L298N原理图

Fig3.7 The schematic diagram of L298N

### 3.3.3 电机驱动电路

在电机驱动板中，由单片机的I/O口输出的控制信号，都会先经过HC04反相器加强其驱动能力后，再传输给IN1、IN2、IN3、IN4、ENA和ENB。这样，加入了多级驱动，增大输入阻抗，降低了L298N对输入信号的驱动要求，适合各类单片机的I/O口。图3.8为电机驱动电路原理图。

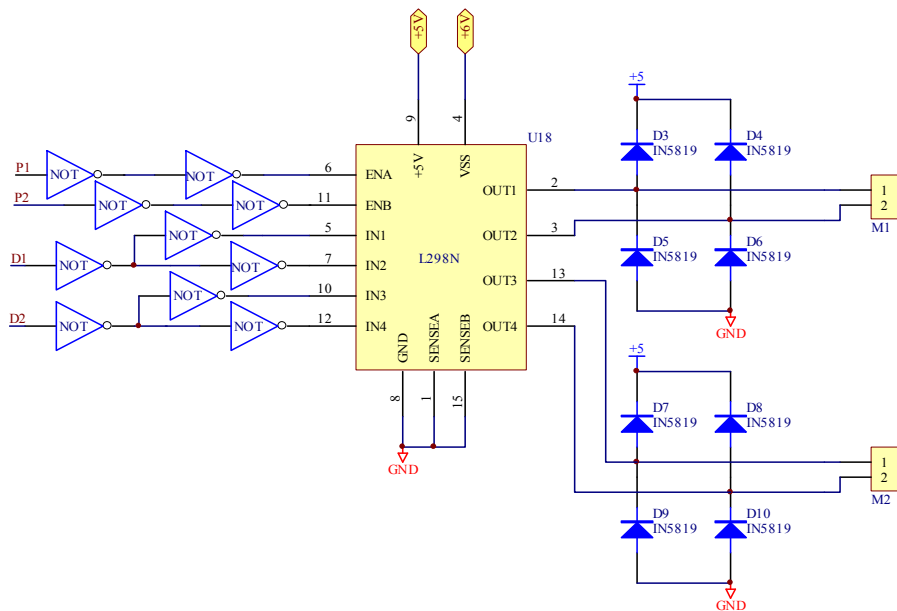


图3.8 电机驱动电路原理图

Fig3.8 The schematic diagram of motor drive module

HC04的输出足够驱动L298N的6个控制位(IN1、IN2、IN3、IN4、ENA和ENB)。但是, MSP430单片机能否驱动HC04需要进行判断。MSP430单片机的I/O口与5V逻辑器件相连接时, 会启动I/O内部的泄放电路, 该电路最大可以吸收2mA的电流。所以, MSP430单片机与5V器件连接时, 灌电流和拉电流均应小于2mA。HC04的最大输入电流值为2mA, 理论上HC04可以与MSP430的I/O直接连接, 而且实际试验中, HC04的输入端与单片机的P3.0和P3.1连接, 为IN1、IN2、IN3、IN4提供电机转向的控制信号时, 即使长时间工作也没有出现任何问题。但是, 输出PWM方波的P1.7与P1.6在与HC04连接, 往往使用几周后就会损坏。本设计中, I/O口输出PWM方波的周期为10ms, 那么1s内I/O在一秒内需改变一百次, 且与5伏器件连接, 灌电流还是最大允许值2mA。白炽灯通常在开关时烧坏, 同理, 长时间输出频繁跳变的信号也会对I/O造成很大伤害。

### 3.3.4 光电隔离电路

输出 PWM 方波的 P1.6 与 P1.7 在与 HC04 连接后, 使用几周后就会损坏。为避免这种情况发生, 在 MSP430 单片机的 I/O 与 HC04 之间加入光电隔离电路。光电隔离电路的主要作用是使被隔离的两部分电路之间没有电的直接连接, 防止因有电的连接而引起的干扰, 又可用低电压、小电流信号控制高电压大电流器件。

本系统中所用光电隔离电路主要围绕 AQW214 芯片搭建。封装为 dip-8 的 AQW214 芯片是 PMOS 器件, 输出端开路时漏电流极小, 可对微小信号进行控制, 灵敏度高, 响应速度快。

AQW214 的主要电气特性参数如下:

- (1) 最大LED工作电流: 50mA
- (2) 最大LED开启电流: 3 mA
- (3) 最小LED关闭电流: 0.4 mA
- (4) 最大负载电压: 400V
- (5) 最大负载电流: 100 mA
- (6) 输出端导通电阻: 50Ω (最大)、30Ω (平均)
- (7) 输出端开路漏电流: 1uA
- (8) 开启延迟时间: 0.31ms

## (9) 关闭延迟时间: 0.05ms

根据上述介绍, AQW214输入电流应即小于MSP430单片机I/O口灌电流上限6mA, 又应大于LED的最大开启电流3mA。

以一路PWM控制信号为例, 介绍光电隔离电路工作原理。如图3.9所示, LED正端(AQW214的1脚)通过限流电阻R2与+3.3V相连, 电阻R2的阻值为500欧姆, 限制电流最大为6.6mA, 符合要求; LED负端(AQW214的2脚)直接与P1.6口相连; 光敏三极管的集电极(AQW214的8脚)经限流电阻R3与+5V相连, R3阻值为1K, 另外8脚作为输出直接驱动HC04; 光敏三极管的发射极(AQW214的7脚)直接接地。I/O口输出PWM方波控制电机转速。当P1.6口输出高电平时, 发光二极管关闭, 三极管截止, 该模块输出高电平; 当P1.6口输出低电平时, 发光二极管开启, 三极管导通, 该模块输出低电平。

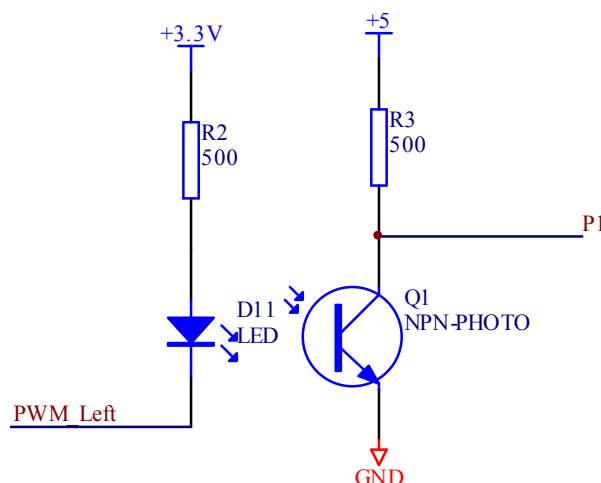


图3.9 光电隔离器原理图

Fig3.9 The schematic diagram of photoelectric isolator

需要注意的是, AQW214 的发光二极管的导通与关断都需要时间。所以, PWM 方波的频率不能过高, 一个周期中高电平时间应大于 LED 导通时间 0.31ms, 低电平时间应大于 LED 关断时间 0.05ms。同时, PWM 的周期也不可太长, 至少要小于测速周期, 在编写软件时, 必须要注意到这点。

### 3.4 测速模块

测速模块检测机器人运行时每个动作的具体行驶距离。该电路主要由 2 个开关型霍尔传感器构成，可检测两个电机单位时间内的转动圈数。霍尔传感器安装方法如图 3.10 所示。每个直流电机的输出轴上（未安装减速箱一侧）都固定了一个小磁铁，其下方正对一个霍尔传感器。

开关型霍尔传感器上电后，其内部的霍尔元件有小电流流过。电机转动时，小磁铁也会转动，这时霍尔传感器上方的磁场就会发生变化。霍尔元件发生霍尔效应，产生变化的感应电动势。霍尔元件的输出端产生的电位差经放大器放大后得到一组正弦波信号，输入施密特触发器整形，整形后可得到方波信号。施密特触发器输出端与一个三极管的基极连接，控制三极管的通断<sup>[21]</sup>。如图 3.11 所示，传感器输出端加上拉电阻 R5（阻值为 103）至+5V，三极管截止，传感器输出+5V，最大输出电流为 0.5mA；三极管导通，传感器输出 0V。这样，每当电机转一圈时，传感器就会输出一个脉冲信号。单片机通过统计轮子的转动次数，就可计算出机器人的行驶距离。



图 3.10 霍尔传感器安装图

Fig3.10 The installation diagram of hall sensor

如果配合单片机内部定时器，统计轮子单位时间内的转动圈数，还可获得机器人的行驶速度。理论上，利用该模块测得两个轮子的转速差，单片机通过改变输出 PWM 方波的占空比调整两个电机的端电压，使两个轮子的转速相等，可以令机器人完成直线正向前进的动作。但实验中，这样设计的实际效果并不理想。原因主要有两点：机器人出

发时，两轮转速不可能完全相同，调节两轮的转速需要时间，初始行驶方向已经跑偏，机器人不可能直线前进；机器人稳步运行时，即使保证两个电机的转速相等，但两个轮子的直径总会有微小的差距，行驶过程中这个差距积小成多，最终使机器人跑偏。

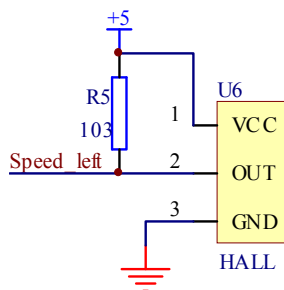


图 3.11 霍尔传感器电路原理图

Fig3.11 The schematic diagram of hall sensor

### 3.5 红外避障模块与红外防跌落模块

红外线避障传感器制作成本低、体积小、功耗低、使用方便、稳定性高、可靠性好，另外该传感器集发射电路与接收电路于一身，发射光经过调制后发出，接收头对反射光进行解调后输出，避免了可见光的干扰，有极好的抗干扰能力<sup>[22]</sup>。红外避障传感器的实物如图 3.12 所示。



图 3.12 红外避障传感器实物图

Fig3.12 The physical diagram of the infrared sensors

红外避障传感器的主要性能参数如下：

- (1) 工作电压：DC5 伏



- (2) 驱动电流：最大 100mA
- (3) 感应距离：3~80cm
- (4) 工作温度：-25~70 摄氏度
- (5) 工作电流：10~15mA

红外避障传感器连接如图 3.13 所示。红线接 5V 电压，绿线接地，黄线为输出，外加一个 4.7K $\Omega$  的上来电阻与+5V 相连后接 MSP430 的 I/O 口，正常状态输出高电平，检测到障碍物时输出低电平。

在该传感器的发射电路中，传感器上电后，调制器控制发光二极管周期性的导通与关闭，发射头持续发射中心频率为 38KHz 的红外线。当传感器前方有障碍时，红外线会发生反射。障碍物颜色不同可反射距离也不同，白色障碍物反光效果最好，可测量距离最大；黑色障碍物反光效果差，可测距离最小。经反射后，红外光波被接收头接收，接收电路中 NPN 光敏三极管在有光照射时导通，否则截止。光敏三极管周期性导通，输出周期性电信号。该电信号先经放大器放大，然后经限幅器将脉冲幅度限制在一定范围内，再经滤波处理后，被解调器解调。时序电路判断接收光的频率是否吻合捕获频率 38KHz（即发射光的频率），吻合就输出低电平，不吻合就认定接收的红外线为干扰，输出高电平。传感器的检测距离与流入发射端中的发光二极管的电流大小有关，调节电位器使该电流增大，可增大避障检测距离<sup>[23]</sup>。

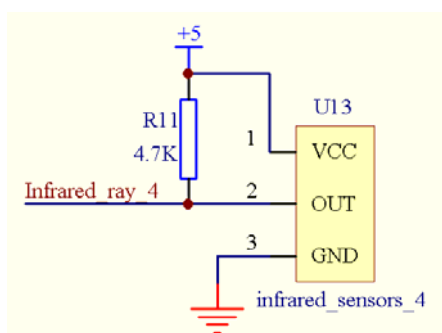


图 3.13 红外避障传感器连接图

Fig3.13 The connection diagram of the infrared sensor

在本系统中，六个红外避障传感器与三个超声波测距传感器互补，共同实现避障功能。同时，为防止机器人从高处跌落，一个红外线避障传感器被安放在机器人底盘前端外面，发射接收头垂直地面向下，当传感器输出高电平时，表示地面出现落差。

### 3.6 电子罗盘

本系统中，电子罗盘检测机器人的行驶方向，然后向单片机输出 TTL 电平的串口数据。由此得到电子罗盘的检测结果后，单片机调节两个电机的转速保持直线行驶。该模块运行稳定，具有标定功能和安装角和磁偏角补偿功能，其输出波特率可调，有连续和询问两种输出方式，可适应不同的工作环境<sup>[24]</sup>。电子罗盘的主要性能参数如下：

- (1) 测量范围：0~360 度
- (2) 分辨率：1 度
- (3) 精度：<1 度
- (4) 响应频率：10Hz
- (5) 非线性：1%
- (6) 重复性：1 度
- (7) 电压 Vcc：5V
- (8) 工作电流：30mA
- (9) 工作温度：-40~85 摄氏度

电子罗盘的电路原理图如图 3.14 所示。1 号管脚 VCC 接 5V 电压，2 号管脚 GND 接地，3 号管脚 VDD 接 6~12V 电压，4 号管脚 TXD 可接单片机的串行通讯的发送接口，本系统中悬空，5 号管脚 RXD 向单片机发送串行数据。

金属性电阻在通电后，如果其外部磁场改变，它的电阻也会变化。通过检测金属电阻的电压变化情况，可计算出磁场变化。磁阻传感器中一般有四个这样的金属电阻，并将它们组成一个非平衡电桥<sup>[25]</sup>。在电子罗盘模块中，其内部的 X, Y 两个方向的磁阻传感器感应地球的磁分量，磁阻传感器中的非平衡电桥输出的信号经集成运算放大器放大，传给电子罗盘内部的单片机，该单片机对信号进行分析与处理，从而得出方位角度。最后，电子罗盘将计算出的方位角度以 TTL 电平的串口数据形式向 MSP430 单片机输出。

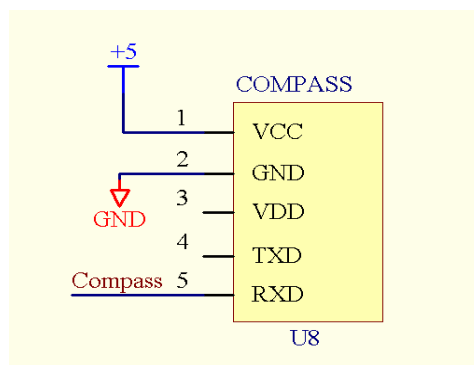


图 3.14 电子罗盘原理图

Fig3.14 The schematic diagram of the electronic compass

### 3.7 超声波测距模块

本系统中，清洁机器人的避障功能主要依靠超声波测距传感器实现。该传感器可以提供 2cm—400cm 的非接触式距离感测功能；其测距精度较高，可高达 3mm；该传感器比较耐脏污，即使传感器上有尘土，只要没有堵死就可以测量，可以在较差的环境中使用，这点正好适合经常在灰尘中工作的清洁机器人。

超声波测距传感器的主要性能参数如下：

- (1) 工作电压：DC5V
- (2) 工作电流：15mA
- (3) 工作频率：40Hz
- (4) 射程：2cm~~400cm
- (5) 测量角度：15 度

超声波模块的实物图如图 3.15 所示。VCC 供 5V 电源，GND 为地线，TRIG 接收输入的触发控制信号，ECHO 输出回响信号。超声波传感器电路连接如图 3.16 所示。

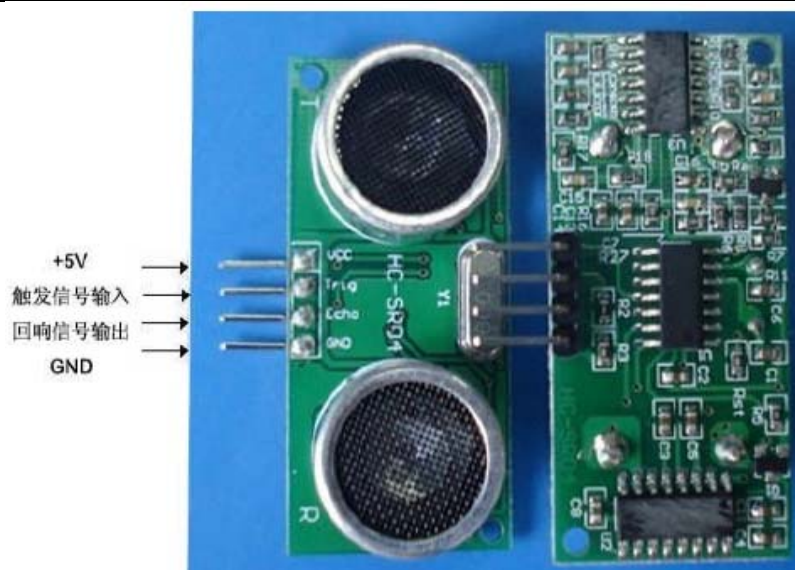


图 3.15 超声波测距模块实物图

Fig3.15 The physical diagram of the ultrasonic sensor

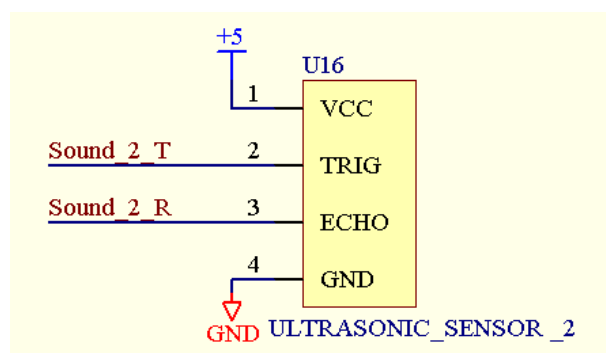


图 3.16 超声波传感器连接图

Fig3.16 The connection diagram of the ultrasonic sensor

超声波测距的原理很简单，发射头发出的超声波以速度  $v$  在空气中传播，在到达被测物体时发生反射，被接收头接收，其往返时间为  $t$ ，由

$$s = v * t / 2 \tag{3.1}$$

即可算出被测物体与传感器之间的距离  $s$ 。由于超声波也是一种声波，其声速  $v$  与温度有关，表 3.1 列出了几种不同温度下的声速。本设计中的清洁机器人在室内工作，而室内温度的变化范围一般在 10 ~ 30 摄氏度之间，声速变化不大，因此计算障碍物距离时可忽略温度因素。

表 3.1 温度与声速的关系

Table3.1 The relationship between temperature and the speed of sound

|            |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 温度 (°C)    | -30 | -20 | -10 | 0   | 10  | 20  | 30  | 100 |
| 声速 (m / s) | 313 | 319 | 325 | 323 | 338 | 344 | 349 | 386 |

超声波传感器主要依靠压电效应工作，通常又称之为超声波换能器，其内部包括振子和共振喇叭。当处于发射状态时，外加共振频率（一般为 40kHz）的电压信号能使内部振子发生震荡，经喇叭放大后产生超声波，将电能转化为机械能。当处于接收状态时，又可很灵敏的探测到拥有相同共振频率的超声波，将机械能转化为电能。

超声波测距模块的工作原理如图 3.19 所示。该模块包括超声波发生电路、超声波接收电路与控制电路。MSP430 单片机向该模块的 TRIG 端发送一个高电平信号，模块内的控制单片机命令发射电路发射 8 组 40kHz 的方波，并自动检测是否有信号返回。如果有信号返回，该单片机通过 ECHO 口向 MSP430 单片机输出一个高电平，高电平时间就是超声波从发射到返回的时间，这个时间乘以声速就可算出障碍物距离。

超声波发生电路主要围绕 MAX232 芯片搭建。MAX232 芯片是美信公司专门为电脑的 RS-232 标准串口设计的单电源电平转换芯片，一般用于 TTL 到 RS-232 的电平转换电路。由于其内置的电子泵电压转换器可将 +5 伏转换为 -10V ~ +10V。将超声波发射换能器的两个电极接在 MAX232 的两个 10 伏输出端上，可以加大电路的驱动能力，换能器两极电压值的变大使超声波传感器的避障检测距离变大。

超声波接收电路主要由四级运算放大器组成，超声波接收头接收到声波信号后，将该信号转换成电压脉冲信号，再对其放大和滤波，经过微分器和比较器处理后，传给模块内的单片机。



## 4 软件设计

程序是系统的灵魂，它可以保证单片机准确地控制传感器采集信号并命令执行机构执行任务。程序的质量直接影响到机器人工作的准确性、快速性、稳定性和安全性。

MSP430 系列单片机是一种超低功耗的微处理器，在进行程序设计时，必须考虑如何降低系统功耗。系统完成初始化后，大部分时间处于低功耗模式下，只在中断被触发时执行中断程序，这样使 CPU 能够从繁忙的查询机制中解放出来，降低了系统的功耗<sup>[26]</sup>。

在本系统的软件设计中，采用了模块化设计方法，各个模块之间有相对独立的子程序，这就使得整个程序结构清晰明了，便于今后进一步扩展系统的功能。

MSP430 程序设计支持 C 语言开发。C 语言是一种结构化的高级语言，可读性高，可移植性好。使用 C 语言编程不需要了解单片机的指令系统，只熟悉存储器结构即可。而且，C 语言具有丰富的函数库、运算速度快、编译效率高。因此，采用 C 语言可以大大提高开发效率，缩短开发周期。用 C 语言进行程序设计是 MSP430 系列单片机开发与应用的必然趋势。因此本系统的软件设计采用 C 语言编程<sup>[27]</sup>。

### 4.1 系统主程序的设计

主程序的工作是完成系统的初始化，然后使系统进入低功耗模式 0。其它包括处理各传感器模块采集并传回的数据、对各模块发出控制命令、向电机驱动模块发出 PWM 方波等任务都在定时中断程序、I/O 口中断程序、串口中断程序中完成，这样可以最大程度的降低系统功耗。系统初始化的具体步骤如下：

(1) 关闭 WDT 看门狗。看门狗实际上是一个特殊的定时器，它的功能是当程序运行发生故障时，产生一个非可屏蔽中断，使系统执行受控的重启动，这样就避免了程序跑飞。MSP430 单片机的看门狗是默认打开的，程序执行一定时间就会自动复位，正式产品的程序为保证可靠性需要打开看门狗，不过在调试阶段，为保证程序连续执行应该关闭看门狗<sup>[28]</sup>。

(2) 系统时钟初始化。首先开启 XT2 振荡器（本系统中 XT2 的时钟源为外接的 8M 晶

振), 然后清除振荡器失效标志位。选择 LFXT1 工作在低频模式 (接 32768HZ 晶振), 并设置 ACLK 不分频。在 MSP430F149 单片机中, 主系统时钟 MCLK 的时钟源可以在 LFXT1CLK、XT2CLK 或者 DCO 时钟源中三者选一。子系统时钟 SMCLK 的时钟源可以在 LFXT1CLK 和 XT2CLK 中二选一<sup>[29]</sup>。在本系统中, 主系统时钟 MCLK 与子系统时钟 SMCLK 的时钟源都选择 XT2CLK(外接的 8M 晶振), 且都不分频。

(3) 定时器 A 初始化。定时器 A 主要产生周期为 31.25ms 的定时中断, 并为电机驱动模块产生 PWM 方波。初始化时, 先将主计数器清零, 选择定时器 A 的时钟源为 ACLK, 选择增计数模式。设置 TACCR0 寄存器值为 1000, 捕获/比较模块 0 中断允许, 这样当主计数器计数至 1000 时, 发生定时中断, 系统执行中断子程序。将 TA 比较模块 1 和比较模块 2 都设置为输出模式 7。输出模式 7 就是 PWM 输出方式, 当 TA 的主计数器值超过 TACCRx 时, TAx 管脚自动置低, 当 TA 的主计数器值计至 TACCR0 时, TAx 管脚自动置高<sup>[30]</sup>, 所以 TACCR0 决定 PWM 方波的周期, TACCR1 与 TACCR2 决定两路方波的占空比, 即 TAx 管脚产生周期为 TACCR0/ACLK 秒, 占空比为 TACCRx/TACCR0 的 PWM 方波。主程序中设置 TACCR1 寄存器值为 510, 则左轮电机的初始占空比为 51%; 设置 TACCR2 寄存器值为 440, 则右轮电机的初始占空比为 44%。

(4) 定时器 B 初始化。超声波测距模块在检测到障碍物时会向 MSP430 单片机传回一个高电平信号, 该信号的高电平时间就是超声波从发射到返回的时间。通过测量这个信号的高电平时间, 可以计算出障碍物与机器人之间的距离。MSP430F149 的定时器 B 一共有七个捕获/比较模块, 利用这七个模块的捕获功能, 可以测量高电平周期<sup>[31]</sup>。捕获过程通过纯硬件实现, 时效性很强, 延迟仅十纳秒级, 且不要求 CPU 立即读取。本系统中一共用到了 3 个超声波测距模块, 所以使用捕获模块 1、2、3 分别处理前方、左方和右方超声波模块传回的信号。初始化时, 设置 TB 定时器的时钟源为 SMCLK(1.048MHz)且无分频, 计数模式为连续模式, 定时器最大捕获周期为 62.5ms。将捕获模块 1、2、3 的捕获功能同时开启, 将它们的捕获源都设置为外部管脚, 捕获方式为上升或下降沿同步捕获, 开启捕获中断。

(5) I/O 口初始化。P2.0、P2.1 和 P2.2 向三个超声波测距模块发出控制信号, 设置为输出; P4.1、P4.2 和 P4.3 接收超声波模块传回的障碍物检测信号, 开启 I/O 第二功能, 并设置为输入; P1.0、P1.1、P1.2、P1.3、P1.4、P1.5 接收红外线避障传感器传回的障碍



物检测信号，设置为输入；P2.5 接收防跌落传感器传回的信号，设置为输入；P2.3 和 P2.4 接收两路测速模块传回的电机转数信号，设置为输入，允许 I/O 口启用中断功能，下降沿触发，打开 I/O 口中断；串行通讯接口 P3.5 接收电子罗盘传回的 TTL 电平的串口数据信号，不用专门设置；P1.6 和 P1.7 输出两路 PWM 方波，开启比较器输出模式。

(6) 串行通讯接口初始化。MSP430 单片机通过串行通讯接口 USART 接收电子罗盘传回的 TTL 电平的串口数据。初始化时，将通讯模式设为异步通讯（UART 模式）；将数据帧识别方式设为利用线路空闲方式；单字节传送方式为：8 位数据位，无校验，1 位停止位；选择 ACLK 作为串口波特率时钟源；设置串口波特率为 9600Bit/s。最后，打开串口 0 模块，并开启串口 0 中断。

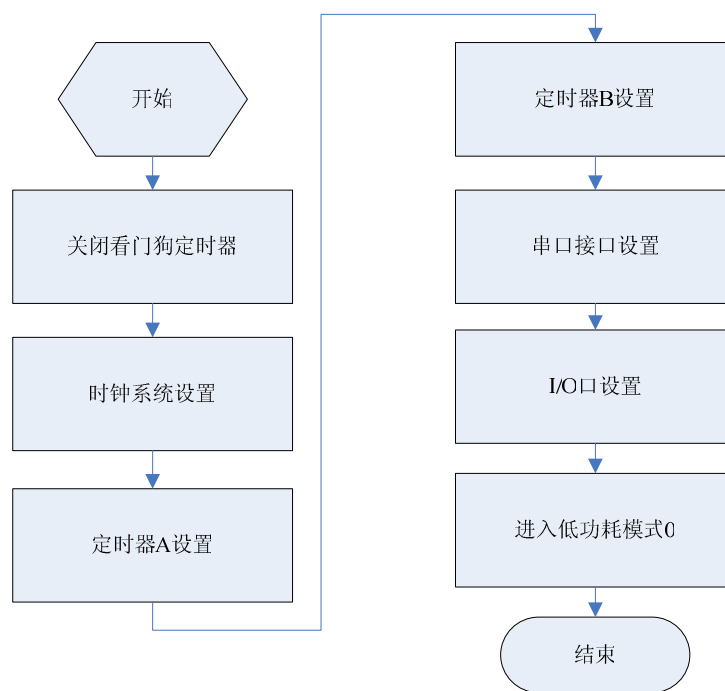


图 4.1 主程序流程图

Fig4.1 The flow chart of main function

(7) 进入低功耗模式。MSP430 单片机时钟系统中共有一种活动模式（AM）和五种深度不同的低功耗模式（LPM0、LPM1、LPM2、LPM3、LPM4）。通过控制时钟系统中多个相应的控制位即 CPUOFF、SCG0、SCG1、OSCOFF，控制内部的 CPU、FLL 倍频环、数字时钟发生器和外接晶振是否开启，MSP430 单片机可以进入不同深度的低功耗模式以降低功耗。当单片机运行在工作状态时，时钟系统处于活动模式，全部时钟

均开启，此时功耗最高。当单片机运行在低功耗模式 4（LPM4）下，整个时钟系统全部关闭，单片机内部所有模块全都停止工作，功耗最低。针对不同的需要，通过时钟系统可以在功耗和性能之间寻求最佳的平衡点。本系统的主程序在完成初始化工作后，将进入低功耗模式 0。主程序的流程图如图 4.1 所示。

### 4.2 串口接收中断程序

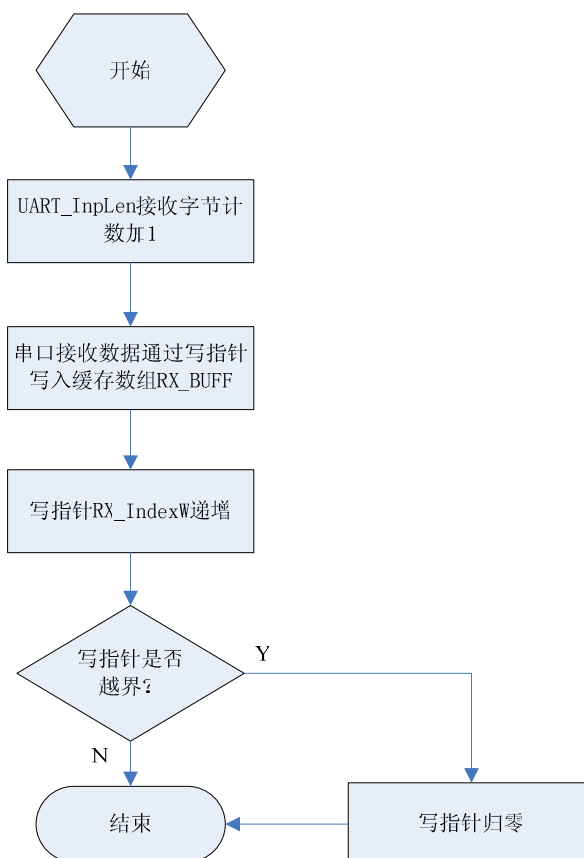


图 4.2 串口中断程序流程图

Fig4.2 The flow chart of serial port interrupt function

串口接收中断程序流程图如图 4.2 所示。串口接收中断程序主要是接收电子罗盘中的微处理器传回的方向信号。电子罗盘模块每秒传回 5 次方向信号，在中断程序中，将接收到的方向数据信号依次放入缓冲数组 RX\_BUFF[33] 中，并设置全局变量 UART\_InpLen 记录当前数组存入数据数，每次存入一个数据，UART\_InpLen 自动加一。设置全局变量 RX\_IndexW 作为数组的写指针，表示数组 RX\_BUFF 中当前存储单元的下

标，数组每存一个数时，RX\_IndexW 自加一，当 RX\_IndexW 计数超过 33 时，重新向 RX\_BUFF[0]写入数据。这样，单片机可以尽可能完整的接收到方向信号保证信息的完整性的同时，通过不断更新方向信息，保证了方向信息的时效性。

### 4.3 读取串口接收数据程序

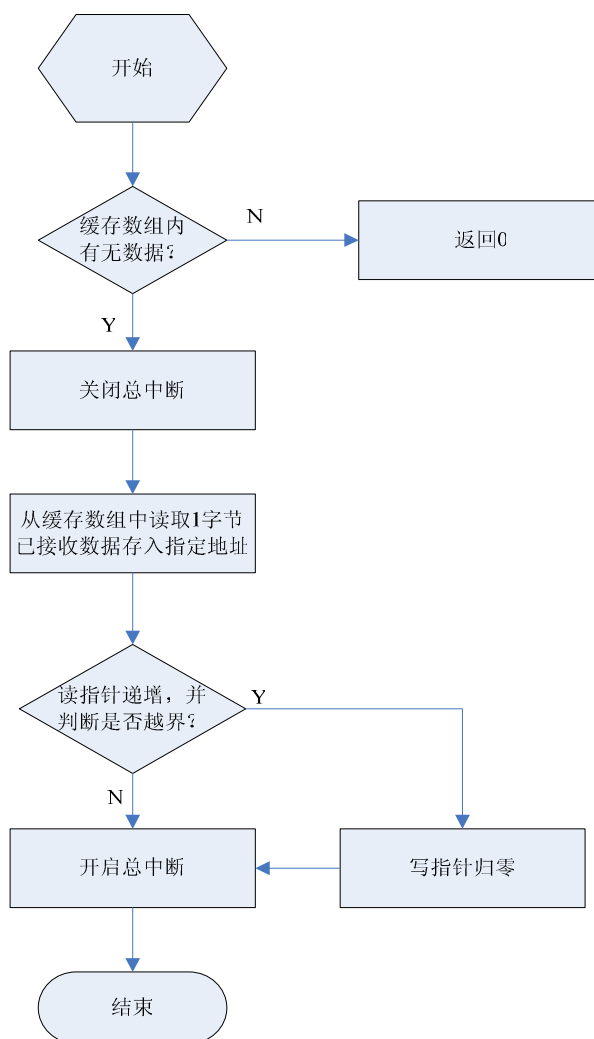


图 4.3 读取串口接收数据程序流程图

Fig4.3 The flow chart of read serial port function

该程序的流程图如图 4.3 所示。读取串口接收数据程序的功能是从缓存数组 RX\_BUFF[33]中，按指针从小到大的顺序将一字节串口已接收数据存入指定的地址中，入口参数为\*chr，读取成功返回 1，失败返回 0。首先查询变量 UART\_InpLen，判断缓存数组中是否有可用数据，若没有就返回；若有数据，就读取数据。读取数据前先关闭

总中断，以免指针错乱；令变量 `UART_InpLen` 减一，表示存储数据个数变少；设置全局变量 `RX_IndexR` 作为数组的读指针，表示数组 `RX_BUFF` 中当前读取单元的下标，数组每读一个数时，`RX_IndexW` 自加一，当 `RX_IndexW` 计数超过 33 时，重新从 `RX_BUFF[0]` 读取数据；最后打开总中断，返回数据读取成功标志 1。

#### 4.4 定时器A中断程序

进入 `TA0_ISR()` 中断程序后，先检测 P2.5，如果 P2.5 输出高电平，表明前方地面有落差，机器人停止运行，将定时器与总中断均关闭。

设置变量 `K`，每次执行定时中断程序时，`K` 加一。判断 `K` 的值是否为 5，如果不为 5 退出中断；如果为 5，令 `K=0`。然后执行以下程序，这样保证了以下程序每 6 个中断周期执行一次。

调用子函数 `UART0_GetCharsInRxBuf()`，了解在最近一个定时周期中，串口接收数据的字节数。然后调用子函数 `UART0_GetChar()`，将串口接收的数据存入数组 `SensorData`，计算出表示机器人行驶方向的角度值，并赋值给全局变量 `DIRECT`。如果这是上电后第一次得到的角度值，再将其赋给 `first_DIRECT` 与 `expected_DIRECT`，`first_DIRECT` 表示初始方向，其值始终不变，`expected_DIRECT` 表示期望行驶方向，随着机器人转弯而调整。程序中，全局变量 `fangxiangcha` 表示当前行驶方向与初始方向相比的变化量。计算本周期内机器人的移动距离，用全局变量 `Route` 表示该距离，其计算公式为

$$\text{Route} = (\text{Left\_speed} + \text{Right\_speed}) * 50 * 314 / (60 * 2 * 100) \quad (4.1)$$

`Left_speed` 与 `Right_speed` 分别为本周期内左路和右路霍尔传感器传回信号的脉冲个数，移动距离的单位为厘米。设置全局变量 `Zong` 与 `Heng` 记录机器人在房间中的坐标，根据本周期的行驶期望方向 `expected_DIRECT` 与电机转动方向判断机器人是在横的方向还是纵的方向移动、移动距离 `Route` 是正是负，变量 `Zong` 与 `Heng` 其中一个加上或减去 `Route`，以记录机器人的位置。`Switch()`语句前中断程序的流程图如图 4.4 所示。

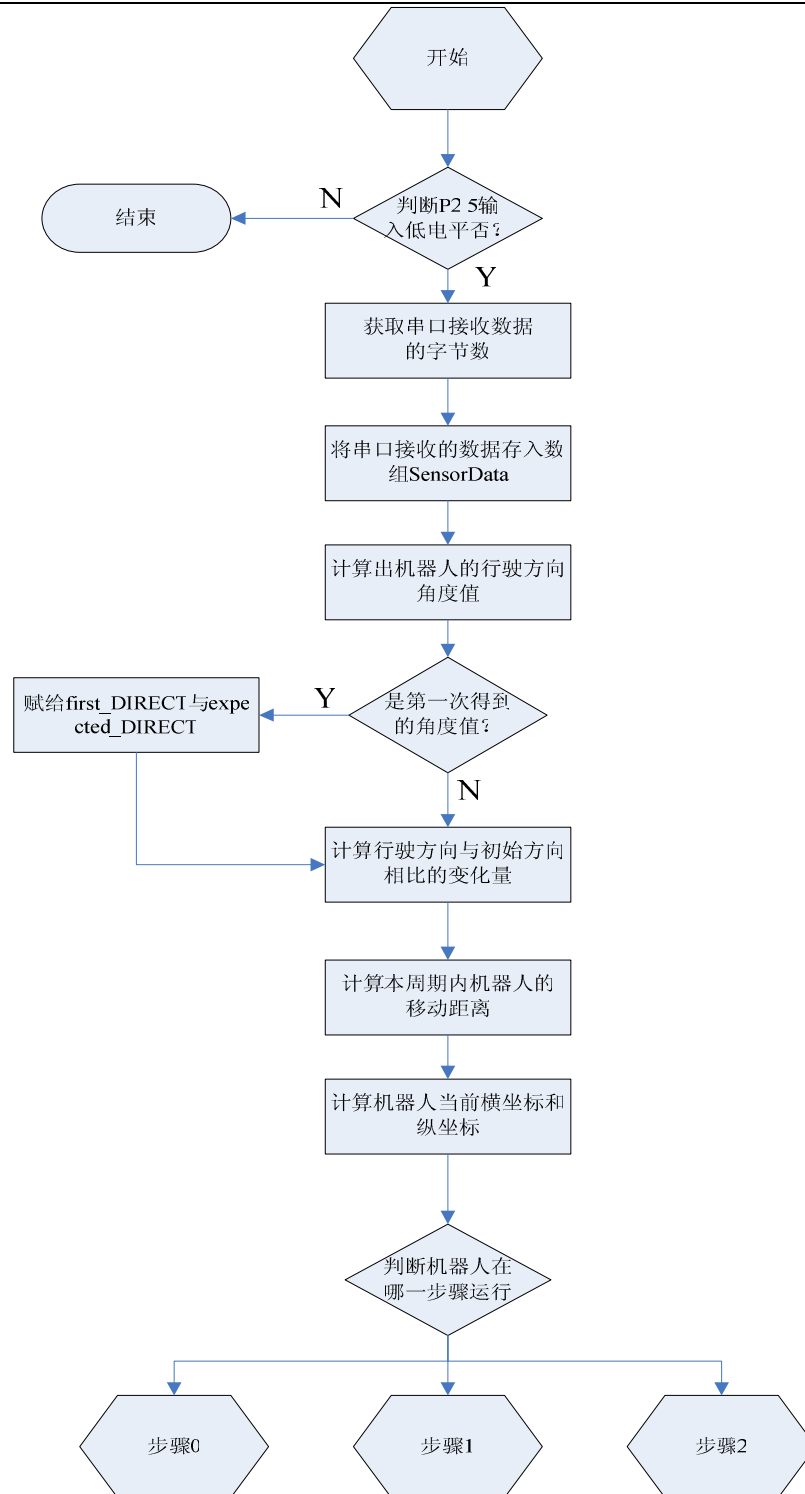


图 4.4 定时中断程序流程图 1

Fig4.4 The first part of the flow chart of Timer interrupt program

然后，通过变量 Buzhou 判断程序进入到那一阶段，0 表示机器人正在扫描房间基本信息，1 表示机器人处于“弓”形清扫阶段，2 表示机器人处于反“弓”形清扫阶段。

(1) 当 Buzhou=0 时，机器人沿房间的墙边行驶。步骤 0 的流程图如图 4.5 所示。

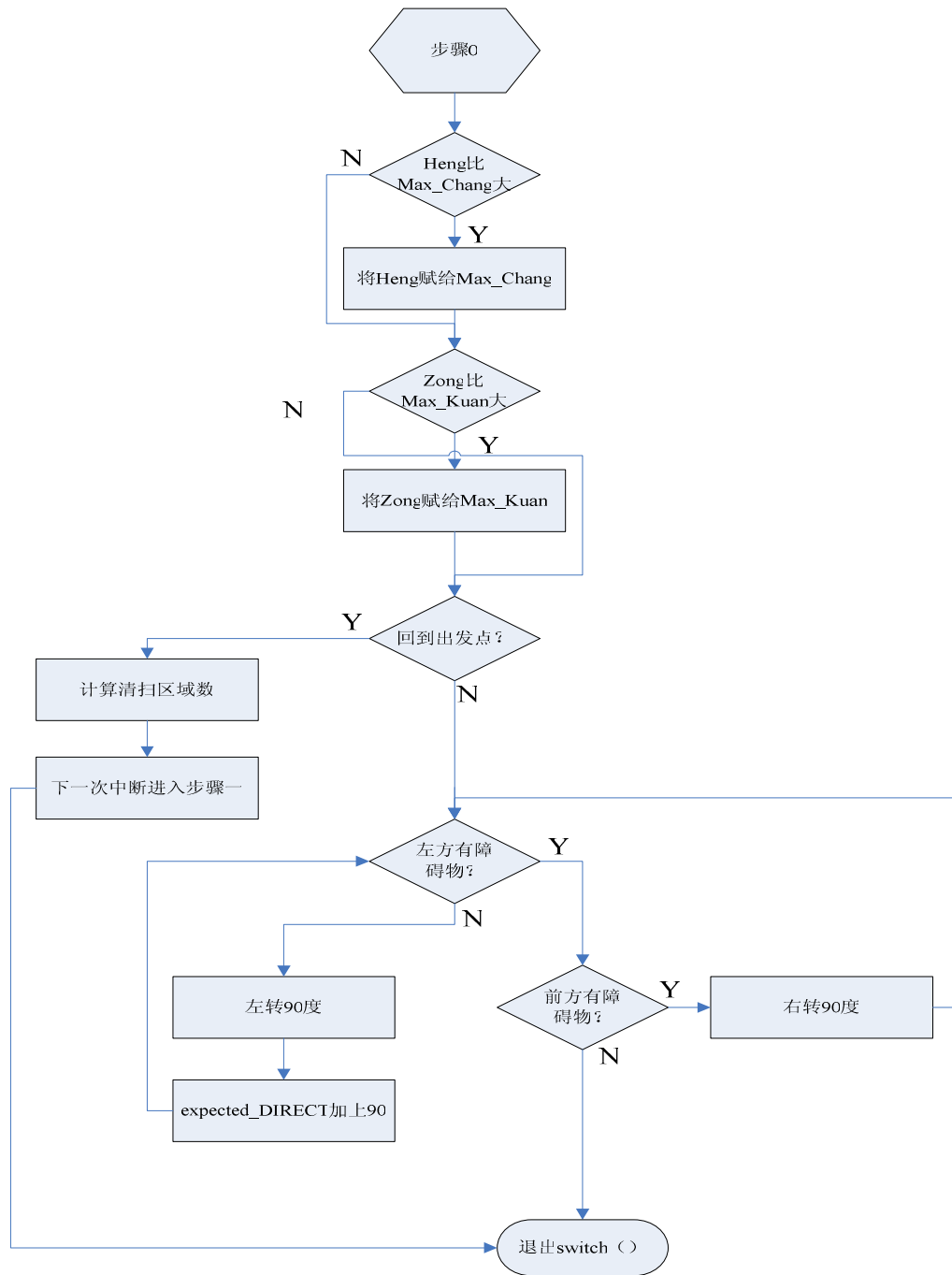


图 4.5 定时中断程序流程图 2

Fig4.5 The second part of the flow chart of Timer interrupt program

A)设置全局变量 Max\_Chang 与 Max\_Kuan 记录房间的最长值与最宽值，将 Max\_Chang

与 Heng 比较, 如果 Heng 大, 就用 Heng 替换 Max\_Chang, 如果 Max\_Chang 大就不替换; 将 Max\_Kuan 与本周期的 Zong 比较, 如果 Zong 大, 就用 Zong 替换 Max\_Kuan, 如果 Max\_Kuan 大就不替换。

B)通过检测 fangxiangcha、Chang 与 Kuan 三个变量的值是否同时为 0, 判断机器人是否回到出发点, 如果回到出发点, 此时, 全局变量 Max\_Chang 与 Max\_Kuan 记录的数据就是房间的长与宽。用 Max\_Chang 除以车身宽度得到估算的清扫区域总数, 设置全局变量 Count\_quyu 记录清扫区域总数。令 Buzhou=1, 使机器人的清扫工作进入下一阶段。此处用 break 语句跳出 switch()语句。

C)先检测 P1.2 和 P1.3 是否输入低电平, 如果两个 I/O 均输入为高电平, 表明左方无障碍, 机器人左转 90 度, expected\_DIRECT 加上 90, 直到检测到左方有障碍物位置; 只要一个 I/O 输入为低电平, 表明左方有障碍物。

D)当确认左方有障碍物后, 检测 P1.0 和 P1.1 是否输入低电平, 如果两个 I/O 均输入为高电平, 表明前方无障碍, 机器人直线前进, 退出 switch(); 只要一个 I/O 输入为低电平, 表明前方有障碍。

E)当确认前方和左方均有障碍物时, 检测 P1.4 和 P1.5 是否输入低电平, 如果两个 I/O 均输入为高电平, 表明右方无障碍, 机器人右转 90 度, expected\_DIRECT 减去 90, 继续执行 B); 只要一个 I/O 输入为低电平, 表明右方有障碍, 机器人直线倒退至右方无障碍, 即 P1.4 和 P1.5 均输出高电平, 然后, 机器人右转 90 度, expected\_DIRECT 减去 90, 向前行驶至左方重新有障碍物, 即 P1.2 和 P1.3 有一个输出低电平。继续执行 B)。

(2)当 Buzhou=1 时, 机器人进入“弓”形清扫阶段。步骤 1 的流程图如图 4.6 所示。机器人的出发点与扫描阶段的出发点一致, 开始清扫区域一, 包括区域一在内的所有奇数区域的 expected\_DIRECT 为 first\_DIRECT。判断 first\_DIRECT 是否大于 180, 如果其值小于 180, 所有偶数区域的 expected\_DIRECT 为 first\_DIRECT+180, 否则所有偶数区域的 expected\_DIRECT 为 first\_DIRECT-180。

A)查询 P1.0、P1.1 与捕获中断中的变量 3\_Distance, 判断前方是否有障碍物。如果三个

传感器均未检测到障碍物，机器人继续直线前进，程序退出 switch()语句；只要有 1 个传感器检测到障碍物，机器人就转弯。

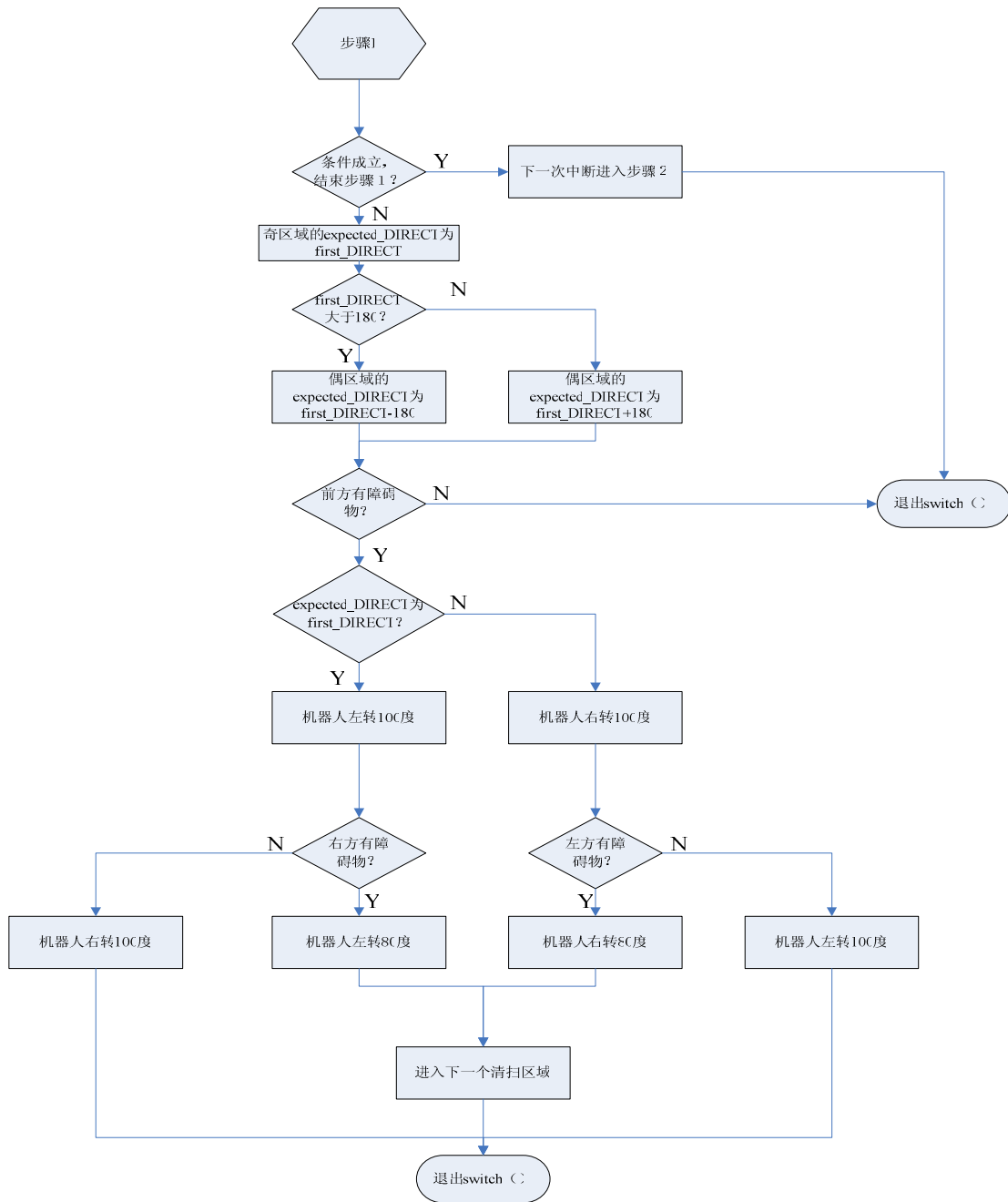


图 4.6 定时中断程序流程图 3

Fig4.6 The third part of the flow chart of Timer interrupt program



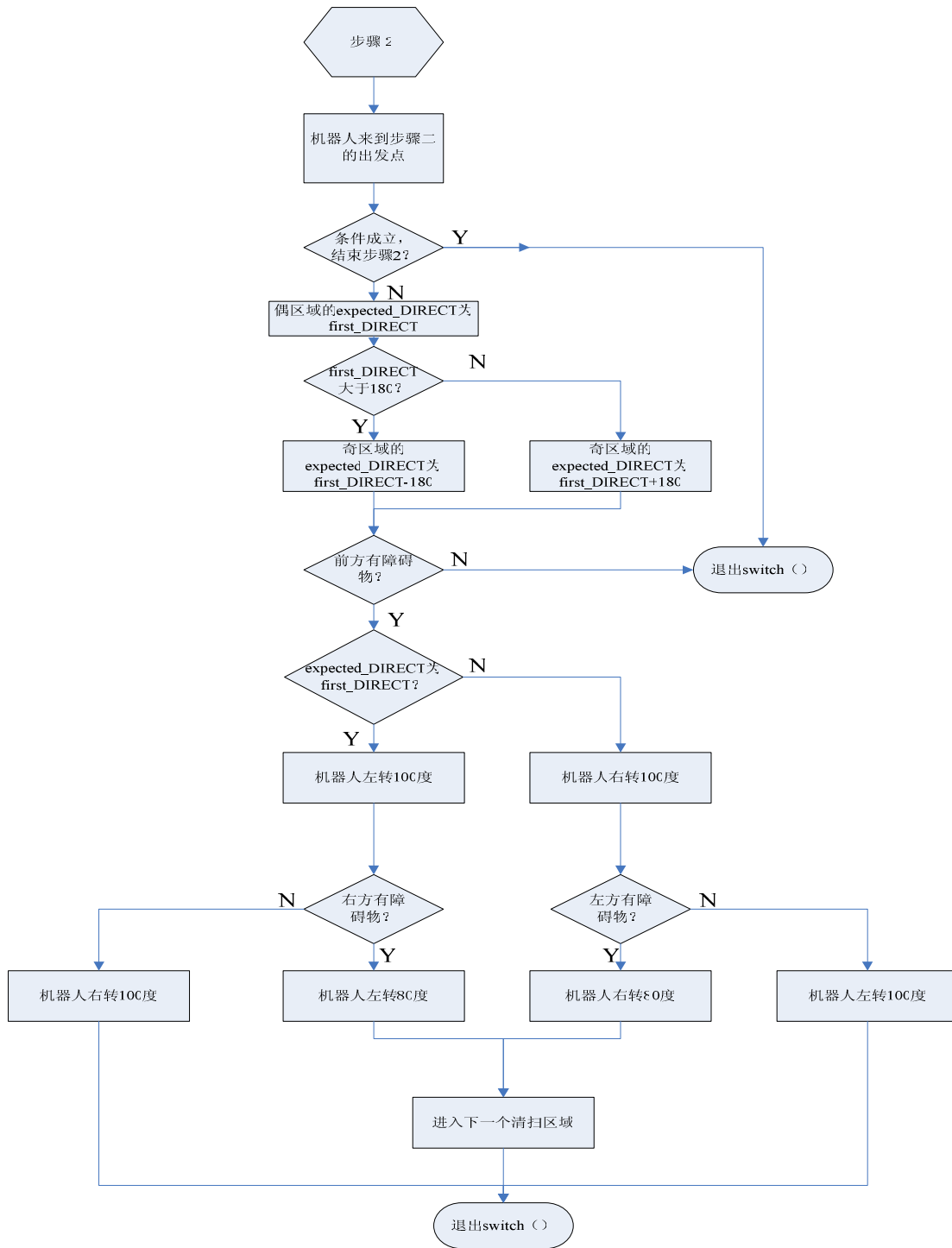


图 4.7 定时中断程序流程图 4

Fig4.7 The forth part of the flow chart of Timer interrupt program

B)转向由变量 `expected_DIRECT` 决定，当 `expected_DIRECT` 为 `first_DIRECT` 时，机器人左转 100 度，如此转弯相当于正好移动了一个车身宽度，然后查询机器人右面的三个传感器，只要有一个传感器检测到障碍物，机器人再次左转 80 度然后直线前进，相当于

机器人转 180 度掉头，结束本区域清扫，程序退出 switch()语句；如果三个传感器均未检测到障碍物，机器人右转 100 度继续直线行驶，程序退出 switch()语句；当 expected\_DIRECT 不是 first\_DIRECT 时，机器人右转 100 度，然后查询小车右面的三个传感器，只要有一个传感器检测到障碍物，机器人再次右转 80 度然后直线前进，相当于机器人转 180 度掉头，结束本区域清扫，程序退出 switch()语句；如果三个传感器均未检测到障碍物，机器人左转 100 度继续直线行驶，程序退出 switch()语句。设置变量 Quyu 与 expected\_DIRECT\_1，每当 expected\_DIRECT 由 0 变为 180，或者由 180 变为 0 时，Quyu 加一，表示进入下一个清扫区域。程序退出 switch()语句。

C) 当 Quyu=Count\_quyu 时，机器人行驶到最后一个清扫区域。此时如果 expected\_DIRECT 为 first\_DIRECT，当机器人左面和前面六个避障传感器均检测到障碍物时，机器人结束“弓”形清扫阶段；如果 expected\_DIRECT 不为 first\_DIRECT，当机器人右面和前面六个避障传感器均检测到障碍物时，机器人结束“弓”形清扫阶段。令 Buzhou=2，使机器人的清扫工作进入下一阶段。此处用 break 语句跳出 switch()语句。

(3) 当 Buzhou=2 时，机器人进入反“弓”形清扫阶段。步骤 2 的流程图如图 4.7 所示。机器人来到与清扫出发点横坐标相同，纵坐标不同的墙角，以此作为出发点，清扫过程与“弓”形阶段相同，这样可对“弓”形阶段中漏掉的地方进行补偿清扫，增大清扫覆盖率。到此，程序退出 switch()语句。

变量 Now\_fangxiangcha 为当前行驶方向角度值 DIRECT 与期望形式方向角度值 expected\_DIRECT 的差，其取值范围是-90~90 度，将其分成几个子集，保证接近期望值 0 的子集所占取值范围尽量小。Now\_fangxiangcha 的值变化时，其值所属的子集映射不同的 TACCR2，而 TACCR1 始终不变，通过改变右轮转速，对机器人的行驶方向进行调整，保持直线行驶。超声波测距传感器的检测范围为 0.04 米~4 米，为 1\_Distance、2\_Distance 与 3\_Distance 三个记录障碍距离的变量赋值 5000，表明检测范围内无障碍。将 P2.0、P2.1 和 P2.2 一起置高，延时 10 微妙后，再一起置低，为三个超声波测距传感器发送控制信号。Switch()语句后的流程图如图 4.8 所示。

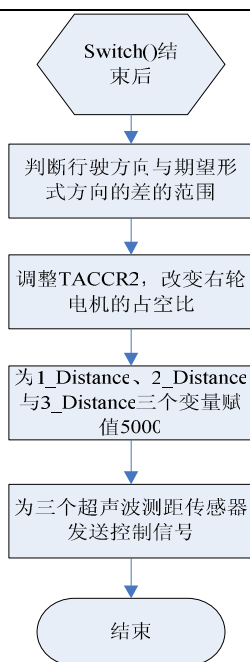


图 4.8 定时中断程序流程图 5

Fig4.8 The fifth part of the flow chart of Timer interrupt program

### 4.5 定时器B中断程序

超声波测距模块在检测到障碍物时会向 MSP430 单片机传回一个高电平信号，该信号的高电平时间就是超声波从发射到返回的时间。定时器 B 中断程序主要功能就是测量这个信号的高电平时间，进而计算出障碍物距离。由于 Timer\_B 定时器的捕获通道 1、2、3 发生捕获事件时公用一个中断源 TIMERB1\_VECTOR，当 3 个超声波传感器传回信号时，都会触发中断程序 TB1\_ISR ()。执行中断时，程序先通过 TBIV 中断向量寄存器的值判断是哪个捕获模块触发中断，即哪个方向的超声波传感发现障碍物。以捕获模块 1 触发中断举例说明该程序，触发中断时主计数器值已被存入 TBCCR1 寄存器，先通过变量 P1 判断是由上升沿还是下降沿触发，当 P1=0 时，为上升沿触发，TBCCR1 值付给 1\_start\_cap=0，记录高电平起始时间，将 P1 置 1；当 P1=1 时，为下降沿触发，将 TBCCR1 值付给 1\_end\_cap=0，将 P1 置 0，记录高电平结束时间，计算高电平时间并将该值赋给变量 1\_cap\_diff，然后计算障碍物与机器人之间的距离，公式为

$$\text{障碍距离} = (\text{声波接收时间} - \text{声波发射时间}) * (340/2) * 1000 / 1048576 \quad (4.2)$$

计算结果的单位为毫米，将距离值赋给变量 1\_Distance，等待调用。其他两路超声波模

块传回的信号也如此处理。该程序流程图如图 4.9 所示。

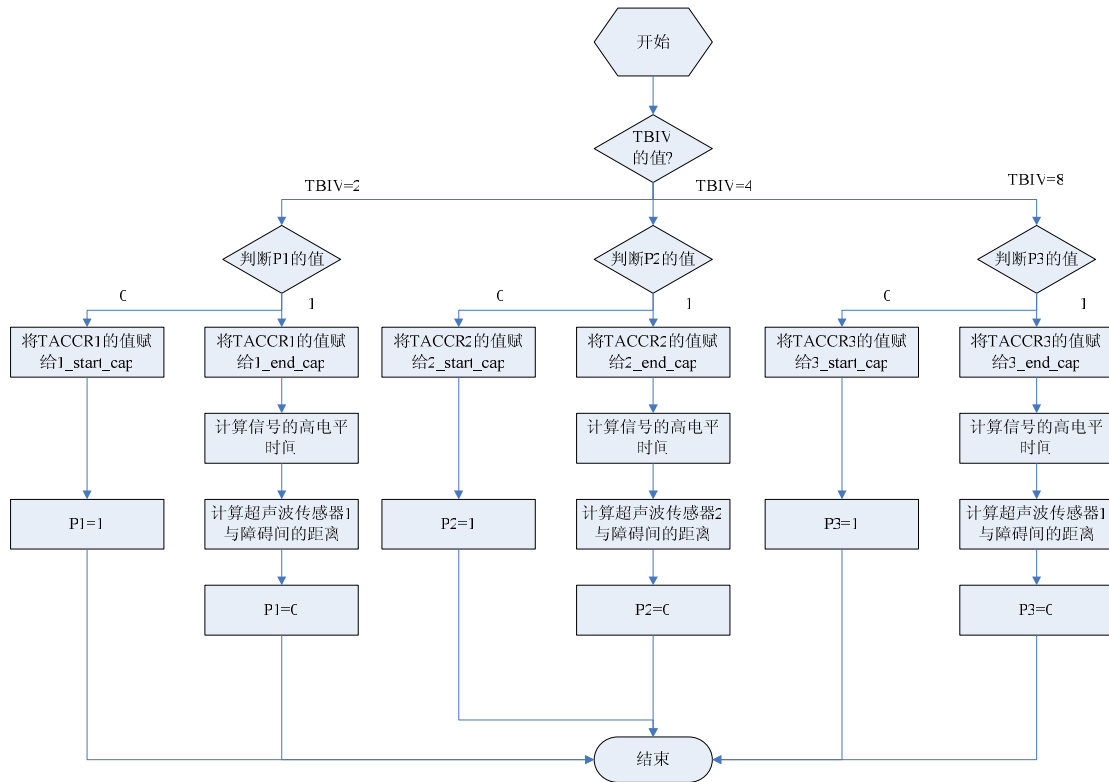


图 4.9 捕获中断程序流程图

Fig4.9 the flow chart of capture interrupt program

### 4.6 I/O中断程序

两个直流电机的输出轴上（未安装减速箱一侧）都固定了一个小磁铁，其下方正对一个霍尔传感器。车轮转动一周，小磁铁转动 60 周，霍尔传感器输出 60 个脉冲信号。MSP430 单片机的 P2.3 和 P2.4 用来接收两个霍尔传感器传回的信号，当两个 I/O 接收到一个脉冲信号时，触发 I/O 中断，进入中断程序 P2\_ISR()。通过检测状态寄存器 P2IFG，判断哪一位 I/O 产生中断。当 P2 中断标志第 3 位被置 1 时，表明 P2.3 接收到中断信号，左轮电机输出端转动一周，全局变量 Left\_speed 自加 1；当 P2 中断标志第 4 位被置 1 时，P2.4 接收到中断信号，表明右轮电机输出端转动一周，全局变量 Right\_speed 自加 1。最后，在退出中断程序前，将状态寄存器 P2IFG 清零。I/O 中断程序的流程图如图 4.10 所示。

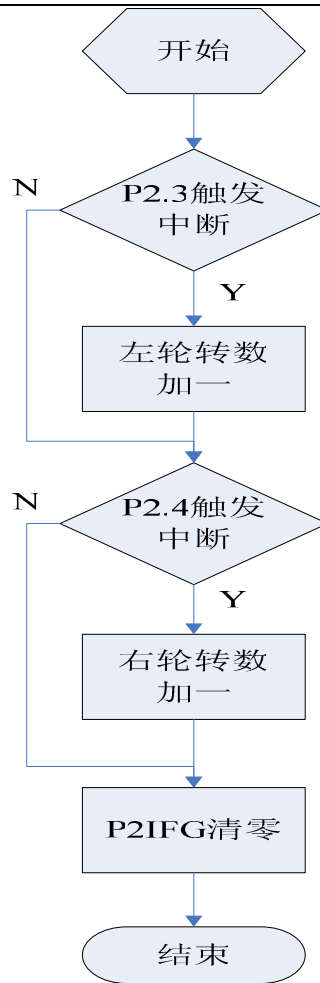


图 4.1.10 I/O 中断程序流程图

Fig4.10 the flow chart of the I/O interrupt program

## 5 实验中遇到问题及拟解决方案

### 5.1 清洁机器人的重心问题

由于采集信号的需要，机器人底盘前端布置了一个超声波测距模块和三个红外避障模块。这样，以万向轮为支点，机器人小车前后端就相当于一个杠杆。前端形成的力矩促使两个轮子受到的压力减小，两个轮子的摩擦力也随着减小。这样的结果就是直线行驶时，机器人的速度减低；转弯时，机器人直接停止。

解决的办法其实很简单，在机器人的后部固定一些重物，这样使轮子的摩擦力增大，进而加大了机器人的移动力。

### 5.2 电源芯片负载问题

最初设计时，整个系统的电源完全由一片 W7805 芯片稳压得到。在实验中，机器人正常运行一会儿，会突然停止，重启后又恢复正常，当电池电量下降后，机器人只要转弯就必然停止。电机驱动板上的电源灯一直亮着，但是逻辑部分的指示灯时亮时灭。清洁机器人的电池持续放电电流可达 13.5A，电池的带负载能力绝对可以满足设计要求。但 W7805 的散热片发热严重，问题应该是 7805 的带负载能力不够。

5V 稳压电路需要为一个 L298N 电机驱动模块的逻辑部分、三个超声波测距模块、两个霍尔传感器、一个电子罗盘、七个红外线避障模块、两路 AQW214 光电隔离电路、一个 MSP430 单片机和两个直流电机供电。L298N 电机驱动模块的逻辑部分的工作电流为 36 mA、一个超声波测距模块的工作电流为 15mA、一个霍尔传感器测速模块的工作电流为 5mA、一个电子罗盘的工作电流最大为 30mA、一个红外线避障模块的工作电流最大为 15mA、一路 AQW214 光电隔离电路的输出电流可达 10mA，一个直流电机运行时电流最大可达 300mA。整个电路的电流理论峰值可达 850mA。实际测试时，W7805 输出电流只有 460mA 左右，输出电压最低时只有 4.2V，显然无法达到设计要求。

L78XX 系列最大负载能力可达 1.5A，满足设计要求。后来，改用 L7806 为两个电机供电，用 L7805 为机器人的其他模块供电，并且为两个芯片安装了散热片，再次实

验时，未出现供电不足的情况。

### 5.3 避障模块的检测范围问题

无论是超声波传感器还是红外传感器的检测角度一般都不大于 15 度。在安装传感器时，避障模块的检测范围的宽度应该正好等于机器人的车身宽度，否则就会出现图 5.1 中的情况，避障传感器无法检测到机器人的行驶路线上的障碍物。

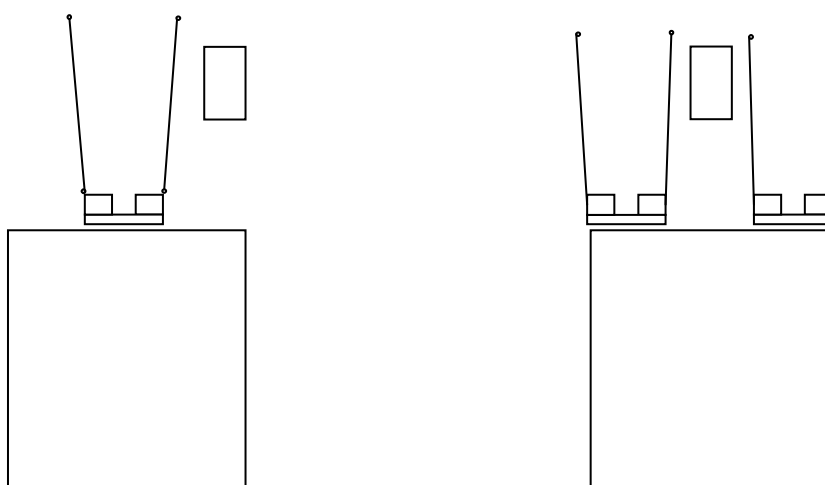


图 5.1 避障传感器的检测盲区示意图

Fig5.1 Example of the detection zone of the obstacle avoidance sensor

### 5.4 超声波测距模块的信号串扰问题

为了完全检测到机器人前方行驶路线上的障碍物，避障模块会被布置地比较密集。如果避障模块只选用超声波传感器，就无法避免信号串扰问题。

如图 5.2 所示，右边传感器发出的超声波信号被左边传感器接收到，使左边传感器输出了检测到障碍物的错误信号<sup>[41]</sup>，所以机器人需要两种传感器交替布置。

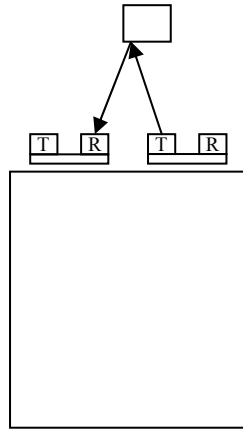


图 5.2 超声波传感器的信号串扰示意图

Fig5.2 Example of signal crosstalk between two ultrasonic sensor

如图 5.3 所示，可以在两个超声波传感器中间是安装一个红外避障传感器，超声波传感器发出的是超声波信号，红外避障传感器发出的是红外线信号，两种传感器之间不会发生信号串扰问题，很好地解决了问题。

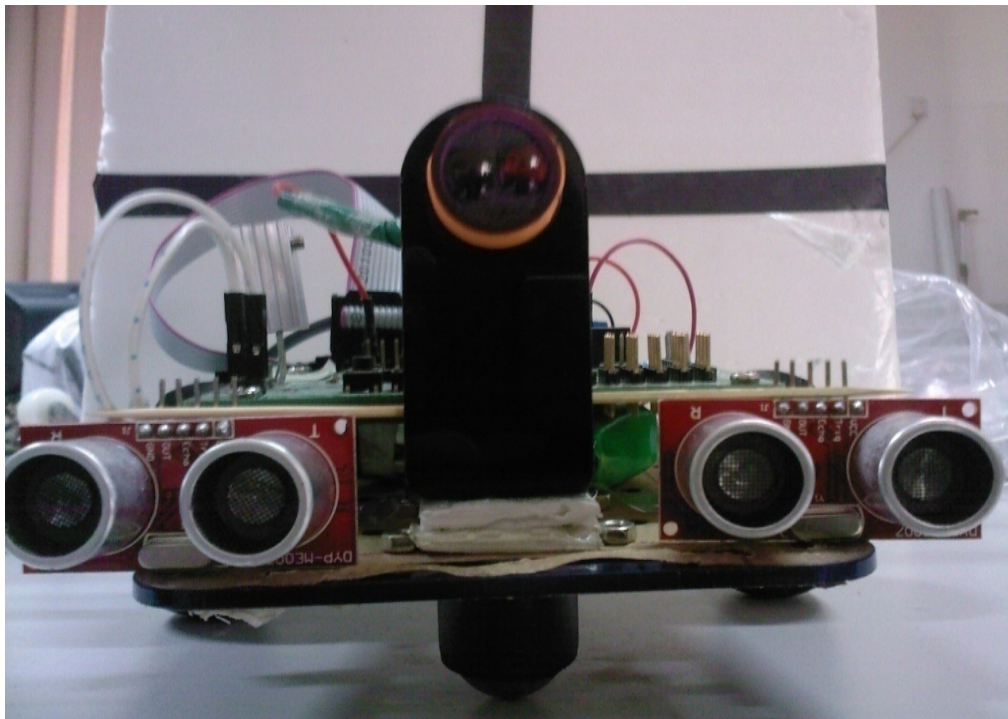


图 5.3 避障传感器的安装方法示意图

Fig5.3 The installation diagram of obstacle avoidance sensors



## 5.5 步进电机与直流电机的比较

步进电机在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响，当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个“步距角”。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的；同时可以通过控制脉冲频率来控制电机转动的速度和加速度，从而达到调速的目的。如果需要调速，直流电机需要传感器测速来闭环控制，步进电机可不需传感器直接开环控制<sup>[39]</sup>。本课题中，将直流电机换成步进电机，会达到更好的控制效果。

## 5.6 电子罗盘的种种问题

电子罗盘每秒大概能进行 5 到 6 次检测，这使得机器人调整行驶方向的周期长达 200ms 左右，因此机器人必须降低行驶速度，这又影响了机器人的工作效率。解决的办法只能通过优化软件达到更好地控制效果。

电子罗盘的分辨率只有 1 度，理论上如果行驶方向偏离小于 1 度，机器人都会判定自己正在直线行驶，可是接近 1 度误差在逐渐积累的情况下，也是不容忽视的。在本设计中，解决的办法是牺牲系统的稳定性，使机器人在与期望方向相差 1 度以外的范围波动，来换取系统控制的准确性。

## 5.7 计算障碍距离时变量的范围问题

在测试超声波模块时，遇到了这样的问题。超声波模块在测量距离在 40CM 以内的障碍物时很准确，但一旦距离超过 40CM，测得的距离不准确。障碍距离的计算公式为

$$\text{障碍距离} = (\text{声波接收时间} - \text{声波发射时间}) * (340/2) * 1000 / 1048576 \quad (4.2)$$

原本储存声波接收时间与声波发射时间的两个变量都被设置成 unsigned int，这样程序运行时该式的分子部分的计算结果会被存入一个 unsigned int 型的动态变量中，无符号整型变量的值域为 0~65535，分子部分的计算结果会超过这个范围。所以写程序时，应将两个变量先转为无符号长整型。改正后，测试效果良好，超声波模块可测量 3~400cm 的障碍物。

## 致 谢

本论文从选题、查阅资料、硬件设计、软件编程、反复试验到最后定稿，都是在王老师的指导下完成的。感谢王老师两年以来在学习和生活上对我的指导与照顾，王老师费心地指导我学习 MSP430 单片机；王老师手把手地教会我用 protel 软件画原理图和 PCB 图；参加机器人大赛我紧张得连字都不会写时，是王老师鼓励我，令我放松下来；学习和研究中遇到困难，与王老师沟通后我总会找到解决问题的办法。衷心感谢王老师对我的帮助与关怀，您是我的良师益友。

感谢郑丰隆老师、卫永琴老师和刘春晖老师对我的帮助与指导；感谢读研期间的授课老师们，他们更深入更细化的讲解让我对很多知识豁然开朗；感谢丁俊峰师兄、袁凤培师兄和王全会师兄，平常向他们请教了不少软件和硬件的问题，他们耐心、细心、专业的指导令我受益匪浅；感谢我的同班同学们，感谢他们在生活上对我的帮助，在学习上对我的促进。

感谢我的父母，他们是我的精神支柱，我会用我的成绩来报答家人的关心与支持。

最后，感谢在百忙中参加评答辩会的各位专家与教授，谢谢各位老师的批评与指正。

## 参考文献

1. 王炎. 移动式服务机器人的发展现状及我们的研究[J], 电气传动, 2000, (4):32-35
2. 邢敏. 清洁机器人系统开发及路径规划研究[D], 北京: 北京交通大学, 2007
3. 邓宝林. 清洁机器人避障控制系统的研究[D], 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005
4. 耿平. 基于 ARM 的清洁机器人控制系统研究[D], 南京: 东南大学, 2008
5. Robotain. 森乐机器人吸尘器[EB/OL], 机器人智能网,2009
6. 王小红. 基于模糊控制的风管清洁机器人避碰研究 [D],青岛: 中国海洋大学, 2008
7. 徐勇. 基于神经网络的自主吸尘机器人混合感知系统设计及避障规划[D], 杭州:浙江  
大学,2007
8. 盖萌萌. 一种实现目标识别与跟踪的轮式移动机器人设计及实验[D],西安: 西安电子  
科技大学, 2009
9. 百度百科. MSP430 单片机[EB/OL], <http://baike.baidu.com> ,2012
10. 孙晓东. 基于 nRF2401 的 RFID 系统设计[D], 杭州: 浙江大学, 2008
11. 王晋等. 低功耗单片机的水声数字通信系统设计[J], 舰船科学技术,2009,(10): 11-13
12. 王鑫. 基于 MSP430 单片机的手持式气体检测器的设计[D],武汉:武汉科技大学, 2008
13. 谢楷,赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京:机械工业出版社,2009:54-63
14. 魏小龙.MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M].北京:北京航空航天大学出  
版社,2002: 234-273
15. 靳昊宇. 基于蓝牙的无线体域网研究[D], 天津: 南开大学,2009
16. 秦龙. MSP430 单片机常用模块与综合系统实例精讲[M], 北京: 电子工业出版  
社,2007:154-155
17. 康恩涛. 基于 MSP430 的锚杆测力无线收发系统设计[D], 青岛: 山东科技大学,2011
18. 强金铖. 阳光输送机中自动跟踪系统的研制[D], 陕西: 陕西科技大学, 2010
19. 田磊. 多机协调吊装平台控制系统设计与研究[D],上海: 上海交通大学,2007
20. 邱国普等. 电动小车的电机驱动及控制[J], 电子世界, 2004, (7) : 66-69
21. 刘成刚. 基于集成霍尔传感器的报警电路的设计[J], 中国科技博览, 2009, (12): 48-54

22. 徐向阳等. 汽车传感器应用现状[J], 世界电子元器件, 2003, (2): 77-79
23. 康春雨. 红外遥控信号无线转发器[J], 无线电, 2009, (9): 22-25
24. 直川电子. 电子罗盘[EB/OL], <http://www.zc-sensor.com>, 2010
25. 郜莉. 三维磁阻式电子罗盘的设计与实现[D], 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009
26. 张年华. 基于 MSP430F149 的电磁流量计系统的设计[D], 上海: 同济大学, 2008
27. 刘亚. SPR 传感器测控电路设计及蛋白质分子固定与验证[D], 天津: 南开大学, 2008
28. MSP430F 常用模块应用原理[EB/OL], 微控设计网, 2006
29. 低功耗 MCU 动态时钟分析[EB/OL], 电子发烧友网, 2011
30. 魏小龙. MSP430 系列单片机接口技术及系统设计实例[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 119-123
31. 胡大可. MSP430 系列单片机 C 语言程序设计与开发[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003: 45-177
32. 贾伯年, 俞朴, 宋爱国. 传感器技术[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007: 104-113.
33. 刘小端, 曾习宏. 基于 MSP430F149 的低成本智能型电力监测仪[J], 电子技术, 2002, (4): 5-8
34. 胡大可, 季燕飞. 应用 MSP430 微控制器时需注意的问题[J], 电子产品世界, 2003, (3): 63-67
35. 谢楷, 赵建. MSP430 系列单片机系统工程设计与实践[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 174-185
36. 王军平, 王安, 敬忠良, 陈全世. 高性能运动控制在数控系统中的应用综述[J], 信息与控制, 2003, (3): 2-3.
37. 陈玲君, 张春兰. 运动控制器研究[J], 现代企业教育, 2010, (18): 21-24.
38. 吴宏, 蒋仕龙. 运动控制器的现状与发展[J], 制造技术与机床, 2004, (1): 24-27.
39. 潘涛, 程耕国. 步进电机控制器的 FPGA 实现[J], 现代电子技术, 2009, (1): 56-59.
40. 童峰, 许天增. 一种移动机器人超声波导航系统[J], 机器人, 2002, 24(1): 55~61
41. 姚凤娟. 基于混沌脉冲序列宽度调制的超声串扰抑制方法研究[D], 天津: 天津大学, 2007

### 附录 电路原理图

