



## 循迹避障智能小车的实验设计

王冠博<sup>1</sup>, 赵一帆<sup>2</sup>, 郭 嘉<sup>3</sup>, 杨俊东<sup>1</sup>, 丁洪伟<sup>1</sup>

(1. 云南大学 信息学院, 昆明 650500; 2. 云南民族大学 电气信息工程学院, 昆明 650031; 3. 云南省广播电视局 科技处, 昆明 650031)

**摘要:** 针对传统小车无法在复杂的现实环境中自主运行的问题, 设计了一种可自动躲避障碍物并可沿特定轨迹运行的循迹避障智能小车。该设计以 STC89C52 单片机为核心, 通过两组反射型光电探测器(RPR220)和超声波测距模块(HC-SR04)分别感知黑色轨迹和障碍物信息, 并将检测信息传输至单片机, 通过单片机其外围电路调节小车电机的转速与方向, 从而实现智能小车的循迹和避障功能。实验结果表明, 本设计各模块可正常协同工作且能够实现小车的循迹和避障功能, 小车的整体运行安全且稳定, 应用前景广泛。

**关键词:** STC89C52 单片机; 智能小车; 循迹; 避障

中图分类号: TP23

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20200009

## Experimental Design of Tracking and Obstacle Avoidance Intelligent Car

WANG Guanbo<sup>1</sup>, ZHAO Yifan<sup>2</sup>, GUO Jia<sup>3</sup>, YANG Jundong<sup>1</sup>, DING Hongwei<sup>1</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650500, China;

2. School of Electrical and Information Engineering, Yunnan Minzu University, Kunming 650031, China;

3. Office of Science and Technology, Yunnan Provincial Administration of Radio, Film and Television, Kunming 650031, China)

**Abstract:** In response to the problem that traditional intelligent cars cannot operate autonomously in complex real-world environments, we design an intelligent car that can automatically avoid obstacles and can run along a specific trajectory. The design is based on the STC89C52 microcontroller as the core, two sets of the reflective photodetector (RPR220) and ultrasonic distance measurement module (HC-SR04) are applied to sense the black trajectory and obstacle information respectively, and the detection information is transmitted to the microcontroller. After that, the speed and direction of the car motor are adjusted by the microcontroller and its peripheral circuit to realize the tracing and obstacle avoidance functions of the intelligent car. The experimental results show that the modules of this design can work together normally and can realize the tracing and obstacle avoidance functions of the car. In addition, the car has safe and stable operation, and wide application prospects.

**Key words:** STC89C52 microcontroller; intelligent car; tracking; obstacle avoidance

随着现代科学技术的发展, 传统小车的功能已无法满足当今对智能化的需求<sup>[1]</sup>。从本质上来讲, 智能小车就是一个可以自主移动的机器人。它可在硬件电路和内部程序共同作用下, 实现环境感知、自主规划、自主决策、自动驾驶等功能, 可满足不同行业的智能化需求<sup>[2]</sup>。智能小车也叫无人驾驶车辆, 它能够在复杂的道路环境中, 自动躲避障碍物并按照特定的轨迹运行。智能小车是在无人驾驶车辆的基础上增添一些与其工作性质相关的智能化模块, 从而使车辆达到智能自

动化的目的<sup>[3]</sup>。结合智能小车的特点、功能和开发意义, 研究智能小车是很有必要的。此外, 对智能小车的研究也有利于推进我国智能车辆行业的发展<sup>[4-5]</sup>。因此, 对智能小车系统的研究具有很大的研究价值。

### 1 智能循迹避障小车设计方案

#### 1.1 整体设计方案

本设计以 STC89C52 为核心, 通过 I/O 口控制电机驱动模块, 采用 PWM 的占空比调速, 通过

收稿日期: 2020-01-06; 修回日期: 2021-06-09

基金项目: 国家自然科学基金(61461053, 61461054)。

作者简介: 王冠博(1994-), 男, 硕士生, 主要从事机器人及嵌入式技术、机器学习方面的研究。

通信作者: 丁洪伟(1964-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事机器人及嵌入式技术应用、多址通信技术、机器学习等方面的研究。E-mail: dhw1964@163.com

减速电机转速差来完成小车的前进、转弯等动作。通过车头的 HC-SR04 超声波测距模块和小车的电机模块,实现小车的避障功能;通过两组 RPR220 反射型光电传感器模块,实现小车的循迹功能。

本文设计预留了拓展接口,可在循迹避障模块的基础上,拓展蓝牙控制模块、灭火模块、人体感应模块等等,使小车具有更强的智能化。循迹避障的总体框图如图 1 所示。

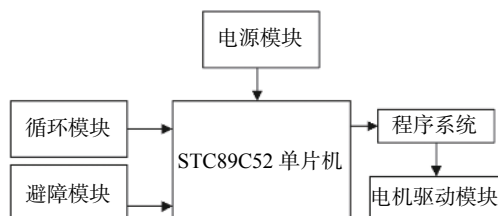


图 1 整体框图

## 1.2 STC89C52 单片机

智能小车控制系统的核心芯片采用 51 单片机系列的 STC89C52。该单片机采用经典的 MCS-51 单片机的内核,具有 A/D 转换功能,且内置定时器,可满足该设计的需求<sup>[4]</sup>。

## 1.3 电机驱动模块

### 1.3.1 电机的选取

由于传统的直流电机速度难以控制,转速较快,并且力矩也比较小,但智能小车系统需要能精确控制速度的电机,以实现小车的前进、转弯等动作<sup>[6]</sup>。因此,本文设计的智能小车采用两个强磁抗干扰双轴减速电机,配备一个万向轮,在电机驱动模块下完成小车的前进、后退、转弯等动作。当两个直流减速电机的转向、转速一致时,可完成小车的前进动作;当左电机的转速大于右电机转速时,完成智能小车的右转动作;当右电机的转速大于左电机时,完成智能小车的左转。

### 1.3.2 脉宽调制调速

该设计采用脉宽调制(PWM)的方法来实现对智能小车转速的调整<sup>[7]</sup>。由于电机内部有大量的线圈,跟电感的结构相似,因此具有电感的相关特性。我们可以根据电机的电感特性,通过产生不同占空比的波形,来实现对小车电机的调速作用。本设计采用的单片机是 STC89C52,无法产生 PWM 波形,因此本设计需要通过程序实现定时器中断<sup>[8]</sup>,从而产生 PWM 波形。

### 1.3.3 电机驱动芯片

电机驱动芯片采用美国德州仪器研制生产的

L293D 恒压恒流式微型电机驱动芯片<sup>[9]</sup>,它支持 4.5~36 V 的电压输入,具有单独的输入逻辑电源,且能够同时控制两个电机,与本系统设计较为符合,适合本设计智能小车的两个减速电机。

## 1.4 循迹模块

### 1.4.1 RPR220 反射型光电探测器

智能小车要循迹的目标是地面上约 2 cm 宽的黑线,理论上能沿着地面上的黑线自动循迹前进。本系统采用 RPR220 传感器,它是一款发送与接收一体化的反射型光电探测器,其灵敏度较高,内置可见光过滤器,可以减小离散光对系统的影响<sup>[10]</sup>。

### 1.4.2 LM324 电压比较器

LM324 电压比较器是一款四运算放大器,既可连接单电源使用,又可连接双电源,适合本设计中双电源的比较<sup>[11]</sup>。LM324 被用于本系统的检测提示模块可以对通过可调电阻之后的电压与通过 RPR220 红外接收管的电压进行比较,从而实现小车的前进与转向。

## 1.5 避障模块

智能小车避障模块的主要目的是让小车能够识别前方的障碍物,并能自动绕开前方障碍物。为节约开发成本,本设计采用 HC-SR04 超声波模块,该模块内置超声波发射器、超声波接收器和控制电路,测量距离范围和角度等指标均满足本设计需求<sup>[12]</sup>。

## 1.6 电源模块

51 单片机的工作电压是 5 V,减速电机的工作电压为 6 V。为了保持系统的稳定性,我们采用两节 3.7 V 的锂电池进行供电,对单片机、减速电机模块进行相应的降压保护处理。为保证整个系统的稳定性,还需要相应的稳压模块。稳压模块采用 LM7805 稳压芯片,该芯片是在电路设计中最常用的稳压芯片,电路简单,输出电压为 5 V,适合本文设计<sup>[7]</sup>。

## 2 硬件设计

### 2.1 电机驱动模块电路设计

本文设计电机的驱动芯片采用的是 L293D。结合设计电路(如图 2 所示),我们可以看到左电机的驱动是通过单片机的 P14 口输出高电平来实现的,右电机的驱动是通过单片机的 P15 口来实现的。其中,单片机的 P12、P13 口输出

的电平状态可以控制左减速电机的前进和后退；单片机的 P16、P17 口输出的电平状态可以

控制右减速电机的前进和后退，从而实现电机的驱动<sup>[13]</sup>。

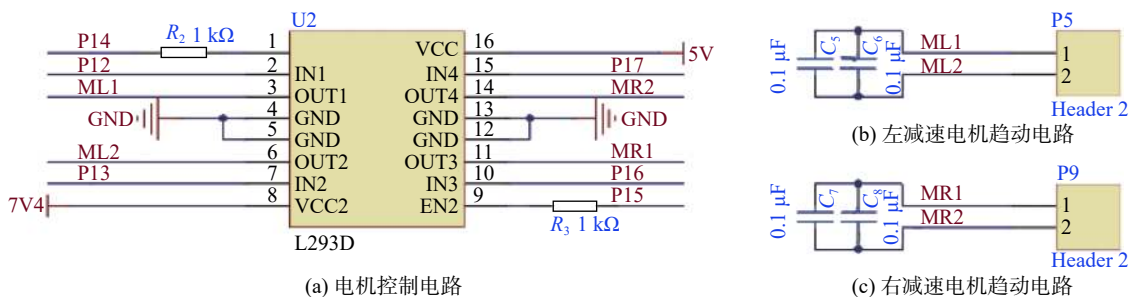


图 2 电机模块原理图

## 2.2 循迹模块电路

小车的前部设有两对对地发射的反射型光电探测器 RPR220，可实现两条路同时循迹。电路中

两个传感器 P10、P11 为 RPR220 传感器，两对红外发射接收对管  $RC_1$ 、 $RC_2$  用于智能小车的避障功能<sup>[12]</sup>，原理图如图 3 所示。

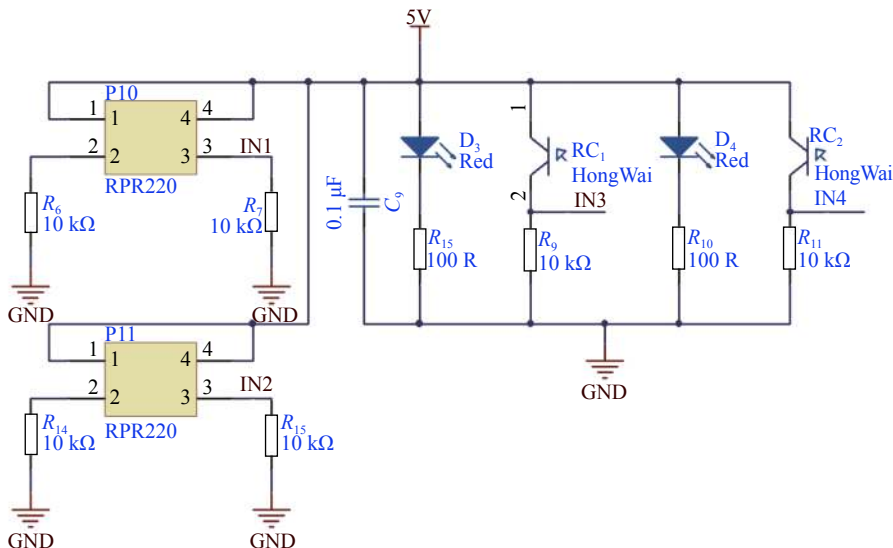


图 3 循迹模块原理图

## 2.3 避障模块电路

本文设计采用 HC-SR04 超声波模块实现避障功能，电路原理如图 4 所示。该模块通过单片机的 P21 口触发该模块，启动测距功能。超声波模块会持续发送方波，并检测是否有返回信号。若前方有障碍物，则会收到返回信号，P20 口会持续输出高电平。高电平的持续时间即为超声波从发射到返回的时间。通过计算高电平的持续时间，即可得到智能小车与前方障碍物的距离。

## 2.4 电源模块电路

本文设计的电源模块采用的是 2 节锂电池，电压达到了 7.4 V，高于单片机、减速电机的工作

电压，因此该设计采取以 LM7805 稳压芯片为核心的稳压模块。原理图如图 5 所示。

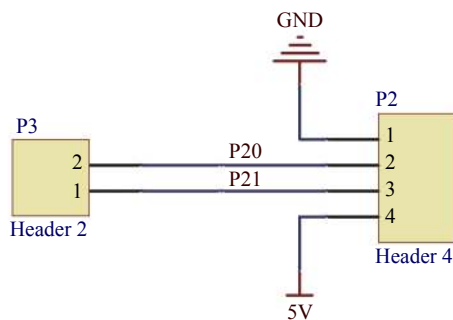


图 4 避障模块原理图

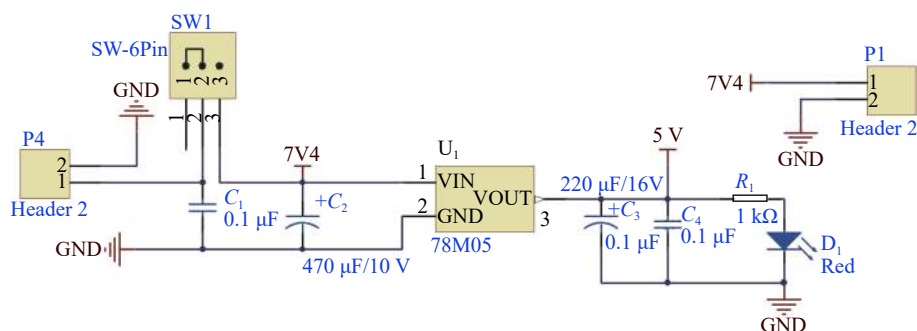


图5 供电模块原理图

### 3 软件设计

#### 3.1 循迹模块设计

循迹模块的软件流程图如图6所示, 循迹模块的目的是让小车能够准确地识别到地面的黑线。小车在行驶过程中, 若地面为白色, 则接收管会接收到红外线信号, 与之相对应的检测模块的LED的端口为高电平, 小车会继续前进; 若道路为黑色, 接收端不会收到反馈的红外线信号, 与之对应的检测模块的LED的端口为低电平, 对应电机的转速会降低, 小车两个电机之间会产生转速差, 从而达到智能小车循迹的目的<sup>[14]</sup>。

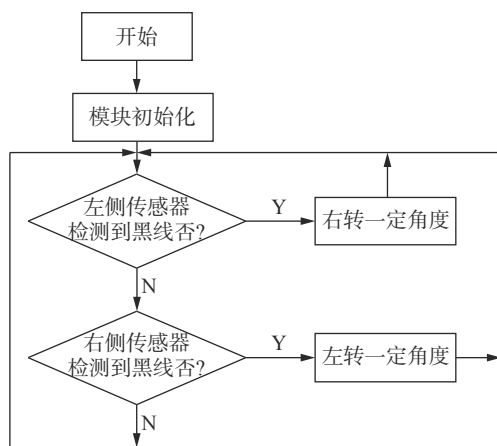


图6 智能小车循迹系统程序框图

#### 3.2 避障模块设计

避障模块的软件流程图如图7所示, 启动该系统, 小车避障模块初始化, 超声波传感器判断前方是否有障碍物。如果没有障碍物, 小车向前直行; 如果有障碍物, 且障碍物的距离在小车避障的范围之内, 小车原地刹车, 向右转一定的角度后继续判断是否有障碍物, 然后决定是否继续向前直行。小车的避障距离、前进速度、旋转角

度等, 都可以在该程序中根据小车所处环境进行适时调整。

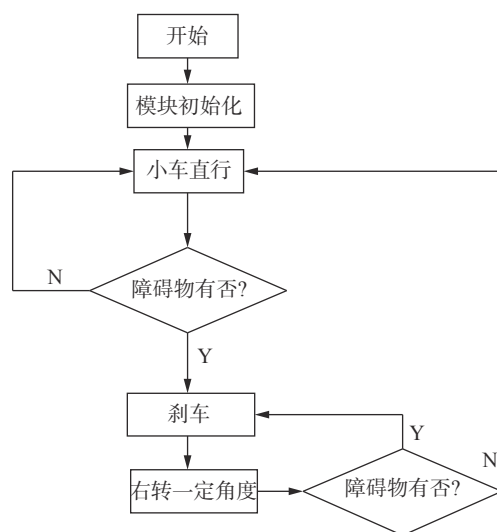


图7 智能小车避障系统程序框图

### 4 实验测试分析

为进一步评估智能小车, 我们需对小车的实际性能进行测试。

#### 1) 智能小车实际性能测试

首先对小车的循迹模块进行测试。理论上, 如果小车的跑道是笔直的, 小车可以一直顺着直线向前行驶。因此, 我们不再对小车直线跑进行相关的调试, 只调试小车的转弯性能。小车的转弯性能受多方面因素的影响, 比如弯道的弯曲程度、小车转弯时电机的速度等等。根据实验室中已有小车的两个跑道(如图8和图9所示), 通过程序对小车的速度进行调整, 让小车实现循迹功能。

经过调试后发现, 小车在跑道一中, 转弯时的速度能达到6 cm/s(全速时为20 cm/s, 下同);

在跑道二中, 转弯的速度为 4 cm/s。这是因为当传感器探测到黑线时, 虽然电机驱动芯片切断了相对应的电机的电源, 但是由于惯性, 电机还会继续运转, 不会马上刹车停下。因此, 小车的转弯性能与其直线运动的速度之间有较大的关系。经过调试后发现, 小车的转弯速度至少要比直线速度慢 1 cm/s, 要不然小车就会冲出跑道, 导致循迹失败。

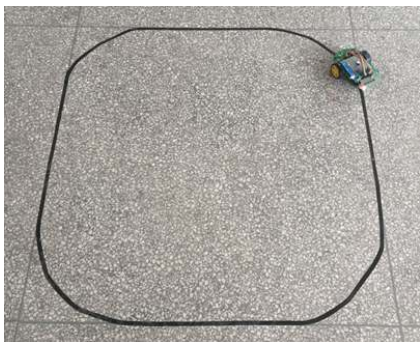


图 8 跑道一



图 9 跑道二

## 2) 智能小车避障功能测试

小车的避障距离设置为 30 cm, 只有障碍物位于避障模块 30 cm 以内的距离时, 小车才会对障碍物做出规避响应。我们选取小车对障碍物判断的准确性、对障碍物的响应距离、响应速度来对小车的避障功能进行评估。

为测试小车对障碍物判断的准确性, 选取 4 个不同大小的物体来进行测试, 障碍物的尺寸分别为 3 cm×5 cm、6 cm×7 cm、8 cm×12 cm、12 cm×16 cm。

我们将障碍物放至距离小车 30 cm 处, 测试小车是否能正确检测到前方障碍物。实验结果表明, 当 3 cm×5 cm 的障碍物和 6 cm×7 cm 的障碍物放置小车前方时, 小车无法正常识别, 识别准确率仅为 40%; 但小车对尺寸为 8 cm×12 cm 和 12 cm×16 cm 的障碍物的识别准确率可达 100%。分析发

现, 出现这种情况的原因是 HC-SR04 的硬件特性。HC-SR04 的测量角度为 15°, 在 30 cm 处仅可测量高度大于 8 cm 的物体, 因此在检测 3 cm×5 cm 和 6 cm×7 cm 的障碍物时, 可能会出现误检的情况。

为测试小车的响应距离和响应速度, 将小车对障碍物的感应距离设置为 30 cm, 选取尺寸为 8 cm×12 cm 和 12 cm×16 cm 的障碍物, 分别放至距小车直线距离为 50 cm、1 m、2 m 的位置进行测试。实验结果如表 1 所示。

表 1 不同尺寸障碍物、不同距离下, 小车的响应距离和响应时间实验结果

| 参数      | 障碍物尺寸      |     |     |             |     |     |
|---------|------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
|         | 8 cm×12 cm |     |     | 12 cm×16 cm |     |     |
| 距小车距离/m | 0.5        | 1   | 2   | 0.5         | 1   | 2   |
| 响应时间/s  | 0.3        | 0.4 | 0.5 | 0.2         | 0.3 | 0.4 |
| 响应距离/cm | 3.3        | 5.2 | 8.2 | 2.8         | 4.9 | 6.7 |

表 1 实验结果表明, 小车对面积比较大的障碍物响应时间更短。针对同一个障碍物, 距离越短, 小车的响应时间和距离越短。这是由于小车在运行中无障碍物的情况下会有加速过程; 在检测到障碍物之后, 小车的步进电机会有刹车动作。从检测到障碍物到小车完全静止, 小车行进的距离即为响应距离。在面对距离较近的障碍物时, 小车速度较低, 响应距离相对较短。在面对距离较远的障碍物时, 小车的速度较高, 对应的刹车距离也变长。

## 5 结束语

本文以 STC89C52 单片机为控制核心, 设计了一款循迹避障智能小车。经过实际中的反复调试, 对于循迹功能, 智能小车已经能够识别地面上的 2 cm 宽的黑线并进行循迹行驶; 对于避障功能, 小车能精准识别到前方的障碍物并计算出距离, 能够自己转弯避开障碍物, 已达到设计的要求, 且小车的运行安全稳定。

## 参考文献

- [1] 张岩, 裴晓敏, 付韶彬. 基于单片机的智能循迹小车设计[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 51-54.
- [2] 陈梦婷, 胡白燕, 黄璨. 基于单片机的智能循迹避障小车的设计与实现[J]. 智能机器人, 2019(2): 49-53.

(下转第 47 页)