

# 基于 Cortex-M4 内核的自寻迹小车系统设计

阳光 祝忠明 刘静 李峰 王超宇

(成都理工大学 成都 610059)

**摘要:** 设计采用 Cortex-M4 内核的 MK60FN1M0VLQ15 32 位单片机作为核心控制单元(MCU),通过 0V7725 数字摄像头提取跑道实时图像,用欧姆龙公司的旋转编码器作为速度检测装置,同时使用无刷直流电机作为传动装置,用舵机控制转向以及 7.2 V 锂电池构成整个运动控制系统。在软件设计上对二值化之后的图像中心线采用斜率拟合算法寻找最佳路径,运用 PD 控制算法处理舵机,PID 控制算法调节直流电机的转速,从而完成整个系统的闭环控制。

**关键词:** 智能车;Cortex-M4;摄像头;PID

**中图分类号:** TP272 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510.8060

## Design of self-tracing car system based on Cortex-M4 kernel

Yang Guang Zhu Zhongming Liu Jing Li Feng Wang Chaoyu

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The MK60FN1M0VLQ15 32-bit microcontroller with cortex-M4 core is designed as the core control unit (MCU). The 0V7725 digital camera is used to extract the runway real-time image. With the Omron rotary encoder as the speed detection device, the brushless DC motor is used as the transmission, Steering control with a steering gear and 7.2 V lithium battery constitute the entire motion control system. In the software design, the slope of the image center line is used to find the best path. The PD control algorithm is used to deal with the steering gear and the PID control algorithm to adjust the speed of the DC motor. Thus completing the entire system of closed-loop control.

**Keywords:** smart car; Cortex-M4; camera; PID

## 0 引言

最近几年,智能控制系统的应用已经逐渐走进大家的生活,带来了生活上的诸多新体验,其中智能小车的研究进行地如火如荼。智能汽车的应用研究对以后自动寻迹无人驾驶汽车的发展有着积极意义。在这样的大环境下,设计用单片机和传感器相结合的智能小车自寻迹控制系统,微控制器(MK60)对摄像头采集的原始图像信息进行提取,获取小车跑道的实时信息,经对应算法处理之后,力求在最短的时间内,以最快最稳定的方式通过各种复杂的跑道<sup>[1-2]</sup>。在传统的自寻迹小车控制系统中,小车寻迹大多采用跟随中心线的运动方式,而本设计实现了更优寻迹路径运行和改进的PID算法,使小车可以更快更稳地运行在跑道上,并且具有良好的鲁棒性。

## 1 系统总体设计

自寻迹小车控制系统的总体框图如图1所示<sup>[3]</sup>。

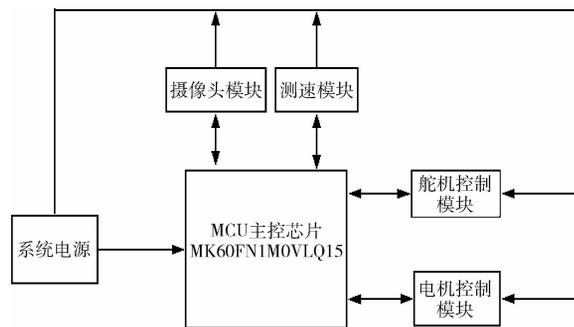


图1 系统控制框图

设计原理:4轮小车采用直流电机做为动力,供给7.2V电源,数据采集采用数字摄像头,跑道边缘为黑色,跑道中心为白色,背景深蓝色。这样采集图像之后可以得到跑道信息,寻迹方向使用跑道两边的黑色边缘坐标相相除以2的中线,小车跟随这条中线运行,这样可以保证小车不冲出赛道。控制小车转向的是舵机,要想小车运行稳定需要

PID 控制算法,要想小车以最短的时间跑完赛道,需要对图像处理算法。在完成这些之后,系统设计模型就建立了。

### 2 系统硬件设计

#### 2.1 电源电路设计

运用 TPS7350 芯片将 7.2 V 电源稳压 5 V 供给舵机和 MCU,用 AMS 公司的 AMS1117 芯片把 5 V 电源转成 3.3 V 给摄像头供电<sup>[4-5]</sup>。电源模块原理图如图 2 所示。

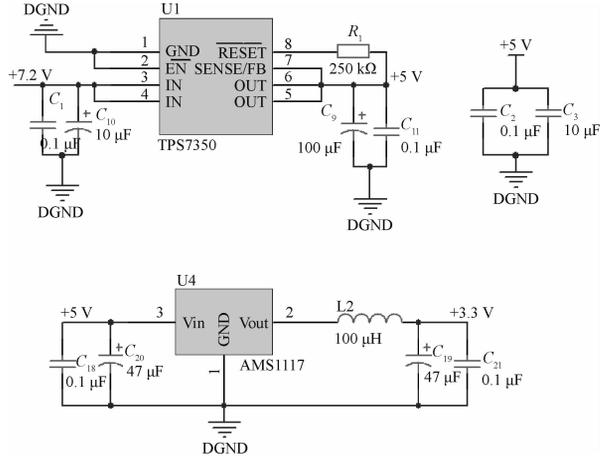


图 2 电源模块

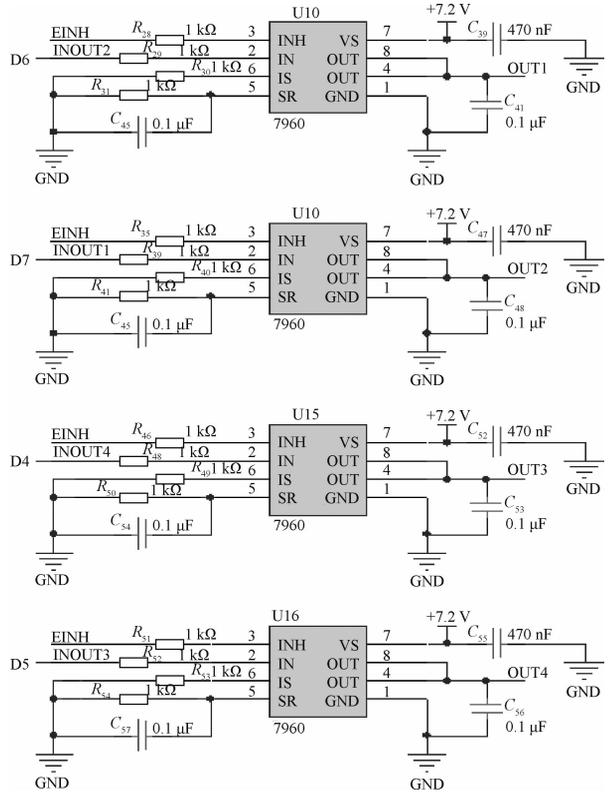


图 3 电机驱动

#### 2.2 电机驱动电路

电机驱动芯片采用英飞凌半导体公司的 BT7960,该芯片适用于 AC/DC 有刷直流电机,本次设计的小车是双电机,4 路 PWM 波输出<sup>[6-7]</sup>,设计原理图如图 3 所示:

### 3 系统软件设计

自寻迹小车的硬件部分是实现小车运动的基础,而软件部分则是智能小车能否按照预设算法运行的绝对核心。以最快最稳定的方式跑完全程是本设计的最终目的。软件设计的设计框图如图 4 所示。

#### 3.1 图像中线提取

要想小车按照赛道变化自适应平稳运行,必须设计一个预定义算法,告诉小车如何运行。摄像头采集 8 位数据 0~255 的灰度图像,经过硬件二值化得到 0/1 数据(0 表示白,1 表示黑)<sup>[8]</sup>。赛道元素的背景是蓝色底,赛道中间是白色,在二值化之后,只有黑白两种颜色,本设计使用分辨率 80x60 的采集模式,摄像头图像的坐标分布如图 5 所示,赛道二值化之后的图像如图 6 所示。

要想小车运行时不跑出赛道,首先应该提取赛道的中心线,这样可以让小车在运行时始终保持居中行驶。

边沿提取算法:中间往两边搜索,图像中线以分辨率的一半开始搜索,采用 80x60 的采集方式,故横坐标 x=40 处为中线,分别搜索出左边黑线和右边黑线,左边黑线从 x=40 处向左搜索直到像素点从白变成黑且黑点连续,即

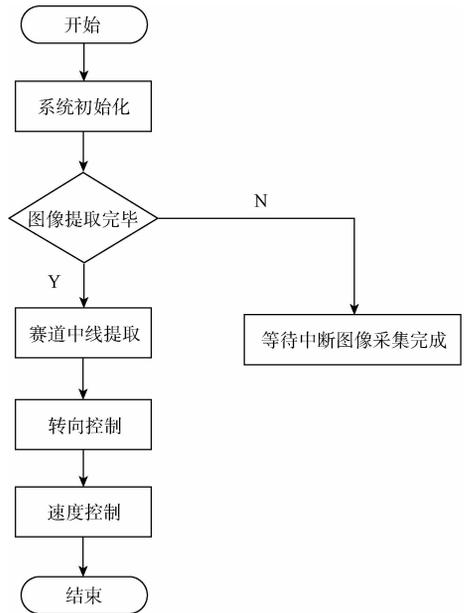


图 4 软件设计整体框图

判定为左边界,右边界就从 x=40 处往右搜寻,直到像素点从白变成黑且黑点连续,即为右边界,得到左右边界坐标之后相加除以 2 得到中线坐标。

考虑到实际运行中车身可能会有偏移,改进后的算法



图5 摄像头图像坐标系

$u(k)$ ——第  $k$  次输出控制量;  
 $e(k)$ ——第  $k$  次偏差;  
 $e(k-1)$ ——第  $k-1$  次偏差;  
 $K_P$ ——比例系数;  
 $T_I$ ——积分时间常数;  
 $T_D$ ——微分时间常数;  
 $T$ ——采样周期。

小车采用 S3010 数字舵机控制方向,为了便于计算,程序中设置舵机工作频率为 100 Hz,经过实际跑道的多次实验,选择如下控制策略。

部分核心代码:

```
err=mid-40;
direction[0]=direction[1];
direction[1]=direction[2];
direction[2]=direction[3];
direction[3]=err;
float K_P=0.0;
float K_D=30.0;
K_P=err * err * 0.17+0.18;
```

```
duojidata=(int)(K_P * direction[3]+K_D * (direction[3]-direction[0])+0.5);
duojiduty=1690-duojidata
```

其中,  $mid$  为赛道提取出左右边界之后,左右边界相加除以 2 的赛道实际中心线,40 为采集像素点的中线,因为横坐标是 80,故 40 是像素中线,这样相减得出小车与实际像素中线的偏差,而这个偏差正是 PID 算法索要去控制的,偏差大,舵机转角大,反之亦然。  $direction$  是一个数组,包含 4 个数据,分别存储当前偏差、前一次偏差、前一次和前前一次的偏差,这是 PID 控制算法所需要的,对于比例系数  $K_P$ ,做了适当的改进,采用二次函数拟合方式。经过测试,二次函数拟合能够让小车在进入弯道时,迅速响应的同时而不一直“摇头”(摇头是指小车运行是车头一直左右晃动),提高了系统稳定性。希望控制小车以平滑运行的方式进行运动,这就需要对 PID 控制算法做一定的改进。  $duojidata$  是比例和微分项组合,之所以没加上积分选项,是因为不使用积分项的时候,小车在直线运行时车身已经非常稳定,相反加上之后,增大了调试参数的难度,在已经稳定运行的前提下,可以将积分  $K_I$  置零。要想小车的动态响应能力更强,微分项  $K_D$  采用定值。中心线位置和动态  $K_P$  值的二次函数关系如图 8 所示。  $duojiduty=1690-duojidata$  中,1690 是舵机的中值,即舵机直线行驶时,转角正中的脉冲值,用这个值减去 PD 控制算法之后的舵机值,得到  $duojiduty$ ,即舵机实际脉冲的宽度,在多次调试参数之后,达到了满意的控制效果。

### 3.3 直流电机的 PID 控制算法

对于速度的 PID 控制算法,其基本原理和舵机一致,但是在电机控制中,加入了积分项  $K_I$ ,积分项用于消除静

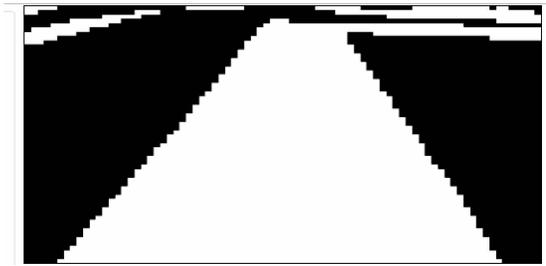


图6 黑白二值化图像

为:搜索左边界从  $x=50$  处开始向左搜寻,搜寻右边界从  $x=30$  处向右搜寻。这样做的原因是在小车过弯的时候车身会偏移,在图像的绝对中心处搜索左右边界可能失败。经过提取左右黑线以及中心线之后,就可以控制小车如何去运行了。

### 3.2 舵机 PD 控制算法

在自动化控制系统应用中,PID 控制器是一种最常见控制器,它根据期望值与系统实际输出值的偏差构成反馈控制系统,最终达到期望值与实际值的偏差最小控制效果。PID 是比例(P),积分(I),微分(D)的合写<sup>[9-11]</sup>。PID 控制原理框图如图 7 所示。

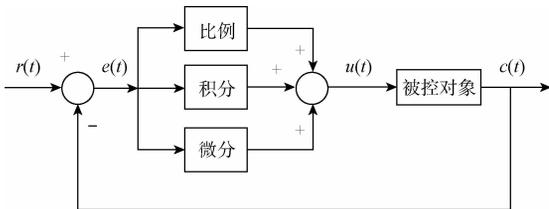


图7 PID 控制器原理框图

在微处理器控制系统中,数字 PID 控制是最常见的控制方式,其数学表达式如下:

$$e(k) = r(k) - c(k) \quad (1)$$

$$u(k) = K_p \{ e(k) + T/T_I \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + T_D/T [e(k) - e(k-1)] \} \quad (2)$$

$k$ ——采样序号, $k=0,1,2,\dots$ ;  
 $r(k)$ ——第  $k$  次给定值;  
 $c(k)$ ——第  $k$  次实际输出值;

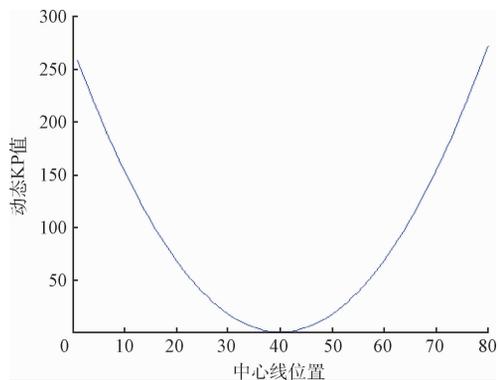


图 8 中心线位置和动态 K\_P 值的二次函数曲线

态误差,如果任由电机的静态误差增大,将使小车出现跑飞而不受控制的情况,这点和舵机控制不同。基本的控制思路是直线和小 s 弯道加速行驶,大弯道和十字路口减速行驶。中心线位置和给定速度的二次函数曲线如图 9 所示,可以看出在车身处于中线附近时速度快,偏离中线越多,速度相应越慢<sup>[12-13]</sup>。

程序主体如下:

$$PID\_control = Most\_HighestSpeed - (mid\_line - 40) * (mid\_line - 40) * (Most\_HighestSpeed - Most\_LowestSpeed) / 3000;$$

其中,Most\_HighestSpeed 为最高速,mid\_line 为中心线位置,范围为 0~80,Most\_LowestSpeed 为最低速。图 9 中,Most\_HighestSpeed 为 3 200,Most\_LowestSpeed 为 1 200,最高速和最低速通过程序设定,通过调节 PID 参数,最终达到最理想的状态。

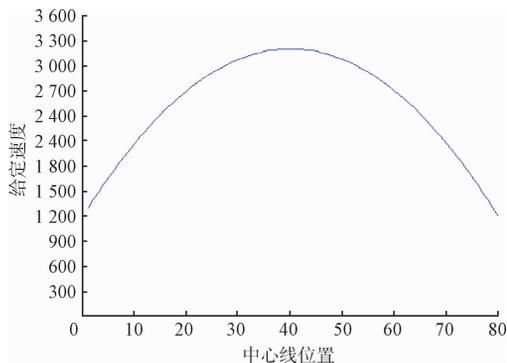


图 9 中心线位置和给定速度的二次函数曲线

### 3.4 斜率拟合最佳路径

为了让小车在小 S 弯道可以走直线,选择适当斜率法拟合曲线<sup>[14]</sup>。这样可以让小车尽可能运行在最短的路径上。赛道原始图像如图 10 所示,二值化图像如图 11 所示,中心线图像如图 12 所示,可以看到中心线是连续小弯,为了减少小车运行路程并提高速度,采用斜率拟合方式,算法思路如下:

得到中心线之后,求得中心最左边和最右边黑线的像素点,将其相加除以 2 得到样点,于是用样点和中线黑线的中点确定斜率,最终斜率拟合效果如图 13 所示。

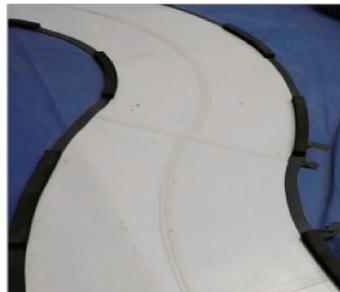


图 10 原始图像



图 11 二值化图像



图 12 中心线图像

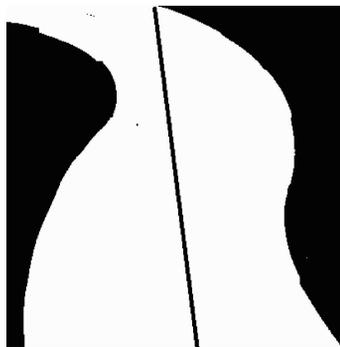


图 13 斜率拟合后图像

## 4 结 论

在车模安装的过程中,需要合理的机械设计以及硬件设计作为基础,辅以数字信号处理的算法设计,将能达到可靠的控制效果。

本文以 cortex-M4 内核的飞思卡尔公司 32 位处理器为核心,组合 OV7725 数字摄像头为寻迹传感器,运用经典的 PID 控制算法,结合数字图像处理的基本思想,使小车在复杂赛道元素的情况下以 2.7 m/s 的速度稳定运行。实际测试表明本设计给出的算法设计能够在小车快速运行的状态下具有很好的鲁棒性<sup>[15]</sup>。

## 参考文献

- [1] 喻涛. 基于无线控制模式的智能小车设计[D]. 南京: 南京理工大学, 2015.
- [2] 帅盼, 张海宁, 白福, 等. 基于超声波测距的汽车倒车避障系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(10): 54-56.
- [3] 孙书诚, 郎朗, 王虎. 基于路径识别的寻迹智能车设计与实现[J]. 安徽工程大学学报, 2012, 27(1): 60-63.
- [4] 宁慧英. 基于光电传感器的智能小车自动寻迹控制系统[J]. 仪表技术与传感器, 2012(1): 108-110.
- [5] 黄润焯, 吕海涛, 舒文江等. 基于飞思卡尔 XSI28 单片机的双车追逐控制系统设计[J]. 机电技术, 2016(3): 66-67.
- [6] 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(3): 51-54.
- [7] 张铮, 张江宁, 薛竹村等. 寻迹避障灭火功能智能小车设计[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(11): 141-145.
- [8] 郭斯羽, 周卫方, 温和等. 利用二叉树编码的快速二值化图像逻辑运算方法[J]. 电子测量仪器学报, 2016, 30(3): 845-853.
- [9] 李碧月. 基于闭环控制算法和 PID 优化算法的智能小车软件系统设计[J]. 软件工程, 2016, 19(9): 1-10.
- [10] 叶金鑫. 基于模糊 PID 的智能小车控制算法研究[J]. 实验科学与技术, 2016, 14(1): 46-47.
- [11] 周向阳, 贾媛. 航空遥感惯性稳定平台模糊/PID 复合控制[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(11): 2546-2553.
- [12] 吕书信, 张北伟, 王泽澄. 基于 STM32 分拣搬运机器人控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(9): 101-104.
- [13] 胡桐. 四轮独立驱动和转向移动机器人的设计与控制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [14] 高云波, 季聪, 汉鹏武. 基于摄像头识别路径的智能车系统设计[J]. 兰州理工大学学报, 2013, 39(6): 98-102.
- [15] 申建伟. 基于 ARM 的智能车控制系统研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2014.

## 作者简介

阳光, 在读研究生, 主要研究方向为嵌入式。

E-mail: 906305302@qq.com