

基于 Kinetis K60 的智能车控制系统设计

于少东, 黄丹平, 田建平, 胡 勇

(四川理工学院机械工程学院, 四川 自贡 643000)

摘 要:针对目前智能车控制中,控制电路复杂以及控制芯片内部资源有限导致系统稳定性差等问题,提出了一种基于飞思卡尔 Kinetis K60(简称 K60)的智能车控制系统,并设计了系统硬件和软件。采用 CMOS 高速数字摄像头,简化了硬件电路,提高了系统实时性。最后,应用增量式 PID 控制算法完成舵机和电机控制,并通过实验调试确定了系统参数。

关键词:智能车;CMOS 摄像头;PID;蓝牙;MCU

中图分类号:TP273.5

文献标志码:A

引 言

随着人工智能和计算机技术的发展,智能化是下一代汽车技术追求的主要目标之一。该目标的实现依赖于模式识别、控制、机械、通信、传感器技术等诸多学科。智能车控制系统主要功能包括路径规划、转向控制、速度控制三个方面。机器视觉作为智能车与外界交互的窗口,在其控制系统设计中占有重要地位。CMOS 摄像头具有探测信息全面、抗干扰能力强、体积小、低功耗、易于配置、可控性强等特点,在机器视觉系统中应用广泛。本文采用飞思卡尔的 32 位单片机 K60 为核心控制器,利用 OV7640 数字摄像头采集路径信息,设计了一种自主循迹的智能小车自动控制系统,具有结构简单、处理能力强、鲁棒性好等特点^[1-6]。

1 智能车控制系统结构

本文中智能车运行路径为白底,道路两边为黑带。智能车完成循迹功能,一方面要通过摄像头获取路径信息,另一方面由控制器根据路径完成行走控制。据此,设计智能车控制系统构成如图 1 所示。该系统共分为四个模块:传感检测模块、决策模块、执行模块、系统电

源模块。其中,传感检测模块用于获取路径信息,并向决策模块提供电机运行状态,同时提供与上位机交互的无线接口。决策模块接收传感检测模块的信息后,经程序处理后完成决策。执行模块则根据决策模块的要求进行动作^[7-8]。

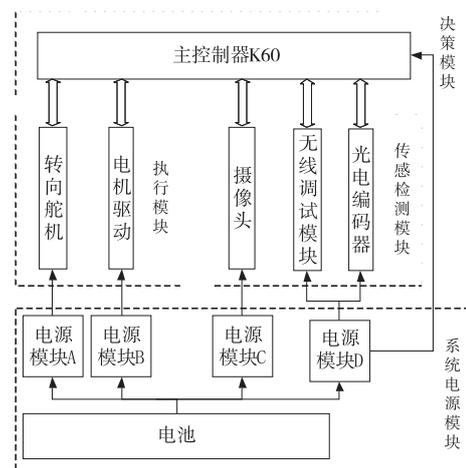


图 1 智能车控制系统结构

1.1 决策模块

决策模块主要由核心控制芯片及其外围电路组成的最小系统构成,本系统选择飞思卡尔 Kinetis 系列的

收稿日期:2014-03-12

基金项目:过程装备与控制工程四川省高校重点实验室项目(GK201209);四川理工学院人才引进项目(2010XJKR1011)

作者简介:于少东(1987-),男,河南南阳人,硕士生,主要从事智能仪器与仪表方面的研究,(E-mail)yushdd@163.com

MK60DN512ZVLQ10 型微控制器。CPU 频率为 100 MHz,内核为 ARM Cortex - M4,具有 32 通道的 DMA 用于与外设进行数据传输。Cortex - M4 内核针对是 ARM 对经典单片机应用而设计,具有成本低、功耗小、中断响应快、处理效率高等特点,尤其适用于实时控制系统。智能车控制具有极高的实时性,同时图像采集及处理需要控制器具有较强的运算能力。因此,普通的 16 位单片机在智能车高速运行时,难以满足图像采集及控制要求。另外,K60 丰富的内部资源利于智能车功能扩展及系统调试,故选择 K60 作为控制器。

1.2 传感检测模块

传感检测模块中摄像头负责采集路径信息,光电编码器获取电机转速及方向,无线调试模块用于接收调试指令以及配合上位机监测控制系统运行状态。

1.2.1 摄像头

OV7640 为 CMOS 数字摄像头,不需要额外的视频分离和采样电路,同时可通过串行接口控制总线协议 (Serial Camera Control Bus, SCCB) 灵活设置图像格式,减轻后期图像处理负担。然而,由于其传输速率极高,像素时钟周期达 37 ns,普通微控制器很难完整采集到信号。而 K60 的 DMA 传输方式可以满足图像采集速度要求。因此,采用该方案可降低图像采集电路复杂度和微控制器负担,提高控制系统的稳定性和实时性。OV7640 与 K60 连接方式如图 2 所示。摄像头引脚 Y0 ~ Y7 分别连接 K60 的引脚 PTD0 ~ PTD7;行、场中断 HREF、VSYN 分别连接引脚 PTB23、PTA27;像素中断 PLCK 连接引脚 PTC19;SCCB 配置引脚 SCL 和 SDA 分别连接 PTC12 和 PTC13。

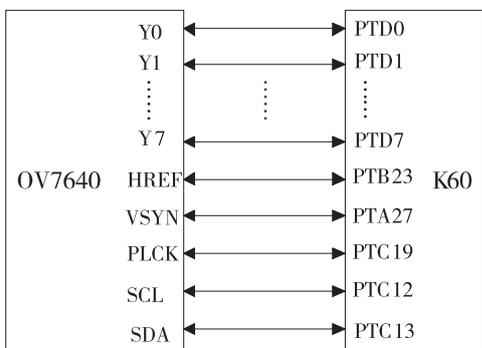


图 2 摄像头与微控制器连接方式

1.2.2 光电编码器

为了实现对电机实时控制,需要安装测速编码器。本文选择光电编码器,码盘安装在电机转子上,与电机同步运转。当电机运转时,编码器脉冲输出端口 A、B 同时输出脉冲信号,选择 A、B 端口其中一个可满足测速功

能。至于转向判断,由 D 触发器 74LS74 检测 A、B 端口脉冲的相位差实现^[9]。编码器与 K60 连接如图 3 所示,其中,PTB0 用于接收脉冲信号,PTB1 用于判断电机转向。

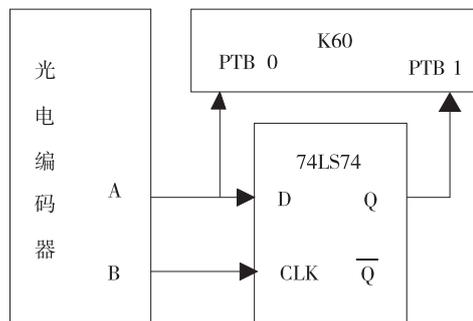


图 3 速度检测原理

1.2.3 无线调试模块

智能车控制算法调试在其设计过程中占有重要地位,高效的调试方式有利于加快工作进度。常用的调试方式通过修改并下载程序实现,占用大量的时间。而在线系统监测及参数修改,尤其是采用无线方式,能有效地提高开发效率。调试模块结构如图 4 所示,分为主、从两个模块。控制器与上位机通信实质是串口通信,通信介质由传输线变为蓝牙信号,且串口都为 TTL 电平。主模块通过 USB 转 TTL 串口与上位机通信,从模块则通过蓝牙转串口与 K60 的 PTC3 和 PTC4 引脚连接。主从模块按照蓝牙协议进行配对,完成上位机与微控制器通讯。

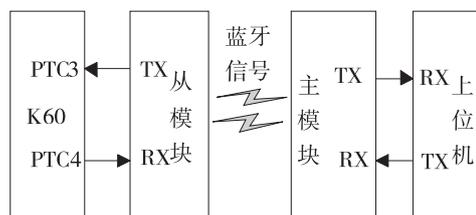


图 4 无线调试网络结构

1.3 执行模块

K60 完成信息采集,并经算法处理完成决策后,输出控制信号。这时由执行模块实现智能车速度和转向控制。执行模块如图 5 所示,包括舵机和电机及其驱动电路。舵机 S - D5 数码舵机采用三线制控制,其中控制线与 K60 引脚 PTA10 连接,并根据其输出的 PWM 信号进行转向动作。电机驱动芯片选用两个 BTS7960,采用 H 桥驱动方式,以实现速度快速调节。BTS7960 的使能引脚 INH 与 PTA8 连接,当 PTA8 为高电平时,芯片使能。两个芯片的输入信号引脚 IN 与 PTA6 和 PTA7 连接,输出引脚 OUT 用来驱动电机。

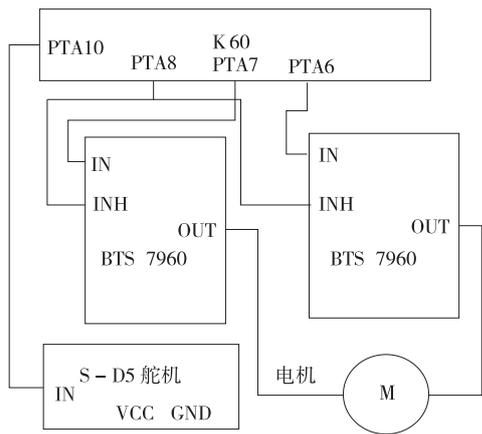


图 5 执行模块结构

1.4 系统电源方案设计

系统电源由电压 7.2 V,容量 2000 mAh 的电池提供。为了避免控制系统各模块间电磁干扰,以及单个电源模块功率限制,采用四个电源模块对其分别供电。电机和舵机消耗功率较大,避免芯片发热过大,因此分别采用一个模块供电。当电压过低或存在电磁干扰时,摄像头图像容易发生失真,可能导致路径信息判断错误,所以,需要对摄像头单独供电。编码器、控制器和调试模块功耗较低,共用一个电源模块。

2 智能车软件设计

完成智能车硬件系统搭建后,需要进行软件设计。程序包括三个部分:底层驱动程序、数据采集程序和数据处理及控制程序,流程如图 6 所示。

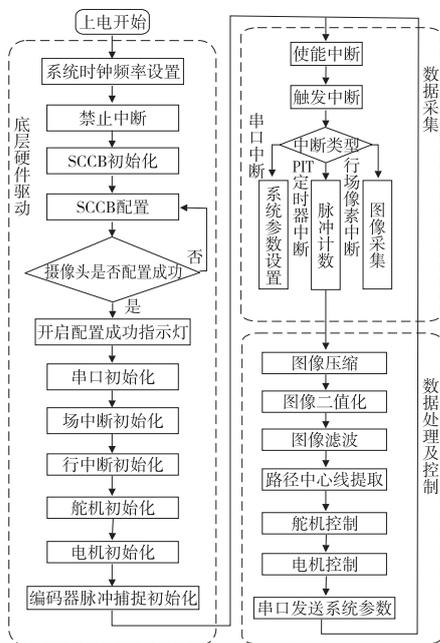


图 6 智能车程序结构

2.1 驱动程序设计

控制器上电后,首先进行硬件初始化。硬件初始化步骤说明:

(1) 执行 K60 工作频率设定程序,设定系统时钟,关闭芯片中断功能。

(2) SCCB 初始化及配置。OV7640 具有多种工作模式,在开始图像采集之前须按要求进行 SCCB 配置,以选择最佳模式。这里设置 K60 的 PTC12、PTC13 为普通 IO 口,通过 SCL、SDA 接口配置摄像头。SCCB 设置可能失败,因此设置循环进行多次配置。若配置成功则指示灯亮,跳出循环。

(3) 串口初始化。无线调试用到 K60 串口功能,这里选择 PTC3、PTC4 作为串口收发端口。串口初始化包括选择控制器的串口收发引脚、设置引脚功能、设置串口格式等。

(4) 行、场中断初始化。分别开启 PTB23、PTA27 端口时钟并选择引脚功能、中断触发模式和该端口中断号。

(5) 舵机驱动模块初始化。舵机是根据 PWM 信号占空比调整转向角度。K60 芯片的 FTM 模块具有发生 PWM 信号功能,而 K60 具有多个 FTM 模块,每个模块具有多个通道。这里选择 FTM2,通道 0,对应的控制器引脚为 PTA10。设置 PWM 信号频率及占空比,使舵机处于中位。

(6) 电机驱动模块初始化。电机与舵机都是由 PWM 信号驱动。不同的是,电机的减速、刹车功能需要占用 FTM 模块的两个通道才能实现,而且 BTS7960 需要使能才有输出。选择 FTM0 的通道 3 和通道 4,对应引脚 PTA6 和 PTA7。设置 PTA8 为高电平来实现驱动芯片 BTS7960 使能。

(7) 编码器脉冲捕捉模块初始化。该部分利用 FTM 模块的脉冲捕捉功能实现,选择 FTM1 的通道 0。同时,初始化 PIT 定时模块中的 PIT0 每隔 10 ms 产生一次中断。

2.2 数据采集程序设计

程序完成硬件初始化后,使能芯片中断功能,此时若有中断源触发中断,则程序跳入中断程序。本系统中断分为三类:

(1) 串口中断。当系统参数需要修改时,由上位机软件通过串口发送相应参数到控制器。程序跳入串口

中断服务程序,这时程序根据接收到的数据修改系统参数。

(2) 脉冲计数。PIT0 定时器计时开始时,设置脉冲数为0,定时结束时产生中断,执行中断服务函数统计FTM1 模块产生脉冲数,作为电机速度反馈。

(3) 图像采集。采集图像信号时,控制器首先捕捉PTA27 的场中断信号,进入场中断,场中断标志置1。然后,捕捉PTB23 行中断信号,执行行中断服务函数。根据PTC19 接收到的像素中断信号,由行中断服务函数,采用DMA 方式逐像素点采集图像。

2.3 数据处理及控制程序

图像及传感器信号采集结束后,控制器开始进行数据处理和控制决策。

(1) 图像处理。摄像头采集的图像分辨率较高(图7),直接进行处理,会占用大量的控制器资源。



图7 采集图像

用于路径识别和智能车控制,利用压缩图像(图8(a))提取道路关键特征信息即可,并在此基础上进行二值化(图8(b))。为避免图像中噪点和路径上杂点影响路径信息判断,须对二值化图像进行滤波,滤波后(图8(c))路径外侧为黑色,内侧为白色。完成上述处理后通过寻找路径边缘,并根据边缘位置求出赛道中心线,提取效果如图8(d)所示。

(2) 控制策略。电机和舵机控制依据图像处理获取的道路中心线。中心线将一副图像分为左右两部分,经采集图像分析,对于不同的路径,如大弯道、小弯道、十字路口、直道等,中心线左右两幅图像面积分别呈现不同的比例。因此,本文将中心线左右赛道面积差值作为舵机姿态控制的依据。而电机速度控制则根据路况信息调整,以实现平均速度最大化。该部由两个子程序分别实现智能车速度控制和转向控制。当系统完成决策后,将系统参数通过串口发送到上位机。

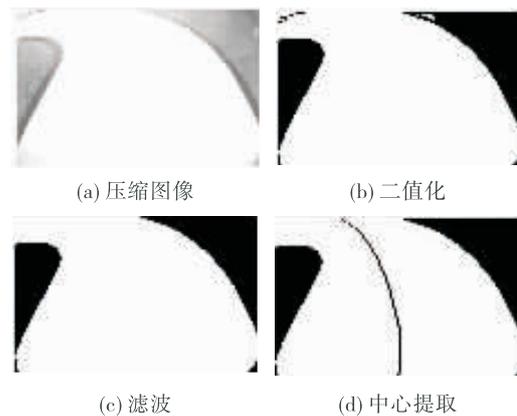


图8 图像处理步骤

3 智能车控制算法及实验

3.1 控制算法

PID 控制是一种很灵活的控制方式,根据系统情况,通过调整PID 参数,使用PID 算法控制的电机和舵机具有很高的响应速度。智能车系统适用数字PID 控制,而数字PID 根据输出量可分为位置式PID 和增量式PID 控制。其中位置式PID 控制算法输出量具有累积效应,控制系统容易出现超调现象。而增量式PID 控制可避免此种现象,同时还可以通过逻辑判断去掉误动作,故采用后者^[10-13]。

几种典型路径示意图如图9 所示。在图像处理后得到中心线,并求出两侧面积差 $e(k)$ 。可以看出,对于大弯道、小弯道和S 弯道中心线两侧面积差异明显。而直道和十字路口两侧面积几乎相等。实线S 弯道和虚线S 弯道类似,可归为一类。因此,算法处理分为四种方式。

采用增量式PID 控制舵机算法流程如图10 所示。完成路径识别后,根据路径选择相应的控制策略,设置舵机控制参数 P 、 J 和 D ,并计算控制增量 $\Delta u(k)$ 。最后依据 $\Delta u(k)$,并判断误差是否超出最大或最小范围,限定输出幅度后,调用舵机控制函数,改变PTA10 端口的PWM 信号脉冲宽度以调整舵机姿态。

电机控制也采取上述算法。不同的是,控制增量来自光电编码器反馈,而且在完成路径判断后,设定电机PID 控制参数的同时要设定电机速度。

3.2 实验

根据本文设计的硬件和软件,制作小车控制系统并完成安装。图11 为小车正在通过十字路口。

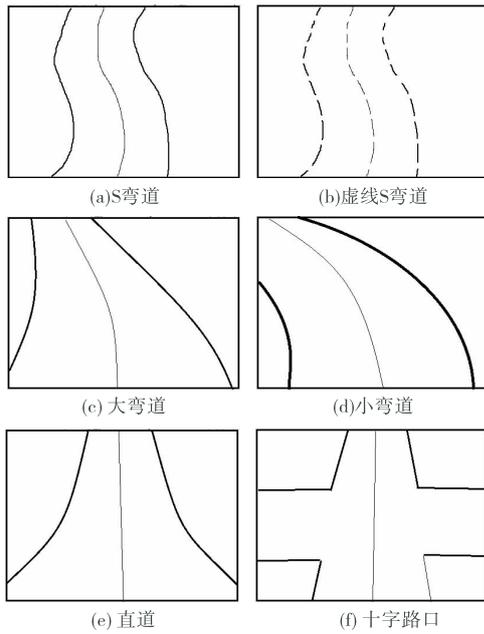


图 9 路径分类

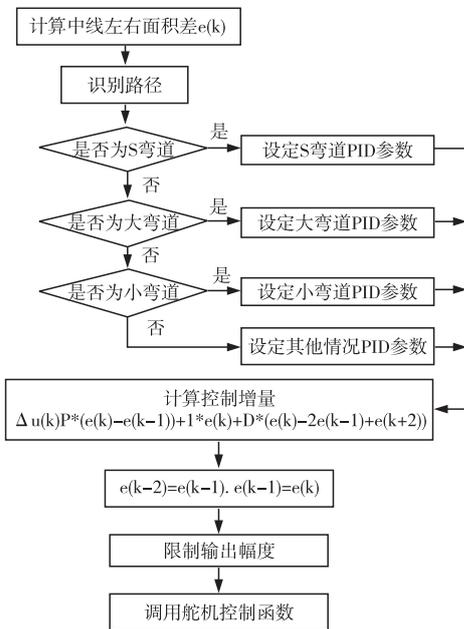


图 10 增量式 PID 舵机控制程序流程

经过调试,修改舵机 PID 控制参数,见表 1。根据实验表明,舵机 P 与路径曲率有关,当曲率大时,调高 P 值,利于增加舵机响应速度,快速满足转向要求。然而, P 值增大会引起系统震荡,所以引入积分项 I ,但是可能引起系统滞后,所以数值不宜大。通过微分项 D 预测舵机变化趋势,抑制误差。

电机控制参数见表 2。电机 PID 控制参数主要用于快速的速度切换,以适应赛道。例如,速度未达到设置速度时,迅速提高速度。当进小弯道时,需要适当降低速度,



图 11 自主行驶中的智能车

表 1 舵机 PID 参数及 PWM 设置

路径	PWM 频率(Hz)	PWM 占空比	P	I	D
S 弯道	500	$\Delta u(k)$	0.53	0.005	0.23
大弯道	500	$\Delta u(k)$	0.70	0.006	0.31
小弯道	500	$\Delta u(k)$	0.83	0.01	0.43
其它	500	65	0.52	0.005	0.22

以避免离心力过大,车身滑出车道。因此,电机速度需要快速调节。与舵机一样,当 P 值增大时,可能引起震荡,导致平均速度降低。

表 2 电机 PID 参数及 PWM 设置

路径	PWM 频率(Hz)	PWM 占空比 1	PWM 占空比 2	P	I	D
S 弯道	300	70	12	5	0.11	2.0
大弯道	300	70	15	4.9	0.1	2.2
小弯道	300	70	20	4.7	0.12	2.1
其它	300	70	10	5	0.1	2.3

4 结束语

本文提出了基于 K60 的智能车控制系统,根据控制系统功能设计了系统硬件,并编写了控制器及外围电路驱动程序和控制程序,经过调试确定了系统的关键参数。采用 K60 控制器和 OV7640 数字摄像头,降低了系统复杂度,提高了控制系统实时性和稳定性。应用增量式 PID 算法进行舵机和电机控制,经测试,该系统能可靠稳定的运行,智能车能准确的识别路径,具有抗干扰能力强、响应速度快等特点。同时,进一步提高智能车运行速度,需要克服智能车高速运行时出现的振荡和稳定性不足问题。因此,控制算法优化是下一步的研究重点。

参考文献:

[1] 吴斌华,黄卫华,程磊,等.基于路径识别的智能车系

- 统设计[J].电子技术应用,2007(3):80-82.
- [2] 李进.视觉导航智能车辆的路径识别和跟踪控制[D].合肥:合肥工业大学,2008.
- [3] 刘彩虹.智能小车路径跟踪技术的研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [4] 梁业宗,李波,赵磊.基于路径识别算法的智能车控制系统的设计[J].自动化技术与应用,2009(1):121-123,117.
- [5] 陈孟元,孙书诚,王虎.基于图像识别的寻迹智能车设计[J].重庆理工大学学报:自然科学版,2013(3):80-84.
- [6] 李旭东,廖中浩,孟娇.基于CMOS摄像头的智能车控制系统设计及实现[J].吉林大学学报:信息科学版,2013(4):414-418.
- [7] 王瀛洲.智能车自主寻迹系统硬件的设计分析[J].仪器仪表用户,2011(1):60-62.
- [8] 刘伟.基于MC9S12XS128微控制器的智能车硬件设计[J].电子设计工程,2010,18(1):102-103,105.
- [9] 潘明东.光电编码器输出脉冲的几种计数方法[J].电子工程师,2004,30(8):69-71.
- [10] 历风满.数字PID控制算法的研究[J].辽宁大学学报:自然科学版,2005,32(4):367-370.
- [11] 杨智,朱海锋,黄以华.PID控制器设计与参数整定方法综述[J].化工自动化及仪表,2005(5):1-7.
- [12] 夏红,赏星耀,宋建成.PID参数自整定方法综述[J].浙江科技学院学报,2003(4):236-240.
- [13] 赵景波.MATLAB控制系统仿真[M].北京:机械工业出版社,2010.

Control System Design of Smart Car Based on Kinetis K60

YU Shaodong, HUANG Danping, TIAN Jianping, HU Yong

(School of Mechanical Engineering, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract: In view of the poor stability and other problems caused by the complex control circuit and limited internal resource of control chip in the existing smart car control system, a control system for smart car based on Kinetis K60 (K60 for short) is proposed. The hardware and software for the system are designed. The hardware circuit is simplified and the instantaneity of system is improved by using CMOS high speed digital camera. At last, incremental PID control algorithm is applied to control the steering gear and motor, and the system parameter is set by experimental debugging.

Key words: smart car; CMOS camera; PID; Bluetooth; MCU