

多传感器融合的智能车设计方案及控制研究

赵 鹏,张 艳*,姜利玲

(新疆理工学院 机电工程学院,新疆 阿克苏 843000)

摘要:智能小车的种类、控制要求多种多样,实现的功能也各不相同。分别针对两个主动轮和一个从动万向轮构成的三轮小车、四驱小车、舵机控制前轮转向与后轮主动差速的阿克曼小车、两轮平衡小车、麦克纳姆轮全向智能车为控制对象,通过对以主从机控制模式智能车的机械结构、控制系统硬件结构、器件选择及性能对比、软件设计流程、控制算法实现及软件结构分析揭示智能车控制机理;提出针对不同机械结构的智能车,采用不同控制器、不同传感器实现智能车的循迹、无线控制的设计方案;分析不同类型小车的 PID 调参方法并总结调试过程中存在的问题。对于多传感器融合的智能小车在选型、设计、路线规划、远程控制、调试方面有一定的指导意义。

关键词:智能小车;PID 调参;多传感器融合;路线规划

中图分类号:TP273

文章编号:1000-0682(2024)06-0081-07

文献标识码:A

DOI:10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2024.06.015

Research on the design scheme and control strategy of smart car with multi-sensor fusion

ZHAO Peng,ZHANG Yan*,JIANG Liling

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Xinjiang Institute of Technology, Xinjiang Aksu 843000, China)

Abstract: Smart car have various types and control requirements, and achieve different functions. Respectively to two active wheels and a slave universal wheel composed of three-wheeled trolley, four-wheel-drive trolley, servo control front-wheel steering and rear-wheel active differential Ackerman trolley, two-wheeled balanced trolley, Meachum wheel omnidirectional intelligent vehicle as the control object, through the master-slave control mode intelligent vehicle mechanical structure, control hardware configuration, device selection and performance comparison, software design process, the implementation of the control algorithms and software structure analysis reveals the control mechanism of the intelligent vehicle. The design scheme of tracking and wireless control of smart cars with different controllers and sensors is proposed for smart cars with different mechanical structures. Analyze PID tuning methods for different types of small cars and summarize the problems that exist during the debugging process. It has certain guiding significance for the selection, design, route planning, remote control, and debugging of intelligent vehicles with multi-sensor fusion.

Keywords: smart car; PID parameterization; multi-sensor fusion; route planning

0 引言

智能小车广泛应用于物流配送、工业生产线自动化、智能家居服务、医疗护理等场合,其控制方式有循迹、避障、手势控制、遥控等;涉及的传感器有光电或电磁巡线传感器、线性 CCD、含有三轴陀螺仪和三轴加速度的 MPU6050、超声波传感器、激光测距传感器、手势识别传感器、红外传感器等;智能车

收稿日期:2024-05-25

基金项目:“天池英才”引进计划资助项目。

第一作者:赵鹏(1982—),男,陕西合阳人,硕士,副教授,主要从事数据采集与处理方面的研究。E-mail:zhaopeng9500@126.com

通信作者:张艳(1986—),女,重庆人,硕士,讲师,主要从事机器视觉方面的研究。E-mail:1040720146@qq.com

的常用控制器有 STM32 系列、MSP430 系列及 STC 系列等;主从机控制模式下的无线传输模块有蓝牙、WiFi、NRF24L01、红外遥控等;涉及的控制算法主要为 PID 控制^[1-2]。

根据应用场合将不同底盘的智能小车,搭载不同控制器及传感器实现循迹、避障、无线控制等操作,是智能小车的典型应用,而不同控制器、不同外围硬件、不同控制方案的选择对软硬件设计的难易程度、控制效果难以精确预测。鉴于此,该设计通过不同硬件结构下智能车的实物调试及验证,总结智能车的不同设计方案、设计效果、改进措施及调试过程中存在的问题及解决方案,对智能车的设计提供借鉴。

1 硬件结构

1.1 机械结构

智能小车根据机械结构一般有两个主动轮和一个从动万向轮构成的三轮小车、四驱小车、舵机控制前轮转向与后轮主动差速的阿克曼小车、两轮平衡小车、麦克纳姆轮全向智能车等。其转速调节的常规方法为 PWM 调速,转向通过差速、舵机或根据麦克纳姆轮的安装利用独立驱动对角线电机的转向实现。具体机械结构如图 1 所示。

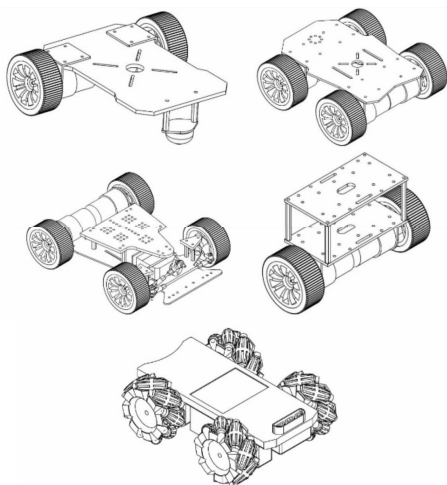


图 1 不同类型的智能车底盘

1.2 主机控制系统组成

以主控制器为核心,整个系统一般采用三节 18650 或 3S 锂电池供电,其他外围电路则通过稳压输出的 5 V 或 3.3 V 供电。驱动电路一般采用 TB6612、A4950、L298N 等;编码器的选择对于控制精度要求较高的场合如平衡小车设计采用编码器线数为 300 ~ 500 ppr 的光电或巨磁阻 GMR 编码器,其他场合可以选择性价比较高的霍尔编码器;编码

电机一般通过齿轮减速,可适用于不涉及 PID 调速情况下的爬坡功能;MPU6050 用以测量三轴加速度和角速度的值;控制器通过驱动电路控制智能车左右电机的运行,并读取左右电机编码器单位时间内的脉冲数量确定转速,根据脉冲的相位确定转向;主控制器根据 MPU6050 采集的数据、当前左右电机转速及转向结合 PID 控制算法,实现对平衡小车直立和速度控制或三轮、四驱小车的按规划路线运行。OLED 用以实现测量参数如横滚角、俯仰角及电机转速等测量参数的显示,以便于 PID 参数的整定;舵机控制转向或搭载超声波或激光传感器实现对周边障碍物距离的测量;无线传输模块则可通过从机或手机端对其转速和转向的控制。具体主机控制系统结构如图 2 所示。

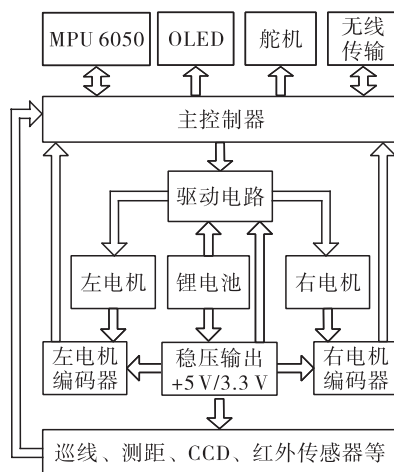


图 2 主机控制系统结构图

1.3 从机控制系统组成

从机控制系统实现对主机控制系统运行参数的监控及运行路线的远程控制,其控制方式有按键控制、手势控制及语音控制等。一般为了程序移植的便捷及无线传输协议的兼容,从机控制器及无线传输模块与主控制系统的型号相同。具体从机控制系统结构如图 3 所示。

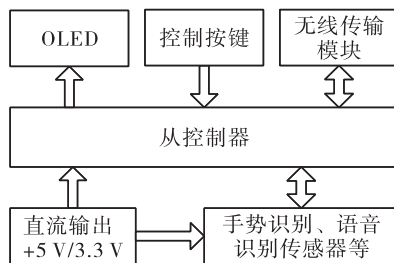


图 3 从机控制系统结构图

1.4 主从机硬件的选择

控制器根据智能车的结构及控制要求,常用有

编码器输入和 PWM 输出的控制器如 STM32 系列, 对于有 PWM 输出但无编码器输入的控制器如 MSP430F5529、STC8 系列等根据编码器的输出采用外部中断对编码器输出脉冲的自加或自减操作, 根据固定时间内编码器脉冲数量的绝对值大小判断电机的转速, 根据编码器脉冲数量的正负判断其转向; 常用控制器内部都有 ADC, 其输入电压范围为 $0 \sim +3.3 \text{ V}$ 或 $0 \sim +5 \text{ V}$, 通过电阻分压的形式实现对智能车供电电压的监控; OLED 常用的有 0.96 英寸和 1.3 英寸的 I²C 或 SPI 型, 可根据控制器是否含有硬件 I²C 或 SPI 接口功能选择, 采用硬件 I²C 或 SPI 不需要控制器 I/O 模拟其传输协议, 提高了控制器的执行效率; 驱动电路中常用的驱动器有 A4950, 含有一个 H 桥的驱动芯片, 具有过热保护、短路保护和过流保护, 智能小车设计中有需要驱动的电机与驱动芯片数量相同; L298N 和 TB6612 都是双 H 桥驱动芯片, L298N 可持续工作的电流为 2 A, 最大峰值电流为 3 A, 但饱和压降大发热较明显, 使用过程中需加散热片, TB6612 单路持续工作电流为 1.2 A, 最大峰值电流为 3.2 A, 散热性能较好, PWM 死区小于 L298N。无线传输模块中 NRF24L01 采用 SPI 总线形式与控制器通信, 蓝牙模块如支持蓝牙 5.0 的 HC42、WiFi 模块如 ESP8266 采用通用异步串行口的形式与控制器通信。无线传输模块根据传输速率、传输距离及控制器的硬件资源选择。

主机传感器可根据设计要求选择, 常用的有五路、八路红外巡线传感器、线性 CCD、电感数字传感器 LDC1314 等实现小车的循迹运行; 超声波、激光测距、激光雷达或红外光电传感器实现小车的避障运行^[3-4]。从机传感器常用的手势识别传感器有 PAJ7620U2, 采用 I²C 通信模式, 支持上、下、左、右、前、后、顺时针旋转、逆时针旋转和挥动的九种手势识别; 从机常用的语音识别传感器其内部含有控制器, 可通过串口或其他通用总线接口连接。

2 软件设计

2.1 主程序设计

主程序是程序的入口, 智能小车的控制实质是主控制器结合传感器或无线传输模块实时对姿态及运行轨迹进行校正, 使其按规划或自主构建的路线运行。主控制器校正周期可利用其内部定时器实现, 也可通过配置 MPU6050 触发主控制器的外部中断实现, 校正周期根据控制器的处理速度与被控对

象决定, 校正周期越长采集电机的参数越准确, 但控制系统的实时性降低, 一般如 STM32 控制的平衡小车校正周期为 10 ms, 对于三轮或四驱智能车校正周期可以长些。定时器资源有限的如 STM32F103C8T6 控制器, 其左右电机编码器的读取、PWM 控制信号的产生都要占用定时器资源, 此时可以配置 MPU6050 每隔固定的校正周期触发主控制器中断, 主控制器读取当前 MPU6050 的初始值, 利用四元数法、卡尔曼滤波或互补滤波解算出三轴陀螺仪和三轴加速度的值, 根据 MPU6050 的安装方向结合编码器, 读取当前姿态、转速及转向, 通过 PID 控制算法结合传感器采集数据或从机传输的控制要求, 调节电机的占空比, 实现对智能车姿态和运行轨迹的调节^[5-7]。具体流程图如图 4 所示。

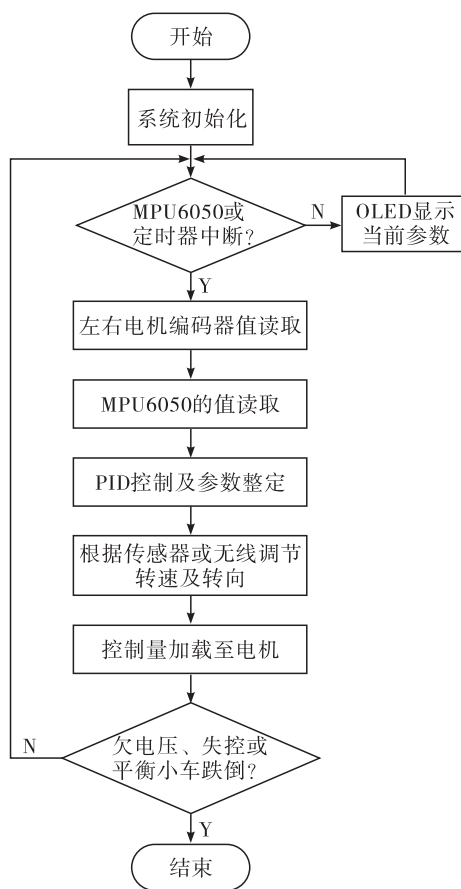


图4 软件流程图

2.2 循迹算法的实现

循迹算法实质是对循迹路线偏差的读取, 根据偏差通过舵机转向或差速调整智能车方向, 使其按循迹路线运行。对于红外巡线传感器其数量越多调节范围越大, 控制精度越高, 但占用控制器的端口资源越多。一般为白底黑线的巡线模式, 当传感器在黑线的正中间时偏差为 0, 当传感器在黑线的左侧

或右侧时为对应的正负偏差,其绝对值越大偏差越大。偏差的读取在程序设计中可以使用条件判断语句实现,也可采用依次左右扫描的方法求取偏差。

循迹采用电荷耦合器件 CCD,常用的 CCD 有面阵 CCD 和线性 CCD,前者可以获取二维图像信息,后者可以获取一维动态目标。对于巡线模式,一般采用线性 CCD,常用的型号为 TSL1401CL,内部包含 128 个线性排列的光电二极管,通过主控制器内部 ADC 每次可以采集 128 个通道的光强值,根据动态阈值消除环境光照的干扰,对数据进行二值化处理后求出中线位置。线性 CCD 与红外巡线传感器相比分辨率更高,复杂光照环境的适应性更强,适用于单线、双线及各种巡线环境,但价格相对较高。

当循迹路线为铺设的磁性材料时,采用电感数字传感器如 LDC1314,其利用 LC 谐振器产生磁场,被检测的磁性材料在磁场中时会产生涡流,其涡流产生的磁场与 LC 谐振器的磁场相反,从而影响 LC 谐振器的振荡频率,通过读取振荡频率判断是否有导体放入检测器中,该方案也可检测磁性材料的材质。可以检测的磁性材料有铁丝、铜丝、硬币等,实现对铺设磁性材料的路径循迹运行,循迹算法也是根据振荡频率的变换调整智能小车的转向实现^[8]。

2.3 PID 控制算法的实现

对于两个主动轮和一个从动万向轮构成的三轮小车或左侧两轮和右侧两轮分别并联的四驱式智能车,采用直行速度环与转向环相结合的 PID 控制算法,速度环采用传统的增量型或位置型 PID 控制算法实现对转速的控制,其输入到 PID 控制器为左右电机编码器读取的数据和设置的目标转速;转向环的输出一般采用 PD 控制算法,其对应的计算公式如下:

转向环 PWM 输出 = $K_p \times \text{偏差} + K_d \times \text{陀螺仪 } Z \text{ 轴角速度}$ (1)

左电机 PWM 输出 = 直行速度输出 \pm 转向环 PWM 输出 (2)

右电机 PWM 输出 = 直行速度输出 \mp 转向环 PWM 输出 (3)

其中式(1)中:PWM 为控制器产生的脉冲宽度调制信号, K_p 为 PID 控制中的比例系数, K_d 为微分系数,偏差对于循迹模式为循迹算法中获取的与中线的偏差,对于主从机控制模式则为无线传输模块接收的控制数据,陀螺仪 Z 轴角速度通过 MPU6050 获取;通常情况下左右电机为对称安装,式(2)(3)

中对于转向环节的加减操作刚好相反,确保有转速差,实现转向控制。

对于舵机控制前轮转向与后轮主动差速的阿克曼小车,根据小车几何结构结合阿克曼转向原理,由目标值求取后轮左右电机的目标值,以此为目标值后轮左右电机分别采用独立的 PID 控制算法,实现对速度的稳定控制,保证车轮与地面间处于纯滚动而无滑移现象,具体阿克曼转向几何如图 5 所示。

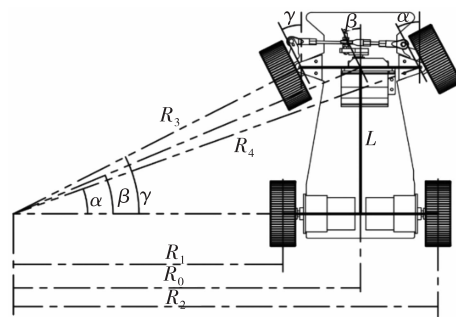


图 5 阿克曼转向几何

根据阿克曼转向几何原理左右轮转向角公式如下:

$$\gamma = \arctan(L/R_1) \quad (4)$$

$$\alpha = \arctan(L/R_2) \quad (5)$$

在阿克曼转向中前车轮转向的垂线与后车轮的中心线交于一点为旋转中心点, L 为车体的前后轮中心线间距,式(4)中: γ 为车体中心线与左车轮转向的夹角, R_1 为旋转中心点到左车轮的距离;式(5)中, α 为车体中心线与右车轮转向的夹角, R_2 为旋转中心点到右车轮的距离。

对于平衡小车,以直立闭环为主,速度闭环为辅的设计思想,采用串级 PID 的控制方案,其控制系统如图 6 所示。

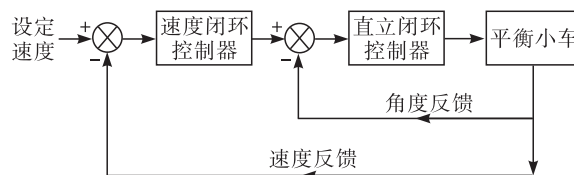


图 6 平衡小车 PID 控制结构图

麦克纳姆轮全向智能车一般应用于部分低速、路面平整、空间狭小对全向运动能力要求较高的场景,转向由 4 个麦克纳姆轮的合速度方向决定,因转向影响因素较多,一般采用速度开环的控制方案。转向采用 PID 控制,对于循迹模式,输入为传感器测量的中线的偏差,因麦克纳姆轮的结构决定了转向由四个麦克纳姆轮的合速度方向决定。以平面直角坐标系为参照,向前为正,向后为负,向右为正,向左

为负,自转时顺时针为正,逆时针为负,给定前后、左右、自转的移动量或移动速度,其对应的每个轮子的移动量或移动速度如下:

$$\text{左前轮} = \text{前后} + \text{左右} + \text{自转} \quad (6)$$

$$\text{左后轮} = \text{前后} - \text{左右} + \text{自转} \quad (7)$$

$$\text{右前轮} = \text{前后} - \text{左右} - \text{自转} \quad (8)$$

$$\text{右后轮} = \text{前后} + \text{左右} - \text{自转} \quad (9)$$

转向控制与前端为万向轮的三轮小车相似,对于大转向角度,小车通过调整各轮的速度和转向实现,在处理小转向角度时,小车通过对左右两组轮子速度的微调进行精准的方向控制,允许小车在原地顺时针或逆时针旋转。

2.4 软件结构

智能小车软件控制系统涉及的传感器、控制算法、显示终端等非常多,为了便于程序移植和扩展,采用主程序调用子程序的模块化设计方案,具体软件结构如图7所示。

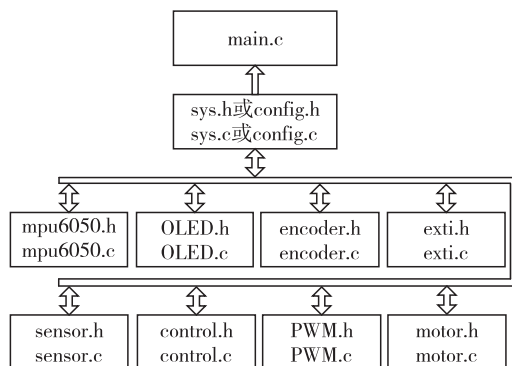


图7 软件结构图

不同的控制器如STM32、MSP430系列,有专门的固件库或集用户指南、示例代码等设计资源集合的MSP430Ware,采用该软件结构调用控制器内部资源,能提升程序的可读性并且便于系统维护。对于没有对应资源的控制器,也可依据软件结构图通过配置相应的寄存器实现。

每一个子程序文件都有独立的头文件和程序文件。头文件主要实现变量或函数的声明,程序文件主要实现函数的定义;系统文件或配置文件中头文件用于声明各个子文件中用到变量如MPU6050的三轴加速度、三轴角速度、左右电机编码器值及传感器参数等,或声明系统初始化函数,当被多个子文件调用时声明为全局变量或函数;MPU6050姿态传感器文件,解算当前的加速度和角速度,也可设置单位时间产生低脉冲触发单片机中断,用于主控制器实时监控智能车的运行状态;OLED文件通过单片机与OLED交互,实现对MPU6050角度参数及电机参

数的显示;编码器文件encoder实现左右电机转速和方向的初始化,其中方向根据解码数据的正负判断;中断文件exti用于初始化MPU6050触发中断的方式或初始化定时器定时时间,用于在单位时间内采集智能车的运行数据;传感器文件sensor用以读取红外巡线传感器、线性CCD等传感器的参数,其中包含了循迹算法;控制文件control是整个控制系统的核心,其实质为中断文件的中断服务程序,实现对编码器数据的读取、无线传输模块数据的读取、MPU6050数据读取、智能车速度及方向设置、PID控制算法的实现、PWM限幅;PWM文件用以设置固定周期内PWM的初始化;电机控制文件motor,实现对左右电机转向设置及PWM调速数据的加载及平衡小车防跌倒函数的定义。

3 系统调试

3.1 三轮或四驱循迹小车PID调参

主从控制系统都有OLED能实时显示当前电机的转速,但无法动态对比智能小车左右电机转速的变化趋势,特别是在有外力影响下智能小车通过PID调速克服外力,达到速度稳定的过程,不能直观体现。对于PID调速一般都要借助于上位机图形化软件显示,主控制器与上位机通信一般采用串口通信模式。图8为PID调速上位机显示界面。

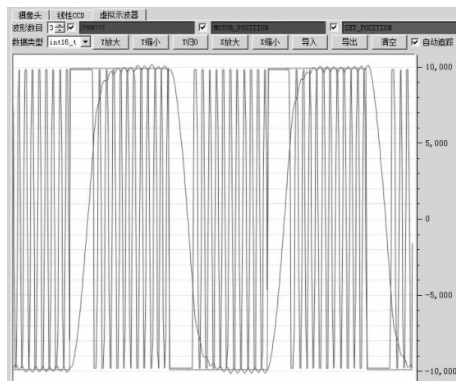


图8 PID调速上位机调试界面

智能小车直行时参数调节应先注销转向环。比例系数 K_p 的正负判断,通过设定目标速度为0,利用外力旋转其中一个驱动轮,另一个驱动轮向相反方向转动时,说明为了使目标速度为0,阻碍另一个驱动轮的运行,此时比例系数 K_p 的极性正确, K_p 越大,外力旋转驱动轮的阻力越大。设定具体的目标速度,如10 kHz的PWM信号,目标速度实质是对PWM信号占空比的调节,可通过上位机界面观察效果。对于精度要求不高的场合,也可通过走直线观

察车体的偏移程度进行比例系数大小的调节^[9-10]。转向环的调节应先注销直行环,将车体放置于偏差为 0 的中线位置,当车体向中线一侧倾斜时,小车左右轮通过转速差有阻碍车体转向的趋势,说明转向环比例系数极性正确,因为如公式(2)(3)小车的转向是通过车轮的转速差实现的。比例环节在 PID 控制中起主导作用,无延迟但其过大会引起系统超调,过小又会降低系统的实时性,积分环节能消除稳态误差,但积分是累加的过程有滞后性,对于位置型 PID 还要考虑积分限幅,微分环节因其具有超前性,可以抑制系统的超调,但过大会引起系统振荡。PID 参数的调节有经验法、试凑法等,对于控制精度要求较高的场合可以根据上位机图形画界面调节,其他场合可以根据系统运行效果调节。

3.2 舵机转向智能车 PID 调参

舵机控制前轮转向与后轮主动差速的阿克曼小车,要符合阿克曼转向原理,后轮驱动电机即使型号相同,如果采用开环控制,转向过程中后轮驱动电机受摩擦力的影响不同,转速会受到影响。此时后轮左右电机采用独立 PID 控制的形式。对于比例系数 K_p 的正负判断,设置转速为 0,用外力转动驱动轮,如果驱动轮由 0 加速运行直至最大转速,说明比例环节不能保持原始速度, K_p 的正负设置错误。因采用独立调参,调速过程中需采用上位机显示界面实时观察设定值与测量值的变化。

3.3 平衡小车 PID 调参

(1) 确定机械中值

平衡小车因控制板的布局及安装、电池的位置存在差异,导致平衡小车重心不能垂直于运行平面,为了保证直立时初始速度为 0,需求出机械中值,采用把平衡小车放在地面上,从前向后以及从后向前绕电机轴旋转平衡小车,根据 MPU6050 的安装方向,由主控制器读取 MPU6050 的俯仰或横滚角的值,在 OLED 显示两次向另一边倒下的角度的平均值,就是机械中值。

(2) 直立环的 PID 调参

平衡小车采用位置式 PID,直立环一般采用 PD 控制,直立环比例系数 K_p 的正负判断,将其他环节 PID 系数设置为 0,平衡小车向一侧倒下,左右车轮向倒下的一侧加速运行,保证小车有直立趋势,说明直立环 K_p 的正负设定正确。正负保持不变的情况下, K_p 绝对值一直增加,直到出现大幅低频振荡。直立环微分系数 K_d 的正负判断,将其他环节 PID 系数设置为 0,小车绕电机轴旋转,车轮反向转动,无

跟随,此时极性错误, K_d 应取反。 K_d 大小的确定,引入引起低频振荡的比例系数 K_p 且保持值不变, K_d 绝对值一直增加,直至出现高频振荡。根据工程经验平衡小车的比例系数与微分系数的理想值为引起振荡的值乘以 0.6 求得。

(3) 速度环的 PID 调参

速度环采用 PI 控制,调试速度环之前应注销直立环。速度环比例系数 K_p 的正负判断与三轮或四驱智能车比例系数极性的判断相反,设定目标速度为 0,利用外力旋转其中一个驱动轮,该驱动轮与另一个驱动轮按旋转方向同向加速,直至电机的最大速度,此时速度环比例系数 K_p 的极性正确。因为平衡小车的直立是通过速度补偿的,当向一侧倾倒时,电机必须向倾倒方加速运行,使其重心与运行平面垂直,以保证平衡,积分系数 K_i 可通过 $K_p \times 0.005$ 求得。

(4) 转向设置

平衡小车在循迹或远程控制中需要利用左右车轮的转速差实现转向操作,控制模式与三轮或四驱循迹小车的转向设置相同。

4 调试过程中问题分析

4.1 开环速度控制与 PID 调速对循迹小车的影响

在循迹过程中采用没有减速器和编码器的电机应用于两个主动轮和一个从动万向轮构成的三轮小车或左侧两轮和右侧两轮分别并联的四驱式智能车,平坦路面的控制效果与 PID 速度闭环控制效果相差不大。原因在于智能车驱动电机的型号相同,对于处理速度较低的控制如传统的 51 单片机,不采用 PID 调速,其控制系统的实时性提高,在平坦的循迹路线上采用固定占空比控制直行,采用 PID 控制转向,当直行产生偏差时,转向会自动纠正,从而达到循迹的目的。但如果在有坡度的路面,开环控制速度会降低,甚至电机堵转。而采用有减速器的电机,通过降低转速以增加扭矩,开环控制下速度降低不明显。如果采用 PID 调速,要构成闭环必须使用有编码器的电机,能实现不同路面速度的稳定,同时具备速度的检测功能。

4.2 循迹过程中的防丢线处理

如果转弯角度过大,小车速度又较高,在转弯过程中可能会因为惯性冲出循迹路线道,可以通过防丢线处理返回循迹,如白底黑线的巡线模式,可记录上一次最左侧和最右侧压线时最大偏差,当本次无对应偏差范围的循迹传感器信号输出时,通过固定

的转速差将车体调整到中线位置。该方案适用于巡线传感器分布宽度小于巡线宽度的场合,以保证传感器能实时检测路线的位置。但对于处理速度较低的控制器,防丢线处理有时也会失效,因为程序的执行需要一定的时间,当小车已经冲出赛道,但控制器还没有实时读取巡线传感器的状态时,会使小车失控,此时可以采用看门狗技术停车处理。因此,对于防丢线处理,主控制器的执行速度越高,控制效果越好。

4.3 欠电压保护与平衡小车跌倒后的处理

智能车一般采用锂离子电池供电,由稳压模块如采用低压差线性直流稳压源变换后的 +5 V 或 +3.3 V 给控制器供电,要求输入电压高于变换后的电压,如 LM7805 输出电压为 +5 V,输入电压高于输出电压 2 V 左右,输入电压越高,稳压器的功耗越高,一般采用多节锂电池串联给驱动器和稳压源供电。典型的 18650 锂离子电池单节电压范围为 3.0 ~ 4.2 V,典型电压为 3.7 V。过度放电会导致电池容量严重下降甚至损坏,设计过程中可以采用电阻分压的形式采集智能车供电电压,确保监控电压范围在 ADC 的输入范围,当电压过低时停机。

平衡小车的直立是通过速度补偿的,当平衡小车倾斜角度过大,电机的转速达不到使其平衡的条件时,小车会跌倒,此时应停机,使转速为零。停机后为了防止 PID 控制中的积分饱和,要对积分进行清零。

4.4 设定速度为零时影响平衡小车稳定的因素

如平衡小车侧面有负重时,使机械中值不为零,可以重新调整机械中值,如果设定速度为零,但在放置平衡小车时未按机械中值放置,平衡小车会通过运行自动调整到机械中值位置;此外,电机的死区、路面的平坦程度也会影响平衡小车的稳定。

4.5 驱动大功率电机的方案

如果智能车的驱动电机要求功率过大,如 L298N 和 TB6612 都是双 H 桥驱动芯片,可以采用两个 H 桥输出并联控制一个直流电机,也可选择大功率的分立 MOS 管驱动,但驱动电流越大,要求的散热性能越强。

4.6 从机远程控制的设计方案

从机的远程控制如手势、语音等实质是将指令转换为数据通过无线模块发送至主机,主机根据数据控制小车转速和转向,实现对小车的远程控制。无线传输模块如蓝牙、Wi-Fi 采用串行传输形式,传输的数据为 ASCII 码,主从机通过相同的传输协

议实现通信。

4.7 传感器电平兼容性设计方案

控制器与传感器之前的数据交互,必须确保电平的兼容性。如 STM32 采用 +3.3 V 供电,端口高电平为 +3.3 V,其部分 I/O 兼容 +5 V 电平;有的单片机采用宽电压供电,供电电压范围为 +2.2 V ~ +5.5 V,其高电平与供电电压相同。对于电平不兼容的情况,可以采用 NPN 型三极管如 8050、9013 接需要转换的电平电压通过上拉电阻连接至集电极,射极接地,基极通过控制器 I/O 控制三极管的饱和与截止实现电平转换,但该电平转换方式使控制器 I/O 的控制逻辑刚好相反。采用 PNP 型三极管的饱和与截止特性也可实现电平的兼容性设计,且控制逻辑相同,但 +3.3 V 转 +5 V 需要两个 PNP 型三极管。

5 结束语

该设计适用于对控制器、设计成本要求较低,但能结合传感器完成相应功能的设计方案中,现在还有针对智能车设计的专业芯片,如恩智浦智能车大赛使用的控制器;使用主从控制器实现对智能车的控制,提升实时性,如主控制器为 STM32H743IIT6,该控制器基于高性能 ArmCortex-M7 的 32 位 RISC 内核,工作频率高达 480 MHz;从控制器为 STC8H 单片机;主控制器结合 30 万像素的摄像头 OV7725 搜索目标,从控制器实现循迹、避障等操作^[11-12];基于 ROS 系统的小车,优点是支持 Linux、Windows、Mac OS 等主流的操作系统,以及 ARM、x86、x64 等常见的硬件架构,还可以支持多种机器人平台和应用功能,比如导航、视觉、语音、控制等。

参考文献:

- [1] 储开斌,郭俊俊.智能车运动轨迹跟踪算法的研究[J].电子测量与仪器学报,2020,34(6):131-135.
- [2] 王瑞,秦建敏.多传感特征融合的空调送风温度模糊 PID 控制方法[J].传感技术学报,2023,36(6):943-948.
- [3] 黄辉,徐继来,徐鑫.基于 MSP430 单片机的自动循迹小车设计[J].国外电子测量技术,2021,40(5):121-125.
- [4] 易艳丽.基于传感器融合技术的机器人远程控制系统设计[J].计算机测量与控制,2023,31(8):142-147+182.
- [5] 徐娜,颜嘉铭,邢运宏,等.基于微振动台的传感器位置偏移检测与自校准系统设计[J].传感技术学报,2022,35(9):1174-1181.

(下转第 108 页)

结果如图9所示。

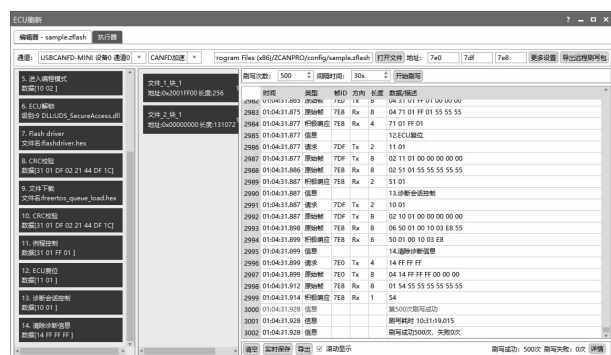


图9 在线编程功能测试结果图

3 结语

该文介绍了一种基于嵌入式操作系统和可变速率控制器局域网的车载统一诊断服务实现方案。使用嵌入式实时操作系统 FreeRTOS,在恩智浦公司的 MIMX8ML8DVNLZAB 微控制器上设计并实现了统一诊断服务应用程序。使用 ZCANPRO 软件对统一诊断服务中的数据读写功能和在线编程功能进行测试,测试结果表明,该文设计的统一诊断服务能够满足车载电子控制单元的使用要求。当然该文也存在亟待改进之处,如基于车载以太网的统一诊断服务设计等,也将作为今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 郑志超,南金瑞,南江峰. 车载网络 CAN FD 总线的应用前景和技术研究[J]. 现代电子技术,2021,44(01): 5-9.
- [2] 武奇生,刘维宇. 基于 ARM 的单片机应用及实践

[M]. 北京:机械工业出版社,2024.

- [3] 田野. STM32F407 和 FreeRTOS 的嵌入式测试系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2023,23(11): 54-58.
- [4] 全国汽车标准化几首委员会. 道路车辆统一的诊断服务:GB/T 40822—2021[S]. 2022.
- [5] 陈睿智. 基于 UDS 协议的汽车电控单元故障诊断服务设计与实现[D]. 合肥:中国科学技术大学, 2021.
- [6] 施春华. 基于 CAN FD 网络的 UDS 诊断开发测试[J]. 汽车电器,2022(04):35-39+42.
- [7] 熊刚,王文明,谢勇波,等. 基于统一诊断服务协议电动汽车集成控制器检测平台设计[J]. 控制与信息技术,2021(02):23-29.
- [8] 龙雅文,谢亮,金湘亮. CAN FD 控制器中可变速率的实现[J]. 中国集成电路,2021,30(Z1):37-41.
- [9] 杨朝阳,阮海庭,罗永革,等. 基于 CAN FD 的在线编程系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2019,19(05):21-24+28.
- [10] 张震,尤伟强,肖利华,等. 基于 CANFD 的智能汽车域控制器软件升级系统设计[J]. 中北大学学报(自然科学版),2022,43(04):321-326+334.
- [11] 陈祖锐,廖振伟,谷城,等. 基于 UDSonCAN 的 Boot-loader 设计[J]. 汽车零部件,2022(09):36-39.
- [12] 宋昊江,王思山,周海鹰,等. 基于 UDS 的 ECU 在线升级系统设计[J]. 湖北汽车工业学院学报,2023,37(04):12-16.
- [13] 李楚琳,仝秀峰,黄凯旋,等. 面向 OTA 需求的 UDS on CAN FD BootLoader 的设计与实现[J]. 软件,2023,44(08):23-29.

(上接第 87 页)

- [6] 沈跃杰,行鸿彦,王水璋. 基于粒子群优化的串级模糊 PID 无人机飞行控制系统[J]. 电子测量技术,2022,45(1):96-103.
- [7] 李鑫,郑铖,杨星,等. 卡尔曼滤波与 PID 的两轮自平衡小车设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2023,23(01):84-87.
- [8] 詹汉彬,王憬,樊浩然,等. 基于电磁感应的自主循迹智能车设计[J]. 自动化与仪表,2023,38(10):16-19+23.
- [9] 李磊,肖世德,李兴坤,等. 多传感器融合的智能车定

位导航系统设计[J]. 工程设计学报,2019,26(2): 182-189.

- [10] 余佳桐,孙雨婷,朱翊铭,等. 基于激光雷达和视觉融合的室内导航方法设计[J]. 传感器与微系统,2023,42(8):69-72.
- [11] 王文胜,李世蛟. 基于单目视觉传感器障碍物躲避的智能车设计[J]. 传感器与微系统,2023,42(4): 119-122.
- [12] 路亚宁,陆翔,方凤才. 基于机器视觉的智能车设计与实验研究[J]. 现代电子技术,2022,45(2):177-182.