

基于多传感器的直立循迹智能车硬件系统设计

李昊洋,邱 鑫,杨继全,沈世斌

(南京师范大学江苏省三维打印装备与制造重点实验室,江苏 南京 210042)

[摘要] 本文介绍了一种基于面阵 CMOS 传感器、陀螺仪及加速度传感器和绝对式旋转编码器的直立循迹智能车硬件结构及设计方法。该智能车采用模块化设计思想,将硬件电路划分为多个子模块,对其分别设计再予以综合。其中姿态采集模块通过 MPU6050 运动传感器获取角度和角加速度数据,进而拟合得到智能车姿态,图像采集模块通过 MT9V022 CMOS 传感器获取道路图像信息,速度采集模块通过绝对式旋转编码器采集车速信息,最终通过 CPU 控制模块对上述信息综合分析,实现智能车直立且自主循迹的稳定运行控制。

[关键词] 自平衡,循迹,智能车,多传感器

[中图分类号] TP242 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2017)04-0020-05

Hardware Design of Upright Tracking Smart Vehicle Based on Multiple Sensors

Li Haoyang, Qiu Xin, Yang Jiquan, Shen Shibin

(Jiangsu Key Laboratory of 3D Printing Equipment and Manufacturing, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract: This paper introduces the hardware structure design process of an upright tracking smart vehicle using array CMOS image sensor, gyro accelerometer sensor and absolute rotary encoder. With the modulation design concept, this hardware is divided into multiple sub-modules, each of which is designed respectively and then integrated. The attitude collecting module extracts the angle and angular acceleration dates using the MPU6050 motion sensor, and the vehicle attitude is fitting calculated with these data. Road image information is collected by MT9V022 camera for automatic tracking, and the vehicle speed is calculated with the absolute rotary encoder. These data of multi-sensors are analyzed synthetically in CPU control module to achieve the upright tracking and stable operation.

Key words: self-balancing, tracking, smart vehicle, multiple sensors

智能车辆汇集了车辆工程、人工智能、自动控制以及计算机等学科技术,是未来汽车的发展趋势,也是机械、信息及电子技术迅猛发展的一项时代标志。在四轮汽车已经普及的今天,智能车辆已具有自动识别道路信息、自动变速、自动驾驶等功能。而作为一种崭新交通工具,两轮平衡车已经被广泛应用在机场、会议展览中心、高档社区和应用场馆等场合。目前两轮平衡车已逐步进入我们的生活,从 Segway 到 Solowheel,新产品层出不穷,但却都未能实现环境识别、自主规划与决策、动态执行等自动驾驶功能^[1-3]。基于此,本文研发一种可自动变速循迹的直立平衡车,该类智能车占地面积小,行动灵活方便,并可通过摄像头获取周边环境及道路信息,实现自主转向循迹,有助于提高交通安全,改善道路交通效率,方便人们出行,并具有极强的研究意义和应用价值^[4-9]。

本文着重研究基于多传感器自平衡两轮智能小车的硬件设计,采用不同传感器采集道路以及自身信息,为最终实现稳定平衡、稳定控速且自主识别道路的自平衡智能车提供硬件基础。通过该类智能车模型的设计,为目前处于科技前沿的新一代智能自平衡代步工具提供一个新的设计思路和有益探索。

1 两轮循迹智能车总体硬件设计

智能车系统硬件结构如图 1 所示,该系统设计采用模块化思想,重点分为总电源模块、CPU 控制模

收稿日期:2017-03-14.

基金项目:江苏省高校自然科学基金(15KJB470010)、国家自然科学基金青年科学基金(51607094)。

通讯联系人:邱鑫,博士,讲师,研究方向:永磁电机及控制、三维打印装备。E-mail:qiuxin_nh@163.com

块、图像采集模块、姿态采集模块、速度采集模块、电机驱动模块、辅助调试模块七个部分。系统利用 MPU6050 多轴运动传感器采集车体姿态信息并转换,利用 MT 9V 022 CMOS 传感器采集图像并传输,利用旋转编码器 MINI1024 反馈车辆实时速度,最终利用 FreeScale MK60FX512VLL15 MCU 作为主控芯片进行数据采集、分析和发出控制指令,通过姿态融合算法和图像识别算法进行识别和决策,发出控制信号驱动电机,以速度闭环稳定车速,同时结合实际运行情况,在辅助调试模块的人工反馈下,实现智能车直立平稳行进。

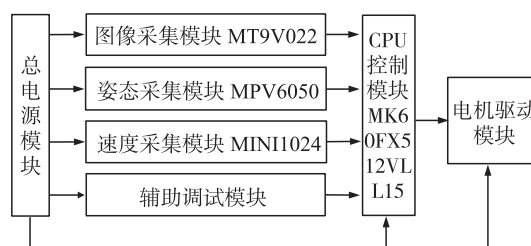


图 1 硬件设计结构框图

Fig. 1 Structure diagram of hardware design

2 系统各模块硬件设计及调试

2.1 电源模块

本智能车模型系统中各模块电源均来自于 7.2 V 镍镉电池,但是各模块的工作电压以及功耗却有所不同,因此需要对电池电压进行稳压和滤波,并按功耗需求合理分配,以保证各模块的稳定运行。

系统中 MPU6050 作为车体姿态检测传感器,其电源电路如图 2 所示,由于该模块对电压质量要求较高,因此不采用开关电源,而选用纹波较小的线性低压差稳压器 TPS7333,将电池电压由 7.2 V 线性稳压到 3.3 V。该稳压器输出电流最大可达 500 mA,完全满足姿态模块的电源需求,并通过实践检验。

高灵敏度 MT9V022 CMOS 传感器来自于 Aptina 公司,其最大分辨率为 480×752,它的拍摄方式是全局快门,在高速运动中仍然能够保持图像的清晰。该传感器的输入电压也是 3.3 V,但是对电源电压的噪声比较敏感,另外考虑到 MK60FX512VLL15 单片机存在运算量大,以及部分超频的情况,因此针对这两模块,采用二级稳压供电,以及对供电电压进行滤波处理,如图 3 所示。

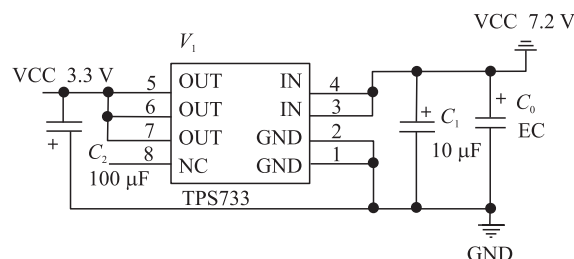


图 2 姿态模块供电电路

Fig. 2 Power supply circuit of position module

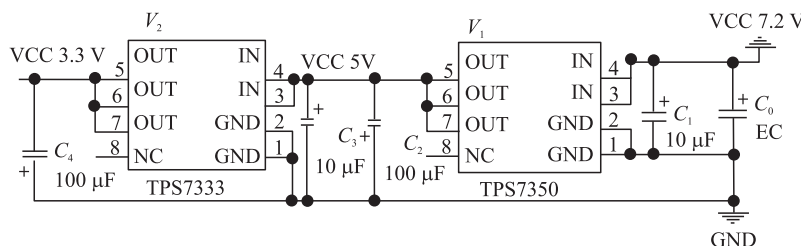


图 3 二级稳压电路

Fig. 3 Secondary stabilizer circuit

该电路使用线性低压差稳压器 TPS7350 和低压差稳压芯片 TPS7333 对电池电压进行两级稳压,即将 7.2 V 电压先稳至 5 V,加大电容滤波后再稳至 3.3 V,并在输入输出端加入滤波电容,保证在电池电压因电机转速而波动剧烈的情况下,仍能保证 CMOS 传感器和 CPU 两处功耗较大的模块的稳定工作。

电机驱动电路中半桥驱动芯片为 12 V 供电,由于使用的 MOSFET 是电压型驱动器件,在此选用常规 DC-DC 隔离升压电源,即将电源电压由 5 V 升至 12 V 供电机驱动芯片使用。

2.2 电机驱动模块

智能车系统使用的电机型号是 RS380,为充分发挥电机性能,提高电机灵敏性,设计了基于 MOSFET 的驱动电路。如图 4 所示,该电路使用 4 片 IR2104 半桥驱动芯片控制 MOSFET 管的导通,芯片驱动电压为 12 V,能有效降低导通损耗。具备 HO 和 LO 输出端,能有效防止共态导通对电机带来的损害。

考虑到两轮循迹智能车模型的重量和体积,选用型号为 NTMFS4833N 的贴片式 MOSFET,其优点是体

积小,且导通内阻最大仅为 $2\text{ m}\Omega$,导通电流最大可达 191 A ,经试验证明,RS380 电机性能充分发挥,MOS-FET 温度稳定.

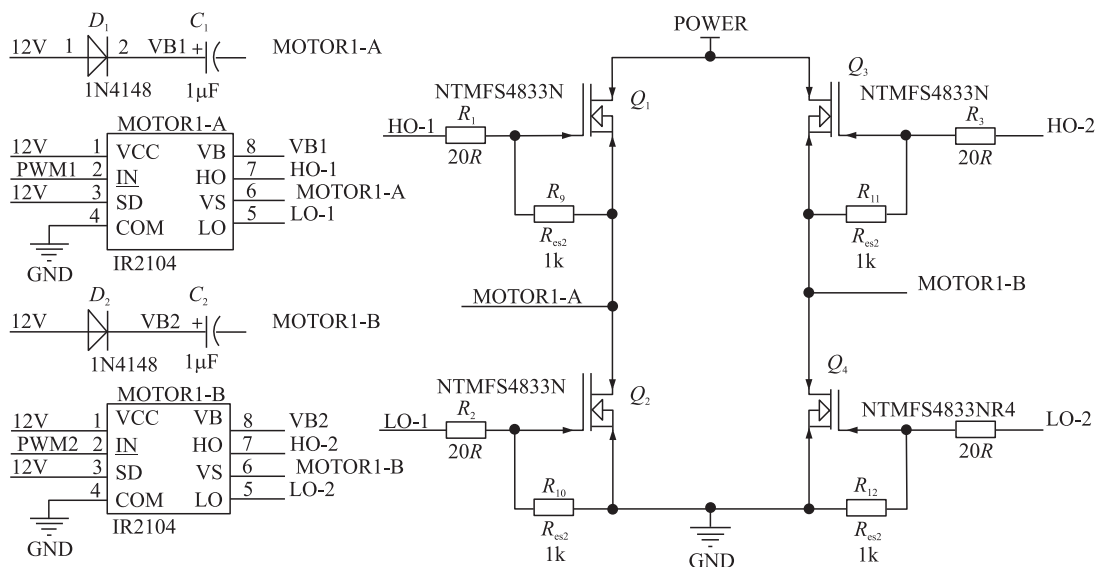


图 4 H 桥电路

Fig. 4 H-Bridge circuit

2.3 姿态模块

综合价格和性能等多方面考虑,姿态模块选用型号为 MPU6050 的 9 轴运动处理传感器,主要使用其中陀螺仪和加速度计功能.虽然该芯片有内部角度拟合,但测试表明其输出角度存在响应慢等问题,因此,利用单片机 MK60FX512VLL15 读取陀螺仪和加速度计的内部数值,再利用高速 AD 处理后进行角度拟合.

MPU6050 的陀螺仪和加速度计部分分别使用 3 路 16 位 ADC,将测量的模拟量转化成数字量,利用 I²C 协议进行数据传输.在单片机中对陀螺仪和加速度计输出角度拟合,得到车身实际角度,并读取水平陀螺仪做转向补偿,使转向更平稳^[4].

在调试过程中发现,用于姿态控制的陀螺仪应与地面垂直安装,否则在智能车过弯时容易出现抬头或者点头的现象,不利于智能车姿态与速度控制.因此,为方便姿态传感器水平安装,如图 5 所示,将其制作成独立模块,并通过 FPC 线与主板连接,为准确测量车身姿态提供必要条件.

对角度进行拟合时,须知加速度计可测量地球引力作用及物体运动所产生的加速度.车模直立时,固定加速度计在 Z 轴水平方向,此时输出信号为零偏电压信号;当车模发生倾斜时,重力加速度 g 在 Z 轴方向则形成加速度分量,引起该轴输出电压变化,变化规律为:

$$\Delta u = k g \sin \theta \approx k g \theta. \quad (1)$$

式中, g 为重力加速度, θ 为车模倾角, k 为加速度传感器灵敏度系数.

若倾角 θ 比较小,输出电压变化近似与倾角成正比.但是由于车模本身的摆动加速度会产生很大的干扰信号,并叠加在上述测量信号中,使得输出信号无法准确反映车模的倾角.

陀螺仪可用于测量物体的旋转角速度,由于角速度不受车模震动影响,因此该信号噪声很小.但由陀螺仪角速度获得角度信息,需要经过积分运算,若角速度信号存在微小的偏差和漂移,经过积分运算之后,可形成累积误差.该误差随着时间延长逐步增加,最终导致电路饱和,无法形成正确的角度信号.因此,本系统采用卡尔曼滤波器对加速度计测出角度和陀螺仪积分得出角度进行融合,通过调节卡尔曼滤波器的参数,得到如图 6 所示角度融合效果,并将得到的角度值与角速度值进行 PD 控制:

$$\text{PWM_Balance} = K_p \times [\text{Angle} + (T_d/T) \times \text{AngularSpeed}]. \quad (2)$$

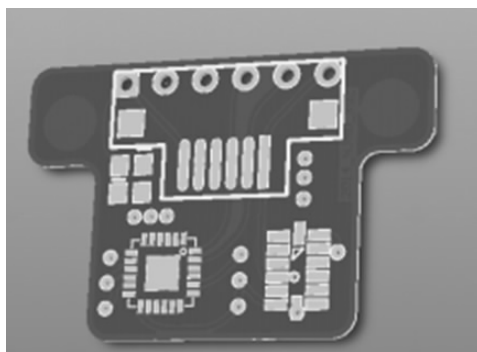


图 5 姿态模块

Fig. 5 Position module

式中, K_p 为比例系数, T_d 为微分时间常数, Angle 为车模角度, AngularSpeed 的车模角速度. 通过合理调节 K_p 和 T_d 可使系统获得较好的稳定性.

2.4 测速模块

智能车使用 MINI 1024J 型 10 位精度绝对式编码器测速, 该编码器采用霍尔技术, 属于无接触检测, 传感器不受灰尘或其他杂物影响, 具有分辨率高、工作温度范围宽广、抗干扰性好、抗抖动性好的优点. 微控制器通过 SPI 通讯协议直接读取编码器当前计数值, 利用差分计算得到实时运行速度.

2.5 CMOS 传感器模块

考虑直立平衡控制的控制优先级等问题, 该智能车摒弃了索尼 CCD 或 OV7620 等当前热门图像传感器, 经多次测试, 选择了中断时间更短且更适用于平衡车特点的 CMOS 传感器 MT9V022^[9].

MT9V022 传感器具有 BGA 中心校准、分辨率较高、全局快门、工作电压适宜等优点. 为配合该传感器, 经多次测试, 选用 F2.0、1.9 mm 焦距、水平视角 115° (对角 140°)、无畸变 (畸变小于 5%) 的高透光镜头, 保证采集图像畸变小且视角宽.

在传感器调试过程中, 选用白色 KT 板和贴在 KT 板两边的黑边组成模拟道路. 摄像头采集的数据中灰度值高的为白色, 灰度值低的为黑色, 因此在图像灰度值直方图上, 会有低灰度值和高灰度值区域的两个尖峰, 如图 7 所示.

在双峰之间确定图像分割阈值, 进行图像的二值化处理. 然后从二值化图像中部向两边搜寻黑白跳变点, 从而确定左右黑线位置, 再结合相应算法拟合出赛道中心线进行转向控制. 最终处理效果如图 8 所示, 可以清晰的采集到道路的有效信息.

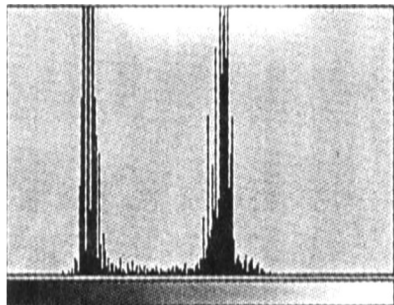


图 7 灰度值直方图

Fig. 7 Ggray level histogram

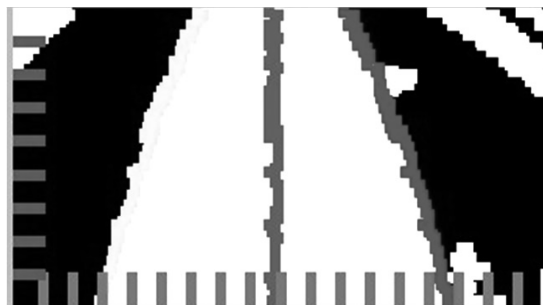


图 8 图像处理效果图

Fig. 8 Image processing rendering

2.6 辅助调试模块

在调试过程之中, 需要实时感知和控制智能车运行状态, 如调整陀螺仪、加速度计的基准数值, 摄像头阈值等, 同时也需对道路的不同实时信息进行简单的人工设置和调节, 以及需要实时显示参数. 因此本系统设计了辅助调试模块用以人机交互, 该模块主要由 5 通道按键、OLED 显示屏和蓝牙接口组成. 由于功耗小, 模块可直接集成在主板上, 以减少设计复杂度.

由于系统选用的 MCU 外部中断接口资源丰富, 五通道按钮分别通过上拉电阻与 MCU 外部中断口相连, 使得电路简单高效, 其原理如图 9 所示.

另外, 蓝牙接口和 OLED 液晶通过串行传输连接到单片机对应接口, 经过简单的初始化即可正常使用, 利用上述调试模块, 可使智能车研发过程更加方便快捷.

3 结语

本文对基于多传感器直立循迹智能车的硬件设计与开发过程进行了研究. 本系统采用模块化思想, 通过陀螺仪和加速度计进行姿态拟合和控制, 利用编码器对智能车进行测速和速度控制, 利用面阵 CMOS 图像传感器进行道路识别和转向控制, 系统所用传感器信号均采用数字处理, 鲁棒性强. 目前智能车速度

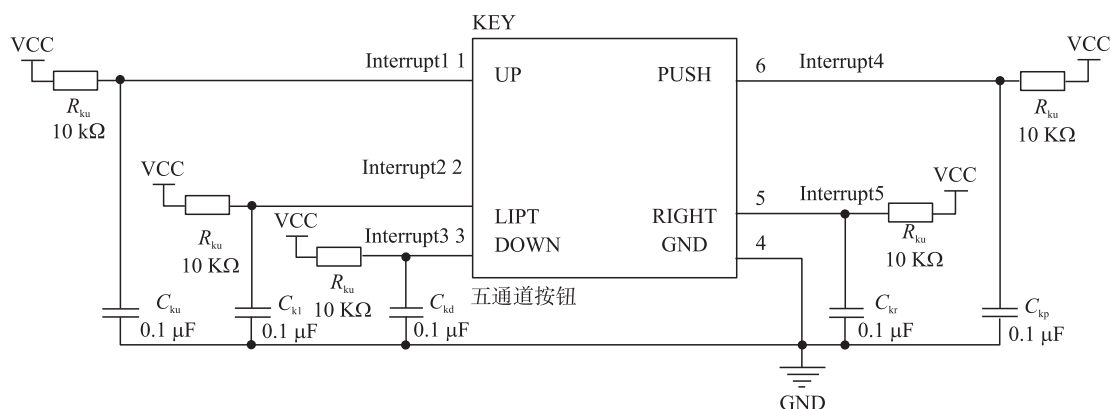


图 9 调参按钮原理

Fig. 9 Parameter adjustment buttons schematic

可达 2.3m/s,并能适应多种道路类型,有一定的推广前景和商业应用价值.

[参考文献] (References)

- [1] 黄振邦,吴森. 混合动力电动汽车研究开发及前景展望[J]. 城市车辆,2007(7):43-45.
HUANG Z B, WU S. Research and development of hybrid electric vehicles and their prospects[J]. Urban vehicles, 2007(7): 43-45. (in Chinese)
- [2] 刘二林,姜香菊. 基于卡尔曼滤波的两轮自平衡车姿态检测[J]. 自动化与仪器仪表,2015(2):52-54.
LIU E L, JIANG X J. Self-balanced two-wheeled vehicle attitude detection based on Kalman filter[J]. Automation and instrumentation, 2015(2): 52-54. (in Chinese)
- [3] 陈永东,陈万米. 基于自主循迹平衡车的前瞻自适应系统设计[J]. 控制工程,2017,24(1):83-86.
CHEN Y D, CHEN W M. Design of preview adaptive system based on autonomous tracking balanced car[J]. Control engineering of China, 2017, 24(1): 83-86. (in Chinese)
- [4] 高正中,龚群英,宋森森. 基于 STM32 的智能平衡车控制系统设计[J]. 现代电子技术,2016,39(14):46-48.
GAO Z Z, GONG Q Y, SONG S S. Design of STM32-based control system for intelligent balanced vehicle[J]. Modern electronics technique, 2016, 39(14): 46-48. (in Chinese)
- [5] 乔亮,王建军. 基于 DMA 技术单片机数字摄像头图像采集系统设计[J]. 机械与电子,2015(9):40-43.
QIAO L, WANG J J. Digital camera image acquisition system design based on DMA technology[J]. Machinery and electronics, 2015(9): 40-43. (in Chinese)
- [6] 王伟,陈慧,刁增祥,等. 基于光电导航无人驾驶电动汽车自动寻迹控制系统研究[J]. 汽车工程,2008,30(2):137-140.
WANG W, CHEN H, DIAO Z X, et al. Investigation into automatic path tracking control system of autonomous electric vehicle based on photoelectric navigation[J]. Automotive engineering, 2008, 30(2): 137-140. (in Chinese)
- [7] 许家群. 电动汽车用永磁同步电动机传动控制系统研究[D]. 沈阳:沈阳工业大学,2003.
XU J Q. Study on permanent magnet synchronous motor drive system in electric vehicle application[D]. Shenyang: Shenyang University of Technology, 2003. (in Chinese)
- [8] JIANG W, JIANG X. Design of an intelligent temperature control system based on the fuzzy self-tuning PID[J]. Procedia engineering, 2012, 43: 307-311.
- [9] MIAO-MIAO W U, SHEN S B, WANG L, et al. Design of up-right vehicle tracking system based on CMOS camera[J]. Techniques of automation and applications, 2014.

[责任编辑:陈 庆]