

基于STM32微控制器的智能平衡移动椅设计

纪道鑫 白伊利奇 王庆坡 尹奇石 张远群*

西北农林科技大学

DOI:10.12238/acair.v3i2.13563

[摘要] 本设计在于将前沿机器人技术和家具领域相结合,通过集成高精度传感器、先进控制算法与强大处理能力,研发一款智能平衡移动椅,其具备可以适应多地形(例如斜坡,台阶,减速带等)、在外界强干扰状态下均能保持自平衡状态(如后仰防摔倒)、同时可以自下台阶、灵活绕桩、手机终端蓝牙控制等多功能。应用在多种领域和场合,具有普适性。并提升广大用户体验感和舒适度,为家具设计领域带来新的转变的同时方便一些特殊群体。

[关键词] STM32; 家具; 平衡; 学科应用

中图分类号: TP3-05 **文献标识码:** A

Intelligent balanced mobile chair design based on STM 32 microcontroller

Daoxin Ji Yiliqi Bai Qingpo Wang Qishi Yin Yuanqun Zhang*

Northwest A & F University

[Abstract] This design aims to integrate cutting-edge robotics technology with the furniture industry by incorporating high-precision sensors, advanced control algorithms, and powerful processing capabilities to develop an intelligent self-balancing mobile chair. This chair is capable of adapting to various terrains (such as slopes, stairs, speed bumps, etc.), maintaining self-balancing under strong external disturbances (such as preventing falls when tipping backward), and additionally features capabilities like descending stairs, nimbly navigating around obstacles, and Bluetooth control via a smartphone terminal. It is applicable in multiple fields and occasions, demonstrating universal applicability. Furthermore, it enhances the user experience and comfort for a broad audience, bringing a new transformation to the field of furniture design while also accommodating certain special groups.

[Key words] STM32; furniture; balance; interdisciplinary application

引言

在数字化浪潮的席卷下,智能设备正以日新月异的速度融入人们生活的方方面面,智能家具领域也迎来了蓬勃发展的黄金时期。科技与家居的深度融合,不仅是对生活品质的提升,更是对特殊群体关怀的具象化体现,为他们的生活带来更多便利与可能。反观传统移动椅,功能的局限性十分显著。在日常使用中,其活动范围往往被局限于平坦地面,一旦遭遇斜坡、台阶、减速带等复杂地形,便举步维艰。更为关键的是,在面对外界干扰时,传统移动椅难以维持自身平衡,存在较大安全隐患,极易导致使用者摔倒受伤。

基于此,本设计依托强大的STM32平台,通过精密集成高精度传感器、先进控制算法及卓越的处理能力,全力打造一款智能平衡移动椅。这款创新产品集多地形适应^[1]、自平衡、自主下台阶、灵活绕桩以及便捷的手机蓝牙控制等多元功能于一身,在各类场景中都能大显身手,具有极高的普适性。它的诞生,不

仅有望为家具设计领域注入全新活力,带来创新性变革,更将切实提升广大用户的使用舒适度和体验感,为特殊群体的日常出行与生活提供坚实保障。

1 智能平衡移动椅控制系统逻辑框架

1.1 系统功能组成分析



图1 系统功能组成

1.2 系统工作的基本原理

完成蓝牙配对后,用户通过手机蓝牙app输入指令,传输到智能平衡移动椅的STM32中央处理器,其收到信号后,进行一系列运算,反馈到平衡移动椅本身^[2],从而实现一系列功能任务。



图2 系统工作的基本原理

2 硬件系统设计与实现

2.1 STM32F103RCT6微控制器

STM32F103RCT6是基于ARM Cortex-M3内核的32位微控制器,主频高达72MHz,具备强大的处理能力。具备高性能和稳定性,其程序存储器容量为256KB FLASH, RAM容量为48K,能够满足多任务处理需求。此外,它还拥有丰富的外设接口,如CAN、I2C、IrDA、LIN、SPI、UART/USART、USB等,以及DMA、电机控制PWM、温度传感器等外围设备,为项目开发提供极大便利。

2.2 硬件设计与实现

硬件系统是智能平衡移动椅的基础支撑部分^[3],主要包括数据采集部分、执行器这些部分的主要硬件。见图3。

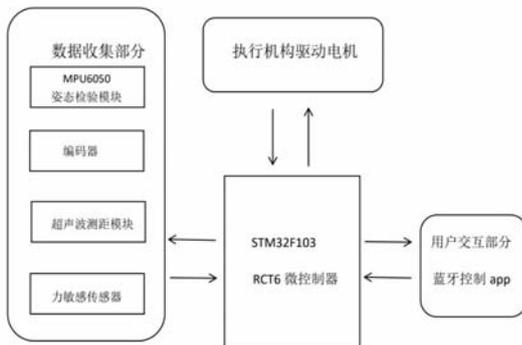


图3 系统硬件组成

2.2.1 MPU6050 姿态检测模块

MPU6050是一个6轴姿态传感器,结合了3轴加速度计和3轴陀螺仪传感器。能够测量芯片自身在X、Y、Z三个轴向上的加速度和角速度参数,通过数据融合得到姿态角。含有一个DMP,内置卡尔曼滤波算法,用于获取陀螺仪和加速度传感器数据,并处理输出四元数。采用16位ADC采集传感器的模拟信号,量化范围为32768~32767。可配置数字低通滤波器、时钟源等。主机接口可

直接访问磁力计和气压计等拓展芯片的数据,并具有LDO来确保稳定的电源供应。

2.2.2 超声波传感器模块

其是一种利用超声波信号进行距离测量和目标检测的传感器,基于超声波反射,由发射和接收换能器构成。发射换能器把电信号转为超声波发射,遇障碍物反射后,接收换能器再将其转为电信号。常见模块测量精度可达±0.3cm,响应速度在毫秒级,本项目采用的HC-SR04模块,测量距离通常在2cm-400cm,能满足不同场景对距离检测的需求。它抗干扰能力强,工作温度范围一般在-20℃-70℃,稳定性好,价格低廉,便于集成在各类设备中,助力实现精准检测与智能控制。

2.2.3 供电电路

STM32F103RCT6工作电压一般为2.0V至3.6V,供电电路设计需稳定可靠。可选用常见的5V直流电源输入,使用降压芯片MP2225和AMS1117给开发板提供稳定的5V和3.3V电源,满足芯片工作电压需求。MP2225芯片支持4.5-18V宽输入工作电压范围,将DC口的12V电压降压输出稳定的5V电压来供给部分模块接口供电电压。AMS1117芯片将稳定的5V电压进一步降压为3.3V电压给主控芯片使用。在电源输入和输出端,分别并联多个不同容值的电容用于滤除低频和高频杂波;输出端同样并联类似电容组合,进一步确保输出电压纯净稳定,减少电源波动对芯片工作的影响。同时,合理布局电路,缩短电源走线,降低线路电阻和电感,提高供电效率。

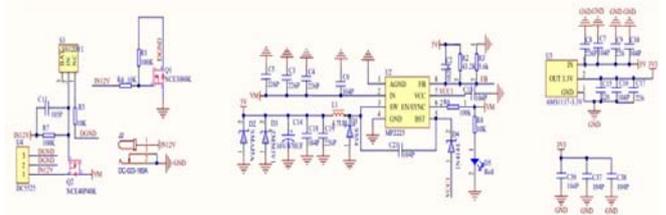


图4 平衡移动椅电路设计图

3 软件设计

3.1 软件架构

在软件设计上,采用裸机开发,进行多线程控制和多任务调度,以及内存管理。

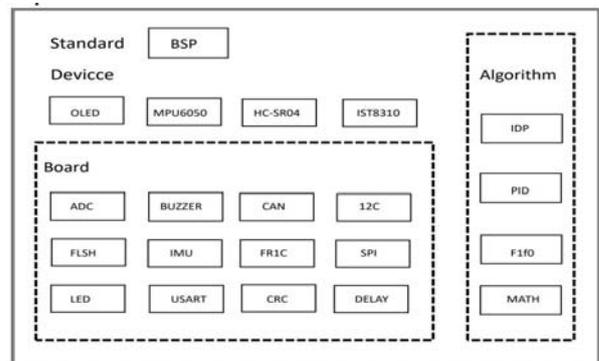


图5 软件系统架构图

3.2 Devices层

该层用于支持元器件,包括OLED、HC-SR04、MPU6050等模块,包含元器件的底层驱动处理程序。

3.3 Board层

该层主要是对于STM32F103RCT6微控制器的功能调用,如ADC采集、USART通信、IMU模块等。对其赋能,然后获取数据,进行数据的传输和高效利用。

3.4 Algorithm层

该层即为算法层,运用各种算法,如平衡控制算法、PID闭环控制、Fifo滤波、MATH数学运算等这些算法,构成整个数据处理的核心算法,将复杂问题简单化,巧妙地解决了复杂问题。

3.5 智能平衡椅系统功能设计

3.5.1 平衡控制

该智能平衡移动椅的平衡模型^[5]采用经典倒立摆数学模型(IDP),在此处以一个可旋转的杆和一个质量块模型系统(质量块位于杆的一端)进行数学建模和受力分析,依据牛顿力学与运动定理,分析摆杆和质量块的受力,以及相关力矩,得到一级直线倒立摆的第一个非线性动力学模型方程:

$$(M+m)\ddot{x} + b\dot{x} + ml\ddot{\theta}\cos\theta - ml\dot{\theta}^2\sin\theta \quad (1)$$

得到一级直线倒立摆第二个非线性动力学模型方程:

$$(ml^2 + I)\ddot{\theta} + mgl\sin\theta + \eta\dot{\theta} = -ml\ddot{x}\cos\theta \quad (2)$$

倒立摆稳摆控制是在 $-0.3\text{rad} < \Phi < 0.3\text{rad}$,此时摆角 Φ 很小,则有:

$$\cos\theta = \cos(\phi + \pi) = -1$$

$$\sin\theta = \sin(\phi + \pi) = -\phi$$

$$\dot{\theta}^2 = \dot{\phi}^2 = 0 \quad (3)$$

对上述2个倒立摆系统非线性动力学方程进行线性化处理,得到一级直线倒立摆系统线性化动力学方程:

$$(I + ml^2)\ddot{\phi} - mgl\phi + \eta\dot{\phi} = ml\ddot{x}$$

$$(M+m)\ddot{x} + b\dot{x} - ml\dot{\phi} = F \quad (4)$$

记状态向量:

$$X = [x \quad \dot{x} \quad \phi \quad \dot{\phi}]^T \quad (5)$$

与 $u=F$,依据上述结论可得到一级直线倒立摆系统的状态空间方程如下:

$$\dot{X} = AX + Bu \quad (6)$$

$$y = CX + Du \quad (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-4b}{4M+m} & \frac{3mg}{4M+m} & \frac{3\eta}{4M+m} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{-3b}{4Ml+ml} & \frac{3(M+m)g}{4Ml+ml} & \frac{-3(M+m)\eta}{4Ml^2+m^2l^2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & \frac{4}{4M+m} & 0 & \frac{3}{4Ml+ml} \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$D = [0 \quad 0]^T \quad (11)$$

据此状态空间方程完成智能平衡移动椅的平衡控制代码编写。

3.5.2 用户交互系统

手机通过内置蓝牙(主机)配对连接平衡椅上的蓝牙模块(从机),主从机依据特定的蓝牙遥控通讯协议建立正常连接。蓝牙模块接收平衡椅APP的数据并发送给开发板解析。主机是蓝牙通信中的控制者,负责发起连接请求并控制整个通信过程。而从机则根据主机的指令执行相应的操作,接受主机的控制。

3.5.3 用户承载部分

该部分以人体工程学为导向,兼顾椅类家具的美学和相关要素,进行相关结构设计,并使其和平衡机器人主体很好结合,在实物缩小比例的情况下仍具较好的承载能力,最大承载能力约5kg左右。

4 结语

完成智能平衡移动椅功能研发后,对其进行一系列功能测试,由于进行了一定比例的缩小处理,故测试过程中承重部分放置约5kg铁块,测试现象表明,其具备较好的复杂多地形适应能力,在外界较强干扰状态下均能保持自平衡状态^[4],不仅是在椅类家具领域,也可应用在多种领域和场合,为家具设计领域带来新转变的同时方便一些特殊群体。

本文系2024-2025年西北农林科技大学2025年校级大学生创新训练计划项目立项课题《两轮智能平衡移动椅的研发》(课题编号: XN2025006068)成果。

【参考文献】

- [1]杨士国.二轮平衡移动机器人在负载多样化下的自适应跟踪控制研究[D].重庆大学,2020.
- [2]姜涛.两轮自平衡移动机器人系统设计[D].哈尔滨理工大学,2019.
- [3]王泉.两轮自平衡机器人自主移动系统设计和应用[D].武汉科技大学,2018.
- [4]李高铭,聂卓赞.非平衡负载下轮式移动机器人的抗扰PID控制[J].控制理论与应用,2021,38(03):398-406.
- [5]王治平,黎斌,张轩龙.基于动态控制的双足移动机器人自平衡研究[J].电脑知识与技术,2019,15(02):187-188+200.

作者简介:

纪道鑫(2003--),男,汉族,陕西安康人,学生,木材科学与工程专业,本科生。

*通讯作者:

张远群(1971--),汉族,陕西西安人,副教授,主要从事家具设计与制造。