

基于STM32的多功能自动平衡轮椅设计

黄家域, 刘子杰, 梁毅俊, 蔡树强, 朱又敏

(广东海洋大学电子与信息工程学院, 广东 湛江 524088)

✉2049316797@qq.com; 2245014809@qq.com; 1099419281@qq.com;
2791858787@qq.com; gdouzhuyun@163.com



摘 要: 随着我国人口老龄化不断加剧, 市场对电动轮椅乃至智能轮椅的需求逐渐增加。本设计基于STM32单片机, 实现了轮椅座椅平面在一定范围内自动平衡的功能。本设计还集成了其他诸多实用功能, 包括定位信息收发、人体生理信息监控、摇杆控制、轮椅制动、超声波障碍物检测等物联网功能, 并开发了供亲属使用的微信小程序。系统通过数字运动处理器进行姿态数据结算, 输出平衡电机控制力矩, 实现座椅平面自动调节。经过广泛的市场调查, 设计的自动平衡功能获得了用户的良好评价, 有效填补了智能电动轮椅市场的部分空缺。

关键词: STM32; 自动平衡; 轮椅; 物联网

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A

Design of Multifunctional Automatic Balance Wheelchair based on STM32

HUANG Jiayu, LIU Zijie, LIANG Yijun, CAI Shuqiang, ZHU Youmin

(College of Electronics and Information Engineering, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China)

✉2049316797@qq.com; 2245014809@qq.com; 1099419281@qq.com;
2791858787@qq.com; gdouzhuyun@163.com

Abstract: With the increasing aging population in China, the market demand for electric wheelchairs and even smart wheelchairs is gradually increasing. This paper proposes to implement the automatic balance function of the wheelchair seat plane within a certain range based on STM32 single-chip microcomputer. The design also integrates many other practical functions, including positioning information sending and receiving, human physiological information monitoring, joystick control, wheelchair braking, ultrasonic obstacle detection and other Internet of Things functions. A WeChat applet for relatives is also developed. The system performs attitude data settlement through the digital motion processor, outputs the control torque of the balanced motor, and realizes the automatic adjustment of the seat plane. After an extensive market research, the proposed automatic balance function has been well received by users, which effectively fills the gap in the market of the smart electric wheelchair.

Keywords: STM32; automatic balance; wheelchair; internet of things

1 引言(Introduction)

2021年初, 著名爱心公益人士陈小平因无障碍坡道坡度太大, 造成轮椅侧翻而重伤去世。这场悲剧引发网友广泛关注, 呼吁给予使用轮椅出行的老年人和残障人士更多关怀和便利。第七次全国人口普查数据显示, 全国残疾人口达8,500万人, 约占人口总数的6%; 65周岁及以上的人

口已达1.9亿人, 占比达13.5%。面临人口结构的巨大变化, 无障碍设施和老年人设施就不应该有可无^[1]。随着社会老龄化的加剧, 可以预见未来轮椅出行者的人数会逐渐增加。方便轮椅使用者的出行生活, 除了改良公共设施之外, 当前迫切需要提升轮椅的安全系数。因此, 为了减少轮椅坡道侧翻的风险, 本系统设计了一种座椅平面能在一

定范围内自动调节至水平的多功能轮椅。同时,轮椅配置多种辅助模块和OneNET物联卡,结合微信小程序可以实现多种智能功能需求。

2 总体设计(Overall design)

在整体外形上,该轮椅主要结构与普通轮椅接近,其总体结构和布局如图1所示。电池包、STM32单片机控制板和OneNET联网模块等部分加装于轮椅底盘,使整体重心下沉,减少倾覆风险。轮椅两个前轮上方各安装一个用于检测障碍物距离的超声波模块。在轮椅后部加装了后备收纳箱,可以方便使用者携带一些个人物品。在椅背上贴有一个用于检测环境状态的温湿度模块。在轮椅右侧扶手,集成了包括移动摇杆在内的所有功能按键,同时配备了一块可以显示气象信息的OLED屏幕。座椅面自动平衡伺服电机固定在底盘上。MPU6050则贴在座椅底面,用于收集此时座椅面的姿态数据。

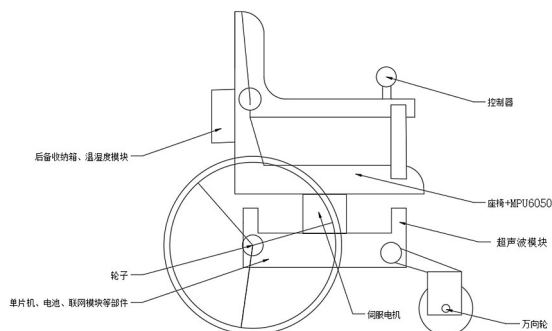


图1 轮椅设计和布局

Fig.1 Wheelchair design and layout

考虑乘坐的舒适性,轮椅形状符合人体工程学设计,对椅背和坐垫进行了调整,在坐垫和脚垫的选择上优先考虑了防滑材料,尽可能提高使用者的乘坐舒适度。同时,设计过程中尝试实现轮椅低成本、模块化组装,采取一定的预留设计,便于功能模块加装与拆卸的同时,降低了使用者的经济负担,还提高了维修便捷性。

3 硬件电路设计(Hardware circuit design)

轮椅系统结构如图2所示,包括主控芯片STM32、血氧心率检测模块、GPS定位模块、超声波模块、联网模块、离体控制器、温湿度传感器和加速度传感器。STM32单片机具有ARM和以Cortex-M为基础的微控制器内核,具有稳定的工作状态和较低的功耗,能够快速实现大量数据的运算,非常适合智能控制系统的开发,因此选用STM32系列单片机作为中央控制系统。血氧心率检测模块、超声波模块和温湿度传感器用于人体生理和环境的数据采集;离体

控制器和加速度传感器用于轮椅状态信息的采集和处理;GPS定位模块和联网模块用于远程数据通信。由于温湿度传感器和血氧心率检测模块仅提供轮椅辅助功能,根据模块化设计理念,用户可以选择性加装这部分拓展功能。

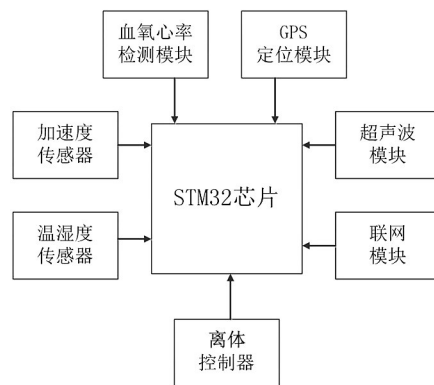


图2 系统结构

Fig.2 System structure

3.1 电源设计

轮椅电源使用超威电动车48 V/10 Ah(JB款)锂电池驱动智能轮椅行走机构与舵机系统。通过PW8600电源管理IC和LDO稳压芯片输出5 V和3.3 V电压,为主控板的STM32F103RCT6芯片和外设供电。

3.2 配套模块

超声波障碍物检测功能:使用US-100超声波模块,当其向前发射超声波时,接收端接收到反射超声波后将会记录用时并计算障碍物的距离。传感器直接输出的是温度信号数值,采用单总线技术可以方便地与单片机进行通信^[2]。如果对测量设备要求较高,则可以考虑通过选择作用距离更长的感应器、增加更多感应器数量、在测距后的计算中增加温度补偿、采用多普勒测速法等措施进行调整提高^[3]。

轮椅速度监控和调节功能:用MPU6050模块获取轮椅座椅面的三轴姿态数据,通过补偿法与滑动均值滤波算法得出有效陀螺仪数据测出轮椅速度,对轮椅速度进行有效监控和调节。

OLED显示屏:OLED显示屏显示来自天气服务接口的信息,通过OneNET物联卡与基站进行数据交互。

伺服系统:STM32芯片接收MPU6050的姿态解算数据后,计算并输出水平姿态所需伺服系统转动力矩数值。

辅助功能:心率检测、血氧浓度检测、温湿度传感器。

4 通信连接(Communication connection)

定位功能:通过GPS全球定位系统和基站定位获取智能轮椅所在的实时位置。利用网络技术将GPS位置信息传输

到腾讯地图API接口,再经过服务器处理,最终可以将定位信号在微信小程序地图中即时呈现出来。

联网功能:用OneNET开发板、物联卡将数据上传到服务器云端。采用NB-IoT模块连接到OneNET平台。首先通过串口向NB模块发送AT指令初始化NB-IoT;然后NB-IoT模块与OneNET平台建立TCP连接,将SD卡中保存的温湿度数据等转成HEX-String格式,向OneNET平台发送具体数据。

离体控制器:设计一个独立离体红外控制器,以便能够在较远距离控制轮椅移动到使用者身边并固定,方便使用者上下轮椅。

5 软件程序设计(Software program design)

多功能自动平衡轮椅程序设计由三个部分构成。数据处理部分负责处理轮椅上各个功能模块产生的原始数据;自动平衡程序接收MPU6050的数据,计算调节平衡电机需要输出的力矩;微信小程序部分向使用者及其亲属提供直观的图形界面以便信息交互。

5.1 数据处理

将普通硬件RC低通滤波器的微分方程用差分方程来表示,便可以利用软件算法来模仿硬件滤波的功能^[4]。滑动均值滤波法是指通过设置某个统计缓冲区,根据时间顺序存储 N 个采集统计结果,每当出现新数据就抛弃第一组数据,进而求得 N 个统计的算术平均数或加权平均数。每完成一组采集后,就能够归一计算出一种新的平均值,由此建立了环型队列结构。

数据处理核心代码如下:

```
#define MOVING_AVERAGE_NUM 8 //滑动均值滤波数值个数

ACCELERATION_BUF[A_X]=DMP_MPU6050[A_X]; //存放加速度的X轴数据
ACCELERATION_BUF[A_Y]=DMP_MPU6050[A_Y]; //存放加速度的Y轴数据
ACCELERATION_BUF[A_Z]=DMP_MPU6050[A_Z]; //存放加速度的Z轴数据
ACCELERATION_BUF[G_X]=DMP_MPU6050[G_X]; //存放陀螺仪的X轴数据
ACCELERATION_BUF[G_Y]=DMP_MPU6050[G_Y]; //存放陀螺仪的Y轴数据
ACCELERATION_BUF[G_Z]=DMP_MPU6050[G_Z]; //存放陀螺仪的Z轴数据
```

```
for (i=0; i<MOVING_AVERAGE_NUM; i++)
{
```

```
FILT_TMP[A_X]+=FILT_BUF[A_X][i];
FILT_TMP[A_Y]+=FILT_BUF[A_Y][i];
FILT_TMP[A_Z]+=FILT_BUF[A_Z][i];
FILT_TMP[G_X]+=FILT_BUF[G_X][i];
FILT_TMP[G_Y]+=FILT_BUF[G_Y][i];
FILT_TMP[G_Z]+=FILT_BUF[G_Z][i];
}
```

/* 已处理的加速度计数据 */

```
MPU6050_PROCESSED.Acc.x=(float)(FILT_TMP[ACC_X])/(float)MOVING_AVERAGE_NUM;
```

```
MPU6050_PROCESSED.Acc.y=(float)(FILT_TMP[ACC_Y])/(float)MOVING_AVERAGE_NUM;
```

```
MPU6050_PROCESSED.Acc.z=(float)(FILT_TMP[ACC_Z])/(float)MOVING_AVERAGE_NUM;
```

/* 已处理的陀螺仪数据 */

```
MPU6050_PROCESSED.Gyro.x=(float)(FILT_TMP[GROY_X])/(float)MOVING_AVERAGE_NUM;
```

```
MPU6050_PROCESSED.Gyro.y=(float)(FILT_TMP[GROY_Y])/(float)MOVING_AVERAGE_NUM;
```

```
MPU6050_PROCESSED.Gyro.z=(float)(FILT_TMP[GROY_Z])/(float)MOVING_AVERAGE_NUM;
```

5.2 自动平衡设计

MPU6050模块内置了三轴加速度计与三轴陀螺仪,是较为常见的一个六轴姿态感应模组,它使用内置的数字运动处理器(DMP)来计算与输出姿态解算后的数值,最终通过IIC通信输出。因为用四元数来描绘刚体运动的回转运动较为简单,且解算速率快,并能避开欧拉法的“奇异点”现象,常被用作刚体姿态的解算。在空间三维坐标系下,运动物件的姿势一般以俯视角、横滚角度和偏航角度表示。设姿态四元数 $Q=[Q1 \ Q2 \ Q3 \ Q4]$,通过四元数代数学和欧拉旋转矩阵,即可得到姿态角^[5]。

核心板将判断姿态数据是否有偏差,如果有偏差,将会计算输出力矩并反馈给伺服系统,将座椅面调整至水平。在这个过程中,我们会采用低通滤波或者滑动均值滤波算法去除高频噪声以获取模块输出的有效数据。自动平衡流程如图3所示。

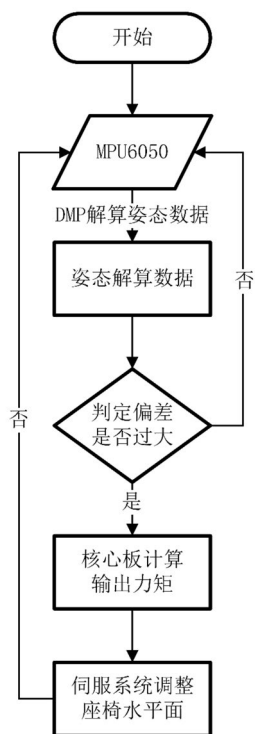


图3 自动平衡流程图

Fig.3 Flow chart of auto balance

5.3 微信小程序

本系统调用了腾讯地图API,在小程序编写时要注意是否获取到正确的Acckey,如果Acckey错误将导致地图无法加载。可以通过记录的位置数据增加智能轮椅途经路线记录。通过NB-IoT模块发送GPS数据,服务器接收到数据后使用微信小程序进行定位查找^[6]。

通过天气接口API可以查看实时位置的天气信息,包括天气实况信息、卫星云图、雷达图、未来一周的天气预报、格点预报、气象预警、农业气象服务信息等^[7]。可以从服务器调取接收轮椅上传感器的数据。

6 市场调查(Market survey)

对国内外购物平台和搜索网站的调查显示,随着科学技术的不断进步,市场上涌现出越来越多的电动轮椅生产企业。其中,国内低端品牌有贝珍、互邦等,价格在3,000元以下;中端品牌有威之群、英洛华、信康达、羽扬等,价格在6,000元左右;中高端品牌有我国台湾的康扬和美利驰、上海的斯维驰,价格在8,000元以上;高端品牌有奥托博克等,价格在1万元以上。这些轮椅都融入了机器人应用领域的诸多成果,涉及运动控制技术、机器视觉、模式识别、多传感器信号融合及人机交互技术等。

可以看到,市场主流产品已从手动轮椅逐渐变成电动轮椅乃至智能轮椅,并且功能齐全,如自动伴随、上下楼梯、自动折叠、主动刹车、导航定位等。随着全球老龄化趋势日益加剧,越来越多的人关注老年人的生活,轮椅也成为关注的焦点之一,许多大学或研究机构如中科院、新

加坡-麻省理工学院研究与技术联盟等也在参与研究智能轮椅。总之,更多功能、更低成本、更人性化是未来研究的方向。

7 结论(Conclusion)

综上所述,本设计实现了一款具有座椅平面自动平衡功能的智能轮椅。水平自动调节和速度控制功能可以更好地辅助使用者上下坡,减少摔落与失控风险,用户体验更好,设计更加人性化,具有一定的创新性,填补了市场中这一功能的空缺。而微信小程序实现了对轮椅的远程监控,STM32端通过OneNET模块接入基站发送数据到服务器,让亲属能实时了解使用者的各种状态。本设计还集合了市面上主流智能轮椅的实用功能,如生理信息检测、摇杆控制、主动刹车、障碍物检测功能等,提高了轮椅使用者在复杂地形环境行走的安全性,帮助使用者勇敢地走向社会,改变生活模式,增强独立性^[8]。本设计目标人群定位清晰,创新特色优于同类产品,具有广泛的应用前景。

参考文献(References)

- [1] 陈柏泉.从无障碍设计走向通用设计[D].北京:中国建筑设计研究院,2004.
- [2] 王占选,赵冬城,党浩淮,等.具有温度补偿功能的超声波测距系统设计[J].电声技术,2014(02):35-37.
- [3] XIAO D G, FAN Q, XU C G, et al. Measurement methods of ultrasonic transducer sensitivity[J]. Ultrasonics, 2016, 68(5): 150-154.
- [4] 赵毅,牟同升,沈小丽.单片机系统中数字滤波的算法[J].电测与仪表,2001(06):5-8.
- [5] 傅忠云,朱海霞,孙金秋,等.基于惯性传感器MPU6050的滤波算法研究[J].压电与声光,2015,37(05):821-825.
- [6] 范整整,万涛,赵诗婷.基于微信小程序的特殊群体防走失定位系统[J].物联网技术,2021,11(01):7-9.
- [7] 郭昌松,常奋华,程丽平.气象服务API的设计与实现[J].福建电脑,2020,36(07):116-117.
- [8] 杨冰.一种适用于复杂地形的智能轮椅的设计[D].太原:中北大学,2021.

作者简介:

黄家域(2002-),男,本科生.研究领域:通信技术,嵌入式系统开发.

刘子杰(2002-),男,本科生.研究领域:通信技术,嵌入式系统开发.

梁毅俊(2000-),男,本科生.研究领域:通信技术,嵌入式系统开发.

蔡树强(2001-),男,本科生.研究领域:通信技术,软件设计.

朱又敏(1966-),男,硕士,工程师.研究领域:无线通信,通信系统设计.本文通讯作者.