

基于姿态解析算法的智能轮椅设计

左太虎, 张雨晴, 毕爽, 丁建

(青岛理工大学机械与电子工程系, 山东 临沂 276000)

✉150518995@qq.com; 2697146870@qq.com; 1458387316@qq.com; 526723605@qq.com



摘要: 随着我国人口老龄化的日益加剧, 为帮助高龄老年人和身体残疾人士正常出行, 文章设计基于姿态解析算法、增量型PI算法的多功能智能轮椅。仿真轮椅以STM32F103ZET6为核心处理器, 通过手势的姿态解析算法, 运用老年人的手势配合手势识别技术原理, 结合多个模块及多传感器融合实现手势控制轮椅的移动和转向, 自动避障、GPS定位信息的实时传输、一键呼救、意外情况录像功能, 增量型PI算法的输出是上一次输出的增加值, 能使轮椅平稳行驶。结果表明, 姿态解析算法提高了轮椅对手势的识别率, 增量型PI算法提高了轮椅行驶的平稳度, 模块化的设计思想满足轮椅的安全、智能化要求, 能帮助行动不便的残疾人士和高龄老年人正常出行。

关键词: 智能轮椅; 姿态解析算法; 手势识别; 多传感器融合

中图分类号: TP510 **文献标识码:** A

Design of Intelligent Wheelchair based on Attitude Algorithm

ZUO Taihu, ZHANG Yuqing, BI Shuang, DING Jian

(Department of Mechanical and Electronic Engineering, Qingdao Technological University, Linyi 276000, China)

✉150518995@qq.com; 2697146870@qq.com; 1458387316@qq.com; 526723605@qq.com

Abstract: With the increasing aging of the population in China, in order to help the elderly and the physically disabled to travel normally, this paper proposes to design a multi-functional intelligent wheelchair based on attitude algorithm and incremental PI algorithm. STM32F103ZET6 is used as the core processor for the simulated wheelchair. With attitude algorithm of gestures and gesture recognition technology of the elderly's gestures, multi-module and multi-sensor fusion realizes the gesture control of wheelchair movement and steering, automatic obstacle avoidance, real-time transmission of GPS positioning information, one button call for help, and accidental video recording. The output of incremental PI algorithm is the added value of the last output, which can make the wheelchair run smoothly. The results show that the attitude algorithm improves the recognition rate of wheelchair gesture, the incremental PI algorithm improves the smoothness of wheelchair driving, and the modular design idea meets the requirements of wheelchair safety and intelligence, which helps disabled people and elderly people with mobility disabilities to travel normally.

Keywords: intelligent wheelchair; attitude algorithm; gesture recognition; multi-sensor fusion

1 引言(Introduction)

据2021年我国第七次人口普查数据显示, 中国60岁以上人口已达2.64亿, 占总人口的18.7%。预计“十四五”时期, 中国60岁以上人口将突破3亿。据全国老龄工作委员会公布的数据, 2020年我国60周岁以上失能老人人口超过4,200万, 约占全国60周岁以上老年人总人口的16.6%。随着人口老龄化程度不断加剧及信息社会的深层次发展, 提高老年人行动便捷性的智能化养老产品的需求日益高涨。轮

椅是帮助身体残疾人士、老年人安全自主行动的一种重要工具, 操作简单、功能人性化且智能化的轮椅对其生活自理、行动自主起着至关重要的作用, 因此轮椅的智能化设计也受到了国内外研究者的广泛关注。本文设计了一款能够进行手势识别操作且功能智能化的轮椅, 能通过简单的几个手势控制轮椅前进后退和转弯, 还能对轮椅速度进行控制和调节, 利用传感器实时探测前方障碍物和传输轮椅状态, 达到安全行驶的目的^[1]。

2 系统硬件设计(System hardware design)

系统采用STM32F103ZET6核心MCU(控制单元), 其具有32位Cortex-M3内核, 最高72 MHz工作频率, 最大512 kB的FLASH程序存储器, 功耗低, 三个12位模数转换器, 11个定时器及13个通信接口。系统使用OpenMV摄像头取代行车记录仪, SIM900A模块实现一键呼救功能, ATK-LORA-01无线串口模块和“ATK-S1216 GPS+北斗定位模块”组成GPS信息实时传输系统, ISD1820录音语音模块和超声波测距传感器组成轮椅防撞系统; 通过MPU6050六轴传感器实现手势识别指令, 通过不同的手势控制轮椅的移动和转向。系统的整体硬件设计如图1所示。

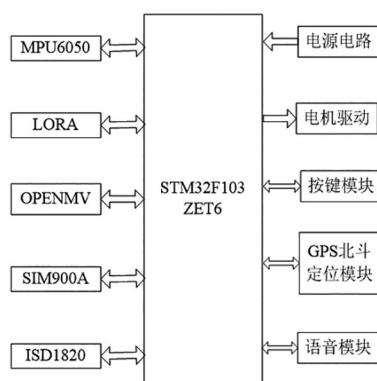


图1 系统的整体硬件设计图

Fig.1 The overall hardware design of the system

在轮椅结构设计中, 尝试实现低成本、模块化组装, 便于功能模块的加装与拆卸, 在坐垫和脚垫的选择上优先考虑采用防滑材料, 尽可能地提高使用者的乘坐舒适度^[2]。为降低使用者在轮椅上的久坐疲劳和肌肉关节酸累, 靠背和枕头部位优先选择柔软舒适且透气性能好的材料。轮椅整体结构如图2所示。

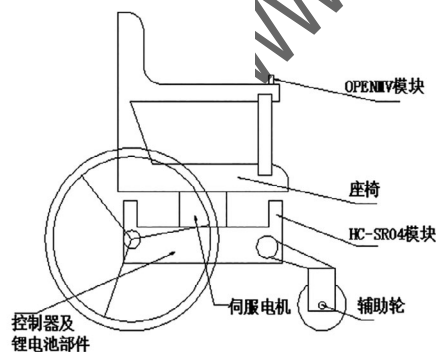


图2 轮椅整体结构

Fig.2 The whole structure of wheelchair

2.1 无线定位通信

系统采用两个Lora模块和两个STM32开发板, 一个作为轮椅的主控板, 另外一个作为GPS数据的接收端。Lora模块选用ATK-LORA-01无线串口模块, 设计采用高效率的SX1278扩频芯片, 工作在ISM射频频段, 采用Lora扩频技术, 工作频率为410—441 MHz, 各个信道以1 MHz的频率步进, 模块累

计32个信道, 抗干扰性能好, 通信稳定, 可以实现组网和中继功能, 其模块地址可变、信道可变, 速率相同。Lora模块的通信距离可达3,000 m以上, 并带有增强信号的天线。系统采用ATK-S1216FB-BD GPS北斗双模模块实时对轮椅进行定位。主控模块通过SkyTraq协议对定位模块进行配置, 当秒脉冲开始闪烁时, 表示定位已经成功, 可以通过NMEA协议实时读取定位数据并发送至上位机。系统使用OpenMV摄像头在意外情况下录制视频, 可通过电脑和手机查看记录的视频内容。当秒脉冲在行驶间闪烁, 表示模块已经定位成功。

2.2 防碰撞系统

系统采用HC-SR04超声波模块, 该超声波模块由发射单元、接收单元与控制单元三个部分组成。该超声波模块会从内部发出八个40 kHz周期的电平, 在电平从内部发出后会自动检测反射回来的信号波。每当有信号波返回时, 超声波模块便会通过输出口输出一个TTL高电平, 该TTL高电平持续存在的时间就是超声波从发出到接收到的时间。集中控制主板可以在接收口等待输出口的TTL高电平输出, 当高电平开始输出时, 开启定时器计数, 直到高电平变为低电平时, 计时结束。该定时器的数值就是超声波从发射到原路返回的时间, 脉冲宽度与所测的距离成正比, 即实际传播距离的两倍。系统通过实时读取脉冲宽度就可以检测轮椅和障碍物的真实距离。

当与超声波传感器的距离不超过20 cm的位置时, ISD1820语音模块会自动启动语音功能播放录音“前方有障碍请小心”的语音片段提醒当前的客户, 并且会自动控制轮椅停止前进; 当用户处于危险状态时, 使用一键呼救功能, 系统会通过SIM900A模块自动给预留手机号发送求救短信并尝试拨打电话。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^[3]。

2.3 手势识别模块

系统通过MPU6050进行手势识别, MPU6050是一款高性能三轴加速度+三轴螺旋仪的六轴传感器模块, 利用自带的数字运动处理器硬件加速引擎, 通过主IIC接口向应用端输出姿态解算后的数据。其中, 加速度计可测量某一瞬时 x 、 y 、 z 三个基础方向上的加速度分量, 通过计算三个基础方向上的加速度分量与重力加速度的比值求出倾角的大小; 安装陀螺仪的主要目的是对角速度进行测量, 获得指定时间内轮椅所转过的角度即时间与角速度的乘积。MPU6050体积小巧, 功能强大, 精度较高, 采用MPU6050传感器采集并处理人体手部动作信号, 主控制器通过对获取信号的解析发送相应的命令控制轮椅的运动状态, 以达到使用者想前进、停止或转弯的目的。

3 系统软件设计(System software design)

仿真轮椅采用的主控板为STM32F103ZET6开发板, 系统首先获取GPS定位信息, 并把获取的GPS数据显示在TFTLCD(屏幕)上并通过Lora发送出去(获取和发送GPS数据

的程序是一直在执行的),接收端可以实时监控仿真轮椅所在的经纬度信息,防止老年人乘坐轮椅丢失。本设计还集合了市面上主流智能轮椅的主要功能,如主动刹车、障碍物检测等,提高了轮椅使用者在复杂地形环境行走的安全性,帮助用户勇敢地走入社会,改变自身的生活模式,增强独立性^[4]。当Key0按键动作时,系统会自动发送求救短信并拨打急救电话,防止出现号主设置手机静音时漏看或不及时查看短信的问题;当Key1动作时,系统会给继电器发送信号,激活OpenMV摄像头的电源,对意外情况进行录像并保存;当通过超声波测得轮椅与障碍物的真实距离小于20 cm时,仿真轮椅停止前进并发出语音警告提醒用户注意安全;当超声波测得轮椅与障碍物的真实距离处于安全距离时,系统将通过MPU6050测得的俯仰角和偏航角的数据判断当前手势的指令,为前进手势时,系统自动控制仿真轮椅车轮前进;为后退手势时,系统自动控制仿真轮椅车轮后退;为停止手势时,系统自动控制仿真轮椅车轮减速停止运动;为左转手势时,系统自动控制仿真轮椅车轮左转;为右转手势时,系统自动控制仿真轮椅车轮右转。此过程循环运行。控制系统程序流程图如图3所示。

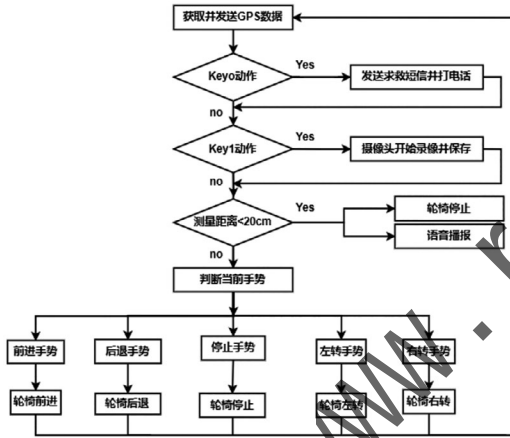


图3 控制系统程序流程图

Fig.3 Flow chart of control system program

3.1 姿态解算程序设计

MPU6050的DMP输出的四元数是 q^{30} 格式的,也就是浮点数放大了 2^{30} 。在换算成欧拉角之前,必须先将其转换为浮点数,再进行计算,计算式如下:

$$q_0 = \frac{quat[0]}{q^{30}} \quad (1)$$

$$q_1 = \frac{quat[1]}{q^{30}} \quad (2)$$

$$q_2 = \frac{quat[2]}{q^{30}} \quad (3)$$

$$q_3 = \frac{quat[3]}{q^{30}} \quad (4)$$

结合以上各式计算得到欧拉角:

$$\text{俯仰角: } pitch = \arcsin(-2 \times q_1 \times q_3 + 2 \times q_0 \times q_2) \times 57.3 \quad (5)$$

$$\text{横滚角: } roll = \arctan^2(2 \times q_2 \times q_3 + 2 \times q_0 \times q_1) \div (-2 \times q_1^2 - 2 \times q_2^2 + 1) \times 57.3 \quad (6)$$

$$\text{偏航角: } yaw = \arctan^2(2 \times q_1 \times q_2 + 2 \times q_0 \times q_3) \div (-2 \times q_3^2 - 2 \times q_2^2 + 1) \times 57.3 \quad (7)$$

其中, $quat[0]$ — $quat[3]$ 是四元组,为了让结果是以度为单位的,把弧度转换为角度需要乘以57.3,即乘以 $180/\pi$ 。仰俯角为坐标系x轴与水平面的夹角,当x轴的正半轴位于过坐标原点的水平面之上时,仰俯角为正,否则为负;偏航角为x轴在水平面上的投影与地轴之间的夹角,右偏为正,反之为负;横滚角为对称面绕x轴转过的角度,右滚为正,反之为负。本系统中利用MPU6050测得的仰俯角和偏航角实现如图4所示的四种手势控制轮椅的移动和转向,当手势处于平衡状态时轮椅停止不动^[5-8]。



图4 四种手势控制图

Fig.4 Control charts of four gestures

由图4中的手势可以看出,系统只需获取此时的俯仰角pitch和偏航角yaw,就可以准确判断此时手部的运动状态,当俯仰角小于 -20° 且偏航角小于一定范围时,系统判定发出了前进指令,轮椅控制电机缓慢提速。当俯仰角大于 20° 且偏航角小于一定范围时,系统判断发出了后退指令,系统控制电机刹车,缓慢后退。当俯仰角小于 5° 且偏航角大于 20° 或者小于 -20° 时,系统认为手部发出了左或右的转弯命令,系统通过控制电机的差速,缓慢转弯,当手不做任何动作处于平衡状态时,轮椅刹车停止。手势识别的具体流程图如图5所示。

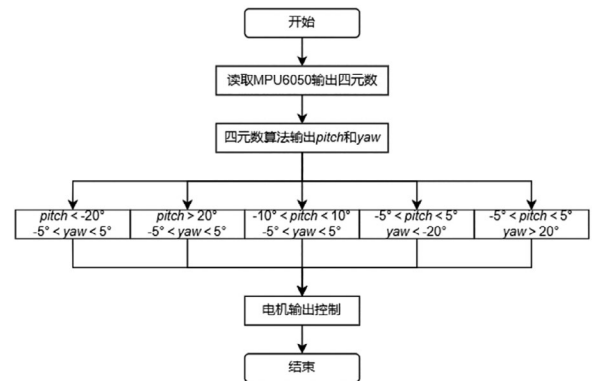


图5 手势识别流程图

Fig.5 Flow chart of gesture recognition

系统核心数据代码如下：

```
u8 mpu_dmp_get_data(float*pitch,float*roll,float*yaw)//数据获取
{
    if(sensors&INV_WXYZ_QUAT)//俯仰角和偏航角获取
    {
        float q0=1.0f,q1=0.0f,q2=0.0f,q3=0.0f;//四元数
        q0=quat[0]/q30;
        q1=quat[1]/q30;
        q2=quat[2]/q30;
        q3=quat[3]/q30;
        *pitch=asin(-2*q1*q3+2*q0*q2)*57.3;//pitch数据
        *yaw=atan2(2*(q1*q2+q0*q3),q0*q0+q1*q1-q2*q2-q3*q3)*57.3;
        return 0;//yaw数据
    }
}
```

3.2 电机软件设计

轮椅行驶的平稳性是系统的关键性能指标。系统通过控制主动轮的四伏直流电机实现轮椅行驶。轮椅的行驶速度采用PID算法，速度反馈采用编码器实现，精确度高。PID算法分为位置型和增量型两种，位置型算法占用内存大，对数据精度方面也有较高的要求。增量型算法占用内存少，算法的输出是上一次输出的增加值，计算速度快，加上输出限幅，能够使输出更平稳。基于此，本系统采用增量型PI控制，速度控制流程图如图6所示。

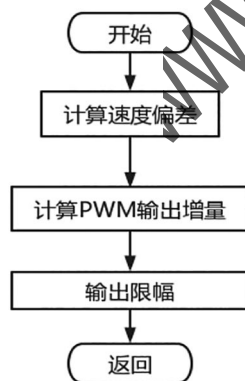


图6 速度控制流程图

Fig.6 Flow chart of speed control

采用增量型PI速度控制的速度代码如下：

```
error=Goal_speed-Encoder;//偏差=目标速度-编码器测速
Duty+=K_P*(error-last_error)+K_I*error;//增量型PI算法
last_error=error;
```

```
last_last_error=last_error;
```

```
Duty=Duty>500 ? 500:Duty;
```

```
Duty=Duty<-300 ? -300:Duty;//输出限幅，防止危险
```

```
Return Duty;
```

4 结论 (Conclusion)

本文用模块化的思想设计了一款基于手势姿态解析算法的智能轮椅，它以OpenMV摄像头为录像模块，配合MPU6050换算的欧拉角实现手势指令控制仿真轮椅的目的，并且具有一键呼叫、意外情况录像、防丢失、防撞的多重安全功能。为保证轮椅行驶平稳，通过同步测试PID算法，选用计算迅速、输出限幅的增量型PI算法。各个模块之间的协调性良好，设备配置优质但成本不高，实用性强。在实际测试中表明，手势姿势解析算法大大提高了对手势的识别率，系统配合MPU6050使手势识别率更加稳定；在轮椅平稳度方面，增量型算法优于位置型算法，安全性更高，满足轮椅智能化的要求，用户可以实现自主出行，不再因行动不便而束缚于家中。

参考文献(References)

- [1] 袁鑫宏,王兴.基于MPU6050六轴传感器的平衡车姿态检测及控制方案[J].信息与电脑(理论版),2018(23):103-104.
- [2] 黄家斌,刘子杰,梁毅俊,等.基于STM32的多功能自动平衡轮椅设计[J].软件工程,2022,25(4):35-38.
- [3] 彭天然,张梅.基于STM32的智能轮椅控制系统设计[J].物联网技术,2020,10(08):98-99,102.
- [4] 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.
- [5] XIAO D G, FAN Q, XU C G, et al. Measurement methods of ultrasonic transducer sensitivity[J]. Ultrasonics, 2016, 68: 150-154.
- [6] 任肖丽,黄婉刁,卢孙平,等.嵌入式技术的智能车系统设计与实现研究[J].单片机与嵌入式系统应用,2014,14(06):26-29.
- [7] 王宇.面向老人的智能轮椅的研究[D].苏州:苏州大学,2015.
- [8] 张园,郭栋,丁新新,等.基于手势传感器的智能轮椅系统设计[J].科技风,2020(09):5,65.

作者简介:

左太虎(1998-),男,本科生.研究领域:电气工程及其自动化.

张雨晴(2000-),女,本科生.研究领域:电气工程及其自动化.

毕爽(1998-),女,本科生.研究领域:电气工程及其自动化.

丁建(1988-),男,硕士,副教授.研究领域:电气工程及其自动化.