

· 康复工程 ·

一种多功能智能轮椅的控制系统设计*

胡 杰¹ 喻洪流^{1,2} 石 萍¹ 符方发¹ 张小满¹ 何荣荣¹

摘要

目的:设计一种多功能智能轮椅的控制系统,提高老年人和行动障碍的人士生活自理能力和生活质量,并对使用者下肢进行康复训练。

方法:通过优化控制算法提高轮椅行驶的舒适度和安全度,通过虚拟现实的人机交互系统设计,实现患者的多种下肢功能训练,结合语音、操纵面板、手机界面多种操控方式来实现轮椅的姿态转换、行驶和训练功能,融合智能家居功能方便使用者通过无线遥控家用电器。

结果:多功能智能轮椅控制系统已搭建完成,功能测试良好。

结论:多功能智能轮椅控制系统设计合理,方案可行。

关键词 下肢康复训练;智能家居;语音识别;多功能智能轮椅

中图分类号:R496 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2016)-11-1246-004

据中国残联统计,截至2010年末我国有残疾人8502万,其中肢体残疾为2472万,占残疾人总数的29.07%^[1]。此外,我国正在加速进入老龄化阶段。老龄化带来的生理机制衰退、脑血管疾病、骨关节病使得老年人行动功能大大降低。轮椅能够帮助老年人和行动功能障碍的人士行走。下肢障碍患者由于长期坐在轮椅上,下肢活动不足,易出现肌肉萎缩、压疮等并发症。轮椅使用者需要经常变换体位以改善长期静坐的状况。具有多姿态变换及下肢康复训练功能的智能轮椅在满足此需求的同时还可进行下肢康复训练,促进下肢血液循环,防止肌肉萎缩,根据医学理论和临床医学证明,科学的康复训练对患者的肢体功能康复具有十分重要的意义^[2]。此外,由于老年人和残障人士缺少照顾者^[3-4],融合了控制家居功能的智能轮椅将给行动功能障碍者带来极大的生活便利。

1 多功能轮椅车控制系统的总体设计

多功能智能轮椅的控制系统根据分层思想和模块化思想设计,是由底层下位机控制系统和顶层用户控制系统两大系统组成。底层下位机控制系统主要由主控制器模块,电机行驶控制模块,姿态控制模块,智能家居控制模块组成;顶层用户控制系统主要由语音控制模块,手机/平板移动终端组成。

底层下位机控制系统主要负责以下5个工作:①实现普通电动轮椅基本的代步行驶功能;②接收控制指令精确地控

制六个直线电机,从而实现轮椅坐姿、平躺、站姿三个姿态之间的任意转换;③控制轮椅脚部踏板处电机以及压力传感器,实现下肢的康复训练功能;④接收控制指令通过无线控制家用电器,如:风扇、电灯、报警器、门、窗帘等;⑤与顶层用户控制系统进行无线通讯,接收指令和上传训练相关数据和轮椅相关性能参数。

顶层用户控制系统是专门为用户设计的终端,它负责用户与智能轮椅间的交互,还增加了虚拟现实游戏,使康复训练不再枯燥。

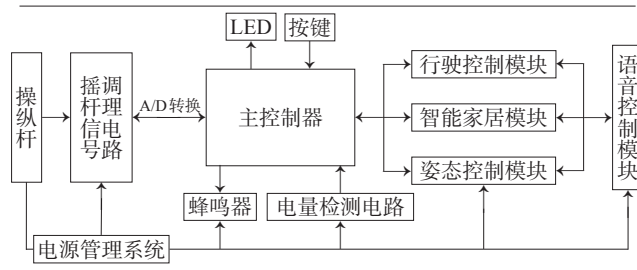
轮椅控制系统的整体框图见图1。

2 轮椅控制系统主要模块的设计

2.1 轮椅控制系统行驶模块设计

行驶控制模块是整个系统中必不可少的子系统,它负责整

图1 系统整体框图



DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.11.014

*基金项目:上海市产学研医项目资助(12DZ1941003; 12DZ1941004);上海工程技术研究中心项目资助(15DZ2251700);上海科委产学研医项目(15DZ1941902)

1 上海理工大学医疗器械与食品学院康复工程与技术研究所,上海康复器械工程技术研究中心,200093; 2 通讯作者

作者简介:胡杰,男,硕士研究生; 收稿日期:2015-07-02

个轮椅的代步行驶任务,主要由控制器、电机驱动电路、过流保护电路、陀螺仪、加速度计和执行机构无刷直流电机组成^[5-9]。

作为子系统,行驶控制模块的动作受主控制模块控制,并从主控制模块那里获得最重要的信息,包括:摇杆当前位置,当前轮椅速度档位等。尽管如此,行驶控制模块同时具备自我调节和自我诊断的功能,通过陀螺仪检测轮椅倾斜角度来防止侧翻,同时利用加速度计反馈轮椅实际速度进行速度PID调节,使得轮椅行驶更加舒适。

2.2 轮椅控制系统姿态转换及康复训练模块设计

姿态转换及康复训练模块负责控制轮椅坐起,平躺,站立三种姿态和游戏训练的压力信号检测,它主要由控制器、SI4432无线通讯模块、电机驱动电路、压力传感器滤波放大电路和执行机构直线电机组成。其中直线电机有六个,一个控制轮椅的靠背,一个控制轮椅的坐垫,两个控制左右腿的前后移动,两个控制脚的上下移动。

姿态转换及康复训练模块以LPC1754作为核心控制芯片,该芯片是NXP公司推出的基于ARM Cortex-M3内核的微控制器LPC17XX系列中的一员。LPC17XX系列Cortex-M3微处理器用于处理要求高度集成和低功耗的嵌入式应用。LPC1754操作频率可达100MHz,同时拥有非常丰富的外设组件,包含高达512KB的flash存储器、64KB的数据存储器、以太网MAC、USB主机/从机/OTG接口、8通道DMA控制器、4个UART、2条CAN通道、2个SSP控制器、SPI接口、3个IIC接口、2输入和2输出的IIS接口、8通道的12位ADC、10位DAC、电机控制PWM、正交编码器接口、4个通用定时器、6输出的通用PWM、带有独立电池供电的超低功耗RTC和多达70个的通用IO管脚。

LPC1754的多种方式和多通道的通讯接口和ADC,以及电机控制PWM,满足本模块6个直线电机协调控制以及各个模块之间的通讯和各种传感器信号采集与处理。

在多姿态智能康复轮椅车的左右踏脚上分别安装有一个JHBM-100kg型的压力传感器。在训练轮椅车站立模式下,患者通过改变自身重心来控制游戏中小鸟的左右移动,作用于患者左右脚下的压力传感器可以感知到重心的变化,将压力信号转化为电信号,重心偏移越多,重心偏移一侧脚下的压力将会变大,另一侧脚下压力变小,压力变大将会导致压力传感器输出电压变大,压力变小将会导致压力传感器输出电压变小。将两侧压力传感器的输出电压通过差分放大电路进行放大,经过A/D转换后输入到单片机中进行处理,游戏中小鸟将会向输出电压变大的一侧即向重心移动一侧移动,电压差越大,小鸟移动越快。

2.3 轮椅控制系统智能家居模块设计

智能家居是物联网的重要组成部分,在现实生活中有着重要的应用^[10-12]。无障碍居家环境控制系统是一种供残疾

人使用的电子机械辅助装置,它能使残疾人对居家环境中的各种护理或电器设备进行控制,达到或接近正常人控制环境设备的能力。本系统将无障碍居家模块结合到轮椅控制器系统中,真正从残疾人自身的需求出发,只需要简单的通过按键/摇杆或手机/平板就能通过无线控制家电,为他们提供一个方便的居家生活环境。

智能家居模块主要由电源模块、SI4432无线通讯模块、智能家居控制器、家用电器如:电灯、风扇、报警器、窗帘、电动门等组成。

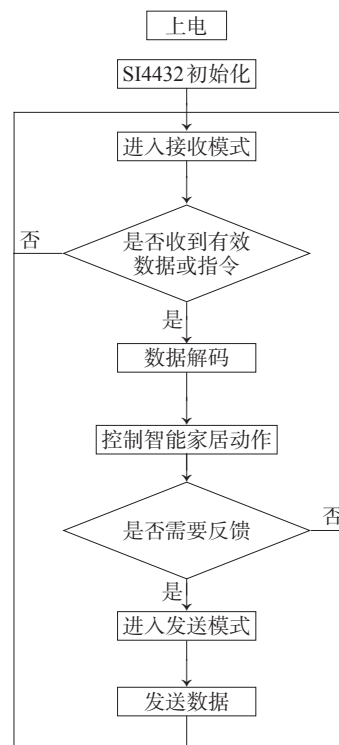
智能家居软件程序主要是SI4432无线收发和继电器的控制。流程图如图2所示。程序运行开始,先对无线模块进行初始化,并设置为接收模式,当主控制器或语音控制器发出智能家居控制命令时,经过解码得到对应的家用电器控制命令,并对其进行操作,如果是电动门或窗帘就需要反馈当前的状态,那么无线模块会向主控制器发送姿态信息。

2.4 语音控制模块

语音识别技术也被称为自动语音识别(automatic speech recognition, ASR),是让机器通过识别和理解过程把语音信号转变为相应的文本或命令的高级技术^[13-15]。

语音识别系统可以根据对输入语音的限制加以分类,这些不同的限制也确定了语音识别系统的困难度。从说话者与识别系统的相关性考虑,可以将语音识别系统分为三类:

图2 智能家居软件流程图



①特定人语音识别系统;②非特定人语音识别系统;③多人的识别系统。从说话方式考虑,可以将语音识别系统分为三类:①孤立词语音识别系统;②连接词语音识别系统;③连续语音识别系统。另外,根据识别系统的词汇量大小,也可以将语音识别系统分为三类:①小词汇量语音识别系统;②中等词汇量语音识别系统;③大词汇量语音识别系统。

本系统嵌入了语音模块,实现语音控制轮椅的站立、平躺姿势的转换及智能家居的状态,在无需看护人员帮助的情况下,帮助残症患者自主对轮椅和智能家居进行控制。考虑到语音控制存在噪声干扰的问题,本系统的语音模块采用特定人语音识别系统,在初次使用前进行特定人语音训练,然后完成特定人语音控制,以解决周围环境的噪声干扰问题。最后,对轮椅的语音模块软硬件进行联合实验调试,验证语音模块的可行性;并通过实验所得的语音识别准确率,确定语音模块的应用。

语音控制模块硬件设计:语音识别模块使用Sensory公司生产的NLP-5X语音识别处理器为核心组件进行设计,本课题设计的语音识别模块组成结构见图3。

语音模块软件设计:语音模块软件设计主要是训练和识别两个部分,其流程图见图4—5所示。

3 系统测试

根据系统模块化设计,系统第一套样机已经制作完毕,系统测试平台如图6所示,本系统通过操作面板、手机/平板控制轮椅的站立、平躺、坐起,康复训练,智能家居和行驶。实验中系统运行实验性能良好,达到预期设计目标。

轮椅的姿态和智能家居同时还可以通过语音控制,为了测试语音识别成功率,做了以下实验:

实验过程:①在安静环境(20—30dB)下,进行语音命令的训练,单个命令训练两次,存储。分别在安静环境下(20—30dB)、比较安静环境(30—40dB)、嘈杂环境(>50dB)进行语音命令控制,测试成功率,结果如表1所示,控制环境的选择依据是模拟居家环境^[6]。②在安静环境下,分别用普通话、英语、粤语进行语音控制命令,测试成功率,结果如表2所示。实验结果分析,由表1可得安静环境,即无人说话,控制成功率96%,说明语音识别算法很成功;比较安静环境,即允

图3 语音识别模块结构图

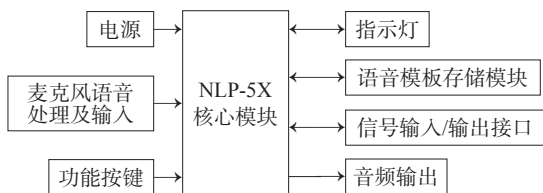


图4 语音训练流程图

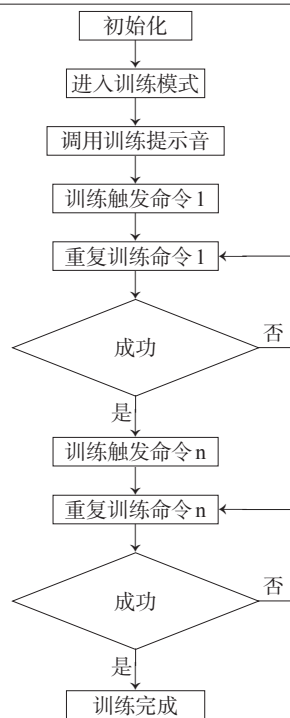
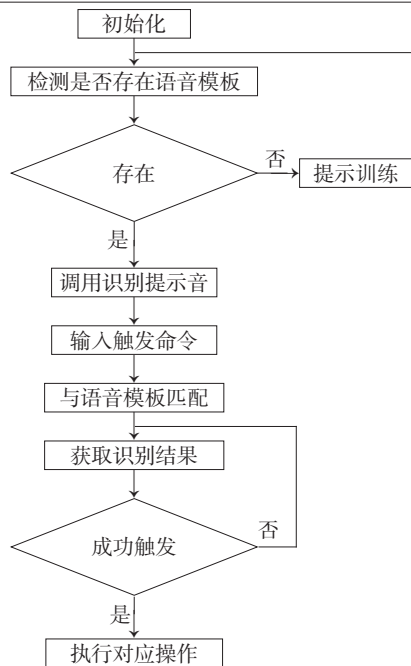


图5 语音识别流程图



许人正常交流,控制成功率为84%,说明此系统适用于居家环境;嘈杂环境,即多人谈话环境,控制率为60%,并且会随着分贝的增加,成功率逐渐下降,说明系统不适合在嘈杂环境使用。由表2可得,用三种语言进行命令控制成功率相差

很小,说明识别率和语言无关,使用者可以根据自己的喜好选择语言进行训练与控制轮椅。

图6 轮椅系统测试平台



表1 语音识别成功率实验结果

控制环境	分贝数 (dB)	控制次数 (次)	成功识别次数 (次)	成功率 (%)
安静环境	20—30	100	96	96
比较安静环境	30—40	100	84	84
嘈杂环境	>50	100	60	60

表2 语音识别成功率实验结果

控制命令语言	控制次数 (次)	成功识别次数 (次)	成功率 (%)
普通话	100	96	96
英语	100	95	95
粤语	100	95	95

4 讨论

文中针对提出的姿势变换、下肢康复训练以及智能家居控制等三大基本功能,分模块设计了硬件电路以及对应的软件代码实现。通过对摇杆的平面矢量分布的分析,实现了对摇杆位置的实时读取判别;通过合理设计电机驱动电路以及电机的变速曲线,结合六轴陀螺仪和加速度计,实现了轮椅在负重条件下根据摇杆矢量图执行准确的行驶曲线的功能;设计了可靠的压力传感器信号变送电路以及数据处理代码,有效的提取出了患者的足底压力信号;通过对机械结构和人体姿势的分析,合理的设计了姿态变换过程及合适的体位;通过对普通家用电器的插座进行智能改造,完成了智能家居控制节点的硬件实现;充分利用了语音芯片强大的特定人识别功能,编写了可靠的功能实现代码以保证语音识别的准确性;设计了可靠的SI4432无线网络通信、蓝牙通信、串口通信、SPI通信等相关的应用协议,保证了系统中数据相互传输的可靠性和准确性;针对Android的智能终端,编写了上位机主控软件,并利用该终端和互联网进行数据交互,提供了友

好的人机交互控制界面;编写了虚拟现实游戏相关代码,通过提取底层系统的压力传感器输出并处理,成功地将虚拟现实技术和康复训练结合起来;利用SI4432无线自组网络,实现了对多种家用电器节点的控制。

本作品是从行动障碍患者的利益出发,旨在设计一种新型轮椅车,降低由于使用者久坐导致的各种并发症的几率,设计具有体位变化功能的智能轮椅,到达康复训练的效果。该轮椅同时增加包括手机和语音等多种控制轮椅的方式,并实现控制家居系统的功能,极大地方便了使用者的操作。在保障使用者行驶过程中的安全性、舒适性的基础上使用语音和手机、平板更加便捷地控制轮椅本身以及家中的电器。

参考文献

[1] 中国残联(2012)25号文件.
[2] 陈君,李泽兵.改良版临床结局变化量表的有效性研究[J].中国康复医学杂志, 2004,19(11):820—823.
[3] 史雄. 城市社区居家养老服务的研究[D]. 上海:华东师范大学,2009.
[4] 陈笑楠. 老龄化背景下我国城市居家养老研究[D]. 长春:吉林大学. 2008.
[5] Dicianno BE, Cooper RA, Coltellarol.Joystick control for powered mobility: current state of technology and future directions[J].Phys Med RehabilClin N Am, 2010, 21(1):79—86.
[6] Chow JW1, Levy CE.Wheelchair propulsion biomechanics and wheelers' quality of life: an exploratory review[J].DisabilRehabil Assist Technol, 2011, 6(5):365—377.
[7] Barrett G, Kurlley K, Brauchie C, et al. Wheelchair-mounted robotic arm to hold and move a communication device: final design[J].Biomed Sci Instrum, 2015, 10(51):1—8.
[8] Forkel N. Wheelchair adjustment: practical advice for the family doctor[J]. Rev Med Suisse, 2015, 11(459):315—316.
[9] Huang WP, Wang CC, Hung JH, et al.Joystick- controlled video console game practice for developing power wheelchairs users' indoor driving skills[J].JPhysTher Sci. 2015,27 (2):495—498.
[10] 卢博睿.重残患者无障碍居家环境控制系统研究[D].上海理工大学,2013.
[11] 张金艳,张建江.安静居住小区环境噪声检测技术的探讨[J].噪声与振动控制,2007,27(4):127—128.
[12] Aiello M, Aloise F, Baldoni R, et al. Smart homes to improve the quality of life for all[C]. Conf Proc IEEE Eng Med BiolSoc,2011.1777—1780.
[13] 卢艳,黄云龙. 一种语音识别声控车模的设计[J]. 微计算机信息,2010, 26(9—1):200—202.
[14] Xiaoxia Chen, Jian Huang, Yongji Wang. Incremental feedback learning methods for voice recognition based on DTW [C]. 4th International Conference on Modeling, Identification and Control, Wuhan, 2012:6-24.
[15] 陈立万. 基于语音识别系统中的 DTW 算法改进技术研究 [J].微计算机信息,2006,22(2—2):267—269.