[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.02.010

可变位姿越障轮椅的控制系统

薛必伦[1,2]，张秋菊[1,2]，宁　萌[1,2]

（1.江南大学 机械工程学院，江苏 无锡　214122；
2.江南大学 江苏省食品先进制造装备技术重点实验室，江苏 无锡　214122）

摘　要：为了改善老年人和残疾人行动不便的情况，针对可变位姿越障轮椅的各种功能需求，提出了可变位姿越障轮椅的控制系统。设计了以PC机为上位机，以STM32为运动控制处理器的控制系统，介绍了整体功能需求；采用CAN模块实现STM32与PC机、各驱动模块的通信；设计了以伺服电机为驱动电机的位姿变换功能；设计了整个轮椅位姿极限位置监测报警系统；采用手柄操控器的红外遥控功能，设计了可变位姿越障轮椅的人机操作系统。课题组的研究有益于可变位姿越障轮椅的功能快速响应，便于轮椅的调试也让使用者更加方便地操控轮椅。

关　键　词：可变位姿越障轮椅；下位机；STM32运动控制处理器；CAN通信接口

中图分类号：TP242　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1005-2895(2019)02-0052-04

Control System for Wheelchairs with Variable Posture and Obstacles

XUE Bilun[1,2], ZHANG Qiuju[1,2], NING Meng[1,2]

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China;
2. Jiangsu Key Laboratory of Advanced Food Manufacturing Equipment and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China)

Abstract: In order to improve the mobility of the elderly and the disabled, a control system for the wheelchair with variable posture and obstacle crossing performance wheelchair was proposed for various functional requirements of this kind of wheelchair. The control system with PC as the upper computer and STM32 as the motion control processor was designed and the overall functional requirements were introduced. The CAN module is used to realize the communication between STM32 and PC and each driver module. The pose transformation function based on servo motor and whole wheelchair position limit position monitoring alarm system were designed. The human-machine operating system of the wheelchair was designed with the application of the infrared remote control function of the handle controller. The research is beneficial to the quick functional response of the wheelchair with variable posture and obstacle crossing function, which achieves the convenient debugging and easy operation of the wheelchair.

Keywords: wheelchair with variable pose and obstacles; lower computer; STM32 motion control processor; CAN interface

联合国在2017年《世界人口展望》报告中指出，老年人占总人口的比例在1950年是8%，2000年是10%，预测2050年将达到21%。全球老龄化趋势难以逆转，世界已大踏步进入老龄化社会。同时，交通事故频发而造成肢体损伤的人数也越来越多[1-3]，对此类人群来说使用具有独立移动性并且可以辅助完成日常出行任务的设备会尽可能减少对护理人员的依赖，对活动参与度和生活质量等方面会产生重大影响。总之，行动不便的人十分希望拥有独立的行动自由[4-5]。目前具有行动障碍的老年人或者残疾人约占世界总人口的1%。针对以上问题，课题组设计了一种可变位姿越障轮椅，具有灵活移动、位姿变换和室外越障的功能。课题组主要针对轮椅各种功能模式需求，设计以PC机为上位机，以STM32为运动控制处理器的控制系统。

1　可变位姿越障轮椅功能需求分析

目前国内外典型的复合式机构的轮椅主要有美国人迪恩·卡门发明的爬楼轮椅iBOT[6]，内蒙古民族大学物理与机电学院的苏和平等借鉴了iBOT的爬楼方

收稿日期：2018-09-25；**修回日期**：2018-11-16

基金项目：国家自然科学基金青年基金项目(51705201)。

第一作者简介：薛必伦(1994)，男，江苏涟水人，硕士研究生，研究方向为机电一体化。E-mail：XueBilun@163.com

式,采用星形轮系作为爬楼梯机构,设计了一种双联星形机构电动爬楼梯轮椅[7-8]。国内外研究的复合式轮椅结合了多种运动机构的优点,能更好地适应外部环境[9-10],但不能很好地满足特殊人群的室内生活需求。可变位姿越障轮椅是为行动有障碍的人群提供既适用于室内又适用于室外的代步工具,让使用者能在居家与户外之间进行很好的切换:在室内能让使用者轻易地从床上移动到轮椅上,并在室内能灵活移动;在室外可以帮助使用者轻易进入车内,轻松跨越路障。可变位姿越障轮椅结构如图 1 所示。

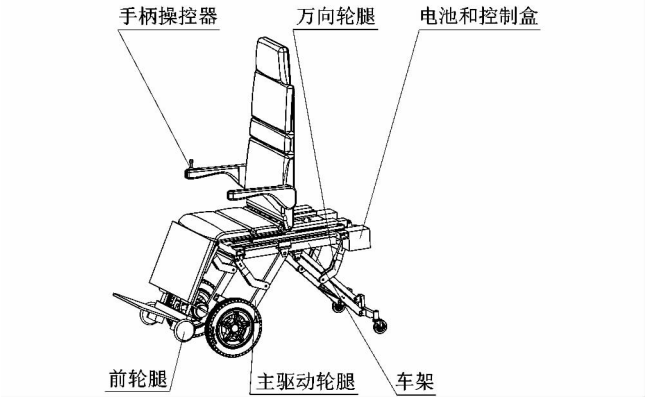

图 1　可变位姿越障轮椅结构

Figure 1　Structure of wheelchair with variable pose

可变位姿越障轮椅的功能包括:基本移动功能、爬坡位姿调节、整体位姿调节以及越障功能。整体位姿调节主要依靠主驱动轮腿与万向轮腿的起降来控制,两者分别装有驱动电机。

根据功能需求,课题组设计了如图 2 所示可变位姿越障轮椅控制系统,目的是让可变位姿越障轮椅完成位姿变换以及移动指令。STM32 作为下位机主控模块控制各个驱动模块,使各驱动模块相互协调配合完成指定动作。

2　控制系统总体方案

2.1　运动控制系统结构

可变位姿越障轮椅的运动控制系统结构如图 3 所示,主要包括处理器模块、驱动模块、传感器模块、通信模块以及供电模块。

可变位姿越障轮椅拥有多自由度,相应反馈信息也较多,就此设计了 2 种控制模式:①将 PC 机作为中央处理器,可在线人机交互、发送指令控制整个轮椅,此模式可用于调试过程;②在离线情况下用手柄操控器控制发送指令,此模式可用于用户操作。

可变位姿越障轮椅在运行时,首先选择用 PC 机进行在线控制或者在离线情况下通过手柄操控器发送

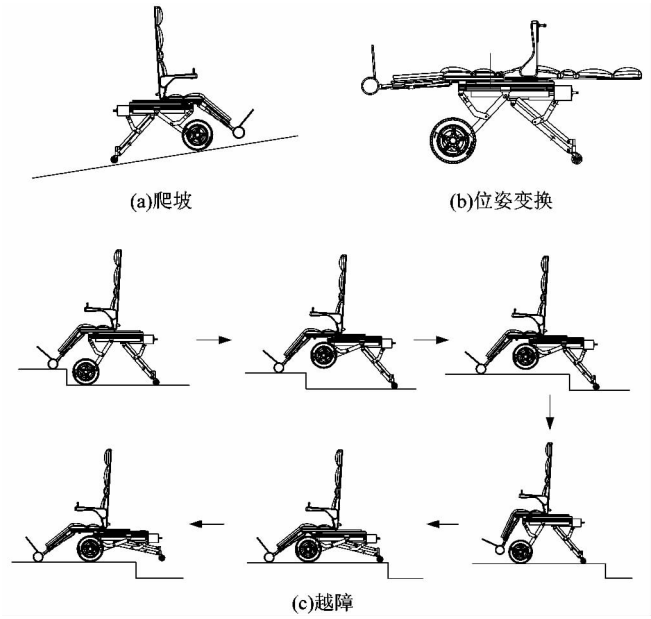

图 2　可变位姿越障轮椅功能示意图

Figure 2　Schematic diagram of wheelchair function with variable pose

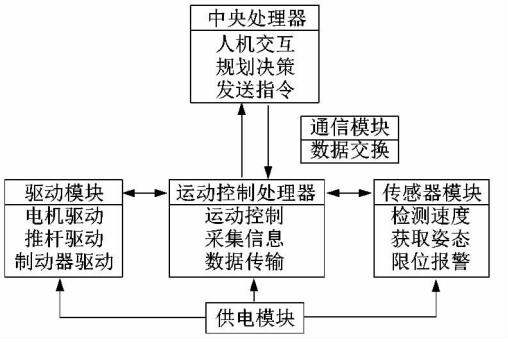

图 3　运动控制系统结构

Figure 3　Structure of motion control system

指令。通信模块将指令发送给运动控制处理器,由运动控制处理器读取并解析收到的指令,并交由驱动模块执行,控制电机、推杆和制动器驱动。此时传感器模块会相应地反馈速度、位置和限位报警等信息给运动控制处理器,完成对整个控制系统的监测。

2.2　控制系统的硬件结构设计

在整个控制系统中,选用 PC 机作为中央处理器,选用 STM32 为各个模块的运动控制处理器,各控制核心之间采用 CAN 总线进行通信,整个控制系统的硬件框图如图 4 所示。

可变位姿越障轮椅包含 6 个电机(2 个主驱动电机,2 个前腿驱动电机,2 个位姿调节电机)和 2 个电动推杆,电机均为直流伺服电机,由运动控制处理器和电机驱动器进行控制和驱动。

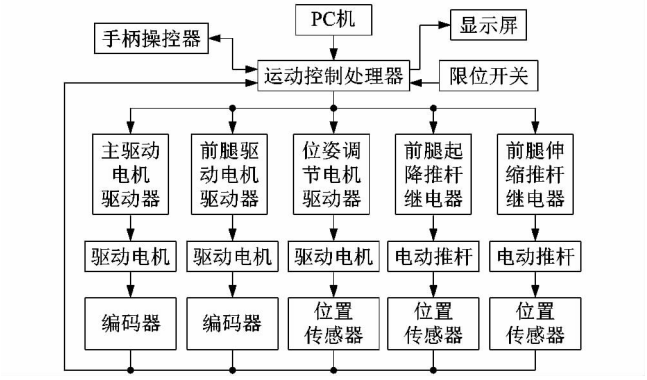

图 4 控制系统的硬件框图

Figure 4 Hardware block diagram of control system

选取 STM32F407 为运动控制处理器，STM32F407 自带 CAN 通信口，将 CAN 通信口 PA11、PA12 与驱动器相连，实现同时控制主驱动电机、前腿驱动电机以及位姿调节电机。通过编码器对电机进行闭环控制，移动电机主要采用速度环。因此选用 RoboModule 直流伺服电机驱动器，根据功能需求分别采用速度模式与速度位置模式来控制电机。以位姿调节电机为例，STM32F407 与驱动器通过 CAN 口通信，位姿调节的电机与编码器都与驱动器相应的接口连接，为防止机构超出极限位置，装有限位开关，起到监测报警作用，电气接线如图 5 所示。

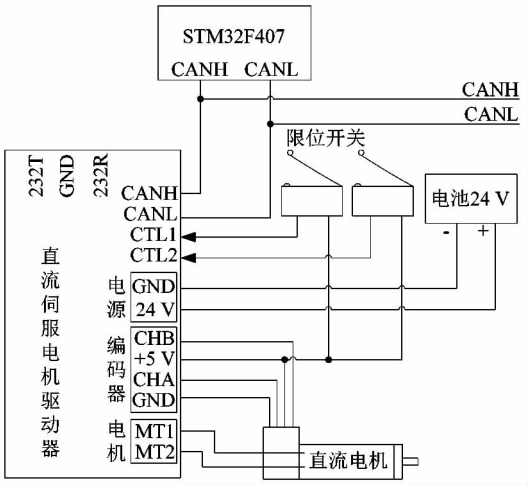

图 5 位姿调节电机电气连线图

Figure 5 Pose adjustment motor electrical connection diagram

对于电动推杆的控制，可通过控制继电器的通断来控制电动推杆的运动，同时通过限位开关对执行机构极限位置进行监测。手柄操控器通过红外线信号给 STM32F407 传递指令，STM32F407 自带红外接收头，经过红外解码完成指令接收与解析。选用 4.3 英寸 LCD 显示屏，主要显示当前轮椅模式与传感器反馈的信息。由 24 V 锂电池给整个控制系统供电。

2.3 下位机软件设计

可变位姿越障轮椅的下位机软件主要完成与上位机通信，运动控制，数据传输任务和信息采集的任务；主程序的执行由系统初始化，CAN 网络初始化，检查机构是否处于极限位置开始，此时可变位姿越障轮椅处于待机状态。通过手柄操控器选择功能模式：主驱动电机模式，主要控制轮椅的前进、后退和差速转向；前腿驱动电机模式，主要控制前轮电机转动，多用于越障；整体位姿调节模式，主要控制主驱动轮腿以及万向轮腿的抬升下降，从而完成轮椅的整体位姿调节；前腿伸缩起降模式，主要完成前轮腿的抬升下降以及伸缩功能。选择相应模式，对应的传感器会把信息反馈至显示屏上，遇到极限位置会及时报警。具体控制流程如图 6 所示。

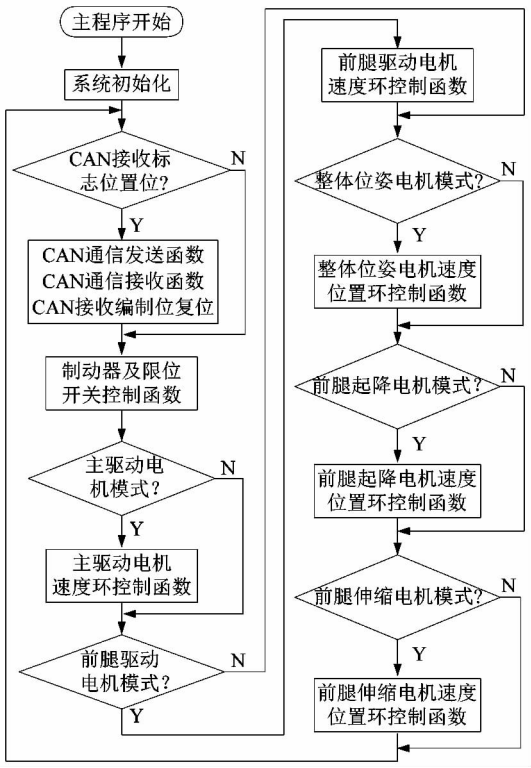

图 6 下位机程序流程图

Figure 6 Lower computer program flow chart

若轮椅在调节位姿时超过极限位置，则触发中断函数，中断函数结束后轮腿执行机构进行初始化。初始化完成后，系统会根据 CAN 通信过程中接收到的指令信息，判断此时应执行哪个模式，确认模式后调用相应的运动控制函数执行动作，动作执行完毕系统返回主程序等待下次中断。中断程序如图 7 所示。

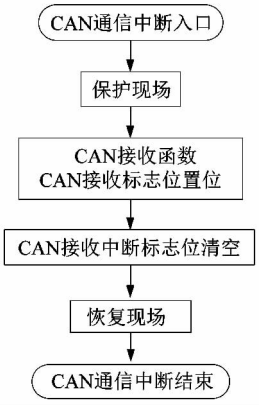

图 7　下位机 CAN 通信中断程序流程图

Figure 7　Lower computer interrupt program flow chart

2.4　伺服驱动系统

系统中主要有 2 类伺服驱动系统:一类是控制主驱动电机以及前腿驱动电机的电机速度环控制系统;另一类是控制轮腿起降伸缩位置的电机速度位置环双环控制系统。位置环是最外环,在运动控制器和电机编码器之间构建,电机编码器通过光栅计数将脉冲信号反馈给运动控制器,运动控制器捕获到脉冲信号后通过计算得到电机的实际位置,与运动命令信息当中的位置设定值做比较,从而得到电机的位置误差。系统性能的好坏直接影响可变位姿越障轮椅的运动特性和越障能力。

控制算法采用计算机数字控制方式,通过 PID 数字控制器对其进行控制,PID 控制兼有比例、积分和微分 3 种基本控制规律的优点,可使系统的稳态和动态性能都得到相应的改善。该算法分为位置式 PID 算法和增量式 PID 算法,后者与前者相比计算量更小,且参数易调,课题组采用的增量式 PID 算法控制原理如图 8 所示。

3　结语

课题组以 PC 机作为上位机,STM32 为下位机驱动处理核心,设计了可变位姿越障轮椅的控制系统,实现了轮椅的行进、位姿变换以及室外越障功能,采用手柄操控器模块的操作系统使整个操作过程更为简单、快捷。老年人与残疾人通过手柄操控器控制可变位姿越障轮椅,可以在室内实现床椅转移,灵活移动,在室外可跨越台阶等,较好地解决了老年人与残疾人行动不便的问题,提高他们的生活质量。课题组研究的控制系统已基本满足对可变位姿越障轮椅的日常控制要求,可在该基础上添加视觉模块,进一步优化人机交互功能。

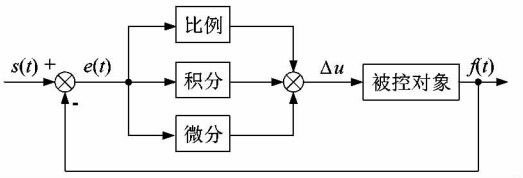

图 8　增量式 PID 算法的控制原理

Figure 8　Control block diagram of incremental PID algorithm

参考文献:

[1]　刘琪. 联合国发表多项议题:关注世界人口老龄化问题[J]. 上海城市管理,2017,26(5):96 - 96.

[2]　张毅,刘娇,罗元,等. 基于唇形的智能轮椅人机交互[J]. 控制工程,2013,20(3):501 - 505.

[3]　杨俊友,李宇庆,白殿春. 下肢康复机器人机械结构设计及动力学仿真[J]. 沈阳工业大学学报,2010,32(5):514 - 519.

[4]　ANDERSON K D. Targeting recovery: priorities of the spinal cord-injured population[J]. Journal of Neurotrauma, 2004, 21(10): 1371 - 1383.

[5]　COWAN R E, FREGLY B J, BONINGER M L, et al. Recent trends in assistive technology for mobility[J]. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 2012, 9(1): 20.

[6]　UUSTAL H, MINKEL J L. Study of the independence IBOT 3000 mobility system: an innovative power mobility device, during use in community environments[J]. Archives of Physical Medicine & Rehabilitation, 2004, 85(12): 2002 - 2010.

[7]　苏和平,王人成. 一种双联星形轮机构电动爬楼梯轮椅的设计[J]. 中国临床康复,2005,9(26):144 - 145.

[8]　黄锦婷,苑明海,王松,等. 下肢康复机器人结构设计与仿真分析[J]. 机电工程,2018,35(2):133 - 137.

[9]　田娜,丁希仑,戴建生. 一种新型的变结构轮/腿式探测车机构设计与分析[J]. 机械设计与研究,2004,20(增刊1):268 - 270.

[10]　王林. 分数阶控制器参数自整定算法研究[D]. 大连:大连交通大学,2012:16 - 17.