

基于Cortex-M3的电动医疗床驱动 与控制系统

陆小健¹, 李 强^{2*}, 丁苗江¹

- (1. 浙江捷昌线性驱动科技股份有限公司, 浙江 新昌 312500;
2. 杭州电子科技大学 智能与软件研究所, 浙江 杭州 310018)

摘要: 为解决目前国内电动医疗床功能简单、技术落后等问题,提出了一种多个线性驱动器同步运行、实现电动医疗床复杂位置控制的驱动与控制系统。该控制器以Cortex-M3为核心,与线性驱动器上的双霍尔传感器构成了闭环控制回路,通过模糊PID控制,实现了多个线性驱动器的同步运动控制;采用CASS嵌入式开发平台技术,在专用控制器上实现了对控制逻辑的梯形图编程,提高了开发效率;详细地描述了其系统结构、线性驱动器改进的机械结构和控制器软、硬件的设计。该系统已应用于ICU医疗床,通过对3台立柱式推杆同步运动控制和2台手持式推杆的协同控制,结果表明,该系统可实现医疗机构的各种护理和康复功能。

关键词: 电动医疗床;线性驱动器;同步运动控制;图形化编程

中图分类号:TP273.5;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)08-0954-04

Drive and control system of electric medical bed based on Cortex-M3

LU Xiao-jian¹, LI Qiang², DING Miao-jiang¹

- (1. Zhejiang Jiechang Linear Actuator Technology Co. Ltd., Xinchang 312500, China;
2. Hangzhou Dianzi University Institute of Computer, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problems of simple function and backward technology of domestic electric medical bed, a drive and control system of electric medical bed which could drive multiple linear actuators synchronously to realize complicated functions of position control was presented. The Cortex-M3 was used as its core, and the closed-loop control circuit was constructed with dual Hall sensors in actuators, the synchronization motion control for multiple linear actuators was realized by using fuzzy PID algorithm. The CASS embedded platform was used to program with ladder diagram to implement control logic on the special controller, which improved the programming efficiency. The system's structure, the improvements of mechanical structures in linear actuators and the design of the controller were described in detail. The system has been used in an ICU medical bed which is driven synchronously by three column actuators and two handhold actuators. The results show that this system realizes all kinds of care and rehabilitation functions.

Key words: electric medical bed; linear actuator; synchronization motion control; graphical programming

0 引 言

电动医疗床不仅适用于医疗单位作为ICU护理床,而且可作为用于疗养院、养老院的家庭护理床。国外的电动医疗床各种护理功能完善、成熟^[1-2],而

国内的相关研究还处于起步阶段,作为电动医疗床核心部件的驱动与控制系统,国内还较少涉及。目前产品存在的不足有:功能简单、舒适性差;智能化程度低,只能满足基本护理功能^[3-5]。

目前国内电动医疗床市场中进口产品占了很大

收稿日期:2012-02-28

作者简介:陆小健(1970-),男,江苏南通人,主要从事线性驱动控制方面的研究。E-mail:Powerman@jiechang.com

通信联系人:李 强,男,博士,副教授,硕士生导师。E-mail:hzlee@hdu.edu.cn

比例,其质量较好,但价格较高^[6]。针对电动医疗床的应用需求,本研究提出一种能对多个线性驱动器进行同步运动控制、实现多种位置控制功能的电动医疗床驱动与控制系统。该系统的线性驱动器根据电动医疗床特殊的功能需求作了特别的设计;控制系统采用Cortex M3 SOC芯片作为核心,能控制多个线性驱动器同步运行;同时采用CASS嵌入式开发平台技术,实现控制程序的梯形图编程,提高了开发效率。

本研究论述该系统的结构、驱动器、控制器软硬件和操作器的设计,以及该系统在ICU护理床上的应用实现。

1 系统结构

该系统由线性驱动器、控制器和操作器3部分组成。线性驱动器是整个系统的执行机构,由多台立柱式推杆作为主推杆,起到医疗床支撑和主体运行作用,驱动床体升降、左右侧翻和前后升降,手持式推杆驱动床体的背板和腿板的折起与平放。控制器接收操作器的指令,协同控制多台线性驱动器的执行,实现单一和复杂组合的位置控制功能。操作器由护士操作台、脚踏开关和护栏操作器等组成。系统结构如图1所示。

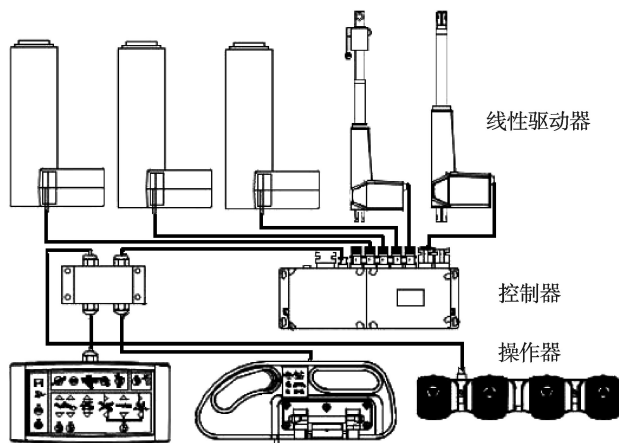


图1 系统结构示意图

2 线性驱动器的设计

2.1 立柱式推杆的设计

立柱式推杆作为主推杆起到支撑和主体运行的作用,需具有较大的抗侧向力,才能保证床体在多姿位运行时动作柔和、运行平稳。本研究通过加大推杆内外管接触面积,使其在最大行程时接触面积约有30%左右,可大幅提高推杆在运行时承载侧向力。传统推杆承受的侧向力约 $50\text{ N}\cdot\text{m}\sim 100\text{ N}\cdot\text{m}$,而通过增大接触面积,推杆承载侧向力达到 $400\text{ N}\cdot\text{m}$ 。其次内管与滑套间采用合理的间隙配合,确保在承受侧向力时,内管

不产生晃动、偏离的现象,保证推杆在运行时的平稳性。本研究通过这两项改进设计,提高了系统的侧向力承受能力,确保系统在运行时的平稳可靠、低噪音。

2.2 手持式推杆的设计

该系统主要应用在ICU病床上,需要符合病人康复需求和医生、护士施救要求。当床体折起时,若病人出现休克,医护人员需要将床体尽快放平才能施救。根据牙嵌离合器的工作原理,本研究设计出推杆的快速释放头,对牙型进行优化设计^[7],推杆在任何行程,当推杆负载达到 50 N 时,只要扳动手柄,就能快速释放,使推杆回到原始状态。通过将快速释放头与推杆内管采用螺纹连接,便于更换。快速释放推杆在该系统上的应用,可实现在紧急情况下,病床背板在 3 s 内迅速放平,便于医护人员对病人的抢救。

病人比较习惯将物品放置在床尾。如果采用常规推杆作为推动腿部运动的推杆,当腿部处放置杂物的情况下放平腿板,就会损坏床体和推杆。该系统改进了腿部推杆的结构,设计了推杆内管与螺母采用花键连接的方式。当推杆在升降过程中受到一定反作用时,花键和花键套就自动脱离,丝杆处于不受力状态,推杆就不会再运行,达到保护推杆和床体目的。防夹手推杆在该系统的应用,可提高床体的安全性。

3 控制器的设计

3.1 硬件设计

控制器硬件由控制模块、电源模块、通讯模块、传感器信号处理模块、电机驱动模块和蓄电池模块等构成,是以SOC芯片为基础的、通用的、模块化的硬件平台。

硬件结构框图如图2所示,功能模块分述如下:

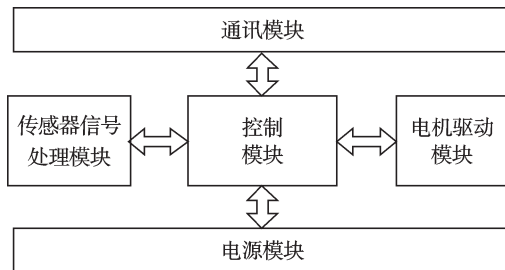


图2 控制器硬件的结构框图

(1) 控制模块。作为整个控制系统的核心,控制模块选用嵌入式可编程的Cortex M3芯片,执行控制程序,达到控制受控目标的目的。该模块主要完成以下功能:对直流电机方向、速度等的控制、对传感器信号的处理和通信的管理。Cortex M3芯片具有价格低、速度快、功耗低和可靠性高等优点^[8]。

(2) 传感器信号处理模块。包括温度传感模块、电流传感模块和电机转速位置传感模块。电机转速

位置传感模块采用高精度线性霍尔传感器采集电机反馈信号,作为位置调整与位移控制执行装置的位置信号;温度传感模块采用热敏电阻,通过对热敏电阻模拟量的采集,达到对温度检测的目的;电流传感模块利用采样电阻,将电流转换为电压量,然后采样电压量,实现对电流信号的采集。

(3) 电机驱动模块。包括电机转速控制模块与电机方向控制模块。电机转速控制模块采用PWM技术实现对电机转速控制;电机方向控制模块利用继电器实现对电机方向的控制。

(4) 电源模块。采用三级稳压技术,保障了供给CPU的电源的稳定。

(5) 通信模块。实现操作器与控制器之间的Modbus 协议通信,以及控制器与PC机之间的通信。

控制器硬件的电路图如图3所示。

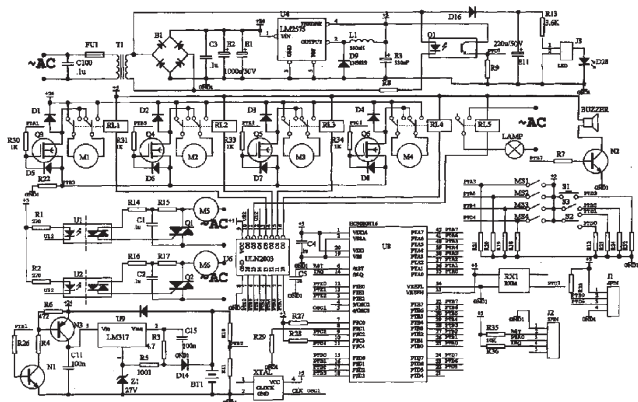


图3 控制器的电路图

3.2 控制器软件的设计

控制器软件根据功能分成控制逻辑程序和引擎驱动程序两层结构。为使控制系统能满足各种医用护理床的控制要求,本研究将系统的控制逻辑从控制程序中分离出来,根据不同的医用护理设备的控制流程,采用杭州电子科技大学智能与软件研究所开发的CASS嵌入式开发平台,用符合IEC61131-3标准的梯形图语言编写对应的控制逻辑程序,经编译生成目标代码后嵌入引擎驱动程序,实现控制功能;引擎驱动程序是由开发人员根据Cortex-M3控制器硬件平台的体系结构,采用汇编和C语言开发,实现系统初始化、硬件驱动和电机控制等功能,它只与控制器的硬件平台和电机智能控制算法有关,独立于不同的医用护理设备而保持不变。本研究利用这种软件平台的分层结构和控制逻辑程序的梯形图编程方式,实现了控制器软件的开放性^[9]。

控制器软件的模块结构如图4所示,简述如下:

(1) 控制逻辑程序。本研究根据不同的受控产品的控制流程,通过梯形图编辑器完成控制逻辑的设

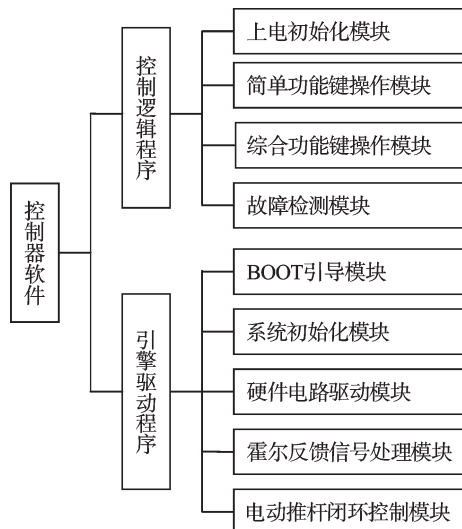


图4 控制器软件的模块结构图

计,得到梯形图程序;通过预编译器将梯形图用户程序编译成与目标CPU无关的中间代码;由代码生成器将中间代码翻译成目标CPU的C代码或汇编代码;再由编译链接程序调用目标CPU厂家提供的C或汇编编译器,编译生成对应硬件平台控制器的专用机器语言,嵌入到引擎驱动程序中,构成系统运行程序。

(2) 引擎驱动程序。包括BOOT引导模块、系统初始化模块、硬件电路的驱动模块、霍尔反馈信号处理模块、电动推杆的闭环控制模块等,简要介绍如下:

① 霍尔反馈信号处理。本研究采用中断的方式对双霍尔反馈信号计数,计数准确,并且能够较好地满足被控对象高精度的要求;霍尔反馈信号处理采用双霍尔计数,能够较好满足被控对象高精度的要求;系统始终保存电机位置的设定值和霍尔反馈的计数值,满足控制系统无误差控制的要求。

② 电动推杆的闭环控制。电动推杆的速度采用模糊PID进行控制^[10],它采用一个两输入三输出的二维模糊控制器,控制结构如图5所示。

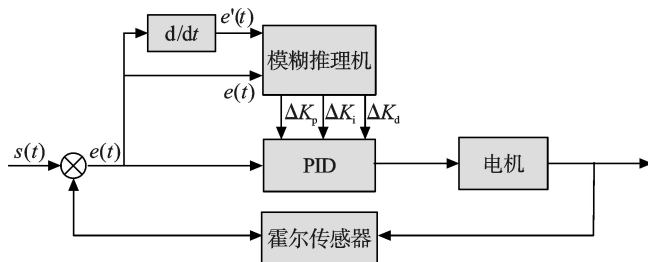


图5 电机模糊PID控制结构图

该系统的输入为电机位置的设定状态,它是一个随时间变化动态的过程,表示为 $S(t)$,即 $S(t)=S(t)+\Delta S(t)$ 。 $e(t)$ 为电机当前位置设定值与霍尔反馈值的偏差, $e(t)$ 和 $e(t)$ 的变化作为模糊控制器的输入,通过模糊规则动态对PID参数进行修改,并以PID参数的修

正量($\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d$)为输出,以满足不同时刻偏差和偏差变化对PID参数整定的要求;PID输出为PWM信号的占空比,直接调节电机的速度。该控制方法不需要复杂的计算,能够适应被控对象响应速度快的要求,即使每个电动推杆负载不均匀时,也能保证多个电动推杆同步协调地运行,具有良好的静态特性和动态特性。

4 操作器的设计

该系统提供多种操作器,并对它们做了等级划分,使用户对系统的操作方便、更安全。其中,护士操作台为高级别操作器,可以分别控制脚踏开关和护栏操作器的操作。医护人员可以通过护士操作台的锁定键设置严格控制病人的调整自由,保护病人的安全;脚踏开关方便了医护人员的护理;护栏操作器使得整套系统的设计更加人性化,病人可以自由地在医护人员允许的范围内调整姿态。

5 系统应用

目前该系统已应用于浙江捷昌线性驱动科技股份有限公司研制的ICU护理床(实物图如图6所示)。该ICU护理床的驱动部分由3台立柱推杆、一台快速释放推杆(用于背板的升降)和一台防夹手推杆(用于腿板的升降)组成。控制器能同步控制这5台推杆运行,不但能实现床体升降、左右侧翻、腿背板升降等简单功能,还根据ICU护理床的功能特点,实现TR、CPR、抢救等综合功能。同传统的医疗床系统采用普通推杆作为翻转和整体升降的驱动装置相比,该系统具有功能强、运行平稳、操作方便和安全可靠等优点。



图6 ICU护理床实物图

6 结束语

针对国内电动医疗床智能化水平低、功能简单等现状,本研究对电动医疗床的驱动与控制系统进行研究,提出满足特殊功能的线性驱动器设计、多线性驱动器基于模糊PID的同步运动控制和控制程序的图形化编程方法,不但使该系统能满足ICU医疗床的多功能控制要求,而且提高了控制程序的开发效率。

下一步笔者将在控制系统中引入CAN总线,以便连接各种操作器,还可接入称重、体温等各种传感器,并采用带触摸屏的LED操作台代替目前按键式的操作台,不但便于操作,而且能监控、显示病人的多项生理指标,提高了医疗床的功效。

参考文献(References):

- [1] WEI Ching-hua, TUNG Ting-chun. Hospital Bed with Auxiliary Functions of Lateral Positioning and Transferring for immobilized Patients[C]// The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON). Taiwan: [s.n.], 2008:2993-2995.
- [2] HIRATA Y, HIGUCHI J. Sit-to-Stand Assist System by using Handrail and Electric Bed Moving Up and Down[C]// Proceedings of the 2nd Biennial IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics. Scottsdale, USA: [s.n.], 2008:187-192.
- [3] 玉树峰. 电动自动控制病床的研制[J]. 医疗卫生装备, 2008,29(12):60-63.
- [4] 曹爱萍, 刘卫国, 韩英桃. 电动医疗床用无刷直流电机控制系统[J]. 微电机, 2005,38(3):56-58.
- [5] 胡士强, 张小英. Windows环境下医疗床的计算机检测与控制[J]. 电子仪器仪表用户, 2000,7(4):10-13.
- [6] 贾米娜, 郭 锋. 实用电动推杆[J]. 机械管理, 2006,89(2):58-59.
- [7] 顾 玲, 管荣根, 倪国良. 牙嵌离合器的主参数及优化[J]. 机械传动, 2006,30(1):52-53.
- [8] 罗 鑫, 张 峰. 基于ARM Cortex-M3的步进电机线性速度控制的实现[J]. 电气自动化, 2009,31(5):421-423.
- [9] 王 婷. 梯形图设计软件的重构技术[J]. 机电工程, 2010,27(5):102-105.
- [10] 王军伟, 金 燕. 基于模糊理论PID控制器的设计方法及仿真研究[J]. 机电工程, 2008,25(11):38-40.

[编辑:李 辉]