

基于模糊控制的智能按摩椅研究

林朝阳¹, 陈临强¹, 任 或^{1*}, 唐 斌²

(1. 杭州电子科技大学 计算机学院, 浙江 杭州 310018; 2. 安吉县科技局, 浙江 安吉 313300)

摘要:针对按摩椅中控制系统模型参数不确定的特性,提出了一种基于模糊控制的智能按摩椅实现方法,该方法将用户按摩时心率偏差与心率偏差的变化率作为模糊控制器的输入参数,实现了智能化的按摩。首先给出了智能按摩椅总体结构,然后介绍了模糊控制器的设计和实现方法,最后对实验结果进行了测试和分析。研究表明,该方法为进一步提升按摩椅的智能化水平提供了可行的技术参考。

关键词:模糊控制;心率;按摩椅

中图分类号:TP216;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)11-1350-04

Reseach of intelligent massage chair based on fuzzy control

LIN Chao-yang¹, CHEN Lin-qiang¹, REN Yu¹, TANG Bin²

(1. College of Computer, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. Technology Bureau of Anji, Anji 313300, China)

Abstract: Aiming at the uncertainty of model parameters in control system of the massage chair, a fuzzy control method was proposed, which used the deviation and deviation rate of the user's heart rate as the input of the fuzzy control system to achieve intelligitized massage. The general structure of the intelligent massage chair was analyzed, then the design and implementation of fuzzy controller were introduced. Finally, experimental results were tested and analyzed. The results show that the method provides a viable technical reference to improve the intelligence level of massage chair.

Key words: fuzzy control; heart rate; massage chair

0 引 言

近年来,随着生活压力的加大和生活节奏的加快及人们健康和保健意识的增强,智能按摩椅的研究和开发越来越受到关注。国外按摩椅生产设计技术已经日趋成熟,特别是在控制系统方面,先进的控制系统层出不穷,如:远程控制、触摸屏控制、手机式集中控制、体型检测等^[1];国内在智能化方面也做出了一些有益的尝试,并取得了一定的成果,现在正朝着小型化、家用化、高技术智能化方向发展^[2]。

本研究在借鉴国内外先进技术的基础上,提出一种基于模糊控制的智能按摩椅实现方法,能够实现根据用户按摩时生理特征的变化而动态改变按摩方式

的功能,从而丰富按摩的模式,获得较好的按摩效果。

1 智能按摩椅总体结构设计

智能按摩椅基本结构主要有主控板、心率传感器、直流电机控制器和直流电机组成,心率传感器主要用于智能按摩和个性化按摩,直流电机控制器采用分立 MOS 管搭建的 H 桥电路。在控制策略上本研究主要采用模糊控制技术,通过依据中医按摩理论设置模糊控制规则,进而获得最佳的按摩效果,实现智能按摩的目的。

1.1 系统硬件设计

智能按摩椅控制系统是由主处理器 STM32、电源管理模块、总线驱动模块、信号采集保护模块和串口

收稿日期:2011-05-04

作者简介:林朝阳(1985-),男,河南平顶山人,主要从事机器人学与智能控制方面的研究。E-mail:linchaoyang331@163.com

通信联系人:任 或,男,教授,硕士生导师。E-mail:renyu@hdu.edu.cn

通信模块等组成。核心 STM32 处理器用于完成模糊控制算法、串口通信协议、电流检测、行程检测、系统保护等。主控制器的设计是整个系统控制部分的核心与关键。智能按摩椅的主控制系统框架如图 1 所示。

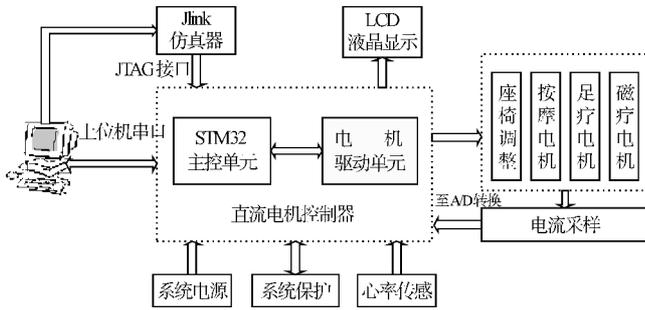


图 1 智能按摩椅控制系统框图

由图 1 可看出,STM32 主控制器通过电机驱动单元来控制两路电机:座椅调整和按摩电机。本研究通过配置 STM32 内部的寄存器、定时器输出 PWM 控制信号,通过总线驱动模块送到驱动功率部分,经信号放大后驱动功率开关管,控制相应的电机。同时通过电流采样电路反馈实时电流信号,使整个控制系统构成一个闭环系统。

1.1.1 心率检测输入模块

心率检测模块主要由 PVDF 传感器、信号调理、数据采集与处理等 3 部分组成,其结构框图如图 2 所示。

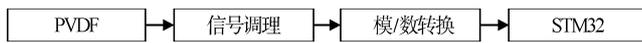


图 2 心率检测输入模块系统框图

该模块设计的传感器采用 PVDF 压电薄膜,由于传感器在脉搏信号作用下会有电荷产生,这个电荷量不能直接测量,必须经信号调理装置将电荷量转化为电压量才能进行采集。模/数转换主要由 STM32 芯片内置的 A/D 转换接口完成,然后经软件滤波、心率计算子程序完成用户的心率检测。

1.1.2 电机驱动模块

电机驱动模块主要有主控电路、总线驱动、逻辑控制、电源电路等 4 部分组成,其结构框图如图 3 所示。

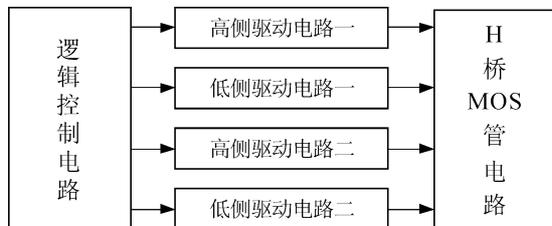


图 3 电机驱动模块系统框图

该模块逻辑控制电路主要控制电机的方向与转速,驱动电路主要驱动 4 个 MOS 管的交替导通,实现电机方向与转速的调节。

1.2 系统软件设计

该系统在调试过程中通过 JTAG 与上位机连接,通过串口调试工具发送命令,控制电机的启动、停止和加减速,系统上电复位后,首先进行系统初始化,然后实时监测心率板信号、电机驱动板电压、行程电压信号是否正常等。确认正常后,在调节控制时,由上位机对下位机发送指令,调节系统进入相应的控制模式,并实时反馈系统运行情况到上位机。系统软件总体设计如图 4 所示。

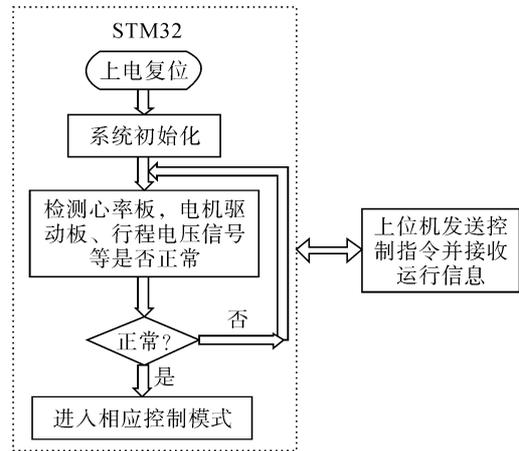


图 4 系统软件总体流程图

2 智能按摩椅模糊控制器设计

2.1 模糊控制器的结构

模糊控制系统主要由模糊控制器、输入/输出接口、检测装置、执行机构和被控对象等组成,由于二维模糊控制器具有非线性控制规律,有利于保持系统稳定性,减少响应过程超调量,在该系统中使用由两个输入量组成的模糊控制系统^[3]。基本结构如图 5 所示。

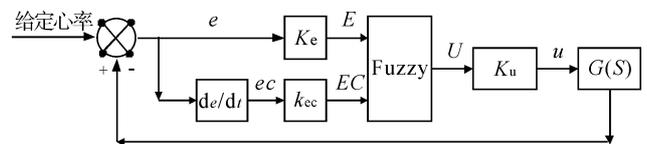


图 5 模糊控制器基本结构

按摩椅中的控制对象为直流电机,根据直流电机转速的表达式 $N=(U_n-I_a \sum R_a)/C_e \Phi$ (U_n —电枢端电压, I_a —电枢电流, $\sum R_a$ —电枢电路总电阻, Φ —每极磁通量, C_e —与电机结构有关常数)^[4], 可知道直流电机调速的方式主要有调节电枢电压、改变电机主磁通和改变电枢电路电阻, 本研究采用 PWM 方式调节电枢电压, 控制系统输出为 PWM 占空比的大小, 对应于电枢电压的大小, 从而控制电机的转速。

2.2 模糊划分及模糊化

智能按摩椅控制系统的目的是根据人体心率的

变化从而控制按摩电机的按摩强弱^[5],设心率偏差 e 的基本论域为 $[-20, 20]$, 心率偏差变化率 ec 的基本论域为 $[-40, 40]$, 输出 u 的基本论域为 $[-1, 1]$, e, ec, u 的语言变量 E, EC, U 均划分为 7 个变量等级 (NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB), 各个变量的模糊论域范围均为: $E=EC=U=\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 。在模糊化过程中, 笔者通过量化因子进行论域变换, e 的量化因子 $K_e=6/20=0.3$, ec 的量化因子 $K_{ec}=6/40=0.15$ 。 u 的量化因子 $K_u=6/1=6$ ^[6]。

对于模糊控制器而言, 心率偏差及变化率都是精确输入量, 为了对确定的精确量进行模糊化, 必须把它们转换成模糊集合的隶属函数, 该系统选择较为简单的三角形隶属度函数。

模糊控制器输入及输出隶属度函数如图 6 所示。

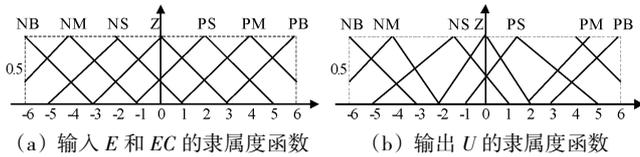


图 6 模糊控制器输入及输出隶属度函数

2.3 模糊控制规则

建立合适、有效的模糊控制规则, 对于模糊器的控制性能具有极为重要的作用^[7]。本研究经过实验、测试, 然后整理、归纳和提炼后构成模糊控制规则系统, 用模糊语言变量可表示为:

- IF E=NB AND EC=NB THEN U=PM
- IF E=NM AND EC=NB THEN U=PM
- ...
- IF E=PM AND EC=PB THEN U=NB
- IF E=PB AND EC=PB THEN U=NB

2.4 模糊控制查询表

本研究根据语言变量 E 和 EC 论域的量化等级,

表 1 模糊控制查询表

| | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| -6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| -5 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| -4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 6 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| -3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | -2 | -3 |
| -2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | -3 | -3 |
| -1 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 1 | 0 | -2 | -2 | -2 | -3 | -4 |
| 0 | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 | 0 | -1 | -2 | -3 | -3 | 3 | -4 |
| 1 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | -1 | -3 | -3 | -3 | -4 | -4 | -4 |
| 2 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | -2 | -2 | -3 | -4 | -4 | -4 | -4 | -4 |
| 3 | 3 | 2 | 0 | -2 | -2 | -3 | -4 | -4 | -5 | -5 | -5 | -4 | -5 |
| 4 | 0 | 0 | -1 | -2 | -3 | -4 | -6 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 |
| 5 | -1 | -1 | -2 | -2 | -3 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 |
| 6 | -1 | -1 | -2 | -3 | -3 | -5 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 | -6 |

按照上面的模糊控制规则, 分别计算不同模糊变量值输入组合情况下的各个输出值, 就可以获得一个模糊控制查询表^[8], 将此表预先存入控制器, 实际控制时只需要将心率偏差及其变化率乘以相应的量化因子, 然后通过查询表相应的行列即可得到相应的控制量, 最后除以比例因子便是加到被控制量的变化值^[9]。模糊控制查询表如表 1 所示, 其中第 1 行为输入量 E 的论域, 第 1 列为输入量 EC 的论域, 表 1 中的值为控制输出量 U 的论域^[10]。

3 系统测试和结论

3.1 驱动信号测试

控制信号能否完整正确地传送到电机驱动模块, 完成对功率开关管的导通与关闭控制, 从而实现对电机的控制, 是非常重要的。控制信号经过集成驱动 IC 放大来驱动功率开关管, 对此放大的信号进行测试如图 7 所示, 由图示波形可以看出, 峰值基本达到了 5 V, 满足驱动开关管的要求, 且驱动信号的上升沿和下降沿也较平缓, 没有过多的毛刺, 以免造成开关管的误操作。

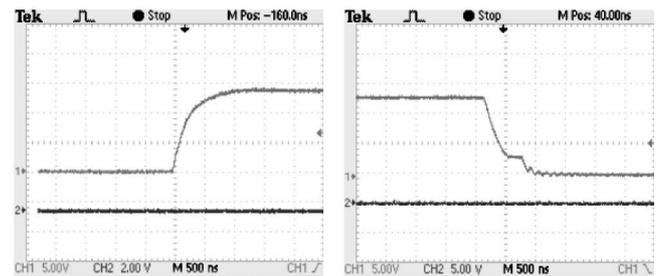


图 7 栅极驱动信号图

3.2 心率信号测试

心率信号主要由心率传感器产生, 为由单片机数字化后以用户心跳的频率作为方波信号输出的频率, 在测试时笔者通过示波器观测心率信号的频率、幅度等信息。心率信号波形如图 8 所示。

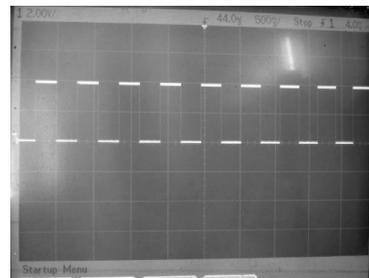


图 8 心率信号波形图

3.3 模糊控制器测试

为了验证该系统在不同年龄及同一年龄用户在不同状态下的运行信息, 笔者将心率板与系统板连

接,通过串口调试工具实时显示用户的心率信息,并利用该系统分别测试了几组数据,如图 9 所示。



图 9 系统运行测试

根据数据显示,用户在按摩的过程中,由于心率状态发生改变,系统模糊控制器会根据其心率变化信息和模糊控制规则,自动选择相应的 PWM 脉冲幅度,从而调节电机的电枢电压,改变电机的转速,即按摩强度。

4 结束语

本研究在借鉴国内外智能按摩椅领域的最新研究成果的基础上,提出了一种基于模糊控制的按摩椅控制方法,并详细介绍了模糊控制器的设计、硬件电路的组成和系统软件的设计,最后对系统运行进行了跟踪测试,实验结果证明该系统实现了由用户心率感应自动调节按摩,为按摩椅智能化的发展提供了可靠的借鉴。另外由于系统测试的用户群体有限,在按摩控制算法上还有待于继续研究,以期实现自学习、自适应的按摩。

[编辑:张翔]

(上接第 1335 页)

质量飞轮块较小质量的上升时间长,这是由于直流电动机同轴飞轮块的改变引起电动机转动惯量变化,而直接影响公式(4)中电动机的机电时间常数造成的。

4 结束语

本研究选用与柴油机数学模型类似的直流电动机,作为柴油机半实物仿真的控制对象,通过 LabVIEW 设计编程,初步采用 PID 控制策略对电动机进行转速监控,测试了 PID 3 个参数对被控对象的影响,并通过更换飞轮质量块模拟了不同柴油机的控制效果,为开展柴油机实物的信号监测和控制算法研究奠定了基础。另外,本实验采用的以 cRIO 为核心的 NI 硬件监控装置,实时控制效果好,并可同步进行多路模拟和数字信号采集,对开展船舶机舱自动化的控制研究有较好的应用前景。

参考文献(References):

- [1] 谢涛,黄鸿. 按摩机器人的结构设计及运动学仿真[J]. 现代制造工程,2007(7):105-107.
- [2] 杨洁. 腰椎牵引整复按摩机控制系统的设计[J]. 西安: 陕西科技大学机电工程学院,2008.
- [3] 彭斐. 恒温培养箱的模糊控制[J]. 机电工程,2009,26(4):84-86.
- [4] 夏长亮. 无刷直流电机控制系统[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [5] DALDABAN F,USTKOYUNCU N,GUN Y K. Phase inductance estimation for switched reluctance motor using adaptive neuro-fuzzy inference system[J]. **Energy Conversion and Management**,2006,47(5):485-493.
- [6] 袁威,陈勇,何国胜. 基于模糊控制的二阶倒立摆[J]. 重庆邮电大学学报,2006,18(2):247-250.
- [7] 张国良,曾静,柯熙政. 模糊控制及其 Matlab 应用[M]. 西安:西安交通大学出版社,2002.
- [8] 马磊. 基于模糊 PI 控制的推进电机调速研究[D]. 武汉:华中科技大学电气与电子工程学院,2006.
- [9] DELP S,LOAN J P. A computational framework for simulating and analyzing human and animal movement[J]. **IEEE Computing in Science and Engineering**,2000(2):46-55.
- [10] ZHANG Yang,TIAN Zhi-xue,JIN Yin-li, Expressway entrance control based on fuzzy arithmetic[J]. **Journal of Chang'an University**,2002,22(6):65-68.

[编辑:张翔]

参考文献(References):

- [1] 刘西全,江国和,杨松林. 基于遗传算法的船舶柴油机转速控制系统仿真研究[J]. 华东船舶工业学院学报:自然科学版,2005,19(2):10-14.
- [2] 汤积仁. 神经网络 PID 控制在柴油机调速系统中的应用[J]. 煤矿机械,2010,31(1):201-204.
- [3] 夏极. 柴油机变参数 PID 控制及半实物仿真[J]. 航海工程,2006(6):65-67.
- [4] 郭江华. 舰用柴油机建模方法综述[J]. 船舶工程,2005,27(2):58-61.
- [5] FOWLER A. Microcomputer based simulation of marine propulsion systems[J]. **Transactions on Institute of Marine Engineers**,1988,95(5):18.
- [6] 胡寿松. 自动控制原理[M]. 5 版. 北京:科学出版社,2007.
- [7] 万曼影. 轮机自动化[M]. 上海:上海交通大学出版社,2007.

[编辑:张翔]