

基于 STM32 的智能手套机运动控制系统设计与开发

董辉, 童辉, 王亚男

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

摘要: 传统的纯机械齿轮结构自动针织手套机具有结构复杂、效率低下、故障率高、维护成本昂贵等诸多缺点, 故多电机结构的智能伺服手套机成为新的发展方向; 其中, 智能手套机运动控制系统是决定其性能的关键; 针对上述问题, 设计开发了一款基于 STM32F407 高性能微处理器的智能手套机运动控制系统, 系统实现了高速高精度的编织运动控制, 并开发有网络监测、全中文示教编程等功能; 同时, 为解决主轴机头高速往返运行中存在的停顿现象, 根据冲量定理规划其位置控制, 针对带来的位置误差问题, 设计了基于模糊逻辑的位置补偿控制算法, 减小位置误差; 最后, 经过现场测试, 系统能高效地完成手套编织工作, 主轴机头重复定位精度高, 且人机交互界面简洁易操作; 该系统为智能手套机运动控制系统的开发应用提供较好的参考价值。

关键词: 手套机; STM32; 运动控制; 冲量定理; 模糊控制

Design of Intelligent Glove Knitting Machine Control System Based on STM32

Dong Hui, Tong Hui, Wang Yanan

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The structure of traditional automatic glove knitting machines is composed of plenty of gears, which brings complex production, low efficiency, high failure rate, high cost and other disadvantages. Thus, motors are employed to the machine to replace the gears and it becomes a new tendency of this industry. However, the motion control system (NCS) of the machine is still immature, which is a core component. To this end, a NCS is developed based on STM32F407 in this paper. Besides the knitting motion control, network monitoring and teaching programming functions are also developed. On the other hand, when the principal axis of the machine runs in high speed round-trip, a tiny pause will occur when a point-to-point control method is used, which will seriously degrade the performance of the machine. To address the issue, a position control method based on the impulse theorem is devised and a fuzzy logic control is applied to decrease position errors. Finally, product testing is performed in a factory. The NCS can complete the knitting tasks effectively, and the position errors of the principal axis are held small enough. The human-machine interface is succinct and efficient. Moreover, the NCS will provide a positive reference for the developments and applications of glove knitting machines.

Keywords: glove machine; STM32; motion control; impulse theorem; fuzzy control

0 引言

针织手套作为生活的必需品和易耗品, 其需求日益增长, 传统的人工劳作方式已经不能满足市场的发展需求, 所以, 近年来全自动手套机得到了广泛应用^[1]。目前, 市场大部分全自动手套机基本采用大功率直流电机和机械齿轮传动结构进行设计^[2]。该类手套机存在手套编织效率低下、设备安装复杂、机械故障率高、软件系统功能匮乏等诸多缺点, 从而导致生产周期长、维护困难、手套花型单一、机器寿命短等问题。一定程度上制约了全自动手套机的发展。因此, 采用多个电机单元代替齿轮驱动结构的新颖智能手套机成为新的发展方向。然而, 智能手套机的运动控制系统是决定其性能的关键, 也是设计开发过程中的

一大技术难点。

智能手套机运动控制系统仍处于初步发展阶段, 汪木兰等人开发了基于 PSoc 和 FPGA 的手套机控制系统^[3], 该系统结构复杂, 片上资源有限且功能简单。詹建潮等人开发了基于 Bitbus 总线的手套机网络化控制器^[4], 但其网络功能局限于有线连接的数据传输, 无法实现远程监测, 在线升级等功能。郭得权等人设计了基于 ARM 的手套机控制器^[5], 但其主要针对传统齿轮传动结构的手套机设备。综上所述, 性能好、效率高、结构简洁、功能全面的智能手套机控制系统有待进一步研发。另一方面, 智能手套机主轴机头由大功率伺服电机控制, 加工生产过程中一直处于高速往返运动状态, 其运行速度和位置精度决定了手套的生产效率和质量。如果采用点对点控制方式, 机头在往返运动时会产生明显停顿现象^[6-7], 影响生产效率。为此, 可根据冲量定律^[8], 在机头运行到距离目标位置小于给定差值时, 下发反向运转指令, 电机利用其惯性冲力运行一段距离后, 立即反转, 此方法可解决停顿现象, 但是会带来

收稿日期: 2018-08-03; 修回日期: 2018-08-26。

基金项目: NSFC-浙江两化融合联合基金资助(U1709213)。

作者简介: 董辉(1979-), 男, 浙江永康人, 教授, 主要从事嵌入式系统技术及应用方向的研究。

一定的位置误差, 并且误差会随机头运行速度的变化而改变, 影响生产质量。因此如何规划主轴机头的位置控制也是主要问题之一。

本文基于 STM32F407 微处理器, 设计开发了高性能智能手套机控制系统, 在实现手套编织运动控制的前提下, 还开发有网络监测、远程更新、全中文示教编程等功能。同时, 针对主轴机头位置控制问题, 设计了基于模糊逻辑的位置补偿控制算法, 在保证机头高速运转时不会产生停顿现象的前提下, 提高了其重复定位精度。下文中, 将从系统硬件原理设计和软件系统设计两方面进行详细说明。

1 系统结构

智能手套机控制系统整体结构如图 1 所示, 系统主要由控制器模块、人机交互模块、电机驱动模块和无线通信模块组成。

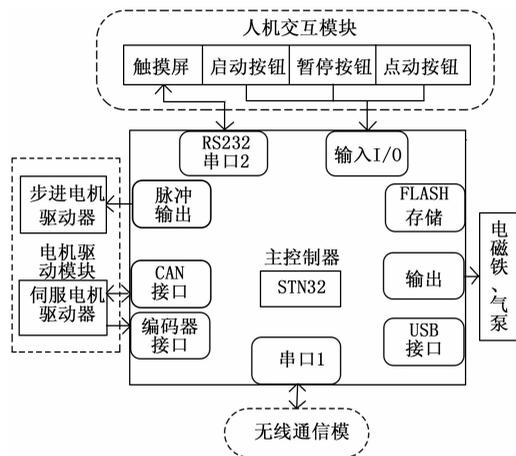


图 1 系统总体设计结构

其中控制器模块以意法半导体公司生产的 STM32F407ZGT6 芯片作为控制核心, 该芯片是一款基于 Cortex-M4 ARM 内核的 32 位微处理器, 其主要优点是高性能、低功耗、低成本, 且内部集成了 192 KB SRAM 和 1 MB Flash, 其工作频率可以达到 168 MHz, 同时芯片内部含有丰富的 ADC、PWM、USART、USB 接口等片上资源, 可以满足本系统的需求。此外, 芯片搭载多个定时器, 包括基本定时器、高级定时器和通用定时器, 可适用于需要多路 PWM 脉冲输出和定时功能的运动控制系统开发。人机交互模块主要采用北京迪文公司的 DGUS 串口触摸屏, 其界面开发简单, 且内部具备大容量指令缓存区, 能实现无等待、连续多条指令的发送, 可大大降低二次开发程序代码量, 同时交互模块还集成了暂停按钮、启动按钮、点动按钮, 用于实现对手套机的即时控制。电机驱动模块由智能伺服驱动器和步进电机驱动器组成, 该驱动结构成本低、占用空间小, 可使设备轻量化。无线通信模块采用 ESP8266 串口 WIFI 模块, 该模块能够实现设备与互联网或局域网之间的无线通信, 可对生产车间内手套机的运行与生产状况进行远程监控, 实现现场设备控制与企业管理信

息系统的集成, 达到“控管一体化”^[9]。

2 系统硬件设计

2.1 电机驱动模块

系统伺服电机驱动器采用杭州日鼎控制技术有限公司的 DHE3205 型交流伺服驱动器, 采用 CAN 总线控制模式, 该总线是一种国际标准现场总线, 具有通信速率高、易实现、性价比高等诸多优点。系统主控芯片中 CAN 信号的接收引脚和发送引脚经过高速光耦 6N137 连接到 TJA1050 总线收发器的 TXD 和 RXD 端, 实现双线串行通讯, 其中光耦对总线节点起到电气隔离作用, 避免噪声干扰。

系统采用 9 路步进电机分别用于控制机器的滚筒、勾刀、叉刀等装置的动作, 其控制方式均采用 PWM 脉冲驱动, 由于 STM32 芯片 I/O 端口驱动能力较低, 因此采用 74HC245 芯片对主控芯片产生的 PWM 脉冲驱动信号进行放大, 该芯片是一款兼容 TTL 的高速 CMOS 总线收发器, 具备一定的功率放大功能, 对主芯片也能起到一定的保护作用^[10]。

2.2 无线通信模块

无线通信模块选用乐鑫公司出品的 ESP8266 串口 WIFI 芯片, 该芯片内置超低功耗 32 位 RISC 处理器, 可将大部分的处理能力留给应用的编程和开发, 是一款性价比较高的 UART-WIFI 模块^[11]。该模块支持 STA 模式（客户端模式）和 AP 模式（路由器模式），可使设备连接到无线网络上, 实现与互联网或局域网的通信。本系统在控制器硬件设计中将 WIFI 模块中的输入和输出引脚分别连接至主芯片 USART1 的 TXD 和 RXD 端, 实现主芯片与该模块之间的串口通信。

2.3 电源模块

运动控制系统的电源输入为 24 V, 采用开关电源模块供给, 系统内部 5 V 及 3.3 V 电源分别由 LM2596 和 SPX117-3.3 降压芯片进行转换。此外, 为防止电路出现短路而损坏控制器元件, 电源输入处还加装了保险丝对运动控制器进行过载保护。

3 系统软件设计

运动控制系统软件开发基于 ARM 公司推出的嵌入式软件开发工具 RealView MDK。它提供了对硬件设备的调试功能和对软件的仿真功能, 包含了许多经典开发案例的模板和固件实例, 同时还支持多种调试接口（如 UART、JTAG、JLINK 等），可大大减小软件开发难度, 缩短开发周期^[12]。

系统软件功能如图 2 所示, 其中主要包括运动控制程序设计、人机交互程序设计、WIFI 远程监测程序设计和 U 盘管理程序设计。

3.1 运动控制程序设计

系统步进电机采用 PWM 驱动方式, 由 STM32 定时器模块产生 PWM 脉冲, 下发至步进电机驱动器。其中电机的转动距离由驱动器接收到的脉冲数目决定, 电机的转速

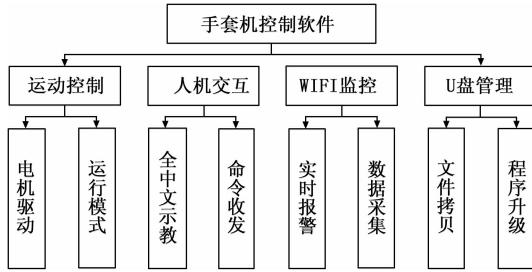


图 2 系统软件功能框图

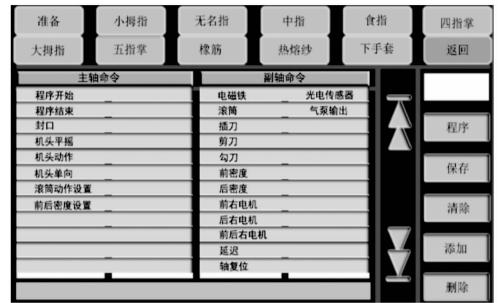


图 3 全中文示教界面

控制在定时器中断函数中进行处理，通过不断更新定时器重装值的大小来更改脉冲发出的频率，从而达到控制电机转速的目的^[13]。

同时，为了测试及维护方便，除了机器的普通运行模式之外还开发了点动运行模式和手摇运行模式。(1) 点动运行模式：主程序查询人机交互模块的点动按钮是否按下，若检测到信号则机器以低速运行，一旦失去信号则立即停止运行，机器在点动运行期间也按照设置的手套花型步骤进行动作，和普通模式下的动作完全相同。(2) 手摇运行模式：主轴机头的运行通过人工摇动手柄进行控制，此时手套机的编织动作需依靠机头的实时位置进行判断，因此系统采用 TIM3 的编码器接口模式，对编码器 A、B 两相进行计数，计数值经过换算后可得机头的当前位置，当退出手摇模式后，通过比较进入手摇模式前的机头位置和此时编码器计算的位置大小来判断机头下一步的运动方向，防止机头撞针从而损坏机器。

3.2 全中文示教编程设计

示教编程是运动控制系统中关键的功能之一，便捷、人性化的示教和编程能大大提高设备调试和生产效率。因此，本系统开发了基于全中文的示教编程功能，其主界面如图 3 所示。界面提供了对手套小拇指、无名指、中指等部位的编织命令设置功能，命令主要分为控制机头动作的主轴命令和控制电磁铁、勾刀、叉刀等装置动作的副轴命令。手指每个编织部位的命令编辑格式必须以“程序开始”作为命令的起始和“程序结束”作为命令的结束，其余主副轴的命令在选中后还需设置指定的参数，并且每个部位的动作命令在编辑完成后都必须经过保存才可进行下一部位的指令设计。当所有手套部位编辑完成后，编程界面将设计好的手套花型文件通过串口发送给控制器，并保存于 FLASH 存储模块中或拷贝入 U 盘供其他机器使用，可实现对魔术手套、触摸屏手套、半指手套等各种特殊类型手套进行编程示教。

3.3 位置补偿程序设计

冲量定律表明，物体机械运动状态的改变是力对物体作用一段时间后的积累效应。本系统采用冲量定理对主轴机头进行位置控制，为提高重复定位精度，采用模糊逻辑控制方法对位置进行补偿。首先，设定点 a 、 b 为电机反向运行指令的下发位置点，如图 4 所示，定义该位置点与机头的目标位置之间的距离为差值 p_0 。当机头运行至距离目标位置小于等于

于 p_0 时，则下发反向运行指令，机头利用惯性冲力向目标位置继续运行至速度减为零，随后立即反向运行。此方法可杜绝点对点控制中的停顿问题，但会产生一定的位置误差，并且由于机头在手套各部位的编织运行速度不同，位置误差在相同的 p_0 下会随着速度的变化而改变，因此本文设计了模糊逻辑控制策略，根据伺服电机的运行速度来规划机头当次运动中的 p_0 值，从而减小位置误差。

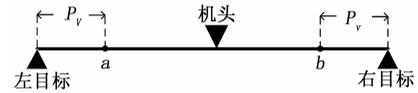


图 4 机头位置差示意图

模糊控制系统的核心是模糊控制器。本系统所设计的模糊控制器采用开环结构，如图 5 所示。首先，通过论域因子 k_n 调整伺服电机当前转速 n ，并对调整后的结果进行模糊化处理。随后，将生成的模糊语言 N 依据模糊规则进行模糊推理，规则如表 1 所示。最后，对推理结果 P 进行去模糊化和论域调整，得出机头在该速度下的差值 p_0 。

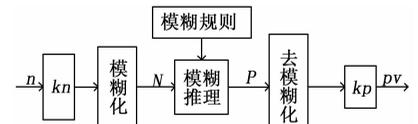


图 5 模糊控制程序流程

表 1 模糊规则表

N	VS	S	M	B	VB
P	VS	S	M	B	VB

控制器中输入参数 n 和输出参数 p_0 依据先验知识设置统一的量化论域： $\{0, 0.25, 0.5, 0.75, 1\}$ 和模糊语言： $\{VS, S, M, B, VB\}$ ，对应表示的含义为“非常小”、“小”、“中等”、“大”、“非常大”，设置隶属函数如图 6 所示。

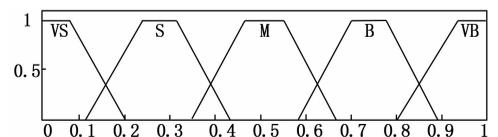


图 6 输入输出隶属度函数

4 系统实物及测试结果

智能手套机运动控制主板的控制器模块、驱动模块以

及电源系统安装在控制箱中。

经过现场测试, 机器 24 小时可分别编织 7 针类型的标准劳保手套 420 双, 编织 13 针类型 210 双, 编织 15 针类型 180 双, 产量是传统手套机的 3 倍。同时, 机器监管从原来的每人 17 台提高到每人 30 台, 可较大程度上降低人员配置。此外, 机器整体的重量从传统的 260 公斤降低至 220 公斤, 外形尺寸也明显缩小, 一定程度上减轻了车间机修工的机械装配压力。

系统采用的模糊位置精度补偿方法效果如图 7 所示。实验对比了在不同运行速度下固定差值 ($p_0 = 20 \text{ mm}$) 和模糊控制动态差值 (p_0 最大值为 20 mm) 两种方法下的机头运动位置误差结果, 可知当系统设置电机运行速度超过 840 r/min 时, 由于电机高速运动产生的累积冲量较大, 控制器下发反向运行指令后, 机头利用惯性冲力移动的距离也较大, 使得此时两种方法下的位置误差较小且相近, 稳定在 4.9 mm 左右。当设置的电机运行速度低于 840 r/min 时, 机头累积冲量随着速度的减小而减小, 使得其依靠惯性冲力移动的距离也变小, 此时系统采用的固定 p_0 值方法产生的位置误差将会随速度的减小而变大, 而采用模糊控制的动态 p_0 值方法位置误差较小且受速度变化的影响不大, 具有较好的控制效果。

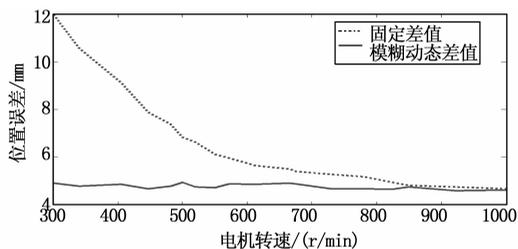


图 7 位置误差对比图

5 结束语

本文基于 STM32F407 设计了一款智能手套机控制系统, 可实现手套编织运动控制、网络监测、远程更新、全中文示教编程等功能, 文章对系统的主要硬件模块设计和

(上接第 101 页)

- [2] 李言民, 郝思文, 杨臻达, 等. 主从式内镜介入机器人系统 [J]. 机器人, 2016, 38 (1): 107-114.
- [3] Allemann P, Ott L, Asakuma M, et al. Joystick interfaces are not suitable for robotized endoscope applied to NOTES [J]. Surgical Innovation, 2009, 16 (2): 111-116.
- [4] Kume K, Kuroki T, Sugihara T, et al. Development of a novel endoscopic manipulation system: The Endoscopic operation robot [J]. World Journal of Gastrointestinal Endoscopy, 2011, 3 (7): 145.
- [5] Ruiter J G, Bonnema G M, Voort M C, et al. Robotic control of a traditional flexible endoscope for therapy [J]. J Robotic Surg, 2013, 7 (3): 227-234.
- [6] Sun Z L, Ang R Y, Lim E W, et al. Enhancement of a master-slave robotic system for natural orifice transluminal endoscop-

软件设计开发进行了详细介绍。针对主轴机头高速往返运行的效率问题, 利用冲量定理规划了位置控制策略, 并设计了模糊位置补偿算法, 在不同运行速度下保证其重复定位精度。现场测试结果表明, 本手套机运动控制系统能够高效地完成手套编织工作, 提高了手套机的生产效率和产品质量, 为智能手套机运动控制系统的开发应用提供了较好的参考价值。

参考文献:

- [1] 鲁红良. 全自动电脑手套机叉刀控制装置的设计 [J]. 针织工业, 2015 (4): 27-30.
- [2] 赵子轩, 袁嫣红, 张建议. 模块化手套机控制系统设计研究 [J]. 机电工程, 2014, 31 (5): 607-611.
- [3] 汪木兰, 朱 昊, 左健民. 基于 PSoc 和 FPGA 的手套机电气控制系统开发 [J]. 纺织学报, 2007 (10): 103-107.
- [4] 詹建潮, 王庆九, 陈宗农, 等. 面向网络的全自动手套机控制系统研制 [J]. 纺织学报, 2004 (4): 110-112.
- [5] 郭得权, 袁嫣红, 张建议. 基于 ARM 的手套机控制器设计 [J]. 机电工程, 2012, 29 (1): 74-78.
- [6] 郝为强. S 形曲线在伺服控制系统中的应用分析 [J]. 伺服控制, 2007 (2): 50-52.
- [7] 路云飞, 朱 勇. 测量机传动系统刚性对测量精度影响分析 [J]. 航空精密制造技术, 2015, 51 (2): 12-15.
- [8] 侯天兴, 杨兴国, 黄 成, 等. 基于冲量定理的滚石对构筑物冲击力计算方法 [J]. 岩石力学与工程学报, 2015, 34 (S1): 3116-3122.
- [9] 陈金法. 泵站自动化控制系统的设计与实现 [J]. 自动化技术与应用, 2011, 30 (2): 67-69.
- [10] 宋 鑫, 家 玮. 增强型并口 EPP 模式下多路压力传感器采集系统 [J]. 现代电子技术, 2005 (22): 77-78.
- [11] 张文滔, 王 钊, 黄 锐等. 基于 WIFI 的室温氢检测系统的设计与研究 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (2): 32-35.
- [12] Yiu J. Getting Started with the KEIL RealView Microcontroller Development Kit [M]. Elsevier Inc. 2007: 307-334.
- [13] 刘艳霞, 桑兆辉. 基于 ARM 芯片 S3C4510 的步进电机加减速控制 [J]. 机床与液压, 2007 (7): 180-181.
- [14] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [15] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [16] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [17] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [18] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [19] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [20] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [21] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [22] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [23] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [24] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [25] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [26] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [27] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [28] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [29] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [30] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [31] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [32] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [33] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [34] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [35] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [36] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [37] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [38] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [39] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [40] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [41] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [42] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [43] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [44] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [45] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [46] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [47] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [48] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [49] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [50] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [51] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [52] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [53] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [54] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [55] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [56] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [57] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [58] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [59] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [60] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [61] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [62] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [63] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [64] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [65] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [66] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [67] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [68] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [69] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [70] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [71] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [72] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [73] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [74] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [75] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [76] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [77] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [78] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [79] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [80] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [81] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [82] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [83] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [84] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [85] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [86] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [87] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [88] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [89] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [90] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [91] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [92] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [93] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [94] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [95] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [96] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [97] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [98] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [99] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.
- [100] 李学军, 周 元, 宾光富, 等. 基于三维模糊 PID 控制策略的水泥分解炉温度控制系统研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23 (10): 37-41.