

基于模糊PID控制的焊缝机器人轨迹误差优化分析

许胜军 汪俊明 刘晨凯

(浙江迪元仪表有限公司 浙江 义乌 322000)

摘要: 焊接机器人是焊接工作站的关键部件之一,在焊接过程中,由于高温和化学反应的影响,容易导致焊缝产生变形和偏移,造成较大的误差。本文以电磁水表传感器焊接工作站为背景,重点分析了焊接机器人的结构及工作原理,同时列举了焊缝时易产生的误差类型,针对焊缝误差问题,提出了利用模糊PID控制方法,将其应用到焊缝机器人焊缝轨迹控制系统中,实现自适应优化轨迹控制,最后利用Matlab软件进行仿真分析,结果表明,该控制方法具有高效性、准确性,能够实现焊缝的精确控制。

关键词: 焊接机器人; 轨迹误差; 模糊PID; Matlab

0 引言

电磁水表传感器焊接工作站主要解决工件从摆料区域到焊接区域之间的搬运动作和焊接动作,实现搬运机器人和焊接机器人连续工作、焊接自动化的目的^[1]。其中,焊接机器人是焊接工作站的核心部件,对整个工作站的运作及产品的加工质量起着至关重要的作用。然而在实际生产过程中,由于设备本身、环境及工件偏差等的影响容易导致焊缝机器人在焊缝时产生偏移误差,影响焊缝质量,大大降低了整个生产线的工作效率。因此,提出了模糊PID控制方法,并将其应用到焊缝机器人控制系统中,旨在提高焊缝精度,从而提高工作效率。

1 焊接机器人的结构及工作原理

焊接机器人能够精确、高效地自动完成焊接工作,代替人工进行焊接操作,并且具有更好的一致性和稳定性,从而提高焊接质量和效率^[2]。它们可以以更快的速度进行连续焊接,不受疲劳和速度限制,从而减少生产周期,提高产能。采用焊接机器人可以减少人员暴露在高温和有害气体环境中的风险,避免对人身安全造成潜在威胁。它们可以适应各种焊接需求,如点焊、埋弧焊、气保焊等,并根据不同工艺要求进行编程和调整。

1.1 结构组成

(1) 机器人本体。一般是伺服电动机驱动的6轴关节式操作机,它由驱动器、传动机构、机械手臂、关节及内部传感器等组成,它的任务是精确地保证

机械手末端(焊枪)所要求的位置、姿态和运动轨迹。

(2) 控制系统。控制系统是焊接机器人的“大脑”,包括计算机硬件、软件和一些专用电路,负责处理机器人工作过程中的全部信息和控制其全部动作。

(3) 末端执行器。末端执行器是机械臂的末端工具,包括焊枪和夹具等。

(4) 传感器系统。为了实现对接过程的监测和控制,焊接机器人往往需要搭载各种传感器,如视觉传感器、力传感器和温度传感器等。

(5) 外部设备。除了上述主要部件,焊接机器人还可能配备各种外部设备,如安全保护设施、输送系统、控制面板等,以提高生产效率和安全性。

1.2 工作原理

焊接机器人的工作原理是基于自动化控制技术和机器人技术的结合。通常,焊接机器人由机械结构、控制系统、传感器和焊接设备等组成。

首先,机器人的机械结构主要由关节、执行器和工具组成。关节负责机器人的运动,执行器驱动关节产生运动力,工具则是焊接设备和相关辅助设备。

其次,控制系统是焊接机器人的“大脑”,负责调配机器人的运动和焊接操作。它通过接收传感器的信号,分析和处理数据,然后控制机器人执行相应的动作。控制系统通常采用计算机或嵌入式系统来实现。

再次,传感器是焊接机器人中的重要组成部分,

用于感知环境和监测焊接过程。常用的传感器包括视觉传感器、力传感器和温度传感器等。

最后,焊接机器人的焊接设备用于实现焊接操作,常见的有熔化极活性气体保护焊(CO₂焊、MAG焊)、惰性气体保护焊(MIC焊)等。

2 焊缝的误差类型及优化措施

2.1 误差类型

(1) 机械误差。由于机械结构的制造和装配精度限制,机器人的关节和执行器之间可能存在一定的机械误差,导致实际运动与预期运动不完全一致。

(2) 传感器误差。焊接机器人使用的传感器可能存在一定的误差。例如,视觉传感器在识别焊接接头的位置和形状时可能会有一定的偏差,力传感器在测量焊接接头的接触力时可能存在一定的误差。

(3) 控制误差。控制系统在控制焊接机器人时可能会存在一定的误差。例如,在指定焊接位置和速度时,由于控制系统的响应时间和控制算法的精确度限制,机器人的实际运动可能会有一定的偏差。

(4) 焊接参数误差。焊接设备的参数调节也可能存在误差。例如,焊接电流、电压和速度等参数的设定值与实际值之间可能存在一定的差异,导致焊接质量的变化。

(5) 环境误差。焊接机器人的工作环境也会对焊接过程产生一定的影响。例如,温度变化、振动和风量等外界因素可能会导致焊接过程中的误差。

(6) 工件误差。各零件的尺寸误差,导致各零件组合的时候焊缝的位置产生了一定的偏位。

2.2 优化措施

为了减小上述误差,可以采取一些优化措施。例如,提高机器人的机械结构精度,确保焊接机器人的机械结构制造和装配精度,使用高精度的关节和执行器,使机器人的运动更加精确。选用更加精确的传感器,对焊接机器人使用的传感器进行定期校准,确保其测量结果的准确性。特别是对于视觉传感器,需要校准其识别焊接接头位置和形状的能力^[3]。优化控制算法,改进控制系统的响应时间和控制算法,提高控制精度,使机器人能够更准确地按照预定位置和速度进行焊接。定期校准焊接设备参数,确保设定值与实际值之间的差异最小化。例如,根据焊接电流、电压和速度等参数的调整,优化焊接质量。同时,对于一些关键性的焊接任务,还可以

通过手动干预或人工监控及时调整和纠正误差,确保焊接质量符合要求。

3 模糊PID控制算法及Matlab仿真分析

模糊PID是一种基于模糊逻辑原理和传统PID控制器相结合的控制算法,相比于传统的PID控制器具有更好的适应性、鲁棒性和复杂系统控制能力,能够更好地处理复杂的非线性系统,并具有相对简洁、直观和易于调试的特点,但也需要根据具体的应用和系统特性进行参数调整和优化。

3.1 模糊PID控制系统设计

焊接机器人轨迹控制系统采用非线性、时变系统,需要实时对PID参数进行调节。根据轨迹控制要求,将模糊控制和PID结合在一起,利用模糊PID控制算法实现对PID参数的调节。模糊PID控制系统结构图如图1所示。

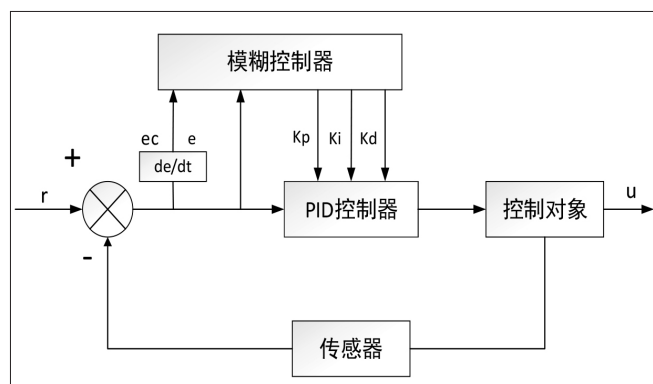


图1 模糊PID控制系统

针对焊接机器人焊接过程,设定初始焊接运动轨迹作为输入,将系统输出的运动轨迹和初始的运动轨迹进行比较并输出差值,如果差值较大,进而利用系统内的模糊PID算法进行轨迹修正,减少输出运动轨迹与期望运动轨迹的误差,重复以上动作直至误差为零。

由图1可知,模糊PID控制系统由激光传感器、PID控制器和模糊控制器组成。模糊控制器通过输入输出误差,调节K_p、K_i、K_d控制PID控制器并输出轨迹误差。激光传感器实时检测焊缝时的轨迹位移并输出。对于焊缝机器人控制系统的整个过程,可以建立一个数学模型,用式(1)的传递函数表示:

$$G(s) = \frac{k}{(Ts+1)} e^{-Ls} \quad (1)$$

式中： k - 焊缝轨迹测量值变化量 $\Delta y(t)$ 与激光传感器轨迹测量值变化量 $\Delta z(z(s))$ 的比值， $k=0.5$ ；

e^{-Ls} - 激光传感器到焊缝之间的距离所引起的延迟效应；

L - 滞后时间， $L=20s$ ；

T - 近似积分延迟时间， $T=0.1s$ 。

则流量控制传递函数为：

$$G(s) = \frac{0.5}{10s+1} e^{-20s} \quad (2)$$

由焊缝机器人轨迹控制原理可知，可将该系统模型视为一个一阶加纯滞后环节，不考虑机械振动、温度、补偿等因素的影响，只考虑理想模型。

3.2 仿真结果分析

根据对焊缝机器人轨迹控制系统的传递函数 $G(s)$ 分析，通过 Matlab 软件对被控对象进行建模，仿真模型如图 2 所示，并完成仿真分析，仿真结果如图 3 所示。

图 3 给出了两种算法对阶跃信号影响的比较，通过观察对阶跃偏差信号的调节可以看出，本文模糊自适应 PID 调节控制方法在 $t=0.06s$ 即达到稳定跟随状态，超调量几乎为零。传统 PID 控制方法在 $t=0.13s$ 才达到稳

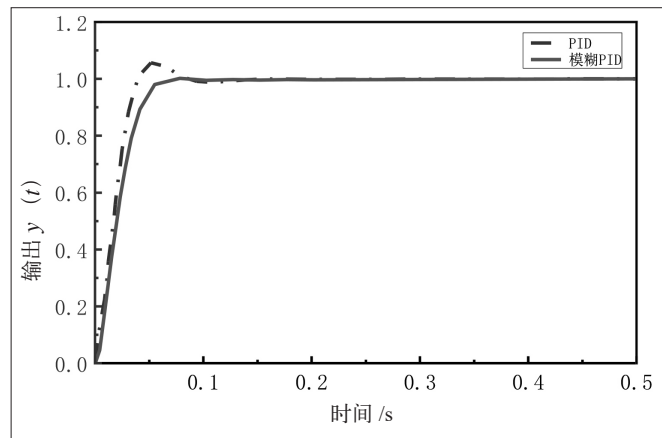


图 3 两种算法对阶跃信号影响的比较

定跟随状态，超调量较大，且有一定的震荡现象。故本文模糊自适应 PID 调节控制方法在超调量、上升时间和稳定时间上都优于传统 PID 的控制方法。

4 结语

本文首先详细分析了焊接机器人的结构和工作原理，然后分析了焊接机器人在进行焊接工作时易产生的误差类型，并针对所列举的误差进行相应的优化。其中，控制算法优化是减少焊接机器人焊接误差、提高焊接精度和效率的有效措施，因此提出了一种基于模糊 PID

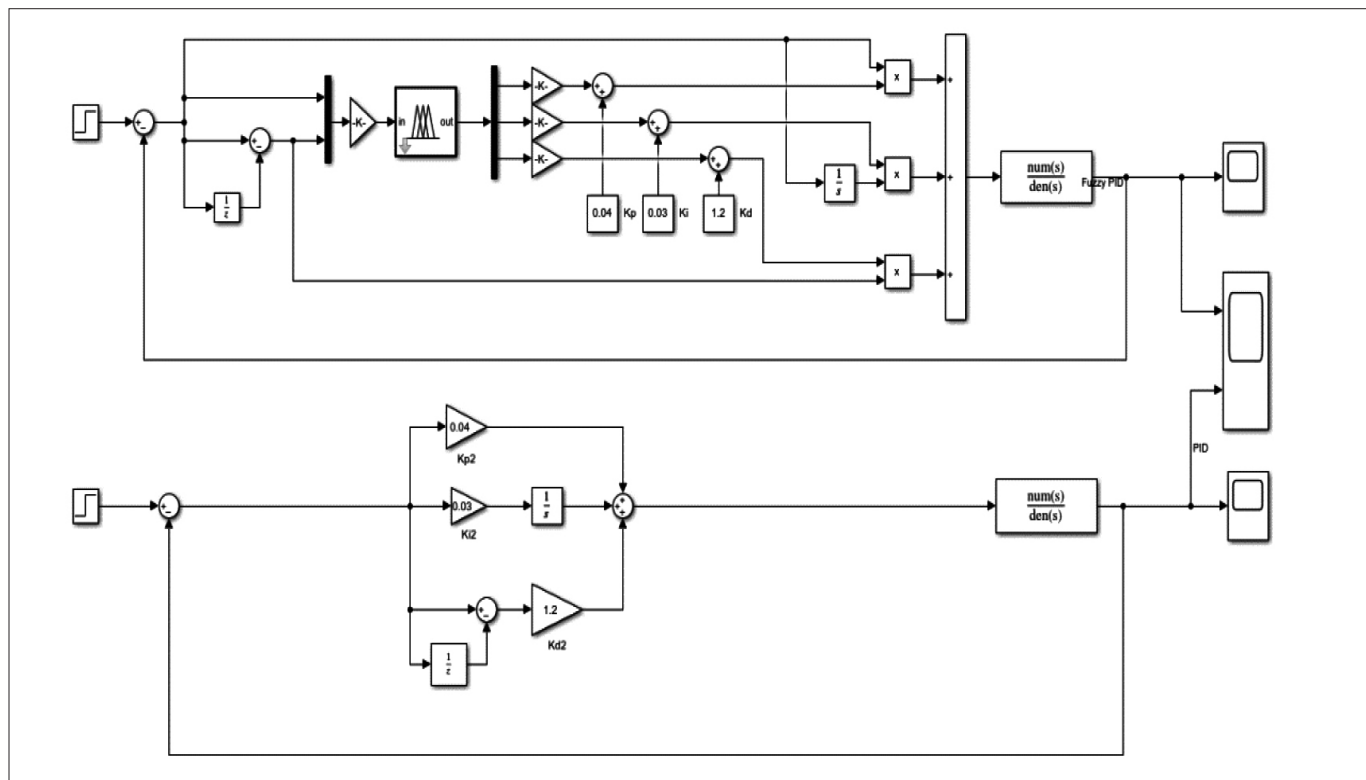


图 2 模糊 PID 控制仿真模型

控制的焊接机器人轨迹误差优化方法来提高焊接机器人轨迹跟踪精度。最后进行仿真分析,结果表明本文提出的模糊PID控制优化方法的各项指标均优于传统PID控制算法,具有更好的轨迹控制效果。

参考文献:

[1] 张振龙. 储罐焊缝打磨机器人的结构设计 [J]. 当代化工研究, 2018(04):175-176.

[2] 张弛, 陈荣涛, 王皖勇, 等. 基于深度残差学习和三线激光结构光的复杂交叉焊缝类型辨识 [J]. 热加工工艺, 2023(21):49-54.

[3] 曹学鹏, 脱帅华, 张弓, 等. 焊接机器人焊缝跟踪方法及路径规划研究 [J]. 工程科学与技术, 2022, 54(02):196-204.

作者简介: 许胜军(1982.01-), 男, 汉族, 浙江义乌人, 本科, 工程师, 研究方向: 流量仪表的生产技术制造工艺。

