

# 基于神经网络的储纬器恒张力控制策略的设计与实现

王凯旋, 彭来湖, 胡旭东

(浙江理工大学浙江省现代纺织装备技术重点实验室, 浙江 杭州 310018)  
✉1076615665@qq.com; laihup@zstu.edu.cn; xdhu@zstu.edu.cn



**摘要:** 纱线的张力控制对纺织品的质量具有重要意义, 针对纺织过程中纱线的张力波动大、非线性等问题, 提出了基于神经网络的储纬器恒张力控制策略。将神经网络应用于储纬器控制算法, 实时调整权重分配, 提高性能, 再将矢量控制应用于储纬器的电机控制, 实现良好的电机控制效果, 最终实现纱线张力的稳定控制。经测试表明: 该纱线控制策略实时性良好, 纱线张力控制精确稳定, 能够有效实现储纬器的恒张力控制。

**关键词:** 储纬器; 恒张力控制; 神经网络

**中图分类号:** TP311 **文献标识码:** A

## Design and Implementation of Constant Tension Control Solution of Weft Feeder based on Neural Network

WANG Kaixuan, PENG Laihu, HU Xudong

(Key Laboratory of Modern Textile Equipment Technology, Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou 310018, China)  
✉1076615665@qq.com; laihup@zstu.edu.cn; xdhu@zstu.edu.cn

**Abstract:** Tension control of the yarn is of great significance to the quality of textiles. Aiming at the problems of large fluctuations and non-linearity of the yarn tension during the weaving process, this paper proposes a constant tension control solution for the weft feeder based on neural network. Neural network is applied to the weft feeder control algorithm and weight distribution is adjusted in real time, so to improve system performance. Then, vector control is applied to motor control of the weft feeder to achieve a good motor control effect, and stable control of the yarn tension is finally realized. Tests show that the proposed yarn control solution has good real-time performance, precise and stable yarn tension control, and can effectively control the constant tension of the weft feeder.

**Keywords:** weft feeder; constant tension control; neural network

### 1 引言(Introduction)

储纬器纱线张力控制是织机效率和织物质量的关键因素, 若张力过大则容易造成纱线断裂, 严重影响织造效率<sup>[1]</sup>; 如果张力过小, 则会严重影响织物的平整。在喷水织机进行织布的过程中纱线张力的波动是不可避免的, 为了使储纬器的纱线张力波动在合适的范围内保持平衡, 达到纱线恒张力控制, 保证织物质量, 本文提出了一种BP神经网络与PID控制相结合的方式实现储纬器的恒张力控制器的设计, 提高了

储纬器电机响应速度, 减小了张力波动, 保证了喷水织机高效高质量地工作。

### 2 系统结构(System structure)

储纬器张力控制主要是为了使张力保持在合理的波动范围之内, 保证织造出高质量的纺织品, 比如在喷水织机上使用, 使得织出来的布松紧均匀一致。如图1所示为系统的主要结构。要实现纱线的恒张力控制, 需要对纱线进行张力的测量、比较、反馈、调节, 这个过程就需要合适的控制算

法进行张力的闭环控制。首先以张力传感器将纱线张力转化为电压量，与纱线张力的设定值进行比较，如果存在偏差，就需要控制系统进行调节，这个过程中纱线张力要保持在较小的波动范围内，以保证织物的质量。张力控制CPU采用STM32103F<sup>[2]</sup>，对张力传感器测得的电压值进行A/D转换，同时控制电机转速，采用液晶触摸屏来实现人机交互。

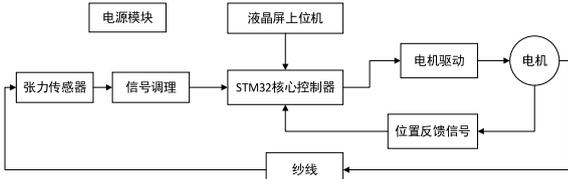


图1 系统框图

Fig.1 System block diagram

### 3 纱线张力控制策略(Yarn tension control solution)

张力控制在纺织领域运用非常广泛，它直接决定了织物质量的好坏。纱线张力经常采用PID进行闭环控制，PID控制器结构简单、容易实现的特点使得其应用非常广泛。根据纱线张力的设定值与测量值进行比较，对纱线张力误差进行比例、积分、微分处理，然后控制器进行张力控制。纱线张力PID控制数学表达式如下：

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{d(t)}{dt}]$$

在本设计中使用其增量形式：

$$\Delta u(k) = K_p\{[e(k) - e(k-1)] + \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]\}$$

该控制方法需要对PID的参数进行整定，由于神经网络算法在信号处理上取得不错的效果，本文中利用神经网络算法对信号处理的优越性，以及神经网络的自适应能力，采用神经网络进行PID的参数整定。在该控制器上，主要使用BP神经网络加PID控制器来对储纬器的纱线张力进行处理。

神经网络算法目前是人工智能领域的研究热点，是对动物神经网络的抽象，大量神经元按特定的方式进行组合，而且按照一定的权重进行赋值计算。在本次的控制器设计上，结合BP神经网络对张力PID控制器进行参数整定，使得储纬器的纱线张力控制波动更小，储纬器无刷直流电机响应更快。从BP神经网络的结构而言，主要是由输入层、隐含层和输出层构成，然后根据设定的张力和实际的纱线张力进行比较，分析误差调节神经元之间的连接权值。主要分为两个部分来完成，即信息前向传播部分和误差反向传播部分，基于该BP神经网络算法设计了一款储纬器张力控制器。

### 4 纱线恒张力控制器设计(Design of yarn constant tension controller)

根据纱线张力的设定值，对储纬器进行控制，对该控制

器的3个权值 $k_p$ 、 $k_i$ 、 $k_d$ 进行整定，利用BP神经网络实现该步骤。对于上述控制原理采用如图2所示BP神经网络结构，输入层为3个节点，隐含层为6个节点，输出层为3个节点<sup>[3]</sup>。

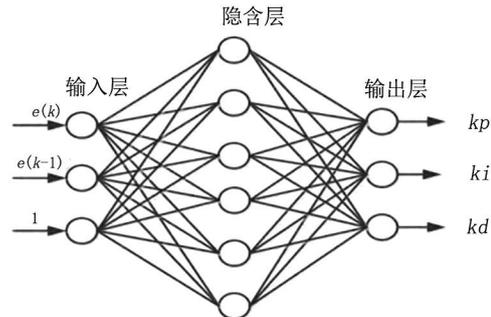


图2 BP神经网络结构图

Fig.2 Structure diagram of BP (Back Propagation) neural network

基于BP神经网络设计的PID控制器，通过上位机输入纱线的张力值，张力传感器测量纱线的张力，并且与设定的值进行比较和反馈。在纱线张力的调节过程中，需要在得到张力实际值和实现储纬器电机的控制前提下进行纱线张力的恒张力调节。将纱线实际值与设定值进行比较，若张力过大就说明张力过紧，控制器加快储纬器电机转速，使得储纬器上的纱线放松一些，降低纱线张力；反之，当张力太小的时候，纱线则过松。结合BP神经网络和PID设计了该BP神经网络的PID控制器，如图3所示。

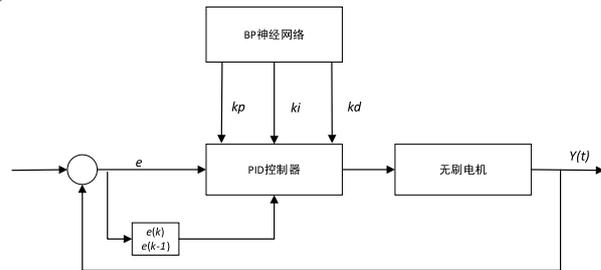


图3 基于BP神经网络的PID储纬器纱线恒张力控制框架

Fig.3 PID weft feeder yarn constant tension control framework based on BP neural network

### 5 储纬器电机的矢量控制(Vector control of the weft feeder motor)

在BP神经网络的PID控制器设计中，实际的控制对象为储纬器的电机，储纬器中的转子一共有两对磁极，该电机气隙分布均匀，具有功率因数高和损耗小的优点。储纬器电机的矢量控制主要基于三种坐标系，由此构成了 $abc$ 三相坐标系<sup>[4]</sup>，该三相坐标系不易计算与控制，为了简化该过程，将其简化成两相旋转坐标系，步骤主要分为Clark变换与Park变换。

#### 5.1 Clark变换

Clark变换三相静止坐标系的电流表达式为：

$$\begin{cases} i_a = I_{\max}\sin\omega t \\ i_b = I_{\max}\sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ i_c = I_{\max}\sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \\ i_a + i_b + i_c = 0 \end{cases}$$

其中,  $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$ 分别指的是三相电子的瞬间电流,  $I_{\max}$ 指三相电流幅值,  $\omega$ 指的是瞬时角速度<sup>[5]</sup>。

三相静止坐标系的进一步推导如下:

$$\begin{cases} i_\alpha = i_a + i_b \sin(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}) + i_c \sin(-(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6})) = i_a - \frac{1}{2}i_b - \frac{1}{2}i_c \\ i_\beta = i_b \sin(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6}) + i_c \sin(-(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{6})) = \frac{\sqrt{3}}{2}i_b - \frac{\sqrt{3}}{2}i_c \\ i_\alpha + i_\beta = 0 \end{cases}$$

转化为矩阵为:

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 3/2 & 0 \\ \sqrt{3}/2 & \sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix}$$

示意图如图4所示。

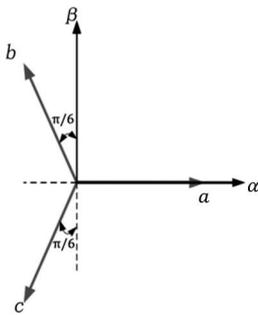


图4 三相坐标系到两相坐标转换示意图

Fig.4 Schematic diagram of conversion from three-phase coordinate system to two-phase coordinate system

### 5.2 Park变换

Park变换表达式为:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

示意图如图5所示。

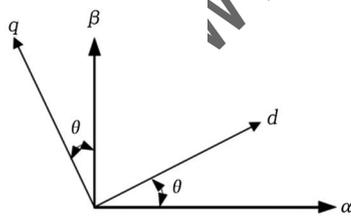


图5 两相静止坐标系和旋转坐标系示意图

Fig.5 Schematic diagram of two-phase stationary coordinate system and rotating coordinate system

基于纱线非线性、不能进行过张力调节的特点, 储纬器电机控制的基本要求是精确控制转矩, 需要实现电机的快速响应, 以及纱线的波动范围很小。根据此需求以及储纬器的实际控制方式, 本文采用永磁同步电机 $i_d=0$ 的控制方式。该控制方法电机效率高, 产生的转矩也很大, 主要是由三个闭环控制嵌套, 最外环为纱线的张力环, 中间是速度环, 最内部

为电流环。张力环基于输入的纱线张力期望值和实际的张力测量值<sup>[6]</sup>, 根据公式计算出电机的目标速度, 再根据传感器的位置检测, 以及目标速度和实际速度进行速度环调节。储纬器纱线的恒张力控制流程图如图6所示。

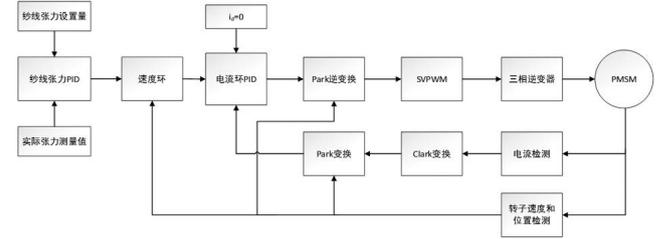


图6 储纬器纱线恒张力控制流程图

Fig.6 Flow chart of constant tension control of weft feeder yarn

## 6 实验结果与分析(Experimental results and analysis)

本文搭建了如图7所示的平台验证该控制方法的可靠性, 使用两个储纬器和喷水织机进行测试, 使用Linux工控屏作为系统的上位机, 控制实验平台的运行。比较基于神经网络的储纬器恒张力控制策略与传统的控制策略, 得到如图8所示的实验数据, 证明BP神经网络的控制方法与传统的控制方法相比较, 其响应速度更快, 波动更小。

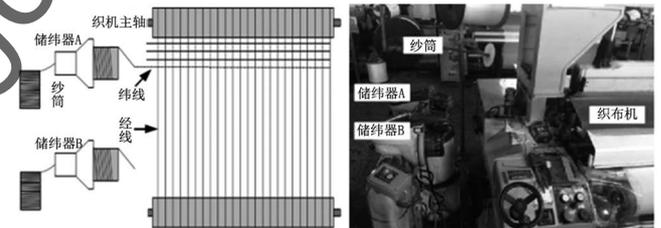


图7 测试平台

Fig.7 Testing platform

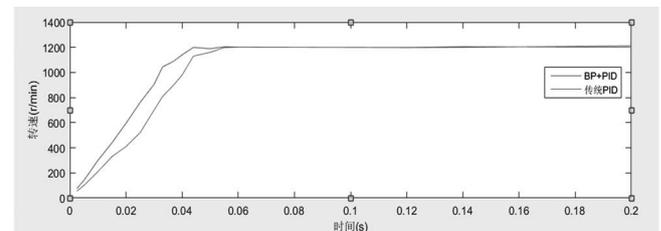


图8 验证结果

Fig.8 Validation results

## 7 结论(Conclusion)

将BP神经网络与PID控制器相结合的方式能够有效地实现储纬器的恒张力控制<sup>[7]</sup>, 实验结果表明, 该控制方法稳定性更好, 纱线的张力波动更小, 储纬器电机的响应速度更快。本文的控制方法比传统的控制系统在响应速度和控制精度上都有明显提升, 纱线的过张力以及断线概率也大大降低, 这种基于神经网络的储纬器纱线的恒张力控制策略为纱线的张

力控制提供了参考<sup>[8]</sup>。

### 参考文献(References)

- [1] 钟开锋.基于矢量控制的电子储纬器研制[D].杭州:杭州电子科技大学,2017.
- [2] 沈之远.基于无刷直流电机的电子储纬器系统研究[D].金华:浙江师范大学,2015.
- [3] 王廷周.电子储纬器的纬纱实时检测系统研究[D].金华:浙江师范大学,2015.
- [4] 赵亮.基于神经网络的无刷直流电机控制系统设计[J].内燃机与配件,2019(06):78-80.
- [5] 杨瑞锋.基于模糊神经网络的无刷直流电机控制系统[J].电脑知识与技术,2016,12(17):185-187.
- [6] 陈天炎,陈琦,张静,等.机械臂系统自组织模糊径向基神经网络控制器设计[J].软件工程,2020,23(12):12-14.

(上接第50页)

进行教学计划的灵活调整;除此之外,也要提升教师的数据意识,逐渐形成用数据辅助教育的理念。

### 参考文献(References)

- [1] 杨现民,郭利明,王东丽,等.数据驱动教育治理现代化:实践框架、现实挑战与实施路径[J].现代远程教育研究,2020,32(02):73-84.
- [2] 李葆萍,周颖.基于大数据的教学评价研究[J].现代教育技术,2016,26(06):5-12.
- [3] 钟绍春,唐烨伟.人工智能时代教育创新发展的方向与路径研究[J].电化教育研究,2018,39(10):15-20.
- [4] 华春杰,于雅楠,李慧苹,等.基于端到端表情识别方法的课堂教学分析[J].天津职业技术师范大学学报,2021,31(02):26-31.
- [5] 肖知亮.基于智能数据采集与处理的教育信息融合方法研究[J].现代电子技术,2020,43(24):140-143.
- [6] BRANCH A, HASTINGS R P, BEVERLEY M, et al. Increasing support staff fluency with the content of behaviour support plans: An application of precision teaching[J]. Journal of Intellectual & Developmental Disability, 2018, 43(2):

(上接第62页)

- [10] 谢亮,廖宏建,杨玉宝.基于Kinect的姿势识别与应用研究[J].计算机技术与发展,2013,23(05):258-260.
- [11] 徐洋凡.基于Kinect虚拟现实下肢游戏的临床设计及应用[D].广州:暨南大学,2016.

### 作者简介:

徐言东(1996-),男,硕士生.研究领域:康复虚拟游戏设计.

- [7] LI S J, WANG F, CHEN W, et al. Application of three dimensional (3D) curved multi-planar reconstruction images in 3D printing mold assisted eyebrow arch keyhole microsurgery[J]. Brain and Behavior, 2020,10(03):10-16.

- [8] 郑舟.喷气织机储纬器控制系统研制[D].杭州:浙江理工大学,2011.

### 作者简介:

王凯旋(1996-),男,硕士生.研究领域:智能装备与物联网技术.

彭来湖(1980-),男,博士,讲师.研究领域:智能装备与嵌入式控制技术,工业互联网通信.

胡旭东(1959-),男,博士,教授.研究领域:现代纺织装备及控制技术,纺织装备互联互通,智能纺织装备,机电控制及其自动化.

213-222.

- [7] 张超.“互联网+教育”背景下智慧课堂精准教学模式的构建与实践——以《Flash动画制作》课程为例[J].宿州教育学院学报,2019,22(06):102-106.

- [8] 马晓艳,陈英.大数据驱动下精准教学模式的构建及应用[J].创新创业理论与实践,2021,4(10):110-112.

- [9] ZEEBAREE S R M, SHUKUR H M, HAJI L M, et al. Characteristics and analysis of hadoop distributed systems[J]. Technology Reports of Kansai University, 2020, 62(4):1555-1564.

### 作者简介:

毕夏安(1981-),男,博士,教授.研究领域:大数据分析与应用,脑科学与人工智能.

邢兆旭(1997-),男,硕士生.研究领域:大数据分析与应用,脑科学与人工智能.

胡溪(1998-),女,硕士生.研究领域:大数据分析与应用,脑科学与人工智能.

周雯燕(1998-),女,硕士生.研究领域:大数据分析与应用,脑科学与人工智能.

邹任玲(1971-),女,博士,副教授.研究领域:康复医疗器械研制,生物电信号提取.

陈燕燕(2001-),女,本科生.研究领域:康复虚拟游戏训练.

马少轩(1999-),男,本科生.研究领域:康复虚拟游戏训练.

卢旭华(1971-),男,博士,教授.研究领域:脊髓损伤,脊柱退行性疾病,腰椎退变性侧凸畸形,脊柱微创.