

数码纺织设备中机电协同运动精度控制策略研究

王宝

绍兴柯桥兰帽数码纺织科技有限公司 312065

【摘要】本研究针对数码纺织设备中机电协同运动精度控制问题，提出了一种基于模型预测控制（MPC）与自适应误差补偿的复合控制策略。通过对数码纺织设备的机电系统进行深入分析，揭示了影响运动精度的关键因素，并在此基础上设计了相应的控制策略。实验结果表明，该策略能够显著降低系统误差，提高设备的运动精度和产品质量。此外，该策略还展现出良好的适应性和鲁棒性，能够应对复杂多变的工况。研究贡献在于为解决数码纺织设备运动精度控制难题提供了新的思路和方法，对推动纺织行业的技术进步和产业升级具有重要意义。

【关键词】数码纺织设备；机电协同运动；运动精度控制；模型预测控制；自适应误差补偿

Study on precision control strategy of electromechanical coordinated motion in digital textile equipment

Wang Bao

Shaoxing Keqiao Lami Digital Textile Technology Co., LTD 312065

【Abstract】 This study addresses the precision control of electromechanical collaborative motion in digital textile equipment by proposing a composite control strategy based on model predictive control (MPC) and adaptive error compensation. Through an in-depth analysis of the electromechanical system of digital textile equipment, key factors affecting motion accuracy were identified, and corresponding control strategies were designed accordingly. Experimental results show that this strategy can significantly reduce system errors, improve the motion accuracy of the equipment, and enhance product quality. Additionally, the strategy demonstrates excellent adaptability and robustness, capable of handling complex and variable operating conditions. The research contribution lies in providing new ideas and methods for solving the precision control challenges of digital textile equipment, which is significant for promoting technological progress and industrial upgrading in the textile industry.

【Key words】 digital textile equipment; mechatronic cooperative motion; motion precision control; model predictive control; adaptive error compensation

第一章 引言

数码纺织设备作为现代纺织工业的先锋，融合了电子技术、计算机技术、机械技术和材料科学，实现了图案设计的高精度和生产过程的高度自动化，广泛应用于服装、家居装饰及工业用途等领域，满足了市场对个性化定制和智能制造的迫切需求。其核心在于机电协同运动控制技术，它确保了设备在高速运转中机械部件与电子控制系统的紧密配合，进而实现图案的精确呈现和生产效率的大幅提升。

然而，随着市场对纺织品品质要求的日益提高和生产速度的加快，机电协同运动精度问题愈发凸显，成为制约设备性能提升的关键。机电协同运动精度直接关系到设备的生产效率、图案精度、色彩还原度及整体品质，任何微小偏差都可能导致产品重大缺陷，影响消费者体验。因此，提升机电协同运动精度对于增强产品竞争力、满足市场需求及推动纺织行业技术进步至关重要。

国内外学者在此领域已展开深入研究。国外凭借先进工业基础和科研实力，在高精度传感器技术和先进控制算法上取得显著成果，如自适应控制、模糊控制等智能算法的应用，有效提升了设备运动精度和稳定性。国内则更注重实际需求与产业升级结合，提出了一系列切实可行的控制策略优化方

案，降低了运行成本，提高了生产效率和产品质量，同时在误差补偿技术和系统集成方面取得重要进展。

尽管取得诸多进展，但仍面临控制精度不足、算法复杂度及设备适应性差等问题。未来研究需继续提升高精度传感器技术性能，研发高效实用控制算法，加强设备适应性研究，通过智能学习机制实现快速适应和调整。

本文旨在探索并构建新颖的机电协同运动精度控制策略，以提升数码纺织设备操作性能和产品质量。我们将深入研究设备机械结构、电子控制系统及交互机制，分析协同运动特性，包括运动精度、稳定性、响应速度等，基于分析结果，综合运用现代控制理论、智能算法及优化技术设计控制策略，并通过实验验证与性能评估确保其有效性和实用性。采用理论分析、仿真模拟与实验验证相结合的综合方法，期望提出具有创新性和实用价值的控制策略，为数码纺织设备性能提升和产品质量改进提供有力支持。

第二章 数码纺织设备机电系统分析

数码纺织设备的机电系统集成机械结构、驱动系统、控制系统和传感器四大核心部分，形成一个高度协同工作的整体。机械结构作为骨架，支撑着纺织材料的运动，其设计

需兼顾刚性和耐磨性,以确保长时间工作的稳定性和可靠性。驱动系统则通过电机、液压或气动等多种动力源,提供设备所需的动力,并通过精密传动机构实现动力的有效传递和转换。控制系统作为“大脑”,根据预设指令或图案信息,对驱动系统进行精确控制,确保各部件的协同运动。而传感器则实时监测设备的运行状态和误差信息,为控制系统的调整提供数据支持。

在机电协同运动过程中,确保高精度同步和协调至关重要。这要求控制系统能够实时调整各部件的运动参数,以补偿制造误差、部件磨损和环境温度变化等因素引起的偏差。机械结构的刚度和摩擦特性对协同运动的影响显著,刚度不足可能导致高速运动时产生过大变形,影响打印精度;而摩擦力的不稳定则可能导致运动不平稳,增加控制难度。此外,驱动系统的动态响应速度和准确性也是影响协同运动的关键因素。

然而,数码纺织设备中机电协同运动精度控制的难点不容忽视。系统的复杂性和非线性特性使得控制策略设计面临挑战。机械结构、驱动系统和控制系统之间的相互作用错综复杂,任何一个环节的微小变化都可能对整个系统的运动精度造成显著影响。同时,非线性特性使得系统的行为难以用简单的数学模型进行准确描述,增加了控制难度。特别是在高速运动和高精度要求下,非线性特性对运动精度的影响更加显著。

此外,外部环境因素如温度、湿度和振动等也对运动精度产生影响。这些因素可能引起机械结构的微小变形或传感器测量误差,从而影响运动精度。因此,在设计控制策略时,必须充分考虑这些外部环境因素的影响,并采取相应的措施进行补偿和校正。

第三章 机电协同运动精度控制策略

3.1 控制策略总体设计

在数码纺织设备中,机电协同运动精度是确保产品质量的核心要素。为实现这一目标,本文设计了一种融合模型预测控制(MPC)与自适应误差补偿的先进控制策略。MPC通过预测系统未来动态行为并优化控制输入,确保各部件高精度协同运动。同时,针对系统不确定性和干扰,自适应误差补偿技术实时估计并补偿误差,增强控制鲁棒性。

该复合控制策略结合了MPC的优化能力和自适应误差补偿的实时调整,既保证了高精度协同运动,又提升了控制的稳健性。此外,策略中嵌入了自适应调整机制,使设备能在不同工作环境(如温度、湿度变化)下自动调整参数,维持高精度控制。

3.2 控制策略实施与优化

在实施数码纺织设备控制策略时,首要任务是精确建模机电系统,全面考虑机械结构、驱动、控制及传感器特性,以反映系统动态与非线性因素。随后,根据设备特性和控制需求,合理设定控制参数,如控制周期、预测时域等,确保策略稳定且响应迅速。

核心环节是编写控制算法,需基于模型实时调整部件参数,注重算法的实时性和鲁棒性。调试阶段通过实验验证策略效果,及时调整参数和算法,确保设备稳定运行。

为增强策略适应性和鲁棒性,可引入智能优化算法如遗传算法、粒子群算法,自动搜索最优控制参数,提升控制精度和稳定性。

此外,与设备操作人员的沟通协作至关重要,其反馈对策略调整至关重要。效果评估需全面客观,涵盖生产效率、产品质量、故障率等,为后续研究改进提供有力支持。

第四章 实验验证与性能分析

4.1 实验平台与测试方案

为了深入验证本文提出的机电协同运动精度控制策略的实际应用效果,我们专门设计了一套全面的数码纺织设备实验平台。该平台充分考虑了实际生产环境的复杂性和多样性,力求还原真实工作场景,确保实验结果的可靠性和实用性。

实验平台的核心组件包括高精度机械结构、高效稳定驱动系统、先进控制系统及精准传感器。机械结构采用高强度、低摩擦材料,确保长时间运转下的稳定性和精度;驱动系统选用高动态响应电机和驱动器,实现快速指令响应;控制系统基于先进算法和软件架构,实现精确部件控制和协同运动;传感器则具备高分辨率和高灵敏度,实时监测设备状态和误差信息。

测试方案涵盖静态精度、动态精度和鲁棒性三个维度。静态精度测试评估设备静止状态下的定位和重复定位精度,直观展现控制策略在静态方面的提升;动态精度测试关注运动过程中的轨迹跟踪和速度稳定性,模拟实际生产中的连续任务,检验动态环境下的性能;鲁棒性测试则评估控制策略在面对外部干扰和不确定性时的抗干扰能力和稳定性。

4.2 实验数据与结果分析

在实验环节中,我们着重收集了数码纺织设备在采用新控制策略前后的各项关键数据。这些数据主要包括设备各关键部件的运动轨迹、速度、加速度,以及生产过程中的系统误差和产品最终质量指标。通过对比分析这些数据,我们得以深入评估新控制策略的实际效果。

在运动参数方面,实验数据显示,采用新控制策略后,设备各部件的运动轨迹更加平滑,速度和加速度的波动范围明显减小。这表明新策略能够有效优化设备的运动过程,降低因运动不稳定造成的误差。

系统误差方面,我们观察到在新策略控制下,设备的系统误差显著降低。无论是在静态测试还是动态测试中,新策略都表现出了优异的误差控制能力。特别是在高速运动状态下,新策略仍能保持较低的误差水平,这对于提升数码纺织设备的高速打印精度具有重要意义。

产品质量方面,实验结果表明,采用新控制策略后,产品的图案精度和色彩还原度均得到了显著提升。与传统控制策略相比,新策略生产出的产品具有更高的整体品质和市场

竞争力。

我们还对新控制策略的鲁棒性进行了测试。通过模拟各种可能的外部干扰因素,如温度变化、湿度波动和机械振动等,我们验证了新策略在各种复杂环境下仍能保持稳定的控制效果。这一特点使得新策略在实际生产中具有更强的适应性和可靠性。

通过对实验数据的详细分析,我们充分验证了所提控制策略在提升数码纺织设备运动精度和产品质量方面的有效性。这些实验结果不仅为本文的理论研究提供了有力支撑,也为后续的优化改进工作指明了方向。

4.3 性能评估与指标对比

在深入研究和实施了机电协同运动精度控制策略后,对其性能进行全面评估显得尤为重要。这不仅有助于验证所提策略的有效性,还能为后续的改进和优化提供有力支撑。为此,本文精心选取了一系列具有代表性的性能评估指标,以期从不同角度全面剖析控制策略的实际表现。

在评估过程中,我们重点关注了最大误差、平均误差和标准差这三个关键指标。最大误差能够反映出控制系统在极端情况下的表现,是评估其稳定性和可靠性的重要依据。平均误差则更能体现控制系统在整体运行过程中的精度水平,有助于我们全面了解其性能状况。而标准差则进一步揭示了误差数据的离散程度,从而反映出控制系统的稳定性和一致性。

为了更客观地评估所提控制策略的性能,我们将其与传统控制方法进行了详细的对比实验。实验结果显示,在最大误差方面,所提控制策略相较于传统方法有了显著降低,这意味着在面对复杂多变的工况时,所提策略能够更好地保持系统的稳定性,避免因误差过大而导致的生产问题。在平均误差方面,所提策略同样展现出了优越的性能,其整体精度水平明显高于传统控制方法。这一结果充分证明了所提策略在提升数码纺织设备运动精度方面的有效性。而在标准差方面,所提控制策略同样表现优异,其误差数据的离散程度明显低于传统方法,显示出更高的稳定性和一致性。

通过一系列严谨的性能评估和指标对比,我们充分验证了所提机电协同运动精度控制策略在数码纺织设备中的优越性能。这一策略不仅在最大误差、平均误差和标准差等关键指标上表现出色,更在实际应用中展现出了强大的稳定性和实用性。这无疑为数码纺织设备的高精度生产和质量控制提供了有力保障,同时也为相关领域的技术进步和创新奠定了坚实基础。

参考文献

- [1]马振洪.绿色制造技术在纺织机械行业中的应用[J].化纤与纺织技术.2022, 51(3).
- [2]吴迪.深入推进纺织行业数字化转型[J].纺织服装周刊.2021, (18).24.
- [3]黄燕.机电一体化技术在纺织机械中的应用研究[J].轻纺工业与技术.2020, (8).
- [4]官鑫.自动化控制系统在纺织机械设计制造中的集成与优化[J].化纤与纺织技术.2024, 53(9).
- [5]戴丽梅.机电一体化技术在智能制造中的应用研究[J].造纸装备及材料.2023, 52(1).
- [6]何旭平, 吉学齐, 陶广川.智能上轴机器人的研制及应用效果[J].棉纺织技术.2022, 50(1).

第五章 结论与展望

5.1 研究结论与贡献

本研究在深入探索数码纺织设备机电协同运动精度控制策略的基础上,成功提出了一种创新的复合控制策略,该策略融合了模型预测控制(MPC)与自适应误差补偿技术。通过一系列实验验证与性能分析,该策略在提升数码纺织设备的运动精度和产品质量方面展现出卓越表现。

本研究的主要贡献在于:首先,解决了数码纺织设备在高速、高精度生产要求下的运动精度控制难题,为设备性能提升奠定了坚实基础。其次,通过与传统控制策略的对比分析,本文所提策略在关键性能指标上取得了显著改善,意味着采用该策略的数码纺织设备能够更精确地执行预设指令,生产出更高品质的纺织品。此外,本研究还为数码纺织设备领域的发展注入了新活力,有望推动纺织行业向更智能化、个性化的方向发展。

5.2 不足与改进方向

尽管本研究在数码纺织设备机电协同运动精度控制策略方面取得了显著进展,但仍存在一些不足,主要体现在适应性、鲁棒性和智能化水平等方面。

在适应性方面,面对多变的生产环境和复杂工况,本文所提控制策略的调整和优化能力有待加强。未来研究应更加关注如何提升控制策略在各种复杂工况下的适应性,以应对材料特性变化、机械部件磨损等突发情况,确保设备的运动精度和产品质量不受影响。

在鲁棒性方面,虽然已采用自适应误差补偿技术提高控制的鲁棒性,但在极端情况或未知干扰下,控制策略的稳定性仍可能受到挑战。未来研究应更加注重提高控制策略的鲁棒性,确保数码纺织设备在各种恶劣环境下都能保持稳定的运行和高精度的生产。

在智能化水平方面,随着人工智能和机器学习技术的飞速发展,将这些先进技术应用与数码纺织设备控制领域已成为热门研究方向。未来研究可探索引入智能算法和学习机制,进一步提升控制策略的智能化水平,使其具备更强的自适应能力和优化能力。例如,利用深度学习技术对设备运行状态进行实时监测和预测,或采用强化学习算法对控制策略进行持续优化,以适应不断变化的生产需求和环境条件。