

工业智能技术在

纺织业智能化转型中的应用研究

Research on Application of Industrial Intelligence Technology in Intelligent Transformation of the Textile Industry

曾水祥¹,孙振州¹,张明利¹,李 想^{2,3},李金博^{2,3},周晓龙^{2,3}[1. 中国联通(福建)工业互联网研究院,福建 福州 350007; 2. 中国联通研究院,北京 100048; 3. 下一代互联网宽带业务应用国家工程研究中心,北京 100048]

Zeng Shuixiang¹,Sun Zhenzhou¹,Zhang Mingli¹,Li Xiang^{2,3},Li Jinbo^{2,3},Zhou Xiaolong^{2,3}[1. China Unicom(Fu Jian) Industrial Internet Research Institute, Fuzhou 350007, China; 2. China Unicom Research Institute, Beijing 100048, China; 3. Next Generation Internet Broadband Service Application National Engineering Research Center, Beijing 100048, China]

摘要:

纺织业正经历着从传统模式向技术驱动型产业的深刻变革。工业智能技术的广泛应用,如智能决策支持系统、智能制造及计算机视觉等,不仅在管理智能化、产品质量提升及绿色可持续生产方面展现出巨大潜力,更重塑了纺织业的传统格局,成为其智能化转型的核心驱动力。深入剖析了工业智能技术从管理策略、生产流程到产品设计等多个维度在纺织业的应用,并对后续工业智能在纺织业中的发展趋势与应用方向给出了建议。

关键词:

工业智能;纺织业;智能制造;可持续发展

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.11.006

文章编号:1007-3043(2024)11-0031-06

中图分类号:TN915.1

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

The textile industry is undergoing a profound transformation from traditional models to a technology-driven sector. The extensive application of industrial smart technologies, including intelligent decision support systems, smart manufacturing, and computer vision, not only demonstrates vast potential in intelligent management, product quality enhancement, and green sustainable production but also reshapes the traditional landscape of the textile industry. These technologies have become the core driving force of its intelligent transformation. It conducts an in-depth analysis of the application of industrial smart technologies in the textile industry from multiple dimensions, including management strategies, production processes, and product design. Additionally, it offers recommendations for future development trends and directions of industrial smart technologies in the textile industry.

Keywords:

Industrial intelligence; Textile industry; Intelligent manufacturing; Sustainable development

引用格式:曾水祥,孙振州,张明利,等. 工业智能技术在纺织业智能化转型中的应用研究[J]. 邮电设计技术,2024(11):31-36.

1 概述

纺织工业作为消费品工业的重要组成部分,不仅是我国的支柱产业和国际优势产业,也深刻影响着国计民生与经济发展。该产业不仅驱动经济增长、扩大就业规模、增强出口实力,还持续优化着产业结构。然而,面对传统制造模式的桎梏——技术滞后、效率低下、品控不严、能耗高企、创新不足及成本攀升等挑战,我国的纺织业亟需技术创新和管理升级,以保持

其全球竞争力。

在此背景下,工业智能技术的引入为纺织业的转型升级提供了强有力的技术支持和广阔的发展前景,有助于该行业解决长期存在的结构性问题,增强其在全球市场的竞争力。通过构建知识图谱,可以实现老师傅技艺传承的系统化与智能化,加速新工人技能成长,并实现生产过程中更高的操作准确性和效率。AI驱动的质量控制体系能够实时监测生产环节,大幅提高生产的稳定性和产品合格率。此外,结合市场洞察与消费者偏好分析,企业能精准预测市场需求,优化生产计划与库存管理,实现资源的高效配置。个性化

收稿日期:2024-10-09

定制服务借助智能制造技术,可以满足消费者的多元化需求。在能源管理上,智能系统识别并优化能耗低效率点,有效降低了生产成本,也符合绿色可持续发展的时代要求。

表1给出了工业智能在纺织业不同阶段的主要应用。本文系统性分析了工业智能在纺织业中的广泛应用,深入剖析了AI技术与传统纺织工艺的深度融合路径。通过分析价值创造新模式与商业变革,揭示了工业智能如何助力纺织业突破技术瓶颈,实现转型升级。此外,本文还探讨了绿色制造议题,讨论了智能化在促进环境保护与资源高效利用方面的关键作用,还从技术革新、管理优化到市场拓展,多维度探讨了智能化如何推动纺织业标准化体系的建设,展示了行业技术交流如何促进产业链和价值链的融合,以及如何通过产业升级推动企业的智能化转型。

2 工业智能在纺织业的革新应用

工业智能技术在纺织业中的应用架构如图1所示,该架构覆盖了管理、生产、设计三大核心模块。

a) 管理模块作为架构的顶层,集成了智能决策支持系统(Decision Support Systems, DSS)与专家系统(Expert Systems, ES)等高级决策模型,不仅支持企业资源规划系统(Enterprise Resource Planning System, ERP)的科学选型,还优化了供应链管理与生产资源的动态配置,实现了生产计划与市场需求的精准匹配,显著提升了管理决策的效率和准确性。

b) 生产模块是架构的核心,依托计算机视觉(Computer Vision, CV)技术,以及深度学习(Deep Learning, DL)和机器学习算法,实现了生产流程的智能化与精细化。该模块通过高分辨率图像识别、特征增强的对象检测等技术,优化了工艺参数。在质量控

表1 工业智能在纺织业不同阶段的主要应用

类别	典型应用	涉及方法/策略	参考文献
纤维生产	纤维成分分析、光学识别、纤维质量评价、异物纤维检测、异物分类、混合物量化等	CNN、SVM、Transformer、图注意力网络、随机森林	[13-15]
纱线制造	纱线性能预测、过程控制/优化、纱线工程、纱线外观评定、混合均匀度控制、纤维混合预测等	ANN、线性、非线性和逻辑回归、SVM、DSS、模糊优化、AYDNet	[5-7], [9]
织物制造	力学性能预测、功能性预测、触觉特性评估、缺陷检测、模式识别、织物工程等	ANN、kNN、SVM、CNN、自编码器、贝叶斯分类器、U-SMR	[6],[16-19]
化学加工	颜色匹配、色彩质量控制、过程控制/优化、生产计划/调度、可持续的工艺设计、废水处理等	ANN、混合AI模型、CCN、AlexNet	[8],[10-12]
服装制造业	图案设计、减少订单规划/调度、装配线平衡、资源分配、质量保证、尺码匹配等	ANN、遗传算法、模糊聚类、DSS、ES、生成对抗网络、生成式技术	[2],[4-5],[21-22]
供应链管理	时尚色彩趋势预测、需求/销售预测、风险评估、订单调度、供应商选择与管理、服装分销等	遗传算法、模糊聚类、自组织映射、逻辑回归、DSS、ES、模糊层次分析、ANN、灰色模型	[2-5], [20]

制方面,智能系统能够实时监测生产环节,快速识别并纠正潜在缺陷,大幅提高了产品合格率。同时,基于统计数据和模糊优化的控制策略,进一步提升了生产过程的精确性与效率,确保了纱线强度、耐磨性等关键指标的达标。此外,绿色制造技术的引入,如智能化废水处理系统,有效降低了能耗与排放,推动了纺织业的可持续发展。

c) 设计模块是工业智能在纺织业创新应用的前沿阵地。该模块融合了个性化定制、消费者偏好分析及智能纺织品开发等功能,为纺织业开辟了新的增长点。整个架构离不开先进信息技术的支撑,如5G、云计算、物联网和大数据等,以实现数据的实时采集、分析和应用,为纺织业的智能化转型提供坚实的基础。

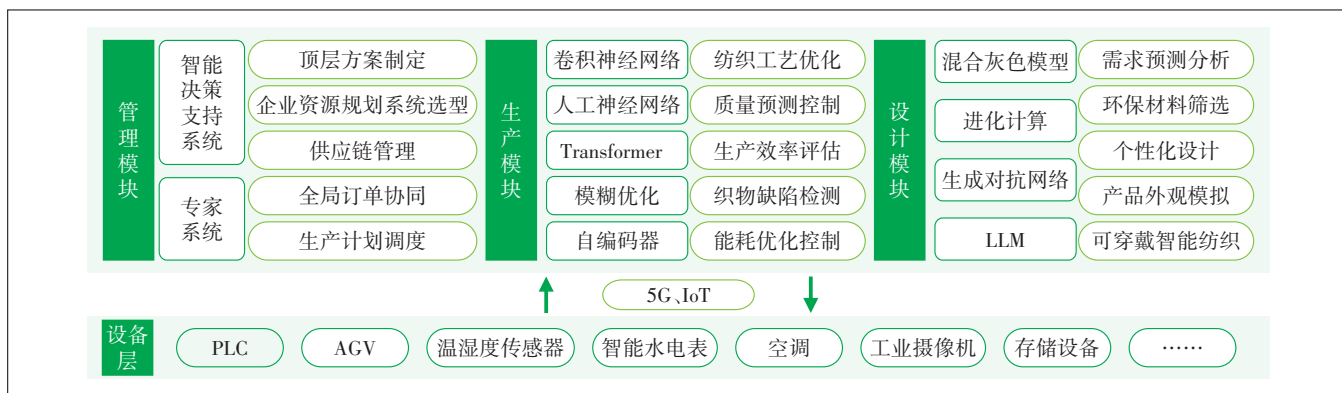


图1 工业智能技术在纺织业中的应用架构

2.1 智能决策支持系统:优化生产管理

在全球化和国际竞争日益激烈的纺织行业中,构建高效、敏捷且响应迅速的供应链体系已成为企业体现核心竞争力的关键要素。信息技术的飞速发展,特别是DSS的兴起,为纺织业供应链管理的优化提供了前所未有的机遇。DSS作为信息技术与管理科学的融合产物,通过集成ES、遗传算法、ANN、基于知识的系统及模糊逻辑系统等多种先进技术,深度挖掘数据潜力,构建精准预测与决策模型,有效应对复杂多变的决策环境,显著优化了纺织生产管理的各个环节。

DSS在纺织与服装领域的应用,不仅促进了生产流程的精细化与智能化改造,还极大地提升了管理决策的效率和准确性。相关研究表明,对信息技术特别是DSS的投资,已成为纺织企业实现智能化转型、提升竞争力的关键驱动力^[1]。通过对实时数据的分析与预测,DSS能够精准匹配市场需求与生产资源,实现生产计划的动态调整与资源的最优配置,揭示潜在的模式与关系,辅助企业制定更加精准、高效的决策方案^[2]。在ERP选型这一复杂决策过程中,DSS通过结合平衡计分卡与模糊层次分析法,为企业提供了系统化、科学化的ERP系统评估与选择框架,提升了选型决策的科学性和可靠性^[3]。

值得关注的是,ES作为DSS的重要组成部分,在纺织行业生产规划决策中展现出了卓越的性能。ES通过模拟专家思维过程,结合丰富的纺织行业知识与实时数据,为纺织企业提供了高效、精准的决策支持,有效解决了生产规划中的复杂难题^[4]。

展望未来,DSS在纺织与服装供应链管理中的应用前景广阔。尽管DSS在纤维转纱、服装生产管理等领域已取得显著进展,但在产品交付、市场营销、材料管理等方面仍存在研究空白,亟待进一步探索^[5]。未来研究应结合新兴技术,如移动技术、云计算及射频识别等,进一步拓展DSS的应用范畴,以探索更加高效、智能的供应链管理解决方案。此外,DSS在推动电子商务发展、增强供应链可追溯性与可见性,以及促进绿色供应链管理等方面的潜力亦不容忽视。

2.2 制造技术的智能化:工艺创新与自动化

随着工业智能技术的不断发展,纺织业正经历一场深刻的变革。智能制造技术的引入不仅重塑了传统纺织生产的面貌,更通过高度智能化的工艺创新与自动化技术的深度融合,为提升生产效率、优化产品质量、促进环境可持续发展提供了强有力的保障。

在纺织制造业中,熔融纺丝过程的优化对提高产品质量和生产效率至关重要。传统优化手段的单向性限制了工艺与产品之间的协同优化能力。为突破此瓶颈,文献[6]提出了基于免疫增强的神经网络的双向优化方法,这一方法不仅实现了工艺参数的逆向设计,从而方便以目标产品质量为导向精准调整生产条件,还通过引入人工免疫机制拓宽了搜索空间,挖掘了传统方法难以触及的优化潜力。在质量控制方面,自动化技术的引入显著提升了纺织生产的精确性与效率。例如,AYDNet图像分割网络通过自动化检测与测量纱线密度,实现了对织造密度的精准把控,满足了复杂图案检测的高标准要求^[7]。此外,在颜色匹配与染色领域,混合AI模型的应用使得织物染色后的颜色预测与参数优化更加精准,为纺织工业的颜色管理与生产优化提供了强有力的技术支持^[8]。

在高速纺织生产过程中,为减少织物中如断经、断纬等缺陷的发生,确保纱线的强度和耐磨性至关重要。传统纺织品制造工艺在应对高速运行时面临着诸多挑战,包括纱线断裂和纱线干燥度的控制。同时,浆料使用过量将会影响纱线质量及织物的总体性能,因此,有必要采用先进的智能控制策略,以优化纺织生产过程中的各种参数。文献[9]提出了一种基于统计数据 and 模糊优化的控制策略,采用分层控制方法,结合模糊建模和优化技术,对不同操作模式下的运行参数进行精确调整。该方法通过模拟整个生产过程不同部分的过程模型,在解决纱线打浆、干燥及织造过程中层次上的集成问题时展现出显著优势。

在纺织业的绿色转型中,废水处理的智能化同样至关重要,其智能化水平直接影响到行业的可持续发展。文献[10]通过超声辅助电化学技术,结合响应面方法的参数优化功能和人工神经网络(Artificial Neural Network, ANN)的高精度预测能力(见图2),大大减少了废水中的有害物质,为纺织废水处理过程的智能化控制提供了科学依据。此外,CNN、AlexNet等DL模型在废水颜色自动检测与分类中的应用,进一步提升了水质评估的精准度^[11]。特别地,ANN模型在优化甘蔗渣生物吸附剂废水处理过程中的应用,不仅提高了废水处理效率,还促进了纺织工业向更加绿色、可持续发展模式转变^[12]。

2.3 纺织品质与生产效率提升

CV技术作为推动工业制造系统向信息化、数字化及智能化转型的关键力量,其在纺织业的深度渗透与

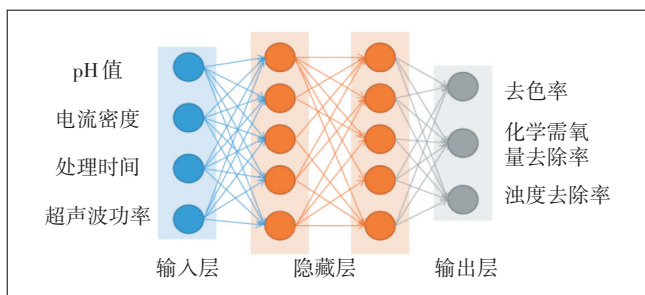


图2 基于ANN的纺织废水处理架构图^[10]

广泛应用,正引领着该行业生产效率与产品质量的双重提升。通过结合先进的CV技术等模式识别算法,纺织业能够实现更高效、更智能的生产流程。

纺织品的异物检测对确保产品质量和消费者安全至关重要,传统的检测方法(如基于电磁原理的探测器和半自动X射线探测器)往往效率低下,且无法适应自动化生产的需求。传统方法的局限性促使了基于DL的视觉识别技术的崛起,例如,利用Transformer架构的特征增强的对象检测框架,结合残差分割注意力网络、卷积块注意力模块及可变形卷积网络等先进技术,显著增强了高分辨率X射线图像中异物检测的精确性与鲁棒性,有效应对了复杂背景与异物尺寸多变带来的挑战。如图3(a)所示,其在实际应用中的高效表现,特别是在疫情期间医疗防护服生产线的成功部署,彰显了CV技术在紧急响应与关键物资生产中的关键作用^[13]。

纺织品纤维识别作为提升产品品质的另一重要维度,同样受益于CV技术的革新。针对纺织品作为纤维混合在外观识别存在的复杂性,图关系驱动的标签编码映射和补偿技术通过图注意力网络构建全局关系图,其可视化效果如图3(b)所示。该方法实现了纤维类别间依赖性的精准捕捉与补偿,从而在保留图像局部细节的同时,融入了全局信息,大幅提升了识别精度与效率^[14]。这一创新不仅克服了传统方法的局限性,也为纺织品质控带来了革命性的变化,预示着CV技术在纺织工业视觉识别领域的应用潜力。

在纺织产品的全生命周期中,从质量控制、精准组装到高效运输与便捷拆卸,CV技术均展现出强大的赋能能力,显著优化了生产链的每一环节^[15]。尽管应用前景广阔,CV在纺织业的全面落地仍面临算法优化、数据预处理复杂性、标注资源匮乏及基准测试标准化不足等挑战。为此,DL技术,特别是卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)的引入,有效提

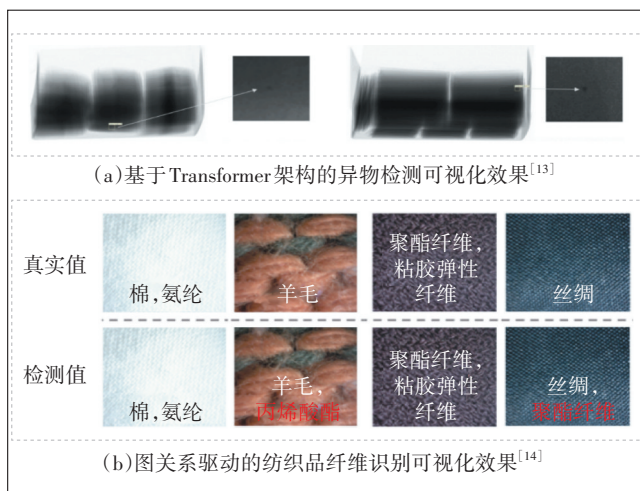


图3 异物检测及纺织品纤维识别可视化效果示意

升了产品检测的精度与效率,为克服上述难题开辟了新路径。未来,标准化基准测试体系的建立、非标注数据处理技术的创新、定制化CV模型的研发以及5G等前沿技术的融合应用,将为纺织业CV技术的进一步革新与普及带来新的机遇。

2.4 纺织品缺陷智能检测与分析

纺织品缺陷检测作为纺织业质量控制的核心环节,对于提升产品市场竞争力、优化生产效率具有不可估量的价值。传统的人工检测方式,尽管在一定程度上满足了基本需求,但其成本高、效率低以及检测结果的主观不一致性,已成为制约纺织行业进一步发展的瓶颈。

随着AI,特别是DL技术的蓬勃兴起,纺织品缺陷检测领域正经历着前所未有的智能化转型。为应对传统检测方法的局限性,研究者们纷纷将目光投向DL,将其应用于纺织品缺陷检测领域。文献[16]提出的融合分割与决策网络的CNN框架(见图4),以少量标注数据为驱动,实现了高效学习与实时检测,展现了DL在提升检测效率与精度方面的巨大优势。针对纺织业面临的负面样本稀缺问题,文献[17]提出基于费舍尔准则的堆叠去噪自编码器模型,通过小块图像分割与训练策略,缓解了负面样本不足的问题,增强了系统对复杂织物纹理的识别能力。此外,文献[18]引入冗余轮廓变换与有限混合的广义高斯分布特征建模方法,结合贝叶斯分类器,不仅提升了检测准确性,还增强了系统的通用性与适应性,为多样化织物质检提供了有力支持。而文献[19]提出的U-SMR网络,则通过整合ResNet-50与Swin Transformer模块,结



图4 基于CNN框架的胚布外观瑕疵质检现场和可视化效果

合多尺度特征融合策略,实现了对复杂织物纹理及制造缺陷的高精度识别,展现了良好的泛化能力,为纺织品质量控制开辟了新的技术路径。

尽管纺织品缺陷智能检测领域已取得显著进步,但仍面临诸多挑战与机遇。随着更多高质量标准数据集的建立和材料科学、AI等技术的不断进步,纺织品缺陷智能检测必将迎来更加广阔的发展前景。

2.5 数据分析:深化纺织产品与消费者洞察

在纺织与时尚产业日益紧密的交织背景下,数据分析已成为洞察消费者偏好、优化产品规划与提升供应链效率的关键驱动力。通过对海量市场数据的深度挖掘与智能分析,纺织企业能够窥见纺织产品市场动态的全貌,为未来发展奠定坚实的数据基础。

在时尚行业中,对消费者偏好的准确预测至关重要,尤其是对于颜色趋势这种快速变化的元素。鉴于时尚产品短周期、季节性强的特性,历史数据的稀缺性对预测模型的构建构成了显著障碍。然而,近期一项研究集成了ANN与灰色模型,通过融合灰色模型在处理不完全信息时的稳健性与ANN捕捉复杂关系的灵活性,实现了在有限历史数据条件下对时尚颜色趋势的高效、精准预测,也为产品规划与库存管理策略提供了强有力的数据支持^[20]。

2.6 AI技术的其他应用:拓展纺织工业的边界

在纺织工业向智能化转型的浪潮中,AI技术作为核心驱动力,不仅解决了传统纺织工业中的诸多难题,更以高效、精准、可持续的特性,以前所未有的方式拓宽着行业的边界,引领着从生产设计到可穿戴技术的全面革新。

a) 设计创新的智能化赋能:在当今纺织业中,个性化消费趋势正成为主流。这一趋势要求设计师能及时把握并反映消费趋势,同时企业则需要设计创新上保持竞争优势。在传统模式下,设计师需要花费大量时间和人力来完成设计初稿。AI技术,特别是生

成式技术如生成对抗网络,以及基于进化计算的设计系统^[21],极大地降低了设计门槛与成本,也允许设计师更加专注于创意和创新工作,实现了从概念到产品的快速转化,大大缩短了从概念到最终产品的时间,同时也满足了终端消费者的期待。此外,ChatGPT等AI聊天机器人,通过其强大的自然语言处理能力与图像生成能力,为设计师提供了前所未有的创意工具与设计支持,加速了纺织设计的创新与迭代。图5所示为中国联通人工智能大模型“衣影”界面。

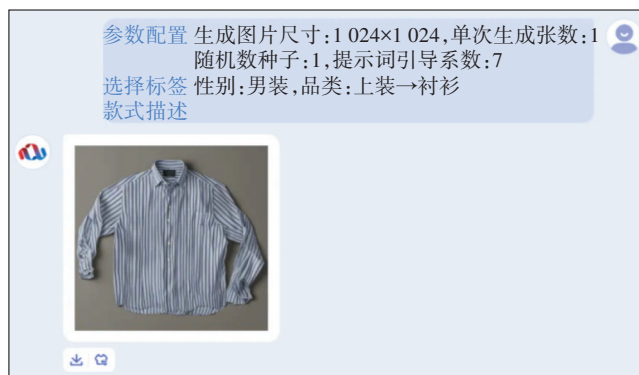


图5 中国联通人工智能大模型“衣影”界面

b) 智能与可穿戴纺织技术:智能纺织技术与可穿戴设备的融合正引领着纺织行业迈向一个全新的纪元,特别是在健康监测与人机交互领域,其应用潜力愈发凸显。一项关于全纺织可生物降解智能压力传感器的研究取得了突破性进展,通过融合可调导电性棉布与DL算法,不仅摆脱了传统智能纺织品对金属电极和聚合物薄膜的依赖,更在环保与可持续发展方面树立了新的标杆。在医疗康复领域,智能纺织技术同样展现出了非凡的潜力。以石墨烯纺织复合材料传感器为基础的可穿戴膝关节康复系统为例,该系统通过创新性地结合视觉反馈游戏与先进的XGBoost算法优化,不仅提升了康复训练的趣味性和用户参与度,还为个性化康复训练方案的制定提供了科学依据。

3 结束语

随着纺织业的不断进步,工业智能技术的应用已成为推动这一传统行业转型升级的关键力量。从视觉识别技术提升产品质量与效率,到DSS优化生产管理,再到智能与可穿戴纺织技术的创新应用,无不展示了工业智能在纺织业中的前沿应用。工业智能不仅显著提升了纺织产品的质量与生产效率,还极大优化了生产管理与供应链管理,增强了行业应对市场变

化的灵活性。此外,工业智能技术在设计创新、环保可持续性发展及健康监测等领域的拓展应用,更是为纺织业打开了全新的增长空间和无限可能。这些技术的应用不仅提升了企业的市场竞争力,更为消费者带来了更加丰富多样、个性化及智能化的产品体验。

展望未来,随着工业智能技术的进一步发展和应用的不断深入,纺织业必将在智能化与绿色化的道路上迈出更加坚实的步伐,继续在全球市场中绽放异彩。同时,我们也期待纺织业的智能化转型能够为其其他传统产业提供宝贵的经验和启示,共同推动工业的智能化进程。

参考文献:

[1] PAN X F, HAN C C, SONG M L, et al. The impact of information technology investment on the performance of apparel manufacturing enterprises: based on the moderating effect of equity concentration [J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2023, 70(4): 1365-1373.

[2] ARORA S, MAJUMDAR A. Machine learning and soft computing applications in textile and clothing supply chain: bibliometric and network analyses to delineate future research agenda [J]. *Expert Systems with Applications*, 2022(200): 117000.

[3] CEBECI U. Fuzzy AHP-based decision support system for selecting ERP systems in textile industry by using balanced scorecard [J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(5): 8900-8909.

[4] FORD F N, RAGER J. Expert system support in the textile industry: end product production planning decisions [J]. *Expert Systems with Applications*, 1995, 9(2): 237-246.

[5] NGAI E W T, PENG S, ALEXANDER P, et al. Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: an academic review of research articles [J]. *Expert Systems with Applications*, 2014, 41(1): 81-91.

[6] LIANG X, DING Y S, WANG Z D, et al. Bidirectional optimization of the melting spinning process [J]. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2014, 44(2): 240-251.

[7] TAN P J, WONG W. Segmentation-based woven fabric density measurement [J/OL]. [2024-08-11]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10593801>

[8] VADOOD M, HAJI A. A hybrid artificial intelligence model to predict the color coordinates of polyester fabric dyed with madder natural dye [J]. *Expert Systems with Applications*, 2022(193): 116514.

[9] VACHTSEVANOS G J, DORRITY J L, KUMAR A, et al. Advanced application of statistical and fuzzy control to textile processes [J]. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1994, 30(3): 510-516.

[10] RAI P K, KANT V, SHARMA R K, et al. Process optimization for textile industry-based wastewater treatment via ultrasonic-assisted electrochemical processing [J]. *Engineering Applications of Artificial In-*

telligence, 2023(122): 106162.

[11] MOHD YUSOFF N H, CHEW W J, CHONG C H, et al. Artificial intelligence in color classification of 3D-printed enhanced adsorbent in textile wastewater [J]. *Journal of Water Process Engineering*, 2024(65): 105776.

[12] LEON V B D, NEGREIROS B A F D, BRUSAMARELLO C Z, et al. Artificial neural network for prediction of color adsorption from an industrial textile effluent using modified sugarcane bagasse: characterization, kinetics and isotherm studies [J]. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2020(14): 100387.

[13] DING J A, YE C, WANG H Z, et al. Foreign bodies detector based on DETR for high-resolution X-ray images of textiles [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2023(72): 1-10.

[14] FU D X, ZHONG H, ZHANG X, et al. Graph relationship-driven label coded mapping and compensation for multi-label textile fiber recognition [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2024, 133(Part E): 108484.

[15] ZHOU L F, ZHANG L, KONZ N. Computer vision techniques in manufacturing [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2023, 53(1): 105-117.

[16] HUANG Y Q, JING J F, WANG Z. Fabric defect segmentation method based on deep learning [J]. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2021(70): 1-15.

[17] LI Y D, ZHAO W G, PAN J H. Deformable patterned fabric defect detection with fisher criterion-based deep learning [J]. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2017, 14(2): 1256-1264.

[18] YAPI D, ALLILI M S, BAAZIZ N. Automatic fabric defect detection using learning-based local textural distributions in the contourlet domain [J]. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 2018, 15(3): 1014-1026.

[19] QU H, DI L, LIANG J Z, et al. U-SMR: U-SwinT & multi-residual network for fabric defect detection [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2023, 126(Part D): 107094.

[20] CHOI T M, HUI C L, NG S F, et al. Color trend forecasting of fashionable products with very few historical data [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 2012, 42(6): 1003-1010.

[21] LU S F, MOK P Y, JIN X G. From design methodology to evolutionary design: an interactive creation of marble-like textile patterns [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2014(32): 124-135.

作者简介:

曾水祥, 硕士, 主要从事工业互联网、物联网技术研究及管理工作; 孙振州, 硕士, 主要从事5G、工业互联网、云计算和大数据技术研究及管理工作; 张明利, 学士, 主要从事5G+工业互联网研究工作; 李想, 工程师, 博士, 主要从事工业智能技术研究工作; 李金博, 博士, 主要从事工业互联网、工业智能技术研究工作; 周晓龙, 正高级工程师, 博士, 主要从事5G、工业互联网、工业智能技术及管理研究及管理工作。