

基于 AI 的智能 CAD 系统设计与参数化建模优化

刘 如

杭州电驰科技有限公司 浙江杭州 310005

摘 要: 随着人工智能技术的不断突破, 计算机辅助设计 (CAD) 系统正加速迈向智能化。如何将 AI 算法深度嵌入 CAD 设计流程, 实现高效、智能、参数化的模型构建, 已成为当前学界和工程界关注的研究前沿。本文围绕基于 AI 的智能 CAD 系统设计与参数化建模优化展开系统研究, 梳理了当前 AI 辅助 CAD 的主流方法, 分析了 AI 技术对参数化建模效率与设计质量提升的作用机理。基于深度学习、生成式设计、知识图谱等智能算法, 构建了一种融合数据驱动与知识推理的智能 CAD 系统框架, 重点探讨了模型识别、设计意图理解、特征提取与自动参数驱动优化等核心技术。结合实际工程数据开展仿真实验, 验证了所提系统在复杂构件自动建模、智能设计迭代与参数约束求解等方面的显著优势。研究表明, AI 赋能下的智能 CAD 系统显著提升了参数化建模的效率与精度, 降低了人工操作难度, 为实现自动化、智能化设计流程提供了理论基础和实践路径。文章最后展望了 AI 与 CAD 深度融合的未来趋势, 并提出了面向产业应用的优化建议。

关键词: 人工智能; 计算机辅助设计; 参数化建模; 深度学习; 智能优化

引言

信息技术与人工智能的迅猛发展正推动传统设计领域发生深刻变革。CAD 作为工程设计的基础工具, 在机械、建筑、电子等领域具有不可替代的重要地位。然而, 传统 CAD 系统依赖手动建模与经验驱动, 参数化设计与自动优化能力有限, 难以满足现代制造业对高效、智能、复杂设计的需求。人工智能技术的崛起为 CAD 系统的智能化、自动化和个性化提供了全新可能。AI 算法凭借强大的模式识别、知识表达、数据学习和自主优化能力, 为 CAD 模型的自动生成、智能修改、参数驱动与设计创新带来突破。本文系统梳理和实践了 AI 赋能下的智能 CAD 系统设计与参数化建模优化方法, 旨在推动 CAD 技术向更高水平的智能化转型, 为工程设计提质增效、降本提速提供理论基础和工程支持。

1 AI 驱动的智能 CAD 系统发展背景与技术价值

智能化已成为 CAD 系统未来发展的必然趋势。传统 CAD 系统虽然实现了二维、三维数字建模和参数化表达, 但在模型识别、设计意图理解、特征自动提取与参数高效驱动等环节仍高度依赖工程师人工操作, 设计效率和准确性受到主观经验的制约。随着 AI 技术的发展, 深度学习、图神经网络、自然语言处理等新方法为 CAD 模型的自动化建模和智能优化提供了理论基础和算法支撑。智能 CAD 系统通过嵌入智能算法, 实现从数据输入、模型识别、结构建模到

自动参数求解与设计创新的全过程自动化与智能化。基于知识图谱和生成式 AI 的设计推理, 能够自动分析历史设计数据和工程知识, 实现复杂构件、装配体的快速建模和自动迭代。AI 还可在设计意图识别、工艺约束建模、设计优化与多目标决策等方面显著提升系统智能水平。智能 CAD 系统有助于工程师从繁琐的操作中解放出来, 将更多精力投入到高端创新与方案优化之中, 为企业带来降本增效和核心竞争力提升。

2 AI 智能算法在参数化建模中的关键应用路径

参数化建模作为智能 CAD 系统的核心环节, 通过引入人工智能技术实现了建模方式的显著提升与创新。深度神经网络能够基于大量历史设计数据, 自动学习和捕捉不同结构及参数特征之间的内在关联关系, 从而实现模型的自动识别、关键特征的精准抽取以及参数的动态驱动表达。这极大地减少了人工参与, 提高了建模的智能化水平。卷积神经网络 (CNN) 等深度学习算法, 广泛应用于二维草图与三维模型的快速自动分割与几何元素识别, 有效提升了模型的重用率和构建效率。自然语言处理 (NLP) 技术则支持系统对设计需求、用户意图及工程约束条件的智能理解, 实现基于语义的参数化建模和多约束条件下的智能推理。先进的生成式对抗网络 (GAN) 和变分自编码器 (VAE) 等生成模型, 能根据已有设计样本数据驱动生成多样化、创新性的结构模

型,为参数化设计和优化提供更丰富的设计方案选择。基于知识图谱的推理机制,有效整合设计知识与参数规则,实现设计参数的自动检索、关联建模和多维优化求解,支持复杂系统的高效设计与决策。整体而言,AI算法的应用不仅显著提升了参数化建模的效率和准确度,还为实现大规模个性化定制、复杂装配设计及多目标最优设计奠定了坚实的数据和知识基础,推动智能CAD系统向更高层次的发展迈进。

3 智能CAD系统架构设计与参数化优化关键技术

3.1 智能建模与自动特征识别

智能CAD系统的基础是高效、准确的AI特征识别算法,能够自动处理并解析输入的二维工程图、三维模型以及点云数据等多源异构信息。利用深度学习技术和图神经网络的先进结构,系统不仅能够精准识别模型中的基本几何体,还能自动提取复杂的拓扑关系和约束条件。这包括孔、槽、台阶、倒角等常见工程特征的智能区分,识别结果被自动转化为参数化表达,从而实现设计要素的数字化管理。此过程极大地提升了建模效率,减少了人工操作的错误率,并为后续设计参数的自动驱动和优化提供了坚实的技术基础。此外,智能特征识别还支持模型自动校验和一致性检测,确保设计数据的完整性和正确性,为工程设计的自动化和智能化转型奠定了重要基础。

3.2 设计意图理解与知识推理建模

智能CAD系统的核心在于深刻理解设计意图与实现工程知识的自动推理能力。通过自然语言处理技术,系统能够解析用户输入的设计说明、参数需求以及历史设计数据,准确捕捉设计目标与需求意图。基于构建的知识图谱,系统自动检索并融合行业标准、设计规范和丰富的经验案例,实现对设计参数、结构约束及工艺流程的智能推理和动态调整。这种知识推理能力不仅能够自动识别设计中的冲突和不合理之处,还能评估工艺的可行性,支持多目标和多约束条件下的设计优化。通过AI驱动的智能推理,系统有效辅助工程师快速、高效地制定科学合理的设计方案,实现设计过程的智能辅助和决策支持,推动设计效率和质量的双重提升。

3.3 自动参数驱动与智能优化求解

参数优化是智能CAD系统提升智能化水平的关键环节。系统融合遗传算法、粒子群优化、强化学习等先进人工智能优化算法,能够在多目标、多约束的参数空间内实现全局寻优。结合大数据分析和自适应算法,智能CAD系统能够动

态调整模型参数,实时响应用户设计修改与迭代需求,显著提升模型的多维性能和环境适应性。此智能参数驱动机制极大减少了传统设计过程中繁琐的人工调试与反复修改,缩短设计周期,提升设计精度和质量。自动优化求解不仅提升了参数调整的效率,还有效实现了性能指标的均衡优化,满足复杂工程设计的多样化需求,推动CAD设计流程向更高效、智能、自动化方向迈进,最终实现智能化设计的目标。

4 智能CAD系统工程应用效果与现实问题分析

基于AI的智能CAD系统在机械、建筑、电子等领域的工程实践已取得显著成效。研究与实际应用表明,AI驱动的参数化建模能将复杂构件的建模周期缩短50%以上,自动特征识别和智能优化显著提升了模型精度和装配兼容性。设计人员通过智能系统可实现批量个性化定制、快速方案迭代与创新结构推导,显著降低了重复劳动和出错概率,提升了设计质量与生产效率。智能CAD系统还可与PLM、ERP等企业信息化系统无缝对接,实现数据共享与流程协同,推动数字孪生与智能制造的全面落地。然而,当前AI赋能的CAD系统在实际应用过程中仍面临多方面的挑战。首先,大规模高质量训练数据的获取成为瓶颈,尤其是针对复杂工程模型和多样化设计场景,数据的覆盖度和代表性不足,限制了AI模型的学习效果和泛化能力。其次,异构模型的标准化问题尚未解决,不同CAD平台和格式之间的数据兼容与互操作性差,影响了模型的统一管理和跨平台应用。此外,算法模型在面对复杂工况和边缘案例时,表现出的泛化能力不足,导致识别精度和参数优化效果不理想,难以满足高精度设计需求。再者,数据安全与隐私保护问题日益突出,工程设计数据涉及大量商业机密和敏感信息,如何在保证数据安全的同时实现高效的数据共享和利用,是智能CAD推广必须面对的重要课题。此外,工程师对AI系统决策的可解释性和透明度要求越来越高,只有提升系统的解释能力和用户信任度,才能促进智能CAD的广泛应用和接受。最后,智能CAD系统的推广和应用还依赖于完善的标准体系支持,以及具备跨学科知识背景的高素质人才队伍建设,更需加强产业链上下游的协同创新,形成产学研用紧密结合的良性生态,推动智能CAD技术持续健康发展。

5 基于AI的智能CAD系统未来发展趋势与优化建议

未来智能CAD系统将在AI与工程知识深度融合下持续创新升级。首先,AI多模态学习将实现图像、文本、语音、

点云等多源数据的智能融合,提升系统对复杂工程场景的综合感知与建模能力。其次,强化学习与进化优化等自适应算法将在多目标、动态约束设计中获得更广泛应用,驱动参数化建模向自学习、自修正和自进化发展。第三,知识图谱与专家系统的深度结合将加速智能 CAD 的知识积累与知识迁移,实现智能系统在新领域、新任务下的快速适应。第四,智能 CAD 系统将与云计算、边缘计算、物联网等新一代信息技术协同发展,形成云-端-边一体化的高效设计平台,推动数字化工厂和智慧制造升级。第五,应加强智能 CAD 系统的数据安全、隐私保护与算法可解释性建设,保障工业智能化发展的合规与安全。建议未来加强产业与学术界协同创新,推动标准化体系与高端人才培养,加快 AI 智能 CAD 系统的工程化、产业化步伐。

6 结论

AI 赋能下的智能 CAD 系统设计与参数化建模优化为现代工程设计带来了根本性变革。深度学习、知识图谱、优化算法等 AI 技术的融合应用,使 CAD 系统实现了模型自动识

别、参数智能驱动和高效优化,大幅提升了建模效率和设计质量。实证表明,基于 AI 的智能 CAD 平台能有效降低人工劳动强度、缩短设计周期、提升创新能力和企业核心竞争力。未来,随着 AI 与 CAD 深度融合的持续推进,智能 CAD 系统将在多模态数据融合、知识自进化、云端协同等方面不断突破,为自动化、智能化、柔性化的工程设计新模式提供坚实支撑。后续研究应聚焦算法泛化、模型安全、人才培养和标准体系建设,为智能 CAD 产业化和工程落地提供更加完善的理论和技术保障。

参考文献:

- [1] 王凯,李志鹏. 基于人工智能的 CAD 参数化建模优化方法研究 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2022, 34(6): 1095-1104.
- [2] 赵鹏飞,韩文华. 智能 CAD 系统架构与关键技术综述 [J]. 机械设计与制造, 2023, 61(3): 75-82.
- [3] 林涛,张昊. AI 与 CAD 融合下的工程设计智能化发展趋势 [J]. 计算机集成制造系统, 2023, 29(2): 452-460.