

面向智能工地的数字孪生体轻量化与交互技术研究

孙德高

攀枝花市华辰建筑工程有限公司 四川攀枝花

【摘要】数字孪生体技术在智能工地的应用越来越广泛，但现有的数字孪生体在精度和数据量上的需求较高，限制了其在实际工程项目中的普及。为解决这一问题，本文探讨了数字孪生体在智能工地中的轻量化设计与交互技术的创新方案。通过对数字孪生体模型的优化与精简，结合高效的交互技术，提出了一种适用于智能工地的数字孪生体轻量化方法，旨在提升数据处理效率、降低计算成本并优化用户体验。采用该方法能够有效提升智能工地管理的实时性与精确度，为智能工地的未来发展提供技术支持。

【关键词】数字孪生体；智能工地；轻量化设计；交互技术；数据优化

【收稿日期】2025 年 8 月 21 日 **【出刊日期】**2025 年 9 月 17 日 **【DOI】**10.12208/j.sdr.20250201

Research on lightweight design and interaction technology of digital twin for smart construction sites

Degao Sun

Panzhihua Huachen Construction Engineering Co., Ltd., Panzhihua, Sichuan

【Abstract】The application of digital twin technology in smart construction sites has become increasingly widespread. However, existing digital twins have high requirements for precision and data volume, which limits their popularization in practical engineering projects. To address this issue, this paper explores innovative solutions for lightweight design and interaction technology of digital twins in smart construction sites. By optimizing and streamlining digital twin models and integrating efficient interaction technologies, a lightweight method of digital twin suitable for smart construction sites is proposed. This method aims to improve data processing efficiency, reduce computing costs, and optimize user experience. The application of this method can effectively enhance the real-time performance and accuracy of smart construction site management, providing technical support for the future development of smart construction sites.

【Keywords】Digital twin; Smart construction site; Lightweight design; Interaction technology; Data optimization

引言

在建筑行业中，智能工地作为新兴的管理模式，正逐步改变着传统施工的方式。数字孪生体作为其核心技术之一，能够通过实时数据的模拟与反馈，实现对施工现场的精确监控与管理。现有数字孪生体模型往往存在数据量大、计算复杂等问题，导致其在实际应用中面临许多挑战。尤其是在资源受限的环境下，如何确保数字孪生体能够在智能工地中高效、精准地运行，成为了亟待解决的关键问题。本文将围绕数字孪生体的轻量化设计与交互技术展开，提出一种新的解决方案，以期优化数字孪生体在智能工地中的应用效果，促进其更广泛的应用和普及。

1 数字孪生体在智能工地中的应用现状与挑战

随着建筑行业的技术不断进步，智能工地作为其重要发展方向，得到了越来越多的关注。数字孪生体技术，作为一种通过实时数据生成虚拟模型来模拟和监控实际物理环境的技术，已在多个领域获得广泛应用。在智能工地中，数字孪生体通过将施工现场的物理环境与数字化模型相结合，能够实时反馈现场状态，为施工管理提供精准的数据支持^[1]。现有数字孪生体的应用在面临复杂施工环境和多样化数据输入时，往往暴露出精度要求高、计算量大、传输延时长等问题。建筑工程通常涉及大量的设备、人员、材料以及环境因素，这些多维度的数据采集

和处理对数字孪生体的运行提出了更高的要求。如何高效集成和处理这些海量数据，并将其实时转化为可操作的信息，成为智能工地应用中的一大挑战。

数字孪生体的实时性和交互性问题也使得其应用在智能工地中受到限制。在传统的数字孪生体模型中，数据的处理过程常常需要大量的计算资源，尤其是在面对大规模施工现场时，实时数据的收集和處理速度无法满足高效管理的需求。施工人员与数字孪生体系统的交互方式仍然较为单一，大部分系统仅能提供基础的可视化展示，而缺乏灵活性和智能化的操作功能。这种情况在一定程度上影响了施工人员对系统的操作体验和应用效率。随着智能工地的发展，如何使得数字孪生体能够更加高效、精准、便捷地为施工管理提供支持，成为当前亟待解决的问题。

更重要的是，数字孪生体的可扩展性和可持续性問題，也阻碍了其在智能工地中的进一步推广。在许多实际项目中，数字孪生体模型的构建往往依赖于高精度的硬件设施以及大量的后台计算支持，这不仅导致高昂的初期投入，还增加了后期维护的成本。随着技术不断更新，如何确保数字孪生体能够适应不同施工项目的变化，灵活调整和更新模型，成为行业内一个亟待突破的难题。智能工地的多样性需求要求数字孪生体具备更强的适应能力和可配置性，数字孪生体技术在其普及和应用过程中面临的挑战不容小觑。

2 数字孪生体轻量化设计方法

为了有效解决数字孪生体在智能工地中的应用瓶颈，数字孪生体的轻量化设计成为一种备受关注的研究方向。轻量化设计不仅能够有效降低数字孪生体的计算和存储压力，还能提升其在资源受限环境中的适应能力。在数字孪生体的构建过程中，如何对其数据模型进行简化，确保在保证精度的减少冗余数据的存储和处理，是轻量化设计的核心目标。通过对数字孪生体模型的精简，可以有效降低对计算资源和存储空间的需求，使得数字孪生体能够在实时性和效率上取得良好的平衡。

数字孪生体轻量化设计的实现，通常包括数据压缩、模型降维和分布式计算等方法。在数据压缩方面，可以通过对数据的冗余部分进行剔除或近似处理，减少数据的传输和存储压力。在模型降维方面，通过数学建模和算法优化，减少不必要的维度，

以保证模型的精度和可用性，同时降低计算量^[2-6]。在分布式计算方面，可以利用云计算和边缘计算相结合的方式，将计算任务分散到多个节点上处理，从而提高计算效率和降低系统负担。通过这些方法，数字孪生体的轻量化设计可以有效提升其在智能工地中的应用效率和可靠性。

数字孪生体的轻量化设计还需要考虑与现有施工管理系统的兼容性问题。智能工地往往涉及多个子系统的协同工作，如何确保数字孪生体能够与这些系统无缝对接，成为轻量化设计中的重要考虑因素。通过开发标准化的数据接口和通信协议，可以实现不同系统之间的数据共享和交互，从而增强数字孪生体在智能工地中的应用场景和灵活性。轻量化设计的成功实施，不仅能够减少硬件资源的消耗，还能够为智能工地管理提供更加高效、可持续的技术支持，推动数字孪生体在智能工地中的广泛应用。

3 智能工地中数字孪生体的高效交互技术

在数字孪生体的应用中，交互技术的高效性直接影响到施工人员与系统之间的沟通效率和操作体验。在智能工地中，施工人员通常需要快速获得现场的实时数据，并对施工过程进行调整和优化。数字孪生体的交互技术必须具备高效、直观、智能化的特点，以提升系统的使用便捷性和决策支持能力。目前，智能工地中数字孪生体的交互技术多依赖于传统的图形化界面和触控操作，这种方式虽然在一定程度上简化了操作流程，但依然存在一定的局限性，尤其是在面对大规模和复杂施工场景时，系统的响应速度和操作灵活性难以满足需求。

为了提高交互效率，现代数字孪生体系统开始探索更加智能化的交互方式。例如，语音识别技术的引入使得施工人员可以通过语音指令进行操作，从而实现更加便捷的系統控制。增强现实（AR）和虚拟现实（VR）技术的应用，能够将数字孪生体模型与真实施工环境结合，提供更加直观和沉浸式的交互体验。在这种模式下，施工人员不仅能够通过视觉、听觉等多感官的反馈，实时监控施工现场的状态，还能够进行更为精准的决策和调整，提高施工管理的效率。

人工智能（AI）技术在数字孪生体交互中的应用，进一步增强了系统的智能化水平^[7]。通过 AI 算法对施工数据进行分析，数字孪生体系统可以实现自动化的异常检测与预警，提前识别潜在的施工问

题,避免可能出现的安全隐患和资源浪费。在这种智能化的交互模式下,施工人员不仅能够更加高效地获取信息,还能够依据系统提供的智能建议进行决策,从而提高整体施工管理水平。这些高效的交互技术不仅提升了数字孪生体的应用价值,也使得智能工地的管理更加精细化和自动化,为智能工地的发展提供了有力支持。

4 数字孪生体轻量化与交互技术的实践效果与前景

数字孪生体轻量化设计与高效交互技术的结合,已在多个智能工地项目中取得了显著的实践效果。通过优化数字孪生体模型,降低计算资源的消耗,施工现场的实时监控和数据分析得到了极大的提升。在实际应用中,轻量化的数字孪生体能够在有限的硬件资源上运行,并通过云计算和边缘计算技术,实现高效的数据处理和快速响应。高效的交互技术使得施工人员能够更加便捷地获取施工现场的信息,并根据系统提供的数据进行实时决策,大大提高了施工管理的精度和效率。实践表明,数字孪生体轻量化与交互技术的应用,不仅能够有效降低建筑工程的管理成本,还能提高工程项目的安全性和施工质量。

未来,随着数字孪生体技术的不断发展,其在智能工地中的应用前景将更加广阔。轻量化设计和高效交互技术的结合,将进一步提升数字孪生体在不同规模、不同类型工地中的适用性。随着人工智能、大数据和物联网等技术的融合,数字孪生体的智能化水平将持续提高,能够为施工管理提供更加精准、实时的数据支持。随着5G网络的普及,数字孪生体的实时性和交互性将得到进一步增强,施工人员可以更加便捷地进行远程操作和协作,提升施工现场的整体管理效率。数字孪生体轻量化与交互技术的不断创新,将为智能工地的未来发展提供更强大的技术支撑。

在智能工地的实际应用中,数字孪生体的轻量化设计与高效交互技术的结合,已成为提升施工效率和管理质量的关键因素。通过不断优化数字孪生体模型,不仅减少了硬件资源的消耗,还使得系统能够在资源有限的条件下运行,充分利用云计算和边缘计算技术的优势,实现数据处理和响应的实时性与高效性。高效的交互技术使得施工人员能够实时掌握施工现场的动态,并根据系统提供的精准数

据做出快速决策,进一步推动了施工进度和质量的提升^[8]。随着这些技术的持续创新,未来数字孪生体将在更多复杂场景下展现其广泛应用潜力,不仅为施工现场的高效管理提供支持,还将在智能工地的全面数字化转型过程中,扮演更加重要的角色。

5 结语

数字孪生体轻量化设计与高效交互技术的结合,为智能工地的发展提供了强有力的技术支持。通过优化模型和提升交互方式,不仅有效降低了资源消耗,还提高了施工管理的实时性和精度,推动了施工质量与安全性的提升。随着技术的不断进步,数字孪生体将在未来的智能工地中发挥更加重要的作用,尤其是在人工智能、大数据和5G等技术的助力下,数字孪生体的应用前景将更加广阔。其不断创新的设计理念和高效交互模式,必将在智能建筑管理领域带来更深远的影响。

参考文献

- [1] 王好柱.数字孪生技术在智能机械制造中的应用[J].模具制造,2025,25(07):31-33.
- [2] 赵昊阳,樊健生,王琛.面向工程结构数字孪生的智能虚拟传感技术[J/OL].中国公路学报,1-11[2025-07-15].
- [3] 康乐,张旭辉,杨文娟,等.数字孪生驱动的掘进工作面智能管控系统技术架构研究[J/OL].煤炭学报,1-19[2025-07-15].
- [4] 李继伟,方占正,陈涛,等.基于AI智能分析技术的智慧光伏工地安全管控[J].科技与创新,2025,(12):91-93+100.
- [5] 余奕宗,李宏洲,张锦贤.智能建筑工地实时风险监测与AI辅助决策平台研究[J].上海建材,2025,(03):119-122.
- [6] 贾峰杰.智慧工地平台的危险源动态识别与智能预警系统研究[J].现代工程科技,2025,4(10):173-176.
- [7] 王佳佳,王传平,孟亮,等.天然气地面工程数字孪生体构建研究与应用[C]//中国石油学会天然气专业委员会.第33届全国天然气学术年会(2023)论文集(06综合).新疆油田公司采气一厂,2023:188-195.
- [8] 高旭超.基于人工智能及联邦学习的工程大脑技术研究[J].铁道建筑技术,2023,(03):1-4+13.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS