

CAD 矢量数据生成高分辨率图像的技术需求与应用价值研究

蒋蓓^{1,*}, 岳亚刚², 李会锋³

1. 浙江建设职业技术学院, 建筑工程学院, 浙江 杭州, 310000
2. 方远建设集团股份有限公司, 浙江 台州, 318000
3. 浙江水利水电学院, 建筑工程学院, 浙江 杭州, 310018

摘要: 随着数字化设计与智能建造技术的日趋发展, 计算机辅助设计 (CAD) 矢量数据的高质量可视化与高效利用逐渐成为制约工程信息流转的重要环节。本文将深入探讨 CAD 矢量数据转换为高分辨率图像的多维度技术需求, 并分析其在提升数据可访问性、保障信息准确传递、支持跨平台集成、满足长期归档规范等方面的核心价值。同时, 进一步揭示这一技术过程在打破专业壁垒、构建数字化 workflows 中的枢纽作用, 并从技术实现角度探讨分辨率优化、色彩管理、自动化处理等关键问题。研究表明, 建立标准化的 CAD 数据图像化生成体系对提升工程协同效率和保障工程全生命周期价值具有重要意义。

关键词: CAD; 矢量数据; 高分辨率图像; 工程可视化; 数据互操作; 数字孪生

Study on technical requirements and application value of high-resolution image generation from CAD vector data

Bei Jiang¹, Yagang Yue², Huifeng Li³

1. School of Construction Engineering, Zhejiang College of Construction, Hangzhou, Zhejiang, China, 310000
2. Fangyuan Construction Group Company Limited, Taizhou, Zhejiang, China, 318000
3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Water Resources and Electric Power, Hangzhou, Zhejiang, China, 310018

Abstract: With the increasing development of digital design and intelligent construction technology, high-quality visualization and efficient utilization of computer-aided design (CAD) vector data have gradually become important factors restricting the flow of engineering information. This paper will delve into the multidimensional technical requirements for converting CAD vector data into high-resolution images, and analyze its core values in improving data accessibility, ensuring accurate information transmission, supporting cross platform integration, and meeting long-term archiving standards. At the same time, further revealing the pivotal role of this technological process in breaking down professional barriers and building digital workflows, and exploring key issues such as resolution optimization, color management, and automated processing from a technical implementation perspective. The research results indicate that establishing a standardized CAD data visualization generation system is of great significance for improving engineering collaboration efficiency and ensuring the full lifecycle value of engineering.

Keywords: CAD; Vector data; High resolution images; Engineering visualization; Data interoperability; Digital Twin

计算机辅助设计（CAD）系统生成的矢量数据以其数学描述的精确性和可编辑性，已成为现代工程设计领域的标准化数据格式^[1]。然而，在实际工程应用案例当中，原始 CAD 数据在跨平台共享、非专业环境访问以及长期保存等方面存在一系列挑战。矢量数据的专业依赖性限制了其在项目全生命周期中的流通效率，特别是在涉及诸如多方协作的复杂工程项目情景之中表现的尤为显著。

高分辨率图像生成技术通过将 CAD 矢量数据转换为标准化栅格格式，在保持设计信息视觉保真的同时，极大地扩展了数据的可用性范围^[2]。这一转换过程不仅是简单的格式转换，而是涉及图形学原理、色彩科学和信息管理等多个技术领域的系统工程。当前，随着数字孪生、智能建造等新兴技术的发展，这对 CAD 数据高质量可视化的需求变得更为迫切。

本研究旨在系统分析 CAD 矢量数据生成高分辨率图像的技术需求体系，阐明其在现代工程实践中的应用价值，并为相关技术标准制定和工具开发提供理论依据。

1 技术需求的多维度分析

1.1 工程设计协同的可视化需求

工程设计过程通常需要涉及建筑、结构、机电等多个专业，并且各专业人员对 CAD 软件的精通程度存在较大差异，各个专业人员之间还需要进行多角色的协同工作。因此，高效的信息传递是保证项目质量的关键。高质量图像能够提供一种通用的可视化媒介，从而使非本专业人员能够快速理解设计意图，减少信息误解^[3]。尤其是在大型工程项目中，使用标准化图像可以使沟通效率显著提升，实现跨专业信息共享方面的需求。

在土木工程领域，工程图纸中的线型、线宽、颜色和填充图案都承载着特定的技术含义。高分辨率图像必须精确再现这些视觉元素，确保技术规范的准确传达，进而满足设计意图准确传达的需求。例如，在工程制图中，不同线型代表不同的几何特征，图像转换过程必须保持这些特征的视觉区分度。另外，对于一些复杂的工程项目，往往需要同时展示整体布局和局部细节。通过高分辨率图像配合适当的展示技术，可以实现从宏观到微观的无级缩放，满足不同层次的多尺度表达需求。

1.2 跨系统集成的数据互操作需求

现代工程信息化环境中存在多种异构系统，比如在市规划、基础设施管理等领域，CAD 设计数据需要与地理信息系统（GIS）进行融合，CAD 数据需要与这些系统进行有效集成。将 CAD 数据转换为带有地理参考的高分辨率栅格图像，这是实现 CAD/GIS 无缝集成的有效的关键途径，也是满足 GIS 平台集成的重要需求。这种方法可以在较大程度上避免复杂的格式转换过程，同时还可以保证数据的可视化一致性。

作为智能建造领域的核心实现路径，建筑信息模型（BIM）需要整合来自不同来源的设计数据，致力于成为工程项目信息的集成平台^[4]。高分辨率 CAD 图像可作为参考底图或背景信息融入 BIM 环境，为三维模型提供二维上下文信息，从而满足 BIM 环境数据融合需求。此外，在已有的建筑工程全生命周期管理等系统中，直接嵌入 CAD 设计的高清图像可以增强技术文档的可读性和实用性。这些系统通常不具备原生 CAD 数据解析能力，预渲染的高质量图像成为最优选择，满足企业信息系统嵌入需求。

1.3 技术文档的长期保存与合规性需求

工程图纸作为重要的技术资产和法律文件，需要满足严格的存档和合规要求。CAD 软件版本的快速迭代可能导致旧版本文件的兼容性问题。而 TIFF 等标准化图像格式具有更好的长期可读性，能够跨越软件平台的变迁。国际标准化组织已制定相关标准来规范工程文档的长期保存格式，满足格式持久性需求。

同时，高分辨率图像能够固化设计在特定时间点的状态，为工程变更管理和责任追溯提供可靠依据，可以满足内容完整性需求。在合同交付、法律仲裁等场景中，具有时间戳和数字签名的高质量图纸图像具有更强的证据效力。此外，现代图像格式支持将设计属性、创建信息等元数据嵌入文件内部，形成自描述的信息包。这种特性极大地方便了技术文档的检索和管理，符合现代知识管理系统的要求，能够满足元数据管理需求。

1.4 装配式建筑与施工现场应用需求

在土木工程智能建造领域，CAD 数据需要转换为高精度的控制图像。比如，在装配式建筑生产制造和施工安装环节，高质量图像可以直接指导实际操作，这些图像的分辨率和质量将直接影响到最终产品的建造精度，从而满足数字化建造驱动需求。

在建筑工地、装配车间等作业现场，施工人员通常需要使用移动设备查看设计图纸。高分辨率图像能够在小尺寸屏幕上清晰显示细节信息，支持缩放操作而不失真，显著提高现场作业的准确性，满足现场作业指导需求。另外，在工程质量检验环节，可以将实际产品图像与设计图纸的高清渲染图进行比对，进而快速识别尺寸偏差和装配错误，满足质量检验与验收需求。

2 关键技术实现路径

2.1 分辨率优化与图像质量控制

分辨率选择是保证图像质量的关键决策点，鉴于不同的输出媒介对分辨率有不同要求，故需要首先分析输出媒介特性。印刷输出通常需要 300-600 DPI 的分辨率，而屏幕显示在 150 DPI 左右即可达到视网膜级别的显示效果。对于超大幅面输出，需要根据观看距离计算合适的分辨率，避免资源浪费。

基于内容的动态分辨率调整技术可以根据图像区域的复杂度自动分配分辨率资源，建立自适应分辨率技术。文字密集区域和简单线条区域可以采用不同的分辨率策略，在保证视觉质量的同时优化文件大小。

高质量的图像转换必须解决矢量图形栅格化过程中的锯齿问题，先进的抗锯齿算法能够平滑斜线和曲线边缘，同时保持图形的清晰度^[5,6]。针对工程图纸的特性，还需要开发专门的线型保持算法，并考虑抗锯齿与边缘增强效应。

2.2 色彩管理与视觉一致性保障

工程图纸中的色彩信息具有特定的技术含义，必须确保其准确再现。在色彩空间转换过程中，CAD 系统使用的色彩空间与输出设备可能存在差异，故需要通过标准的色彩管理流程进行转换。针对色彩管理方面规范，国际色彩联盟制定的色彩管理规范为这一过程提供了技术框架^[7]。

针对特定工程领域的需求，需要建立专门的色彩映射表。不同颜色的管线代表不同的介质类型，这些颜色必须在最终图像中得到准确再现，构建准确的专业色彩映射关系网络。此外，当在跨设备查看的场景中，需要通过色彩校准和标准化流程，确保在不同显示设备上呈现一致的视觉效果，达到多设备一致性，这对于远程协作和分布式团队尤为重要。

2.3 自动化处理与标准化流程

针对大规模图纸转换需求, 需要做到批量处理与质量控制, 建立高效的自动化处理流程开发批量处理工具, 并集成自动质量检查功能。质量检查包括分辨率验证、色彩准确性检查、文字可读性评估等多个维度。

图像生成过程应与工程全生命周期管理系统集成, 实现设计发布后能够自动触发图纸转换流程。因此, 这需要建立标准化的 API 接口和数据交换协议, 达到与 workflow 系统有效集成目的。通过建立转换模板和参数化配置体系, 实现模板化与参数化配置, 可以确保不同批次、不同项目输出的图纸图像具有一致的质量标准和视觉风格。这种标准化方法特别适合大型企业和工程项目。

3 应用价值体系构建

3.1 提升工程信息流转效率

高质量图像转换技术通过降低数据使用门槛, 能够显著提升工程信息在整个项目全生命周期中的流转效率。非专业参与者无需掌握复杂的 CAD 软件操作技能即可获取所需的设计信息, 这种无障碍的信息访问能力是现代工程协同的基础。

3.2 保障技术信息准确传递

在关键的技术交底、设计评审和施工指导等环节, 高保真的图像能够确保设计意图的准确传达。视觉元素的精确再现可以避免因显示差异导致的技术误解, 从源头上减少工程错误和返工。

3.3 支持数字化转型升级

在建筑业数字化转型和智慧城市建设背景下, 高质量图像作为连接不同数字系统的桥梁, 可以极大地支持数字孪生、智能建造等先进技术的实施。它能够使历史 CAD 数据在新的技术环境中继续发挥价值, 从而可以有效地保护企业的数字资产。

3.4 满足合规与知识管理需求

标准化的图像输出符合行业监管和技术存档的要求, 能够为企业的合规性管理提供技术保障。同时, 结构化的图像档案系统与元数据管理相结合, 这将构建成为企业知识管理的重要组成部分。

4 结论与展望

本文系统梳理出 CAD 矢量数据生成高分辨率图像的多维度技术需求, 并进一步揭示这一过程在现代工程实践中的核心价值。研究表明, 高质量图像生成不仅是简单的数据格式转换, 而是支撑工程信息高效流转、保障技术准确传递、促进跨系统集成的重要技术环节。随着工程数字化程度的不断深入, CAD 数据图像化生成技术将日趋朝着智能化、服务化、标准化的方向发展。后续研究可以基于人工智能的自适应参数优化技术, 重点关注如何根据图纸内容和应用场景自动选择最优转换方案。积极推动 CAD 矢量数据高质量图像化生成技术的普及和应用, 对于提升我国工程建设领域的数字化水平、促进产业协同创新、保障重大工程项目的顺利实施具有重要的现实意义。

参考文献

- [1] 罗靖, 王涛, 邢凯. 从计算机辅助设计到生成式设计的发展研究[J]. 华中建筑, 2025, 43(10): 85 - 90.
- [2] 李浩, 郭梦焱. 栅格地形图批量输出程序的设计与实现[J]. 城市勘测, 2010, (06): 125 - 128.
- [3] 袁潮, 郑豪. 生成式人工智能影响下的建筑设计新模式[J]. 建筑学报, 2023, (10): 29 - 35.
- [4] 杨远丰, 莫颖媚. 多种 BIM 软件在建筑设计中的综合应用[J]. 南方建筑, 2014(4): 26 - 33.
- [5] 李宇新, 李浩. 矢量地形地图瓦片生成方法[J]. 测绘与空间地理信息, 2016, 39(03): 158 - 160.

- [6] 张宇琳, 王友昆, 张君华. 栅格地形图在地形图数据转换和检查中的应用[J]. 城市勘测, 2014, (05): 73 - 76.
- [7] 杨智慧, 乔晓霞. AutoCAD 图块颜色的修改方法及实现实例[J]. 工程设计 CAD 及自动化, 1997, (06): 51 - 53.

基金项目: 浙江省建设厅课题《基于图像学习与识别的施工场地平面智能布置系统研究》(2024K253)。

^{1,*} **第1作者与通讯作者简介:** 蒋蓓(1981-), 女, 硕士研究生, 讲师, 研究方向: 建筑工程技术研究。 E-mail: lz20240618@163.com。