

引文格式:李游,姚萌萌,魏智威,等.轻量化室内透视贴图的自适应生成方法[J].测绘通报,2025(2):83-88. DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2025.0215.

## 轻量化室内透视贴图的自适应生成方法

李 游<sup>1,2</sup>,姚萌萌<sup>2</sup>,魏智威<sup>2</sup>,赵志刚<sup>1</sup>,汤圣君<sup>1</sup>,郭仁忠<sup>1,2</sup>

(1. 深圳大学建筑与城市规划学院智慧城市研究院,广东 深圳 518060; 2. 人工智能与数字经济  
广东省实验室(深圳),广东 深圳 518107)

**摘要:**针对传统室内透视贴图获取成本高、纹理适配性差等问题,本文提出了一种轻量化透视贴图的自适应生成方法。该方法首先利用建筑信息模型精确的几何精度及丰富的纹理色彩,融合部件空间与语义信息对室内场景进行重组和划分;然后结合划分场景和可见性约束策略确定纹理投影平面,生成各划分空间的平面纹理图并保持家具部件的立体感;最后对平面纹理进行拼接以获取与原始模型内景一致的透视贴图,并通过试验对比了透视贴图与原始模型在建筑物内部景观的实时渲染效率和可视化效果。结果表明,本文方法能够有效生成特定场景的室内透视贴图,并且能够取得与原始模型相似的视觉体验。

**关键词:**建筑信息模型;内部映射;轻量可视化;室内透视贴图;纹理贴图

中图分类号:P208

文献标识码:A

文章编号:0494-0911(2025)02-0083-06

## A method for adaptively generating lightweight interior perspective maps

LI You<sup>1,2</sup>, YAO Mengmeng<sup>2</sup>, WEI Zhiwei<sup>2</sup>, ZHAO Zhigang<sup>1</sup>, TANG Shengjun<sup>1</sup>, GUO Renzhong<sup>1,2</sup>

(1. Research Institute for Smart City, School of Architecture and Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;  
2. Guangdong Laboratory of Artificial Intelligence and Digital Economy (SZ), Shenzhen 518107, China)

**Abstract:** To address the problems of large computation and low rendering efficiency in real-time rendering of the interior spaces of large-scale building information models, this paper proposes an adaptive perspective map generation method for lightweight visualization. The method reconstructs the solid parts of indoor scenes by integrating the spatial and semantic information of part divisions. It also designs a projection plane calculation method with visibility constraints to determine the texture projection plane, which better generates the plane texture map of each division space and maintains the three-dimensional sense of furniture parts. Finally, the plane textures are stitched together to obtain a perspective map similar to the original model interior. Through a design experiment, the real-time rendering efficiency and visualization effect of the perspective mapping were compared with the original model in the interior landscape of the building. The results show that the proposed method can achieve a visual experience similar to the original model while significantly reducing resource consumption, and can provide effective technical support for lightweight visualization and high-fidelity rendering of city-level BIM data.

**Key words:** BIM; interior mapping; lightweight visualization; interior perspective mapping; texture mapping

利用数据驱动实现城市治理已成为当前城市发展和管理的新趋势<sup>[1-2]</sup>。其中,建筑信息模型(built information modeling, BIM)作为集成建筑物物理和功能特性的数字表示,涵盖了建筑物的几何信息、空间关系、地理信息、材料信息及建筑生命周期的各种数据,已成为城市治理和管理的重要数据基底<sup>[3]</sup>。然而,BIM模型数据往往规模较大,在硬件资源有限的条件下,如何实现城市级BIM模型高效逼真展示是当前面临的严峻挑战<sup>[4-5]</sup>。

其中,纹理贴图<sup>[6]</sup>依托于一定精细程度的模型,

在不改变模型几何的情况下通过附着于模型表面元素的颜色能有效增强模型细节的表达力,是当前较常采用的BIM模型轻量化高效表达方法,如法线贴图法<sup>[7]</sup>、凹凸贴图法<sup>[8]</sup>、位移贴图法<sup>[9]</sup>等。同时,考虑到BIM模型的精细表达需要,在上述贴图技术基础上,部分研究也发展了用于室内场景表达的高动态范围纹理贴图方法<sup>[10]</sup>。该方法结合内部映射算法在三维模型表面模拟出室内场景的立体效果而不需要重建内部空间,能够在进行场景浏览时保持低细节层(low detail, LOD)模型的真实感,已成为当前BIM模

收稿日期:2024-07-09

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC3800600);广东省自然科学基金-面上项目(2023A1515010717)

作者简介:李 游(1988—),男,博士,副研究员,主要研究方向为城市三维重建、神经渲染、模型轻量化可视化。E-mail:liyout@gml.ac.cn

通信作者:姚萌萌。E-mail:yaomeng\_1996@163.com

型中室内场景轻量化加载与高逼真渲染的关键技术,在场景交互<sup>[11]</sup>、虚拟现实<sup>[12]</sup>和三维地图绘制<sup>[13-14]</sup>等应用中都具有举足轻重的作用。

但是,上述室内贴图技术中的贴图目前仍多为手工制作,即通过对模型或场景要素结构和组成进行解读并利用专业三维建模软件(如 Autodesk Maya、Blender、3ds Max)以获取与目标模型具有一定相似度的透视图。如文献[15]利用 3ds Max 建模软件,将具有室内环境的全景贴图分割成 6 个方位的平面贴图,之后通过 Photoshop 插件将其输出为室内透视贴图。专业纹理网站则是批量获取此类贴图的另一途径。wParallax 作为 OSL 贴图网站,提供了大量的贴图素材,用户能够通过该网站批量获取相应素材。然而,BIM 模型数据往往具有规模大、迭代频繁、风格多样等特点。上述透视贴图获取方法人工成本高、工作量大,以及获取的素材不具备迁移性,无法有效适配不同 BIM 室内场景结构,难以支撑城市级 BIM 模型的应用需求。

针对上述问题,本文提出一种轻量化透视贴图的自适应生成方法,直接基于 BIM 模型自适应快速生成高质量透视贴图。首先,依据 BIM 室内场景结构结合其空间与语义信息对模型部件进行精

确分割与重组,进而确定各分区中的部件结构、种类及个数;然后,结合视角可视性原则确定各分区部件与投影平面的位置关系,基于上述关系进行透视投影以获取准确的平面纹理;最后,将各纹理按照透视贴图的纹理组织形式进行拼接,实现室内透视贴图的快速生成。

## 1 方法原理

### 1.1 方法框架

室内透视贴图自适应生成的关键是需要顾及室内场景结构,即保证生成贴图与场景结构的适应性。因此,本文所提方法整体技术框架如图 1 所示,包括:① 融合空间与语义信息的部件划分模块,其核心是依据 BIM 的几何、语义及空间关系,将依附家具划分到对应基础建筑部件中,形成室内场景结构分区;② 可见性约束纹理生成模块,在室内结构分区的基础上,根据各分区部件与透视区相对位置关系确定投影平面和获取符合视觉效果的平面纹理,并应用透视贴图纹理组织规则将平面纹理拼接为相应的室内透视贴图;③ 轻量可视化模块,结合内部映射算法与透视贴图以实现对应 BIM 模型室内场景的轻量可视化。

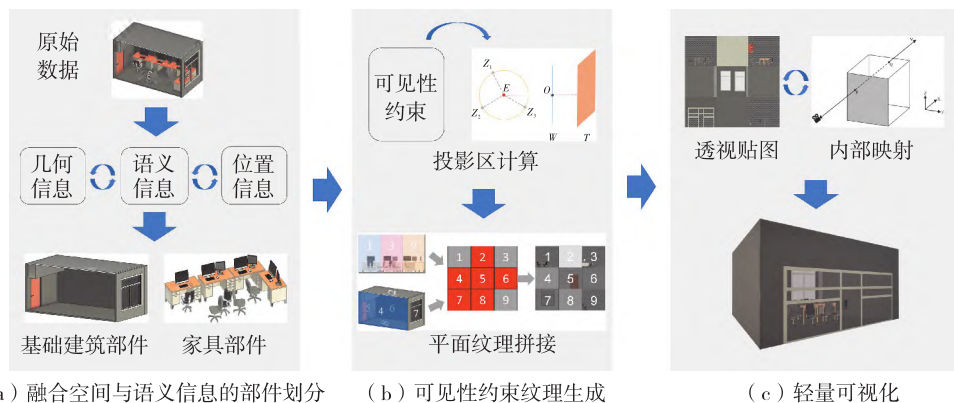


图 1 整体技术框架

### 1.2 融合空间与语义信息的部件划分

室内场景结构即划分室内各组成部件并确定其组织关系,室内透视贴图表达的部件主要包括两类:一类是构成室内密闭空间的墙、地板、天花板等基础建筑部件;另一类则为具有可移动性质的家具部件。故本文分别对上述两类部件进行处理,以获取相应的组织关系。

#### 1.2.1 数据预处理

BIM 模型本身不适用于实时渲染,直接对 BIM 模型处理难以有效获取对应部件的透视贴图,本文对模型各实体部件进行拆分,并将其转换为便于处

理的三维 mesh,如图 2 所示。

#### 1.2.2 基础建筑部件处理

基础部件包括墙、地板和天花板,同时部分墙还包含对应的门、窗,需要在分解后的 mesh 中重组门、窗和对应墙的依附关系,以保证基础建筑部件采样纹理的准确性。其中,若 BIM 模型中表达了门、窗和对应基本部件的依附关系,在预处理时应记录对应的依附关系;若在 BIM 模型中未有效表达门、窗和对应基础部件的依附关系,依据部件间的距离进行判断,即依附部件中心与被依附部件在位置上具有关联性<sup>[16]</sup>。判断过程如下。

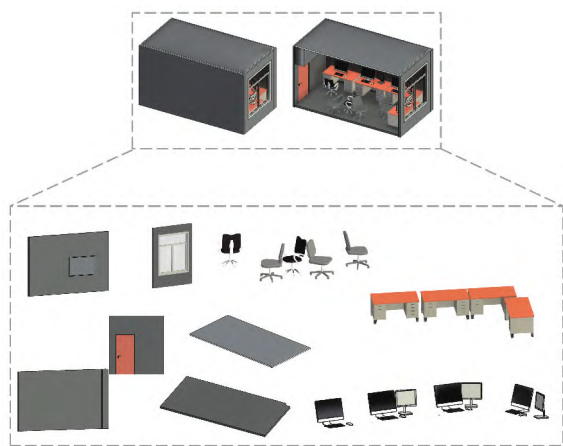


图 2 数据预处理

首先,遍历各依附部件三维 mesh 模型的顶点,计算顶点坐标平均值以确定部件的中心点坐标,公式为

$$\left. \begin{aligned} L_x &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M X_i \\ L_y &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Y_i \\ L_z &= \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Z_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中,  $M$  为 mesh 顶点数;  $(X_i, Y_i, Z_i)$  为各顶点坐标值。

然后,为获取  $L$  到各墙壁之间的距离,根据每个墙壁对应的 mesh 模型顶点坐标构建平面方程  $M$ , 公式为

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (2)$$

式中,  $(x, y, z)$  为顶点坐标值;  $(a, b, c)$  为平面法向量分量;  $d$  为常数项。

最后,计算中心点  $L$  到各平面之间的距离  $D$ , 公式为

$$D = \frac{|ax_0 + by_0 + cz_0 - d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \quad (3)$$

式中,  $(x_0, y_0, z_0)$  为依附部件中心点  $L$  坐标值。距离最短平面所在墙壁部件与该依附部件之间存在关联关系,完成所有依附部件的关联判定后即可实现各基础建筑分区的部件划分与重组。

### 1.2.3 可移动家具处理

可移动家具相对基础部件属于房间内部信息,有效表达了屋内的深度,在透视贴图中通常是通过 3 个不同深度的家具贴图来保证房间内部深度的一致性。因此,针对可移动家具需要依据其相对于透视窗户(点)的深度进行分类或分区。

首先,对房间整体部件进行旋转平移,使透视部件所在平面与  $YOZ$  所在平面平行。根据透视部件 mesh 模型顶点坐标拟合其平面方程确定法向量  $\mathbf{n}$ ,  $YOZ$  平面单位法向量为  $\mathbf{v} = (0, 1, 0)$ 。计算模型旋转角度  $\theta = \mathbf{n} \cdot \mathbf{v}$ , 旋转轴  $\mathbf{u} = \mathbf{n} \times \mathbf{v}$ 。构建旋转矩阵  $\mathbf{R}$  并将其应用到 mesh 的每个顶点  $(x_i, y_i, z_i)$  上,得到旋转后的顶点坐标  $(x'_i, y'_i, z'_i)$ , 公式为

$$\mathbf{R} = \cos \theta \mathbf{I} + \sin \theta \begin{bmatrix} 0 & -u_z u_y \\ u_z 0 & -u_x \\ -u_y u_x & 0 \end{bmatrix} + (1 - \cos \theta) \begin{bmatrix} 0 & -u_z u_y \\ u_z 0 & -u_x \\ -u_y u_x & 0 \end{bmatrix}^2 \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中,  $\mathbf{I}$  为单位矩阵。

其次,在完成对模型的旋转平移后,利用  $X$  坐标对场景进行划分并判断各部件所属的区域,即遍历各家具的顶点坐标。计算室内空间  $X$  方向最大值  $X_{\max}$  与最小值  $X_{\min}$ , 根据室内透视贴图空间关系,将室内空间按照  $X$  轴进行区域  $A(A_1, A_2, A_3)$  的均匀划分。依次计算家居部件中心点坐标,根据各中心点坐标  $X$  值将家具划分到指定分区,如图 3 所示。



图 3 家具部件空间划分

## 1.3 可见性约束纹理生成

### 1.3.1 可见性约束的投影平面计算

基于获取的各部件,本文利用透视原理生成对应的纹理贴图,该方法相比于平面纹理能有效增强模型的立体感。如图 4 所示,其核心是通过窗户中心点与家具位置的投影角度自适应的生成贴图效果。具体流程如下。

首先,根据每一个区域中家具部件  $Z_i$  中心点坐标计算各区域家具重心  $E$ 。

然后,计算  $E$  与窗户  $W$  中心点  $O$  之间的方位向量  $\mathbf{V} = [x_o - x_E \ y_o - y_E \ z_o - z_E]$ 。透视贴图作为窗户所在墙面的纹理贴图,两者在空间位置上存在位置一致性特点,因此可根据窗户中心点  $O$  和方位向



量  $V$  确定投影平面  $T$ , 平面方程式为

$$(x_o - x_E)x + (y_o - y_E)y + (z_o - z_E)z - d = 0 \quad (6)$$

式中,  $d = (x_o - x_E)x_o + (y_o - y_E)y_o + (z_o - z_E)z_o$ 。

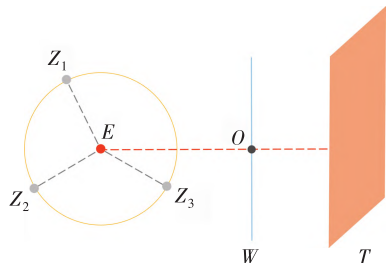


图 4 投影平面计算

最后,确定投影平面之后,利用正交投影获取各区域模型平面纹理。

### 1.3.2 基于规则的平面纹理拼接

室内透视贴图包含 9 个平面纹理并以九宫格形式进行组织,各纹理组成室内场景的一个面并占据九宫格的一个区域。其中,贴图区域共分为 4 个角落区域、4 个边缘区域和 1 个中心区域,建筑基础纹理分别位于边缘与中心区域构成室内场景整体框架,可移动家具与窗户纹理分别位于九宫格的 4 个角落区域,以丰富室内细节、确保贴图透视性。

制作正确的室内透视贴图需要将平面纹理按照其规定的纹理组织形式进行拼接。如图 5 所示,在贴图组织中,将窗户所在墙面相对的室内背景墙面纹理作为场景的背景,放置 5 号位置。将天花板、地板纹理贴图分别放置于背景墙面贴图的上侧与下侧位置,如 2 号位置与 8 号位置。窗户所在平面贴图需拼接在前置位 7 号位置上,将窗户部件左侧、右侧的墙面纹理贴图分别放置于 4 号位与 6 号位置上。室内可移动性部件的纹理贴图需根据其距离透视区(窗户)的距离远近依次分别放置于 1、3、9 号位置处,其中 9 号位置最近,1 号位置最远。

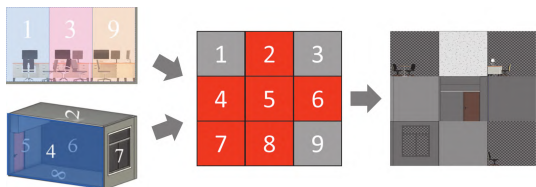


图 5 平面纹理拼接

## 2 试验与分析

### 2.1 试验数据

选择基于 Revit 建模软件手工制作的 6 间不同

场景的 BIM 模型进行方法验证。如图 6、表 1 所示,所选试验数据包含室内空间最基本的墙、地板、天花板等基础建筑部件,以及桌、椅、板、凳、等家具,涵盖了简单到复杂的室内场景。单个模型由上万个三角面片组成且包含丰富的纹理信息,部件个数大多为 20 个以上,文件大小平均不低于 1 MB。

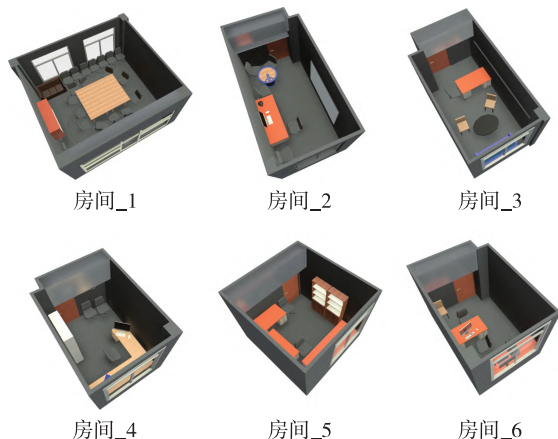


图 6 试验数据

表 1 试验数据

房间编号	文件大小/MB	面片数	实体数/个
房间_1	6.16	299 267	40
房间_2	1.59	87 364	25
房间_3	0.72	30 190	22
房间_4	1.51	63 012	20
房间_5	0.86	36 634	16
房间_6	0.99	41 077	20

### 2.2 结果与分析

为验证本文方法的有效性与可行性,采用 UE5 虚幻引擎搭建测试平台,分别从透视贴图生成质量及轻量可视化效果方面进行技术验证。硬件配置如下:CPU 为 13th Gen Intel (R) Core (TM) i9-13900K,主频为 3.00 GHz,内存为 128 GB;GPU 为 NVIDIA GeForce RTX 4090,内存为 24 GB。

针对生成贴图的质量方面,对上述 6 组不同复杂度的 BIM 模型进行自适应透视贴图生成,图像分辨率均为 72 像素/英寸(1 英寸=2.54 cm)。如图 7 所示,按照本文所提方法能够正确判断墙面及其依附部件的附属关系,并生成正确的基础建筑部件的平面纹理。对于室内可移动性家具实体,能够将其按照基于透视区确定的分区进行正确划分,且生成的家具纹理具有一定立体视觉效果。

在轻量可视化效果方面,根据原始 BIM 数据外轮廓生成不包含室内场景的粗模,利用内部映射函数对透视贴图进行组织,并贴附粗模表面以生成轻

量化的三维模型。如图 8 所示,在进行室外场景浏览时,透视贴图正确显示了原始模型室内空间各部件的纹理色彩与三维立体效果,同时可以保持各部件之间相对位置的准确。在相机视角移动的过程中能够从多角度取得与原始 BIM 模型近似的可视化效果,具备良好的室外浏览体验。

对于构成模型的几何结构,BIM 模型往往因需要表达室内场景详尽的信息而重建各类实体部件的精确几何,从而包含大量的三角面片,但在进行可视化方面,容易加重平台的加载负担。而本文利用透视贴图制作的轻量化模型,仅需构成建筑物主体结构的面片,即可达到与原模型相近的室外可视

化效果,如图 9 所示。

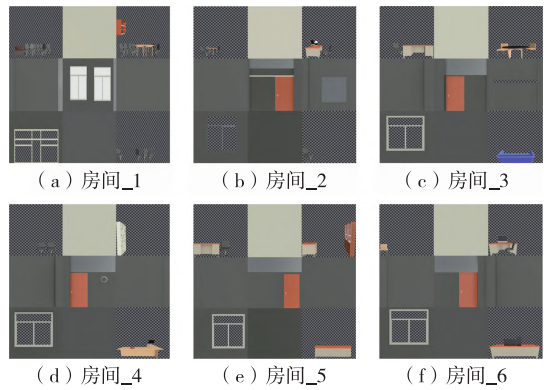


图 7 室内透视贴图

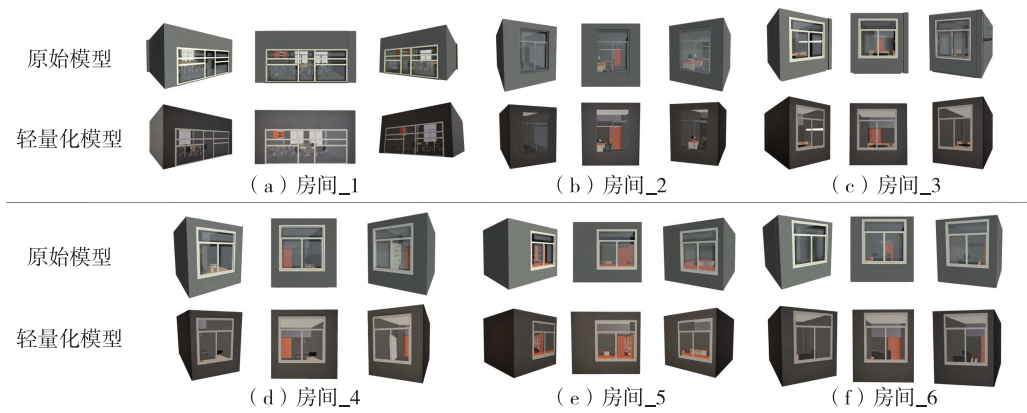


图 8 可视化效果对比

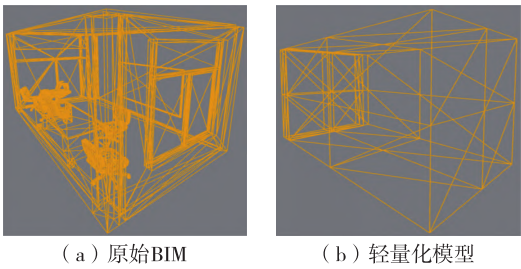


图 9 房间\_2 几何结构

为验证本文方法在大规模数据上的加载效果,选择房间\_2 的原始 BIM 和对应的轻量化模型,其中原始 BIM 具有 87 364 个三角面片,而轻量化模型含有 96 个三角面片,仅包含原始模型外轮廓与室内透视贴图,不含有室内结构。随着模型数量的增加,原始 BIM 平均帧率下降明显,而轻量化模型的帧率无明显变化,如图 10 所示。

当场景中模型数量为 2000 个时,原始数据实时帧率仅有 42 帧/s,如图 11(a)所示。而轻量化模型随着数据量的增加,实时帧率基本保持在 120 帧/s,如图 11(b)所示。由此可见,本文方法能够在大规模场景轻量可视化应用方面取得良好的效果。

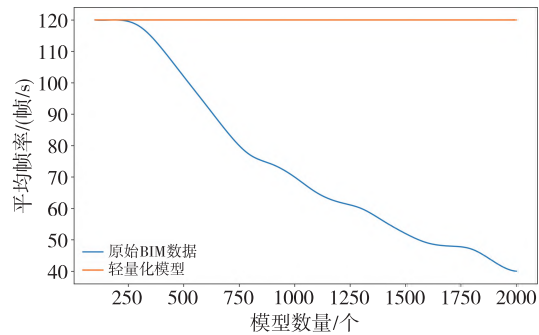


图 10 平均帧率变化

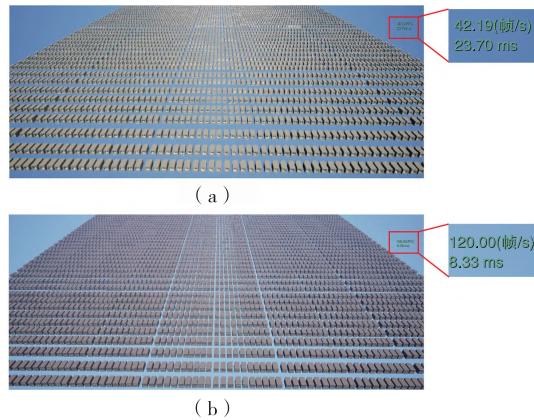


图 11 大规模场景可视化

### 3 结 语

本文分析并实现了轻量化室内透视贴图的自适应生成方法,通过对原始 BIM 场景进行空间分析,依据各部件语义、空间几何等信息获取具有真实感的室内透视贴图,能够结合内部映射原理实现模型的轻量可视化浏览。在 CIM 等可视化平台中,针对各单房间 BIM 数据制作相应透视贴图代替基于几何简化的低精度 LOD 层,既能够有效降低场景加载的数据量,提高渲染速度,同时也可以保持与原模型相似的室外视觉效果。当然本文方法也有一定不足,如目前只能生成具有矩形室内的单一 BIM 房间的透视贴图,还未能有效应用于室内不规则场景和多房间 BIM 数据中,同时缺乏对复杂模型的表现力。以上不足需要进一步优化,将在后续研究中加以解决。

#### 参考文献:

- [1] 季珏,汪科,王梓豪,等. 赋能智慧城市建设的城市信息模型(CIM)的内涵及关键技术探究[J]. 城市发展研究,2021,28(3):65-69.
- [2] 龙瀛. 颠覆性技术驱动下的未来人居:来自新城市科学和未来城市等视角[J]. 建筑学报,2020(S1):34-40.
- [3] TANG Shengjun, HUANG Hongsheng, ZHANG Yunjie, et al. Skeleton-guided generation of synthetic noisy point clouds from as-built BIM to improve indoor scene understanding[J]. Automation in Construction, 2023, 156:105076.
- [4] HUO Yuhao, YANG Anran, JIA Qingren, et al. Efficient visualization of large-scale oblique photogrammetry models in unreal engine[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(10):643.
- [5] TANG Shengjun, LI Xiaoming, ZHENG Xianwei, et al. BIM generation from 3D point clouds by combining 3D deep learning and improved morphological approach[J]. Automation in Construction, 2022, 141:104422.
- [6] HECKBERT P S. Survey of texture mapping[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 1986, 6(11):56-67.
- [7] HUANG Xin, SHAO Ruizhi, ZHANG Qi, et al. HumanNorm: learning normal diffusion model for high-quality and realistic 3D human generation [C]//Proceedings of 2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Seattle:IEEE, 2024:4568-4577.
- [8] WANG F, BLINDER D, UDJAJA Y, et al. Viewpoint-dependent lighting on polygonal holograms using bump mapping[J]. Optics Letters, 2024, 49(18):5180-5183.
- [9] GUIDI G, ANGHELEDDU D. Displacement mapping as a metric tool for optimizing mesh models originated by 3D digitization[J]. Journal on Computing and Cultural Heritage, 2016, 9(2):1-23.
- [10] VAN DONGEN Jt. Interior mapping [C]//Proceedings of CGI 2008 Conference Proceedings. [S. l.]: CGI, 2008.
- [11] XU X, DING L, LUO Hanbin, et al. From building information modeling to city information modeling[J]. Journal Information Technology in Construction, 2014, 19:292-307.
- [12] LI Xiao, YI Wen, CHI H L, et al. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety [J]. Automation in Construction, 2018, 86:150-162.
- [13] ATAZADEH B, KALANTARI M, RAJABIFARD A, et al. Building information modelling for high-rise land administration[J]. Transactions in GIS, 2017, 21(1):91-113.
- [14] BARZEGAR M, RAJABIFARD A, KALANTARI M, et al. 3D BIM-enabled spatial query for retrieving property boundaries: a case study in victoria, Australia [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2020, 34(2):251-271.
- [15] 张旻,孙略. 基于视差贴图的伪室内贴图的研究与实现[J]. 现代电影技术, 2023(3):23-29.
- [16] YAO M M, LI X M, WANG W X, et al. Semantic segmentation of indoor 3d point clouds by joint optimization of geometric features and neural networks [J]. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2022:305-310.

(责任编辑:马保卫)