

# 精细化三维模型轻量化技术研究

邱 婵<sup>1</sup>, 何 锋<sup>2</sup>

(1. 自然资源部重庆测绘院, 重庆 401120;  
2. 重庆泓宝科技股份有限公司, 重庆 401120)

**摘 要** 精细化三维模型在众多行业已得到广泛应用, 较好地满足了规划、统计、展示等实际需求。然而, 由于数据量庞大且数据结构复杂, 其在应用过程中存在加载速度迟缓、材质纹理失真、数据结构复杂等诸多问题, 导致应用体验欠佳。本文依托《重庆气矿 2019 年度输气管道数字化恢复技术服务》项目, 基于主流建模平台 3DMax 和 Blender, 从模型几何构成、材质纹理、渲染分级, 以及应用虚拟引擎等展开优化, 对精细化三维模型轻量化进行研究。结果表明, 上述问题得到大幅优化, 且容错率显著提高, 实现了轻量化操作的快捷性与流畅性, 极大地增强了精细化三维模型的实用性与用户体验感。

**关键词** 精细化三维模型; 三维模型轻量化; 烘焙

**中图分类号**: TP31

**文献标志码**: A

**DOI**: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.011.001

## 0 引言

随着实景三维扫描技术和高清纹理采集技术不断更新迭代, 精细化实景三维模型已广泛应用于诸多行业和专业领域。而三维模型精细化程度和纹理细节的提升, 其复杂程度和数据量也随之成几何倍数增加, 对搭载的设备性能、传输网络、便携性、时效性、保密安全等方面也提出了更高的要求, 以致精细化三维模型的数据结构复杂程度、数据量及存储空间、展示浏览流畅度、安全性能等一系列衍生问题日益凸显。

## 1 精细化三维模型轻量化目的

三维模型轻量化是指对三维模型进行优化处理, 以减少存储空间、计算资源的占用, 以及模型错误, 实现模型及附件格式规范化, 从而提高处理速度和系统性能的一种技术。

如果单纯靠设备升级换代, 难以满足精细化三维模型搭载的现时需求, 这不仅对数据管理、系统运维提出了更高要求, 也给数据更新埋下了巨大的隐患, 造成人力、财力、物力资源浪费, 极大地限制了三维模型的应用与发展。以重庆气矿 2019 年度输气管道数字化恢复技术服务项目为例, 利用精细化三维模型实现全方位的数据及业务整合, 为推进重庆气矿数字化转型和智慧站场建设提供基础数据和技术支持, 对三维模型的“能用、实用、好用”提出了现实需求, 驱动轻量化技术不断革新。

### 1.1 降低计算负荷

三维模型的数据量大小取决于原始模型的复杂程

度。未经优化的三维模型包含大量的顶点、面片和纹理等信息, 导致处理时间延长, 计算负荷超载。轻量化处理能明显提升计算效率, 更好地满足不同场景的实用需求。

### 1.2 节省存储空间

中央领导多次作出重要指示批示, 要求各地、各单位充分认识新形势下加强测绘成果安全保密管理的重要性和紧迫性, 但数据安全与共享仍未形成有效的解决方案, 出于保密与安全的需要, 三维模型仍存储于本地磁盘或内部服务器中。轻量化可压缩和简化模型, 减少数据量, 降低存储空间, 节省存储成本, 提高系统性能。

### 1.3 提高加载速度

三维模型复杂程度、纹理数量、纹理精细度是影响数据加载、渲染速度的直接因素<sup>[1]</sup>, 这一问题在局域网、内部网以及部分发布平台上尤为突出, 通过材质纹理数量整合、纹理压缩和格式转换, 能有效提高加载、渲染速度, 提升用户体验<sup>[2]</sup>。

## 2 精细化三维模型轻量化方案

各个行业领域对三维模型的需求是多种多样的, 例如: 城市规划看重精度和细节, 游戏娱乐更注重视觉效果和流畅性, 教学课件偏向整体完整度, 手机、平板电脑等移动设备对数据量和应用性能的要求非常高。针对不同需求, 三维模型轻量化操作不能一成不变, 要根据客观条件、实际情况, 因势利导地制定不同的

解决方案。就数字化管道而言,三维模型轻量化侧重于三维模型数据量(即模型数量和几何面数)及纹理数量的减少,将复杂模型信息转换为静态纹理来提高渲染速度,实现高效浏览和细节无损等目的。

### 2.1 模型清理与融并

对站场的精细化三维模型,首先进行清理与融并,减少三维模型数据量。

清理:清除模型中不必要或者错误的因素,比如:空物体、空图层、重复模型、灯光、相机,以及未使用的材质、纹理等,从整体上有效降低模型数据量。3DMax、Blender 软件均内嵌此功能是轻量化操作的第一步。

融并:通过合并、塌陷删除冗余、不必要的顶点、面片,采用有限融并、曲面拟合等方法,优化数据结构,在尽可能保证模型质量的前提下减少三维模型个体数量。融并后,三维模型数量可减少90%以上<sup>[3-4]</sup>。

以气液联动调制阀门驱动装置来看,在清理、融并前后各参数对比如表1所示。

表1 清理、融并前后三维模型各参数对比

| 类型           | 融并前    | 融并后    | 减少数量   | 减少率(%) |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| 多边形数量<br>(个) | 20 203 | 13 593 | 6 610  | 32.72  |
| 顶点数量<br>(个)  | 30 584 | 23 718 | 6 866  | 22.45  |
| 几何边数<br>(个)  | 50 047 | 36 571 | 13 476 | 26.93  |
| 数据量<br>(KB)  | 2 464  | 1 648  | 816    | 33.12  |

从表1来看,仅通过简单融并(5°),在模型几乎没有任何失真、变形的情况下,顶点、线条、面片总数可降低约27%、数据量可减少约33%,这意味着在权衡数据大小、质量和具体需求的情况下,清理、融并操作使三维模型的结构更加优化。

### 2.2 纹理压缩

纹理压缩主要减少图像数据的冗余信息,适用于大型场景、城市级实景三维模型,可显著减少GPU的内存使用,提高数据传输速度、渲染效率,并尽量保留原始图像的视觉质量。但站场精细化三维模型的纹理压缩效果不尽人意,通过多次实验,即使进行极小数值的压缩也会对三维模型纹理产生较大的影响,甚至造成变形、拉花等质量问题。比较而言,一定程度的数据量减少不足以消除其对模型质量产生的严重影

响,因此不建议采用纹理压缩。

### 2.3 模型烘焙

三维模型烘焙的本质是简化和预计算,将复杂的模型信息转换为在渲染时快速处理的纹理数据,减少渲染过程的计算量,是一个将动态或复杂模型信息转换为静态纹理的过程,将高多边形模型的细节映射到低多边形模型上,或者将动画和变形信息存储为纹理。同时,烘焙后的三维模型,在进行重复渲染时,物体纹理不需重新计算,加载时间会几何倍数减少,渲染效率将极大提高。

烘焙实现了三维模型格式、组织结构和材质纹理的规范化,为三维模型赋予更多的实用型和可操作性,也为后续使用三维模型打好了“提前量”(预计算)。就本项目来说,可通过3DMax、Blender 软件进行烘焙处理。

#### 2.3.1 3DMax 烘焙方案

3DMax 中三维模型烘焙步骤为:

1. 添加灯光。为三维模型提供足够的光照以产生清晰的明暗光影效果,通常情况下选择平面360°环绕光及正上方仿真太阳光组合光源方式。其中,平面360°环绕光可根据需求选择3~6组均匀光照。

2. 纹理分离。设备铭牌多为金属结构,本身具有反光特性,为保证其足够清晰,设备铭牌无需参与烘焙及渲染,需将设备和铭牌分离,仅对设备进行烘焙与渲染即可。一般通过3DMax 自带工具,或“扮家家”插件的纹理提取功能选择并隐藏设备铭牌纹理。

3. 模型烘焙及渲染。将复杂的模型信息转换为纹理信息,减少渲染的计算量,实现渲染的快速处理。采用3DMax 自带渲染工具,第一步,设置好渲染文件的路径和通道,自动展开塌陷的全部单个模型贴图坐标,参数设置“输出到源、仅展开”;第二步,使用展开贴图坐标后的通道,设置渲染模式(本项目选择CompleteMap)、文件名和类型(根据需要选择文件格式,如:tga或jpg)、目标贴图位置(本项目选择漫反射颜色)、保留烘焙材质等参数后,点击渲染完成烘焙。

#### 2.3.2 Blender 烘焙方案

Blender 中三维模型烘焙步骤为:

1. 单个三维模型合并。将多个三维模型合并为一个设备单体。在Blender 软件中全选需合并部件后,点击合并(快捷键Ctrl+J),处理后需核改模型法线方向,消除模型反面问题<sup>[5]</sup>。

2. 纹理UVW展开。将单个三维模型多个材质及纹理全部展开至一张纹理贴图,可大大减少纹理的数

量。打开 UVW 菜单,选择智能 UV 展开,即可在界面左侧查看已展开的 UVW 贴图。

3. 纹理 UVW 调整。对每个几何构面的纹理进行有效的调整,确保主次分明,以满足不同的需求,例如:为突显铭牌信息,需扩大铭牌几何构面以获取更清晰的纹理。在上一步已展开的 UVW 基础上进行 UVW 贴图缩放、位置等调整,完成后需重新打包,自动重新排列 UVW 贴图位置,有效避免 UVW 重叠。

4. 模型烘焙及渲染。将动态或者复杂的模型信息转换为静态纹理,减少渲染的计算量,实现渲染的快速处理。采用 Blender 插件 simpleMapBaker,依次设置渲染引擎(选择 Cycles)、Bake objects(添加待烘焙白模和目标文件)、单体挤出(烘焙纹理与模型间距)、Texture settings(设置烘焙纹理输入和输出尺寸)、Bake Margin(设置纹理羽化像素)、Export settings(设置工程文件路径和格式,保存后弹出后续设置)、Other settings(新建烘焙后模型)、色彩管理(查看变换选择标准)等参数,点击“Bake!”完成烘焙。

### 2.3.3 两种烘焙方案对比分析

#### 1. 3DMax 烘焙方案优缺点:

(1) 3DMax 烘焙方案优点:一是简单高效。流程均可在 3DMax 软件中完成,无需加载任何插件,烘焙过程仅需使用软件自带的烘焙功能,设置简单参数,操作少量步骤即可完成烘焙批量化、流程化。二是更新快捷。为了提升烘焙效率和质量,3DMax 中烘焙需将模型和纹理分离,待烘焙完成后模型纹理可分类收纳管理,在实景三维应用的可持续性可操作性上具有相当重要的意义。三是高效节能。此方案简单易上手,需人工干预的操作步骤较少,可操作性强,能极大地提高烘焙效率,获得较好的光影和天效果,缩短项目总体工期,有效降低人力成本。四是透明纹理免处理。操作流程中并未对透明纹理或双面材质造成任何形式的改变,在完成整个三维模型烘焙后无需再对透明纹理进行再处理。

(2) 3DMax 烘焙方案缺点:一是烘焙前置工作和烘焙后续处理工作量较大,流程较复杂。二是复杂三维模型的纹理数量较大,数据结构复杂,分类管理困难。三是融合模型容易出错,黑面概率较大,且处理困难,大部分需重新烘焙。四是三维模型空间结构复杂的情况下人员产生光影紊乱。

#### 2. Blender 烘焙方案优缺点:

(1) Blender 烘焙方案优点:一是优化便捷。三维模型导入 Blender 软件后,可针对性选取或全部三维

模型的点、线、面进行批量优化,在一定程度上减少模型的大小和计算复杂度,加快后续烘焙效率,提高烘焙质量。二是 Blender 烘焙方案可合并多个小纹理组成一个大纹理,烘焙后三维模型均为一模一图,高效统一三维模型纹理分辨率的同时,大大减少了模型纹理的数量,让数据组织结构更简约、更规则,更便于管理,也在一定程度上降低了模型文件的数据量。三是 UVW 展开、自动去重。Blender 烘焙方案在合并单个模型时,可自动去除三维模型重叠的面、焊接重合的顶点,提高了三维模型结构性和规律性,简化模型也使得应用更新更快,更加节省时间和能耗。四是质量控制方便。针对烘焙成果进行改名操作时还会对纹理文件进行质量确认,有效地保证了模型质量及精度。

(2) Blender 烘焙方案缺点:一是烘焙过程只能对单个模型操作,不能批量化处理,需占用大量的人力和设备。二是烘焙会改变透明贴图、双面贴图纹理,后期需重新对此类材质进行再处理。三是更新较复杂,需使用专业图形软件对更新部件或区域进行修改。四是需加载的插件较多,整个烘焙过程需调用 4—5 个专业插件,操作比较复杂,且插件参数设置需根据三维模型的情况进行调整,反复对比效果,从而增加了工作量。

## 3 结束语

精细化三维模型的轻量化操作可能会遇到不同的问题和挑战,需要根据具体情况去选择更加适配项目需求的处理方法和技术流程,在操作过程中通过对比不同的参数及效果,不断优化方法、改善加载策略等组合方式来有效提升传输、加载和渲染性能,以便提供更加高效的互动体验。

## 参考文献:

- [1] 管洪涛,何勇.多源多尺度实景三维模型融合技术探究[J].图像与信号处理,2024,13(03):302-310.
- [2] 周俊波,常英,黄亚栋,等.基于云端共享的交通三维实景设计方案展示方法和系统:CN202210992761.4[P].2025-03-09.
- [3] 何亮,郑黎,卢小林,等.一种实景三维模型轻量化方法及系统:CN202211718720.2[P].2025-03-09.
- [4] 陈科,张力,管林杰,等.考虑几何特征的 BIM 模型轻量化方法研究[J].人民长江,2022(02):53.
- [5] 何洁,郭静,刘天清,等.基于边塌陷减面的实景三维模型轻量化技术[J].测绘通报,2024(S1):53-56.