

8-13-2020

Parameterization of Complex Pipeline Meshes and Its Large-scale Online Visualization

Huijuan Zhang

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Liu Fan

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Dongqing Wang

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Jinyuan Jia

School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Parameterization of Complex Pipeline Meshes and Its Large-scale Online Visualization

Abstract

Abstract: With the application of WebBIM technology in the field of large-scale building models, the complexity of models and the number of components are growing geometrically. The complex pipeline grid model is a key issue of affecting the lightweight of the BIM models and online rendering rate. *In order to reduce the data volume and complexity of the complex pipeline meshes, a lightweight parameterization algorithm for the general cylindrical pipeline meshes, the curved pipeline meshes and also the hollow pipeline meshes is proposed.* Redrawing the parameterized pipeline model and some visual optimization methods such as LOD technology being used reduce the rendering burden in the WebBIM scene. The application in the large-scale scene shows its significance in engineering practice.

Keywords

pipeline parameterization, complex grid, lightweight, WebBIM, large-scale online visualization

Recommended Citation

Zhang Huijuan, Liu Fan, Wang Dongqing, Jia Jinyuan. Parameterization of Complex Pipeline Meshes and Its Large-scale Online Visualization[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(8): 1489-1497.

管廊复杂网格参数化算法及其大规模在线渲染

张惠娟, 刘帆, 王冬青, 贾金原

(同济大学软件学院, 上海 201804)

摘要: 随着 WebBIM(Web Building Information Modeling)技术的大力发展, 建筑模型的复杂度与构件数量呈几何倍数增长, 其中管廊复杂网格是影响模型轻量化和在线渲染速率的一个关键性问题。为有效减少管廊复杂网格模型的数据量及复杂度, 针对一般圆柱体形管廊, 复杂网格的弯管管廊模型及中空管廊网格模型, 提出了一套轻量级参数化算法。该算法对场景中的管廊模型进行参数化重绘并辅助以多细节层次等视觉优化手段, 以减轻 WebBIM 场景中的管廊模型渲染负担, 其在拥有大量管廊模型的场景中应用成功, 具有较强的工程实践意义。

关键词: 管廊参数化; 复杂网格; 轻量化; WebBIM; 大规模在线可视化

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2020) 08-1489-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.19-VR0468

Parameterization of Complex Pipeline Meshes and Its Large-scale Online Visualization

Zhang Huijuan, Liu Fan, Wang Dongqing, Jia Jinyuan

(School of Software Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: With the application of WebBIM technology in the field of large-scale building models, the complexity of models and the number of components are growing geometrically. The complex pipeline grid model is a key issue of affecting the lightweight of the BIM models and online rendering rate. *In order to reduce the data volume and complexity of the complex pipeline meshes, a lightweight parameterization algorithm for the general cylindrical pipeline meshes, the curved pipeline meshes and also the hollow pipeline meshes is proposed.* Redrawing the parameterized pipeline model and some visual optimization methods such as LOD technology being used reduce the rendering burden in the WebBIM scene. The application in the large-scale scene shows its significance in engineering practice.

Keywords: pipeline parameterization; complex grid; lightweight; WebBIM; large-scale online visualization

引言

网络技术发展突飞猛进, 人类正向高度信息化的社会迈进。BIM^[1] (Building Information Modeling) 在国内建筑业形成一股热潮, 尽管拥有了政府和社会的大力支持, Web 端的 BIM 大规模场景应用开

发仍然面临许多巨大的挑战:

(1) 网页存储瓶颈问题: 随着 BIM 场景规模的增加, 建筑内部空间结构复杂度不断提升, 管廊结构的模型体量不断增加, BIM 数据未来可能达到城市级别(100 TB 以上), 通常来说, PC 端的浏览器能够使用的内存仅为 1.5~2 GB, 稍大的 BIM 模型就可能会导致浏览器的崩溃。

(2) 计算渲染瓶颈问题: 传统加载方式中, IFC(Industry Foundation Classes)^[2]构件被逐一添加在场景中, 管廊模型拥有的三角化面片数量多,



收稿日期: 2019-08-30 修回日期: 2019-11-14;
作者简介: 张惠娟(1970-), 女, 陕西扶风, 博士, 副教授, 研究方向为移动计算, 虚拟现实等; 刘帆(1995-), 女, 江苏徐州, 硕士, 研究方向为 Web3D 轻量化技术; 王冬青(1975-), 女, 陕西西安, 硕士, 讲师, 研究方向为嵌入式系统等。

<http://www.china-simulation.com>

• 1489 •

导致整个初始加载速度慢，且场景中 FPS(Frames Per Second)较低，浏览建筑模型容易出现明显卡顿情况。

在以上问题的基础上，尤其是管廊管线这类构件往往在城市建筑模型中占有了一定的比重^[3]，例如水管，通风管道等，且建筑物内部管廊模型排列往往具有一定的复杂性^[4]，优化这部分管廊模型的参数，能够有效减少场景中的三角面片数量，帮助提升模型加载速率，对改善上述的 2 个瓶颈问题起到了积极的作用^[5]。

因此针对上述问题，提出了一套管廊复杂网格参数化算法，首先通过语义分析和几何分析，提取大规模 IFC 场景中的管廊网格模型构件类。然后针对一般圆柱体形管廊网格模型，弯管管廊模型以及中空管廊模型 3 种不同的特征，对其在服务端分类进行参数化处理，并将参数结果返回给网页端进行渲染。为了降低网页端的渲染负载，实例化管廊模型的同时辅助以基于 LOD(Levels of Detail)多细节层次技术的渐进式自适应渲染方法，有效降低场景中管廊模型部分的总数据量及其三角面片数量，加快场景初始加载时间以及提升场景总体加载的帧速率，为轻量化 WebBIM 大规模管廊模型场景的在线可视化提供了支持。

1 相关研究

1.1 管廊的参数化原理

原始的 BIM 建筑模型经过 IFC 参数化解析之后，分成了多种不同的类，每一类都有成百上千个小的网格模型信息。这些顶点信息与三角网格在网页端经过渲染，组成了浏览器端的建筑模型。但这种通过模型解析生成的管廊网格模型通常是呈现不规则，且较为繁杂的情况。如果能将这些不规则的三角网格信息抽取出来，经过参数化处理转换为大家熟知的管廊管线特征信息，就可通过管廊网格的顶点信息，半径信息，主方向特征参数化重绘出一个圆柱体形管廊网格模型，且呈现规范的三角网格渲染方式。

通常的直线管廊网格模型^[6]的构造图如图 1 所示，具体渲染方法为：将直线管廊网格模型抽象为正圆柱体，管线中心抽象为正圆柱体的中轴线，管线中心线起止点为正圆柱体上下底面圆心，圆柱体半径为管径。

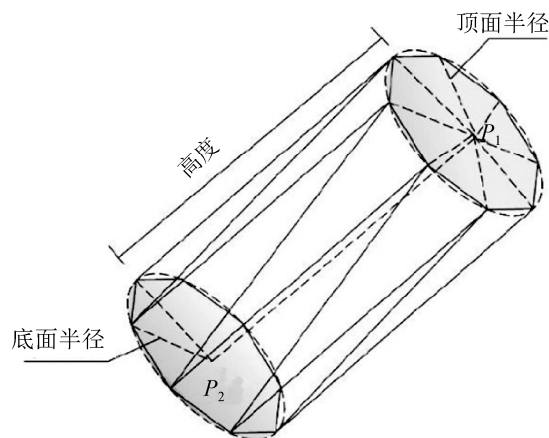


图 1 圆柱体形管廊参数化

Fig. 1 Parameterization of cylindrical pipeline Mesh

提取到了以上的管廊模型参数信息后，在浏览器端渲染时可以利用 Three.js 提供的 THREE.Cylinder Geometry 对象对管廊进行批量建模。利用 THREE.Cylinder Geometry 对象进行圆柱体建模时可接收多个参数，而在实际建模过程中主要用到 3 个参数，分别是：顶面半径、底面半径以及圆柱体的高度，分别对应三位管线的半径以及管线长度。生成管线模型的几何对象之后，还需利用 THREE.Material 为其贴上合适的纹理，通过 THREE.Mesh(geometry, material)生成完整的管路段模型。

1.2 管廊多细节层次技术

LOD 技术意为多细节层次。LOD 技术指根据物体模型的节点在显示环境中所处的位置和重要度，决定物体渲染的资源分配，降低非重要物体的面数和细节度，从而获得高效率的渲染运算。一个典型的蓄冰机房 BIM 模型内部的管线模型示意图如图 2 所示。针对图 2(b)中的管廊模型，调整其精细化程度对用户视角的影响较小，但对提升场景加载流畅度具有较大意义。

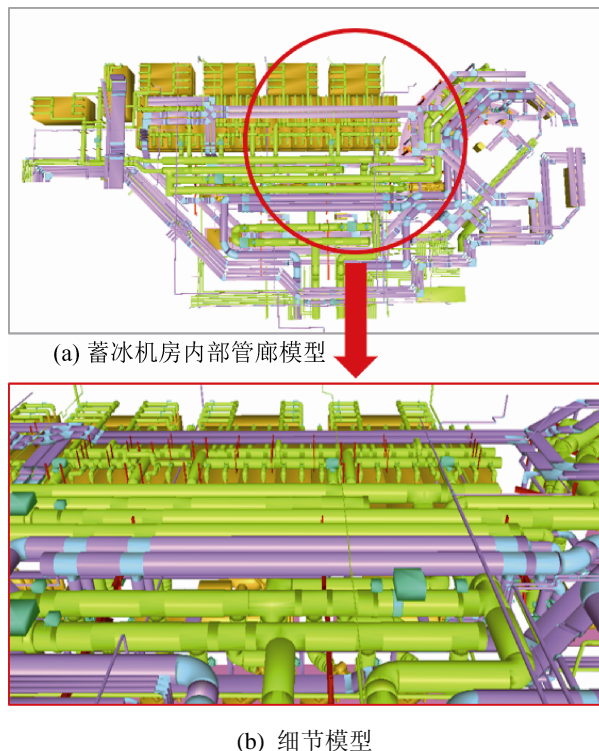


图 2 蓄冰机房管廊模型图

Fig. 2 Pipe gallery model of the ice storage room

LOD 的主要想法是降低复杂性, 当视点远离 3D 模型对象时, 根据人的视觉系统, 远处对象会变小或者变得模糊不清, 可以使用该对象的简化版本。对象简化版本的实现多种多样, 通常是通过较少三角形的数据或者替代几何模型的几何特征和纹理来实现。不管简化版本的实现方法如何, 其策略的最终结果是将一个相比原模型压力较小的对象交给 GPU 去处理, 降低渲染复杂度, 提高场景加载的速率^[8]。

针对管廊网格模型, 多细节层次技术主要调整的是参数化后的管廊网格切割块数, 当摄像机视角靠近的时候, 切割块数增多, 管廊模型越精细, 而当摄像机视角原理时, 可以减少模型的切割块数, 管廊模型呈现较粗糙。

1.3 大规模 WebBIM 在线渲染

“互联网+”时代的到来为 BIM 信息的传递和共享提供了更为广阔的舞台^[9], “互联网+BIM”的

融合、发展也是势不可挡。网页浏览器是移动互联网上最为广泛通用的信息共享平台, 直接在网页浏览器上将 BIM 场景可视化地再现出来就变得更有吸引力。用户只需点击浏览网页就可访问大规模 BIM 场景与之交互。尤其是正在流行的 HTML5/WebGL 提供了一种无插件安装的 Web3D 开发平台, 大大便捷了互联网 BIM 的可视化共享浏览, 所以 WebBIM 在线可视化将成为“互联网+BIM 可视化”的主流发展趋势^[10]。

但是由于大规模的 BIM 场景存在实时响应速度慢、渲染能力弱、数据传输缓慢等问题^[11], WebBIM 在线可视化将会受到因网页浏览器缓存受限而导致的存取不畅、尤其是管廊模型较多的大规模 BIM 建筑, 数据量较大可能导致浏览器的瘫痪。因互联网带宽受限而导致的传输缓滞、因网页浏览器渲染能力受限而导致的漫游延迟的影响, 这些影响将会严重阻碍 WebBIM 大规模场景的在线实时可视化共享^[12]。因此, 本文所研究的管廊复杂网格模型的参数化方法及其在线可视化技术能够针对网页的在线渲染问题做出改善。

综上所述, 本文的创新点主要体现在针对大规模 WebBIM 模型的加载和渲染瓶颈提出了一种基于管廊网格模型的参数化算法, 能够根据管廊网格模型不同的分类进行参数化处理, 在浏览器端采用一种基于 LOD 的渐进式加载方式, 缓解了浏览器端的数据压力, 提升了模型的渲染效率, 为拥有大规模管廊网格的 WebBIM 建筑模型的模型解析与在线渲染提供了新的优化方向。

2 技术路线

本文所采用的技术路线如图 3 所示。在服务器端, 需要完成的工作包括从语义分析以及几何分析角度进行管廊模型构件的提取, 以及基于圆柱体形管廊网格构件的参数化算法研究, 进一步拓展弯管管廊模型的参数化算法以及基于布尔运算的中空复杂管廊模型的参数化算法。

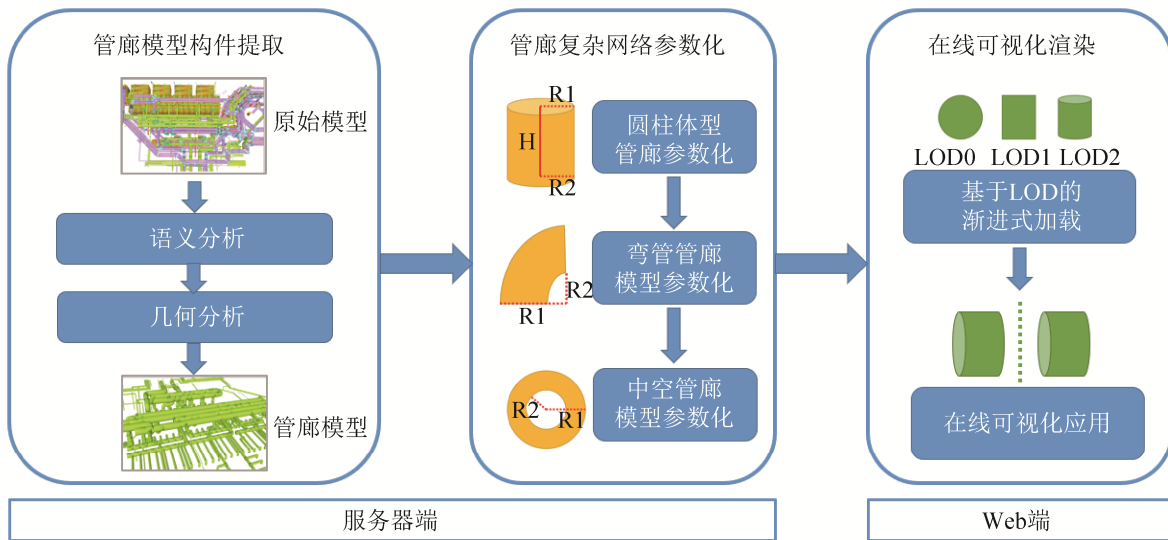


图 3 技术路线图

Fig. 3 Technical roadmap

在 Web 端完成的工作, 包括使用基于 LOD 的轻量化 WebBIM 渐进式加载技术, 提升轻量化在线渲染的加载速率, 以及提供在线可视化应用支持。

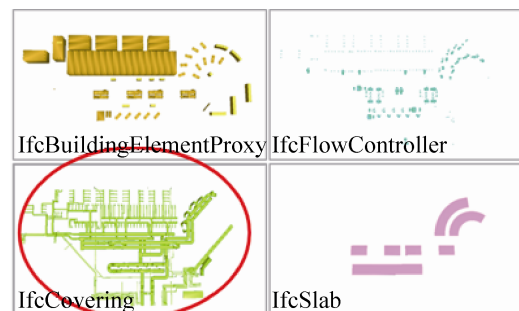
3 关键技术

3.1 管廊模型构件的提取

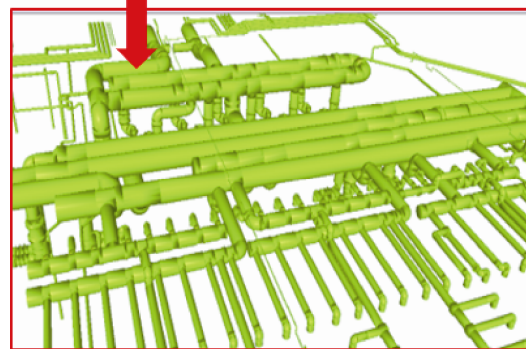
IFC 是一套专门为建筑行业订制的开放数据标准格式^[13], 为解析 IFC 格式的 BIM 模型, 本文使用了轻量级 BIM 大数据在线可视化系统^[14], 在上传 IFC 格式的建筑模型后, 该模型逐层解析, 从一个项目(IFCProject)实例出发, 将建筑模型拆解为包含所有的墙(IFCWall)、门(IFCDoor)和梁(IFCBeam)等多个类型的建筑构件。根据模型分类的语义信息可以将内部构件进行一个初步的分类, 在场景中可以看到多种不同的构建类呈现, 如图 4 所示, IFCCovering 类表示对管廊模型的外罩, 存在较多圆柱体形管廊网格模型, 因此本文从语义角度选择其中的 IFCCovering 类构件作为可能的目标管廊模型处理对象, 对其进行进一步的几何分析。

整个管廊模型对象的抽取过程如图 4 中所示, 从构件语义分析提取构件是从以上多种不同的 IFC 构件类型中, 提取可能是管廊管片管线等圆柱体形模型的构件的过程。而从语义分析角度, 往往

可能存在误差, 比如把非圆柱体形的拉伸体模型误认为是管廊模型。



(a) 蓄冰机房模型构件分类



(b) IFCCovering 类模型

图 4 蓄冰机房模型构件分类

Fig. 4 Component classification of the ice storage room

在此基础上, 从几何角度分析则是从管廊模型的形态上对构件进行分析, 判断构件是否具有圆柱

体形构件包围盒的特征,且根据模型上的顶点信息能够计算出上下底面与中心轴等参数,进而归纳其类型,最终提取出了一类可以进行管廊网格参数化处理的目标模型。

3.2 管廊网格模型参数化

3.2.1 圆柱体形管廊网格模型参数化

经过上一个步骤解析的 BIM 建筑模型产生的原始圆柱体形管廊模型构件为 dat 格式,包含 3 部分信息,第 1 部分是每一个顶点的三维坐标,从序号 0 开始,第 2 部分是模型的三角化信息,每 3 个顶点组成 1 个三角形,在场景中进行实例化渲染,所有的三角形在场景中重绘出一个圆柱体形管廊模型,第 3 部分是与第 2 部分中每个三角化网格信息对应的法向量方向。

由此可知,对于一个原始的复杂管廊网格模型,其往往有上百个,甚至上千个顶点,同时三角网格数量较多。针对大型建筑模型,一旦管廊模型的数据量较大,对模型的初始渲染和加载效率一定会存在较大的影响,因此,本文针对圆柱体形管廊网格模型,提出了参数重绘的方式,使用 ThreeJS 中的圆柱体进行实例化,能够有效简化模型数据量,且提升场景渲染速率。

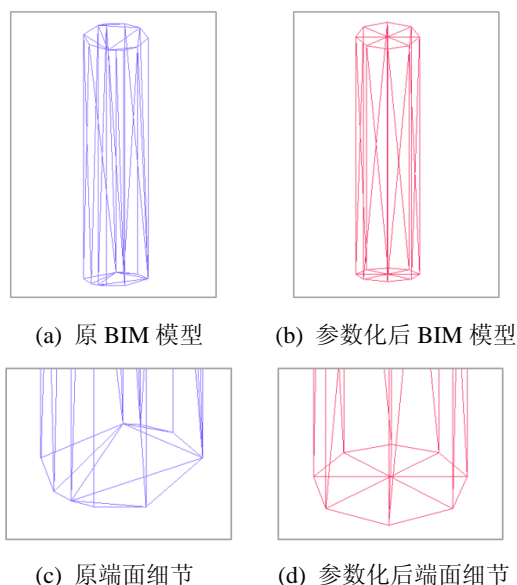


图 5 圆柱体形 BIM 管廊模型
Fig. 5 Cylindrical BIM pipe gallery model

本文所使用的一般圆柱体形管廊模型参数化是从原始管廊网格模型的顶点以及三角面片信息中有效提取出其上下底面圆的圆心以及半径,并且求出其中轴线的长度以及方向,并能够在场景中重绘出该构件的过程^[15]。拟合后的标准化圆柱体与源数据对比如图 5(a)源数据-非标准化三角化侧面和图 5(b)拟合后-标准化三角化侧面所示。由于使用了圆柱体模型的参数化方式,重绘圆柱体需要的数据量因此大大降低。

由于原始管廊网格模型存在三角化方式无规律,如图 5(c)源数据-非标准化三角化底面和图 5(d)拟合后-标准化三角化底面所示,参数化的过程也是一个将管廊网格模型标准化的过程,为后续圆柱体形管廊构件的在线应用提供基础。上下底面的分割块数决定着圆柱体模型在场景中的精细程度。

3.2.2 弯管管廊网格模型参数化

除了一般的圆柱体形管廊模型外,建筑模型中还存在较大一部分的弯管管廊模型,如图 6 所示。这部分模型通常是排水管道和通风管道的接口处,在管廊网格模型中占有一定的比重,在参数化过程中要与一般直线的圆柱体形管廊模型做出区分。本文使用二次贝塞尔曲线拟合弯管管廊构件,实验对象为如图 6 所示的一段弯管圆形管线模型。

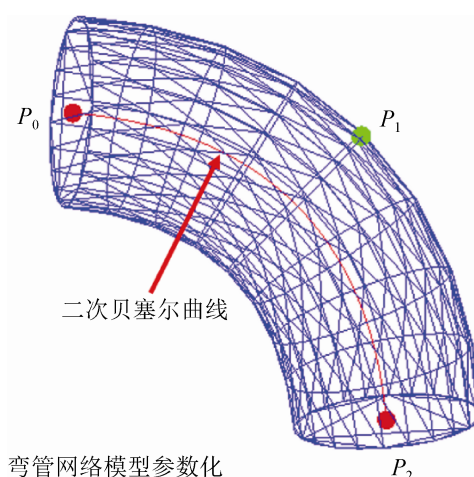


图 6 弯管管廊模型参数化
Fig. 6 Parameterization of curved pipeline model

首先根据圆柱体模型参数求出 2 个端面的圆

心, 2 个圆心作为贝塞尔曲线的控制点 P_0 和 P_2 , 设其控制点为 P_1 , 该拟合模型的中轴线应满足以下二次贝塞尔曲线公式:

$$B(t)=(1-t)^2P_0+2t(1-t)P_1+t^2P_2,t\in[0,1] \quad (1)$$

通过改变控制点的参数, 如果弯管管廊模型上的点到该拟合中轴线的距离最短, 则可认为是最佳拟合曲线, 在进行参数化绘制的时候, 由于管廊模型的对称性, 弯管模型上的订单到中轴线的距离即为半径, 以一个端面为圆心, 该半径画圆, 然后沿着拟合的贝塞尔曲线进行拉伸, 即可得到该弯管模型的参数化拉伸体拟合模型。由于拉伸体的特性, 该拟合模型的分割块数也能够进行动态地调整, 有效降低模型的三角网格数量。

3.2.3 中空复杂管廊网格模型参数化

在标准的圆柱体形管廊参数化方法研究的基础上, 针对基于布尔运算的复杂管廊构件的参数化算法研究在工程建筑领域十分具有价值, 如图 7(a) 所示, 复杂管廊构件都是基于圆柱体形管廊构件的延伸与扩展, 如图 7(b) 和 7(c) 所示, 具有其独特性, 需要根据模型特征具有针对性地进行探索。

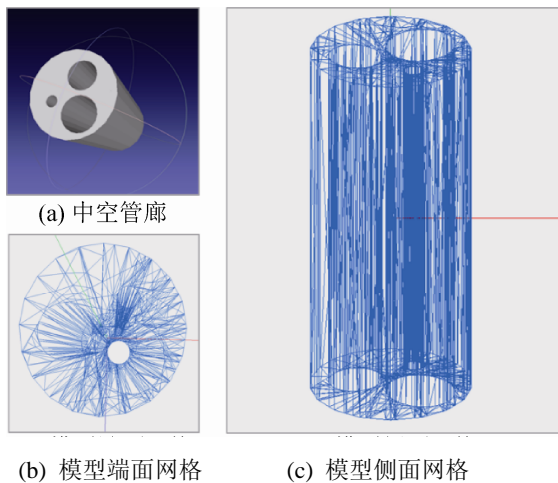


图 7 中空形 BIM 管廊模型
Fig. 7 Hollow BIM Pipe Gallery Model

本文针对复杂中空管廊模型参数化方法可分为如下步骤:

step 1: 由于管廊模型具有对称性, 提取位于

同一个端面上的所有顶点及其三角网格信息;

step 2: 替换重复顶点, 如同顶点有多个序号, 以最小序号替换, 重新组织三角网格信息;

step 3: 拆分三角网格信息为 3 条边信息, 以 <小序号, 大序号> 形式提取 3 条边的信息, 并记录其使用次数;

step 4: 提取所有使用次数为 1 的边, 在场景中重绘, 完成边界的边缘提取;

step 5: 根据边的闭合性, 将顶点分组, 分成外部形状和内部中空部分;

step 6: 分组进行参数化拟合后, 进行模型的布尔运算, 在场景中重绘出新的管廊网格模型。

针对如图 8(a) 所示的内部中空管廊拉伸体模型, 采用上述的解决方案, 首先进行整个模型参数读取, 然后通过模型的几何特征分离其模型外部与内部参数, 其边缘提取的效果如图 8(b) 所示, 在得到了边缘提取的结果之后, 将模型区分为 1 个大实心圆柱体管廊模型以及 7 个空心圆柱体管廊模型, 对大的实心圆柱体形管廊模型进行布尔运算, 参数化后的重绘的中空管廊模型如图 8(c) 所示。

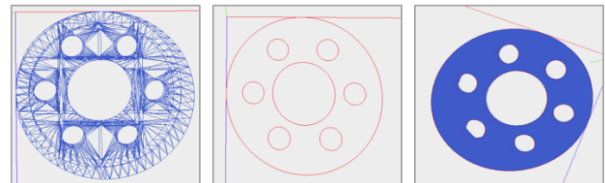


图 8 中空管廊模型边缘提取示意图
Fig. 8 Edge extraction of hollow pipe gallery model

图 8 中空管廊模型边缘提取示意图

Fig. 8 Edge extraction of hollow pipe gallery model

3.3 渐进式 LOD 在线实时渲染

通过对拥有大规模管廊网格的建筑模型进行管廊构件解析提取以及模型参数化之后, 如何在网页端高效流畅地渲染 BIM 模型也是本文的研究要点之一^[16]。本文采用基于 LOD 自适应渐进式加载技术, 按照不同的管廊网格分类进行不同的层级调整, 模型示意图如图 9 所示。


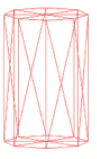
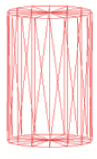
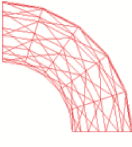
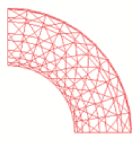
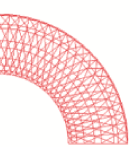
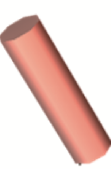
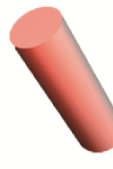

对象层级	LOD0 (远)	LOD1	LOD2 (近)
圆柱体模型 管廊模型	分割块数=3	分割块数=8	分割块数=16
模型示意图			
弯管管廊模型	中轴线分割块数=5	中轴线分割块数=10	中轴线分割块数=20
模型示意图			
中空管廊模型	圆柱体模型 (直径=60, 分割块数=24)	圆柱体模型 (直径=60, 分割块数=8)	中空管廊模型 (外直径=60, 内直径=30)
模型示意图			

图 9 管廊模型 LOD 层级
Fig. 9 LOD level of pipeline models

得到前 2 个步骤的管廊模型参数化结果后, 本文采用基于摄像机距离的 LOD 渐进式加载方式, 从 LOD0 摄像机与模型距离较远, 到 LOD1 和 LOD2, 摄像机与模型距离较近的阶段, 动态调整管廊网格模型的分割块数, 即距离摄像机近的模型分割块数越多, 模型越精细, 摄像机距离远的模型分割块数少, 模型简化。针对标准圆柱体形管廊构件, 根据摄像机距离的远近, 动态调整其分割块数。

如图 9 所示, 针对一般圆柱体形管廊网格模型, 自适应调整的是其端面的分割块数, 从 LOD0 的 3 块, 到 LOD1 的 8 块, 再到 LOD2 的 16 块。针对弯管管廊模型, 自适应调整的是中轴线的分割块数, 从 LOD0 的 5 块, 到 LOD1 的 10 块, 再到 LOD2 的 20 块, 可以看到模型的网格越来越密集。而针对中空管廊网格模型, 在 LOD0 以及 LOD1 的阶段, 即距离摄像机较远时, 渲染中空管廊模型时只按照圆柱体形管廊进行渲染, 不进行布尔运算, 远处看到的是一般圆柱体形管廊网格模型, 只在摄像机靠近模型达到 LOD2 距离范围内时, 渲染

中空的管廊网格模型, 该步骤可以优化渲染效率, 提高场景 FPS, 降低浏览器的负载。

3.4 基于管廊网格参数化的切割应用

随着圆柱体形管廊模型构件在 BIM 建筑模型中体量逐步增加, 与之相关也提出了较多的交互需求, 比较常见的如切割等分圆柱体等。

本文基于参数化之后的圆柱体形管廊模型, 对其轴线进行分割, 在场景中进行参数化模型重绘后的效果如图 10 所示, 由模型本身的非标准构件, 经过参数化重绘后变成一个标准圆柱体形管廊网格模型后, 经过多次二分切割后的效果如图 10 所示。根据实际需求, 该应用也可拓展至 n 次切割以及自主调节等多种方式, 为工程实践应用提供便利。

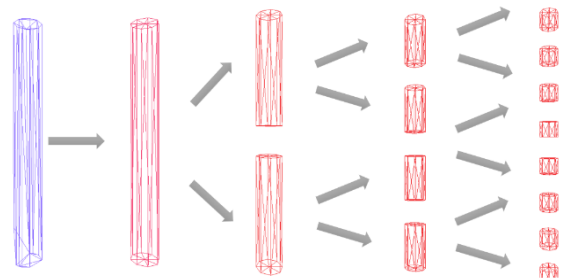


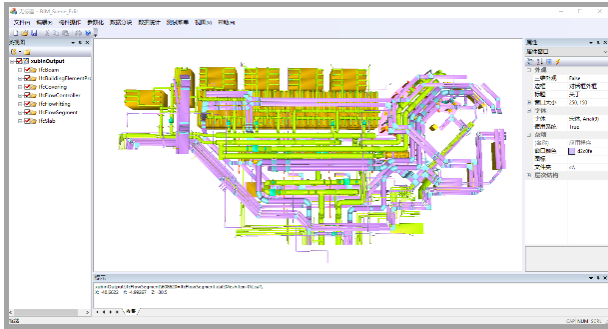
图 10 切割管廊模型功能
Fig. 10 Cutting pipeline model function

4 实验分析

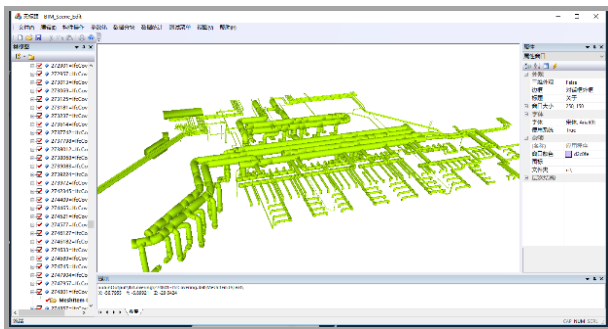
本文根据轻量级 WebBIM 管廊网格参数化的性能评估方式提出了用于评估实验结果的 3 项性能指标: 管廊模型总数据量; 场景的初始加载时间单位为 s; 浏览器每秒传输帧数 FPS。

4.1 测试案例

本次测试中所使用的静态场景数据是基础格式为 ifc 的蓄冰机房 BIM 模型数据, 如图 11(a) 所示, 蓄冰机房一共有 6 575 个网格模型, 占用大小 176 MB, 本次实验经过 IFC 模型解析之后, 抽取了一个叫做 IFCCovering 的类, 如图 11(b) 所示, 该类共有 2 184 个 BIM 管廊网格模型, 存储在 xubinOutput_Vis.txt 文件中, 总计所占空间 24.4 MB。



(a) 原蓄冰机房模型



(b) IFCCovering 类模型

图 11 蓄冰机房 IFCCovering 类模型

Fig. 11 IFCCovering class model of ice storage room

4.2 测试环境

本次实验采用台式机浏览器进行测试。所使用的服务器操作系统为 WinServer2008，内存为 4 G；CPU 为 Intel Xeon。客户机操作系统为 Windows7，内存为 8G，CPU 为 Intel i7-4700MQ。所使用的浏览器为 Google Chrome，网络带宽为 100 Mbps。

4.3 测试流程

- (1) 分别测试使用轻量级 WebBIM 管廊参数化前后的模型总数据量。
- (2) 分别测试使用轻量级 WebBIM 管廊参数化前后的场景初始加载时间(s)。
- (3) 分别测试使用轻量级 WebBIM 管廊参数化前后的浏览器每秒传输帧数 FPS。

4.4 测试结果

本次实验的结果对比如表 1 所示，可以看到使用了管廊网格参数化算法后该类的数据量明显下降，由原本的 20.5 MB 下降到 4.2 MB，占原来该

类数据量的 1/5 左右。且场景的初始加载时间大大提升，且场景整体的传输帧数也有所提升，证明了该算法的实用性与价值。管廊模型经过参数化后在场景中的示意图如图 12 所示。

表 1 管廊模型参数化实验结果对比

Tab. 1 Comparison result of pipeline model parameterization

实验指标	参数化前	参数化后
总数据量/ MB	20.5	4.2
初始加载时间/ s	10	4
每秒传输帧数/ FPS	52	58

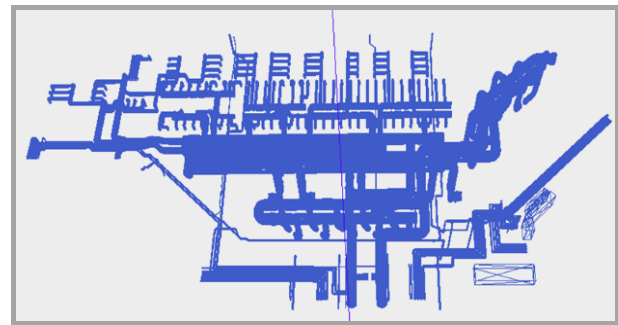


图 12 管廊模型参数化后蓄冰机房模型

Fig. 12 Ice storage room model after pipeline parameterization

5 结论

为了减少 WebBIM 模型场景的总数据量以及提升在线渲染效率，本文提出了一套管廊复杂网格模型参数化方法，对拥有大量管廊网格的 BIM 模型首先通过 IFC 解析，经过语义分析和几何分析的手段，提取出能够进行管廊模型参数化的类。然后针对一般圆柱体形管廊模型，弯管管廊模型以及复杂中空管廊模型均提出了参数化方案并验证其有效性。最后在网页端使用了基于 LOD 的轻量化渐进式渲染模式，辅助以基于管廊参数化结果的切割模型应用。

实验证明，该方法对模型的数据量以及渲染效率具有巨大的提升，对具有多管廊模型的 BIM 工程实践提出了重要的优化方向。课题未来的研究拓展包括从圆柱体形模型的参数化扩展到一般拉伸体形的参数化方法，以及基于参数化后的圆柱体形模型进行例如碰撞检测等参数化应用以及基于地理空间的管线自动排布布局等。

参考文献:

- [1] Johansson M, Roupé M, Bosch-Sijtsema P. Real-time visualization of building information models (BIM)[J]. *Automation in Construction* (S0926-5805), 2015, 54(1): 69-82.
- [2] Sun J, Liu Y S, Gao G, et al. IFCCompressor: A content-based compression algorithm for optimizing Industry Foundation Classes files[J]. *Automation in Construction* (S0926-5805), 2015, 50(7): 1-15.
- [3] 许丹艳, 刘颖, 严建国, 等. 城市基础信息共建共享背景下的地下管线信息建设与管理[J]. *测绘通报*, 2018(6): 139-143.
Xu Danyan, Liu Ying, Yan Jianguo, et al. The Underground Pipeline Information's Construction and Administration under the Background of Co-construction and Sharing of Urban Fundamental Information[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2018(6): 139-143.
- [4] 徐照, 徐夏炎, 李启明, 等. 基于 WebGL 与 IFC 的建筑信息模型可视化分析方法[J]. *东南大学学报(自然科学版)*, 2016, 46(2): 444-449.
Xu Zhao, Xu Xiayan, Li Qiming, et al. Combining WebGL and IFC to create 3D visualization for building information models[J]. *Journal of Southeast University (Natural Science Edition)*, 2016, 46(2): 444-449.
- [5] Zhou X, Wang J, Guo M, et al. Cross-platform online visualization system for open BIM based on WebGL[J]. *Multimedia Tools and Applications* (S1380-7501), 2018, 78(20): 28575-28590.
- [6] 陈林. 基于 Three.js 的地下管线三维建模可视化研究[J]. *测绘与空间地理信息*, 2018, 41(8): 93-96.
Chen Lin. Research on Visualization of 3D Modeling of Underground Pipelines Based on Three.js[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2018, 41(8): 93-96.
- [7] Xia J C, El-Sana J, Varshney A. Adaptive Real-Time Level-of-detail-based Rendering for Polygonal Models[J]. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* (S1077-2626), 1997, 3(2): 171-183.
- [8] 孔剑虹, 杨超, 于晓辉, 等. 基于视点的三维点云自适应多细节层次模型动态绘制[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(12): 231-236.
Kong Jianhong, Yang Chao, Yu Xiaohui, et al. 3D Point Cloud Adaptive Levels of Detail Model Dynamic Rendering Based on Viewpoint[J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(12): 231-236.
- [9] 王珩玮, 胡振中, 林佳瑞, 等. 面向 Web 的 BIM 三维浏览与信息管理[J]. *土木建筑工程信息技术*, 2013, 5(3): 1-7.
Wang Hengwei, Hu Zhenzhong, Lin Jiarui, et al. Web-oriented BIM 3D Viewing and Information Management[J]. *Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture*, 2013, 5(3): 1-7.
- [10] Donkers S, Ledoux H, Zhao J, et al. Automatic conversion of IFC datasets to geometrically and semantically correct CityGML LOD3 buildings[J]. *Transactions in GIS* (S1361-1682), 2015, 20(4): 547-569.
- [11] 刘小军, 贾金原. 面向手机网页的大规模 WebBIM 场景轻量级实时漫游算法[J]. *中国科学: 信息科学*, 2018, 48(3): 274-292.
Liu Xiaojun, Jia Jinyuan. Mobile web-based lightweight and real-time roaming algorithm for large-scale WebBIM scenes [J]. *Scientia Sinica (Informationis)*, 2018, 48(3): 274-292.
- [12] Das M, Cheng J C, Kumar S S. Social BIMCloud: a distributed cloud-based BIM platform for object-based lifecycle information exchange[J]. *Visualization in Engineering* (S2213-7459), 2015, 3(1): 8.
- [13] 陈军, 郭显锋, 胡绕, 等. 基于 BIM 技术的地下管线三维可视化及其应用[J]. *工程地球物理学报*, 2018, 15(3): 313-320.
Chen Jun, Guo Xianfeng, Hu Rao, et al. Application of 3D Visualization of Underground Pipeline Based on BIM Technology[J]. *Chinese Journal of Engineering Geophysics*, 2018, 15(3): 313-320.
- [14] Liu X, Xie N, Tang K, et al. Lightweighting for Web3D visualization of large-scale BIM scenes in real-time[J]. *Graphical Models* (S1524-0703), 2016, 88: 40-56.
- [15] Abanda F H, Vidalakis C, Oti A H, et al. A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects[J]. *Advances in Engineering Software* (S0965-9978), 2015, 90: 183-201.
- [16] Chen H M, Chang K C, Lin T H. A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs[J]. *Automation in Construction* (S0926-5805), 2016, 71: 34-48.