

硕 士 研 究 生 读 书 报 告

徽标

描述已自动生成

题目 Low-poly Mesh Generation for Building Models读书报告

作者姓名 李亮

作者学号 22251295

指导教师 李启雷

学科专业 电子信息（软件工程）

所在学院 软件学院

提交日期 二〇二二 年 12月

Low-poly Mesh Generation for Building Models

A Dissertation Submitted to

Zhejiang University

in partial fulfillment of the requirements for

the degree of

Master of Engineering

Major Subject: Software Engineering

Advisor: Qilei Li

By

Liang Li

Zhejiang University, P.R. China

2022

**摘要**

游戏建模者为给定的三维建筑模型手工制作低聚网格，以实现小元素计数和视觉相似性之间的理想平衡，可能需要几个小时，还需要乏味的试验和错误。作者提出了一种新的和简单的算法，将高聚三维构建模型转换为简单且视觉上得到一定保留的低聚网格。作者的算法有三个阶段：首先，通过输入轮廓的布尔相交三维挤压生成一个水密的、无自碰撞的视觉船体；然后通过布尔减去部分输入的三维原语，从视觉船体中分离出显著但冗余的结构；最后，从雕刻网格中生成一个逐步简化的低聚网格序列，供用户选择所需的输出。作者的方法的每个阶段都由视觉度量指导，目的是保持与输入的视觉相似性。作者已经在一个包含100个不同风格的构建模型的数据集上测试了作者的方法，其中大部分都在流行的数字游戏中使用。通过与最先进的竞争技术进行比较，该方法具有优越的鲁棒性和质量。

**关键词**：网格简化，低聚网格，建筑模型

**Abstract:**

Game modelers manually create low-poly meshes for given 3D building models to achieve an ideal balance between small element count and visual similarity, which may take several hours and involve tedious trial and error. The authors present a new and simple algorithm that converts high-poly 3D building models into low-poly meshes that are simple yet visually retain certain characteristics of the input. The authors' algorithm has three stages: first, a watertight and self-collision-free visual hull is generated by boolean intersecting the input contours through 3D extrusion; then, significant but redundant structures are separated from the visual hull by boolean subtracting part of the input 3D primitives; finally, a progressively simplified low-poly mesh sequence is generated from the carved mesh for user selection of the desired output. Each stage of the authors' method is guided by visual metrics with the aim of maintaining visual similarity with the input. The authors have tested their method on a dataset of 100 different style building models, most of which are used in popular digital games. In comparison to state-of-the-art competing techniques, the method exhibits superior robustness and quality.

**Keywords**: mesh simplification, low-poly mesh, building model

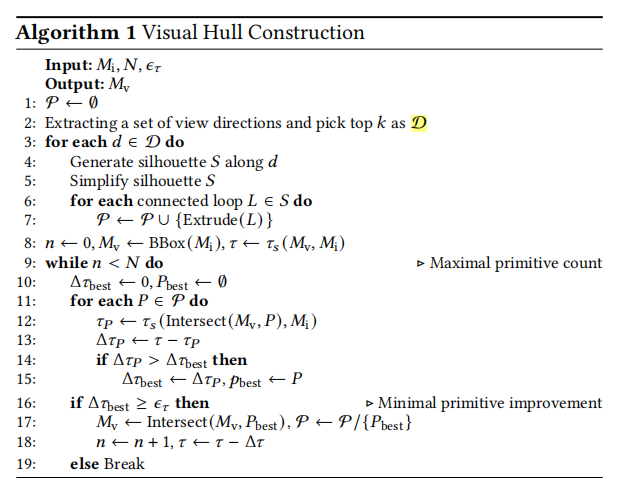
1. **引言**

构建模型是构成虚拟世界元宇宙的基本资产。不幸的是，构建建模者只关注抛光视觉外观，而没有保持干净的网格表示。通常，一个高度详细的构建模型可以具有复杂的拓扑和几何属性，即断开的组件、开放的边界、非流形边和自交点。另一方面，为实时应用程序渲染详细的构建模型可能代价昂贵，而细节级别（LOD）技术已被广泛用于最大化运行时性能。LOD渲染器不再使用高度详细的（高聚）3D模型，而是在远处的视图中使用低元素计数（低聚）网格。因此，低聚网格必须有一个相当小的元素计数，同时尽可能多地保持高聚模型的外观。

在这项工作中，作者提出了一种鲁棒的方法来有效地生成极低聚网格，可以作为最粗的水平。作者首先定义了一个视觉度量来定量测量低聚网格和高聚网格之间的视觉差异。然后，作者设计了作者的方法，包括三个阶段：首先，作者通过相交于贪婪地选择的一小组三维原语来构建一个粗糙的视觉船体，以最小化作者的视觉度量。这些原语是通过计算和分析来自多个视图方向的输入轮廓而生成的。第一阶段的结果被表示为视觉船体，它捕获输入的轮廓，但可能会错过重要的凹特征。作者的第二阶段通过减去冗余体积来从视觉船体生成雕刻网格来恢复凹特征。作者再次部署了一个贪婪的策略，通过最小化雕刻的网格和输入之间的视觉度量来选择渴望的原语。由于布尔操作中涉及的所有三维形状都是水密的，并且作者使用精确的算法进行计算，因此生成的雕刻网格保证是水密的和无自交的。作者的最后阶段通过逐步对雕刻的网格应用边缘折叠和边缘翻转来获得低聚网格。

1. **方法**
2. 视觉船体生成

这一阶段的目的是生成一个拓扑上简单和几何上干净的视觉外壳，同时捕获突出结构的视觉外观。然而，生成了一个精确的视觉船体会生出太多的小特征和细节。相反，作者提出了一个新的程序来生成一个简化的可视化船体[1]。给定𝑀i，作者首先为每个顶部的𝑘视图方向生成一个剪影。作为作者偏离标准视觉船体构建方法的第一个出发点，然后作者将对每个剪影的二维空间进行无自交简化。在这一点上，一个标准的视觉船体可以通过挤压轮廓。作者的第二个出发点是将轮廓进一步分解成连接的二维循环，作者将一个挤压循环表示为原语。与其考虑一组挤压的轮廓，一个更大的原语集允许对视觉船体更精细地控制的复杂性。具体地说，作者将𝑀v初始化为𝑀i的边界框，并使用贪婪算法通过布尔运算将𝑀v与次优原语𝑃迭代相交。每个步骤的细节描述如下。



生成视图方向（第2行）：为了简化网格，可以使用有限数量的视图方向来生成轮廓和相应的原语，因此视图方向的质量将显著影响𝑀v的质量。例如，一个立方体的理想视图方向应该平行于立方体面，沿着它与两个挤压轮廓的布尔相交将雕刻出精确的立方体。基于此观察结果，作者引入了以下四阶段策略来提取给定𝑀i的潜在视图方向。首先，作者将每个连接分量的三角形分组为区域，其中两个三角形的二面角接近𝜋，直到阈值𝛼时合并。接下来，作者使用L2度量对每个区域拟合一个平面，从而得到一组拟合平面K。第三，对于每一对飞机K，正常方向的交叉积会导致方向平行于两个平面，导致视图方向集d.作者考虑两个方向𝑑𝑖和𝑑𝑗重复如果|cos（𝑑𝑖，𝑑𝑗）|≥cos𝛽，𝛽是一个超参数设置为一个小值。最后，作者将一个权重与D中的每个视图方向关联起来，它等于两个平面区域的面积之和。根据经验，作者发现，更高的权重表明更多的表面区域可以被剪影捕获。因此，作者根据视图方向的权重对视图方向进行排序，并选择顶部的𝑘方向作为最终的方向集。计算剪影（第4行）：为了从视图方向𝑑计算剪影，作者将所有𝑀i的面投影到垂直于𝑑的平面上。然后使用二维布尔并集得到相应的轮廓形状，其中顶点坐标用整数表示，用于快速和鲁棒的计算。生成的剪影形状保证没有自相交。

简化的轮廓（第5行）：即使有少量的视图方向，他们生成的视觉船体仍然可以包含太多的小尺度细节，因为他们复杂的轮廓。为了解决这个问题，作者通过二维简化和形状尺寸过滤过程使每个剪影进一步降低复杂性。作者的二维简化使用三角简化方法实现有理数算法，首先生成一个三角符合的轮廓循环，然后同时简化循环通过三角网格简化拓扑一致性，翻转，和自交自由可以保证。简化停止在一个平方距离准则𝜖2𝑑上。经过简化后，作者计算轮廓的每个环路的面积，如果其面积小于𝜖𝑎，则直接从轮廓中丢弃。

生成原语（第6行）：为了从剪影中得到原语集P，作者从剪影中提取所有的边界循环，其中逆时针（ccw）循环被标记为实心，顺时针（cw）循环被标记为空心。所有实心循环合并成一个ccw循环，每个空心循环𝐿通过计算减法（BBox，𝐿）提取为一个独立的cw循环，其中BBox是轮廓的二维边界框，减法（，）是布尔减法算子。最后，每个循环都沿着视图方向进行挤压，以推导出一组三维原语。图6显示了从输入网格中生成的原语的一个示例。

选择下一个最佳原语（第9行）：作者的视觉船体是由布尔相交贪婪选择的𝑃best∈P。为了选择下一个𝑃best，作者遍历所有原语𝑃∈P并创建一个暂定的相交（𝑀v，𝑃），其中相交（，）是布尔相交运算符。通过测量暂定网格和𝑀i之间的视觉差异，作者选择𝑃best作为导致视觉差异最小的原始值。请注意，作者与𝑑𝑛使用了一个略有不同的视觉差异版本来选择原语。这是因为算法专注于生成类似的轮廓，而作者并不关心内部的几何形状。实际上，网格被投影到二维平面上，去掉了轮廓内部的所有几何特征。因此，作者提出了另一个操作符𝑅𝑠（𝑀，𝑑），它将网格𝑀呈现为一个模板缓冲区，二进制屏蔽被遮挡的像素并丢弃正常信息。

1. 雕刻网格生成

作者的视觉船体继承了只捕捉剪影而忽略其他特征的限制。其中一个显著的特征是凹形网格部分所示。为了克服这一限制，作者建议通过分割出冗余的体积块，将𝑀v细化为𝑀c，并进一步减少𝑀c和𝑀i之间的视觉差异。如算法2中所述，作者采取以下步骤。首先，作者考虑平面集K中的top-𝑘平面，它们按相应的区域区域排序。每个平面𝐾∈K将𝑀i分成两部分，作者只保留正侧，记为𝑀i𝐾+。在平面装配过程中，平面是法线和位置预先确定的，选择正部分是为了避免对建筑物底部不必要的雕刻。接下来，作者将𝑀i𝐾+投影到𝐾上，以获得其轮廓𝑆。作者还计算了𝑆在𝐾上的放大边界平方𝐵。

1. 低聚网格生成

在前两步之后，雕刻的网格𝑀c可以在很大程度上保留输入的视觉外观，但可能有更多的三角形比用户的愿望。作者的最后一步是简化𝑀c，以获得一个低聚网格，同时保持与输入的低视觉差异。具体来说，作者首先通过边缘折叠和边缘翻转操作符逐步重新网格𝑀c网格，直到没有更多的三角形，只存储三角形数小于𝑇的网格，其中𝑇是用户可以容忍的最大元素计数。然后，作者使用帕累托效率的概念来对这些网格进行排序：面孔的数量和视觉差异𝜏𝑛，并保留那些在帕累托集中的网格。由于从这个网格集中选择𝑀o在实践中经常涉及到主观因素，作者最终将网格在帕累托集合中可视化，并让一个游戏建模者手动选择𝑀o作为输出。如果需要，作者还可以在𝜏𝑛明显增加之前自动从帕累托设置中导出一个网格。

1. **结论**

作者提出了一种新的和有效的方法来生成数字游戏中常用的三维构建模型的低聚表示。作者的关键思想是依赖视觉船体来生成拓扑上简单的代理网格，设计新的算法来构造和雕刻视觉船体使用选定的原语，以保证结构简单。当低聚网格的期望三角形数大于1𝑘时，传统的重网格方法和商业解决方案往往是足够好的。该方法专门用于生成LOD层次结构中最粗糙的网格，在移动应用程序表现最好。

1. **引用**

[1] Wojciech Matusik, Chris Buehler, and Leonard McMillan. 2001. Polyhedral Visual Hulls for Real-Time Rendering. In Proceedings of the 12th Eurographics Workshop on Rendering Techniques. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 115–126.