



几何处理与模型简化

高希峰 腾讯光子研究员

自我介绍



2021 – 至今 专家研究员 腾讯光子工作室群技术中心

2018 – 2021 Tenure-track助理教授 弗罗里达州立大学计算机系

2016 – 2018 博士后 纽约大学柯朗所计算机应用专业

2011 – 2016 博士 休斯敦大学

2004 – 2011 学士/硕士 山东大学



研究成果：

- 平面/曲面/体/高阶的网格生成与优化
- 机器人路径生成与优化
- 计算机辅助设计与制造



课程内容与目标



内容

1. 涵盖三维模型的多种表示形式，在实际应用中常见的基本拓扑和几何概念，三维网格模型的不同的简化方法；
2. 重点介绍以图形渲染为应用背景的几种模型减面方法，包括保纹理的贪心式减面算法，不保纹理的重新网格化，展UV和纹理烘焙的减面管线，及对植被类场景应用的广告牌方法。

目标

1. 理解保纹理与不保纹理减面管线的算法流程，掌握经典减面算法的核心思想；
2. 能独立的程序实现保纹理减面算法并用来处理常见的三维模型。

课程作业



内容

1. 基于经典的Quadratic Error Metric的模型简化算法c++实现
2. 支持顶点的不同属性的模型简化算法c++实现，需要能处理带纹理的模型
3. 基础可编译并执行代码和细节要求见 <https://github.com/Chaphlagical/GAMES106-HW5>

目录

01 三维模型表示

02 模型简化方法概况

03 保纹理的模型减面

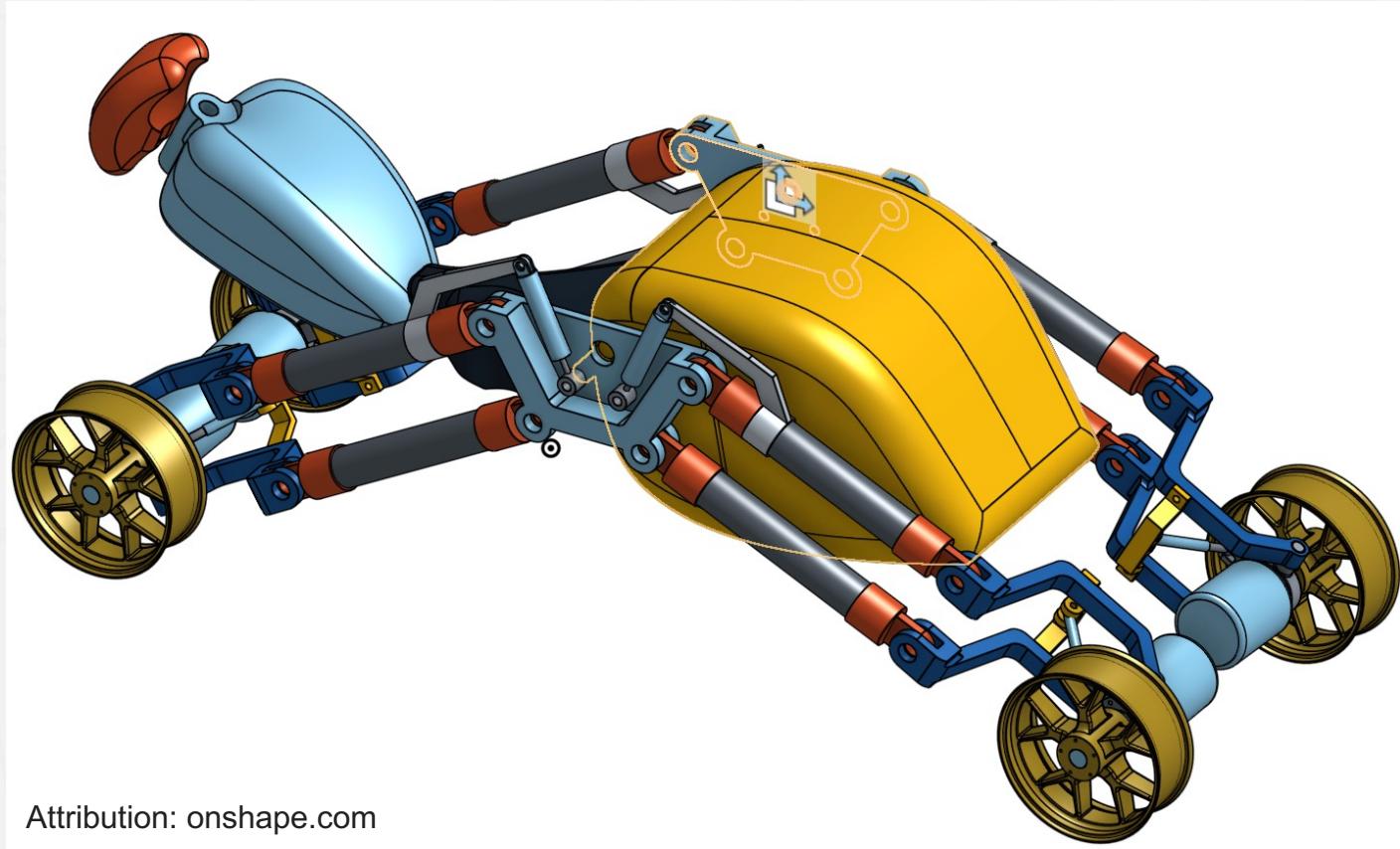
04 不保纹理的模型减面

05 总结

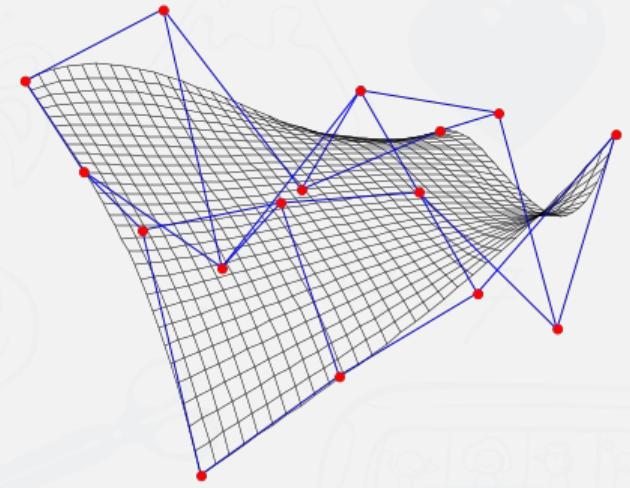
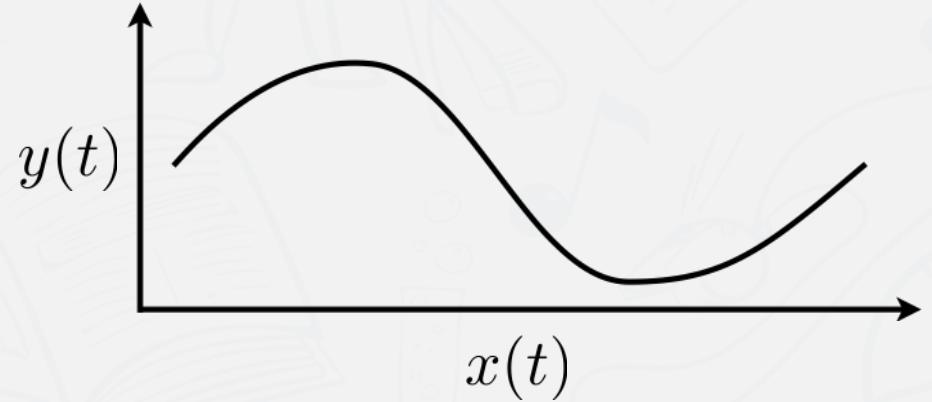


三维模型表示

模型表示

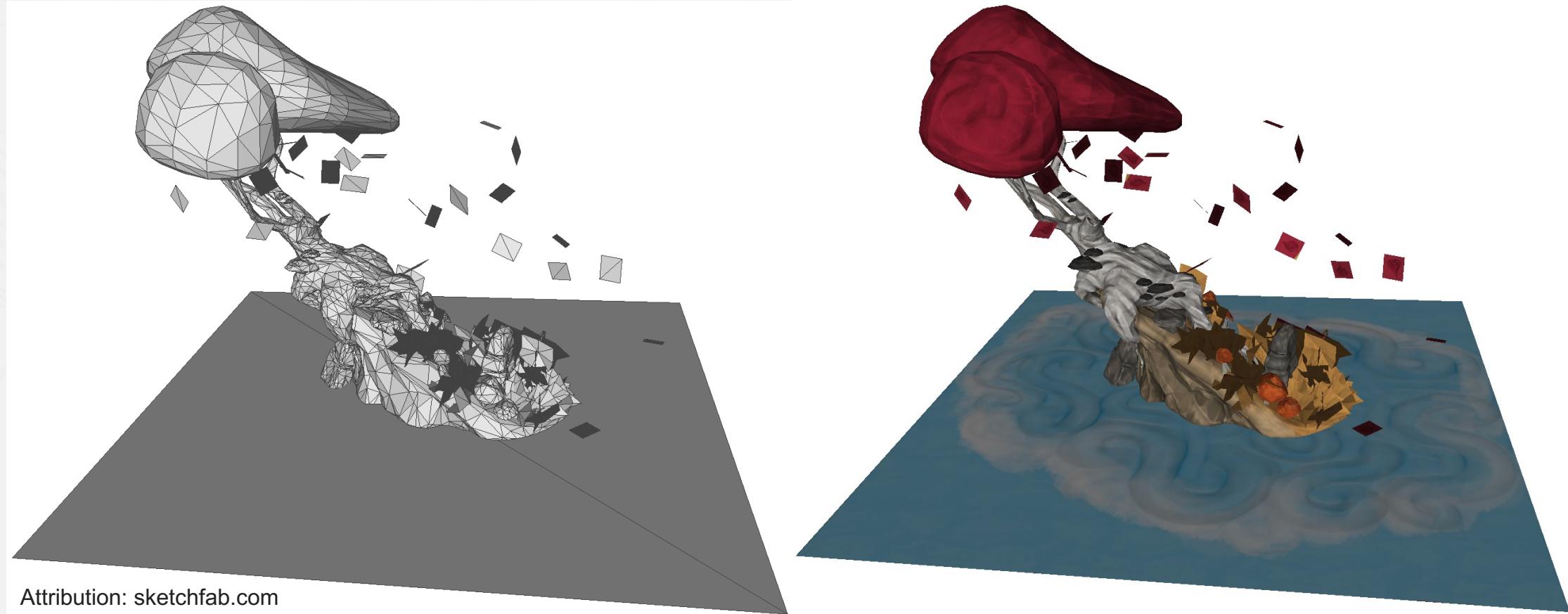


参数曲线曲面



Attribution: Wojciech mula at Polish Wikipedia

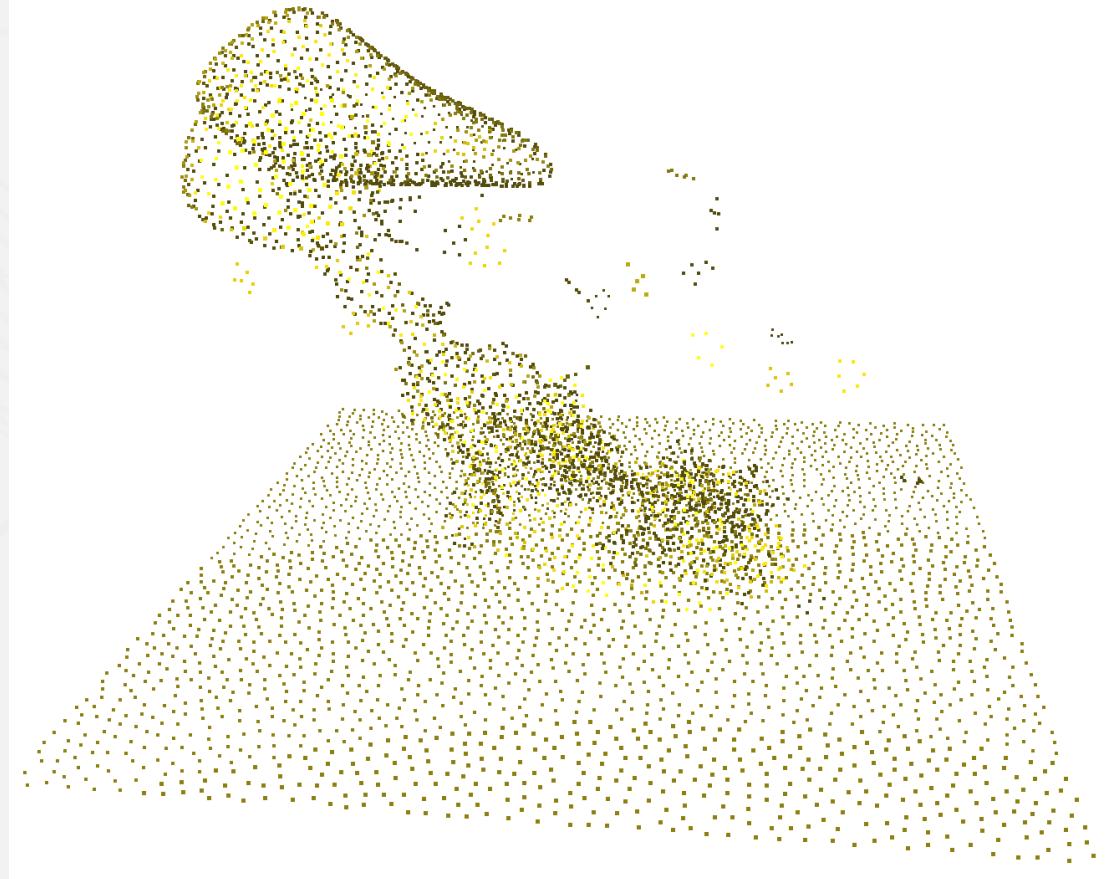
模型表示



Attribution: sketchfab.com

网格模型

模型表示



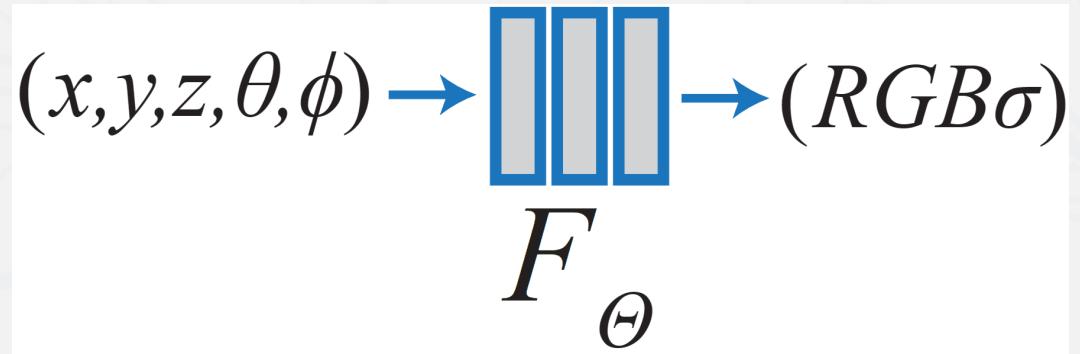
点云



[Delio et al, SIGGRAPH 2022]

隐式距离场

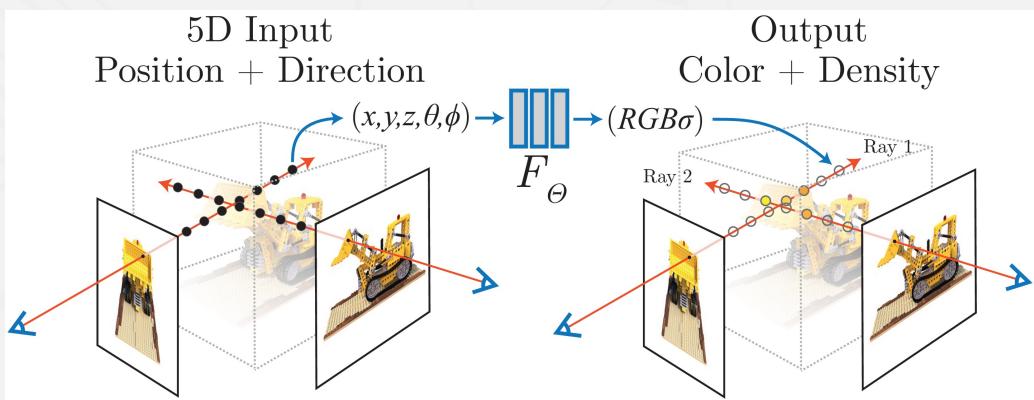
模型表示



[Mildenhall et al, ECCV 2020]

神经辐射场(Nerf)

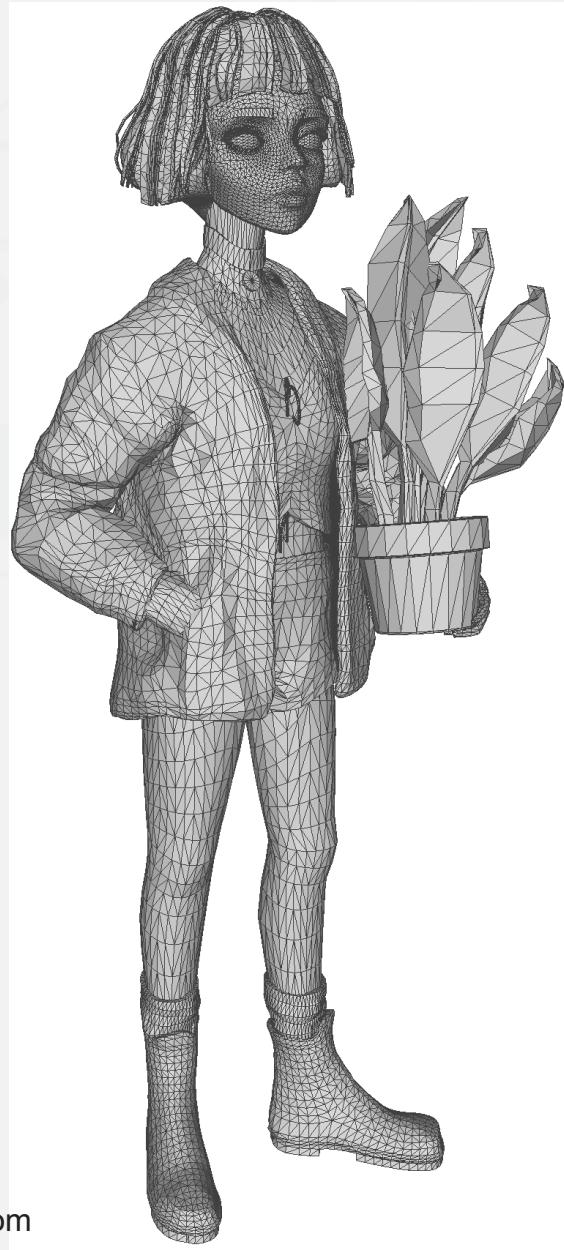
模型表示



[Mildenhall et al, ECCV 2020]

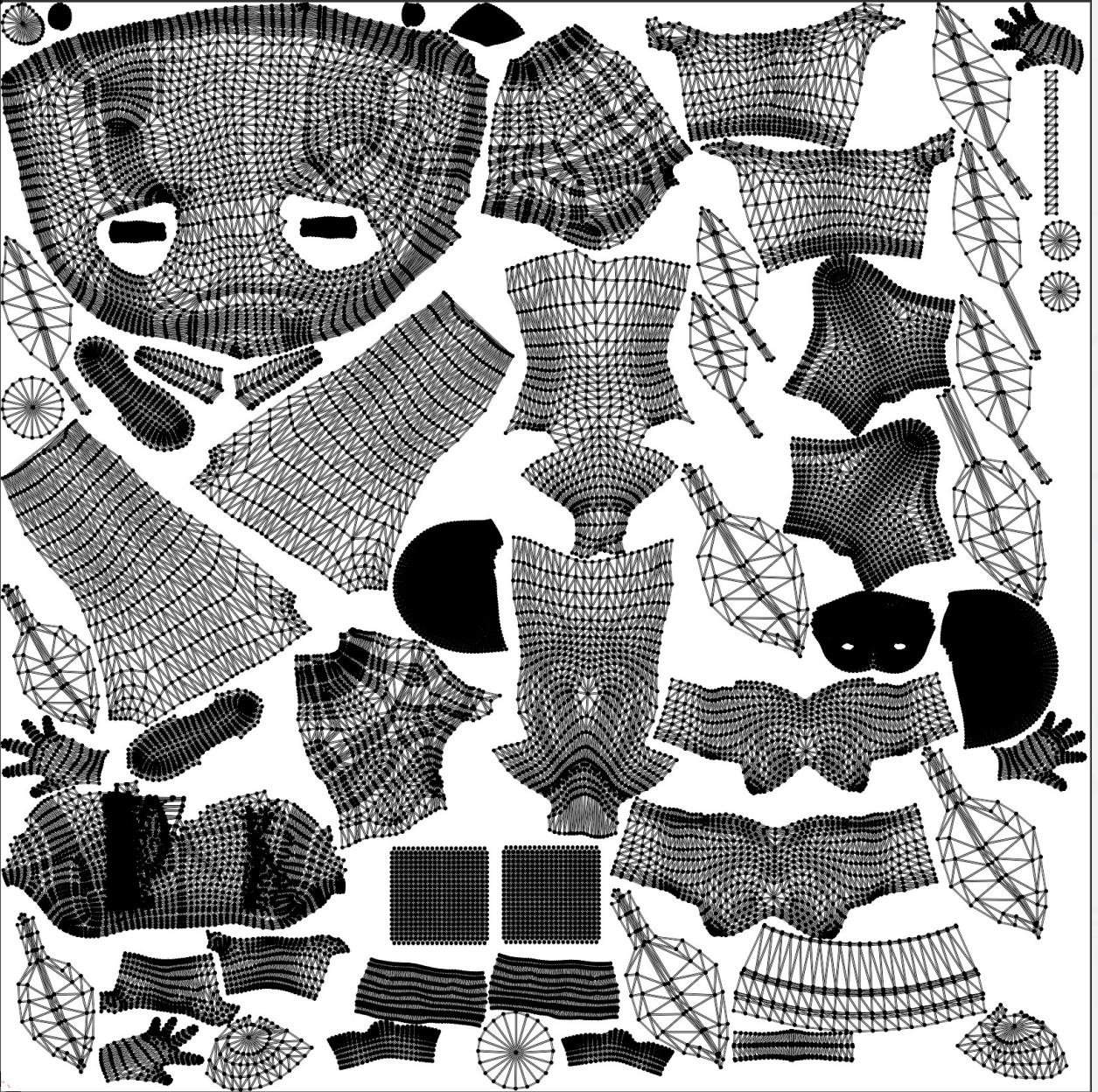
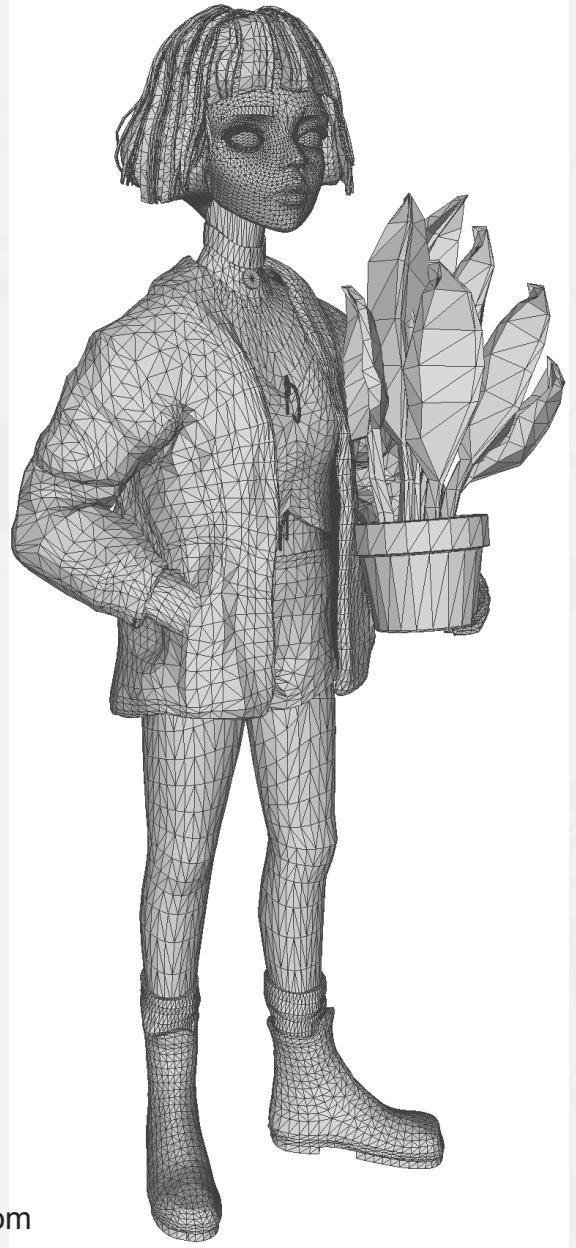
神经辐射场(Nerf)

网格模型表示



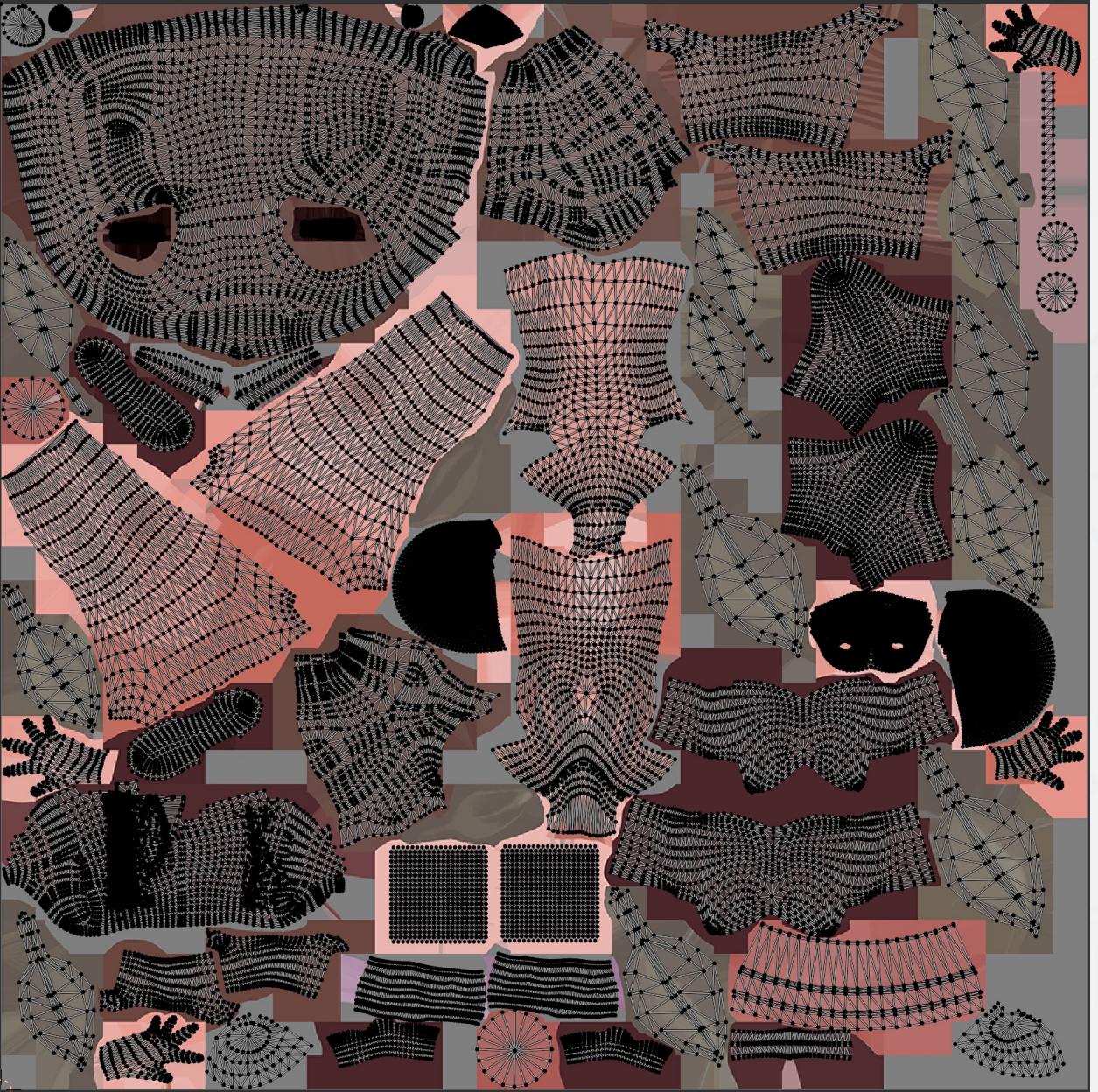
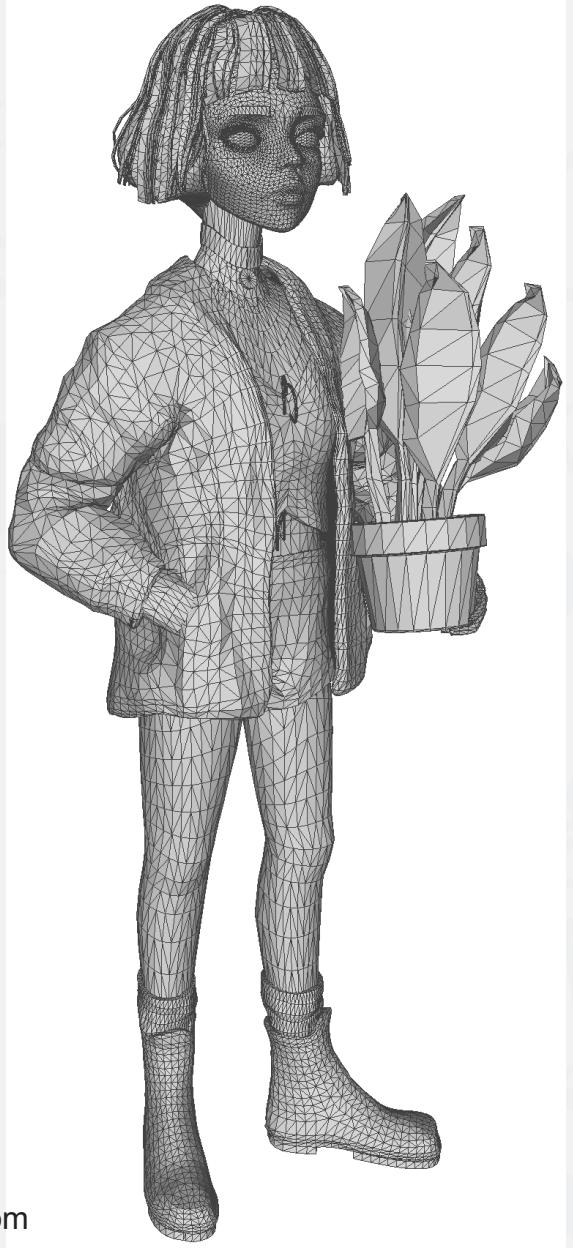
Attribution: sketchfab.com

网格模型表示



Attribution: sketchfab.com

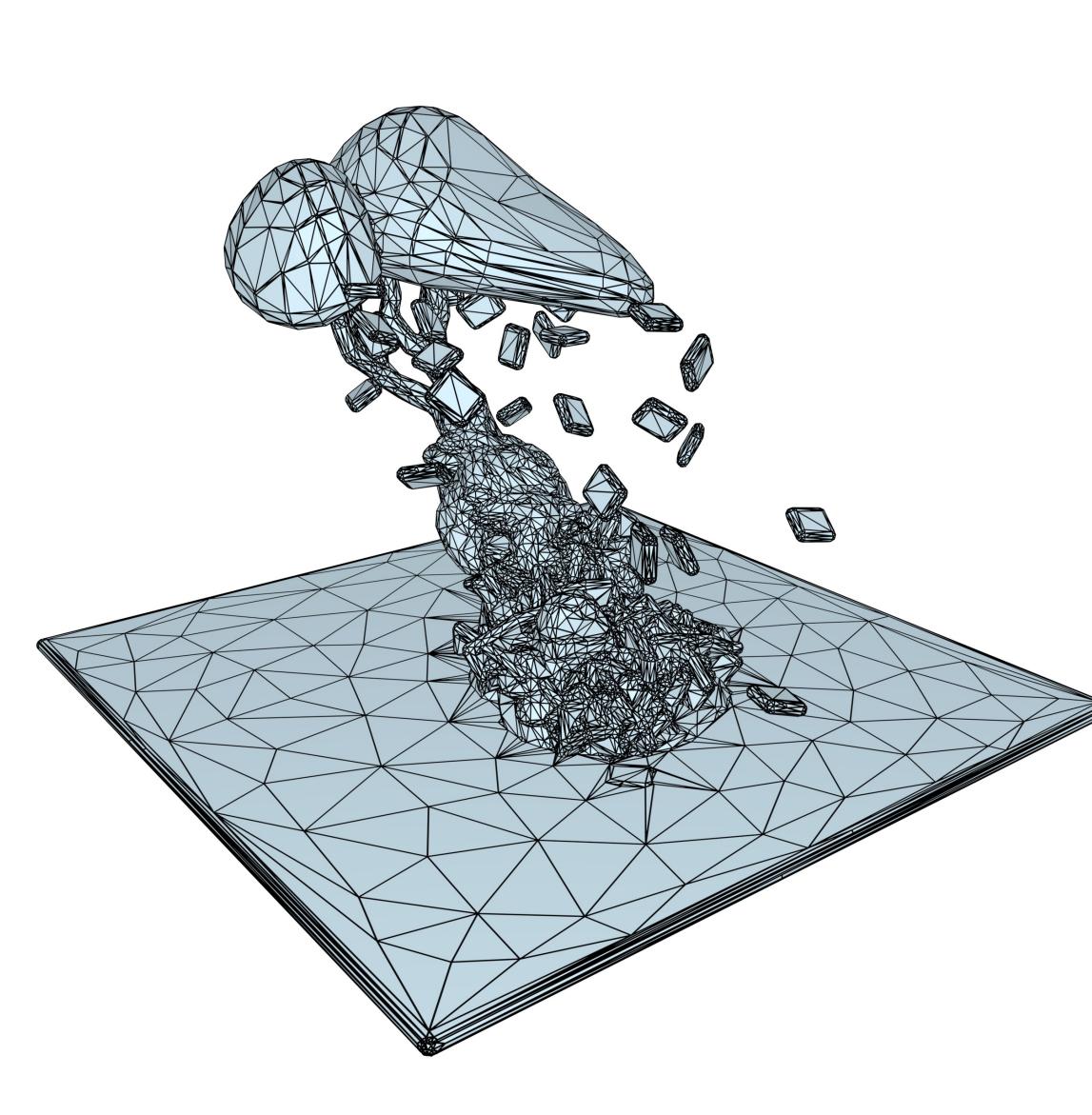
网格模型表示



Attribution: sketchfab.com

网格模型基本概念

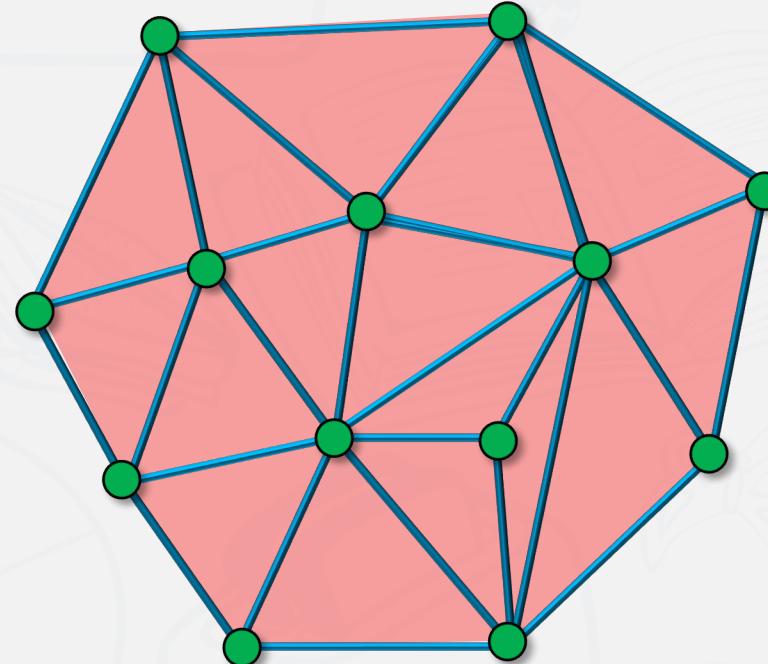
- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构



网格模型基本概念



- **连接关系**
- 拓扑
- 几何
- 数据结构



$\{V, E, F\}$

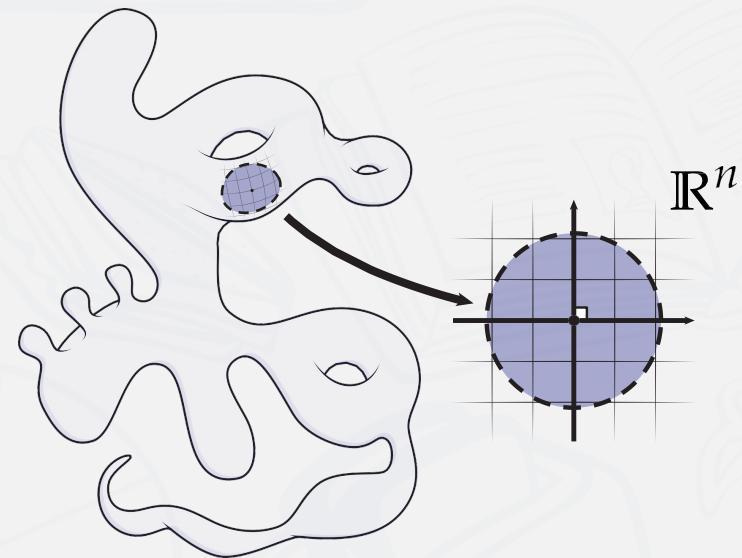
邻域

边界单元

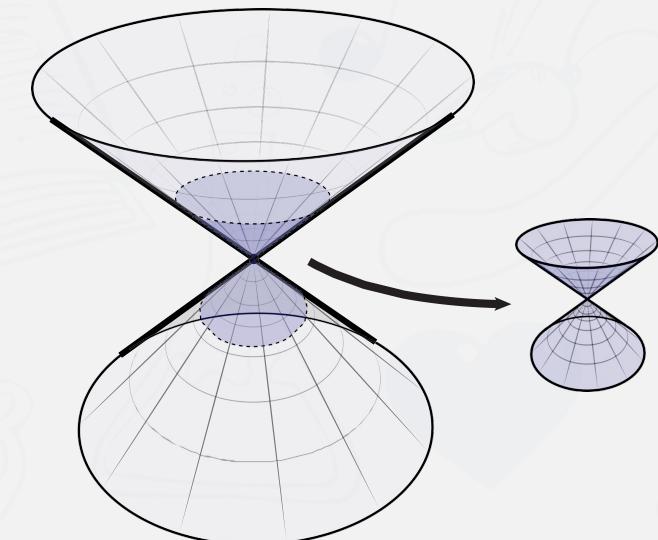
网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构



流形



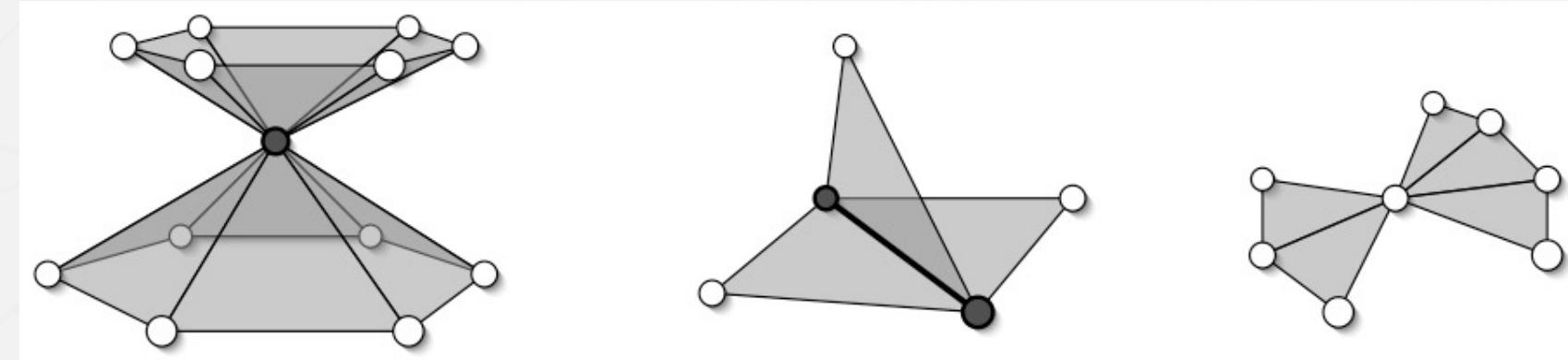
Attribution: Keenan Crane

非流形

网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构



不同情况的非流形

网格模型基本概念

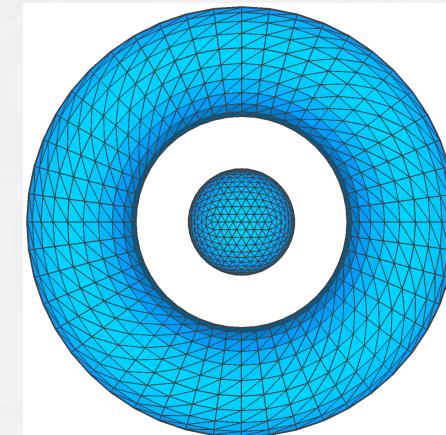


欧拉 — 庞克来公式

- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

$$v - e + f = 2s - 2g - h$$

顶点数 边数 面数 **连通数** 亏格 洞数



网格模型基本概念

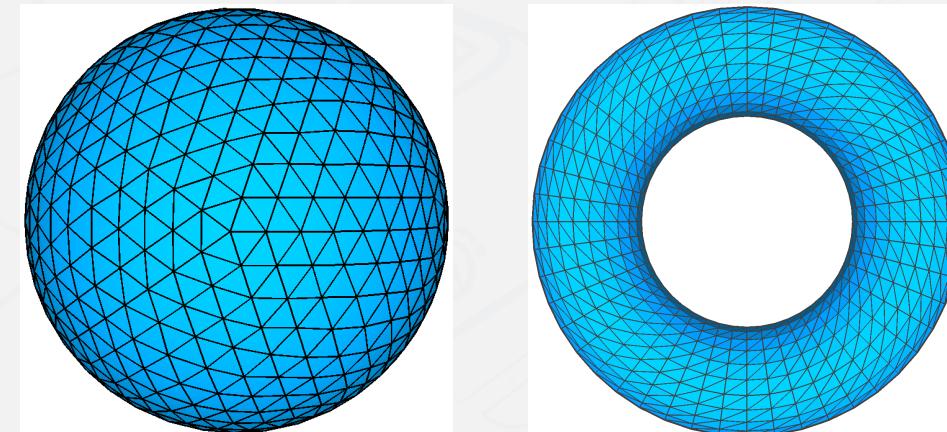


欧拉 — 庞克来公式

- 连接关系
- **拓扑**
- 几何
- 数据结构

$$v - e + f = 2s - 2g - h$$

顶点数 边数 面数 连通数 亏格 洞数



网格模型基本概念

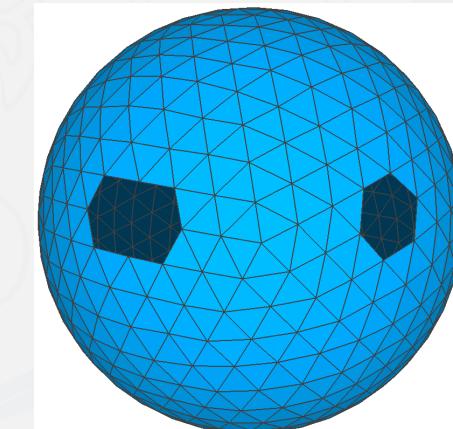
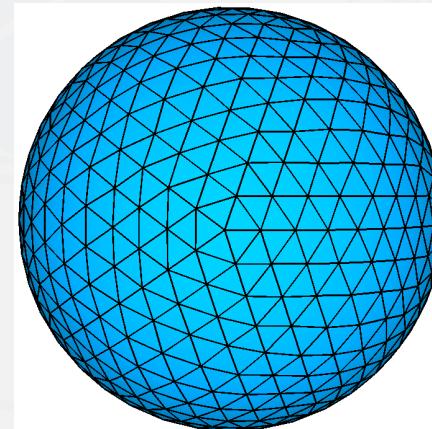


欧拉 — 庞克来公式

- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

$$v - e + f = 2s - 2g - h$$

顶点数 边数 面数 连通数 亏格 洞数



网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长	面积	二面角	法向	相交
退化单元	包围盒	曲率	特征	
Hausdorff 距离		面翻转	凸包	

网格模型基本概念

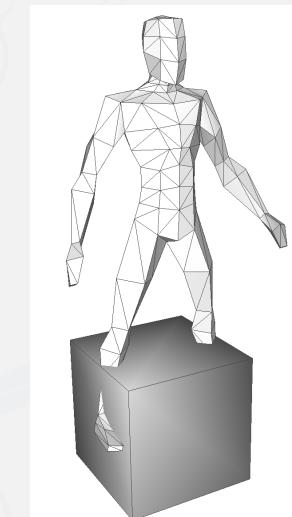
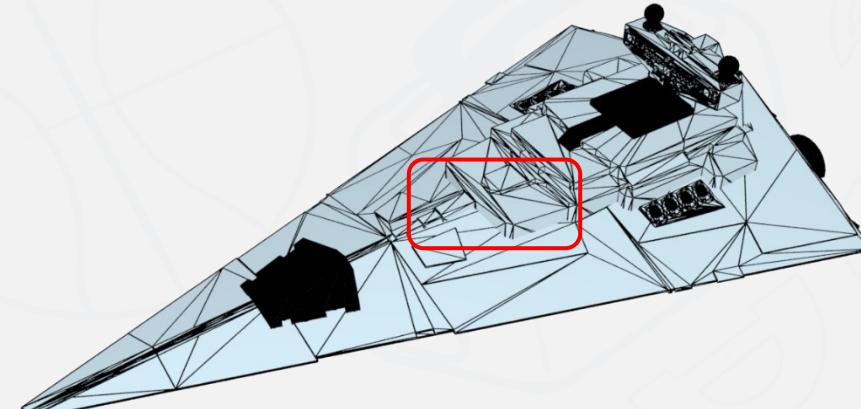


- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长 面积 二面角 法向 相交

退化单元 包围盒 曲率 特征

Hausdorff 距离 面翻转 凸包



网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长	面积	二面角	法向	相交
退化单元	包围盒	曲率	特征	
Hausdorff 距离		面翻转	凸包	



网格模型基本概念

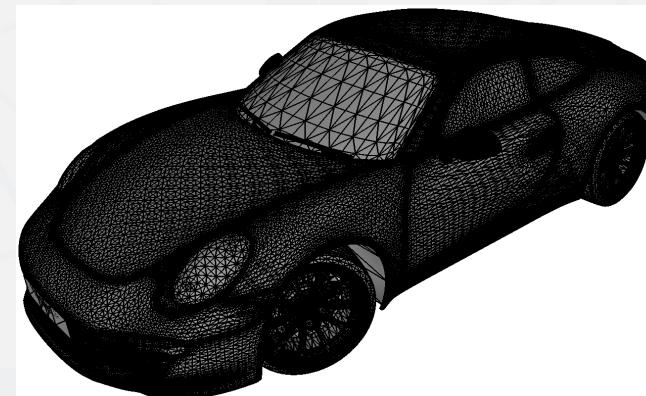


- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长 面积 二面角 法向 相交

退化单元 包围盒 曲率 特征

Hausdorff 距离 面翻转 凸包



网格模型基本概念

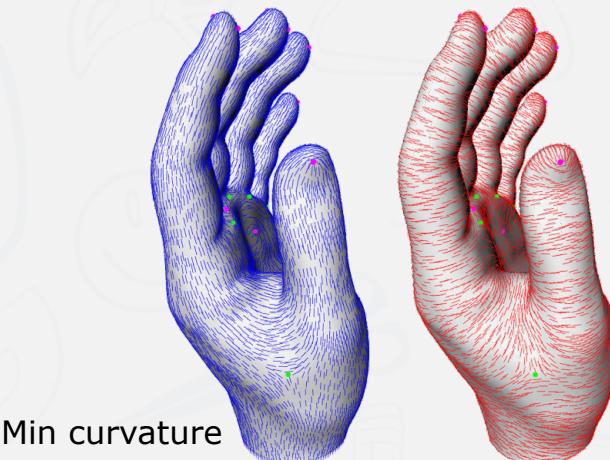
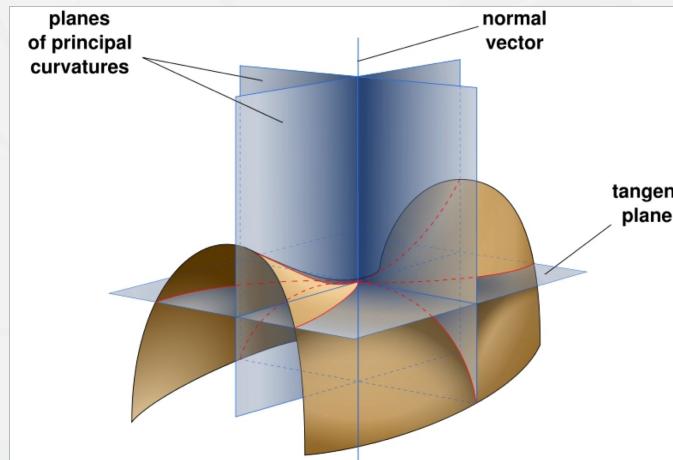


- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长 面积 二面角 法向 相交

退化单元 包围盒 曲率 特征

Hausdorff 距离 面翻转 凸包



网格模型基本概念

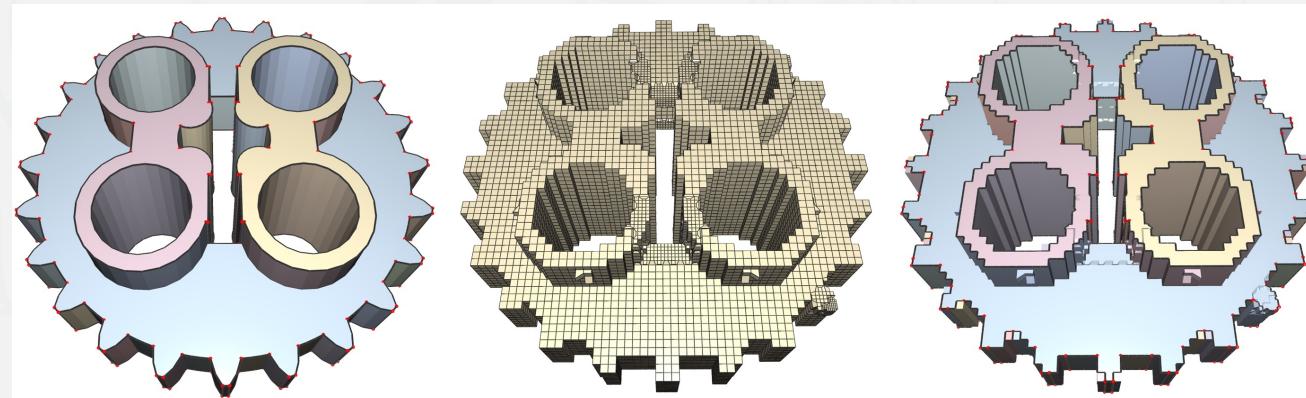


- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长 面积 二面角 法向 相交

退化单元 包围盒 曲率 **特征**

Hausdorff 距离 面翻转 **凸包**



网格模型基本概念

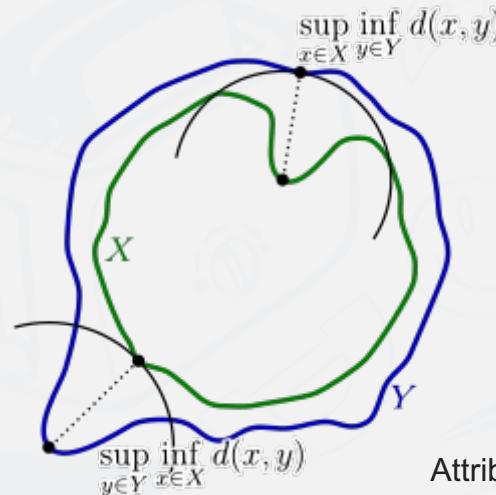


- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长 面积 二面角 法向 相交

退化单元 包围盒 曲率 特征

Hausdorff 距离 面翻转 凸包



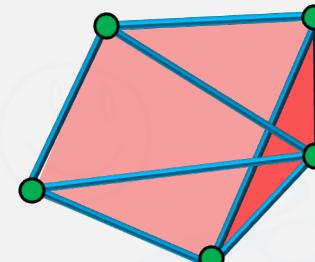
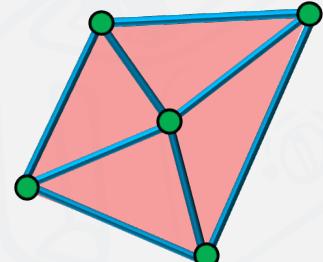
Attribution: Wikipedia

网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长 面积 二面角 法向 相交
退化单元 包围盒 曲率 特征
Hausdorff 距离 面翻转 凸包

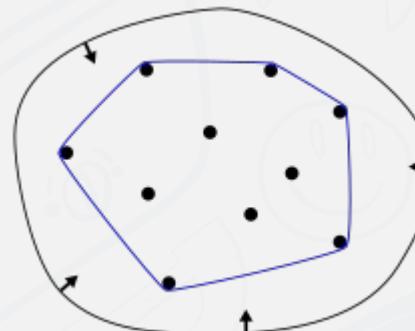


网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

边长 面积 二面角 法向 相交
退化单元 包围盒 曲率 特征
Hausdorff 距离 面翻转 **凸包**



网格模型基本概念

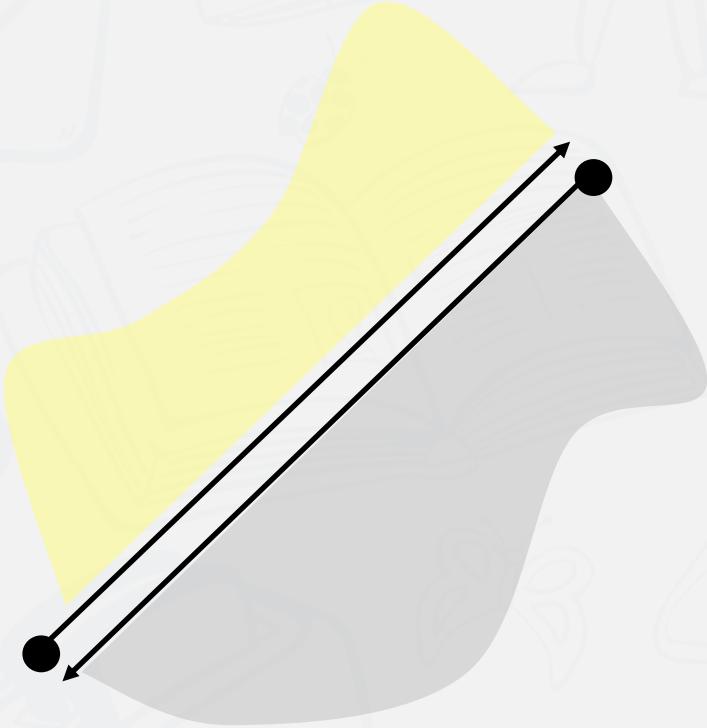


- **连接关系**
- **拓扑**
- **几何**
- **数据结构**
- 存储关于网格的信息
 - 几何：顶点位置
 - 基本单元：边，面
 - 邻接关系：点的邻接边，边的邻接面等
- 简洁与效率的平衡
 - 存储空间
 - 数据获取操作
 - 数据更新操作

网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构



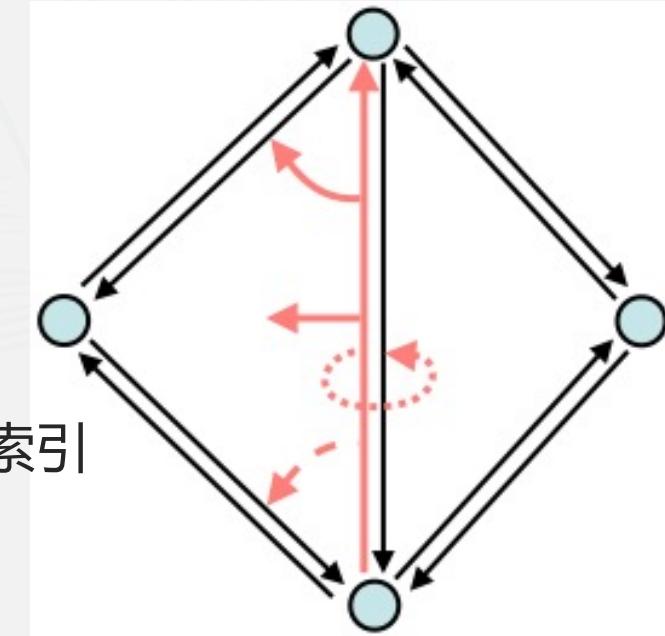
半边结构

网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

- 顶点
 - 顶点位置
 - 对邻接半边的索引
- 边
 - 起始点的索引
 - 左边的邻接面的索引
 - 同一个面内上一个和下一个半边的索引
- 面
 - 一条它包含的半边的索引

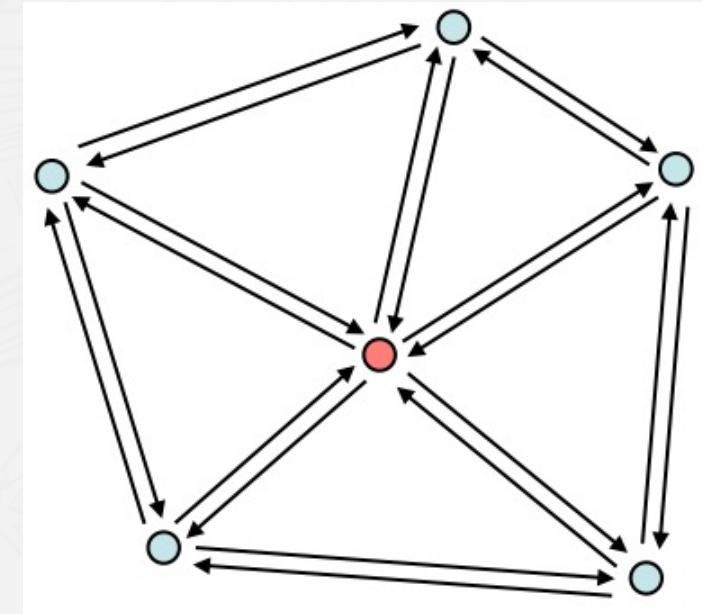


半边结构

网格模型基本概念



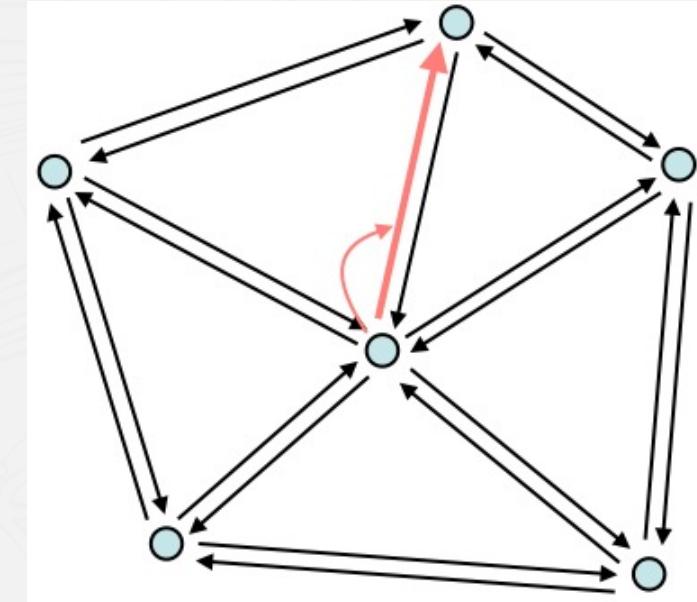
- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构
- 遍历一个顶点的一环领域
 - 从该顶点出发



半边结构

网格模型基本概念

- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构
 - 遍历一个顶点的一环领域
 - 从该顶点出发
 - 该顶点索引的半边

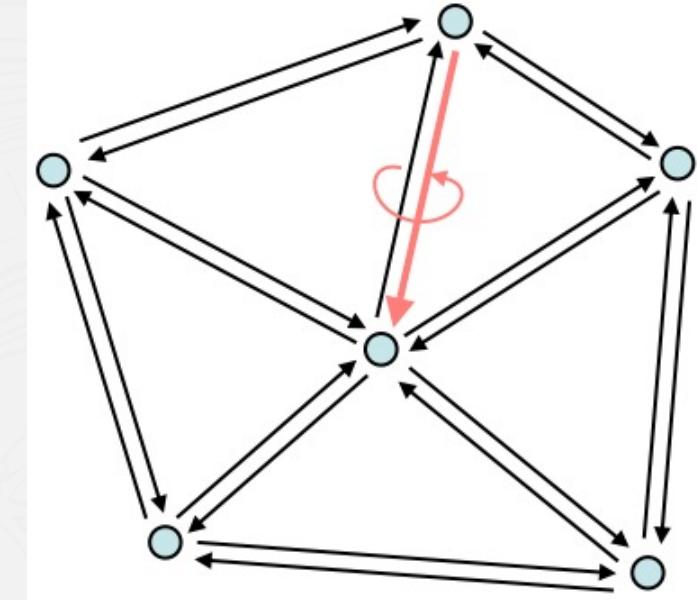


半边结构

网格模型基本概念

- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

- 遍历一个顶点的一环领域
 - 从该顶点出发
 - 该顶点索引的半边
 - 该半边的对边

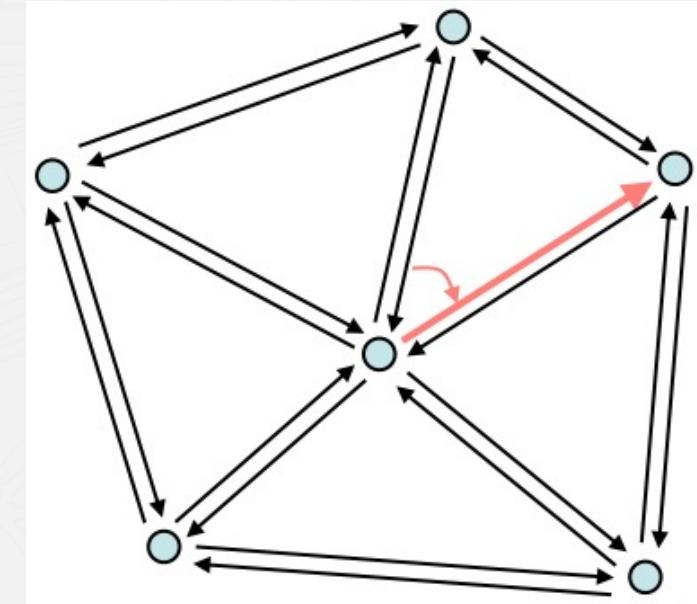


半边结构

网格模型基本概念



- **连接关系**
- **拓扑**
- **几何**
- **数据结构**
- 遍历一个顶点的一环领域
 - 从该顶点出发
 - 该顶点索引的半边
 - 该半边的对边
 - 该对边索引的下一个半边



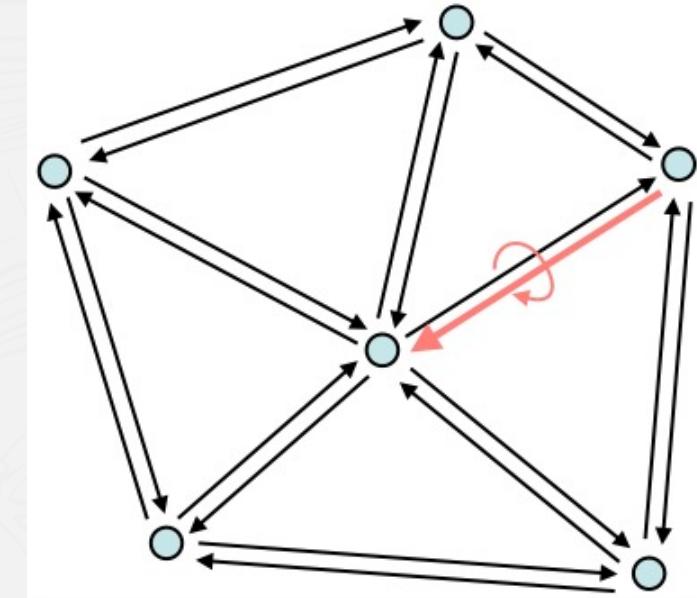
半边结构

网格模型基本概念



- 连接关系
- 拓扑
- 几何
- 数据结构

- 遍历一个顶点的一环领域
 - 从该顶点出发
 - 该顶点索引的半边
 - 该半边的对边
 - 该对边索引的下一个半边
 - 当前半边的对边



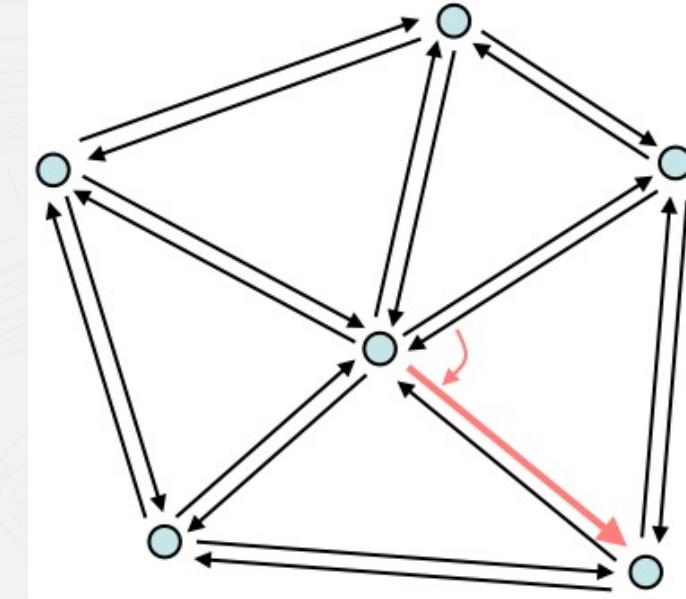
半边结构

网格模型基本概念



- **连接关系**
- **拓扑**
- **几何**
- **数据结构**

- 遍历一个顶点的一环领域
 - 从该顶点出发
 - 该顶点索引的半边
 - 该半边的对边
 - 该对边索引的下一个半边
 - 当前半边的对边
 - 该对边索引的下一个半边
 -



半边结构

目录

01 网格模型表示

02 模型简化方法概况

03 保纹理的模型减面

04 不保纹理的模型减面

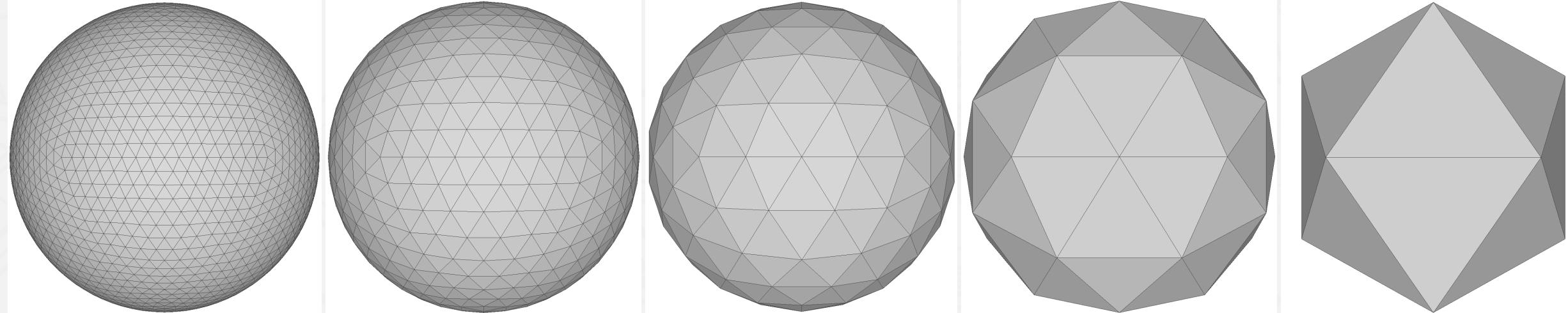
05 总结



模型简化方法概况



层次细节 (LOD) 渲染



面数 : 5120

1280

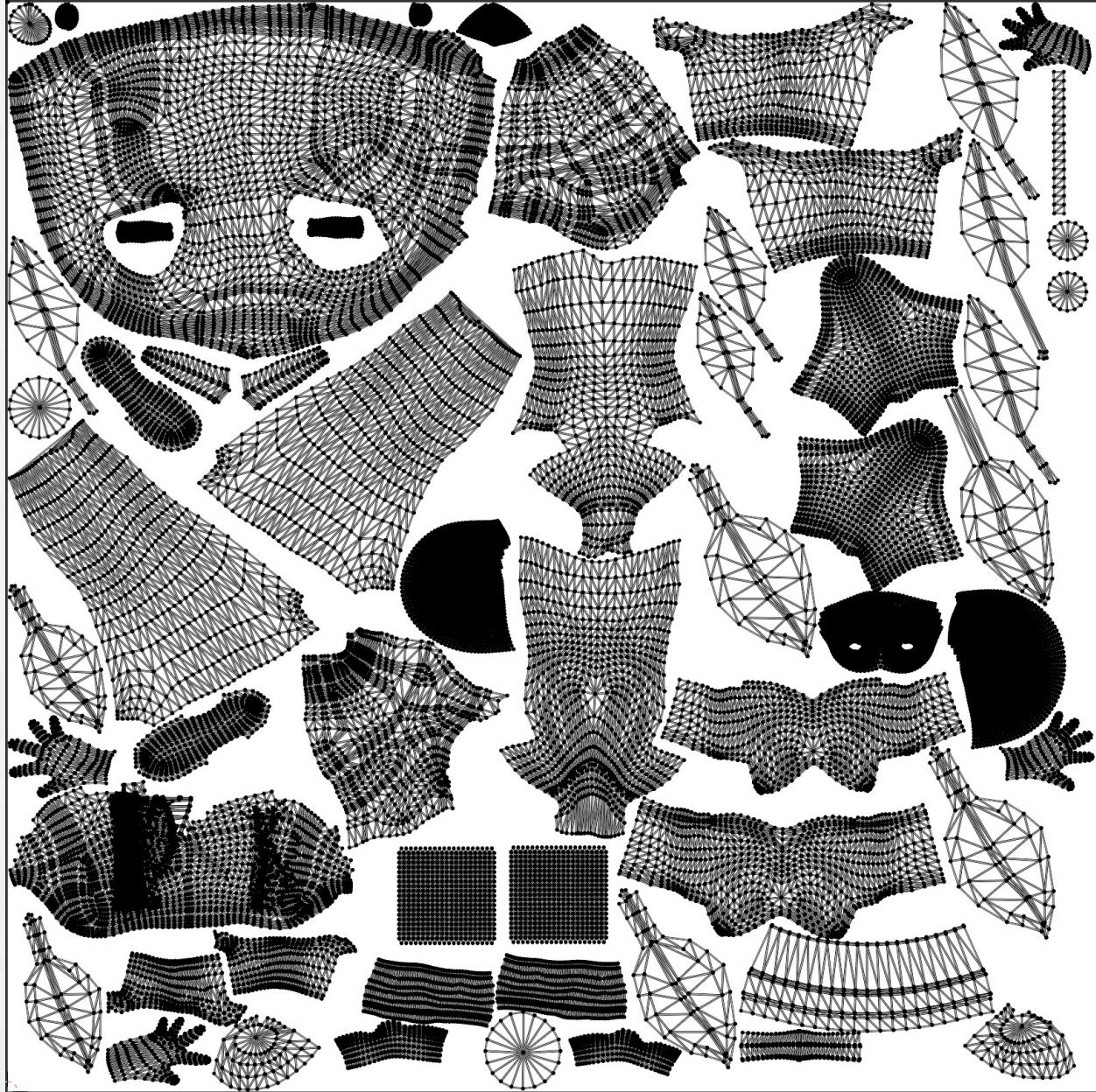
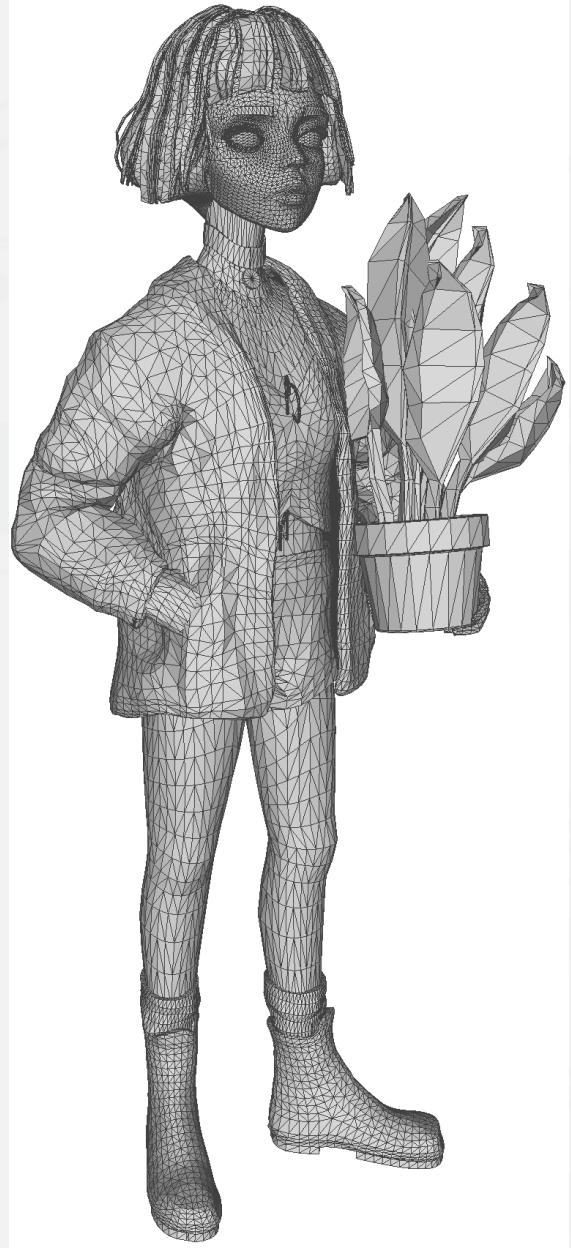
320

80

20

白模

层次细节 (LOD) 渲染

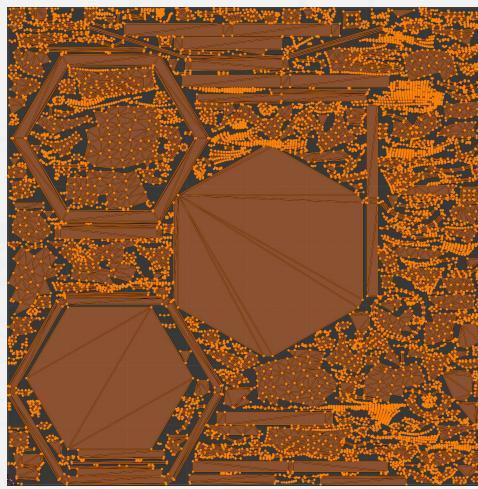
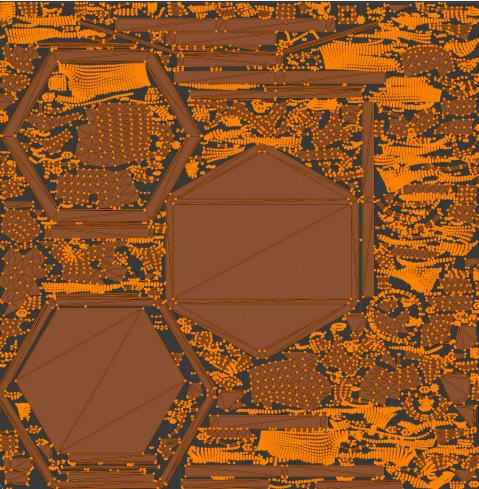
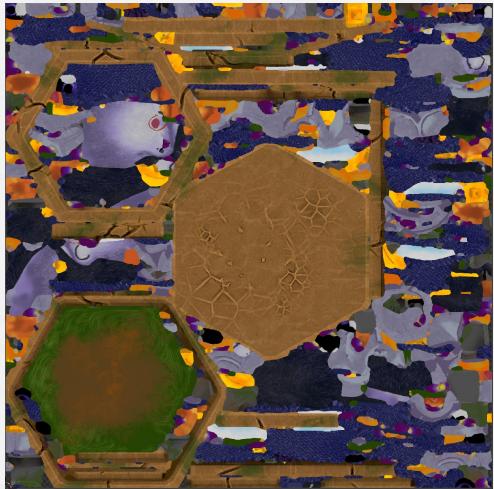


模型简化方法概况



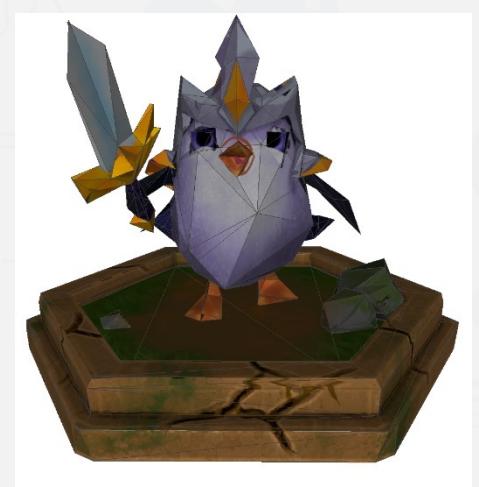
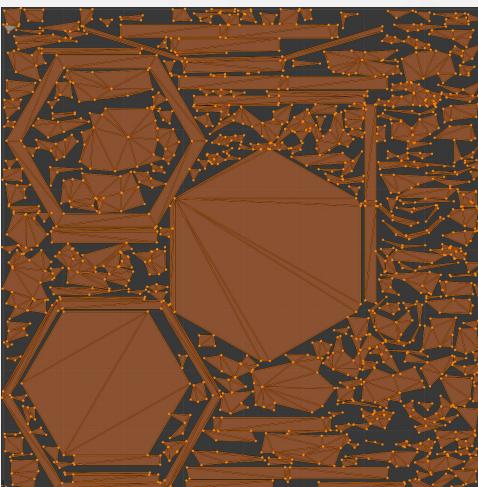
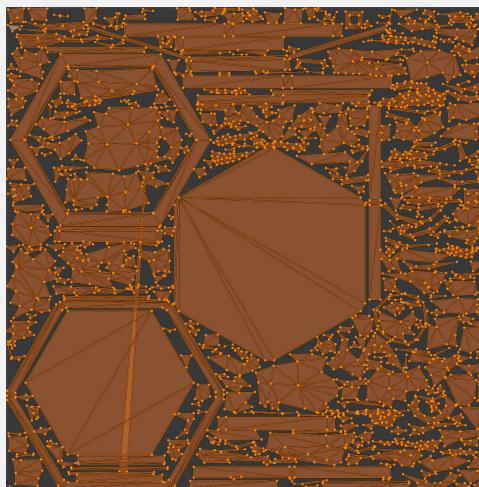
- 保纹理的减面算法
- 不保纹理的减面算法

保纹理的减面算法



面数 : 18163

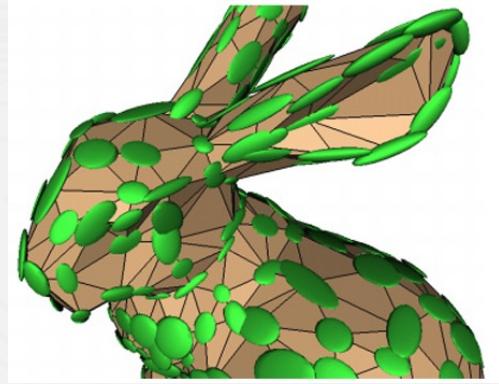
9081



1815

908

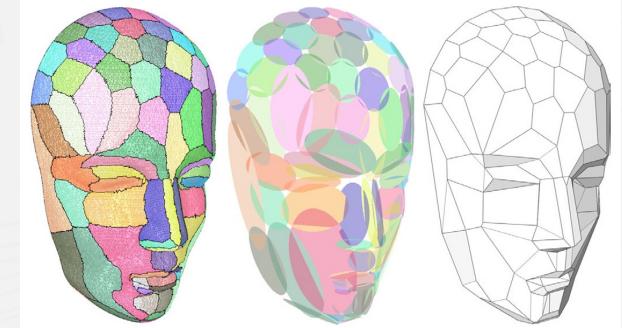
保纹理的减面算法



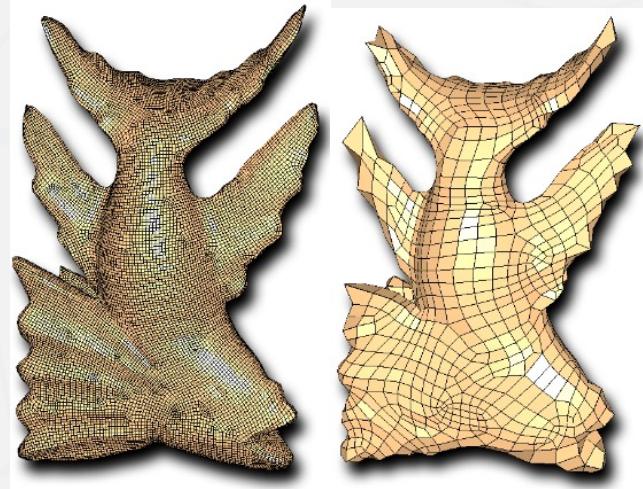
[Michael et al, IEEE Vis 1998]



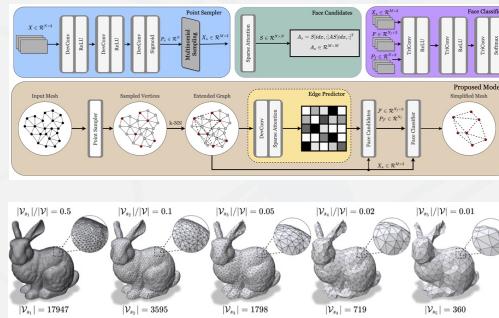
[Hugues et al, IEEE Vis 1999]



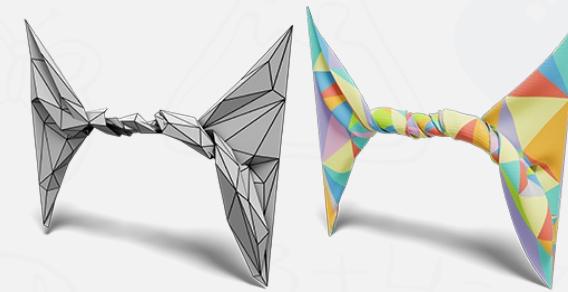
[David et al, SIGGRAPH 2004]



[Joel et al, SIGGRAPH 2008]

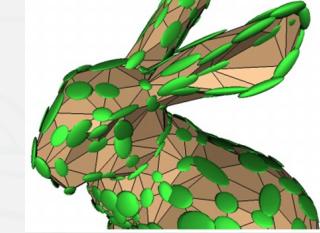


[Rolandos et al, CVPR 2022]



[Liu et al, 2023]

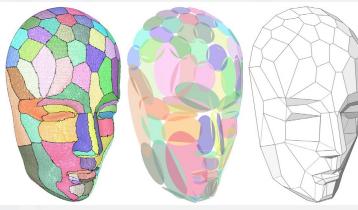
保纹理的减面算法



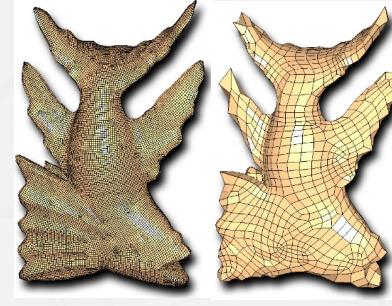
[Michael et al, 1998]



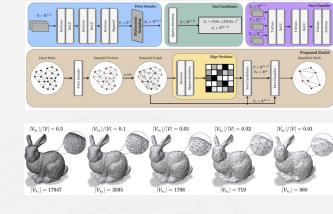
[Hugues et al, 1999]



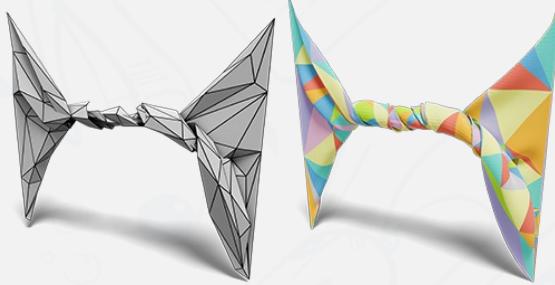
[David et al, 2004]



[Joel et al, 2008]



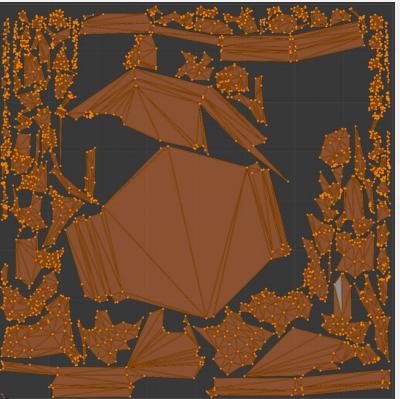
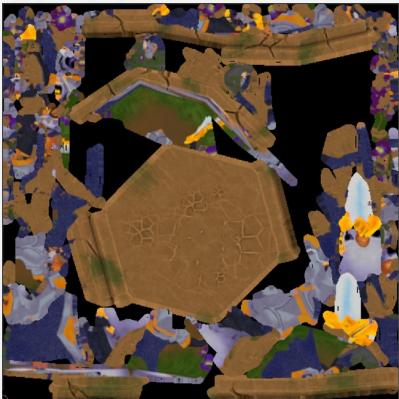
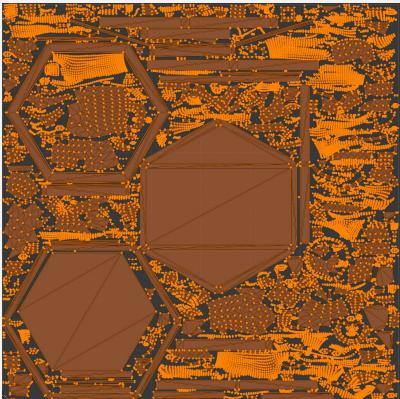
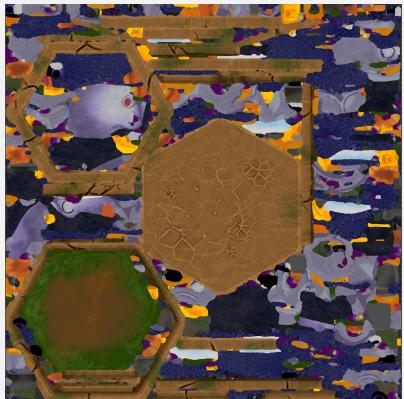
[Rolandos et al, 2022]



[Liu et al, 2023]

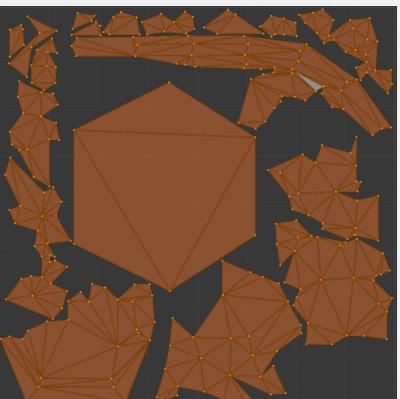
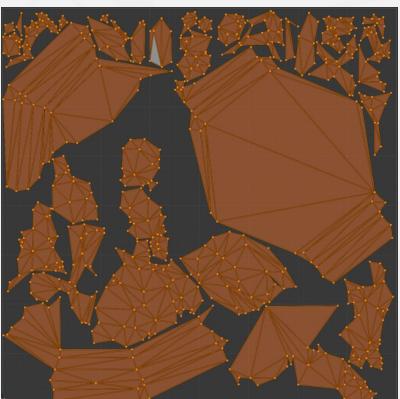
- [Michael et al, 1998] M. Garland and P. S. Heckbert, "Simplifying surfaces with color and texture using quadric error metrics," Proceedings Visualization '98, 1998.
- [Hugues et al, 1999] Hugues Hoppe, "New quadric metric for simplifying meshes with appearance attributes," In Proceedings of the conference on Visualization '99: celebrating ten years (VIS '99), 1999.
- [David et al, 2004] David Cohen-Steiner, Pierre Alliez, and Mathieu Desbrun, "Variational shape approximation," ACM Trans. Graph. (August 2004), 2004.
- [Rolandos et al, 2022] R. A. Potamias, S. Ploumpis and S. Zafeiriou, "Neural Mesh Simplification," 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2022.
- [Liu et al, 2023] Derek Liu, Mark Gillespie, Benjamin Chislett, Nicholas Sharp, Alec Jacobson, and Keenan Crane, "Surface Simplification using Intrinsic Error Metrics", ACM Trans. Graph. 2023.

不保纹理的减面算法



面数 : 18163

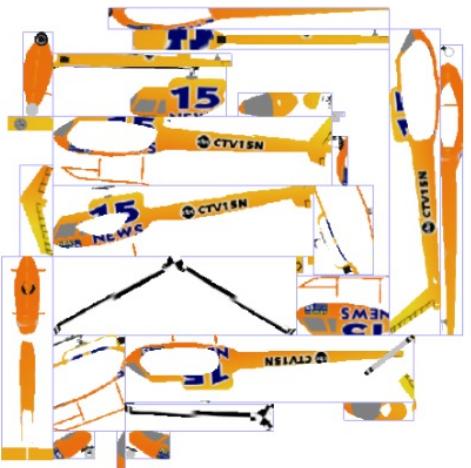
2372



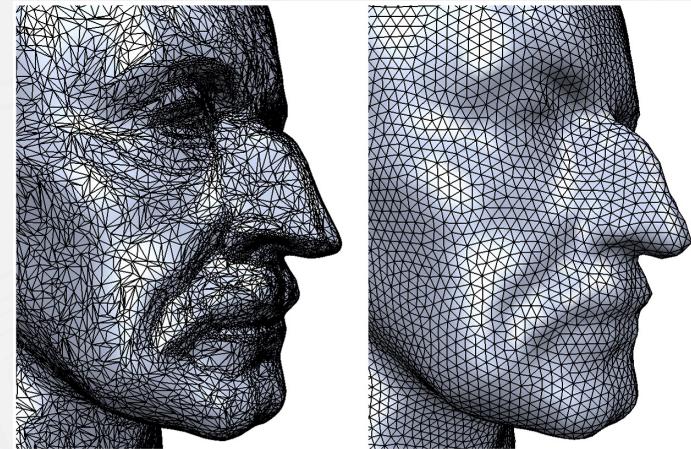
664

292

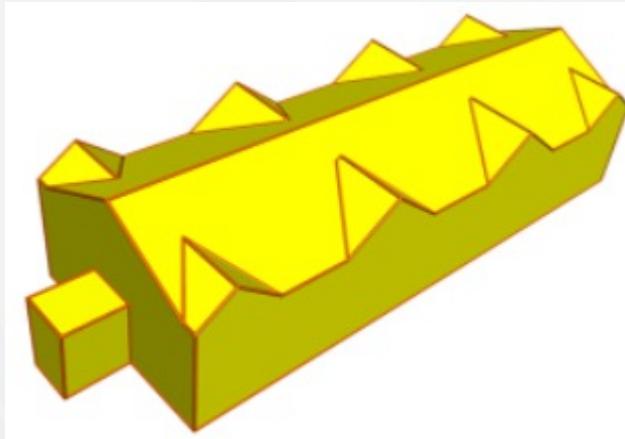
不保纹理的减面算法 – 重新网格化



[Xavier et al, TOG 2003]



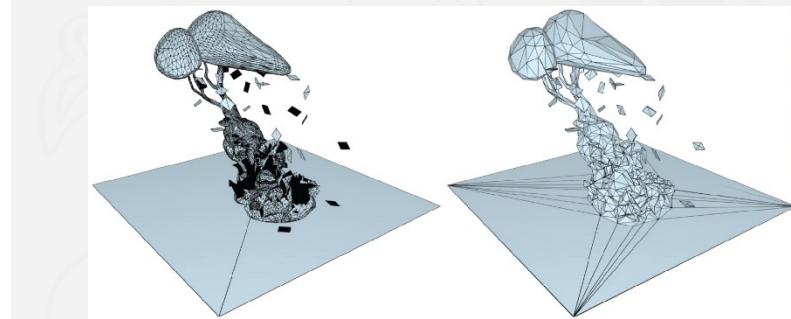
[Botsch et al, SGP 2004]



[Nan et al, CVPR 2017]



[Gao et al. SIGGRAPH 2022]

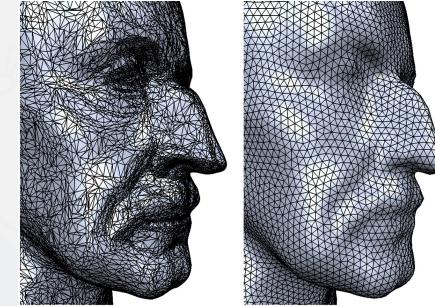


[Zhen et al, SIGGRAPH 2023]

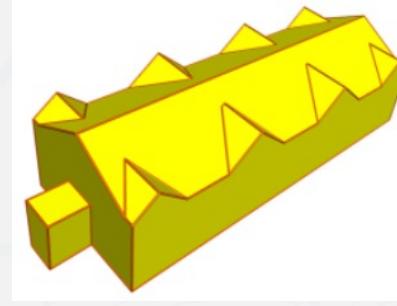
不保纹理的减面算法 – 重新网格化



[Xavier et al, 2003]



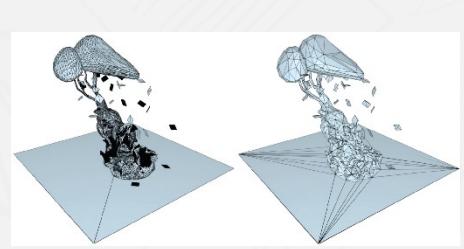
[Botsch et al, 2004]



[Nan et al, 2017]



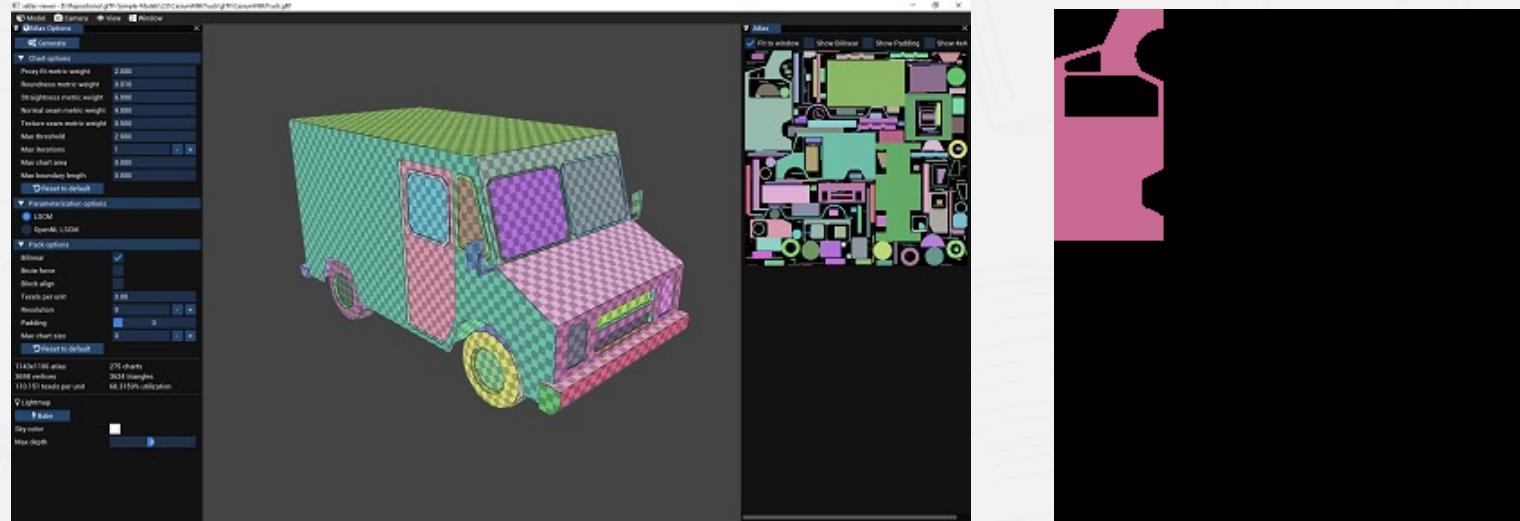
[Gao et al. 2022]



[Zhen et al, 2023]

- [Xavier et al, 2003] Xavier Décoret, Frédo Durand, François X. Sillion, and Julie Dorsey, “Billboard clouds for extreme model simplification,” ACM Trans. Graph. (July 2003), 2003.
- [Botsch et al, 2004] M. Botsch and L. Kobbelt, “A remeshing approach to multiresolution modeling,” In Proceedings of the 2004 Eurographics/ACM SIGGRAPH symposium on Geometry processing, 2004.
- [Nan et al, 2017] Liangliang Nan and Peter Wonka. PolyFit: Polygonal Surface Reconstruction from Point Clouds. ICCV 2017.
- [Gao et al. 2022] Xifeng Gao, Kui Wu, Zherong Pan, "Low-poly Mesh Generation for Building Models," Proceedings of SIGGRAPH, 2022.
- [Zhen et al, 2023] Zhen Chen, Zherong Pan, Kui Wu, Etienne Vouga, Xifeng Gao, “Robust Low-Poly Meshing for General 3D Models”, ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH 2023), 2023

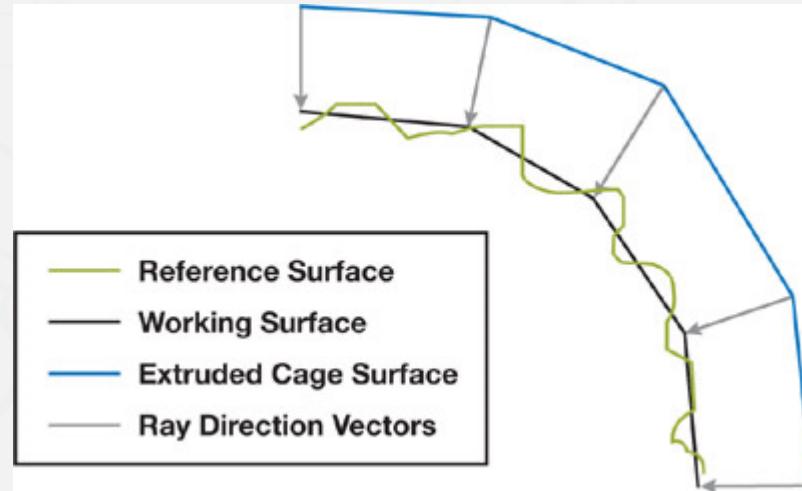
不保纹理的减面算法 – 展UV



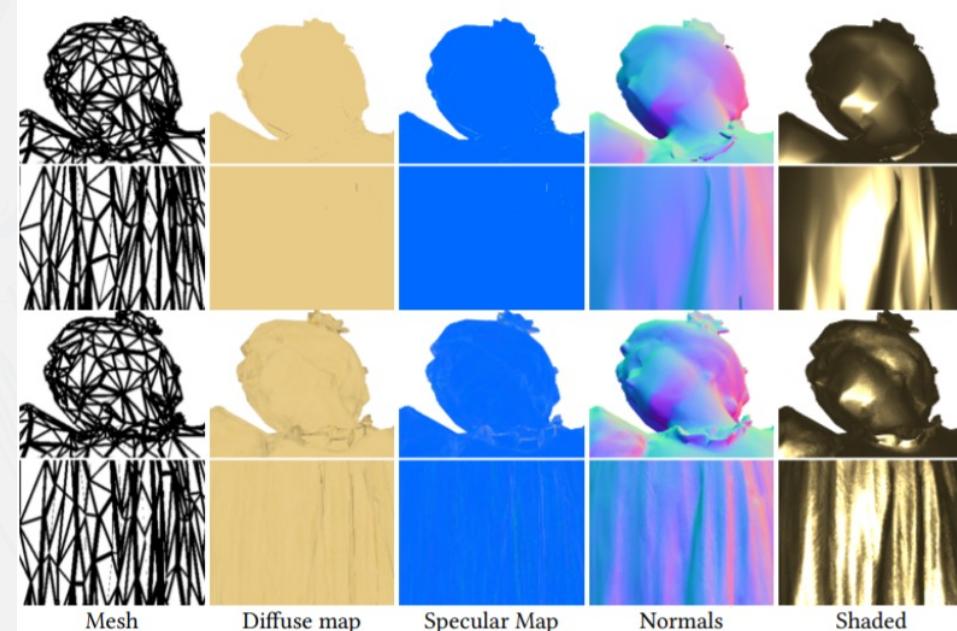
[Xatlas: <https://github.com/jpcy/xatlas>]

- K. Hormann, B. Lévy, and A. Sheffer. [Mesh Parameterization: Theory and Practice](#)
- P. Sander, Z. Wood, S. Gortler, J. Snyder, and H. Hoppe. [Multi-Chart Geometry Images](#)
- D. Julius, V. Kraevoy, and A. Sheffer. [D-Charts: Quasi-Developable Mesh Segmentation](#)
- B. Lévy, S. Petitjean, N. Ray, and J. Maillot. [Least Squares Conformal Maps for Automatic Texture Atlas Generation](#)
- O. Sorkine, D. Cohen-Or, R. Goldenthal, and D. Lischinski. [Bounded-distortion Piecewise Mesh Parameterization](#)
- Michael Rabinovich, Roi Poranne, Daniele Panozzo, Olga Sorkine-Hornung, “Scalable Locally Injective Mappings,” ACM Transactions on Graphics, 2017
- Jian-Ping Su, Chunyang Ye, [Ligang Liu](#), Xiao-Ming Fu, “Efficient Bijective Parameterizations”, ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH), 39(4), 2020.

不保纹理的减面算法 – 纹理烘焙



[Ray Casting]



[Differentiable Rendering]

- Alain Galvan and Jeff Russell, “A Ray Casting Technique for Baked Texture Generation,” GPU Zen 2, Chapter baked texture generation, 2019
- Jon Hasselgren, Jacob Munkberg, Jaakko Lehtinen, Miika Aittala and Samuli Laine, “Appearance-Driven Automatic 3D Model Simplification”, Eurographics Symposium on Rendering 2021