中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

GAMES 301：第14讲

参数化在产业中的应用 (1)

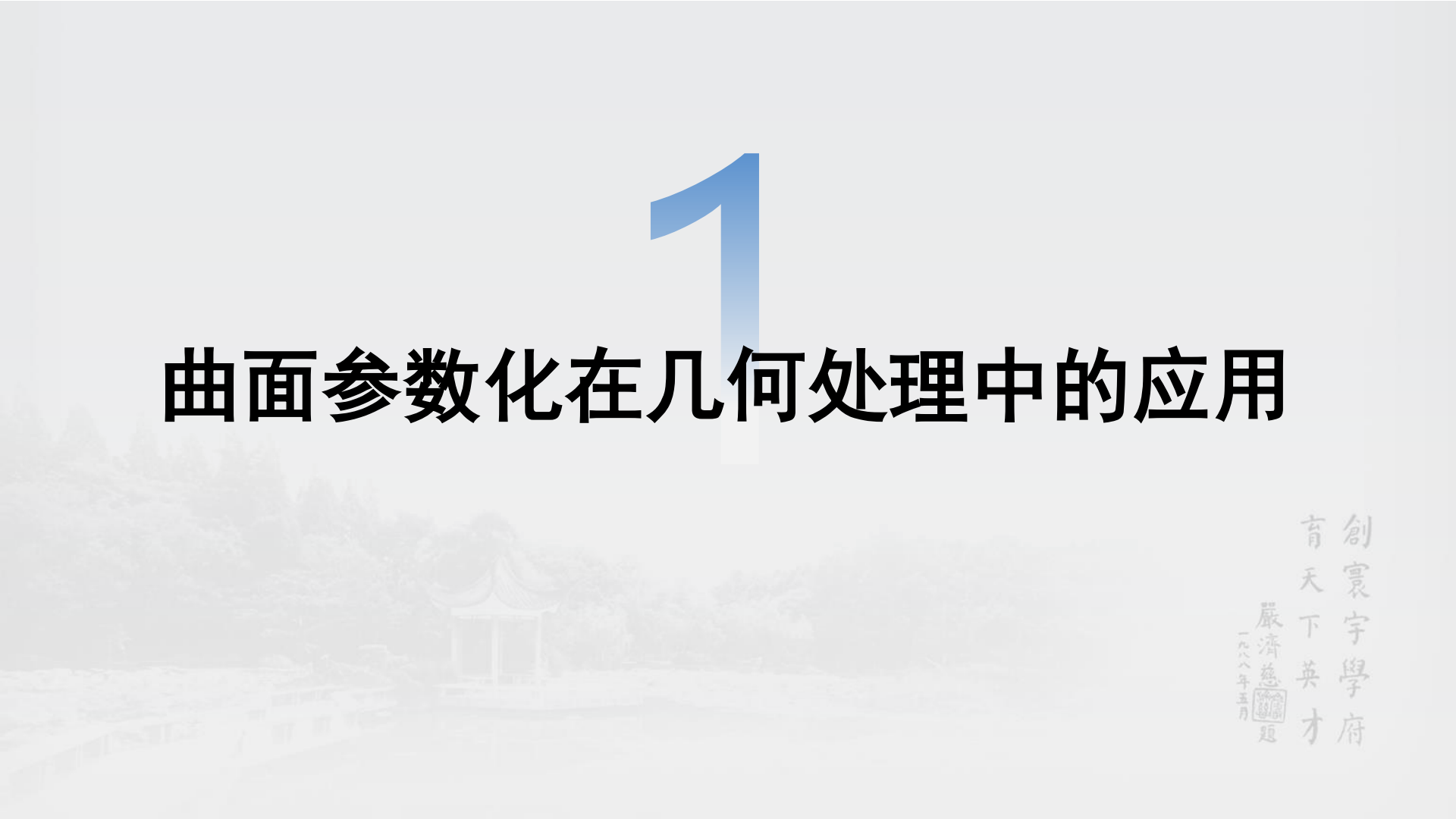
刘利刚
中国科学技术大学

提纲

1. 曲面参数化在几何处理中的应用
2. 曲面参数化在产业中的应用 (1)
3. 产业实践：游戏工业中的3D建模

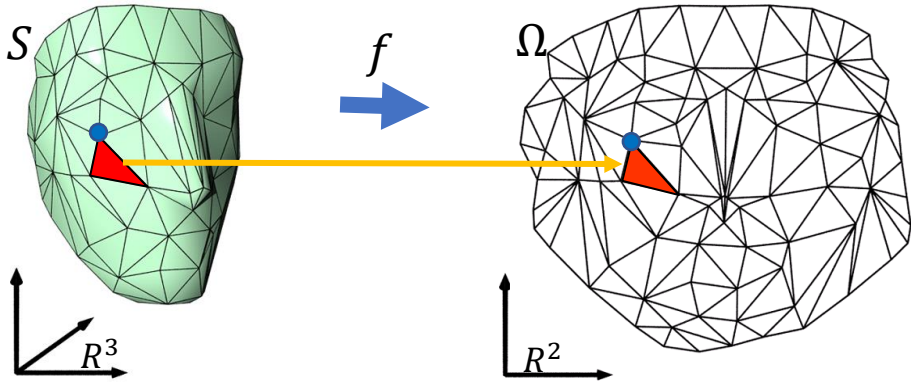
1

曲面参数化在几何处理中的应用



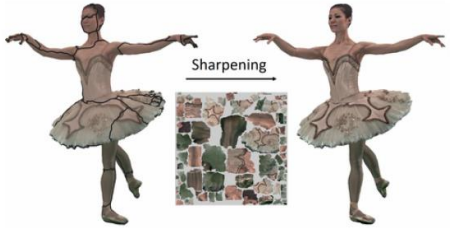
曲面参数化 (Surface Parameterization)

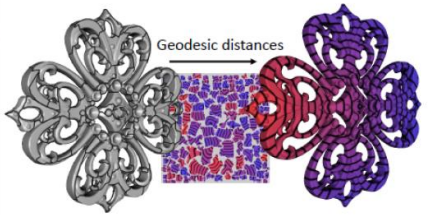
- 目标：3D空间中的2D流形曲面S 到 2D平面空间的嵌入Ω
- 几何直观：3D曲面展开成2D平面
- 离散网格形式
  - 顶点、三角形之间有一一对应
  - 对应三角形形变扭曲小

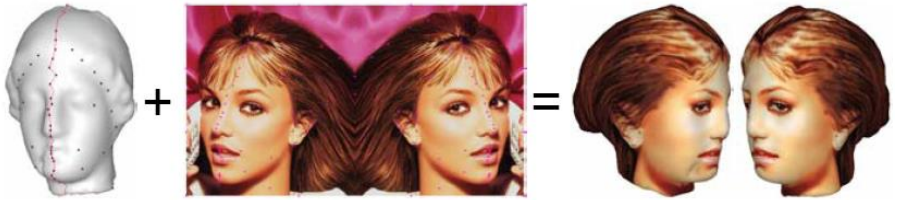


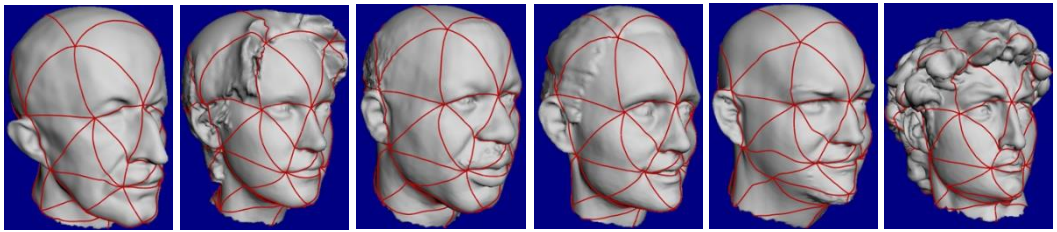
曲面参数化在几何处理中的应用

- 大部分几何处理的基础（基本问题）
  - Visualization
  - Compression
  - Transmission
  - Simplification
  - Matching
  - Remeshing
  - Reconstruction
  - Repairing
  - Texture synthesis
  - Rendering
  - Animation
  - Morphing
  - …









曲面参数化在几何处理中的应用（本课程）

- Atlas生成 （第6讲）
- 艺术设计（第6讲）
- 网格生成（第7讲）
- 高质量光滑形变（第9讲）
- 锥奇异点参数化应用（第12讲）
- 曲面对应（第13讲）
- 高阶多项式映射（第13讲）
- …

曲面参数化在产业中的应用 (1)

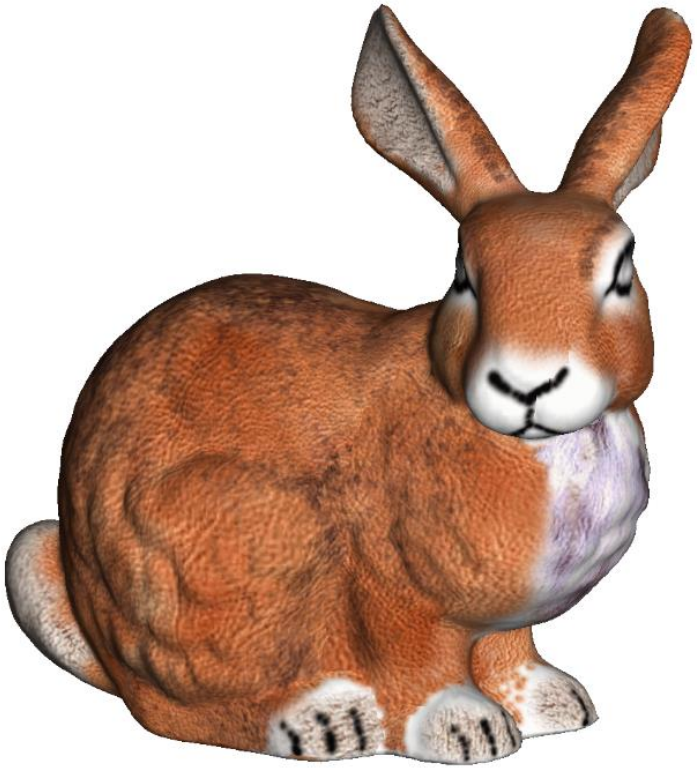
3D 游戏…

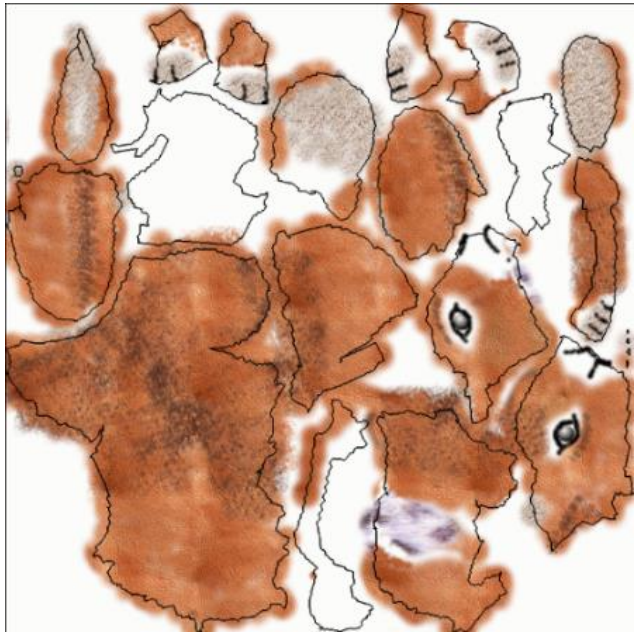

TOMB RAIDER


HORIZON
topspeed.com
112

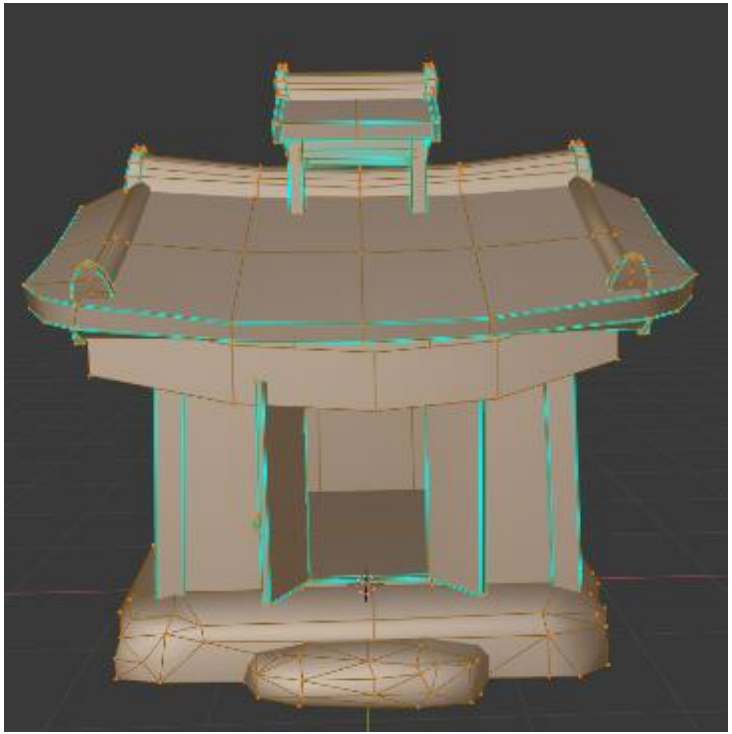

EXIT TO DRONE
LUMEN OFF
LIGHTS ON
TRIANGLES OFF
MOVE LIGHT

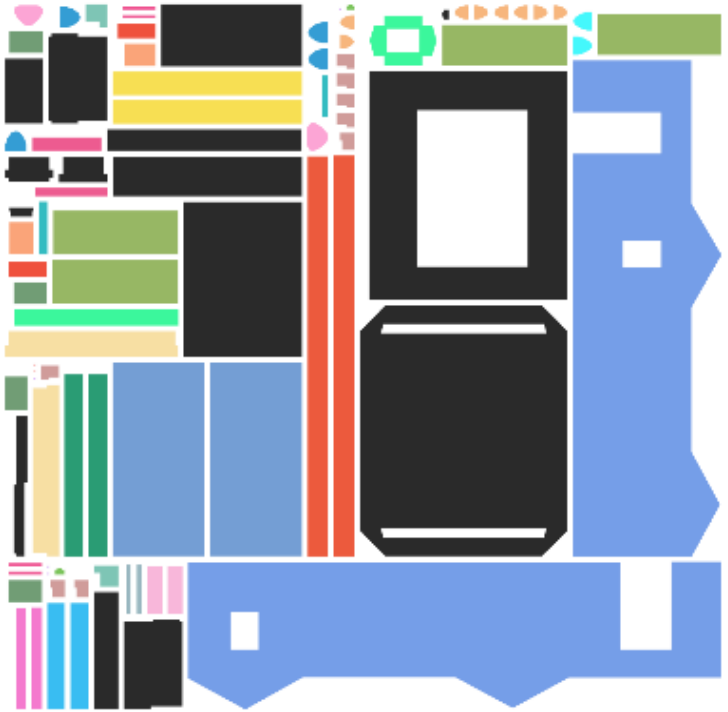
3D模型的纹理地图 (texture atlas)：UV图





3D模型的纹理地图 (texture atlas) ： UV图





产业应用1：

游戏工业中的3D建模

黄舒怀
腾讯互娱CROS计算几何技术团队

Tencent 腾讯

曲面参数化的工业级应用及创新

黄舒怀

腾讯互娱CROS计算几何团队

游戏工业中的三维建模工序

建模工序分类

造型

- 粗模
- 高模
- 低模

材质

- 材质映射
- 材质贴图
- 造型贴图

光照

- 光照映射
- 光照贴图

优化

- 各种LOD

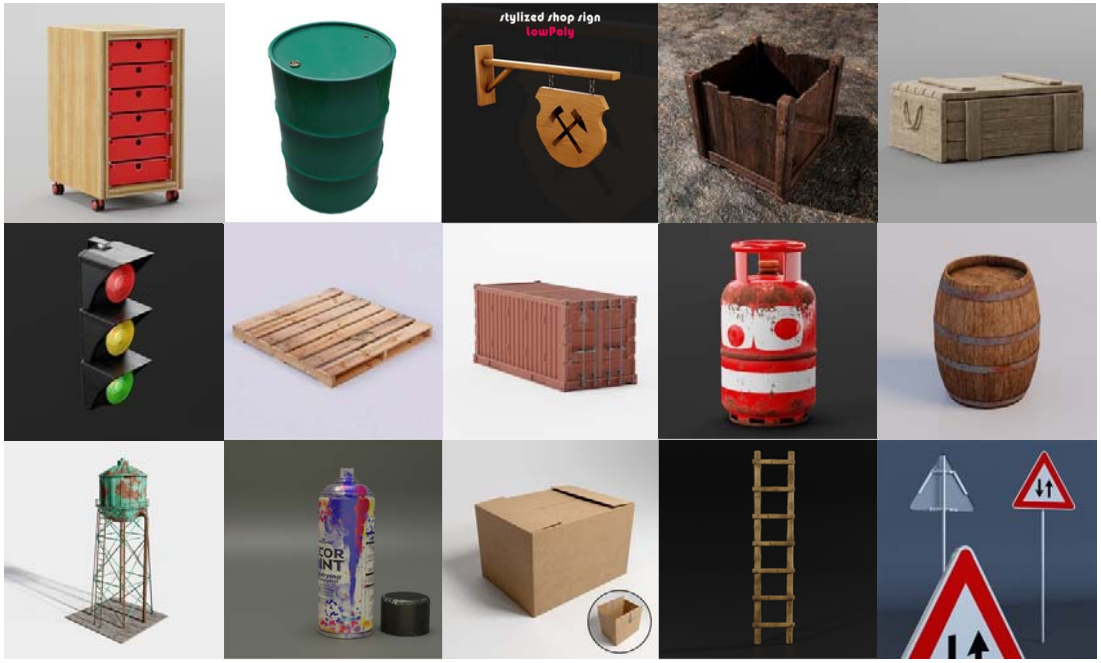
模型库

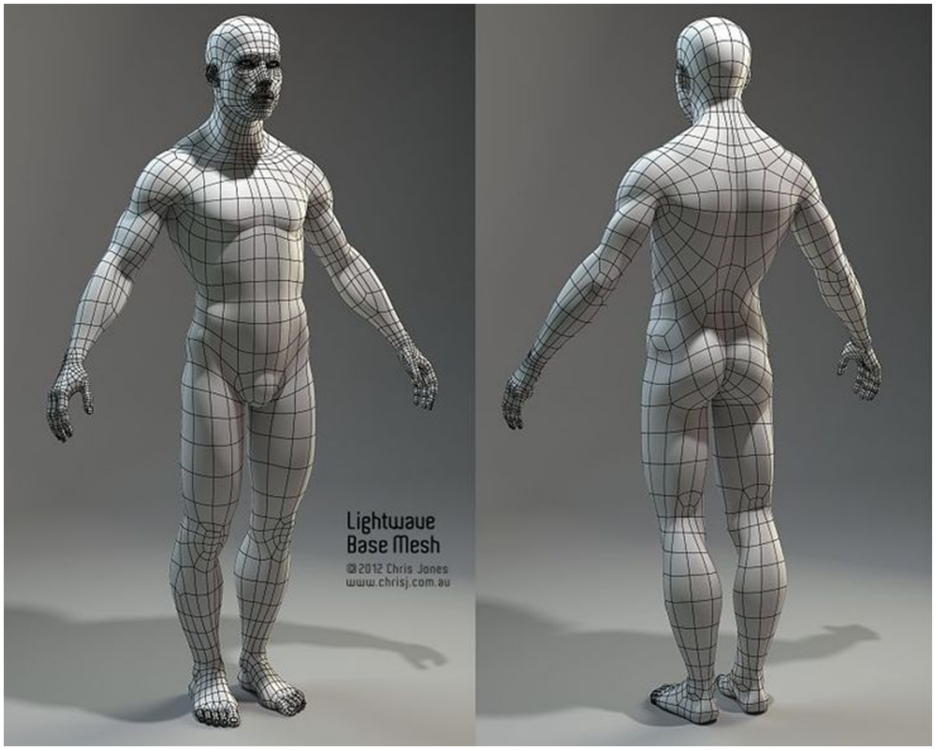
造型 | 材质 | 光照 | 优化

粗模

特点：

- 局部修改或组合
- 模型库越丰富，效率越高





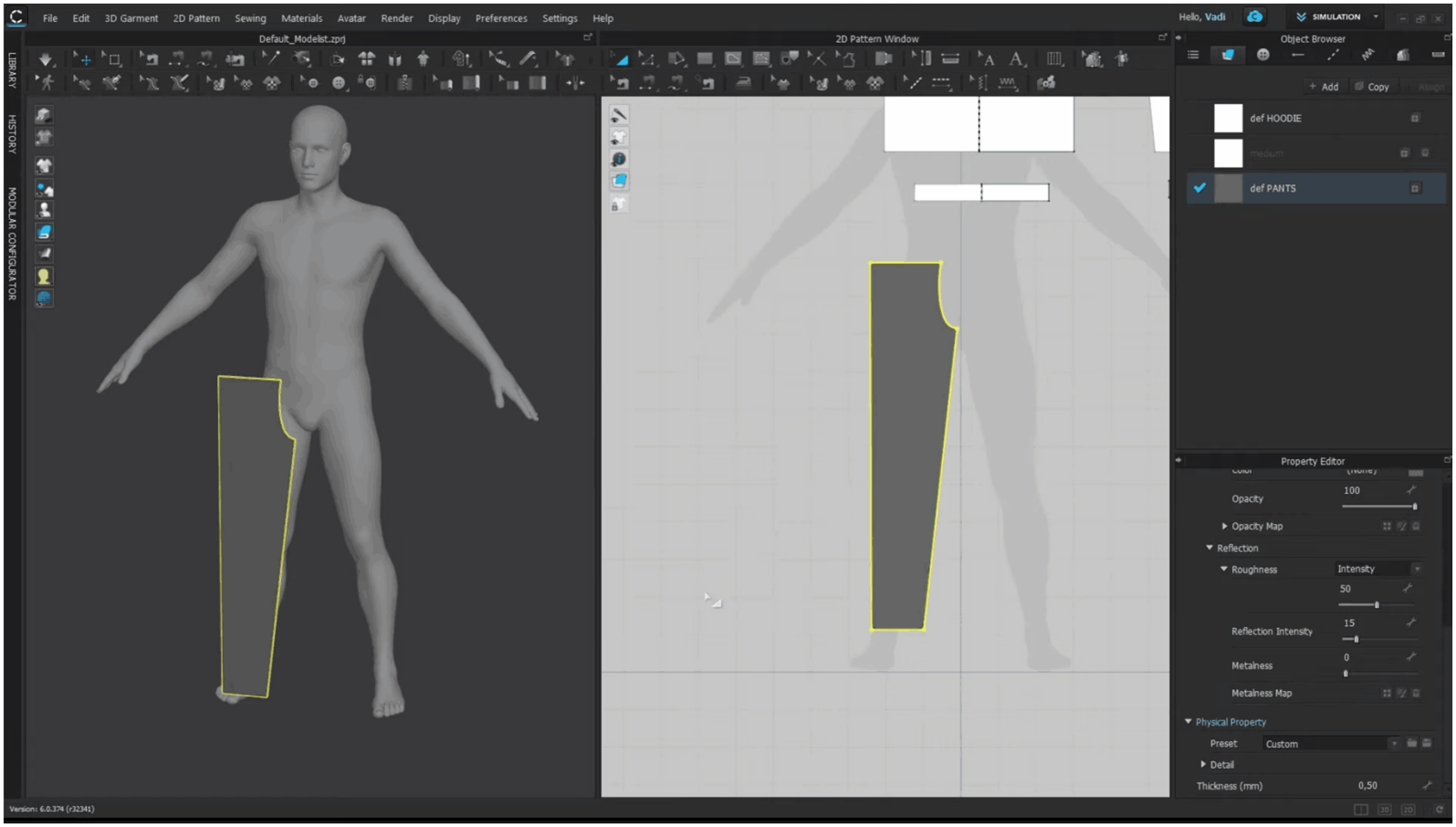
仿真建模

造型 | 材质 | 光照 | 优化

粗模

特点：

- 十万级面数
- 全三角形
- 拖拽和缝合操作



Marvelous Designer[www.youtube.com/watch?v=KXc6U2iBCtA&t=103s]

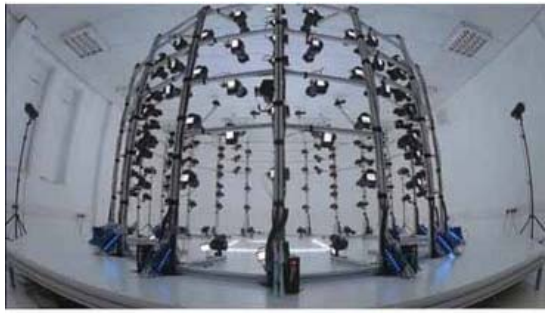
三维重建

造型 | 材质 | 光照 | 优化

粗模

特点：

- 真实度最高
- 只能生产与现实严格对应的模型
- 需要很多后处理



youtube.com/watch?v=mZcLKcyHWDs

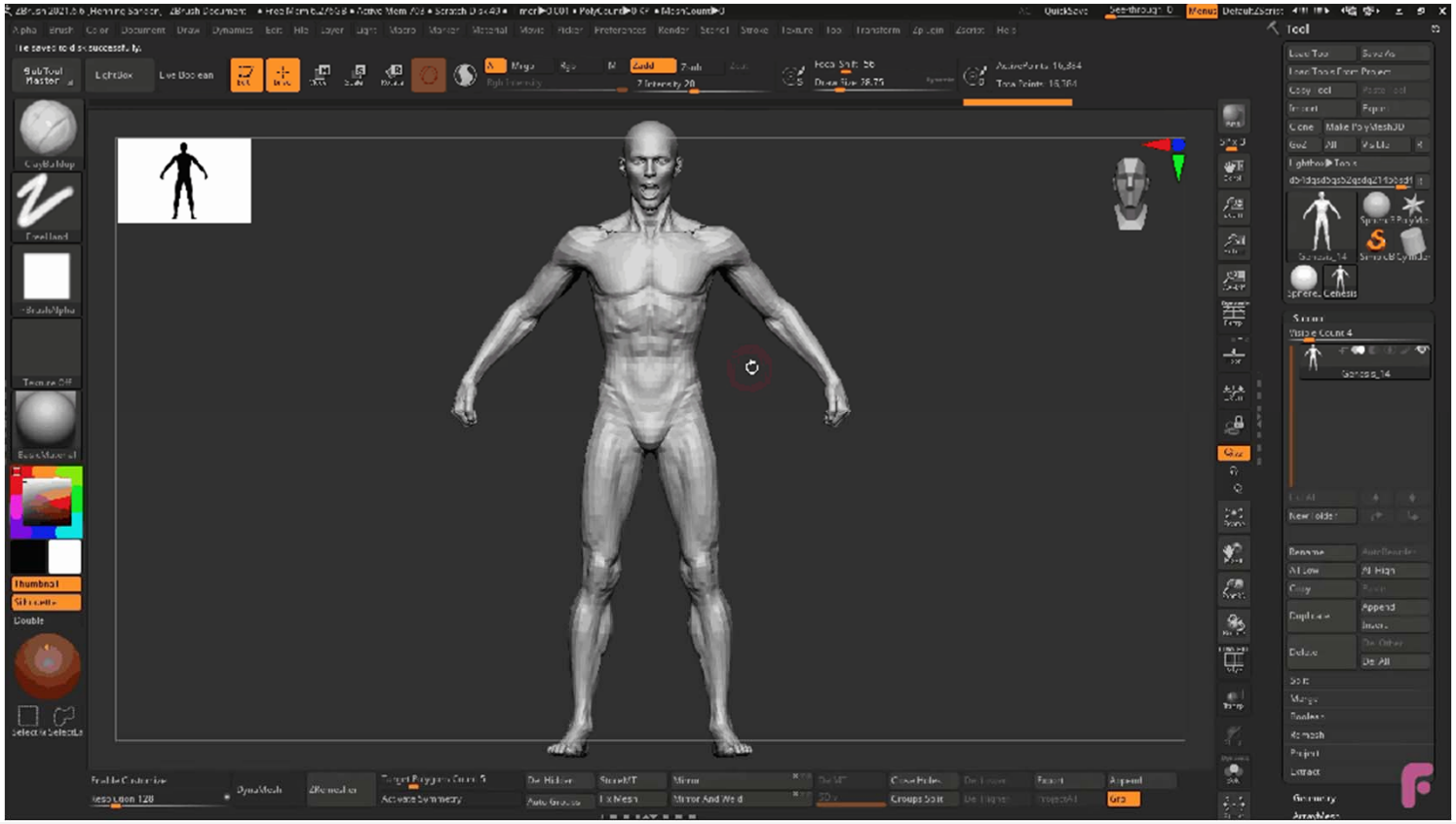
雕刻建模

造型 | 材质 | 光照 | 优化

高模

特点:

- 百万级面数
- 全三角形
- 指定范围的按压和拉起操作



Zbrush[www.youtube.com/watch?v=Oab3268dGC8]

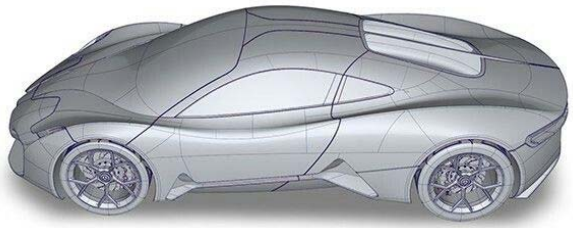
曲面建模

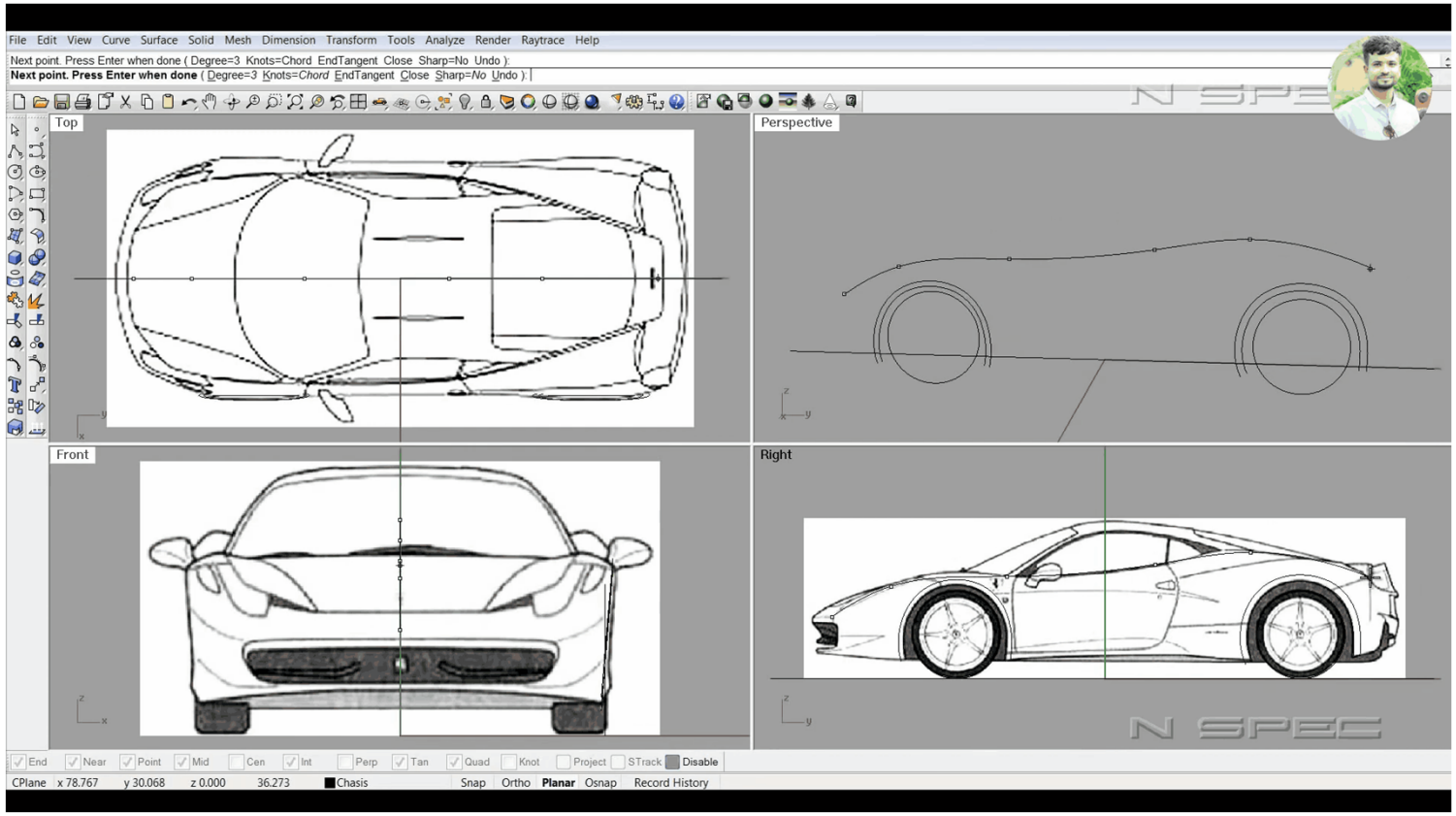
造型 | 材质 | 光照 | 优化

高模

特点:

- 表面无限光滑
- 可生成任意数量的多边形





Rhino[www.youtube.com/watch?v=Rye2P1cDxrY]

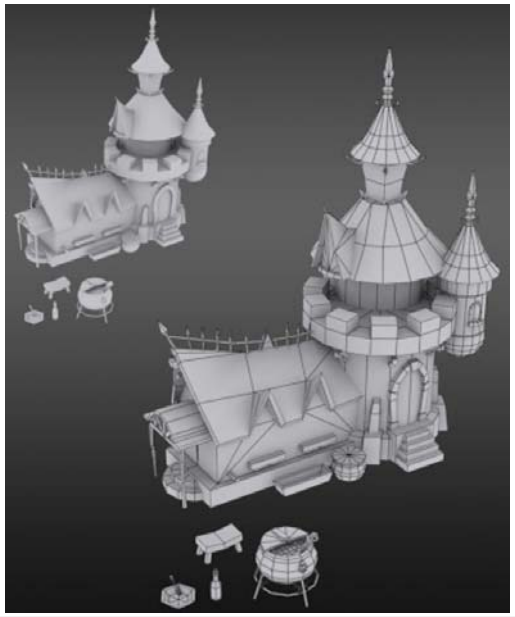
拓扑建模

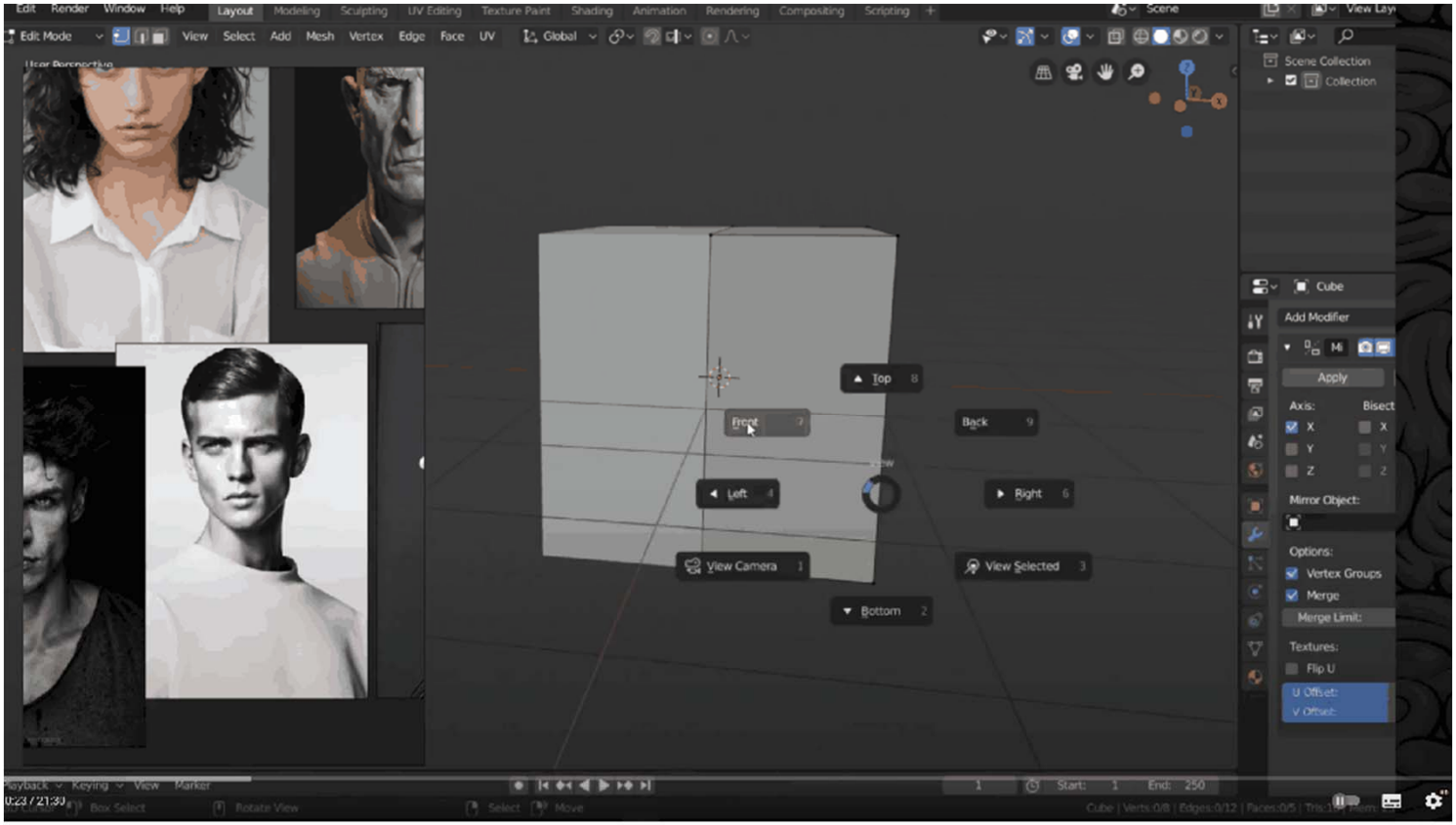
造型 | 材质 | 光照 | 优化

低模

特点：

- 几百到几万的面数
- 以四边形为主
- 点线拆分和合并操作





Blender[www.youtube.com/watch?v=0kw7Jg2ioX8]

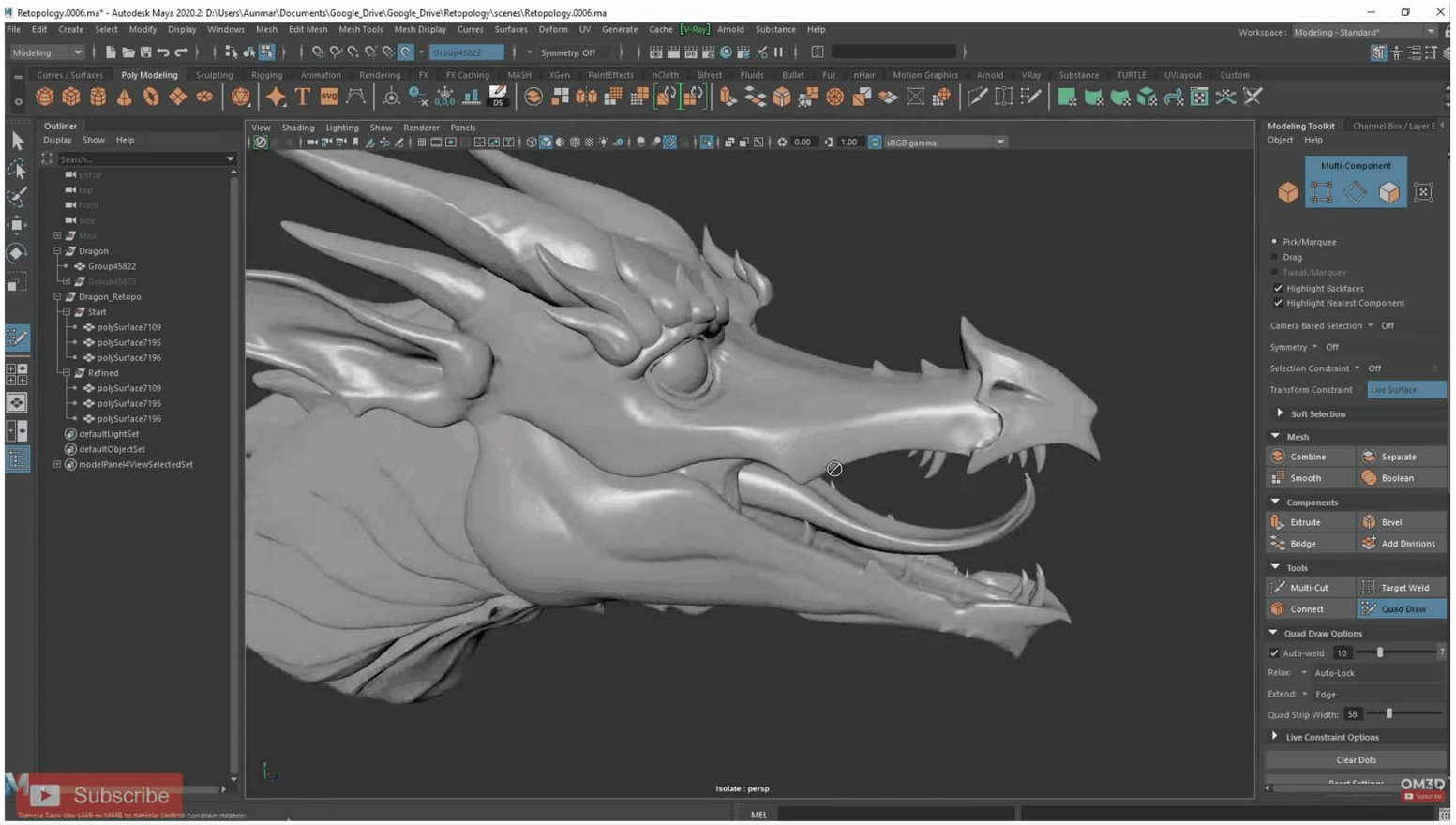
高模重拓扑

造型 | 材质 | 光照 | 优化

低模

特点：

- 几万到十几万的面数
- 以四边形为主
- 点线面拆分合并操作



Maya[www.youtube.com/watch?v=4-mPIVSBt9g]

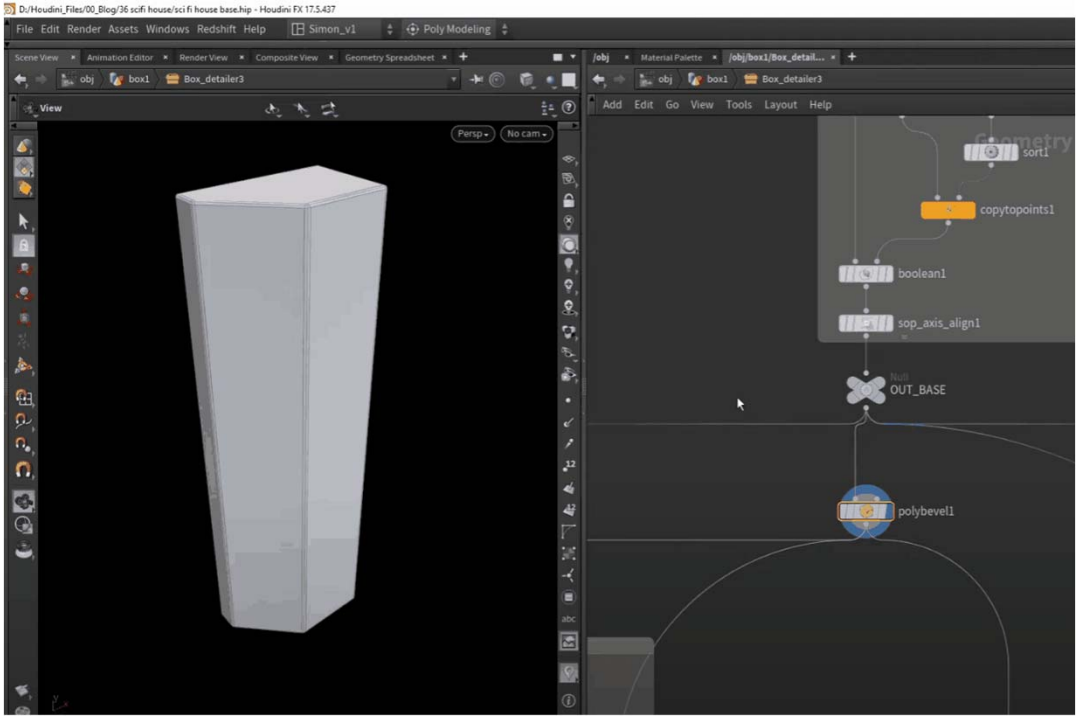
数学模型建模

造型 | 材质 | 光照 | 优化

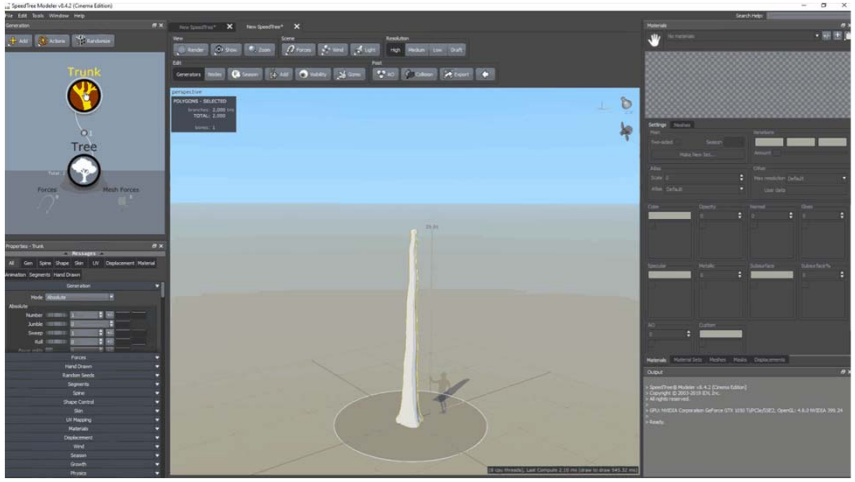
低模

特点：

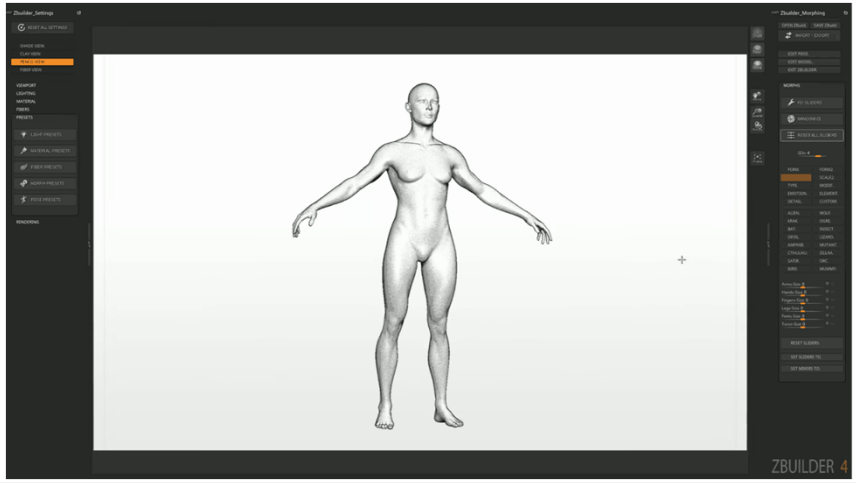
- 只能生产特定种类的模型



Houdini[www.youtube.com/watch?v=PTVal-t9g1k]



Speedtree[www.youtube.com/watch?v=L910rESD79M]

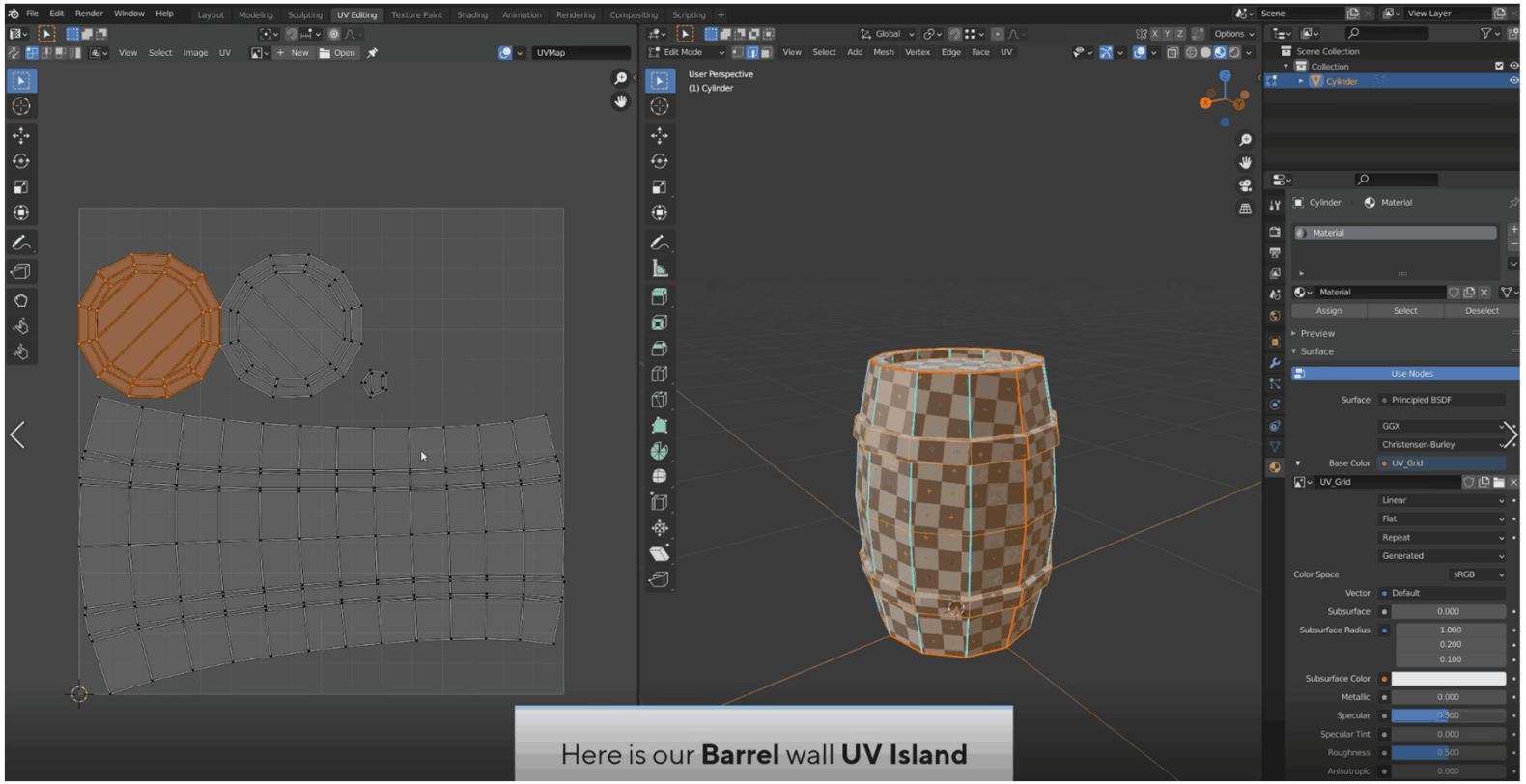


Zbuilder4[www.youtube.com/watch?v=rnrCSbC1i8I&t=112s]

材质映射

制作要求

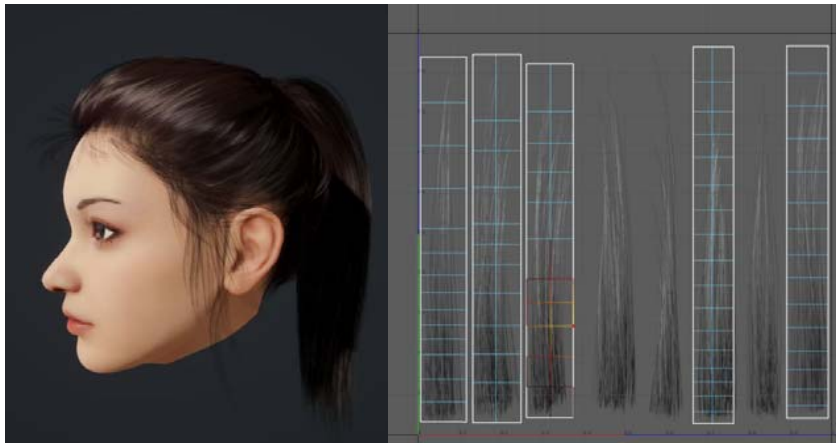
- 对称轴横平竖直
- 线条尽可能横平竖直
- 低扭曲
- 纹理区域复用

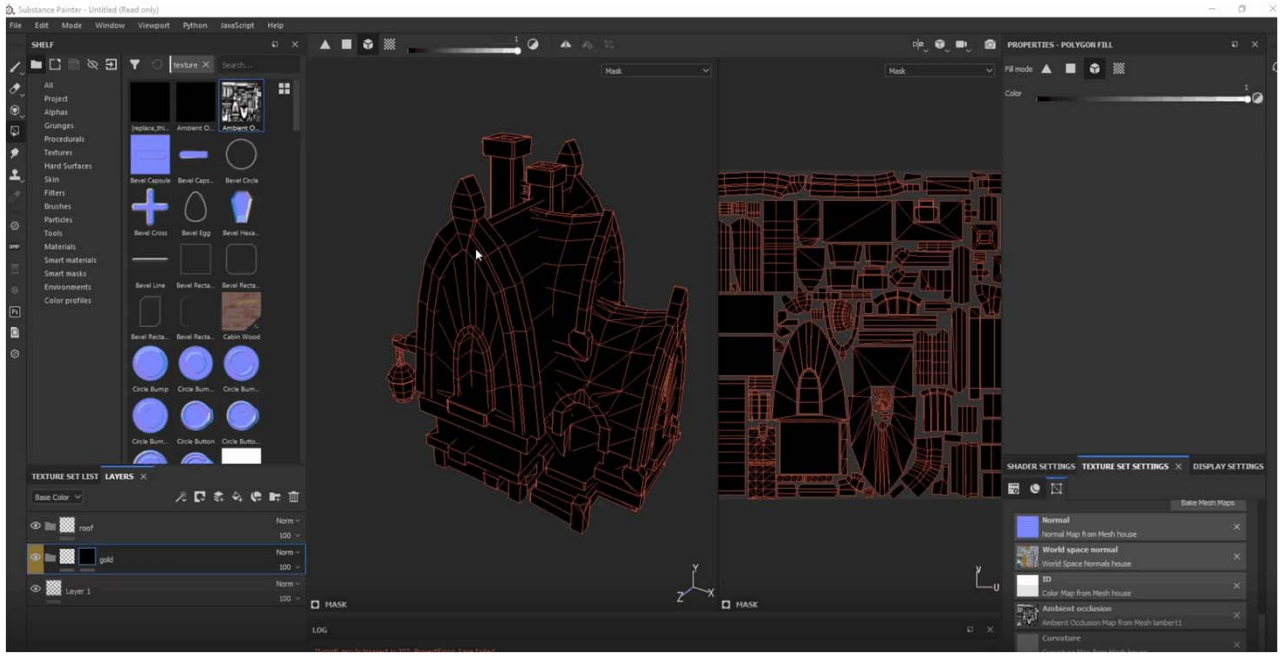


Blender[www.youtube.com/watch?v=-uYwkBCPpiQ&t=567s]

材质贴图

- 用辐射度量学、光度学等方法描述表面的光学特性
- 具体用法与渲染管线有强关系，例如：
  1. 固有色/漫反射
  2. 高光度/金属度/粗糙度
  3. 透明度/发光度



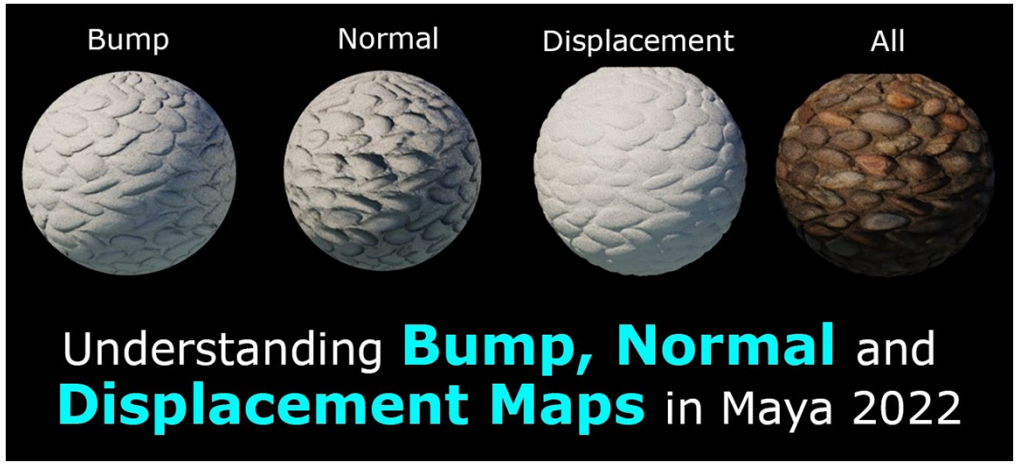


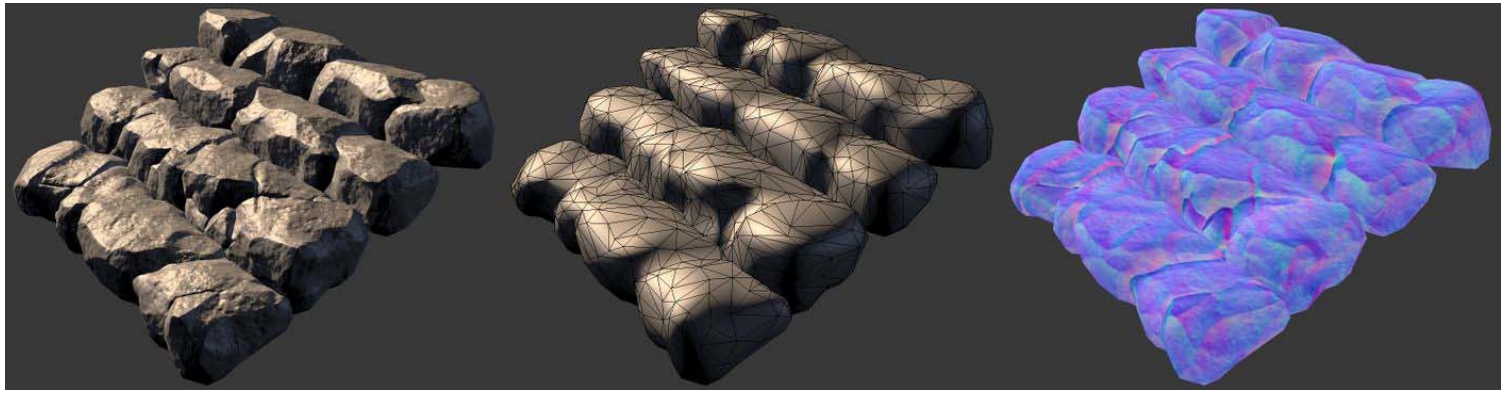
Substance & 3D Coat [www.youtube.com/watch?v=Ekru3VMnR7k]

凹凸贴图

特点

- 描述物件表面的微小几何造型
- 行业标准用法



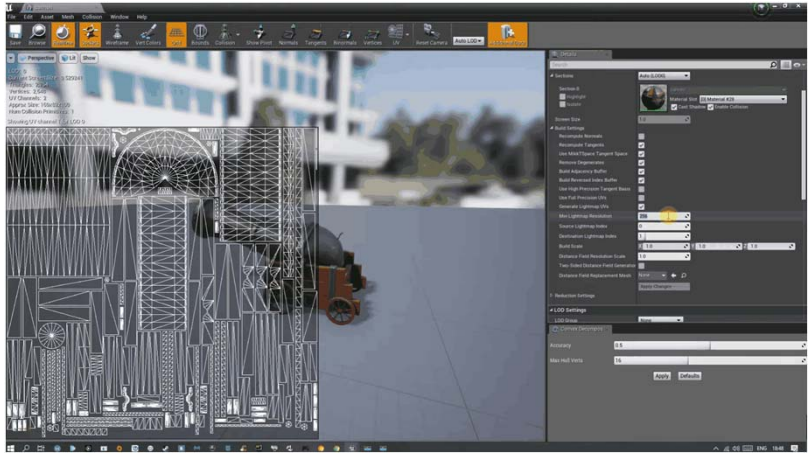


带法线贴图效果　不带法线贴图效果　法线贴图

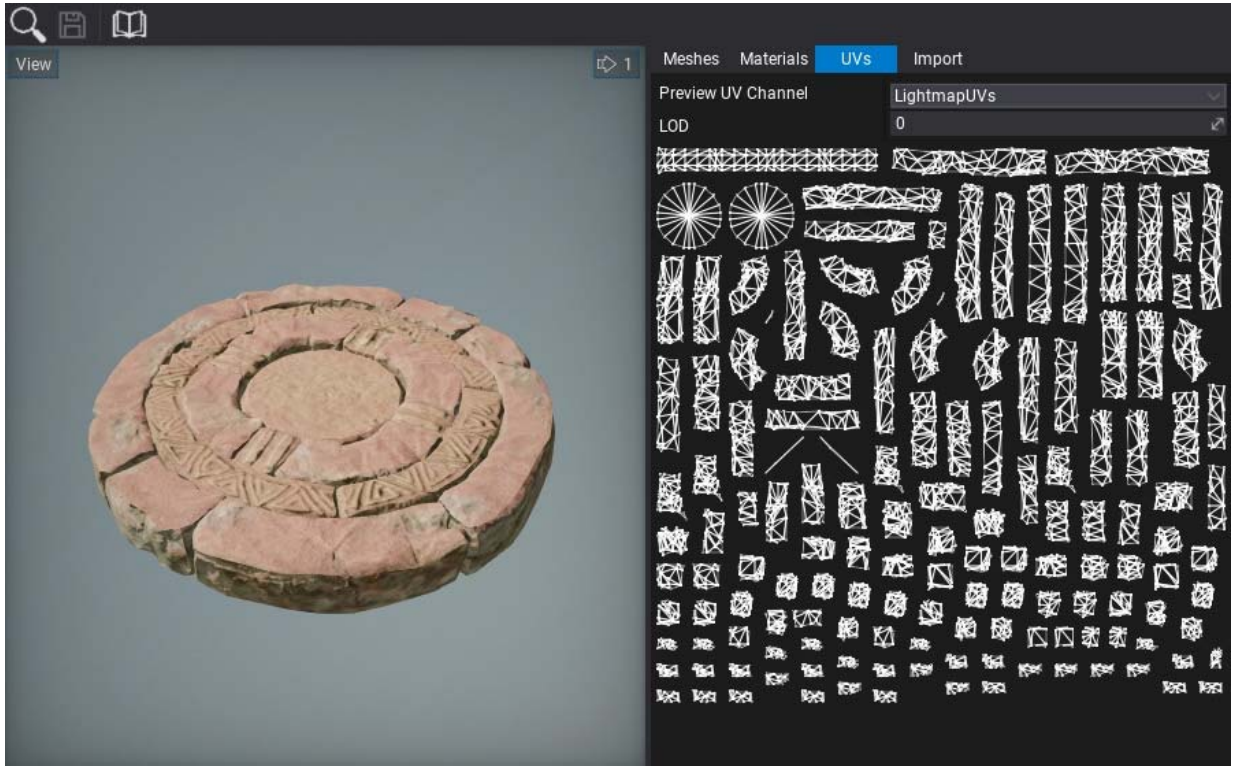
光照映射

特点:

- 无重叠
- 非常强的横平竖直要求
- 相对允许更多的形变
- 尽量少的切割
- ……



Unreal4[www.youtube.com/watch?v=FFmumf3zGkk]

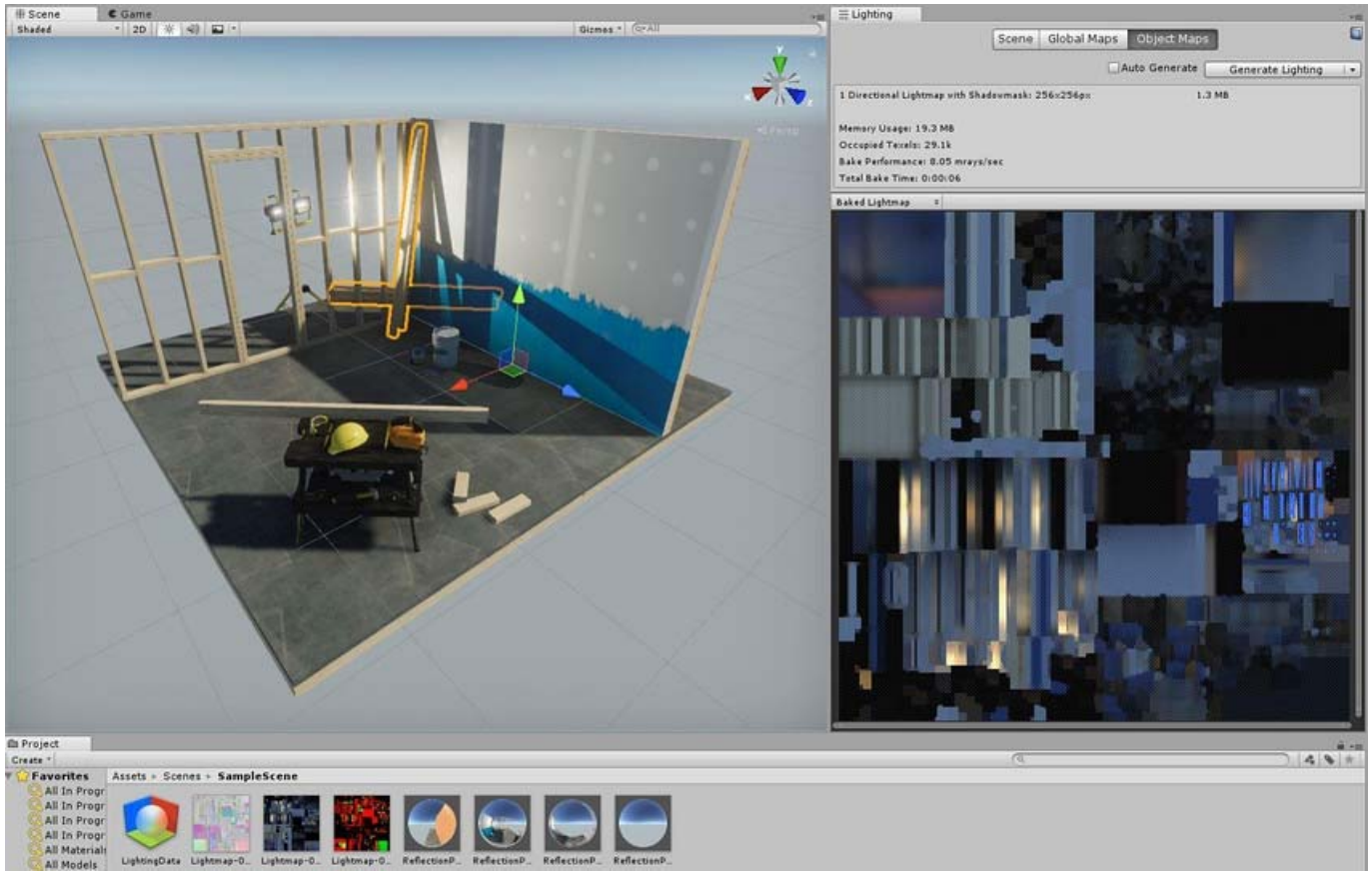


docs.flaxengine.com/manual/graphics/lighting/gi/lightmap-uvs.html

光照贴图

特点

- 由引擎生成
- 存储的内容与渲染方法强相关
- 超低分辨率

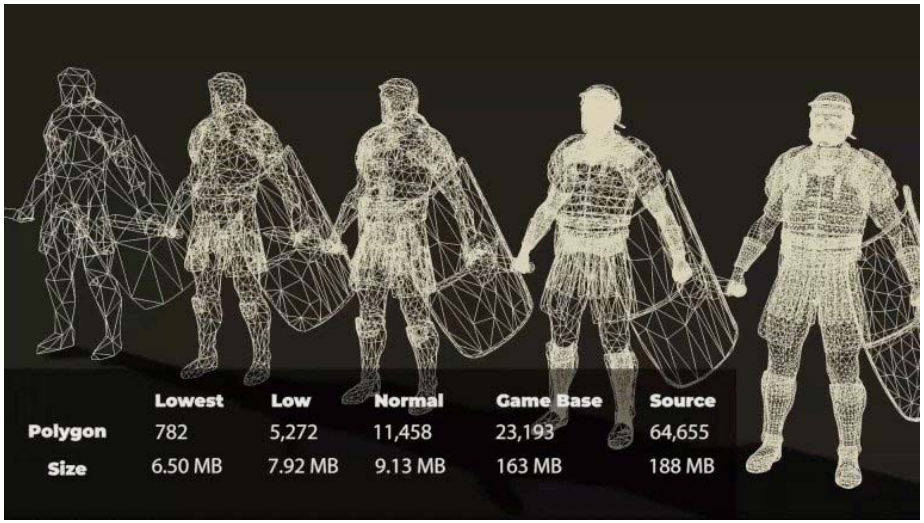


Unity - Manual: Lightmapping

优化

特点

- 模型简化、不可见面剔除、模型合并、纹理烘培
- 同步进行UV、纹理、骨骼、蒙皮的简化
- 用自动化算法或人工完成



Simpolygon

参数化算法在的应用点

主应用

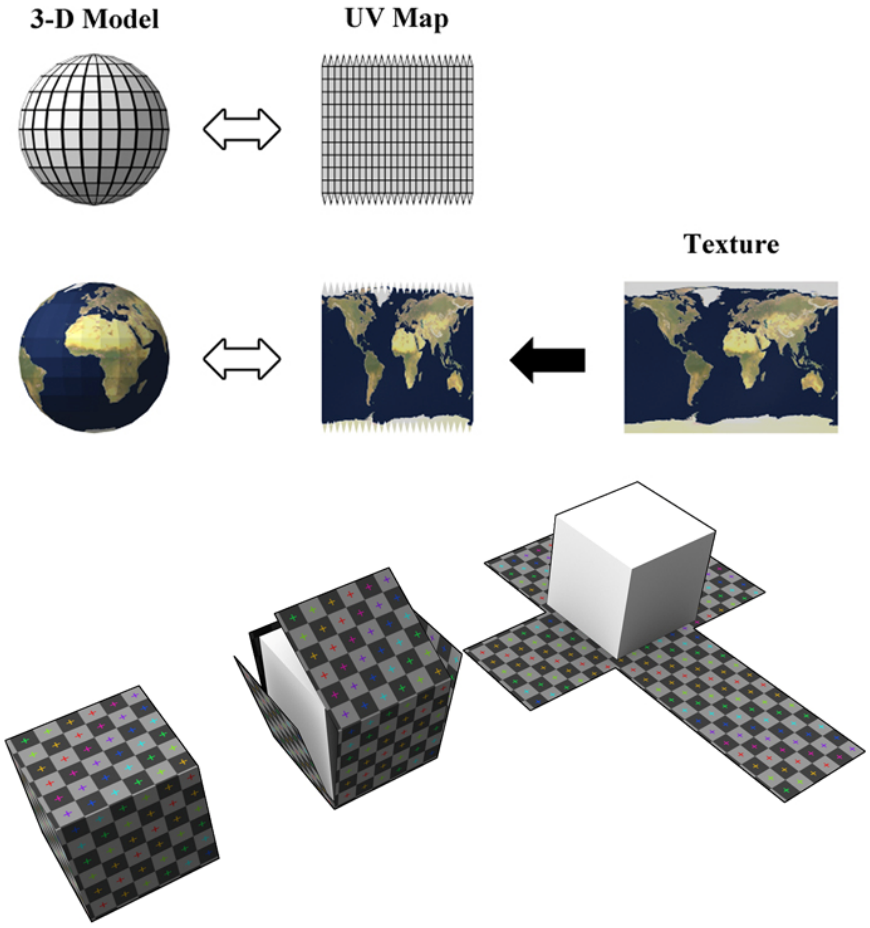
- 角色模型的色彩映射、特效映射、造型映射
- 物件模型的色彩映射、造型映射、光照映射
- 场景模型的色彩映射、光照映射

嵌入式应用

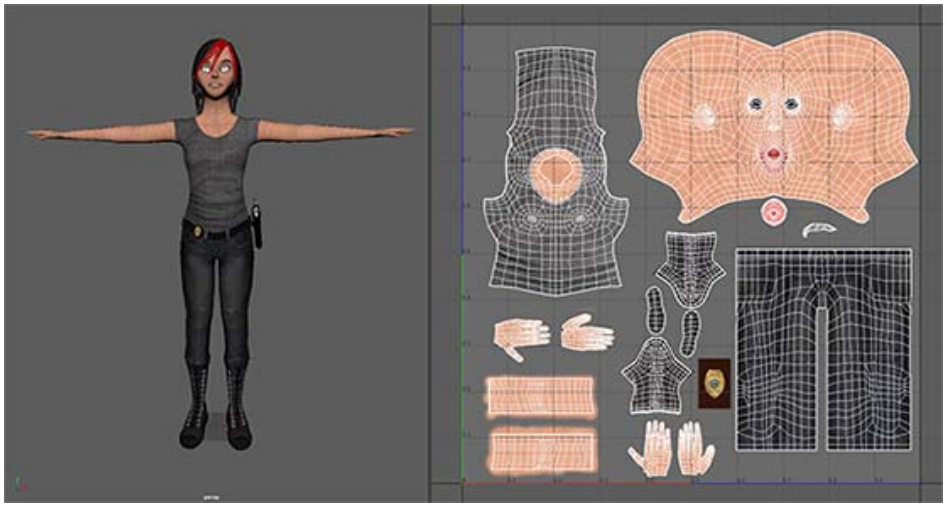
- 模型之间信息迁移的配准手段
- 纹理装配中的设计稿与模型的内容映射
- 纹理的几何压缩
- 造型识别中的造型吻合度评估
- 造型识别中的内蕴特征表达
- ……

主应用案例

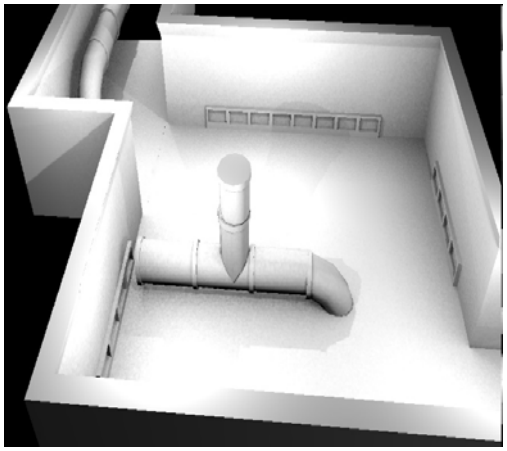
案例：光照映射

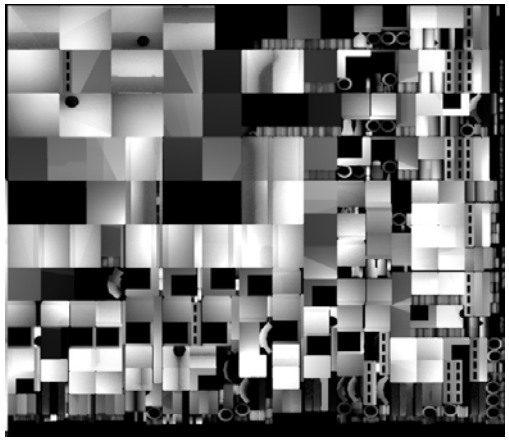


材质映射被称为1UV



光照映射被称为2UV



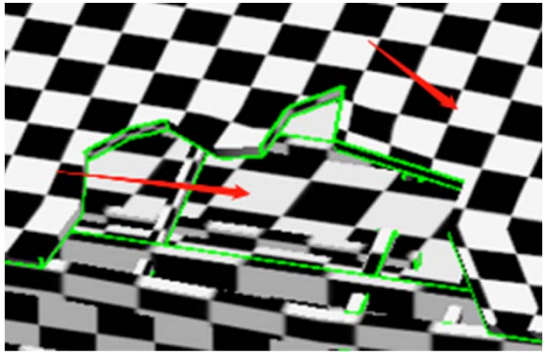


光照映射

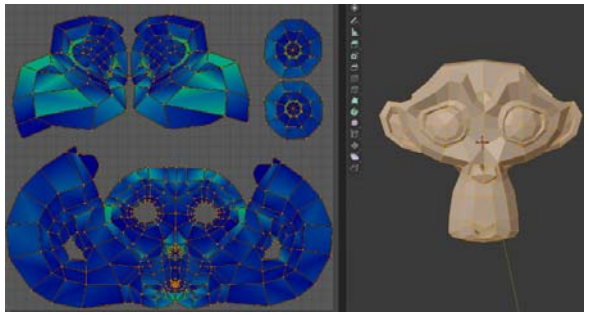
free3d.com/fr/3d-model/city-and-terrace-pack-9122.html

2UV的制作要求

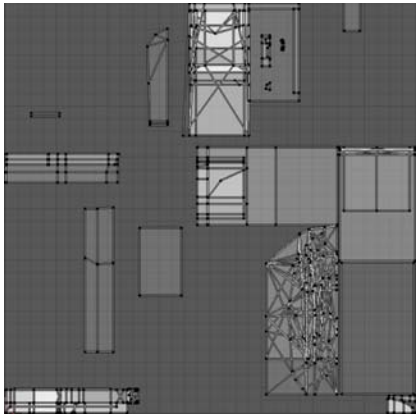
UV展开后不能由严重拉伸



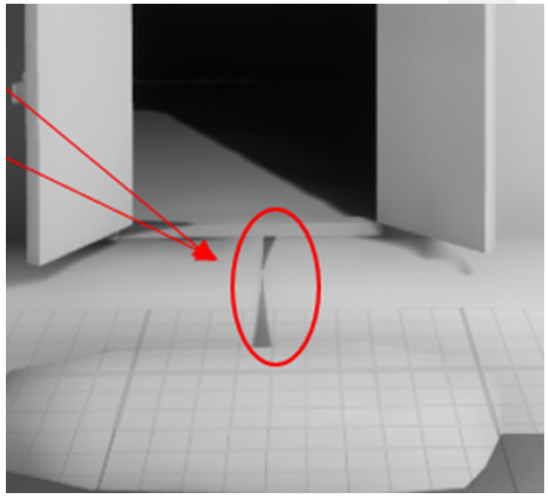
展开后的造型应保持原造型的对称性



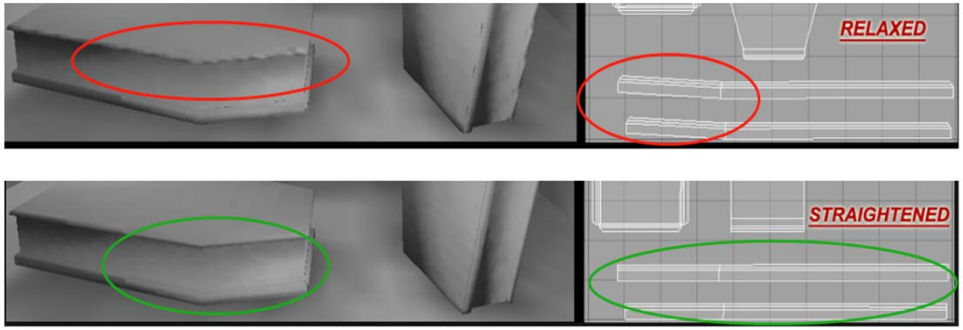
不允许任何UV岛重叠



可见光滑边被切开，导致烘培渗色

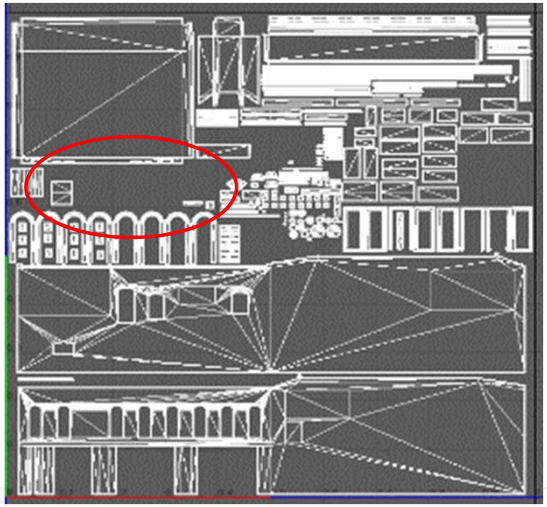


UV斜边导致烘培效果产生锯齿



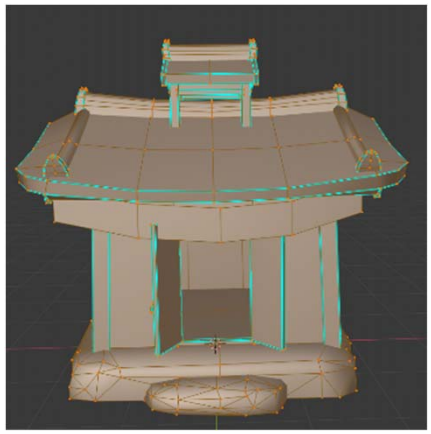
切割过量导致间隙的空间浪费

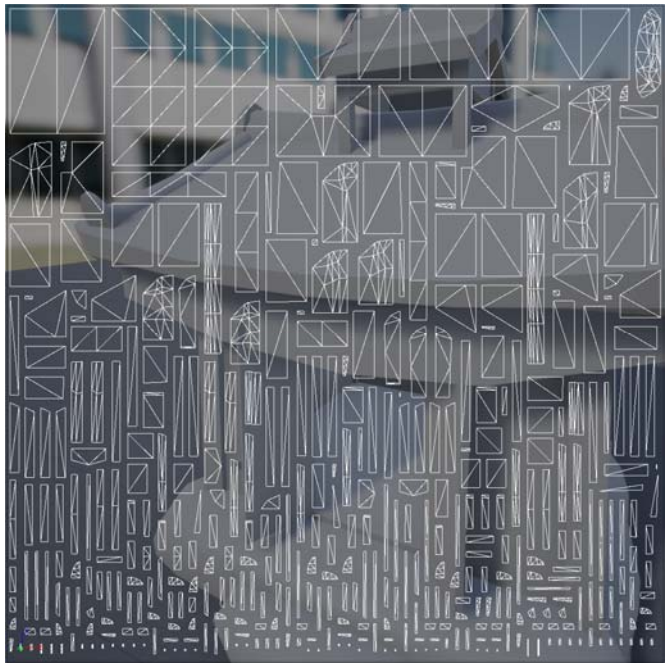
装箱不紧致导致空间浪费



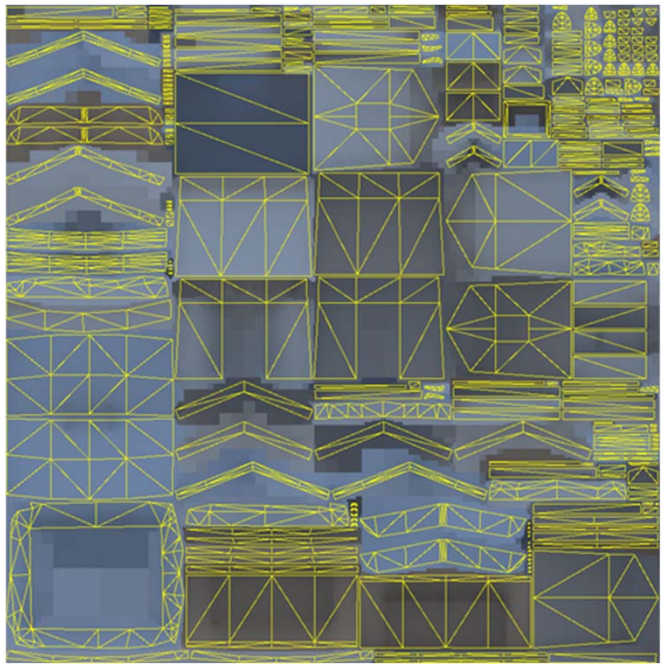
2UV需要人工制作

- 制作要求复杂，只能人工制作
- 需要30~40分钟
- 是枯燥而缺少创意的工作

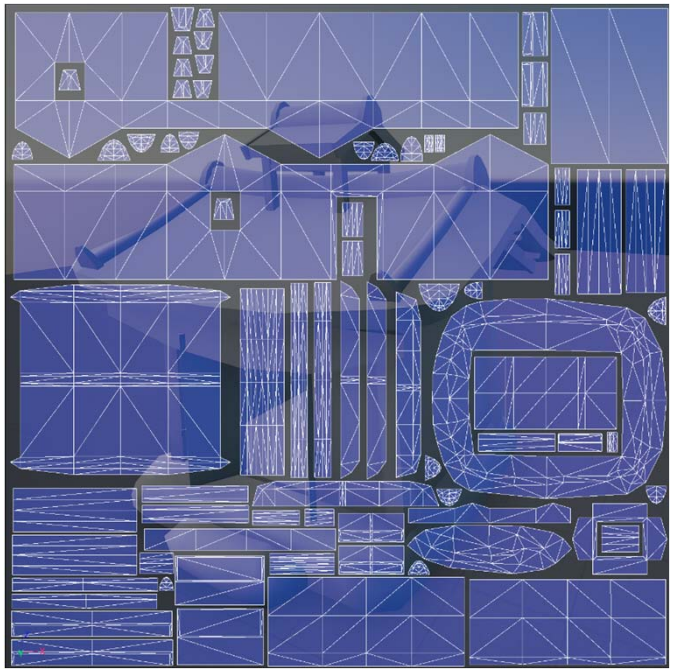




Unreal



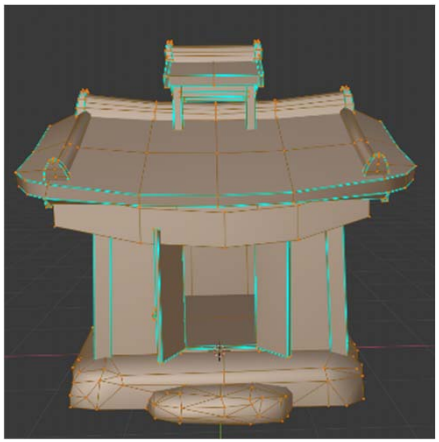
Unity3D



人工

为此我们研发了全自动的2UV制作工具

全自动2UV生成

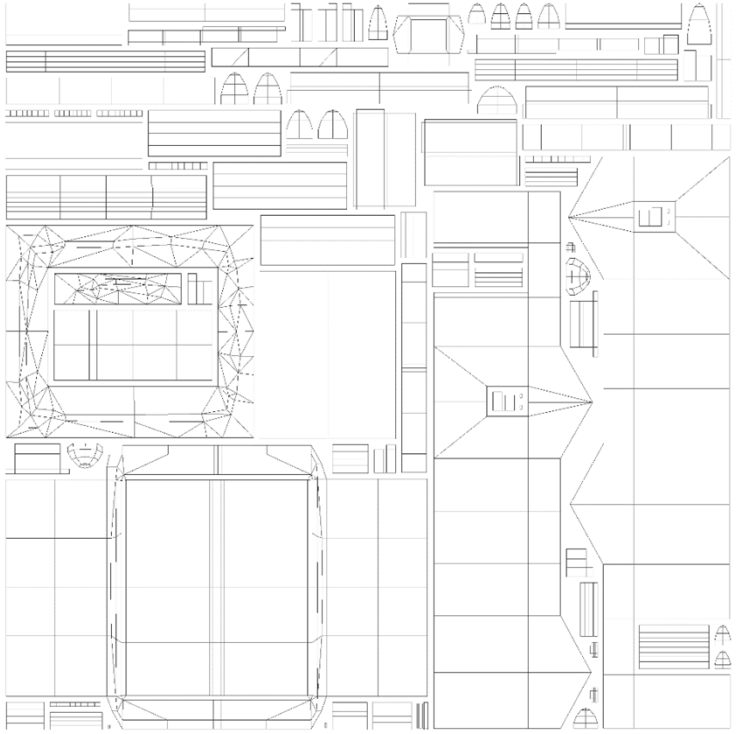


切割展平

形变拉直

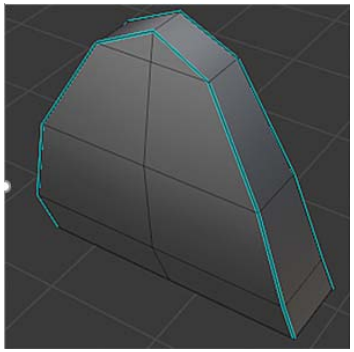
尺寸调整

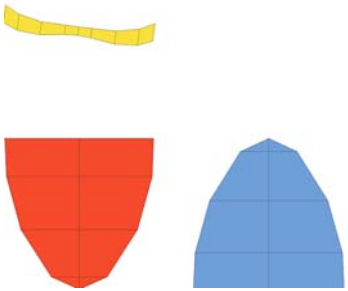
紧致装箱

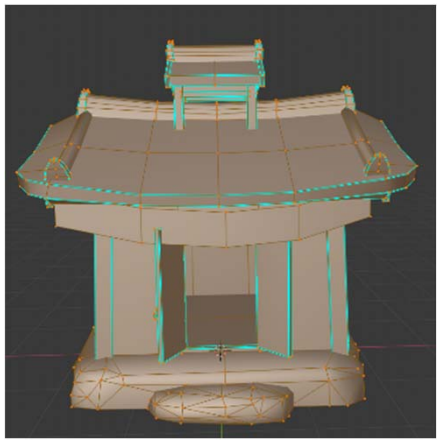


过量切割展平

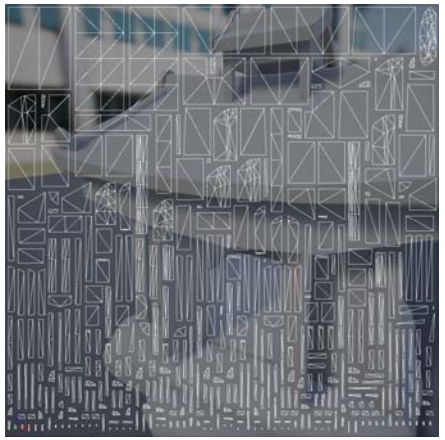
对模型进行过量切割，得到相对比较简单，并且容易展开的结构。这里可以使用**LSCM参数化**或者**ARAP参数化**来得到初步展平的结果







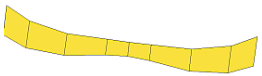
切碎

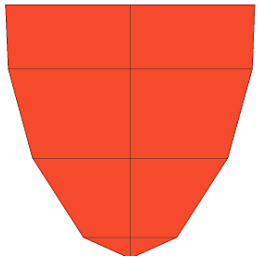


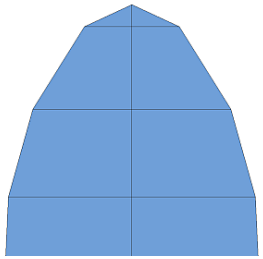
切割过量会导致间隙的空间浪费！

拼接展平

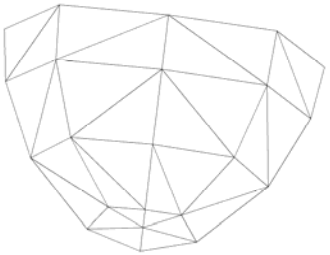
为了降低空间浪费，我们需要尽量多地拼接，不过同时还要考虑人工制作2UV的要求，比如可见性、对称性、扭曲形变、交叠等。这里会使用**无翻转的ARAP参数化**、**CSHELL参数化**与**增量参数化**作为主要的参数化方法，并根据不同的目的进行组合使用。

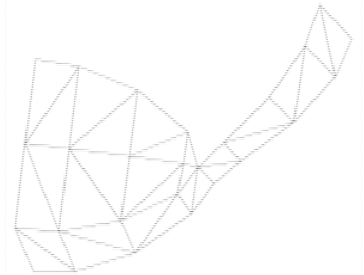


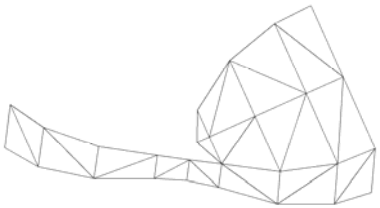


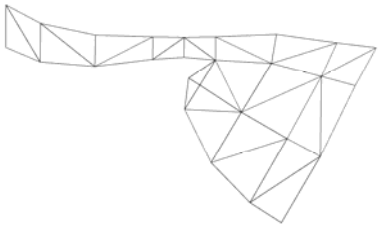


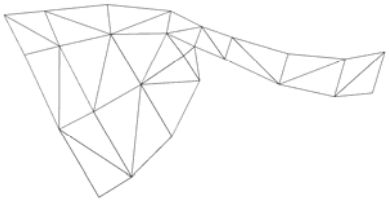
可能的拼接展开







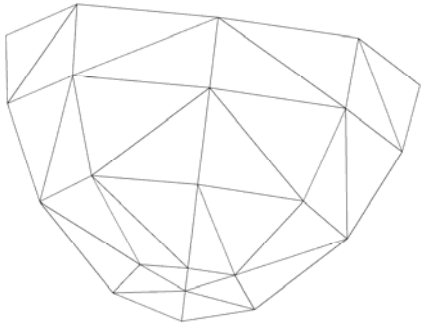




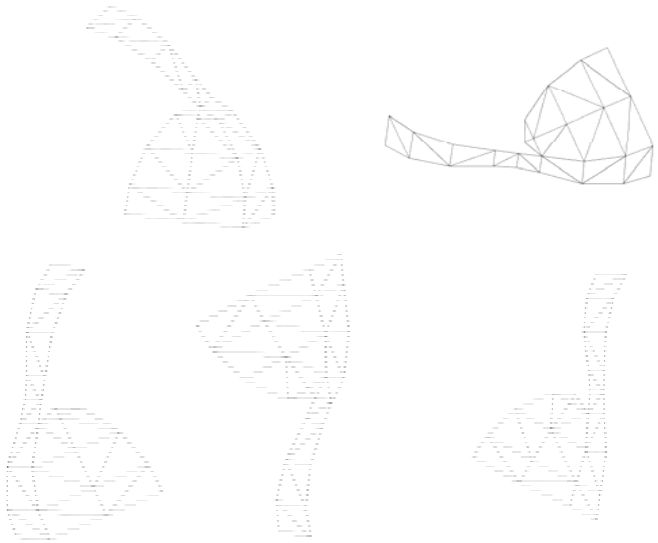
…

拼接展平

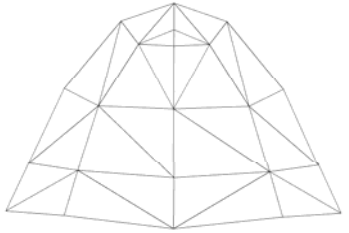
在这个例子中，最终选择的拼接方案为下图左侧，原因是从对称性角度评估优于右上方几种组合，从扭曲形变角度评估由于右下方的组合



优于

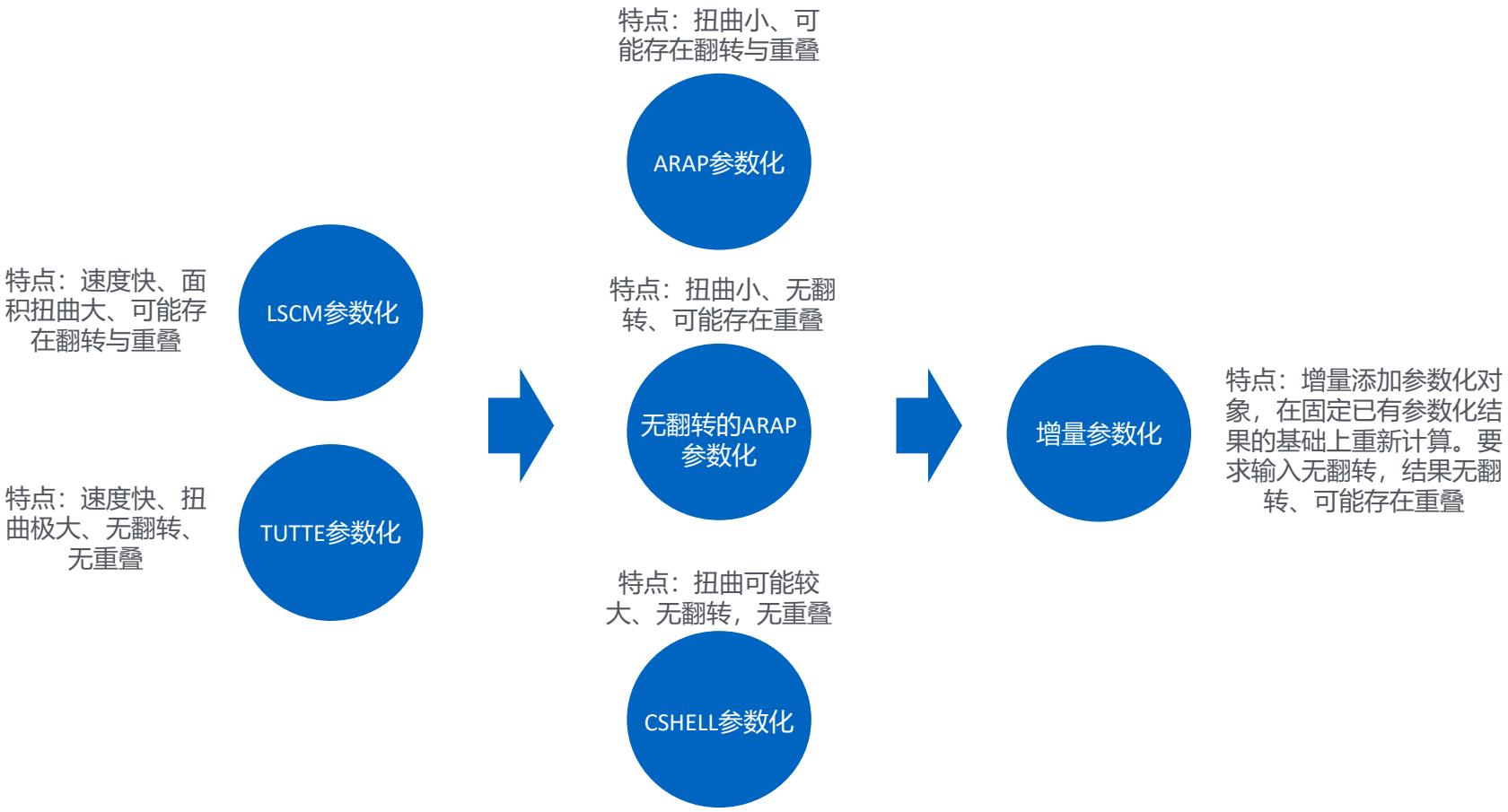


丢失对称性



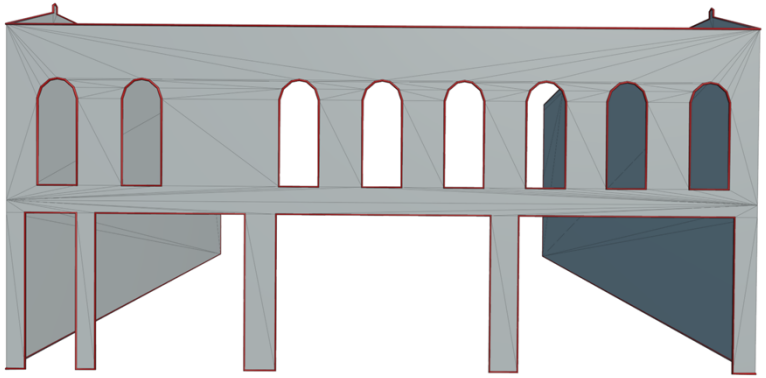
形变更大

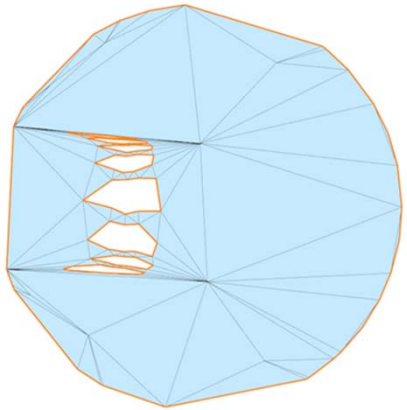
切割展平有应用哪些参数化方法?



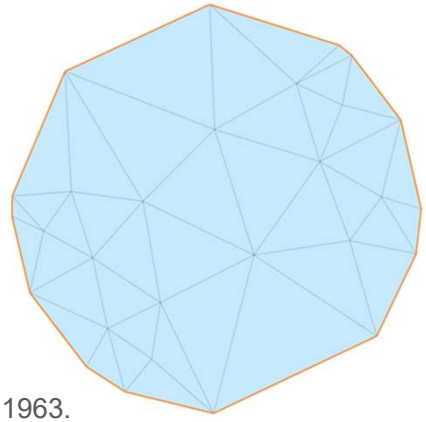
TUTTE参数化

- TUTTE参数化优点：
  - 速度快
  - 无翻转
  - 无重叠





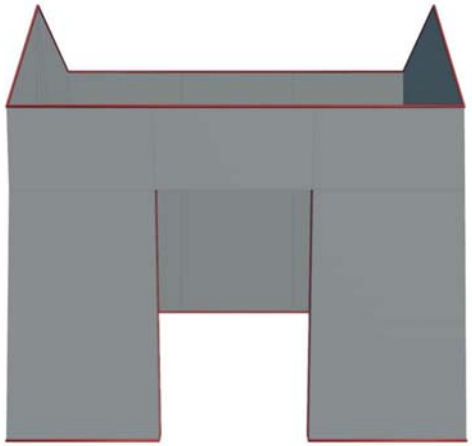
- TUTTE参数化缺点：
  - 扭曲大

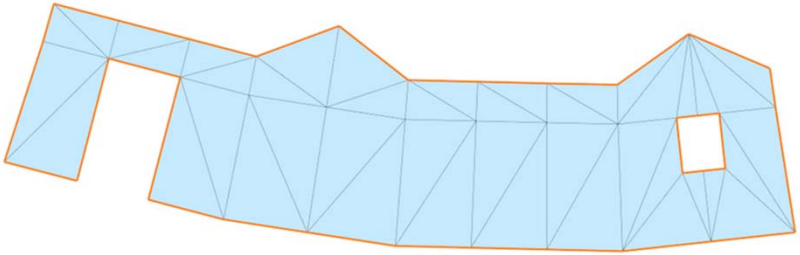


W. T. Tutte. How to draw a graph. *Proceedings London Mathematical Society*, 1963.

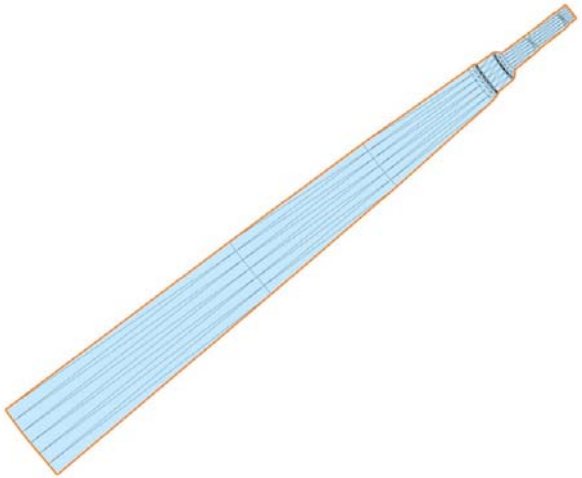
LSCM参数化

- LSCM参数化优点：
  - 速度快
  - 特殊情况扭曲小





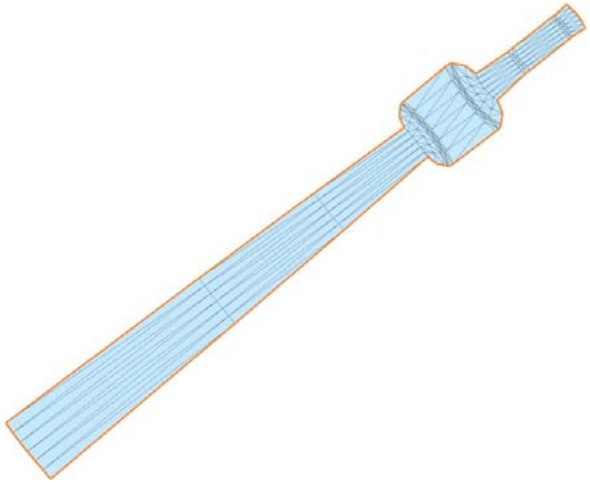
- LSCM参数化缺点：
  - 不能保证无翻转，无重叠
  - 一般情况扭曲大



Lévy et al. Least squares conformal maps for automatic texture atlas generation. *ACM Transactions on Graphics*, 2002.

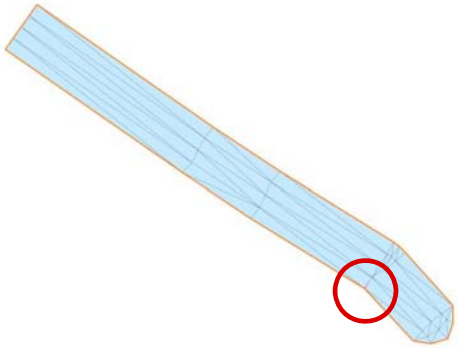
ARAP参数化

- ARAP参数化优点：
  - 扭曲小



- ARAP参数化缺点：
  - 不能保证无翻转，

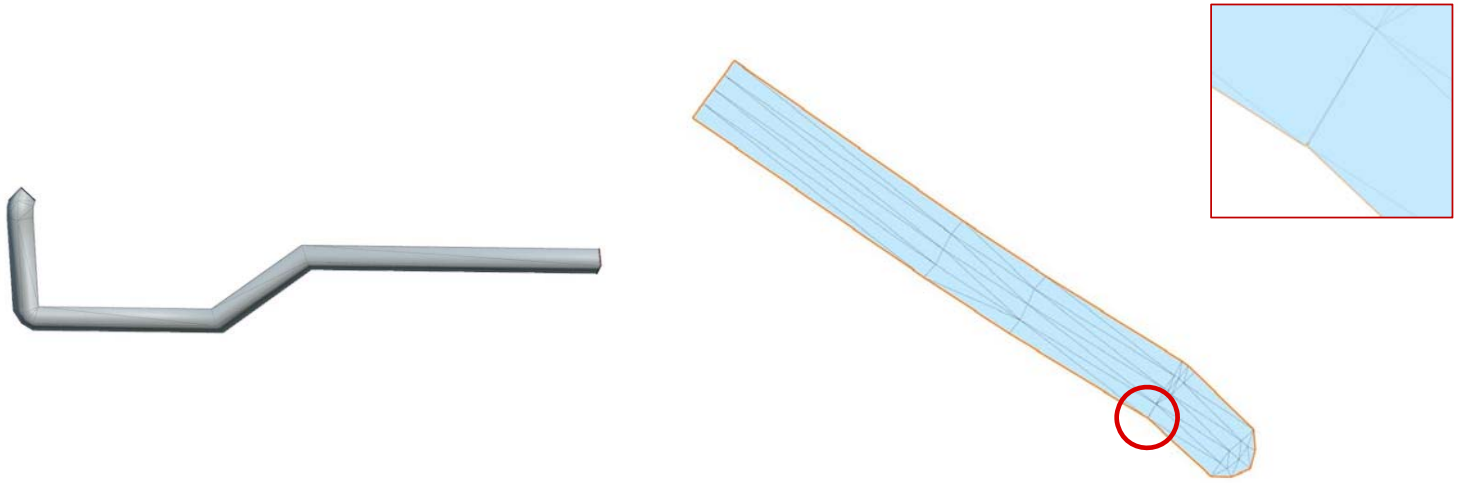
  无重叠



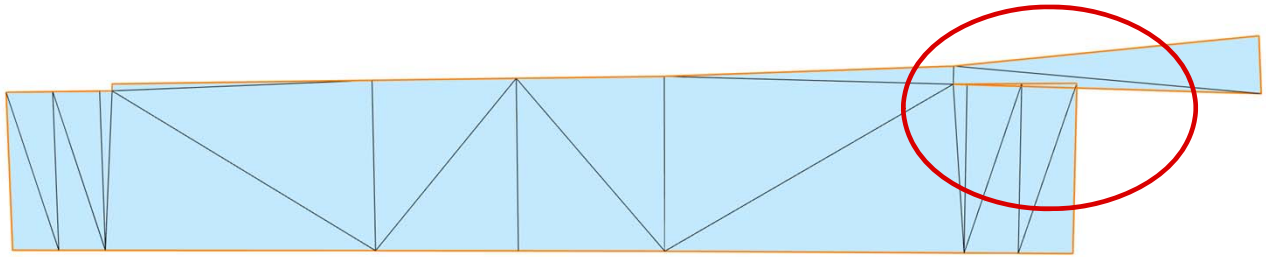
Liu et al. A local/global approach to mesh parameterization. *Computer Graphics Forum,* 2008.

无翻转ARAP参数化

- 无翻转ARAP优点：
  - 扭曲小
  - 无翻转

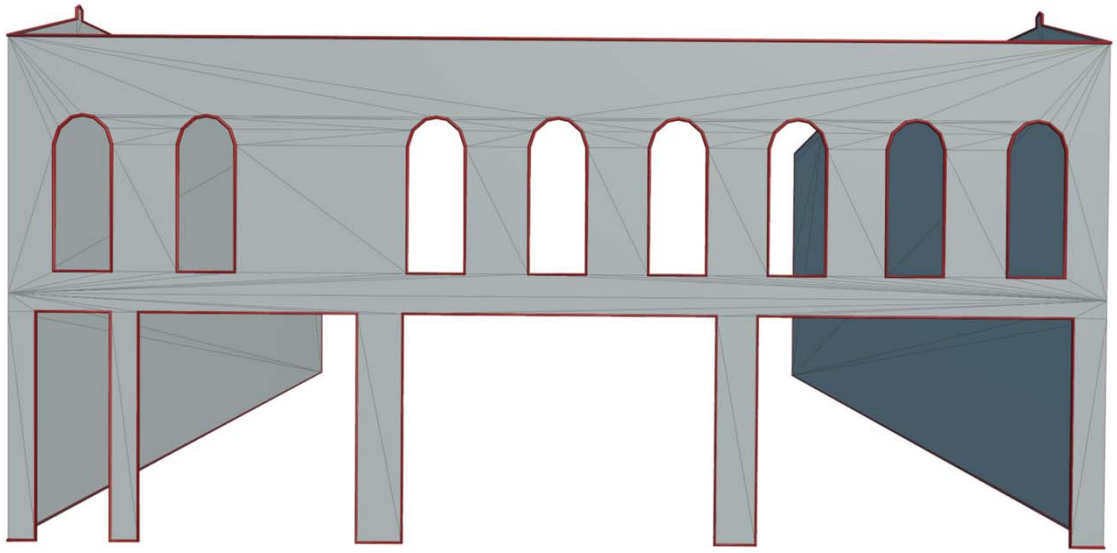


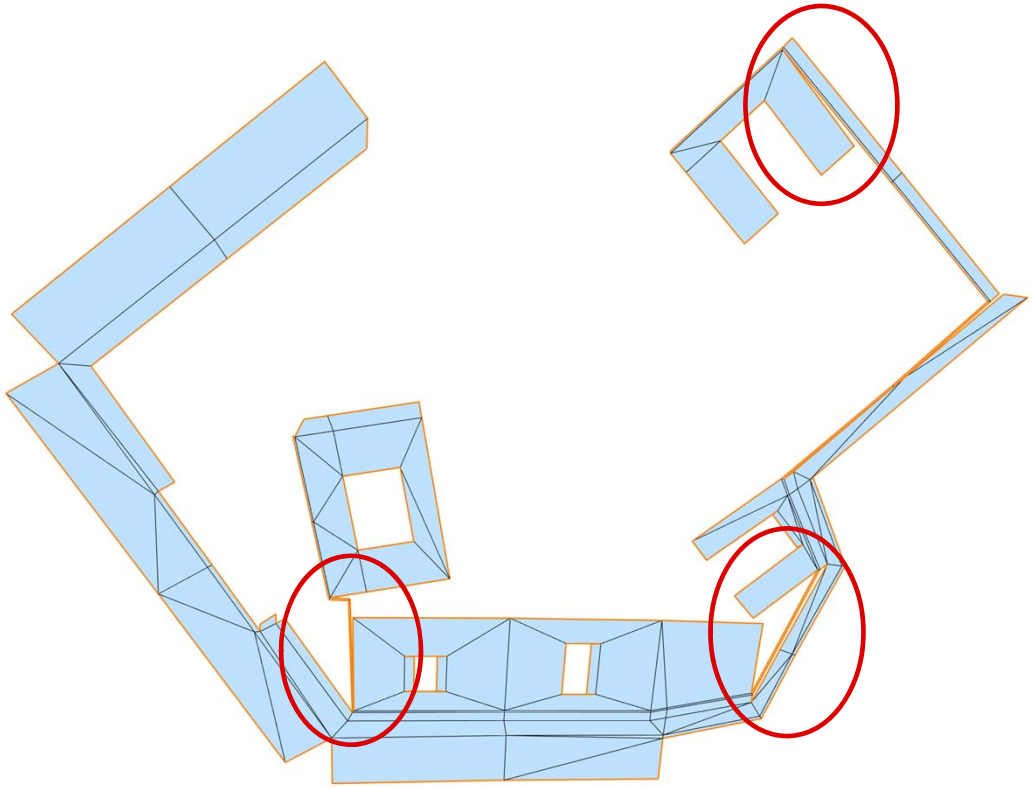
- 无翻转ARAP缺点：
  - 不能保证无重叠



CSHELL参数化

- CSHELL参数化优点：
  - 保证无翻转
  - 保证无重叠



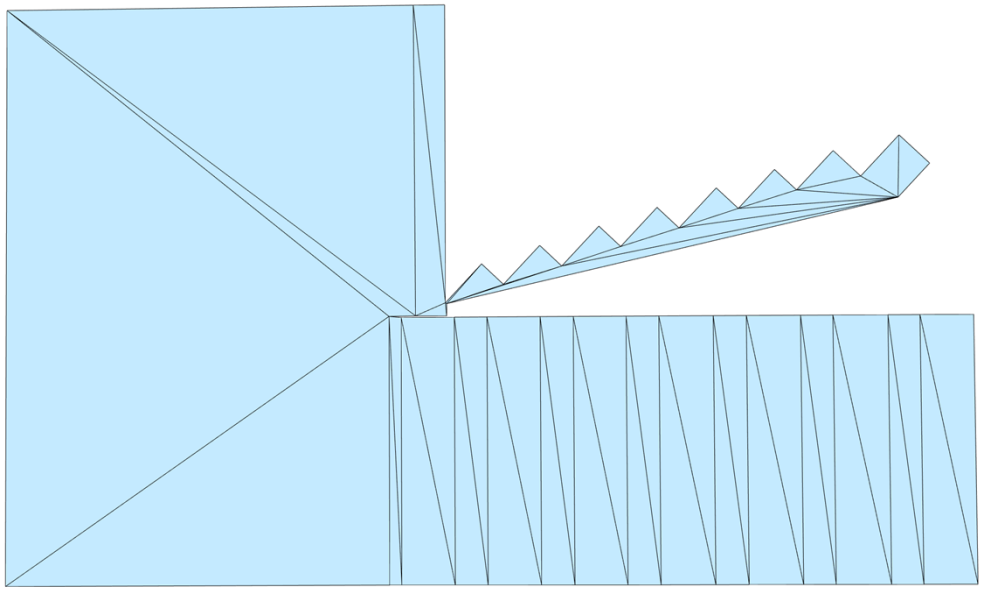


Su et al. Efficient Bijective Parameterizations. *ACM Transactions on Graphics*, 2020.

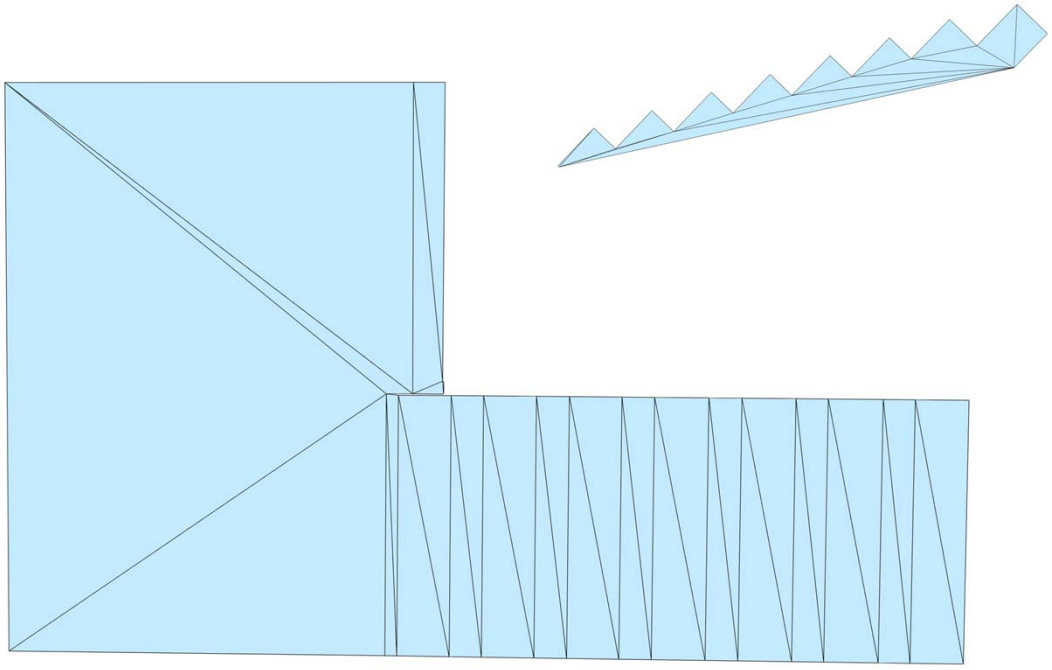
CSHELL参数化

·CSHELL参数化缺点：

- 拼接网格生成无重叠结果的能力太强，并不有利于后续的拉直装箱



CSHELL参数化

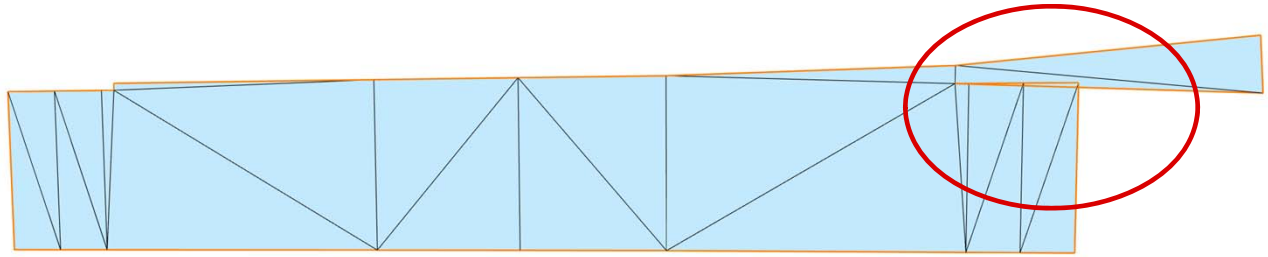


ARAP参数化

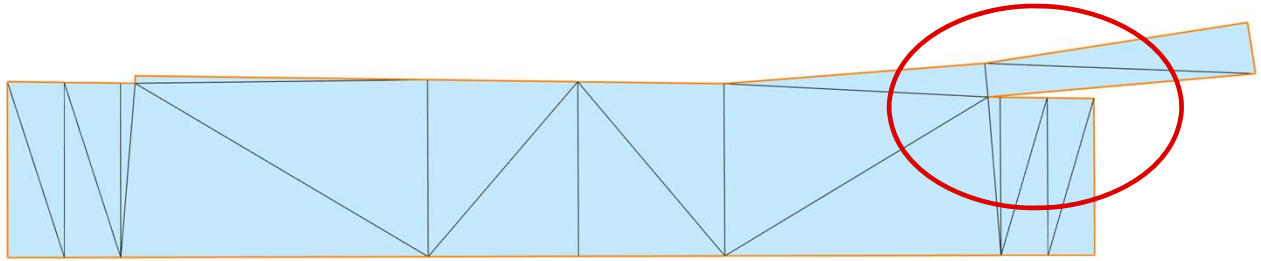
CSHELL参数化

·CSHELL参数化使用方法：

- 接在ARAP参数化之后，用来处理狭小的重叠问题，严格保证展平结果无重叠。



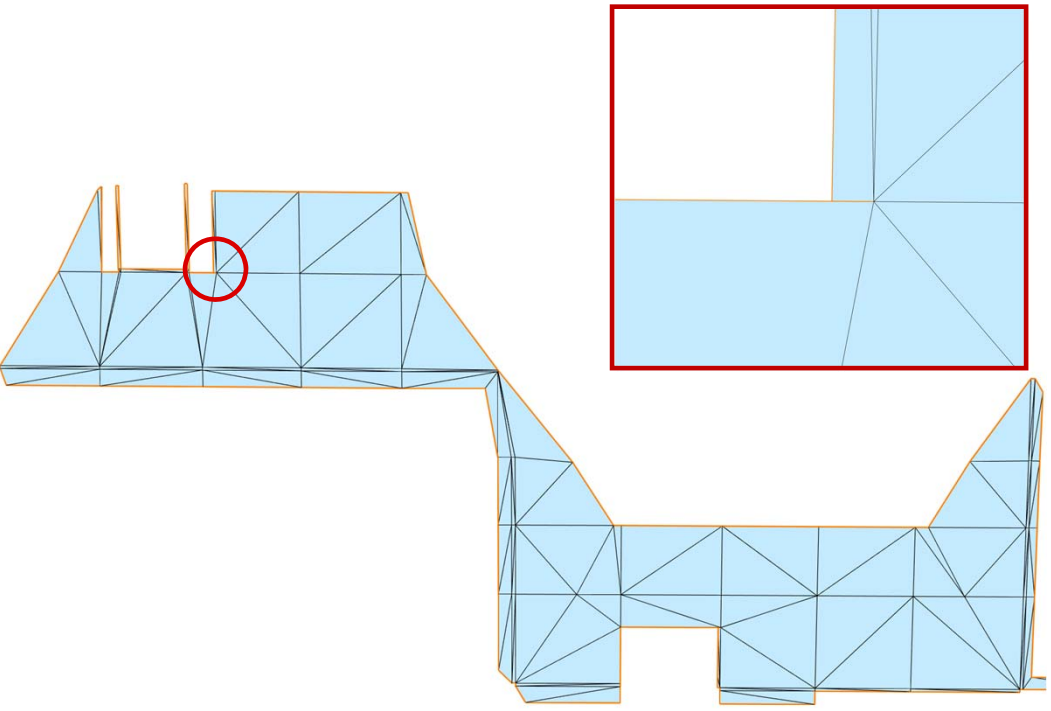
ARAP参数化



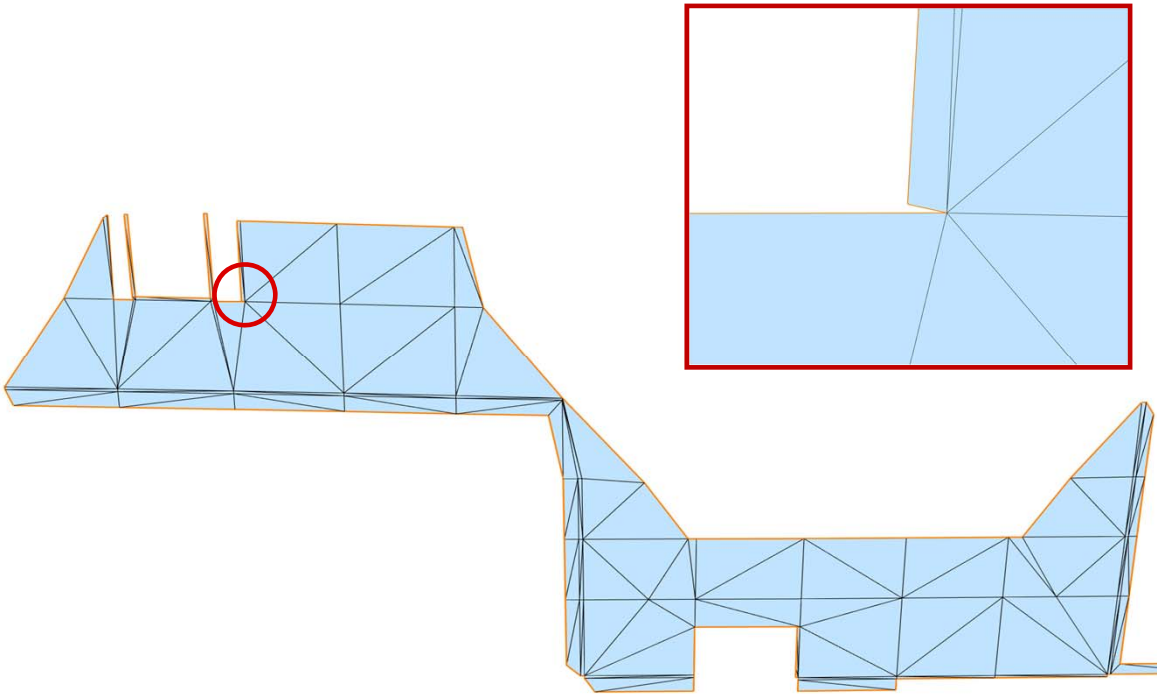
CSHELL参数化

CSHELL参数化

- CSHELL参数化使用方法：
- 接在ARAP参数化之后，用来处理狭小的重叠问题，严格保证展平结果无重叠。



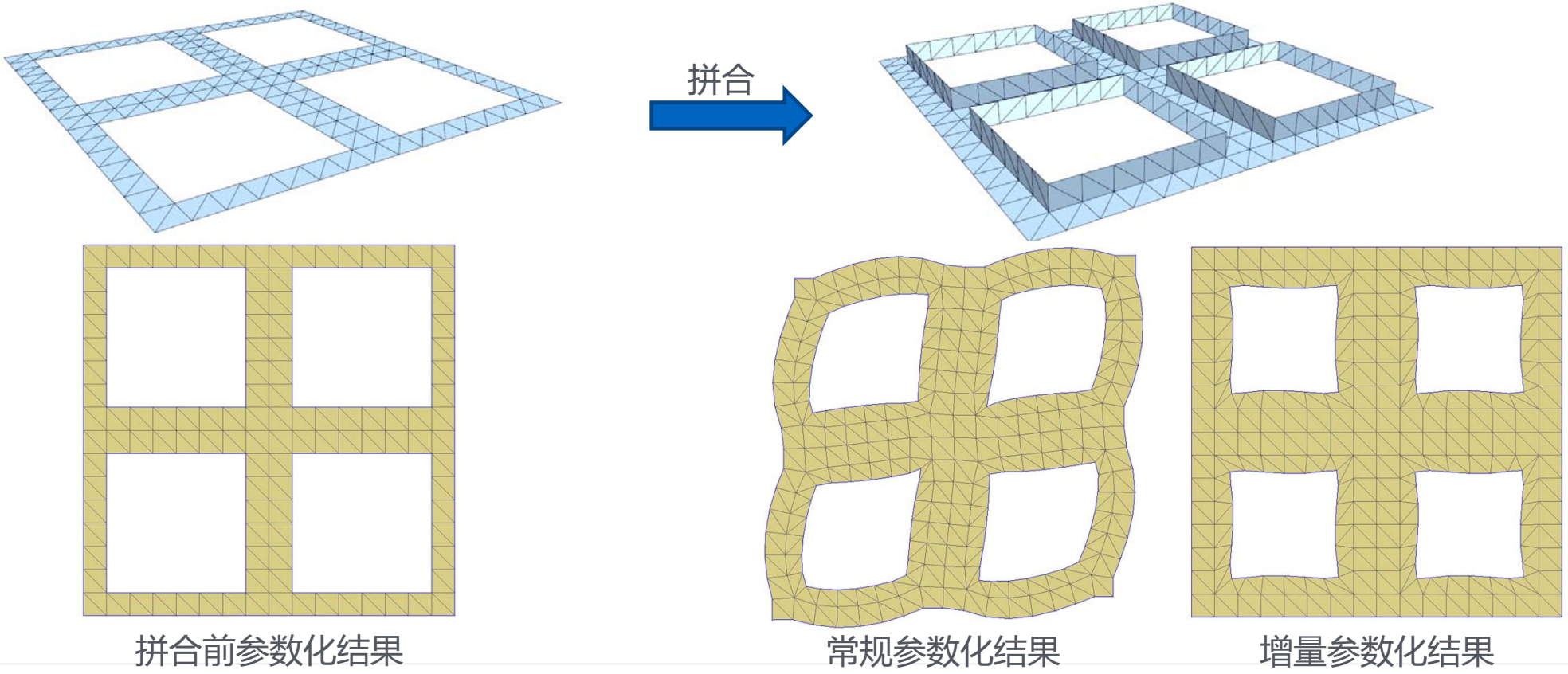
ARAP参数化



CSHELL参数化

增量参数化

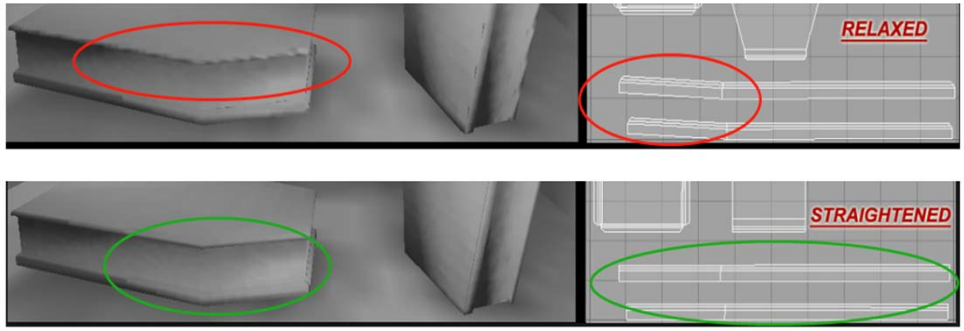
- 在固定已有参数化结果基础上，计算新拼合部分的参数化结果
  - 避免主体部分已有结果在少量拼合后被破坏



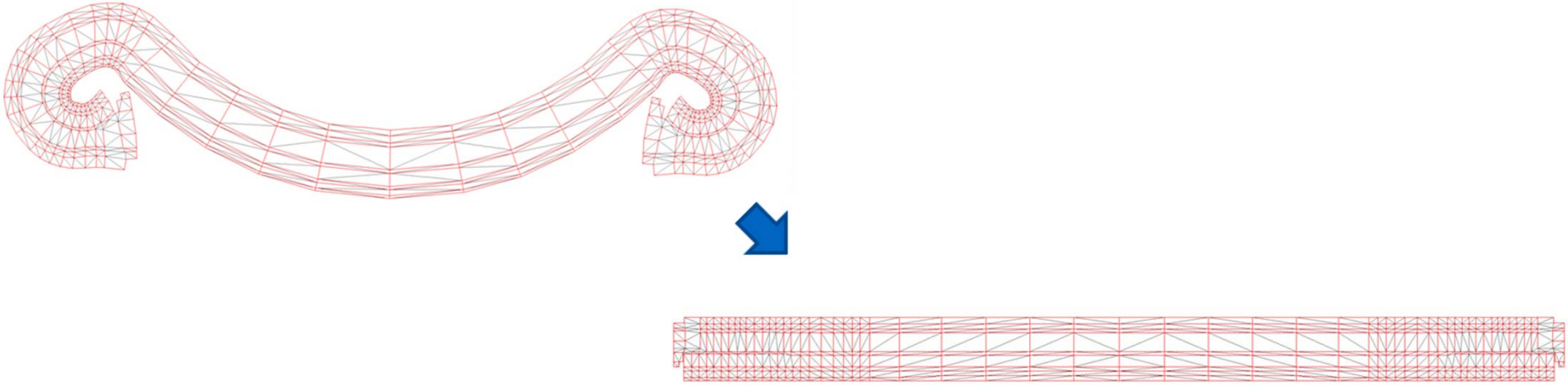
Fu et al. Computing Inversion-Free Mappings by Simplex Assembly. *ACM Transactions on Graphics*, 2016.

UV岛拉直

- 拉直的意义：
  - UV岛边界平行于坐标轴方向可提高渲染质量
  - 尤其是对于分辨率较低的光照纹理

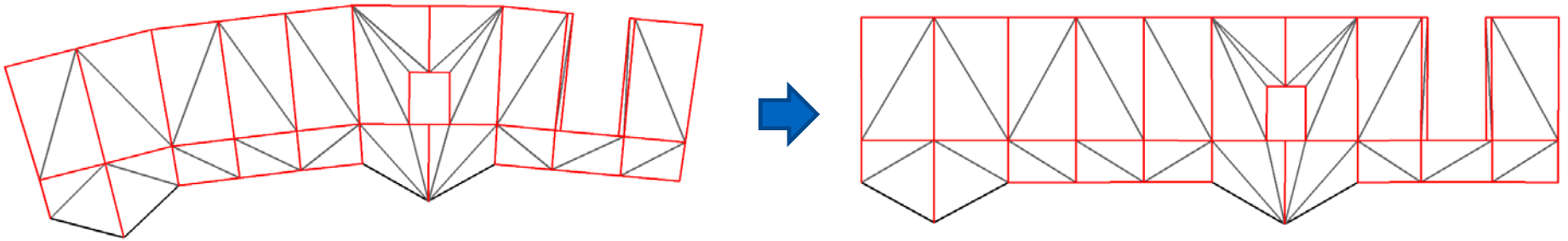


- 拉直过程也可视为对二维空间中的网格（即输入UV岛）进行参数化

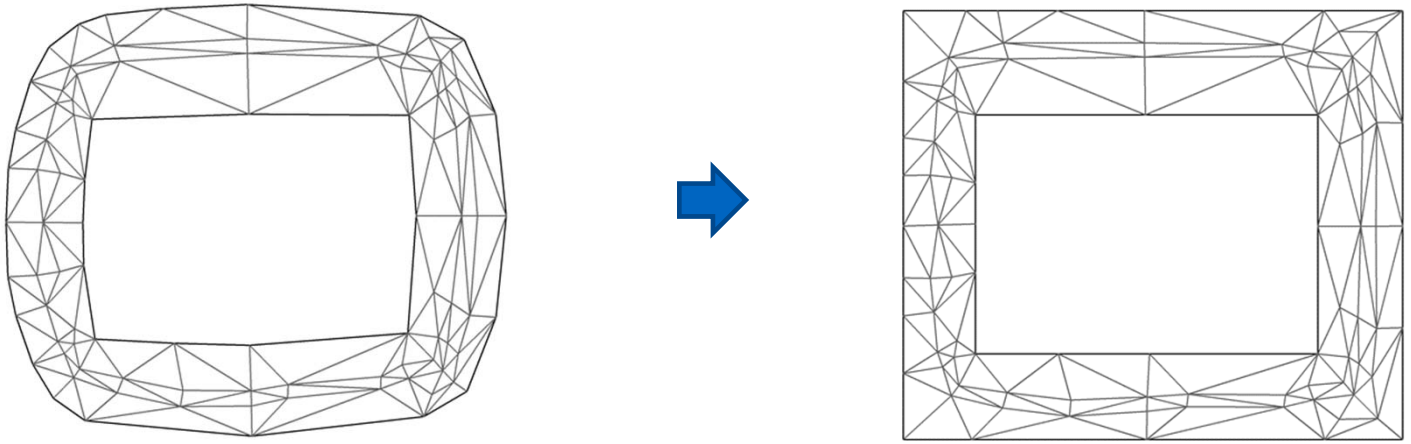


应用到的拉直方法

- 规整UV岛的内部边拉直

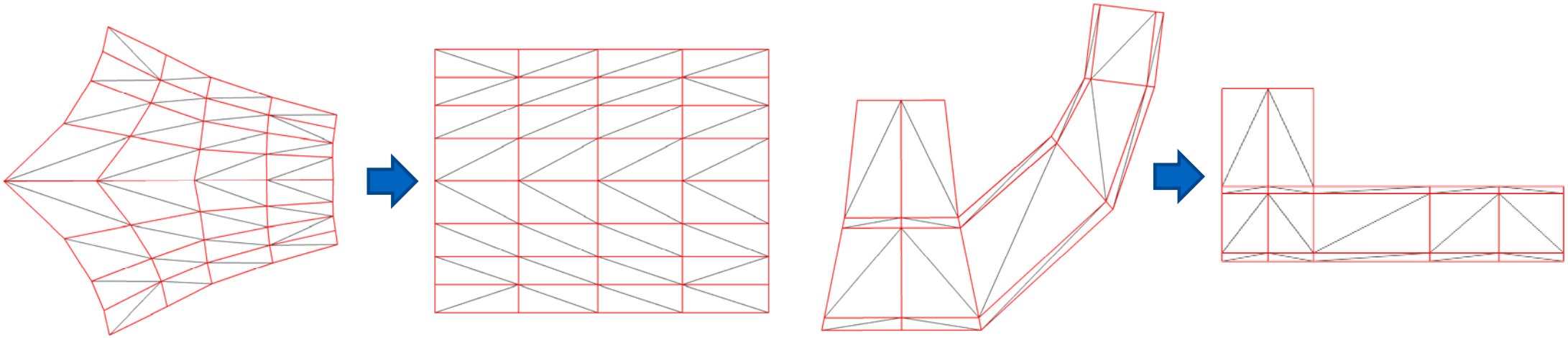


- 杂乱UV岛的外边界拉直



规整UV岛的内部边拉直

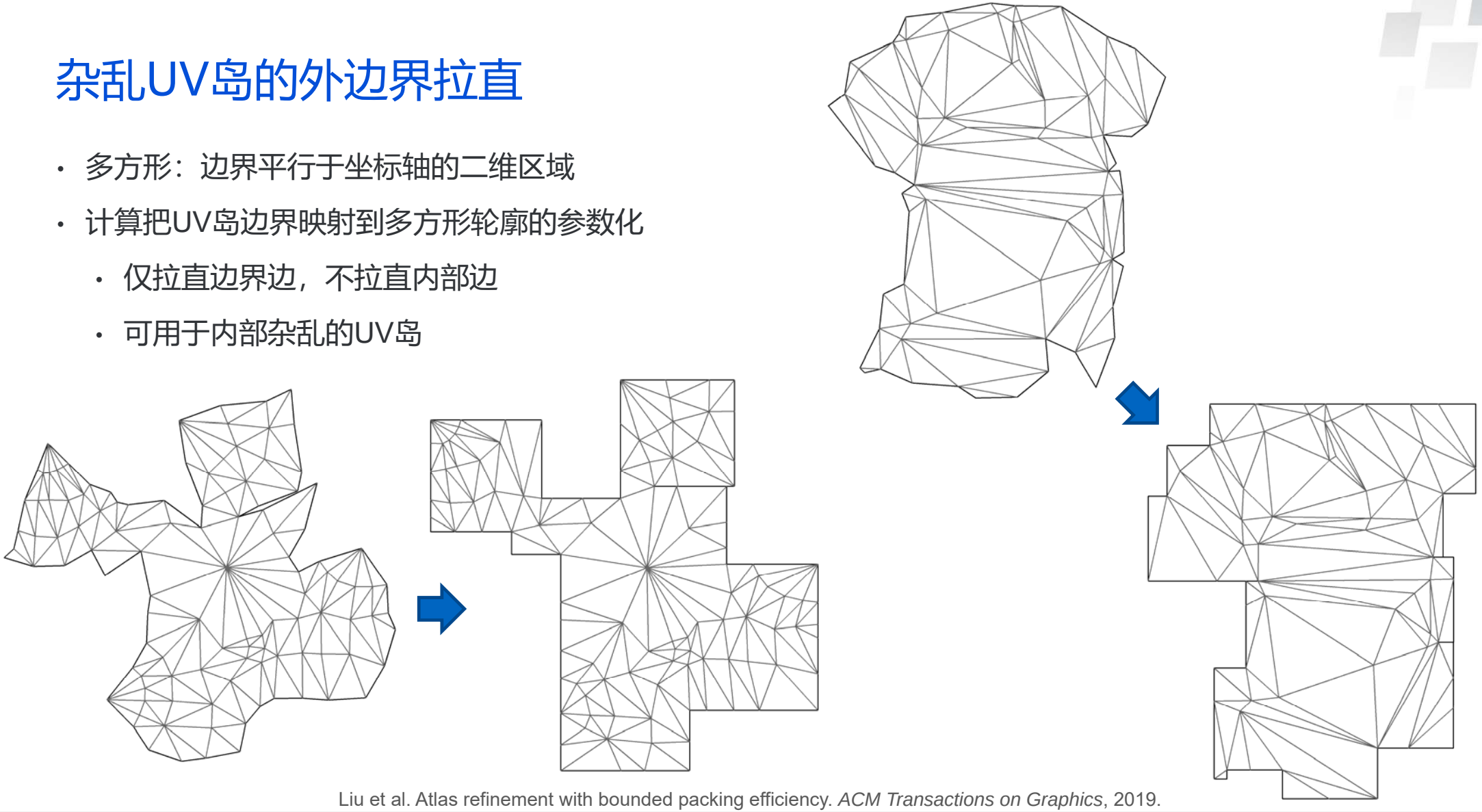
- 利用UV岛的规整性提取要拉直的边（红色标出）
- 借助标架场（Frame Field）将要拉直的边参数化到平行于坐标轴的位置
  - 同时拉直内部边和边界边，结果质量好
  - 需要UV岛具有规整的结构



Kälberer et al. QuadCover - Surface Parameterization using Branched Coverings. *EuroGraphics*, 2007.

杂乱UV岛的外边界拉直

- 多方形：边界平行于坐标轴的二维区域
- 计算把UV岛边界映射到多方形轮廓的参数化
  - 仅拉直边界边，不拉直内部边
  - 可用于内部杂乱的UV岛



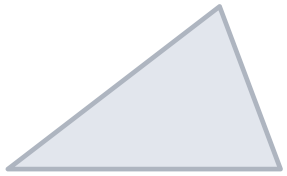
Liu et al. Atlas refinement with bounded packing efficiency. *ACM Transactions on Graphics*, 2019.

狭长区域扩大参数化

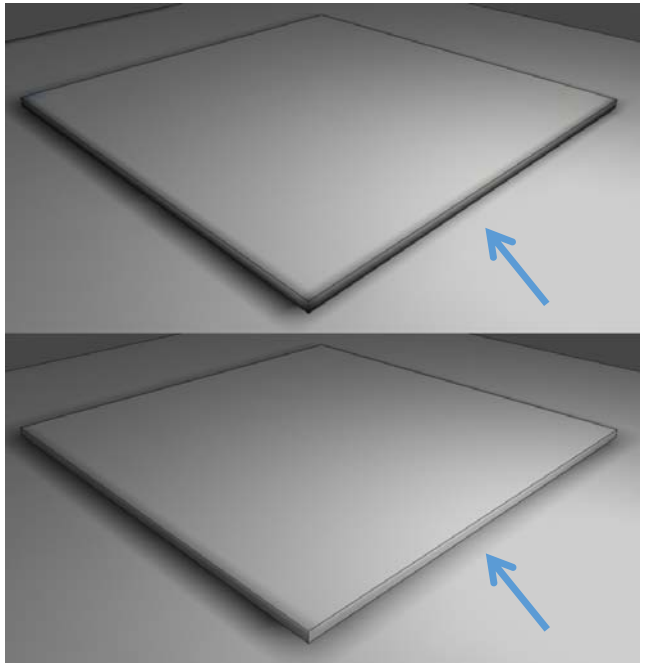
- 纹理变化剧烈的区域若UV很窄会严重影响渲染质量

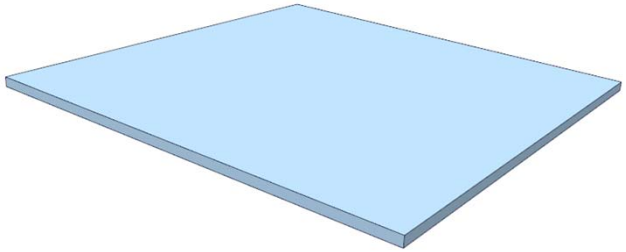
- 方案：参数化时将参考三角形沿需要的方向拉长

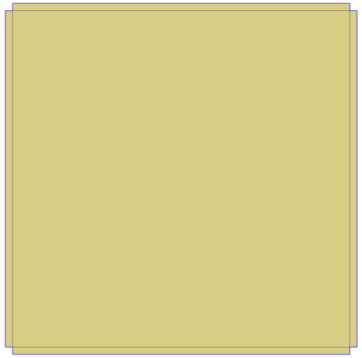
网格上的三角形



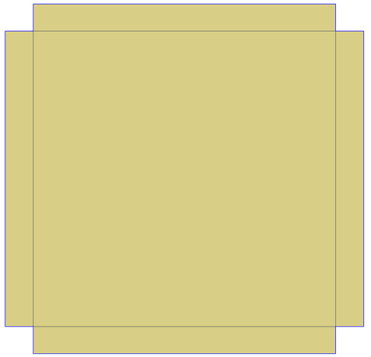
拉长后的三角形





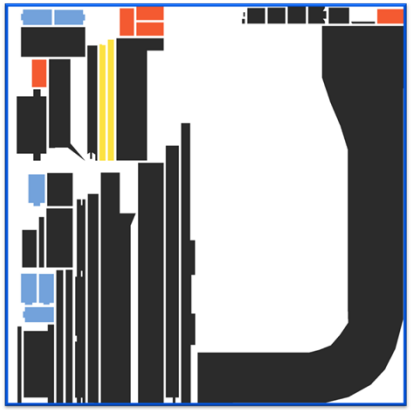


狭长区域扩大前



狭长区域扩大后

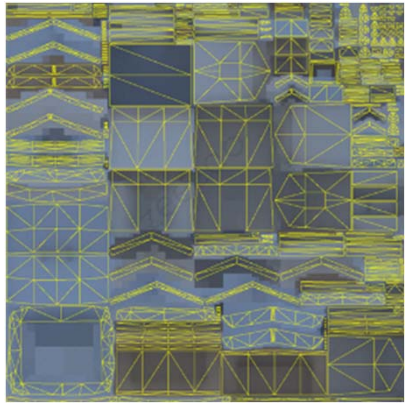
紧致装箱



输入：一批形态各异的UV岛、指定大小的矩形容器

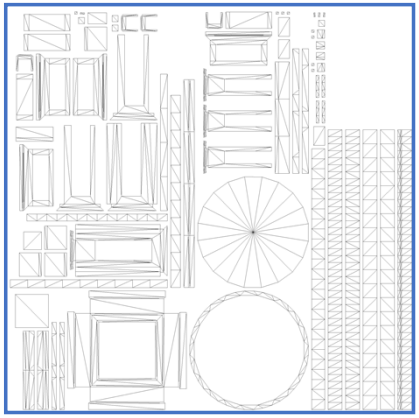
NP完全

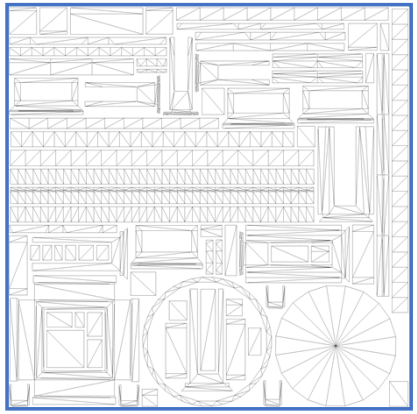
输出：排列紧致、无交叠、稳定间隙、利用率高的装箱

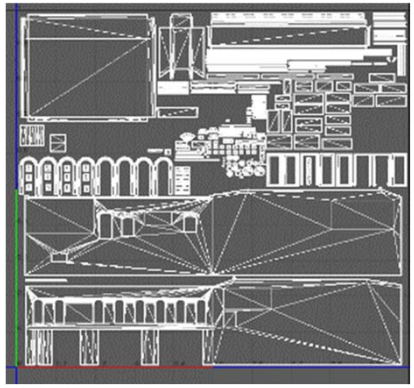


竞品效果1

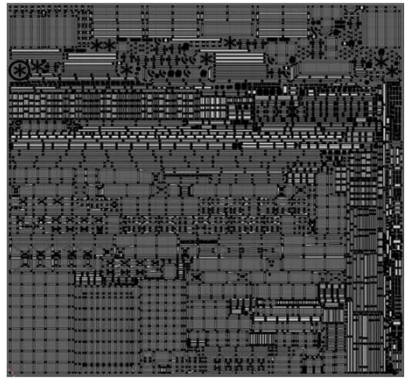
竞品效果2







竞品效果3

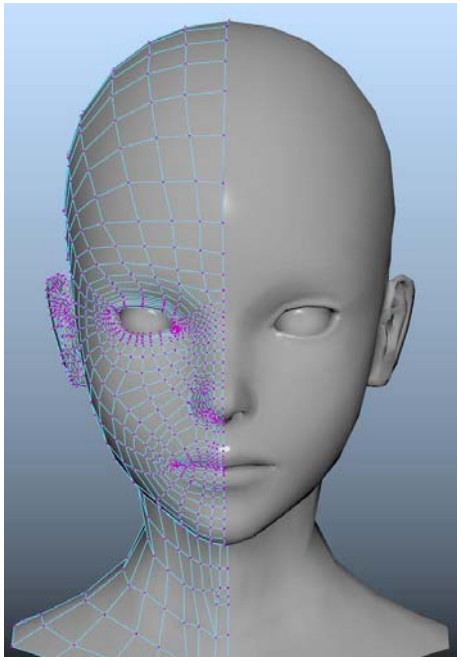


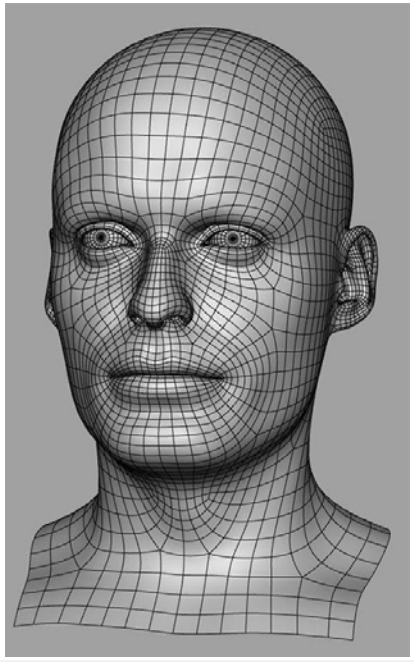
人工：质量高，但耗时多
(该模型耗时4小时装箱)

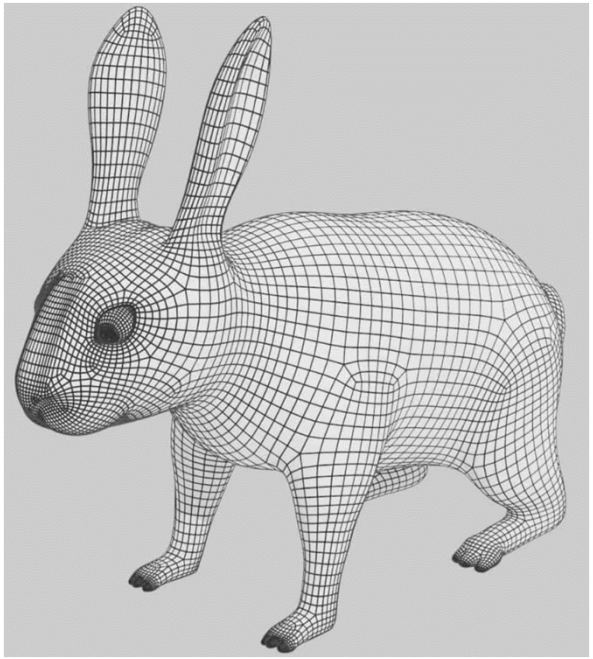
嵌入式应用案例

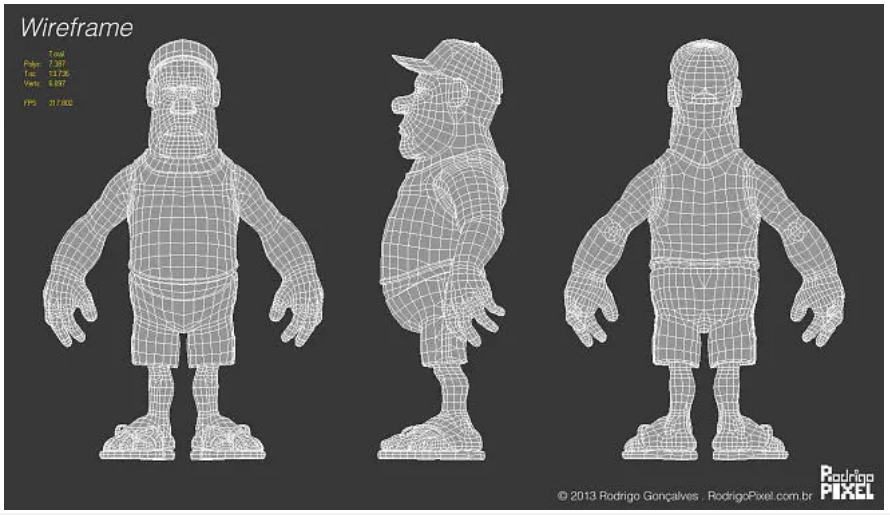
案例1：模型布线

- 在杂乱的高模上进行网格划分，得到面数较低且较为整齐的新网格
  - 需考虑形状、运动等因素

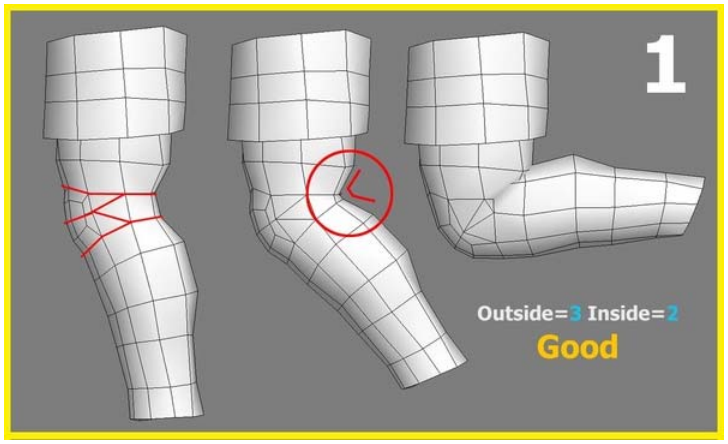




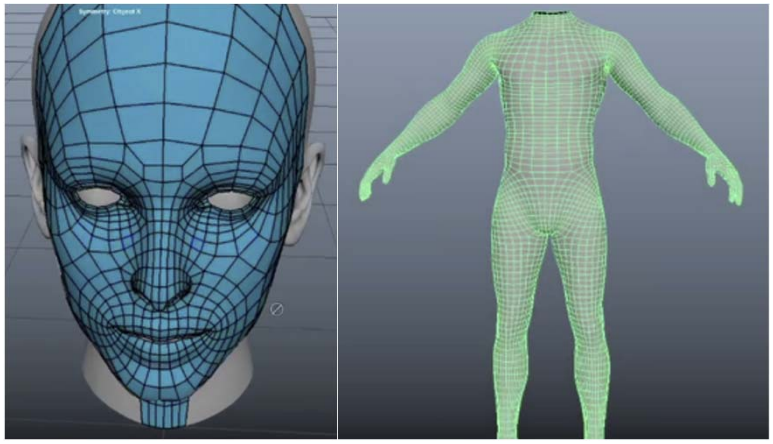




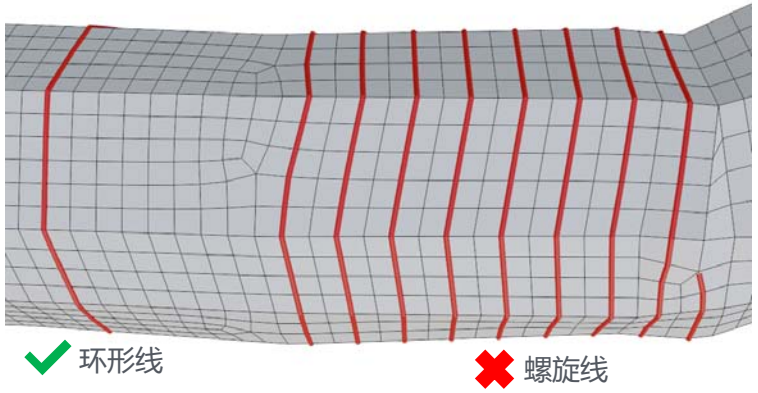
模型布线的需求



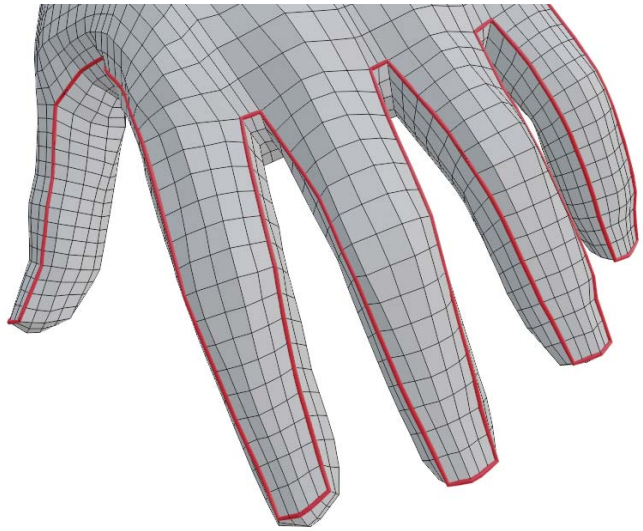
满足运动需求



对称性



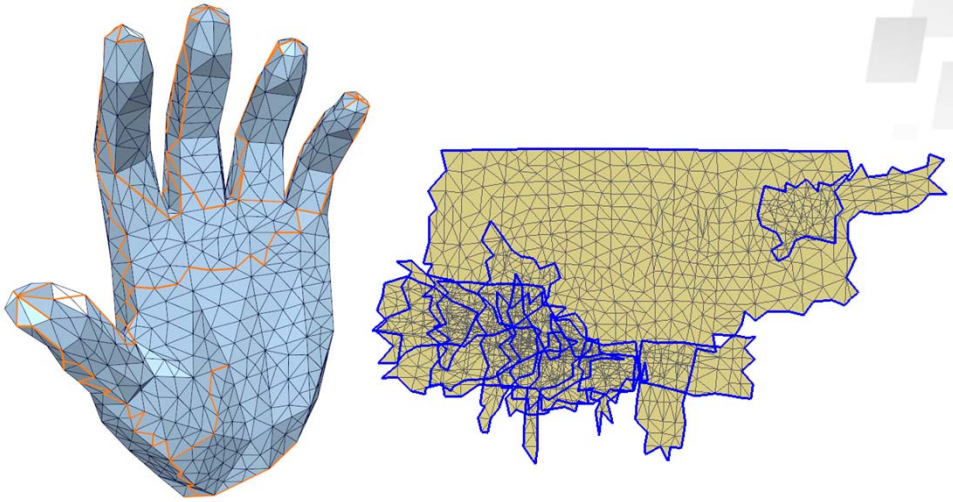
环形线，非螺旋线

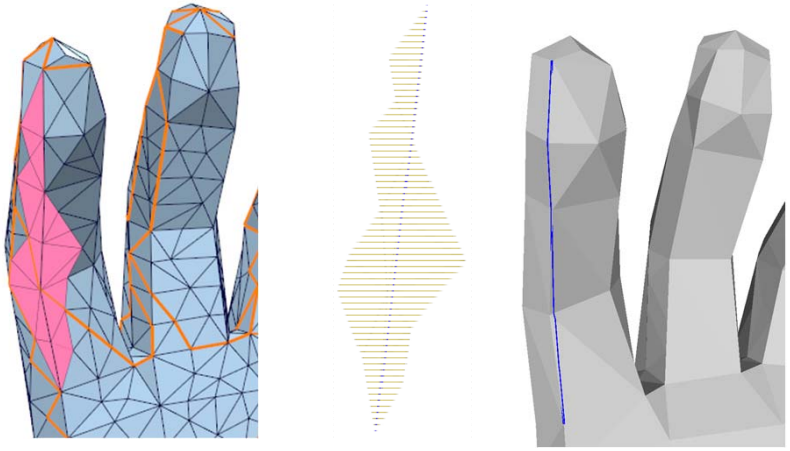


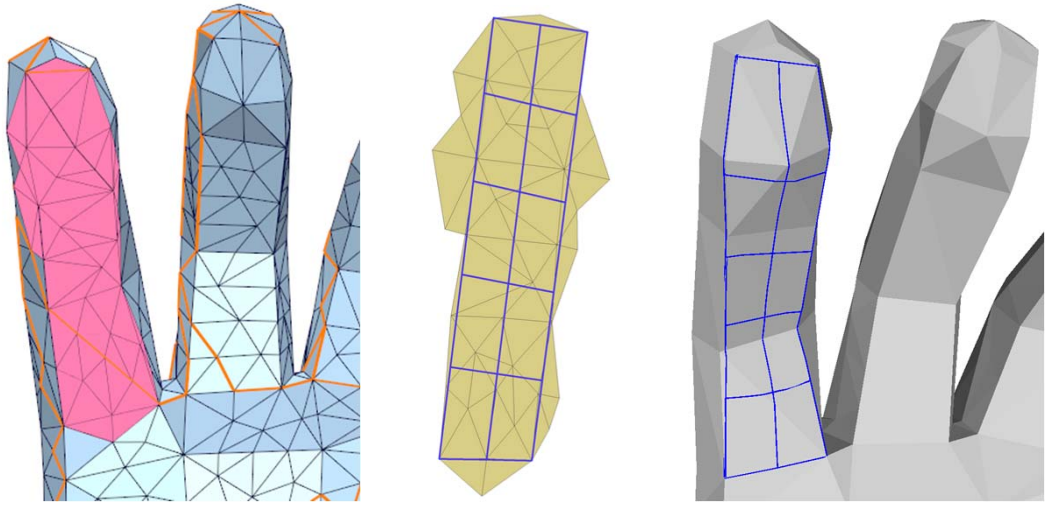
奇异点对齐

无缝参数化在模型布线上的应用

- 无缝参数化的结果在切缝处具有连续性
- 将网格上的问题转化为二维空间中的问题
  - 寻找两点间的连线
  - 在网格的一个区域上进行网格划分

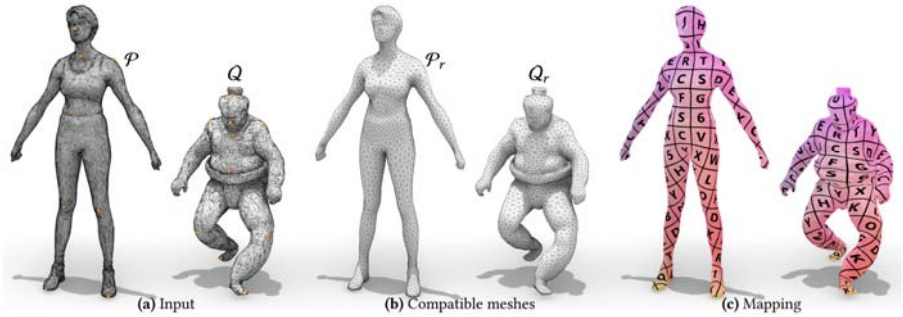




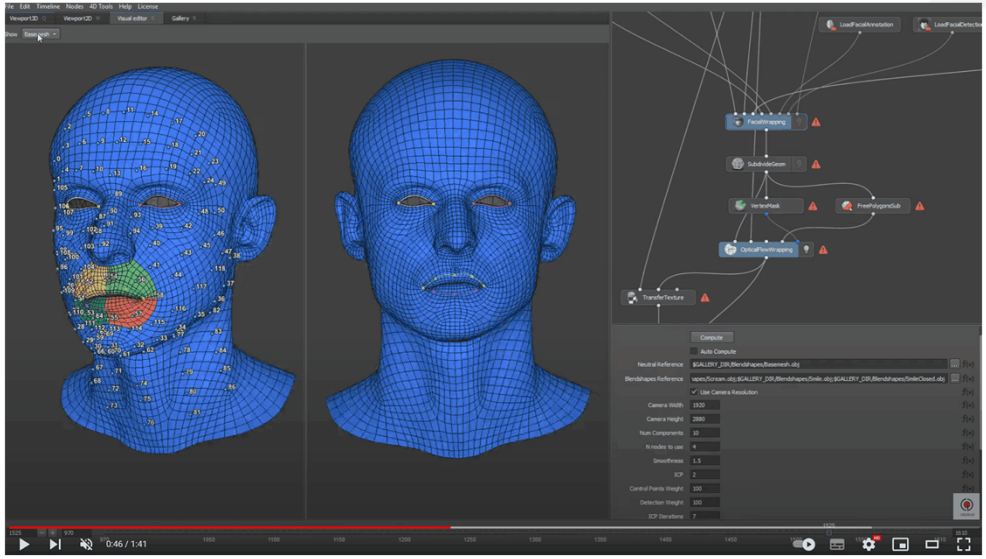


案例2：信息迁移

Schreiner et al. Inter-surface mapping. *ACM Trans. Graph*, 2004.

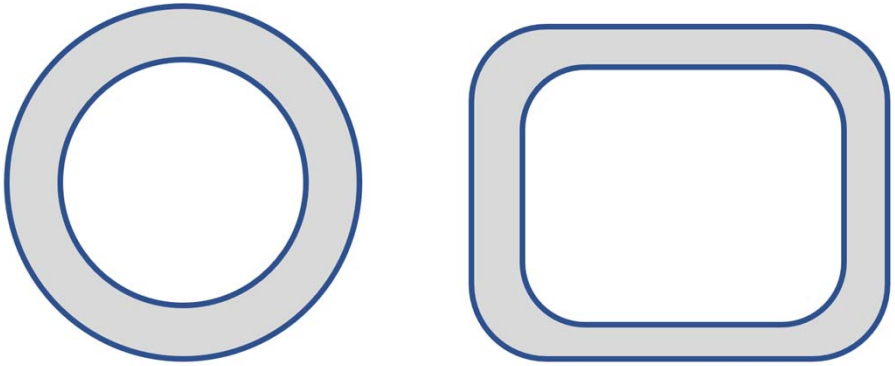


Yang et al. Error-bounded Compatible Remeshing. *ACM Trans. Graph*, 2020.



- 迁移拓扑结构、蒙皮权重、骨骼动画等信息
- 用于游戏中的角色定制、人脸定制等系统
- 也可用于三维重建模型的修补

案例3：造型识别



两条封闭边界

固定边界参数化

根据扭曲情况判断造型近似程度

总结

- 三维模型由造型信息和表面信息组成，只要有模型就一定需要表面映射，参数化算法是进行模型表面信息编辑和识别中必不可少的技术。
- 它不仅仅作为一种对物件表面进行整体映射的功能，还处处作为嵌入式地应用到模型的表面的编辑和理解中。
- 在游戏美术的工业生产中，制作效果和性能的都是极为严格的，经典的参数化算法以及学术研究往往不能完全满足工业级要求。对每一种不同的生产应用，都需要对参数化算法进行深度的定制。
- 因此，研发团队中一定需要专精于参数化方向的研发人员。

中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

谢 谢 ！