**14 曲面细分阶段**

简而言之，曲面细分技术就是将几何体细分为更小的三角形，并以某种方式把这些新生成的顶点偏移到合适的位置，从而以增加三角形数量的方式丰富网格的细节。

使用曲面细分的3个理由：

1. 基于GPU实现动态LOD；
2. 物理模拟与动画特效。在低模网格上执行物理模拟与动画特效的相关计算。
3. 节约内存。

位于顶点着色器与几何着色器之间的曲面细分阶段，有3个可选阶段：外壳着色器，镶嵌器和域着色器。

14.1 曲面细分的图元类型

在进行曲面细分时，我们并不向IA(输入装配)阶段提交三角形，而是提交具有若干控制点的面片。Direct3D支持具有1—32个控制点的面片，并以下列图元类型进行描述：

D3D\_PRIMITIVE\_TOPOLOGY\_1\_CONTROL\_POINT\_PATCHLIST = 33

由于可以将三角形看作是拥有3个控制点的三角形面片，所以我们依然可以提交需要镶嵌化处理的普通三角形网格。对于简单的四边形面片而言，则只需提交具有4个控制点的面片即可。这些面片最终也会在曲面细分阶段经镶嵌化处理而分解为多个三角形。

在我们向渲染流水线提交了面片的控制点后，它们就会被推送至顶点着色器。这样一来，在开启曲面细分之时，顶点着色器要处理控制点。正因如此，我们还能在曲面细分开展之前，对控制点进行一些调整。一般来讲，动画与物理模拟的计算工作都会在对几何体进行镶嵌化处理之前的顶点着色器中以较低频次进行。

14.2 外壳着色器

外壳着色器实际上是由两种着色器组成的：1，常量外壳着色器；2，控制点外壳着色器

14.2.1 常量外壳着色器

常量外壳着色器会针对每一个面片逐一进行处理(即每处理一个面片就被调用一次)，它的任务是输出网格的曲面细分因子。曲面细分因子指示了在曲面细分阶段中将面片镶嵌处理后的份数。

(例子)

常量外壳着色器以面片的所有控制点作为输入，在此用InputPatch<VertexOut, 4>对此进行定义。控制点首先会传至顶点着色器，因此它们的类型由顶点着色器的输出类型VertexOut来确定。我们的面片拥有4个控制点，所以第二个参数为4。

SV\_TessFactor与SV\_InsideTessFactor分别表示几何图形边缘与内部的细分份数。

对四边形面片进行镶嵌化处理的过程由两个部分组成：

1，4个边缘曲面细分因子控制着对应边缘镶嵌后的份数；

2，两个内部曲面细分因子指示了如何来对该四边形面片的内部进行镶嵌化处理(分别用于四边形的横向维度和纵向维度)。

对三角形面片执行镶嵌化处理的过程同样分为两部分：

1，3个边缘曲面细分因子控制着对应边上镶嵌后的份数；

2，一个内部曲面细分因子指示着三角形面片内部的镶嵌份数。

Direct3D 11硬件所支持的最大曲面细分因子为64.如果把所有的曲面细分因子都设置为0，则该面片会被后续的处理阶段丢弃。这就使我们能够以每个面片为基准来实现如视椎体剔除与背面剔除这类优化。

1. 如果面片根本没有出现在视椎体范围内，那么就能将它从后续的处理中丢弃。
2. 如果面片是背面朝向的，那么就能将其从后面的处理过程中丢弃。

一个问题自然而然地浮现出来：到底应该执行几次镶嵌化处理才合适？

1. 根据与摄像机之间的距离。
2. 根据占用屏幕的范围。
3. 根据三角形的朝向。
4. 根据粗糙程度。

Story10给出了以下几点关于性能的建议：

1. 如果曲面细分因子为1，那么就考虑在渲染此面片时不对它进行细分处理；
2. 考虑到性能又涉及GPU对曲面细分的具体实现，所以不要对于小于8个像素这种过小的三角形进行镶嵌化处理；
3. 使用曲面细分技术时要采用批绘制调用(即尽量将曲线细分任务集中执行，在绘制调用之间往复开启，关闭曲面细分功能代价及其高昂)。

14.2.2 控制点外壳着色器

控制点外壳着色器以大量的控制点作为输入与输出，每输出一个控制点，此着色器都会被调用一次。该外壳着色器的应用之一就是改变曲面的表示方式，比如说把一个普通的三角形转换为3次贝塞尔三角形面片(一种具有10个控制点的面片)。

(例子)

通过InputPatch参数即可将面片的所有控制点都传至外壳着色器之中。系统值SV\_OutputControlPointID索引的是正在被外壳着色器所处理的输出控制点。值得注意的是，输入的控制点数量与输出的控制点数量未必相同。

上面的控制点外壳着色器还用到以下几种属性：

1. domain：面片的类型。
2. partitioning：指定了曲面细分的细分模式
3. outputtopology：通过细分所创的三角形的绕序
4. outputcontrolpoints：外壳着色器执行的次数
5. patchconstantfunc：指定常量外壳着色器函数名称的字符串
6. mactessfactor：告知驱动程序，用户在着色器中所用的曲面细分因子的最大值。

14.3 镶嵌器阶段

程序员无法对镶嵌器这一阶段进行任何控制，这一步骤的操作权交由硬件处理。此环节会基于常量外壳着色器程序所输出的曲面细分因子，对面片进行镶嵌化处理。

14.4 域着色器

镶嵌器阶段会输出新建的所有顶点与三角形，在此阶段所创建顶点，都会逐一调用域着色器进行后续处理。随着曲面细分功能的开启，顶点着色器便会化身为“处理每个控制点的顶点着色器”，而外壳着色器的本质为“针对已经过镶嵌化的曲面进行处理的顶点着色器”。特别是，我们可以在此将经镶嵌化处理的面片顶点投射到齐次裁剪空间。

对于四边形面片来讲，域着色器以曲面细分因子，控制点外壳着色器所输出的所有面片控制点以及镶嵌化处理后的顶点位置参数坐标(u,v)作为输入。注意，域着色器给出的并不是镶嵌化处理后的实际顶点位置，而是这些点位于面片域空间内的参数坐标(u,v)。是否利用这些参数坐标以及控制点来求取真正的3D顶点位置，完全取决于用户自己。

(例子)

14.5 对四边形进行镶嵌化处理

(例子)

14.6 三次贝塞尔四边形面片

14.6.1 贝塞尔曲线