20 阴影贴图

20.1 渲染场景深度

阴影贴图算法依赖于以光源的视角渲染场景深度，从本质上来讲，这其实就是一种变相的“渲染到纹理”技术。从“渲染场景深度”这个名字就可以看出，构建此深度缓冲区要从光源的视角着手。待以光源视角渲染场景深度之后，我们就能知晓离光源最近的像素片段，即那些不在阴影范围之中的像素片段。本节将考察一个名叫ShadowMap的工具类，它所存储的是以光源为视角而得到的场景深度数据。其实此工具类就是简单地封装了渲染阴影会用到的一个深度/模板缓冲区，一个视口以及多个视图，而用于阴影贴图的那个深度/模板缓冲区也被称为阴影图。(ShadowMap代码)

该工具类的构造函数会根据指定的尺寸和视口来创建纹理。阴影图的分辨率会直接影响阴影效果的质量，但是在提升分辨率的同时，渲染也将产生更多的开销并占用更多的内存。

我们即将认识到：阴影贴图算法需要执行两个渲染过程。在第一次渲染过程中，我们要以光源的视角将场景深度数据渲染至阴影图中；而在第二次渲染过程中则像往常那样，以“玩家”的摄像机视角将场景渲染至后台缓冲区之内，但为了实现阴影算法，此时应以阴影图作为着色器的输入之一。

20.2 正交投影

我们此前一直使用的是透视投影。透视投影的关键特性在于，物体离观察点越远，它们就会显得越小。这与我们在显示生活中对物体的感官是一致的。除此之外，还有一种名为正交投影的投影类型。这种投影主要运用于3D科学或工程之中，即需要平行线在投射之后继续保持平行的情景。沿着观察空间z轴的正方向看去，正交投影的视景体是宽度为w，高度为h，近平面为n，远平面为f的对齐于观察空间坐标轴的长方体。

(待续)

20.3 投影纹理坐标

投影纹理坐标技术能够将纹理投射到任意形状的几何体上，又因为其原理与摄像机的工作方式比较相似，故而得名。

投影纹理贴图完美地模拟摄影机投射光线的过程，事实上它也充当着纹理贴图过程中的一个关键环节。

投影纹理贴图的关键在于为每个像素生成对应的纹理坐标，从视觉上给人一种纹理被投射到几何体上的感觉。我们将生成的这种纹理坐标称为投影纹理坐标。

纹理坐标(u,v)指定了应当被投射到3D点p上的纹素。又由于坐标(u,v)相对于投影窗口中的纹理空间坐标系，精确地指出了该投影窗口中点p的投影。因此，生成投影纹理坐标的过程可分为如下步骤：

1. 将点p投影至光源的投影窗口，并将其坐标变换到NDC空间。
2. 将投影坐标从NDC空间变换到纹理空间，以此将它们转换为纹理坐标。

通过将摄影机的光源装置为摄像机便可以实现步骤1.我们为此光源装置定义了观察矩阵V以及投影矩阵P。从本质上来讲，这两个矩阵分别定义了光源装置位于世界空间中的位置，朝向以及视椎体。矩阵V能够将坐标从世界空间变换到光源装置的坐标系。只要是相对于光源坐标系的顶点坐标，经过投影矩阵变换以及齐次除法，我们都可以将其投影到光源的投影平面上。在执行齐次除法之后，坐标就都会位于NDC空间之中。

步骤2中从NDC空间到纹理空间变换的实现，完全取决于下列坐标变换:

u = 0.5x + 5; v = -0.5y + 0.5

由于x,y都是[-1,1]，所以u,v也是[0,1]。我们为y坐标乘以-1以调转此轴的方向，这是因为NDC坐标的y轴正方向与纹理坐标的v轴正方向刚好相反。纹理空间的变换可以用矩阵的形式来表示(矩阵)。

我们将上述矩阵T称为纹理矩阵，它可以将坐标有NDC空间变换到纹理空间。通过形如VPT的复合变换，我们就可以将坐标从世界空间直接变换到纹理空间。将坐标乘以这个组合变换之后，还需将结果进行透视除法才能完成整个变换。

20.3.1 代码实现

(见书本)

20.3.2 视椎体之外的点

在渲染流水线中，位于视椎体之外的结合体是要被裁剪掉的。但是，在我们以光源装置的视角投影几何体而为之生成投影纹理坐标时，并不必执行裁剪操作，只需简单地投影顶点即可。因此，投影机视椎体之外的几何体会得到[0,1]区间以外的投影纹理坐标。而处于此范围的投影纹理坐标在被采样时所享受的待遇，将于采集[0,1]区间以外的普通纹理时所用的寻址模式的效果一样。

一般来讲，我们并不希望对摄影机视椎体以外的几何体进行贴图，因为这样做并没有意义。常见的做法是使用颜色分量皆为0的边框颜色寻址模式。而另一种策略则是将摄影机与聚光灯结合在一起，使聚光灯照射范围之外的部分不受光照。采用聚光灯的优点是其圆锥体照射范围内中心的光照强度最大，并随着-L与d之间夹角的增大而平缓地减弱。

20.3.3 正交投影

我们刚刚展示了如何通过透视投影来进行投影纹理贴图。但是，为了投影处理过程的需要，我们应使用正交投影而非透视投影。这样一来，纹理将沿光线传播路径按正交投影方盒的z轴方向进行投影。

首先，在使用正交投影时，用来处理投影机视椎体范围之外点的聚光灯策略就行不通了。这是由于聚光灯的圆锥体照射范围更接近于透视投影的平截头体，但与正交投影的长方体却相差甚远。但是，我们仍然能使用纹理寻址模式来处理投影机光源照射范围之外的点，这是因为正交投影仍需生成NDC坐标。