HomeWork7

Shadowing Mapping

16340220 王培钰 电子政务

阴影渲染两大基本步骤:

- 以光源视角渲染场景，得到深度图(DepthMap)，并存储为texture;
- 以camera视角渲染场景，使用Shadowing Mapping算法(比较当前深度值与在DepthMap Texture的深度 值)，决定某个点是否在阴影下。

Basic：

1. 实现方向光源的Shadowing Mapping:

深度贴图

- 创建一个帧缓冲对象。

```
GLuint depthMapFBO;
glGenFramebuffers(1, &depthMapFBO);
```

- 创建2D纹理给帧缓冲的深度缓冲使用。

```
const GLuint SHADOW_WIDTH = 1024, SHADOW_HEIGHT = 1024;
GLuint depthMap;
glGenTextures(1, &depthMap);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, depthMap);
glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, GL_DEPTH_COMPONENT, SHADOW_WIDTH,
SHADOW_HEIGHT, 0, GL_DEPTH_COMPONENT, GL_FLOAT, NULL);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_NEAREST);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_NEAREST);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_REPEAT);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_REPEAT);
```

- 生成深度贴图的基本流程。

```
// 1. 首选渲染深度贴图
glViewport(0, 0, SHADOW_WIDTH, SHADOW_HEIGHT);
glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, depthMapFBO);
glClear(GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
ConfigureShaderAndMatrices();
RenderScene();
glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0);
// 2. 像往常一样渲染场景，但这次使用深度贴图
glViewport(0, 0, SCR_WIDTH, SCR_HEIGHT);
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
ConfigureShaderAndMatrices();
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, depthMap);
RenderScene();
```

光源空间的变换

我们需要从光源位置的视野来投影场景中的不同物体。即我们需要通过透视投影矩阵或者正交投影矩阵进行物体表面点位置的变换。投影矩阵间接决定可视区域，而如果图元不在贴图区域中则不产生阴影，所以我们需要保证投影视锥的大小。

```
 lightView = glm::lookAt(lightPos, glm::vec3(0.0f), glm::vec3(0.0, 1.0,
0.0));
lightSpaceMatrix = lightProjection * lightView;
// render scene from light's point of view
simpleDepthShader.use();
simpleDepthShader.setMat4("lightSpaceMatrix", lightSpaceMatrix);
```

- 渲染到深度贴图。

```
glViewport(0, 0, SHADOW_WIDTH, SHADOW_HEIGHT);
glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, depthMapFBO);
glClear(GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
glActiveTexture(GL_TEXTURE0);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, woodTexture);
renderScene(simpleDepthShader);
glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0);

glCullFace(GL_BACK);
```

渲染阴影

正确地生成深度贴图以后我们就可以开始生成阴影了。这段代码在像素着色器中执行，用来检验一个片元是否在阴影之中，不过我们在顶点着色器中进行光空间的变换

```
#version 330 core
out vec4 FragColor;

in VS_OUT {
```

```
    vec3 FragPos;
    vec3 Normal;
    vec2 TexCoords;
    vec4 FragPosLightSpace;
} fs_in;

uniform sampler2D diffuseTexture;
uniform sampler2D shadowMap;

uniform vec3 lightPos;
uniform vec3 viewPos;

float ShadowCalculation(vec4 fragPosLightSpace)
{
    // 执行透视除法
    vec3 projCoords = fragPosLightSpace.xyz / fragPosLightSpace.w;
    [...]
}

void main()
{
    vec3 color = texture(diffuseTexture, fs_in.TexCoords).rgb;
    vec3 normal = normalize(fs_in.Normal);
    vec3 lightColor = vec3(1.0);
    // Ambient
    vec3 ambient = 0.15 * color;
    // Diffuse
    vec3 lightDir = normalize(lightPos - fs_in.FragPos);
    float diff = max(dot(lightDir, normal), 0.0);
    vec3 diffuse = diff * lightColor;
    // Specular
    vec3 viewDir = normalize(viewPos - fs_in.FragPos);
    vec3 reflectDir = reflect(-lightDir, normal);
    float spec = 0.0;
    vec3 halfwayDir = normalize(lightDir + viewDir);
    spec = pow(max(dot(normal, halfwayDir), 0.0), 64.0);
    vec3 specular = spec * lightColor;
    // 计算阴影
    float shadow = ShadowCalculation(fs_in.FragPosLightSpace);
    vec3 lighting = (ambient + (1.0 - shadow) * (diffuse + specular)) *
color;

    FragColor = vec4(lighting, 1.0f);
}
```

- 正确地生成深度贴图以后我们就可以开始生成阴影了。这段代码在像素着色器中执行，用来检验一个片元是否在阴影之中，不过我们在顶点着色器中进行光空间的变换

```
float ShadowCalculation(vec4 fragPosLightSpace)
```

```
{
    // perform perspective divide
    vec3 projCoords = fragPosLightSpace.xyz / fragPosLightSpace.w;
    // transform to [0,1] range
    projCoords = projCoords * 0.5 + 0.5;
    // get closest depth value from light's perspective (using [0,1] range
fragPosLight as coords)
    float closestDepth = texture(shadowMap, projCoords.xy).r;
    // get depth of current fragment from light's perspective
    float currentDepth = projCoords.z;
    // calculate bias (based on depth map resolution and slope)
    vec3 normal = normalize(fs_in.Normal);
    vec3 lightDir = normalize(lightPos - fs_in.FragPos);
    float bias = max(0.05 * (1.0 - dot(normal, lightDir)), 0.005);
    // check whether current frag pos is in shadow
    // float shadow = currentDepth - bias > closestDepth  ? 1.0 : 0.0;
    // PCF
    float shadow = 0.0;
    vec2 texelSize = 1.0 / textureSize(shadowMap, 0);
    for(int x = -1; x <= 1; ++x)
    {
        for(int y = -1; y <= 1; ++y)
        {
            float pcfDepth = texture(shadowMap, projCoords.xy + vec2(x, y) *
texelSize).r;
            shadow += currentDepth - bias > pcfDepth  ? 1.0 : 0.0;
        }
    }
    shadow /= 9.0;

    // keep the shadow at 0.0 when outside the far_plane region of the
light's frustum.
    if(projCoords.z > 1.0)
        shadow = 0.0;

    return shadow;
}

void main()
{
    vec3 color = texture(diffuseTexture, fs_in.TexCoords).rgb;
    vec3 normal = normalize(fs_in.Normal);
    vec3 lightColor = vec3(0.3);
    // ambient
    vec3 ambient = 0.3 * color;
    // diffuse
    vec3 lightDir = normalize(lightPos - fs_in.FragPos);
    float diff = max(dot(lightDir, normal), 0.0);
    vec3 diffuse = diff * lightColor;
```

```
    // specular
    vec3 viewDir = normalize(viewPos - fs_in.FragPos);
    vec3 reflectDir = reflect(-lightDir, normal);
    float spec = 0.0;
    vec3 halfwayDir = normalize(lightDir + viewDir);
    spec = pow(max(dot(normal, halfwayDir), 0.0), 64.0);
    vec3 specular = spec * lightColor;
    // calculate shadow
    float shadow = ShadowCalculation(fs_in.FragPosLightSpace);
    vec3 lighting = (ambient + (1.0 - shadow) * (diffuse + specular)) *
color;

    FragColor = vec4(lighting, 1.0);
}
```

hadowCalculation函数，用它计算阴影。像素着色器的最后，我们我们把diffuse和specular乘以(1-阴影元素)，这表示这个片元有多大成分不在阴影中。这个像素着色器还需要两个额外输入，一个是光空间的片元位置和第一个渲染阶段得到的深度贴图。

2. 修改GUI

使用ImGui更改光源的位置以获得不同的阴影效果：

```
ImGui_ImplOpenGL3_NewFrame();
ImGui_ImplGlfw_NewFrame();
ImGui::NewFrame();
ImGui::Begin("HW7_WPY");
ImGui::Text("Choose projection");
ImGui::RadioButton("Perspective projection", &mode, 0);
ImGui::RadioButton("Orthogonal projection", &mode, 1);
if (ImGui::CollapsingHeader("Lighting Position"))
{
    ImGui::SliderFloat("lightPos.x", &lightPos.x, -5.0f, 5.0f, "X = %.1f");
    ImGui::SliderFloat("lightPos.y", &lightPos.y, -5.0f, 5.0f, "Y = %.1f");
    ImGui::SliderFloat("lightPos.z", &lightPos.z, -5.0f, 5.0f, "Z = %.1f");
}
ImGui::End();
```

Bonus:

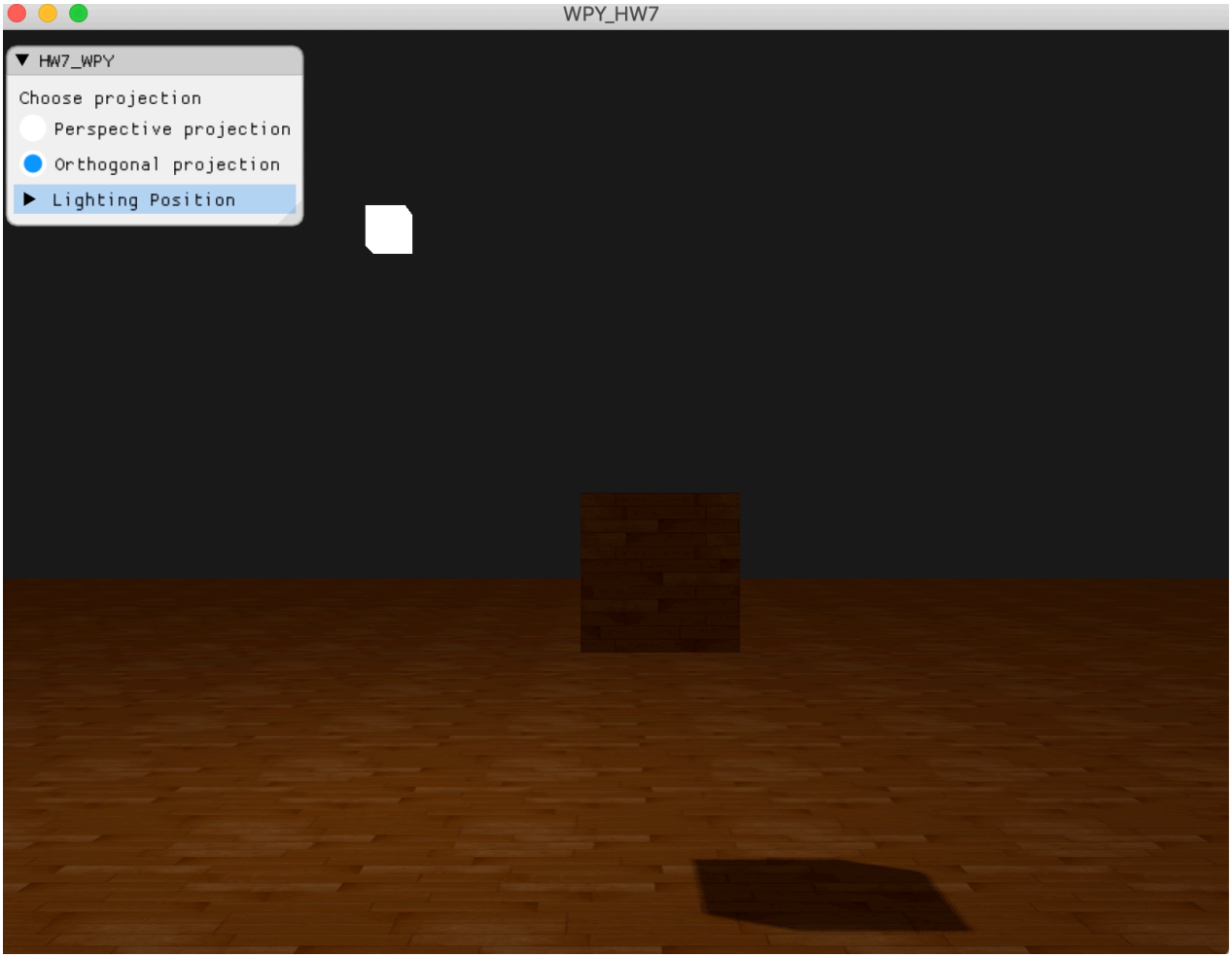
1. 实现光源在正交/透视两种投影下的Shadowing Mapping

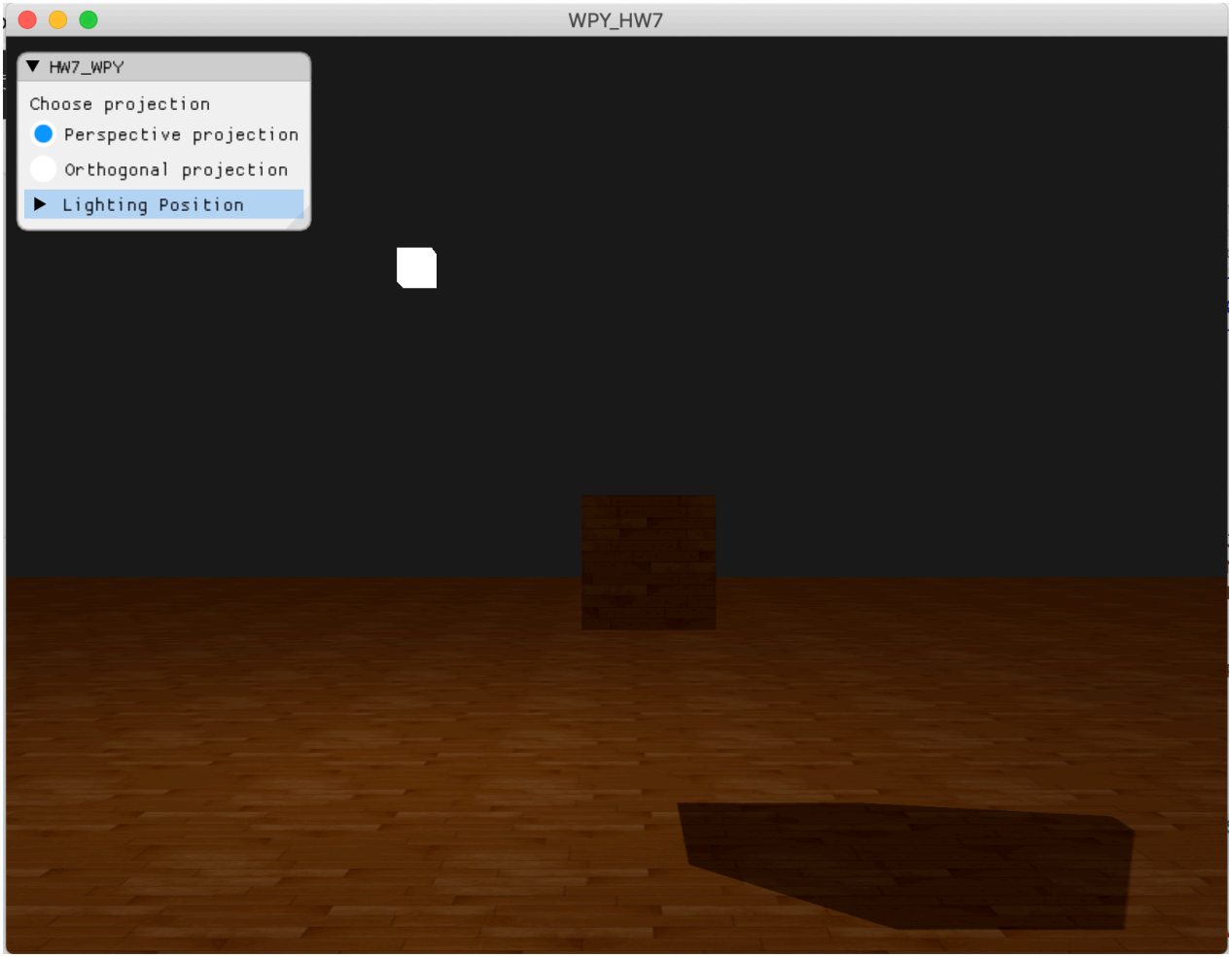
在渲染深度贴图的时候，正交(Orthographic)和投影(Projection)矩阵之间有所不同。正交投影矩阵并不会将场景用透视图进行变形，所有视线/光线都是平行的，这使它对于定向光来说是个很好的投影矩阵。然而透视投影矩阵，会将所有顶点根据透视关系进行变形，结果因此而不同。

另一个细微差别是，透视投影矩阵，将深度缓冲视觉化经常会得到一个几乎全白的结果。发生这个是因为透视投影下，深度变成了非线性的深度值，它的大多数可辨范围接近于近平面。

```
if (mode == 0)
    lightProjection = glm::perspective(glm::radians(45.0f),
(GLfloat)SHADOW_WIDTH / (GLfloat)SHADOW_HEIGHT, near_plane, far_plane);
else
    lightProjection = glm::ortho(-10.0f, 10.0f, -10.0f, 10.0f, near_plane,
far_plane);
```

下面是两种投影的差异：





2. 优化Shadowing Mapping

a. 阴影失真

因为阴影贴图受限于解析度，在距离光源比较远的情况下，多个片元可能从深度贴图的同一个值中去采样。当光源以一个角度朝向表面的时候这就会出问题，这种情况下深度贴图也是从一个角度下进行渲染的。多个片元就会从同一个斜坡的深度纹理像素中采样，有些在地板上面，有些在地板下面；这样我们所得到的阴影就有了差异。因为这个，有些片元被认为是在阴影之中，有些不在，由此产生了类似条纹样式。

可以用一个叫做**阴影偏移**（shadow bias）的技巧来解决这个问题，根据表面朝向光线的角度更改偏移量。

```
float bias = max(0.05 * (1.0 - dot(normal, lightDir)), 0.005);
```

b. 悬浮

使用阴影偏移可能会导致悬浮问题，此时物体看起来悬浮在表面上面，也称作Peter Panning。我们需要剔除正面 解决该问题，因为只需要深度贴图的深度值，实体物体使用其正面或背面都可以。即使是背面深度出现错误，因为我们看不见，所以也不会被发现。

```
glCullFace(GL_FRONT);
...
glCullFace(GL_BACK);
```

这样便可以解决悬浮问题，但是在地板时是无效的，因为这种方法只针对实体物体。地面是一个单独的平面，不会被完全剔除。也就是说，正面剔除完全移除了地板。另外，接近阴影的物体也会出现不正确的效果。需要考虑到何时使用正面剔除对物体才有意义。

c. 采样过多

光的视锥不可见的区域一律被认为是处于阴影中，不管它真的处于阴影之中。出现这个状况是因为超出光的视锥的投影坐标比1.0大，这样采样的深度纹理就会超出他默认的0到1的范围。根据纹理环绕方式，我们将会得到不正确的深度结果，它不是基于真实的来自光源的深度值。发生这种情况的原因是我们之前将深度贴图的环绕方式设置成了GL_REPEAT。

我们宁可让所有超出深度贴图的坐标的深度范围是1.0，这样超出的坐标将永远不在阴影之中。我们可以储存一个边框颜色，然后把深度贴图的纹理环绕选项设置为GL_CLAMP_TO_BORDER：

```
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, GL_CLAMP_TO_BORDER);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP_TO_BORDER);
GLfloat borderColor[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };
glTexParameterfv(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_BORDER_COLOR, borderColor);
```

仍有一部分是黑暗区域。那里的坐标超出了光的正交视锥的远平面。你可以看到这片黑色区域总是出现在光源视锥的极远处。当一个点比光的远平面还要远时，它的投影坐标的z坐标大于1.0。这种情况GL_CLAMP_TO_BORDER环绕方式不起作用，因为我们把坐标的z元素和深度贴图的值进行了对比；它总是为大于1.0的z返回true。解决这个问题也很简单，只要投影向量的z坐标大于1.0，我们就把shadow的值强制设为0.0：

```
if(projCoords.z > 1.0) {
    shadow = 0.0;
}
```

d. 锯齿边(PCF解决)

阴影映射对解析度的依赖很快变得很明显。因为深度贴图有一个固定的解析度，多个片元对应于一个纹理像素。结果就是多个片元会从深度贴图的同一个深度值进行采样，这几个片元便得到的是同一个阴影，这就会产生锯齿边。

PCF（percentage-closer filtering），是一种多个不同过滤方式的组合，它产生柔和阴影，使它们出现更少的锯齿块和硬边。核心思想是从深度贴图中多次采样，每一次采样的纹理坐标都稍有不同。每个独立的样本可能在也可能不再阴影中。所有的次生结果接着结合在一起，进行平均化，我们就得到了柔和阴影。

```
float shadow = 0.0;
vec2 texelSize = 1.0 / textureSize(shadowMap, 0);
for(int x = -1; x <= 1; ++x)
{
    for(int y = -1; y <= 1; ++y)
    {
        float pcfDepth = texture(shadowMap, projCoords.xy + vec2(x, y) *
texelSize).r;
        shadow += currentDepth - bias > pcfDepth ? 1.0 : 0.0;
    }
}
shadow /= 9.0;
```

最终的运行效果展示：