中山大學
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

《计算机图形学》

实验报告

（作业七）

学院名称：	数据科学与计算机学院
专业（班级）：	软件工程
学生姓名：	江炎鸿
学号：	16340094
时间：	2019 年 5 月 13 日

作业七 ：Shadowing Mapping

一、作业要求

1. 实现方向光源的Shadowing Mapping:要求场景中至少有一个object和一块平面(用于显示shadow)；光源的投影方式任选其一即可；在报告里结合代码，解释Shadowing Mapping算法。

2. 修改GUI。

加分项：

1. 实现光源在正交/透视两种投影下的Shadowing Mapping。

2. 优化Shadowing Mapping (可结合References链接，或其他方法。优化方式越多越好，在报告里说明，有加分)。

二、具体实现过程

1、Cube的顶点信息和板的顶点信息

```
float cubeVertices[] = {
    // Back face
    -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, // Bottom-left
    0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f, 1.0f, 1.0f, // top-right
    0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f, 1.0f, 0.0f, // bottom-right
    0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f, 1.0f, 1.0f,  // top-right
    -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f, 0.0f, 0.0f,  // bottom-left
    -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 0.0f, -1.0f, 0.0f, 1.0f,// top-left
    // Front face
    -0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, // bottom-left
    0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f, 0.0f,  // bottom-right
    0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f,  // top-right
    0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f, 1.0f, // top-right
    -0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f,  // top-left
    -0.5f, -0.5f, 0.5f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f,  // bottom-left
    // Left face
    -0.5f, 0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, // top-right
    -0.5f, 0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f, // top-left
    -0.5f, -0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,  // bottom-left
    -0.5f, -0.5f, -0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, // bottom-left
    -0.5f, -0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f,  // bottom-right
    -0.5f, 0.5f, 0.5f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, // top-right
    // Right face
    0.5f, 0.5f, 0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, // top-left
    0.5f, -0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, // bottom-right
    0.5f, 0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f, // top-right
    0.5f, -0.5f, -0.5f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,  // bottom-right
```

```
    -0.5f, -0.5f, -0.5f, 0.0f, -1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, // top-right
    // Top face
    -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,// top-left
    0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, // bottom-right
    0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f, 1.0f, // top-right
    0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, // bottom-right
    -0.5f, 0.5f, -0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f,// top-left
    -0.5f, 0.5f, 0.5f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f // bottom-left
};

float planeVertices[] = {
    25.0f, -0.5f, 25.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 25.0f, 0.0f,
    -25.0f, -0.5f, -25.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 25.0f,
    -25.0f, -0.5f, 25.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f,

    25.0f, -0.5f, 25.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 25.0f, 0.0f,
    25.0f, -0.5f, -25.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 25.0f, 25.0f,
    -25.0f, -0.5f, -25.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f, 0.0f, 25.0f
};
```

2、正常的打开窗口，以及加载着色器部分（着色器部分后面说明）和加载顶点坐标，所以不再贴出代码。

3、加载墙的纹理

```
unsigned int wallTexture;
glGenTextures(1, &wallTexture);

int width, height, nrComponents;
unsigned char *data = stbi_load("brickwall.jpg", &width, &height, &nrComponents, 0);
if (data)
{
    GLenum format;
    if (nrComponents == 1)
        format = GL_RED;
    else if (nrComponents == 3)
        format = GL_RGB;
    else if (nrComponents == 4)
        format = GL_RGBA;

    glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, wallTexture);
    glTexImage2D(GL_TEXTURE_2D, 0, format, width, height, 0, format, GL_UNSIGNED_BYTE, data);
    glGenerateMipmap(GL_TEXTURE_2D);

    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_S, format == GL_RGBA ? GL_CLAMP_TO_EDGE : GL_REPEAT);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, format == GL_RGBA ? GL_CLAMP_TO_EDGE : GL_REPEAT);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MIN_FILTER, GL_LINEAR_MIPMAP_LINEAR);
    glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_MAG_FILTER, GL_LINEAR);
}
stbi_image_free(data);
```

4、然后得到深度图

```
unsigned int 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_CLAMP_TO_BORDER);
glTexParameteri(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_WRAP_T, GL_CLAMP_TO_BORDER);
float borderColor[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };
glTexParameterfv(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_BORDER_COLOR, borderColor);
glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, depthMapFBO);
glFramebufferTexture2D(GL_FRAMEBUFFER, GL_DEPTH_ATTACHMENT, GL_TEXTURE_2D, depthMap, 0);
glDrawBuffer(GL_NONE);
glReadBuffer(GL_NONE);
glBindFramebuffer(GL_FRAMEBUFFER, 0);
```

然后从光源方向根据深度图将其转化成纹理

```
glm::mat4 lightProjection, lightView;
glm::mat4 lightSpaceMatrix;
float near_plane = 1.0f, far_plane = 7.5f;
//lightProjection = glm::perspective(glm::radians(45.0f), (GLfloat)SHADOW_WIDTH / (GLfloat)SHADOW_HEIGHT, near_p
lightProjection = glm::ortho(-10.0f, 10.0f, -10.0f, 10.0f, near_plane, far_plane);
lightView = glm::lookAt(lightPos, glm::vec3(0.0f), glm::vec3(0.0, 1.0, 0.0));
lightSpaceMatrix = lightProjection * lightView;
depthShader.use();
depthShader.setMat4("lightSpaceMatrix", lightSpaceMatrix);

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

渲染的函数如下：

```
unsigned int cubeVAO = 0;
unsigned int cubeVBO = 0;
void render(const Shader &shader)
{
    // floor
    glm::mat4 model = glm::mat4(1.0f);
    shader.setMat4("model", model);
    glBindVertexArray(planeVAO);
    glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 6);
    // cubes
    model = glm::mat4(1.0f);
    model = glm::translate(model, glm::vec3(0.0f, 0.5f, 0.0));
    model = glm::scale(model, glm::vec3(0.5f));
    shader.setMat4("model", model);
    if (cubeVAO == 0) {
        glGenVertexArrays(1, &cubeVAO);
        glGenBuffers(1, &cubeVBO);
        glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, cubeVBO);
        glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(cubeVertices), cubeVertices, GL_STATIC_DRAW);
        glBindVertexArray(cubeVAO);
        glEnableVertexAttribArray(0);
        glVertexAttribPointer(0, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)0);
        glEnableVertexAttribArray(1);
        glVertexAttribPointer(1, 3, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(3 * sizeof(float)));
        glEnableVertexAttribArray(2);
        glVertexAttribPointer(2, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 8 * sizeof(float), (void*)(6 * sizeof(float)));
        glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
        glBindVertexArray(0);
    }
    glBindVertexArray(cubeVAO);
    glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 36);
    glBindVertexArray(0);
}
```

5、根据深度图进行正常的场景渲染得到最终结果

```
glViewport(0, 0, SCR_WIDTH, SCR_HEIGHT);
glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
shader.use();
glm::mat4 projection = glm::perspective(glm::radians(45.0f), (float)SCR_WIDTH / (float)SCR_HEIGHT, 0.1f, 100.0f);
glm::mat4 view = glm::lookAt(glm::vec3(-4.0f, 2.0f, 0.0f),
    glm::vec3(0.0f, 0.0f, 0.0f),
    glm::vec3(0.0f, 1.0f, 0.0f));
shader.setMat4("projection", projection);
shader.setMat4("view", view);
shader.setVec3("viewPos", glm::vec3(0.0f, 0.0f, 3.0f));
shader.setVec3("lightPos", lightPos);
shader.setMat4("lightSpaceMatrix", lightSpaceMatrix);
glActiveTexture(GL_TEXTURE0);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, wallTexture);
glActiveTexture(GL_TEXTURE1);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, depthMap);
render(shader);
```

6、深度着色器：

片段着色器：（开启了深度测试，因此不需要任何操作）

```
#version 330 core

void main()
{

}
```

顶点着色器：只需要进行坐标转换，将世界坐标转换成光源坐标即可

```
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 aPos;

uniform mat4 lightSpaceMatrix;
uniform mat4 model;

void main()
{
    gl_Position = lightSpaceMatrix * model * vec4(aPos, 1.0);
}
```

7、阴影着色器

顶点着色器：使用冯氏光照模型，将世界坐标转换为了光源空间坐标。

```
#version 330 core
layout (location = 0) in vec3 position;
layout (location = 1) in vec3 normal;
layout (location = 2) in vec2 texCoords;

out vec2 TexCoords;

out VS_OUT {
    vec3 FragPos;
    vec3 Normal;
    vec2 TexCoords;
    vec4 FragPosLightSpace;
} vs_out;

uniform mat4 projection;
uniform mat4 view;
uniform mat4 model;
uniform mat4 lightSpaceMatrix;

void main()
{
    gl_Position = projection * view * model * vec4(position, 1.0f);
    vs_out.FragPos = vec3(model * vec4(position, 1.0));
    vs_out.Normal = transpose(inverse(mat3(model))) * normal;
    vs_out.TexCoords = texCoords;
    vs_out.FragPosLightSpace = lightSpaceMatrix * vec4(vs_out.FragPos, 1.0);
}
```

片段着色器：计算出一个shadow值，当fragment在阴影中时是1.0，在阴影外是0.0。然后，diffuse和specular颜色会乘以这个阴影元素。由于阴影不会是全黑的（由于散射），我们把ambient分量从乘法中剔除。进行计算时，首先要检查一个片元是否在阴影中，通过透视除法，返回了片元在光空间的-1到1的范围。因为来自深度贴图的深度在0到1的范围，并且需要使用projCoords从深度贴图中去采样，所以将坐标变换为0到1的范围。最后通过比较最近点的深度和当前片元在光源视角下的深度，判断该片元是否在阴影中。

```
#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;
    // 变换到[0,1]的范围
    projCoords = projCoords * 0.5 + 0.5;
    // 取得最近点的深度(使用[0,1]范围下的fragPosLight当坐标)
    float closestDepth = texture(shadowMap, projCoords.xy).r;
    // 取得当前片元在光源视角下的深度
    float currentDepth = projCoords.z;
    // 检查当前片元是否在阴影中
    float shadow = currentDepth > closestDepth  ? 1.0 : 0.0;

    return shadow;
}
```

```
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);
}
```

三、阴影改进

1、悬浮：使用阴影偏移的一个缺点是你对物体的实际深度应用了平移。偏移有可能足够大，以至于可以看出阴影相对实际物体位置的偏移。因为我们只需要深度贴图的深度值，对于实体物体无论我们用它们的正面还是背面都没问题。使用背面深度不会有错误，因为阴影在物体内部有错误我们也看不见。所以可以使用正面剔除解决。

```
glCullFace(GL_FRONT);
render(depthShader);
glCullFace(GL_BACK);
```

2、采样过多：光照有一个区域，超出该区域就成为了阴影；这个区域实际

上代表着深度贴图的大小。所以将超出范围的所有深度值都变为1，这样这些范围内的区域就不会被判断在阴影中。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);
float borderColor[] = { 1.0, 1.0, 1.0, 1.0 };
glTexParameterfv(GL_TEXTURE_2D, GL_TEXTURE_BORDER_COLOR, borderColor);
```

现在如果我们采样深度贴图0到1坐标范围以外的区域，纹理函数总会返回一个1.0的深度值，阴影值为0.0。结果看起来会更真实。但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时，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。所以只要投影向量的z坐标大于1.0，就把shadow的值强制设为0.0。

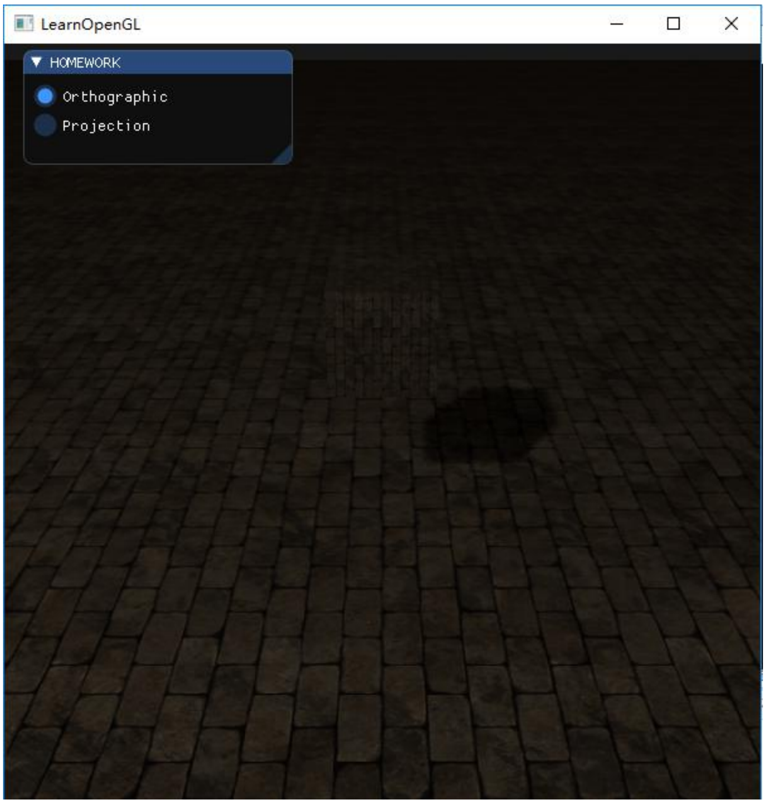
```
if(projCoords.z > 1.0)
    shadow = 0.0;
```

3、PCF：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。简单的PCF的实现是简单的从纹理像素四周对深度贴图采样，然后把结果平均起来：

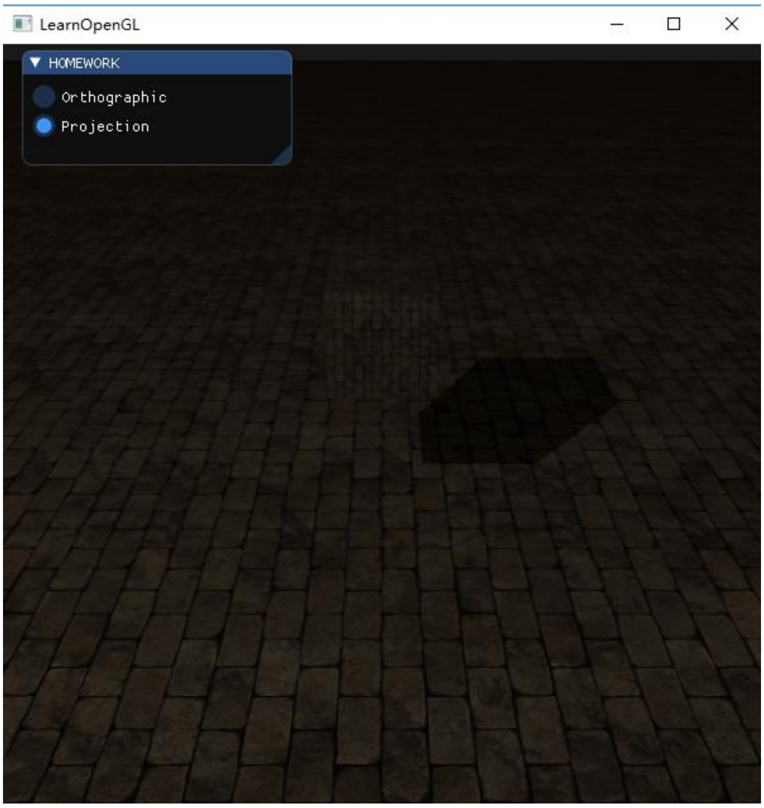
```
float shadow = 0.0;
vec2 texelSize = 1.0 / textureSize(shadowMap, 0);
for(int x = -1; x <= 1; ++x)
{
    for(int y = -1; y <= 1; ++y)
    {
        float pcfDepth = texture(shadowMap, projCoords.xy + vec2(x, y) * texelSize).r;
        shadow += currentDepth - bias > pcfDepth  ? 1.0 : 0.0;
    }
}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

四、效果截图

1、正交


LearnOpenGL
HOMEWORK
Orthographic
Projection

2、投影


LearnOpenGL
HOMEWORK
Orthographic
Projection