

学号	姓名	论文规范性 (10)	问题分析与调研 (30)	方案创新性 (20)	实验结果分析与讨论 (40)	结课论文总成绩 (100)
21301102	钱波	7	22	17	35	81

没有参考文献

北京交通大学

计算机图形学课程论文

基于 OpenGL 的水体渲染技术研究

Research on Water Rendering Techniques Based on OpenGL

学 院： 软件学院

专 业： 软件工程

学生姓名： 钱波

学 号： 21301102

指导教师： 吴雨婷

北京交通大学

2024 年 6 月 6 日

摘要

摘要:

本文基于 OpenGL 技术,研究了水体渲染的实现方法。水体渲染在游戏、电影和虚拟现实中的重要应用。通过模拟水面反射、折射、波浪和光照等效果,可以增强场景的真实感和用户的沉浸体验。本文详细介绍了如何采用 ADS 光照模型实现 Phong 光照效果,并通过多视角渲染实现水面反射和折射效果,以及利用 3D 纹理噪声技术生成动态波浪来模拟水面的流动动画,并通过光照处理和物体流动模拟水下场景的动态变化。研究表明,综合应用上述技术可以实现高效逼真的水体渲染。

关键词: OpenGL, 水体渲染, 反射, 折射, 波浪, 光照, 动态动画

目 录

摘要.....	2
目 录	3
1 引言	5
2 ADS PHONE 光照模型.....	6
2.1 概述	6
2.2 环境光 (AMBIENT LIGHT)	6
2.3 漫反射光 (DIFFUSE LIGHT)	6
2.4 高光 (SPECULAR LIGHT)	7
2.5 材质属性	7
2.6 光照计算	8
3 水面反射和折射	9
3.1 概述	9
3.2 实现步骤	9
4 水面波浪	10
4.1 概述	10
4.2 实现步骤	10
5 优化	13

5.1	概述	13
5.2	水下网格的视觉优化	13
5.3	菲涅尔效应	13
5.4	增加雾化效果	14
6	水下场景	15
6.1	概述	15
6.2	动态噪声纹理	15
6.3	水下光照效果	15
6.4	水下物体流动效果	15
7	水下聚焦	16
7.1	概述	16
7.2	实现步骤	16
7.2.1	计算光照带强度	16
7.2.2	应用光照带效果	16
8	结论	18
	参考文献	19

1 引言

水体渲染是计算机图形学中的一个重要课题，被广泛地应用于游戏、电影和虚拟现实。逼真的水体渲染不仅能增强场景的真实感，还能提升用户的沉浸体验。但是由于水体的物理和光学特性复杂，涉及大量计算，因此实现高效的水体渲染一直是图形学的一个挑战。

OpenGL 作为一个强大的图形渲染 API，提供了丰富的工具和编程接口，通过结合着色器语言（GLSL），可以实现各种复杂的水体效果。本文将探讨如何利用 OpenGL 来实现逼真的水体渲染，包括使用 ADS 光照模型实现 Phong 光照效果，以及通过多视角渲染实现水面反射和折射效果。同时，本文还将介绍如何利用 3D 纹理噪声技术生成动态波浪，模拟水面的流动动画，并通过光照处理和物体流动模拟水下场景的动态变化。

本文的研究结果表明，综合应用上述技术可以实现逼真的水体渲染。

2 ADS Phone 光照模型

2.1 概述

在计算机图形学中,光照模型用于模拟物体表面与光的交互,生成逼真的图像。ADS光照模型(Ambient-Diffuse-Specular)由环境光(Ambient Light)、漫反射光(Diffuse Light)和高光(Specular Light)组成(如图 2-1-1 ADS 光照模型),通过该模型可以实现 Phong 光照效果,增强图像的真实感。



图 2-1-1 ADS 光照模型

2.2 环境光 (Ambient Light)

环境光是指场景中均匀分布的光源,没有特定的方向。计算公式如下:

$$I_{ambient} = I_{global} \times k_{ambient}$$

其中:

- $I_{ambient}$ 是环境光的强度。
- I_{global} 是全局环境光的强度。
- $k_{ambient}$ 是材质的环境反射系数。

2.3 漫反射光 (Diffuse Light)

漫反射光是指光线以某一方向照射到物体表面时所产生的光,模拟的是光线照射到物体表面时,在各个方向均匀散射的现象。其计算公式如下:

$$I_{diffuse} = I_{light} \times k_{diffuse} \times \max(N \cdot L, 0)$$

其中：

- $I_{diffuse}$ 是漫反射光的强度。
- I_{light} 是光源的强度。
- $k_{diffuse}$ 是材质的漫反射系数。
- N 是表面的法线向量。
- L 是从表面点指向光源的向量。

2.4 高光 (Specular Light)

高光是指物体表面上最亮的部分，通常发生在光线直接反射到观察者眼睛的区域。其计算公式如下：

$$I_{specular} = I_{light} \times k_{specular} \times \max(R \cdot V, 0)^\alpha$$

其中：

- $I_{specular}$ 是高光的强度。
- I_{light} 是光源的强度。
- $k_{specular}$ 是材质的高光反射系数。
- R 是反射向量。
- V 是从表面点指向观察者的向量。
- α 是材质的光泽度。

2.5 材质属性

为了更好地模拟光照效果，需要对物体的材质属性进行定义，包括环境光、漫反射光和高光的反射系数以及光泽度（shininess）。这些属性决定了物体如何反射不同类型的光。

2.6 光照计算

在渲染过程中需要使用光源位置和材质属性，并在片段着色器中实现光照计算，最后将前文提到的环境光、漫反射光和高光分量相加，得到最终的颜色。

3 水面反射和折射

3.1 概述

在实现水体渲染时，反射和折射是两个关键要素。反射用于模拟水面上方环境（如天空盒）的反射，折射用于模拟通过水面看到水下物体（如水底网格）。本文通过创建多个视角（即相机）并使用帧缓冲区来实现这两种效果。

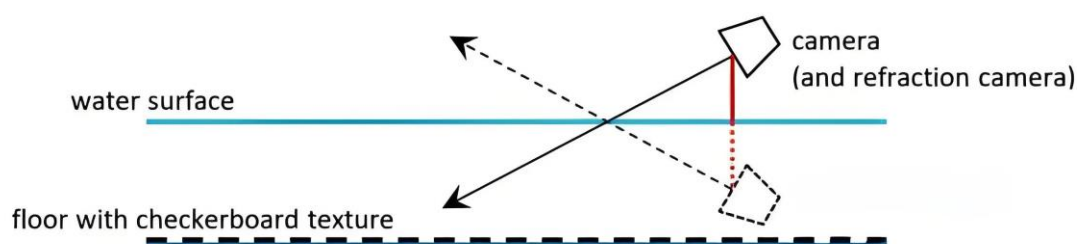


图 3-1-1 反射相机和折射相机图示

3.2 实现步骤

反射和折射的主要实现步骤如下：

1. **创建帧缓冲区：**帧缓冲区用于存储反射和折射纹理，可以实现不同视角的场景渲染。
2. **设置相机：**
 - 主相机：用于常规视图渲染。
 - 反射相机：位置与主相机在 y 轴上相对，x 轴倾斜角度相反，用于渲染水面上方环境。
 - 折射相机：位置和角度与主相机相同，用于渲染水面下方物体。
3. **渲染反射纹理：**当相机在水面以上时，仅需考虑水面以上的物体，使用反射相机渲染，并反转 y 坐标来模拟反射效果。
4. **渲染折射纹理：**当相机在水面以下时，仅需考虑水面以下的物体，使用折射相机渲染，用于模拟通过水面看到的折射效果。
5. **应用纹理：**在片段着色器中，通过屏幕坐标访问反射和折射纹理，根据相机位置和视角混合反射和折射颜色来计算水面的最终颜色。

4 水面波浪

4.1 概述

在水体渲染中，水面波浪是实现自然逼真效果的关键。本文选择采用 3D 纹理噪声技术生成动态的波浪效果。通过生成动态的波浪效果，可以增强水面的真实感。

4.2 实现步骤

1. **噪声图生成：**首先需要生成包含 0 到 1 范围内随机数的三维噪声图，将其转换为颜色值后形成初始的随机噪声图。然后通过整数除法来索引，将多个点映射到同一个灰度值，形成块状噪声图，使其平滑连贯。

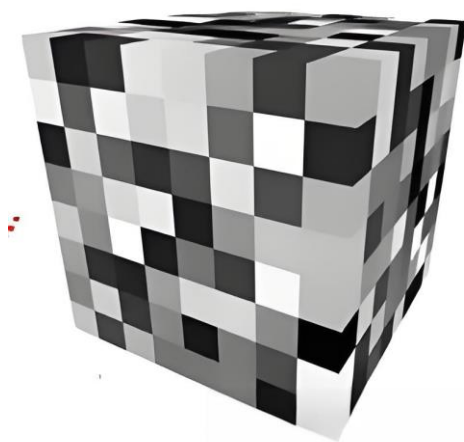


图 4-2-1 三维噪声图

2. **平滑噪声：**通过计算块状噪声图中每个纹理点周围的灰度值并加权得到平均值的方式来生成平滑的噪声图，可以去除尖锐边缘，使效果自然平滑。

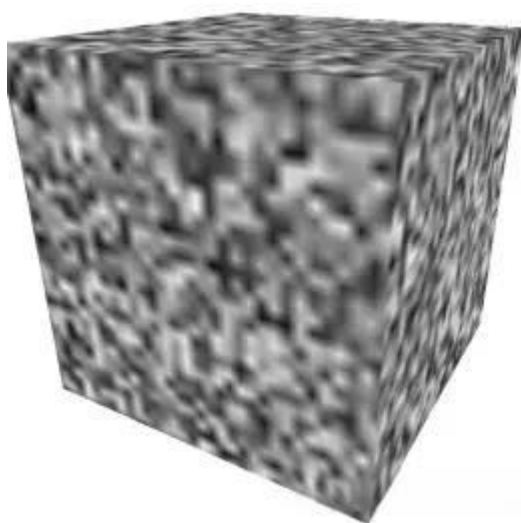


图 4-2-2 平滑噪声结果图

3. **模糊噪声**：这一步将不同缩放因子的噪声图组合在一起，生成新的模糊噪声图，并使用缩放因子作为权重，模拟不同尺度的波浪效果，可以使水面波浪更加真实。
4. **构建正弦波**：为了模拟出自然的波浪起伏，需要在噪声图中构建正弦波，公式如下：

$$W_i(x, y, t) = A_i \sin\left(\begin{bmatrix} \cos \theta_i \\ \sin \theta_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \omega_i + t \varphi_i\right)$$

本文选择以下三个正弦函数进行叠加：

$$W_1(x, z, t) = 0.1 [\sin(t - 0.707x - 0.707z) \theta = 45^\circ]^2, \theta = 45^\circ$$

$$W_2(x, z, t) = 0.05 [\sin(t - 0.866x - 0.5z + 1)], \theta = 30^\circ$$

$$W_3(x, z, t) = 0.05 [\sin(t - x) + 2]^3, \theta = 0^\circ$$

如图 4-2-2 正弦函数叠加曲线所示，可以产生一定的波浪起伏效果。

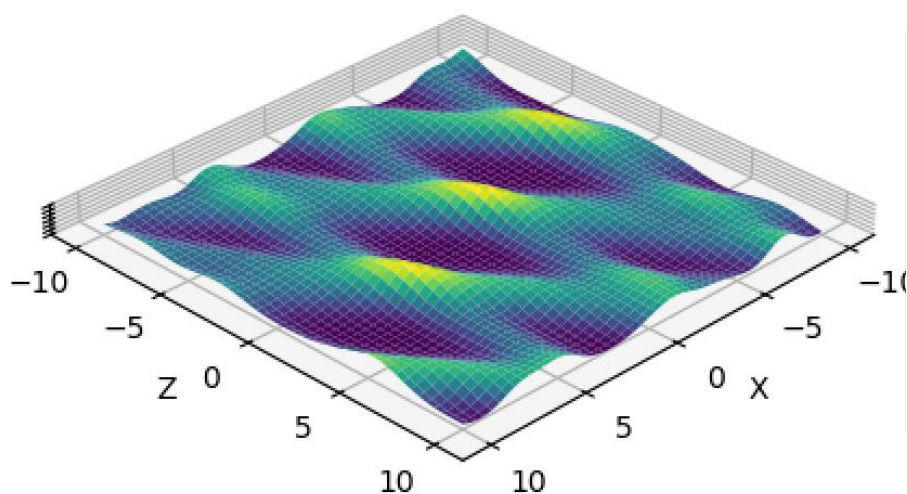


图 4-2-2 正弦函数叠加曲线

5. **生成新的光照法向量：**这一步利用噪声图计算新的法向量来替代原始法向量。即通过计算噪声图中某点周围三个点的高度值来确定该点法向量，使水面看起来有高低起伏，增强波浪的真实感。

5 优化

5.1 概述

为了提升水面渲染的真实感和视觉效果，本文对反射、折射和光照计算进行了优化。主要包括：根水下网格的视觉优化、实现菲涅尔效应以及增加远处的雾化效果。这些优化措施显著提升了水面效果的逼真度和场景表现。

5.2 水下网格的视觉优化

当相机位于水面以上时，水底网格的纹理应根据水面波动进行扭曲。于是，本文使用上文提到的噪声图生成法向量并应用于纹理坐标的方法，来模拟水面的波动效果。同时，当相机位于水面以下时，为了使地板上的光照效果更加真实，光照的法向量也根据噪声图进行调整，使光照效果随波浪变化更自然。

5.3 菲涅尔效应

在水面顶部的光照计算中，需要考虑波浪对光照的影响，并应用菲涅尔效应（即视线垂直于表面时，反射较弱，而当视线非垂直表面时，夹角越小，反射越明显），使反射和折射效果随观察角度变化更加逼真，如图 5-4-1 菲涅尔效应。

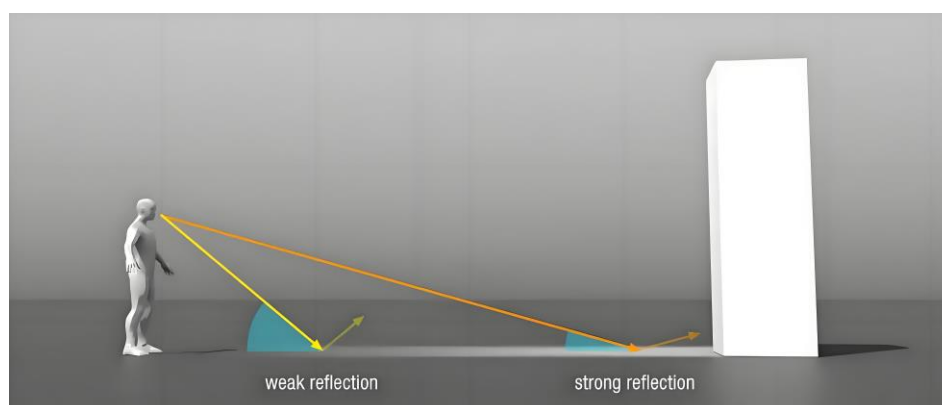


图 5-4-1 菲涅尔效应

菲涅尔效应描述了光在不同角度下的反射和折射比例变化，其计算公式为：

$$F = F_0 + (1 - F_0) \times (1 - \cos\theta)^5$$

其中, F_0 是垂直入射时的菲涅尔反射率, θ 是视线与法线之间的夹角。接着本文在片段着色器中混合反射和折射分量, 具体计算公式为:

$$color = F \times reflectColor + (1 - F) \times refractColor$$

5.4 增加雾化效果

为模糊远处天空盒边界并增强视觉深度, 本文加入了雾化效果, 即基于模型顶点到相机的距离按比例增加模糊程度, 主要包括下面两种:

- **天空盒雾化:** 在特定高度以下增加淡紫色雾化效果, 模糊天空盒边界。
- **地板网格平面雾化:** 将雾化颜色与地板的最终颜色混合, 生成逐渐模糊的效果

6 水下场景

6.1 概述

在实现水下场景动画时，需要考虑水面波浪的动态变化，并模拟水下光照和物体流动效果。所以，本文对噪声纹理切片位置和光照处理进行了动态调整来实现逼真的水下动画效果，使环境更生动真实。

6.2 动态噪声纹理

利用三维噪声纹理可以生成静态水面的波浪效果。本文对噪声图切片的位置进行动态调整，即通过时间变量动态改变噪声图的第三维度（时间）来模拟水面流动效果。这样就完成了在不同时刻使用不同的纹理切片，通过纹理变化来形成的水面流动动画。

6.3 水下光照效果

考虑到水下光照受水波影响会表现出动态变化，本文使用动态噪声图生成的法向量替代原始法向量进行水下光照的计算。而在水下光照计算中，还需要考虑水波对光线的折射和反射，使水下光照效果随波浪变化而变化。

6.4 水下物体流动效果

水下物体的流动也是水下动画的重要组成部分，可以进一步增强水下场景的真实感。为了实现这一点，本文根据波浪的高度图，动态调整水下物体的位置和旋转角度，使物体随波漂浮，同时需要保持位置和角度变化与水波一致。

7 水下聚焦

7.1 概述

水下聚焦效果是指在水下环境中产生条状的光照带，这些光照带会随着水面的波浪而弯曲，形成逼真的光线聚焦效果。本文通过采样噪声数据，并使用特定的函数调整颜色来实现这一效果，使得水下场景更加生动和真实。

7.2 实现步骤

7.2.1 计算光照带强度

通过一个特定的函数可以使用上文获得的噪声值来计算光照带的强度。这个函数可以将噪声值转换为一个周期性的光照带强度值。

$$lightBand = (1.0 - |\sin(noise \times 2\pi)|)^{strength}$$

其中， w 是光照带图案的频率， $strength$ 是光照带的强度，本文将 $strength$ 取为 4，绘制图像如图 7-2-1-1 光照带强度值图示。

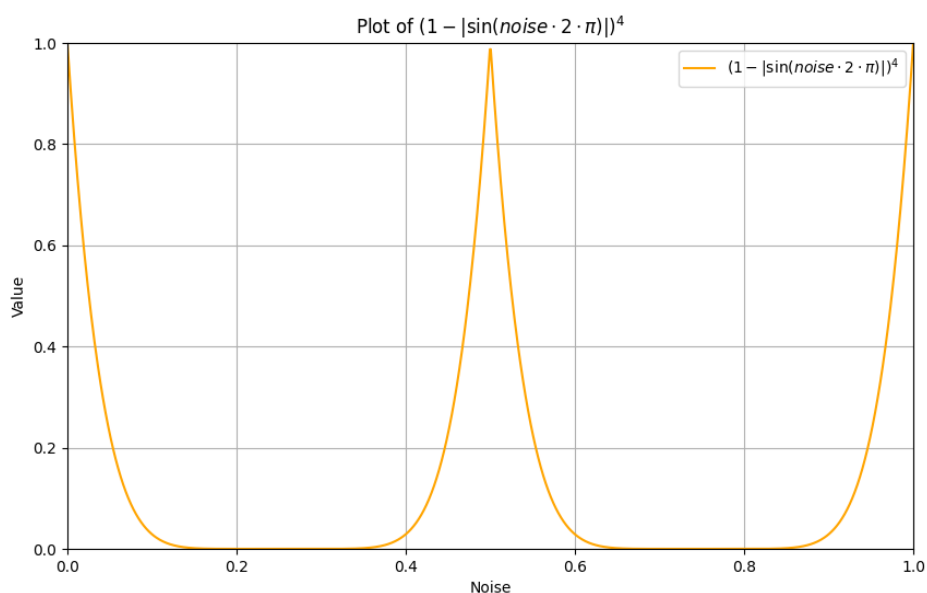


图 7-2-1-1 光照带强度值图示

7.2.2 应用光照带效果

根据计算得到的光照带强度，将光照带强度值叠加到原始颜色上，并通过调整颜色的 RGB 分量，使得条状光带随着水面波浪的变化而变化。

8 结论

本文成功利用 OpenGL 实现了高效逼真的水体渲染，如图 8-1~8-2 所示。通过创建多个视角并渲染到帧缓冲区的方式，本文实现了水面上方环境（如天空盒）的反射和水面下方物体（如水底网格）的折射效果，增强了水面的真实感。通过采用 3D 纹理噪声技术生成动态波浪，并结合 ADS 光照模型实现 Phong 光照效果，使得水面更加生动自然。通过动态调整噪声纹理切片位置，模拟水面的流动动画，同时模拟水下光照和物体的流动效果，增强了水下场景的生动性和真实感。通过优化反射、折射效果和光照计算，结合菲涅尔效应和雾化效果，进一步提升了水面效果的逼真度和场景的整体表现。



图 8-1 水上模拟图

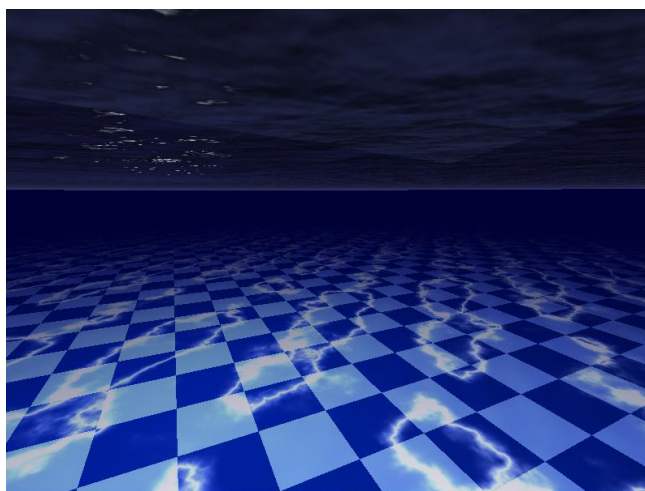


图 8-2 水下模拟图

参考文献