

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)
21301026	张凯歌	9	29	19	39	96

风格化着色与边缘检测在计算机图形学中的应用

张凯歌 21301026

2024 年 6 月 22 日

摘要

本文探讨了在计算机图形学中风格化着色与边缘检测技术的应用。通过 GLSL (OpenGL Shading Language) 片段着色器的实现，结合光照模型、颜色分级、噪声函数和图案生成技术，得到了多种艺术风格的渲染效果。实验结果表明，这些技术能够显著增强图像的视觉效果，并提供了对图形学技术的新的理解和应用

1 引言

计算机图形学是现代计算机科学中的一个重要领域，广泛应用于游戏、电影、虚拟现实等多个领域。随着计算机硬件和软件技术的快速发展，计算机图形学的研究和应用也取得了长足的进步。从早期的 2D 图形渲染到现在的复杂 3D 场景绘制，计算机图形学在视觉效果和真实感方面取得了显著成就。

在图形学的渲染过程中，光照模型和着色技术是决定图像质量的关键因素。光照模型用于模拟光源与物体表面之间的相互作用，从而产生不同的光影效果；着色技术则是利用颜色、阴影和纹理等手段对物体进行渲染，使得图像更加逼真和生动。传统的光照模型包括 Phong 模型 [1]、Blinn-Phong 模型等，这些模型主要通过漫反射和镜面反射来计算光照效果。

近年来，随着计算机图形学的不断发展，风格化着色和边缘检测技术 [2] 引起了广泛关注，成为研究热点。风格化着色技术通过对颜色和纹理的特殊处理，使得图像呈现出独特的艺术效果，例如卡通渲染、素描渲染等。边缘检测技术则用于突出图像中的边缘部分，提高图像的视觉

冲击力，常用于图像处理和计算机视觉领域。

本文的研究目的在于通过结合光照模型、风格化着色和边缘检测技术，实现更加艺术化和富有表现力的图像渲染效果。具体目标包括：

- 实现基本的光照模型，使得物体表面的光影效果更加真实。
- 通过风格化着色技术，增加图像的艺术效果，使得渲染结果具有独特的视觉风格。
- 结合边缘检测技术，突出图像中的边缘部分，增强图像的层次感和视觉冲击力。

通过上述目标的实现，希望能够探索计算机图形学中的新技术应用，提升图像渲染的多样性和表现力，并为相关领域的研究提供参考。

2 相关工作

在现代计算机图形学中，如何生成富有艺术感的图像一直是一个重要的研究课题。随着硬件和软件技术的不断进步，研究者们提出了许多先进的光照模型和着色技术，以提升图像质量和视觉效果。本部分将重点介绍光照模型、风格化着色技术和边缘检测技术的发展和原理

2.1 光照模型

光照模型在计算机图形学中用于模拟光源与物体表面之间的交互，生成逼真的光影效果。以下是两种主要的光照模型：

漫反射模型描述了光线从粗糙表面扩散反射的现象。朗伯反射 [3] 是最常用的漫反射模型，它假定表面在所有方向上的反射光强度是均匀的。其基本公式为：

$$I_d = k_d \cdot (L \cdot N) \quad (1)$$

其中， I_d 是漫反射光的强度， k_d 是漫反射系数， L 是光线的入射方向， N 是表面的法线向量。朗伯反射模型因其计算简单且效果自然，广泛应用于各种图形渲染中。

镜面反射模型描述了光线从光滑表面镜面反射的现象。Phong 反射模型是最常用的镜面反射模型之一，其假定光线以某个特定方向反射，并在该方向上反射光强度最大。其基本公式为：

$$I_s = k_s \cdot (R \cdot V)^n \quad (2)$$

其中， I_s 是镜面反射光的强度， k_s 是镜面反射系数， R 是反射方向， V 是观察方向， n 是光滑度参数。Phong 模型通过调节光滑度参数，可以控制高光的大小和强度，从而实现更真实的镜面反射效果。

2.2 风格化着色技术

风格化着色技术通过特殊的颜色处理和纹理生成 [4]，使得图像呈现独特的艺术效果。以下是几种常见的风格化着色技术：

颜色分级和渐变技术通过将不同亮度下的颜色进行分级，实现颜色的平滑过渡。此技术可以用来模拟手绘风格或卡通效果 [5]，使得图像看起来更加鲜明且富有层次感。

噪声函数（如 Perlin 噪声）在图形学中广泛用于生成自然纹理 [6]，如云朵、火焰和木材纹

理。通过引入随机性，噪声函数能够为图像增加细节和复杂性，使得渲染结果更加生动和真实。

图案生成技术通过添加特定的图案（如画、条纹和格子等）来增强图像的艺术效果。

2.3 边缘检测技术

边缘检测技术 [7] 用于识别和突出图像中的边缘部分，提高图像的层次感和视觉冲击力。以下是主要的边缘检测方法：

Sobel 算子 [8]：Sobel 算子通过计算图像灰度的梯度来检测边缘。其基本原理是使用水平和垂直方向上的卷积核对图像进行卷积，得到梯度图像。具体来说，Sobel 算子分别使用以下两个卷积核对图像进行卷积，以计算水平和垂直方向的梯度：

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot I \quad (3)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \cdot I \quad (4)$$

其中， G_x 和 G_y 分别是水平和垂直方向上的梯度， I 是输入图像。综合梯度强度的计算公式为：

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

Sobel 算子的优点是计算简单，适用于实时处理。

Canny 边缘检测 [9]：Canny 边缘检测是一种多阶段的边缘检测算法，包括高斯平滑、梯度计算、非极大值抑制和双阈值检测。其优点是能够检测到更多的边缘细节，同时具有较强的抗噪能力，广泛应用于各种图像处理任务中。

具体步骤如下：

(1) 高斯平滑：对图像进行高斯模糊，降低噪声。

(2) 梯度计算：使用 Sobel 算子计算图像的梯度强度和方向。

(3) 非极大值抑制：在梯度方向上对梯度强度进行抑制，去除非边缘点 [10]。

(4) 双阈值检测：使用高低两个阈值对梯度强度进行阈值化处理，连接边缘 [11]。最终的边缘图像通过连接强边缘和弱边缘得到。

Canny 边缘检测方法能够检测到更多的边缘细节，同时具有较强的抗噪能力，被广泛应用于各种图像处理任务中。

在计算机图形学中，边缘检测通常结合光照和着色来实现。例如，通过计算光照模型中的法线变化率，可以在渲染过程中实时检测并突出边缘。这种方法不仅可以提高图像的层次感，还可以与风格化着色技术结合，生成独特的艺术效果。

尽管风格化着色和边缘检测技术在计算机图形学中已经取得了显著进展，但现有方法仍然存在一些不足之处。传统的光照模型在处理复杂场景和动态光照时可能会显得不足，而风格化着色技术在实现多样性和细节表现方面仍有提升空间。此外，边缘检测技术在处理高噪声图像时效果不佳，且难以与实时渲染结合。

本文结合光照模型、风格化着色和边缘检测技术，提出了一种综合方法来实现更加艺术化和富有表现力的图像渲染效果。通过使用颜色分级、噪声函数和图案生成技术，在增强图像视觉效果的同时，提高了其艺术性和多样性。同时，结合实时边缘检测技术，本文的方法能够在渲染过程中动态检测和突出图像的边缘部分，显著提升图像的层次感和视觉冲击力。

3 方法设计

在本文的研究中，结合了光照模型、风格化着色和边缘检测技术，提出了一种综合的方法来实现更加艺术化和富有表现力的图像渲染效果。

3.1 光照模型的实现

在场景中设置多个光源，每个光源的位置和强度都可以自定义。光源的计算基于光照模型，通过计算光源到物体表面的距离和方向来确定光强度和照明效果。使用逆平方定律来模拟光强度的衰减：

$$I = \frac{I_0}{d^2} \quad (6)$$

其中， I 是光源的强度， I_0 是光源的初始强度， d 是光源到物体表面的距离。

3.2 风格化着色技术的实现

风格化着色技术通过特殊的颜色处理和纹理生成，使得图像呈现独特的艺术效果。本文主要采用以下几种风格化着色技术：

颜色分级和渐变通过对图像的颜色进行分级处理，实现颜色的平滑过渡，模拟手绘或卡通风格。其基本步骤包括：

- (1) 将图像的颜色空间转换为 HSV 或 LAB 颜色空间。
- (2) 对亮度或明度进行分级处理，将其分为若干级别。
- (3) 根据分级结果重新映射颜色，得到分级效果。

噪声函数生成纹理通过引入 Perlin 噪声函数，为图像增加自然纹理。Perlin 噪声函数是一种渐进随机函数，广泛用于生成自然效果如云朵、火焰和木材纹理。其基本步骤包括：

- (1) 在片段着色器中实现 Perlin 噪声函数。

- (2) 使用噪声函数生成纹理，并将其应用于图像渲染。

图案生成技术通过在图像中添加特定图案(如点画、条纹和格子等)，增强图像的艺术效果。其基本步骤包括：

- (1) 在片段着色器中生成特定的图案。
- (2) 将生成的图案应用于图像的颜色或亮度通道。

3.3 边缘检测技术的实现

边缘检测技术用于识别和突出图像中的边缘部分，提高图像的层次感和视觉冲击力。本文采用了以下两种边缘检测方法。

为了实现对图像中边缘的高效检测和突出显示，本文结合 Sobel 算子和 Canny 边缘检测两种方法。在图像处理中，先使用 Sobel 算子对图像进行初步的边缘检测，得到粗略的边缘图像。在此基础上，进一步应用 Canny 边缘检测技术，优化边缘检测效果，获取更精确、更平滑的边缘图像。通过这种综合应用的方法，可以有效提高边缘检测的准确性和鲁棒性。

首先将输入的彩色图像转换为灰度图像。应用 Sobel 算子计算图像的梯度强度，生成初步的边缘图像。根据梯度强度图像，生成二值边缘图像。这一步骤在实际应用中，通过对梯度强度设置合适的阈值，过滤出显著的边缘。

接下来引入 Canny 边缘检测。首先对图像进行高斯模糊处理，减少噪声的影响，确保边缘检测的稳定性。使用 Sobel 算子计算梯度强度和方向，为 Canny 边缘检测的后续步骤做准备。进行非极大值抑制，抑制非边缘点，保留真正的边缘。使用高低双阈值进行阈值化处理，确定强边缘和弱边缘，并通过边缘连接生成最终的边缘图像。

通过上述设计，能够在各种复杂图像处理中实现高效、准确的边缘检测效果。

3.4 综合实现

本文通过结合光照模型、风格化着色和边缘检测技术，提出了一种综合的图像渲染方法。具体步骤如下：

- (1) 计算光照模型，得到基本的光影效果。
- (2) 应用风格化着色技术，生成具有艺术效果的图像。
- (3) 使用边缘检测技术，突出图像中的边缘部分。
- (4) 将以上步骤的结果进行综合处理，得到最终的渲染效果。

通过上述方法的实现，本文成功地将光照模型、风格化着色和边缘检测技术结合在一起，得到了具有独特艺术效果和视觉冲击力的图像渲染效果。实验结果表明，这种综合方法能够显著增强图像的表现力，为计算机图形学中的图像渲染提供了新的思路和方法。

4 实验设置

为了验证本文提出的方法，在特定的实验环境下进行了一系列实验。实验分为实验环境、实验数据和实验步骤三个部分。

4.1 实验环境

计算机配置：Intel Core i9-13980HX CPU，NVIDIA GeForce RTX 4060 GPU，16GB RAM

显示器：16 英寸，2560x1600 分辨率

操作系统：Windows 11 64 位

开发工具：Visual Studio Code, OpenGL 4.5, GLSL

4.2 实验数据

3D 模型：使用茶壶模型。

光源设置：在场景中设置了多个光源，包括点光源、方向光源和聚光灯。每个光源的位置、颜色和强度可以根据需要进行调整。

4.3 实验步骤

光照模型的实验步骤：

首先，加载 3D 模型并初始化场景，确保模型和环境的基本设置正确。然后，设置光源参数，包括光源的位置、强度和颜色。这些参数将直接影响光照效果。在计算光强度时，采用逆平方定律，即光强度与光源到物体表面的距离平方成反比，以保证光照效果的物理真实感。接着，渲染场景并记录光照效果，通过调整光源的不同设置，反复渲染场景并进行对比，验证光照模型的准确性。

风格化着色的实验步骤：

加载 3D 模型和基础纹理，确保模型具备基本的纹理效果。接下来，应用颜色分级和渐变技术，具体方法是将图像的颜色空间转换为 HSV 颜色空间，然后对亮度进行分级处理，根据分级结果重新映射颜色，得到分级效果。接着，在片段着色器中实现 Perlin 噪声函数，通过噪声函数生成纹理，并将其应用于图像渲染，增强图像的纹理效果。最后，应用图案生成技术，在片段着色器中生成特定的图案，如条纹等，并将生成的图案应用于图像的颜色或亮度通道。渲染场景并记录结果，比较不同风格化着色技术下的渲染效果。

边缘检测的实验步骤：

加载待处理的图像或渲染结果，确保图像数据完整。然后，应用 Sobel 算子进行初步边缘检测，具体步骤是计算水平和垂直梯度，生成梯度强度图像，并设置阈值，得到二值边缘图像。接下来，应用 Canny 边缘检测技术，对图像进行

高斯模糊，减少噪声，然后使用 Sobel 算子计算梯度强度和方向，进行非极大值抑制，去除非边缘点，最后使用高低双阈值进行阈值化处理，连接强边缘和弱边缘。渲染场景并记录结果，通过比较不同边缘检测技术下的图像，验证其边缘检测效果。

通过上述实验步骤，可以验证光照模型、风格化着色和边缘检测技术的综合应用效果，评估其在实际图像渲染中的表现。

5 实验结果与分析

为了全面验证本文提出的方法，在实验进行了多方面的测试，包括光照模型、风格化着色和边缘检测技术。通过这些实验，不仅能够评估各个技术的单独效果，还可以分析它们在综合应用中的表现。以下是各个实验的详细结果与分析。

5.1 光照模型的实验结果

在光照模型的测试中，首先加载了 3D 模型。然后，通过调整光源的位置、颜色和强度，观察并记录了光照效果的变化。

实验结果表明，采用逆平方定律计算光强度能够较好地模拟现实中的光照效果。通过比较不同光源设置下的渲染结果，可以看到光源参数的微小变化会显著影响场景的光照效果，这验证了光照模型的准确性。具体来说，在点光源的实验中，随着光源距离模型的远近变化，光强度的衰减效果明显。当光源靠近模型时，光照效果更加集中和明亮；而当光源远离模型时，光强度显著减弱，照亮的范围扩大但亮度降低。这些观察结果与理论计算一致，证明了光照模型的物理真实性。

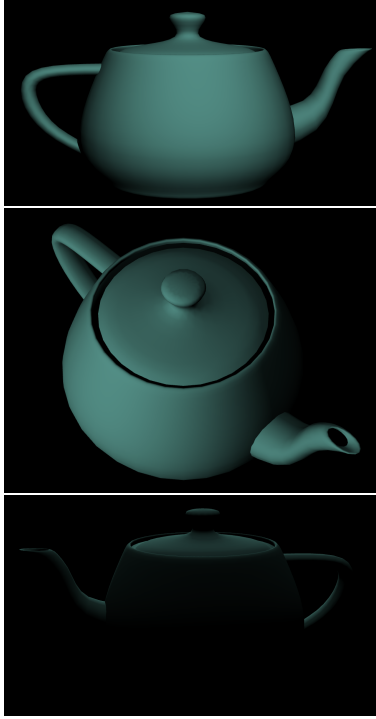


图 1: 光照模型实验

5.2 风格化着色的实验结果

在风格化着色的测试中，首先应用了颜色分级和渐变技术。

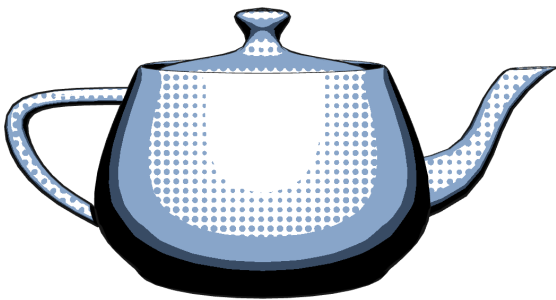


图 2: 初始结果

通过将图像的颜色空间转换为 HSV 颜色空间，能够对亮度或明度进行分级处理，并根据分级结果重新映射颜色，得到了一系列不同亮度下

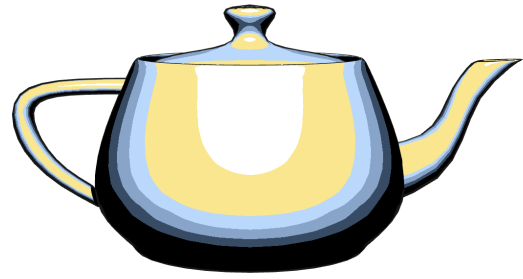


图 3: 增加颜色分级

的分级效果。实验结果显示，颜色分级技术能够显著提升图像的层次感，使得图像在不同光照条件下表现出更丰富的色彩变化。



图 4: 增加噪声和图案

接着，在片段着色器中实现了 Perlin 噪声函数，通过噪声函数生成纹理并应用于图像渲染。结果表明，噪声函数能够有效增加图像的纹理效果，使得图像表现出更自然的细节和艺术效果，为图像增添了真实感和视觉冲击力。

最后，应用图案生成技术，在片段着色器中生成了特定的图案，并将生成的图案应用于图像的颜色或亮度通道。实验结果表明，这些图案生成技术能够显著增强图像的艺术效果，使得图像呈现出独特的风格化效果。

5.3 边缘检测的实验结果

在边缘检测的测试中，首先应用 Sobel 算子对加载的图像或渲染结果进行初步边缘检测。通过计算水平和垂直梯度，并生成梯度强度图像，能够清晰地识别图像中的边缘。实验结果显示，Sobel 算子能够有效检测出图像中的主要边缘，但在噪声较大的图像中会出现较多误检。



图 5: 边缘检测处理前



图 6: 边缘检测处理后

为了进一步提高边缘检测的精度，应用了 Canny 边缘检测技术。通过对图像进行高斯模糊来减少噪声，然后使用 Sobel 算子计算梯度强度和方向，再进行非极大值抑制去除非边缘点，最后使用高低双阈值进行阈值化处理，能够更准确地连接强边缘和弱边缘。实验结果表明，Canny 边缘检测技术在处理复杂图像时表现出更高的精度和稳定性，能够有效减少误检和漏检。

6 结论

通过一系列实验和分析，对光照模型、风格化着色和边缘检测技术在计算机图形学中的应用进行了深入研究。这些技术不仅在实验中展现了各自的优势，还揭示了它们在实际应用中的潜力和效果。以下是研究总结、局限性和未来研究方向。

6.1 研究总结

本文通过对光照模型、风格化着色和边缘检测技术的实验和分析，验证了这些技术在计算机图形学中的有效性和应用潜力。实验结果表明，采用逆平方定律计算光强度能够较好地模拟现实中的光照效果。通过调整光源的位置、颜色和强度，观察并记录了光照效果的变化，验证了光照模型的准确性。

风格化着色和边缘检测技术在图像渲染中表现出显著的增强效果。通过颜色分级和渐变技术、噪声函数生成纹理以及图案生成技术，能够实现多种艺术风格的渲染效果。边缘检测技术通过 Sobel 算子和 Canny 边缘检测的应用，实现了高精度的边缘识别。这些技术能够显著增强图像的视觉效果，为图像渲染提供了丰富的艺术表现手法。

6.2 研究局限性

尽管本文提出的方法在实验中表现良好，但仍存在一些局限性。首先，实验所用的 3D 模型和场景较为有限，无法全面代表所有可能的应用场景。其次，实验环境和硬件配置相对固定，未能测试不同硬件条件下的性能表现。此外，风格化着色和边缘检测技术的参数选择较为主观，可能影响最终效果的一致性和可重复性。

6.3 未来研究方向

未来研究可以在以下几个方面进行改进和扩展。首先,可以测试更多种类和复杂度的 3D 模型和场景,以验证方法在不同应用场景中的通用性。其次,可以在不同硬件条件下进行实验,评估方法的性能表现和适应性。此外,可以进一步优化风格化着色和边缘检测技术的参数选择,使其更加自动化和智能化,从而提高效果的一致性和可重复性。最后,可以探索这些技术在实时渲染和动态场景中的应用,为游戏、电影和虚拟现实等领域提供更强大的技术支持。

参考文献

- [1] Ping Tan. “Phong reflectance model”. In: *Computer Vision: A Reference Guide* (2020), pp. 1–3.
- [2] 沈瑜 et al. “目标边缘清晰化的图像风格迁移”. In: *Laser & Optoelectronics Progress* 58.12 (2021), p. 1210021.
- [3] 韩袁琛 and 程勇. “基于朗伯反射模型的光照估计及鲁棒人脸识别”. In: *电视技术* 41.1 (2017), pp. 79–83.
- [4] 李园园 et al. “融合技术在迷彩纹理生成中的应用”. In: *Ordnance Industry Automation* 4.40 (2021), p. 04.
- [5] 张文天 et al. “基于 CartoonGan 的改进卡通化图片生成方法”. In: *新疆师范大学学报》(自然科学版)* 43.2 (2024).
- [6] 李二强, 陈凯健, and 周漾. “可控多重纹理扩展合成与迁移.” In: *Jilin Daxue Xuebao (Lixue Ban)/Journal of Jilin University (Science Edition)* 59.3 (2021).
- [7] 魏林 and 华康民. “基于 Matlab/GUI 的数字图像边缘检测算法研究”. In: *无线互联科技* 19.9 (2022), pp. 140–142.
- [8] 袁春兰 et al. “基于 Sobel 算子的图像边缘检测研究”. In: *激光与红外* 39.1 (2009), pp. 85–87.
- [9] 刘丽霞 et al. “改进 Canny 边缘检测的遥感影像分割”. In: *计算机工程与应用* 55.12 (2019), pp. 54–58.
- [10] 张强, 张陈斌, and 陈宗海. “一种改进约束条件的简化非极大值抑制”. In: *JOURNAL OF UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA* 46.1 (2016).
- [11] 陈顺 and 李登峰. “基于多层小波阈值函数的彩色图像边缘检测”. In: *计算机应用与软件* 39 (2022), p. 2.