

| 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) |
|----------|-----|------------|--------------|------------|----------------|---------------|
| 21301019 | 王彦博 | 7 | 23 | 16 | 35 | 81 |

缺乏相关工作梳理

北京交通大学

计算机图形学课程设计（论文）

计算机图形学——抗锯齿技术探究

Computer Graphics - Exploration of Anti-Aliasing Techniques

学 院： 软件学院

专 业： 软件工程

学生姓名： 王彦博

学 号： 21301019

指导教师： 吴雨婷

北京交通大学

2024 年 6 月

中文摘要

本文针对计算机图形学中的抗锯齿（Anti-Aliasing, AA）技术进行了探究，探讨了多种抗锯齿技术在实际应用中的效果和优劣。首先介绍了锯齿现象产生的理论基础，分析了其原因及其在视觉效果中的影响。随后详细讨论了当前常用的 4 种抗锯齿技术，包括超级采样抗锯齿（Super-Sampling Anti-Aliasing, SSAA）、多重采样抗锯齿（Multi-Sampling Anti-Aliasing, MSAA）、快速近似抗锯齿（Fast Approximate Anti-Aliasing, FXAA）和时间性抗锯齿（Temporal Anti-Aliasing, TAA），随后比较了后三者在不同场景下的表现。通过对这些技术进行实验和对比分析，了解了它们在提升图形渲染质量方面的差异和优劣。

关键词：抗锯齿，计算机图形学，MSAA，FXAA，TAA

目 录

中文摘要..... i

1 引言..... 1

 1.1 研究背景与意义..... 1

 1.2 研发现状..... 1

 1.3 本文主要工作内容..... 1

 1.4 本文组织结构..... 1

2 相关工作介绍..... 2

 2.1 理论基础..... 2

 2.1.1 计算机图形中锯齿现象的产生原因..... 2

 2.1.2 常用的抗锯齿技术..... 2

 2.2 实践工作..... 5

3 实验描述..... 6

 3.1 实验环境..... 6

 3.2 实验操作..... 6

4 实验结果与分析..... 7

 4.1 MSAA 抗锯齿技术..... 7

 4.2 FXAA 抗锯齿技术..... 8

 4.3 TAA 抗锯齿技术..... 8

 4.4 抗锯齿效果对比..... 9

5 总结..... 9

参考..... 10

1 引言

1.1 研究背景与意义

在计算机图形学和数字图像处理领域，抗锯齿技术是一项重要的研究方向。锯齿效应，是游戏引擎将平滑的 3D 形状渲染到以像素为基础的 2D 图形帧时产生的伪影，抗锯齿是一种用于消除锯齿或混叠的图形技术。随着显示设备分辨率的提升和图像处理需求的增加，如何有效地减少锯齿现象，提升图像的视觉质量成为了学术界和工业界共同关注的问题。

1.2 研发现状

抗锯齿技术作为计算机图形学和数字图像处理领域的重要分支，在图形动画渲染、计算机游戏、医疗影像和科学可视化等领域均有广泛的研究和应用。目前已有多个主流的抗锯齿技术投入到实际应用，例如：超级采样抗锯齿（SSAA）、多重采样抗锯齿（MSAA）、时间性抗锯齿（TAA）、快速近似抗锯齿（FXAA）等抗锯齿技术，这些技术各有优劣，将在后文中进行讨论。

1.3 本文主要工作内容

对多重采样抗锯齿（MSAA）、时间性抗锯齿（TAA）、快速近似抗锯齿（FXAA）抗锯齿技术进行实例化实践，并进行结果分析。

1.4 本文组织结构

本文的结构安排如下：

第 1 章，概述本文的研究背景、意义，以及研究现状，接着介绍了本文的主要工作内容，最后对本文的组织结构安排进行介绍。

第 2 章，详细介绍本文工作的理论基础与实践工作内容

第 3 章，实验过程的描述，包括：实验环境说明、实验操作叙述两部分

第 4 章，对实验得出的结果进行展示与分析

第 5 章，对全文工作进行总结，并对有待进一步的研究进行分析以及展望。

2 相关工作介绍

2.1 理论基础

2.1.1 计算机图形中锯齿现象的产生原因

电子显示器是由一行行微小的像素点组成的，显示任何图形时，均要经过光栅化的过程，即将连续的图形转化为离散的像素的过程，在这个过程中，如果像素的采样点落在图形范围内，则像素被着色，表示该像素为图形的一部分，反之则不会被着色，如图 2-1，然而不完全被包括在图形内的像素就无法被准确地显示出来，从而导致图形出现锯齿状的外观。

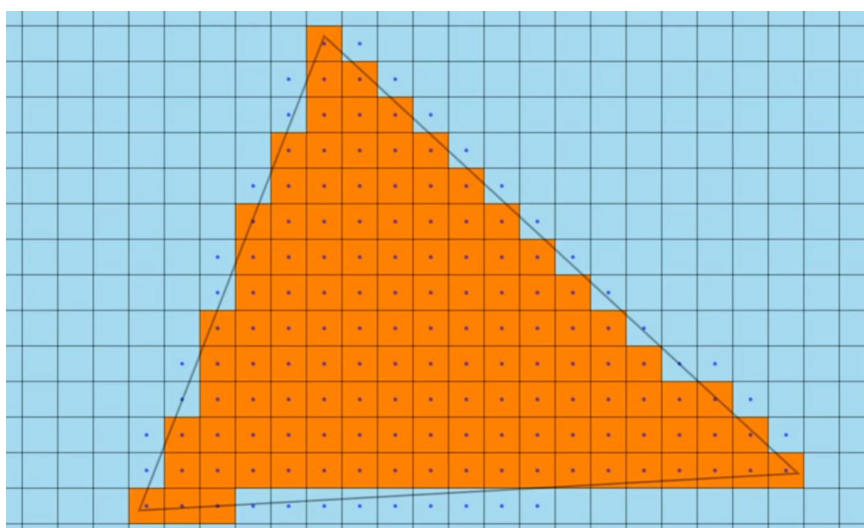


图 2-1 一个三角形图形在电子显示器中的着色示例

2.1.2 常用的抗锯齿技术

（1）超级采样抗锯齿（SSAA）：

原理：将图形渲染至一个更高的分辨率的虚拟着色区，随后将其缩放回原本的分辨率，在此过程中，图形中有锯齿的地方产生了着色有过渡颜色的像素，从而减少了锯齿状的外观，如图 2-2。

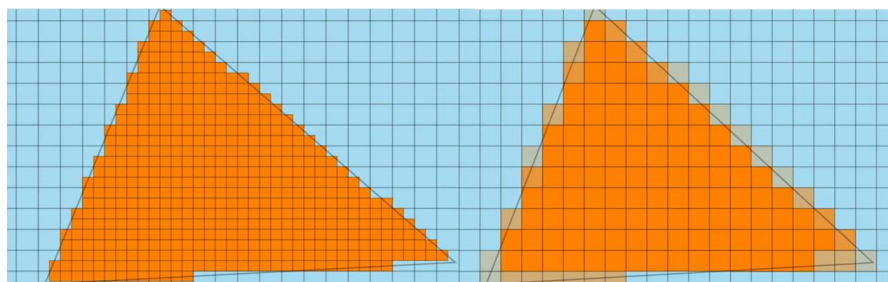


图 2-2 超级采样抗锯齿（SSAA）着色图例

特点：能大幅提升图形质量，效果极佳。但由于需要放大多倍进行渲染，计算成本很高。

（2）多重采样抗锯齿（MSAA）

原理：相较于原始像素采样，MSAA 不再仅仅针对像素中心进行采样，而是在像素的多个不同位置进行采样，在渲染某个像素时，先计算像素中有多少个采样点被当前所渲染图形所覆盖，若采样点均被覆盖，则着色图形颜色，若仅有部分采样点被覆盖，则根据被覆盖采样点个数，已一定比例着色图形与背景的混合色，若没有采样点被覆盖，则不着色，如图 2-3。

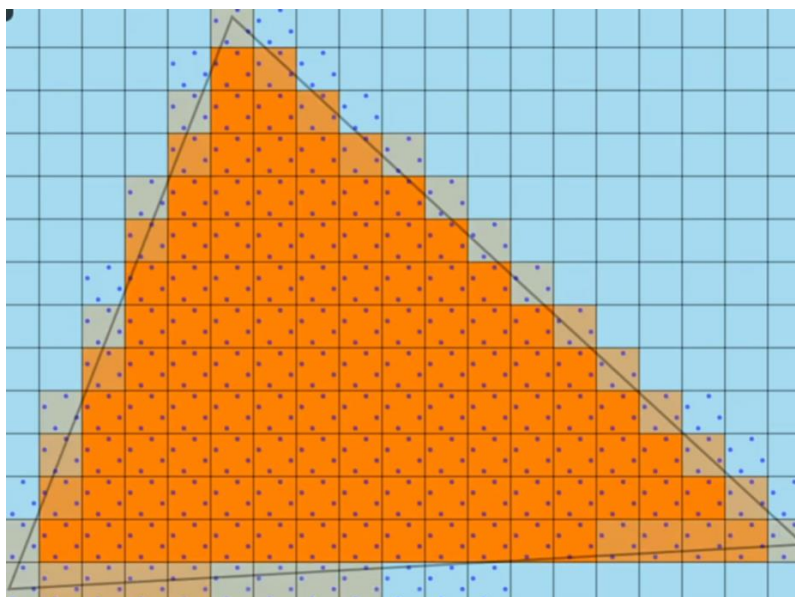


图 2-3 多重采样抗锯齿（MSAA）着色图例

特点：可以实现接近 SSAA 的抗锯齿效果，且极大减少了计算量。但无法解决图形内部的锯齿和因为物体移动而出现的闪烁

（3）时间性抗锯齿（TAA）

原理：上文中提到 MSAA 的两个缺陷，TAA 以图形移动为出发点，通过混合前一帧和当前帧的信息，来对全屏进行抗锯齿处理，作为当前帧的最终画面，如图 2-4

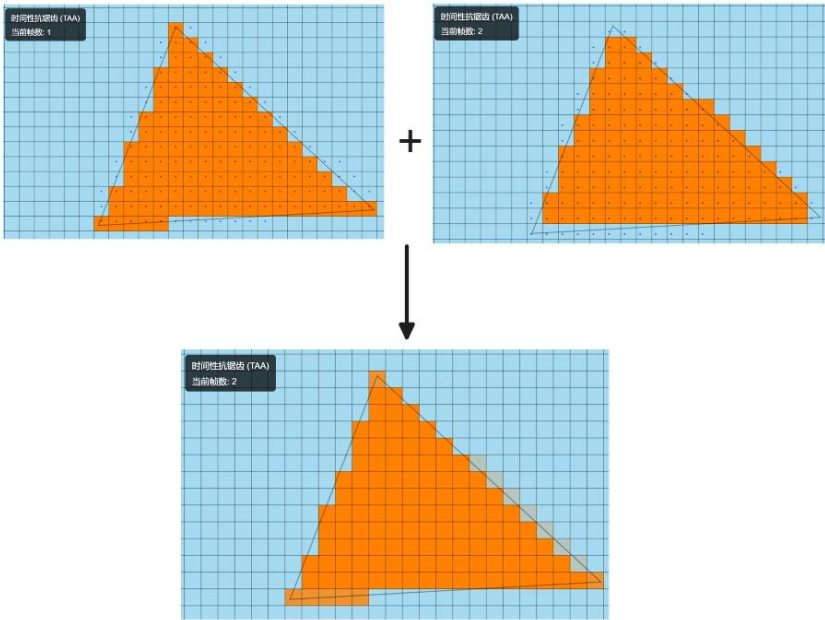


图 2-4 时间性抗锯齿（TAA）着色图例

特点：视觉效果平滑，但由于人眼视觉暂留性的原因，需要额外的运动溯源来消除突然变化图形的“鬼影”一样的效果

（4）快速近似抗锯齿（FXAA）

原理：通过在已经渲染完成的图像中，寻找图形的边缘来实现抗锯齿效果，是一种后期处理的抗锯齿技术，这些边缘通常出现在相邻像素颜色发生剧烈变化的地方，如图 2-5，找到这些边缘，对边缘上的像素进行模糊处理，达到抗锯齿的效果。

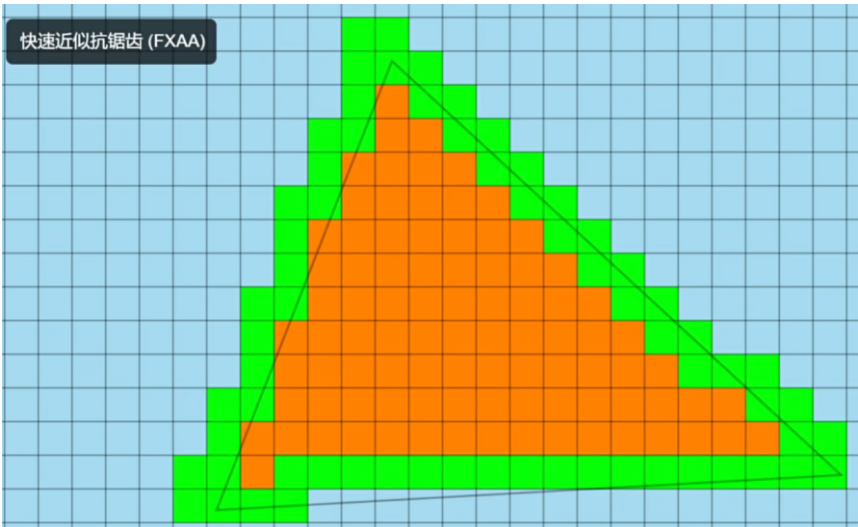


图 2-5 绿色标记的像素即为边缘像素

特点：效果取决于边缘检测和模糊处理时用到的算法，大多数情况下，相较于其

他抗锯齿技术，计算量最小

（5）其他抗锯齿技术

除了上文提到的 4 种抗锯齿技术，还有很多抗锯齿技术在实际生产中被应用，例如：

TXAA，结合了 MSAA 和 TAA，仅在 Nvidia 显卡上使用，TXAA 2x 具有 2x MSAA 效果。

TSAA，结合 TAA 和 SSAA，使用时间法检测锯齿，并使用超级采样消除锯齿。

SMAA S2X SMAA S2X，SMAA 和 MSAA 2x 的结合。SMAA T2X SMAA T2X，SMAA 和 TAA 2x 的结合。

DLAA（深度学习 AA）等，在这里不做深入探究

上述提到的超级采样抗锯齿（SSAA）、多重采样抗锯齿（MSAA）、时间性抗锯齿（TAA）、快速近似抗锯齿（FXAA）这 4 种抗锯齿技术，围绕效果好坏或成本规划，在生产中各有用途。



图 2-6 各抗锯齿技术大致对比（参考）



图 2-7 《Apex Legends》™ 中 TSAA 抗锯齿效果图示（右图为开启抗锯齿状态）

2.2 实践工作

使用 Unity 引擎，导入的相同模型，多重采样抗锯齿（MSAA）、时间性抗锯齿（TAA）、快速近似抗锯齿（FXAA）抗锯齿技术进行实例化实践，并进行结果分析。

3 实验描述

3.1 实验环境

操作系统：Win 11

处理器：11th Gen Intel(R) Core(TM) i7-11800H @ 2.30GHz

显示适配器：NVIDIA GeForce RTX 3060 Laptop GPU

3D 引擎：Unity 2022.3.34f1(LTS)

3.2 实验操作

- （1） 选择参数无、2x、4x、8x 对比查看编辑器提供的 MSAA 抗锯齿效果。
- （2） 在 Camera 组件中启用 FXAA 对比查看效果
- （3） 在 Camera 组件中启用 TAA 对比查看效果

4 实验结果与分析

4.1 MSAA 抗锯齿技术

根据图 4-1 局部放大并对比“禁用”与“8xMSAA”可以看出，MSAA 可以显著平滑物体边缘锯齿现象

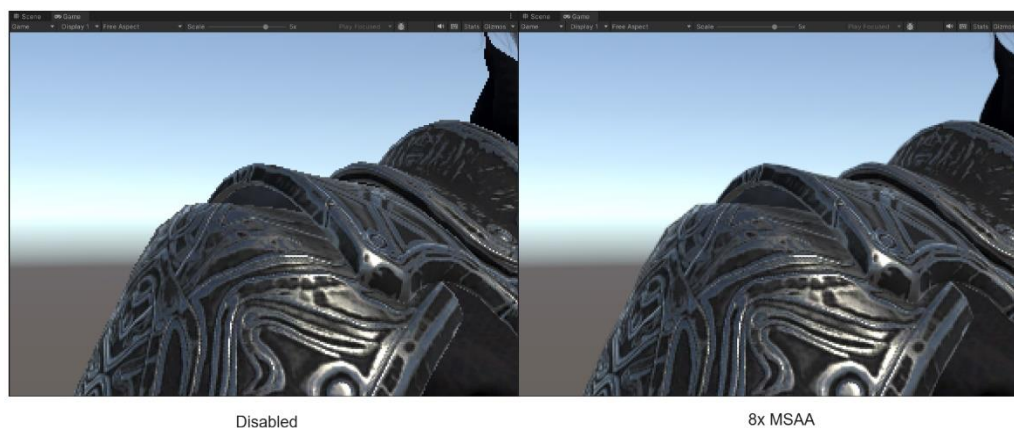


图 4-1 MSAA 抗锯齿效果

根据图 4-1 局部放大并对比“禁用”与“8xMSAA”可以看出，MSAA 可以显著平滑物体边缘锯齿现象。

图 4-2 分别展示禁用、2x、4x、8xMSAA 抗锯齿效果



图 4-2 不同参属下的 MSAA 抗锯齿效果

接对比以上四个渲染效果可以发现，多重采样抗锯齿（MSAA）技术中，采样点越多，模型的锯齿效应越低。

4.2 FXAA 抗锯齿技术

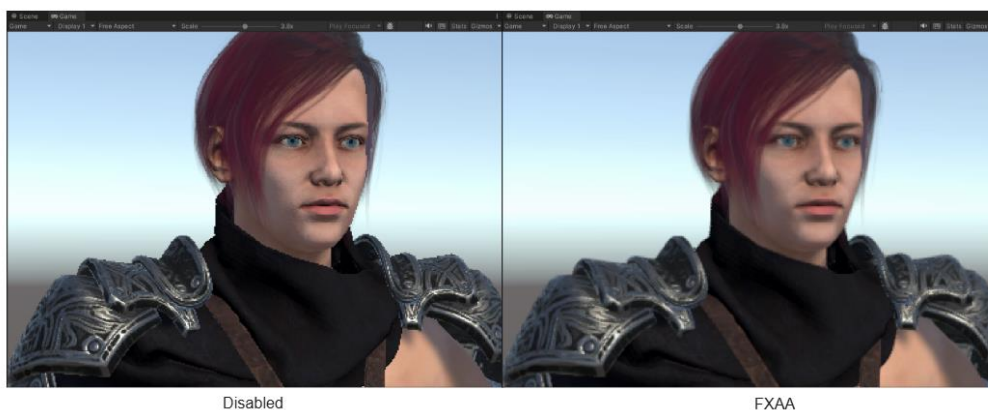


图 4-3 FXAA 抗锯齿效果

根据图 4-3 的对比效果可以观察到，FXAA 可以消除锯齿化效果，但会使画面变得模糊。

4.3 TAA 抗锯齿技术

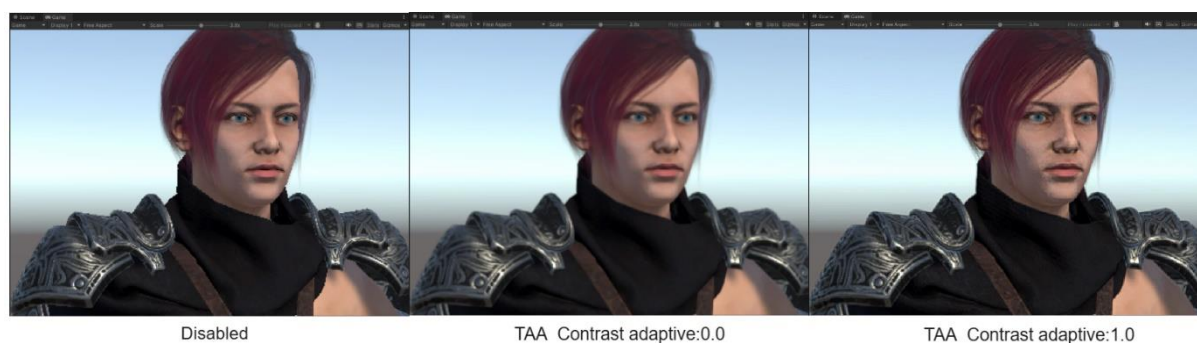


图 4-4 TAA 抗锯齿效果

同为后期处理技术，TAA 在抗锯齿的处理上确实能消除锯齿化效果，然而，画面依旧会变得模糊，不同的是，TAA 抗锯齿技术在执行时有一个重要参数，“Contrast adaptive”即“对比度自适应”的值会显著影响最终的画面，这个值越高时，得到的画面模糊度越低，但同时，模型内部的着色会受到影响，形成噪点。

4.4 抗锯齿效果对比



图 4-5 MSAA、FXAA、TAA 抗锯齿效果

对比 MSAA、FXAA、TAA 在同一环境下的抗锯齿效果（图 4-5），MSAA 作为渲染阶段的抗锯齿技术表现极佳，不仅保留原画面精细度，还完成了锯齿化的消除，但代价是计算量大，渲染时间长，而后二者可以在满足基本需求的情况下，更快更迅速地完成工作，是工作环境不同，各个技术各有所长，各有发挥。

5 总结

抗锯齿技术是计算机图形学中的一项重要技术，它使图像更加平滑，提高了计算机图像的真实感。

文中主要对超级采样抗锯齿（SSAA）、多重采样抗锯齿（MSAA）、时间性抗锯齿（TAA）、快速近似抗锯齿（FXAA）4 种抗锯齿技术做了详细介绍，并对多重采样抗锯齿（MSAA）、时间性抗锯齿（TAA）、快速近似抗锯齿（FXAA）这 3 种抗锯齿技术做了应用实验，得出了相关结论。

随着计算机硬件性能的提高和抗锯齿算法的不断发展，抗锯齿技术在计算机图形学中的应用将越来越广泛。

参考

- [1] 桑来 93. (2021, July 11) 图形学基础 | 抗锯齿 (Anti-Aliasing). Retrieved from <https://blog.csdn.net/qjh5606/article/details/118827463>
- [2] newchenxf. (2023, May 23) 图形学中的抗锯齿讨论以及在 unity 中的应用. Retrieved from <https://blog.csdn.net/newchenxf/article/details/130768763>
- [3] phu004. (2023, Sep 01) 深入浅出，带你了解抗锯齿. Retrieved from <https://www.bilibili.com/video/BV13z4y1K7CC/>