

УДК 004.3

О. Н. РОМАНИЮК, О.В. МЕЛЬНИК, С.І. ВЯТКІН
Вінницький національний технічний університет**КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ АНТИАЛІАЙЗИНГУ**

*У роботі проведено аналіз існуючих методів антиаліаїзінгу зображень і запропоновано їх класифікацію.
Ключові слова: антиаліаїзінг, суперсемплінг, мультисемплінг, піксел.*

O. N. ROMANYK, O. V. MELNYK, S.I. VJATKIN
Vinnytsia national technical university**CLASSIFICATION METHODS OF ANTI-ALIASING****Annotation**

The purpose of this paper is to analyze the existing methods Anti-Aliasing and try the most common classification methods, including methods of Super-Sampling, Multy-Sempling and post-processing methods, which also relate to methods Anti-Aliasing. The basic principle of Anti-Aliasing - a " make low-contrast " sharp boundaries between colors in order to achieve the visual effect of a smooth transition between tones. Different requirements for tools Anti-Aliasing based on tasks performed by computer systems encourage manufacturers to develop graphical tools with different specifications and characteristics for maximum satisfaction of needs subject area. This creates a need to develop classification methods Anti-Aliasing to determine the optimal method and its adaptation to the tasks used.

Keywords: Anti-Aliasing, Super-Sampling, Multy-Sempling, pixel.

Постановка задачі

Антиаліаїзінг – сукупність технічних і алгоритмічних засобів, які застосовуються для усунення ефекту «східчастості», яка має місце при формуванні графічних зображень і відтворенні їх на пристроях відображення. Основна задача антиаліаїзінгу – це згладити різкі межі між кольорами для досягнення візуального ефекту плавного переходу між тонами.

Сьогодні засоби антиаліаїзінгу знайшли широке застосування як у відеокартах, так і пакетах прикладних програм комп'ютерної графіки.

Різні вимоги до засобів антиаліаїзінгу залежно від виконуваних обчислювальною системою задач стимулюють виробників розробляти графічні засоби з різними специфікаціями та характеристиками для максимального задоволення потреб предметної галузі. В таких умовах виникає необхідність розробки класифікації методів антиаліаїзінгу для визначення оптимального методу та його адаптації до поставлених задач використання.

Аналіз публікацій з теми дослідження

У більшості сучасних систем комп'ютерної графіки використовується растровий принцип формування зображення. При формуванні растрових зображень виникають спотворення, які обумовлені недостатньою роздільною здатністю растра [1]. На зображеннях з'являються артефакти, одним із проявів яких є яскраво виражені сходинки або зубці на краях об'єктів. Даний ефект отримав назву ступінчастого ефекту чи ефекту аліаїзінгу [2]. Проведені дослідження показали, що при використанні 17" монітора і розміщенні спостерігача на відстані 65 см від екрана для повного усунення ефекту аліаїзінгу потрібен монітор із роздільною здатністю як мінімум 4000x4000 пікселів, а для людей із рівнем зору вище середнього - взагалі 8000x8000 пікселів. Сучасний рівень технологій поки що не в змозі забезпечити таку роздільну здатність, тому для забезпечення реалістичності синтезованих зображень у системах комп'ютерної графіки використовують спеціальні методи та засоби усунення ступінчастого ефекту [3,4].

На відміну від звичайних методів растрезації, в яких інтенсивність кольору розраховується тільки в центрі піксела, у методах антиаліаїзінгу колір обчислюється з урахуванням зони, яка оточує піксел [2]. При визначенні інтенсивності кольору точки контуру об'єкта додатково враховується покриття піксела межами сусідніх об'єктів, а при формуванні тривимірних зображень значно ускладнюється процедура видалення невидимих поверхонь, оскільки вона виконується з підвищеною точністю на рівні піксела [3,5].

Серед найпоширеніших методів антиаліаїзінгу є суперсемплінг (SSAA – SuperSample Anti-Aliasing).

В групі цих методів зображення, яке має відображатися на екрані, попередньо обчислюється з більшою роздільною здатністю, ніж роздільна здатність пристрою відображення, а перед виведенням на екран зображення зменшується шляхом усереднення [6].

Суть мультисемплінгу полягає в тому, що обробці підлягають піксели, які знаходяться на границі полігону, а не в середині. Звичайно, відмова від згладжування всього зображення погіршує якість зображення текстур і заповнення полігонів, але досягається суттєве підвищення швидкодії згладжування [7].

Завдяки збільшенню потужності та обчислювальної здатності сучасних комп'ютерів стало можливим використання методів пост обробки зображення. На відміну від мультисемплінгу, методи пост обробки [5] зображення працюють як фінальний етап рендерингу, який перевіряє готове зображення і корегує колір пікселів, щоб зменшити недоліки згладжування. Всі методи пост обробки можуть бути поєднані з методами мультисемплінгу, щоб використовувати можливість обох методів [8].

Мета статті

Метою даної статті є аналіз існуючих методів антиаліазингу та їх класифікація відповідно до різних критеріїв.

Класифікація методів антиаліазингу

Суперсемплінг - технологія згладжування методом «грубої сили». Рендеринг сцени виконується з роздільною здатністю, яка кратно перевищує необхідну роздільну здатність екрану, а потім проводиться зменшення зображення. При цьому кожен піксел обробляється на основі маски, яка відповідає встановленому коефіцієнту масштабування [6].

Наприклад, при роздільній здатності 1024x768 і субпіксельній масці 2x2 рендеринг виконується при віртуальній роздільній здатності 2048x1536. Це вимагає вчетверо більшого обсягу пам'яті. Ця методика стала стандартною в ігрових 3D-прискорювачах.

Один із методів [4,6] суперсемплінгу полягає в тому, що фреймбуфер ділиться на фрагменти (тайли). Кожен фрагмент рендериться в більшій роздільній здатності, відповідно субпіксельній масці, а потім масштабується до меншої роздільної здатності. Ця методика застосовується в PowerVR 250.

Можлива реалізація рендерингу в кілька проходів (наприклад, для маски 2x2 - в 4 проходи). Щоразу всі координати зміщуються на деякий крок. Проміжний результат зберігається в буфері-акумуляторі, і результат кожного проходу підсумовується з буфером. Перевага такої реалізації - неможливість до обсягів пам'яті (навіть для маски 4x4 потрібно обсяг пам'яті, як при звичайному рендерингу без антиаліазингу). Метод застосовувався в деяких професійних OpenGL-прискорювачах.

Методи Суперсемплінгу

Вибірki в методі SSAA можуть мати різне фізичне розташування всередині піксела [3]. Залежно від того, який тип решітки використовують для розташування вибірок, їх можна класифікувати, як показано на (рис.1).

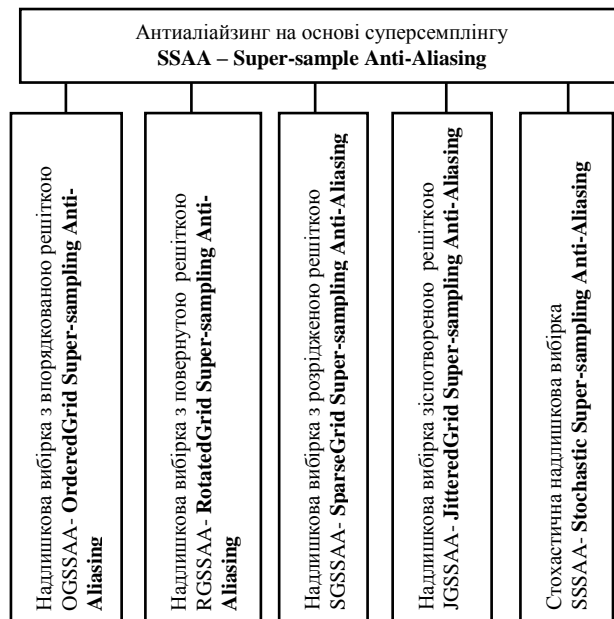
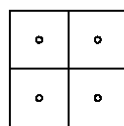
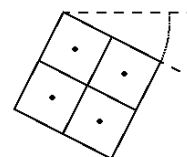


Рис. 1. Методи суперсемплінгу за типом решітки.

Перший метод (OGSS- Ordered Grid Super-sampling) оснований на способі розташування вибірок [6]. Упорядкована решітка (рис.2а) вказує позицію підрахунків відносно окремо взятого піксела – вибрані надлишкові точки розташовуються у формі упорядкованої решітки.



а)



б)

Рис.2. Решітка а) упорядкована, б) повернута.

Метод дуже добре обробляє прямокутні зображення. Недоліком використання методу OGSS є неефективне згладжування ліній під кутом наближеним до 45°.

При RGSS - Rotated Grid Super-sampling – надлишкові вибірки розташовуються на повернутій на певний визначений кут решітці (рис. 2б). Такий метод дає особливо хороші результати для ліній, близьких до горизонтальних чи вертикальних.

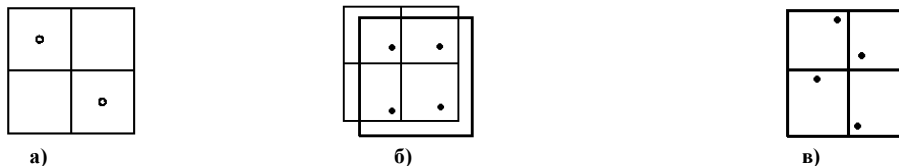


Рис.3. Решітки а)розріджена, б)спотворена, в)стохастична(випадкова).

Ще одним з методів SSAA є SGSS - Sparse Grid Super-sampling – коли додаткові точки розташовуються теж на упорядкованій решітці (рис.3а), проте, вибірка відбувається лише на деяких вузлах решітки[6]. Такий метод забезпечує компромісом між швидкістю та якістю зображення. Швидкість зростає, але при цьому погіршується якість обробки зображення.

Вибір з “спотвореною” решіткою JGSS- Jittered Grid Super-sampling. Використання такого методу допомагає приховати артефакти, які повторюються в зображенні з певною регулярністю.

Характерна особливість в тому, що розміщення шаблонів змінюється так, що вони вже точно не співпадають з решіткою, яку використовує SSAA (рис.3б). Продовженням розробки методу JGSS є метод стохастичної вибірки SSSAA - Stochastic Super-sampling. В цьому методі кожен “семпл” - кожна з вибірок, обирається випадковим чином (рис.3в), в той час як в JGSS стохастично (випадково) зсувається вся решітка вибірок. Таким чином при застосуванні методу стохастичної вибірки в зображенні з’являється “білий шум”, який допомагає приховати артефакти візуалізації.

Основною перевагою методів SSAA надлишкової вибірки є те, що вони мають відносно просту апаратну реалізацію та не залежать від характеру та специфіки об’єктів сцени, що відображаються.

Основні недоліки даних методів полягають у великій обчислювальній складності, що суттєво впливає на швидкість формування зображення, а також у використанні великих масивів оперативної пам’яті. Тому актуальними є питання зменшення кількості вибірок за рахунок аналізу зображення тільки у безпосередній близькості від меж графічних об’єктів.

Мультисемплінг MSAA

Вперше технологію мультисемплінгу (Multi-sampling Anti-Aliasing) на практиці була запропонована компанією 3DFx у 2000 році. Мультисемплінг реалізується таким чином - відеопроцесор знаходить піксели розташовані на границі полігонів. Ці піксели називають семплами. Залежно від рівня мультисемплінгу процесор розділяє піксел на 2, 4, 8 субпікселів, а потім усереднює колір кожного з них, відповідно до кольору субпікселів. При цьому не спостерігається суттєвого падіння продуктивності як при суперсемплінгу, оскільки процесор опрацьовує лиш ті ділянки зображення, де є межі між полігонами, а також тому, що текстура для кожного субпіксела одна і та ж [7].

Особливості реалізації мультисемплінгу у виробників відео карт залежить від того, як організовано розбиття піксела на субпіксели. Розробники відеоадаптерів NVidia використовують прямокутну решітку для вибору субпікселів. Це значить, що піксель ділиться на субпіксели по вертикальним і горизонтальним лініям і в такому випадку піксели розташовуються рядками і стовбцями в утвореній сітці (рис. 4).

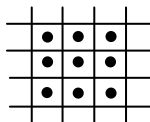


Рис. 4. Розташування решітки відеоадаптерів NVidia.

При мультисемплінгу 2x кожен піксель ділиться на два субпіксели так, що центрами субпікселів стають центри вертикально розташованих прямокутників (рис. 5а).

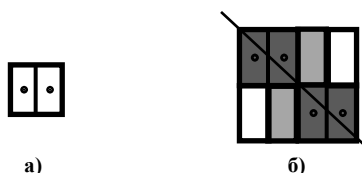


Рис.5. Піксели при 2x мультисемплінгу.

Якщо для границі, що проходить, між двома полігонами, не застосовувати мультисемплінг, то в такому випадку буде добре видно чітку сходинку – верхній лівий та нижній правий піксели будуть чорного кольору, а два протилежні – матимуть білий колір. Коли застосувати 2x мультисемплінг, то береться до уваги колір кожного субпіксела в пікселу, а результуючий колір всього піксела приймає середнє значення кольору субпікселів. Таким чином верхній лівий та нижній правий піксели залишаться після мультисемплінгу чорними, а верхній правий та нижній лівий будуть вже не білі, а сірі, забезпечуючи плавний перехід між кольорами, При цьому згладжуються видимі сходинки (рис.5б).

При мультисемплінгу 4x піксел ділиться на 4 субпіксели і повторюється алгоритм такий же як і при мультисемплінгу 2x. При цьому більш точноше прораховуватиметься колір піксела, оскільки результуючий колір буде дорівнювати середньому значенню кольору не двох, а чотирьох субпікселів (рис. 6а).

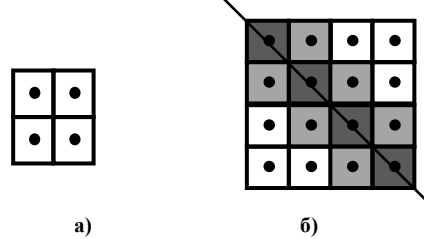


Рис.6. Піксели при 4x мультисемплінгу.

Розрахунок кольору піксела відбувається з меншим кроком, тому загладжувана лінія буде з меншими сходинками (рис.6б).

Режим мультисемплінгу 8x аналогічний попереднім 4x і 2x, тільки в результаті отримуємо вдвічі більше субпікселів. Це покращує результуюче зображення але призводить до значного зниження продуктивності.

Антиаліазинг на основі постобробки

Методи пост обробки зображення за способом застосування методів можна розділити на дві групи (рис.7) – методи що застосовуються до границь зображень та методи, що застосовуються до всього зображення.

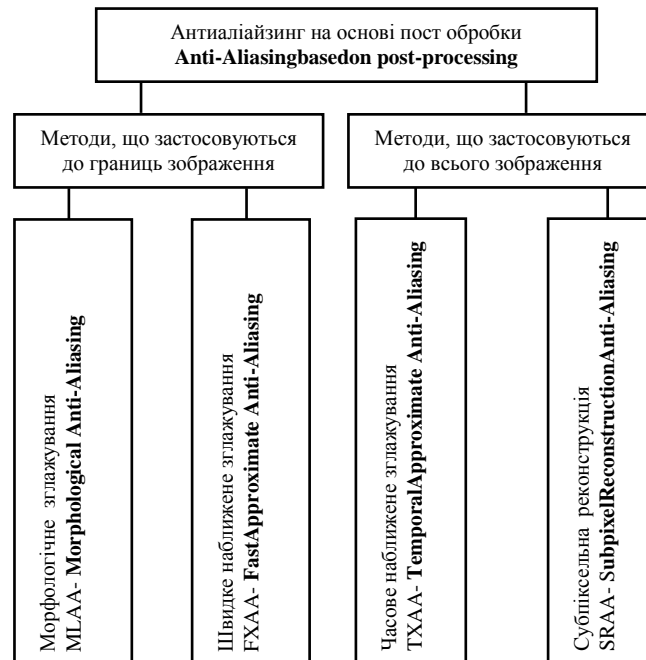


Рис. 7. Основні методи пост обробки зображення.

Метод (SRAA – Subpixel Reconstruction AntiAliasing) являє собою механізм попіксельної інтерполяції, що застосовується до вже готового зображення [9]. Згладжування застосовується до зображення, яке опрацьованого шейдером, шляхом застосування супер-розгортки для глибини і буферів нормалів, тобто фактично є фільтром постобробки зображення. Порівнюючи з методами суперсемплінгу, де згладжування здійснюється на етапі формування зображення, в методі SRAA мають місце мінімальні затрати продуктивності, оскільки SRAA застосовується до всього зображення в цілому і характеризується високою швидкістю обробки [9].

Розробники методу наводять дані власних досліджень [9], згідно з якими досягається висока швидкодія порівняно з методами суперсемплінгу. Так, на згладжування зображення з розподільною здатністю 1280×720 методами надлишкової вибірки витрачається 5-10 мс., в той час, як фільтр SRAA виконає згладжування за 1,8 мс, а якість результуючого зображення співставна з результатами роботи традиційного згладжування в режимах 4-16x. Також, метод SRAA має фіксований час виконання фільтрації, що теж спрощує його використання [9].

MLAA- Morphological Anti-Aliasing – морфологічний антиаліазинг – один з методів пост обробки зображення. MLAA призначений для згладжування у відображуваних зображень без додаткових вибірок. Метод складається з трьох основних етапів: а) знаходження границі між пікселами в зображенні; б)

визначення відповідності геометрії знайдених границь стандартним зразкам U,Z, L., г) змішування кольорів в околиці цих знайдених границь. Найбільший недолік MLLAA в тому, що він нездатен впоратися з лініями товщина яких співвідносна за розміром з пікселем [10].

ТХАА – Temporal AntiAliasing - метод згладжування кінематографічної якості зображення. Розроблений для усунення часового аліазингу (сповзання і мерехтіння при русі) [5]. Технологія яка використана в методі, є комбінацією часового фільтра, апаратного згладжування і спеціальної комп'ютерної графіки високої якості. Для фільтрації пікселів на екрані ТХАА використовує вибірку семплів як в середині, так і зовні піксела, в поєднанні з вибірками з попередніх кадрів, щоб забезпечити найбільш високу якість фільтрації. ТХАА має покращену просторову фільтрацію, наприклад при відтворенні листя, огорож чи об'єктів у русі [11].

Ще один метод пост обробки згладжування FXAA- FastApproximate Anti-Aliasing. Метод реалізовано таким чином - знаходяться всі граничні пікселі в зображенні. Для цього проводиться аналіз пікселів, чи мають вони сусідні пікселі, які вже не належать до графічного примітиву. Наступним кроком є згладжування країв. Згладжування реалізується попіксельно, оскільки відсутні чіткі краї, а є лиш визначені пікселі, які розташовуються на межах у зображенні. Потім кольори змішуються саме в знайдених граничних пікселях та в їх найближчому оточенні. Довгий час метод не був реалізований у виді окремих програмних засобів, а мав вбудовуватись в програмний код при розробці зображень (ігор або відео), але з 2011 року ця проблема вирішена.

У таблиці 1 представлені кількісні показники вибірок для основних режимів описаних методів антиаліазингу.

Таблиця 1. Вибірki з кількісними показниками для кожного режиму різних методів антиаліазингу

Режим	Вибірki (семпли)					
	Шейдер	Текстура	Колір	Глибина	Шаблон	Покриття
Без AA	1	1	1	1	1	0
2xSSAA	2	2	2	2	2	0
4xSSAA	4	4	4	4	4	0
8xSSAA	8	8	8	8	8	0
2xMSAA	1	1	2	2	2	0
4xMSAA	1	1	4	4	4	0
4xMSAA + 2xSSAA	2	2	4	4	4	0
8xMSAA	1	1	8	8	8	0
16xMSAA	1	1	16	16	16	0
4xCSSAA	1	1	4	4	4	4
8xCSSAA	1	1	4	4	4	8
16xCSSAA	1	1	4	4	4	16
32xCSSAA	1	1				32
4xMSAA + 8xCSSAA	1	1	4	4	4	8
8xMSAA + 2xSSAA	2	2	8	8	8	0
8xMSAA + 8xCSSAA	1	1	8	8	8	8
4xMSAA + 16xCSSAA	1	1	4	4	4	16
16xMSAA+ 4xSSAA	4	4	16	16	16	0
8xMSAA + 16xCSSAA	1	1	8	8	8	16
8xMSAA + 32xCSSAA	1	1	8	8	8	32
32xMSAA+ 4xSSAA	4	4	32	32	32	0

Висновки

Запропоновано класифікацію методів суперсемплінгу та методів пост-обробки зображення. Проаналізовано методи мультисемплінгу. Надано таблицю вибірок для різних режимів методів антиаліазингу.

Література

1. Фоли Дж., Ван Дем А. *Основи інтерактивної машинної графіки*. В 2-х книгах. М.: Мир, 1985. - 384 с.
2. Роджерс Д. *Алгоритмические основы машинной графики*. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 512 с.
3. Дон Волігорський *Anti-Aliasing Analysis, Part 1: Settings And Surprises* – [Електронний ресурс]; Режим доступу: <http://www.tomshardware.com/reviews/anti-aliasing-nvidia-geforce-amd-radeon,2868.html>
4. Романюк О. Н. Аналіз технологій суперсемплінгу. О. Н. Романюк, О. В. Мельник, /Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2010», Одесса 2010 г., ст. 45-47.
5. Jorge Jimenez ,Jose I. Echevarria,Tiago Sousa,DiegoGutierrez: SMAA: Enhanced Subpixel Morphological Antialiasing; EUROGRAPHICS 2012, Volume 31 (2012), Number 2.

6. Анализ методов сглаживания на основе super-sampling - [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://www.ixbt.com/video/fsaa-an-1.html>
7. Пугач Е. А. Современные технологии сглаживания изображений - [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/editorial/aliasing>
8. Anti-aliasing technologies – [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://www.dahlsys.com/misc/antialias/index.html#anti-aliasing-based-on-post-processing>.
9. SRAA — новый метод сглаживания от NVIDIA - [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://ru.hw-lab.com/sraa-new-antialiasing-method-from-nvidia.html>
10. Reshetov A. Morphological Antialiasing – [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://visual-computing.intel-research.net/publications/papers/2009/mlaa/mlaa.pdf>
11. ТХАА (временное сглаживание): - [Электронный ресурс]; Режим доступа: <http://www.nvidia.ru/object/txaa-anti-aliasing-technology-ru.html>

РОМАНЮК Олександр Никифорович – д. т. н., професор, перший проректор Вінницького національного технічного університету. Наукові інтереси: - комп'ютерна графіка, анімація, обробка графічних зображень, бази даних та знань.

МЕЛЬНИК Олександр Васильович – аспірант кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету. Наукові інтереси: - комп'ютерна графіка.

ВЯТКІН Сергій Іванович – к. т. н., старший науковий співробітник лабораторії синтезуючих систем візуалізації Інституту автоматичної і електронної СО РАН.