



**Матеріали LV науково-технічної конференції
підрозділів Вінницького національного
технічного університету
(НТКП ВНТУ–2026)**

24-27 березня 2026 року

Збірник доповідей

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Матеріали LV науково-технічної конференції
підрозділів Вінницького національного
технічного університету (НТКП ВНТУ–2026)

24-27 березня 2026 року

Збірник доповідей

Електронне наукове видання

Вінниця
ВНТУ
2026

Видається за рішенням Вченої ради Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Головний редактор: В. В. Біліченко
Відповідальний за випуск: І. Ю. Єпіфанова

Робоча група з підготовки конференції:
Голова робочої групи:
проректор з наукової роботи ВНТУ І. Ю. Єпіфанова

Члени робочої групи:

декани факультетів, директор Інституту Конфуція ВНТУ;
В. М. Шпігунов, начальник РВВ ВНТУ;
Г. М. Багдасар'ян, провідний інженер РВВ ВНТУ;
О. О. Кушнір, провідний інженер РВВ ВНТУ;
С. Г. Могила, інженер 1-ї категорії РВВ ВНТУ.

Матеріали LV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2026) : збірник доповідей [Електронний ресурс]. – Вінниця : ВНТУ, 2026. – (PDF, 3599 с.) ISBN 978-617-8163-95-2

Збірник містить тексти доповідей LV ювілейної регіональної науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів Вінницького національного технічного університету з участю працівників підприємств м. Вінниці та Вінницької області з загально-інженерних, технічних, гуманітарних та фундаментальних наук.

НТКП ВНТУ проводиться у вигляді конференцій факультетів та конференції Інституту Конфуція ВНТУ. Кожна конференція має власну тематику, оргкомітет, строки проведення пленарних та секційних засідань, та складається з однієї або кількох секцій.

УДК 001

ISBN 978-617-8163-95-2

© Вінницький національний технічний університет, укладання, оформлення, 2026

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ АНТИАЛІАЙЗИНГУ В СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано основні напрями модифікації класичних методів згладжування зображень. Розглянуто просторові, морфологічні, часові та гібридні підходи до зменшення ефекту aliasing у системах реального часу. Особливу увагу приділено методам постобробки та комбінованим алгоритмам, що дозволяють досягти балансу між якістю зображення та обчислювальною складністю.

Ключові слова: аліайзинг, антиаліайзинг, дискретизація, піксельна сітка, комп'ютерна графіка, GPU, растеризація, згладжування країв, візуальні артефакти.

Abstract

The main directions of modification of classical methods of image smoothing are analyzed. Spatial, morphological, temporal and hybrid approaches to reducing the aliasing effect in real-time systems are considered. Special attention is paid to post-processing methods and combined algorithms that allow achieving a balance between image quality and computational complexity.

Keywords: aliasing, antialiasing, sampling, pixel grid, computer graphics, GPU, rasterization, antialiasing, visual artifacts.

Вступ

Аліайзинг [1-10] — це спотворення, яке виникає під час відображення або оцифрування безперервних об'єктів, таких як лінії чи криві, на дискретній піксельній сітці. Він проявляється у вигляді зубчастих країв, «сходинок» на діагональних лініях або мерехтіння дрібних деталей. Причина аліайзингу полягає в обмеженій роздільній здатності та недостатній частоті дискретизації, коли деталі об'єкта не можуть бути коректно представлені на наявній сітці пікселів. Аліайзинг не буде помітний або майже не сприйматиметься, якщо роздільна здатність зображення дуже висока і пікселі стають надто дрібними для людського ока, якщо застосовується антиаліайзинг — спеціальні методи згладжування країв, якщо лінії розташовані горизонтально або вертикально й добре збігаються з піксельною сіткою, а також коли об'єкт має малий розмір або знаходиться на відстані, через що спотворення зливаються. Додатково аліайзинг може бути прихований завдяки природному оптичному розмиттю, властивому камерам або зору людини.

Результати дослідження

Задача антиаліайзингу є однією з важливих у комп'ютерній графіці, оскільки вона безпосередньо пов'язана з дискретною природою растрових зображень. Класичні методи антиаліайзингу, зокрема суперсемплінг і мультисемплінг, дозволяють зменшити зазначені спотворення, однак мають суттєві обмеження, пов'язані з високими обчислювальними витратами [1].

Суперсемплінг (SSAA) базується на обчисленні кольору для кожного пікселя на основі кількох підпіксельних зразків з подальшим усередненням результатів. Такий підхід забезпечує високу якість згладжування як геометричних контурів, так і текстур, проте потребує значного збільшення обсягу обчислень і пам'яті. Мультисемплінг (MSAA) є оптимізацією SSAA, у якій геометрія обробляється з кількома зразками, а затінення виконується один раз на піксель. Це дозволяє зменшити навантаження на графічний процесор, але ефективність MSAA знижується у сценах з великою кількістю прозорих або текстурованих об'єктів [1].

Подальший розвиток антиаліайзингу пов'язаний з переходом до методів постобробки, які працюють із фінальним зображенням без необхідності повторного рендерингу сцени. Одним із

найбільш відомих таких методів є Fast Approximate Anti-Aliasing (FXAA), який аналізує локальний контраст між сусідніми пікселями та виконує згладжування вздовж виявлених контурів [2]. Перевагою FXAA є низька обчислювальна складність і простота інтеграції в графічний конвеєр. Водночас базові реалізації цього методу можуть призводити до надмірного розмиття дрібних деталей, що зумовило появу численних модифікацій алгоритму.

Морфологічні методи антиаліазингу, зокрема MLAA та SMAA, ґрунтуються на аналізі форм контурів і застосуванні заздалегідь визначених шаблонів згладжування. Метод SMAA поєднує морфологічний аналіз із використанням субпіксельної інформації, що дозволяє досягти вищої якості згладжування без істотного зростання обчислювальних витрат [3]. Модифікації SMAA спрямовані на адаптацію вагових коефіцієнтів і порогів детекції до локальних властивостей зображення, що особливо ефективно для діагональних та криволінійних контурів.

Окремий напрям розвитку становлять часові методи антиаліазингу, серед яких найбільш поширеним є Temporal Anti-Aliasing (TAA). Ці методи використовують інформацію з попередніх кадрів для зменшення aliasing-ефектів у динамічних сценах. Основною проблемою TAA є поява часових артефактів, зокрема розмиття та шлейфів при швидкому русі об'єктів. Сучасні модифікації TAA передбачають використання векторів руху, адаптивних фільтрів накопичення та обмеження впливу історичних даних, що дозволяє суттєво підвищити стабільність зображення [4].

У [6] запропоновано класифікацію методів антиаліазингу за принципом дії, рівнем інтеграції в графічний конвеєр та обчислювальною складністю [6]. Особливу увагу приділено адаптивним підходам, які дозволяють вибірково застосовувати згладжування лише в проблемних ділянках зображення. Показано, що поєднання просторових і часових методів забезпечує кращий баланс між якістю та продуктивністю [7].

У комп'ютерній графіці, обробці зображень, відео та сигналів ШІ дедалі частіше замінює класичні алгоритмічні підходи, оскільки здатний враховувати контекст, структуру сцени та особливості людського сприйняття. Традиційні методи боротьби з аліазингом ґрунтуються на математичних фільтрах і правилах дискретизації, однак вони часто працюють однаково для всіх ділянок зображення і не враховують, де згладжування справді потрібне, а де воно може призвести до втрати різкості. Саме тут штучний інтелект дає відчутну перевагу.

Одним з основних застосувань ШІ є інтелектуальний антиаліазинг. Нейронні мережі навчаються на великій кількості зображень із аліазингом і без нього та вчаться відновлювати гладкі краї, мінімізуючи «сходінки» й мерехтіння. На відміну від класичних методів, таких як FXAA або MSAA, ШІ може по-різному обробляти краї об'єктів, текстури та дрібні деталі, не розмиваючи зображення загалом. У відеоіграх і рендерингу в реальному часі це дозволяє досягати високої якості картинки навіть за нижчої роздільної здатності, що зменшує навантаження на графічне обладнання. Прикладом є сучасні нейромеревеві методи згладжування, які аналізують не лише один кадр, а й попередні, передбачаючи рух і запобігаючи тимчасовому аліазингу, тобто мерехтінню.

Ще один важливий напрям — використання ШІ для супердискретизації, тобто підвищення роздільної здатності. У цьому випадку аліазинг зменшується не прямим згладжуванням, а шляхом відновлення втрачених деталей. Нейронна мережа отримує зображення низької якості з вираженим аліазингом і генерує версію з вищою роздільною здатністю, де лінії стають плавними, а краї — природними. Такий підхід широко застосовується у відео, медицині, супутниковій зйомці та реставрації старих матеріалів. Важливо, що ШІ при цьому не просто «розмиває» зображення, а намагається логічно відтворити форму об'єктів, спираючись на знання, отримані під час навчання.

Окрім усунення аліазингу, штучний інтелект може використовуватися і для його свідомого створення як стилістичного або технічного інструмента. Наприклад, у цифровому мистецтві та дизайні аліазинг інколи застосовують для імітації піксельної графіки або ретро-естетики. ШІ може керовано додавати аліазинг, аналізуючи форму об'єктів і створюючи характерні «сходінки» лише там, де це художньо доцільно. У такому випадку аліазинг перестає бути дефектом і стає елементом стилю, який можна точно контролювати за рівнем, напрямком і масштабом.

У сфері обробки сигналів і зображень ШІ також застосовується для запобігання аліазингу ще на етапі захоплення даних. Нейронні мережі можуть аналізувати вхідний сигнал у реальному часі й адаптивно змінювати параметри фільтрації або дискретизації, щоб мінімізувати втрату інформації. Це особливо актуально для камер, сенсорів і систем комп'ютерного зору, де аліазинг може негативно впливати на подальше розпізнавання об'єктів. У таких системах ШІ фактично виконує роль

інтелектуального антиаліасингового фільтра, який підлаштовується під сцену, освітлення та характер деталей.

Таким чином, штучний інтелект відкриває новий підхід до роботи з аліайзингом. Замість універсальних і жорстких алгоритмів з'являються гнучкі, контекстно залежні методи, здатні як ефективно приховувати небажані спотворення, так і свідомо використовувати їх для творчих або технічних цілей. У майбутньому роль ШІ в цій сфері лише зростатиме, оскільки якість візуального сприйняття та ефективність обчислень стають дедалі важливішими в цифровому світі.

Висновки

Антиаліайзинг є інструментом підвищення візуальної якості цифрових зображень, оскільки усуває зубчасті краї та інші артефакти, спричинені дискретизацією. Його реалізація в GPU ґрунтується на апаратній підтримці мультисеплінгу, обробці покриття та ефективному зведенні результатів у фінальне зображення. Завдяки антиаліайзингу зображення стає більш стабільним і природним для сприйняття людським зором, особливо в русі та на складних контурах. Отже, антиаліайзинг є важливою складовою сучасної комп'ютерної графіки та необхідною умовою досягнення реалістичності візуалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Carpenter L. The A-buffer: An antialiased hidden surface method. Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH). 1984. Vol. 18, No. 3. P. 103–108.
2. Lottes T. Fast Approximate Anti-Aliasing (FXAA). NVIDIA Developer Whitepaper. 2009. P. 1–15.
3. Jimenez J., Echevarria J. I., Sousa T., Gutierrez D. SMAA: Enhanced Subpixel Morphological Anti-Aliasing. Computer Graphics Forum. 2012. Vol. 31, No. 2. P. 355–364.
4. Yang L., Liu S., Salvi M. A survey of temporal antialiasing techniques. Computer Graphics Forum. 2020. Vol. 39, No. 2. P. 607–621.
5. Wu X. An efficient antialiasing technique. Computer Graphics. 1991. Vol. 25, No. 4. P. 143–152.
6. Романюк О. Н., Мельник О. В., Вяткін С. І. Класифікація методів антиаліайзингу. Вісник Вінницького національного технічного університету. 2016. № 4. С. 89–95.
7. Романюк О., Мельник О., Романюк С., Коробейнікова Т., Прозор О. Антиаліайзинг зображення крокової траєкторії відрізка прямої на гексагональному растрі. Modern Engineering and Innovative Technologies. 2022. № 1(22-01).
8. Романюк О. Н., Курінний М. С. Антиаліайзинг зображення траєкторії гіперболи. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2022. № 2. С. 42–48.
9. Романюк О. Н., Курінний М. С. Методи та засоби антиаліайзингу контурів об'єктів у системах комп'ютерної графіки. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. 212 с.
10. Романюк О. Н., Курінний М. С., Романюк С. О., Коробейнікова Т. І., Романюк О. В. Модифікація методу оцінювальної функції для антиаліайзингу векторів /На шляху до індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація. Монографія. Одеса, 2021. -С.409-422.

Романюк Олександр Никифорович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rom8591@gmail.com.

Майданюк Володимир Павлович – канд. техн. наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.

Бабій Богдан Валентинович – студент гр. 4ПІ-22Б, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Romanyuk Oleksandr Nikiforovich – Dr. of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rom8591@gmail.com.

Maidaniuk Volodymyr Pavlovych – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com.

Babiy Bohdan Valentinovich – student of group 4PI-22B, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.