

УДК 004.95

О. Н. Романюк<sup>1</sup>, М. С. Курінний<sup>1</sup>, О. В. Романюк<sup>1</sup>, С. В. Котлик<sup>2</sup>, А. В. Снігур<sup>1</sup>

## АНТИАЛІАЙЗИНГ ЗОБРАЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ ГІПЕРБОЛИ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет, Вінниця<sup>2</sup>Одеська національна академія харчових технологій, Одеса

**Анотація.** На сучасному етапі розвитку комп'ютерної графіки особлива увага приділяється підвищенню реалістичності синтезованих зображень. Одним з факторів, що суттєво впливають на реалістичність зображення, є ефект аліаїзingu, який спричинений недостатньою роздільною здатністю пристроїв відображення та проявляється у вигляді чітко виражених „зубців” на краях графічних об'єктів.

Розглянуто особливості формування крокових пристовів для різних ділянок формування траєкторії гіперболи. Отримано рекурентні вирази для обчислення оцінювальної функції, знак якої визначає тип елементарного переміщення. Запропоновано алгоритм визначення координат точок траєкторії гіперболи. Запропонований алгоритм не містить „довгих” операцій, що забезпечує його високу швидкодію та простоту апаратної реалізації.

Розглянуто особливості формування траєкторії гіперболи з крахуванням інтенсивностей точок фону та переднього плану.

Розроблений метод може бути використаний в системах високореалістичної комп'ютерної графіки, системах автоматизованого проектування.

**Ключові слова:** антиаліаїзingu, згладження, крайовий антиаліаїзingu, інтенсивність кольору, гіпербола, крокова траєкторія, оцінювальна функція.

**Abstract.** At the present stage of development of computer graphics, special attention is paid to improving the realism of synthesized images. One of the factors that significantly affects the realism of the image is the aliasing effect, which is caused by insufficient resolution of display devices and manifests itself in the form of pronounced "teeth" on the edges of graphics.

Peculiarities of step increments formation for different areas of hyperbola trajectory formation are considered. Recurrent expressions are obtained to calculate the estimating function, the sign of which determines the type of elementary displacement. An algorithm for determining the coordinates of the points of the hyperbola trajectory is proposed. The proposed algorithm does not contain "long" operations, which ensures its high speed and ease of hardware implementation.

Peculiarities of hyperbola trajectory formation with cracking of intensities of background and foreground points are considered.

The developed method can be used in systems of highly realistic computer graphics, computer-aided design systems.

**Key words:** antialiasing, anti-aliasing, marginal antialiasing, color intensity, hyperbola, step trajectory, evaluation function.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-55-63>.

### Вступ

На сучасному етапі розвитку комп'ютерної графіки особлива увага приділяється підвищенню реалістичності синтезованих зображень [1-3]. Одним з факторів, що суттєво впливають на реалістичність зображення, є ефект аліаїзingu [4-14], який спричинений недостатньою роздільною здатністю пристроїв відображення і проявляється у вигляді чітко виражених „зубців” на краях графічних об'єктів. Проведені дослідження показали, що при використанні 17” монітора і розміщенні спостерігача на відстані 65 см від екрана для повного усунення ефекту аліаїзingu 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.

### Аналіз літературних джерел

Для задач антиаліаїзingu використовуються різні методи.

Одним із найпоширеніших є метод надлишкової вибірки [4], який оснований на збільшенні дискретизації. Суть методу полягає в тому, що зображення сцени обчислюється з роздільною здатністю більшою ніж у пристрою відображення, а перед відображенням на екрані зменшують шляхом усереднення. Даний метод має просту апаратну реалізацію та може бути легко інтегрований в існуючі системи комп'ютерної графіки. Основним недоліком методу є його низька швидкодія, оскільки при збільшенні дискретизації в  $n$  разів, кількість пікселів, а отже, і кількість обчислень на один піксел, збільшується в  $n^2$  разів. Метод передбачає використання додаткової пам'яті та підвищення пропускну здатності шини пам'яті.

У більшості існуючих методів растрезації значення інтенсивностей кольору обчислюють лише в центрах пікселів. У методі додаткових вибірок [4, 9] розраховують інтенсивність кольору в декількох допоміжних точках всередині піксела. Значення цих підвибірок потім усереднюють для отримання результуючої інтенсивності кольору всього піксела. Якість згладжування залежить від кількості додаткових вибірок та від їхнього розташування всередині піксела. Збільшення кількості точок вибірки покращує якість зображення, але одночасно підвищує потребу в додатковій пам'яті та призводить до зниження швидкодії.

М. Діпе та Е. Уолт [5] запропонували стохастично розташувати додаткові точки вибірки. Даний метод оснований на тому, що випадкові положення підвбірок для людського ока виглядають як "тривалий шум". Таким чином, один артефакт (алайзинг) замінюється іншим, до якого людське око менш чутливе.

Основним недоліком такого підходу є великі обчислювальні витрати, обумовлені тим, що потрібно не менше 16 випадково розподілених підвбірок на піксел для досягнення потрібного рівня "неперервного шуму". При меншій кількості підвбірок метод також працездатний, але шум стає більш помітним для людського ока.

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. У зв'язку з цим актуальними є питання зменшення кількості вибірок за рахунок аналізу зображення тільки у безпосередній близькості від меж графічних об'єктів

Характерна особливість аналітичних методів полягає в тому, що під час дискретизації неперервного зображення враховуються технічні характеристики пристроїв відображення. У загальному вигляді для обчислення інтенсивності кольору пікселя використовується вираз [14]:

$$I_A(P_x, P_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I_{ideal}(x, y) \cdot F(x - P_x, y - P_y) dx dy, \quad (1)$$

де  $I_A$  – інтенсивність кольору пікселя з координатами  $(P_x, P_y)$  (у випадку кольорового зображення окремо обчислюють інтенсивність кожної з трьох складових компонент кольору);  $I_{ideal}(x, y)$  – аналітична функція, яка задає інтенсивність кольору в кожній точці простору;  $F(x, y)$  – модель пікселя, тобто, функція, яка описує просторове розподілення світла, що випромінюється пікселем.

Дану функцію часто називають функцією фільтра. У загальному випадку обчислення виразу (1) для довільної аналітичної функції опису зображення та довільної моделі пікселя є достатньо складною математичною задачею, яка потребує великих обчислювальних витрат. Тому в більшості розроблених на даний час аналітичних методах антиалайзингу [6-13] розглядається частковий випадок знаходження інтегралу (1) для обмеженого класу графічних примітивів і функцій фільтра.

Для основних графічних примітивів, таких як відрізок прямої [6], багатокутник [7], коло [8, 9], еліпс [10, 11], гіпербола існують досить прості аналітичні вирази, що описують їхні геометричні властивості. Використання певних математичних моделей пікселя дозволяє отримати відносно прості з обчислювальної точки зору методи антиалайзингу. Такі методи отримали назву крайового антиалайзингу, оскільки, як правило, розглядають лише пікселі розташовані на краях об'єктів. Для кожного виду графічних примітивів використовуються різні підходи, що порівняно з методами надлишкової вибірки є певним недоліком. Проте аналітичні методи характеризуються значно меншою обчислювальною складністю та забезпечують кращу якість згладжування, оскільки враховують особливості та обмеження пристроїв відображення.

Для задач антиалайзингу використовують різні моделі [12] пікселя залежно від необхідної точності згладження.

### Мета

Мета статті – розроблення методу антиалайзингу зображення траєкторії гіперболи, який не містить довгих операцій у циклі інтерполювання

#### Метод антиалайзингу зображення траєкторії гіперболи

У подальшому будемо розглядати гіперболу, центр якої знаходиться в початку координат. Канонічне рівняння гіперболи має такий вигляд:

$$\frac{x^2}{B^2} - \frac{y^2}{A^2} = 1,$$

де  $A, B$  – півосі гіперболи, паралельні до відповідних координатних осей (рис. 1).

При формуванні траєкторії розглянемо дві ділянки, розділені точкою, в якій  $dy/dx = 1$ . У першій ділянці при кожній ітерації циклу інтерполювання виконується крок у напрямку осі  $y$ , а в другій – у напрямку осі  $x$  (рис. 1).

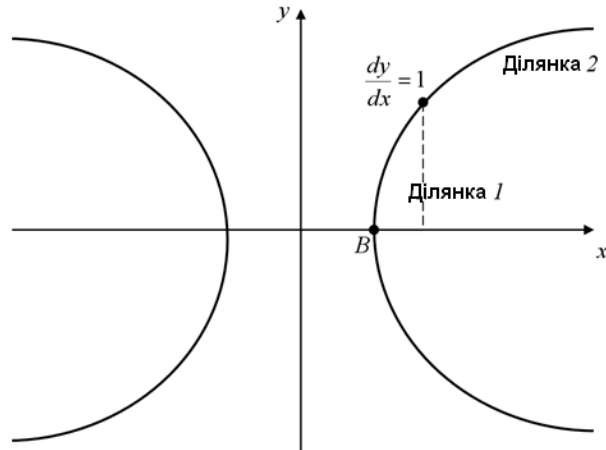


Рисунок 1 – Гіпербола

Розглянемо формування крокової траєкторії на ділянці 1. Будемо визначати координат точок за годинниковою стрілкою, починаючи з точки  $(B, 0)$ . Рівняння гіперболи для ділянки 1 можна записати у вигляді:

$$f(y) = \sqrt{B^2 + y^2 \frac{B^2}{A^2}}.$$

На ділянці 1 у кожному інтерполяційному такті виконується крок у напрямку осі  $y$ . Якщо на попередньому кроці було обрано піксел  $(i, j-1)$ , то наступний піксел обирається з тих, що мають координати  $(i, j)$  і  $(i+1, j)$ . Критерієм для вибору є мінімальна відстань від центра пікселя до точки  $(f(j), j)$ , у якій ідеальна траєкторія перетинає координатну решітку (рис. 2). Для пікселя з координатами  $(i, j)$  дана відстань може бути знайдена за формулою:

$$d(i, j) = f(j) - i. \quad (2)$$

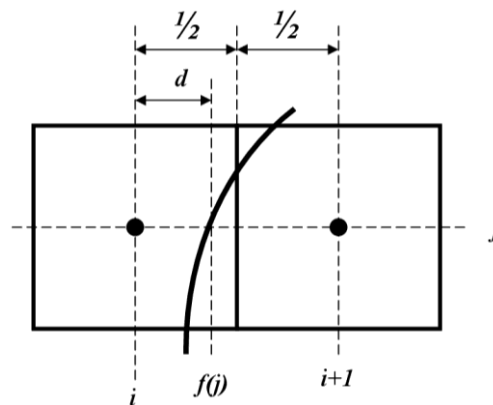


Рисунок 2 – Визначення координат точок траєкторії гіперболи

Для забезпечення максимальної точності при формуванні крокової траєкторії повинна виконуватись умова:  $-0,5 \leq d(i, j) \leq 0,5$ . Із урахуванням виразу (2) отримуємо нерівність:  $-0,5 \leq f(j) - i \leq 0,5$ , яка після перетворення має вигляд:

$$i - 0,5 \leq f(j) \leq i + 0,5 \quad (3)$$

Для визначення типу крокового приросту можна використати оцінювальну функцію вигляду:

$$OF(i, j) = (i + 0,5) - f(j). \quad (4)$$

Якщо  $OF(i, j) > 0$ , то виконується крок у напрямку осі  $y$  і обирається піксел  $(i, j)$ , інакше виконується діагональний крок і обирається піксел  $(i+1, j)$ . Для обчислення функції  $f(j)$  необхідно виконати трудомістку операцію знаходження квадратного кореня. З метою спрощення обчислень значення доданків у виразі (4) доцільно замінити їх квадратами. Оскільки  $f(j) \geq 0$  та  $(i+0,5) > 0$ , то знак функції не зміниться. В результаті отримаємо такий вираз для оцінювальної функції:

$$OF'(i, j) = (i+0,5)^2 - f^2(j). \quad (5)$$

Знайдемо рекурентні вирази для обчислення оцінювальної функції. Розглянемо, як змінюється перший доданок у виразі (5) при виконанні елементарного кроку у напрямку осі  $y$ :

$$f^2(j+1) = B^2 + (j+1)^2 \frac{B^2}{A^2} = \left( A^2 + j^2 \frac{B^2}{A^2} \right) + 2j \frac{B^2}{A^2} + \frac{B^2}{A^2} = f^2(j) + \frac{B^2}{A^2} (2j+1).$$

Нехай  $L(j) = \frac{B^2}{A^2} (2j+1)$ , тоді

$$L(j+1) = \frac{B^2}{A^2} (2(j+1)+1) = \frac{B^2}{A^2} (2j+1) + 2 \frac{B^2}{A^2} = L(j) + 2 \frac{B^2}{A^2}.$$

Із урахуванням останнього виразу отримуємо формулу для рекурсивного визначення першого доданка у виразі (5):

$$f^2(j+1) = f^2(j) + L(j).$$

Розглянемо, як змінюється другий доданок у виразі (5) при виконанні діагонального кроку:

$$((i+1)+0,5)^2 = i^2 + 3i + 2,25 = (i+0,5)^2 + 2(i+1).$$

Згідно з отриманими виразами можна запропонувати алгоритм визначення координат точок траєкторії гіперболи для ділянки 1, граф-схему якого зображено на рис. 3.

Аналогічно можна отримати алгоритм визначення координат точок траєкторії і для ділянки 2. Запропонований алгоритм не містить "довгих" операцій, що забезпечує його високу швидкодію та простоту апаратної реалізації. Розглянемо можливість використання виразу

$$OF'(i, j) = (i+0,5)^2 - f^2(j)$$

для усунення ефекту аліайзингу границі гіперболи.

Знайдемо вирази для розрахунку площі, що відтинається від пікселя границею гіперболи. Доведено, що всередині пікселя дугу можна замінити відрізком прямої, причому відносна похибка. На рис. 4. показано перетин траєкторією гіперболи дискретної координатної решітки.

Із рис. 4 видно, що для пікселя  $(x_i, y_i)$  площа перетину може бути знайдена за формулою:

$$S_1 = x_i + 1/2 - (f(y_i) - T/2),$$

де  $T$  – товщина траєкторії гіперболи.

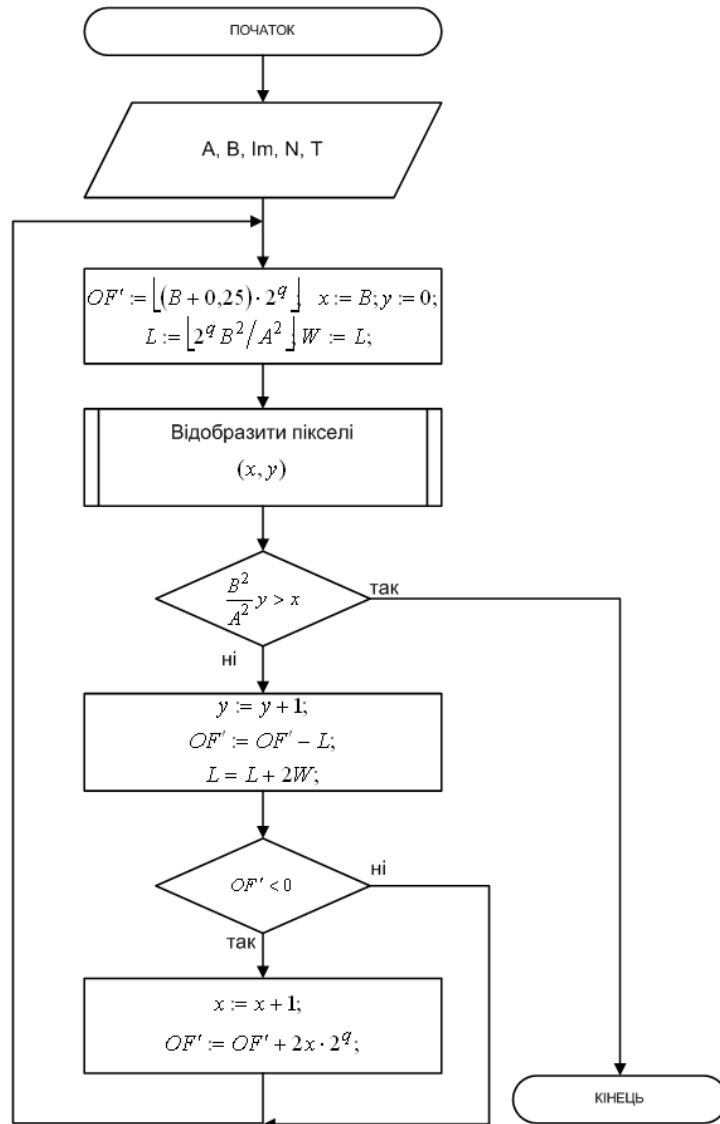


Рисунок 3 – Граф-схема алгоритму визначення координат точок траєкторії гіперболи

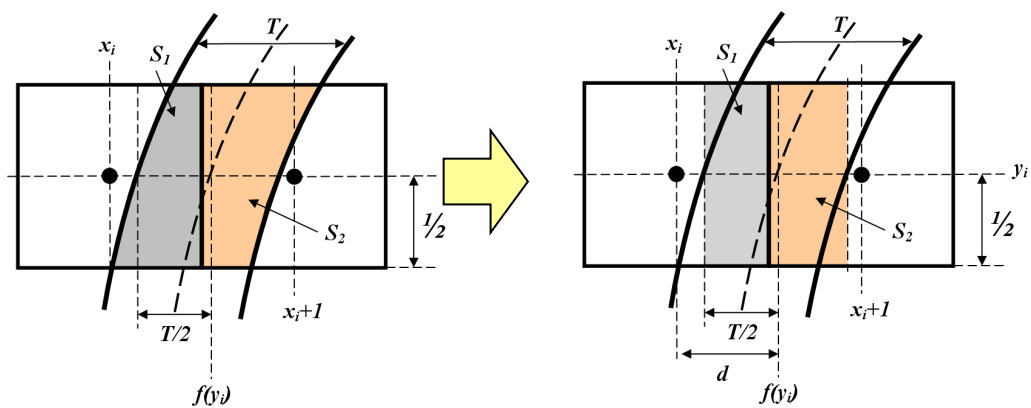


Рисунок 4 – Визначення площі покриття пікселя гіперболою

Розглянемо наближене обчислення функції  $f(i)$  з використанням формули Герона

$$sqr_i = \frac{1}{2} \left( sqr_{i-1} + \frac{a}{sqr_{i-1}} \right), \sqrt{a} \approx sqr_i,$$

де  $sqr_0$  – перше наближення до кореня;  $sqr_i$  – наближене значення виразу  $\sqrt{a}$ , отримане на  $i$ -й ітерації;  $i = 0, 1, 2 \dots N$ .

Для нашого випадку:  $a = B^2 + y^2 \frac{B^2}{A^2}$ , тому початкове наближення доцільно взяти рівним координаті пікселя:  $sqr_0 = y_i$ .

Після першої ітерації наближене значення квадратного кореня дорівнює:

$$sqr_1 = \frac{1}{2} \left( sqr_0 + \frac{a^2}{sqr_0} \right) = \frac{1}{2} \left( x_i + \frac{B^2 + y_i^2 B^2 / A^2}{x_i} \right).$$

Перепишемо вираз для знаходження площі покриття пікселя  $(x_i, y_i)$  із урахуванням останньої формули:

$$\begin{aligned} S_1 &= x_i + 1/2 + T/2 - sqr_1 = x_i + 1/2 + T/2 - \frac{x_i^2 + B^2 + y_i^2 B^2 / A^2}{2x_i} = \\ &= T/2 + \frac{(x_i + 0,5)^2 - f^2(y_i) - 0,25}{2x_i} = \frac{OF'(x_i, y_i) - 0,25 + Tx_i}{2x_i}. \end{aligned}$$

Інтенсивність кольору пікселя  $(x_i, y_i)$  можна визначити за формулою:

$$\begin{aligned} I_p(x, y) &= S_1(I_M - I_{ФОН}) + I_{ФОН} = \left( \frac{OF' - 0,25 + T \cdot x}{2x} \right) (I_M - I_{ФОН}) + I_{ФОН} = \\ &= \frac{OF' - 0,25 + T \cdot x}{2x} (I_M - I_{ФОН}) + I_{ФОН}. \end{aligned}$$

Для обчислення першого доданку у попередньому виразі доцільно використати алгоритм розрахунку інтенсивностей кольору, який було запропоновано [10]. Це дозволить виключити довгі операції з обчислювального процесу.

Із урахуванням наведених вище виразів отримуємо алгоритм антиаліазингу границь гіперболи для ділянки 1, який не містить довгих операцій в циклі інтерполювання та має просту апаратну реалізацію. Приклад роботи алгоритму наведено на рис. 5. Граф-схему алгоритму антиаліазингу гіперболи наведено на рис. 6.

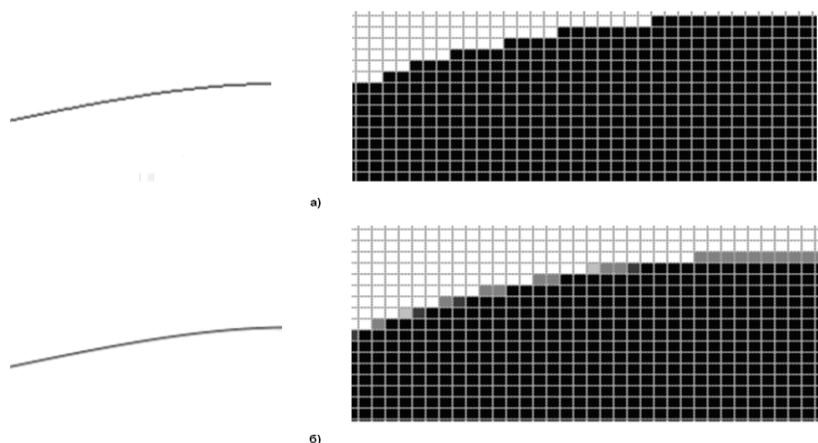


Рисунок 5 – Зображення траєкторії гіперболи: а) без антиаліазингу, б) з антиаліазингом

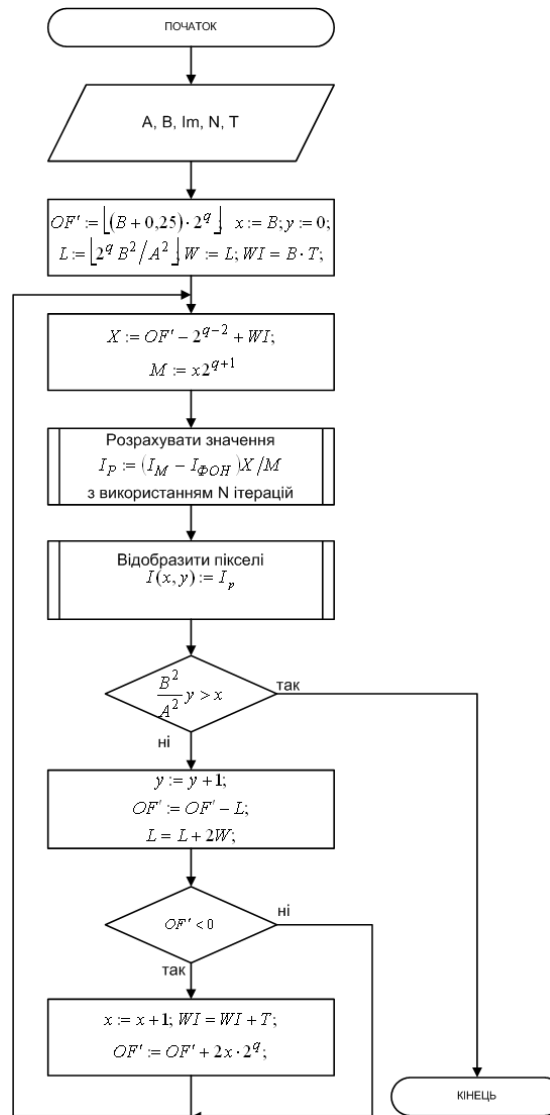


Рисунок 6 – Граф-схема алгоритму антиаліазингу границі гіперболи

### Висновок

Розроблено метод до згладжування контурів гіпербол, який враховує при згладжуванні можливість зміни інтенсивності кольору точок фонового зображення та не містить довгих операцій в циклі інтерполявання, що обумовлює простоту його апаратної реалізації.

### Список літератури

- [1] О. Н. Романюк, та А. В. Чорний, *Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів*, Вінниця, Україна: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006.
- [2] О. Н. Романюк, "Метод підвищення реалістичності відтворення тривимірних графічних об'єктів", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, №1(8), с. 269–272, 2016.
- [3] О. Н. Романюк, *Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник*. Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2001.
- [4] О. Н. Романюк, та О. В. Мельник, "Класифікація методів антиаліазингу", *Вісник Херсонського національного технічного університету*, №3(50), с.154– 160, 2014.
- [5] M.A.Z Dippé, and E.H Wold, "Antialiasing through stochastic sampling", *Computer Graphics (Proceedings of the ACM SIGGRAPH '85 Conference)*, vol. 19, no. 3, pp. 69-78, 1985.
- [6] О. Н. Романюк, М. С. Курінний, та В. О. Денисюк, "Апаратно-орієнтований метод антиаліазингу крокової траєкторії відрізків прямих", *Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць*, випуск 1(23), с. 249–254, 2008.
- [7] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, "Ефективний алгоритм антиаліазингу векторних границь багатокутника", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць*, с. 105–109, 2002.

- [8] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, "Антиаліазинг границі кола з використанням модифікованої оцінювальної функції", *Вісник Херсонського державного технічного університету*, вип. 3(19), с. 206–208, 2003.
- [9] О. Н. Романюк, "Метод антиаліазингу границі кола з адаптивною схемою розташування додаткових точок", *Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка»*, випуск 8 (120), с. 219–228, 2007.
- [10] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, "Усунення ефекту аліазингу границь еліпсів", *Оптико – електронні інформаційно – енергетичні технології*, с. 85–92, 2005.
- [11] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, "Антиаліазинг зображення кривих другого порядку, заданих загальним рівнянням", *Регістрація, зберігання і обробка даних*, т. 8, № 3, с. 11–19, 2007.
- [12] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, "Математичні моделі пікселів для задач антиаліазингу", *Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту*, №3, с. 35–47, 2002.
- [13] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, "Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model", *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015.
- [14] Д. Херн, и М. П. Бейкер, *Компьютерная графика и стандарт OpenGL*, Москва, Россия: Издательский дом «Вильямс», 2007.

Стаття надійшла: 23.01.2022.

#### References

- [1] O. N. Romanyuk, та A. V. Chornyy, *Vysokoproduktyvni metody ta zasoby zafarbovuvannya tryvymirnykh hrafichnykh obyektiv*, Vinnytsya, Ukraina: UNIVESUM-Vinnytsya, 2006 [in Ukrainian].
- [1] O. N. Romanyuk, "Metod pidvyshchennya realistychnosti vidtvorennya tryvymirnykh hrafichnykh obyektiv", *Informatsiyni tekhnolohiyi ta komp'yuterna inzheneriya*, №1(8), s. 269–272, 2016 [in Ukrainian].
- [2] O. N. Romanyuk, *Komp'yuterna hrafika. Navchalnyy posibnyk*. Vinnytsya: UNIVESUM-Vinnytsya, 2001 [in Ukrainian].
- [3] O. N. Romanyuk, та O.V. Melnyk, "Klasyfikatsiya metodiv antyaliayzynhu", *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, №3(50), s. 154–160, 2014 [in Ukrainian].
- [4] M.A.Z Dippé, and E.H Wold, "Antialiasing through stochastic sampling", *Computer Graphics (Proceedings of the ACM SIGGRAPH '85 Conference)*, vol. 19, no. 3, pp. 69-78, 1985.
- [5] O. N. Romanyuk, M. S. Kurinnyy, та V. O. Denysyuk, "Aparatno-oriyentovanyy metod antyaliayzynhu krokovoyi trayektoriyi vidrizkiv pryamykh", *Problemy informatyzatsiyi ta upravlinnya: Zbirnyk naukovykh prats*, vypusk 1(23), s. 249–254, 2008 [in Ukrainian].
- [6] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, "Efektyvnyy alhorytm antyaliayzynhu vektornykh hranys bahatokutnyka", *Vymiryval'na ta obchyslyval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh: Zbirnyk naukovykh prats*, s. 105–109, 2002 [in Ukrainian].
- [7] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, "Antyaliayzynh hranysi kola z vykorystanniam modyfikovanoi otsynuyvalnoyi funktsiyi", *Visnyk Khersonskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu*, vyp. 3(19), s. 206–208, 2003 [in Ukrainian].
- [8] O. N. Romanyuk, "Metod antyaliayzynhu hranysi kola z adaptivnoyu skhemoyu roztašuvannya podatkovykh tochk", *Naukovi pratsi Donets'koho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – Seriya «Informatyka, kibernetika i obchyslyvalna tekhnika»*, vypusk 8(120), s. 219–28, 2007 [in Ukrainian].
- [9] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, "Usunennya efektu aliayzynhu hranys elipsiv", *Optyko – elektronni informatsiyno – enerhetychni tekhnolohiyi*, s. 85–92, 2005 [in Ukrainian].
- [10] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, "Antyaliayzynh zobrazhennya kryvykh drugoho poryadku, zadanykh zahalnym rivnyanniam", *Reyestratsiya, zberihannya i obrobka danykh*, t. 8, № 3, s. 11–19, 2007 [in Ukrainian].
- [11] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, "Matematychni modeli pikseliv dlya zadach antyaliayzynhu", *Visnyk Zhytomyrskoho inzhenerno-tekhnolohichnoho instytutu*, №3, s. 35–47, 2002 [in Ukrainian].
- [12] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, "Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model", *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015.
- [13] D. Khern, y M. P. Beyker, *Kompyuternaya hrafyka y standart OpenGL*, Moskva, Rossyya: Yzdatelskyu dom «Vylyams», 2007 [in Russian].

#### Відомості про авторів

**Романюк Олександр Никифорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення.

**Курінний Михайло Сергійович** – кандидат технічних наук, директор ПП Радіонет.

**Романюк Оксана Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення.

**Котлик Сергій Валентинович** – кандидат технічних наук, доцент.

**Снігур Анатолій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки.

O. N. Romaniuk<sup>1</sup>, M. S. Kurinnyi<sup>1</sup>, O. V. Romaniuk<sup>1</sup>, S. V. Kotlyk<sup>2</sup>, A. V. Snihur<sup>1</sup>

## **ANTI-ALIASING IMAGE OF HYPERBOLE TRACKS**

<sup>1</sup> Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

<sup>2</sup>Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa