

---

---

# МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

УДК 004.92

Є. О. БАШКОВ, М. С. КУРІННИЙ

## ТАБЛИЧНО-АЛГОРИТМІЧНИЙ МЕТОД ДЛЯ АНТИАЛІАЙЗИНГУ ЗОБРАЖЕННЯ ВІДРІЗКІВ ПРЯМИХ

*Донецький національний технічний університет, 43003, вул. Потебні, 56, м. Луцьк, Україна,  
ПП "Радіонет, Вінниця, Україна*

**Анотація.** Підвищення інформативності комп'ютерної графіки досягають за рахунок формування зображень, які точно відтворюють конструктивні та візуальні особливості об'єкту. При формуванні таких зображень необхідно відобразити графічні сцени з великою деталізацією, тому на даному етапі розвитку комп'ютерної графіки особлива увага приділяється не лише швидкодії формування графічних зображень, але і їх реалістичності. У більшості сучасних систем комп'ютерної графіки використовується растровий принцип формування зображення. При формуванні растрових зображень виникають спотворення, які обумовлені недостатньою роздільною здатністю растра. На зображеннях з'являються артефакти, одним із проявів яких є яскраво виражені сходинки або зубці на краях об'єктів. Ефект антиаліаїзingu суттєво впливає на реалістичність сформованого зображення, що обумовлює необхідність розробки спеціальних методів та засобів його усунення. Подальшого розвитку отримав табличний метод антиаліаїзingu векторів. Запропоновано для розрахунку значень оцінювальної функції зберігати її значення з більшим кроком квантування, а проміжні - розраховувати за введеною формулою. Аналіз показав, що використання запропонованого підходу дозволяє зменшити у 8÷17 разів обсяги пам'яті, необхідні для обчислення площі покриття пікселя. Метод передбачає програмно-апаратну реалізацію і може бути використаний в високопродуктивних системах комп'ютерної графіки.

**Ключові слова:** антиаліаїзинг, ступінчатий ефект, табличний метод, растрові зображення, графічні примітиви, реалістичність зображень.

**Abstract.** Increasing the informativeness of computer graphics is achieved due to the formation of images that accurately reproduce the structural and visual features of the object. When forming such images, it is necessary to display graphic scenes with great detail, therefore, at this stage of the development of computer graphics, special attention is paid not only to the speed of forming graphic images, but also to their realism. In most modern computer graphics systems, the raster principle of image formation is used. When creating raster images, distortions occur due to the insufficient resolution of the raster. Artifacts appear on the images, one of the manifestations of which are pronounced steps or teeth on the edges of objects. The aliasing effect significantly affects the realism of the formed image, which necessitates the development of special methods and means of its elimination. The tabular method of vector anti-aliasing was further developed. It is proposed to calculate the values of the evaluation function to store its values with a larger quantization step, and to calculate the intermediate ones according to the derived formula. The analysis showed that the use of the proposed approach allows reducing by 8÷17 times the amount of memory needed to calculate the pixel coverage area. The method involves hardware and software implementation and can be used in high-performance computer graphics systems.

**Key words:** anti-aliasing, step effect, tabular method, raster images, graphic primitive, realism of images

DOI: 10.31649/1681-7893-2023-45-1-10-16

### ВСТУП

Комп'ютерна графіка стала звичним і необхідним інструментом для спеціалістів багатьох галузей. Це пояснюється високою інформативністю графічних зображень і високою оперативністю сприйняття графічної інформації людиною через зоровий інформаційний канал. Один із пріоритетних напрямків досліджень у сучасній комп'ютерній графіці пов'язаний з розробкою методів та принципів формування реалістичних зображень [1, 2].

---

© Є. О. БАШКОВ, М. С. КУРІННИЙ, 2023

---

---

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

Із-за обмеженої роздільності здатності екранів на межах зображень траєкторій примітивів виникає ступінчатість, яка негативно впливає на реалістичність зображень, тому у високоякісних системах комп'ютерної графіки застосовуються спеціальні методи антиаліазингу [1-7]. Існуючі методи антиаліазингу характеризуються складністю обчислювального процесу, що впливає на швидкодію формування графічних сцен. Це обумовлює необхідність розробки методів і засобів високопродуктивного згладжування, орієнтованого на апаратну реалізацію.

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ АНТИАЛІАЗИНГУ

Основний принцип згладжування - використання можливостей пристрою виведення для відтворення відтінків кольорів, якими представлено примітив. У цьому випадку пікселі, сусідні з граничними пікселями зображення, отримують проміжне значення між кольором зображення і кольором фону, створюючи градієнт і розмиваючи межі.

Найбільш поширені методи антиаліазингу можна розділити на дві групи [4, 5]. Першу групу складають методи, які базуються на збільшенні дискретизації зображення. Суть даних методів полягає у тому, що зображення обчислюється з високою розподільною здатністю, а при відображенні зменшується шляхом усереднення. Ці методи характеризуються низькою швидкістю, оскільки при збільшенні дискретизації в  $n$  разів, кількість пікселів, а отже, і кількість обчислень на один піксель, збільшується в  $n^2$  разів [1].

У більшості існуючих методів растеризації значення інтенсивностей кольору обчислюють лише в центрах пікселів. У методі додаткових вибірок [3] розраховують інтенсивність кольору в декількох допоміжних точках всередині пікселя. Значення цих підвибірок потім усереднюють для отримання результуючої інтенсивності кольору всього пікселя. Якість згладжування залежить від кількості додаткових вибірок та від їхнього розташування всередині пікселя. Збільшення кількості точок вибірки покращує якість зображення, але одночасно підвищує потребу в додатковій пам'яті та призводить до зниження швидкодії.

У методах другої групи піксель розглядається не як умовна точка, а як скінченна ділянка [3]. Найбільшого розповсюдження отримала модель, у якій піксель розглядається як квадрат із стороною, що дорівнює одиниці [3]. Центр квадрата співпадає з центром пікселя. Інтенсивність кольору пікселя для даної моделі встановлюється пропорційно до площі тієї частини квадрата, яка покривається графічним примітивом. Більшість існуючих методів антиаліазингу використовують зазначену модель, тому що вона має порівняно малу обчислювальну складність [3].

Характерна особливість аналітичних методів полягає в тому, що під час дискретизації неперервного зображення враховуються властивості й обмеження пристроїв відображення. У загальному вигляді для обчислення інтенсивності кольору пікселя використовується вираз [4]:

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

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;  $I_{\text{ідеал}}(x, y)$  - 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 [A19, A33].

У загальному випадку обчислення наведеного виразу 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 антиаліазингу розглядається частковий випадок знаходження інтегралу  $I_A(P_x, P_y)$  для обмеженого класу графічних примітивів та функцій фільтра. Для антиаліазингу відрізків прямих застосовують методи А. Руа, Брезенхема, М. Піттуей і Д. Уоткінсон, Ву та інші. Всі вони використовують спеціальні вирази для визначення площі покриття пікселя траєкторією відрізка прямої. На жаль, ці вирази трудомісткі, що впливає на продуктивність формування реалістичних графічних сцен.

*Мета статті* - підвищення продуктивності антиаліазингу зображень відрізків прямих за рахунок розробки таблично-алгоритмічного методу.

---

---

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

### МЕТОД АНТИАЛІАЙЗИНГУ

Один з можливих підходів до підвищення продуктивності процедури антиаліаїзingu ребер багатокутників полягає у використанні таблиці заздалегідь розрахованих значень функції

$f(D, БП) = \frac{D}{БП}$  для розрахунку площі покриття піксела. З врахуванням того, що  $D$  і  $БП$  є цілими

числами,  $0 \leq D \leq БП$ , то для збереження значень функції  $f(D, БП)$  необхідно  $\frac{(БП_{\max})^2}{2}$  комірок

пам'яті. Якщо для збереження кожного значення використано один байт, а максимальне значення більшого координатного приросту дорівнює 2048, то для зберігання таблиці необхідно 2 Мбайти пам'яті. Зрозуміло, що такий об'єм пам'яті для зберігання таблиці значень обмежує використання даного підходу. Відносно великий обсяг пам'яті необхідної для зберігання таблиці значень обмежує використання даного підходу.

Один з можливих підходів для зменшення необхідних об'ємів пам'яті полягає у використанні таблиці значень функції  $f(x) = \frac{1}{x}$  для  $x = 1, 2, 3, \dots, БП_{\max}$ . В даному випадку таблиця займатиме

$БП_{\max}$  комірок пам'яті. Основний недолік такого підходу полягає у тому, що в циклі інтерполювання для знаходження значення виразу  $D/БП$  необхідно виконати операцію множення, що призводить до зниження швидкодії і ускладнення апаратної реалізації.

Розглянемо новий підхід до зберігання значень функції  $f(D, БП)$ , який дозволяє зменшити об'єм пам'яті.

Представимо значення аргументу  $D$  у вигляді:  $D = A \cdot 2^p + B$ , де  $B$  дорівнює значенню  $p$  молодших двійкових розрядів числа  $D$ ;  $A$  дорівнює значенню  $n$  старших двійкових розрядів числа  $D$ ;  $p + n = m$ ,  $m$  - розрядність числа  $D$ . Значення  $n$  та  $p$  визначаються таким чином: якщо  $m$  - парне, то  $n = p = m/2$ , інакше -  $n = \frac{m-1}{2} + 1$ ,  $p = \frac{m-1}{2}$ .

Значення функції  $f(D, БП_k)$  для  $D = A \cdot 2^p + B$  та певного фіксованого значення  $БП_k$  знаходиться за виразом:

$$f(A \cdot 2^p + B, БП_k) = \frac{A \cdot 2^p + B}{БП_k} = \frac{A \cdot 2^p}{БП_k} + \frac{B \cdot 2^p}{БП_k} \cdot \frac{1}{2^p}$$

Введемо позначення  $F(i, БП_k) = \frac{i \cdot 2^p}{БП_k}$ .

Запишемо попередній вираз у вигляді:

$$f(A \cdot 2^p + B, БП_k) = F(A, БП_k) + F(B, БП_k) \cdot \frac{1}{2^p}$$

З останньої формули випливає, що значення функції  $f(D, БП_k)$  може бути обчислено з використанням таблиці значень функції  $F(i, БП_k)$ . Визначимо кількість комірок пам'яті, необхідну для зберігання значень даної функції.

Оскільки значення аргументу  $i$  змінюється в межах від 0 до  $\max\{A, B\}$ , то відповідно для зберігання значень функції  $F(i, БП_k)$  необхідно  $\max\{A, B\}$  відліків. Максимальні значення частин  $A$  і  $B$  знаходяться відповідно за виразами:  $A_{\max} = 2^n - 1$  та  $B_{\max} = 2^p - 1$ . Оскільки має місце нерівність  $n \geq p$ , то кількість відліків, яка необхідна для збереження значень функції  $F(i, БП_k)$

## МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

дорівнює  $2^n$ . При цьому  $n$  залежить від розрядності значення аргументу  $D$ . Оскільки розрядність  $D$  не перевищує розрядності  $БП_k$ , то максимальна кількість комірок пам'яті, яка необхідна для збереження значень функції  $F(i, БП_k)$  визначається розрядністю значення  $БП_k$ . Кількість двійкових розрядів, необхідних для представлення значення  $БП_k$ , знаходиться за виразом:

$$m(БП_k) = \lfloor \log_2(БП_k) \rfloor + 1$$

Значення  $n$  можна розрахувати за формулою:  $n = \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil$ . Із урахуванням останніх виразів отримуємо формулу для розрахунку кількості комірок пам'яті, необхідних для зберігання значень функції  $F(i, БП_k)$ :

$$N(БП_k) = 2^{\left\lceil \frac{m(БП_k)}{2} \right\rceil} = 2^{\left\lceil \frac{\lfloor \log_2(БП_k) \rfloor + 1}{2} \right\rceil}$$

Кількість комірок пам'яті для різних значень  $БП_k$  приведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Кількість комірок пам'яті для зберігання значень функції  $F(i, БП_k)$**

$БП_k$	$< 2^4$	$< 2^5$	$< 2^6$	$< 2^7$	$< 2^8$	$< 2^9$	$< 2^{10}$	$< 2^{11}$
$N$	$2^2 = 4$	$2^3 = 8$	$2^3 = 8$	$2^4 = 16$	$2^4 = 16$	$2^5 = 32$	$2^5 = 32$	$2^6 = 64$

Оскільки значення більшого координатного приросту може змінюватись від одного до  $БП_{\max}$ , то загальна кількість комірок пам'яті, яка необхідна для збереження значень функції  $F(i, БП)$ , може бути обчислена за формулою:

$$M = \sum_{k=1}^{БП_{\max}} 2^{\left\lceil \frac{\lfloor \log_2(k) \rfloor + 1}{2} \right\rceil}$$

Визначимо кількість двійкових розрядів, яка необхідна для зберігання одного значення функції  $F(i, БП)$ . Розглянемо максимальне значення, яке може приймати дана функція. Максимальне значення аргументу  $i$  дорівнює  $2^n - 1$ . Мінімальне значення більшого координатного приросту, яке відповідає заданим параметрам  $n$  та  $p$ , можна знайти за виразом:  $БП_{\min} = 2^{n-1} 2^p$ . Таким чином, максимальне значення функції  $F(i, БП)$  дорівнює:

$$\max(F(i, БП)) = \frac{i_{\max} 2^p}{БП_{\min}} = \frac{(2^n - 1) 2^p}{2^{n-1} 2^p} = 2 - \frac{1}{2^{n-1}}$$

З останньої формули видно, що максимальне значення функції  $F(i, БП)$  менше двох, отже для зберігання цілої частини значення функції  $F(i, БП)$  потрібен 1 двійковий розряд. Кількість розрядів для зберігання дробової частини значення функції  $F(i, БП)$  залежить від потрібної точності обчислень. Розглянемо похибку, яка має місце при використанні  $q$  розрядів для зберігання дробової частини.

Значення функції  $F(i, БП)$ , для збереження якого використано  $q$  двійкових розрядів може бути записано у вигляді:

$$F_{\text{табл.}}(i, БП_k) = \left[ \frac{i \cdot 2^p}{БП_k} 2^q + \frac{1}{2} \right] \frac{1}{2^q}$$

Абсолютна похибка, яка виникає через округлення точного значення функції  $F(i, БП)$  до  $q$  двійкових розрядів, знаходиться за виразом:

**МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ  
ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ**

$$\delta_F = F(i, БП_k) - F_{табл.}(i, БП_k) = \frac{i \cdot 2^p}{БП_k} - \left\lfloor \frac{i \cdot 2^p}{БП_k} 2^q + \frac{1}{2} \right\rfloor \frac{1}{2^q} = \left( \frac{i \cdot 2^p}{БП_k} 2^q - \left\lfloor \frac{i \cdot 2^p}{БП_k} 2^q + \frac{1}{2} \right\rfloor \right) \frac{1}{2^q}.$$

З останньої формули випливає, що максимальне значення абсолютної похибки дорівнює  $2^{-(q+1)}$ .

Розглянемо абсолютну похибку обчислення значення функції  $f(D, БП)$  з використанням значень функції  $F(i, БП)$ , округлених до  $q$  двійкових розрядів:

$$\begin{aligned} \delta_f &= f(A \cdot 2^p + B, БП_k) - f_{табл.}(A \cdot 2^p + B, БП_k) = \\ &= F(A, БП_k) + F(B, БП_k) \frac{1}{2^p} - F_{табл.}(A, БП_k) - \frac{F_{табл.}(B, БП_k)}{2^p} = \delta_F + \frac{\delta_F}{2^p}. \end{aligned}$$

Із врахуванням наведених виразів отримуємо формулу для обчислення максимального значення абсолютної похибки:

$$\delta_{f_{max}} = 2^{-(q+1)} + 2^{-q-p-1}$$

У таблиці 2 для різних значень  $q$  приведено максимальні значення абсолютних похибок обчислення функції  $f(D, БП) = \frac{D}{БП}$  з використанням значень функції  $F(i, БП)$ , округлених до  $q$  двійкових розрядів. При заданому граничному значенні абсолютної похибки  $\frac{1}{2^{q+1}}$  для представлення значень функції  $F(i, БП)$  необхідно використовувати  $q + 2$  двійкових розрядів.

Таблиця 2

**Максимальні значення абсолютних похибок, що мають місце  
при обчисленні функції  $f(D, БП) = \frac{D}{БП}$**

$q$	$\frac{1}{2^{q+1}}$	$\delta_{f_{max}}$				
		$БП < 8$ $p = 1$	$2^3 \leq БП < 2^5$ $p = 2$	$2^5 \leq БП < 2^7$ $p = 3$	$2^7 \leq БП < 2^9$ $p = 4$	$2^9 \leq БП < 2^{11}$ $p = 5$
5	0,0156	0,0234	0,0195	0,0176	0,0166	0,00161
6	0,00781	0,0117	0,00977	0,00878	0,00830	0,00806
7	0,00390	0,00586	0,00488	0,00439	0,00415	0,00403
8	0,00195	0,00293	0,00244	0,00220	0,00208	0,00201
9	0,00097	0,00146	0,00122	0,00110	0,00104	0,00101

У таблиці 3 приведено об'єми пам'яті для зберігання значень функції  $f(D, БП)$  та  $F(i, БП)$  для різних максимальних значень  $БП$  та граничних значень абсолютної похибки обчислень функції  $f(D, БП) = D/БП$ . Як видно з таблиці 3, для зберігання значень функції  $F(i, БП)$  потрібно у 8÷17 разів менше пам'яті порівняно із функцією  $f(D, БП)$ . Таким чином, при використанні запропонованого підходу до обчислення значень функції  $f(D, БП)$ , досягається суттєве зменшення апаратних витрат.

**МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ  
ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ**

Таблиця 3

**Об'єми пам'яті, необхідні для зберігання значень функції  $f(D, БП)$  і  $F(i, БП)$**

$БП_{max}$	Гранична абсолют. похибка	Кількість пам'яті необхідна для збереження значень функції $f(D, БП)$			Кількість пам'яті необхідна для збереження значень функції $F(i, БП)$			Коеф. зменшення об'ємів пам'яті
		Кількість комірок пам'яті	Кількість розрядів на одне значення	Об'єм пам'яті, Кбіт	Кількість комірок пам'яті	Кількість розрядів на одне значення	Об'єм пам'яті, Кбіт	
$< 2^9$	$2^{-6}$	131 072	5	<b>640</b>	11 702	7	<b>80</b>	<b>8</b>
	$2^{-7}$	131 072	6	<b>768</b>	11 702	8	<b>92</b>	<b>8,3</b>
	$2^{-8}$	131 072	7	<b>896</b>	11 702	9	<b>103</b>	<b>8,7</b>
	$2^{-9}$	131 072	8	<b>1 024</b>	11 702	10	<b>115</b>	<b>8,9</b>
$< 2^{10}$	$2^{-6}$	524 288	5	<b>2 560</b>	28 086	7	<b>192</b>	<b>13,3</b>
	$2^{-7}$	524 288	6	<b>3 072</b>	28 086	8	<b>220</b>	<b>13,9</b>
	$2^{-8}$	524 288	7	<b>3 584</b>	28 086	9	<b>247</b>	<b>14,5</b>
	$2^{-9}$	524 288	8	<b>4 096</b>	28 086	10	<b>275</b>	<b>14,9</b>
$< 2^{11}$	$2^{-6}$	2 097 152	5	<b>10 240</b>	93 622	7	<b>640</b>	<b>16</b>
	$2^{-7}$	2 097 152	6	<b>12 288</b>	93 622	8	<b>732</b>	<b>16,8</b>
	$2^{-8}$	2 097 152	7	<b>14 336</b>	93 622	9	<b>823</b>	<b>17,4</b>
	$2^{-9}$	2 097 152	8	<b>16 384</b>	93 622	10	<b>915</b>	<b>17,9</b>

Можна запропонувати такий алгоритм розрахунку значення функції  $f(D, БП) = D/БП$  :

1. У циклі підготування за заданим значенням  $БП_k$  з блока постійної пам'яті зчитується значення  $p$  та обирається відповідна таблиця значень функції  $F(i, БП_k)$ .

2. У циклі інтерполювання:

а) для кожного значення  $D$  розраховуються значення  $A$  і  $B$  :

$$A = \lfloor D/2^p \rfloor ; B = D - A \cdot 2^p ;$$

б) з пам'яті вибирається значення  $F(A, БП_k)$  і  $F(B, БП_k)$ ;

в) розраховується значення функції:  $f(D, БП_k) = F(A, БП_k) + F(B, БП_k) \frac{1}{2^p}$ .

При апаратній реалізації алгоритму підвищення швидкодії обчислень може бути досягнуто за рахунок збереження двох копій таблиці, що дозволить два зчитування з пам'яті виконувати паралельно.

Запропонований підхід дозволяє зменшити час доступу до пам'яті за рахунок використання швидкодіючої оперативної пам'яті. Для виконання обчислень у циклі інтерполювання потрібна таблиця значень функції  $F(i, БП)$ , об'єм якої не перевищує 64 байти, тому доцільно використати оперативну пам'ять. При цьому у циклі підготування з блока постійної пам'яті в залежності від значення більшого координатного приросту  $БП_k$  зчитується відповідна таблиця значень функції  $F(i, БП_k)$  та записується у блок оперативної пам'яті. В процесі інтерполювання зчитування значень відбувається з оперативної пам'яті, яка має значно менший час затримки порівняно з постійною пам'яттю.

---

---

# МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ

---

---

## ВИСНОВКИ

Аналіз показав, що використання запропонованого підходу дозволяє зменшити у  $8\div 17$  разів обсяги пам'яті, необхідні для обчислення площі покриття пікселя. Для виконання обчислень у циклі інтерполювання потрібна таблиця значень функції  $F(i, BII)$ , обсяг якої не перевищує 64 байти, тому рекомендовано при апаратній реалізації використовувати оперативну пам'ять, що дозволить значно зменшити час доступу до пам'яті

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. П. Ю. Родіонов, та О. В. Родіонова, Теоретичні та практичні аспекти застосування прийомів покращення якості растрових зображень, *Наука і техніка сьогодні*, №1 (15), С.257-268, 2023.
2. A. M. Al-Oraiqat, E. A. Bashkov, and S. A. Zori. "Specialized Computer systems for environment visualization. 3D Research, N 9(2), pp. 1-16, 2018.
3. О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, "Математичні моделі пікселів для задач антиаліазингу", *Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту*. - №3, С. 35-47, 2002.
4. 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.
5. О. Н. Романюк О. В. Мельник, та О. В. Романюк, "Метод антиаліазингу зображень відрізків прямих з використанням додаткових оцінювальних функцій", *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах* № 2, С. 210-214, 2014
6. McNamara, Robert, Joel McCormack, and Norman P. Jouppi. "Prefiltered Antialiased Lines Using Half-Plane Distance Functions". *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics*, pp.77-86, 2000.
7. A. Reshetov, "Morphological antialiasing". *In Proceedings of the Conference on High Performance Graphics*, 2009, pp. 109-116.

## REFERENCES

1. P. Yu. Rodionov, and O. V. Rodionova. Teoretychni ta praktychni aspekty zastosuvannya pryiomiv pokrashchennia yakosti rastrovyykh zobrazhen. *Nauka i tekhnika sohodni*, №1 (15), pp. 257-268, 2023.
2. A. M. Al-Oraiqat, E. A. Bashkov and S. A. Zori. Specialized Computer systems for environment visualization. *3D Research*, N 9(2), pp. 1-16, 2018.
3. O. N. Romaniuk, and M. S. Kurinnyi. Matematychni modeli pikseliv dlia zadach antyaliaizynhu, *Visnyk Zhytomyrskoho inzhenerno-tekhnologichnoho instytutu*. - №3, pp. 35-47, 2002.
4. O. N. Romaniuk, and M. S. Kurinnyi. Efektyvnyi alhorytm antyaliaizynhu vektornykh hranys bahatokutnyka, *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh: Zbirnyk naukovykh prats*. pp. 105–109, 2002.
5. O. N. Romaniuk O. V. Melnyk, and O. V. Romaniuk. Metod antyaliaizynhu zobrazhen vidrizkiv priamykh z vykorystanniam dodatkovykh otsiniuvalnykh funktsii, *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh*, № 2, pp. 210-214, 2014
6. Robert McNamara, Joel McCormack, and Norman P. Jouppi. Prefiltered Antialiased Lines Using Half-Plane Distance Functions. *Proceedings of the ACM SIGGRAPH/Eurographics*, pp.77-86, 2000.
7. A. Reshetov, Morphological antialiasing. *In Proceedings of the Conference on High Performance Graphics*, 2009, pp. 109-116.

Надійшла до редакції 15.03.2023р.

**БАШКОВ ЄВГЕН ОЛЕКСАНДРОВИЧ** – д.т.н., професор кафедри прикладної математики та інформатики, Донецький національний технічний університет, Луцьк, Україна,

**e-mail: eab23may@gmail.com**

**КУРІННИЙ МИХАЙЛО СЕРГІЙОВИЧ** – к.т.н., керівник організації ПП "РАДІОНЕТ", Вінниця, Україна, **e-mail: office@radionet.com.ua**

Eugene BASHKOV, Mykhailo KURINNYI

**TABLE-ALGORITHMIC METHOD FOR ANTI-ALIAZING IMAGE OF LINE SEGMENTS**

Donetsk National Technical University, 43003, str. Potebni, 56, Lutsk, Ukraine,

PP "Radionet", Vinnytsia, Ukraine