

УДК 004.92

Романюк О. Н., канд. техн. наук
Курінний М.С., канд. техн. наук
Денисюк В.О., канд. техн. наук

АПАРАТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ МЕТОД АНТИАЛІАЙЗИНГУ КРОКОВОЇ ТРАЄКТОРІЇ ВІДРІЗКІВ ПРЯМИХ

Запропоновано нові формули для розрахунку площі покриття пікселів і метод антиаліайзингу крокової траєкторії відрізків прямих

Вступ

Задача підвищення реалістичності зображень є однією з найбільш актуальних задач комп'ютерної графіки, яка пов'язана зі збільшенням складності та деталізації зображень. При формуванні растрових зображень на межах графічних об'єктів проявляється ефект аліайзингу [1-4], викликаний недостатньою роздільною здатністю пристроїв відображення. Оскільки людське око достатньо чутливе до аліайзингу, тому згладжування меж графічних об'єктів дозволяє підвищити реалістичність синтезованих зображень. Великі часові витрати на реалізацію антиаліайзингу в системах комп'ютерної графіки обумовлюють необхідність розробки спеціалізованих засобів високої продуктивності.

Аналіз методів і постановка задачі

На відміну від звичайних методів растеризації, які розраховують інтенсивність кольору лише в точці, що розташована в центрі піксела, методи антиаліайзингу обчислюють колір з урахуванням зони, яка оточує задану точку. У зв'язку з цим, використання методів антиаліайзингу призводить до значного ускладнення обчислювального процесу формування зображень, що обумовлює необхідність розробки високопродуктивних методів, алгоритмів та структур.

Існуючі методи антиаліайзингу можна умовно поділити на методи додаткової вибірки та аналітичні. У методах додаткової вибірки зображення сцени формується з роздільною здатністю більшою, ніж у пристрою відображення, а перед видачею на екран зменшується шляхом усереднення [1]. Дані методи мають просту апаратну реалізацію та можуть бути

легко інтегровані в існуючі системи комп'ютерної графіки. Однак, при такому підході обсяг обчислень, необхідних для растеризації сцени, росте в квадратичній залежності, що призводить до суттєвого зменшення швидкодії формування зображень. Крім того, методи додаткової вибірки передбачають використання великих обсягів додаткової пам'яті та підвищення пропускну здатності шини пам'яті.

Аналітичні методи антиаліайзингу розглядають піксель не як умовну точку, а як скінченну область. При цьому можуть використовуватись різні моделі піксела. Найбільш поширеними серед аналітичних методів є методи крайового антиаліайзингу, які усувають ступінчастий ефект уздовж контурів об'єктів. Вони основані на тому, що для основних графічних примітивів, таких як відрізок прямої, багатокутник, коло, еліпс, мають місце досить прості аналітичні вирази, які описують їхні геометричні властивості. Аналітичні методи характеризуються значно меншою обчислювальною складністю та забезпечують кращу якість згладжування, оскільки враховують специфіку графічних об'єктів та особливості пристроїв відображення. Обчислювальна складність та якість сформованого зображення в цих методах визначається моделлю піксела.

Залежно від необхідної якості згладження крокової траєкторії інтенсивність кольору піксела встановлюється пропорційною до [3]:

- а) відстані від піксела до ідеального відрізка прямої;
- б) площі частини піксела, що відтинається від нього заданим відрізком прямої;
- в) об'єму частини конуса, що перетинається відрізком прямої.

Згідно методу Ву [3] інтенсивність кольору піксела траєкторії розподіляється між двома суміжними пікселами, що знаходяться безпосередньо над і під відрізком прямої, пропорційно до відстані від центра піксела до точки, у якій вектор перетинає координатну решітку. Сума інтенсивностей цих двох пікселів завжди дорівнює максимальній. Метод передбачає виконання операції ділення в циклі інтерполювання, що призводить до великих обчислювальних витрат та ускладнює апаратну реалізацію.

М. Піттуей та Д. Уоткінсон [2] запропонували використати спрощені вирази розрахунку площі покриття для випадку, коли пряма покриває два сусідні пікселі з однаковим значенням провідної координати. При цьому підсвічуються лише один піксел, який розташовано найближче до ідеальної прямої, а площа покриття другого піксела додається до площі першого, сусіднього до нього. Це призводить до відтворення піксела з більшою інтенсивністю ніж є насправді (в деяких випадках це може бути артефакт ним явищем).

Мета статті

Розробка нового методу антиаліазингу контурів полігонів, у якому підсвічуються всі пікселі, які перетинаються ребрами.

Розробка підходу до антиаліазингу

Площа покриття – це площа, частини піксела, яка відтинається траєкторією примітива і належить графічному об'єкту. При перетині піксела відрізком із тангенсом кута нахилу $k (0 \leq k \leq 1)$ може бути задіяно один або два піксела (табл. 1). Якщо ребро багатокутника перетинає в ортогональному напрямку два піксела, то можливо два різних випадки покриття: а) верхній піксел розташовано ближче до ідеальної прямої (табл. 1, випадок 2); б) нижній піксел розташовано ближче до ідеальної прямої (табл. 1, випадок 3). У табл. 1 наведено розрахункові формули для визначення площ покриття пікселів.

Для спрощення обчислення площі покриття піксела будемо вважати, що $S_i^B = 1$ і $S_i^H = 0$. У цьому випадку вирази для всіх трьох випадків перетину піксела ребром багатокутника збігаються

$$S \approx \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2}, \quad (1)$$

де $МП, БП$ – відповідно менший і більший приріст вектору.

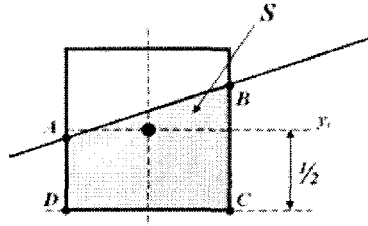
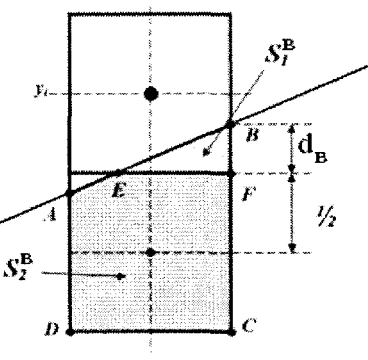
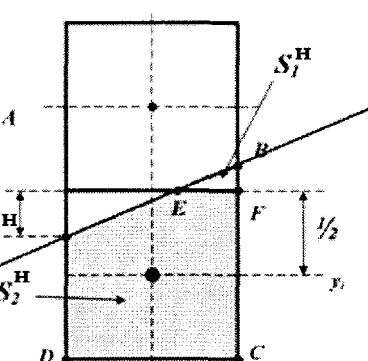
Проведено моделювання, яке показало, що абсолютна похибка обчислення площі покриття прямо пропорційна коефіцієнту нахилу прямої та не перевищує значення 0,062 дискрети, що є прийнятним для багатьох застосувань. Пропонується новий метод обчислення площі покриття піксела ребром багатокутника, який забезпечує меншу похибку й порівняно з виразами для розрахунку S_i^B і S_i^H (табл. 1) має меншу обчислювальну складність, що дає можливість реалізувати антиаліазинг апаратним шляхом, а при програмній реалізації суттєво зменшує трудомісткість обчислень.

У табл. 2 наведено два можливих варіанти перетину ділянок двох пікселів відрізком прямої, причому в першому випадку нижній піксел розміщено вище відрізка, а в другому – нижче. Особливість підходу полягає у введенні нового параметру – $Q(t) = t^2 \frac{БП}{2МП} - \frac{t}{4}$, де $t = FG$. З рисунків у табл. 2 видно, що FG – це відстань між ординатним рівнем $y_i + \frac{1}{2}$ і значенням ординати відрізка прямої в точці x_i .

Визначимо максимальне значення $Q(t)$. Для цього знайдемо $Q'(t) = \frac{БП}{МП} t - \frac{1}{4}$ і прирівняємо отримане значення похідної до нуля. Звідси знаходимо, що в точці

$$\min(A(t)) = -\frac{МП}{32 \cdot БП}.$$

Таблиця 1. Формули для розрахунку площі покриття піксела

№	Випадок перетину піксела відрізком прямої	Розрахункові формули
1.		$S = \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2}.$
2.		$S_{ABCD} = \frac{МП}{БП} \cdot x_i - \left(y_i - \frac{3}{2}\right).$ $S_1^B = \frac{1}{2} EF \cdot BF = \frac{1}{2} \left(x_i + \frac{1}{2} - \frac{БП}{МП} \left(y_i - \frac{1}{2}\right)\right) \times$ $\left(\frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) - \left(y_i - \frac{1}{2}\right)\right) = \frac{1}{2} \frac{A^2}{МП \cdot БП}.$ $A = МП \cdot x_i + МП/2 - БП \cdot y_i + БП/2.$ $S_2^B = S_{ABCD} - S_1^B = \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{3}{2} - S_1^B.$ $d_g = \frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) - \left(y_i + \frac{1}{2}\right).$
3.		$S_{ABCD} = \frac{МП}{БП} \cdot x_i - y_i + \frac{1}{2}.$ $S_1^H = \frac{1}{2} EF \cdot BF = \frac{1}{2} \left(x_i + \frac{1}{2} - \frac{БП}{МП} \left(y_i + \frac{1}{2}\right)\right) \times$ $\left(\frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) - \left(y_i + \frac{1}{2}\right)\right) = \frac{1}{2} \frac{B^2}{МП \cdot БП}.$ $B = МП \cdot x_i + МП/2 - БП \cdot y_i - БП/2.$ $S_2^H = S_{ABCD} - S_1^H = \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2} - S_1^H.$ $d_n = \left(y_i - \frac{1}{2}\right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2}\right).$

Прийнявши за наближене значення $A(t)$

$$-\frac{МП}{64 \cdot БП}, \text{ знаходимо, що}$$

$$S_1^H \approx \frac{BF}{4} - \frac{МП}{64БП} =$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2}\right) - \left(y_i + \frac{1}{2}\right)\right) - \frac{МП}{64БП},$$

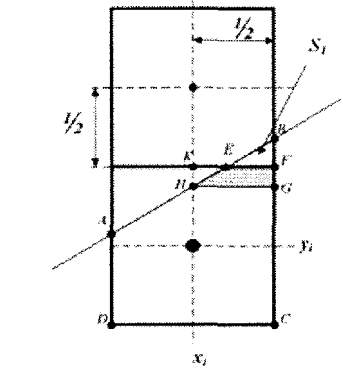
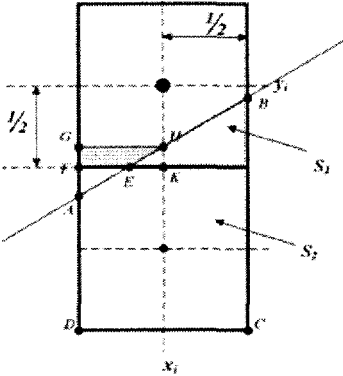
$$S_1^B \approx S_{ABCD} - 1 + \frac{AF}{4} - \frac{МП}{64БП} =$$

$$= \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2} +$$

$$+ \frac{1}{4} \left(\left(y_i - \frac{1}{2}\right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2}\right)\right) - \frac{МП}{64БП}.$$

При використанні для антиаліазингу векторних границь полігонів важливо ідентифікувати різні випадки перетину ребром координатної решітки (табл. 1). Це можна зробити шляхом аналізу параметрів d_g і d_n , формули для розрахунку яких наведено в таблиці 1. При $d_g > 0$ або $d_n > 0$ відрізок прямої перетинає зони двох пікселів.

Таблиця 2. Формули для розрахунку площі покриття пікелів

№	Випадок перетину піксела відрізком прямої	Розрахункові формули
1.		$S_{HBG} = (BF + FG)/4.$ $S_{EBF} = S_{HBG} - S_{HEFG}$ $S_{HEFG} = S_{KFGH} - S_{KEH} = \frac{FG}{2} - \frac{FG \cdot KE}{2} =$ $= \frac{FG}{2} - FG^2 \frac{БП}{2МП}.$ $S_{EBF} = \frac{BF}{4} + \frac{t}{4} - \frac{t}{2} + t^2 \frac{БП}{2МП} = \frac{BF}{4} + Q(t),$ <p>де $Q(t) = t^2 \frac{БП}{2МП} - \frac{t}{4}$, $t = FG$.</p> $S_{ABCD} = \frac{МП}{БП} \cdot x_i - y_i + \frac{1}{2}.$
2.		$S_{ABCD} = \frac{МП}{БП} \cdot x_i - y_i + \frac{3}{2}.$ $S_{ABCD} = S_1 + S_2.$ $S_2 = 1 - S_{AFE}.$ $S_1^B = S_{ABCD} - 1 + S_{AFE}$ $S_{AFE} = \frac{AF}{4} + \frac{t}{4} - \frac{t}{2} + t^2 \frac{БП}{2МП} = \frac{AF}{4} + Q(t).$

За умови, що $d_n > 0$

$$S_1^H \approx \frac{BF}{4} - \frac{МП}{64БП} =$$

$$= \frac{1}{4} \left(\frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2} \right) - \left(y_i + \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{МП}{64БП},$$

$$d_s = \frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2} \right) - \left(y_i + \frac{1}{2} \right),$$

тому $S_1^H = \frac{d_s}{4} - \frac{МП}{64БП}$.

Коли $d_n > 0$, то

$$S_1^B \approx \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2} +$$

$$+ \frac{1}{4} \left(\left(y_i - \frac{1}{2} \right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2} \right) \right) - \frac{МП}{64БП}.$$

Оскільки

$$d_n = \left(y_i - \frac{1}{2} \right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2} \right),$$

то $S(x_i, y_i) \approx \frac{МП}{БП} x_i - y_i + \frac{1}{2} + \frac{d_n}{4} - \frac{МП}{64БП}$.

З урахуванням (1)

$$S(x_i, y_i) \approx S - 1 + \frac{d_n}{4} - \frac{МП}{64БП}.$$

Для нижнього піксела

$$S(x_i, y_i - 1) \approx S - S(x_i, y_i) =$$

$$= 1 - \frac{d_n}{4} + \frac{МП}{64БП}.$$

Використаємо для антиаліазингу оцінювальну функцію [5]

$$OF_i = y_i \cdot БП - x_i \cdot МП + БП/2.$$

Оскільки при формуванні крокової траєкторії використовується її знак, то він не зміниться при діленні OF_i на значення $БП$, яке є додатним числом. У результаті отримуємо нову функцію

$$OF_i' = y_i - \frac{МП}{БП} x_i + \frac{1}{2}.$$

Установимо зв'язок оцінювальної функції OF'_i зі значенням d_e і d_n

$$d_e = \frac{МП}{БП} \left(x_i + \frac{1}{2} \right) - \left(y_i + \frac{1}{2} \right) = \frac{МП}{БП} x_i - y_i - \frac{1}{2} + \frac{МП}{2БП} = \frac{МП}{2БП} - OF'_i,$$

$$d_n = \left(y_i - \frac{1}{2} \right) - \frac{МП}{БП} \left(x_i - \frac{1}{2} \right) = y_i - \frac{МП}{БП} x_i + \frac{1}{2} + \frac{МП}{2БП} - 1 = OF'_i + \frac{МП}{2БП} - 1$$

На рис. 1 наведено граф-схему алгоритму визначення площ покриття пікселів ребром полігону. Особливість алгоритму полягає у використанні в циклі інтерполявання виключно однієї базової мікрооперації – додавання.

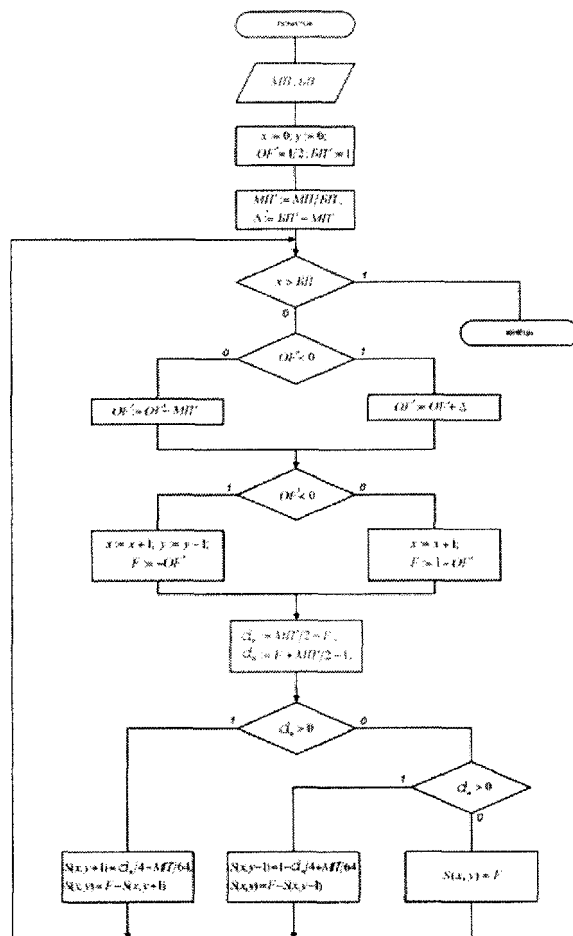


Рис. 1. Граф-схема алгоритму визначення площ покриття пікселів

При антиаліаїзингу крокової траєкторії необхідно враховувати не тільки колір переднього плану, але й колір фону, тому

$$I_p = I_M \cdot S + I_\Phi (1 - S) = I_\Phi + S(I_M - I_\Phi) = I_\Phi + I_\Delta \cdot S,$$

де $I_\Delta = |I_M - I_\Phi|$.

Для антиаліаїзингу використаємо таку оцінювальну функцію

$$OFI_i = OF'_i \cdot I_\Delta = I_\Delta \cdot y_i - I_\Delta \frac{МП}{БП} x_i + \frac{I_\Delta}{2}.$$

Оскільки $I_\Delta \geq 0$, то знак функції OFI_i збігається зі знаком оцінювальної функції OF'_i , а тому її можна використати для визначення координат точок траєкторії.

Якщо $OFI_i \geq 0$, то

$$I_p = \begin{cases} I_\Phi + (I_\Delta - OFI_i), & \text{якщо } I_M \geq I_\Phi, \\ I_\Phi - (I_\Delta - OFI_i), & \text{якщо } I_M < I_\Phi. \end{cases}$$

За умови, що $OFI_i < 0$, то

$$I_p = \begin{cases} I_\Phi + (-OFI_i), & \text{якщо } I_M \geq I_\Phi, \\ I_\Phi - (-OFI_i), & \text{якщо } I_M < I_\Phi. \end{cases}$$

На рис. 2 зображено граф-схему алгоритму антиаліаїзингу ребра полігону.

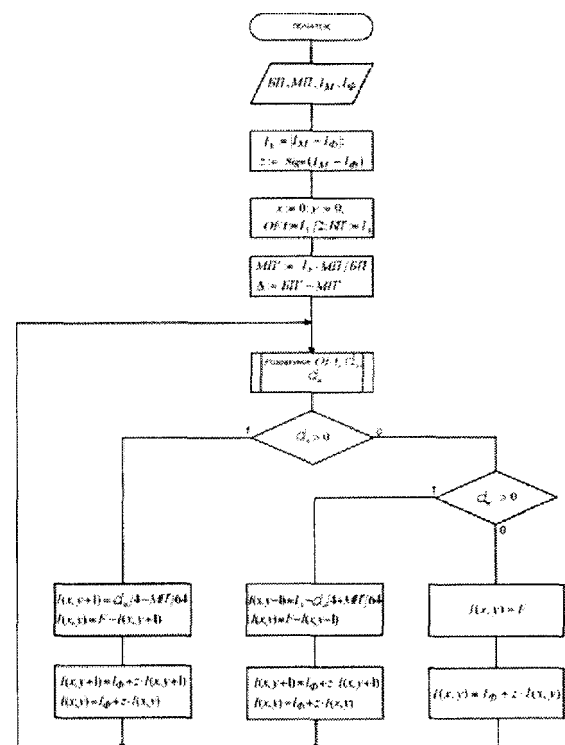


Рис. 2. Граф-схема алгоритму антиаліаїзингу крокової траєкторії вектора

Підпрограма розрахунку OFI_i, d_g, d_n включає аналогічні дії попереднього алгоритму. Крім того, вона визначає момент закінчення перетворень.

Висновки

Отримані формули для визначення площі покриття пікселя характеризуються простотою апаратної реалізації і можуть бути використані в прискорених алгоритмах антиаліазингу. Розроблено метод антиаліазингу векторних границь багатокутників із використанням спеціальної оцінювальної функції, знак якої визначає координати точок траєкторії, а значення – інтенсивність кольору точок. Використання нової оцінювальної функції дозволило виключити довгі операції із циклу інтерполювання, що обумовило простоту апаратної реалізації методу.

Порівняно з методом М. Піттуей і Д. Уоткінсон підвищено якість згладження крокової траєкторії за рахунок визначення інтенсивностей кольору усіх пікселів, які перетинає вектор.

Список літератури

1. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 512 с.
2. Pitteway M.L.V, Watkinson D.J. *Bresenham's Algorithm with Grey-Scale* // Communications of the ACM. – 1980. – Vol. 23 (11). – P. 625 – 626.

3. Wu X. An Efficient Antialiasing Technique. // Computer Graphics. – 1991. – Vol. 25. – No. 4. – P. 143 – 152.

4. M.L.V. Pitteway and E. Banissi. Soft Edging Fonts. // Proceedings of Computer Graphics 87. – 1987. – P. 133 – 154.

5. Петух А.М., Обідник Д.Т., Романюк О.Н. Інтерполяція в задачах контурного формоутворення: Монографія. – Вінниця: Універсам-Вінниця, 2007. – 103 с.