

АНТИАЛІАЙЗИНГ ДУГИ КОЛА З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОЇ ОЦІНЮВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ

Мельник О.В., Романюк С.О., Бабій І.Г.

Вінницький національний технічний університет

кафедра програмного забезпечення

e-mail: vinncei@gmail.com

Анотація

Мельник О.В., Романюк С.О., Бабій І.Г. Антиаліайзинг дуги кола з використанням модифікованої оцінювальної функції. Модифіковано оцінювальну функцію для антиаліайзингу границі кола та запропоновано алгоритм антиаліайзингу з застосуванням нової оцінювальної функції, знак якої визначає координати точок траєкторії, а значення – інтенсивності кольору точок. Запропонований алгоритм не має довгих операцій в циклі інтерполювання. Алгоритм має просту апаратну реалізацію.

Вступ

Підвищення інформативності комп'ютерної графіки досягають за рахунок формування зображень, які точно відтворюють конструктивні та візуальні особливості об'єкта. При формуванні таких зображень у графічних системах необхідно відображати сцени з великою деталізацією, тому на даному етапі розвитку комп'ютерної графіки особливу увагу приділяють не тільки швидкодії формування графічних зображень, але і їх реалістичності.

Під час растретизації графічних примітивів мають місце спотворення, одним з проявів яких є формування на краях об'єктів чітко виражених сходинок чи зубців. Даний ефект отримав назву аліайзингу чи ступінчастого ефекту [1]. Ефект аліайзингу суттєво погіршує якість зображення, що обумовлює необхідність розробки ефективних програмних і апаратних засобів для його усунення.

Проведені дослідження показали, що при використанні 19" монітора і розміщенні спостерігача на відстані 65 см від екрана для повного усунення ефекту аліайзингу 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 останніх досліджень і публікацій

Дуги кіл, поряд з відрізками прямих, відносять до найбільш поширених графічних примітивів [2]. На даний час розроблені ефективні методи антиаліайзингу векторів. Питанням усунення ефекту ступінчастості кола приділялось значно менше уваги.

Метою статті є аналіз наявних методів антиаліайзингу дуги кола та розробка ефективного методу усунення ступінчастості границі кола.

Одним з найбільш поширених методів антиаліайзингу границі кола є метод, який базується на збільшенні дискретизації зображення. Суть даного методу полягає у тому, що зображення (в даному випадку коло) обчислюється з вищою роздільною здатністю, а при відображенні зменшується шляхом усереднення [1]. Цей метод характеризується простою апаратною реалізацією, однак відрізняється невисокою швидкістю, оскільки при збільшенні

дискретизації в n разів, кількість пікселів, а, отже, і кількість обчислень на один піксель, збільшується в n^2 разів [3].

Метод антиаліазингу [4], в якому використовуються три додаткові оцінювальні функції, забезпечує таку ж якість згладжування, як і при збільшенні дискретизації у два рази. Для забезпечення більш високої якості згладжування використовують більшу кількість оцінювальних функцій, що обумовлює відносно високі апаратні витрати при реалізації методу.

У роботі [5] розглянуто метод антиаліазингу границі кола, в якому для обчислення інтенсивностей кольору використовують процедуру знаходження корнів за методом Ньютона. Метод забезпечує більш високу якість згладжування порівняно з попереднім методом, але потребує виконання операції ділення в циклі інтерполювання, що значно обмежує його швидкодію.

У статті [6] наведений алгоритм, який не містить довгих операцій в циклі інтерполювання. Він виконує незважену фільтрацію зображення і розглядає піксель, як одиничний квадрат.

Більш досконалим є алгоритм антиаліазингу границі кола [7], в якому використовується кругова модель пікселя. Остання модель є більш адекватною і забезпечує кращу якість згладжування. В алгоритмі для обчислення інтенсивності кольору точок траєкторії використовується наступна формула:

$$I(x, y) = \frac{I_M}{2} - \frac{O\Phi}{2R} I_M, \quad (1)$$

де I_M - інтенсивність кольору з якою треба відтворити коло;

$O\Phi$ - значення оцінювальної функції;

R - радіус кола.

Алгоритм забезпечує порівняно високу якість зображення, однак наявність "довгих" операцій в циклі інтерполювання (одна операція ділення і одна операція множення у кожному такті) обмежує його швидкодію. Даний алгоритм використовується в подальшій модифікації в якості базового.

Постановка задачі

Мета статті - розробка методу антиаліазингу зображення дуг із використанням модифікованої оцінювальної функції, суть якого полягає у розрахунку спеціальної ОФ, знак якої визначає координати точок траєкторії, а значення – інтенсивність кольору точок.

На основі методу необхідно розробити алгоритм антиаліазингу границі кола, який містить в циклі інтерполювання лише мікрооперації типу додавання з метою спрощення апаратної реалізації.

Розробка методу та алгоритму антиаліазингу дуги кола

У більшості алгоритмів колової інтерполяції використовується наступна оцінювальна функція:

$$O\Phi = x^2 + y^2 - R^2.$$

Оцінювальна функція визначає позицію точки траєкторії по відношенню до кола (див. рис.1).

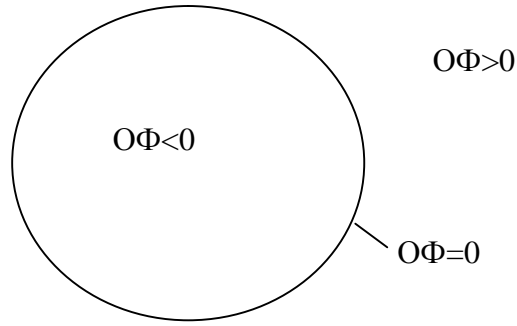


Рис. 1. Залежність знаку оцінювальної функції від позиції точки траєкторії по відношенню до кола

Модифікована оцінювальна функція визначається за формулою:

$$O\Phi' = \frac{I_M}{2R}x^2 + \frac{I_M}{2R}y^2 - \frac{I_M}{2R}R^2 \quad (2)$$

З наведеної формули видно, що знак модифікованої оцінювальної функції $O\Phi'$ співпадає зі знаком оцінювальної функції $O\Phi$. Отже, модифікована оцінювальна функція може бути використана для визначення координат точок траєкторії.

Вираз для знаходження інтенсивності кольору точок отримуємо з виразів (1) та (2):

$$I(x, y) = \frac{I_M}{2} - O\Phi' \quad (3)$$

Розглянемо закон зміни модифікованої оцінювальної функції для різних типів крокових приростів. Тут і далі розглядатимемо випадок другого октанту та будемо вважати, що центр кола співпадає з початком координат. Формули для всіх інших випадків отримуються аналогічно.

У другому октанті при виконанні кроку в напрямку провідної координати ($x_{i+1} = x_i + 1; y_{i+1} = y_i$) значення оцінювальної функції змінюється наступним чином:

$$\begin{aligned} I O'_{i+1} &= \frac{I_M}{2R}(x+1)^2 + \frac{I_M}{2R}y^2 - \frac{I_MR}{2} = \\ &= OO'_i + \frac{I_M}{R}x + \frac{I_M}{2R} \end{aligned}$$

Позначимо $g(x) = \frac{I_M}{R}x$.

Останній вираз можна обчислювати рекурсивно за формулою:

$$g(x+1) = g(x) + \frac{I_M}{R}, \text{ враховуючи, що } g(0) = 0.$$

При виконанні комбінованого кроку ($x_{i+1} = x_i + 1; y_{i+1} = y_i - 1$), оцінювальна функція визначається за формулою:

$$\begin{aligned}
 I O'_{i+1} &= \frac{I_M}{2R}(x+1)^2 + \frac{I_M}{2R}(y-1)^2 - \frac{I_M R}{2} = \\
 &= O O'_i + \frac{I_M}{R}x - \frac{I_M}{R}y + \frac{I_M}{R}.
 \end{aligned}$$

Позначимо $l(y) = \frac{I_M}{R}y$.

Даний вираз можна обчислювати рекурсивно за формулою:

$$l(y-1) = l(y) - \frac{I_M}{R}, \text{ при цьому } l(R) = I_M.$$

Враховуючи наведені формули отримуємо наступний алгоритм антиаліазингу границі кола:

1. Встановлюємо початкові значення змінних:

$$\begin{aligned}
 I'_M &:= I_M \cdot 2^{16}; \quad g := 0; \quad l := I'_M; \quad O\Phi' := 0; \quad T := \frac{I'_M}{R}; \\
 x &:= 0; \quad y := R.
 \end{aligned}$$

Встановлюємо інтенсивність початкової точки: $I(0, R) := \frac{I_M}{2}$.

Дані операції утворюють цикл підготовки до подальшого інтерполювання.

2. Якщо $x > y$, то переходимо до кроку 6.

3. Якщо $O\Phi' \geq 0$, то

$$O\Phi' := O\Phi' + g - l + T;$$

$$x := x + 1; \quad y := y - 1;$$

$$g := g + T; \quad l := l - T,$$

інакше

$$O\Phi' := O\Phi' + g + T/2;$$

$$x := x + 1;$$

$$g := g + T;$$

4. Встановлюємо інтенсивність кольору точки: $I(x, y) := \frac{I_M}{2} - \frac{O\Phi'}{2^{16}};$

5. Перехід до кроку 2;

6. Кінець

Використання змінної $I'_M := I_M \cdot 2^{16}$ замість I_M необхідне для більш точного обчислення виразу $T := I'_M/R$, що дозволяє зменшити накопичення похибки у процесі визначення оцінювальної функції.

На рисунку 2 подано приклад антиаліазингу дуги кола з застосуванням алгоритму, і для порівняння подано коло без антиаліазингу. Чітко видно на скільки можливий ефект на цілому колі, до якого застосовано алгоритм.

Експериментальні дослідження показали, що використання модифікованої оцінювальної функції забезпечило підвищення якості зображення за рахунок згладження ступінчатої траєкторії кола.

Експертні дослідження за методикою Кендалла [8] показали, що коефіцієнт конкордації склав 0,8, що є підтвердження сильної узгодженості експертів, яких було

залучено 10 і які оцінювали якість згладження за запропонованим алгоритмом і алгоритмом Руа.

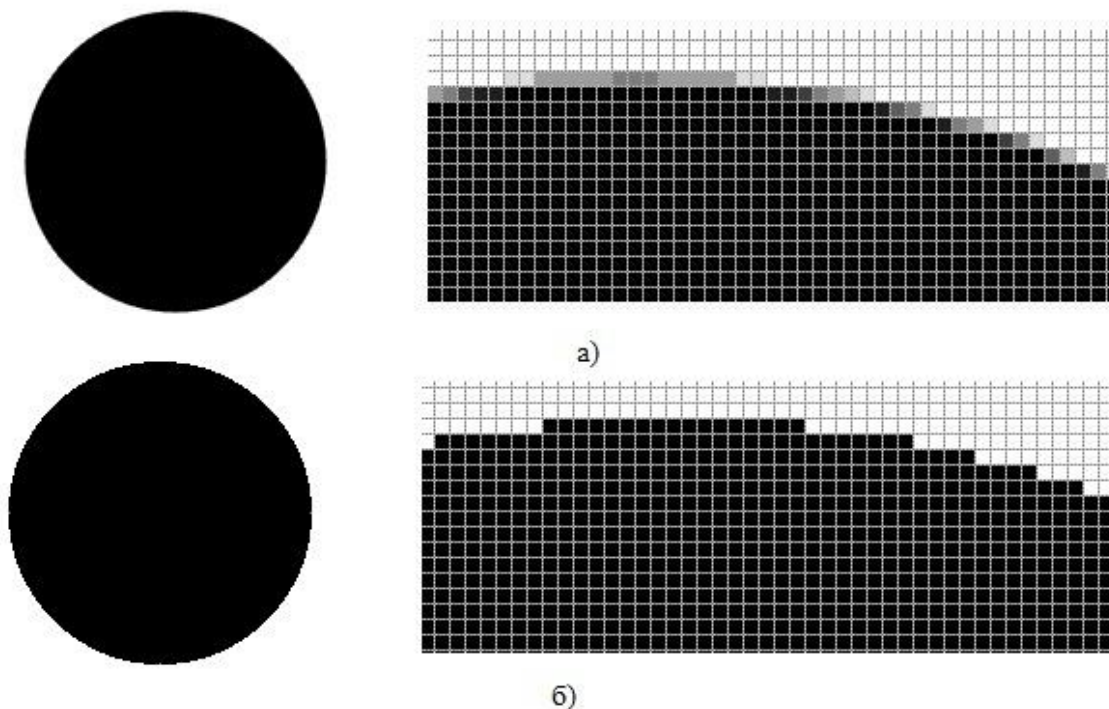


Рис. 2. Приклад антиаліазингу крокової траєкторії кола:
а) з застосуванням алгоритму,
б) без антиаліазингу

Висновки

Даний алгоритм не містить довгих операцій в циклі інтерполювання, що обумовлює його високу швидкість та простоту апаратної реалізації. При цьому він забезпечує таку ж якість зображення, як і алгоритм наведений в [7]. Алгоритм може бути використаний в комп'ютерних системах формування реалістичних зображень.

Література

1. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. / Д. Роджерс / Пер. с англ. / М.: Мир, 1989. – 512 с.
2. Фоли Дж. Основы интерактивной машинной графики / Дж. Фоли, А. Вен Дэм / В 2-х книгах. Кн. 2. Пер. с англ. / М.: Мир, 1985. – 368 с.
3. Crow, Franklin C. // A Comparison of Antialiasing Techniques. IEEE CG & A. /1981 – Vol. 1. – p. 40-47.
4. Курінний М.С. Усунення ефекту аліазингу границі кола. / М. С. Курінний, О. Н. Романюк / “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” / №2, 2001.
5. D. Field. Algorithms for Drawing Simple Geometric Objects on Raster Devices, Ph.D. thesis, Princeton University, 1983.
6. Dan Field. Algorithms for Drawing Anti-aliased Circles and Ellipses. CVG&Image proc. 33, 1-15. 1986.
7. Романюк О. Н. Математичні моделі пікселів для задач антиаліазингу / О. Н. Романюк, М. С. Курінний // Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. - 2002. - №3. - С. 35-47.
8. Орлов А.И. Нечисловая статистика/ А.И. Орлов М.// "МЗ-Пресс", 2004 г., 516 с.