

Метод розпаралелення процедури зафарбовування в системах комп'ютерної графіки

О. Н. Романюк, Ю. Л. Ляшенко, О. П. Гончарук
Вінницький національний технічний університет
Yuri.Lyashenko@gmail.com; honcharuk@gmail.com

Abstract

Romanyuk O.N., Lyashenko Y.L., Goncharuk O.P. The Allocation of the Shading Procedure in Computer Graphics System. The method of concurrent computation of the color intensity within the scan line is suggested. Calculation is going to be implemented on four independent computational units.

Вступ

У машинній графіці величезна обчислювальна складність алгоритмів і потенційно нескінченна складність зображуваних моделей вимагають спеціалізованої апаратної та програмної підтримки. Сьогодні підвищення швидкодії формування графічних зображень досягається, в основному, за рахунок удосконалення елементної бази та технології виготовлення мікросхем, збільшення кількості процесорних блоків та їх тактової частоти. Проте, приріст продуктивності графічних засобів за рахунок цих чинників суттєво відстає від зростання складності задач багатьох галузей застосування тривимірної графіки. Таким чином, можливості існуючих методів і засобів візуалізації не в повній мірі задовольняють вимоги багатьох галузей застосування тривимірної комп'ютерної графіки. Це передбачає розробку високопродуктивних методів формування графічних сцен і підходів до розпаралелювання обчислювального процесу.

Підвищення реалістичності відтворення графічних сцен передбачає не тільки збільшення рівня деталізації поверхонь для коректної апроксимації об'єктів реального світу, усунення артефактів, обумовлених дискретним характером формування графічних зображень, але й використання більш складних моделей освітлення та зафарбовування. Це гостро ставить питання про підвищення продуктивності графічних систем, особливо при формуванні динамічних зображень у реальному часі та в інтерактивному режимі, коли передбачається, що траєкторії руху об'єктів не задаються заздалегідь, а визначаються діями користувача в процесі взаємодії із системою. Недостатня продуктивність графічних систем є, також, завадою до моделювання у сценах фізичних процесів і збільшення кількості динамічних об'єктів.

Тривимірні об'єкти на верхніх етапах графічного конвеєру задаються в просторовому вигляді, тому для створення плоского зображення на екрані необхідно розрахувати інтенсивність освітлення для кожної точки графічного зображення з урахуванням розташування джерел світла та спостерігача, оптичних властивостей поверхонь, характеристик джерел світла та кривизни поверхні. Такі розрахунки потребують значних затрат часу, що є перешкодою до формування динамічних зображень

у реальному масштабі часу, моделювання у сценах фізичних процесів, збільшення деталізованості поверхонь, використання процедурних текстур. Невідповідність потужностей графічних засобів потребам багатьох застосувань комп'ютерної графіки обумовлює протиріччя, для розв'язання якого необхідно розробка високопродуктивних методів і засобів кінцевої візуалізації тривимірних зображень.

Оскільки традиційні методи, засоби та підходи не задовольняють вимогам по продуктивності та реалістичності для багатьох галузей застосування тривимірної комп'ютерної графіки, то актуальною задачею є розробка високопродуктивних методів формування графічних сцен і підходів до розпаралелювання обчислювального процесу.

Аналіз літературних джерел

Серед методів зафарбовування тривимірних об'єктів найбільшого поширення отримали метод Гуро і Фонга [8], які і були використані для модифікації.

У методі Гуро розраховуються значення інтенсивностей для полігональних вершин, які в процесі растеризації лінійно інтерполюються вздовж ребер і рядків сканування. Алгоритмічна та схематична простота методу Гуро, можливість виконання паралельних незалежних обчислень спонукає багатьох науковців продовжувати роботи по удосконаленню цього підходу.

На даному етапі розвитку комп'ютерної графіки більш перспективним вважається метод Фонга, в якому замість значень інтенсивності кольору інтерполюються вектори нормалей, які потім використовуються в функції тонування для обчислення інтенсивності кольору кожного елемента зображення. Метод характеризується по відношенню до методу Гуро значно більшими обчислювальними витратами, однак при цьому досягається краща локальна апроксимація кривизни

поверхні і, як наслідок, отримують більш реалістичні зображення.

На жаль, в обох методах наступна ітерація розрахунку інтенсивності кольору повністю залежить від попередньої.

Метою роботи є розробка методу розпаралелювання процедури зафарбовування поверхонь при формуванні зображень тривимірних об'єктів.

Розпаралелювання процесу обчислення інтенсивностей кольору

Інтенсивність кольору на поверхні другого порядку можна задати таким поліномом:

$$I(x, y) = Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F, (1)$$

де x, y координати точки поверхні, $I(x, y)$ – інтенсивність кольору. Із рівняння видно, що необхідно визначити шість невідомих A, B, C, D, E, F . Це передбачає формування та розв'язання системи із шести рівнянь.

Оскільки, для трикутника задаються інтенсивності кольору тільки в трьох його вершинах, то найпростіше до визначити інтенсивності кольору в середніх точках на ребрах трикутника, що дасть можливість скласти систему із шести рівнянь. Позначимо через $I_1, I_2, I_3, I_{12}, I_{13}, I_{23}$ інтенсивності кольору відповідно у вершинах трикутника та в середніх точках ребер (рис. 1).

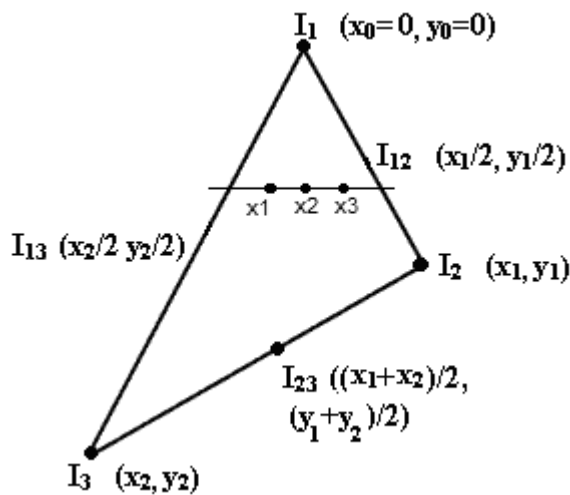


Рисунок 1 – Значення інтенсивностей кольору у виділених точках трикутника

За участю авторів розроблено метод зафарбовування із використанням поверхні другого порядку. Особливість методу полягає у побудові поверхні інтенсивності кольору по їх значенням у вершинах трикутника та трьох точках на його ребрах. З метою спрощення обчислень запропоновано виконувати розрахунки для ортонормованого три-

кутника з трансформацією отриманих результатів на вихідний.

Для підвищення реалістичності авторами запропоновано підхід [7], який полягає у додатковому визначенні максимальних інтенсивностей кольору на ребрах трикутника, а не в їх середніх точках. Такий підхід передбачає більш складну процедуру визначення невідомих коефіцієнтів A, B, C, D, E, F .

Розглянемо значення формули (1) з використанням методу кінцевих різниць із метою зменшення обсягу обчислень і подальшої апаратної реалізації зафарбовування.

Знайдемо:

$$\begin{aligned} I(x+1, y) &= A(x+1)^2 + By^2 + C(x+1)y + \\ &+ D(x+1) + Ey + F = (Ax^2 + By^2 + Cxy + \\ &+ Dx + Ey + F) + 2Ax + A + Cy + D = \\ &= I(x, y) + 2Ax + A + Cy + D, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(x+2, y) &= A(x+2)^2 + By^2 + C(x+2)y + \\ &+ D(x+2) + Ey + F = (Ax^2 + By^2 + Cxy + \\ &+ Dx + Ey + F) + 4Ax + 4A + 2Cy + 2D = \\ &= I(x, y) + 4Ax + 4A + 2Cy + 2D, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(x+3, y) &= A(x+3)^2 + By^2 + C(x+3)y + \\ &+ D(x+3) + Ey + F = (Ax^2 + By^2 + Cxy + \\ &+ Dx + Ey + F) + 6Ax + 9A + 3Cy + 3D = \\ &= I(x, y) + 6Ax + 9A + 3Cy + 3D, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I(x+4, y) &= A(x+4)^2 + By^2 + C(x+4)y + \\ &+ D(x+4) + Ey + F = (Ax^2 + By^2 + Cxy + \\ &+ Dx + Ey + F) + 8Ax + 16A + 4Cy + 4D = \\ &= I(x, y) + 8Ax + 16A + 4Cy + 4D, \end{aligned}$$

Позначимо через n – зміщення по координаті x від точки, що лежить на ребрі та рядку rasterизації. Застосування методу кінцевих різниць вказує на лінійну закономірність між виведеними вище формулами:

$$\begin{aligned} I(x+n, y) &= A(x+n)^2 + By^2 + C(x+n)y + \\ &+ D(x+n) + Ey + F = (Ax^2 + By^2 + Cxy + \\ &+ Dx + Ey + F) + 2Anx + An^2 + nCy + Dn = \\ &= I(x, y) + n(A(2x+n) + Cy + D) \quad (2) \end{aligned}$$

Використовуючи формулу (1) знайдемо прирости інтенсивності кольору з покровим переміщенням $+1x$:

$$Px1 = I(x+2, y) - I(x+1, y) = 2Ax + 3A + Cy;$$

$$Px2 = I(x+3, y) - I(x+2, y) = 2Ax + 5A + Cy;$$

$$Px3 = I(x+4, y) - I(x+3, y) = 2Ax + 7A + Cy.$$

З останніх трьох формул отримуємо, що

$$Px_2 - Px_1 = 2A,$$

$$Px_3 - Px_2 = 2A.$$

Введемо позначення

$$Px = 2Ax + A + Cy + D.$$

Із наведених виразів видно, що:

$$Px_2 = Px + 2A. \quad (3),$$

де Px_2 – приріст інтенсивності кольору в точці, що слідує за точкою із приростом інтенсивності Px .

Аналогічними перетвореннями можна показати, що:

$$Py = -2By + B + Cx - E. \quad (4)$$

З чого можна вивести такі формули для розрахунку інтенсивності кольору при крокових переміщеннях:

$$I(x+1, y) = I(x, y) + Px. \quad (5)$$

$$I(x, y+1) = I(x, y) + Py, \quad (6)$$

$$I(x+1, y+1) = I(x, y) + Px + Py + C. \quad (7)$$

Незалежне формування парних і непарних точок у рядку rasterизації

Пропонується модифікація методу Фонга, суть якого полягає в незалежному визначенні адрес та інтенсивностей кольору парних і непарних точок у рядку rasterизації (рис. 2).

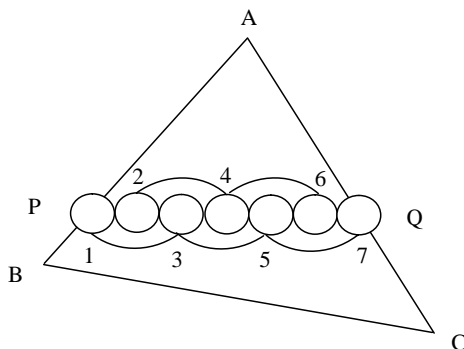


Рисунок 2 - Незалежне зафарбовування парних і непарних точок у рядку rasterизації

У методі використано властивість, яка полягає в тому, що прирости інтенсивностей кольору будь-яких двох сусідніх точок у рядку rasterизації відрізняються на сталу величину (3), яка дорівнює $2A$.

Оскільки прирости інтенсивностей кольору сусідніх парних і непарних точок рядка rasterизації відрізняються на постійну величину, то можливо організувати їх незалежне зафарбовування.

Для визначення інтенсивності кольору парних точок рядка rasterизації необхідно спочатку визначити інтенсивність кольору в наступній за

першою граничною точкою рядка rasterизації (на рис. 2 – точка 2). Для цього до інтенсивності кольору в точці P додається приріст інтенсивності Px .

В подальшому значення інтенсивностей кольору парних точок визначається шляхом накопичувального додавання.

Рядок rasterизації може мати парну або непарну кількість точок. Коли рядок має парну кількість точок, то кількість ітерацій по зафарбовуванню парних і непарних точок рядка rasterизації збігається. У випадку, коли рядок має непарну кількість точок, то кількість ітерацій по зафарбовуванню парних точок на одиницю менша, ніж при зафарбовуванні непарних точок. У зв'язку з цим, в останньому такті зафарбовування рядка rasterизації зафарбовувач, який відповідає за формування парних точок, блокується.

Розпаралелювання процесу обчислення

Виконаємо розпаралелювання процесу обчислення інтенсивності кольору за допомогою чотирьох обчислювальних блоків. Нехай обчислювальний модуль має структуру, яку зображено на рисунку 3. Де P_1, P_2, P_3 і P_4 – обчислювальні блоки. Після обрахунку на блоці P_1 отриману інформацію можна передавати на блоки P_2, P_3 і P_4 .

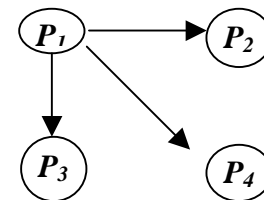


Рисунок 3 – Структура обчислювального модуля із чотирьох блоків

Із вище наведених формул видно, щоб обчислити інтенсивність в деякій точці, необхідно знати інтенсивність кольору її сусідньої точки та різницю інтенсивностей кольору двох попередніх сусідніх точок. Для досягнення більшої продуктивності інтенсивність кольору будемо визначати на двох рядках rasterизації одночасно. Для цього необхідно робити покрокові переміщення типу $+1y$ та $+1x$.

На рисунку 4 схематично зображено сусідні рядки rasterизації та розподілення навантаження між обчислювальними блоками на обрахунок інтенсивності кольору на них

Оскільки точка A є першою точкою на рядку растеризації, то інтенсивність кольору в ній будемо рахувати за формулою 1. Після цього можна рахувати інтенсивність кольору в точці B – за формулою 5, E – за формулою 6, F – за формулою 7.

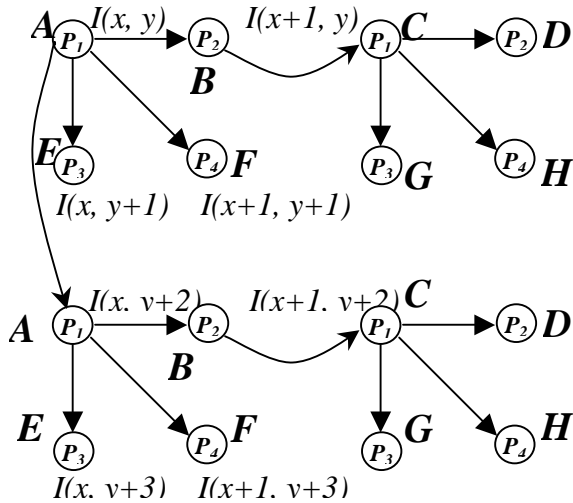


Рисунок 4 – Сусідні рядки растеризації

Для того, щоб обрахувати значення інтенсивності кольору $I(x+2)$, тобто в точці C , необхідно знайти різницю інтенсивностей кольору між точками A та B , використати формулу (3) для знаходження приросту інтенсивності кольору в точці C і взявши отримані дані підставити у формулу 5. Оскільки відома інтенсивність кольору в точці C , то можна порахувати значення інтенсивностей кольору в точках D, G, H , використавши формули 5, 6, 7 відповідно. Такі ж самі крокові переміщення на наступні точки та обчислення необхідно виконувати до закінчення рядка растеризації. Після завершення обрахунків для одного рядка

растеризації, для переходу на наступний рядок растеризації необхідно виконувати крокове переміщення $+2y$, оскільки формули 6 і 7 передбачають крокове переміщення $+1y$.

Висновки

Запропоновано декілька підходів до розпаралелювання обчислень інтенсивності кольору в точках трикутника на рядку растеризації. Запропоновано метод розпаралелювання обчислення між чотирма блоками, який передбачає попередній обрахунок значень інтенсивності кольору в точках, які знаходяться на сторонах трикутника. Перевагою використання такого методу є збільшення швидкодії за рахунок відсутності операцій множення. Також продуктивність зростає за рахунок крокового переміщення $+2y$. Використання методу кінцевих різниць у формулі (3) підвищує продуктивність у 12 разів. Додатково продуктивність зростає за рахунок розподілення обчислень між чотирма обчислювальними блоками, де блоки P_2, P_3 та P_4 використовують результати обчислень блока P_1 (рис. 4). Недоліком даного підходу є необхідність зберігання в пам'яті проміжних даних, які отримуються за методом кінцевих різниць для обрахунку різниці інтенсивності кольору між сусідніми точками.

Запропоновано метод незалежного обчислення інтенсивностей парних та непарних точок у рядку растеризації для методу Фонга. Використання даного методу дозволяє підвищити продуктивність зафарбовування удвічі.

Література

1. Duff T. Smoothly shaded rendering of polyhedral objects on raster displays, Computer Graphics Vol. 13, 2. Feb. 1979, pp. 270-275.
2. Deering W, e.a. The Triangle Processor and Normal Vector Shader A VLSI System for High Performance Graphics, Computer Graphics Vol. 22, 4. April 1988, pp. 21-30.
3. Романюк О. Н. Адаптивне використання різних методів зафарбовування при формуванні тривимірних графічних фігур / О. Н. Романюк // Нові технології. – 2005. – № 3 (9). – С. 78-86.
4. Романюк О. Н. Адаптивний метод зафарбовування поверхонь / О. Н. Романюк, А. В. Чорний, А. В. Пугачова // Сборник научных трудов Национального горного университета. – 2004. – Т. 2. – № 19. – С. 208-218.
5. Matt Pharr and Greg Humphreys, Physically Based Rendering: From Theory to Implementation / Pharr Matt, Humphreys Greg // Morgan Kaufmann, July 2004. – 1020 p.
6. Штрассер В. Архитектуры высокопроизводительных графических систем / В. Штрассер, А. Шиллинг, Г. Книттель // Открытые системы. – 1995. – № 5
7. Романюк А. Н. Эффективные алгоритмы распараллеливания процедуры рендеринга при формировании реалистических изображений / А. Н. Романюк / 11-th International Conference on Computer Graphics GraphiCon '2001: труды конференции, Nizhny Novgorod, September 10 – September 14, - 2001. — С. 80—81
8. Калютов А. В. Введение в фотореалистическую графику / А. В. Калютов. – СПб. : Политехника, 2006. – 118 с.

Надійшла до редакції 30.03.2010