

УДК 004.925

МЕТОД ПОФРАГМЕНТНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ КОЛЬОРУ ТОЧОК ЗОБРАЖЕННЯ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

Романюк О. Н., Обідник М. Д., Романюк С. О.
Вінницький національний технічний університет

Запропоновано метод пофрагментного розрахунку інтенсивності кольору точок зображення графічних об'єктів, який дозволяє незалежно розраховувати інтенсивність кольору в складових точках трикутника і підвищити продуктивність зафарбовування за рахунок розпаралелювання обчислювального процесу.

Вступ. У процесі формування зображення тривимірної сцени використовується велика кількість однотипних, незалежних одна від одної операцій, що дає можливість розпаралелити розрахунки. Тому в сучасних графічних системах збільшують кількість процесорів, що можуть виконувати обчислення одночасно. Передові професійні відеокарти містять 2048 – 3072 потокових процесорів [1, 2]. Це забезпечує виконання паралельної обробки на рівні групи примітивів, коли полігони обробляються одночасно та незалежно один від одного. При цьому інтерполяційні методи векторів та інтенсивності кольору використовують покрокові алгоритми і тому відповідні розрахунки не можуть виконуватись одночасно. Для того, щоб забезпечити виконання паралельної обробки на рівні елемента зображення, необхідно знайти співвідношення для розрахунку освітлення у кожній точці полігону, що не будуть залежати від проміжних значень.

Метод пофрагментного визначення інтенсивності кольору точок зображення

За основу для виведення формул паралельного визначення векторів нормалей доцільно використаємо метод сферично-кутової інтерполяції, запропонований у роботі [3]. Формула для сферично-кутової інтерполяції векторів має вигляд:

$$\vec{N}_t = \vec{N}_A \cdot \cos((t-1) \cdot \psi) + \vec{N}_K \sin((t-1) \cdot \psi), \quad (1)$$

де \vec{N}_t – поточний вектор нормалі, що розраховується; t – позиція пікселя у РРТ (рядок растеризації трикутника), $t \in [0, l]$; \vec{N}_K – допоміжний вектор, який обчислюється за формулою

$\vec{N}_K = \vec{N}_B - \vec{N}_A(\vec{N}_B \cdot \vec{N}_A) / \sqrt{1 - (\vec{N}_B \cdot \vec{N}_A)^2}$ [3]; \vec{N}_A і \vec{N}_B – нормалі у початковій та кінцевій точках РРТ; ψ – приріст кута між векторами у РРТ, що розраховується за формулою $\psi = \varphi / (w - 1)$, де $\varphi = \arccos(\vec{N}_A \cdot \vec{N}_B)$ – кут між векторами \vec{N}_A і \vec{N}_B , а w – кількість сегментів у РРТ.

Залежність (1) дозволяє визначати проміжні вектори у РРТ незалежно один від одного. Проте вона має недолік – для розрахунку використовуються тригонометричні функції, а обчислення ψ вимагає виконання операції арккосинуса. Співвідношення для паралельного розрахунку векторів нормалей у кожній точці РРТ можна записати у загальному вигляді:

$$\vec{N}_t = f(t, \vec{N}_1, \vec{N}_2, \cos\psi), \quad (2)$$

де \vec{N}_t – поточний вектор нормалі у РРТ, \vec{N}_1, \vec{N}_2 – вектори нормалі у перших двох точках РРТ.

На основі формули (1) співвідношення (2) можна переписати у вигляді [3]:

$$\vec{N}_t = 2\vec{N}_{t-1} \cdot \cos(\psi) - \vec{N}_{t-2}. \quad (3)$$

На основі співвідношення (3) можна вивести формули для всіх точок РРТ, починаючи з третьої, при цьому вхідними значеннями для розрахунку будуть нормалі у першій і другій точках, а також значення $\cos(\psi)$. На основі таких формул можна побудувати спеціалізовану структуру, яка паралельно розраховує нормалі у всіх точках РРТ.

Розглянемо співвідношення для розрахунку проміжних векторів нормалей у РРТ. Позначимо вектори нормалі як $\vec{N}_1, \vec{N}_2, \vec{N}_3, \dots, \vec{N}_{w+1}$, причому $\vec{N}_1 = \vec{N}_A$, а $\vec{N}_{w+1} = \vec{N}_B$.

Підставимо $t = 3$ у співвідношення (3):

$$\vec{N}_3 = 2\vec{N}_2 \cdot \cos(\psi) - \vec{N}_1. \quad (4)$$

Перепишемо співвідношення (3) для $t = 4$:

$$\vec{N}_4 = 2\vec{N}_3 \cdot \cos(\psi) - \vec{N}_2.$$

Для того, щоб отримати залежність \vec{N}_4 тільки від вхідних значень \vec{N}_1, \vec{N}_2 і $\cos(\psi)$, підставимо значення \vec{N}_3 з формули (4) у попереднє співвідношення:

$$\vec{N}_4 = (2\vec{N}_2 \cdot \cos(\psi) - \vec{N}_1) \cdot 2\cos(\psi) - \vec{N}_2 =$$

$$\begin{aligned}
 &= 4\vec{N}_2 \cdot \cos^2(\psi) - 2\vec{N}_1 \cdot \cos(\psi) - \vec{N}_2 = \\
 &= \vec{N}_2 \cdot (4 \cdot \cos^2(\psi) - 1) - \vec{N}_1 \cdot 2 \cos(\psi). \quad (5)
 \end{aligned}$$

Аналогічно виводяться формули для $\vec{N}_5 \div \vec{N}_8$:

$$\vec{N}_5 = \vec{N}_2 \cdot (8 \cos^3 \psi - 4 \cos \psi) - \vec{N}_1 \cdot (4 \cos^2 \psi + 1). \quad (6)$$

$$\vec{N}_6 = \vec{N}_2 \cdot (16 \cos^4 \psi - 12 \cos^2 \psi + 1) - \vec{N}_1 \cdot (8 \cos^3 \psi - 4 \cos \psi). \quad (7)$$

$$\vec{N}_7 = \vec{N}_2 \cdot (32 \cos^5 \psi - 32 \cos^3 \psi + 6 \cos \psi) - \vec{N}_1 \cdot (16 \cos^4 \psi - 12 \cos^2 \psi + 1). \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 \vec{N}_8 = \vec{N}_2 \cdot (64 \cos^6 \psi - 80 \cos^4 \psi + 24 \cos^2 \psi - 1) - \\
 - \vec{N}_1 \cdot (32 \cos^5 \psi - 32 \cos^3 \psi + 6 \cos \psi). \quad (9)
 \end{aligned}$$

Таким чином, формули (4)÷(9) дозволяють визначити проміжні вектори нормалей $\vec{N}_3 \div \vec{N}_8$. При визначенні кожної наступної нормалі збільшується обчислювальна складність формул. Аналіз показав, що для високодеталізованих поверхонь довжина РРТ, як правило, не перевищує 9 точок (рисунок 1).

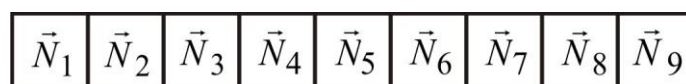


Рис. 1. Вектори нормалей у РРТ довжиною 9 точок

Враховуючи співвідношення (1) було виведено співвідношення для розрахунку \vec{N}_2 (для РРТ довжиною 9 точок):

$$\vec{N}_2 = \vec{N}_A \cos(\psi) + \frac{(\vec{N}_B - \vec{N}_A \cdot \cos(\varphi))}{8 \cdot (16 \cos^7(\psi) - 24 \cos^5(\psi) + 10 \cos^3(\psi) - \cos(\psi))}. \quad (10)$$

Виразимо кут φ через кут ψ для РРТ довжиною 9 точок:

$$\psi = \varphi / (w - 1) = \varphi / (9 - 1) = \frac{\varphi}{8} \quad \Rightarrow \quad \varphi = 8\psi.$$

Вираз (4.10) містить апаратно трудомістку операцію ділення. Розкладемо його у ряд Чебишова, обмежившись трьома членами.

Розглянемо діапазон, у якому може знаходитись $\cos(\psi)$. Визначимо, що кут між нормаллями, розміщеними в початковій і кінцевій точках рядка растеризації, не може перевищувати 90° [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Тоді кут ψ не може перевищувати $90^\circ / 8 = 11,25^\circ$. Отже $\cos(\psi)$ може змінюватись у діапазоні $[0,98; 1]$. Враховуючи ці дані, розкладемо дробовий вираз у

ряд Чебишова:

$$\frac{1}{8 \cdot \left(16 \cos^7(\psi) - 24 \cos^5(\psi) + 10 \cos^3(\psi) - \cos(\psi)\right)} \approx \\ \approx 62,42 \cos^2(\psi) - 127,27 \cos(\psi) + 64,98. \quad (11)$$

Відносна похибка апроксимації розглянутого виразу δ_{poli} трьома членами поліному Чебишова (11) не перевищує 0,17%.

Ураховуючи рівняння (10), а також наближення (11), можна записати:

$$\vec{N}_2 = \vec{N}_A \cdot \cos(\psi) + \left(\vec{N}_B - \vec{N}_A \cdot \cos(\varphi)\right) \times \\ \times \left(62,42 \cdot \cos^2(\psi) - 127,27 \cdot \cos(\psi) + 64,98\right). \quad (12)$$

Отже, використовуючи формули (4)÷(9) і (12), можна визначити всі проміжні вектори рядка rasterизації, вказані на рисунку 1. Для цього у якості вхідних даних використовуються значення \vec{N}_A , \vec{N}_B , $\cos(\varphi)$ і $\cos(\psi)$. Враховуючи, що \vec{N}_A і \vec{N}_B – нормалізовані вектори, то $\cos(\varphi) = \vec{N}_A \cdot \vec{N}_B$. Оскільки $\psi = \varphi/8$, запишемо вираз для визначення $\cos(\psi)$:

$$\cos(\psi) = \cos\left(\frac{\varphi}{8}\right) = \sqrt{\frac{1 + \cos\left(\frac{\varphi}{4}\right)}{2}} = \sqrt{\frac{1 + \sqrt{\frac{1 + \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{2}}}{2}} = \\ = \sqrt{\frac{1 + \sqrt{\frac{1 + \sqrt{\frac{1 + \cos(\varphi)}{2}}}{2}}}{2}}. \quad (13)$$

Вираз (13) містить складні з обчислювальної точки зору операції ділення та визначення квадратного кореня, тому розкладемо його у ряд Чебишова, обмежившись трьома членами. Оскільки кут між нормальми, розміщеними в початковій та кінцевій точках рядка rasterизації, не може перевищувати 90° , то $\cos(\varphi)$ може набувати значення у діапазоні $[0; 1]$. Запишемо апроксимаційний вираз для формули:

$$\cos(\psi) \approx -0,0042 \cdot (\vec{N}_A \cdot \vec{N}_B)^2 + 0,023 \cdot (\vec{N}_A \cdot \vec{N}_B) + 0,981. \quad (14)$$

При апроксимації формули для визначення $\cos(\psi)$ за допомогою (13) максимальна відносна похибка $\delta_{\cos(\psi)}$ на всьому діапазоні не перевищує 0.005%.

Розроблені формули (4)÷(9) дозволяють розраховувати паралельно нормалі у РРТ. Для виконання цих розрахунків необхідно розрахувати нормаль \vec{N}_1 за формулою (10), а також значення $\cos(\psi)$ за формулою (14).

На основі виведених співвідношень можна побудувати апаратні блоки для розрахунку $\cos \psi$, вектора \vec{N}_2 , а також проміжних векторів нормалей $\vec{N}_3 - \vec{N}_8$ у рядку растеризації трикутника (РРТ). Для прикладу, структурну схему блока для обчислення \vec{N}_4 наведено на рисунку 2.

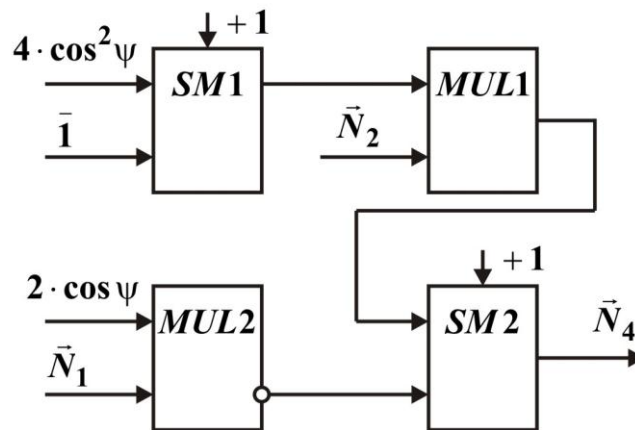


Рис. 2. Структурна схема блока визначення вектора нормалі \vec{N}_4

З використанням блоків розрахунку векторів нормалей $\vec{N}_2 - \vec{N}_8$ можна розробити базовий блок (ББ) для паралельного обчислення векторів нормалей у РРТ, який визначає проміжні вектори у два етапи: на першому етапі розраховуються значення $\cos \psi$ і \vec{N}_2 , а на другому етапі паралельно обчислюються проміжні вектори нормалей $\vec{N}_3 - \vec{N}_8$.

Для задач зафарбовування можна використовувати попередньо розраховану текстуру освітлення, яка може містити набір текстур різних фіксованих розмірів для реалізації технології MIP-mapping.

На основі блоків ББ розроблено доцільно побудувати матричний блок (МБ), за допомогою якого розраховуються всі проміжні вектори в матриці розмірністю 9×9 точок. Для розрахунку проміжних векторів у такій матриці як вхідні дані використовуються вектори, розміщені в її кутових точках. МБ складається з одинадцяти ББ, перші два з яких

розраховують вектори нормалі у лівому та правому крайніх стовпцях матриці, а інших дев'ять – усі проміжні вектори у рядках матриці.

Об'єднавши три матричних блоки для розрахунку проміжних векторів розмірністю 9×9 точок, можна утворити блок визначення нормалей (БВН) розмірністю 17×17 точок, при цьому суміжні рядки та стовпці матричних блоків є спільними. На основі БВН розмірністю 17×17 точок запропоновано структуру спеціалізованого процесора для розрахунку текстури освітлення. Структуру спеціалізованого процесора для зафарбовування полігонів наведено на рисунку 3.

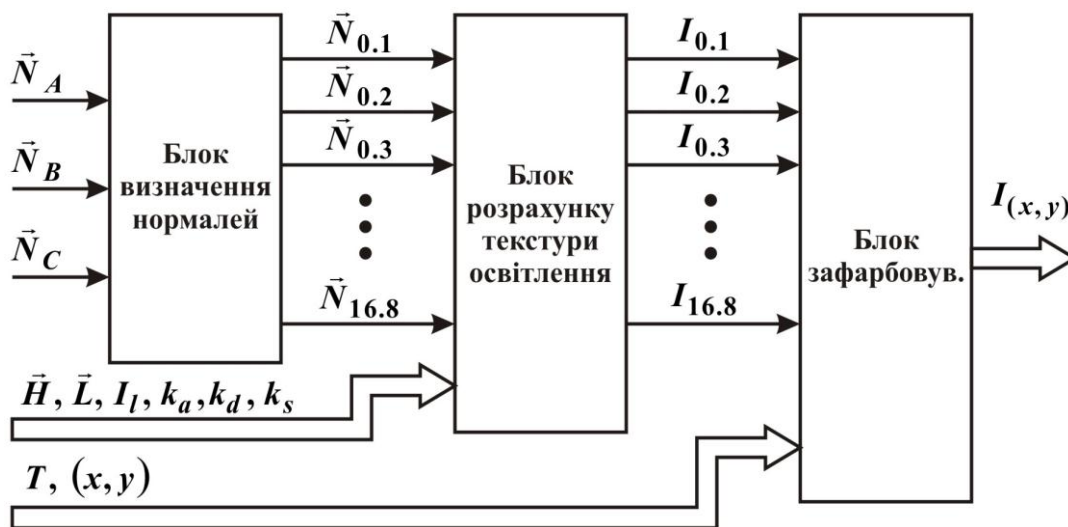


Рис. 3. Структура спеціалізованого процесора для зафарбовування полігонів

На входи спеціалізованого процесора подаються вектори нормалі у вершинах полігону \vec{N}_A , \vec{N}_B , \vec{N}_C , вектор півшляху \vec{H} і вектор \vec{L} , що задає напрямок на джерело світла, інтенсивність кольору джерела світла I_l , коефіцієнти фонового, дифузного та спекулярного відбиття k_a , k_d і k_s відповідно, а також текстура кольору T разом зі своїми текстурними координатами (x, y) .

Розмірність 17×17 точок БВН вибрано таким чином, щоб при визначенні вектора у середній точці будь-якого з рядків цього блока можна було використати принцип дихотомії. З іншої сторони, між 17 пікселями є 16 одиничних проміжків.

Висновки. Запропонований метод пофрагментного визначення інтенсивності кольору передбачає паралельний розрахунок векторів нормалей у рядку растеризації. Виведені співвідношення можуть використовуватись для незалежного обчислення векторів нормалей у

рядку растеризації. Розраховані за запропонованим методом вектори не потребують подальшої нормалізації, оскільки вони є одиничними. Таким чином, запропонований метод дозволяє реалізувати розпаралелення обчислень, необхідних для формування зображення графічної сцени, на рівні елемента зображення.

Література

1. Горбань П. NVIDIA выпускает графическую демонстрацию Kepler [Электронный ресурс] / П. Горбань – 2012. – Режим доступа: <http://nvworld.ru/news/nvidia-release-new-dawn-demo/>.
2. AMD представила первые гибридные процессоры в серии FirePro. [Электронный ресурс] / Источник: AMD, 2012. – Режим доступа: <http://www.ferra.ru/ru/system/news/2012/08/08/AMD-APU-FirePro-A300-A320/>.
3. Романюк О. Н. Коректне зафарбовування тривимірних зображень при використанні сферично-кутової інтерполяції векторів нормалей / О. Н. Романюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2007. – № 2(9). – С. 186–191.

Надійшла до редколегії 12.06.2013