

УДК 004.925.6

DOI: 10.15587/2313-8416.2018.141123

АДАПТИВНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДИFUЗНОЇ ТА СПЕКУЛЯРНОЇ СКЛАДОВИХ КОЛЬОРУ ДЛЯ РЕНДЕРИНГУ ЗОБРАЖЕНЬ ОБЛИЧЬ ПРИ ПЛАНУВАННІ ПЛАСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

© С. В. Павлов, С. О. Романюк, М. Л. Нечипорук

Формування складових кольору зображень ділянок обличчя є складною обчислювальною задачею, оскільки для кожного пікселя поверхні необхідно обчислити інтенсивність кольору, для чого необхідно визначити одиничні векторів до джерела світла та нормалі до поверхні. Тому актуальною задачею є спрощення процедури зафарбовування без втрати реалістичності кінцевого зображення.

Запропоновано для зафарбовування використовувати адаптивно поліноми другого та третього степенів залежно від кривизни поверхні. Для поліному третього степеня отримано апроксимаційну формулу для визначення дифузної та спекулярної складових кольору. Запропоновано апаратні засоби для визначення коефіцієнтів та апроксимаційного поліному

Ключові слова: рендеринг, дифузна та спекулярна складові кольору, 3D-зображення, пластична хірургія, зображення обличчя

1. Вступ

Сьогодні операційне втручання при проведенні пластичної хірургії можна попередньо оцінити за допомогою побудови 3D моделі. Це дає можливість зменшити розбіжності та невдоволення з боку пацієнтів і звести ризик від подібних операцій до мінімальних значень. З'явилася унікальна можливість завчасно побачити, як буде виглядати особа після роботи пластичних хірургів.

При формуванні 3D-зображення людини необхідно з максимальною точністю відтворити реальне лице. При цьому важливо реалістично передати кольорну гаму. Тому до формування дифузної та спекулярної складових кольору висуваються підвищені вимоги.

Формування дифузної складової кольору зображень ділянок обличчя є складною обчислювальною задачею, оскільки для кожного пікселя поверхні необхідно обчислити інтенсивність кольору, для чого необхідно визначити скалярний добуток одиничних векторів до джерела світла та нормалі до поверхні. Визначення одиничних векторів передбачає нормалізацію вихідних векторів, яка потребує виконання трудомістких операцій множення, ділення та знаходження квадратного кореня. Тому актуальною задачею є спрощення процедури знаходження дифузної складової кольору без суттєвої втрати реалістичності кінцевого зображення.

2. Аналіз літератури

Дифузне відбиття характерно для матових і шорстких поверхонь із хаотичними нерівностями, розміри яких співставні з довжиною хвилі або перевищують її [1, 2]. Дифузне відбиття визначає видимість навколишніх тіл, оскільки кожна точка освітленої поверхні випромінює відбиті промені в усі сторони. При наявності в сцені точкового джерела світла [3] інтенсивність дифузного відбиття пропорційна косинусу кута між нормаллю до поверхні й напрямком на джерело світла \vec{L} [4]. У цьому випадку для обчислення інтенсивності дифузного відбиття застосовують закон косинусів Ламберта [3, 4]

$$I_d = I_0 \cdot k_d \cdot \cos \varphi,$$

де I_0 – інтенсивність джерела світла, $k_d \in [0, 1]$ – коефіцієнт дифузного відбиття, φ – кут між вектором \vec{L} і нормаллю \vec{N} до поверхні (рис. 1).

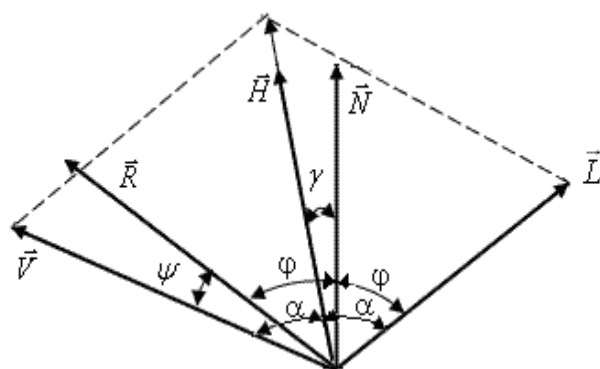


Рис. 1. Вектори нормалей до точки поверхні

У комп'ютерній графіці найчастіше використовують модель визначення спекулярної складової кольору Б. Фонга [3, 5], що має вигляд

$$I_s = I \cdot \varpi(\varphi, \lambda) \cdot \cos^n \psi,$$

де $\varpi(\varphi, \lambda)$ – крива відбиття, що визначає відношення дзеркально відбитого світла до падаючого як функцію кута падіння θ і довжини хвилі λ , n – коефіцієнт спекулярності поверхні.

Функція $\varpi(\varphi, \lambda)$ складна, тому її у більшості випадків заміняють константою k_s , яку визначають експериментально або вибирають з естетичних міркувань. У ДФВЗ Фонга [2, 6] $\cos \psi = \vec{V} \cdot \vec{R}$, де $\vec{R} = 2 \cdot (\vec{L} \cdot \vec{N}) \cdot \vec{N} - \vec{L}$. Вектор \vec{R} називають вектором дзеркального відбиття [3]. У дистрибутивній функції Бліна [3], яка історично з'явилася пізніше ДФВЗ Фонга, замість $\cos \psi$ використовують $\cos \gamma = \vec{N} \cdot \vec{H}$, де

$$\vec{N} = (\vec{L} + \vec{V}) / |\vec{L} + \vec{V}|.$$

У більшості випадків при зафарбовуванні за Фонгом використовуються моделі освітлення Бліна та Фонга [2, 6]. Це пояснюється тим, що вказані ДФВЗ є похідними від косинуса кута між векторами, які легко знайти через їх скалярний добуток. Коли джерело світла та спостерігач розташовані на достатньо великій відстані від об'єкта (найпоширеніший випадок у комп'ютерній графіці), вектор \vec{N} для моделі Бліна розраховується один раз для кожного трикутника. У зв'язку з цим у більшості випадків для зафарбовування поверхонь за методом Фонга використовується модель освітлення Бліна.

Визначення дифузної та спекулярної складових кольору є складною обчислювальною задачею [7, 8], що передбачає розробку нових методів і засобів

3. Мета та задачі дослідження

Мета статті – розробка методу підвищення продуктивності визначення інтенсивності спекулярної та дифузної складових світла за рахунок використання різних апроксимаційних поліномів залежно від кривизни поверхонь різних ділянок обличчя людини.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

1. Розробити апроксимаційний поліном третьої степені.
2. Розробити апаратні засоби для визначення інтенсивностей складових кольору.
3. Виділити на ділянці обличчя характерні зони та надати рекомендації щодо використання для них поліномів різних степенів

4. Розробка адаптивного методу визначення дифузної та спекулярної складових кольору для рендерингу зображень обличчя при плануванні пластичних операцій

У [8] для знаходження дифузної складової кольору пропонується рядок rasterизації розбити на рівні інтервали, за виключенням останнього, на кожному з яких використати лінійне інтерполювання. Запропонований метод має високу ефективність тільки для поверхонь з малою кривизною. В іншому випадку для забезпечення прийнятної точності необхідно розбивати рядок rasterизації на велику кількість інтервалів, що суттєво зменшує ефективність розрахунків. Крім того, можливі появи артефактів на межах інтервалів, оскільки не враховується диференційованість для кривої інтенсивності кольору.

Використання квадратичної інтерполяції [9] для знаходження інтенсивностей складових кольору дає можливість збільшити розміри інтервалів, але використання параболи в якості кривої інтенсивності кольору може спотворити реальну криву, і, як наслідок, призвести до низької точності розрахунків.

Використаємо для знаходження інтенсивності складової кольору на поточному інтервалі рядка rasterизації такий поліном третьої степені,

$$I_{i,t} = A_i \cdot t^3 + B_i \cdot t^2 + C_i \cdot t + D_i$$

де t – параметрична змінна, A_i, B_i, C_i, D_i – невідомі,

які можна знайти шляхом визначення інтенсивностей кольору в чотирьох точках інтервалу, на які розбито рядок rasterизації. Знайдемо невідомі $A_i, B_i, C_i, D_i, I_{i,t}$ – інтенсивність дифузної чи спекулярної складових кольору.

Очевидно, що при $t=0$ $I_{i,t} = D_i$. У кінцевій точці інтервалу $t=1$. Тому $I_{i,p} = A_i + B_i + C_i + D_i$. У середній точці інтервалу $t=1/2$, тому

$$I_{i,c} = \frac{A_i}{8} + \frac{B_i}{4} + \frac{C_i}{2} + D_i.$$

$$I_{i,c} = \frac{A_i}{64} + \frac{B_i}{16} + \frac{C_i}{4} + D_i.$$

Таким чином, для знаходження невідомих A_i, B_i, C_i, D_i можна скласти таку систему рівнянь

$$\begin{cases} I_{i,l} = D_i, \\ I_{i,p} = A_i + B_i + C_i + D_i, \\ I_{i,c} = \frac{A_i}{8} + \frac{B_i}{4} + \frac{C_i}{2} + D_i, \\ I_{i,c2} = \frac{A_i}{64} + \frac{B_i}{16} + \frac{C_i}{4} + D_i. \end{cases}$$

Розв'язок наведеної системи рівнянь дає такі формули для визначення невідомих коефіцієнтів:

$$A = \frac{8(I_2 + 8 \cdot I_4) - 8(I_1 + 2 \cdot I_3)}{3}$$

$$B = 2(7 \cdot I_1 - I_2 + 10 \cdot I_3 - 16 \cdot I_4)$$

$$C = \frac{I_2 + 32 \cdot I_4 - 7 \cdot I_1 - 4 \cdot I_3}{3}, \quad D = I_1,$$

Використаємо для складання системи рівнянь такі точки інтервалу: $t=0, t=\frac{1}{2}, t=\frac{3}{4}, t=1$. Отримаємо таку систему рівнянь

$$\begin{cases} I_{i,l} = D_i, \\ I_{i,p} = A_i + B_i + C_i + D_i, \\ I_{i,c} = \frac{A_i}{8} + \frac{B_i}{4} + \frac{C_i}{2} + D_i, \\ I_{i,c2} = \frac{A_i \cdot 27}{64} + \frac{B_i \cdot 9}{16} + \frac{C_i \cdot 3}{4} + D_i. \end{cases}$$

Розв'язком системи є

$$A = 8 \cdot (I_2 + 2 \cdot I_3) - \frac{8 \cdot (8 \cdot I_4 + I_1)}{3},$$

$$B = 2 \cdot (3 \cdot I_1 - 5 \cdot I_2 - 14 \cdot I_3 + 16 \cdot I_4),$$

$$D = I_1, \quad C = 3 \cdot (I_2 + 4 \cdot I_3) - \frac{13 \cdot I_1 + 32 \cdot I_4}{3}.$$

У наведених формулах є багато множників на

ступінь двійки, що спрощує апаратну реалізацію, оскільки в цьому випадку мікрооперацію множення можна замінити на мікрооперацію монтажного зсуву. Крім того, багато множників можна задати сумою значень, які дорівнюють степені двійки, наприклад, $10 \cdot I = 8 \cdot I + 2 \cdot I$. Це також дозволяє замінити мікрооперацію множення на додавання та зсув. З огляду на це найдоцільнішим є перший випадок.

Ділення на 3 також можна реалізувати з використанням зсуву та додавання. Так, наприклад,

$$\frac{1}{3} \approx \frac{1}{2} - \frac{1}{8} - \frac{1}{32} - \frac{1}{128}$$

У цьому випадку відносна похибка визначення частки не перевищує 0,79 %.

На рис. 2 наведено функціональну схему блоку визначення частки $I/3$.

На рис. 3 наведено для прикладу апаратну реалізацію множника B_i без виконання операцій множення та ділення шляхом додавання операндів, зсунутих в сторону старших розрядів.

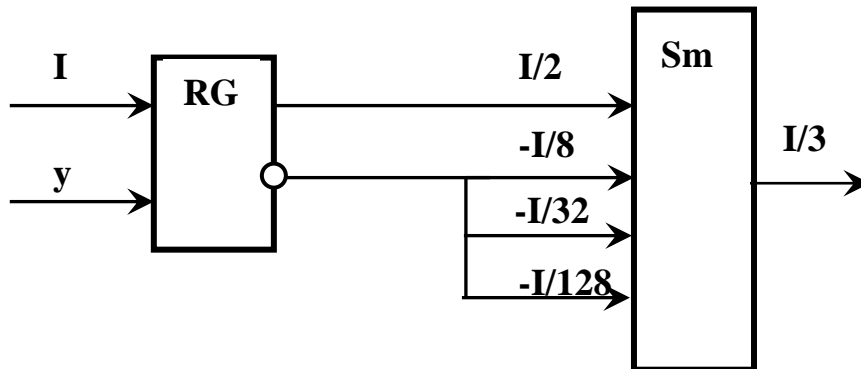


Рис. 2 Функціональна схема блоку визначення частки $I/3$

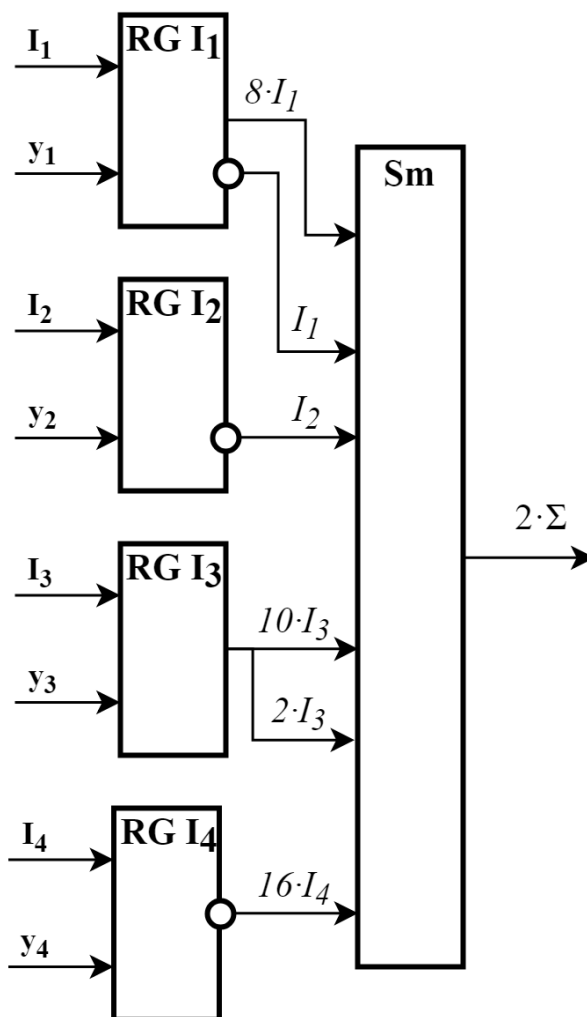


Рис. 3. Функціональна схема блоку для визначення коефіцієнта B_i

Аналогічною є побудова блоків для визначення інших коефіцієнтів.

На рис. 4 наведено функціональну схему блоку для визначення інтенсивностей кольору з використанням поліному третього степеня. Для цього використано таку залежність.

$$I_{i,t} = A_i \cdot t^3 + B_i \cdot t^2 + C_i t + D_i = \\ = t \cdot (t \cdot (A_i \cdot t + B_i) + C_i) + D_i.$$

У RG заноситься значення B_i , а на вхід $MX1$ подається значення A_i , яке в блоці MUL множиться зі значенням t . Тому на виході суматора Sm ви-

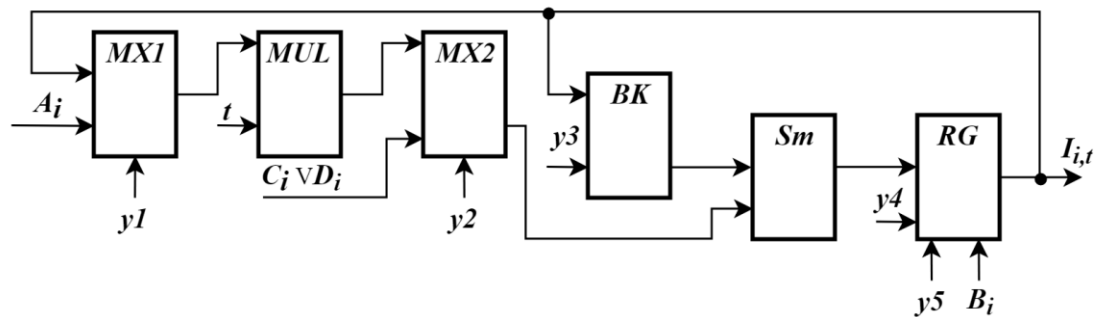


Рис. 4. Функціональну схему блоку для визначення інтенсивностей кольору з використанням поліному третього степеня

У подальшому отримане значення множиться на t . У цьому випадку блок ключів обнулює значення операнда, що зберігається в регістрі RG . Блок ключів переключають в режим передачі операнда. У подальшому на вхід мультиплектора $MX2$ подають значення D_i , яке додається до операнда $t \cdot (t \cdot (A_i \cdot t + B_i) + C_i)$, що забезпечує отримання на виході регістра RG значення $I_{i,t}$.

На рис. 5 наведено розбиття зображення обличчя людини на характерні ділянки.

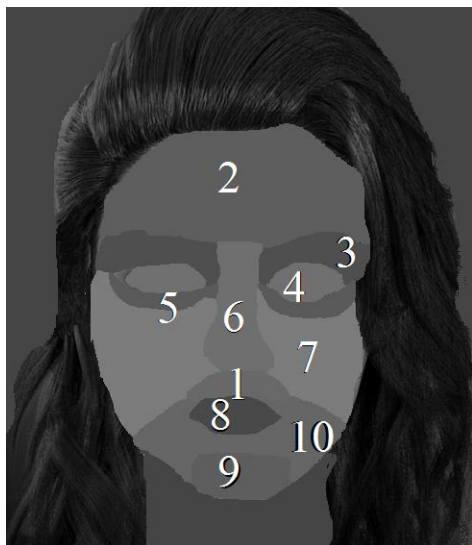


Рис. 5. Розбиття обличчя на характерні ділянки

значається значення $(A_i \cdot t + B_i)$, яке зберігається в регістрі RG . На цій ітерації блок вентилів BK працює в режимі передачі операнда.

Блок ключів переключають в режим обнулення операнда. Значення $(A_i \cdot t + B_i)$ множиться на t і записується в регістр RG . На виході суматора Sm формується значення $(A_i \cdot t + B_i) \cdot t$.

На вхід мультиплектора $MX2$ подають значення C_i , тому на виході суматора Sm формується значення $(t \cdot (A_i \cdot t + B_i) + C_i)$, яке заноситься в регістр RG . Для цього блок ключів переключають в режим передачі операнда.

Аналіз показав, що для ділянок 2, 4, 7 доцільно використання для визначення дифузної та спекулярної складових апроксимаційного поліному другого степеня, а для інших третього степеня

5. Результати дослідження

Аналіз трудомісткості формування зображення обличчя людини згідно з запропонованим методом показав, що порівняно з методом Фонга досягається підвищення продуктивності до 3 разів за рахунок зменшення кількості довготривалих операцій ділення та множення та знаходження квадратного кореня. Адаптивне використання поліномів другого та третього степенів дозволило досягти нормованої середньоквадратичної похибки (NMSE) не більше за 0,0001, що означає, що сформоване зображення обличчя візуально з не відрізняється відносно зображення, сформованого за методом Фонга.

6. Висновки

1. Запропоновано вирази для апроксимаційних поліномів для визначення спекулярної та дифузної складових кольору, що дозволило підвищити продуктивність формування зображень обличчя.
2. Розроблено апаратні засоби для визначення інтенсивностей кольору, що дає можливість реалізувати швидкодіючий спеціалізований пристрій.
3. Виділено ділянки обличчя для адаптивного використання апроксимаційних поліномів, що дає можливість підвищити реалістичність формування графічних зображень.

Література

1. Романюк О. Н., Мельников О. М. Адаптивна нормалізація векторів нормалей при визначенні дифузної та спекулярної складових кольору // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2006. Т. 8. № 3. С. 11–19.
2. Херн Д., Бейкер М. Компьютерная графика и стандарт OpenGL. Москва: Издательский дом "Вильямс", 2005. 1168 с.
3. Романюк О. Н., Чорний А. В. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів: монографія. Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. 190 с.
4. Цисарж В. В. Математические методы компьютерной графики. Киев: Факт, 2004. 464 с.
5. Романюк О. Н. Комп'ютерна графіка: навч. пос. Вінниця: ВДТУ, 2001. 129 с.
6. Романюк О. Н., Чорний А. В. Новий підхід до визначення спекулярної складової кольору: мат. 1 Міжнар. конф. // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування. Вінниця, 2005. С. 41.
7. Романюк О. Н. Один із шляхів спрощення обчислювального процесу при зафарбовуванні тривимірних графічних об'єктів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2004. № 2. С. 72–75.
8. Романюк О. Н. Адаптивне використання різних методів зафарбовування при формуванні тривимірних графічних фігур // Нові технології. 2005. № 3 (9). С. 78–86.
9. Романюк О. Н. Використання квадратичної інтерполяції для зафарбовування тривимірних графічних об'єктів // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2006. Т. 8, № 4. С. 31–37.
10. Романюк О. Н. Ефективна модель для відтворення спекулярної складової кольору: зб. наук. пр. // Проблеми інформатизації та управління. 2007. № 2 (20). С. 115–120.

Дата надходження рукопису 19.06.2018

Павлов Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021
E-mail: psv@vntu.edu.ua

Романюк Сергій Олександрович, аспірант, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021
E-mail: rom8591@gmail.com

Нечипорук Микола Леонідович, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021
E-mail: rom8591@gmail.com