

УДК 004.925.6

О.Н. Романюк, д-р техн. наук, професор,
Р.Ю. Довгалюк, студент
Д.Л. Благодир, студент
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна
ran12345@mail.ru

Особливості визначення спекулярної складової кольору з використанням нової дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні

Запропоновано методи для корекції значень апроксимаційної функції ДФВЗ Фонга. Розроблені методи дозволяють формувати реалістичну дзеркальну складову відблиску поверхні з вищою швидкістю порівняно з ДФВЗ Фонга.

Ключові слова: ДФВЗ Фонга, апроксимаційна функція, шейдер, RenderMan

Вступ

Тривимірна візуалізація стрімко розвивається у напрямку підвищення реалістичності віртуальних об'єктів, наприклад, за рахунок збільшення кількості полігонів у об'єкті чи застосування більш складних моделей освітлення. Оскільки підвищення складності тривимірних об'єктів призводить до підвищення затрат, пов'язаних з обрахуванням освітленості таких об'єктів з використанням ДФВЗ, доцільно застосовувати їх нові моделі, які при задовільній точності забезпечують значно вищу продуктивність формування графічної сцени.

Аналіз методів і постановка задачі дослідження

Для формування дзеркальної складової відблиску графічного об'єкта поряд із іншими ДФВЗ застосовується модель Фонга, за якою інтенсивність кольору визначається за формулою [1]:

$$P(n, \gamma) = \cos^n \gamma, \quad (1)$$

$$I = I_l K_s P(n, \gamma), \quad (2)$$

де I_l – інтенсивність джерела світла, K_s – коефіцієнт дзеркальності поверхні, n – коефіцієнт величини дзеркального відблиску, $P(n, \gamma)$ – дистрибутивна функція відбивної здатності поверхні (ДФВЗ).

Оскільки значення n може приймати значення в межах $[1; 1000]$, то обчислення дзеркальної складової відблиску поверхні об'єкта за методом Фонга є досить ресурсоємним, а тому актуальною є розробка нових моделей з меншою обчислювальною складністю.

У роботі [1] запропоновано апроксимацію формули (1) такою функцією:

$$W_3(n, \gamma) = \left(\frac{n}{16} (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^{16}. \quad (3)$$

Така функція має відносну похибку на рівні 1% для ділянки епіцентру відблиску порівняно з формулою Фонга [1] і потребує менших обчислювальних потужностей.

Функція (3) є періодичною, тому при великих значеннях n має місце багатократне відтворення відблисків та їх накладання, що зображено на рис. 1 і 2.

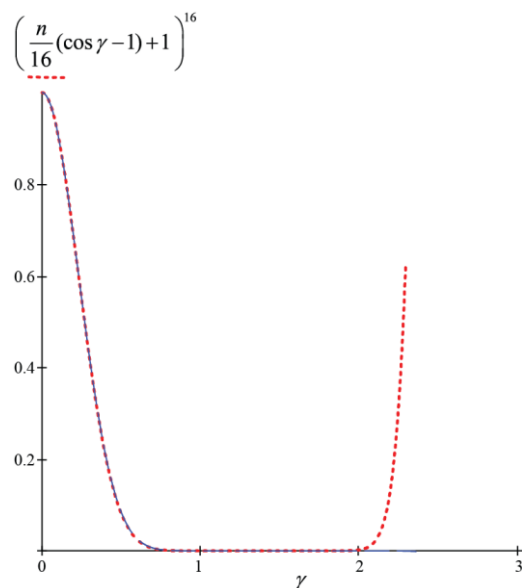


Рисунок 1 – Залежність ДФВЗ (3) від γ

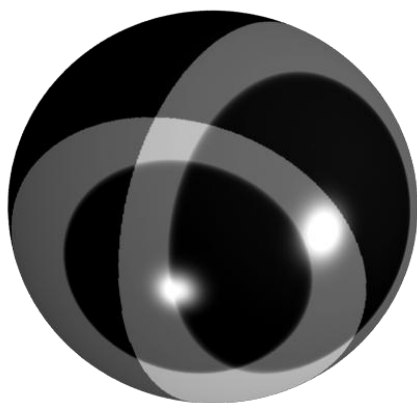


Рисунок 2 – Приклад формування відблиску поверхні для $n = 31$ без корегування вихідних значень апроксимаційної функції. Окрім основного епіцентру відблиску через відсутність корегування також відтворюється і артефактний

Експериментально встановлено, що для $n \in [1;13]$ для апроксимаційної функції (3) період $T > \pi$ радіан, тому на проміжку значень $n \in [1;13]$ формуванням артефактних зон блюмінгу можна знехтувати, оскільки кут γ між напрямком відбитого від поверхні променя та напрямком до спостерігача не може бути більшим за 180 градусів. У той же час, для $n \in [14;1000]$ період функції $T < \pi$ радіан, тому для таких значень n важливо проводити «відсікання» вихідних значень функції, сформованих другим і наступними періодами функції, за допомогою спеціальних методів, оскільки без їх використання на поверхні об'єкта формуються артефактні відблиски, приклад яких продемонстровано на рис. 2. Крім того, застосування таких методів дає змогу не проводити додаткові обчислення за рахунок зменшення інтервалу зміни аргументу функції. Основними вимогами до даних методів є простота апаратної та програмної реалізації, а також висока швидкодія.

Мета статті полягає у розробці методів корекції вихідних значень апроксимаційної функції (3) для підвищення достовірності відтворення відблиску на поверхні тривимірних об'єктів за рахунок усунення артефактних відтворень відблисків за межами зони блюмінгу, а також підвищення продуктивності за рахунок вилучення надлишкових розрахунків.

Розв'язок задачі і результат досліджень

Для формування адекватних значень інтенсивності відблиску на поверхні тривимірного об'єкта при використанні апроксимаційної функції W_3 необхідно ввести поняття граничного

кута γ , що відповідає кінцю зони затухання для даного n . Маючи таке значення подальше визначення інтенсивності кольору проводиться таким чином:

$$I = \begin{cases} W_3(n, \gamma), & \gamma \leq \gamma_{cp} \\ 0, & \gamma > \gamma_{cp} \end{cases} \quad (4)$$

Використання такого підходу дає змогу нівелювати недолік апроксимаційної формули та проводити обчислення значення інтенсивності дзеркального відблиску на поверхні об'єкта за менший час порівняно з оригінальним методом Фонга.

Проаналізувавши рис. 1, можна прийти до висновку, що для $n = 19$ $\gamma_{cp} \in [0.8; 2]$. Відповідно, один із методів корекції вихідних значень функції (3) полягає у формуванні таблиці значень граничних кутів для відповідних значень n , їх збереженні у пам'яті пристрою для наступного обчислення інтенсивності за (4). Обсяг пам'яті складає:

$$size = nCount \cdot bitCount \quad (5)$$

де $nCount$ – кількість значень граничних кутів (1 для кожного n), $bitCount$ – розрядність числа з плаваючою комою для збереження значення граничного кута.

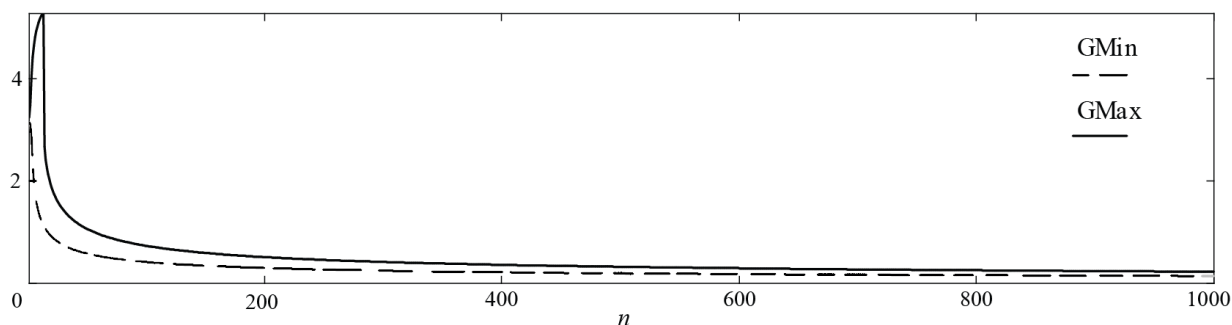
Якщо припустити, що для збереження значення граничного кута буде використовуватися 32 бітне число з плаваючою комою (тип змінної *float* у сучасних інтерфейсах програмування графічних адаптерів), розмір такої таблиці для $n \in [1;1000]$ складе: $1000 \cdot 32 = 32000 \text{ біт} = 4000 \text{ байт}$.

З використанням пакету MathCAD було отримано дві функції $GMin$, $GMax$, які визначають відповідно значення γ , яке відповідає кінцю ділянки першого максимуму для заданого n , і значення γ , яке відповідає початку другого максимуму. Отримані значення у вигляді графіку наведені на рис. 3 для $n \in [1;1000]$.

За граничними значеннями проміжку на якому визначений кут γ_{cp} можна знайти аналітичну формулу $\gamma_{cp} = F(n)$, яка пов'язує значення n та γ_{cp} . Із рис. 3 видно, що дана формула має такий вигляд:

$$\gamma_{cp} = A \cdot n^b, \quad (6)$$

де A і b – деякі коефіцієнти.

Рисунок 3 – Залежність $GMax$ (максимальні значення γ_{zp}) та $GMin$ (мінімальні значення γ_{zp}) від n .

Для знаходження значень коефіцієнтів A та b було використано функцію пакету MathCAD – *genfit* та значення γ_{zp} отримані з допомогою функції $GMin$. Після корегування значень коефіцієнтів залежність $\gamma_{zp} = F(n)$ має такий вигляд:

$$\gamma_{zp} = 6 \cdot n^{-0.5} = \frac{6}{\sqrt{n}}, \quad (7)$$

На рис. 4 зображено криву, задану формулою (7). З рисунку видно, що значення, отримані з допомогою функції (7), знаходяться в допустимих межах, з чого можна зробити висновок про її коректність.

Обчислення квадратного кореня є трудомісткою операцією, тому необхідно

апроксимувати залежність (7) функцією, що містить меншу обчислювальну складність. Один із варіантів такої апроксимації полягає у використанні кусково-лінійної функції. Пропонується обчислювати γ_{zp} з використанням кусково-лінійної функції, крива якої наведена на рис. 5:

$$\gamma_{zp} = f(n) = \begin{cases} -0.13 \cdot n + 4, & n \in [1; 24] \\ -3.7 \cdot 10^{-3} \cdot n + 1, & n \in [25; 173] \\ -2.3 \cdot 10^{-4} \cdot n + 0.4, & n \in [174; 1000] \end{cases} \quad (8)$$

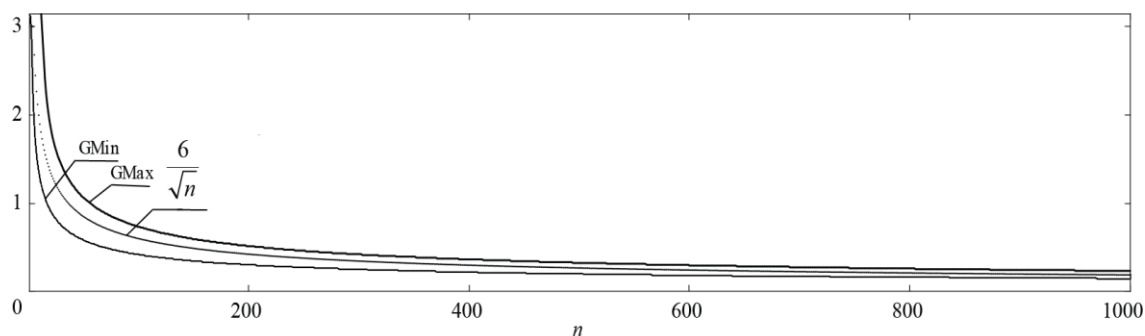
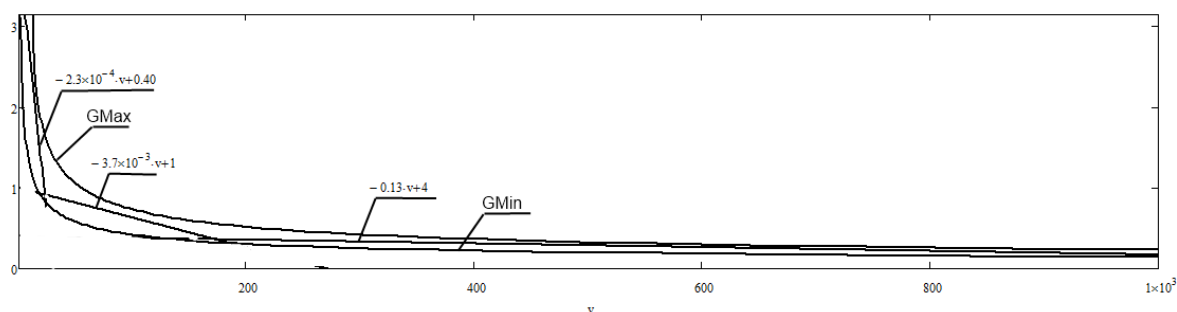
Рисунок 4 – Графік функції (7) та графіки граничних значень кута γ_{zp} 

Рисунок 5 – Кусково-лінійна апроксимація функції (7)

Знаходження γ_{zp} за (8) потребує виконання арифметичних операцій множення та додавання і, як наслідок, потребує менших обчислювальних витрат.

Знаходження γ_{zp} можна здійснити за рахунок апроксимації (7) кусковою функцією. Для цього було розбито інтервал значень n на 6 проміжків, кожному з яких відповідає таке значення γ_{zp} :

$$\gamma_{zp} = f(n) = \begin{cases} 3.14, & n \in [1;13] \\ 1.40, & n \in [14;26] \\ 0.80, & n \in [27;80] \\ 0.47, & n \in [81;230] \\ 0.29, & n \in [231;600] \\ 0.19, & n \in [601;1000] \end{cases}, \quad (9)$$

Отриману кускову функцію зображено на рис. 6, при чому значення γ_{zp} отримані з

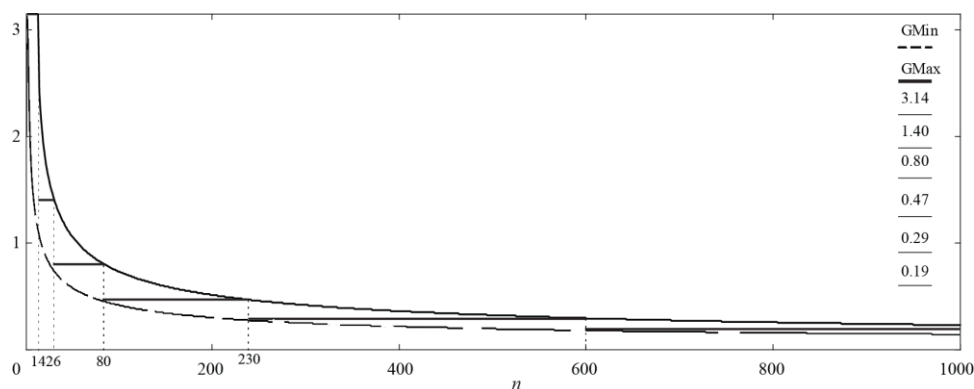


Рисунок 6 – Кускова апроксимація функції (7)

На рис. 7 наведено зображення сформоване з використанням ДФВЗ з параметрами $n = 31$, $Ka = 0.1$, $Kd = 0.0$, $Ks = 1.0$.

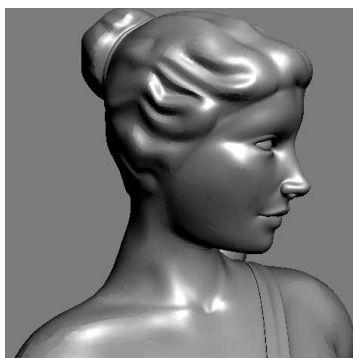


Рисунок 7 – Зображення, сформоване з використанням ДФВЗ

використанням даної функції знаходяться в межах $[GMin, GMax]$ для поточного n .

Для підтвердження достовірності формування відблиску поверхні з використанням апроксимаційної функції (3) і методів корегування, авторами було створено шейдер, який використовує реалізацію даної ДФВЗ з використанням графічного конвеєру RenderMan. Для безпосереднього рендерінгу сцени використовувалось програмне забезпечення 3Delight у вигляді доповнення до редактора тривимірних сцен Autodesk Maya 2011.

Реалізація ДФВЗ Фонга у стандарті RenderMan використовує значення кута γ між напрямком падіння світла та напрямку до спостерігача «віддзеркаленого» відносно нормалі поверхні. Даний кут є еквівалентним куту між напрямком відбитого від поверхні світла та напрямком до спостерігача [2, 3].

З рис. 7 видно, що застосування формули (7) для корегування вихідних даних дало змогу нівелювати недолік апроксимаційної функції (3), продемонстрований на рис. 2. Вибір одного з трьох методів корекції (аналітичний вираз (3), чи його кускова або кусково-лінійна апроксимація) залежить від структури обчислювальних апаратних засобів: у випадку наявності логічних блоків порівняння та блоків пам'яті доцільно використовувати метод (9), оскільки при його використанні обчислення граничного кута γ_{zp} не проводиться, а використовується одне з шести попередньо заданих значень.

Застосування формули (9) для корегування значень, отриманих після розрахунку інтенсивності дзеркальної складової відблиску поверхні тривимірного об'єкта за апроксимаційною ДФВЗ (3), є найкращим

варіантом з точки зору швидкодії, оскільки при такому підході пристрій виконує лише порівняння вхідних даних та приймає рішення про вихідне значення інтенсивності за формулою (4).

Оскільки при обчисленні інтенсивності дзеркальної складової відблиску поверхні використовується не значення кута γ , а $\cos(\gamma)$, то для визначення $\cos(\gamma_{cp})$ необхідно використовувати формулу (10), що базується на формулі (9):

$$\cos(\gamma_{cp}) = f(n) = \begin{cases} -1.0, & n \in [1;13] \\ 0.169, & n \in [14;26] \\ 0.696, & n \in [27;80] \\ 0.891, & n \in [81;230] \\ 0.958, & n \in [231;600] \\ 0.982, & n \in [601;1000] \end{cases}, \quad (10)$$

У свою чергу, формула (4) також зазнає змін:

$$I = \begin{cases} W_3(n, \gamma), & \cos(\gamma) \leq \cos(\gamma_{cp}) \\ 0, & \cos(\gamma) > \cos(\gamma_{cp}) \end{cases}. \quad (11)$$

На рис. 8 наведено структурну схему пристрою, який розраховує значення інтенсивності дзеркальної складової відблиску поверхні тривимірного об'єкту за апроксимаційною формулою (3) з використанням формул для корегування вихідних значень (10) і (11).

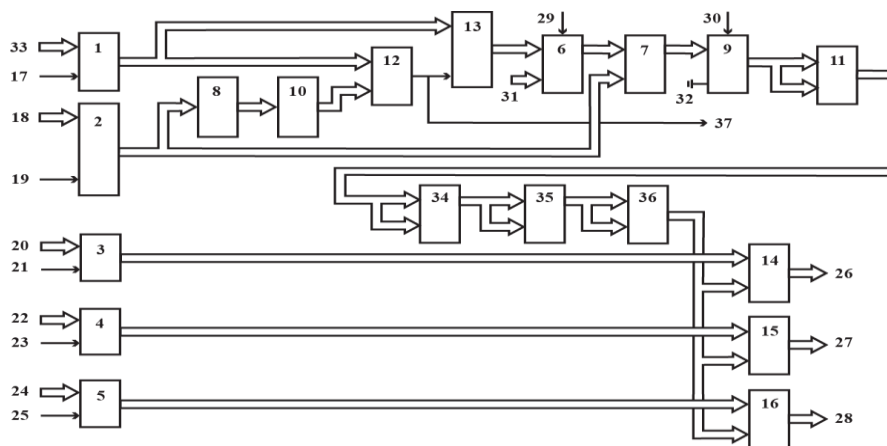


Рисунок 8 – Схема пристрою для обрахунку дзеркального відблиску поверхні за апроксимаційною ДФВЗ та з урахуванням методу корегування вихідних значень (10) та (11)

Пристрій включає такі блоки: п'ять регістрів, вісім блоків множення, два суматори, схему порівняння, блок ключів, два блоки постійної пам'яті.

Пристрій працює таким чином. У регістр 2 записується значення коефіцієнта n спекулярності поверхні, а у регістр 1 - значення косинуса кута між вектором нормалі та вектором \vec{N} , $\cos \gamma = \vec{N} \cdot \vec{N}$. У регістри 3, 4 і 5 від зовнішнього пристрою заносяться відповідно значення інтенсивності R, G, B складових кольору, помножених на коефіцієнт K_s дзеркального відбиття поверхні. Значення коефіцієнта спекулярності n із регістру 2 поступає на вхід блоку постійної пам'яті 8, де зберігаються адреси комірок блоку постійної пам'яті 10 з відповідними граничними значеннями $\cos \gamma_{cp}$. Номер комірки

пам'яті з виходу блоку постійної пам'яті 8 поступає на вхід блоку постійної пам'яті 10. Граничне значення $\cos \gamma_{cp}$ з виходу блоку постійної пам'яті 10 передається на другий вхід схеми порівняння 12, на перший вхід якої поступає значення косинуса кута $\cos \gamma$ між вектором нормалі та вектором \vec{N} з першого регістру 1. Коли значення $\cos \gamma$ менше за граничне ($\cos \gamma_{cp}$), то на виході блоку ключів 13 формується нульове значення і на виході 37 схеми порівняння формується активний рівень сигналу, який сигналізує про завершення відтворення спекулярної складової, інакше формується значення $\cos \gamma$. Значення $\cos \gamma$ з блоку ключів 13 подається на перший вхід суматора 6, на кожний розряд другого входу якого подається код

одиниці. Вхід переносу суматора 6 заземлено, що забезпечує формування на його виході значення $\cos \gamma - 1$. На другий вхід блоку множення 7 подається значення з другого регістру 2. На виході блоку множення 7 формується результат $\frac{n}{16}(\cos \gamma - 1)$, який подається на перший вхід суматора 9. На виході суматора 9 формується значення $\frac{n}{16}(\cos \gamma - 1) + 1$, яке подається на обидва входи блоку множення 11. На виході блоку множення 11 отримується $\left(\frac{n}{16}(\cos \gamma - 1) + 1\right)^2$. На виході блоків множення 14, 15, 16 формується значення спекулярної складової кольору.

Висновки

Розроблено методи корекції вихідних значень функції (3) для апроксимації ДФВЗ Фонга, використання яких дозволяє проводити обчислення інтенсивності дзеркальної складової відблиску для $n \in [1; 1000]$ і підвищити швидкодію за рахунок зменшення інтервалу зміни аргументу функції (3), при цьому не має місце втрата точності формування відблиску.

Запропоновано реалізацію пристрою для обчислення інтенсивності дзеркальної складової відблиску з використанням апроксимаційної ДФВЗ та одного із запропонованих методів корекції.

Список літератури

1. Effective Models for the Specular Color Constituent Computing / Alexander N. Romanyuk, Yuri L. Lyashenko, Alexander V. Melnik and Alexander P. Goncharuk // Journal of Computer Science and Engineering. – August 2010. – Vol. 2. – Issue 2. – P. 25-29.
2. The RenderMan Interface Version 3.2.1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://renderman.pixar.com/products/rispec/rispec_pdf/RISpec3_2.pdf.
3. Don Rudy Cortes The RenderMan Shading Language Guide / Don Rudy Cortes, Saty Raghavachary. – Course Technology PTR, 2007. – 656 P.

Надійшла до редакції 10.04.2012

А.Н. РОМАНЮК, Р.Ю. ДОВГАЛЮК, Д.Л. БЛАГОДИР
Винницький національний технічний університет

A.N. ROMANYUK, R.Yu. DOVHALIUK, D.L. BLAGODUR
Vinnytsia National Technical University

Особенности определения спекулярной составляющей цвета с использованием новой двунаправленной функции отражающей способности поверхности.

Peculiarities of Specular Color Component Determination with Application of New Bidirectional Surface Reflection Power Function.

Предложены методы для коррекции значений аппроксимационной функции ДФОС Фонга. Разработанные методы позволяют формировать реалистическую зеркальную составляющую отражения поверхности с более высоким быстродействием по сравнению с ДФОС Фонга.

The methods for correction of Phong BRDF approximate function values are proposed. Developed methods allow forming a realistic specular component of surface reflection with higher speed in comparison with Phong BRDF

Ключевые слова: ДФОС Фонга, аппроксимационная функция, шейдер, RenderMan

Keywords: Phong BRDF, approximation function, shader, RenderMan