

РОЗРОБКА ДИСТРИБУТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ВІДБИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОВЕРХОНЬ ДЛЯ ВІДТВОРЕННЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У роботі запропоновано нову дистрибутивну функцію відбивної здатності поверхні, яка забезпечує високу точність відтворення як епіцентру відблиску, так і його зони затухання. Функція має значно меншу ступінь порівняно з моделями Фонга та Бліна. Для розрахунку функції використовуються нормалізовані вектори до джерела світла, спостерігача та нормаль до поверхні. Запропоновано структурну схему для визначення спекулярної складової кольору з використанням запропонованої дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні. Результати роботи можуть бути використані у високопродуктивних системах формування реалістичних графічних зображень

Ключові слова: рендеринг, спекулярна складова кольору, дистрибутивна функція відбивної здатності.

S.V. PAVLOV, S.O. ROMANYUK

Vinnitsia National Technical University

V.P. DUMENKO

Vinnitsia State Pedagogical University by M. Kotsyubinsky

DEVELOPMENT OF DISTRIBUTION FUNCTION REFLECTIVITY SURFACE CAPACITY FOR BIOMEDICAL IMAGING

The paper proposed a new a distribution function reflectivity surface that provides high fidelity as the epicentre of the flare and its attenuation zone. The function has a much smaller degree compared with models Phong and Blyn. To calculate the normalized feature vectors used to the light source, observer and normal to the surface. A structural diagram to determine the specular colour component of the proposed distributive function reflectivity of the surface. The results can be used in high-performance systems forming realistic graphic images.

Keywords: rendering, specular component of colour, reflectivity distributive function.

Вступ

Комп'ютерна графіка динамічно розвивається у напрямку реалістичної візуалізації тривимірних біомедичних зображень у режимі реального часу. Її засоби допомагають вирішувати широке коло завдань інтерактивного проектування, автоматизованого навчання, контролю технологічних параметрів, теоретичних і прикладних біомедичних досліджень. Сьогодні графічні сцени характеризуються великою геометричною складністю [1, 2], тому їх формування в режимі реального часу вимагає високої швидкодії.

Теоретичні дослідження останніх років значною мірою були направлені на поєднання двох генеральних напрямів розвитку комп'ютерної графіки – забезпечення необхідної динаміки зображень і підвищення їх реалістичності [1–4].

Однією з найбільш трудомістких процедур рендерингу є розрахунок спекулярної складової кольору, оскільки передбачає використання складних, з обчислювальних точки зору, моделей відбивної здатності поверхонь. Тому розробка нової моделі, яка забезпечує прийнятний компроміс між реалістичністю та продуктивністю є актуальною задачею.

Аналіз публікацій та постановка задачі

Для відтворення відбивних властивостей поверхонь найчастіше використовують моделі на основі двопробневої функції відбивної здатності поверхні (ДФВЗ) [1–6], яка визначає, яку частку випромінювання, що надійшло в точку з напрямку джерела світла, буде відбито в напрямку спостерігача.

На даному етапі розвитку комп'ютерної графіки найпоширенішими є моделі, які використовують корпускулярну теорію світла [1, 3, 4], оскільки вони забезпечують прийнятну реалістичність відтворення об'єктів при відносно невеликій обчислювальній складності. Більш точні моделі, які враховують як корпускулярну, так і хвильову природу світла використовують, як правило, в графічних системах високої реалістичності. Такі моделі багатопараметричні, що суттєво обмежує їх використання для формування динамічних зображень. Так, наприклад, модель Хі [1, 3, 4], включає та враховує 15 параметрів і враховує ефекти дифракції та інтерференції. Трудомісткість обчислень суттєво обмежує її використання в системах реального часу.

Фізично точні моделі [1, 3–5] (ДФВЗ Уорда, Орена-Найара Торренса-Сперроу) базується на детальному аналізі процесу відбиття світла від поверхонь, яку замінюють сукупністю великої кількості мікроскопічних дзеркально відбивних площадок (фасетне подання поверхні).

Фізично точні моделі [3–5], які враховують фасетну структуру поверхні та хвильову теорію світла, доцільно використовувати при жорстких вимогах до реалістичності, оскільки їх розрахунок вимагає великих затрат часу.

У засобах комп'ютерної графіки найбільшого оцирення отримали прості з обчислювальної точки зору моделі, які забезпечують компроміс між достатньо високою реалістичністю та продуктивністю.

До таких моделей відносять моделі Фонга, Бліна, Шліка, Гауса [1, 5].

При використанні моделі освітлення Фонга [1] інтенсивність спекулярної складової світла

визначається за формулою

$$I_s = I \cdot k_s \cdot \cos^n \gamma,$$

де γ – кут між векторами спостерігача \vec{V} і відбитого світла \vec{R} (рис. 1), n – коефіцієнт спекулярності поверхні, k_s – коефіцієнт спекулярного відбиття, який визначає питому вагу спекулярного світла в загальному відбитому світлі, I – інтенсивність джерела світла між векторами нормалей спостерігача \vec{L} і вектором $\vec{H} = (\vec{L} + \vec{V}) / |\vec{L} + \vec{V}|$. Вектор \vec{H} отримують шляхом нормалізації вектора, який є діагоналлю ромба, утвореного при додаванні векторів \vec{L} і \vec{V} .

У сучасних засобах тривимірної графіки широкого поширення отримала дистрибутивна функція Шліка [1], яка має такий вигляд:

$$\cos \gamma / (n - n \cos \gamma + \cos \gamma). \quad \text{ДФВЗ}$$

Шліка має меншу обчислювальну складність порівняно з функціями Фонга та Бліна, однак наявність операції ділення значно ускладнює апаратну реалізацію функції. Крім того, при відтворенні блюмінгу за моделлю Шліка має місце неприродне освітлення поверхонь графічного біомедичного об'єкта.

У моделі освітлення Бліна [1, 3–5] замість $\cos^n \gamma$ використовують $\cos^n \psi$, де ψ – кут

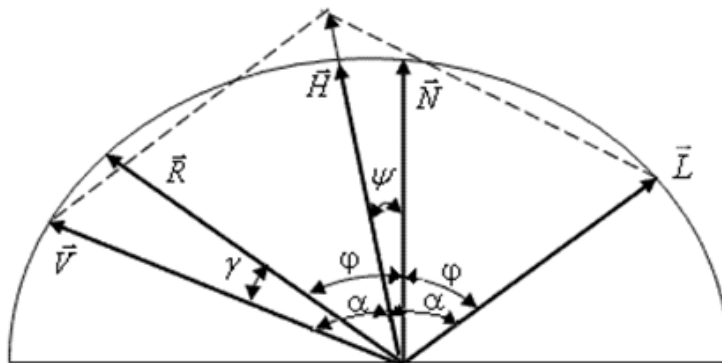


Рис. 1. Визначення параметрів для дистрибутивних функцій

Для відтворення рефлекторних властивостей поверхні бажано розробити таку модель, обчислювальна складність якої не залежала б від коефіцієнта спекулярності поверхні. Проста апаратна реалізація ДФВЗ можлива при використанні поліномів низького степеня за умови, що при розрахунку не використовують складні функції та довготривалі операції, які мають місце для відомих підходів.

У системах відображення біомедичної інформації часто необхідно відобразити сцену з високою реалістичністю, особливо при прийнятті кінцевого рішення. В цьому випадку висуваються жорсткі умови до точності відтворення як дифузної, так і спекулярної складових кольору.

При формуванні спекулярної складової кольору вимоги реалістичності та продуктивності залежать у значній мірі від моделі відбивної здатності поверхні. Мета статті – розробка нової моделі на основі ДФВЗ, яка порівняно з моделлю Бліна має меншу степінь, і, як наслідок, меншу обчислювальну складність. При цьому забезпечується висока точність відтворення спекулярної складової кольору.

Розробка дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні біомедичних об'єктів

Розглянемо один із методів знаходження дистрибутивної функції для відтворення в графічних сценах спекулярної складової кольору.

В якості утворюючої виберемо функцію [6] $G(n, \gamma) = (\tau \cdot (\cos \gamma - 1) + 1)^m$.

Вибір такої функції має таке обґрунтування.

$G(n, \gamma)$ є додатною функцією, яку можна знайти через скалярний добуток векторів, що задаються для розрахунку інтенсивності кольору. Функція на проміжку $0 \leq \gamma \leq \pi/2$ є монотонно спадною та досягає нульового значення. Максимальні значення функцій Бліна і $G(n, \gamma)$ дорівнюють одиниці при $\gamma = 0$.

Функція $\cos^n \gamma = 0$ при $\gamma = \frac{\pi}{2}$.

Знайдемо інтеграл

$$\int_0^{\pi/2} \cos^n \gamma \cdot \sin \gamma \cdot d\gamma = \frac{\cos^{n+1} \gamma}{n+1} \Big|_0^{\pi/2} = \frac{1}{n+1}.$$

Використаємо як утворюючу функцію $\cos^n \gamma$

$$(a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^v}$$

Використання як степеню значення 2^v можна обґрунтувати простотою програмної та апаратної реалізації. З рівняння $(a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^v}$ знаходимо, що наведена дистрибутивна функція досягає нульового значення при

$$\gamma = \arccos\left(\frac{a-1}{a}\right).$$

Знайдемо інтеграл

$$\int_0^{ar \cos(\frac{a-1}{a})} (a \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1)^{2^\nu} \cdot \sin(\gamma) d\gamma = \frac{1}{(2^\nu + 1) \cdot a} .$$

Прирівняємо значення двох останніх знайдених інтегралів.

$$\frac{1}{(2^\nu + 1) \cdot a} = \frac{1}{n + 1} .$$

З останнього рівняння знаходимо, що

$$a = \frac{n + 1}{2^\nu + 1} .$$

Підставивши значення a в утворюючу функцію, отримаємо

$$K_\nu(n, \gamma) = \left(\frac{n + 1}{2^\nu + 1} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{2^\nu} .$$

Для $\nu = 4$

$$K_4(n, \gamma) = \left(\frac{n + 1}{17} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{16} .$$

Проаналізуємо отриману функцію.

На рис. 2, для зразка, наведено графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$

функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma) = \left(\frac{n}{16} \cdot (\cos \gamma - 1) + 1 \right)^{16}$ [6] для $n = 100$. З наведеного графіка видно, що

максимальна відносна похибка для $K_4(n, \gamma)$ менша порівняно з $G_4(n, \gamma)$. Це досягається за рахунок симетрування абсолютної похибки на інтервалі зміни аргументу.

Проаналізуємо отриману функцію

$$K_4(n, \gamma) = \left(\frac{n + 1}{17} \cdot (\cos(\gamma) - 1) + 1 \right)^{16} .$$

Слід відзначити, що функція $G_4(n, \gamma)$ більш точно відтворює епіцентр відблиску, а функція $K_4(n, \gamma)$ – його блюмінг. На рис. 3 наведено графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$ функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma)$ для всього діапазону зміни γ .

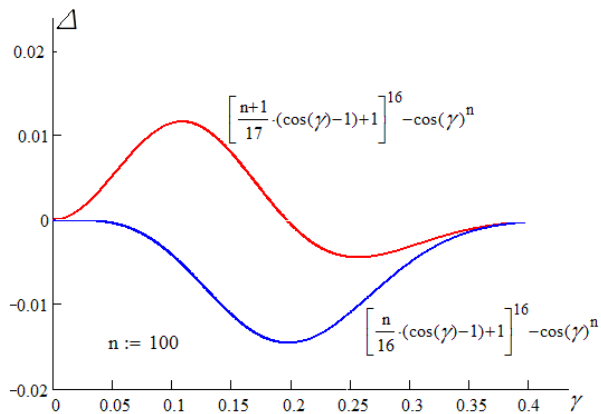


Рис. 2. Графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$ функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma)$ для $n = 100$.

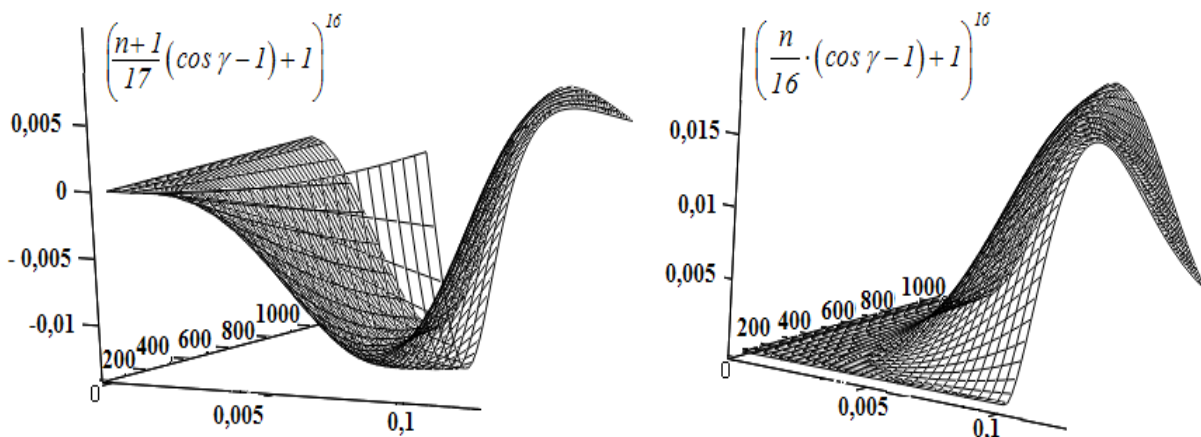


Рис. 3. Графіки зміни абсолютної похибки апроксимації функції $\cos^n \gamma$ функціями $K_4(n, \gamma)$ і $G_4(n, \gamma)$

Розроблена функція порівняно з ДФВЗ Фонга і Бліна має значно меншу степінь.

Для порівняння максимальна степінь у функцій Фонга і Бліна дорівнює 1000, в той час, як у $K_4(n, \gamma)$ - 16. Сталість степені для запропонованої функції спрощує апаратну реалізацію пристроїв для відтворення спекулярної складової кольору.

На рис 4 наведено пристрій для визначення спекулярної складової кольору, у якому

використовується запропонована функція $K_4(n, \gamma)$.

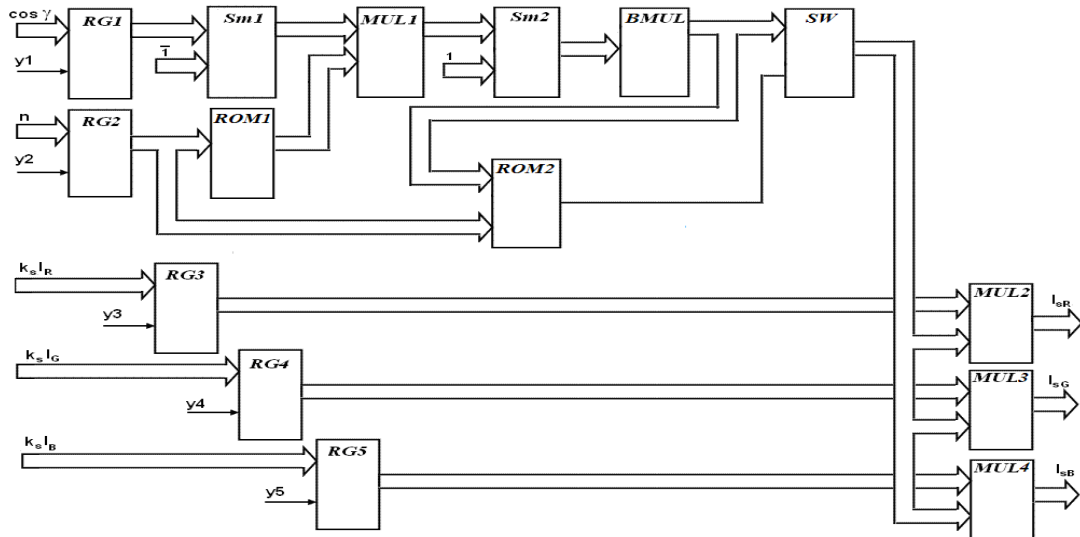


Рис. 4 Пристрій для відтворення спекулярної складової кольору

Пристрій, включає регістри $RG1-RG5$, блоки множення $MUL1-MUL4$, блоки постійної пам'яті $ROM1, ROM2$, суматори $Sm1, Sm2$, блок ключів SW , каскадний блок множення $BMUL$.

У регістри $RG1, RG2$ записуються відповідно $\cos(\gamma)$ і коефіцієнт n . На виході суматора $Sm1$, який працює в режимі віднімача, формується значення $(\cos(\gamma)-1)$, яке перемножується з операндом $\frac{n+1}{2^v+1}$. Ці значення для кожного n зберігаються в блоці постійної пам'яті $ROM1$. На виході суматора

$Sm1$ знаходять значення $\frac{n+1}{2^v+1} \cdot (\cos(\gamma)-1)$, до якого в суматорі $Sm2$ додається одиниця. На виході каскадного блока множення $BMUL$ отримують значення дистрибутивної функції, яке перемножується зі значеннями $k_s I_R, k_s I_G, k_s I_B$, для отримання складових інтенсивності спекулярної складової кольору.

Висновки

Запропонована нова модель відбивної здатності поверхні біомедичних об'єктів, яка на відміну від моделей Фонга та Бліна мають меншу обчислювальну складність і з високою точністю відтворює як епіцентр відблиску, так і його зону затухання.

Література

- Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів : монографія / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. – Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006. — 190 с.
- Обідник М.Д. Метод розпаралелення рендерингу та засоби для його реалізації / М.Д. Обідник, С.О. Романюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2013. — С. 112—118.
1. Matt Pharr. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation / Pharr Matt, Humphreys Greg. — Morgan Kaufmann, July, 2010. — 1020 p.
 2. Marschner Steve. Fundamentals of Computer Graphics/Steve Marschner, Peter Shirley. — A K Peters, 2015. — 748 p.
 3. Романюк О. Н. Класифікація дистрибутивних функцій відбивної здатності поверхні / О. Н. Романюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка». — 2008. — Випуск 9 (132). — С. 145—151.
 4. Павлов С.В. Модель для відтворення спекулярної складової кольору в засобах комп'ютерної графіки / С. В. Павлов, С. О. Романюк, О. Н. Романюк, О. В. Мельник // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2015. — № 3. — С. 50—57.
 5. Romanyuk S.O. New method to control color intensity for antialiasing / S.O Romanyuk, S.V Pavlov, O.V Melnyk // Control and Communications (SIBCON), 2015 International Siberian Conference on 2015/5/DOI: 10.1109/SIBCON.2015. 7147194 INSPEC Accession Number: 15287679.
 6. Avrunin Oleg G. Classification of CT-brain slices based on local histograms / Oleg G. Avrunin, Maksym Y. Tymkovych, Sergii V. Pavlov, Sergii V. Timchik, Piotr Kisała, Yerbol Orakbaev // Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161J (December 18, 2015).