

МОДИФІКАЦІЯ ДИСТРИБУТИВНИХ ФУНКЦІЙ ВІДБИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОВЕРХНІ

Запропоновані нові модифікації найбільш поширених двонаправлених функцій відбивної здатності поверхонь, які покращують характеристики базових моделей.

New modifications of widespread bidirectional reflectance distribution functions, which improve characteristics of base models, are proposed.

Ключові слова: відбивання, двонаправлені функції.

Вступ

Один з найперспективніших напрямків сучасної комп'ютерної графіки полягає у розробці методів і засобів формування реалістичних зображень, тобто зображень, максимально наближених до реальних. Потреба в створенні реалістичних зображень виникає в таких областях, як дизайн, машинобудування, архітектурне проектування і т.д.

У сучасних засобах комп'ютерної графіки велику увагу приділяють не тільки швидкодії формування графічних сцен, але і їх реалістичності. При формуванні реалістичних зображень необхідно не тільки відтворити форму зображень, але і достовірно передати кольори. Великий вплив на формування реалістичних зображень має дзеркальна складова кольору, яка відповідає за формування відблисків на поверхні. За відтворення спекулярної складової кольору відповідає дистрибутивна функція відбивної здатності поверхні (ДФВЗ), трудомісткість розрахунку якої суттєво впливає на час формування графічних зображень. Тому актуальною є задача розробки нових моделей відбивної здатності поверхні на основі ДФВЗ.

Розробка модифікованих моделей дистрибутивної функції відбивної здатності поверхні

Для уточненого розрахунку кількості відбитого поверхнею об'єкта світла використовують ДФВЗ, у них враховується Френелівське відбиття та розподіл мікрограней на поверхні об'єкта [1]. До ДФВЗ, які враховують фасетну структуру поверхні, відноситься модель Варда. Якщо у моделі Кука-Торенса [2] для розрахунку ДФВЗ додатково використовується три множника, які визначають розподіл мікрограней поверхні, їх перекриття та Френелівський коефіцієнт відбиття, то у моделі Варда ці множники задаються інтегрально. При зафарбуванні тривимірних об'єктів з використанням ізотропної ДФВЗ Варда використовують таку формулу [3]:

$$p(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{k_d}{\pi} + k_s \cdot \frac{1}{\sqrt{\cos \theta_i \cos \theta_r}} \cdot e^{-\frac{\tan^2 \delta}{\alpha^2}}, \quad (1)$$

де k_d – коефіцієнт дифузного відбиття, k_s – коефіцієнт дзеркального відбиття, $\delta \in [0; \frac{\pi}{2}]$ – кут між

векторами нормалі \hat{N} та напіввектора \hat{H} між векторами падаючого та відбитого променя, α – стандартне відхилення кривизни поверхні. Для того, щоб у ДФВЗ Варда виконувався закон збереження енергії, сума коефіцієнтів k_d і k_s повинна бути ≤ 1 , а α не повинно бути більшим за 0.2.

Обчислення ДФВЗ Варда вимагає значних обчислювальних витрат, оскільки значення операнду $\frac{-\tan^2 \delta}{\alpha^2}$ може досягати 10 000, а для знаходження δ необхідно виконувати трудомістку операцію визначення арккосинуса кута.

Введемо позначення

$$f(\delta, \alpha) = e^{-\frac{\tan^2 \delta}{\alpha^2}}. \quad (2)$$

На рис. 1 наведено графік функції (2) для $\alpha = 0.15$.

Із рисунка видно, що форма кривої є колокоподібною. Таку ж форму має і ДФВЗ Бліна, яка визначається за формулою:

$$BRDF(\delta) = \cos^n(\delta), \quad (3)$$

де n – коефіцієнт спекулярності поверхні.

У моделі Бліна n може досягати значення 1000, а тому обчислення функції (3) також має велику обчислювальну складність. У роботі [4] запропоновано таку апроксимацію функції (3):

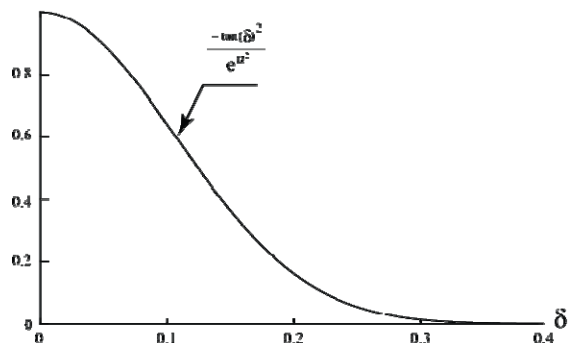


Рис. 1 Графік функції (1)

$$\cos^n(\delta) = \left[\frac{n}{16} \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^{16}. \quad (4)$$

Функція (4) дозволяє з високою точністю апроксимувати ДФВЗ (3) і має значно меншу обчислювальну складність.

Нехай $e^{\frac{-\tan^2 \delta}{\alpha^2}} = \cos^{\frac{2}{\alpha^2}}(\delta)$. Це має місце за умови, що $n = \frac{2}{\alpha^2}$. Враховуючи формулу (4), можна записати, що

$$e^{\frac{-\tan^2 \delta}{\alpha^2}} = \left[\frac{1}{8 \cdot \alpha^2} \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^{16}. \quad (5)$$

На рис. 2 наведено графіки функцій (2), (3) і (5) для $\alpha = 0.15$.

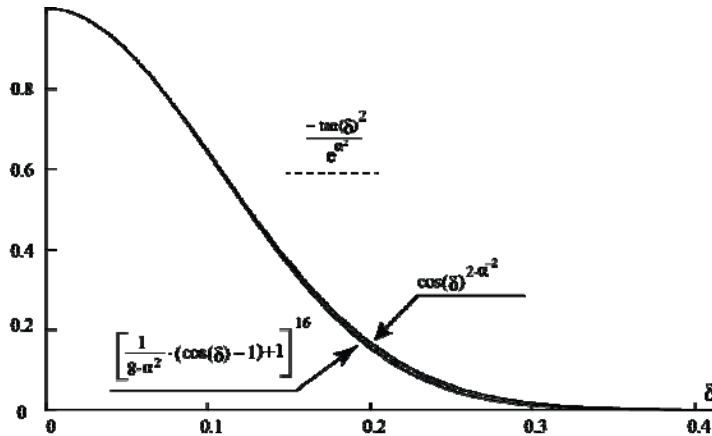


Рис. 2 Графіки функцій (1), (2) і (4).

Проведені дослідження показали, що середнє абсолютне відхилення функції (2), що використовується у ДФВЗ Варда, від апроксимаційної функції (5) для $\alpha \in [0.01; 0.2]$ у найгіршому випадку дорівнює $5 \cdot 10^{-3}$, тобто 0.5% від максимального значення, яке може приймати функція. Як наслідок, можна стверджувати про високу точність апроксимації.

У ДФВЗ Варда використовується піднесення числа e до степені $\frac{-\tan^2 \delta}{\alpha^2}$, значення якого може досягати 10 000. У запропонованій ж апроксимаційній формулі (5) використовується піднесення лише до степені 16, тому при розрахунку з використанням апроксимаційної формули досягається суттєве підвищення продуктивності. Крім того, функцію $\cos(\delta)$ можна просто знайти через скалярний добуток двох векторів, в той час як у ДФВЗ Варда для знаходження кута δ і значення операнду $-\tan^2 \delta$ необхідно виконувати трудомістку операцію арккосинус добутку $\hat{N} \cdot \hat{H}$. Модифікована ДФВЗ Варда матиме такий вигляд:

$$p(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{k_d}{\pi} + k_s \cdot \frac{\left[\frac{1}{8 \cdot \alpha^2} \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^{16}}{4\pi\alpha^2 \cdot \sqrt{\cos \theta_i \cos \theta_r}}. \quad (6)$$

Одною з найменш трудомістких ДФВЗ з обчислювальної точки зору є функція Шліка, яка має такий вигляд [5]:

$$\frac{\cos \delta}{n - n \cos \delta + \cos \delta}. \quad (7)$$

Модель Шліка порівняно з ДФВЗ Бліна (3) не передбачає піднесення до степені, тому при її використанні для тонування досягається суттєве зменшення часу формування графічної сцени. Проте, ДФВЗ Шліка з високою точністю відтворює тільки епіцентр відблиску.

Запропонуємо модифікацію моделі Шліка з метою підвищення точності відтворення всього відблиску. Для апроксимації ДФВЗ Шліка використаємо таку апроксимаційну формулу:

$$\frac{\cos \delta}{a \cdot n - b \cdot n \cos \delta + \cos \delta}. \quad (8)$$

Для знаходження невідомих коефіцієнтів a і b необхідно скласти систему із двох рівнянь.

Перше рівняння легко отримати із умови, що при $\delta = 0$

$$\frac{\cos(0)}{a \cdot n - b \cdot n \cos(0) + \cos(0)} = 1. \quad (9)$$

Для отримання другого рівняння системи прирівняємо ДФВЗ Бліна і запропоновану функцію у точці $\delta = 0.5$, у якій функція приймає значення 0.271. У результаті отримаємо таку систему з двох рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\cos(0)}{a \cdot n - b \cdot n \cos(0) + \cos(0)} = 1, \\ \frac{\cos(0.5)}{a \cdot n - b \cdot n \cos(0.5) + \cos(0.5)} = 0.271. \end{cases} \quad (10)$$

Розв'язок цієї системи має такий вигляд: $a = b = 1.928$. Для спрощення обчислень приймемо значення a і b рівними 2, що дасть можливість перейти від мікрооперації множення до операції зсуву. Отримана ДФВЗ має такий вигляд:

$$\frac{\cos(\delta)}{2n - 2n \cos(\delta) + \cos(\delta)}. \quad (11)$$

На рис. 3 зображено ДФВЗ Бліна, ДФВЗ Шліка та запропоновану функцію (11).

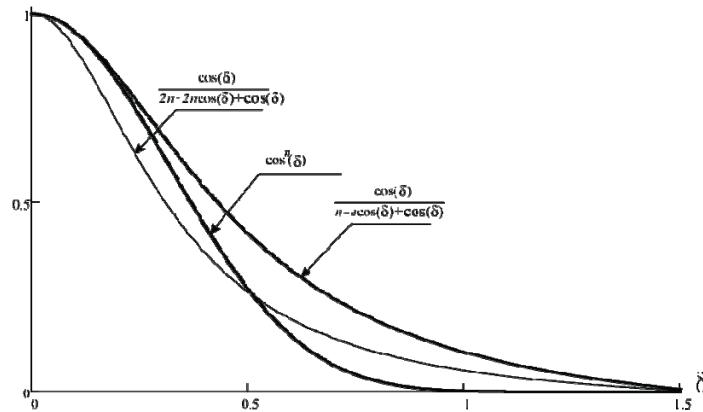


Рис. 3 ДФВЗ Бліна, Шліка і (11) для $n = 10$

Із рисунку видно, що запропонована модель більш точно відтворює зону блюмінгу за рахунок симетрування похибки. Проведені авторами дослідження показали, що порівняно з функцією Шліка запропонована ДФВЗ має в 1.45 рази менше середнє абсолютне відхилення від ДФВЗ Бліна для $n \in [1; 1000]$, за рахунок чого досягається підвищення точності відтворення зони блюмінгу.

У роботі [4] пропонується апроксимація ДФВЗ Бліна такою функцією:

$$\left[\frac{n}{2} \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^2. \quad (12)$$

Функція (12) має значно меншу обчислювальну складність порівняно з ДФВЗ Бліна (3). Запропонуємо модифікацію функції (12) з метою підвищення точності формування відблиску. Для цього запропонуємо таку ДФВЗ:

$$\left[\frac{n}{a} \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^2. \quad (13)$$

Для того, щоб відхилення між функціями (3) і (12) було найменшим, запишемо, що

$$\sum_{n=2}^{1000} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos^n(\delta) d\delta = \sum_{n=2}^{1000} \int_0^{\arccos(1-\frac{a}{n})} \left[\frac{n}{a} \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^2 d\delta. \quad (14)$$

При цьому межі інтегрування визначаються відрізком від нульового значення аргументу до точки, де функції приймають нульове значення. Розв'язок (14) показав, що рівність (14) виконується при значенні $a = 2.713$. Таким чином, модифікація функції (12) матиме вигляд:

$$\left[\frac{n}{2.713} \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^2 = \left[0.3686 \cdot n \cdot (\cos(\delta) - 1) + 1 \right]^2. \quad (15)$$

На рис. 4 наведено ДФВЗ Бліна, а також функції (12) і (15).

На рис. 5 наведено структурну схему пристрою, який розраховує значення інтенсивності дзеркальної складової відблиску поверхні тривимірного об'єкту за модифікованою формулою (15).

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

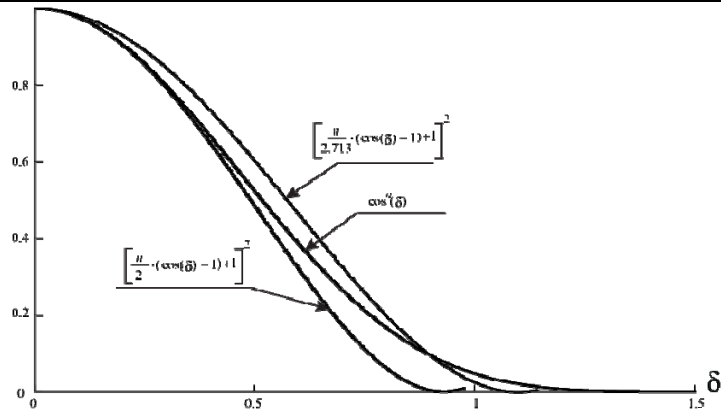


Рис. 4 ДФВЗ Бліна, функція (12) і (15).

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 \hat{H} , $\cos \gamma = \hat{H} \cdot \hat{N}$. 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 10, де зберігаються граничні значення $\cos \gamma_{sp}$. Граничне значення $\cos \gamma_{sp}$ 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 \hat{H} з першого регістру 1.

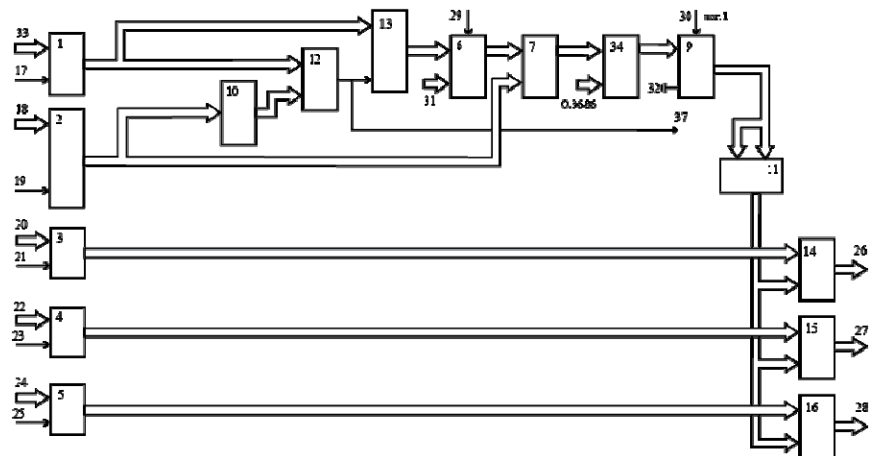


Рис. 5 Схема пристрою

Коли значення $\cos \gamma$ менше за граничне ($\cos \gamma_{sp}$), 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 одинці. Вхід переносу суматора 6 заземлено, що забезпечує формування на його виході значення $\cos \gamma - 1$. На другий вхід блока множення 7 подається значення з другого регістру 2. На виході блока множення 7 формується результат $n \cdot (\cos \gamma - 1)$, який подається на перший вхід блока множення 34. На другий вхід блока множення 34 подається значення 0.3686. На виході блока множення 34 формується значення $0.3686 \cdot n \cdot (\cos \gamma - 1)$, яке подається на перший вхід суматора 9. На виході суматора 9 формується значення $0.3686 \cdot n \cdot (\cos \gamma - 1) + 1$, яке подається на обидва входи блоку множення 11. На виході блоку множення 11 отримується $[0.3686 \cdot n \cdot (\cos \gamma - 1) + 1]^2$. На виході блоків множення 14, 15, 16 формується значення спекулярної складової кольору.

Висновки

Запропоновані нові модифікації найпоширеніших двонаправлених функцій відбивної здатності поверхонь, які покращують характеристики базових моделей. ДФВЗ, які використовують косинус-квадратичну функцію мають відносно просту апаратну реалізацію і можуть бути використані в сучасних відеокартах.

Модифіковану функцію Шліка доцільно використовувати в програмних засобах комп'ютерної графіки, оскільки вона передбачає виконання операції ділення. Запропонована модифікація моделі Варда

Література

1. István Lazányi, László Szirmay-Kalos. Fresnel Term Approximation for Metals // Short Paper Proceedings of WSCG. - 2005. - PP.77-80.
2. Advanced Lighting and Materials with Shaders / Kelly Dempski, Emmanuel Viale - 2004. - 340 P. - ISBN 1-556-22292-0
3. Gregory J. Ward. Measuring and Modeling Anisotropic Reflection // Computer Graphics. - July 1992. - PP.265-272
4. Alexander N. Romanyuk 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. — Vol. 2. – Issue 2. - August 2010. — P. 25-29.
5. Alexander Romahyuk, Yuri Lyashenko The BRDF Models Based on the Cosine-quadratic Function // 10th International Conference on DEVELOPMENT AND APPLICATION SYSTEMS. - 2010. - PP.390-394

Надійшла до редакції
17.5.2012 р.

УДК 621. 317

О.О. СЕМЕНОВА, В.В. КИЧАК

Вінницький національний технічний університет

СИНТЕЗ АЛГЕБРАЇЧНОГО СУМАТОРА З ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНИМ ПРЕДСТАВЛЕННЯМ ІНФОРМАЦІЇ

Метод представлення інформації та система числення можуть мати суттєвий вплив як на особливості функціонування обчислювальних засобів і принципи їх технічної реалізації, так і на структуру пристроїв, які застосовуються для обробки інформації, на швидкодію та на затрати, що необхідні для його реалізації.

The method of data representation and number system could have significant impact on the functioning features of computational tools on principles of their technical realization and structure of devices that are used to process the information on performance and costs that are necessary for their implementation.

Ключові слова: суматор, частото-імпульсне представлення.

Постановка задачі

Завдання цієї праці є проведення синтезу та розробка структурної схеми трійкового алгебраїчного суматора із застосуванням частотно-імпульсного представлення інформації, тобто коли нулю відповідає радіоімпульсний сигнал з частотою заповнення ω_0 , одиниці – ω_1 та двійці – ω_2 .

Синтез трійкового алгебраїчного суматора

Алгебраїчний трійковий суматор або субтрактор являє собою пристрій, який здійснює операцію віднімання двох однорозрядних чисел з формуванням сигналу займу з старшого розряду. В роботах [1, 3] показано, що застосування трійкової системи числення для реалізації логічних елементів потребує менших апаратних затрат в порівнянні з іншими, а використання частотно-імпульсного представлення інформації забезпечить суттєве підвищення діапазону робочих частот та високу завадостійкість, тому метою цієї праці є розробка одного із поширених елементів обчислювальної техніки та системи керування алгебраїчного суматора з частотно-імпульсним представленням інформації.

Функціонування трійкового алгебраїчного суматора описується таблицею істинності. Для синтезу суматора будемо використовувати метод, запропонований в роботі [2]. У відповідності з цим методом на першому етапі необхідно визначити вид логічної функції: однозначно залежна чи неоднозначно залежна. Для цього складається таблиця істинності функції y , яка доповнюється стовпцем значень ППР z_i , що обчислюється за формулою:

$$z_i = \omega_{i1} + \omega_{i2} + \dots + \omega_{in} = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} .$$

Для усіх однакових значень z_i перевіряються значення y_i . Якщо усі ці значення y_i однакові, то функція Y є однозначно залежною і в подальшому синтезі будуть використовуватись саме ці значення z_i . Якщо для однакових значень z_i є різні значення y_i , то маємо справу з неоднозначно залежною функцією і тому для подальшого синтезу необхідно обчислити z_i за формулою: