

АНАЛІЗ ДИСТРИБУТИВНИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ВИСОКОРЕАЛІСТИЧНОГО РЕНДЕРИНГУ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

Наведено аналіз моделей освітлення на основі дистрибутивних функцій для задач рендерингу.

Ключові слова: модель освітлення, ДФВЗ, дистрибутивні функції, рендеринг, Інтенсивність випромінювання

Abstract

The analysis of lighting models based on distributive functions for rendering tasks is given

Keywords: lighting model, BRDF, distributive functions, rendering, Radiation intensity

Вступ

За оптичні властивості поверхні відповідає двопротена дистрибутивна функція відбивної здатності ДФВЗ (BRDF –Bidirectional Reflectance Distributive Function) [1-5]. Вона є моделлю освітлення та визначає, яку частку випромінювання, що надійшло в точку з напрямку \vec{L} , буде відбито в напрямку \vec{V} (рис. 1). ДФВЗ є функцією кількох змінних

$$BRDF = f_{\lambda}(\alpha, \mu_1, \varphi, \mu_2, x) = f(\vec{L}, \vec{V}, \vec{N})$$

де λ – довжина хвилі, $(\alpha, \mu_1), (\varphi, \mu_2)$ – параметри, що визначають відповідно напрямок падаючого світла і напрямок спостереження.

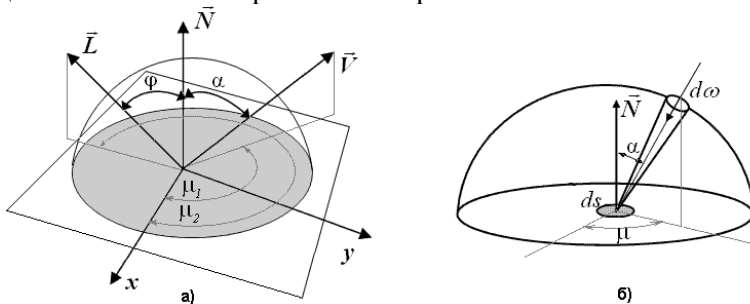


Рис. 1. Вихідні дані для розрахунку ДФВЗ

Інтенсивність випромінювання I [1] в заданому напрямку визначається як величина променевого потоку через ділянку ds_{\perp} (рис. 1), перпендикулярну променю, в межах диференціального тілесного кута $d\omega$, який дорівнює площі нескінченно малого елемента на поверхні одиничної сфери

$$I = \frac{d\Phi}{ds_{\perp} d\omega} = \frac{d\Phi}{ds \cos \alpha d\omega}$$

ДФВЗ може бути розрахована за формулою [1]

$$BRDF = dI(\vec{V}_i) / I(L_i) \cos \alpha_i d\omega_i$$

Серед ДФВЗ найбільшого поширення отримали моделі освітлення Фонга та Бліна. Це пояснюється їх простотою, достатньо високою точністю та використанням в якості аргумента – косинуса кута між векторами, який легко знайти через їх скалярний добуток. Саме ці моделі доцільно використовувати в системах динамічної графіки. Фізично точні моделі, які враховують фасетну структуру поверхні та хвильову теорію світла, доцільно використовувати при жорстких вимогах до реалістичності, оскільки їх розрахунок вимагає великих затрат часу. Проаналізуємо моделі для високореалістичного рендерингу.

Результати дослідження

ДФВЗ Гаусса [2] виду $e^{-\frac{n(\angle(\vec{H}, \vec{L}))^2}{2}}$ є достатньо точною, реалістично відтворює як зону епіцентра відблиску, так і його затухання (блюмінгу), однак не отримала широкого поширення, оскільки передбачає використання обернених функцій для обчислення кута між векторами нормалей.

У функції спекулярного відбиття Блейка [6] використовується кусково-квадратична апроксимація ДФВЗ Фонга на трьох інтервалах. Модель передбачає виконання операцій множення, ділення й додавання, оперує з кутом, розрахунок якого потребує великих витрат часу та має низьку точність.

Р.Ф. Ліон [1], запропонував функцію $\cos^n \gamma$ розкласти у ряд Тейлора і замість кута між відбитим напрямком світла та спостерігачем використати довжину хорди між векторами. В результаті отримано ДФВЗ типу $(1 - n(\angle(\vec{H}, \vec{L}))^2 / 2^{w+1})^{2w}$, де w вибирають залежно від необхідної точності апроксимації. Заміна кута на довжину хорди не сильно позначається на точності розрахунків тільки для невеликих значень кутів.

Згідно з моделлю Хеніей-Грінштейна [2, 6] ймовірність розсіювання світла визначається фасетною властивістю поверхні та дорівнює

$$\frac{1}{4\pi} \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2 \cdot g \cdot \cos j)^{3/2}},$$

де g визначає властивості розсіювання матеріалу.

ДФВЗ Уорда [1] базується на детальному аналізі процесу відбиття світла від поверхонь. У деякому наближенні будь-яка поверхня може бути замінена сукупністю великої кількості мікроскопічних дзеркально відбивних площадок (фасетне подання поверхні). Якщо середнє відхилення в орієнтації площадок дорівнює m , то ДФВЗ такої поверхні буде мати вигляд

$$\frac{1}{\sqrt{(N \cdot L)(N \cdot V)}} \frac{1}{4\pi m^2} e^{\frac{(N \cdot H)^2 - 1}{m^2 (N \cdot H)^2}}.$$

У загальному випадку ДФВЗ, яка враховує фасетну структуру поверхні, має такий вигляд [2]

$$\frac{F}{\pi} \frac{D \cdot G}{(\vec{N} \cdot \vec{L}) \cdot (\vec{N} \cdot \vec{V})},$$

де D – функція розподілу мікрограней на поверхні, F – коефіцієнт Френеля, G – коефіцієнт ослаблення світла, зумовленого тим, що грані маскують і затінюють одна одну.

У моделі Торренса-Сперроу [6] передбачається, що мікрограні орієнтовані згідно з розподіленням Гаусса [2]: $D = c_j \cdot \exp(-\gamma / m)^2$. У моделі Кука-Торренса [6] застосовують більш точну модель

Бекмана [1]: $D = (1/m^2 \cdot (N \cdot H)^4) \cdot e^{\frac{(N \cdot H)^2 - 1}{m^2 (N \cdot H)^2}}$.

При використанні моделей освітлення Фонга та Бліна дзеркальні відблиски мають той же колір, що й у падаючого світла. Принциповою відмінністю моделей Торренса-Сперроу, Кука-Торренса є те, що колір відблиску залежить від довжини хвиль падаючих променів і матеріалу об'єкта.

Для розрахунку коефіцієнтів ослаблення світла використовують формулу [6]

$$G = \min \left(\frac{2 \cdot (\vec{N} \cdot \vec{H})(\vec{N} \cdot \vec{V})}{(\vec{H} \cdot \vec{V})}, \frac{2 \cdot (\vec{N} \cdot \vec{H})(\vec{N} \cdot \vec{L})}{(\vec{H} \cdot \vec{L})}, 1 \right).$$

Перший вираз у функції визначає складову маскування, а другий – самозатінення. Коефіцієнт Френеля можна розрахувати за формулою [1, 2, 6]

$$F(\lambda, \vec{H}, \vec{L}) = 0.5 \cdot \frac{(g-c)^2}{(g+c)^2} \left(1 + \left(\frac{c \cdot (g+c) - I}{c \cdot (g-c) + I} \right)^2 \right),$$

де $c = \vec{N} \cdot \vec{H}$, $g = \sqrt{c^2 + \tau^2 + 1}$, τ – коефіцієнт переломлення матеріалу.

У деяких моделях дистрибутивної функції враховують ефекти оптики, наприклад, дифракцію й інтерференцію. До таких моделей відносять фізично точну модель Xi [2], яка містить 15 параметрів. Трудомісткість обчислень суттєво обмежують її використання в системах реального часу.

Анізотропна модель Ашикмина [6] є експериментальною й визначає розміри відблиску в напрямках u, v

$$\frac{\sqrt{(n_u + 1)(n_u + 1)}}{2\pi} (\vec{N} \cdot \vec{H})^{n_u \cdot \cos^2 \phi + n_v \cdot \sin^2 \phi}.$$

Формула ДФВЗ Уорда [1, 6] для анізотропного зафарбовування має такий вигляд

$$\frac{1}{\sqrt{(\vec{N} \cdot \vec{L})(\vec{N} \cdot \vec{V})}} \frac{1}{4\pi m_x m_y} e^{\frac{(\vec{T} \cdot \vec{P})^2}{m_x^2} + \frac{1 - (\vec{T} \cdot \vec{P})^2}{m_y^2} \times \frac{(\vec{N} \cdot \vec{H})^2 - 1}{(\vec{N} \cdot \vec{H})^2}},$$

де $\vec{P} = \vec{H} - (\vec{N} \cdot \vec{H})\vec{N} / |\vec{H} - (\vec{N} \cdot \vec{H})\vec{N}|$.

В емпіричній моделі освітлення Фуриньєра [2, 6] анізотропні відблиски формуються з використанням декількох обчислень значень освітленості за ізотропними моделями з різними значеннями нормалі.

ДФВЗ Ванга [2] має такий вигляд

$$(\vec{H} \cdot \vec{L})^{\frac{m\zeta}{m - (m-\zeta)(\vec{H} \cdot \vec{T})^2}},$$

де $m, \zeta \in [1, \infty)$ - степені відблиску в напрямку дотичного вектора і бінормалі. При $m = \zeta$

модель описує звичайне ізотропне відбиття. Чим більша різниця між m і ζ , тим яскравіше виражені анізотропні властивості матеріалу.

Анізотропна модель Хейдриша - Сейдла [2] є експериментальною та визначається за формулою :

$$((\vec{L} \times \vec{T})(\vec{V} \times \vec{T}) - (\vec{L} \cdot \vec{T})(\vec{V} \cdot \vec{T}))^n, \quad \vec{T} = \left| \vec{N} \times \left| \vec{D} \times \vec{N} \right| \right|,$$

де \vec{D} – одиничний вектор, який визначає анізотропний напрямок.

Анізотропна модель Ашикмина-Шерлі [2, 6] враховує хвильові властивості світла, а тому використовує коефіцієнт Френеля. Ця ДФВЗ має такий вигляд

$$\frac{\sqrt{(n_u + 1)(n_u + 1)}}{8\pi} \times \frac{(\vec{N} \cdot \vec{H})^{n_u \cdot \cos^2 \phi + n_v \cdot \sin^2 \phi}}{(\vec{N} \cdot \vec{L}) \max((\vec{N} \cdot \vec{V}), (\vec{N} \cdot \vec{L}))} F(\vec{N} \cdot \vec{L}).$$

Висновки

Проведений аналіз дозволяє вибрати модель освітлення на основі дистрибутивних функцій для конкретного за стосунку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. 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.
3. Romanuyk O. Approximation of Bidirectional Reflectance Distribution Function with 3-Degree Polynomial / O. Romanuyk // IEEE Workshop on Control and Communications, 2007. SIBCON aros; 07. Siberian Conference on Volume, Issue, 20—21 April 2007. — P. 158—164.
4. Романюк О. Н. Альтернативна реалізація дистрибутивної двопроменевої функції для моделей освітлення Бліна та Фонга / О. Н. Романюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Обчислювальна техніка та автоматизація». — 2006. — Випуск 106. — С. 219—228.
5. Романюк О. Н. Квадратична апроксимація BRDF / О. Н. Романюк, Ю. Л. Ляшенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 1. — С. 67—69.
6. Херн Д., Бейкер М. Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Д. Херн, М. Бейкер. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2005. — 1168 с.

Романюк Олександр Никифорович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rom9591@gmail.com

Романюк Оксана Володимирівна — канд. техн. наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет

Станіславенко Євген Григорович — студент групи ЗПІ-19б, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Romanyuk Alexander N. — Dr. Tech. Sciences, Professor, Head of the Department of Software, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rom9591@gmail.com

Romaniuk Oksana V. — Candidate of Philology tech. Sciences, Associate Professor of Software, Vinnytsia National Technical University

Stanislavenko Yevhen H. — student of group ЗPI-19b, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.