

УДК 514.8

А.О. ДАШКЕВИЧ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ",
К.В. АНІСІМОВ, канд. техн. наук, НТУ "ХПИ"

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСВІТЛЕННЯ

Розглянуто моделювання процесу освітлення з використанням алгоритму "radiosity". Наведено основні підходи до розв'язання задачі моделювання освітлення в комп'ютерній графіці. Розглянуто основні етапи розрахунків форм-фактору поверхні та доли енергії, що надходить від випромінювача до елементарної частки поверхні. Іл. 6. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: radiosity, форм-фактор, освітлення, геометричне моделювання.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Під час аналізу процесів, пов'язаних зі штучним або природнім освітленням виникає проблема комп'ютерного моделювання таких процесів. Швидкість та ефективність процесу суттєво залежить від обраного алгоритму обчислення освітлення.

За останні роки відбувається інтенсивний розвиток комп'ютерних алгоритмів освітлення, з яких можна виділити такі:

1. Моделі локального освітлення (не враховують передачу світла між поверхнями та вторинне освітлення), які були історично першими: до них належать алгоритми Гуро [1] та Фонга [2].

2. Моделі глобального освітлення: алгоритм трасування променів [3], алгоритм "radiosity" [4, 5, 7] та гібридні алгоритми на їх основі [6].

Серед вказаних моделей алгоритми локального освітлення є найбільш простими в реалізації, але вони не надають необхідної точності результату [6, 8, 9]. З іншого боку, алгоритми трасування променів та "radiosity" є більш точними, але швидкість розрахунку їх суттєво менша в порівнянні з моделями Гуро та Фонга [10, 11]. Алгоритм трасування більш придатний для розрахунків дзеркальних відображень, а алгоритм "radiosity" – для дифузного освітлення [12, 13].

Вказані алгоритми не враховують самозатінення ділянок поверхні випромінювача світла, тому при дослідженнях реальних процесів освітлення та оцінки коефіцієнту корисної дії компактних люмінесцентних ламп виникає необхідність внесення змін до алгоритмів освітлення, які б враховували такі недоліки.

Ціль статті. Удосконалення алгоритму "radiosity" з метою оцінювання освітлення від випромінювача складної геометричної форми, що має ділянки з самозатіненням та його комп'ютерна реалізація.

Основна частина. Алгоритм "radiosity" полягає в тому, що усі поверхні, які використовуються в розрахунках (в тому числі і поверхня випромінювача світла), необхідно поділити на елементарні одиниці площі – так звані "патчі" (рис. 1). Далі оцінюється освітлення для всіх патчів (рис. 2):

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cos \theta_i}{d_i}, \quad (1)$$

де I_i — інтенсивність випромінюваного освітлення точкового джерела світла S_i ; d_i — відстань від джерела світла до поверхні-приймача.

Наступним етапом розраховується форм-фактор випромінювання – частка енергії, яка передається від деякої елементарної одиниці поверхні-джерела (Φ_{ij} – світловий потік) до поверхні-приймача. При цьому враховується взаємна орієнтація цих двох поверхонь (рис. 2).

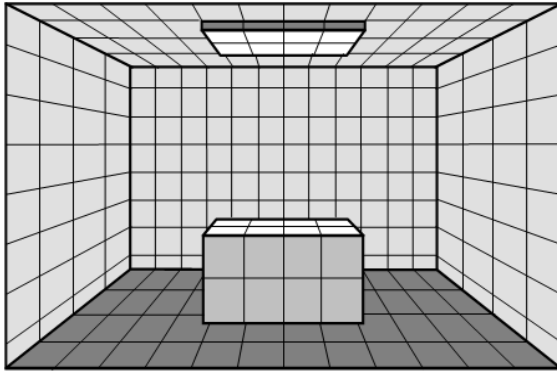


Рис. 1. Розбиття поверхні приміщення та джерела світла на елементарні одиниці площі

Розрахунок форм-фактору dF_{ij} від елементарного патчу dE_i до елементарного патчу dE_j матиме вигляд:

$$dF_{ij} = \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j dA_j}{\pi r^2}, \quad (2)$$

де θ_i та θ_j – кути між прямою, що поєднує dE_i та dE_j , та їх відповідними нормальми n_i та n_j ; r – відстань між елементарними патчами dE_i та dE_j ; dA_j – диференційна площа патчу dE_j ; A_i , A_j – повна площа поверхні джерела і приймача.

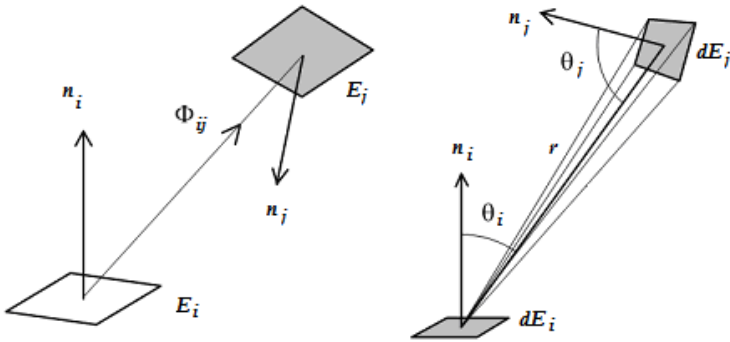


Рис. 2. До розрахунку форм-фактору

Також відома формула для форм-фактору від скінченної поверхні E_i до елементарного патчу dE_j :

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_j dA_i, \quad (3)$$

але це рівняння в загальному випадку не має аналітичного рішення і мусить бути розв'язано чисельними методами. Серед таких методів можна виділити методи одиничної напівсфери, одиничного напівкубу (рис. 3) та кубічного тетраедру.

Всі ці методи призначені для спрощення розв'язку рівняння (3). Для розробленої програми було обрано метод напівкубу як більш простий у реалізації і внаслідок – меншої обчислювальної складності. В алгоритмі напівкубу значення форм-фактору дорівнює відношенню проекції поверхні, що випромінює на поверхню напівкущу, до площі поверхні самого напівкубу, яка складається з суми площин п'яти його граней (див. рис. 4). Для цього засобами бібліотеки комп'ютерної графіки OpenGL було реалізовано вказаний алгоритм. В якості поверхні-випромінювача було обрано поверхню стандартної компактної люмінесцентної лампи (КПЛ) (рис. 3), яку було створено в програмі Autodesk 3ds Max. На рис. 5 наведено приклад проекції поверхні КЛЛ на поверхню напівкубу.

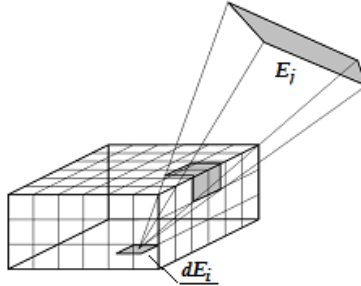


Рис. 3. Метод напівкубу

Таким чином розраховується значення форм-фактору між усіма патчами поверхні-приймача та усіма патчами поверхні-джерела. Після цього розраховується загальна кількість енергії, яку отримує поверхня-приймач:

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m dF_{ij}, \quad (4)$$

де n – кількість патчів в поверхні-джерела, m – кількість патчів поверхні-приймача.

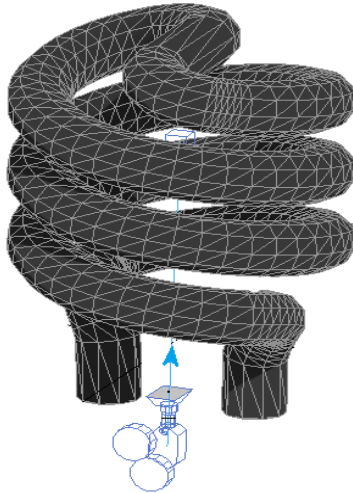


Рис. 4. Модель КЛЛ та ділянка поверхні напівкубу (в вигляді камери)

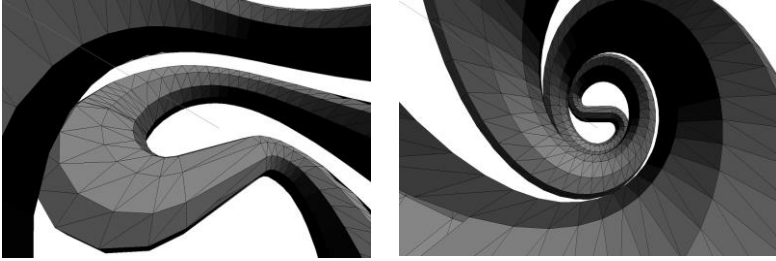


Рис. 5. Приклади проєкцій поверхні лампи на поверхню напівкубу

Розглянемо роботу запропонованого алгоритму: на рис. 4 наведено деяке положення точки огляду (елементарний патч), в якій розміщено напівкуб (зображено в вигляді камери), який зорієнтовано уздовж нормалі до поверхні-приймача. Далі, засобами графічної бібліотеки OpenGL отримуємо проєкцію поверхні лампи на напівкуб, яку наведено на рис. 5. Така проєкція може бути використана для розрахунку форм-фактору замість розрахунку інтегралу складної поверхні лампи. В такому випадку запропоновано рахувати кількість пікселів отриманої проєкції поверхні та обчислювати їх співвідношення до загальної кількості пікселів зображення.

Для реалізації алгоритму було обрано мову програмування C++ та графічну бібліотеку OpenGL. Було створено функції завантаження моделі лампи у віртуальне середовище бібліотеки lib3ds, візуалізації отриманої моделі та розрахунку площі проєкції поверхні на поверхню напівкубу в кожній точці поверхні-приймача світла.

Висновки. 1. В роботі наведено модель, що дозволяє використовувати складні поверхні, які задані полігональною сіткою, що надає змогу відмовитися від обчислення інтегралу освітлення для аналітично заданих поверхонь.

2. Результати роботи дозволяють провести комп'ютерні експерименти, результати яких можуть бути використані для розрахунків ККД компактних люмінесцентних ламп.

3. Створено комп'ютерну реалізацію вдосконаленого алгоритму "radiosity", яка дозволяє провести розрахунок для будь-якої геометричної форми як поверхні-випромінювача, так і поверхні-приймача.

Список літератури: 1. *Gouraud H.* Continuous shading of curved surfaces / *H. Gouraud* // IEEE Transactions on Computers. – 1971. – 20. – №. 6. – P. 623-629. 2. *Phong B.* Illumination for computer generated pictures / *B. Phong* // Communications of ACM. – 1975. – 18. – № 6. –

P. 311-317. **3.** Whitted T. An improved illumination model for shaded display / T. Whitted // Communications of the ACM. – 1980. – 23. – № 6. – P. 343-349. **4.** Gijssenij Van De. Computational color constancy: Survey and experiments // A. Gijssenij, T. Gevers and J. Weijer // Image Processing, IEEE Transactions on. – 2011. – Vol. 20. – №. 9. – P. 2475-2489. **5.** Gijssenij A. Color constancy for multiple light sources / A. Gijssenij, R. Lu, T. Gevers // Image Processing, IEEE Transactions on. – 2012. – Vol. 21. – №. 2. – P. 697-707. **6.** Goral C. Modeling the interaction of light between diffuse surfaces / C. Goral, K. Torrance, D. Greenberg, B. Battaile // Computer Graphics. – 1984. – 18. – №. 3. – P. 213-222. **7.** Hamilton A.C. Metamaterials for light rays: ray optics without wave-optical analog in the ray-optics limit / A.C. Hamilton, J. Courtial // New J. Phys. – 2009. – 11. – P. 11. **8.** Sava M. A Novel Colour-Constancy Algorithm: A Mixture of Existing Algorithms / M. Sava, D. Zazula, B. Potocnik // Journal of the Laser and Health Academy. – 2012. – №. 1. – P. 5-36. **9.** Анісімов К.В. Особливості прогнозування контуру вигорання при лісових пожежах / К.В. Анісімов // Геометричне та комп'ютерне моделювання. Збірник наукових праць. – Харків: ХДУХТ, 2009. – Вип. 23. – С. 203-208. **10.** Кукуруза Д.В. Геометричне модулювання розподілу значень локальних кутових коефіцієнтів випромінювання на множенні точок площини: Дисс. канд. техн. наук: 05.01.01 – Київ: КГТУСА (КИСИ), 2007. – 185 с. **11.** Хауэл Дж. Теплообмен излучением / Дж.Хауэл. – М.: Мир, 1975. – 934 с. **12.** Попов В.М. Метод оцінки теплового потоку, що випромінюється еліпсоїдом як факелом полум'я / В.М. Попов, Л.М. Куценко, В.В. Семенова-Куліш. – Харків: ХІПБ МВС України, 2000. – 144 с. **13.** Шоман О.В. Геометричне моделювання променевого енергообміну між аналітично заданими поверхнями: Дисс. канд. техн. наук: 05.01.01. – К.: КГТУСА, 1998. – 165 с.

Надійшла до редакції 20.09.2013

Статтю представив д-р техн. наук., проф. каф. геометричного моделювання та комп'ютерної графіки НТУ "ХПИ" Ніцин О.Ю.

УДК 514.8

Геометрическое моделирование процесса освещения / Дашкевич А.А., Анисимов К.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 19 (992). – С. 24 – 29.

Рассмотрено моделирование процесса освещения с использованием алгоритма "radiosity". Приведены основные подходы к решению задачи моделирования освещения в компьютерной графике. Рассмотрены основные этапы расчетов форм-фактора и доли энергии, поступающей от излучателя к приемнику. Ил.: 5. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: radiosity, форм-фактор, освещение, геометрическое моделирование.

UDC 514.8

Geometrical modeling of illumination process / Dashkevich A.A., Anisimov K.V. / Herald of the National Technical University "KhPI" Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 19 (992). – P. 24 – 29.

The illumination process with the algorithm "radiosity" is considered. The main approaches to solve the illumination problem in computer graphics is given. The main stages of form-factor and part of energy from source of light to the receiver site calculating is shown. Figs.: 6. Refs.: 13 titles.

Keywords: radiosity, form-factor, illumination, geometrical modeling.