

УДК 681.323

В.М. ГУСЯТИН, А.П. ОСТРОУШКО, А.Н. БУГРИЙ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Украина

ПОДХОД К ОПИСАНИЮ ОТРАЖАЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ТРАССИРОВАНИЯ

Статья посвящена повышению реалистичности синтезируемых изображений в системах компьютерной графики. Предлагается использовать текстурные карты, описывающие отражающие свойства поверхности, что дает возможность более гибко оперировать свойствами материала и создавать различные спецэффекты на их основе. Решается задача уменьшения объема таких карт за счет расчета коэффициентов отражения рассеянного света в реальном времени на основе аппроксимирующих функций для модели Фонга и ее модификаций. Результаты могут быть использованы при разработке систем визуализации реального времени для авиационных и космических тренажеров.

аппроксимирующая функция, индикатриса отражения, коэффициент отражения, модель Фонга, относительная погрешность, текстурная карта, телесный угол

Актуальность и постановка задачи

Формирование реалистичных изображений в системах визуализации авиационных и космических тренажеров требует использования текстурных карт с высоким уровнем детализации. При этом подход, используемый при прямом трассировании для выполнения закраски по методу Гуро, когда коэффициенты отражения одинаковы для всей поверхности, а информация из текстурной карты используется только для модулирования значений отраженного излучения [1 – 3], часто не удовлетворяет требованиям фотореалистичности синтезируемого объекта. Закраска по методу Фонга, а также метод обратного трассирования позволяют исправить ситуацию за счет возможности использования текстурных карт, содержащих информацию о коэффициентах отражения в каждой точке поверхности. При описании отражающих свойств поверхности в современной компьютерной графике обычно задают коэффициенты рассеянного, диффузного и зеркального отражения для каждой цветовой составляющей. Таким образом, непосредственное задание всех коэффициентов приведет к значительному (в 3 и более раз в зависимости от используемой модели расчета отраженного излучения) росту объема текстуры, что, в

свою очередь, потребует значительных объемов памяти и увеличения ее пропускной способности.

В статье предлагается метод, позволяющий уменьшить объем памяти, необходимой для хранения текстурной карты, содержащей информацию об отражающих свойствах поверхности. Суть метода заключается в задании только части коэффициентов отражения, а расчет остальных осуществляется в реальном времени при расчете яркости поверхности.

Решение задачи

Отражающие свойства любой поверхности полностью описываются видом индикатрис и коэффициентами диффузного и зеркального отражений [4, 5].

Коэффициент отражения излучения любой поверхностью можно представить в виде [6]:

$$\rho = k_d \rho_d + k_s \rho_s, \quad (1)$$

где k_d, k_s – коэффициенты диффузного и зеркального отражения;

ρ_d, ρ_s – функции, определяющие вид индикатрис диффузного и зеркального отражения.

Зная значения коэффициентов k_d, k_s и вид индикатрис, можно рассчитать значения коэффициен-

тов отражения рассеянного излучения k_a . Такая операция выполняется путем интегрирования индикатрисы отражения в телесном угле 2π :

$$k_a = \frac{1}{2\pi} \oint_{2\pi} \rho \, d\Omega. \quad (2)$$

Однако выполнение этой операции в реальном времени требует значительных вычислительных затрат, а зачастую и вообще невозможно из-за необходимости применения численных методов. Ниже предлагаются алгоритмы расчета в реальном времени коэффициентов отражения рассеянного излучения для наиболее распространенной на сегодняшний день в компьютерной графике модели Фонга.

Индикатриса диффузно отраженного поверхностью излучения описывается законом Ламберта

$$\rho_d = \cos \theta = \bar{N} \cdot \bar{L}, \quad (3)$$

где θ – угол между нормалью к поверхности \bar{N} и направлением на источник \bar{L} (рис. 1). Здесь и далее в формулах используются вектора единичной длины.

В соответствии с оригинальной моделью Фонга индикатриса зеркально отраженного поверхностью излучения рассчитывается по следующему соотношению [2, 6]:

$$\rho_s = \cos^n \alpha = (\bar{R} \cdot \bar{V})^n, \quad (4)$$

где α – угол между отраженным лучом света \bar{R} и лучом наблюдения \bar{V} ;

n – коэффициент, определяющий телесный угол, в котором распространяется зеркально отраженное излучение.

Подставляя в (1) выражения (3) и (4), получим

$$\rho = k_d \cos \theta + k_s \cos^n \alpha. \quad (5)$$

Источник рассеянного излучения можно представить в виде равномерного протяженного источника в форме полусферы [7]. Индикатриса отражения в этом случае симметрична относительно вектора нормали к поверхности. Это дает возможность заменить интегрирование (2) соотношением

$$k_a = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} k_d \rho_d d\theta + \frac{2}{\pi^3} \int_0^{\pi/2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} k_s \rho_s d\theta d\gamma d\varphi, \quad (6)$$

где γ – угол между проекцией вектора направления на источник света на плоскость XZ и осью X ;

φ – угол между нормалью к поверхности и лучом наблюдения.

Подстановка (5) в (6), с учетом того, что k_d и k_s не зависят от угла падения лучей, для модели Фонга дает:

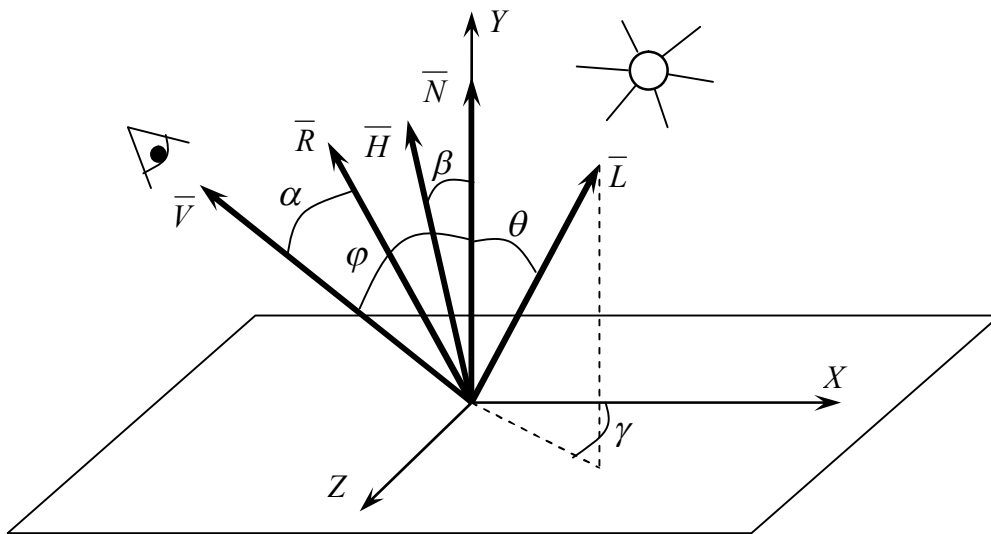


Рис. 1. Геометрические элементы задачи

$$k_a = \frac{2}{\pi} k_d + k_s \chi_\phi(n),$$

где χ_ϕ – функция, определяющая часть зеркально отраженного излучения в направлении к наблюдателю.

Вид функции $\chi_\phi(n)$ представлен на рис. 2, а. Аналитическое выражение для этой функции имеет достаточно сложный вид, поэтому расчет целесообразно выполнять численными методами. Это обстоятельство затрудняет вычисление соотношения (6) в реальном времени, поэтому функцию $\chi_\phi(n)$ для упрощения вычислений предлагается аппроксимировать степенной функцией вида

$$\chi_\phi(n) \approx a(n+b)^c, \quad (7)$$

где a, b и c – константы.

В результате математического моделирования было установлено, что минимальное среднеквадратичное отклонение для диапазона $n \in \{1 \dots 200\}$ достигается при значениях $a = 0,97$; $b = 1,3$ и $c = -0,873$. Погрешность аппроксимации не превышает 0,8% (рис. 2, б). Таким образом, значение коэффициента отражения рассеянного света в соответствии с оригинальной моделью Фонга можно рассчитать по следующему соотношению:

$$k_a = 0,637k_d + 0,97k_s(n+1,3)^{-0,873}. \quad (8)$$

Поскольку для расчета выражения (4) необходимо сначала найти вектор R , что требует операций

умножения, то часто с целью уменьшения объема вычислений его заменяют следующим [2]:

$$\rho_s = \cos^n \beta = (\overline{N} \cdot \overline{H})^n, \quad (9)$$

где β – угол между нормалью к поверхности \overline{N} и вектором половинного направления $\overline{H} = (\overline{L} + \overline{V})/2$.

Подстановка (9) в соотношение (1) и дальнейшее интегрирование в соответствии с (6) дает

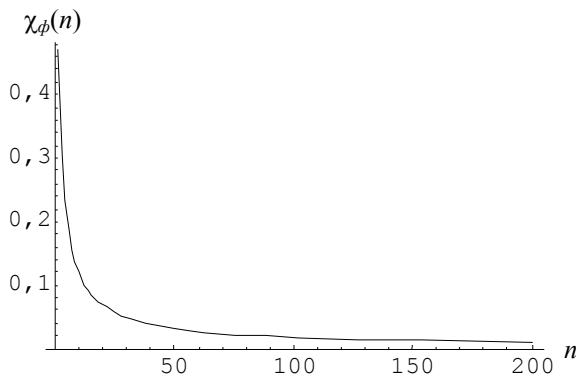
$$k_a = \frac{2}{\pi} k_d + k_s \chi'_\phi(n). \quad (10)$$

Вид функции $\chi'_\phi(n)$ представлен на рис. 3, а. Поскольку вычисление функции $\chi'_\phi(n)$ также требует численных методов интегрирования, то для упрощения расчета соотношения (10) предлагается заменить эту функцию аналитической аппроксимирующей функцией вида (7). Наименьшее среднеквадратическое отклонение достигается при значениях $a = 2,5235$; $b = 3$ и $c = -0,875$. Максимальное отклонение значения аппроксимирующей функции при этом не превышает 0,7% (рис. 3, б).

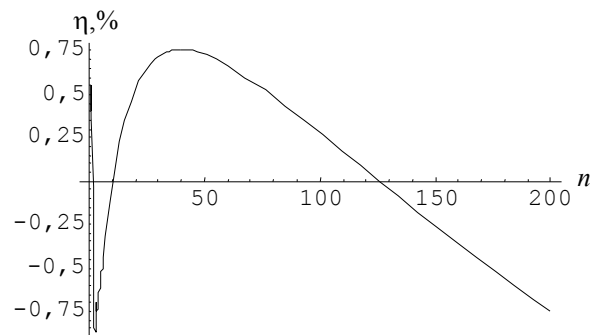
Окончательно для модифицированной модели Фонга получим

$$k_a = 0,637k_d + 2,5235k_s(n+3)^{-0,875}. \quad (11)$$

Соотношения (8) и (11) могут быть использованы как непосредственно для расчета коэффициентов отражения рассеянного света в реальном времени, так и для табличного задания значений коэффициентов.



а



б

Рис. 2. Модель Фонга:
а – функция $\chi_\phi(n)$; б – ошибка аппроксимации

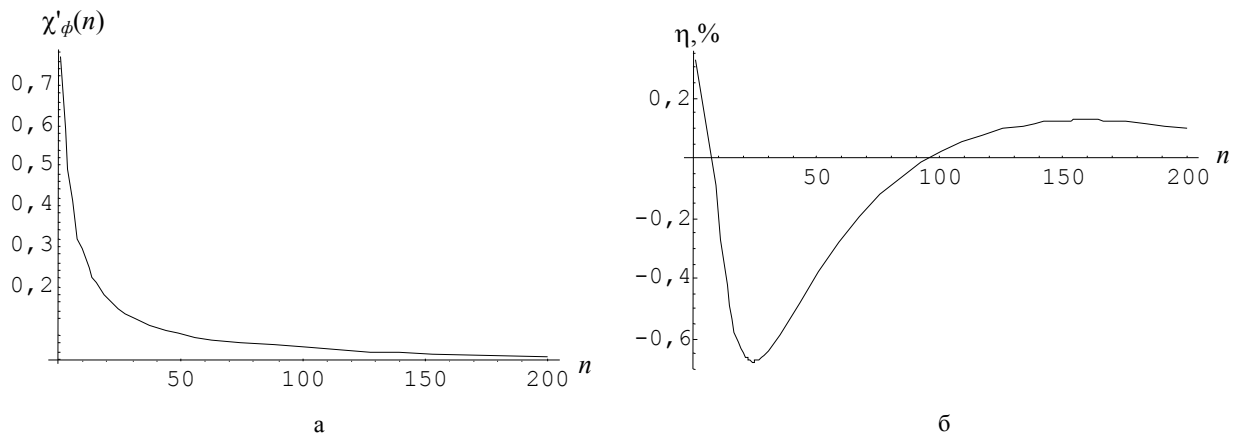


Рис. 3. Модифицированная модель Фонга:
 а – функция $\chi'_\phi(n)$; б – ошибка аппроксимации

Заключение

Предложенный в статье подход позволяет:

- более точно описать отражающие свойства поверхности объекта в каждой точке при синтезе изображения методом обратного трассирования по сравнению с обычным подходом, когда коэффициенты отражения одинаковы для всей поверхности;

- рассчитать значение коэффициентов отражения рассеянного света по аналитическим соотношениям для оригинальной и модифицированной моделей Фонга;

- уменьшить в текстурных картах, описывающих отражающие свойства поверхности, объем информации за счет исключения коэффициента отражения рассеянного света и расчета его в реальном времени по соотношениям (8) или (11);

- получить соотношения для расчета коэффициентов отражения рассеянного света для других моделей, описывающих отражающие свойства материалов, например, для модели Торренса – Сперроу.

Результаты, полученные в статье, могут найти применение при построении систем визуализации авиационных и космических тренажеров с целью повышения реалистичности синтезируемых сцен, расширения перечня обрабатываемых упражнений, и, как следствие, повышения уровня подготовки операторов.

Литература

1. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL. – М.: Вильямс, 2001. – 592 с.
2. Френсис Хилл. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. – С.-Пб.: Питер, 2002. – 1088 с.
3. Тихомиров Ю. Программирование трехмерной графики. – С.-Пб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2000. – 256 с.
4. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.
5. Мешков В.В. Основы светотехники: Учебн. пособие для вузов. Ч.1. – М.: Энергия, 1979. – 368 с.
6. Foley J.D., van Dam A., Feiner S.K., Hughes J.F. Computer Graphics (principles and practice). – Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1996. – 1175 p.
7. Иванов В.Б., Батраков А.С. Трехмерная компьютерная графика. – М.: Радио и связь. 1995. – 224 с.

Поступила в редакцию 21.07.2004

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.Ю. Соколов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Харьков.