

УДК 628.971

Ю. О. Васильева, канд. техн. наук,
Е. Н. Ляшенко

*Харьковская национальная академия
 городского хозяйства*

МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Введение. Развитие компьютерной графики происходило независимо от светотехники, в основном для нужд дизайнеров и архитекторов. Главной задачей компьютерной графики являлась визуализация объектов, задаваемых некоторой математической моделью. Постепенно центральное место исследований по компьютерной графике сместился из области геометрических построений на экране монитора ЭВМ в сторону точного расчета светового поля яркости в наблюдаемом пространстве.

Это привело к революционному изменению теории светового поля, что в свою очередь сегодня принципиально изменяет содержание расчета ОУ. В литературе по компьютерной графике теория точного моделирования яркости поверхностей виртуальных объектов наблюдения с учетом всех возможных оптических процессов получил название глобального освещения (global illumination) [1].

В основе алгоритмов компьютерной графики лежит расчет яркости светового поля, или иначе, речь идет о визуализации распределения яркости в пространстве.

Цель работы. Выявление оптимального метода моделирования яркости поверхностей виртуальных объектов наблюдения с учетом всех возможных оптических процессов является необходимым для фотореалистичного воспроизведения виртуальных объектов.

Соответственно математическая модель визуализации объектов представляет собой не что иное, как фотометрический расчет светового поля при заданном расположении объектов, источников света, светотехнических характеристиках их поверхностей. Для описания взаимодействия лучей света с поверхностью материала в фотометрии определяется коэффициент яркости [3], как отношение яркости поверхности в заданном направлении к яркости идеальной диффузной поверхности, находящейся в тех же условиях освещения. Нетрудно видеть, что коэффициент яркости в соответствии с этим определением зависит от условий освещения и не является только характеристикой материала поверхности. Поэтому определяют коэффициент яркости при определенных условиях освещения. Наибольшее значение на практике имеет коэффициент яркости при диффузном и при направленном освещении.

Интегральное уравнение глобального освещения учитывает все фотометрические явления на границе объектов 3М сцены: диффузно-зеркальное отражение, пропускание и собственное излучение. Оно включает все возможные акты переотражений и пропускания света в сцене, а потому получаемое решение физически адекватно распределению яркости реальной сцене наблюдения. Такой подход, учитывающий все факторы, получил название в литературе по компьютерной графике глобального освещения [1, 4-6]. В противоположность глобальному освещению, на начальном этапе развития компьютерной графики изображения 3М сцен пытались создавать на основе, либо полного пренебрежения эффектами многократного переотражения (пропускания)

поверхностями сцены, либо учета первой кратности - локальное освещение (local illumination) [1, 4].

Первые программы визуализации, использовавшие локальные модели освещения, в рамках которых предполагается, что затенение одной поверхности не зависит от затенений другой поверхности, трактовали задачи видимости поверхности и затенения независимо. Локальные модели освещения обычно пренебрегают переотраженным светом и принимают, что свет приходит только из конечного числа точечных источников освещения. Расчеты прямого освещения достаточно просты, но при этом объект, не освещенный непосредственно, выводится черным, а тени, если моделируются вообще, обычно интенсивно обрамляются, отчего поверхности предметов выглядят гладкими и пластмассовыми, а вся сцена подобна сценам наружного освещения.

Глобальные модели освещения основываются на том, что видимость и затенения связаны между собой: яркость точки поверхности определяется распределением яркости по всем остальным поверхностям, видимым из этой точки, что определяется интегральным характером уравнения глобального освещения. Такими методами синтеза изображения можно моделировать полутени, шероховатость и свойства отражения реальных материалов, освещение многократно отраженным светом и связанные с ним цветовые эффекты. Видимые результаты глобального освещения есть те банальности, которые мы едва осознаем в реальной жизни, но их отсутствие очень заметно в изображениях, синтезируемых компьютером. Неточное моделирование глобального освещения на реальной, материальной сцене подобно точному моделированию на нереальной, нематериальной сцене.

В общем случае произвольной 3М сцены для построения численных алгоритмов решения уравнения глобального освещения используются два основных подхода: метод излучательности и метод трассировки лучей.

Метод излучательности. Алгоритм решения задачи визуализации трехмерной сцены методом излучательности можно представить в следующем виде

1. Представление сцены в виде сетки граней с заданными фотометрическими характеристиками (рис.1, 2).

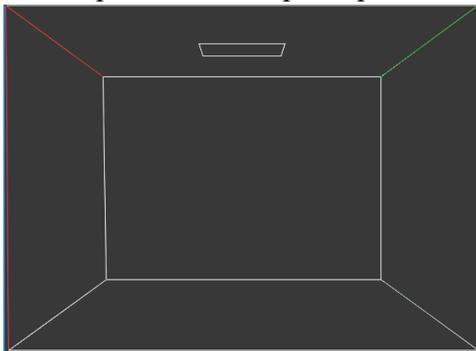


Рис. 1

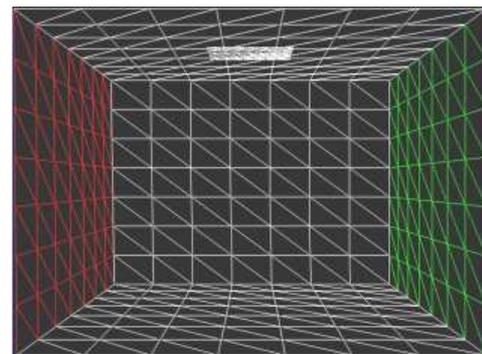


Рис. 2

2. Вычисление форм-факторов между всеми гранями сцены (рис. 3, 4).

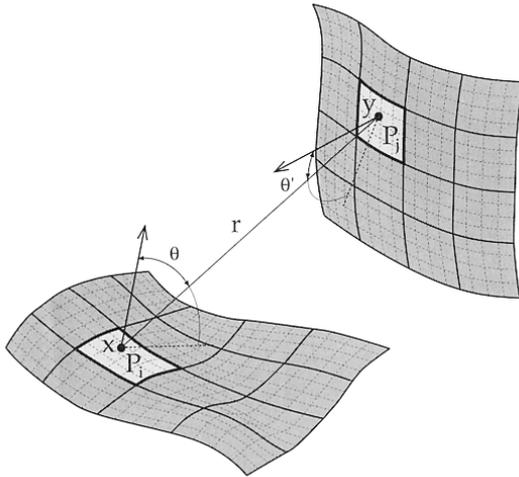


Рис. 3

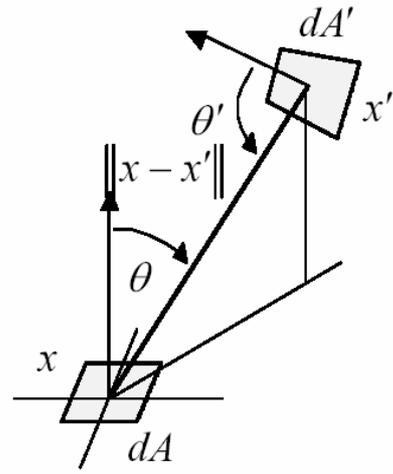


Рис. 4

3. Решение уравнения излучательности итерационным методом (рис.5).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ X \\ Y \\ X \\ Y \\ Y \\ X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ X \\ Y \\ X \\ Y \\ X \\ Y \\ X \\ X \end{bmatrix} + Y \begin{bmatrix} X \\ X \end{bmatrix}$$

Рис. 5

4. Проецирование результатов на картинную плоскость с использованием алгоритмов закрашивания (рис.6).

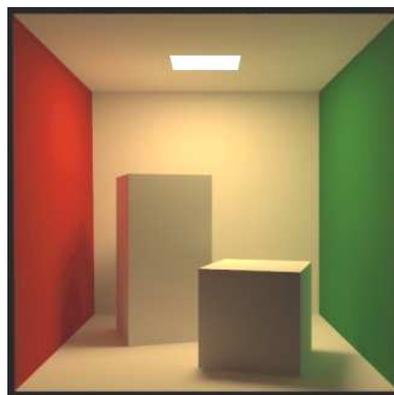


Рис. 6

Важнейшим свойством метода излучательности является его независимость от положения наблюдателя.

Решение после остановки на произвольном шаге итерации можно улучшить, если распределить оставшуюся нераспределенной световую энергию, используя

представление о помещении как о фотометрическом шаре. С этой целью в программах существует источник подсветки (ambient) равномерно добавляющий каждой грани нераспределенную долю потока.

Существенной проблемой визуализации 3М сцен методом излучательности является выбор размеров сетки разбиения сцены на грани. Время и точность решения уравнения визуализации накладывают противоречивые требования к количеству элементов сетки разбиения поверхностей: чем меньше элементы, тем точнее решение, но тем больше их количество и время решения. Очень мелкое разбиение неразумно, так как для равномерно освещенных поверхностей при точном вычислении форм-фактора это абсолютно не добавит точности. В то время как сильно неравномерно освещенные грани (тень) нуждаются в достаточно мелком разбиении.

Идеальным является крупное разбиение равномерно освещенных граней и мелкое в местах сильной неравномерности. Получается порочный круг: для хорошего решения задачи визуализации необходимо знать искомое распределение освещенности по сцене. Здесь можно использовать некоторую априорную информацию, или проводить разбиение параллельно с расчетом. При автоматическом разбиении (адаптивные сети) поток, падающий на грань, сравнивается с потоком на соседние грани, и если он существенно больше, то грань делится на элементы. Если разница в потоке незначительна, то грани наоборот объединяются.

Метод трассировки лучей. Основная идея метода трассировки лучей очень проста: для каждого пикселя на дисплее движок рендеринга проводит прямой луч от глаза наблюдателя (камеры) до элемента выводимой сцены. Первое пересечение используется для определения цвета пикселя как функции пересекаемой поверхности элемента (рис.7).

Но одного этого мало для вывода реалистичной сцены. Необходимо определить освещение пикселя, что требует проведения вторичных лучей (в отличие от первичных лучей, которые определяют видимость разных объектов, составляющих сцену). Чтобы рассчитать эффекты освещения сцены, проводятся вторичные лучи от точек пересечения к разным источникам света. Если эти лучи блокируются объектом, то данная точка находится в тени, которую отбрасывает рассматриваемый источник света. Иначе источник света влияет на освещение. Совокупность всех вторичных лучей, которые достигают источника света, определяет качество освещения, которое попадает на наш элемент сцены. Чтобы получить наиболее реалистичный рендеринг, необходимо учитывать характеристики отражения и преломления материала. Другими словами, нужно знать, какое количество света отражается в точке пересечения первичного луча, а также количество света, которое проходит через материал в этой точке. Опять же, для расчёта финального цвета пикселя необходимо проводить лучи отражения и преломления.

В итоге мы получаем несколько типов лучей. Первичные лучи используются для определения видимости объекта и напоминают своего рода Z-буфер [3], используемый в растеризации. А вторичные лучи разделяются на следующие:

- лучи тени, освещения;
- лучи отражения;
- лучи преломления.

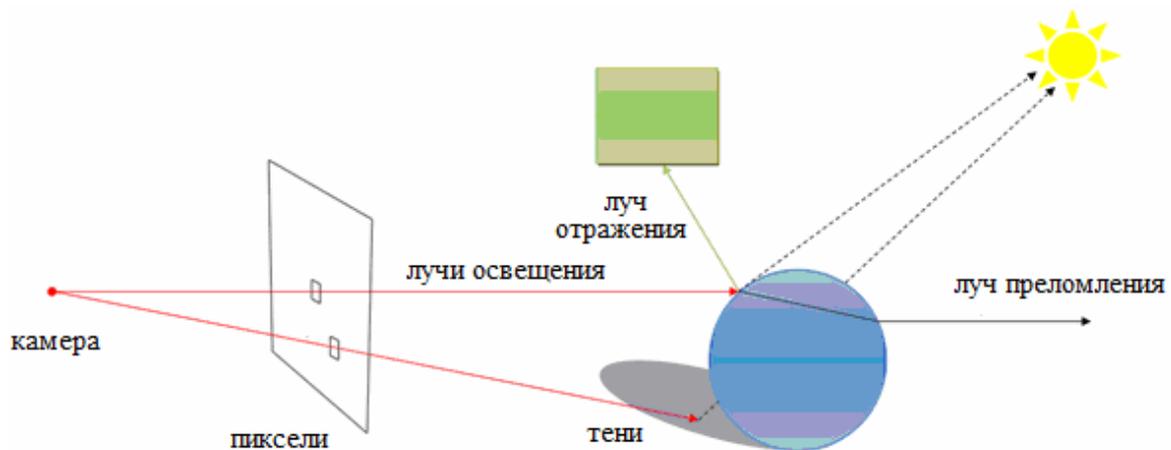


Рис. 7 - Классический алгоритм трассировки лучей.

Данный алгоритм трассировки лучей является результатом работы Тёрнера Виттеда (Turner Whitted), исследователя, который изобрёл алгоритм 30 лет назад. До того времени алгоритм трассировки лучей работал только с первичными лучами. И улучшения, внесённые Виттедом, оказались гигантским шагом в сторону реализма рендеринга сцены.

Алгоритм трассировки лучей работает "в обратную сторону" от явлений, протекающих в реальном мире. В отличие от распространённого в Средние века мнения, наши глаза не излучают лучи света, напротив, они получают лучи света от источников света, которые отражаются на различных объектах, окружающих нас. Так и работали самые первые алгоритмы трассировки лучей. Но главным недостатком первых алгоритмов было то, что они налагали огромную вычислительную нагрузку. Для каждого источника освещения вам нужно провести тысячи лучей, многие из которых вообще не будут влиять на выводимую сцену (поскольку они не пересекают плоскость построения изображения). Современные алгоритмы трассировки лучей являются оптимизацией базовых алгоритмов, при этом они используют так называемую обратную трассировку луча, поскольку лучи проводятся в обратном направлении по сравнению с реальностью (рис. 8).

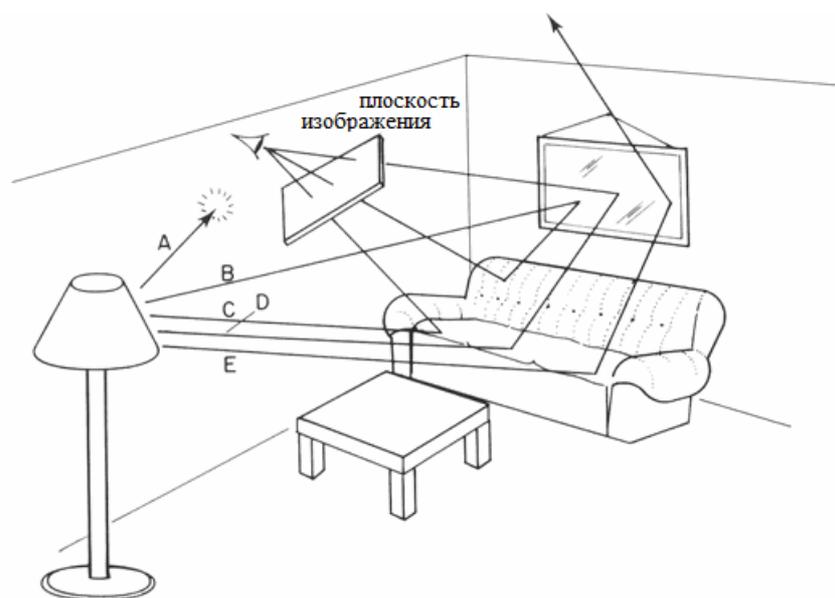


Рис. 8 - Алгоритм обратной трассировки лучей

Серьёзным недостатком метода обратного трассирования является производительность. Метод растеризации и сканирования строк использует когерентность данных, чтобы распределить вычисления между пикселями. В то время как метод трассирования лучей каждый раз начинает процесс определения цвета пикселя заново, рассматривая каждый луч наблюдения в отдельности. Впрочем, это разделение влечёт появление некоторых других преимуществ, таких как возможность трассировать больше лучей, чем предполагалось для устранения контурных неровностей в определённых местах модели. Также это регулирует отражение лучей и эффекты преломления, и в целом - степень фотореалистичности изображения.

Выводы. Задачи компьютерной графики являются чисто светотехническими по своей формулировке, методам решения и, главное, по результату.

Метод излучательности позволяет получить не только реалистическое распределение освещенности и яркости по сцене, но и фотографическое изображение. Сцена создается и рассчитывается один раз, но это позволяет вывести ее изображение и исследовать распределения яркости с любого ракурса. В идеале метод излучательности имеет большое количество преимуществ, но вследствие частых приближений появляются некоторые проблемы с корректностью формирования изображения. Альтернативой ему можно считать метод трассировки лучей. Однако, предстоит решить немало проблем, прежде чем метод трассировки лучей станет достойной альтернативой растеризации в сфере рендеринга в реальном времени.

Литература

1. Е.В. Шикин, А.В. Боресков. Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения. ДИАЛОГ-МИФИ, Москва, 1996, с. 258-262.
2. Peter Schroder. Wavelet Methods for Integral Equations. In Proceedings of SIGGRAPH'94. Course Notes, #11, pp. 107-127.
3. Steven J. Gortler, Peter Schroder, Michael F. Cohen, Pat Hanrahan. Wavelet Radiosity. In Proceedings of SIGGRAPH'93, pp. 221-230. ACM, New York, 1993.
4. О.Ю. Кокорин, С.А. Упольников. Использование иерархического алгоритма в методе излучательности. Труды конференции ГрафиКон'97, с. 31-37, Москва, 1997.

METHODS OF DECISION REALIZATION OF EQUATION OF GLOBAL ILLUMINATION

U. O. Vasilyeva, E. N. Lyashenko

In the article the methods of increase are examined realistic of the images generated by a computer during work with global illumination. It is brought their analysis over and prospects of application.

МЕТОДИ РЕАЛІЗАЦІЇ РІШЕННЯ РІВНЯННЯ ГЛОБАЛЬНОГО ОСВІТЛЕННЯ

Ю. О. Васильєва, О. М. Ляшенко

У статті розглядаються методи збільшення реалістичність зображень, що генеруються комп'ютером при роботі з глобальним освітленням. Приводиться їх аналіз і перспективи вживання.