Гусев. – Новосибирск: Наука, 1999. – 167 с.
2. Кингери, У.Д. Введение в керамику / У.Д. Кингери. – М.: Издательство литературы по строительству, 1967. – 498 с.
3. Балкевич, В.Л. Техническая керамика / В.Л. Балкевич. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
4. Бобкова, Н.М. Общая технология силикатов / Н.М. Бобкова, Е.М. Дятлова, Т.С. Куницкая. – Минск: Высшая школа, 1987. – 287 с.
5. Будников, П.П. Новая керамика / П.П. Будников. – М.: Стройиздат, 1969. – 139 с.
6. Бобкова, Н.М. Проблемы получения термостойкой, высокопрочной и жаростойкой керамики / Н.М. Бобкова // Стекло и керамика. – 1992. – №7. – С. 12 – 14.

УДК 621.326

ПРИМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛОВ ЛУЧЕЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Журавок А.А., Сернов С.П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При компьютерном моделировании оптических систем широко используется расчет действительных лучей. Гораздо меньше внимания уделяется расчету лучей, близких к данному действительному, или бесконечно узких пучков. Однако дополнение модели оптической системы математическим аппаратом дифференциалов лучей является перспективным в плане повышения точности.

При расчетах удобно связывать с каждой поверхностью, так называемую систему координат Федера [1], начало которой помещено в вершину поверхности, а плоскость XOY касается поверхности. Оптическая поверхность описывается уравнением в этой системе координат:

$$f(s) = 0, \qquad (1)$$

где $s = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ – радиус-вектор точки на поверхности.

В каждой точке поверхности определены вектор g градиента функции $f(s)$, то есть вектор нормали к поверхности и симметрическая матрица Гессе **H** вторых производных f по s или первых производных g по s:

$$g = \frac{\partial f}{\partial s};\quad H = \frac{\partial^2 f}{\partial s^2} = \frac{\partial g}{\partial s} \qquad (2)$$

Действительный луч определяется двумя векторами: радиус вектором s точки пересечения луча с поверхностью и ортом a направления, что наглядно показано на рисунке 1.

Определим дифференциал луча как совокупность приращений ds и da векторов s и a соответственно. Указанные векторы удовлетворяют следующим соотношениям:

$$|a|^2 = a^T a = 1; \qquad (3)$$

$$(g, ds) = g^T ds = ds^T g = 0; \qquad (4)$$

$$(a, da) = a^T da = da^T a = 0; \qquad (5)$$

где запись $a^T da$ используется для скалярного произведения векторов в матричной форме

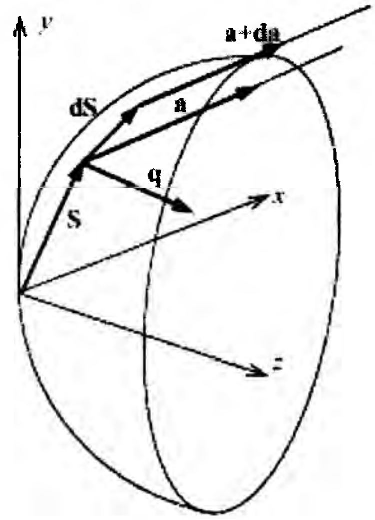

Рисунок 1 – Действительный луч и дифференциал луча

Векторы s, a и ds, da можно объединить в шестимерные векторы x и dx луча и дифференциала луча

$$x = \begin{pmatrix} s \\ a \end{pmatrix};\ dx = \begin{pmatrix} ds \\ da \end{pmatrix}. \qquad (6)$$

Пусть известны векторы x'_{k-1} луча и dx'_{k-1} дифференциала этого луча, преломленные на предыдущей поверхности, в системе координат, связанной с предыдущей поверхностью. Пусть также известны вектор d_{k-1} и ортогональная матрица Φ_{k-1} показывающие положение и ориентацию системы Федера данной поверхности относительно предыдущей, параметры уравнения (1) данной поверхности и относительный показатель преломления $n_r = n/n'$ для данной поверхности. Необходимо найти векторы x'_k и dx'_k, преломленные на данной поверхности. Повторяя этот процесс циклически, от первой поверхности до последней, произведем расчет луча через систему поверхностей. Расчет луча через одну поверхность разбивается на три этапа.

Первый этап – преобразование координат, т. е. переход от системы координат x_{k-1}, y_{k-1}, z_{k-1} к системе x_k, y_k, z_k – описывается следующими выражениями:

$$\boldsymbol{x}_k = \boldsymbol{F}_{k-1}(\boldsymbol{x}'_k - \boldsymbol{b}_{k-1}) \tag{7}$$

$$d\boldsymbol{x}_k = \boldsymbol{F}_{k-1} d\boldsymbol{x}'_k, \tag{8}$$

где

$$\boldsymbol{F}_{k-1} = \begin{pmatrix} \Phi_{k-1} & 0 \\ 0 & \Phi_{k-1} \end{pmatrix}; \boldsymbol{b}_{k-1} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{d}_{k-1} \\ 0 \end{pmatrix}. \tag{9}$$

Второй этап – перенос точки встречи луча от предыдущей к данной поверхности. Он описывается уравнением переноса:

$$d\boldsymbol{x}' = \begin{pmatrix} \boldsymbol{P} & \boldsymbol{P}l \\ 0 & \boldsymbol{I} \end{pmatrix} d\boldsymbol{x}, \tag{10}$$

где I – единичная матрица 3х3; l – длина луча между поверхностями; **P** – оператор, проектирующий лучом **a** на касательную к поверхности плоскость.

Третий этап – преломление подробно рассмотрен в источниках [2, 3].

Матричная запись формул преобразования координат, переноса и преломления дифференциалов луча на данной поверхности, примененная последовательно ко всем поверхностям системы, позволяет получить линейные соотношения, полностью описывающие свойства оптической системы в окрестности данного действительного луча.

1. Пейсахсон, Н.В. О расчете хода лучей в произвольной оптической системе / Н.В. Пейсахсон, Н.И. Тарнакин — Оптико-механическая промышленность, 1966, № 11.
2. Слюсарев, Г.Г. Методы расчета оптических систем / Г.Г. Слюсарев — Л.: Машиностроение, 1969.
3. Герцбергер, М. Современная геометрическая оптика / М. Герцбергер — М.: Изд-во иностранной литературы, 1962.

УДК 621.326

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Журавок А.А., Сернов С.П.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Компьютерное моделирование оптических систем (ОС) является одним из наиболее эффективных методов изучения их характеристик. Основным преимуществом метода является возможность исследования конструкции системы до изготовления опытного образца.

При создании компьютерной модели ОС одним из подходов является применение алгоритмов трассировки световых лучей[1]. При этом непрерывное световое излучение упрощенно рассматривается как множество дискретных световых лучей. Направление каждого из них может быть рассчитано независимо от остальных, что значительно упрощает алгоритм.

Кроме дискретного представления светового излучения, также производится и декомпозиция сложной системы на совокупность более простых, примитивных элементов. Примитивным элементом считается участок поверхности, в каждой точке которого определена функция

$$\boldsymbol{r} = f_{\text{пов}}(\boldsymbol{r}'),$$

где **r** – вектор преломленного (отраженного) луча, **r'** – вектор падающего луча.

Часто в компьютерном моделировании прибегают к алгоритмам триангуляции поверхности, что позволяет произвести замену произвольной поверхности сложной формы к сетке из большого количества треугольных элементов. Переход к плоским поверхностям существенно упрощает поиск коллизий (пересечений лучей с поверхностью) и вычисление отражений и преломлений луча. В то же время при достаточно мелком шаге разбиения сохраняется приемлемая точность вычислений, которая при необходимости может быть повышена.

Важным компонентом оптической системы является источник света. При компьютерном моделировании его можно представить как генератор лучей света, обладающих определенным направлением и силой света. Другими словами, источник света рассматривается как функция

$$I = f(\varphi, \theta),$$

где I – сила света, φ и θ – углы, задающие направление луча.

Из сказанного выше следует, что объекты, входящие в ОС и их взаимодействия имеют между собой определенные функциональные зависимости. Поэтому становится возможным использовать функциональный подход при проектировании алгоритма моделирования. Функциональное программирование[2], по сравнению с императивным[3], обладает рядом преимуществ:

1. Отсутствие побочных эффектов. В основе алгоритма лежит цепочка преобразова-