

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

<sup>1</sup>Левтеров А.И., <sup>2</sup>Марасов С.В.

<sup>1,2</sup>ХНАДУ, Харьков, Украина

В компьютерной графике одним из сложных вопросов является моделирование реалистичного освещения трехмерных сцен. Основная проблема связана с тем, что каждый луч света в реальности многократно отражается и преломляется, при этом число этих отражений, практически не ограничено.

Алгоритмы моделирования освещения можно разделить на две группы: моделирование прямого (локального) и непрямого (глобального) освещения [1]. В локальных моделях освещения проводится, так называемый, прямой расчет распространения света от источников светозлучения до первого пересечения луча света с непрозрачной поверхностью, при этом взаимодействие объектов между собой не учитывается. В глобальных моделях освещение рассчитывается с учетом влияния объектов друг на друга, в частности, учитываются многократные отражения и преломления лучей света от поверхностей объектов, каустику и рассеивание света. Глобальные модели позволяют получить более реалистичную картину освещенности, но требуют заметно больше машинных ресурсов.

В настоящей работе используется модель глобального освещения на базе уравнений переноса для частиц света (фотонов). Вначале выписывается стандартное уравнение переноса для частицы света, а на следующем этапе методом Монте-Карло проводится моделирование переноса множества фотонов. Фотоны рассматриваются как абстрактные частицы, которые движутся с постоянной скоростью  $v$  в фазовом пространстве. Вводится фазовая пространственная плотность частиц  $n(\vec{r}; \omega, t) d\vec{r} d\omega$ , как число частиц в элементарном объеме вокруг точки с радиус-вектором  $\vec{r}$  (рис.1), движущихся в направлении  $\omega$ . Определяя поток частиц как  $\phi(\vec{r}, \omega, t) = v \cdot n(\vec{r}, t)$ , можно выписать уравнения баланса для функции  $\phi(\vec{r}, \omega, t)$ , ориентируясь на физические свойства светового излучения.

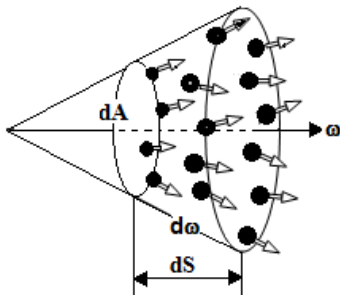


Рис. 1. К определению потока частиц в фазовом пространстве.

Так, в частности, предполагая, что процесс рассеяния света характеризуется объемным ядром рассеяния  $k(\vec{r}; \omega' \cdot \omega)$ , таким, что  $k(\vec{r}; \omega' \cdot \omega) d\vec{r} d\omega'$  определяет нормализованную на единицу расстояния и телесного

угла вероятность того, что фотон с радиус-вектором  $\vec{r}$ , движущийся в направлении  $\omega$  будет отражен от препятствия в новом направлении  $\omega'$ . Тогда коэффициент рассеяния

$$\sigma(\vec{r}, t) = \int_{S^2} k(\vec{r}; \omega_0 \cdot \omega') \phi(\vec{r}, \omega', t) d\omega' \quad \text{будет}$$

определять вероятность того, что в результате данного столкновения свет будет рассеиваться в произвольном направлении  $\omega_0$ .

Стандартная форма нестационарного уравнения переноса фотона в интегро-дифференциальной форме принимает вид

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \phi(\vec{r}, \omega, t)}{\partial t} + \omega \cdot \nabla \phi(\vec{r}, \omega, t) + \sigma(\vec{r}) \phi(\vec{r}, \omega, t) = q(\vec{r}, \omega, t) + \int_{S^2} k(\vec{r}; \omega' \cdot \omega) \phi(\vec{r}, \omega', t) d\omega'$$

где  $q(\vec{r}, \omega, t)$  - дополнительный источник освещения.

Процесс вычислений строится следующим образом. Трассируются лучи света от источников путем расчета вторичных отражений лучей света от одних поверхностей к другим, а также, от окружающей среды к объектам. Лучи от источников света трассируются до тех пор, пока сила их не снизится ниже определенного уровня или на основании возможного вклада луча в освещение видимой точки. Для сокращения затрат машинного времени при работе в режиме реального времени было предложено разбить вычисления на два этапа. На первом этапе проводились стационарные вычисления методом Монте-Карло для получения стационарного распределения света. Полученные результаты моделирования комбинировались с методом воксельной конической трассировки, когда для моделирования глобального освещения используется воксельная сетка, а трассировка сцены осуществляется конусами для расчета эффекта отраженного света. При этом сами воксели являются источниками света с начальной интенсивностью, полученной методом Монте-Карло, порождая на втором этапе непрямо освещение трехмерной сцены.

Сочетание двух подходов позволило организовать распараллеливание алгоритма, обеспечивая реалистичный эффект освещения в режиме реального времени.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Photorealism in computer graphics. / Ed. K.Bouatouch, C.Bouville. – Berlin: Springer-Verlag, 1992. – 221 p.