

Современные подходы к реализации физической модели освещения в 3D-пространстве

Максимов Никита Константинович

КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО

ТАВРИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

ФАКУЛЬТЕТ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

КАФЕДРА ИНФОРМАТИКИ (ГРУППА 601-И)

e-mail: gfresq55@ya.ru

Статья даёт краткое представление о современных подходах к имитации освещения в трёхмерном пространстве. Также представлены примеры использования в различных сферах компьютерной графики.

ВВЕДЕНИЕ

Освещение в компьютерной графике определяется как симуляция физики света. Эта симуляция может быть как невероятно точной с отслеживанием потоков световой энергии, взаимодействующей с материалами, просчитывая отражения всех лучей света, так и быть просто базированной на определённых физических законах распространения света как в случае с нефотореалистичным рендерингом, который вдохновлён различными художественными стилями и позволяет производить визуализацию объектов для технических иллюстраций, анимационных фильмов, игр (cel-shading). В обоих случаях для описания реакции поверхности на свет используется определённая модель освещения, которая позволяет добиться нужного визуального результата.

1. БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ ОПИСАНИЯ СВЕТА

Взаимодействие света и поверхности — это сложный физический процесс. Когда луч света, обладающий определённой частотой, сталкивается с объектом может случиться несколько событий. Были разработаны математические модели, описывающие и аппроксимирующие это взаимодействие, и рассчитывающие что случается при попадании света на поверхность и при отражении от нее. Перечислим возможные события[1]:

1. *Поглощение.* Световая волна может быть поглощена объектом, конвертируя поступающую энергию в тепло.

2. *Отражение.* Световая волна может отразиться от поверхности в некотором направлении.

3. *Преломление.* Часть волны и энергии может быть пропущена через поверхность, которая при этом немного изменяет её направление (жидкости).

4. *Подповерхностное рассеивание.* Свет проникает под поверхность полупрозрачного объекта и рассеивается, взаимодействуя с материалом, а затем выходит, создавая эффект внутреннего свечения объекта.

5. *Полное внутреннее отражение.* Свет попадает на границу, отделяющую среды с различными индексами преломления под определённым углом, полностью отражаясь назад в среду (свет в оптическом кабеле).

Различные поверхности и материалы можно разделить на несколько классов в зависимости от их взаимодействия с входящим световым лучом:

1. *Диффузные материалы* — материалы, отражающие луч равномерно во множество направлений из-за неровностей поверхности (например, камень). Диффузное отражение можно рассмотреть как особый случай подповерхностного рассеивания в материале; тот, где свет входит и выходит в той же точке из-за очень маленького внутреннего рассеивания.

2. *Бликовые материалы*, которые преимущественно производят бликовое отражение, что обозначает свет, отражаемый поверхностью преимущественно в направлении вектора отражения по отношению к нормали поверхности (множество глянцевых поверхностей).

3. *Материалы, обладающие двумя типами отражения*, т.е. материалы, приблизительно в равной степени отражающие свет и диффузно, и зеркально (фольга, пластик).

В основе каждой модели лежит математическая функция, называемая BRDF, описывающая принципы взаимодействия света при контакте с поверхностью. *Bidirectional reflectance distribution function* (BRDF) — двулучевая функция отражательной способности (поверхностных отражений) описывает как свет отражается или поглощается поверхностью в зависимости от разных углов падения и свойств материала.

Модель освещения — определённая функция, используемая для определения цвета и яркости, которой должен обладать пиксель в зависимости от условий освещения и свойств поверхности объекта. Она описывает процесс передачи энергии и зависимость количества покидающей поверхность энергии от количества входящей. Модели освещения можно разделить на физически обоснованные и эмпирические.

2. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСВЕЩЕНИЯ

Такие модели имеют комплект параметров, которые не основаны на физических законах, но позволяющие с помощью подстройки получить правдоподобный нужный вид конечной модели. Бывает такие модели дают более качественный результат за счет большего контроля за субъективным внешним

видом, чем за точностью. Включает модель Ламберта (только диффузный цвет), Фонга (модель представляет собой комбинацию диффузной составляющей (модели Ламберта) и зеркальной составляющей), Блинна-Фонга и другие.

3. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСВЕЩЕНИЯ

Физически обоснованные модели базируются на настоящих законах физики света и пытаются взять в расчёт физические свойства некоторого реального материала. Такие модели обязательно включают близкую к физически корректной BRDF. Часто они принимают во внимание особенности поверхности материала, например альбедо, что с лёгкостью позволяет реализовать такие сложные взаимодействия как слои (воспроизведение слоя лака на древесине) или же поведение частиц материала (моделирование песка и жидкостей). Одним из подвидов моделей являются микрограневые модели освещения, которые предполагают, что сложные поверхности могут быть представлены некоторым распределением небольших частиц (граней). Эти грани являются очень маленькими совершенными отражателями, и для задания такого поведения поведения понадобится некоторое статистическое распределение микрограней, которое будет являться распределением нормалей на рассматриваемой поверхности. Примером такой модели является модель Кука-Торренса[1], которая с высокой точностью позволяет имитировать поверхность металлов и пластмасс, но широко используется в современных рендерах компьютерных игр и других визуализациях реального времени. BRDF для модели Кука-Торренса выглядит следующим образом:

$$f_r(p, \omega_o, \omega_i) = \frac{D(\omega_h)G(\omega_o, \omega_i)F_r(\omega_o)}{4(\omega_o n)(\omega_i n)}$$

где $D(\omega_h)$ — функция вероятностного распределение микрограней поверхности, $F_r(\omega_o)$ — коэффициент отражения Френеля, а $G(\omega_o, \omega_i)$ — функция геометрической составляющей, учитывающей самозатенение и маскирования микрогеометрией объекта, n — нормаль к точке поверхности.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГРАХ

В своей работе я предлагаю использовать физическую модель освещения для реализации визуализации компьютерных игр. Физическая модель выбрана за счёт более лёгкой достижимости фотореализма, предсказуемости результатов при изменении освещения и взгляда, лёгкой расширяемости и более интуитивной работе с материалами для художников, выполняющих наполнение мира. Модель представляет собой комбинацию модели Кука-Торренса с

элементами другой микрограневой модели — GGX[1], что позволяет улучшить такие элементы картинки как плавные размытые отражения хромированных деталей. За счёт использования нескольких аппроксимаций и оптимизаций, таких как приоритетная выборка, использование сферической гауссовой аппроксимации для компонента Френеля и связывание зависимостью функцию самозатенения от функции распределения микрограней Trowbridge-Reitz, удалось получить правдоподобный результат, который одинаково хорошо подходит как для грубых материалов вроде одежды, так и блестящей керамики, при этом используя минимум вычислительных ресурсов, позволяя проводить рендеринг сцен в реальном времени.

Вывод

Представленное решение является лишь одним из многих возможных подходов, которое обобщает последние исследования в этой области. Применение физически-корректных моделей в реальном времени — это относительно новая практика в реализации которой участвуют крупнейшие мировые компании, позволяя продвинуться ближе к цели создания неотличимой от реальности трёхмерной картинки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R. Cook and K. Torrance. *A reflectance model for computer graphics*. – Computer Graphics (SIGGRAPH '81 Proceedings), – 1981 – PP. 301–316.