

Моделирование отражения радиоволн от сложных полигональных моделей

Ефремов Андрей Сергеевич

xx.xx.xxxx

Аннотация

ааааааа

Введение

«<актуальность и прочее>»

Проведем простые предварительные расчеты. Если наша модель содержит 10 000 полигонов, то для того, чтобы определить, какие грани являются первичными для всей модели нам потребуется обработать порядка 10^8 полигонов (без оптимизаций). Это число внушительно, требуются большие мощности. Поэтому для расчетов будем использовать вычисления на графических ускорителях и технологию CUDA.

Графические ускорители выросли из задач обработки и формирования изображения на экране компьютера постепенно переродившись в массивно-параллельные процессоры общего назначения. Сам термин GPU (Graphics Processing Unit) относительно новый и впервые был использован корпорацией Nvidia, в качестве обозначения того, что графические ускорители стали мощными программируемыми устройствами пригодными для решения более широкого класса задач, не связанных с графикой. [*боресков основы работы с cuda]

Первые графические ускорители представляли из себя простые растеризаторы, однако эту простую задачу делали быстрее универсального процессора, что и привело к распространению графических ускорителей. Основная причина этого – ускоритель мог обрабатывать хоть и простую, но зато масштабную работу – обрабатывать сразу много отдельных пикселей. [*боресков]

По мере развития функциональность увеличивалась. Фактически графические ускорители стали представлять из себя SIMD-процессоры (Single Instruction Multiple Data), то есть параллельные устройства, способные одновременно выполнять одну и ту же операцию над многими данными. Экспоненциальный рост производительности и функциональности дал развитие направлению GPGPU (General-Purpose computing on Graphics Processing Units).

Все это открывает новые возможности при реализации приложений, требующих больших объемов специфических вычислений. И если раньше ресурсоемкие задачи и можно было решить, то только с использованием су-

персональных компьютеров и кластеров, то теперь это представляется возможным на обычном пользовательском компьютере.

На сегодняшний день существуют несколько технологий для разработки приложений, использующих для вычислений графические ускорители: OpenCL, CUDA, ATI Stream Technology. В нашей работе мы остановимся на технологии Nvidia CUDA и будем использовать её.

Тому причин несколько. Nvidia CUDA хорошо зарекомендовала себя при решении многих ресурсоемких задач: моделирование гидродинамики [*безрезин], волн цунами [*курако], ускорение вычисления нейронных сетей [*парубец].

Модели отражения

Радиоволна, как и любая другая электромагнитная волна, отражается от препятствий, причем препятствием является любая неоднородность электрических или магнитных параметров среды, то есть объект отражает электромагнитную энергию, в случае если проводимость, диэлектрическая или магнитная проницаемость отличается от соответствующих параметров среды. Так как от поверхности в результате процесса отражения отходит электромагнитная энергия, то можно считать, что отражатель сам является источником (вторичным) электромагнитного излучения. Это явление можно также представить себе следующим образом: при попадании волны на поверхность предмета, она в нем порождает вынужденные колебания зарядов, которые синхронны с колебаниями падающей волны. Колебания зарядов создают токи смещения и токи проводимости, и сами становятся источниками излучения. Каждый такой элементарный ток в рамках достаточного малого точечного объема можно считать источником новой сферической волны. Общий их результат таких элементарных токов (в соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля [*]) суммируется с различными фазовыми соотношениями и может принимать разные значения, а падающая волна отражается во всех направлениях. Значит, энергия переизлучается в различных направлениях неравномерно. [*]

Радиоволны и световые волны имеют одну и ту же физическую электромагнитную природу, поэтому многие модели поведения света известные из оптики (кстати как и способы получения фотореалистических изображений компьютерной геометрии) применимы в нашем случае. Рассмотрим основные модели отражения радиоволн: зеркальное, диффузное и резонансное. Подробнее информацию об этом можно найти в [*].

Зеркальное отражение.

Условие возникновения: линейные размеры отражающей поверхности много больше длины волны ($l \gg \lambda$), а сама поверхность является достаточно гладкой ($h \ll \lambda$), где l – наименьший линейный размер цели; λ – длина волны; h – высота неровностей поверхности.

Свойства зеркального отражения известны еще с давних времен и являются следствиями применения принципа Ферма к отражающей поверхности [*]: - луч отраженный, луч падающей, а также нормаль отражающей поверхности, проведенная к точке падения, лежат в одной плоскости; - угол падения равен углу отражения.

«тут картинка такая»

Интенсивность отражённого света характеризуется коэффициентом отражения и зависит от соотношения показателей преломления сред, от угла падения и поляризации падающего пучка лучей. Количественно эту зависимость выражают формулы Френеля [*].

Диффузное отражение.

Условие возникновения: линейные размеры отражающей поверхности много больше длины волны ($l \gg \lambda$), а неровности поверхности имеют порядок длины волны (или больше) и расположены хаотично, то есть поверхность является шероховатой (матовой) ($h \geq \lambda$).

При диффузном отражении энергия рассеивается во всех направлениях. Для матовых поверхностей применимы законы Ламберта [*]: для потока излучения, падающего нормально к матовой поверхности, мощность вторичного излучения под углом γ к нормали пропорциональна $\cos\gamma$.

$$P = P_0 \cdot \cos\gamma \quad (1)$$

«<Тут много других картинок»>

Если поток излучения падает под углом α к поверхности, то

$$P = P_0 \cdot \cos\alpha \cdot \cos\gamma \quad (2)$$

где P_0 – мощность, которую принимал бы приемник, если бы облучение шло с "зенита" то есть с увеличением α уменьшается перехватываемый поверхностью падающий поток, отчего уменьшается освещенность и яркость.

Условия зеркальности и диффузно отражающих поверхностей являются расплывчатыми. Здесь [*] дается строгая формулировка и вывод критерия различия зеркальных и матовых поверхностей. Скажем лишь, что тип поверхностей зависит сразу от трех факторов: высота неровностей поверхности h , длина волны λ и угла падения ϕ .

«очередной рисунок можно из Википедии про то как в разные стороны отражается можно картинку из Фуко»

Закон Ламберта – закон идеального рассеивания света, то есть это некоторая модель, которой можно приблизиться, но которой не существует в естественных условиях. В реальной жизни поверхности обычно дают отражение, представляемое смесью диффузной и зеркальной составляющих.

«<Про компьютерную геометрию какие способы при моделировании используют, то есть про смешанный способ и про ДФО»>

Резонансное отражение.

Список моделей отражения был бы не полон если не упомянуть резонансное отражение. Как уже было отмечено, падающая волна создает вынужденные колебания свободных или связанных зарядов в поверхности предмета. Тело, способное переизлучать электромагнитную волну, обладает собственной частотой колебаний частиц, несущих электрический заряд. Причем, если частота колебаний падающей волны совпадает с собственной частотой колебаний в поверхности, то имеем не что иное как явление резонансного отражения. В этом случае появляется ярко выраженная направленность вторичного излучения. Подробнее об этом явлении можно прочитать в [*]

Модель отражения в работе

При моделировании распространения сигнала в космосе и его отражения от космического корабля была использована диффузная модель отражения.

Математическая постановка задачи

«<излучает на 360 - антенная решетка»>

Предположим, у нас есть ненаправленная антенна, представляемая точечным источником (расстояние до площадки значительно больше размеров антенны) с излучающей мощностью P_0 . Тогда вся энергия распределяется равномерно по всей поверхности некоторой сферы радиуса R , площадь поверхности которой равна $4\pi R^2$. Таким образом, источник электромагнитного излучения создает плотность потока мощности

$$J = \frac{P_0}{4\pi R^2} \quad (3)$$

Следовательно, каждая точка поверхности $M(x, y, z)$, которая располагается в зоне прямой видимости, получает от источника излучения в секунду энергию мощности на единицу площади равную

$$dP_{in} = \langle \vec{J}(x, y, z) \cdot \vec{d\sigma} \rangle = J(x, y, z) \cdot d\sigma \cdot \cos\phi, \quad (4)$$

где $d\sigma$ – окрестность точки $M(x, y, z)$, а ϕ – угол между вектором $\vec{J}(M)$ и нормалью к поверхности $d\sigma$, направленной в противоположную сторону от источника излучения.

Значит, учитывая (4), первично-освещенная поверхность получает в секунду энергию мощности, равную

$$P_{in} = \iint_S \langle \vec{J}(x, y, z) \cdot \vec{d\sigma} \rangle, \quad (5)$$

где S – первично-освещенная поверхность.

Часть энергии попадаемые в точки первично-освещенных поверхностей поглощается, часть отражается. Точки, отражающие электромагнитные волны ведут себя как вторичные источники электромагнитного излучения, а значит вышепроделанные умозаключения к ним тоже применимы.

После многократного отражения и переотражения получаем, что для каждой точки $M(x, y, z)$ справедливо

$$J_{out}(x, y, z, \omega) = \int_{\Omega} J_{in}(x, y, z, \theta) \cdot f(x, y, z, \omega, \theta) \cdot d\theta, \quad (6)$$

где J_{out} – поток из точки (x, y, z) в направлении ω , а J_{in} – поток входящего в точку (x, y, z) излучения из направления θ . В данном уравнении интеграл взят по Ω – совокупности входящих направлений в точку $M(x, y, z)$. Способ отражения от поверхности, а также соотношение отраженной энергии и поглощенной задано в общем случае двунаправленной функцией распределения отражения $f(x, y, z, \omega, \theta)$ [wiki?].

Уравнение (6) является частным случаем более общего уравнения, называемого уравнением рендеринга [*]. Существует несколько подходов к его решению. Рассмотрим их.

Обзор методов решения уравнения рендеринга

Алгоритм «бросания лучей» ray-casting

Фактически, данный метод учитывает только первично-освещенные точки поверхности. Из точки выпускается луч по направлению к источнику. Если этот луч имеет пересечения с каким-либо фрагментом поверхности, то значит, что точка, из которой был выпущен луч, находится в тени. В ином случае, рассчитываем долю энергии получаемую точкой. [*история рендеринга]

«красивая картинка»

Алгоритм visibility ray-tracing и трассировка фотонов

Предыдущий алгоритм учитывал только первично-освещенные точки. Повысив количество

Метод Монте-Карло (на базе трассировки лучей)

Все пространство разбивается равномерной сеткой. Количество узлов в трехмерном пространстве при этом равно N^3 . Узлы, по которым ведется интегрирование, выбираются случайно. Соответственно, при увеличении числа узлов интеграл, вычисленный методом Монте-Карло, приближается к точному значению. Но при недостаточном количестве узлов получаем шумы.

Алгоритм излучательности (radiosity)

Рассмотрим частный случай уравнения рендеринга при диффузности материалов. Двухлучевая функция отражательной способности в этом случае представляет собой константу и уравнение сводится к тривиальному «<См лекции по истории глобального освещения»>

Метод распределенной трассировки лучей

Блок-схема алгоритма

Реализация

1. ———Трассировка лучей ———

Для определения видимости полигона α из точки L , рассматривается отрезок LP , где P — центр полигона. Находятся все пересечения отрезка с полигонами модели (разумеется, многоугольник α не подлежит рассмотрению). Если таких граней не нашлось, то грань α считается видимой из точки L , иначе — невидимой.

Задача определения пересечения отрезка и многоугольника разбивается на следующие этапы.

1. Определить точку пересечения M плоскости многоугольника и прямой, содержащей отрезок.
2. Находится ли точка пересечения M внутри многоугольника.

3. Находится ли точка пересечения M внутри отрезка.

Несмотря на то, что для достаточно детализированной модели с количеством полигонов в несколько тысяч, данный процесс достаточно трудоемок, в работе программы исходной статьи никакие способы оптимизации не использовались. Способов оптимизации действительно много и сравнение самых популярных можно прочитать в [8].

Результаты

Выводы

Список литературы

- [1] *N. Nikitin*, Finite-difference method for incompressible Navier–Stokes equations in arbitrary orthogonal curvilinear coordinates // J. Comput. Phys. 217 (2006) 759–781.
- [2] *Etienne Non, Roger Pierre, and Jean-Jacques Gervais*, Linear stability of the three-dimensional lid-driven cavity // Physics of Fluids 18, 084103 (2006)