

Задание исходных данных для физически аккуратного моделирования освещенности

*А.Г. Волобой,
снс, к.ф.-м.н., доцент, voloboy@gin.keldysh.ru
В.А. Галактионов,
зав. отдела, д.ф.-м.н., проф., vlgal@gin.keldysh.ru
ИГМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва*

Аннотация

На современном этапе, когда алгоритмы моделирования распространения света являются достаточно устоявшимися, задание корректных входных данных является основной проблемой компьютерного моделирования. В статье представлены подходы и алгоритмы получения исходных данных для получения правдоподобных результатов, что в итоге позволяет использовать разработанные комплексы моделирования в архитектуре, автомобильной, авиационной и электронной промышленности, а также при разработке новых оптически сложных материалов.

Abstract

Specification of correct input data for physically based lighting simulation is a challenging task. In most cases the data acquisition is very complex or next to impossible. The paper presents techniques and algorithms the input data acquisition elaborated in KIAM which allow to apply lighting simulation system in architecture, automotive and aviation industry, in design of new optically complex materials.

1. Введение.

Методы синтеза реалистичных изображений, основанные на физически аккуратном моделировании распространения света в различных средах, являются одним из современных направлений развития компьютерной графики. Созданные алгоритмы и программные средства представляют интерес для использования в архитектуре, градостроительстве, проектировании систем освещения и дизайне интерьеров, автомобильной и авиационной промышленности и др. Важным аспектом является не просто реалистичность получаемых изображений, а их соответствие законам физики и оптики.

В отделе компьютерной графики ИГМ им. М.В. Келдыша была построена технология на основе методов Монте-Карло и трассировки лучей, позволяющая с высокой точностью рассчитывать освещенность моделируемых сцен, строить реалистичные изображения фотографического качества. В основе моделирования распространения света лежат законы геометрической оптики. При расчете лучи света трассируются как в прямом

(от источника света), так и в обратном (например, от глаза наблюдателя) направлении. В обоих случаях методы Монте-Карло обеспечивают физическую корректность.

Идея метода Монте-Карло прямой трассировки лучей состоит в статистическом воспроизведении механизма распространения света путем моделирования всевозможных траекторий лучей. Траектории световых частиц (фотонов) прослеживаются на всех этапах существования от момента их генерации источниками света до поглощения или выхода из сцены. Каждое событие (рождение фотона, изменение траектории) определяются стохастически согласно фотометрическим характеристикам источников света и материалов в сцене. Метод естественным образом поддерживает все типы поверхностей, включая сочетания диффузных и зеркальных свойств, а также поверхности со сложными оптическими свойствами, описываемыми двунаправленными функциями отражения (преломления) света. Метод предоставляет информацию о глобальной освещенности, которая в дальнейшем может быть использована для визуализации и синтеза изображений.

В методе Монте-Карло обратной трассировки луч трассируется через пиксел экрана до пересечения с объектом. Освещенность точки пересечения рассчитывается с помощью набора лучей, выпущенных из данной точки стохастическим образом в направлении площадного источника света (или небесной полусферы в случае расчета естественного освещения), в направлении других объектов сцены, которые отражают свет, дошедший до них. Метод Монте-Карло обратной трассировки лучей формирует итоговое изображение на экране.

Оба подхода имеют свои слабые стороны. Решением этой проблемы является комбинированный алгоритм, использующий методы Монте-Карло прямой и обратной трассировки в зависимости от ситуации. Таким образом, наиболее эффективной и универсальной технологией является двунаправленная Монте-Карло трассировка лучей, реализованная в наших программных комплексах.

2. Верификация корректности алгоритмов.

Одним из подтверждений правильности разработанных алгоритмов является успешное участие в проекте МКО (Международной комиссии по освещению). По заданию этой организации, под руководством Ф. Маатаги, были разработаны и опубликованы наборы аналитических тестов для программ моделирования освещения. Всего было предложено 227 тестов.

Тесты были направлены на проверку того, насколько программы моделирования распространения света реально подчиняются законам оптики, в частности, для различных моделей естественного освещения. Тесты отдельно проверяли такие аспекты, как корректность задания источников света, корректное моделирование множественных переотражений и т.д. Особое внимание было уделено такой сложной для корректного вычисления модели, когда внутреннее помещение освещается небесной полусферой через небольшое окно (рис. 1). Для этой модели корректные результаты в разумное время можно получить практически только двунаправленной Монте-Карло трассировкой лучей.

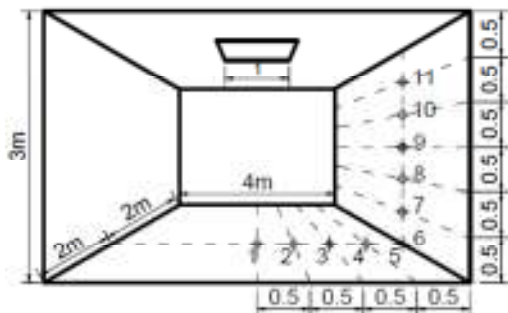


Рис. 1. Один из аналитических тестов.

Программная система моделирования освещенности, разработанная в нашем отделе, также участвовала в проверке этими тестами вместе с такими широко известными в мире продуктами как Dialux, Genelux, Lightscape, Radiance. Результаты независимого тестирования были опубликованы на конференции МКО, где наша программная система Inspireg показала во многих случаях результат превосходящий конкурентов. Общий полный результат выполнения тестов нашей программной системой представлен ниже.

Ошибка между аналитическими и вычисленными значениями	Число прошедших тестов	Процент от общего числа тестов
Менее 1%	119	52%
Менее 3%	163	72%
Менее 5%	197	87%
менее 10%	223	98%
более 10%	4	2%

Табл. 1. Результаты сравнения вычисленных и аналитически рассчитанных значений освещенности в тестах проекта МКО.

Как видно из табл. 1, только 2% тестов превысили рубеж «инженерно-приемлемой» ошибки в 10%. Более половины тестов показали очень хорошее совпадение смоделированных результатов с теоретически рассчитанными. Это показывает, что алгоритмы, реализованные в наших программных системах компьютерной графики, действительно являются физически аккуратными.

3. Задание входных данных моделирования.

Однако для получения правдоподобных результатов необходимо максимально корректно задавать входные данные: геометрию виртуальной сцены, оптические свойства всех материалов и источников света, используемых в моделировании. На современном этапе, когда разработанные алгоритмы моделирования распространения света являются достаточно устоявшимися и многократно проверенными на их физическую аккурат-

ность, задание корректных входных данных является основной проблемой компьютерного моделирования.

Проблема с точным заданием геометрии в ИПМ была решена с помощью разработки plugins к таким известным системам автоматизированного моделирования, как 3DS Max, популярного среди архитекторов и дизайнеров интерьеров, и Catia, широко используемой в автомобильной и авиационной промышленности.

Корректное задание светорассеивающих (оптических) свойств изображаемых объектов и поверхностей является сложной задачей. В большинстве случаев эти свойства материалов неизвестны, и получить их можно только непосредственными измерениями. Наиболее общий способ описания светорассеивающих свойств поверхности – задание двунаправленных функций отражения (ДФО). ДФО, заданная в каждой точке поверхности, определяет какая часть энергии, пришедшая с направления w_{in} , будет рассеяна поверхностью в направлении w_{out} . В ИПМ был разработан аппаратно-программный комплекс, предназначенный для измерения спектрального и пространственного распределения света, рассеиваемого поверхностями. Прибор основан на оригинальной концепции, обеспечивающей одновременное измерение рассеяния в различных направлениях и высокое пространственное разрешение в критической области вблизи направления зеркального отражения. Для параллельного получения данных для различных направлений используется камера на ПЗС-матрице.

В ситуации, когда измерение материала невозможно (когда, например, материал еще не существует), его оптические свойства могут быть получены через моделирование его внутренней структуры. Это применимо к разработке многослойных красок со сложной микроструктурой (типа перламутровых и «металлик»). Плоскопараллельные слои краски состоят из прозрачного лака и взвешенных в нем пигментных частиц и интерференционных чешуек. В результате моделирования распространения света в их внутренней структуре генерируется ДФО, которые могут быть использованы при генерации реалистичных изображений автомобилей или других объектов, покрытых этими оптически сложными материалами.

Моделирование тонкого красящего слоя, каким, например, являются чернила или тональный крем, характеризуется высокими концентрациями частиц и их маленькими размерами (порядка сотен нанометров). Лучевой подход или лучевое уравнение переноса практически не применимы для решения этой задачи. Поэтому был выбран путь непосредственного решения волновых уравнений, естественно, при некоторых ограничениях и упрощениях. В результате вычислительно-емкого моделирования распространения света в таком слое (время моделирования доходит до нескольких дней и недель на современных процессорах) получается ДФО, которая потом используется при генерации реалистичного изображения сцен.

Ткани являются сложным для визуализации и моделирования типом материала. Расчет ДФО ткани основан на моделировании освещенности с учетом рассеяния света поверхностями и объемами нитей, ее образующих. Также принимается во внимание структура переплетения нитей, которая позволяет определить тени и свет, отбрасываемые одними нитями на другие. При расчете теней и объемного рассеяния света учитываются оптиче-

ские характеристики материала нити. Полученный метод позволяет получать корректные светоотражающие характеристики тканей.

Для корректного задания источников света была разработана поддержка импорта гониограмм (индикатрис рассеяния) источников из формата IESNA, а также поддержка задания ламп в формате RaySet. Большинство производителей осветительных приборов предоставляют эту информацию для своих продуктов.

Также было разработаны средства моделирования естественного освещения. Небесное освещение задается с помощью географических координат, даты, времени суток. Моделирование небесного освещения для случаев 100% облачности и ее отсутствия соответствует стандарту МКО, освещение неполной облачностью моделируется с использованием интерполяции.

Другим методом задания освещения может служить способ, при котором источником света является изображение реальных панорам с большим динамическим диапазоном яркостей. При этом источником света могут быть сфотографированные особым образом небо или помещение выставочного зала, а мы можем смоделировать, как будет освещен тот или другой объект в этих условиях. В результате использования этого подхода появляется возможность интегрировать моделируемые объекты с реальным окружением. На рис. 2 показана компьютерная модель автомобиля, «встроенная» в реальный природный ландшафт.



4. Заключение.

Были найдены и разработаны практичные и эффективные способы задания начальных данных – материалов и источников освещения, - необходимых для получения достоверных результатов физически аккуратного моделирования распространения света.

Работа поддержана грантом Президента РФ НШ-8129.2010.9, грантами РФФИ № 09-01-00472, 10-01-00302, 11-01-00870, фирмой Integra Inc.