

# Плагин метода световых сеток для 3ds Max

Наталья Бологова

Факультет информационных технологий Новосибирского государственного университета,

Новосибирск, Россия

tasha.light2492@gmail.com

## Аннотация

Метод световых сеток (МСС) является модификацией алгоритма обратной рекурсивной трассировки лучей (ОРЛТ) Виттеда и позволяет генерировать мягкие тени для сцен с точечными источниками. Для очень сложных сцен с большим числом источников расчет изображений по МСС оказывается даже быстрее, чем расчет тех же сцен по ОРЛТ. При реализации МСС строится дополнительный объект *световая сетка*, видимость точек которой из источников света необходимо рассчитывать.

В работе рассмотрены две задачи. Первая заключается в разработке плагина для 3ds max и панели GUI для него, который позволял бы применять МСС для рендеринга сцен наряду с ОРЛТ. Также МСС может служить альтернативой методам AreaShadow и ShadowMap для генерации мягких теней.

Вторая задача – это разработка и реализация гибридного алгоритма МСС+АТК, который для расчета видимости точек световой сетки применяет алгоритм теневых карт (АТК). Описываются численные эксперименты, анализ достигнутых ускорений по сравнению с чистым МСС и сравнивается качество изображений, полученных по МСС и по МСС+АТК.

**Ключевые слова:** фотореалистический рендеринг, алгоритм Виттеда, метод световых сеток, теневые карты, мягкие тени, плагин 3ds max.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе производство видеороликов на основе применения программных графических средств стало обычным делом: японские аниме, реклама, учебные фильмы и т.д. вплоть до киноиндустрии. И на каждом уровне применяются свои критерии соотношения цены (т.е. времени расчета) и качества. Возьмем, к примеру, создание учебного ролика. Разработчик ролика применяет 3ds Max для создания геометрии виртуальной динамической сцены, затем рассчитывает фильм. Правильное изображение теней имеет огромное значение для восприятия сцены. В реальности тени не четкие – мягкие, когда имеется зона полутени. На практике для рендеринга сцен очень часто применяется алгоритм Виттеда [5]. В модели Виттеда теоретически возможны только четкие тени. Что видим в 3ds Max для имитации мягких теней? Area Shadow (очень медленный), Shadow map (быстрый, но с артефактами), другие. Актуально добавлять новые методы для обогащения палитры инструментов.

Стоит обратить внимание на метод световых сеток (МСС), подробнее см. [1, 2, 4], из-за следующих его характеристик:

1. МСС является модификацией обратной рекурсивной трассировки лучей Виттеда ОРЛТ.
2. Простые формулы для расчета освещенности в точке. Видимость объектных точек из источников рассчитывать не надо, только видимость точек световой сетки.
3. Первое и второе позволяют просто включить МСС в любую реализацию ОРЛТ.
4. При увеличении сложности задачи рендеринга (большое число примитивов, много источников, большой размер изображения) время расчета изображения по МСС становится меньше времени расчета по ОРЛТ. Это качество позволит использовать МСС вместо ОРЛТ в ряде приложений.
5. Неотъемлемой чертой МСС является генерация мягких теней, МСС не позволяет получать четкие тени.

В работе представлена разработка плагина для 3ds Max, реализующего метод световых сеток, с диалогом пользовательского интерфейса в стиле 3ds Max для управления режимами рендеринга теней. При этом мы будем иметь в виду, что МСС дает мягкие тени не бесплатно, но дополнительные затраты на расчет мягких теней попробуем уменьшить.

## 2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА

### 2.1 Обратная рекурсивная лучевая трассировка.

Пространственная сцена – это кусочно-непрерывная поверхность, представленная набором объектов или примитивов, обладающих следующими свойствами:

- В каждой точке поверхности определены свойства отражения, которые задаются коэффициентами:  $k_d$  – коэффициент диффузного отражения,  $k_s$  – коэффициент зеркального отражения,  $k_t$  – прозрачность.
- Для поверхности определена операция пересечения с лучом.
- В каждой точке поверхности  $P$  определена нормаль  $\vec{n}(P)$ .
- Все объекты сцены задаются в декартовой *мировой* системе координат.

Сцена освещается  $nL$  точечными источниками освещения, специфицированными интенсивностями излучения  $I_i$  и позициями в пространстве  $LP_i$ ,  $i = 1, \dots, nL$ . Камера – это

набор параметров, характеризующих наблюдателя: позиция и ориентация в пространстве, высота и ширина экрана. Пусть луч из камеры имеет ближайшее пересечение с поверхностью сцены в объектной точке  $P$ . Базовую формулу расчета значения интенсивности в точке  $P$  по ОРЛТ можно кратко записать

$$I_{RT}(P) = A + \sum_{i=1}^{nL} V(LP_i, P) \Omega(L_i, P) + k_s I_r + k_t I_t \quad (1)$$

$$= A + U_{RT}(P) + k_s I_r + k_t I_t,$$

здесь  $A$  – интенсивность рассеянного света,  $\Omega(L_i, P)$  характеризует конкретную локальную модель освещенности,  $I_r$  – интенсивность, пришедшая с направления отраженного вектора;  $I_t$  – интенсивность, пришедшая через поверхность из-за прозрачности.  $V(LP_i, P)$  – булева функция видимости  $i$ -го точечного источника из точки  $P$ .

## 2.2 Алгоритм теневых карт

Буфер глубины  $DB[N, M]$  – прямоугольник на плоскости изображения, совпадающий с прямоугольником изображения, разрешение буфера глубины  $N \times M$  пикселей. Пиксель буфера глубины хранит расстояние от камеры до ближайшего пересечения луча из камеры, проходящего через центр этого пикселя, с объектами сцены.

В АТК для определения видимости изображаемой точки источником используются теневые карты. Теневая карта – это буфер глубины  $DB_i[N, M]$ , рассчитанный для камеры, находящейся в позиции источника освещения  $LP_i$ . Чтобы определить видимость изображаемой точки, расстояние от точки до источника сравнивается со значением глубины из теневой карты. Если значение из теневой карты меньше, источник не виден – изображаемая точка находится в тени источника. Подробное исследование АТК можно найти в работах [6, 2].

## 2.3 Алгоритм теневых объемов

АТО для определения видимости изображаемой точки использует дополнительные геометрические построения, называемые теневыми объемами. Его также можно было бы применить наряду с АТК, см. [3, 2], но в данной работе он не рассматривается.

## 2.4 Метод световых сеток

Следуя [2, 4], световая сетка  $LM = \{x_k\}_{k=1}^{N^{LM}}$  – это равномерная сетка с шагом  $h$  и размером  $N^{LM} = N_x^{LM} \times N_y^{LM} \times N_z^{LM}$  в пространстве сцены, каждая точка световой сетки  $x_k$  (световая точка) хранит шкалу видимости данной точки пространства сцены для каждого источника. Для расчета видимости в точке сцены  $P$  строится интерполяционное множество  $D_{LM}(P, r)$  по следующему правилу

$$D_{LM}(P, r) = \{x : x \in LM, \|P - x\| < r, (\vec{n}(P), x - P) > 0, V(P, x) = 1\} \quad (2)$$

Аналогично формуле (1) базовую формулу расчета значения интенсивности в точке  $P$  по МСС представим как

$$U_{LM}(P) = \sum_{i=1}^{nL} \left[ \left( \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m V(LP_i, x_k) \chi(P, L_i) \right) \Omega(L_i, P) \right], \quad (3)$$

$$I_{LM}(P) = A + U_{LM}(P) + k_s I_r + k_t I_t$$

здесь  $\chi(P, L_i) = \begin{cases} 1, & (\vec{n}(P), (LP_i - P)) \geq 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$  – функция, которая

говорит о том, освещает источник точку спереди (значение 1) или сзади (значение 0).  $m$  – число световых точек в интерполяционном множестве. Если  $m = 0$ , тогда значение интенсивности в точке  $P$  по МСС рассчитывается по формуле (1), т.е. по ОРЛТ.

В формуле (3) используется функция значения видимости источника световой точкой  $V(LP_i, x_k)$ , которая требует значительных вычислительных затрат. Для уменьшения этих затрат рассматривается алгоритм, являющийся гибридом МСС и АТК. Основная идея: заимствовать для МСС положительное качество АТК – быстрый тест видимости источника – здесь: видимости точек сетки.

## 2.5 Комплексование МСС с АТК

Рассмотрим этот алгоритм МСС (см. [4]). Для определения значения интенсивности в объектной точке по МСС применяется формула (3), в которой используется функция значения видимости источника световой точкой  $V(LP_i, x_k)$ .

1. Для определения видимости выполняется длинный тест, т.е. отыскивается пересечение отрезка  $[x_k, LP_i]$  с объектами сцены – операция, которая требует значительных вычислительных затрат.

Вспомним (2) как отбираются световые точки в интерполяционное множество  $D_{LM}(P, r)$ : строится полусфера радиуса  $r$  с центром в точке  $P$ , и для каждой световой точки  $x_j$ , попавшей в полусферу, проверяется видимость из объектной точки  $V(P, x_j)$ .

2. Для определения  $V(P, x_j)$  выполняется короткий тест, т.е. отыскивается пересечение отрезка  $[x_j, P]$  с точками объектов сцены – второй основной источник вычислительных затрат МСС. Короткий тест обеспечивает защиту от протечек света и тени.

Мы выделили два источника вычислительных затрат. Первый из них мы ускоряем за счет применения АТК, т.е. видимость световых точек осуществляется за счет использования теневой карты источника.

Чтобы «ослабить» второй источник затрат времени счета мы проведем исследование: нельзя ли отказаться от короткого теста вообще, хотя бы для получения черновых изображений.

## 3. РАЗРАБОТКА ПЛАГИНА AUTODESK 3DS MAX

Для внедрения МСС в практику, необходимо встроить его в какой-либо популярный редактор трехмерных сцен. Autodesk 3ds Max был выбран для реализации МСС в виде подключаемого модуля (плагины).

### 3.1 Рендеринг в 3ds Max

Рендеринг – процесс визуализации сконструированной в редакторе пространственной сцены. Типы подключаемых модулей, которые ближе всего относятся к рендерингу в

нашем контексте: Shadow Generator или Render. Для наших целей достаточно разработать модуль типа Shadow Generator, т.е. необходимо реализовать интерфейс, основным методом которого является `ShadowGenerator::Sample(ShadeContext&, Point3&, Color&)`. Он возвращает значение равно степени затененности точки пересечения луча со сценой (0 – точка в тени, 1 – точка освещена; промежуточные значения соответствуют полутени).

Использование модуля типа Render означает создание своего уникального построителя изображений (в данном случае еще и трассировщика лучей). Наш Shadow Generator использует стандартный трассировщик лучей.

## 3.2 Пользовательский интерфейс

Для каждого точечного источника освещения 3ds Max позволяет определить, будет ли он отбрасывать тень, и если да, то какой алгоритм будет применен для генерации теней от него, и задать параметры работы этого алгоритма для данного источника. Набор параметров зависит от конкретного алгоритма и задается его программной реализацией.

При выборе источника освещения, на вкладке General Parameters панели настройки Modify можно указать алгоритм генерации теней для этого источника. При выборе определенного алгоритма, на панели настройки появляется вкладка с опциями этого алгоритма.

Подключение к 3ds Max модуля FastLMM добавляет в список алгоритмов опцию «Fast Light Mesh Method». При выборе этой опции на панели настройки появляется вкладка Parameters, где можно редактировать необходимые параметры.

Интерфейс, созданный в рамках данной работы, выполнен в том же стиле, что и пользовательский интерфейс стандартных алгоритмов генерации теней, таких как «Area Shadows», «Shadow Map», «Ray Traced Shadows».

Для модуля FastLMM доступны следующие параметры:

- Алгоритм визуализации – MCC, MCC+ATK.
- Express – визуализация алгоритмом с возможными протечками (Light/Shadow Leaks). Данный параметр позволяет генерировать тени значительно быстрее, за счет того, что при построении интерполяционного множества не учитывается короткий тест – проверка локальной видимости  $V(P, x_j)$ . Такая визуализация возможна для случаев, когда необходимо отрисовать сцену быстро, например, для черного варианта.
- Quality – Качество изображаемой тени. При увеличении данного параметра, увеличивается количество световых точек в световой сетке. Шаг световой сетки вычисляется по формуле  $h = r / q$ , где  $r$  – радиус,  $q$  – качество.
- Radius – радиус размытия тени. Чем больше радиус, тем более размыты границы теней как вовне, так и вовнутрь границы четкой тени.
- Size – размер буфера глубины или теневой карты (только для MCC+ATK). Чем больше размер буфера, тем точнее теневая карта отражает видимость световых точек, и, следовательно, получаются более качественные изображения.

## 3.3 Подключаемый модуль FastLMM

Для реализации комплексированного алгоритма, было решено перенести расчет теневой карты на графический ускоритель. Для этого был использован DirectX 9. Сцена, с позиции источника освещения, отрисовывается в текстуру, Далее буфер считывается в память центрального процессора и используется для расчета видимости световых точек в алгоритме MCC+ATK.

## 4. ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Проведенные эксперименты можно разделить на две группы: по качеству и по скорости. Были проведены расчеты для сцен различной сложности. Для двух сцен данные экспериментов см. в таблицах 1 и 2: «Сферы» – 2028 треугольников; «Парк» – 145970 треугольников.

Приведены изображения: расчет по ОРЛТ (рис. 1), расчет по MCC (рис. 2), расчет по экспресс MCC (рис. 3). На рис. 4 приведена разница между изображениями на рис. 2 и рис. 3. Это показывает, что для ряда сцен возможные протечки света или тени почти не проявляются визуально.



Рис 1: Сцена «Парк», рассчитанная по ОРЛТ

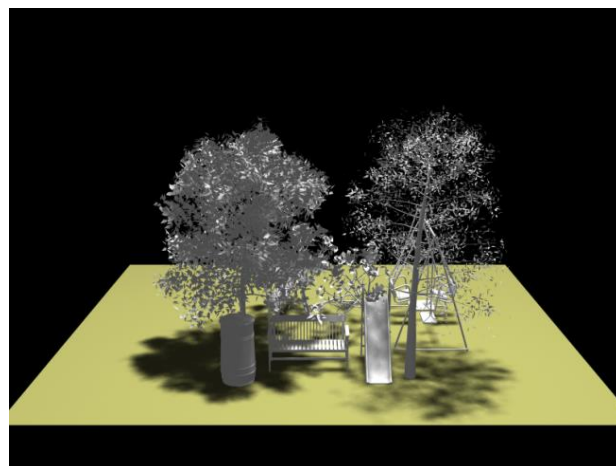


Рис 2: Сцена «Парк», рассчитанная MCC

Таблица 1. Времена расчета сцены «Сферы» (с)

	q = 6, r = 4.5, ТК: 1024	q = 6, r = 4.5, ТК: 512	q = 6, r = 5.5, ТК: 1024	q = 6, r = 5.5, ТК: 512
MCC	42.6	42.6	77.6	77.6
MCC+ATK	41.5	42.2	76.8	76.3
Express MSS	6.52	6.2	12.8	12.8
Express MCC+ATK	6.4	6.33	9.53	9.52

Таблица 2. Времена расчета сцены «Парк» (с)

	q = 4, r = 3, ТК: 1024x1024	q = 4, r = 3, ТК: 512x512	q = 4, r = 4, ТК: 1024x1024	q = 4, r = 4, ТК: 512x512
MCC	65.1	65.1	146.1	146.1
MCC+ATK	62.7	59.5	142.8	141.1
Express MCC	12.65	12.65	13.3	13.3
Express MCC+ATK	4.0	3.98	5.2	5.1

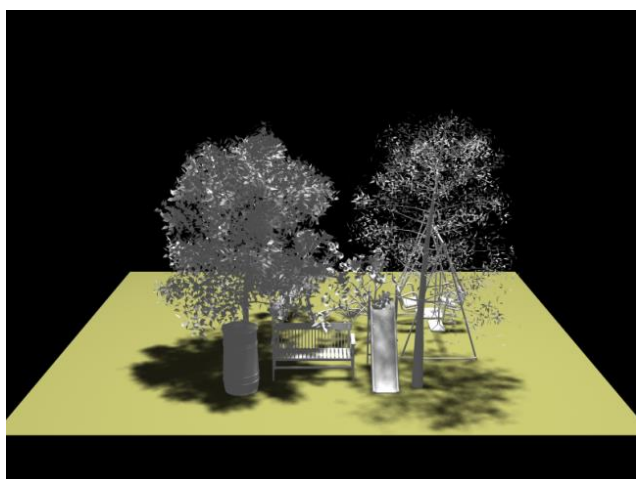


Рис 3: Сцена «Парк», экспресс режим MCC

Погрешность, вносимая алгоритмом MCC+ATK и экспресс режимом в расчет по MCC, составляет в среднем несколько процентов, что достаточно мало в контексте задачи генерации мягких теней. Таким образом, предложенные алгоритмы позволяют ускорить расчет изображений по MCC без ощутимых потерь качества.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы был реализован метод световых сеток в форме подключаемого модуля для популярного графического редактора Autodesk 3ds Max. Реализовано ускорение расчета на основе применения теневых карт.

В качестве дальнейшего развития предполагаются два основных варианта:

1. Перенос всех вычислений на графический ускоритель. При этом использовать более

современное средство работы с видеокартой – архитектуру CUDA.

2. Реализовать комплексирование MCC с АТО в виде плагина 3ds Max. Несмотря на то, что АТО медленнее ATK, он позволяет получать более качественные изображения, содержащие меньше артефактов.

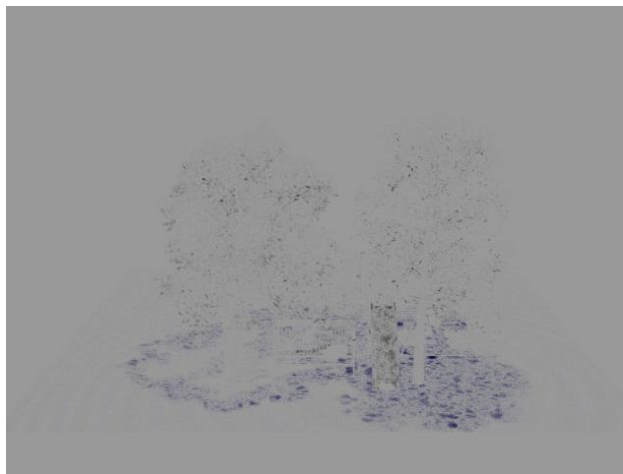


Рис 4: Разность изображений 2 и 3, усиленная по яркости и контрасту, затем негатив

## 6. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-07-00386 а. Автор также выражает благодарность В.А. Дебелову и Л.Ф. Васильевой за постановку задачи и постоянное внимание к работе.

## 7. ССЫЛКИ

- [1] Дебелов В.А., Севастьянов И.М. *Оригинальный подход к имитации мягких теней и учету диффузных переотражений в лучевой трассировке* // Тр. 11-й междунар. конфер. по компьютерной графике и машинному зрению Графikon'2001. – Нижний Новгород, 2001. – С. 18–24. 21.
- [2] Дебелов В.А., Новиков И.Е. *Генерация мягких теней при использовании алгоритма трассировки лучей* // Вестник НГУ. Серия: Информационные Технологии. – 2009. – Т. 7, № 2. – С. 18–41.
- [3] Crow F. *Shadow Algorithms for Computer Graphics* // *Computer Graphics*. – 1977. – Vol. 11, № 2. – P. 242-247.
- [4] Debelov V.A., Novikov I., Vasilyeva L.. *Ray Tracing Based on Interpolation of Visibility of Point Light Sources* // *Intelligent Computer Graphics 2012 / Plemenos, Dimitri; Miaoulis, Georgios (Eds.)*. – Springer Series: Studies in Computational Intelligence, 2013, Volume 441/2013, P. 169-188. DOI: 10.1007/978-3-642-31745-3\_9.
- [5] Whitted T. *An Improved Illumination Model for Shaded Display / Commun. ACM*. – 1980. – Vol. 23, № 6. – P. 343-349.
- [6] Williams L., *Casting curved shadows on curved surfaces* // *Computer Graphics*. – 1978. – Vol. 10, № 2. – P. 270-274.

## Об авторе

Наталья Бологова получила квалификацию бакалавра в 2013г. на факультете информационных технологий НГУ.