

# Автоматическое упрощение геометрии для расчёта вторичной освещённости методом излучательности

Александр Щербаков, Владимир Фролов

Факультет вычислительной математики и кибернетики

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

[alex.shcherbakov.as@gmail.com](mailto:alex.shcherbakov.as@gmail.com), [vfrolov@graphics.cs.msu.ru](mailto:vfrolov@graphics.cs.msu.ru)

## Аннотация

В данной работе рассматривается интерактивное решение проблемы глобальной освещённости при помощи алгоритма излучательности, применяемого к упрощённой геометрии сцены, для расчёта вторичного освещения. Предлагается алгоритм автоматического упрощения сцены, основанный на промежуточном воксельном представлении геометрии. Предложенный метод обладает низкой вычислительной сложностью при итоговом расчёте освещения и прост в интеграции для конечного пользователя. Метод даёт сравнимую с аналогами точность.

**Ключевые слова:** Вторичное освещение, Воксели, Излучательность.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Основную сложность моделирования глобального освещения представляет расчёт многократно отражённого света. Такой свет приводит к необходимости вычисления многомерного интеграла освещённости. Значение этого интеграла считается численно. При интерактивном изменении глобального освещения интеграл также меняется. Таким образом, вычисление отражённого света требует значительных вычислительных затрат.

В настоящее время в интерактивных приложениях закрепилось несколько наиболее популярных методов интерактивного расчёта глобального освещения.

## 2. МЕТОДЫ ИНТЕРАКТИВНОГО ГЛОБАЛЬНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

В работе [5] был предложен алгоритм Light Propagation Volumes (LPV). Метод основан на распространении света по сцене через дискретную сетку. Основные недостатки этого метода: (1) кубическая сложность в зависимости от размера сетки; (2) неэффективный расчёт распространения света через пустые пространства; (3) артефакты “протечек”, появляющиеся из-за дискретности сетки.

В работе [2] предлагается метод, называемый Voxel Cone Tracing (VCT), – один из наиболее популярных методов на сегодняшний день, поддерживающий ламбертовские и матово-отражающие поверхности. Данный метод также использует воксельную сетку, но в отличие от LPV может использовать разреженные представления - окто-деревья или ClipMap [7]. Основная идея - это прединтегрирование освещения в вокселях разного размера за счёт построения мип-уровней для воксельного представления сцены. Итоговое освещение вычисляется аналогично “финальному сбору” [2], но не при помощи трассировки лучей, а при

помощи трассировки конусов. Удаляясь от точки старта, алгоритм постепенно уменьшает мип-уровень, из которого делается выборка, за счёт чего изменяется размер собирающего конуса. Основные недостатки VCT – высокая сложность интеграции и относительно высокая вычислительная сложность.

В работе [8] был предложен метод, основанный на сферических гармониках и так называемых “лайт-пробах”. Основной недостаток этого метода - необходимость ручной расстановки “проб” и в некоторых вариациях – создание упрощённой геометрии [1].

Излучательность (Radiosity) – алгоритм, считающий освещение путём моделирования переноса световой энергии между небольшими площадками сцены. Среди преимуществ этого метода - исключительно низкая вычислительная сложность при небольшом числе площадок и простота интеграции в итоговое приложение. Среди ограничений можно выделить три основных. Во-первых, метод не поддерживает работу с зеркальными поверхностями. Эту проблему решает использование других методов для материалов с зеркальными свойствами. Во-вторых, сцена должна быть замкнутой. Для незамкнутых сцен достаточно добавить некоторую поверхность, ограничивающую сцену. Третьим ограничением является сильный рост вычислительной нагрузки с ростом количества полигонов. Данную проблему решает использование упрощённой геометрии сцены и алгоритм иерархической излучательности. Зачастую операция упрощения геометрии производится вручную, дизайнерами [6]. В данной работе предлагается метод автоматического упрощения геометрии для последующего использования алгоритма излучательности.

Стоит отметить, что значительным преимуществом последних двух рассмотренных методов (на основе сферических гармоник и излучательности) является возможность перенести основную вычислительную сложность при расчёте освещения на этап предрасчёта. Именно это позволяет считать данные методы наименее ресурсоёмкими.

## 3. МЕТОДЫ УПРОЩЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ

Методы упрощения геометрии можно условно разделить на два класса: изменение исходной геометрии и создание приближённой геометрии.

Первый класс включает в себя методы, основанные на удалении некоторых элементов (вершин, рёбер, полигонов) [4, 10]. Основная их часть работает по следующему алгоритму:

1. Выбрать элемент (вершину, ребро или полигон) для удаления
2. Удалить наиболее подходящий элемент
3. Убрать (замостить полигонами) образовавшуюся брешь в геометрии

Эти методы не приспособлены для использования результирующей геометрии в алгоритме излучательности по нескольким причинам. Во-первых, они ориентированы на сохранение исходного объёма, занимаемого объектами сцены. Во-вторых, если изначально геометрия сделана неудачно (например, много длинных тонких треугольников), то и после преобразования она будет состоять из полигонов с большой площадью, но их вершины будут достаточно далеко друг от друга (что не подходит для излучательности, т.к. необходимо разбиение на равномерные площадки). В связи с этим больший интерес представляют алгоритмы, генерирующие упрощённую геометрию на основе существующей.

Рассмотрим методы, основанные на кластеризации вершин [9]. Эти способы упрощения трудно применимы в сочетании с излучательностью, так как учитывают только относительное расположение вершин и работают с объектами сцены не как с набором поверхностей, а как с графом, который необходимо сделать проще, оставив “важные точки”.

Рассмотрим алгоритмы, генерирующие похожую, но более простую сцену [3]. Их достоинством является то, что есть возможность выбора составляющих элементов новой сцены. Пожалуй, самой удобной формой полигонов для излучательности является прямоугольник, потому как в архитектуре подавляющее большинство углов прямые и 4 прямоугольника довольно просто можно объединить в один большего размера (что важно для иерархической излучательности). Рассмотрим воксельные модели. При построении воксельной модели все грани вокселей представляют собой площадки одинакового размера. Однако при вокселизации полигональных моделей на выходе получается достаточно большое количество поверхностей, многие из которых – совпадающие грани разных вокселей.

Описанные методы не позволяют добиться основной цели упрощения геометрии для алгоритма излучательности - представление поверхностей относительно небольшим числом площадок одинакового размера. Поэтому необходима разработка нового алгоритма, удовлетворяющего этим требованиям.

#### 4. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Для расчёта освещения методом излучательности будем использовать упрощённую геометрию сцены аналогично работе [6], и экстраполировать освещение на детальной геометрии в процессе визуализации.

Предлагаемый алгоритм упрощения геометрии состоит из нескольких этапов:

- (1) Построение воксельной модели из полигональной путём вокселизации поверхностей. При этом исходный набор полигонов заменяется на его разбиение полигонами.
- (2) Формирование множества всех граней вокселей. В процессе построения каждый полигон исходной модели

разбивается на несколько полигонов-граней в соответствии с тем, как он делится вокселями.

- (3) Удаление граней, которые находятся внутри объекта. Оставшиеся грани вокселей сформируют множество площадок одинакового размера, которые будут использованы алгоритмом излучательности (Рис. 1).

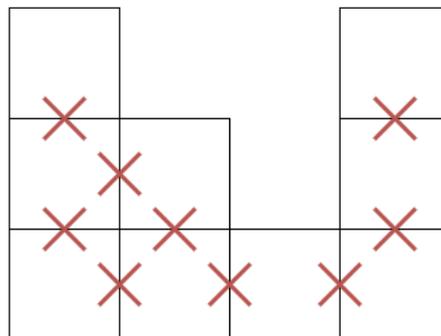


Рис 1: Внутренние грани воксельной геометрии удаляются.

- (4) Вычисление цвета площадок. Для расчёта вторичного освещения на упрощённой сцене необходимо ещё узнать цвета этих площадок. Цвет каждой площадки определяется как сумма цветов полигонов внутри вокселя принадлежащего этой грани, взятых пропорционально площади их проекций на грань.
- (5) Далее выполняется сопоставление элементов исходной сцены с площадками упрощённой. Для каждой вершины полигонов выбирается 4 ближайших площадки, нормали которых имеют угол с нормалью в вершине меньше заданной пороговой величины, и берётся вторичное освещение, полученное на этих площадках пропорционально расстоянию до вершины (Рис. 2).

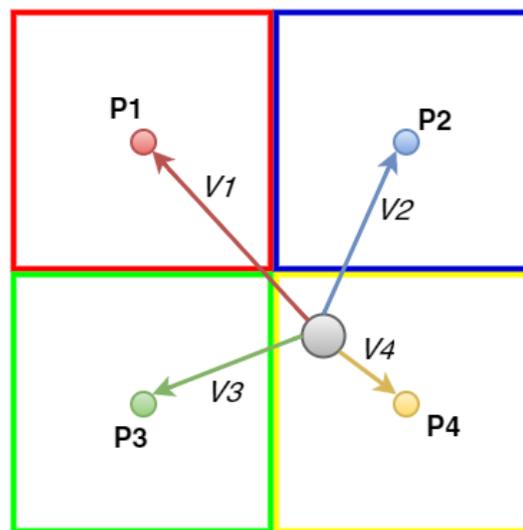


Рис 2: Вычисление вторичного освещения в вершине полигона. Вычисляется взвешенная сумма значений цветов в центрах патчей.  $(Color(P1) / |V1| + Color(P2) / |V2| + Color(P3) / |V3| + Color(P4) / |V4|) * (|V1| + |V2| + |V3| + |V4|)$ .

- (6) Последний этап в предподсчёте – это вычисление форм-факторов. Вычисление матрицы форм-факторов

производится путём трассировки лучей и метода Монте-Карло.

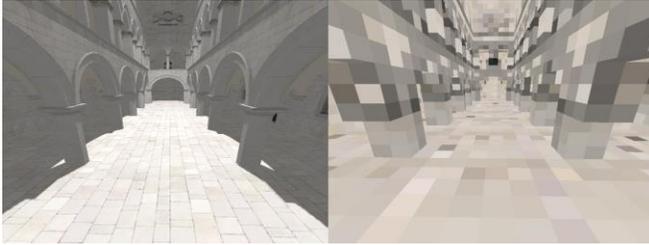


Рис 3: Слева детальная геометрия, справа - упрощённая.

Таким образом, из исходной сцены мы получаем: 1) аналогичную сцену с полигонами разбитыми вокселями, 2) сцену из квадратных площадок, 3) матрицу форм-факторов. Опишем схему использования этих объектов. На первом этапе вычисляется свет, попавший на площадки из источника. Далее производится расчёт вторичного освещения при помощи излучательности. После этого, для каждой вершины из нового набора полигонов считается вторичное освещение и происходит формирование изображения.

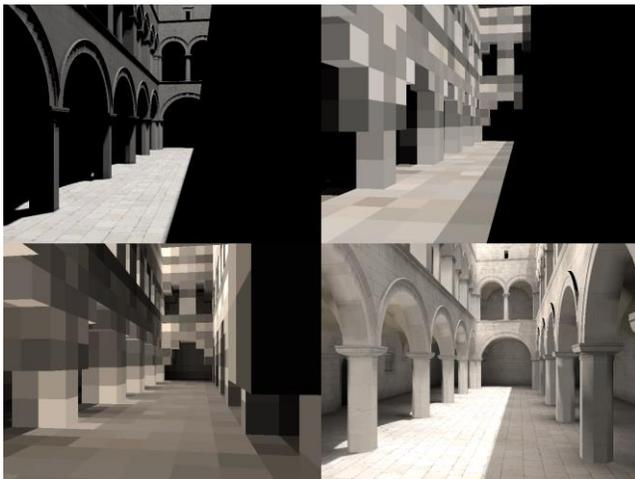


Рис 4: Этапы создания изображения: 1) первичное освещение; 2) расчёт светимости площадок от первичного источника; 3) получение вторичного освещения для упрощенной сцены; 4) добавление вторичного освещения.

## 5. СРАВНЕНИЕ С СУЩЕСТВУЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Мы сравнили наш результат с точным расчётом Монте-Карло трассировкой лучей (Рис. 6) и с подходом из работы [1], использующей ручное упрощение (Рис. 7). Данное сравнение показывает высокую реалистичность освещения, рассчитанного нашим методом, и демонстрирует схожие результаты с методом из работы [1].



Рис 5: Результат предлагаемого подхода.



Рис 6: Изображение, полученное трассировкой лучей.



Рис 7: Сравнение с подходом из работы [1]. Сверху изображение из работы [1]. Снизу – изображение, построенное предлагаемым алгоритмом.

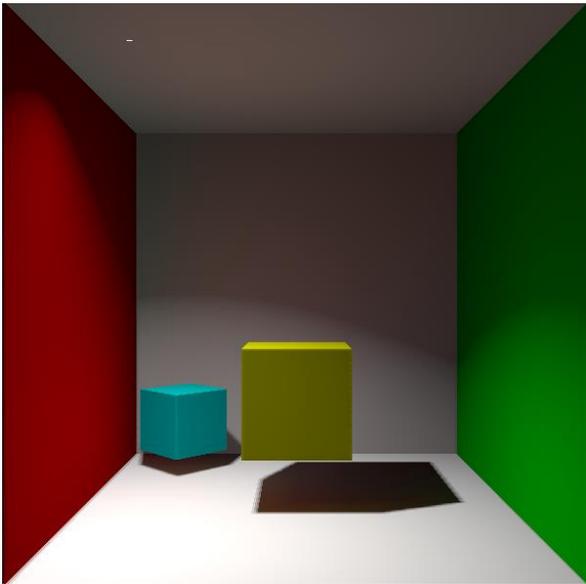


Рис 8: Результат работы предложенного метода на сцене CornellBox.

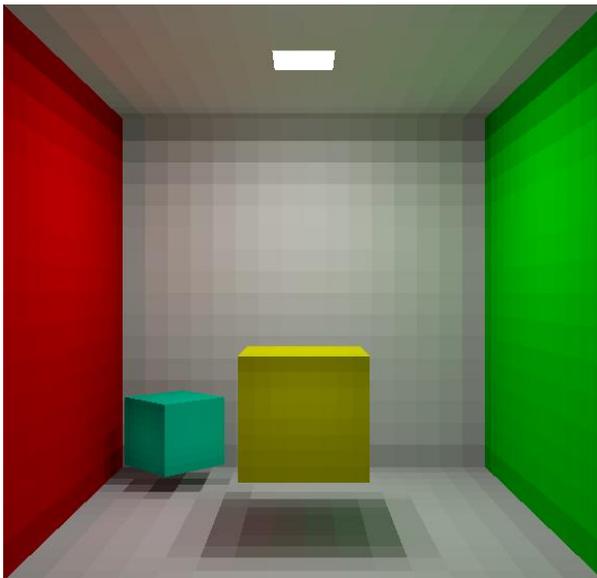


Рис 9: Результат применения алгоритма излучательности для первичного и вторичного освещения на сцене CornellBox.

## 6. ВЫВОДЫ

Таким образом, предлагаемый алгоритм позволяет автоматически применять метод излучательности для расчёта вторичного освещения к высоко-детализированным сценам. Вычислительная сложность расчёта освещения сопоставима с методом из работы [6]. Основное преимущество использования излучательности – возможность перенести сложность вычисления глобального освещения на этап пред-просчёта.

## 7. ССЫЛКИ

- [1] Boesch F. *WebGL Deferred Irradiance Volumes*, <http://codeflow.org/entries/2012/aug/25/webgl-deferred-irradiance-volumes/>.
- [2] Cyril Crassin, Fabrice Neyret, Miguel Sainz, Simon Green, and Elmar Eisemann. 2011. *Interactive indirect illumination using voxel-based cone tracing: an insight*. In *ACM SIGGRAPH 2011 Talks (SIGGRAPH '11)*. ACM, New York, NY, USA, Article 20, 1 pages. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2037826.2037853>.
- [3] Elmar Eisemann and Xavier Décoret. 2006. *Fast scene voxelization and applications*. In *Proceedings of the 2006 symposium on Interactive 3D graphics and games (I3D '06)*. ACM, New York, NY, USA, 71-78. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1111411.1111424>
- [4] Michael Garland and Paul S. Heckbert. 1997. *Surface simplification using quadric error metrics*. In *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '97)*. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., New York, NY, USA, 209-216. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/258734.258849>
- [5] Anton Kaplanyan and Carsten Dachsbacher. 2010. *Cascaded light propagation volumes for real-time indirect illumination*. In *Proceedings of the 2010 ACM SIGGRAPH symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D '10)*. ACM, New York, NY, USA, 99-107. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1730804.1730821>
- [6] Martin S., Einarsson P. *A Real Time Radiosity Architecture for Video Games*, *SIGGRAPH 2010* [http://www.geomerics.com/wp-content/uploads/2014/03/radiosity\\_architecture.pdf](http://www.geomerics.com/wp-content/uploads/2014/03/radiosity_architecture.pdf).
- [7] Pantelev A. *Practical Real-Time Voxel-Based Global Illumination for Current GPUs*, *GPU Technology Conference 2014* <http://on-demand.gputechconf.com/gtc/2014/presentations/S4552-rt-voxel-based-global-illumination-gpus.pdf>
- [8] Georgios Papaioannou. 2011. *Real-time diffuse global illumination using radiance hints*. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Symposium on High Performance Graphics (HPG '11)*, Stephen N. Spencer (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 15-24. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2018323.2018326>
- [9] Rossignac, Jarek and Borrel, Paul. 1993. *Modeling in Computer Graphics: Methods and Applications*. Springer Berlin Heidelberg. 455–465. DOI=[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-78114-8\\_29](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-78114-8_29)
- [10] William J. Schroeder, Jonathan A. Zarge, and William E. Lorensen. 1992. *Decimation of triangle meshes*. In *Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (SIGGRAPH '92)*, James J. Thomas (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 65-70. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/133994.134010>.

**Об авторах**

Александр Щербаков – студент ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова. Его адрес: [alex.shcherbakov.as@gmail.com](mailto:alex.shcherbakov.as@gmail.com).  
Владимир Фролов – научный сотрудник ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова. Его адрес: [vfrolov@graphics.cs.msu.ru](mailto:vfrolov@graphics.cs.msu.ru).