

Некоторые подходы к ускорению метода световых сеток

Виктор Дебелов, Илья Новиков
 Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
 Новосибирск, Россия
debелov@oapmg.sccc.ru, limit@demakova.net

Аннотация

Данная работа посвящена методу световых сеток (МСС), который является модификацией алгоритма обратной рекурсивной лучевой трассировки (ОРЛТ). МСС позволяет имитировать мягкие тени от точечных источников освещения, что повышает реализм синтезированных изображений, но при этом требует дополнительных вычислительных затрат. Основное внимание уделено ряду методов, которые позволяют существенно ускорить расчет изображений по МСС.

Ключевые слова: лучевая трассировка, метод световых сеток, мягкие тени.

1. ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим задачу расчета реалистических изображений пространственных сцен в монохромном варианте. В данной работе пространственная сцена – это кусочно-непрерывная поверхность или, точнее, набор из nO непрозрачных примитивов, обладающих следующими свойствами:

- В каждой точке поверхности определены зеркальный k_s и диффузный k_d коэффициенты отражения падающей световой энергии.
- Для поверхности определена операция пересечения с лучом, и в каждой точке поверхности P определена нормаль $\vec{n}(P)$.

Сцена освещается nL точечными источниками, специфицированными интенсивностями излучения I_i и позицией в пространстве L_i . Изображение (разрешение $Res = N_x \times N_y$ пикселей) рассчитывается, исходя из параметров камеры: позиция в пространстве, ориентация, высота и ширина экрана.

Как известно, ОРЛТ [1] заключается в попиксельном расчете изображения. Через каждый пиксель выпускается луч в сцену. Отыскивается ближайшая точка пересечения луча со сценой, и значение закраски рассчитывается, исходя из свойств материала поверхности сцены в точке и источников света, из которых она видна.

Пусть луч из камеры имеет ближайшее пересечение с поверхностью сцены в точке P (объектной точке). Базовую формулу расчета значения закраски в точке P по ОРЛТ $I_{RT}(P)$ для удобства дальнейших рассуждений можно выразить формулой (1), см. также [2].

Пусть A – интенсивность рассеянного света, $V(L_i, P)$ – булева функция видимости i -го источника освещения точкой P , $\Omega(i, P)$ учитывает все отражательные свойства поверхности в точке P и параметры i -го источника, I_r – интенсивность, приходящая с направления отраженного луча.

$$\begin{aligned} I_{RT}(P) &= A + \sum_{i=1}^{nL} V(L_i, P) \Omega(i, P) + k_s I_r \\ &= A + U_{RT}(P) + k_s I_r. \end{aligned} \quad (1)$$

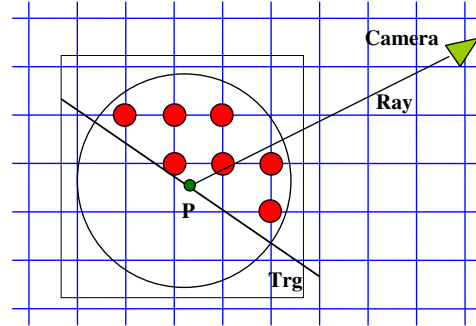


Рис. 1. Узлы световой сетки, объектная точка, интерполяционная сфера

Световая сетка – это равномерная сетка точек в пространстве сцены. Точка световой сетки (световая точка) x_k хранит значения взаимной видимости между этой точкой и источниками освещения. При расчете видимости для объектной точки строится интерполяционная сфера, включающая в себя световые точки, попадающие в сферу радиуса r с центром в объектной точке (рис. 1). Световые точки, лежащие с невидимой стороны непрозрачной поверхности, т.е. $(\vec{n}(P), x_k - P) \leq 0$, исключаются из интерполяционной сферы. Искомое значение видимости получается интерполяцией значений видимости m световых точек, оставшихся в интерполяционной сфере.

Аналогичным образом базовую формулу расчета значения закраски в точке P по МСС $I_{LM}(P)$ представим как

$$\begin{aligned} I_{LM}(P) &= A + \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \left[\sum_{i=1}^{nL} V(L_i, x_k) \Omega(i, P) \right] + k_s I_r \\ &= A + U_{LM}(P) + k_s I_r, \end{aligned} \quad (2)$$

где m – число учитываемых световых точек в интерполяционном множестве, а $V(L_i, X_k)$ – булева функция видимости i -го источника освещения световой точкой X_k .

МСС [3] является модификацией ОРЛТ, которая аппроксимирует решения, получаемые по стандартному алгоритму рекурсивной лучевой трассировки. Из формул (1) и (2) видно, что отличие МСС от ОРЛТ состоит в расчете функции взаимной видимости между объектной точкой и источниками освещения. Если в ОРЛТ функция видимости рассчитывается для каждой объектной точки при помощи трассировки теневого луча, то в МСС она интерполируется между дискретными значениями видимости, хранящимися в точках равномерной световой сетки (рис. 1). Т.к. функция видимости используется только для генерации теней, можно сказать, что отличие МСС от ОРЛТ состоит в формуле расчета локальной освещенности с тенями.

Интерполяция значений видимости дает эффект постепенного изменения видимости при переходе от освещенной объектной точки к точке, лежащей в тени. В результате получаемая тень становится мягкой. Заметим, что чем гуще световая сетка, тем более четко МСС улавливает тени от небольших объектов. Чем больше радиус интерполяционной сферы, тем более мягкими являются генерируемые тени, подробнее см. [3].

1.1 Актуальность ОРЛТ

Задача построения изображения пространственной сцены является одной из наиболее важных для компьютерной графики. Основными алгоритмами, используемыми для ее решения, являются ОРЛТ [1], Monte-Carlo path tracing и radiosity [4, 5]. Каждый из этих алгоритмов имеет преимущества и недостатки по сравнению с другими.

По качеству изображения ОРЛТ уступает двум другим алгоритмам, поскольку не захватывает существенные для реалистического изображения эффекты: мягкие тени от объемных источников освещения, каустики, color bleeding и др. Тем не менее, ОРЛТ позволяет получать реалистические изображения высокого качества.

По скорости расчета изображения ОРЛТ значительно превосходит другие два алгоритма, обеспечив себе тем самым наибольшую популярность в прикладных областях.

1.2 Проблемы ОРЛТ

Одним из недостатков ОРЛТ является неспособность генерировать мягкие тени от объемных источников освещения. Точечные источники освещения являются идеальными объектами, т.е. их не существует в природе. Еще более важно, что четкие тени гораздо хуже воспринимаются зрителем. Они могут быть истолкованы как дополнительный объект в сцене, а также понижают эстетическое качество изображения.

Как следствие, множество исследований посвящено генерации или имитации мягких теней в рамках ОРЛТ, достаточно полный обзор дан в работе [6]. В работе [3] рассматривается ряд методов имитации мягких теней и их соотношение с МСС. Наивный подход к построению мягких теней использует расчет не одного теневого луча, а нескольких, для имитации теней от объемного источника освещения. Поскольку для получения “гладкой” тени необходим расчет большого числа теневых лучей (десятки и сотни), трудоемкость расчета теней

возрастает пропорционально, поэтому большая часть исследований генерации мягких теней направлена на ускорение их расчета.

Существуют разные подходы, позволяющие ускорить расчет по ОРЛТ. Принимая во внимание, что основной операцией ОРЛТ является пересечение луча со сценой, среди них можно выделить две группы:

- Ускорение теста пересечения луча со сценой.
- Минимизация числа тестов пересечения луча со сценой.

Примером для первой группы может являться использование структур ускорения [7] и когерентности лучей [8, 9]. Примером для второй группы – подходы, аппроксимирующие расчет по ОРЛТ, например, интерполяция значений, полученных при расчете, в пространстве сцены [10] или в пространстве изображения [8].

1.3 Актуальность МСС

МСС генерирует мягкие тени, это позволяет получать более качественные изображения в сравнении с ОРЛТ.

МСС минимизирует число пересечений теневого луча со сценой. Расчет видимости в МСС, а значит и пересечение теневого луча со сценой, осуществляется только в световых точках и только для световых точек, реально участвующих в расчете. Это особенно важно для сложных сцен. Для таких сцен МСС позволяет ускорить расчет изображения в сравнении с ОРЛТ.

1.4 Проблемы МСС

При генерации теней по МСС возникает проблема графических артефактов в виде протечек света (light leaks). Чтобы избежать протечек света, в МСС используется проверка видимости объектной точкой световых точек из интерполяционной сферы (*локальная видимость*). Если световая точка не видит объектную точку, то эта световая точка исключается из интерполяционного множества.

Базовой операцией в МСС, как и в ОРЛТ, при расчете теней является пересечение теневого луча со сценой. Проверка локальной видимости вызывает необходимость добавления второй базовой операции МСС – пересечения короткого луча (меньше, чем радиус интерполяционной сферы) со сценой. Т.о., если мы говорим об ускорении расчетов по МСС, прежде всего речь идет об ускорении пересечения длинного теневого луча со сценой и короткого луча со сценой.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРЫ УСКОРЕНИЯ

Для определения локальной видимости используются короткие лучи из световой точки в объектную точку. Алгоритм пересечения луча (АПЛ), который в процессе поиска пересечения луча со сценой производит проверку пересечения луча с каждым объектом сцены, носит название *наивный АПЛ*. Очевидно, что в случае применения наивного АПЛ вычислительные затраты для короткого луча совпадают с вычислительными затратами для теневого луча. Нашей задачей является выбор АПЛ, который позволит уменьшить вычислительные затраты для короткого луча.

Критерий к искомому АПЛ может быть сформулирован следующим образом: вычислительные затраты на пересечение отрезка со сценой должны быть приблизительно пропорцио-

нальны длине этого отрезка. Существует множество АПЛ, отвечающих данному критерию – это алгоритмы, использующие структуры ускорения: иерархии ограничивающих объемов, равномерное разбиение пространства и бинарное разбиение пространства [7]. В своих экспериментах мы выбрали равномерное разбиение пространства (uniform grid).

Как правило, геометрия трехмерных сцен, встречаемых на практике, распределена неравномерно: часть ячеек структуры ускорения оказывается пустыми, другая часть – переполненными. Это требует введения дополнительного уровня разбиения, в результате получаем так называемую вложенную сетку (nested grid). После построения первого уровня вложенной сетки для каждой ячейки сетки, число объектов в которой превышает некоторое критическое значение (в наших экспериментах – 63), производится её разбиение. Причем число ячеек подсетки определяется как $\sqrt[3]{nO[i, j, k]}$, где $nO[i, j, k]$ – число объектов в ячейке с индексами $[i, j, k]$. При необходимости процесс разбиения продолжается аналогичным образом. В экспериментах использовалась двухуровневая вложенная сетка.

3. БЫСТРЫЙ ТЕСТ ДЛЯ ТОЧЕК ИНТЕРПОЛЯЦИОННОЙ СФЕРЫ

Метод вложенных сеток был изначально разработан для ускорения ОРЛТ, но также успешно использован для ускорения МСС. Тем не менее, МСС обладает собственными свойствами, которые позволяют ускорить расчет изображения.

3.1 Шаблоны принадлежности световых точек интерполяционной сфере

Обратимся к алгоритму построения интерполяционного множества (рис. 1). Для объектной точки P строится интерполяционная сфера радиуса r . Для всех световых точек, попадающих в воображаемый куб, включающий в себя интерполяционную сферу, проверяется условие $\|x_k - P\| \leq r$. Учитывая, что число точек в кубе больше числа точек, которые попадут в сферу, данная проверка требует существенных вычислительных затрат. Более того, тройной цикл, в котором вычисляются координаты точек в кубе, и преобразование координат точек в индексы световой сетки тоже требуют вычислительных затрат. Наша цель – элиминировать или минимизировать эти затраты.

Построим куб, включающий в себя все возможные световые точки для всех положений точки P между соседними точками световой сетки (рис. 2). Пусть P принадлежит кубу:

$$\begin{cases} LM_{0x} \leq P_x \leq LM_{1x} = LM_{0x} + h \\ LM_{0y} \leq P_y \leq LM_{1y} = LM_{0y} + h \\ LM_{0z} \leq P_z \leq LM_{1z} = LM_{0z} + h \end{cases}$$

Здесь LM_0 и LM_1 – точки световой сетки. Построим конечное множество точек, которые являются возможными центрами для интерполяционных сфер. Для этого каждую сторону куба разобьем на ns равных отрезков. Мы получили подсетку с шагом h/ns (рис. 3).

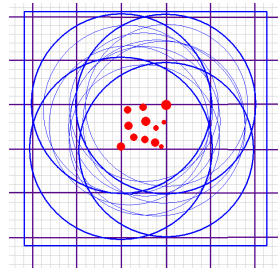


Рис. 2

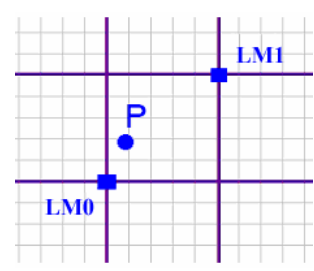


Рис. 3

Т.о., теперь мы можем поставить в соответствие точке P одну из точек подсетки. Хотя точка P не совпадает с ближайшей точкой световой подсетки, ns может быть выбрано так, что различие между ними будет мало.

Процесс использования световых подсеток:

1. Предварительно строится массив шаблонов для всех точек световой подсетки. Шаблон содержит массив смещений координат и индексов световых точек относительно LM_0 . Шаблоны создаются один раз для различных значений ns и различных радиусов сфер, они записываются в файл и хранятся на диске.
2. На этапе расчета находится ближайшая к P точка световой подсетки SLM_0 . Используя шаблон, получаем смещения индексов для всех световых точек, принадлежащих интерполяционной сфере.

Отметим, что использование шаблонов позволяет устранить проверку $\|x_k - P\| \leq r$, развернуть тройной цикл и минимизировать затраты на расчет координат и индексов.

Псевдокод данной части МСС

```
foreach (i = LM0x - (kI - 1) to LM0x + (kI - 1))
  foreach (j = LM0y - (kI - 1) to LM0y + (kI - 1))
    foreach (k = LM0z - (kI - 1) to LM0z + (kI - 1))
      if ((LM(i, j, k) - P, LM(i, j, k) - P) <= r * r)
        { ... }
```

с использованием шаблонов будет выглядеть как

```
foreach (i = 0 to Count[SLM0x, SLM0y, SLM0z])
  {
    LMi = LM0 + Offset[SLM0x, SLM0y, SLM0z]
    ...
  }
```

3.2 Уменьшение числа проверок локальной видимости

В некоторых случаях число тестов видимости точкой P точек световой сетки внутри интерполяционной сферы может быть уменьшено. Рассмотрим примеры на рис. 4а и 4б. Очевидно, что в обоих случаях все световые точки видны точкой P .

Идея состоит в том, что тест видимости первоначально проводится для точек b_1, \dots, b_6 , являющихся "граничными" для множества точек интерполяционной сферы. Тогда, если, на-

пример, точки b_1 и b_2 видны точкой P , то видна и точка r_1 . Если все граничные точки видны точкой P , то видны и все внутренние. В итоге для примеров, изображенных на рис. 4а и 4б, вместо 12 тестов видимости необходимы только 6.

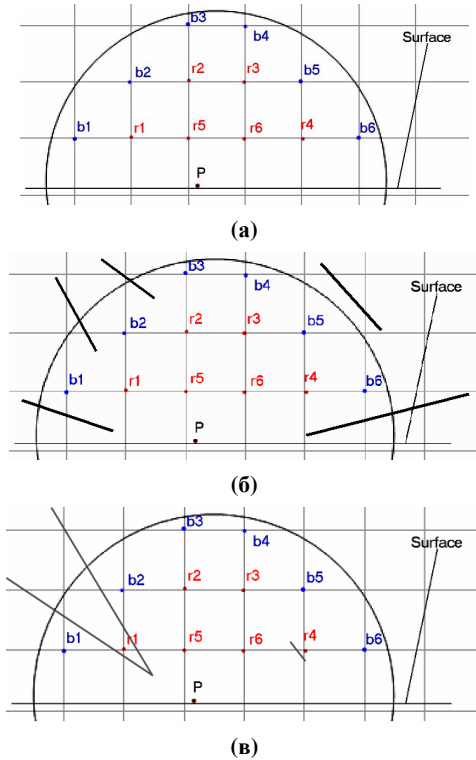


Рис. 4

Данное правило работает не всегда. На рис. 4в можно видеть, что, хотя точки b_1 и b_2 видны точкой P , точка r_1 скрыта от точки P стыком примитивов. Аналогично точки b_5 и b_6 видны точкой P , но точка r_4 скрыта от точки P небольшим примитивом. Тем не менее, авторы предполагают, что для большинства сцен, встречаемых на практике, эти ситуации не проявляются. Действительно, для получения реалистичных мягких теней шаг световой сетки выбирается много меньшим, чем размеры примитивов. Сцены, включающие случаи, изображенные на рис. 4в, встречаются достаточно редко, тем не менее, авторы предполагают подтвердить экспериментально применимость предлагаемого ускорения и для таких сцен, используя, например, оценку потерь по PSNR.

Для реализации этого подхода предварительно все граничные точки интерполяционной сферы выносятся в отдельный массив для каждого шаблона из предыдущего раздела. На этапе расчета сначала осуществляется проверка видимости для граничных точек. Если все граничные точки видны точкой P , все внутренние точки добавляются в интерполяционное множество. В противном случае проверка видимости осуществляется также для всех внутренних точек интерполяционной сферы.

4. СЕТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВИДИМОСТИ

Тест локальной видимости предназначен для устранения протечек света. Дополним описание пространственной сцены требованием телесности (solid) всех объектов. Будем исходить из предположения, что наиболее частый случай появления протечек света – это случай, когда в интерполяционную сферу попадают световые точки, находящиеся внутри какого-либо объекта сцены (рис. 5).

Тест локальной видимости используется, чтобы отбраковать такие точки. Но попадание световой точки внутрь объекта достаточно определить один (!) раз. Далее эта информация может храниться вместе со световой точкой и использоваться во всех последующих расчетах. Получаем, что в предложенном подходе световая точка имеет вид: $S = \langle f, v_0, \dots, v_{nL}, i \rangle$, где f – флаг инициализации точки, v_0, \dots, v_{nL} – массив булевых значений видимости для каждого источника освещения, i – булево, признак нахождения точки внутри объекта.

Наличие флага инициализации световой точки позволяет рассчитывать значения нахождения внутри объекта только для точек, которые попадают в интерполяционные сферы, также как и для значений видимости. Т.е. значения признака нахождения внутри объекта будут рассчитываться только для слоя световых точек, охватывающего объекты сцены и реально участвующих в расчете. Точка находится внутри какого-либо объекта сцены, если луч, выпущенный из этой точки, пересечет сцену нечетное число раз. В противном случае – четное (рис. 6).

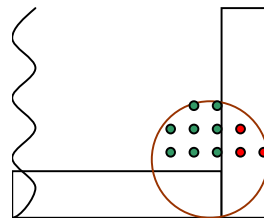


Рис. 5

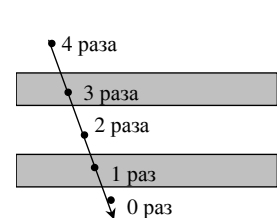


Рис. 6

Для определения попадания точки внутрь объекта сцены необходимо найти пересечение одного длинного луча со сценой. В случае определения локальной видимости объектная точка, относительно которой выполняется проверка, гарантированно не лежит внутри ни одного из объектов. Поэтому длинный луч можно заменить коротким лучом из объектной точки в световую точку, что уменьшает вычислительные затраты подхода.

Отметим некоторые свойства рассмотренного ускорения:

1. Уменьшаются затраты на расчет локальной видимости. Вместо решения нескольких тестов на пересечение короткого луча со сценой в каждой объектной точке необходимо проверить нахождение световой точки внутри какого-либо объекта (что эквивалентно одному пересечению короткого луча со сценой) один раз для каждой световой точки и только для световых точек, участвующих в расчете.
2. Подход предполагает *телесность* всех объектов. Заметим, что в реальном мире это требование выполняется

всегда, в том числе и в большинстве модельных трехмерных сцен.

3. Подход является нечувствительным к небольшим объектам, которые значительно меньше имитируемых объемных источников света. Действительно, свет от таких источников имеет свойство “огигать” объекты, поэтому можно считать, что данное свойство подхода не нарушает реалистичности изображения.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ

Расчеты по МСС с модификациями, описанными в разделах 2 и 3, проводились для сцен “Child park” (табл. 1) и “Garden” (табл. 2). Сцена “Child park” содержит 27296 треугольников и освещается 4-мя источниками освещения, размеры структуры ускорения: 81x81x81. Сцена “Garden” содержит 234568 треугольников и освещается 6-ю источниками освещения, размеры структуры ускорения: 100x100x100.



(а)



(б)

Рис. 7. Тестовые сцены: (а) “Child park” (б) “Garden”

Результаты приведены для расчетов по МСС (каждый из пунктов включает в себя предыдущие):

1. Без описанных методов ускорения (“Grid”).
2. С использованием шаблонов принадлежности точки интерполяционной сфере (“Ш”).
3. С уменьшенным числом проверок локальной видимости (“У”).

В ходе расчетов варьировались разрешение изображения *Res*, размер световой сетки (CC) по оси X и отношение радиуса интерполяционной сферы к шагу CC (*kI*). Для того чтобы читатель мог сравнить, насколько имитация мягких теней “замедляет” расчет изображения, приведены результаты расчетов ОРЛТ (“RT”) для тех же значений параметра *Res*.

В таблице 3 приведены времена расчетов по МСС с модификациями, описанными в разделе 4, для сцены “Gazebo”, в таблице 4 – для “Child park”. “Gazebo” содержит 326 треугольников, “Child park” (немного измененный вариант) –

27216. Обе сцены освещаются двумя точечными источниками освещения. Результаты приведены для расчетов по МСС:

1. Без теста локальной видимости (“Нет”).
2. С тестом в световых точках (СТ) согласно предложенному подходу.
3. С тестом в объектных точках (ОТ) согласно оригинальному методу МСС.

Таблица 1. Времена расчета “Child park” (сек.)

Res	CC	<i>kI</i>	Grid	Ш	У	RT
1024 x 768	100	1.2	19	14	14	21
		2	39	27	25	
		3	101	76	67	
	200	1.2	19	15	14	
		2	41	30	28	
		3	96	71	62	
3072 x 1536	100	1.2	133	96	95	166
		2	298	196	185	
		3	775	568	499	
	200	1.2	128	91	91	
		2	289	188	181	
		3	702	498	426	

Результаты, приведенные в таблицах 1 и 2, показывают, что расчет по МСС, использующий структуру ускорения, выполняется за время, сопоставимое или даже меньшее, чем время расчета по ОРЛТ, как и ожидалось. Использование шаблонов принадлежности точек интерполяционной сфере позволяет сократить время расчета по МСС в среднем на 15-20% для параметров расчета, использованных в экспериментах. Уменьшение числа проверок локальной видимости дает дополнительное ускорение в среднем на 10%.

Таблица 2. Времена расчета “Garden” (сек.)

Res	CC	<i>kI</i>	Grid	Ш	У	RT
1024 x 600	100	1.2	34	31	31	42
		2	64	53	51	
		3	193	170	159	
	200	1.2	44	41	41	
		2	82	72	68	
		3	178	155	144	
3072 x 1800	100	1.2	265	229	226	374
		2	509	407	387	
		3	1614	1419	1310	
	200	1.2	254	227	225	
		2	497	398	378	
		3	1230	1034	936	

Результаты, приведенные в таблицах 3 и 4, подтверждают, что использование сеточной функции локальной видимости дает выигрыш по времени расчета в сравнении с оригинальным методом МСС. Этот выигрыш увеличивается с ростом радиуса интерполяционной сферы, поскольку в расчетах задействуется большее количество световых точек, информация о локальной видимости, для которых может быть переиспользована. В отдельных случаях время расчета уменьшается более чем в 4 раза. Также можно заметить, что выигрыш становится меньше с уменьшением шага световой сетки. Это связано с тем, что увеличение плотности световой сетки уменьшает коэффициент переиспользования информации о локальной видимости световых точек.

Таблица 3. Времена расчета "Gazebo" (сек.)

Res	CC	kI	Her	CT	OT	RT
512 x 512	100	1.1	4.5	4.6	5.1	7.0
		2.0	6.5	6.8	10.2	
		3.0	9.9	10.9	24.2	
	200	1.1	5.6	5.7	6.0	
		2.0	8.7	9.1	11.6	
		3.0	13.6	14.5	24.3	
	400	1.1	9.7	10.2	10.9	
		2.0	18.0	19.5	20.5	
		3.0	30.1	31.6	38.7	
1024 x 1024	100	1.1	16.5	16.8	19.0	27.7
		2.0	22.8	23.6	37.7	
		3.0	34.5	36.8	91.5	
	200	1.1	17.7	18.0	19.6	
		2.0	25.1	26.0	37.0	
		3.0	38.2	40.6	81.4	
	400	1.1	23.1	24.3	25.8	
		2.0	36.1	37.3	46.2	
		3.0	54.5	58.5	92.7	

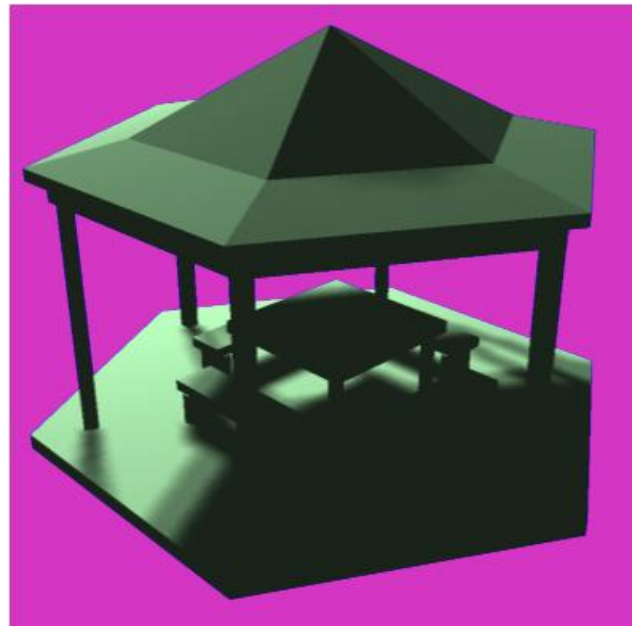


Рис. 8. Сцена "Gazebo" (CC: 91x69x105, $kI = 2.0$)

Таблица 4. Времена расчета "Child park" (сек.)

Res	CC	kI	Her	CT	OT	RT
512 x 512	100	1.1	7.1	7.4	8.0	13.8
		2.0	10.7	11.5	18.9	
		3.0	14.7	16.3	48.4	
	200	1.1	10.9	11.2	11.0	
		2.0	21.5	23.2	26.2	
		3.0	35.5	39.2	58.8	
	400	1.1	20.4	21.2	20.5	
		2.0	46.7	49.4	48.0	
		3.0	87.4	94.0	98.6	
1024 x 1024	100	1.1	21.4	22.0	25.9	54.9
		2.0	27.5	28.8	61.6	
		3.0	36.3	39.0	171.2	
	200	1.1	26.5	27.3	29.1	
		2.0	41.8	43.8	65.9	
		3.0	60.6	65.8	162.2	
	400	1.1	40.0	41.4	41.0	
		2.0	76.1	80.8	89.4	
		3.0	130.8	141.8	198.3	

Изображения, полученные по МСС для сцен "Gazebo" и "Child park", приведены на рис. 8 и 10 соответственно. На увеличенных фрагментах этих изображений (рис. 9 и 11) видно, что предложенный подход успешно справляется с протечками света (темные полосы на стыках примитивов), когда в расчете используются световые точки, попадающие внутрь объектов.

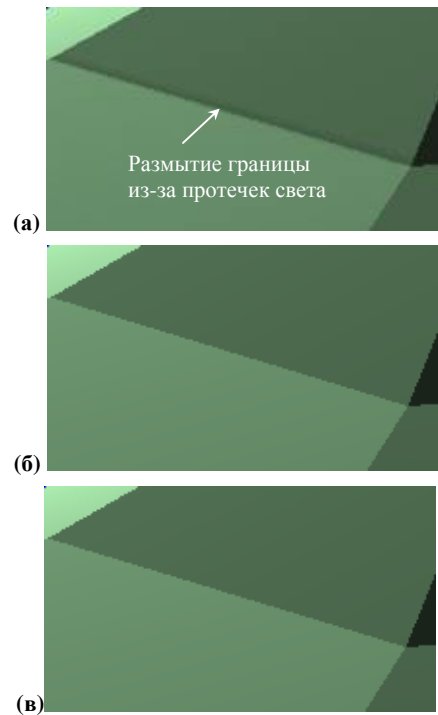


Рис. 9. Увеличенный фрагмент сцены "Gazebo":
(а) без теста (б) тест в СТ (в) тест в ОТ

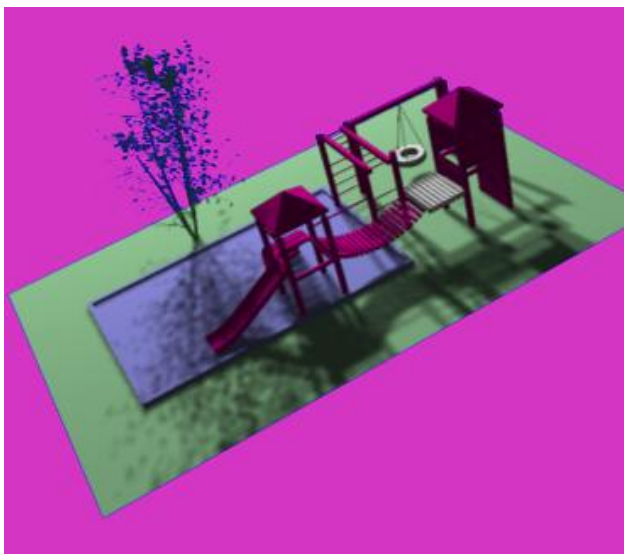


Рис. 10. Сцена “Child park” (CC: 407x214x358, $kI = 3.0$)

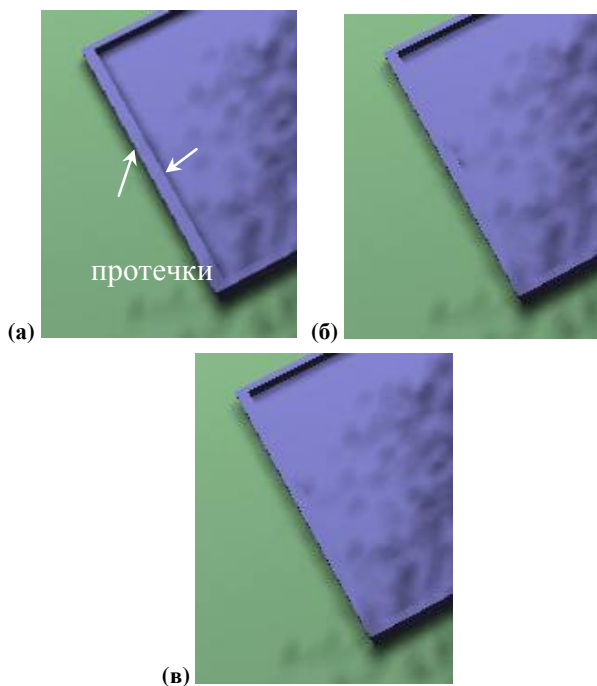


Рис. 11. Увеличенный фрагмент сцены “Child park”:
(а) без теста; (б) тест в СТ; (в) тест в ОТ

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

МСС является инструментом для расчета мягких теней в изображении трехмерной сцены, позволяющим получать более качественное в сравнении с ОРЛТ изображение, как с физической, так и с эстетической точки зрения. Очевидно, что имитация мягких теней требует дополнительного времени счета, что и показывают оценки и статистики, полученные для других методов, см. [6]. Результаты экспериментов, представленные в данной работе, показывают, что введение в МСС дополнительных модификаций, направленных на ускорение расчета, позволяет МСС конкурировать с ОРЛТ и в

смысле скорости расчета изображения. Можно показать, что для целого класса сложных сцен (большое число примитивов, большое число источников, большое разрешение изображения) МСС в асимптотике показывает лучшие результаты по скорости расчета в сравнении с ОРЛТ [2].

Благодарности

Работа выполнялась при частичной финансовой поддержке РФФИ по гранту 06-07-89216а.

7. БИБЛИОГРАФИЯ

- [1]Whitted T. *An Improved Illumination Model for Shaded Display / Commun. ACM.* – 1980. – Vol. 23, № 6. – P. 343-349.
- [2]Дебелов В.А. Васильева Л.Ф. Новиков И.Е. *Развитие метода световых сеток для алгоритма лучевой трассировки: аппроксимация решения, реализация на графическом акселераторе // Тр. 15-й междунар. конф. по компьютерной графике и ее приложениям ГрафиКон'2005.* – Новосибирск, 2005. – С. 355–359.
- [3]Debelov V.A., Sevastianov I. *Light mesh: soft shadows as interpolation of visibility // Future Generation Computer Systems.* – 2004. – Vol. 20, № 8. – P. 1299–1315.
- [4]Foley J., Van Dam A., a.o. *Computer Graphics Principles and Practice / 2nd Edition.* – Addison Wesley, 1990. [2].
- [5]Cohen M.F., Wallace J.R. *Radiosity and Realistic Image Synthesis / Academic Press.* – New York. – 1993.
- [6]Hasenfratz J.-M., Lapierre M., Holzschuch N., Sillion F. *A survey of real-time soft shadows algorithms / Computer Graphics Forum.* – 2003. – Vol. 22, № 4 – P. 753-774.
- [7]Glassner A.S. *Space Subdivision For Fast Ray Tracing / IEEE Computer Graphics & Applications.* – 1984. – Vol. 4, № 10. – P. 15-22.
- [8]Wald I., Slusallek P. *State-of-the-Art in Interactive Ray Tracing / EUROGRAPHICS'2001.* – Manchester, United Kingdom. – 2001. – P. 21-42.
- [9]Adinetz A., Barladian B., Galaktionov V., Kopylov E., Shapiro L., Voloboy A. *Physically Accurate Rendering with Coherent Ray Tracing // Труды XVI междунар. конфер. по компьютерной графике и ее приложениям ГрафиКон'2006.* - Новосибирск, 2006. - С. 8-15.
- [10]Heidrich W., Brabec S., Seidel H.-P. *Soft Shadow Maps for Linear Lights / 11th Eurographics Workshop on Rendering, Eurographics.* – 2000. – P. 269-280.

Об авторах

Дебелов Виктор Алексеевич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории численного анализа и машинной графики Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, профессор Новосибирского государственного университета (читает курс лекций по машинной графике).

E-mail: debelov@oapmg.sccc.ru.

Новиков Илья Евгеньевич – аспирант Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН.

E-mail: limit@demakova.net.

Some Techniques of Light Meshes Method Acceleration

Abstract

The paper is devoted to Light Meshes Method (LMM) which is a modification of Ray Tracing algorithm (RT). LMM allows simulating soft shadows from point light sources that increases realism of synthesized images, but requires additional computational costs. A primary attention is given to number of techniques that can essentially speedup image generation using LMM.

Keywords: *Ray tracing, Light mesh, soft shadow.*

About the authors

Victor A. Debelov is a doctor of technical sciences and holds position of leading researcher at Computer Graphics Lab of the Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (<http://www.sccc.ru>). Also he is a professor at Novosibirsk State University.

E-mail: debelov@oapmg.sccc.ru.

Iliya Novikov is a Ph.D. student of the Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (<http://www.sccc.ru>).

E-mail: limit@demakova.net.