

УДК 681.3.513

П.С. Кулясов, Е.А. Никулин

**АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО РАЗБИЕНИЯ СЦЕНЫ НА ФРАГМЕНТЫ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Описывается алгоритм разбиения сцены на фрагменты, позволяющий вычислять форм-факторы с заданной допустимой погрешностью, при построении изображения с помощью метода излучательности. Данный алгоритм позволяет значительно уменьшить объем и, соответственно, время вычислений без существенной потери качества получаемого изображения.

*Ключевые слова:* излучательность, форм-фактор.

С момента появления компьютерной графики одной из наиболее актуальных задач является построение высокореалистичных изображений, т.е. изображений, полностью или до некоторой степени детализации соответствующих реальности. В отличие от прочих существующих в настоящее время методов построения изображений, метод излучательности [1] основан на законе сохранения и переноса энергии в замкнутой системе. Благодаря этому возможен расчет глобальной освещенности объекта с учетом всей сцены, т.е. других объектов, их расположения и характеристик, расчет освещенности протяженными источниками света, а также возможен учет сложных оптических эффектов, например, диффузного отражения.

Метод излучательности требует решения следующих основных задач:

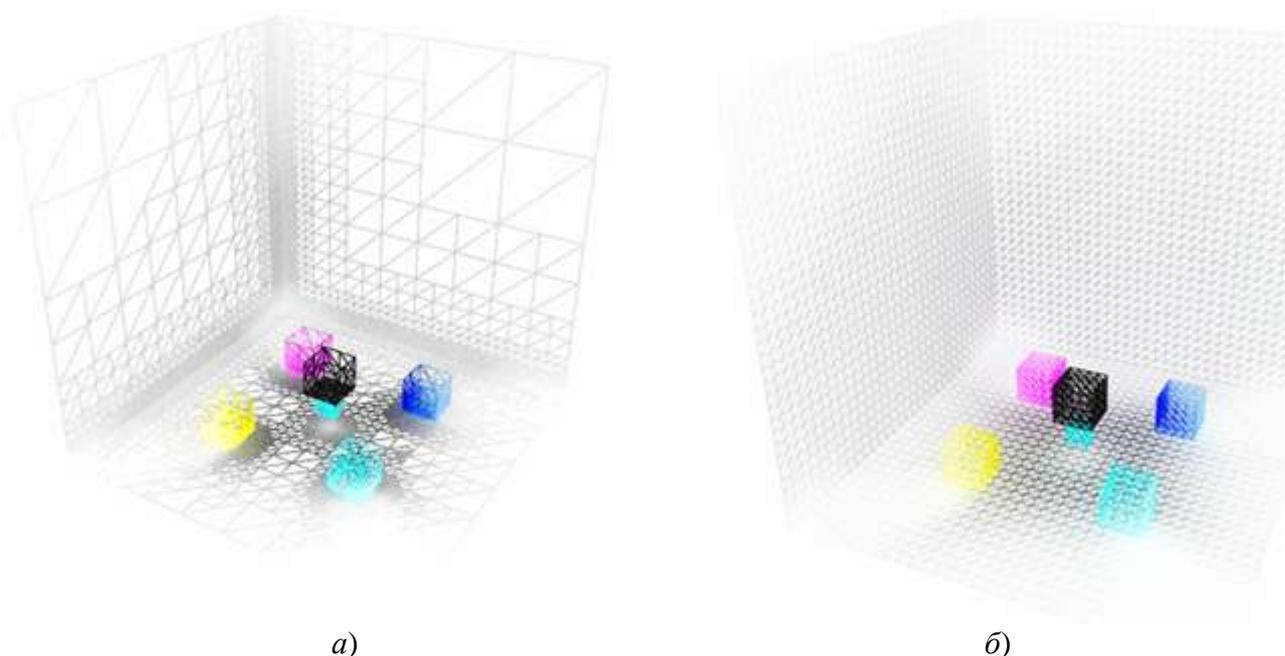
- разбиение объектов сцены на фрагменты с учетом требуемого уровня детализации;
- расчет *форм-факторов* для всех пар фрагментов сцены (форм-фактор представляет собой долю световой энергии, покинувшей один фрагмент и полученной другим фрагментом; имеет значение в диапазоне от 0 до 1);
- решение системы уравнений энергетического баланса [1];
- визуализация сцены с учетом рассчитанной освещенности.

Наибольшая доля от общего объема вычислений приходится на расчет форм-факторов. Трудоемкость данного этапа зависит от количества фрагментов, на которые разбивается сцена (для сцен со сложной геометрией их количество может составлять сотни тысяч). Классический алгоритм метода излучательности основан на алгоритме равномерного разбиения сцены на фрагменты [1], в связи с чем возможен только один способ уменьшения объема вычислений – уменьшение количества фрагментов путем увеличения их размеров. Однако применение данного способа нежелательно, поскольку оно приводит к потере точности вычислений и, как следствие, к ухудшению качества получаемого изображения. Таким образом, для того, чтобы добиться сокращения объема вычислений и не потерять при этом качество изображения, необходим алгоритм фрагментации, учитывающий взаимодействие между объектами сцены. В тех участках, где объекты расположены достаточно близко друг к другу и их взаимодействие выражено достаточно сильно, необходимо разбиение на достаточно мелкие фрагменты, чтобы избежать потери качества. В тех участках, где взаимодействие объектов сцены выражено достаточно слабо, допустимо разбиение на более крупные фрагменты, что позволит уменьшить объем вычислений без какой-либо ощутимой потери качества.

Таким образом, возникает вопрос о критерии определения степени взаимодействия между объектами с целью нахождения участков сцены, где допустимо разбиение на более крупные фрагменты. Основным показателем взаимодействия двух фрагментов сцены является форм-фактор, поэтому наиболее целесообразно использовать его в качестве такого критерия.

рия. В связи с этим возникает проблема: для того чтобы рассчитать форм-факторы, необходимо разбить сцену на фрагменты, т.е. получается, что сначала сцена равномерно разбивается на фрагменты, затем рассчитываются форм-факторы, а затем на их основании некоторые фрагменты объединяются в более крупные. Такая последовательность действий не даст никакого выигрыша времени, а, наоборот, увеличит объем и время вычислений. Следовательно, здесь необходимо другое решение.

Оптимальным будет следующий подход: выполнить предварительное разбиение сцены на фрагменты очень большого размера, вследствие чего их количество получится достаточно малым и расчет форм-факторов потребует малого объема вычислений и будет выполнен за достаточно малое время. Наиболее подходящим для предварительного разбиения сцены является алгоритм контролируемой триангуляции полигонов, описанный в [2]. Рассчитанные форм-факторы сравниваются с некоторым заданным значением допустимой погрешности вычислений (назовем это значение *пороговым значением форм-фактора*), которое и будет определять, насколько сильно взаимодействие между фрагментами. После этого фрагменты, взаимодействие которых достаточно сильно (форм-фактор больше порогового), разбиваются на более мелкие, а фрагменты, взаимодействие которых слабое (форм-фактор меньше порогового), остаются большими. Для получившихся более мелких фрагментов также определяются форм-факторы, сравниваются с пороговым значением и происходит дальнейшее разбиение в тех случаях, где оно необходимо. Таким образом, сцена оказывается разбитой на фрагменты, размер которых зависит от степени взаимодействия объектов (рис. 1, а). Для сравнения приведен результат равномерного разбиения этой же сцены (рис. 1, б).



**Рис. 1. Разбиение сцены на фрагменты**

Разработанный алгоритм выглядит следующим образом.

**Шаг 1.** Выполняется предварительное разбиение сцены на небольшое количество треугольных фрагментов большого размера. Разбиение на треугольники обуславливается простотой их программной обработки.

**Шаг 2.** Составляется нумерованный список фрагментов.

**Шаг 3.** Вычисляются форм-факторы всех пар фрагментов. Для минимизации затрат времени рекомендуется использовать алгоритм, основанный на методе полукуба [3]. Следует

отметить, что вычисление форм-факторов на данном шаге занимает меньше (по сравнению с общим объемом) времени, поскольку начальное количество фрагментов невелико.

**Шаг 4.** Происходит последовательное рассмотрение фрагментов по списку. Фрагменты, форм-факторы которых больше заданного порогового значения, разбиваются на более мелкие. Для минимизации вычислительных затрат целесообразно разбивать каждый треугольный фрагмент так, как показано на рис. 2.

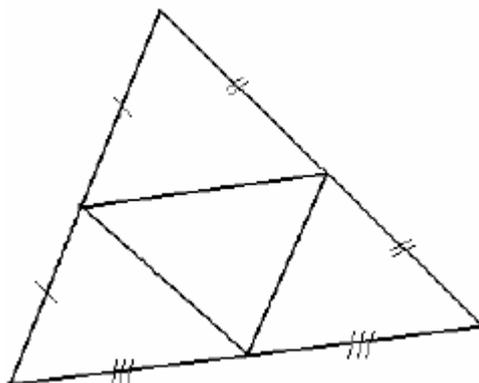


Рис. 2. Разбиение треугольника

**Шаг 5.** Из полученных более мелких фрагментов составляется новый нумерованный список.

**Шаг 6.** Дальнейшее разбиение происходит циклически. В одной итерации цикла происходит вычисление форм-факторов фрагментов, полученных на предыдущей итерации, сравнение их с пороговым значением, разбиение соответствующих фрагментов на более мелкие, и составление нового списка фрагментов. Также выполняется сравнение размера фрагмента с величиной  $m = 2n$ , где  $n$  — некоторое заданное минимальное значение размера фрагмента, что позволяет избежать получения чрезмерно большого количества фрагментов. Сравнение размера фрагмента с величиной  $m$  позволяет определить целесообразность последующего разбиения, так как в силу выбранного механизма разбиения (рис. 2), при размере исходного фрагмента, меньшего  $m$ , размер получаемых фрагментов меньше  $n$ . Разбиение завершается, когда получен список фрагментов, для которых форм-факторы меньше порогового значения или размер меньше  $m$ .

Следует отметить, что чем больше заданное значение  $n$ , тем меньше количество фрагментов, на которые разбивается сцена, и, соответственно, объем и время вычислений, но тем хуже качество получаемого изображения. Данное утверждение верно и для порогового значения форм-фактора.

Проиллюстрируем прирост производительности, получаемый благодаря разработанному алгоритму. Для анализа производительности замерялось время, затрачиваемое на построение изображений трех сцен с различным набором объектов (тестировалась программная реализация классического алгоритма метода излучательности и программная реализация нового алгоритма). В качестве тестовых использовались сцены, представленные на рис. 3:

- сцена 1 — пять простых объектов (кубов), один протяженный источник света кубической формы;
- сцена 2 — шесть простых объектов (четыре цилиндра, два прямоугольных параллелепипеда), один высокополигональный объект (чайник Юта), три протяженных источника света (сфера и два куба);
- сцена 3 — шесть простых объектов (четыре цилиндра, два прямоугольных параллелепипеда), один высокополигональный объект (чайник Юта), три протяженных источника света (два куба и источник в форме чайника Юта).



Рис. 3. Тестовые сцены

Каждая из этих сцен была рассчитана при четырех различных значениях размера фрагмента, на которые она разбивается. Пороговое значение форм-фактора задано равным 0.02 — наибольшему значению, при котором не наблюдается потери качества получаемого изображения. Результаты тестов и полученный прирост производительности представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Анализ полученного прироста производительности

№ сцены	Размер фрагмента	Количество фрагментов (классический алгоритм)	Количество фрагментов (новый алгоритм)	Время (классический алгоритм), с	Время (новый алгоритм), с	Прирост производительности
	10.0	456	408	1.7	2.6	-51.3%
	1.0	1788	1240	5.9	8.9	-51.5%
	0.7	6396	2880	23.7	20.6	13.0%
	0.1	25584	7722	128.2	68.9	46.2%
	10.0	4504	4293	14.2	30.6	-115.0%
	1.0	6568	6079	21.9	39.9	-82.8%
	0.7	12484	8272	48.0	60.6	-26.3%
	0.1	38032	14608	171.1	130.6	23.7%
	10.0	8316	8213	28.9	53.7	-85.7%
	1.0	10008	9492	35.9	65.3	-82.1%
	0.7	14940	11673	61.3	89.3	-45.8%
	0.1	41424	18354	207.4	171.3	17.4%

Как можно заметить, применение алгоритма адаптивного разбиения сцены дает выигрыш производительности только в случае достаточно малых размеров фрагментов разбиения сцены, т.к. только в этом случае затраты времени на применение алгоритма адаптивного разбиения не превышают выигрыша времени при последующем расчете форм-факторов. Еще одной особенностью является меньшая эффективность алгоритма при наличии в сцене высокополигональных объектов ввиду невозможности их разбиения на достаточно крупные фрагменты, вследствие чего уже на этапе предварительного разбиения сцены получается достаточно большое количество фрагментов.

### Выводы

Результатом проведенного исследования является алгоритм адаптивного разбиения сцены на фрагменты в зависимости от степени взаимодействия между объектами сцены. Разработанный алгоритм позволяет существенно сократить время вычислений при построении изображений методом излучательности.

### Библиографический список

1. **Cohen, M.F., Wallace, J.R.** Radiosity and realistic image synthesis / M.F. Cohen, J.R. Wallace. – New York: Academic Press Professional, 1995. – 381 с.
2. **Никулин, Е.А.** Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики: учеб. пособие для вузов / Е.А. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 560 с.
3. **Кулясов, П.С., Никулин Е.А.** Исследование метода излучательности для построения высокореалистичных изображений / П.С. Кулясов, Е.А. Никулин // Информационные системы и технологии: материалы XVI международной научно-технической конференции. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2010. С. 348.

*Дата поступления  
в редакцию 06.07.2010*

**P.S. Kulyasov, E.A. Nikulin**

### ALGORITHM OF ADAPTIVE SCENE SUBDIVISION

A new algorithm of adaptive scene subdivision which allows evaluation of form-factors with predefined reasonable error and may be used for realistic image synthesis by radiosity method is described. this algorithm is useful in order to decrease computation time and complexity without considerable quality loss.

*Key words:* radiosity, form factor.