

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЛОЖНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН, СФОРМИРОВАННЫХ МОДЕЛЯМИ РЕАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.А. Гарбуль<sup>2</sup>, Д.Д. Жданов<sup>3</sup>, И.С. Потемин<sup>1</sup>, В.Г.Соколов<sup>1</sup>,  
ИПМ им. М.В. Келдыша<sup>1</sup>, ГОИ им. С.И. Вавилова<sup>2</sup>, НИУ ИТМО<sup>3</sup>,

В работе предлагается использование метода двунаправленной стохастической трассировки лучей для моделирования изображений трехмерных объектов, построенных фотографическими объективами. Работа иллюстрируется рядом изображений, сформированных моделями реальных фотообъективов.

## 1. Введение

В настоящее время большинство программных пакетов расчета оптических систем ограничивается моделированием изображения точечных объектов. В ряде случаев имеется дополнительная возможность построения изображения плоского объекта, подобно Vitmap Image Analysis в ZEMAX. Такое моделирование имеет ряд существенных недостатков, связанных с тем, что не принимаются во внимание ни трехмерность геометрии, ни оптические свойства объектов изображаемой сцены, ни реальные условия освещения. Разработанное авторами программное обеспечение позволило моделировать изображение трехмерных объектов в произвольных условиях освещения.

В основу моделирования был положен метод двунаправленной стохастической трассировки лучей [1, 2], который позволил существенно повысить эффективность построения изображения. При построении изображения учитываются как оптические свойства объектов сцены, так и свойства элементов самого объектива (линз, оправ и других элементов конструкции).

Данная функциональность включена в программный комплекс Lumiscert [3] и позволяет контролировать качество формируемого изображения в режиме реального времени.

## 2. Формирование изображения трехмерной сцены через модель фотообъектива

Для демонстрации такого моделирования, в качестве объекта была использована трехмерная геометрия комнаты (Рис.1), в которой каждая поверхность имеет уникальные оптические свойства. Для источников света использованы измеренные фотометрические значения углового распределения интенсивности.

Для модели камеры была использована оптическая схема светосильного объектива с фокусным расстоянием 100мм и относительным отверстием 1:2.8. Варианты изображений, построенных при фокусировке на различные дистанции, представлены на Рис.2. Хорошо видно, что в случае фокусировки на дистанцию 4м, кромка

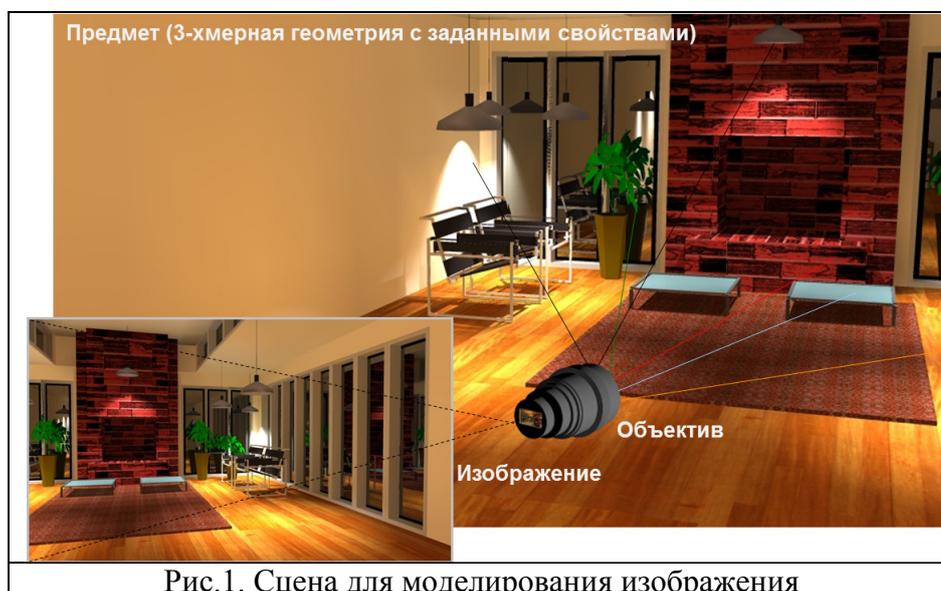


Рис.1. Сцена для моделирования изображения

ковра отображается резко, а предметы на заднем плане размыты. В случае же фокусировки объектива на дистанцию 7 метров, задний план резкий, а кромка ковра, находящаяся на уровне 4-х метров – размыта.

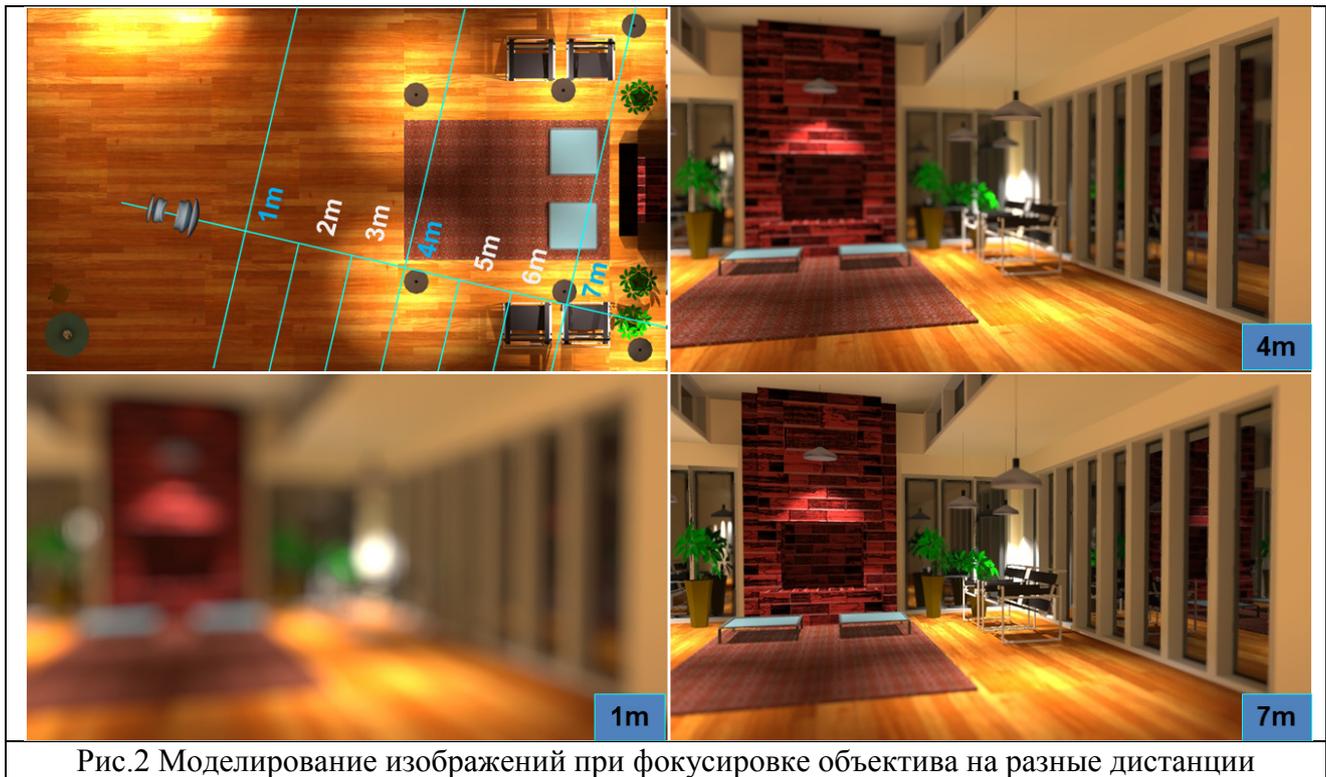


Рис.2 Моделирование изображений при фокусировке объектива на разные дистанции

## 2. Примеры моделирования изображения через различные типы оптических систем

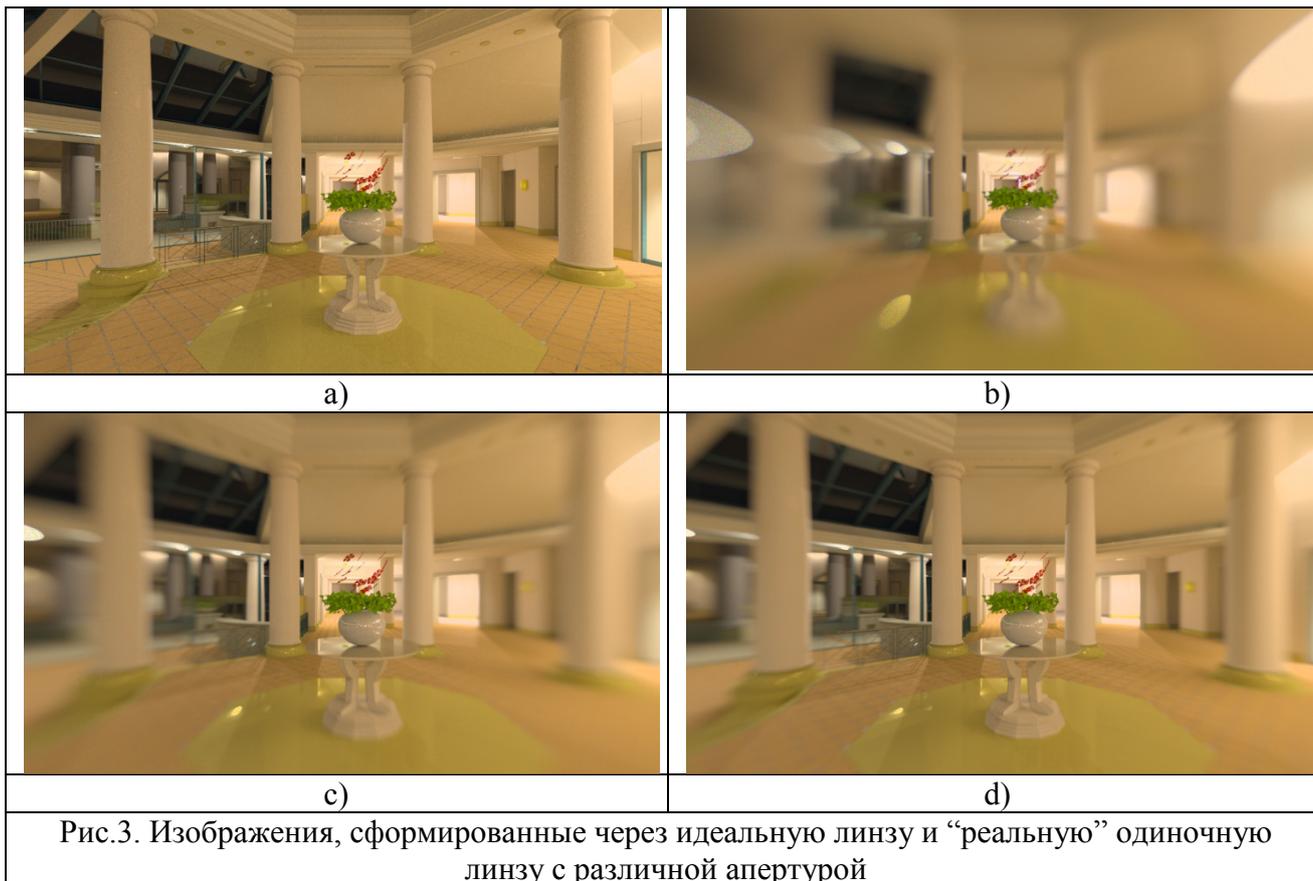
Рассмотрим далее примеры изображений смоделированных через оптические системы различной сложности. Для моделирования были использованы оптические системы трех типов представленные в таблице.

Идеальная линза	Одиночная линза	Широкоугольный объектив

В качестве идеальной линзы была использована модель бесконечно тонкой безаберрационной линзы. Изображения рассчитанные через идеальную линзу использовались для сравнения с изображениями, рассчитанными через модели реальных оптических систем. В качестве одиночной линзы использована двояковыпуклая линза с равными радиусами кривизны. А для модели широкоугольного объектива мы использовали оптическую схему фотообъектива Зенитар-М.

На Рис.3 представлены изображения сцены интерьера холла сформированные через идеальную линзу и одиночную линзу с различной апертурой:

- a) Изображение получено через идеальную линзу с фокусным расстоянием 17мм и относительным отверстием 1:4. Размер углового поля (диагональ) составляет 102°.
- b) Изображение трехмерной сцены, сгенерированное через одиночную положительную линзу конечной толщины с фокусным расстоянием 17 мм и относительным отверстием 1:4. Угловое поле зрения и дистанция фокусировки такие же, как и для идеальной линзы.
- c) Та же одиночная линза, но с апертурой 1:16;
- d) Та же одиночная линза, но с апертурой 1:32;



В случае 3b хорошо видно существенное снижение качества изображения по полю вследствие больших aberrаций одиночной линзы. Уменьшим рабочую апертуру линзы и повторим моделирование изображения. Результаты, представленные на Рис.3c и 3d показывают заметное улучшение качества изображения вследствие уменьшения сферической aberrации, вызванного уменьшением размера зрачка. Тем не менее, качество изображения по полю остается заметно хуже. Причиной тому являются большие полевые aberrации одиночной линзы, в частности кривизна поля.

На Рис.4 представлено изображение того же интерьера, но рассчитанное через оптическую систему широкоугольного фотообъектива. В данном случае качество изображения хорошее по всему полю зрения, так как этот объектив имеет



Рис.4. Изображение, сформированное через широкоугольный объектив (F=17mm; 1:2.8)

хорошую абберационную коррекцию. Линейные размеры кадра такие же, как и в случае одиночной линзы. Однако, из-за дисторсионных искажений видимое угловое поле заметно больше.

Если рассмотреть увеличенные фрагменты левой (Рис.5а) и правой (Рис.5b) частей полученного изображения, то, в наиболее ярких зонах вблизи источников света можно увидеть радужное окрашивание. Это эффект недостаточной коррекции хроматизма увеличения в оптической системе объектива.



Рис.5. Хроматическая абберация

В следующем примере, представленном на Рис.6, показаны модели изображений, построенных идеальной и “реальной” линзами с различным фокусным расстоянием при одинаковом линейном размере изображения.

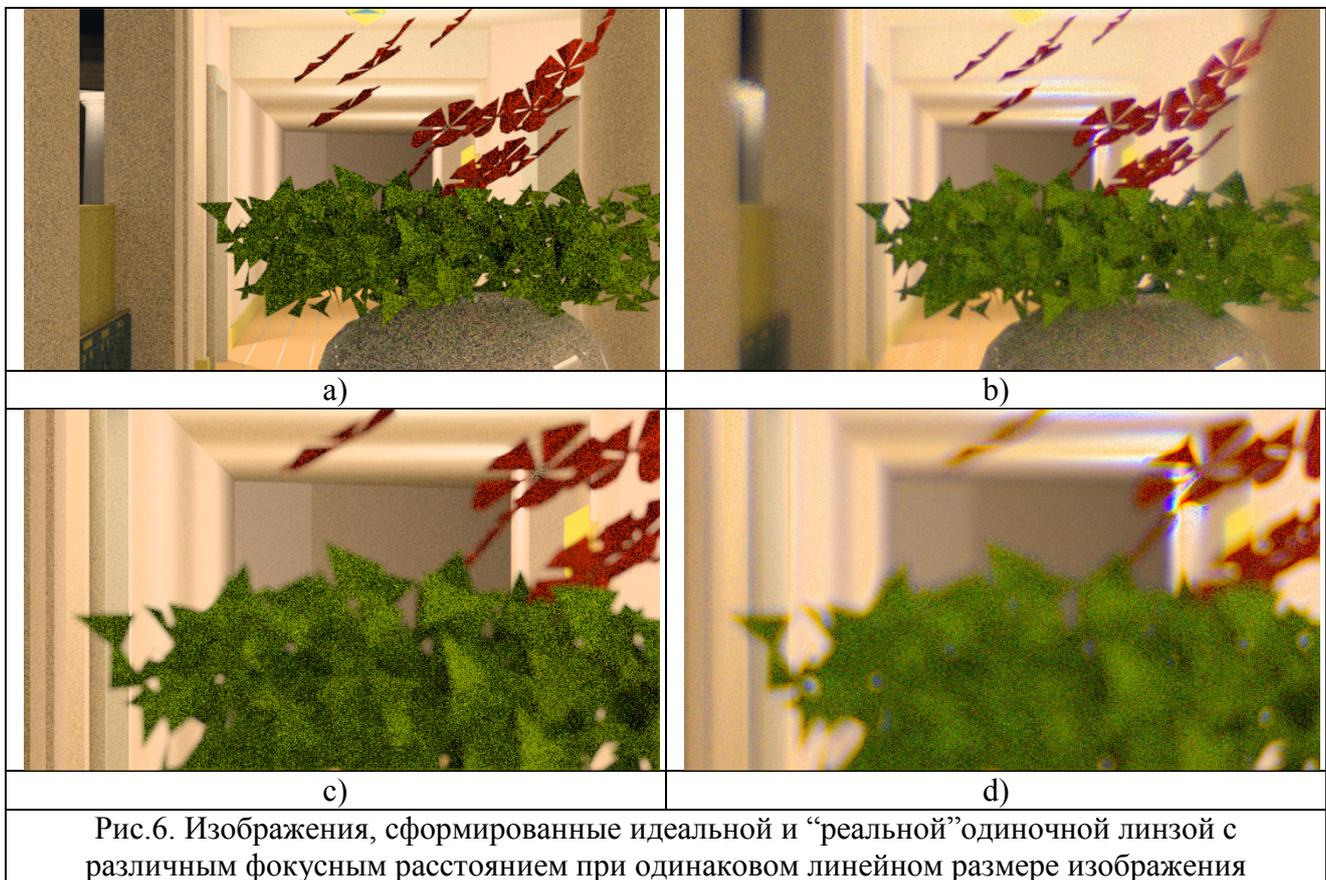


Рис.6. Изображения, сформированные идеальной и “реальной”одиночной линзой с различным фокусным расстоянием при одинаковом линейном размере изображения

Линзы сфокусированы на дверной проем. Случаи а) и б) представляют изображения, построенные идеальной и “реальной” линзами, соответственно. Линзы имеют одинаковые фокусные расстояния (100мм), и одинаковые апертуры (1:4). Случаи с) и d) также соответствуют идеальной и “реальной” линзам, но с фокусным расстоянием 200мм. Линейные размеры изображения одинаковы для обоих фокусов.

Очевидно, что в данном случае, качество изображения, построенного через “реальную” линзу существенно хуже, чем в случае идеальной линзы из-за большой сферической аберрации и

сферохроматизма, растущих с увеличением фокусного расстояния линзы. То, что причиной размытия изображения, построенного “реальной” линзой является именно сферическая аберрация, а не, например, дефокусировка, объясняется тем, что в случае идеальной линзы дверной косяк виден резко при обоих значениях фокусного расстояния. Кроме того, как показано на Рис.7, при уменьшении относительного отверстия качество изображения заметно возрастает, по сравнению со случаем d) на Рис. 6.



Рис.7. Изображение сформированное “реальной” линзой (F=200mm 1:16)

### 3. Заключение

Показано, что разработанное авторами программное обеспечение позволяет осуществлять корректное и эффективное моделирование построения изображений оптическими системами в сложных сценах.

### Литература

- [1] Henrik Wann Jensen, Per Christensen. High quality rendering using ray tracing and photon mapping /SIGGRAPH '07.
- [2] Toshiya Hachisuka and Henrik Wann Jensen. Stochastic progressive photon mapping. ACM Trans. Graph., 28(5):1–8, 2009.
- [3] Lumicept – Integra Inc. <http://www.integra.jp/en/products/lumicept>