УДК 004.94+62-529

Анализ методов разбраковки на основе 3D-рендеринга в технологическом процессе производства изделий микроэлектроники

Л.Г. Гагарина, П.А. Федоров

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Analyze of examination methods based on 3D-rendering in technological process production of microelectronic devices

L.G Gagarina, P.A. Fedorov

National Research University of Electronic Technology, Moscow

Представлены результаты анализа методов разбраковки на основе 3D-рендеринга в технологическом процессе производства изделий микроэлектроники. Разработана модификация алгоритмов, используемых в данных методах.

Ключевые слова: 3D-рендеринг; повышение достоверности измерений; автоматизированная система контроля; алгоритмы.

The results of analyzing the examination methods based on 3D rendering in the technological process of the microelectronics items production have been presented. The modification of the algorithms used in these methods has been developed.

Keywords: 3D-rendering; algorithms; ACS; improving examination reliability.

Методы разбраковки на основе 3D-рендеринга предполагают значительное увеличение скорости и повышение точности обработки результатов анализа нарушений технологического процесса производства изделий микроэлектроники. Также такая программная реализация позволяет эффективно встроить ее в автоматизированные системы контроля (АСК) [1], что позволяет повысить степень автоматизации процесса производства в целом и ускорить анализ причин отклонения от технологического процесса.

В настоящей работе осуществлена формализация проблемы реализации непредвзятого 3D-рендеринга с целью повышения достоверности измерений при анализе нарушений технологического процесса производства. Как известно, любое графическое представление объектов 3D-сцены в связи с ограниченностью вычислительных ресурсов является приближенным решением специального интегрального уравнения – «уравнения рендеринга»:

$$Lout(p,w) \approx Lemmited(p,w) + \sum_{i=0}^{L} BRDF(p,w,w')Ldirect(p,w_i)\cos(n,w') + \\ + \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N} \frac{BRDF(p,w,w_i)Lindirect(p,w_i)\cos(n,w_i)}{PDF(w_i)}, \quad (1)$$

© Л.Г. Гагарина, П.А. Федоров, 2016

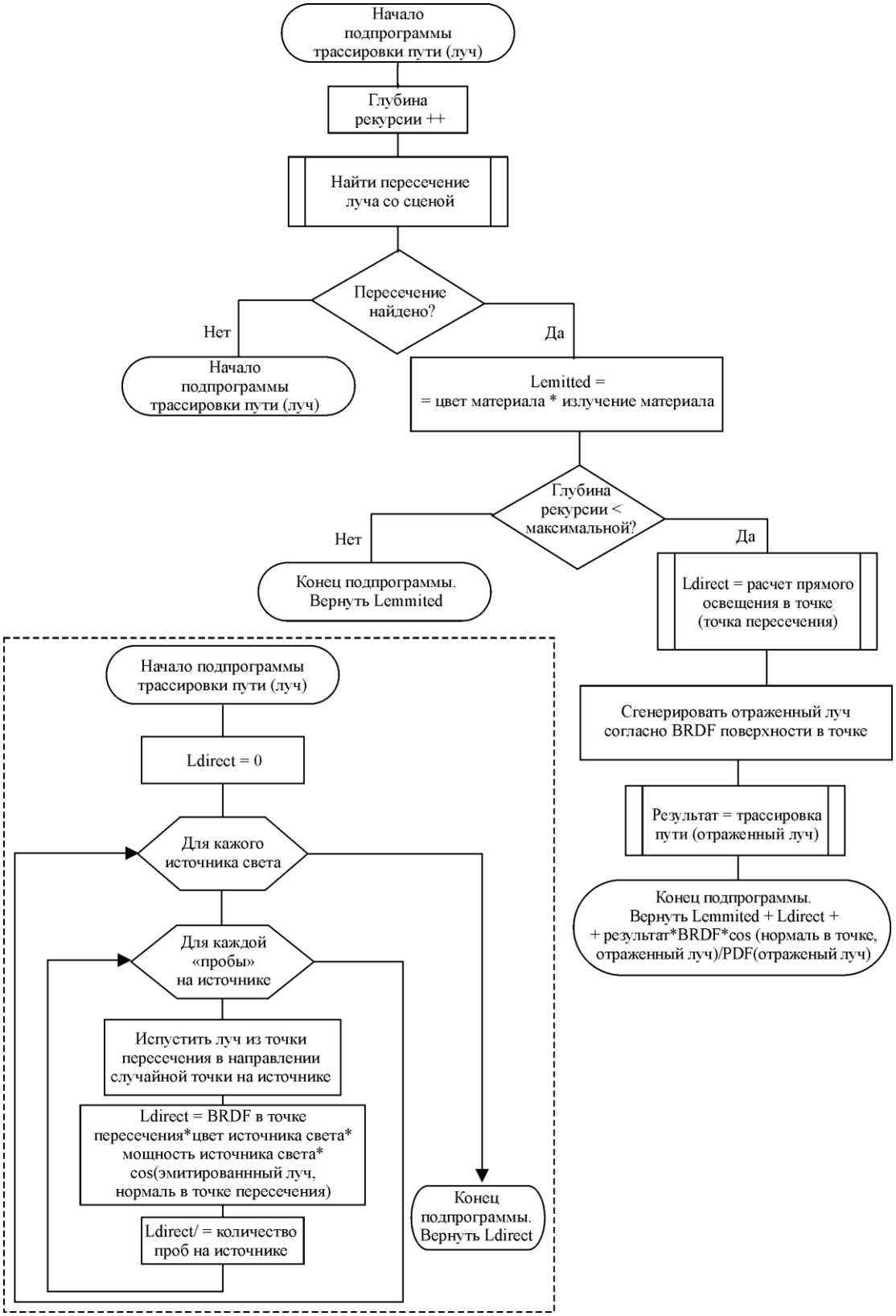
где *Lemmited*(*p*,*w*) – количество энергии света, излучаемого из точки *p* в направлении вектора *w*; *BRDF*(*p*,*w*,*w*′) – двунаправленная функция отражательной способности поверхности, которая показывает количество энергии, передаваемой в ходе отражения света в точке *p* из *w*′ в направлении *w* (зависит от свойств материала поверхности); cos(*n*,*w*') – косинус угла между нормалью поверхности в точке *p* и «входящим» направлением *w*'; *L* – общее число источников света сцены; *Lindirect* включает в себя сумму второго и третьего слагаемых уравнения (без первого – *Lemmited*!), но для «следующей» точки в трассировке пути, которая лежит в направлении *w*' относительно точки *p*.

Отметим, что третье слагаемое превращает формулу (1) в рекурсивную.

Особенность базового алгоритма трассировки лучей – обработка лишь одного отражения преломления луча на пути от источника света до экрана наблюдателя, что значительно увеличивает вычислительную нагрузку. При этом выделенная часть может выполняться независимо, в том числе с помощью параллельных вычислительных процессов, что позволяет распределить вычислительную нагрузку. Но даже использование параллельных вычислений на базе технологии CUDA не дает достаточного роста производительности для базового алгоритма. Рассмотрим два пути решения этой проблемы: создание специальной структуры хранения полигонов с эффективным алгоритмом их поиска, пересекаемых рассматриваемым лучом; усовершенствование алгоритма проверки пересечения полигона лучом.

В результате анализа требований к осуществлению непредвзятого 3D-рендеринга и модификации имеющихся алгоритмов на основе уравнения (1) разработан параллельный алгоритм адаптивного построения и траверса ускоряющей структуры. В основе данного алгоритма лежит алгоритм трассировки путей по методу Монте-Карло [2] (рисунок). Для этого алгоритма разработана ускоряющая структура с использованием BVH-дерева в качестве самой ускоряющей структуры и ограничивающего параллелепипеда, выровненного по координатным осям (Axis Aligned Bounding Box, AABB), в качестве узлов BVH-дерева [3]. Иерархия ограничивающих объемов (от Bounding Volume Hierarchy, BVH) представляет собой дерево, узлы которых включают в себя полигоны объектов, формируя некоторую иерархию всех объектов сцены. BVH-деревья, направленные на разбиение объектов сцены, стали популярны как структуры, имеющие наибольшую скорость разбиения (т.е. построения самого дерева), наименьшее потребление памяти, но при этом меньшую скорость разбора (или траверса) структуры. AABB представляет собой «выровненный по осям координат» параллелепипед со сторонами, параллельными плоскостям, образованным осями координат [4, 5]. Такой фигурой достаточно легко ограничить объекты или отдельные полигоны сцены. В этом случае процесс построения ускоряющей структуры состоит из итеративного разбиения узлов дерева – AABB (главным узлом дерева является исходный AABB, содержащий всю сцену). В ходе разбиения AABB делится на два потомка («левый» и «правый»), содержащих части общего числа полигонов родителя.

В результате исследований разработан бесстековый алгоритм траверса ускоряющей структуры в процессе рендеринга сцены, использование которого обеспечило генерацию 3D-сцены в реальном масштабе времени непосредственно при получении информации от соответствующих измерительных методик. Осуществлена программная реализация разработанных алгоритмов с применением ускоряющей структуры в виде комплекса программных средств с использованием многопоточной архитектуры. В результате ее применения эффективность анализа причин возникновения брака при нарушениях технологического процесса производства изделий электроники в составе автоматизированной системы контроля возросла на 15 %.



Алгоритм улучшенной трассировки путей по методу Монте-Карло
(пунктиром выделен процесс расчета прямого освещения в точке)

Литература

1. ***Федоров А.Р., Федоров П.А.*** Разработка алгоритмов непредвзятого 3d-рендеринга // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: www.science-education.ru/120-15578 (дата обращения: 15.11.2015).

2. ***Федоров П.А.*** Повышение достоверности измерений при разбраковке изделий микроэлектроники на основе эффективного алгоритма трассировки лучей для получения 3d-сцены // Естественные и технические науки. – 2015. – № 9. – С. 123–126.

3. ***Guo-jun M., You-sai Z.*** Hierarchical octree and sub-volume texture block projection for GPU accelerated ray casting volume rendering // Biomedical Engineering and Computer Science (ICBECS): International Conference Proceedings. – 2010. – P. 1–4.

4. ***Wald I., Boulos S., Shriley P.*** Ray tracing deformable scenes using dynamic bounding volume hierarchies // ACM Transactions on Graphics. – 2007. – Vol. 26. – No. 1. – Article No6. –18 p.

5. Efficient stack-less BVH traversal for ray tracing / ***M. Hapala, T. Davidovič, I. Wald et al.*** // Proceedings of the 27th Spring Conference on Computer Graphics (New York). – NY., 2011. – P. 7–12.

Поступило
27 октября 2015 г.

Гагарина Лариса Геннадьевна – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой информатики и программного обеспечения вычислительных систем (ИПОВС) МИЭТ. *Область научных интересов*: автоматизация технологических процессов, методы и алгоритмы создания информационных систем, методология практической подготовки кадров высшей квалификации, методы и алгоритмы непредвзятого 3D-рендеринга.

Федоров Петр Алексеевич – ассистент кафедры ИПОВС МИЭТ. *Область научных интересов*: автоматизация технологических процессов, методы и алгоритмы создания информационных систем, методы и алгоритмы непредвзятого 3D-рендеринга. **E-mail: mail@fedorov-p.ru**

Информация для читателей журнала
«Известия высших учебных заведений. Электроника»

С тематическими указателями статей за 1996 - 2015 гг., аннотациями и содержанием последних номеров на русском и английском языках можно ознакомиться на нашем сайте:

http://www.miet.ru