

Н. И. БЕЗМЕНОВ, канд. техн. наук, **А. С. БОГАРСУКОВ**, аспирант,
Р. А. ЯВНИКОВ, студент

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛИСТИЧНЫХ ЭФФЕКТОВ ОСВЕЩЕННОСТИ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

У статті розглянуто питання формування реалістичних зображень тривимірних сцен в реальному часі. Аналізуються й порівнюються між собою методи, які базуються на моделі локального та глобального освітлення. На підставі результатів порівняння робляться висновки щодо доцільності використання кожного з них для рішення поставленої задачі.

Постановка задачі. Вероятно, среди всех технологий последнего десятилетия компьютерная графика (КГ) была и остается одной из самых впечатляющих и динамично развивающихся. В настоящее время ее методы интенсивно применяются при разработке рекламных роликов, игровых программ, кинофильмов, а также в научных исследованиях. В частности, большая часть современных разработок в этой области связана с повышением реализма получаемых изображений.

С увеличением мощности платформ, на которых работают графические приложения, растут требования к качеству получаемых изображений. До недавнего времени существовало два основных направления развития КГ:

- 1) направление, основанное на использовании аппаратных средств, предоставляемых платформой для ускорения расчетов преобразований и отображения трехмерных сцен; это позволяет получать высокую скорость процесса рисования сцены ценой лишь приблизительного воспроизведения эффектов глобального освещения;
- 2) направление, ставящее своей целью получение фотореалистичных изображений с корректными эффектами глобального освещения, что обуславливает моделирование физических законов распространения света и в настоящее время не поддерживается существующими платформами на аппаратном уровне; в этом случае ценой высокому качеству изображения является низкая скорость рисования кадра.

Так как перечисленные направления используют принципиально разные методы визуализации, их объединение не представляется возможным [1].

Данная статья исследует возможности применения методов обоих направлений для генерации фотореалистичных изображений в реальном времени.

Методы, использующие модель локального освещения. Как уже было отмечено, основное предназначение методов этой категории – получение изображений в реальном времени. В настоящее время все распространенные

приложения, генерирующие интерактивные изображения трехмерных сцен объектов, используют эти методы.

Все методы этой категории так или иначе используют один алгоритм формирования изображения:

- 1) формирование массива вершин, из которых состоят потенциально видимые объекты, с сопутствующей информацией; это включает в себя преобразование координат, отсечение невидимых поверхностей, составление и сортировка списков полупрозрачных объектов;
- 2) для некоторых объектов формирование карт отражения, теней и других эффектов освещения;
- 3) заливка полигонов, проецирование их на экранную плоскость, финальный тест видимости, сглаживание полученного изображения.

2-й и 3-й этапы алгоритма обычно полностью выполняются на процессоре графического ускорителя (GPU), 1-й – на основном процессоре (CPU). Именно выполнение основной части работы на видеоадаптере позволяет добиваться высокой производительности приложений, использующих данный подход. Однако, в силу особенностей конвейерной архитектуры GPU способен самостоятельно рассчитать цвет отдельной точки, учитывая лишь координаты (характеристики) точки, источников освещения и наблюдателя.

Для приближенного воспроизведения некоторых глобальных эффектов освещения (тени, отражения), используются т.н. карты освещенности, представляющие собой текстуру, в которую дополнительным проходом производится съемка сцены со специфическими настройками (shadow maps для построения теней, cube maps для имитации отражений). Хотя процесс создания этих карт аппаратно поддерживается современными GPU, его невозможно применить ко всем объектам сцены, кроме того, в силу ограниченности размеров и дискретности получаемой карты (текстуры), а также других факторов принципиально невозможно получение физически корректного воспроизведения эффектов глобального освещения этим методом [2-3].

В силу вышеперечисленных ограничений ни одно современное графическое приложение реального времени не реализует корректно эффекты глобального освещения, причем при внимательном рассмотрении дефекты изображения видны невооруженным глазом.

Методы, использующие модель глобального освещения. Существует два основных метода моделирования глобальных эффектов освещения:

- 1) метод трассировки лучей;
- 2) метод диффузного отражения.

Метод трассировки лучей основан на расчете траекторий движения лучей света между источниками освещения и наблюдателем согласно законам геометрической оптики. Это относительно простая (идейно), мощная и расширяемая методика визуализации, позволяющая получать физически корректные глобальные эффекты отражения и пропускания. Кроме того, метод выявляет невидимые поверхности, определяет затененные области,

предусматривает визуализацию эффектов прозрачности, генерирует перспективные проекции объектов сцены и собирает вклады в эффекты от различных источников света. Основной его недостаток заключается в том, что он не учитывает диффузное рассеяние света в точке пересечения каждого луча с поверхностью, – засветка окружающих объектов рассеянным светом игнорируется (это очень дорого), что заставляет использовать для расчетов постоянную фоновую составляющую интенсивности каждой точки. Кроме того, метод плохо приспособлен к работе с неточечными источниками освещения [4].

Метод диффузного отражения основывается на законах физики, описывающих распространение лучистой энергии на освещенной сцене. Он идеально подходит для визуализации статических сцен, в которых подавляющее количество объектов обладают диффузными свойствами (отсюда и название). Однако так как метод не учитывает положение наблюдателя, невозможно точное воспроизведение эффектов отражения и преломления света. Также данный метод плохо справляется с точечными источниками света [4].

Как можно заметить, два вышеописанных метода в некоторой степени являются антиподами – каждый из них отлично справляется с частью эффектов освещения, недоступной другому. Их объединение может дать очень хорошие результаты, однако есть один существенный момент: оба метода требуют очень большого количества ресурсов (прежде всего вычислительных), соответственно, объединенная модель страдает этим недостатком в еще большей мере.

Интерактивная трассировка лучей. Алгоритм трассировки лучей требует для работы огромное количество вычислительных ресурсов – уже при использовании разрешения 800×600 ему требуется просчитать как минимум 480000 только первичных лучей, а учитывая и вторичные лучи получим миллионы тестов пересечения, необходимых для работы базового алгоритма.

Хотя эти цифры и кажутся большими, однако показано, что сложность алгоритма трассировки лучей увеличивается логарифмически с увеличением количества примитивов, составляющих сцену, в то время, как сложность широко применяемых сейчас алгоритмов, основанных на растеризации (см. выше), увеличивается линейно. Таким образом, существует некоторое количество примитивов, начиная с которого выгоднее применять алгоритм трассировки лучей.

Ниже перечислены возможные техники оптимизации алгоритма трассировки лучей, которые могут существенно (во много раз) повысить его производительность без потери качества результирующего изображения [5]:

- 1) разбиение пространства сцены на подпространства, каждое из которых содержит небольшое количество объектов; это позволяет быстро сузить круг примитивов, с которыми луч может пересечься;
- 2) использование т.н. ограничивающих объемов простой формы для каждого объекта; так как предполагается, что до нахождения объекта, в

который попал луч, будет произведено несколько неудачных тестов над другими объектами, это позволяет существенно сократить время таких неудачных тестов;

- 3) использование инструкций SSE/SSE3 вместо FPU для ускорения математических операций над числами с плавающей точкой; в настоящее время почти все процессоры поддерживают т.н. SIMD набор инструкций, позволяющих одновременно производить операции над несколькими числами, что дает большой прирост производительности;
- 4) оптимизация процесса кэширования инструкций в CPU; современные процессоры содержат в себе кэш выполняемых команд ограниченного размера, а также предоставляют инструкции, управляющие заполнением этого кэша, с помощью использования которых можно существенно повысить производительность приложения;
- 5) оптимизация трассировки когерентных лучей; есть большая вероятность того, что лучи, выпущенные в близких направлениях, пересекутся с теми же объектами; используя этот факт можно предсказывать объект, в который попадет следующий луч;
- 6) использование GPU для выполнения части расчетов.

Выводы. Традиционно считается, что метод трассировки лучей не может быть использован для интерактивного построения изображений. Отчасти это связано с невозможностью/трудоемкостью использования GPU для ускорения расчетов, необходимых для реализации алгоритма. Однако последние исследования показали, что вполне возможно достичь достаточно высокой частоты кадров с помощью использования оптимизированных структур данных и эффективного использования аппаратных ресурсов современных ПК. И хотя до сих пор не было создано ни одного трассировщика лучей, способного на однопроцессорной машине выдавать действительно интерактивную частоту кадров при визуализации достаточно сложных сцен, у этой технологии безусловно есть огромный потенциал развития.

Список литературы: 1. Херн, Бейкер. Компьютерная графика и стандарт OpenGL. – М.: Издательский дом «Вильямс», 1168 с. 2004. 2. Пореев В. Компьютерная графика. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 3. Эйнджел Э. Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на основе OpenGL, 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. 4. Хилл Ф. OpenGL. Программирование компьютерной графики. Для профессионалов. – СПб.: Питер, 2002. 5. Безменов Н. И., Богарсуков А. С. Моделирование эффектов освещенности при визуализации объемных изображений. – //Вестник НТУ «ХПИ»: Системный анализ управление и инф. технологии. № 41 '2005. - Харьков: НТУ «ХПИ» – 2005. – С. 11 – 14.

Поступила в редколлегию 11.05.06