

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предложен метод повышения производительности формирования трехмерных изображений, основанный на обратной трассировке лучей, строчной и блочной линейной интерполяции, сглаживающей фильтрации, позволяющий получать реалистичные изображения за приемлемое время.

Ключевые слова: формирование трехмерных изображений, обратная трассировка лучей, интерполяция, сглаживающая фильтрация

E.E. FEDOROV, M. YUNIS

Donetsk National Technical University, Krasnoarmeysk

METHOD OF INCREASING THE PRODUCTIVITY OF FORMING THREE-DIMENSIONAL IMAGES

A method for enhancing the performance of forming three-dimensional images based on the reverse ray tracing, line and block linear interpolation, smoothing filtering, enabling you to get realistic images in a reasonable time.

Keywords: formation of three-dimensional images, the reverse ray tracing, interpolation, smoothing filtering

Общая постановка задачи

Формирование трехмерных графических изображений является достаточно трудоемким процессом, поскольку сложные вычисления с учетом большого количества параметров выполняется для каждой точки сцены. При увеличении разрешения экрана и использования сложных моделей освещения временные ограничения еще более усиливаются. В связи с этим вопросы повышения производительности формирования высокореалистических графических изображений имеет важное значение, поскольку существенно расширяет область применения средств компьютерной графики.

Анализ исследований и публикаций

На данном этапе компьютерной графики наибольшего распространения получили метод растеризации (прямой метод) и метод обратной трассировки лучей.

Метод растеризации (например, метод Гуро или Фонга) [1-2], который использует задание графических объектов полигональной сеткой, имеет высокую производительность, но не обеспечивает достаточной реалистичности из-за аппроксимационных упрощений. Уменьшение размеров треугольников для повышения реалистичности приводит к увеличению объемов используемой памяти и превышению подготовительных операций над пиксельными, что сказывается на времени формирования графических сцен. Полигональная модель принципиально не позволяет получить многих визуальных эффектов, необходимых для реалистичного отображения сцены.

Сегодня ведущие графические фирмы делают ставку на метод обратной трассировки лучей [2-3] как базовый построения трёхмерных сцен значительно большей реалистичности. В основе метода лежит воспроизведение в математической форме хода лучей в реальных устройствах формирования изображений. В отличие от метода растеризации, метод обратной трассировки лучей позволяет обрабатывать в сцене объекты произвольных геометрических форм, которые могут быть выражены математическими записями его формы. Метод обратной трассировки лучей воспроизводит широкий набор оптических эффектов, таких как отражение лучей, их преломления, рассеивания. Этот метод позволяет получить не только тени от объектов, но и рассчитать вторичное освещение. Несомненные достоинства метода обратной трассировки лучей - универсальность, наглядность, простота физической трактовки и возможность распараллеливания определяют его использования как базового метода для формирования в ближайшем будущем изображений фотореалистического качества. Генерация графического изображения требуют длительного времени даже при наличии мощных вычислительных средств. Несмотря на прогресс в повышении графической производительности, время генерации реалистичного изображения на основе метода обратной трассировки лучей остается недопустимо большим, особенно для интерактивных режимов работы, когда графическая система должна сформировать сцену в реальном времени в зависимости от действий пользователя.

В связи с этим вопросы повышения производительности компьютерных систем формирования реалистических трехмерных изображений являются актуальными.

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка метод повышения производительности формирования трехмерного изображения, базирующегося на обратной трассировки лучей, интерполяции и сглаживающей фильтрации.

Для достижения поставленной цели необходимо:

1. Разработать метод повышения производительности формирования трехмерного изображения, основанный на обратной трассировке лучей и строчной интерполяции.
2. Разработать метод повышения производительности формирования трехмерного изображения, основанный на обратной трассировке лучей и блочной интерполяции.

3. Выбрать сглаживающий фильтр для повышения качества интерполяции.

1. Метод формирования трехмерного изображения

Предлагаемый метод формирования трехмерного изображения предусматривает применением строчной или блочной интерполяции к массиву пикселей, полученных в результате трассировки. Таким образом, он не предполагает модификации метода обратной трассировки лучей, тем самым, давая возможность использовать уже имеющиеся трассировщики лучей. При этом считается, что размер источников света должен превышать шаг интерполяции [4].

Этапы предложенного метода в случае строчной интерполяции:

1. Задается количество трассируемых лучей, рассматриваемых как условные процессорные элемент (ПЭ), по горизонтали, N_{PEr} .

2. Выполняется цикл трассирования лучей через фрагменты окна. Результаты записываются в буферный массив.

3. Задается шаг строчной интерполяции, L_{segm} .

4. Выполняется обработка буферного массива с расчетом цветов внутренних пикселей сегмента в виде линейной интерполяции

$$C_{in} = \frac{C_l + C_r}{2}, \quad (1)$$

где C_{in} - цвет внутренних пикселей сегмента;

C_l - цвет внешнего левого пикселя;

C_r - цвет внешнего правого пикселя.

5. Если в процессе интерполяции нарушается качество изображения, применяется сглаживающая фильтрация для каждого пикселя C_0 .

Размер результирующего изображения по горизонтали определяется по формуле (2), размер по вертикали не изменяется

$$X_{max} = N_{PEr} \cdot (L_{segm} - 1), \quad (2)$$

$$N_{PEr} = \left\lceil \frac{X_{max}}{L_{segm} - 1} + 1 \right\rceil, \quad (3)$$

где X_{max} - размер экрана по горизонтали, пикселей.

Общее количество процессорных элементов будет определяться как:

$$N_{PE} = N_{PEr} \cdot Y_{max}, \quad (4)$$

где Y_{max} - размер экрана по вертикали, пикселей.

Этапы предложенного метода в случае блочной интерполяции:

1. Задается количество трассируемых лучей, рассматриваемых как условные процессорные элемент (ПЭ), для первых 5-ти строк фрагмента (N_{PEr}) и для остальных строк фрагмента (N_{PEr}).

2. Выполняется цикл трассирования лучей через фрагменты окна. Результаты записываются в буферный массив.

3. Задается длина сегмента пикселей, L_{segm} .

4. Выполняется обработка буферного массива с расчетом цветов внутренних пикселей блока 5x5 согласно рис.1.

5. Если в процессе интерполяции нарушается качество изображения, применяется сглаживающая фильтрация для каждого пикселя C_0 .

Необходимое количество условных процессорных элементов для трассировки фрагмента размером $X_{max} \times Y_{max}$ пикселей будет определяться следующим образом:

$$N_{PE} = N_{PE_1} + \frac{Y_{max} - 5}{4} N_{PEr}, \quad (5)$$

$$N_{PE_1} = \left\lceil 1 \cdot T_l + \frac{X_{max}}{4} \cdot T_{bl} \right\rceil, \quad (6)$$

$$N_{PEr} = \left\lceil \frac{X_{max}}{L_{segm} - 1} + 1 \right\rceil, \quad (7)$$

где T_l - количество трассировок левых пикселей, равно 3 для первых 5-ти строк и 2 для последующих блоков;

T_{bl} - количество трассировок внутри цикла, равно 6 для первых 5-ти строк и 4 для последующих блоков.

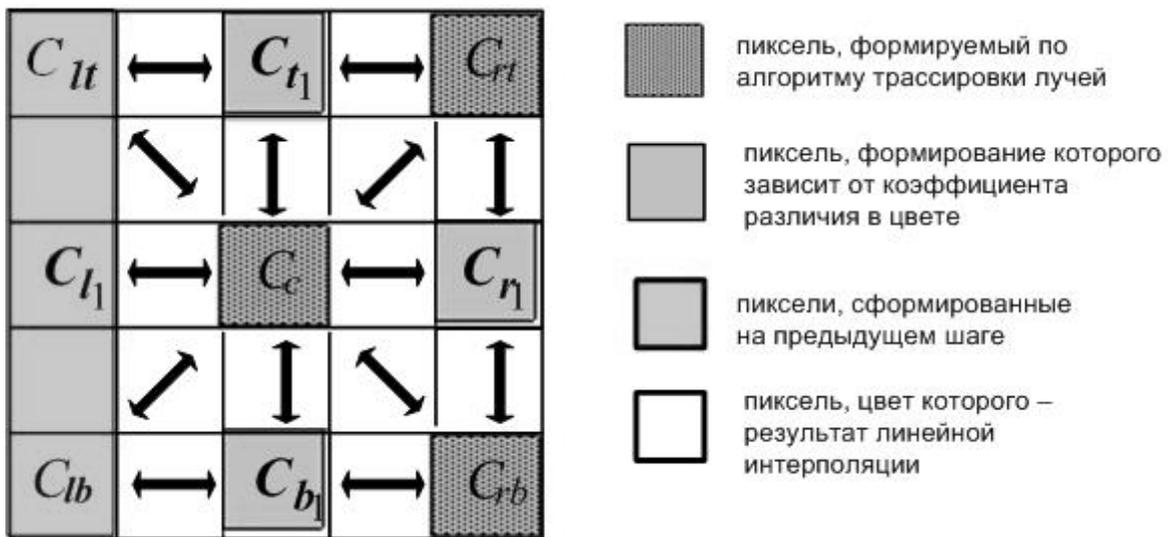


Рис. 1. Пример пиксельного блока для верхних 5-ти строк

2. Выбор сглаживающего фильтра

Для выбора сглаживающего фильтра использовалось шкалирование, являющееся одним из наиболее распространенных анкетных методов. В данной работе использовалась пятибалльная шкала общего качества (абсолютная шкала), при этом пяти баллам соответствовало «отличное качество», четырем баллам - «хорошее качество», трем баллам - «посредственное качество», двум баллам - «плохое качество», одному баллу - «неудовлетворительное качество».

В данной работе результаты экспертных оценок были выражены с помощью среднего балла, определяемого как [5]:

$$C = \frac{\sum_{k=1}^K n_k C_k}{\sum_{k=1}^K n_k}, \tag{8}$$

где n_k - число тестовых изображений, отнесенных к k -й категории,

C_k - соответствующий ей балл,

K - количество категорий (в нашем случае $K=5$).

Баллы для наиболее популярных сглаживающих фильтров [6] представлены в табл.1. Как следует из табл.1, наивысший балл получил метод Ли.

Таблица 1

Типы сглаживающих фильтров и соответствующие им баллы.

№	Тип сглаживающего фильтра	Балл
1	Адаптивный линейный фильтр (на основе метода Ли)	5
2	Консервативный сглаживающий фильтр	4.3
3	Сглаживающий линейный фильтр (фильтр Гаусса с нормированной переходной функцией)	3.8
4	Сглаживающий нелинейный фильтр (контргармонический фильтр)	3.6

Визуальная разница между изображением, которое получено посредством метода обратного распространения лучей, и изображением, которое получено посредством предложенного метода формирования изображения в сочетании с методом Ли, оценивается с помощью нормированной среднеквадратичной ошибки (NMSE), которая рассчитывается в виде

$$NMSE = \frac{\sum_i (R_1(i) - R_2(i))^2 + (G_1(i) - G_2(i))^2 + (B_1(i) - B_2(i))^2}{\sum_i (R_1(i))^2 + (G_1(i))^2 + (B_1(i))^2}, \tag{9}$$

где $(R_1(i), G_1(i), B_1(i))$ – интенсивности цвета красной, зеленой и синей составляющих цвета i -го пиксела изображения, которое получено посредством метода обратного распространения лучей,

$(R_2(i), G_2(i), B_2(i))$ – интенсивности цвета красной, зеленой и синей составляющих цвета i -го пиксела изображения, которое получено посредством предложенного метода формирования изображения в сочетании с методом Ли.

По всем тестовым изображениям NMSE не превысила 0.0001, т.е. визуально изображения не отличались между собой.

Выводы

В статье был разработан метод формирования трехмерного изображения, основанный на обратной трассировке лучей. Этот метод использует строчную или блочную интерполяцию и сглаживающий фильтр. Для повышения качества сформированного изображения было проведено численное исследование на основе метода шкалирования, которое позволило установить, что адаптивная линейная фильтрация на основе метода Ли является наиболее эффективной (набрала максимальные 5 баллов, а нормированная среднеквадратичная ошибка не превысила 0.0001).

Предложенный метод формирования трехмерного изображения может использоваться в компьютерных системах формирования реалистических трехмерных изображений.

Литература

1. Foley J., Dam A. Computer Graphics. Principles and practice / J. Foley, A. Dam. - 2nd ed. In C. - AWPC, 1997. – 1175 pp.
2. Палташев Т.Т. Технология визуализации реалистичных изображений / Т.Т. Палташев, С.И. Климина // Открытые системы. – 1994. – № 7. – С. 23-40.
3. Палташев Т.Т. Растривание и распределенная обработка в системах генерации реалистических изображений / Т.Т. Палташев, С.И. Климина // Зарубежная радиоэлектроника. – 1992. – № 11. – С. 3-22.
4. Мальчева Р.В. Разработка ускоренного алгоритма трассировки лучей / Р.В. Мальчева, А.А. Сереженко, Юнис М. // Информатика та комп'ютерні технології. Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Т.1. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. - С. 125–134.
5. Schaum A. Theory and design of local interpolators // CVGIP: Graph. Models Image Processing, 1993. - Vol. 55. - N 6. - PP. 464–481.
6. Федоров ЕЕ. Модели и методы распознавания зрительных образов: монография / Е.Е. Федоров, Э. Слесорайтите. – Донецк: Изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2013. – 422 с.

References

1. Foley J., Dam A. Computer Graphics. Principles and practice / J. Foley, A. Dam. - 2nd ed. In C. - AWPC, 1997. – 1175 pp.
2. Paltashev T.T. Tehnologiya vizualizatsii realistichnyih izobrazheniy / T.T. Paltashev, S.I. Klimina // Otkryitye sistemyi. – 1994. – # 7. – S. 23-40.
3. Paltashev T.T. Rastrivovanie i raspredelennaya obrabotka v sistemah generatsii realisticheskikh zobrazheniy / T.T. Paltashev, S.I. Klimina // Zarubezhnaya radioelektronika. – 1992. – # 11. – S. 3-22.
4. Malcheva R.V. Razrabotka uskorenogo algoritma trassirovki luchey / R.V. Malcheva, A.A. Serezhenko, Yunis M. // Informatika ta komp'yuterni tehnologiyi. Materiali VI mizhnarodnoyi naukovno-tehnichnoyi konferentsiyi studentiv, aspirantiv ta molodih naukovtsiv. T.1. – Donetsk: DonNTU, 2010. - S. 125–134.
5. Schaum A. Theory and design of local interpolators // CVGIP: Graph. Models Image Processing, 1993. - Vol. 55. - N 6. - PP. 464–481.
6. Fedorov EE. Modeli i metodyi raspoznavaniya zritelnyih obrazov: monografiya / E.E. Fedorov, E. Slesoraytite. – Donetsk: Izd-vo «Noulidzh» (Donetskoe otdelenie), 2013. – 422 s.

Рецензія/Peer review : 21.2.2016 р.

Надрукована/Printed : 25.3.2016 р.