

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ ОТРЕЗКОВ ПРЯМЫХ ДЛЯ 3D ДИСПЛЕВ

О.А. Авксентьева, Аль-Орайкат Анас, Е.А. Башков, Д.И. Хлопов  
Донецкий национальный технический университет

*Розглянуті шляхи підвищення продуктивності програмних засобів генерації заданої частини прямої у тривимірному дискретному просторі.*

**Введение.** Попытки создания иллюзии глубины в системах отображения визуальной информации начались достаточно давно (первые патенты зарегистрированы в 1903 году [1]) и к настоящему времени предложено и в той или иной степени проработано множество различных подходов к решению этой задачи [2 - 4].

В последние годы получили развитие объемные технологии построения 3D дисплеев (volumetric displays), в которых образ отображаемой сцены формируется в некоторой реальной или виртуальной трехмерной среде [5 - 7].

Построение 3D дисплеев на базе объемных технологий требует разработки как собственно аппаратуры дисплея, так и его программного обеспечения. Здесь возникают задачи генерации трехмерных графических примитивов для синтеза трехмерных сцен. Следует отметить, что в литературе достаточно подробно рассмотрены вопросы создания воксельных моделей ("вокслизации") реальных объектов, например, с помощью трехмерных сканеров, в то время как методы и алгоритмы генерации типичных графических примитивов практически не рассматриваются.

В [8] рассмотрен "базовый" алгоритм генерации 3D разложений отрезка произвольной прямой и дуги произвольной окружности. Алгоритм обеспечивает достаточную точность генерации, но его быстродействие недостаточно для генерации сцен в реальном времени. Рассмотрим несколько модификаций исходного алгоритма из [8] направленных на повышение его быстродействия.

**Постановка задачи.** Задача генерации может быть поставлена следующим образом. Предположим, что некоторая часть  $\Omega$  трехмерного евклидова пространства, которое отображается дисплеем, имеет вид трехмерного параллелепипеда  $\Omega \in R^3$ ,

$0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y, 0 \leq z \leq Z$ . Будем считать, что  $X = Y = Z = H$ , то есть  $\Omega$  – трехмерный куб.

Положим, что  $\Omega$  заполнена вокселями – атомарными элементами, которые отображаются 3D дисплеем. Определим воксель как элементарный куб с единичной стороной. Центры «соседних» вокселей удалены друг от друга по координатным осям на единичное расстояние. Множество вокселей, заполняющих  $\Omega$  можно представить как трехмерный массив вокселей  $V_{i,j,l}$ , где  $i, j, l$  – индексы, принимающие значения  $0, 1, \dots, \text{int}(H)$ .

Обозначим воксели  $V_A$  и  $V_B$  как начальный и конечный воксели растрового разложения отрезка  $AB$ . Задача растрового разложения отрезка прямой формулируется как задача определения множества вокселей, к которому принадлежат  $V_A$  и  $V_B$ , каждый из которых (кроме начального и конечного) имеет два и только два соседних вокселя, при этом их центры лежат на минимальном расстоянии от отрезка.

В [8] предложен метод построения такого множества, суть которого кратко заключается в следующем. Предполагается, что отрезок лежит в первом октанте и все его проекции положительны. Начальный воксель  $V_0$  задается условием  $A \in V_0$ . Пусть найден  $q$ -й воксель  $V_q$  последовательности. Требуется определить следующий  $q+1$ -й воксель  $V_{q+1}$ . Рассматривается семь соседних с  $V_q$  вокселей – претендентов  $V_{q+1(k)}$ ,  $k=1, 2, \dots, 7$ , в направлении, которое определяется направляющим вектором отрезка. Вычисляются расстояния между центрами вокселей – претендентов и прямой, на которой лежит отображаемый отрезок. Следующий в последовательности воксель  $V_{q+1}$  определяется как воксель – претендент  $V_{q+1(k)}$  с минимальным расстоянием. Таким образом формируется искомая последовательность вокселей  $V_q$ ,  $q = 0, 1, \dots, N$ , где  $N$  – число вокселей в растровом представлении отрезка и  $B \in V_N$ .

Повышение быстродействия метода возможно следующими способами.

1. Принимая во внимание координату, по которой отрезок наиболее распространен, можно учесть, что на каждом шаге

следующий выбранный воксель будет иметь единичное приращение индекса именно по этой координате.

Пусть

$$Sx = \text{sign}(U_X), Sy = \text{sign}(U_Y), Sz = \text{sign}(U_Z), \quad (1)$$

где  $U_X, U_Y, U_Z$  - компоненты направляющего вектора  $U$  заданного отрезка  $AB$ ,  $U = (B - A) / |B - A|$ .

Тогда матрица  $M$  приращений из [8] с учетом (1) будет иметь следующий вид:

$k =$	Приоритет по X				Приоритет по Y				Приоритет по Z			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
$\Delta_i =$	$Sx$	$Sx$	$Sx$	$Sx$	0	0	$Sx$	$Sx$	0	0	$Sx$	$Sx$
$\Delta_j =$	0	0	$Sy$	$Sy$	$Sy$	$Sy$	$Sy$	$Sy$	0	$Sy$	0	$Sy$
$\Delta_l =$	0	$Sz$	0	$Sz$	0	$Sz$	0	$Sz$	$Sz$	$Sz$	$Sz$	$Sz$

Расстояние  $D_k$  между  $k$ -м вокселем-претендентом  $V_{q+1(k)}$  и заданным отрезком вычисляется как:

$$D_k = |W_k - (W_k - U)U| \quad (2)$$

где  $W = V_{q+1(k)} - A$ .

Аналогично [8], следующий в последовательности воксель  $V_{q+1}$  находится как воксель – претендент с минимальным расстоянием до прямой. Так как рассчитываемое расстояние используется только для сравнения, то его можно вычислять как квадрат расстояния, то есть по (2) без извлечения квадратного корня.

Предложенная модификация сокращает на каждом шаге количество "пробных" вокселей с 7 до 4-х, уменьшая время вычислений не менее чем в 1,75 раза.

2. Учет симметричности 3D растрового разложения отрезка позволяет генерировать только  $N/2$  вокселей, начиная от  $A$  (генерация вперед), а вторая половина вокселей может быть сформирована как зеркальное отражение первой, относительно  $B$

(генерация назад). Такая «зеркальная» модификация позволяет дополнительно в 2 раза сократить время работы алгоритма.

Условие правильности работы генератора требует, чтобы максимальное расстояние от центра найденного вокселя до отрезка (максимальная ошибка) было меньше половины главной диагонали вокселя. С учетом единичности стороны вокселя, максимальная ошибка разложения не должна превышать 0,866. Собственно качество разложения можно оценивать по средней ошибке.

Экспериментальное исследование предложенных модификаций заключалось в генерации 5 000 различных отрезков в  $\Omega$  с  $N = 1023$  (1 мегавоксель). Эксперименты выполнялись на персональном компьютере на базе Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU E4600 @2.40GHz, 2.40ГГц, 1,99ГБ ОЗУ. Обобщенные результаты экспериментов приведены в таблице.

**Таблица**

Результаты генерации отрезков

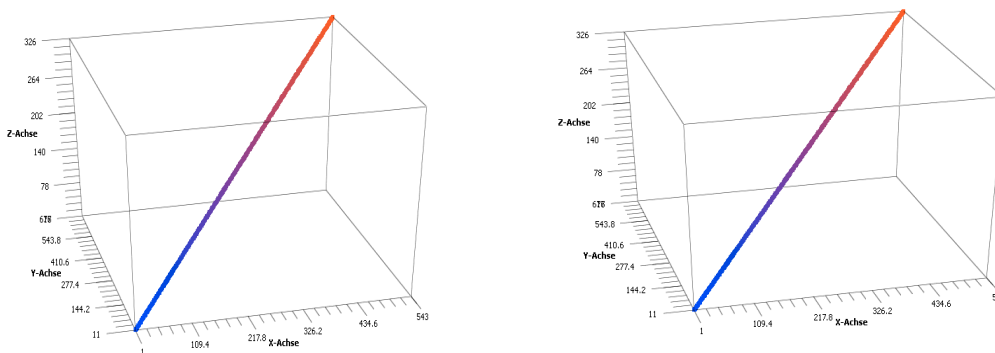
	Средняя ошибка	Максима- льная ошибка	Время генерации (сек)	Ускорение относитель- но базового
Базовый алгоритм	0,396	0,7536	3,022	
Модификация 1: приоритеты	0,385	0,7071	1,813	1,7
Модификация 2: «Зеркало»	0,392	0,7071	0,824	3,7

На рисунке в качестве примера приведены примеры генерации отрезка.

### **Выводы**

Анализ результатов экспериментов показывает, что

- все алгоритмы имеют максимальные ошибки менее 0,866, что свидетельствует о корректности работы алгоритмов;
- модификация 1 алгоритма (приоритетных направлений) ошибки не ухудшает, но время генерации уменьшается в 1,7 раза;
- модификация 2 алгоритма («зеркало») уменьшает время генерации в 3,7 раза, что хорошо согласуется с предварительной оценкой.



**Рис. Примеры 3D генерации отрезка**  
*а) приоритетные направления, б) «зеркало»*  
 Начальная точка  $A(0, 10, 15)$ , Конечная точка  $B(543, 677, 326)$

Предложенные модификации базового алгоритма 3D растрового разложения отрезка существенно повышают быстродействие (не менее чем в 3,5 раза), но для генерации сложных сцен с учетом требования реального времени этого недостаточно. Исследование алгоритмов генерации 3D графических примитивов с целью сокращения временных затрат следует продолжать в направлении распараллеливания вычислительного процесса на базе технологий CUDA.

#### Библиографический список

1. F.E. Ives, Parallax stereogram and process of making same, US Pat 725567, 1903
2. Bahram Javida, Fumio Okano. Three-dimensional television, video and display technology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002 505 p. ISBN 3-540-43549-2
3. Favalora G.E., Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure // "Computer", 2005, August, pp 37-44
4. Ezhov V.A., Studentsov S.A. Volume (or stereoscopic) images on the screens of standard computer and television displays. – Proc. SPIE, 2005, v.5821, pp.102-116.
5. Favalora G.E. et al., "100 million-voxel volumetric display", in Proc. SPIE Cockpit-Displays IX: Displays for Defense Appl, 2002, vol. 4712.
6. Geng J., "Method and apparatus for an interactive volumetric three dimensional display" US Patent 7 098 872.
7. Downing E.A., "Method and system for three-dimensional display of information based on two-photon upconversion" US Patent 5 684 621
8. Башков Е.А., Авксентьева О.А., Аль-Орайкат Анас М. К построению генератора графических примитивов для трехмерных дисплеев. В сб. Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія "Проблеми моделювання та автоматизації проектування динамічних систем". Вип. 7 (150). - Донецьк, ДонНТУ. - 2008 .- ст. 203-214