

К построению генератора графических примитивов для трехмерных дисплеев

Башков Е.А.
Кафедра ПМИ ДонНТУ
bashkov@pmi.dgtu.donetsk.ua

Авксентьева О.А., Аль-Орайкат Анас Махмуд
Кафедра ЭВМ ДонНТУ

Аннотация

Башков Е.А., Авксентьева О.А., Аль-Орайкат Анас Махмуд. К построению генератора графических примитивов для трехмерных дисплеев. Выполнен обзор способов построения трехмерных графических дисплеев, поставлена задача растрового представления отрезка прямой в видеопам'яти трехмерного дисплея и предложен метод ее решения.

Анотація

Башков Є. О., Авксентьєва О. О., Аль-Орайкат Анас Махмуд. До побудови генератору графічних примітивів для трьохвимірних дисплеїв. Виконано огляд способів побудови трьохвимірних графічних дисплеїв, поставлена задача растрового представлення відрізка прямої у відеопам'яті трьохвимірного дисплея та запропоновано метод її вирішення.

Abstract

Bashkov E.A., Avksentieva O.A., Аль-Орайкат Анас Махмуд. About design of graphical primitives generator for volumetric 3D displays (or generator of graphical primitive design for volumetric 3D displays). An overview of methods for building of 3D-displays has been accomplish. The problem of raster representation of a straight line in video memory of 3D-display has been defined and a method for the solution of the task has been proposed.

Введение

Одним из главных направлений развития современных компьютерно-информационных технологий является стремление достичь «естественности» во взаимодействии человека и компьютера. Сюда можно отнести и голосовой интерфейс, и попытки воздействовать на вестибулярный аппарат человека и на органы обоняния, осязания. Так как большую долю информации человек воспринимает через органы зрения, а естественная визуальная среда

трехмерна, то в этом же русле лежат попытки создания трехмерных дисплеев. Построение такого рода устройств отображения сталкивается с многими трудностями. Главная проблема, несомненно, связана с созданием качественного устройства объемного отображения. Но есть еще ряд сложных вопросов в этой области, требующих своего исследования. К их числу относится и задача построения трехмерных генераторов графических примитивов, позволяющих выполнять трехмерное растровое разложение простейших графических образов: прямых, плоскостных и объемных элементарных фигур. В работе рассматривается один из возможных подходов к построению трехмерного растрового разложения отрезка прямой.

Трехмерные дисплеи

Дисплеи, позволяющие выводить визуальную информацию в «реальном» трехмерном пространстве (3D-дисплеи) представляют одно из самых интересных направлений в развитии технологии отображения информации. В недавние годы предлагалось достаточно большое количество устройств, позволяющих получить визуальное ощущение объемности отображаемых объектов. Например [1]:

- шлемы от компании VHX;
- очки с жидко кристаллическими затворами;
- изображения-стереопары с разделением по цвету и очкам с цветными светофильтрами.

Недостатками такого рода устройств являются: дискомфорт, временные нарушения зрения и вестибулярного аппарата оператора, малый эффект ощущения визуального «присутствия».

В настоящее время бурно развиваются новые подходы к построению 3D-дисплеев. При этом преследуется основная цель — возможность предоставить человеку (оператору) большой объем визуальной информации в реальном времени, не перегружая его органы чувств и мозг. Такого рода дисплеи имеют широкие перспективы для применения в областях: отображения медицинской информации, в системах автоматизированного управления, построения тренажеров.

При создании нового поколения трехмерных устройств отображения в основном применяются автостереоскопические методы [2]. Автостереоскопия подразумевает отсутствие специальных вспомогательных аксессуаров для оператора, все оборудование для разделения стереоскопических пар изображений «естественно» встроено в дисплей. Различаются следующие подходы.

Голографический метод. При этом воспроизводятся голограммы с помощью жидко кристаллических экранов или выводятся синтезированные компьютером голографические изображения. Аппаратура построена на базе лазера, луч которого модулируется акустическими колебаниями, воздействующего на кристалл, который расположен перед фокусирующей линзой. Прорисовка изображения выполняется двумя подвижными

зеркалами. Этот способ достаточно дорогой, вычислительно сложный и не позволяет выводить динамические изображения.

«Объемная» технология. Здесь используются экраны особой формы, например, в виде винтовой поверхности. Когда она быстро вращается — создается иллюзия объема, на котором можно прорисовать изображение.

Метод последовательной демонстрации кадров. Используется катодная трубка, а трехмерное изображение наблюдается через сферическое зеркало с динамическим фокусом, которое синхронно со сменой кадров меняет свою форму. В этом случае пиксели ближних кадров не могут заслонить пиксели дальних, и изображение получается полупрозрачным. Такой подход можно использовать только для каркасных моделей объектов.

Технология пространственного разделения стереопар. На дисплей накладывается матрица из миниатюрных дифракционных решеток, отклоняющих свет, исходящий от соседних пикселей в разные стороны.

Метод голографических оптических элементов. Весьма сложна и дорогостоящая технология, которая характеризуется ограниченностью поля наблюдения трехмерного эффекта.

На рис. 1 представлена обобщенная структура современного 3D-дисплея [2].

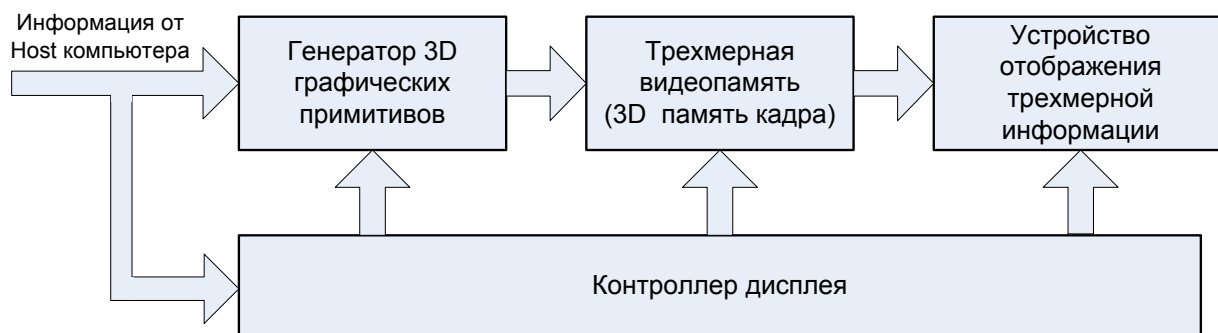


Рисунок 1 - Обобщенная структура 3D-дисплея

В состав «полноценного» трехмерного дисплея кроме, собственно устройства отображения трехмерной информации также входит:

- генератор трехмерных графических примитивов, на который возлагается функция трехмерного растрового разложения элементарных составляющих (отрезки, плоскости и т.п.) трехмерной сцены;
- трехмерная видеопамять (видеобuffer, память кадра), в котором хранится растровое представление сцены для отображения в данном кадре;
- контроллер дисплея, по командам от основного процессора управляющего работой дисплея.

Широкое подобных дисплеев требует не только создания собственно отображающих устройств, но и разработки методов трехмерного разложения сцен и алгоритмов функционирования его элементов. В отличие от обычных (2D) дисплеев, для которых методы растрового разложения графических примитивов разработаны достаточно хорошо и прошли широкую апробацию

практиков, трехмерное разложение практически не проработано и требует исследований как в направлении собственно методов разложения, так и в направлении оптимизации этих методов с точки зрения аппаратно-программной и (или) аппаратной их реализации.

Постановка задачи генерации графических примитивов в видеопамяти 3D - дисплея

Предположим, что некоторая часть V трехмерного евклидова пространства, которое отображается дисплеем, имеет вид трехмерного параллелепипеда (рис. 2), $v \in R^3$ $0 \leq x \leq X, 0 \leq y \leq Y, 0 \leq z \leq Z$. С учетом возможности масштабирования, будем считать, что $X = Y = Z = H$, то есть V – трехмерный куб.

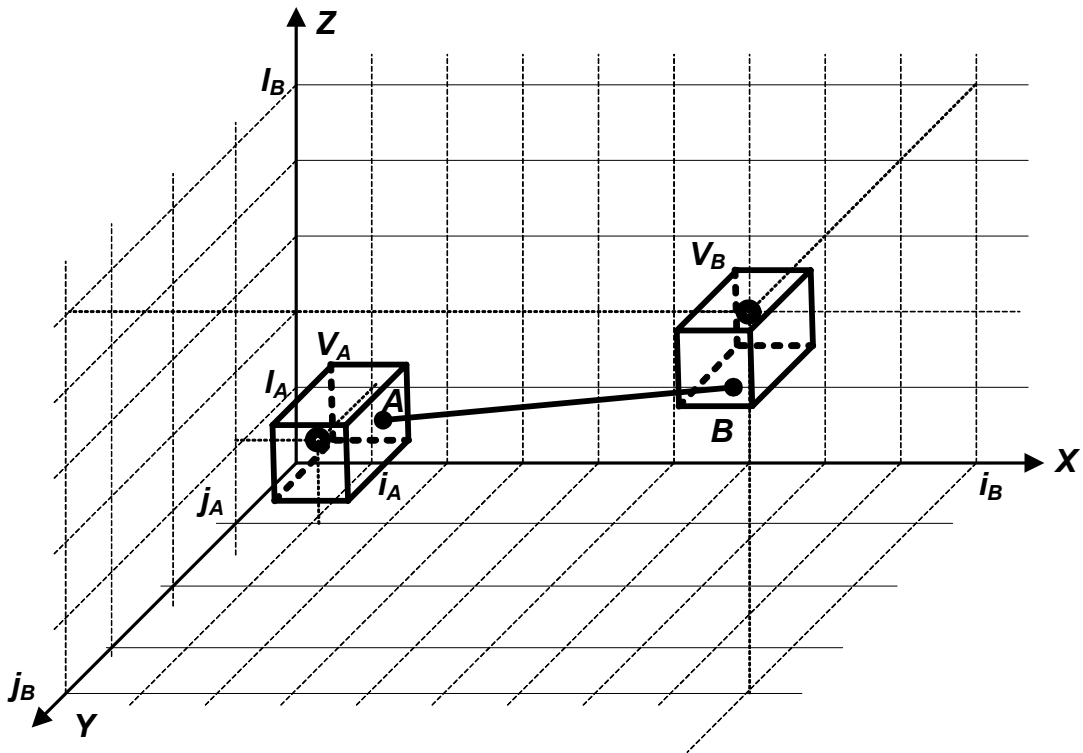


Рисунок 2 - Пространство отображения 3D-дисплея

Следуя [3], положим, что V заполнена вокселями – атомарными элементами, которые отображаются дисплеем. Определим воксель как куб со стороной $a \in R, a > 0$. Центры «соседних» вокселей удалены друг от друга по координатным осям на некоторое расстояние $a + \varepsilon$, где ε – некоторый «малый» зазор между вокселями, $\varepsilon \ll a, \varepsilon > 0, \varepsilon \in R$. Набор вокселей,

заполняющих \mathcal{V} можно представить как трехмерный массив вокселей $V_{i,j,l}$, где i, j, l – индексы, принимающие значения $0, 1, \dots, N$, где $N = \text{int}\left(\frac{H}{a + \varepsilon}\right)$.

Координаты центра вокселя $V_{i,j,l}$ могут быть найдены как:

$$x_{i,j,l} = \frac{i+1}{2}(a + \varepsilon), y_{i,j,l} = \frac{j+1}{2}(a + \varepsilon), z_{i,j,l} = \frac{l+1}{2}(a + \varepsilon). \quad (1)$$

Соответственно, индексы вокселя V_p , которому принадлежит точка $P \in \mathcal{V}$ с координатами p_x, p_y, p_z , имеет индексы

$$i = \text{int}\left(\frac{p_x}{a + \varepsilon}\right), j = \text{int}\left(\frac{p_y}{a + \varepsilon}\right), l = \text{int}\left(\frac{p_z}{a + \varepsilon}\right). \quad (2)$$

Задачу генерации графических примитивов для 3D-дисплеев рассмотрим на примере растрового разложения отрезка прямой в трехмерном пространстве. Пусть в \mathcal{V} задан отрезок прямой AB своими начальной X_A, Y_A, Z_A и конечной X_B, Y_B, Z_B точками ($A \neq B$). С точки зрения визуального отображения, задача растрового разложения отрезка может быть поставлена как задача определения такого множества вокселей, которые будут восприниматься оператором 3D-дисплея как отрезок прямой в трехмерном пространстве. То есть необходимо найти такую совокупность вокселей, каждый из которых лежит в некотором смысле «недалеко» от прямой AB и «плотно» заполняет промежуток от A до B .

Определим два разных вокселя V_s и V_{ss} как соседние, если их индексы отличаются не более чем на 1, то есть $i_{ss} = i_s \pm 1$ и (или) $j_{ss} = j_s \pm 1$ и (или) $l_{ss} = l_s \pm 1$. Обозначим воксели V_A и V_B как начальный и конечный воксели растрового разложения отрезка AB . Индексы вокселей V_A и V_B определяются по (1).

Тогда задача растрового разложения отрезка прямой может быть сформулирована 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, центр каждого из которых лежит на минимальном расстоянии до отрезка и количество вокселей в множестве минимально.

Подходы к генерации графических примитивов для «двумерных» дисплеев

Изображения, выводимые на экран стандартного двумерного графического дисплея, формируются из набора стандартных графических примитивов: точек, отрезков прямых, полигонов, окружностей и т.п.

Современные дисплеи оснащаются аппаратным цифровым генератором стандартных графических примитивов, который по командам основного процессора выполняет их растровое разложение и формирует соответствующие коды в видеопамяти. При этом базовым примитивом для практически всех графических дисплеев является отрезок прямой.

В [4, 5] сформированы следующие требования к генераторам векторов:

- отрезки должны восприниматься как части прямых линий;
- видимые отрезки должны начинаться и заканчиваться в точках, определенных программно;
- яркость отрезка не должна зависеть от длины и угла наклона и должна быть постоянной или соответствовать заданным яркостям начальной и конечной точек;
- цвет отрезка должен изменяться по заданному закону в зависимости от заданных цветов начальной и конечной точек;
- вычерчивание должно производиться с высоким быстродействием без мельканий.

Особые проблемы вызывает коррекция яркости для цифрового генератора, определяемая переменным расстоянием между подсвечиваемыми точками при различном наклоне линий [4].

Цифровые генераторы отрезков (векторов) строятся на базе двух основных подходов.

Цифровой дифференциальный анализатор (ЦДА). Этот метод разложения отрезка в растр состоит в решении дифференциального уравнения отрезка прямой линии, в форме

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = const.$$

Решение представлено в виде

$$y_{i+1} = y_i + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot \Delta x,$$

где x_1, y_1 , и x_2, y_2 , – координаты начальной и конечной точек отрезка.

В простом ЦДА либо Δx , либо Δy выбирается в качестве единицы растра. Исследования показывают, что разложенный таким образом в растр отрезок лежит по одну сторону от реального и на одном из концов отрезка появляется лишняя точка, что вызывает необходимость использования более сложных и более медленных алгоритмов, или снижать требования к точности

визуализации. Следует отметить также, что необходимость выполнения операции деления является недостатком ЦДА с единичным приращением.

Инкрементный алгоритм Брезенхема [5]. Алгоритм выбирает оптимальные растровые координаты для представления отрезка. Одна из координат изменяется на единицу, а изменение другой координаты зависит от расстояния между действительным положением отрезка и ближайшими координатами сетки. Алгоритм проверяет лишь знак этого расстояния, который зависит от номера октанта и углового коэффициента отрезка, лежащего в диапазоне от нуля до единицы. Подход Брезенхема нашел самое широкое распространение для генерации графических примитивов в современных устройствах, но прямой его перенос на случай трехмерного пространства невозможен.

Базовый алгоритм растрового трехмерного разложения отрезка

Без потери общности положим, что отображаемая прямая лежит в первом октанте (координаты A и B положительны) и, кроме того, вектор $B-A$ также имеет все положительные компоненты. Снятие этих ограничений тривиально.

Необходимо найти некоторую последовательность вокселей $V_s, s = 0, 1, \dots, S$ таких, что $A \in V_0, B \in V_S$. Для минимизации количества вокселей в последовательности разумно потребовать, чтобы V_s имело только двух соседей V_{s-1} и V_{s+1} . При этом, центры всех V_s должны лежать на минимальном расстоянии от заданной прямой.

Начальный воксель задается условием $A \in V_0$. Предположим, что найден воксель V_s . Требуется определить следующий в последовательности воксель V_{s+1} . Учитывая расположение и направленность заданного отрезка прямой «претендентами» на V_{s+1} могут быть только семь вокселей, $V_{s+1(k)}, k=1, 2, \dots, 7$ (рис. 3).

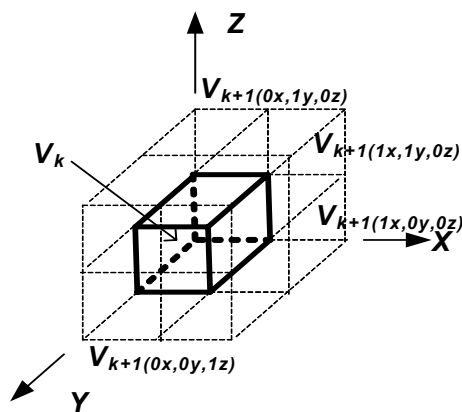


Рисунок 3 - Расположение вокселей - претендентов

Координаты k -го вокселя - претендента можно определить через координаты V_S и приращения:

k	1	2	3	4	5	6	7
$\Delta X =$	+ a	0	0	+ a	+ a	0	+ a
$\Delta Y =$	0	+ a	0	+ a	0	+ a	+ a
$\Delta Z =$	0	0	+ a	0	+ a	+ a	+ a

(3)

Вычисление расстояния D_k между вокселем-претендентом $V_{s+1(k)}$ и заданным отрезком прямой может быть выполнено по [6]:

$$D_k = |W_k - (W_k - U)U|. \quad (4)$$

Здесь:

U - направляющий вектор заданного отрезка AB :

$$U = \frac{B - A}{|B - A|}, \quad (5)$$

W - разность $V_{s+1(k)} - A$.

Следующий в последовательности воксель V_{s+1} определяется как воксель - претендент с минимальным расстоянием до прямой, то есть $V_{s+1} = V_{s+1(K)}$, где $K = \arg(\min_k D_k)$.

Базовый алгоритм растрового разложения отрезка в трехмерном пространстве, основанный на вышеизложенном, может быть представлен следующим образом (на псевдоязыке из [3]).

Алгоритм трехмерной растризации отрезка прямой

Procedure 3d_Line_Gen;

Входные данные: начальная A и B конечная точки отрезка

Выходные данные: массив вокселей V

Begin

Input A, B ;

Вычисление направляющего вектора по (5);

Задание матрицы приращений Δ по (3);

$s := 0$;

$V_s := V_A$; $V_{End} = V_B$;

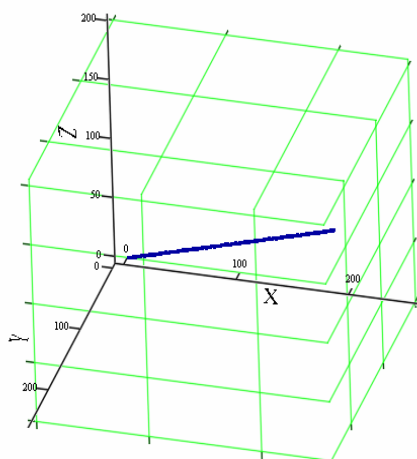

```

Repeat
  k=1 ;
   $V_{s+1 (1)} := V_s + \Delta_1$  ;
  Вычисление  $D_1$  по (4) ;
   $D_{min} := D_1$  ;
  Do k = 2,3,...,7
     $V_{s+1 (k)} := V_s + \Delta_k$  ;
    Вычисление  $D_k$  по (4) ;
    If  $D_k < D_{min}$  then
      begin
        K:= k ;
         $D_{min} := D_k$  ;
      End_if
    End_Do
     $V_{s+1} := V_s + \Delta_K$  ;
    s:=s+1 ;
  Until  $V_{End} \neq V_s$  ;
  Output V ;
End

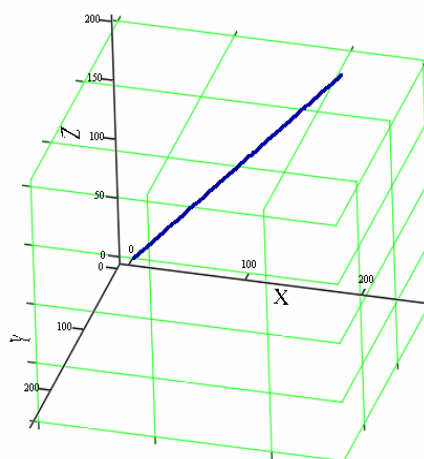
```

Предложенный алгоритм исследован с помощью математического пакета MathCAD. Рис. 4а, 4б иллюстрируют растровое разложение двух отрезков.

Анализ результатов экспериментов показывает, что предложенный алгоритм генерирует растровое представление с ошибкой, не превышающей половины диагонали вокселя 0,86а .



4а



4б

Рисунки 4а, 4б - Примеры трехмерного растрового разложения отрезков

a)
$$\begin{matrix} 10 & 240 \\ A=10, & B=160; \\ 10 & 140 \end{matrix}$$

б)
$$\begin{matrix} 10 & 240 \\ A=10, & B= 30; \\ 10 & 200 \end{matrix}$$

Заключение

Предложенный в работе алгоритм может рассматриваться только как исходный, требующий, с одной стороны, дополнительных исследований с точки зрения точности представления заданного отрезка и, с другой стороны, с позиций его оптимизации с целью сокращения как временных затрат, так и требуемой памяти. При дальнейших исследованиях следует обратить также внимание на возможную адаптацию алгоритма для его аппаратной реализации.

Литература

1. Giloi W. K. Interactive Computer Graphics. — New Jersey: Prentice-Hall, 1978. — 384 с.
2. Gregg E. Favolora Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure // “Computer”, 2005, August, pp 37-44
3. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия: Введение: Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. С 478 с.
4. Ньюмен У., Спрулл Р. Основы интерактивной машинной графики. — Москва.: «Мир», 1976. — 573 с.
5. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. — Пер. с англ. — Москва.: «Мир», 1989. — 512 с.
6. Д.В. Беклемишев. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. М.: Наука, 1980.



Башков Евгений Александрович

Закончил Донецкий политехнический институт в 1968 году по специальности «Автоматика и телемеханика». Кандидат технических наук (1975 г), доктор технических наук (1995 г). Заведующий кафедрой прикладной математики и информатики ДонНТУ.

Научные интересы: компьютерная графика, синтез и обработка изображений, анализ и проектирование компьютерных систем.



Авксентьева Ольга Александровна.

Закончила Донецкий политехнический институт по специальности «Электронные вычислительные машины». Работает ассистентом кафедры ЭВМ. Научные интересы: компьютерная графика, синтез и обработка изображений.



Аль-Орайкат Анас Махмуд.

Закончил Кировоградский национальный технический университет по специальности «Компьютерные системы и сети». Магистр. Аспирант Донецкого национального технического университета.

Научные интересы: синтез изображений, компьютерная графика.

Дата надходження до редакції 13.11.2008 р.