

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК 681.323

АЛГОРИТМЫ СКАНИРОВАНИЯ СЦЕНЫ В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

ГУСЯТИН В.М.

Излагается алгоритм сканирования земной поверхности, представленной цифровыми картами, в целях синтеза ее изображения в системах визуализации.

1. Введение

Восприятие трехмерности пространства базируется на принципе сканирования окружающей среды человеком и другими живыми существами с помощью присущих им органов чувств. Создано много различных технических, медицинских и других приборов, реализующих этот принцип [1]. Здесь важно отметить, что перед преобразованием объемного 3D изображения в 2D изображение (на сетчатке, экране) как в живой природе, так и в устройствах, созданных человеком, предварительно выполняется этап сканирования. На этом этапе выявляются все элементы трехмерности изображения: удаление объектов, затенение одного объекта другим и др.

Современные системы визуализации (СВ) в тренажерах транспортных средств предназначены для синтеза на экране СВ 2D изображения сцены внекабинного трехмерного пространства. Эти системы не имеют физических средств сканирования сцены и данный этап выполняется путем вычислений. В отличие от физического определим этот этап сканирования в СВ как математическое. Вычислительные операции, которые при этом выполняются, определим как алгоритм сканирования (АС). В зависимости от метода синтеза (например, методы прямого и обратного трассирования) объем и характер вычислений являются различными [5].

В работе рассматривается АС сцены для метода обратного трассирования. При построении АС воспользуемся математической моделью для спецпроцессоров растровой графики [2]. В соответствии с этой моделью проекционный луч $\overline{V_p}$ связан с вектором наблюдения $\overline{V}$ соотношением

$$\overline{V_p} = \lambda \overline{V}, \quad (1)$$

где λ — скалярный множитель.

Компоненты вектора $\overline{V}$ в матричной форме имеют вид:

$$\begin{aligned} V_x &= (A_x)(V_u, V_v, V_w)^T; \\ V_y &= (A_y)(V_u, V_v, V_w)^T; \\ V_z &= (A_z)(V_u, V_v, V_w)^T, \end{aligned} \quad (2)$$

где A_x, A_y, A_z — строки матрицы вращения; V_u, V_v, V_w — компоненты вектора наблюдения $\overline{V}$ в системе координат (с/к) U, V, W , связанной с транспортным средством.

Из (1) следует, что направление $\overline{V_p}$ совпадает с $\overline{V}$. В свою очередь, компоненты вектора $\overline{V}$ могут быть вычислены для каждого пиксела в соответствии с (2) в реальном масштабе времени [2].

В процессе растровой развертки кадра изображения для каждого пиксела с координатами экрана x, y вычисляются точка пересечения $P(x, y, z)$ проекционного луча (ПЛ) с базовыми плоскостями [2], а также могут быть вычислены угловые параметры ПЛ α и β с помощью зависимостей:

$$\alpha = f_1(V_x, V_y, V_z); \quad \beta = f_2(V_x, V_z), \quad (3)$$

где $\alpha \in [0, \dots, \pi]$; $\beta \in [0, \dots, 2\pi]$, а f_1, f_2 — круговые функции.

Определено, что нуль для параметра α совпадает с отрицательным направлением оси y . Для параметра β нуль совпадает с положительным направлением оси z .

Конечным результатом выполнения АС должно быть выделение для каждого ПЛ одного или нескольких графических примитивов (ГП) из общего множества, образующих сцену, с которыми возможно или точно пересекается ПЛ. В дальнейшем будем называть такие примитивы — графические примитивы-кандидаты (ГПК). Конечное множество проекционных лучей обозначим R .

2. Основные этапы вычислений АС

Этап 1. На данном этапе выполняется процесс упорядочения множества R по параметру β в соответствии с (3), в результате чего формируются подмножества $R(\beta_i)$. Здесь β_i находим из соотношения

$$\beta_i = \frac{2\pi}{N_\beta} \cdot i, \quad (4)$$

где $i \in \{0, \dots, N_\beta - 1\}$; $N_\beta = \lfloor 2\pi / \phi \rfloor$; ϕ — угловая погрешность СВ в радианах [3].

Каждое подмножество $R(\beta_i)$ или β -срез образуется ПЛ, которые лежат в плоскостях, проходящих через центр проекции h перпендикулярно к плоскости xz , и для параметра β которых выполняется неравенство $\beta_i \leq \beta < \beta_{i+1}$.

В процессе упорядочения параметры $\alpha, \beta, P(x, y, z)$ элементов множества R помещают в общем случае в прямоугольную таблицу данных, адреса ячеек (A) которой задаются целочисленными значениями ко-

ординат x_3, y_3 [2]. Обозначим таблицу следующим образом:

$$x_3, y_3 \rightarrow \alpha, \beta, P(x, y, z). \quad (5)$$

Все ячейки таблицы, в которых записаны параметры одного β -среза, организованы в список. Для этого в каждую предыдущую ячейку записывается адрес последующей. В последней ячейке, принадлежащей этому β -срезу, записывается нулевой адрес.

Организация ячеек в один β -срез в таблице (5) осуществляется через линейную таблицу β -срезов, i -й адрес которой вычисляется в соответствии с (4). В процессе преобразований одна ячейка i -го β -среза в этой таблице содержит: A_H — начальный адрес; A_T — текущий адрес; а также $\alpha_{\min}$ и $\alpha_{\max}$ — минимальное и максимальное текущие значения параметра α . По завершении преобразований в ячейке i -го β -среза линейной таблицы содержится

$$\beta_i \rightarrow (A_H, A_K, \alpha_{\min}, \alpha_{\max})_i, \quad (6)$$

где A_K — конечное значение адреса ячейки β_i -среза в таблице (5); $\alpha_{\min}$ и $\alpha_{\max}$ — минимальное и максимальное значения параметра α в β_i -срезах.

Кроме того, в определенные ячейки этой таблицы записываются глобальные значения параметра β , задающие границы перечня всех β -срезов для обрабатываемого кадра изображения:

$$\text{global}(\beta_{\min}, \beta_{\max}). \quad (7)$$

Этап 2. В соответствии с [2] координаты ГП сцены задаются в с/к X, Y, Z в плоскости xz , т.е. имеем таблицу (физически ОЗУ)

$$XZ \rightarrow \text{ГП}, \quad (8)$$

где X, Z — целые числа, задающие адрес ячейки в таблице;

$$X \in \{0, 1, 2, \dots, N_x - 1\}, Z \in \{0, 1, 2, \dots, N_z - 1\},$$

здесь N_x, N_z — количество ячеек ОЗУ соответственно вдоль осей x, z .

В процессе сканирования на данном этапе вычисляются адреса ячеек таблицы (8), через которые прохо-

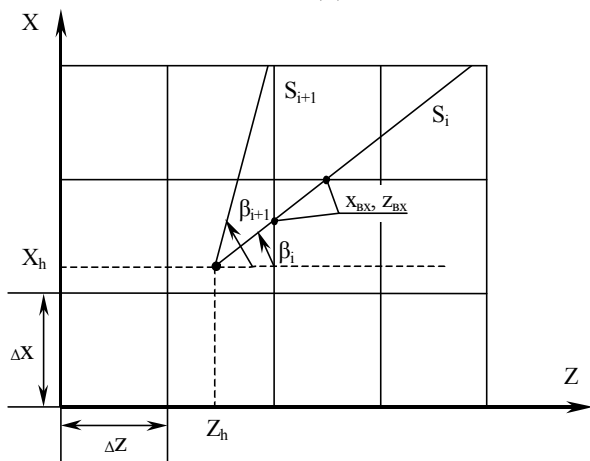


Рис. 1

дит проекция β -среза на плоскость xz . На рис. 1 представлены геометрические элементы задачи. В с/к xz границы ячеек сцены заданы ортогональной сеткой. Координаты x_h, y_h указывают на положение центра проекции h . Из проекции точки h сплошными линиями проведены проекции β -срезов — S_i, S_{i+1} , пересекающие границы ячеек сцены. Таким образом, задача сводится к нахождению координат точек пересечения проекцией β -среза со строками и столбцами ортогональной сетки с помощью рекуррентных соотношений:

$$\text{для строк } x_{k+1} = x_k + \mu \Delta x$$

$$z_{k+1} = z_k + \eta \Delta x |\operatorname{ctg} \beta_i|; \quad (9)$$

$$\text{для столбцов } x_{l+1} = x_l + \mu \Delta z |\operatorname{tg} \beta_i|$$

$$z_{l+1} = z_l + \eta \Delta z,$$

где $k \in \{0, 1, \dots, k_c\}$ — номер шага при вычислении строки; $l \in \{0, 1, \dots, l_c\}$ — номер шага при вычислении столбца; k_c, l_c — номера шага соответственно при вычислении последней сканируемой строки и столбца; $\mu \in \{1, -1\}$; $\eta \in \{1, -1\}$; $\operatorname{sign} \mu = \operatorname{sign} \sin \beta_i$;

$$\operatorname{sign} \eta = \operatorname{sign} \cos \beta_i.$$

Пусть $\Delta x = \Delta z = 1$, тогда вычисляем начальные значения для уравнений (9):

$$\text{для строк } x_{\text{нач}} = x_h + \mu F(x_h)$$

$$z_{\text{нач}} = z_h + \eta F(x_h) |\operatorname{ctg} \beta_i|;$$

$$\text{для столбцов } x_{\text{нач}} = x_h + \mu F(z_h) |\operatorname{tg} \beta_i|$$

$$z_{\text{нач}} = z_h + \eta F(z_h),$$

здесь $F(x_h), F(z_h)$ — множители, зависящие от значений дробной части координат, соответственно x_h и z_h , следующим образом:

$$F(x_h) = \begin{cases} \{x_h\}, \mu = -1 \\ 1 - \{x_h\}, \mu = +1 \end{cases}; \quad F(z_h) = \begin{cases} \{z_h\}, \eta = -1 \\ 1 - \{z_h\}, \eta = +1 \end{cases},$$

здесь $\{ \}$ — значение дробной части.

Как видно из рис. 1, проекция β -среза на входе ячейки может пересекать ее границу через строки или столбцы. Для определенности координаты точки пересечения на входе в ячейку обозначим $x_{\text{вх}}, z_{\text{вх}}$. Адреса ячеек X, Z образуются из целочисленной части координат $x_{\text{вх}}, z_{\text{вх}}$. Например, для случая, когда β -срезы располагаются в первом квадранте — $X = [x_{\text{вх}}], Z = [z_{\text{вх}}]$. Так же тривиально вычисляются адреса и для других квадрантов. По вычисленным адресам из соответствующей им ячейки выбираются параметры ГП и совместно с $x_{\text{вх}}, z_{\text{вх}}$ передаются на следующий этап обработки. Вычисление уравнений (9) и этап 2 завершаются, как только просмотрены все β -срезы в соответствии с (7).

Этап 3. В процессе выполнения этого этапа для каждого i -го β -среза осуществляется для ГП, выбранных из таблицы (8), классификация по параметру α . Целью вычислений является преобразование таблицы (5) к виду

$$x_3, y_3 \rightarrow \text{ГПК}, P(x, y, z) \quad (10)$$

Рассмотрим классификацию на примере синтеза земной поверхности, аппроксимированной плоскостями (полигонами) и представленной цифровыми картами таким образом, что в точках пересечения строк и столбцов заданы высоты.

На рис. 2 представлена возможная реализация β_i -среза и геометрические элементы задачи. Ось ординат совпадает с осью y в с/к X, Y, Z , ось абсцисс S совпадает с линией проекции β -среза на плоскость xz . Вдоль оси S выделены отрезки S_{n-1}, S_n , принадлежащие ячейкам. Показаны также высоты $y_1, y_2, \dots, y_n, \dots, y_N$ земной поверхности в точках пересечения β_i -срезом ребер - соединений аппроксимирующих полигонов, где N — номер последней ячейки сцены вдоль направления S . Точка h — центр проекции, через который проходит β_i -срез. Из точки h выходит подмножество проекционных лучей $R(\beta_i)$, которое ограничено ПЛ с параметрами $\alpha_{\min}$ и $\alpha_{\max}$ в соответствии с (6). Условно показаны лучи с параметрами α_{n-1} и α_n , которые задают угловой размер $\Delta\alpha_n$ для n -го ГПК, и j -й ПЛ с параметром α_j .

Операция классификации состоит из следующих шагов:

- поочередно, начиная от S_h , вычисляются тривиально высоты $y_1, y_2, \dots, y_n, \dots, y_N$ с использованием параметров ГПК и $x_{\text{вх}}, z_{\text{вх}}$, определенных на этапе 2;
- для каждой высоты y_n вычисляется параметр $\alpha_n = f(y_n, S_n)$;
- для каждого n -го ГПК определяется $\Delta\alpha_n = \alpha_n - \alpha_{n-1}$.

При этом, если $\Delta\alpha_n \leq 0$, то данный ГПК исключается из дальнейшего рассмотрения, так как закрыт предыдущим ГПК. В случае, если $\Delta\alpha_n > 0$, то все ПЛ, для которых α_j удовлетворяет неравенству

$$\alpha_{n-1} \leq \alpha_j \leq \alpha_n, \quad (11)$$

где $\alpha_j = \frac{\pi}{N_\alpha} \cdot j$; $j \in \{0, \dots, N_\alpha - 1\}$; $N_\alpha = \lceil \pi / \varphi \rceil$; пересекаться с поверхностью этого ГПК;

— в соответствии с (11) формируется линейная таблица для каждого i -го β -среза:

$$\alpha_j \rightarrow (\text{ГПК})_j. \quad (12)$$

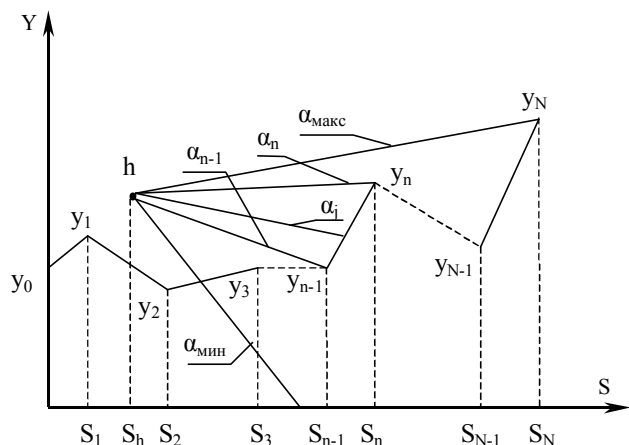


Рис. 2

Таблица (12) является промежуточным этапом классификации. Таким образом, при последовательном прохождении β -среза, начиная от точки S_h , можно каждому ПЛ из анализируемого β -среза поставить в соответствие ГПК, с которым этот луч пересекается, что и составляет суть классификации. Операция классификации ГПК вдоль выбранного β -среза, т.е. заполнение таблицы (12), продолжается до тех пор, пока в соответствии с таблицей (6) не будут просмотрены все ПЛ, либо не будут пройдены все ячейки до N -й включительно. После этого выполняются аналогичные вычисления вдоль следующего β_{i+1} -среза. Просмотр всех β -срезав завершается в соответствии с (7);

— формируется таблица (10) совмещением таблиц (5) и (12), что и является завершающим этапом классификации.

Нахождение точек пересечения для всех ПЛ из таблицы (10) в дальнейшем может быть выполнено, например, итерационным методом [4]. В случае, если точка пересечения с некоторым ГПК не найдена для некоторого α_j -го ПЛ, что обычно может быть на границе двух ГПК, то вычисляется точка пересечения со следующим ГПК, проклассифицированным в порядке нарастания параметра α .

3. Выводы и рекомендации

1. Сканирование по β -срезам с учетом механизма кэширования уменьшает количество обращений к памяти сцены до числа ячеек, пересекаемых β -срезами.
2. Классификация ПЛ по параметрам α и β позволяет просто перестраивать систему визуализации на требуемую угловую погрешность.
3. В рассматриваемом случае АС позволяет поэтапно свести вычисление точки пересечения ПЛ с поверхностью сцены к таблице (10), время обработки которой пропорционально числу элементов разложения изображения (пикселей).
4. Предлагаемый АС целесообразно использовать для синтеза сцены, расположенной на большой площади, например, земной поверхности, представленной цифровыми картами.

Литература: 1. Смирнов А.Я., Мельников Г.Г. Сканирующие приборы. Л.: Машиностроение, 1986. 145 с. 2. Гусятин В.М. Алгоритм геометрических преобразований изображения в системах визуализации тренажеров транспортных средств / Авиационно-космическая техника и технология. Труды ХАИ им. Н.Е. Жуковского за 1997. С.467-471. 3. Гусятин В.М. Оценка точности геометрических преобразований в спецпроцессоре растровой графики // Радиоэлектроника и информатика, 1998. №2. С.118-120. 4. Гусятин В.М. Итерационный алгоритм синтеза изображения в растровой графике реального масштаба времени // Радиоэлектроника и информатика, 1998. №3. С.81-83. 5. Foley J.D., van Dam A., Feiner S.K., Hughes J.F. Computer Graphics (principles and practice) by Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1996. P.1175.

Поступила в редколлегия 31.01.2000

Рецензент: д-р техн. наук Кривуля Г.Ф.

Гусятин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин ХТУРЭ. Научные интересы: теория и практика построения спецпроцессоров растровых графических систем реального времени. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-54, 66-61-22.