

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК 681.323

ИТЕРАЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЯ В РАСТРОВОЙ ГРАФИКЕ РЕАЛЬНОГО МАСШТАБА ВРЕМЕНИ

ГУСЯТИН В.М.

Для метода обратного трассирования предлагается универсальный алгоритм поиска точки пересечения проекционного луча с поверхностями, заданными в неявной форме. Для реализации целесообразно использовать параллельно-конвейерные структуры с простыми арифметическими операциями сдвига, сравнения, сложения и выборки из памяти, число тактов которых определяется в основном точностью вычислений.

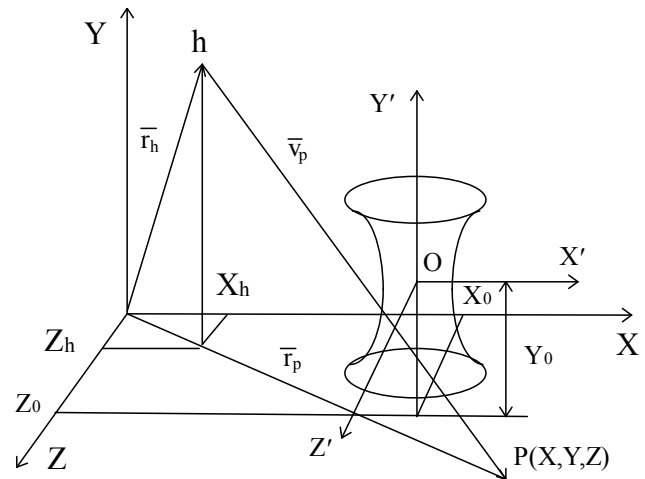
Синтез изображений высокой реалистичности в реальном масштабе времени (РМВ) является задачей, требующей для своего решения больших вычислительных мощностей. Поэтому поиск и разработка алгоритмов, снижающих подобные требования к вычислителям, являются актуальными.

При решении задачи синтеза методом обратного трассирования в растровой графике [1,2] необходимо найти точку пересечения проекционного луча (ПЛ) с поверхностями графического примитива (ГП), моделирующего какой-либо элемент сцены. Существующие алгоритмы разработаны для случая, когда имеется возможность аналитического решения исходной системы [1]. Параллельно-конвейерная структура аппаратной части, реализующей такие алгоритмы, содержит большое количество разнообразных операционных устройств для выполнения времяемких операций умножения, деления, извлечения корня и т.п., а также большое число тактов конвейера при задержках на один такт в пределах единиц наносекунд [3]. Такие сложные структуры предъявляют высокие требования к величине погрешности входных переменных для получения необходимой точности решения на выходе.

Построим итерационный алгоритм на основе математической модели, изложенной в [2].

На рисунке представлены геометрические элементы решаемой задачи. Введена правая система координат (с/к) XYZ, в которой задано положение центра проекции $h(X_h, Y_h, Z_h)$. Положение ГП опре-

делено в (с/к) X'Y'Z', центр которой задан относительно (с/к) XYZ координатами X_0, Y_0, Z_0 . Для определенности на рисунке показан однополостный гиперболоид. Показан также проекционный луч hP, где P есть точка пересечения проекционного луча с любой из базовых плоскостей. К базовым отнесем плоскости XY, XZ, YZ, в которых лежат оси (с/к) XYZ, а также любые другие плоскости, параллельные указанным. Базовые плоскости обычно ограничивают объем геометрически моделируемой сцены.



Геометрические элементы задачи

В соответствии с [2] координаты точки пересечения $P(X, Y, Z)$ проекционного луча с базовыми плоскостями могут быть найдены из векторного уравнения

$$\vec{r}_p = \vec{r}_h + \vec{v}_p \quad (1)$$

Далее распишем (1) через компоненты векторов этого уравнения на оси X, Y, Z:

$$X = X_h + X_p, \quad Y = Y_h + Y_p, \quad Z = Z_h + Z_p, \quad (2)$$

где X_p, Y_p, Z_p – проекции на оси (с/к) XYZ вектора \vec{v}_p , соответствующего на рисунке проекционному лучу hP.

Используя (2), запишем координаты произвольной точки на линии hP в параметрической форме:

$$x = X_h + X_p \cdot t, \quad y = Y_h + Y_p \cdot t, \quad z = Z_h + Z_p \cdot t, \quad (3)$$

где t – параметр; $t \in \{0 \dots 1\}$.

В дальнейшем поверхности, с которыми пересекается ПЛ в пределах одного ГП, считаем предварительно выделенными из всего множества поверхностей до начала работы итерационного алгоритма. Запишем уравнения поверхностей в общем виде:

$$F(X, Y, Z) = 0, \quad F_1(X, Y, Z) = 0, \quad F_2(X, Y, Z) = 0, \quad (4)$$

$$F_1(X, Y, Z) = 0, \quad F_2(X, Y, Z) = 0 \dots F_n(X, Y, Z) = 0. \quad (5)$$

Система (4) описывает ГП в виде поверхности вращения 2-го порядка $F(X, Y, Z) = 0$, ограниченной вдоль оси вращения плоскостями F_1 и F_2 . Система (5) описывает ГП (либо выпуклый многогранник, ограниченный плоскостями $F_1 \dots F_n$, либо, в простейшем случае, одну плоскость).

Решение систем уравнений (3), (4) или (3), (5) для нахождения точек пересечения P_1 и P_2 будем искать итерационным методом. Для этого параметр t запишем в виде

$$t_{k+1} = t_k + \xi_k \cdot \delta_k, \quad (6)$$

где k – номер шага итераций; $k \in \{0, 1, 2 \dots n\}$; ξ_k – коэффициент, задающий направление движения на

k-м шаге итераций, $\xi_k \in \{1, -1\}$; δ_k – величина k-го шага итераций

$$\delta_k = 2^{-k} \quad (7)$$

С учетом (6) система (3) примет вид:

$$x_k = X_h + X_p \cdot t_k, \quad y_k = Y_h + Y_p \cdot t_k, \quad z_k = Z_h + Z_p \cdot t_k \quad (8)$$

Для упрощения записи введем обозначения: $F_i(x_k, y_k, z_k) = F_i(k)$; $F_i(x_h, y_h, z_h) = F_i(h)$, где i – номер поверхности.

Здесь следует подчеркнуть, что $F_i(h)$ не изменяется в течение обработки одного кадра динамического изображения. Перед началом итерационного процесса для каждого пиксела изображения в соответствии с [2] вычисляются параметры ПЛ.

Один шаг итерационного процесса состоит из следующих вычислений:

1. Для выбранной поверхности F_i вычисляется $F_i(h)$ и оцениваются отношения

$$F_i(h) \leq 0; \quad F_i(h) > 0 \quad (9)$$

2. Определяется ξ_k по результатам предыдущего шага (см. далее).

3. Вычисляется t_k в соответствии с (6).

4. Для выбранной плоской поверхности вычисляется $F_i(k)$ и оцениваются отношения

$$F_i(k) \leq 0; \quad F_i(k) > 0 \quad (10)$$

Если выбранной оказывается поверхность вращения, то на каждом шаге вычисляются две величины

$F_k = F(t_k)$ и $\tilde{F}_k = F_k(t_k \pm 2^{-n})$. Выбор знака “ \pm ” не имеет принципиального значения. Для определенности в дальнейшем выберем знак “ $-$ ”.

5. Определяется параметр ΔF_k :

$$\Delta F_k = F_k - \tilde{F}_k \quad (11)$$

и оцениваются отношения

$$\Delta F_k \leq 0; \quad \Delta F_k > 0 \quad (12)$$

Начальные условия для нулевого шага: $k=0$, $t_0=1$, $\xi_0=0$.

В пунктах 1–5 приведен возможный полный набор выполняемых операций на каждом шаге. Однако в зависимости от типа поверхности и результата вычислений на k-м шаге количество операций может изменяться в сторону уменьшения.

Важнейшим моментом в построении итерационного процесса является определение коэффициента ξ_k . Найдем условия для определения ξ_k . Они в существенной мере зависят от типа поверхности, которую пересекает ПЛ. Поэтому дальнейшее рассмотрение построения итерационного процесса выполним на конкретных примерах практически наиболее часто используемых поверхностей.

Пример 1. Пусть $F(X'Y'Z')=0$ – плоскость, заданная в с/к $X'Y'Z'$. Рассмотрим два случая.

Случай 1. Плоскость $F(X'Y'Z')=0$ пересекается ПЛ. Тогда нахождение точки пересечения хорошо сопоставляется с задачей поиска точки на отрезке hP длиной $t_0=1$ в относительных единицах. Наиболее рациональным по аппаратным затратам и числу шагов для достижения заданной точности является метод дихотомии. В нашей задаче ищется экстремум-минимум модуля величины $F(x_k, y_k, z_k) = F_i(k)$ за определенное число шагов. Значение этой величины F_k на k-м шаге удобно выбрать в качестве параметра-индикатора (ПИ), позволяющего оценить ситуацию в итерационном процессе и определить правильное направление следующего шага итерации. Оценку ПИ следует проводить с учетом параметра F_h , указывающего на положение центра проекции h по отно-

шению к плоскости. Параметр F_k в процессе итерации может принимать значения $F_k > 0$, $F_k < 0$, $F_k = 0$. Тогда в общем случае условия определения ξ_k имеют вид

$$\xi_k = \begin{cases} 1, F_k > \varepsilon \\ 0, |F_k| \leq |\varepsilon| \\ -1, F_k < -\varepsilon \end{cases}; \quad \xi_k = \begin{cases} 1, F_k < -\varepsilon \\ 0, |F_k| \leq |\varepsilon| \\ -1, F_k > \varepsilon \end{cases}$$

$$F_h > 0 \quad F_h < 0$$

где ε – допустимая абсолютная погрешность отклонения от нуля величины F_k на последнем шаге итераций.

В случае, когда $\xi_k=0$, при использовании универсального вычислителя итерационный процесс можно завершить, так как координаты текущей точки x_k, y_k, z_k , вычисленные на этом шаге, соответствуют координатам точки пересечения с заданной плоскостью. Однако учитывая, что максимальная производительность достигается при параллельной конвейерной структуре вычислителя, случай $\xi_k=0$ нарушает однородность структуры и ритм работы конвейера.

С учетом изложенного запишем условия определения ξ_k следующим образом:

$$\xi_k = \begin{cases} 1, F_k > 0 \\ -1, F_k \leq 0 \end{cases}; \quad \xi_k = \begin{cases} 1, F_k \leq 0 \\ -1, F_k > 0 \end{cases} \quad (13)$$

$$F_h > 0 \quad F_h < 0$$

В этом случае на последнем шаге итераций $k_{\max}=n$ будут получены координаты точки пересечения ПЛ с плоскостью $F(X'Y'Z')$, не ограниченной в пространстве. На практике ГП – плоскость, всегда ограничена в пространстве каким-либо образом. Поэтому для завершения итерационного процесса следует добавлять еще один шаг, на котором проверяется соответствие полученных координат X_n, Y_n, Z_n отношениям

$$\underline{X} \leq X_n \leq \bar{X}, \quad \underline{Y} \leq Y_n \leq \bar{Y}, \quad \underline{Z} \leq Z_n \leq \bar{Z}, \quad (14)$$

где $\underline{X}, \bar{X}, \underline{Y}, \bar{Y}, \underline{Z}, \bar{Z}$ – допустимые соответственно нижние и верхние значения вычисленных координат плоскости, ограниченной в пространстве.

Случай 2. Плоскость $F(X'Y'Z')=0$ не пересекается ПЛ. Тогда одновременно на нулевом шаге выполняются отношения

$$F_h > 0, F_0 > 0, \text{ либо } F_h < 0, F_0 < 0 \quad (15)$$

В этом случае итерационный процесс завершается на подготовительном нулевом шаге.

Пример 2. Пусть $F(X'Y'Z')=0$ – поверхность вращения 2-го порядка, центральная относительно с/к $X'Y'Z'$. Рассмотрим два случая.

Случай 1. Поверхность $F(X'Y'Z')=0$ не пересекается ПЛ. Необходимым условием существования этого случая является выполнение (15), а также следующих неравенств на каждом шаге итерации в соответствии с (15):

$$F_h > 0, F_k > 0, \text{ либо } F_h < 0, F_k < 0 \quad (16)$$

Достаточным условием существования рассматриваемого случая является выполнение неравенства (16) в точке на ПЛ, наиболее близкой к поверхности $F(X'Y'Z')=0$. Для нахождения этой точки будем исследовать параметр-индикатор ΔF_k . Таким образом, в рассматриваемом случае одновременно вычисляем две величины F_k и \tilde{F}_k , используя на каждом

шаге для этого метод дихотомии. Запишем условия определения ξ_k :

$$\xi_k = \begin{cases} 1, \Delta F_k > 0 \\ -1, \Delta F_k \leq 0 \end{cases}; \quad \xi_k = \begin{cases} 1, \Delta F_k \leq 0 \\ -1, \Delta F_k > 0 \end{cases}. \quad (17)$$

$$F_h < 0 \quad F_h > 0$$

Если по завершении итерационного процесса, т.е. $k_{\max}=n$, ни на одном из k шагов не нарушились пары неравенств (16), то ПЛ не пересекает поверхность.

Случай 2. Поверхность $F(X'Y'Z')=0$ пересекается ПЛ. Итерационный процесс в этом случае строится следующим образом. Если на нулевом и последующих шагах пары неравенств (16) не нарушаются, то для нахождения ξ_k используются условия (17). Как только неравенства (16) на каком-либо шаге нарушились, то, начиная со следующего шага, в качестве ПИ выбираются две величины $F_1(t_k)$ и $F_2(t_k)$, позволяющие одновременно с достижением $k_{\max}=n$ вычислить две точки пересечения ПЛ с поверхностью: соответственно, ближнюю к h и дальнюю от h . Запишем условия определения ξ_k .

Для первой точки P_1 :

$$\xi_k = \begin{cases} 1, F_{1k} > 0 \\ -1, F_{1k} \leq 0 \end{cases}; \quad \xi_k = \begin{cases} 1, F_{1k} \leq 0 \\ -1, F_{1k} > 0 \end{cases}. \quad (18)$$

$$F_h > 0 \quad F_h < 0$$

Для второй точки P_2 :

$$\xi_k = \begin{cases} 1, F_{2k} \leq 0 \\ -1, F_{2k} > 0 \end{cases}; \quad \xi_k = \begin{cases} 1, F_{2k} > 0 \\ -1, F_{2k} \leq 0 \end{cases}. \quad (19)$$

$$F_h > 0 \quad F_h < 0$$

Из (18) и (19) следует, что для случая $F_h < 0$ координаты точек P_1 и P_2 совпадают. В рассматриваемом итерационном процессе на последнем шаге итераций $k_{\max}=n$ будут получены координаты точек пересечения P_1 и P_2 ПЛ с поверхностью. На практике длина поверхности вращения часто ограничивается плоскостями F_1 и F_2 .

Пример 3. Поверхность $F(X'Y'Z')=0$, длина которой ограничена вдоль оси вращения плоскостями $F_1(X'Y'Z')=0$ и $F_2(X'Y'Z')=0$. Нахождение точек пересечения P_1 и P_2 ПЛ с ПП в рассматриваемом примере выполняется следующим образом. Для плоскостей F_1 и F_2 точки пересечения находим в соответствии с примером 1, а для поверхности вращения – в соответствии с примером 2. Итерационные процес-

сы могут выполняться одновременно. По завершении $k_{\max}=n$ шагов необходимо выполнить еще один шаг, на котором устанавливаются истинные точки пересечения. На этом шаге выполняется проверка неравенств. Для координат точек пересечения ПЛ с плоскостями F_1 и F_2 проверяется выполнение неравенств

$$F(X'_1, Y'_1, Z'_1) < 0, F(X'_2, Y'_2, Z'_2) < 0, \quad (20)$$

где X'_1, Y'_1, Z'_1 и X'_2, Y'_2, Z'_2 – координаты точек пересечения ПЛ с плоскостями соответственно F_1 и F_2 , подставленные в уравнение, описывающее поверхность вращения. Для координат точек пересечения ПЛ с поверхностью вращения $F(X'Y'Z')=0$ проверяется выполнение какой-либо пары неравенств.

Для первой точки:

$$F_1(X'_1, Y'_1, Z'_1) \leq 0, F_2(X'_1, Y'_1, Z'_1) \geq 0, \quad (21)$$

либо $F_1(X'_1, Y'_1, Z'_1) \geq 0, F_2(X'_1, Y'_1, Z'_1) \leq 0$, где X'_1, Y'_1, Z'_1 – координаты первой точки, подставленные в уравнения плоскостей F_1 и F_2 .

Для второй точки:

$$F_1(X'_2, Y'_2, Z'_2) \leq 0, F_2(X'_2, Y'_2, Z'_2) \geq 0, \quad (22)$$

либо $F_1(X'_2, Y'_2, Z'_2) \geq 0, F_2(X'_2, Y'_2, Z'_2) \leq 0$, где X'_2, Y'_2, Z'_2 – координаты второй точки, подставленные в уравнения плоскостей F_1 и F_2 .

Совместный логический анализ неравенств (20), (21), (22) позволяет установить, на каких поверхностях оказались истинные точки пересечения.

В заключение отметим, что итерационный алгоритм хорошо реализуется однородной параллельно-конвейерной структурой, число тактов которой определяется требуемой точностью вычислений.

Литература. 1. Иванов В.П., Батраков А.С. Трехмерная компьютерная графика. М.: Радио и связь, 1995. 224 с. 2. Гусятин В.М. Математическая модель геометрических преобразований для спецпроцессоров растровой графики // Радиотехника и информатика. 1997. №1. С. 86-87. 3. Башков Е.А., Зори С.А. Устройство синтеза реалистических изображений устилающей поверхности Земли для систем визуализации тренажеров. Донецк: Сб. трудов ДонГТУ. 1996. С. 148-152.

Поступила в редколлегию 14.09.98

Рецензент: д-р техн. наук Алипов Н.В.

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, 310726, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-54, 66-61-22.

УДК 681.326

БЕЗОПАСНОСТЬ В INTERNET. ВОЗМОЖНОСТИ НОВОГО ПРОТОКОЛА IPv6

ФРАДКОВ С.А.

Описываются новые возможности Internet-протокола IPv6, способствующие усилению безопасного обмена конфиденциальной информацией во всемирной Сети.

В августе 1990 г. на конференции IETF (Internet Engineering Task Force) в Ванкувере впервые обсуждалась проблема неспособности Internet справляться с экспоненциальным ростом числа подключенного к

сети оборудования. Изначально, в 1973 г., Internet должен был соединять около сотни компьютеров. Однако с каждым годом все более многочисленные категории пользователей начали подключаться к созданной сети. Вначале это были научные центры и университеты, потом, в 1992 г., Internet был открыт для коммерческой деятельности, расцвет которой мы можем сейчас наблюдать. Так как размер адреса Internet составляет 32 бита, то количество возможных адресов в нем теоретически равно $2^{32}=4294967296$. Но так как адреса выделяются не последовательно, а в пределах подсетей класса А (16777214 адресов), В (65534 адреса) и С (254 адреса), и так как количество подключенного оборудования удваивается ежегодно, то специалисты предсказывали полный крах всей сети в 1994 г. Опасения оказались преждевременными, но начиная с 1993 г. были приняты срочные