

МЕТОД СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЕКТОРНОЗАДАНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОБРАТНЫМ ТРАССИРОВАНИЕМ В СИСТЕМАХ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

В.М. Гусятин, Н.Е. Семикин

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков

Предлагается метод синтеза изображений сложных векторнозаданных поверхностей, имеющих несколько точек пересечения с проекционным лучом. Предложенный метод является обобщенным методом синтеза поверхностей, заданных в неявной форме. Метод позволяет оптимизировать структуру вычислителя по быстрдействию и по аппаратным затратам. Он может быть применен при проектировании систем визуализации реального времени.

ВВЕДЕНИЕ

Компьютерная графика имеет широкое применение в различных отраслях деятельности человека. Одним из важных направлений является применение её в системах визуализации. Основными требованиями, предъявляемыми к таким системам, являются высокая реалистичность генерируемого изображения и работа в реальном времени [1]. Известно, что высокая реалистичность синтеза изображений может быть достигнута применением метода обратного трассирования [2]. Для синтеза изображений в реальном времени разрабатываются специализированные вычислители высокой производительности. Основной задачей при визуализации аналитически описанных поверхностей в компьютерной графике при использовании метода обратного трассирования является нахождение точки пересечения (ТП) поверхности с проекционным лучом (ПЛ). Целью данной статьи является изложение подхода к построению итерационного алгоритма для нахождения ТП проекционного луча с векторнозаданными поверхностями.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существующие алгоритмы поиска ТП реализуют два подхода: аналитическое решение уравнения и нахождение решений итерационными методами. Рассмотрим достоинства и недостатки каждого подхода.

При вычислении точки пересечения ПЛ с поверхностью аналитическим методом параллельно-конвейерная структура аппаратной части, реализующей такие алгоритмы, содержит большое количество разнообразных операционных устройств для выполнения времяёмких операций умножения, деления, извлечения корня и т.п. и большое число тактов конвейера [3]. К тому же такой подход применим только для поверхностей, описываемых довольно простыми выражениями.

Применение итерационных методов предполагает разработку итерационных алгоритмов (ИТА). Применение ИТА при разработке графических спецпроцессоров (СП) для синтеза изображений в системах визуализации тренажеров транспортных средств позволяет спроектировать вычислитель с параллельно-конвейерной структурой высокой производительности [4]. Число шагов итераций – n определяется требуемой точностью вычислений. Известны итерационные алгоритмы [4,5], работающие с довольно узким набором примитивов, который составляют поверхности 1-го и 2-го порядков, заданные в неявном виде. В работе [6] для расширения номенклатуры примитивов предложено использовать векторнозаданные поверхности при геометрическом

описании объектов. В связи с этим построение ИТА для синтеза изображений таких поверхностей методом обратного трассирования является актуальной задачей.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДА

Для построения алгоритма поиска точки пересечения ПЛ с векторно-заданными поверхностями используем основные понятия и определения, принятые автором в работах [3-5]. По аналогии с [5] алгоритм будем строить таким образом, чтобы на каждом шаге итерационного процесса (ИП) определялся более чем один разряд искомого числа N . Обозначим количество разрядов, определенных на одном шаге n_1 . Для упрощения полученных соотношений будем также полагать, что n – число, кратное n_1 , т.е.

$$n = K \times n_1, \quad (1)$$

где K – число шагов итераций нового алгоритма.

В соответствии с [3] координаты точки пересечения $P(X,Y,Z)$ проекционного луча с плоскостями базовой системы координат (с/к) XYZ могут быть найдены из векторного уравнения

$$\vec{r}_p = \vec{r}_h + \vec{v}_p. \quad (2)$$

На рис. 1 представлены геометрические элементы задачи.

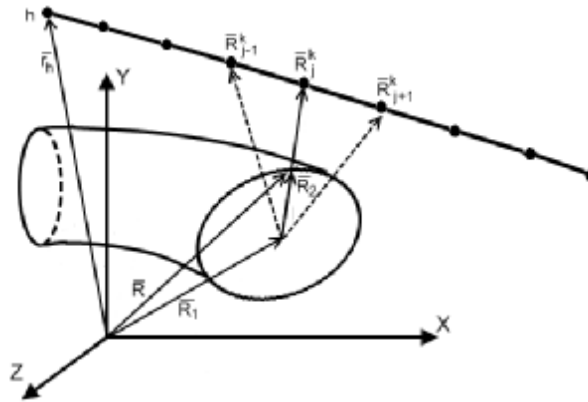


Рисунок 1 – Геометрические элементы задачи

На рис. 1 показана с/к XYZ , в которой заданы радиус-вектор \vec{R} , задающий поверхность, а также ПЛ – итерационный отрезок he .

По аналогии с [4] запишем координаты произвольной точки на ПЛ в параметрической форме:

$$x = X_h + \Delta X \cdot t, \quad y = Y_h + \Delta Y \cdot t, \quad z = Z_h + \Delta Z \cdot t, \quad (3)$$

где $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – проекции на оси с/к XYZ итерационного отрезка he , соответствующего ПЛ в методе обратного трассирования в [3];

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

По аналогии с [4,6] считаем, что до начала работы итерационного алгоритма поверхности, с которыми пересекается ПЛ, предварительно определены. Причем в классификационном описании, предложенном

авторами [6], в каждом домене выделяются участки поверхности с числом возможных ТП не более трех.

Уравнение поверхности запишем в векторнозаданной форме. В векторном методе предполагается [7], что поверхности задаются радиус-вектором \bar{R} , состоящим из набора слагаемых векторов \bar{R}_i :

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \bar{R}_i(u, v), \quad (4)$$

где u, v — параметры, на которых в общем случае могут быть определены поверхности.

Совместное решение уравнений (2), (4) для нахождения точки пересечения $P(X, Y, Z)$ ПЛ с поверхностью будем искать итерационным методом. Для построения ИП параметр t запишем в виде

$$t_k = t_{k-1} + \eta_k \times \delta_k, \quad (5)$$

где k — номер шага итераций, $k \in \{1, 2, \dots, K\}$;

δ_k — квант k -го шага итераций, $\delta_k = 2^{-n_1 \cdot k}$;

η_k — положительный коэффициент, определяющий количество используемых квантов на k -м шаге итераций.

В отличие от [5] в соответствии с предлагаемым методом в нашей задаче (рис.1) будем искать экстремум-минимум некоторой величины разности ΔR_j^k среди элементов множества $\bar{R}_j^k(X, Y, Z)$ (в дальнейшем для упрощения записи — \bar{R}_j^k), вычисляемых на каждом k -м шаге на отрезке не следующим образом:

$$\begin{aligned} \bar{R}_j^k &= \bar{R}_j^k \{ [X_h + X_p(t_{k-1} + j \cdot \delta_k), \\ & [Y_h + Y_p(t_{k-1} + j \cdot \delta_k), \\ & [Z_h + Z_p(t_{k-1} + j \cdot \delta_k)] \}, \end{aligned} \quad (6)$$

где j — индекс, задающий номер элемента множества \bar{R}_j^k , $j \in \{0, 1, \dots, J\}$, $J = 2^{n_1}$.

Разности вычисляются следующим образом:

$$\Delta R_j^k = |\bar{R}_j^k| \cdot |\bar{R}(j, k)|, \quad (7)$$

где $\bar{R}(j, k)$ — вектор, определенным образом задающий значение точек на поверхности для каждого элемента множества $\{\bar{R}_j^k\}$.

По аналогии с [4, 5] определим элементы множества ΔR_j^k как параметры-индикаторы (ПИ). В общем случае совместный анализ величин и знаков ПИ или их разностей позволяет определить стратегию движения в процессе итераций. Цель каждого k -го шага — определение отрезка на ПЛ (в дальнейшем — выделенный отрезок), в границах которого может находиться результат совместного решения уравнений (2), (4). Здесь важно отметить, что на каждом следующем шаге ИП

выделенный отрезок уменьшается в J раз. Величина η_k в (5) определяется на каждом шаге ИП по результатам анализа ΔR_j^k .

АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЙ

В соответствии с методом строим итерационный алгоритм, который на каждом шаге определяет n_j разрядов искомого числа N , начиная со старших. Каждый шаг ИП состоит из следующих вычислений.

3.1 Для выбранной поверхности \bar{R} вычисляются элементы множества \bar{R}_j^k и соответствующие им элементы множества первых разностей ΔR_j^k . При этом возможны два случая.

Случай 1. Все элементы множества ΔR_j^k имеют один знак. Тогда анализ элементов ΔR_j^k состоит из следующих этапов.

Этап 1. Определяется элемент множества с минимальным значением модуля, т.е. $|\Delta R_j^k|_{\min}$. Пусть это будет некоторый j -й элемент.

Этап 2. Определяются модули вторых разностей

$$\begin{aligned}\Delta^2 R_j^k &= |\Delta R_j^k - \Delta R_{j+1}^k|, \\ \Delta^2 R_{j-1}^k &= |\Delta R_{j-1}^k - \Delta R_j^k|.\end{aligned}\quad (8)$$

Этап 3. Индексы наименьшего модуля второй разности, определенной на этапе 2, принимаются в качестве индексов выделенного отрезка. Пусть это будут индексы j и $j+1$. Назовем их соответственно начальный и конечный индексы.

Этап 4. Коэффициент η_k на этом шаге равен

$$\eta_k = (j)_k, \quad (9)$$

где $(j)_k$ – начальный индекс выделенного отрезка на k -м шаге.

Случай 2. Элементы множества ΔR_j^k имеют разные знаки. Причем если поверхность \bar{R} не замкнута (например, плоскость или гиперболический параболоид и др.), то набор отношений для ΔR_j^k может иметь такой характер распределения знаков:

$$\Delta R_0^k > 0; \Delta R_1^k > 0; \dots; \Delta R_j^k > 0;$$

$$\Delta R_{j+1}^k \leq 0; \dots; \Delta R_J^k < 0,$$

либо

$$\Delta R_0^k < 0; \Delta R_1^k < 0; \dots; \Delta R_j^k \leq 0;$$

$$\Delta R_{j+1}^k > 0; \dots; \Delta R_J^k > 0.$$

(10)

Тогда для отношений (10) имеем один выделенный отрезок с индексами $j, j+1$ и коэффициент $\eta_k = (j)_k$.

Если поверхность замкнута (например, сфера и др.), отношения могут иметь вид

$$\begin{aligned} \Delta R_0^k &> 0; \Delta R_1^k > 0; \dots; \Delta R_j^k > 0; \\ \Delta R_{j+1}^k &\leq 0; \Delta R_{j+2}^k < 0; \dots; \\ \Delta R_{j+5}^k &\leq 0; \Delta R_{j+6}^k > 0; \dots; \Delta R_j^k > 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Для отношений (11) имеем два выделенных отрезка с индексами j , $j+1$ и $j+5$, $j+6$ и соответственно коэффициентами $\eta_k = (j)_k$ и $\eta_k = (j+5)_k$.

В случае (11) далее могут выполняться два ИП для каждого из выделенных отрезков, если поверхность прозрачна и необходимо найти две точки ТП. Либо один ИП для выделенного отрезка с меньшим индексом, если поверхность непрозрачна. Аналогично поступают, когда в классификационном описании объекта в каждом домене выделяются участки поверхности с числом возможных точек пересечения ПЛ не более трех. В этом случае далее могут выполняться три ИП.

3.2 Вычисляется параметр t_k с учетом полученных η_k на k -м шаге. Начальное условие $t_{нач} = t_0 = 0$.

3.3 Вычисления по пп. 3.1, 3.2 продолжаются до $k = K$. Если ни на одном из шагов итераций не выполнялись отношения (10), (11), то точка пересечения ПЛ с поверхностью \bar{R} отсутствует. При выполнении отношений (10), (11) хотя бы на одном шаге ТП существует. Причем координаты этой точки равны координатам любой из границ выделенного отрезка на последнем шаге ИП.

На рис. 2 приведены результаты моделирования предложенного метода синтеза изображений объектов с векторнозаданными поверхностями.

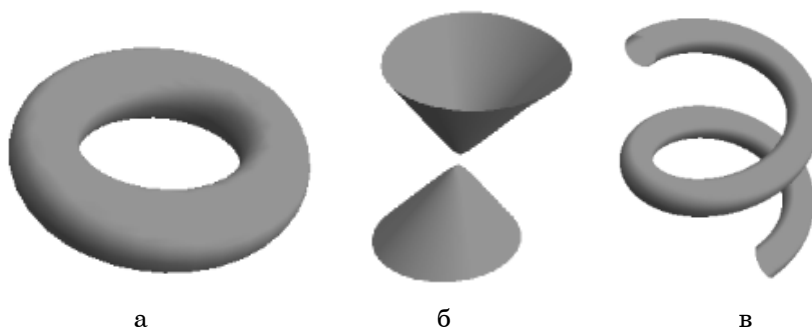


Рисунок 2 – Примеры моделирования предложенным методом (а — торoid; б — двуполостной гиперолоид; в — спираль)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Предлагаемый метод построения итерационных алгоритмов поиска точки пересечения ПЛ с векторнозаданной поверхностью является обобщением метода, изложенного в [5], с сохранением всех его положительных свойств. При использовании данного метода существенно расширяется набор графических примитивов, что делает возможным выполнять синтез изображений объектов с весьма сложной геометрической формой при небольшом объеме исходных данных. Метод позволяет уменьшить число итераций и, как следствие, длину конвейера. С уменьшением числа итераций увеличивается параллелизм вычислений,

что в целом повышает производительность системы визуализации. Для рассмотренного метода оказывается возможным оптимизировать структуру вычислителя по критериям числа шагов итераций и аппаратным затратам без потери точности вычислений.

SUMMARY

RAY-TRACING IMAGE SYNTHESIS METHOD OF VECTOR-DESCRIBED SURFACES FOR VISUALIZING SYSTEMS

V.M. Gusyatin, N.Ye. Semikin

The image synthesis method of vector-described surfaces that have some cross points is proposed. The proposed method is generalization of surface synthesis method that described by implicit form. This method allows to optimize the processor structure by performance and by hardware expenses. The method can be used in real-time visualizing system projecting.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башков Е.А., Зори С.А. Устройство синтеза реалистических изображений устилающей поверхности Земли для систем визуализации тренажеров //Сб. трудов ДонГТУ. – Донецк,1996. – С.148-152.
2. Foley J.D., van Dam A., Feiner S.K., Hughes J.F. Computer Graphics (principles and practice) by Addison-Wesley Publishing Company, Inc. - 1996. – 1175 p.
3. Гусятин В.М. Алгоритм геометрических преобразований изображения в системах визуализации тренажеров транспортных средств // Авиационно-космическая техника и технология. Труды ХАИ им. Н.Е. Жуковского. – Харьков, 1997. – С.467-471.
4. Гусятин В.М. Итерационный алгоритм синтеза изображения в растровой графике реального масштаба времени //Радиоэлектроника и информатика. – 1998. – №3. – С.81-83.
5. Гусятин В.М. Метод уменьшения итераций в алгоритмах синтеза изображений реального масштаба времени // Радиоэлектроника и информатика. – 2001. – №1. – С.99-100.
6. Гусятин В.М., Семикин Н.Е. Классификационное описание векторнозаданных аналитических поверхностей при формировании изображений методом обратного трассирования в системах визуализации // Вестник НТУ ХПИ. – 2008. –Вып. 24. – С.25-30.
7. Додонов О.Г., Гусятин В.М., Семикин Н.Е. Расширение набора графических примитивов в задачах синтеза изображений методом обратного трассирования // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – Т.10, №2. – С.77- 82.

Гусятин В.М., кандидат техн. наук;
Семикин Н.Е., аспирант

Поступила в редакцию 12 ноября 2008 г.