

УДК 681.323

А. Г. Додонов¹, В. М. Гусятин², Н. Е. Семикин²

¹Институт проблем регистрации информации НАН Украины
ул. Н. Шпака, 2, 03113 Киев, Украина

²Харьковский национальный университет радиоэлектроники
проспект Ленина, 14г, Харьков, Украина

Расширение набора графических примитивов в задачах синтеза изображений методом обратного трассирования

Рассмотрен способ расширения набора графических примитивов, который используется при формировании поверхности объектов в системах визуализации тренажеров транспортных средств, спроектированных на основе метода обратного трассирования. Расширение достигается за счет использования векторного способа описания поверхностей вместо алгебраических уравнений в неявной форме.

Ключевые слова: прямое и обратное трассирование, примитив, синтез изображения, вектор, поверхность.

Анализ литературы и постановка проблемы

В настоящее время существует два подхода к синтезу изображения: прямого и обратного трассирования. Метод обратного трассирования позволяет формировать более реалистичные изображения, чем прямой метод, за счет того, что он работает с аналитически заданными поверхностями [1]. Это особенно важно при построении систем визуализации (СВ) для тренажеров (авиационных, космических и других).

В настоящее время для синтеза изображений поверхностей, заданных алгебраическими уравнениями в неявной форме записи поверхности, разработаны итерационные алгоритмы (ИТА), которые хорошо адаптированы для метода обратного трассирования [2]. Однако эти поверхности предоставляют достаточно узкий набор примитивов. Параметрическое задание поверхностей описывает гораздо больший класс фигур. Поэтому этот метод получил широкое применение в графических редакторах, которые формируют высоко реалистичные изображения (3ds Max, Maya). Однако параметрическое описание требует больших вычислительных затрат при формировании изображения, что затрудняет его применение в СВ реального времени [3]. Удобной формой аналитического описания поверхностей при синтезе методом обратного трассирования следует считать векторную запись. В отличие от алгебраической неявной формы записи поверхности, вектор-

© А. Г. Додонов, В. М. Гусятин, Н. Е. Семикин

ная является более универсальной, т.е. позволяет описывать более широкий класс поверхностей. Кроме того, такая форма представления позволяет использовать итерационные методы вычисления точек пересечения проекционного луча (ПЛ) с поверхностью для их визуализации методом обратного трассирования. Поэтому актуальным является исследование возможностей применения векторной формы описания поверхностей в задачах синтеза изображений при построении высоко реалистичных СВ тренажеров транспортных средств.

Цель статьи — показать возможность использования векторной формы аналитического описания сложных поверхностей для расширения существующего класса аналитически заданных примитивов с целью дальнейшего ее применения при визуализации объектов из этих примитивов методом обратного трассирования.

Векторное описание аналитических поверхностей

Векторный метод предполагает, что поверхности задаются радиус-вектором \bar{R} , состоящим из набора векторных компонент:

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

где u, v — параметры, на которых определены поверхности; \bar{R}_i — векторные компоненты, представляющие собой определенные функциональные зависимости.

Рассмотрим примеры задания поверхностей с помощью (1).

Пример 1. Рассмотрим пример простой поверхности — эллипсоид (рис. 1). Для этого достаточно двух векторов: вектор R_1 задает смещение вдоль оси Y, а вектор R_2 описывает сечение поверхности плоскостью, параллельной XZ:

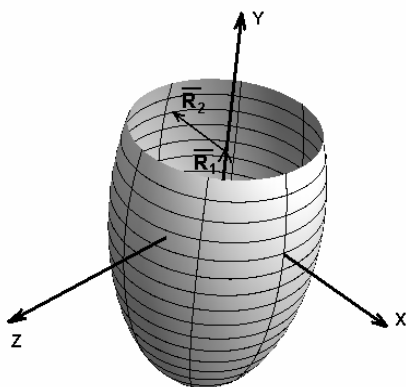


Рис. 1. Векторно заданный эллипсоид ($a = c = 1; b = 2$) (2)

$$n = 2;$$

$$\bar{R}_1 = \bar{R}_1(y) = \bar{R}_1 \begin{bmatrix} 0 \\ y \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$\bar{R}_2 = \bar{R}_2(\varphi, y) = \bar{R}_2 \begin{bmatrix} ac \sin \varphi \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \\ 0 \\ ac \cos \varphi \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \end{bmatrix};$$

$$\varphi \in [0; 2\pi]; y \in [-b; 0,5b].$$

Вместе с заданием простых квадратичных поверхностей, векторный способ позволяет описывать более сложные их аналоги.

Пример 2. Задание эллипсоида с поверхностным рельефом (рис. 2). Формула описания аналогична (2), но в функцию сечения добавлены тригонометрические зависимости от y и φ :

$$n = 2,$$

$$\overline{R}_1 = \overline{R}_1(y) = \overline{R}_1 \begin{bmatrix} 0 \\ y \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$k = d + e \cdot \sin(10\varphi) \cdot \cos(9y), \quad (3)$$

$$\overline{R}_2 = \overline{R}_2 \begin{bmatrix} k \cdot ac \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \sin \varphi \\ 0 \\ k \cdot ac \sqrt{1 - \frac{y^2}{b^2}} \cos \varphi \end{bmatrix},$$

$$\varphi \in [0; 2\pi]; y \in [-2; 2].$$

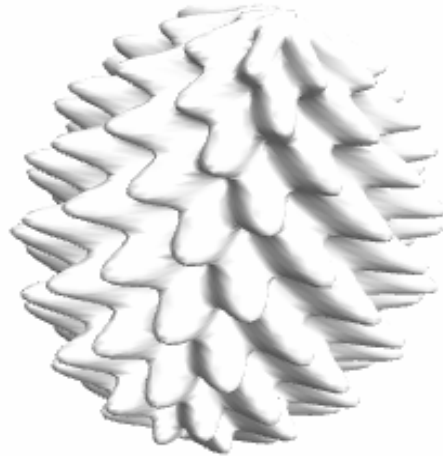


Рис. 2. Эллипсоид с поверхностным рельефом ($a = 1; b = 2; c = 1,3; d = 1; e = 0,4$)

Наряду с заданием простых поверхностей и их усложненных вариантов, векторный способ позволяет формировать другие классы сложных поверхностей.

Пример 3. Построим сложную спиралевидную фигуру (рис. 3). Для этого достаточно двух векторов. Тогда (1) принимает вид:

$$\overline{R} = \overline{R}_1 + \overline{R}_2. \quad (4)$$

Вектор \overline{R}_1 задает спиральную ось фигуры как зависимость от угла поворота φ . Вектор \overline{R}_2 описывает сечение фигуры и является зависимостью от φ и y — угла поворота в плоскости сечения.

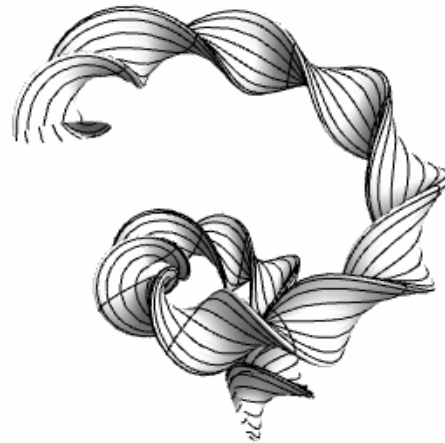


Рис. 3. Спиральная фигура с винтовым сечением ($R = 0,7; r = 0,8; k = 0,5; a = 0,2; b = 0,16; c = 0,64$)

$$n = 2,$$

$$\overline{R}_1 = \overline{R}_1(\varphi) = \overline{R}_1 \begin{bmatrix} (R + a \cdot \varphi) \sin \varphi \\ k \cdot \varphi \\ (R + a \cdot \varphi) \cos \varphi \end{bmatrix},$$

$$\overline{R}_2 = \overline{R}_2(\varphi, \gamma) = \overline{R}_2 \begin{bmatrix} \sin \varphi \cdot (c \cdot \cos \gamma \cdot \cos(4\varphi) + b \cdot \sin \gamma \cdot \sin(4\varphi)) \\ b \cdot \sin \gamma \cdot \cos(4\varphi) - c \cdot \cos \gamma \cdot \sin(4\varphi) \\ \cos \varphi \cdot (c \cdot \cos \gamma \cdot \cos(4\varphi) + b \cdot \sin \gamma \cdot \sin(4\varphi)) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\varphi \in [0; 11]; \gamma \in [0; 2\pi].$$

Пример 4. На рис. 4 приведена сложная спиральная фигура — «улитка». Она, как и предыдущие примеры, содержит в себе полость:

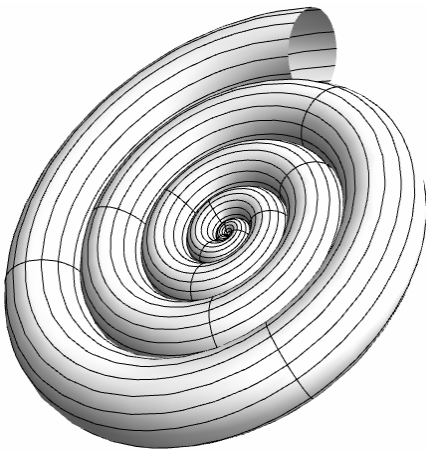


Рис. 4. Спиральная фигура «улитка» ($a = 0,01$)

$$n = 2;$$

$$\overline{R}_1 = \overline{R}_1(\varphi) = \overline{R}_1 \begin{bmatrix} R(\varphi) \cdot \sin \varphi \\ 0 \\ R(\varphi) \cdot \cos \varphi \end{bmatrix},$$

$$R(\varphi) = a\varphi + 2a \sum_{i=0}^{k(\varphi)-1} (2\pi \cdot i + m(\varphi)),$$

$$m(\varphi) = \varphi - 2\pi \cdot k(\varphi),$$

$$k(\varphi) = \left\lfloor \frac{\varphi}{2\pi} \right\rfloor,$$

(6)

$$\overline{R}_2 = \overline{R}_2(\varphi, \gamma) = \overline{R}_2 \begin{bmatrix} a\varphi \cdot \sin \varphi \cdot \cos \gamma \\ a\varphi \cdot \sin \gamma \\ a\varphi \cdot \cos \varphi \cdot \cos \gamma \end{bmatrix},$$

$$\varphi \in [0; 10\pi]; \gamma \in [0; 2\pi],$$

где a — коэффициент увеличения радиуса от угла поворота; $X = \lfloor x \rfloor$ — операция округления x до ближайшего целого числа $X \leq x$.

Примитивы, заданные на интервалах. Векторный метод описания поверхностей позволяет усложнять форму примитивов, определяя их на интервалах области определения параметров. Пример такого примитива — условная модель ракеты (рис. 5):

$$\begin{aligned}
 n &= 2; \\
 \overline{R}_1 &= \overline{R}_1(y) = \overline{R}_1 \begin{bmatrix} 0 \\ y \\ 0 \end{bmatrix}; \\
 \overline{R}_2 &= \overline{R}_2(\varphi, y) = \overline{R}_2 \begin{bmatrix} r(\varphi, y) \cdot \sin \varphi \\ 0 \\ r(\varphi, y) \cdot \cos \varphi \end{bmatrix}; \\
 r(\varphi, y) &= \begin{cases} a + (\sin(5\varphi) - 1) \cdot \frac{yd}{c}; & -c \leq y \leq 0 \\ a; & 0 \leq y \leq b \\ (e - \frac{y-b}{e}a); & b \leq y \leq b+e \end{cases} \\
 \varphi &\in [0; 2\pi]; y \in [-c; b+e],
 \end{aligned} \tag{7}$$

где a — радиус цилиндра; b — высота цилиндра; c — высота оперения ракеты; d — увеличение радиуса оперения; e — высота конуса; $r(\varphi, y)$ — кусочно-заданная функция, описывающая зависимость модуля вектора \overline{R}_2 от угла поворота φ и координаты y .

Преимуществом примитива, заданного на интервалах, перед совокупностью отдельных примитивов является то, что для его визуализации необходимо запускать только один ИТА для каждого луча. Если объект (рис. 5) составить из нескольких примитивов, то при визуализации необходимо выполнить ИТА для каждого примитива на каждом луче.

Следует отметить, что векторное задание поверхности позволяет просто формировать параметры-индикаторы [2], которые определяют инцидентность заданной точки к поверхности. Это свойство векторной формы записи поверхности важно для построения итерационных методов синтеза изображения [2]. Таким образом, аналитическая запись многих поверхностей в виде соотношения (1) является более приемлемой записью, чем ал-

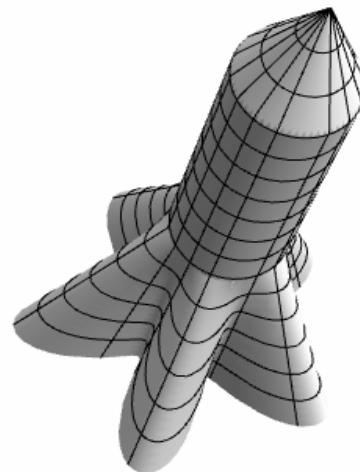


Рис. 5. Примитив, заданный на интервалах ($a = 0,2$; $b = 1$; $c = 0,8$; $d = 0,2$; $e = 0,4$)

гебраическая в неявной форме. В дальнейших публикациях авторы предполагают привести результаты построения итерационных методов для нахождения точек пересечения ПЛ с поверхностью, представленной в векторной форме. Векторная форма описания аналитических поверхностей позволяет задавать более широкий диапазон поверхностей, чем алгебраическая неявная форма записи, что расширяет набор примитивов, используемых при синтезе изображений объектов методом обратного трассирования в системах визуализации реального времени.

1. *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.

2. *Гусятин В.М.* Итерационный алгоритм синтеза изображения в растровой графике реального масштаба времени. — Харьков: ХТУРЭ / Радиоэлектроника и информатика. — 1998. — № 3. — С. 81–83.

3. *Campagna S., Slusallek P., Seidel H.P.* Ray Tracing of Spline Surfaces: Bezier Clipping, Chebyshev Boxing, and Bounding Volume Hierarchy — A Critical Comparison with New Results // *The Visual Computer*. — 1997. — Vol. 13, N 6. — P. 265–282.

Поступила в редакцию 10.06.2008