

Визуализация двумерных и трехмерных векторных полей.

Ечкина Евгения Юрьевна, Иновенков Игорь Николаевич, Павлова Ольга Анатольевна
Россия, Москва, МГУ, ВМиК

Аннотация

Данный доклад посвящен визуализации 2D и 3D полей методом поверхностных частиц, который позволяет представить как структуру, так и направление и интенсивность поля. Описание метода включает в себя модель закрасивания частиц и их отображение на экран. Представлена программа, которая при помощи этого метода производит визуализацию 3D и 2D векторных полей.

Ключевые слова: *поверхностная частица, силовая линия, поверхность тока.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Пересоединение (перезамыкание) силовых линий магнитного поля играет важную роль в космической и лабораторной плазме. Изменение топологии магнитного поля, которым сопровождается магнитное перезамыкание предполагает использование для его описания 2D и 3D моделей. Для физических процессов пересоединения применяются методы численного моделирования, графическое представление результатов которых позволяет понять особенности динамики поведения плазмы.

Для визуализации 3D векторных полей, с помощью которых описываются магнитные поля, разработано много методов.

Простейшим подходом является изображение поля при помощи стрелок, каждая из которых показывает направление и интенсивность поля в точках 3D шаблона. Однако проекции стрелок на двумерный экран могут привести к неправильной интерпретации полученных результатов, поэтому чаще векторные поля представляются с помощью силовых линий, которые позволяют лучше понять структуру поля.

Рассмотрим поле

$$\mathbf{v}(x, y, z) = \{v_x(x, y, z), v_y(x, y, z), v_z(x, y, z)\} \quad (1.1)$$

тогда уравнение его силовых линий может быть записано в виде следующей системы ОДУ (обыкновенных дифференциальных уравнений):

$$\frac{dx}{v_x} = \frac{dy}{v_y} = \frac{dz}{v_z} \quad (1.2)$$

Хотя силовые линии предоставляют мощный инструмент для исследования 2D полей, они не очень хорошо подходят для визуализации 3D данных, поэтому в основном применяются для построения поверхностей, лент и трубок тока, что наряду со стандартными методами закрасивания поверхностей

может обеспечить возможность представления всей топологии векторного поля.

Одним из способов изображения силовых линий является метод поверхностных частиц (surface particles) [2], [3]. Поле при таком подходе изображается как множество частиц; их размещением вдоль силовых линий и показом как некоторых геометрических примитивов может быть получено представление о поведении данного поля. При этом образующиеся поверхности не вычисляются прямо, а возникают из коллективного поведения многих частиц. В настоящее время известно несколько модификаций этого метода, один из самых качественных и детальных был предложен Ван Виджином (Van Wijk) [3] в начале 90-х годов.

2. ОПИСАНИЕ МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНЫХ ЧАСТИЦ.

Поверхностная частица имеет очень маленький размер, поэтому форма такой частицы неважна, и она может рассматриваться просто как точка с нормалью (нормаль к ней может быть вычислена как сумма нормалей к треугольникам, образованным этой точкой и ее ближайшими соседями). Для вычисления интенсивности I поверхности такой частицы используется стандартная модель освещенности, учитывающая интенсивность рассеянного и диффузного отражения [3].

После вычисления освещенности частица проектируется на экран. Ее атрибуты - это интенсивность I , позиция на экране $\mathbf{c} = [c_x, c_y]$ и проектируемый на экран вектор $\mathbf{v}^* = [v_x^*, v_y^*]$. Простое присваивание пикселу вычисленной интенсивности I не дает удовлетворительного результата, так как порождает возникновение так называемых aliasing дефектов. Приемлемым решением является распределение полученной интенсивности по некоторой площади экрана, что дает эффект размывания. Для получения этого эффекта хорошим выбором является гауссовское нормальное распределение.

Для описания этого процесса понадобится новая система координат с началом в \mathbf{c} и единичными векторами \mathbf{p} и \mathbf{q} , где вектор \mathbf{p} имеет направление \mathbf{v}^* , а \mathbf{q} - перпендикулярен к нему. Переход от старой системы (x, y)

координат к новой (ξ, η) осуществляется следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix} = \frac{1}{|\mathbf{v}^*|} \begin{bmatrix} v_x^* & v_y^* \\ -v_y^* & v_x^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - c_x \\ y - c_y \end{bmatrix}.$$

Для распределения интенсивности используется двумерное нормальное распределение:

$$f(x, y) = \frac{I}{2\pi\sigma_\xi\sigma_\eta} e^{-r^2/2}, \quad r^2 = \xi^2 + \eta^2, \quad (2.1)$$

$$\sigma_\xi = w_s + w_t |\mathbf{v}^*|, \quad \sigma_\eta = w_s, \quad \text{где } w_s \text{ и } w_t$$

определяют пространственную и временную ширину размывания.

Плотность нормального распределения $f(x, y)$ должна быть оценена для каждого пиксела. Областью определения этой функции является прямоугольник $\Pi = X \times Y$, где $X = [x_{\min}, x_{\max}]$, $Y = [y_{\min}, y_{\max}]$,

$x_{\max} = c_x + k(|\sigma_\xi p_x| + |\sigma_\eta q_x|)$; остальные максимальные и минимальные значения вычисляются аналогично. Затем полученный прямоугольник Π отсекается по границам выводимого окна на экране, и $f(x, y)$ оценивается для всех пикселов усеченного прямоугольника.

3. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНЫХ ЧАСТИЦ.

В настоящем разделе рассмотрены общие характеристики пакета программ, который по алгоритму, описанному в пункте 2, производит визуализацию некоторых типов трехмерных векторных полей. Опишем кратко ее структуру. Векторное поле может быть задано либо в виде формулы (1.1), либо каждая из его компонент задается в узлах трехмерной сетки и хранится в файле (для экономии места на жестком диске используются бинарные файлы). В этом случае каждая из компонент трилинейно интерполируется внутри элементарной ячейки (в кубике - в простейшем случае). Будем представлять структуру поля в виде силовых линий, определяемых системой (1.2): Эта система решается численно, причем метод интегрирования выбирается в зависимости от требуемой точности. Пусть x_i, y_i, z_i - решение системы на шаге i , тогда характеристиками i -й точки являются ее положение в пространстве $\{x_i, y_i, z_i\}$ и вектор $\{v_{ix}, v_{iy}, v_{iz}\}$; сопоставим ей некоторую поверхностную частицу. Для начала счета необходимо знание начальных значений $\{x_0, y_0, z_0\}$. Эти значения, так же как величина шага интегрирования h , задаются в виде произвольных функций от j , где j - номер соответствующей силовой линии; их количество K и число точек сетки N (оно может быть своим для каждой силовой линии) являются входными параметрами программы.

При отображении точки на экран будем использовать центральное (перспективное) проектирование, а затем сопоставим каждому пикселу экрана интенсивность (тон) согласно алгоритму вычисления интенсивности $f(x, y)$ (2.1) поверхностной частицы.

На рисунках 1 и 2 представлены примеры векторных полей, полученных с помощью данного метода.

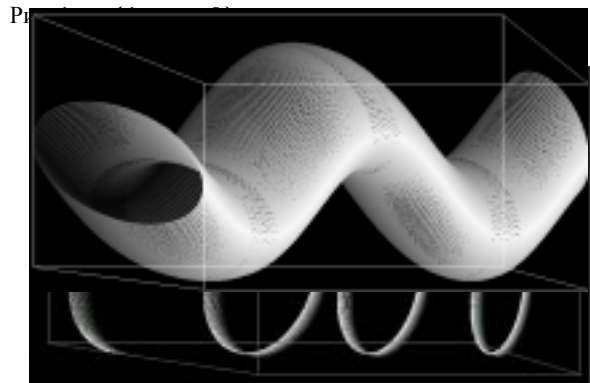


Рис. 2. $\mathbf{v} = \{1, x, -y\}$

Annotation

This paper presents visualization 2D and 3D vector fields with the method of the surface particles. This method describes a shading model of the particle and its projecting to the screen. We demonstrate a programme, that visualizes 3D vector fields

ЛИТЕРАТУРА.

1. Е. В. Шикин, А. В. Боресков. Компьютерная графика. ДИАЛОГ МИФИ, 1994.
2. W.T. Reeves. Particle Systems - a Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects. Computer Graphics, 17 (3) 1983, 389-399
3. J. J. van Wijk. Rendering Surface Particles. Proceedings of Visualisation '92, 54-61

Авторы:

Ечкина Е.Ю. аспирантка МГУ ВМиК
E-mail: ejane@cs.msu.su
Телефон: (095)9391886

Иновенков И.Н. доцент МГУ ВМиК
E-mail: inov@cs.msu.su
Телефон: (095)9391886

Павлова О.А. студентка МГУ ВМиК
Телефон: (095)9391886