

9. Кнут Д. Э. Семантика контекстно-свободных языков // Семантика языков программирования.— М.: Мир, 1980.— С. 137—161.
10. Льюиз Ф., Розенкранц Д., Стирнз Р. Теоретические основы проектирования компиляторов.— М.: Мир.— 1979.— 654 с.
11. Watt D. A., Madsen O. L. Extended attribute grammars // Comput. J.— 1983.— 26, N 2.— P. 142—149.

12. Williams M. H. A flexible notation for syntactic definitions // ACM Trans. on Programming Languages and Systems.— 1982.— 4, N 1.— P. 113—119.

Поступила 24.03.86
(после доработки — 09.06.86)

Тел. для справок: 39-62-04 (Пермь)

УДК 681.3.06

Отображение результатов решения дифференциальных уравнений в частных производных на экране графического дисплея

В. П. Боюн, Е. А. Башков, О. А. Авксентьева

Появление новых высокопроизводительных средств ВТ позволяет решать многие актуальные проблемы науки и техники, требующие значительной вычислительной мощности. К ним относятся задачи численного моделирования сплошных сред и автоматизации научных исследований и экспериментов, исследование параметров, режимов изделий и процессов на стадии проектирования в САПР, сводящиеся к многократному решению систем дифференциальных уравнений [1, 2]. При этом важно представить полученные численные результаты наилучшим образом, используя соответствующие методы и средства отображения решения.

В статье исследуется организация графического отображения результатов решения дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) в виде динамических изображений.

В [3—5] предлагаются методы отображения однозначных непрерывных функций двух переменных, заданных аналитически, в частности, алгоритмы удаления невидимых линий, ориентированные на работу с графопостроителем. При реализации этих методов возникают трудности, связанные с выполнением большого количества длинных вычислительных операций (умножения, деления). Причем процессы решения и вывода разделены во времени и выполняются последовательно, а длительность обработки информации и преобразований составляет сотни секунд.

При отображении хода решения ДУЧП на экране графического дисплея можно изобразить итерационный процесс приближения к решению посредством вывода динамических изображений при увеличении числа представляемых данных. При этом период генерации картинки должен составлять не более 20—40 мс.

В общем случае численное решение ДУЧП на плоскости задается в некоторой системе координат $\rho = \{\alpha, \beta, \gamma\}$ в виде таблицы значений одно-

значной функции двух переменных $\gamma = F(\alpha, \beta)$ для α_i, β_j , где

$$\alpha_{\min} \leq \alpha_i \leq \alpha_{\max}, \quad \beta_{\min} \leq \beta_j \leq \beta_{\max}, \\ i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, M.$$

Система координат решения однозначно связана с декартовой системой координат $r = \{x, y, z\}$ соотношением $r = \varphi(\rho)$, в которой задано положение наблюдателя x_n, y_n, z_n . Луч визирования направлен в некоторую среднюю точку отображаемой поверхности с координатами x^*, y^*, z^* , взаимно однозначно связанной с точкой

$$\alpha^* = \frac{\alpha_{\min} + \alpha_{\max}}{2}, \quad \beta^* = \frac{\beta_{\min} + \beta_{\max}}{2}, \quad \gamma^* = \frac{\gamma_{\min} + \gamma_{\max}}{2}.$$

В этой же системе координат задан экран, расположенный перпендикулярно оси визирования на расстоянии d от наблюдателя.

Генерация динамического изображения решения ДУЧП является последовательным процессом. Основные задачи генерации:

- выполнение перехода от системы координат представления решения к декартовой системе координат наблюдателя;
- проецирование отображаемой поверхности на плоскость экрана;
- отсечение невидимой части изображения по границам экрана;
- удаление невидимых линий в отображаемой поверхности.

Описанные преобразования позволяют получить проволочные и каркасные изображения. Для придания пространственного эффекта можно использовать перспективное проецирование. Но картина поверхности, полученная перечисленными методами, является упрощенной и не всегда наглядной. Более реалистичными являются полутонные криволинейные поверхности, для генерации которых требуются значительные вычислительные ресурсы.

При решении ДУЧП чаще всего используются следующие системы координат: декартова, цилиндрическая, полярная. В первом случае переход от системы координат решения ρ к системе координат наблюдателя r достаточно прост. В цилиндрической системе координат область определения функции задается на базовой плоскости радиус-вектором R и углом Θ между этим вектором и направляющей осью Ox . Значение координаты z задается вдоль образующей Oz . Преобра-

зование функции в систему координат наблюдателя $Oxyz$ осуществляется по формулам: $x = R \cos \theta$, $y = R \sin \theta$, $z = z$, реализация которых требует вычисления нелинейных функций и выполнения операций умножения. Формулы перехода от полярной системы координат представления решения к системе координат отображения также требуют значительных затрат времени $x = R \cos \theta \cos \eta$, $y = R \cos \theta \sin \eta$, $z = R \sin \theta$, где каждая точка поверхности описывается радиус-вектором R , заданным углом наклона к базовой плоскости θ и углом между осью Ox и проекцией R на эту плоскость η .

Изображение криволинейных поверхностей на экране дисплея строится посредством кривых, получаемых при помощи сечений [4, 5]. В общем случае каждое сечение представляет собой поверхность особого вида при $\alpha = \text{const}$ или $\beta = \text{const}$. Кривые пересечения решения ДУЧП с указанными секущими поверхностями могут неоднозначно отображаться в системе координат наблюдателя и требуют усложненных алгоритмов обработки. В простейшем случае изображение в системе координат наблюдателя представляется семейством кривых, каждая из которых формируется как результат пересечения отображаемой поверхности семейством параллельных друг другу плоскостей при $x = \text{const}$ и (или) $y = \text{const}$.

Отображение трехмерных поверхностей связано с трудностью их представления на плоскости экрана. Один из известных способов — центральное проецирование. Рассмотрим преобразование координат точки A поверхности в экранную плоскость. Предположив, что луч визирования направлен в среднюю точку изображения, определяем углы ξ и ψ :

$$\cos \xi = \frac{y^* - y_H}{\sqrt{(y^* - y_H)^2 + (x^* - x_H)^2}},$$

$$\cos \psi = \sqrt{\frac{(x_H - x^*)^2 + (y_H - y^*)^2}{(x_H - x^*)^2 + (y_H - y^*)^2 + (z_H - z^*)^2}},$$

где ξ — угол поворота проекции луча визирования наблюдателя на плоскости Ox_0y_0 ; ψ — угол между лучом визирования и плоскостью Ox_0y_0 .

Определение положения точки на экранной плоскости сводится к выполнению операций переноса и поворота в соответствии с углами ξ и ψ . При центральном проецировании, если экран расположен на расстоянии d от наблюдателя, матрица совмещенного преобразования имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} \frac{-x_H \cos \xi + y_H \sin \xi}{d} & -\sin \xi & -\cos \xi \sin \psi & -x_H \cos \xi + y_H \sin \xi \\ \frac{-x_H \sin \xi - y_H \cos \xi}{d} & \cos \xi & -\sin \xi \cos \psi & -x_H \sin \xi - y_H \cos \xi \\ -z_H/d & 0 & \cos \xi & -z_H \\ 1/d & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Матрица P вычисляется один раз перед началом преобразования координат, заключающегося в умножении вектора на матрицу P :

$$|x' y' z' s| = P \times |x y z 1|;$$

$$x_{\text{экp}} = y'/s, \quad y_{\text{экp}} = z'/s.$$

При генерации изображения однозначных поверхностей решается задача удаления невидимых линий. Существующие алгоритмы различаются по типу проекции. При этом, в зависимости от положения наблюдателя, кривые смещаются относительно друг друга. Для определения видимости линий вводятся так называемые верхняя и нижняя границы видимости, образующие результирующую экранную область. Значения узловых точек каждой кривой сравниваются с содержанием верхней и нижней границ видимости. Если точка закрыта результирующей экранной областью, она невидима, в противном случае видима и производится модификация экранной области. В случаях, когда анализируемая точка видима, а предыдущая была невидима или наоборот, с учетом выбранного способа аппроксимации определяют пересечение кривой с верхней или нижней границей видимости. В простейшем случае (при линейной аппроксимации кривой) необходимо выполнять операции умножения и деления.

Второй способ определения видимости точки заключается в проведении луча визирования от наблюдателя в данную точку, поиске координат пересечения его с отображаемой поверхностью и вычисления функции видимости. По значению этой функции определяется расположение анализируемой точки [4].

В [6] описан метод удаления невидимых линий при трехмерных конечно-разностных вычислениях. Он заключается в том, что вся область отображения покрывается трехмерной сеткой с равномерным шагом по осям Ox , Oy , Oz , образуя множество элементарных ячеек. Изображаемый объект покрывает некоторое число таких элементов. Для определения видимости точки в нее проводится луч визирования и по вычисленным номерам ячеек, пересекаемых этим лучом, анализируется, есть ли среди них непрозрачные ячейки, т. е. входящие в описание поверхности, а значит, закрывающие точку. Эти алгоритмы еще более громоздки.

Генерация изображения результатов решения ДУЧП состоит из многократно повторяемых пространственных арифметических операций умножения, деления, вычисления нелинейных функций. В таблице приведено количество основных арифметических операций, необходимых для вычисления одного значения функции на каждом этапе формирования изображения. Указанные операции выполняются над большими массивами чисел, что приводит к значительному времени вычисления.

Время, необходимое для формирования изо-

бражения одной точки, ориентировочно может быть оценено так:

$$T_{\Sigma} > 4t_1 + 30t_2 + 16t_3 + 35t_4$$

или

$$T_{\Sigma} > 4t_1 + T_{\Sigma},$$

где t_1, t_2, t_3, t_4 — времена вычисления нелинейной функции, операции умножения, деления и сложения соответственно; $T_{\Sigma} = t_2 + t_3 + t_4$.

Для отображения функции двух переменных, представленной N сечениями, перпендикулярными оси Ox , M сечениями, перпендикулярными оси Oy , необходимо время $T > N \times M \times T_{\Sigma} + 4t_1$.

Для формирования изображения одной точки на ЭВМ ЕС1022 требуется 2,2 мс, а ЕС1060 — 0,2 мс. Для отображения поверхности, представленной 20 сечениями (M) и 20 значениями функции, определяющими каждое сечение (N), необходимо более 880 мс на ЭВМ ЕС1022 и более 82 мс на ЕС1060. Таким образом, даже генерация изображения на ЭВМ ЕС1060 не обеспечивает требования отображения динамических процессов в реальном времени.

Для сокращения времени вычисления необходимы ускоренные алгоритмы, ориентированные на аппаратную реализацию.

В качестве примера приводится модифицированный алгоритм удаления невидимых линий методом последовательных секущих плоскостей, удовлетворяющий таким требованиям: отображаемое решение задается в виде таблицы значений, вычисленных с равномерным шагом по осям Ox, Oy в системе координат наблюдателя и упорядоченных по x в порядке возрастания y . Точность представления границ видимости в памяти задается шагом дискретизации Δx по оси Ox экранной системы координат. В исходном состоянии верхняя и нижняя границы совпадают и задаются отрезком прямой $y = \text{const}$. Первое сечение поверхности секущей плоскостью предполагается видимым и отрисовывается полностью. Программно формируется выходной массив, состоящий из координат точек видимых частей аппроксимирующих ломаных. Особенностью алгоритма является то, что представление поверхности и поиск точки пересечения кривой с верхней или нижней границей результирующей экранной области осуществляется с использованием аппарата линейной аппроксимации. Каждая узловая точка проверяется на видимость, попадает ли она в результирующую экранную область. Если точка видима и предыдущая была видима, корректируется верхняя или нижняя границы. Если отрезок ло-

Время операции	Замена системы координат		Проецирование на экранную плоскость	Отсечение	Удаление невидимых линий	
	цилиндрическая на декартову	полярная на декартову			Метод секущих	Метод конечно-разностных вычислений
t_1	2	4	—	—	—	—
t_2	2	5	8	2	6	5—15
t_3	—	—	2	2	2	5—15
t_4	—	—	7	6	4	9—25

маной пересекается с одной из границ видимости, производится интерполяция функции на текущем отрезке. Шаг представления функции и шаг интерполяции выбираются кратными двум. Это позволяет операции деления и умножения заменить короткими операциями сдвига, что значительно сокращает время вычисления координат точки пересечения, а следовательно, и корректировки границ.

Такая модификация значительно упрощает алгоритм удаления невидимых линий, и его можно реализовать на более простых и дешевых периферийных процессорах. Такой алгоритм был реализован на терминальной системе УВС-01 на базе микроЭВМ СО-04 и графического дисплея АГЦД-ТВТ-3, подключаемой к мультипроцессорной ВС ЕС2681. Однако для генерации качественного динамического отображения решения ДУЧП, представленного большими массивами значений функции, требуются более высокопроизводительные или специализированные средства вычислительной техники.

1. Малиновский Б. Н., Боюн В. П., Козлов Л. Г. Обработка физической информации в реальном времени // УСИМ.— 1980.— № 5.— С. 106—111.
2. Петерсон В. Л. Вычислительная аэродинамика // ТИИЭР.— 1984.— 72, № 1.— С. 83—97.
3. Альперович Л. З. К вопросу программного обеспечения процедуры удаления невидимых линий в задаче вывода центральной проекции объекта на графический терминал // Программирование.— 1977.— № 3.— С. 39—42.
4. Клименко С. В., Кочин В. Н. Об одном способе изображения поверхностей в машинной графике // Там же.— 1981.— № 2.— С. 56—62.
5. Энджел И. Практическое введение в машинную графику.— М.: Радио и связь, 1984.— 136 с.
6. Hirt C. W., Cook I. L. Perspective displays for three-dimensional finite-difference calculations // Comput. and Fluids.— 1975.— N 3.— P. 293—303.

Поступила 04.04.86

Тел. для справок: 265-54-91 (Киев)

УДК 681.3.06

Анализ опыта реализации диалоговых систем / Л. В. КОРЕВА, И. И. МАЛАШИННИН, О. Л. ПЕРЕВОЗЧИКОВА, Е. Л. ЮЩЕНКО // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 63—69.

Приведены количественные оценки видового соотношения диалоговых систем, включенных в «Каталог диалоговых систем», который издан в 1986 г. Институтом кибернетики имени В. М. Глушкова на основе анкет 433 диалоговых систем, представленных разработчиками в 1982—1985 гг. Охарактеризован состав вошедших в «Каталог» групп диалоговых систем и проанализированы некоторые тенденции их реализации. Табл. 4. Библиогр.: 6 назв.

УДК 681.3.06

МАГ — система построения трансляторов с метаязыком атрибутивных грамматик для мини-ЭВМ / Г. М. КОСТАРЕВ // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 69—73.

Описана система МАГ с метаязыком атрибутивных транслирующих грамматик, предназначенная для формального описания языков и создания трансляторов на мини-ЭВМ, программно совместимых с СМ-4. Приведено описание метаязыка системы, а также состава, структуры, функционирования и генерации транслятора, получаемого с помощью системы МАГ. Ил. 1. Библиогр.: 12 назв.

УДК 681.3.06

Отображение результатов решения дифференциальных уравнений в частных производных на экране графического дисплея / В. П. БОЮН, Е. А. БАШКОВ, О. А. АВКСЕНТЬЕВА // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 73—75.

Исследована организация графического отображения на экране растрового дисплея результатов решения дифференциальных уравнений в частных производных в виде динамических изображений. Предложен модифицированный алгоритм удаления невидимых линий с использованием аппарата линейной аппроксимации для изображений, представленного семейством сечений (кривых) поверхности. Табл. 1. Библиогр.: 6 назв.

УДК 681.3.015:681.3.068

Адаптивное управление диалогом в проектирующих подсистемах многопользовательской САПР РЭА на ЕС ЭВМ / В. И. АНИСИМОВ, Е. Г. БОРОВЦОВ, Г. Д. ДМИТРЕВИЧ // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 76—78.

Рассмотрены вопросы адаптивного управления диалогом в проектирующих подсистемах учебной САПР радиоэлектронных схем ДИСП—ЕС и предложены диалоговые средства, отличающиеся инвариантностью к широкому кругу применений, возможностью настройки на конкретную предметную область и рассчитанные на широкий круг пользователей САПР. Ил. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.3.06+681.32

Магнитоленточная операционная система для комплекса ЕС7920.30 / А. А. ИЛЮКОВИЧ, В. Ю. БОБОЛОВИЧ // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 78—81.

Описана операционная система комплекса дисплеев, построенных на базе ЕС7920 и микроЭВМ «Электроника-81Б». Операционная система включает в себя монитор, отладчик, транслятор с ассемблера, компоновщик, набор сервисных программ. Описана каждая из составляющих операционной системы. Библиогр.: 1 назв.

УДК 681.3.06

Организация обмена с терминалами в проблемно-ориентированной системе / С. А. ИВАНОВ // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 81—83.

Описаны принципы организации мобильного программного обеспечения проблемно-ориентированной интерактивной системы, функционирующей в ОС ЕС. Показана возможность применения в такой системе функциональных программ, написанных для использования в пакетном режиме. Библиогр.: 5 назв.

УДК 519.95

Метод графового представления доказательств формальных теорий / В. Н. ЛАВРИК // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 83—88.

Изложен метод формализации доказательств, базирующийся на концепциях графовой алгоритмической алгебры (G-алгебры). Особенность предлагаемого метода — формализация вывода с помощью специальных структур G-алгебры, чем обеспечивается наглядность и компактность изложения доказательства, а также возможность его реализации на ЭВМ. Рассмотрены примеры построения доказательств из алгебры и геометрии. Ил. 4. Библиогр.: 9 назв.

УДК 681.3.06

Реляционная система обработки данных для ЕС ЭВМ / Ю. А. ШАФРИН, А. М. РЫТИКОВ, Е. Я. РОЙТМАН, М. В. РАШКОВСКИЙ // УСиМ.— 1987.— № 4.— С. 89—95.

В качестве альтернативы промышленным СУБД предложен более простой технологический комплекс для разработки локальных организационно-экономических и научно-технических информационных систем на основе реляционного подхода. Комплекс представляет собой функционально законченную систему обработки данных со встроенной системой терминального опроса и системой программирования прикладных модулей на четырех уровнях пользователя. Обсуждены вопросы оперативной эксплуатации комплекса. Библиогр.: 7 назв.