

4. Арнаутов Г. П., Буланже Ю. Д., Калиш Е. Н. и др. Измерение абсолютной величины ускорения силы тяжести на гравиметрических пунктах Ледово (Москва), Таллин, Тбилиси.— В кн.: Результаты высокоточных гравиметрических измерений. М.: Сов. радио, 1977.
5. Арнаутов Г. П. и др. Измерение абсолютного значения ускорения силы тяжести лазерным баллистическим гравиметром.— Квант. электроника, 1979, т. 6, № 3.
6. Engelman E. Дискретное измерение временных интервалов при помощи пятеричных счетчиков.— Электроника, 1964, № 5.

Поступила в редакцию 17 сентября 1979 г.

УДК 681.3.015

Е. Г. БАБАТ, Н. А. БЕРЕГОВОЙ, А. В. БУШ
(Новосибирск)

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬ С ГРАФИЧЕСКИМ ВВОДОМ-ВЫВОДОМ В ПРИМЕНЕНИИ К БИОФИЗИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ

Изучение деятельности биологических объектов с помощью ЭВМ на математических моделях становится все более распространенным методом исследования. Важным условием эффективности проведения этих работ является обеспечение комфорта контактов «человек — машина». Опыт физиков, которые одни из первых стали использовать ЭВМ для экспериментов с числовыми моделями, показал, что в условиях оперативного графического диалога с задачей «численные» эксперименты получают определенные преимущества по сравнению с «настоящими» [1, 3]. Однако сложность организации графического общения с мощной ЭВМ в значительной мере препятствовала распространению этого опыта. С появлением типовых отечественных мини-ЭВМ, оснащенных графическим дисплеем («Дельта» на базе ЭВМ «Электроника-100И» или «Саратов», «Сигда» для М-6000, ЭПГ для машин серии СМ ЭВМ), была создана аппаратная база для построения вычислителей с возможностями графического ввода-вывода, которые могли бы быть использованы «индивидуально» [2]. Имеется в виду, что такой вычислитель может быть приближен к рабочему месту исследователя, а также оснащен программным обеспечением, ориентирующим его на конкретную форму использования. Большой интерес вызывает возможность проведения на таком вычислителе оперативных вычислений, сопровождаемых работой с изображением. Для организации такого режима работы, как показала практика, эффективно строить графическое расширение системы диалогового программирования.

В ИАиЭ СО АН СССР для «Дельты» [4] был разработан DFOSAL [5] — графическое расширение диалогового языка FOSAL, поставляемого в составе стандартного программного обеспечения ЭВМ «Электроника-100И» и «Саратов» [6].

«Дельта». В состав станции «Дельта» входит графический дисплей, имеющий генераторы векторов и символов, световое перо (СП), буквенно-цифровая клавиатура (БЦК) и функциональная клавиатура (ФК). Набор графических команд дисплея позволяет вычерчивать изображение точками, маркерами; проводить сплошные, штриховые или пунктирные линии; высвечивать тексты буквами малого или большого размера, расположенными вертикально или горизонтально; при этом можно выбирать яркость (обычную или повышенную), задавать мерцание.

Для графического программирования на «Дельте» пользователю

предоставляются два пульта: буквенно-цифровой терминал станции и графический дисплей. Текст программы и ответ на оператор языка FOCAL ASK вводится с буквенно-цифрового терминала; сюда же выводится ответ на операторы языка FOCAL WRITE, TAPE. Для работы с изображением служат экран и средства ввода дисплея (СП, ФК, БЦК).

В описываемых работах использовалась дисплейная станция, содержащая «Саратов-2» с памятью 32 К 12-разрядных слов. Периферия станции, кроме устройств алфавитно-цифрового ввода-вывода (пишущая машинка и алфавитно-цифровой дисплей), включала устройства ввода с перфоленки и вывода на нее.

FOCAL. Основная идея, которая была положена в основу языка FOCAL, являющегося диалектом языка JOSS, — «дать отдельному ученому или инженеру простой путь решения небольших числовых задач без затрат на изучение машины и без объяснения своей задачи профессиональному программисту с последующей проверкой результатов». FOCAL позволяет работать в режиме «настольного вычислителя», т. е. с немедленным выполнением команд, а также в режиме выполнения программы, составляемой как последовательность пронумерованных строк. FOCAL удобен для записи арифметических выражений, позволяет организовать условные вычисления и циклы, дает возможность строить массивы с помощью индексных переменных; правда, поскольку на каждую переменную уходит пять слов памяти, объем массива может быть только очень небольшим. Имеются версии языка FOCAL на 4 и 8 К. Версия языка FOCAL-8 К позволяет работать с большим количеством переменных.

DFOCAL. DFOCAL для «Дельты» стандартной конфигурации, предполагающей 8 К памяти, позволяет работать с языком FOCAL-4 К. В описываемых работах, проводящихся на «Дельте» с памятью 32 К, использовалась версия DFOCAL'a, позволяющая работать с языком FOCAL-8 К.

Пользователю, осуществляющему вычисления на автономной «Дельте», DFOCAL позволяет описать изображение и вывести его на экран, построить редактирующее изображение, организовать графический диалог.

Массивы с изображением (как построенный по описанию в программе, так и редактирующий, созданный с помощью средств ввода дисплея) могут быть выведены на перфоленку и использованы в последующих сеансах работы на «Дельте».

Пользователь DFOCAL'a способен накапливать данные, посчитанные программой, в графическом массиве. Хранимые в такой форме данные могут быть высвечены на экране дисплея, кроме того, их значения могут быть прочитаны и использованы в вычислениях. Причем, применяя графический массив DFOCAL'a, можно работать со значительно большим количеством данных, чем при работе с обычным языком FOCAL (до 560 пар координат), что существенно расширяет возможности работы с массивами.

DFOCAL позволяет видеть динамику построения изображения, что особенно эффективно при работе с моделями нестационарных процессов [3]. Для графического программирования пользователь DFOCAL'a располагает восемью дисплейными функциями. Четыре из них предназначены для построения двумерного изображения. Результатом выполнения каждой из них является удлинение графического массива — помещение в него следующей информации:

FTYP — изобразительные возможности, используемые для текущего фрагмента;

FPOS — координаты;

FTXT — строка текста;

FSKP — адрес перехода.

Четыре других функции позволяют организовать графический диалог:

FAXE — пауза в движении по программе, ожидание ввода координат экрана, задаваемого перекрестием, перемещаемым пером;

FPEN — пауза в движении по программе, ожидание ввода адреса выделенной пером компоненты изображения;

FRDX, FRDY — чтение из графического массива.

Как пример запишем программу на DFOCAL'e, по которой будет построено изображение синусоиды, умноженной на экспоненту:

— 1.1 FOR I = 1,02,4; DO 2.00;

— 1.2 Q

— 2.1 SET Y = 200*FSIN(I*5)*FEXP(1/I) + 600; (1)

— 2.2 SET E = FPOS (E, 230*I, Y); R

Для заказа изобразительных средств надо их перечислить как параметры к **FTYP** (в произвольном порядке через запятую). Например, запишем строку, в которой задано высвечивание строящегося массива линиями (L), точечными (D), повышенной интенсивности (I), чувствительными к световому перу (U), выводимыми компонента за компонентой в режиме кино (C):

1.01 SET E = FTYP (I, L, D, I, U, C). (2)

Что касается редактирующего изображения, то оно строится с помощью светового пера и директив функциональной клавиатуры. С помощью этих директив можно наносить на экран символы, линии и точки, а также проводить операции стирания: убирать символы по одному до конца введенной строки, компоненты по одной или все одного типа, например все точки, линии; можно также стирать все редактирующее изображение, оставляя изображение, построенное программой, нетронутым.

Пользователю, программирующему на DFOCAL'e, интерактивная графика позволяет делать следующее:

формировать и отлаживать графическую иллюстрацию, содержащую двумерное изображение (размещать изображение на экране, подбирать изобразительные средства, добавлять к изображению оформление в виде осей, подписей и т. д.);

объединять в одном кадре разные изображения, полученные, например, во время разных сеансов или по разным программам;

управлять представлением состояния модели (прерывать и запускать вывод движущегося изображения, стирать отдельные участки, задавать высвечивание выделенного участка в другом масштабе и т. д.);

при проведении экспериментов с моделью вводить параметры счета с помощью графических средств ввода.

Работа на дисплее «Дельта». В ИАиЭ СО АН СССР «Дельта», оснащенная DFOCAL'ом, была использована для работы с математической моделью нервной клетки. Система уравнений, описывающих поведение мембраны, и начальные данные взяты из [7]. Доступ к интерактивной графике позволил провести некоторые виды численных исследований с опорой на качественную оценку графической иллюстрации. Можно выделить три типа работ, в которых возможности DFOCAL'a оказались полезными.

Отладка формы представления результатов. DFOCAL очень удобен для формирования графической иллюстрации. С помощью средств DFOCAL'a можно строить различные графические операции. Например, чтобы задать координаты размещения изображения с помощью перекрестия, устанавливаемого в заданной позиции световым пером, достаточно ввести в программу строку, организующую проведение операции ПЕРЕМЕСТИТЬ (X, Y):

SET E = FAXE (0); SET X = FRDX (0); SET Y = FRDY (0).

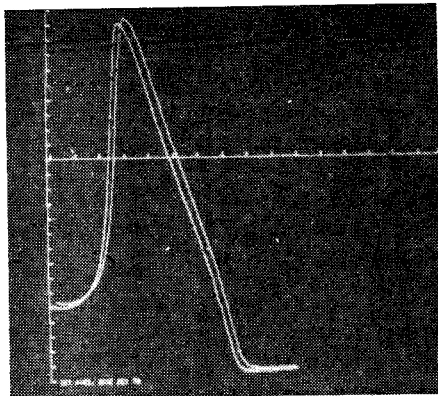


Рис. 1. Отладка расчетных алгоритмов. График зависимости напряжения от времени, посчитанный для разных вычислительных схем с одним и тем же шагом интегрирования (схемы «гибридная» и Рунге — Кутта).

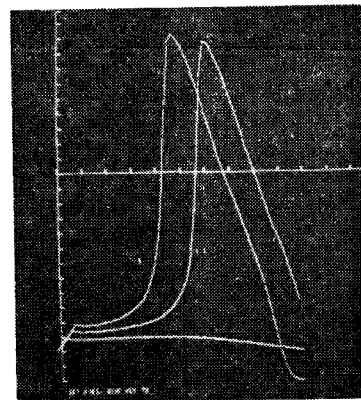


Рис. 2. Поиск порогового значения длительности тока стимуляции, обеспечивающего развитие потенциала действия: две кривые — для надпорогового значения стимуляции, одна — для подпорогового.

Дойдя до этой строки, программа остановится и будет ждать ввода координат. Эти координаты, присвоенные переменным X и Y, используются затем как коэффициенты сдвига в выражении, насчитывающем компоненты размещаемого изображения.

Для того чтобы наложить одно изображение на другое так, чтобы компонента изображения A была общей, в программу помещается строка, описывающая операцию СОВМЕСТИТЬ (A), где A задается с помощью светового пера:

$$\text{SET A} = \text{FPEN (E)}; \text{SET X} = \text{FRDX (A)}; \text{SET Y} = \text{FRDY (A)}.$$

Дойдя до этой строки, программа будет ожидать ввода адреса выделенной компоненты; после ввода координаты, записанные по этому адресу, будут сосчитаны и присвоены переменным X, Y, а затем использованы в выражении, строящем накладываемое изображение (рис. 1). Выделение какого-то участка изображения с тем, чтобы его, например, погасить, может быть соответственно организовано с помощью операции ПОГАСИТЬ (A, B):

$$\text{SET A} = \text{FPEN (E)}; \text{SET B} = \text{FPEN (E)}; \text{SET E} = \text{FSKP (A, B)}.$$

Переменным A и B будут последовательно присвоены адреса выделенных компонент, а обращение к FSKP обеспечит обход выделенного участка изображения при высвечивании.

Графическая отладка алгоритмов. DFOCAL, организуя работу с двумя пультами дисплейной станции, предоставляет пользователю возможность одновременно видеть исполнение программы и графическую иллюстрацию к ее работе. При этом пользователь может не только исследовать модель, но и отлаживать сам алгоритм вычислений, используя работу с графикой. Так, например, в описываемой работе выбор схемы численного интегрирования был проведен непосредственно за пультом дисплея (см. рис. 1). Выбор между тремя схемами — Эйлера, Рунге — Кутта и так называемой «гибридной» [8] — был осуществлен на основе сравнения результатов; визуальная оценка показала, что «гибридная» схема и схема Рунге — Кутта приблизительно совпадают по точности, причем каждая превосходит схему Эйлера. Что же касается времени счета, то счет по «гибридной» схеме идет в два раза быстрее, чем по схеме Рунге — Кутта, что позволило остановить выбор на первой. Шаг счета выбирался также

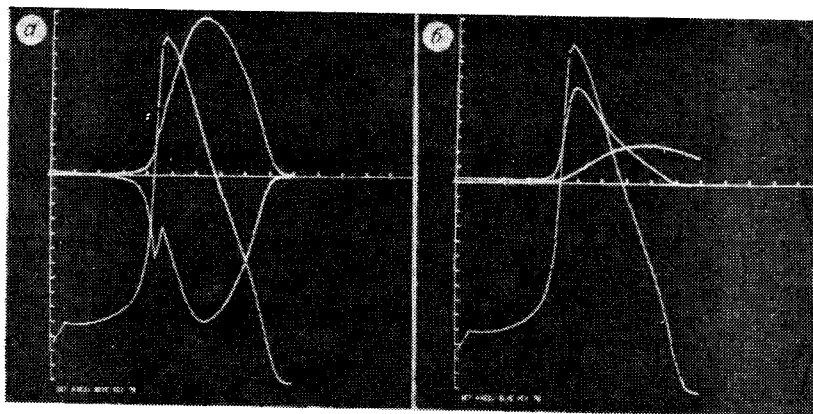


Рис. 3. Кинетика входящего и выходящего ионных токов во время развития потенциала действия:
 а — потенциал действия и токи; б — потенциал действия и проводимости.

по результатам графического сравнения, опиравшегося на получение приемлемой точности при минимальном времени счета. Тем же методом выбранная схема интегрирования проверялась на устойчивость, а именно проверялось соблюдение условия, когда малое изменение начальных данных дает результат, незначительно отличающийся от предыдущего.

Эксперименты с моделью. Фотографии, приведенные на рис. 2, 3, содержат графическую иллюстрацию к проводимым исследованиям. При поиске порогового значения длительности действия тока стимуляции при одной и той же его амплитуде были получены кадры, показанные на рис. 2. По ходу кривой определялись условия, при которых можно наблюдать развитие потенциала действия (подпороговое значение длительности стимуляции). Посчитанные с помощью модели потенциалы действия использовались для оценки «качества» взятых из литературы экспериментальных данных, положенных в основу расчетов (путем сравнения, проводимого также «графически», посчитанных потенциалов с результатами, полученными на живой клетке). Один из результатов выполненных работ приведен на рис. 3, где в одном изображении совмещены кривые токов (рис. 3, а) и проводимостей (рис. 3, б) для надпорогового значения тока стимуляции. Это изображение — графическое описание кинетики входящего и выходящего ионных токов во время развития потенциала действия.

Заключение. Графический диалог при работе на «Дельте», оснащенной DFOCAL'ом, использовался для отладки формы представления результатов, для графической отладки алгоритмов и для экспериментов с самой моделью. В результате численных исследований были получены новые по сравнению с экспериментальными характеристики клеточной мембраны. Опыт работ на «Дельте» [9] показал, что индивидуальный вычислитель ограниченной мощности при наличии средств диалогового графического программирования становится эффективным инструментом для научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Израйлев Ф. М., Чириков Б. В. Численные эксперименты по стабилизации стохастической неустойчивости с использованием дисплея в диалоговом режиме.— Препринт № 74-13. Новосибирск: изд. ИЯФ СО АН СССР, 1974.
2. Ершов А. П. Программирование для мини- и микро-ЭВМ.— Препринт № 53. Новосибирск: изд. ВЦ СО АН СССР, 1977.
3. Бабат Е. Г. Использование машинной графики для решения задач моделирования.— Управляющие системы и машины, 1974, № 3.

4. Ковалев А. М., Котов В. Н., Лубков А. А., Токарев А. С. Графический дисплей «Дельта». — Автометрия, 1974, № 4.
5. Бабат Е. Г. Графическое программирование для автономной дисплейной станции «Дельта». — Препринт № 80. Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1978.
6. ФОКАЛ. Инструкция 0.141.019, 1972.
7. Ходоров Б. И. Общая физиология возбудимых мембран. М.: Наука, 1975.
8. Moore J. W., Ramon F. On Numerical Integration of the Hodgkin and Huxley Equations for a Membrane Action Potential. — J. Theor. Biol., 1974, N 45, p. 249—273.
9. Береговой Н. А., Буш А. В. Математическое моделирование и диалоговая графика в исследованиях мембран нервных клеток. — В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. [Тезисы докл. Всесоюз. конф.]. Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1979, с. 226—227.

Поступила в редакцию 3 августа 1979 г.

УДК 621.317.772

М. К. ЧМЫХ
(Красноярск)

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ФАЗЫ С ДИСКРЕТНОЙ ОРТОГОНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ

При измерении сдвига фаз сигналов перспективным является направление, основанное на ортогональной обработке сигналов [1], алгоритм которого в обобщенной форме имеет следующий вид:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\int_0^{T_{\text{изм}}} s(t) g_c(t) dt}{\int_0^{T_{\text{изм}}} s(t) g_s(t) dt}, \quad (1)$$

где $s(t)$ — входной сигнал, представляющий в рассматриваемом случае аддитивную смесь полезного сигнала $U_m \sin(\omega_0 t + \varphi)$ и помехи $\xi(t)$; $g_c(t) = \cos \omega_0 t$, $g_s(t) = \sin \omega_0 t$ — опорные сигналы с единичной амплитудой ($\omega_0 = 2\pi F = 2\pi/T$ — частота входного сигнала); $T_{\text{изм}}$ — время измерения. Цифровые измерители этого направления могут строиться по двум методам [2]. В первом методе операции перемножения и интегрирования (1) осуществляются на аналоговом уровне с последующим аналого-цифровым преобразованием (АЦП) и цифровой обработкой. Второй метод использует дискретизацию и АЦП непосредственно входного сигнала, т. е. является дискретной формой алгоритма (1). Данный метод является более перспективным. При его реализации эффективно используются цифровые микроузлы, в том числе и микропроцессоры, и благодаря исключению ряда инструментальных погрешностей может быть обеспечена более высокая точность измерения. Ниже сделан анализ погрешностей цифровых измерителей фазы с дискретизацией входного сигнала, обусловленных воздействием различного рода помех. Подобная задача ставилась в [3], где получены оценочные соотношения.

Для решения этой задачи воспользуемся соотношением (1), в котором весовые функции $g_{c,s}(t)$ представляются в виде дискретизированных гармонических функций с интервалом T_0 :

$$g_c(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \cos \omega_0 t \delta(t - nT_0), \quad g_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sin \omega_0 t \delta(t - nT_0). \quad (2)$$