681.142+53

НОВЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН *)

Б. Ливай

Физики, стоящие перед решением специфических проблем и воодушевленные эффективностью ЭВМ, находят некоторые новые пути использования этих мощных машин.

В настоящее время большинство физиков имеет доступ к ЭВМ и может теперь браться за решение проблем, которые прежде, быть может, считались неразрешимыми; по крайней мере физики могут теперь решать свои задачи гораздо быстрее и с большей точностью. Недавний опрос читателей журнала «Physics Today» показал, что сейчас уже около 90% физиков используют ЭВМ в своей работе. Бо́льшая часть из них (85%) выполняют расчеты в вычислительных центрах, принадлежащих университетам или частным компаниям. Примерно 34% опрошенных используют благоприятные возможности, которые представляют временны́е договоры, и около 7% исследователей имеют свои собственные ЭВМ. Как часто физики, приступая к решению задач, разрабатывают новые методы?

В некотором смысле ни одно из приложений ЭВМ не является «новым». ЭВМ — это некий мощный инструмент, который к широкому диапазону проблем применяет одни и те же приемы. В то же время все приложения представляются новыми: каждый эксперимент имеет свои неповторимые особенности, что требует определенной ориентации и некоторого отхода от стандарта. Ниже представлено несколько программ, быть может, не известных читателю. Мы пытались подобрать разные приложения и надеемся, что по крайней мере одно из них вызовет у читателя новые идеи.

СИМВОЛИЧЕСКАЯ АЛГЕБРА

Каждый специалист, окончивший высшее учебное заведение и сталкивавшийся с расчетом комптоновского рассеяния, даже в наинизшем порядке, сможет по праву оценить программу REDUCE system [1, 2], пред-

*) Barbara G. Levi, Novel Applications of Computers, Phys. Today 23 (7), 49 (1970). Перевод Владислава М. Дубовика.

Барбара Г. Ливай — заместитель Главного редактора журнала «Physics Today».

ложенную А. Хёрном из университета штата Юта. Эта система стандартных программ нечисловых алгебраических манипуляций создана для выполнения утомительно однообразных расчетов, часто выполняемых в физике элементарных частиц. После дополнительной разработки REDUCE приобрела достаточно общие свойства для того, чтобы стать применимой во многих других областях знаний; сейчас ее используют даже инженеры-химики и инженеры-механики.

В качестве некоторой общей программы REDUCE может обращаться с выражениями, включающими в себя рациональные функции от полиномов в символических переменных, а также функции, вводимые исследователем. Она обладает возможностями: 1) упрощения выражений; 2) выполнения символического дифференцирования выражений; 3) сокращения наибольшего общего делителя в числителе и знаменателе выражений; 4) обращения с матрицами общего вида и тензорными выражениями, и взятия следов от выражений с матрицами γ Дирака (рис. 2).

```
COMMENT SYMBOLIC COMPUTATION OF LEGENDRE POLYNOMIALS
ARRAY P(7)
P(0):=1$
P(1):=X$
FOR M:=2:7 DO P(M):=(2-1/M)*X*P(M-1) - (1-1/M)*P(M-2);
P(2):=3/2 X - 1/2
P(3):=5/2 X^3 - 3/2 X
P(4):=35/8 X^4 - 15/4 X^2 + 3/8
P(5):=63/8 X^5 - 35/4 X^3 + 15/8 X
P(6):=231/16 X^6 - 315/16 X^4 + 105/16 X^2 - 5/16
P(7):=429/16 X^7 - 693/16 X^5 + 315/16 X^3 - 35/16 X
END;
```

Рис. 1. С использованием программы REDUCE получение полиномов Лежандра любого порядка тривиально. Программист только определяет начальные условия, нужный порядок и рекуррентное соотношение (формулировки в четырех верхних строках программы).

В качестве же специфической программы Хёрн использует REDUCE в целях выполнения символического анализа диаграмм Фейнмана. Эти диаграммы являются схематическими представлениями членов теории возмущений для S-матрицы. Число вершин в каждой диаграмме пропорционально порядку члена, описывающего вклад этого процесса в полное разложение. С ростом энергии процесса растет и пороядок членов, которые должны быть удержаны в разложении согласно теории возмущений. Таким образом, для того чтобы сравнить теорию с экспериментом при высоких энергиях, доступных для существующих в настоящее время больших установок, требуется громадное количество расчетов со стороны физика-теоретика. Система Хёрна позволяет за несколько минут машинного времени проделать такое количество выкладок, которое могло бы отнять шесть месяцев «ручной» работы.

REDUCE обычно используется при упрощении следов от выражений для матриц γ Дирака, которые возникают при таких расчетах. Дополнительная программа [3], разработанная совместно с Дж. А. Кэмпбеллом из Техасского университета в г. Остине, также касается решения часто трудоемкой задачи взятия первой производной от этих соотношений со следами. Стоит только задать вид рассматриваемых частиц, тип их взаимодействия, а также желаемый порядок теории возмущений, как программа выдаст все возможные диаграммы Фейнмана этого порядка, получит и упростит матричные элементы, а затем подсчитает выражения для следов, которые могут быть упрощены с помощью REDUCE.

Reduce написана на символическом языке LISP. Однако исследователю не обязательно знать этот язык. Указания, которые он дает, аналогичны программированию на языке АЛГОЛ. В настоящее время REDUCE имеется в различных вариантах, которые разработаны для IBM-360, PDP-10 и CDC-6400.

Среди будущих улучшений REDUCE планируется добавление программ символической факторизации и интегрирования. Хёрн с сотрудниками разрабатывает также процедуры графического изображения математических выражений и графических представлений диаграмм Фейнмана, воспроизводимых этими программами.

ОБОБЩЕННАЯ СПЕКТРОМЕТРИЯ

Химики и физики исследовательской лаборатории IBM в Сан-Хосе, специалисты по вопросам физики твердого тела, используют в процессе работы целый ряд различных спектрометров. Если у кого-либо из исследователей возникнет желание соединить свою установку в линию с машиной IBM-1800, то он обнаружит, что это можно проделать с помощью уже имеющейся общей системы контроля над экспериментом GEM (general experiment monitoring system), разработанной Г. М. Глэдни [4, 5]. Эта система предусматривает большое число плавных переходов, состоящих из контроля типа вход/выход и программ сбора информации, необходимых широкому кругу исследователей. Экспериментатор при этом должен только составить дополнительные программы, отражающие специфику его собственной установки.

GEM предусматривает режим разделения времени: время работы ЭВМ распределяется между многими экспериментаторами. При наличии контрольного устройства распределения времени TSX (time sharing executive monitor), созданного фирмой IBM для машины IBM-1800, до пятнадцати установок можно соединить с ЭВМ, при этом шесть из них одновременно будут записывать данные. Двенадцать установок, соединенных поточно в линию, включают в себя интерферометр Майкельсона в далекой инфракрасной области, ЯМР-спектрометр и ЭПР-спектрометр, жидкостно-газовый хроматограф и штарковский спектрометр с высоким разрешением.

Глэдни установил, что с точки зрения контроля за экспериментом, большой класс спектрометров удовлетворяет общим требованиям. Одна или несколько независимых переменных должны быть установлены и проконтролированы. Постоянные величины, такие, как температура, должны быть заданы сразу же в начале эксперимента; величины, которые изменяются во времени, требуют внутреннего и цифрового контроля со стороны ЭВМ. Аналоговый сигнал отклика должен быть зарегистрирован и усилен, и обычно требуется аналоговое суммирование с целью увеличения отношения сигнал/шум. ЭВМ должна контролировать коэффициент усиления, постоянную времени и амплитуду модуляции детектора. Поскольку, как правило, желательно изобразить результат на рентгенографическом аппарате или запоминающем осциллографе, то ЭВМ должна контролировать пару аналоговых выходных сигналов.

GEM включает независимо действующие блоки, которые выполняют эти общие задачи. Блоки могут быть связаны в любом порядке. Такая постановка опыта обеспечивает максимальную гибкость и адаптируемость. Экспериментатор может создать свою замкнутую программу при незначительном обращении к программирующей системе.

При работе со спектрометрами необходимы различные способы обработки данных. Все они измеряют стохастические данные и, следовательно,

требуют наличия программ для отбора и сглаживания, подгонки кривых, выполнения интегральных преобразований, усреднения и вычерчивания графиков. Группа из Сан-Хосе составила библиотеку таких программ.

Эксперименты «в линию» выполняются по «фоновому» методу, так что центральное вычислительное устройство и память ЭВМ пригодны для обработки результатов выполненных экспериментов или проведения каких-либо других вычислений. Такая постановка эксперимента, в частности, может быть осуществлена с большинством спектрометров, поскольку скорость сбора данных низка по сравнению со скоростью цифровых вычислений. Более того, бóльшая часть спектрометров не требует точного установления временны́х интервалов, пока записывается истинная продолжительность интервала; ход времени может контролироваться ЭВМ. Если заготовки проделаны ручным способом, то экспериментатор должен контролировать результаты на выходе и производить подстройку.

Один из проектов исследований касается изучения примесей переходного металла в монокристалле при низких температурах. В этих исследованиях был использован ЭПР-спектрометр. В силу самой природы подобных изысканий контроль со стороны ЭВМ является почти необходимостью. Трудно изготовлять монокристаллы с удовлетворительным уровнем введения примесей. Среди множества выращенных кристаллов только некоторые оказываются пригодными. ЭВМ должна провести утомительное и однообразное исследование всех кристаллов для поиска приемлемого образца, освобождая ученых от работы, отнимающей уйму времени.

В ЭПР-эксперименте *независимой переменной является магнитное* поле, контролируемое модифицированым вариантом обычно применяемого прибора, принцип действия которого основан на эффекте Холла. В дополнение к этому Глэдни с сотрудниками наблюдает спектр как функцию ориентации магнитного поля. ЭВМ контролирует угловое положение вращающегося магнита весом в 2 тонны. Исследователи располагают обычной системой взаимодействия между детектором и ЭВМ. Наконец, они соединяют ЭВМ с записывающим x — y-устройством, чтобы контролировать вход ЭВМ и получать изображение результатов на выходе.

Последним свидетельством гибкости системы Глэдни является одновременное подключение пишущего устройства к другому эксперименту в том же самом помещении; данные этих двух экспериментов появляются на двух половинках одного и того же листа бумаги, и этот лист делится пополам после завершения экспериментов.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР

В прошлом году группой, возглавляемой А. Гиорсо, было обнаружено[6, 7] несколько α-активных изотопов 104-го и 105-го элементов на линейном ускорителе тяжелых ионов HILAC (heavy-ion linear accellerator), установленном в радиационной лаборатории им. Лоуренса при Калифорнийском университете *). В этой работе насущно необходимым было получение сложного спектра α-частиц с высоким разрешением: например, элемент 104 ^{261} испускает α-частицу с энергией, очень близкой к энергии подобной частицы от дочернего элемента No ^{257} при 8,3 *Мэв*. К тому же обычно совершенно необходимо точно измерить время жизни дочерних элементов и даже «внуков» для того, чтобы обеспечить четкую идентификацию исходного элемента. В экспериментах на HILAC подсоединенная

*) Подробнее см. УФН 101 (4), 755 (1970). (*Прим. ред.*)

в линию ЭВМ решает обширный круг задач учетного характера, входящих в эти измерения, и выступает в качестве огромного многоканального анализатора при получении спектров.

Система детектирования HILAC изображена на рис. 2. Когда пучок тяжелых ионов попадает на мишень, он выбивает различные атомы тяжелых элементов, которые образуются при столкновении. Энергия отдачи этих атомов поглощается в камере, наполненной газом гелия. Атомы проходят сквозь газ в вакуумную камеру, где большинство из них осаждается на поверхности колеса (50 *см*). Кристаллические детекторы,

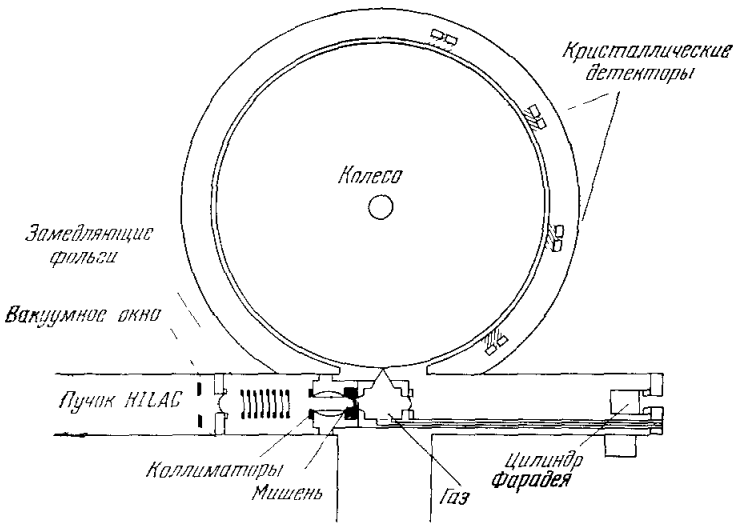

Рис. 2. Система детектирования α-активных изотопов. После того как тяжелые изотопы ускоряются, они рассеиваются на мишени, тормозятся в камере с газом и затем попадают на колесо. Сигналы от каждого кристаллического детектора анализируются ЭВМ.

размещенные по ободу колеса, регистрируют частоту распадов этих атомов. Колесо вращается так, что каждая группа атомов измеряется некоторое число раз каждым из семи детекторов.

ЭВМ запоминает спектр, получаемый каждым из детекторов для каждого нового положения колеса. Эти спектры анализируются в 512-канальных сегментах, перекрывающих диапазон от 6 до 12 *Мэв*. Группа, возглавляемая А. Гиорсо, использует 112 000 каналов и планирует увеличить эту цифру в конечном итоге до полумиллиона. Они применяют машину PDP-9 с памятью в 24 тысячи 18-разрядных кодов.

Радиоактивность дочерних атомов может быть измерена одновременно с активностью материнских атомов. Поскольку α-частицы разлетаются по всем направлениям, некоторая их часть от распадов родительских элементов рассеивается на самом колесе, в то время как дочерние атомы отдачи попадают в кристаллический детектор напротив колеса. Этот детектор периодически перемещается в новое положение, обращенное по отношению ко второму детектору, измеряющему активность дочерних атомов.

Такое «вылавливание» дочерних атомов может производиться через определенные промежутки времени, или, если хотят обнаружить атомы-«внуки», оно может контролироваться с помощью машинной логики. Как только ЭВМ отождествит дочерний атом по его спектру или времени распада, машина может обрезать пучок от HILAC и перевести кристаллические детекторы в такое положение, когда обнаруживаются атомы-«внуки».

Помимо выявления спектра PDP-9 должна следить за большим количеством различных параметров: записывать данные о положении колеса, конфигурацию перемещений кристаллических детекторов и их идентификацию, время, соответствующее обнаружению исходных атомов, дочерних атомов и так далее. Часто на основе этих данных ЭВМ решает, какие данные являются существенными для дела; ЭВМ также в состоянии запомнить необработанные данные в наиболее компактной форме. ЭВМ может также сортировать данные, если они приведены в соответствие с заранее запрограммированными спецификациями.

В настоящее время ЭВМ, подключенная в линию, выполняет лишь ограниченное число расчетов. Переработка данных типа подгонки спектра или нормализации коэффициента усиления детектора выполнена в самое последнее время. Работа подобного рода обычно выполняется на машине CDC-6600.

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ РЕЧИ

С. Г. Коукер (Bell Telephone Laboratories) предложил динамическую модель артикуляции, что дает ЭВМ возможность синтезировать речь. На входе в ЭВМ — английский текст, отпечатанный на машинке, а на выходе — озвученная речь, наподобие речи HALa из недавно вышедшего фильма «Год 2001-й: космическая одиссея». После оценки качества воспроизведения речи на ЭВМ Коукер с сотрудниками может варьировать различные параметры, улучшающие выполнение задачи воспроизведения.

Рис. 3. Когда ЭВМ начинает говорить, на осциллоскопе появляются контуры рта, показывающие положение языка и губ модели. Коукер диктует ЭВМ предложения на печатающей машинке и оценивает качество речи на выходе ЭВМ.

В настоящее время говорящей машиной является DDP-24 (Digital Data Processor 24) — машина средних размеров (12K) со скоростью 5 *мксек* на одну операцию.

Из-за того, что модель включает в себя много рекурсивных вычислений, эта ЭВМ может лишь разговаривать по временнóй шкале в десять-пятнадцать раз медленнее по отношению к истинной шкале, включающей в себя время печати на входе. Однако теперь эта программа уже отработана на скоростной машине DDP-516, где на программу затрачивается время, в два-три раза меньшее истинного. Наличие быстродействующих ЭВМ и объемных интегральных элементов гарантирует возможность воспроизведения реальной речи. В целях увеличения емкости запоминающего устройства машины DDP группа Коукера соединила ее с помощью телефонных линий с машиной GE-635 (General Electric), имеющейся в их распоряжении, согласно графикам внутреннего распределения машинного времени.

Первоначально программа синтезатора речи могла допускать в качестве входного сигнала только фразы, заранее сведенные к основным фонемам, при том в системе обозначений, соответствующей высоте тона и напряжению. В настоящее время Коукер, Умеда и др. разработали программу, которая позволяет ЭВМ самостоятельно про-

делывать эту фонетическую трансляцию на основе написанного английского текста.

Динамическая модель речи, развитая Коукером и Фуджимурой [8], использует семь координат для описания положения языка в целом, его кончика, губ и мягкого нёба. Эти семь координат были отобраны эмпирически как координаты, дающие набор наиболее независимых мод отклика. Соответствием каждой основной фонетической единице являются специальные значения координат, дающие целевое положение рта при произнесении этой фонетической единицы. В действительности рот никогда не достигает этого целевого положения до того, как он должен уже формировать следующий звук, так что ЭВМ должна контролировать переход между основными фонемами. По этой причине каждой координате положения приписана степень очередности (старшинства) в соответствии с ее значимостью при формировании отдельной фонемы. Для большей степени упорядоченности координата заранее осуществляет переход к основной фонеме и остается на некоторое время в этом состоянии. Голосовые связки представляются в этой модели двумя параметрами, однако отображение реальной ситуации еще весьма приблизительно. Задав набор координат положений, ЭВМ приступает к выдаче речи на выходе в слуховую трубку (наушники) с переменным во времени и неоднородным поперечным сечением. Она находит выход резонансным частотам такой трубки и воспроизводит эти резонансы с помощью подключенного в линию аналогового сумматора [9].

Помимо звука на выходе, Коукер может изучать и соответствующую картину на экране осциллоскопа. На нем изображается контур рта, контролирующий меняющиеся положения языка, губ и т. п., когда ЭВМ говорит. Имеется также изображение диаграмм зависимости частоты от времени для первых трех резонансов (рис. 3).

В настоящее время Коукер с сотрудниками работают с ЭВМ, соединенной в линию, подбирая различные параметры так, чтобы речь на выходе имела максимальное сходство с человеческой речью. Разрабатывая программу фонетической трансляции, исследователи подобрали спектрограммы (трехмерные диаграммы частоты, амплитуды и времени) для реальной речи. Однако авторы считают, что человеческое ухо более чувствительно, чем эти качественные эквиваленты.

Говорящая ЭВМ является ценным инструментом для работы лингвистов и для изучения физиологии речи. К основным возможностям практических применений относятся устная передача хранящейся информации и результатов от программ поиска информации, вспомогательных средств для слепой и запрограммированной инструкции.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. A. C. Hearn, Commun. ACM 9, 573 (1966).
2. A. C. Hearn, в сборнике «Interactive Systems for Experimental Applied Mathematics» (M. Klerer, J. Reinfelds, Eds.), Academic Press, New York, 1968, p. 79.
3. J. A. Campbell, A. C. Hearn, J. Comput. Phys. 5, 280 (1970).
4. H. M. Gladney, J. Computat. Phys. 2, 255 (1968).
5. B. Johnson, T. Kuga, H. M. Gladney, IBM J. Res. Develop. 13, 36 (1969).
6. A. Ghiorso, M. Nurmia, J. Harris, K. Eskola, P. Eskola, Phys. Rev. Lett. 221, 317 (1969).
7. A. Ghiorso, M. Nurmia, K. Eskola, J. Harris, P. Eskola, Phys. Rev. Lett. 24, 1495 (1970).
8. C. H. Coker, O. Fujimura, J. Acoust. Soc. Amer. 40, 1271 (1966).
9. C. H. Coker, P. Cummiskey, J. Acoust. Soc. Amer. 38, 940 (1965).