

СУПР07153

11 - 9219

О Ен Ир, В.П.Шириков

F51

ОБ ОДНОМ
ОПТИМИЗИРУЮЩЕМ ВАРИАНТЕ ОБРАБОТКИ ЦИКЛОВ
ПРИ ТРАНСЛЯЦИИ С ЯЗЫКА ФОРТРАН
НА ЭВМ БЭСМ-6

Ранг публикаций Объединенного института ядерных исследований

Препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований /ОИЯИ/ являются самостоятельными публикациями. Они издаются в соответствии со ст. 4 Устава ОИЯИ. Отличие препринтов от сообщений заключается в том, что текст препринта будет впоследствии воспроизведен в каком-либо научном журнале или аperiodическом сборнике.

Индексация

Препринты, сообщения и депонированные публикации ОИЯИ имеют единую нарастающую порядковую нумерацию, составляющую последние 4 цифры индекса.

Первый знак индекса - буквенный - может быть представлен в 3 вариантах:

“Р” - издание на русском языке;

“Е” - издание на английском языке;

“Д” - работа публикуется на русском и английском языках.

Препринты и сообщения, которые рассылаются только в страны-участницы ОИЯИ, буквенных индексов не имеют.

Цифра, следующая за буквенным обозначением, определяет тематическую категорию данной публикации. Перечень тематических категорий изданий ОИЯИ периодически рассылается их получателям.

Индексы, описанные выше, проставляются в правом верхнем углу на обложке и титульном листе каждого издания.

Ссылки

В библиографических ссылках на препринты и сообщения ОИЯИ мы рекомендуем указывать: инициалы и фамилию автора, далее - сокращенное наименование института-издателя, индекс, место и год издания.

Пример библиографической ссылки:

И.И.Иванов. ОИЯИ, Р2-4985, Дубна, 1971.

если в схеме обнаружены недозволённый оператор, неопределённые или дублированные номера блоков, наличие алгебраических контуров, т.е. замкнутых путей, не содержащих элементов памяти, программа возвращает пользователя в фазу приема с терминала операторов структуры. После того, как сделаны соответствующие исправления, выполняется сортировка блоков, обеспечивающая правильную последовательность расчёта схемы.

С помощью операторов параметров задаются численные значения параметров для тех блоков, где они нужны. Указывается номер блока и соответствующие числовые значения. Аналогично операторам структуры, ввод параметров подвергается контролю.

Если в схеме используются генераторы функций, то для каждого из них задаются соответствующие координаты.

Отвечая на вопросы машины, пользователь определяет время наблюдения в схеме, шаг интегрирования, номер блока, выходная величина которого подлежит построению на дисплее /терминале/, примерный диапазон ее изменения и, наконец, интервал выдачи.

Шаг интегрирования в данной программе подбирается экспериментально. Первоначально пользователь руководствуется общими соображениями - для обеспечения устойчивости процесса интегрирования шаг должен быть в 5-10 раз меньше наименьшей постоянной интегрирования в системе. Затем шаг можно изменить и оценить точность получаемого решения.

Диапазон изменения выходной величины может быть задан произвольным и изменен в процессе счета или по его окончании.

Кроме основного наблюдаемого выхода, есть возможность указать еще до трех номеров блоков, если их выходы представляют интерес. В процессе счета происходит накопление этих величин.

После получения перечисленных параметров программа рассчитывает схему, выдавая на дисплей /терминал/ через заданный интервал вычисленное значение наблюдаемого выхода.

При помощи 16-разрядного регистра переключателей

О Ен Ир, Шириков В.П.

ИИ - 9219

Об одном оптимизирующем варианте обработки циклов при трансляции с языка ФОРТРАН на ЭВМ БЭСМ-6

В работе описан один из двух новых вариантов транслятора с языка ФОРТРАН для ЭВМ БЭСМ-6. По сравнению с ныне эксплуатируемым в составе мониторной системы "Дубна" стандартным транслятором указанный вариант выдает более экономичные рабочие программы за счет оптимизации программирования (в том числе с использованием индексных регистров машины) внутренних циклов в ФОРТРАН-программах.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна 1975

ВВЕДЕНИЕ

При программировании на языке ФОРТРАН часто встречающейся проблемой является использование циклов и переменных с индексами в этих циклах.

До сих пор эксплуатировавшийся на БЭСМ-6 транслятор с ФОРТРАНА (Дубна) не мог оптимально программировать циклы. Вследствие этого при составлении некоторых программ сами их авторы должны были применять особые способы программирования для сокращения счетного времени рабочих программ. Например, при программировании задачи, где ведется работа с матрицами, для того, чтобы сократить время рабочих программ, необходимо преобразовать двух- или трехмерные массивы в одномерные /9/. Как правило, это значительно усложняет процесс составления программ. С учетом такой ситуации был реализован описываемый ниже вариант оптимизирующего транслятора с ФОРТРАНА (Дубна). Использование этого варианта облегчает программирование для людей, стремящихся получить эффективные программы, и повышает производительность машины БЭСМ-6.

Установка задачи

При переводе с алгоритмических языков на объектные языки проблемы оптимизации сводятся к следующим: /4,5/:

- 1) устранение излишних вычислений;
- 2) выбор общих подвыражений, образование из них последовательностей промежуточных операторов присваивания; подстановка вместо выбранных общих подвыражений соответствующих им промежуточных переменных в выражения;
- 3) вынесение из цикла операторов или их частей, не зависящих от цикла;

4) рационализация вычислений индексных функций для определения относительных адресов в массивах переменных с индексами, находящихся внутри цикла, и эффективное использование индексных регистров машины.

При разработке транслятора с ФОРТРАНА (Дубна) в алгоритме транслятора проблема 2 решается для каждого отдельного оператора /2,3,7/. Это делается блоком PWBRT, который производит первичную обработку арифметических выражений. Такой способ оптимизации представляет собой машинезависимую оптимизацию /5/.

Если программист определенным образом напишет исходную программу, то нужды в решении проблем 1-3 может не оказаться в процессе трансляции. Но проблема 4 мало связана с процессом программирования пользователем, ищущим на ФОРТРАНе. В основном она связана с алгоритмом транслятора, выбранного разработчиками системы обслуживания на ЭВМ. Поэтому пользователь в своей программе не может полностью предопределить эффективность при счете.

Таким образом, мы можем сказать, что процесс решения проблемы 4

представляет наибольшую сложность при оптимизации программы. Такая оптимизация, как правило, является машинозависимой.

В настоящей работе мы рассматриваем один вариант (OPT-0) оптимизации в трансляторе для решения проблемы 4) и оценку выходных программ, полученных через варианты транслятора, оптимизирующего и не оптимизирующего программу вычисления цикла для задач, написанных на ФОРТРАНе.

В предлагаемом варианте (OPT-0) предполагается, что во всех случаях значения параметров цикла DO практически не ограничены. Иными словами, предполагается, что значения параметров оператора DO на ФОРТРАНе могут быть любыми неотрицательными числами, принадлежащими используемому на машине БЭСМ-6 диапазону чисел. Учитывая, что стандартный язык ФОРТРАНе не содержит выражений, ограничивающих максимальное значение параметров цикла DO 10^6 .

Часто возникает такая ситуация, когда необходимо транслировать на машине БЭСМ-6 программы (например, библиотечные), которые написаны для других машин, имеющих более длинный диапазон параметров. По сравнению с БЭСМ-6, и максимальное значение параметров цикла выбрано в таких программах в соответствии с этой длиной. Поэтому в предлагаемом варианте транслятора в случаях, когда по крайней мере один из параметров цикла в операторе DO представляет собой переменную, для проверки повторений цикла используется дополнительная переменная, а не индексный регистр.

Оптимизация процесса программирования цикла DO применяется к самому внутреннему циклу.

Процесс оптимизации

Здесь мы описываем процесс реализации оптимизации, связывая его с составлением таблиц.

В неоптимизированном процессе трансляции применяется пооператорный перенос в `OUTLIST` -код /2,7/. Однако в процессе оптимизации все операторы, которые находятся в теле самого внутреннего `DB` -цикла, не переводятся сразу в `OUTLIST` -код, а буферизуются в `PILIST` -коде, являющемся промежуточным языком более высокого уровня, чем `OUTLIST` -код.

Список $N = I=M1, M2, M3$ оператора `DB` переводится на таблицу `DBLIST`, которая отличается от таблицы `DBLIST`, получаемой в случае, когда оптимизация не применяется /7/. Ее формат следующий:

9	I5	9	I5
b_1	N_1	000	N
b_2	N_2	010	J
b_3	N_3	020	DN

где

$$b_i = \begin{cases} 000 : M_j = \text{"константа"} (\leq 32767), \\ 200 : M_j = \text{"константа"} (> 32767), \\ 400 : M_j = \text{"переменная"}; \end{cases}$$

$$N_j = \begin{cases} M_j : M_j = \text{"переменная"}, \\ \{M_{ij}\} : M_j = \text{"константа"}, \end{cases}$$

DN - номер оператора `DB`,

$\{M_{ij}\}$ - адрес для M_{ij} .

Для проверки условий оптимизации по `PILIST` -записи составляются некоторые таблицы и устанавливаются флаги.

Прежде всего, для проверки наличия передачи управления из цикла за его пределы составляется таблица, которая состоит из методов операторов, передающих управление и принимающих его. Если обнаружена передача управления изнутри цикла за его пределы, то оптимизации программирования данного цикла не будет: в этом случае по правилам грамматики фортрановского языка возможна передача управления извне цикла внутрь этого цикла /1/, а это значит, что такой DO -цикл не является в процессе счета замкнутым и содержание его интересных регистров может быть испорчено после передачи управления за пределы такого цикла.

Для проверки возможных случаев перепределения управляющей переменной и параметров (M2, M3) цикла, если они являются переменными, составляется таблица, которая состоит из простых целых переменных присваивания (т.е. левых частей операторов присваивания) тела DO -цикла.

Составляется также таблица, содержащая необходимую информацию, характеризующую индексные функции в теле DO -цикла (при этом используются общая таблица индексных функций - IFLIST, см. /7/ -обрабатываемой программы, управляющая переменная и таблица простых целых переменных присваивания). Такую таблицу назовем характеристической таблицей индексных функций. Ее формат следующий:

3	3	3	I5	9	I5
TF	TD	S	IFN	O-O	RNF

, где

$$\text{TR} = \begin{cases} 0 : \text{инвариантная глобальная индексная функция (индексные} \\ \text{переменные не меняются в цикле),} \\ 1: \text{переменная глобальная индексная функция (индексные} \\ \text{переменные не являются управляющей переменной, а могут} \\ \text{быть переменной присваивания в цикле),} \\ 2: \text{локальная индексная функция} \\ \text{(зависит только от управляющей переменной),} \\ 4: \text{полулокальная индексная функция} \\ \text{(зависит и от управляющей переменной, и от переменных,} \\ \text{не меняющихся в цикле).} \end{cases}$$

Тип функции для элемента массива в зависимости от способа описания размерностей соответствующего массива:

$$\text{TD} = \begin{cases} 1 : A(l), A(L) \\ 2 : A(l,m), A(l,M) \\ 3 : A(l,m,n), A(l,m,N) \\ 4 : A(L,m), A(L,M) \\ 5 : A(l,M,n), A(l,M,N) \\ 6 : A(L,m,n), A(L,m,N) \\ 7 : A(L,M,n), A(L,M,N) \end{cases}$$

l, m, n - константы, L, M, N - переменные.

$$s = \begin{cases} 4 : \text{1-ая индексная переменная - управляющая переменная,} \\ 2 : \text{2-ая индексная переменная - управляющая переменная,} \\ 1 : \text{3-я индексная переменная - управляющая переменная.} \end{cases}$$

Предусмотрены и случаи, когда, например, в первая, и вторая индексные переменные совпадают с управляющей ($s = 6$) и т.п.

IFN - номер индексной функции или адрес индексной переменной (для переменной с одним индексом, коэффициент при котором равен 1).

RNF - относительный адрес в таблице IFLIST .

Оптимизация производится в тех случаях, когда число различных локальных и полулокальных индексных функций не больше 6 и нет инвариантных и переменных глобальных индексных функций либо когда число различных локальных и полулокальных индексных функций не больше 5, если глобальные функции имеются.

В случае, когда условие оптимизации удовлетворено, генерируются команды начальной части DO -цикла.

Если нет необходимости переопределения управляющей переменной в теле цикла DO и имеется резервный индексный регистр (т.е. имеется возможность использовать индексный регистр для числа повторений цикла), то в случае, когда все параметры цикла используются как константы, число повторений цикла вычисляется в процессе трансляции. Если число повторений цикла больше 32767, то использование индексного регистра для числа повторений цикла невозможно, так что в этом случае для построения цикла применяется способ переопределения значения управляющей переменной по каждому шагу повторения.

С использованием характеристической таблицы индексных функций генерируются команды, посылающие начальные значения индексных функций в индексные регистры. В это же время на базе общей характеристической таблицы составляется характеристическая таблица локальных и полулокальных индексных функций.

Составляется маска, содержащая номера индексных функций, значения которых записываются в индексные регистры в начальной части. Эта маска обеспечивает связь между индексными функциями и индексными регистрами.

С использованием характеристической таблицы локальных и полуполокальных индексных функций и таблицы индексных функций составляется таблица, содержащая необходимую информацию для вычисления приращений индексных функций. Эта таблица называется таблицей приращений индексных функций. Формат таблицы приращений и соответствующие ему коэффициенты (множители) шага управляющей переменной в приращениях индексных функций следующие.

TD	S	Таблица приращений				Коэффициенты шага упр. пер.
		C	ID		N	
>1	4	0	Y_1		0	Y_1
2V3	2	0	Y_2		0	Y_2
3	1	0	Y_3		0	Y_3
4V6V7	2	2	0		IFN	$mK<IFN>$
	6	2	Y_1		IFN	$Y_1 + mK<IFN>$
>5	1	1	0		IFN	$mM<IFN>$
	5	1	Y_1		IFN	$Y_1 + mM<IFN>$
5	2	0	$X_2 \equiv Y_2$		0	$X_2 \equiv Y_2$
	3	1	$X_2 \equiv Y_2$		IFN	$X_2 \equiv Y_2 + mM<IFN>$
	6	0	$Y_1 + X_2 \equiv Y_2$		0	$Y_1 + X_2 \equiv Y_2$
	7	1	$Y_1 + X_2 \equiv Y_2$		IFN	$Y_1 + X_2 \equiv Y_2 + mM<IFN>$
>6	3	3	0		IFN	$mK<IFN> + mM<IFN>$
	7	3	Y_1		IFN	$Y_1 + mK<IFN> + mM<IFN>$

3 6 15 9 15

Здесь X_i - элемент 2-го столбца и i -ой строки в IFLISTe ,

Y_i - элемент 3-го столбца и i -ой строки в IFLISTe ^{11/};

$$Q = \begin{cases} 0 : \text{все размерности постоянные,} \\ 1 : \text{2-ая размерность переменная,} \\ 2 : \text{1-ая размерность переменная,} \\ 3 : \text{2-ая и 1-ая размерности переменные.} \end{cases}$$

ID - указывает часть, независимую от переменных размерностей в коэффициенте управляющей переменной;

N - указывает номер индексных функций;

*K(IFN) - идентификатор-адрес составляющей (для индексной функции), зависящей только от первой переменной размерности.

*M(IFN) - идентификатор составляющей, зависящей от второй (или первой и второй) переменной размерности.

Эта таблица показывает, что коэффициент управляющей переменной в зависимости от значения Q следующий:

$$CV = \begin{cases} (ID) & : Q=0, \\ (ID) + (*M(N)) & : Q=1, \\ (ID) + (*K(N)) & : Q=2, \\ (ID) + (*K(N)) + (*M(N)) & : Q=3. \end{cases}$$

В случае необходимости на основе таблицы приращений с учетом шага управляющей переменной цикла генерируются команды, которые вычисляют приращения индексных функций. При этом в таблице приращений соответствующие этим функциям строки стираются; таким образом, получается видоизмененная таблица приращений.

Далее составляются команды, соответствующие внутренним операторам тела цикла. При этом, если в них встречаются переменные с индексами, то при генерации команд обращения к таким переменным используется ранее составленная маска связи.

Затем генерируются команды, соответствующие конечной части цикла. Сюда относятся команды, которые добавляют приращения к соответствующим регистрам, если была построена таблица приращений. Эти приращения вычисляются в процессе трансляции или выполнения рабочей программы.

Наконец, в зависимости от того, была или не была сделана посылка числа повторений цикла в индексный регистр, генерируются команды для проверки конца повторений цикла.

Анализ и сравнительная оценка неоптимизированной и оптимизированной объектных программ

1) Анализ неоптимизированной объектной программы.

Для определения позиций переменных с индексами, используемых внутри DO-цикла, на каждом шаге цикла производится обращение к программной части, определяющей значения всех индексных функций в данной программе, которые связаны с управляющей переменной рассматриваемого DO-цикла, и посылка значений необходимых индексных функций в индексные регистры.

Для повторения цикла безусловно переопределяется значение управляющей переменной цикла. Ясно, что при этом теряется тем больше машинного времени (при счете), чем больше количество индексных функций и число повторений цикла. При оптимизации программы такой недостаток ликвидирован.

2) Анализ оптимизированной объектной программы

Для вычисления начальных значений индексных функций в теле DO-цикла является обращение в части вычисления индексных функций, связанных с управляющей переменной, и производится посылка необходимых значений индексных функций в индексные регистры. Ясно

Повторений цикла (точнее, $-\left(\left[\frac{M2-M1}{M3}\right] + 1\right)$), которое вычислено в процессе трансляции, посылается в индексный регистр. В необходимом случае делаются вычисления приращений индексных функций. Такой процесс есть процесс выполнения начальной части DO-цикла, и он производится только один раз для данного цикла.

Если в теле цикла есть переменные с индексами, то необходимые операции по определению позиции переменных в массивах выполняются с использованием соответствующих регистров.

В завершающей части цикла приращены индексных функций добавляются в соответствующие регистры и проверяется, требуется ли повторение цикла, и если да, то производится переход к началу тела цикла.

3) Сравнительная оценка

Рассмотрим программу умножения матриц в качестве типичного примера, связанного с применением циклов.

```
PROGRAM MUMAT
DIMENSION A(50,50),B(50,50),C(50,50)
:
:
DO 10 I=1,50
DO 5 J=1,50
C(I,J)=0.
DO 1 K=1,50
1 C(I,J)=C(I,J)+A(I,K)*B(K,J)
5 CONTINUE
10 CONTINUE
:
:
END
```

(1) Неоптимизированный случай **MUMAT**

При прохождении начальной части самого внутреннего **DO**-цикла выполняется 27 команд.

При прохождении остальной части (тело и завершающая часть) требуется выполнение 44 команд.

(2) Оптимизированный случай **MUMAT**

При прохождении начальной части **DO**-цикла выполняются 34 команды.

При выполнении остальной части на каждом шаге работает только II команда.

Отсюда следует, что начиная со второго шага при оптимизации число выполненных на каждом проходе цикла команд сокращено на $1/4$.

Важно также, что те типы команд, которые имеют сравнительно невысокое быстродействие, в оптимизированном варианте программы находятся в начальной части цикла, а в неоптимизированном варианте - в основной части.

Счетное время для **MUMAT** в неоптимизированном варианте - 7,04 с, а в оптимизированном - 1,50 с (время трансляции и загрузки не учитывается).

В заключение авторы выражают сердечную благодарность Пак Хон Черу за помощь и поддержку, Г.Л.Мазному, И.Н.Силину, Н.С.Зайкину, за помощь и замечания, Н.Н.Говоруну, Г.А.Ососкову, В.Г.Иванову, А.И.Салтыкову, А.А.Хошенко за поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Язык ФОРТРАН (под редакцией В.П.Шурикова), ОИИИ, II-4018, Дубна, 1969.
2. З.Бродчински и др. Транслятор с языка ФОРТРАН для системы математического обеспечения ЭСМ-6. Труды Первой всесоюзной конференции по программированию, г.Киев, 1968. Изд. ИК АН УССР.
3. О.Ен Ир, В.П.Шуриков. Новые возможности использования логических выражений при программировании на языке ФОРТРАН для ЭВМ ЭСМ-6. ОИИИ, II-7396, Дубна, 1973.
4. С.И.Выленкин, Э.А.Трахтенгерц. Математическое обеспечение управляющих вычислительных машин. Из-во "Энергия", М, 1972.
5. Дж.Донован. Системное программирование (пер. с англ. под редакцией Л.Д.Райкова), Изд-во "Мир", М, 1975.
6. А.И.Волков. Автокод МАДЛЕН. ОИИИ, Б4-II-4654, Дубна, 1969.
7. З.Бродчински, Н.Н.Говорун и др. Система математического обеспечения ЭВМ ЭСМ-6. Транслятор с языка ФОРТРАН (части I, II, III, IV). ОИИИ, Б1-II-7160, Б1-II-7162, Дубна, 1972.
8. USA Standard FORTRAN. Издание ANSI, Нью-Йорк, ГССС.
9. В.И.Карначук. Язык ФОРТРАН (Оптимизация и большие задачи). Препринт ВЦ СОАН СССР, Новосибирск, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 октября 1975 г.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния



Условия обмена

Препринты и сообщения ОИЯИ рассылаются бесплатно, на основе взаимного обмена, университетам, институтам, лабораториям, библиотекам, научным группам и отдельным ученым более 50 стран.

Мы ожидаем, что получатели изданий ОИЯИ будут сами проявлять инициативу в бесплатной посылке публикаций в Дубну. В порядке обмена принимаются научные книги, журналы, препринты и иного вида публикации по тематике ОИЯИ.

Единственный вид публикаций, который нам присылать не следует, - это репринты /оттиски статей, уже опубликованных в научных журналах/.

В ряде случаев мы сами обращаемся к получателям наших изданий с просьбой бесплатно прислать нам какие-либо книги или выписать для нашей библиотеки научные журналы, издающиеся в их странах.

Отдельные запросы

Издательский отдел ежегодно выполняет около 3 000 отдельных запросов на высылку препринтов и сообщений ОИЯИ. В таких запросах следует обязательно указывать индекс запрашиваемого издания.

Адреса

Письма по всем вопросам обмена публикациями, а также запросы на отдельные издания следует направлять по адресу:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Издательский отдел
Объединенного института
ядерных исследований.*

Адрес для посылки всех публикаций в порядке обмена, а также для бесплатной подписки на научные журналы:

*101000 Москва,
Главный почтамт, п/я 79.
Научно-техническая библиотека
Объединенного института
ядерных исследований.*

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 20381. Тираж 355. Уч.-изд. листов 0,79.
Редактор Н.Н.Зрелова. Подписано к печати 17.10.75.
Корректор Р.Д.Фомина