

УДК 681.142.3

Г. Г. ЧЕТВЕРИКОВ, А. Г. ЖИРОВ

### **ПРОГРАММНЫЙ СПОСОБ МАСШТАБИРОВАНИЯ ИНТЕГРИРУЮЩИХ СТРУКТУР**

Для повышения эффективности использования однородных цифровых интегрирующих структур (ОЦИС) необходимы высоко-развитые средства математического обеспечения, позволяющие полностью автоматизировать процесс программирования.

Полная автоматическая подготовка программ для ОЦИС возможна при помощи ЦВМ. Идея использования ЦВМ в качестве автомата подготовки программ для вычислительных структур аналогового типа впервые была высказана Олинджером еще в 1960 г. и нашла свое воплощение в системе ANATRAN [1]. Согласно работе [2] при решении задач математического моделирования некоторых функций человеческого зрения возникает проблема масштабирования. Рассмотрим программный способ реализации процедуры масштабирования ОЦИС, к которому привели следующие рассуждения.

Вычислительный процесс на ОЦИС для каждой  $i$ -й задачи осуществляется, как правило, в рамках одной из основных стратегий:

I. С заданной погрешностью и в заданное время  $t_{i3}$   $\delta_i \leq \delta_{i3}$ ;  $i \leq i_3$ , где  $i = \overline{1, n}$ .

II. Погрешность решения должна быть минимальной при заданном времени решения:  $\min \delta_i$ ;  $t_i \leq t_{i3}$ .

III. Время решения должно быть минимальным, а погрешность решения не более заданной:  $\min t_i$ ;  $\delta_i \leq \delta_{i3}$ .

Ниже приведены в качестве примера соотношения времени решения задачи и точности представления функции для ЦИМ с быстрым действием 50 итераций в секунду при  $n = 20$ , где  $n$  — количество разрядов в  $Y$ -регистре интегратора, для решения задачи в пределах 90 единиц независимой переменной [3]:

$\delta$	2	3	4	5	6
$T$	0,66	4	60	960	3840

( $\delta$  — точность представления функции в десятичных знаках;  $T$  — машинное время решения задачи, мин).

Определим шаг интегрирования и масштаб приращений независимой переменной, исходя из требования представления функции с точностью в три десятичных знака. Для этого вес каждого приращения функции должен быть не более  $10^{-3}$ , или для двоичной системы счисления  $-2^{-10} < 10^{-3}$ , а масштаб приращений соответственно  $m_{dy}$  (он связан с масштабом данной величины через основание системы счисления  $M = 2^m$ ). Из соотношения  $m_{dy} = m_{dx} + 3$  (полученного предварительно) определяем масштаб поступления независимой переменной  $m_{dx} = 7$ . Шаг интегрирования составляет величину  $\Delta\tau = 2^{-7}$ . При таком шаге интегрирования и оговоренных выше условиях необходимо  $2^{-7} \cdot 90$  итераций или 4 мин машинного времени. Аналогичным образом получены и остальные соотношения.

При невозможности удовлетворить требованиям заказчика в рамках заданных стратегий на данной вычислительной машине следует обратиться к вычислительной машине с другим быстрым действием и числом разрядов в  $Y$ -регистре интеграторов.

Основными шагами процедуры масштабирования ОЦИС программным способом можно назвать следующие:

1. Описание решающей структуры на языке внутренней интерпретации ОЦИС получаем в результате трансляции исходной программы, представленной на входном языке описания объекта моделирования. В качестве внутреннего языка в данном случае используется язык, описанный в работе [4].

2. Формальное описание решающей структуры помещается в таблицу, которая используется в процессе расчета масштабных коэффициентов, а также при построении и коммутации схемы решения.

3. Определяются соотношения масштабов отдельных интеграторов и их зависимость от масштаба независимой переменной, выбранной в рамках одной из стратегий решений (I—III).

Здесь же, определив масштабы входов и выходов интегратора ( $m_{dx}$ ,  $m_{dy}$  и  $m_{ds}$ ), находим количество используемых разрядов  $n'$ .

Одновременно начальные значения содержимого  $Y$ -регистров и постоянные множители переводятся в двоичную систему и записываются с учетом количества используемых разрядов.

Заметим, что наибольшие значения переменных ориентировочно определяются из следующего условия:  $a^{-m_y-1} < y_{\max} < a^{-m_y}$ , где  $a$  — основание системы счисления.

Известно [3], что каждому цифровому интегратору соответствуют масштабные соотношения

$$m_{dx} + m_y - m_{ds} = 0; \quad n' = m_{dy} - m_y. \quad (1)$$

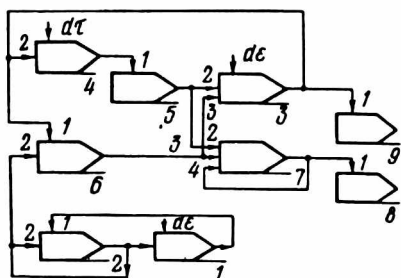


Рис. 1. Схема решения уравнений Бесселя.

Они положены в основу расчета масштабов при программном способе масштабирования. Реализацию данного способа рассмотрим на примере решения уравнения Бесселя для функции нулевого порядка [3]. Схема решения, приведенная на рис. 1, описывается в результате трансляции на языке внутренней интеритерации в таблице с помощью последовательности указателей. Указатель главного элемента назы-

вает элемент, выход которого должен соединяться со входом (входами) других элементов. Эти элементы задаются при помощи указателя вспомогательного элемента.

Формальное описание решающей структуры, приведенное в таблице, расшифровывается следующим образом.

1-я строка — 0, признак главного элемента, с выхода которого начинается коммутация схемы для данного описания (заметим, что главным элементом может быть выбран произвольно любой элемент в схеме решения из числа тех, на которые поступает независимая перемен-

	1	2	3	4	5
1	0,1---	2-1∪∪			
2	0,2---	1-2∪∪	2-2---	6-2---	
3	0,3---	6-1∪∪	4-2---	9-1---	
4	0,4---	5-1∪∪			
5	0,5---	3-2∪∪	7-2---		
6	0,6---	7-3∪∪	3-3---		
7	0,7---	7-4∪∪	8-1---		
8	1,				
...					
$i$	0, $i$ ---	$l-j$ ---	...		
...					

ная). Здесь в качестве главного элемента (для первой строки) выбран интегратор, номер которого 1, поэтому запись первой строки следует читать: выход главного элемента соединить со входом 2 интегратора, номер которого 2.

2-я строка — 0,2, указатель главного элемента, с выхода которого продолжается коммутация схемы решения, т. е. запись 2-й строки: выход интегратора 2 соединить со входом 2 интегратора 1, со входом 2 интегратора 2 и со входом 2 интегратора 6 и т. д.

8-я строка — 1, конец (схема замкнута).

В общем случае  $i$ -я строка формального описания имеет вид  $0, i \square \square \square l \square j \square \square \dots$ . Из приведенного пояснения видна простота составления и анализа формального описания схем решения (см. также таблицу).

Анализ формального описания, приведенного в таблице, показывает, что первый столбец его содержит имя-код  $MDS(i)$  на выходах всех интеграторов, последующие столбцы — имя-коды  $MDX(i)$  или  $MDY(i)$  всех входов интеграторов (за исключением входов по независимой переменной). При этом каждая строка показывает связь имени-кода выхода данного интегратора с именами-кодами входов его или других интеграторов. Перед анализом первой и каждой последующей строки формального описания производится формирование стандартной записи  $MDS(i) = MY(i) + MDX(i)$ . Далее формируются стандартные записи  $MDX(i) = MDS(i)$  или  $MDY(i) = MDS(i)$ , вид которых определяется значением номера входа  $j$  рассматриваемого интегратора, а количество записей — числом столбцов в формальном описании, следующих за первым. Алгоритм анализа формального описания интегрирующих структур для составления соотношений масштабов отдельных интеграторов машинным способом приведен на рис. 2.

В работе используется программа расчета масштабов уравнения Бесселя для функции нулевого порядка, которая может быть условно представлена тремя частями. Первая часть — это область задания всех исходных значений: а) масштабов всех интеграторов ( $MY(i)$ ); б) масштаба поступления независимой переменной ( $MDT$ ) и указание тех входов интеграторов ( $MDX(i)$ ), на которые она поступает. Вторая часть составляется согласно алгоритму анализа формального описания интегрирующих структур. Третья часть — вывод на печать операторами *WRITE* или *PRINT* результатов счета программы.

Результаты, полученные программой, совпадают с результатами, приведенными в работе [3] при решении данной задачи ручным способом. Таким образом, на примере уравнения Бесселя вполне очевидна воспроизводимость результата расчета масштабов в цифровых интегрирующих структурах программным способом.

**Выводы.** Предложенный способ позволяет производить решение задачи в рамках одной из стратегий решения I—III. Метод делает возможным автоматизировать практически весь процесс масштабирования. Очевидна простота и удобство данного способа масштабирования. При организации предложенного

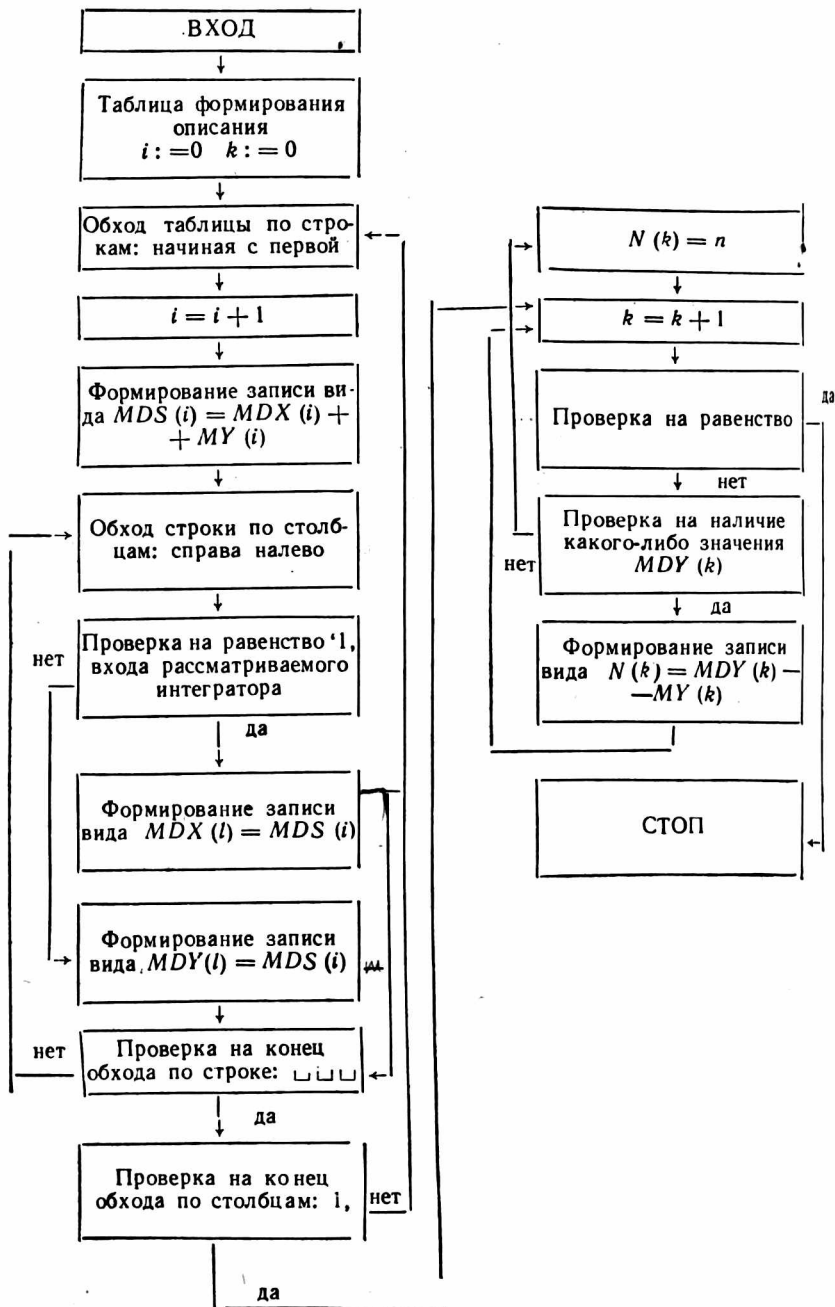


Рис. 2. Блок-схема алгоритма анализа формального описания.

способа вычислений не требуется дополнительная аппаратура. Программа унифицирована таким образом, что задание всех исходных данных не требует набивки большого числа перфокарт (так, для  $K < 99$  необходимо не более трех перфокарт, где  $K$  — число интеграторов в схеме решения); при этом затраты машинного времени сравнительно невелики (для рассмотренного примера — 96 сек).

В дальнейшем предполагается рассмотреть программный способ масштабирования для ОЦИС в составе неоднородной вычислительной системы (НВС), а также для более сложных случаев масштабирования (например, когда известны максимальные значения переменных).

**Список литературы:** 1. *Ohlinger L.* Anotran — first step in greeding the dialog. — *Proceedings of the Western Joint Computer Conference*, 1960, v. 17, p. 11-19. 2. *Шабанов-Кушнарченко Ю. П.* Математическое моделирование некоторых функций человеческого зрения. Автореф. дис. на соиск. учен. степени д-ра техн. наук. Киев, 1965. 45 с. 3. *Неслуховский К. С.* Цифровые дифференциальные анализаторы. М., Машиностроение, 1968. 261 с. 4. *Мурашко А. Г., Сенченко Н. И., Терентьев М. Ф.* Об одном способе формального описания структурных схем на АВМ. — *Аналоговая и аналого-цифровая вычислительная техника*. М., 1973, вып. 5, с. 253.