

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

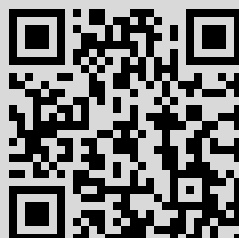
Е. А. Жоголев, Система команд и интерпретирующая система для машины “Сетунь”, *Ж. вычисл. матем. и матем. физ.*, 1961, том 1, номер 3, 499–512

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 5.166.133.60

6 мая 2018 г., 14:08:03



СИСТЕМА КОМАНД И ИНТЕРПРЕТИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ МАШИНЫ «СЕТУНЬ»

Е. А. ЖОГОЛЕВ

(Москва)

Как бы ни была развита система команд вычислительной машины, она дает в руки математика весьма несовершенный аппарат для описания вычислительных процессов. Этот аппарат может быть существенно расширен и улучшен с помощью обычных приемов автоматизации программирования (разработкой системы стандартных подпрограмм, введением компилирующих и интерпретирующих систем, созданием программирующих программ и т. д.). Необходимость «улучшения» исходного аппарата программирования является еще более острой для малых вычислительных машин, обладающих несложной логической структурой и имеющих в своем составе, как правило, небольшой набор самых элементарных операций.

В данной статье рассматривается первый шаг «улучшения» исходного аппарата программирования для машины «Сетунь»* с помощью интерпретирующей системы. Эта система может быть основой для дальнейшего улучшения аппарата программирования. «Сетунь» является одноадресной машиной последовательного действия с фиксированной запятой. В качестве системы счисления используется троичная система с цифрами — 1, 0, 1. Машина оперирует с 18-разрядными (длинными) и 9-разрядными (короткими) троичными кодами. Все команды являются 9-разрядными кодами

$$\underbrace{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3 \varepsilon_4 \varepsilon_5}_A \quad \underbrace{\varepsilon_6 \varepsilon_7 \varepsilon_8}_\theta \quad \underbrace{\varepsilon_9}_{\pi_F},$$

причем старшие пять разрядов команды образуют адресную часть A , а младшие четыре разряда образуют код операции θ с признаком модификации команды π_F . Числа могут быть как 9-разрядные, так и 18-разрядные, причем запятая стоит всегда после второго разряда, т. е. все числа по модулю меньше 4,5. С точки зрения точности представления чисел, 18 троичных разрядов примерно соответствуют 29 двоичным. Оперативную (ферритовую) память машины составляет 81 ячейка, в каждой из которых хранится либо один длинный, либо два коротких кода.

* «Сетунь» — малогабаритная вычислительная машина, созданная в Вычислительном центре МГУ в 1958 г. См. доклад: Н. П. Брусе н ц о в. Вычислительная машина «Сетунь» Московского государственного университета. В сб.: Материалы научнотехнической конференции «Новые разработки в области Вычислительной математики и вычислительной техники». Киев, 1960, 226—234.

При использовании только этой памяти машина выполняет в среднем 4500 операций в секунду. Оперативную память можно условно разбить на три зоны Φ_α , $\alpha = -1, 0, 1$, в каждой из которых может храниться по 54 коротких кода. Адреса ячеек каждой зоны имеют одно и то же значение старшего троичного разряда, являющегося по существу признаком зоны оперативной памяти $\pi_\Phi = \alpha$. Следовательно, адреса ячеек оперативной памяти, а также адресную часть команд можно представить в виде

$$A = \pi_\Phi \Delta,$$

где Δ означает номер строки в зоне с признаком π_Φ , причем младший из четырех разрядов Δ является признаком длины кода π_A , к которому относится данный адрес (при $\pi_A = -1$ адрес относится к длинному коду, при $\pi_A = 0$ или $\pi_A = 1$ адрес относится, соответственно, к первому или ко второму коротким кодам, составляющим один длинный код).

Основной памятью машины «Сетунь» является магнитный барабан, способный хранить 36 зон * по 54 коротких кода, т. е. всего на магнитном барабане может храниться 1944 коротких кода. Обмен информацией между магнитным барабаном и оперативной памятью производится зонами, а именно: любая зона магнитного барабана (оперативной памяти) может быть считана (записана) в любую зону оперативной памяти (магнитного барабана). При этом адресная часть A команд указанного обмена информацией имеет следующий вид:

$$A = \pi_\Phi M, \quad M \neq 0,$$

где π_Φ по-прежнему является признаком зоны оперативной памяти, а M — номером зоны магнитного барабана, с которым связан данный обмен информацией.

Магнитный барабан вращается со скоростью 6000 оборотов в минуту. Вдоль окружности барабана размещаются четыре зоны. Следовательно, время считывания (записи) одной зоны (54 коротких кода) в среднем равно 7500 мксек., что составляет примерно время выполнения 34 команд.

Кроме описанных видов памяти, машина «Сетунь» имеет четыре регистра, доступных для программиста:

- 1) 18-разрядный регистр S , с которым связано выполнение большинства операций;
- 2) 18-разрядный регистр R , используемый при выполнении операций умножения;

- 3) 5-разрядный регистр модификации F (индекс-регистр), который позволяет при выполнении команды

$$A \oplus \pi_F$$

использовать в качестве ее адресной части код ** (модифицированный адрес)

$$A^* = [A + \pi_F \cdot (F)] \bmod 3^5,$$

где (F) — содержимое регистра F ;

* В ближайшее время объем этой памяти (число зон) будет удвоен.

** Ясно, что $A^* = A$ при $\pi_F = 0$. В остальных случаях адресная часть A увеличивается или уменьшается на содержимое регистра F .

4) 5-разрядный регистр управления C , в котором содержится адрес выполняемой команды; после выполнения каждой команды в регистре C формируется адрес следующей команды причем за командой являющейся первым коротким кодом какой-либо ячейки, следует команда,

Таблица 1

Система команд машины «Сетунь»

Код операции	Название операции	Содержание команды $A \text{ в } P$	Выработка ω	Время выполнения команды в мксек.
$\bar{3}\bar{3}$	Считывание с МБ	$[M^*] \Rightarrow [\Phi_\alpha], \alpha = \pi^* \Phi$	Сохраняется	7500
$\bar{3}0$	Ввод—вывод	В данной статье не описывается	Сохраняется	—
$\bar{3}\bar{3}$	Запись на МБ	$[\Phi_\alpha] \Rightarrow [M^*], \alpha = \pi^* \Phi$	Сохраняется	7500
$\bar{2}\bar{3}$	Нормализация	Норм $(S) \Rightarrow (A^*)$; $N \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	$275 + 5 N $
$\bar{2}0$	Сдвиг	Сдв (S) на $(A^*) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	$290 + 5 N $, $ N \leq 18$
$\bar{2}\bar{3}$	Запись из S	$(S) \Rightarrow (A^*)$	$\omega(S)$	225
$\bar{1}\bar{3}$	Сложение в F	$(A^*) + (F) \Rightarrow (F)$	$\omega(F)$	180
$\bar{1}0$	Посылка в F	$(A^*) \Rightarrow (F)$	$\omega(F)$	180
$\bar{1}\bar{3}$	Сложение в C с посылкой в F	$(A^*) + (C) \Rightarrow (F)$	$\omega(F)$	180
$0\bar{3}$	Запись из F	$(F) \Rightarrow (A^*)$	$\omega(F)$	180
00	Безусловный переход (БП)	$A^* \Rightarrow (C)$	Сохраняется	100
03	Запись из C	$(C) \Rightarrow (A^*)$	Сохраняется	180
$1\bar{3}$	Условный переход УП-1	$A^* \Rightarrow (C)$ при $\omega = \bar{1}$	Сохраняется	100, 180
10	Условный переход УП-0	$A^* \Rightarrow (C)$ при $\omega = 0$	Сохраняется	100, 180
13	Условный переход УП-1	$A^* \Rightarrow (C)$ при $\omega = 1$	Сохраняется	100, 180
$2\bar{3}$	Останов	Останов; $(A^*) \Rightarrow (R)$	$\omega(R)$	—
20	Поразрядное умножение	$(A^*) \otimes (S) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	180
23	Посылка в R	$(A^*) \Rightarrow (R)$	$\omega(R)$	180
$3\bar{3}$	Вычитание в S	$(S) - (A^*) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	180
30	Посылка в S	$(A^*) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	180
33	Сложение в S	$(S) + (A^*) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	180
$4\bar{3}$	Умножение-1	$(A^*) + (S)(R) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	325
40	Умножение-0	$(S) \Rightarrow (R)$; $(A^*)(R) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	325
43	Умножение-1	$(S) + (A^*)(R) \Rightarrow (S)$	$\omega(S)$	325

Примечание: Операции с кодом $\bar{4}\bar{3}$, $\bar{4}0$, $\bar{4}3$ в настоящее время не используются. Они предназначены для действий с магнитной лентой.

являющаяся вторым коротким кодом этой ячейки, а вслед за ней — команда, являющаяся первым коротким кодом следующей ячейки, и т. д.; этот порядок может быть нарушен при выполнении команд перехода.

Содержимое из первых трех регистров сохраняется неизменным до тех пор, пока в соответствующий регистр не будет послан результат выполнения какой-либо команды. При выполнении команд, использующих регистры F и C , операции производятся над 5-разрядными кодами, которые можно рассматривать как целые числа. При выборке из памяти 5-разрядный код рассматривается как старшие пять разрядов соответствующего короткого или длинного кода, при запоминании в ячейке памяти 5-разрядный код записывается в старшие пять разрядов и дополняется до соответствующего короткого или длинного кода записью нулей в остальные разряды. При выполнении команд, использующих регистры S и R , выбираемые из памяти короткие коды рассматриваются как длинные с добавлением нулей в девять младших разрядов, а в оперативную память в качестве короткого кода записывается содержимое девяти старших разрядов регистра S (запись в оперативную память непосредственно из регистра R невозможна).

В табл. 1 приведена система команд машины «Сетунь». В ней код операции вместе с признаком модификации, положенным равным нулю, записывается с помощью двух девятеричных цифр. При этом цифры с черточкой наверху обозначают соответствующие «отрицательные» цифры (например, символ $\bar{3}$ обозначает цифру -3).

При написании команд к такому коду операции необходимо прибавить значения признака модификации команды (если, конечно, оно отличается от нуля).

Кроме того, символы $[M]$ или $[\Phi_\alpha]$ обозначают содержимое зоны M магнитного барабана или, соответственно, зоны Φ_α оперативной памяти; символы (A) , (S) , (R) , (F) и (C) обозначают, соответственно, содержимое ячейки A оперативной памяти, регистров S , R , F и C ; символ \Rightarrow означает посылку результата или содержимого зоны, указанных слева от этого символа, на место величины или, соответственно, содержимого зоны, указанных справа от этого символа. Например, запись $(S) \Rightarrow (A)$ означает: послать содержимое регистра S на место содержимого ячейки A .

Звездочкой $*$ помечаются модифицированные адреса или их составные части.

После выполнения каждой команды вырабатывается значение некоторого признака ω по формуле

$$\omega = \omega(X) = \text{sign}(X),$$

$$\text{sign}(X) = \begin{cases} \bar{1} & \text{при } (X) < 0, \\ 0 & \text{при } (X) = 0, \\ 1 & \text{при } (X) > 0. \end{cases}$$

где X — обозначение какого-либо регистра, или сохраняется предыдущее значение этого признака.

Команды условного перехода выполняются по-разному в зависимости от значения этого признака ω . При выполнении операций сложения, вычитания и умножения, использующих регистр S , может произойти останов машины по переполнению, если результат выполнения этой операции, посылаемый в регистр S , окажется по модулю больше 4,5.

Операция сдвига производит сдвиг содержимого регистра S на $|N|$ разрядов, где N рассматривается как 5-разрядный код, хранящийся в ячейке A^* , т. е. $N = (A^*)$. Сдвиг производится влево при $N > 0$ и вправо при $N < 0$. При $N = 0$ содержимое регистра S не изменяется.

Операция нормализации производит сдвиг (S) при $(S) \neq 0$ в таком направлении и на такое число разрядов $|N|$, чтобы результат, посылаемый в ячейку A^* , был по модулю больше $1/2$, но меньше $3/2$, т. е. чтобы в двух старших разрядах результата была записана комбинация троичных цифр 01 или 0 $\bar{1}$. При этом в регистр S посылается число N (5-разрядный код), знак которого определяется направлением сдвига, а именно: $N > 0$ при сдвиге вправо и $N < 0$ при сдвиге влево. При $(S) = 0$ или при $1/2 < |(S)| < 3/2$ в ячейку A^* посылается (S) , а в регистр S посылается $N = 0$.

Остальные операции, содержащиеся в табл. 1, ясны без дополнительных пояснений.

Для автоматизации процесса обмена информацией между магнитным барабаном и оперативной памятью, введения плавающей запятой и использования стандартных подпрограмм разработана интерпретирующая система для этой машины. Основу этой системы составляют интерпретирующая программа ИП-2 и библиотека стандартных подпрограмм. В рамках этой системы магнитный барабан рассматривается, фактически, в качестве оперативной памяти. Для указания местоположения кодов на магнитном барабане вводятся обобщенные адреса A_j , являющиеся 9-разрядными троичными кодами. Каждый из этих адресов имеет следующую структуру:

$$A_j = \pi_{\Phi_j} M_j \Delta_j,$$

где Δ_j является номером строки зоны M_j магнитного барабана при $\pi_{\Phi_j} = 0$ и $M_j \neq 0$, а в противном случае обобщенный адрес может содержать иную информацию, смысл которой будет достаточно ясен в процессе изложения. (Здесь π_{Φ_j} является троичной цифрой, а M_j и Δ_j — четырехразрядными троичными кодами.)

При таком способе указания местоположения кодов на магнитном барабане образуется сплошной массив «ячеек» памяти с последовательными обобщенными адресами A_j .

Предполагается, что программа и информация, необходимая для ее работы, находятся полностью на магнитном барабане. Оперативная память играет в этой системе роль буферного запоминающего устройства, на которое вызывается для выполнения очередная часть (зона) программы и какая-либо зона информации, необходимость в которой возникает в процессе вычислений. Кроме того, в оперативной памяти постоянно хранится основная часть интерпретирующей программы ИП-2.

В связи с этим зоны оперативной памяти выполняют функции:

- зона Φ_0 служит местом, на которое считывается зона информации, требующаяся в процессе выполнения программы, а также местом для выполнения ряда стандартных подпрограмм;
- зона Φ_1 служит местом для выполнения очередной зоны основной программы;
- зона Φ_{-1} служит местом для размещения интерпретирующей программы.

Основная программа выполняется в режиме частичной интерпретации, а именно выполняются обычные машинные команды * до тех пор, пока не возникает необходимость использовать обобщенные адреса (потребуется информация, хранящаяся в данный момент на магнитном барабане), обратиться к какой-либо стандартной подпрограмме или перейти к выполнению команды, расположенной в другой зоне основной программы; в этих случаях происходит обращение к ИП-2.

Интерпретирующая программа ИП-2 выполняет следующие функции:

1) реализует обращение к стандартным подпрограммам и, как частный случай этого, производит пересылку информации с одного места памяти на другое;

2) производит передачу управления по обобщенному адресу (обобщенный переход);

3) продолжает выполнение линейных (без передач управления) кусков программы при переходе от одной зоны программы к следующей.

При обращении к стандартным подпрограммам задаются обобщенные адреса аргумента и результата, а также обобщенный адрес начала подпрограммы. При этом предполагается, что указываемые при обращении числа x_i представлены в системе плавающей запятой следующим образом:

$$x_i = X_i \cdot 3^{p_i},$$

где X_i является 18-разрядным кодом, рассматриваемым в качестве обычного числа с фиксированной запятой, а p_i — 5-разрядным кодом, рассматриваемым как целое число и помещаемым на место первого короткого кода, следующего за длинным кодом X_i . Результат выполнения какой-либо подпрограммы представляется в таком же виде, только в этом случае X_i и p_i удовлетворяют следующим соотношениям:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} < |X_i| < \frac{3}{2}, \quad |p_i| \leq 40 \quad \text{при } x_i \neq 0, \\ X_i = 0, \quad p_i = -40 \quad \text{при } x_i = 0. \end{aligned}$$

Такое представление чисел позволяет вести вычисления с восемью верными десятичными знаками в диапазоне от 10^{-19} до 10^{+19} . В качестве обобщенного адреса величины x_i указывается обобщенный адрес ее мантиссы X_i . Обобщенный адрес начала подпрограммы, а также обобщенный адрес A_j при обобщенном переходе относятся к коротким кодам. Для продолжения выполнения линейных кусков программы никакой информации не требуется, так как после выполнения последней команды зоны Φ_1 , т. е. последней команды зоны основной программы, расположенной в оперативной памяти, управление автоматически перейдет первой команде зоны Φ_{-1} , т. е. первой команде ИП-2, которая «догадается», что в этом случае нужно передать управление первой команде следующей зоны основной программы.

* При этом, естественно, можно использовать константы и рабочие ячейки интерпретирующей программы, находящиеся в зоне Φ_{-1} .

Интерпретирующая программа каждый раз запоминает номера зон магнитного барабана M_0 и M_1 , содержимое которых в данный момент вызвано в оперативную память, соответственно, на место зон Φ_0 и Φ_1 . Поэтому при каждом считывании зоны магнитного барабана содержимое соответствующей зоны оперативной памяти в случае необходимости запоминается на магнитном барабане.

Основная часть ИП-2, находящаяся в оперативной памяти, полностью реализует те действия, которые чаще других повторяются в процессе счета, а именно обращения к стандартным подпрограммам и вызов в оперативную память информации, требующейся в процессе счета. Внутри этой части имеются рабочие ячейки, в которых, в частности, могут храниться две величины, u и v , представленные вышеуказанным образом в системе плавающей запятой, и номер M_0 зоны магнитного барабана, вызванной в данный момент в зону Φ_0 оперативной памяти. Для реализации обобщенного перехода или «продолжения» линейных кусков программы в основной части ИП-2 имеется лишь несколько вспомогательных команд, которые производят запоминание основной части ИП-2 вместе с содержимым рабочих ячеек в зоне 13 магнитного барабана*, а на ее место вызывают другую зону ИП-2 (зону переходов), хранящуюся в зоне 14 магнитного барабана. Внутри этой зоны также имеются рабочие ячейки, в которых, в частности, запоминается номер M_1 зоны основной программы, вызванной в зону Φ_1 оперативной памяти.

После выполнения своих функций зона переходов ИП-2 записывает свое состояние в зону 14 магнитного барабана и восстанавливает в оперативной памяти состояние основной зоны ИП-2.

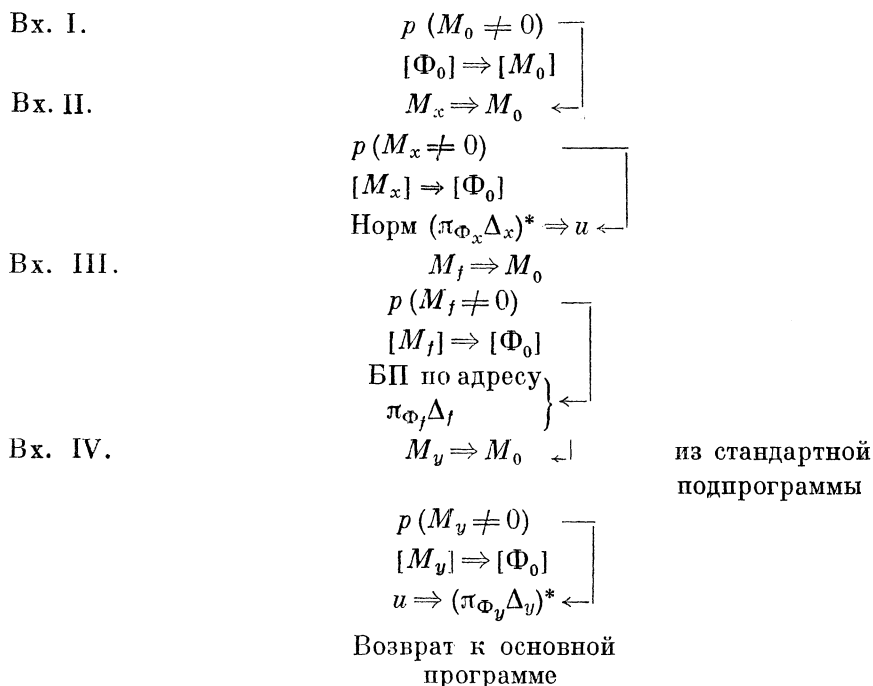
Обращение к стандартным подпрограммам в самом общем случае имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} (\kappa_0): \bar{1} \quad \bar{42} \ 03 \quad (C) \Rightarrow (\alpha) \\ (\kappa_1): \bar{1} \quad \bar{43} \ 00 \quad \text{БП} \ \uparrow \text{Вх. 1 ИП-2} \\ (\kappa_2): \pi_{\Phi_x} M_x \Delta_x \\ (\kappa_3): \pi_{\Phi_f} M_f \Delta_f \\ (\kappa_4): \pi_{\Phi_y} M_y \Delta_y \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} (\kappa_2): \pi_{\Phi_x} M_x \Delta_x \\ (\kappa_3): \pi_{\Phi_f} M_f \Delta_f \\ (\kappa_4): \pi_{\Phi_y} M_y \Delta_y \end{aligned}} \right\} f(x) \Rightarrow y$$

где первые две команды (κ_0) и (κ_1) производят обращение к ИП-2 (α — рабочая ячейка ИП-2), а три последние команды (κ_2) , (κ_3) и (κ_4) определяют некоторую псевдокоманду типа $f(x) \Rightarrow y$, которую должна выполнить ИП-2. При этом $A_x = \pi_{\Phi_x} M_x \Delta_x$ является обобщенным адресом аргумента, $A_f = \pi_{\Phi_f} M_f \Delta_f$ — обобщенным адресом начала соответствующей подпрограммы, т. е. наименованием функции $f(x)$, а $A_y = \pi_{\Phi_y} M_y \Delta_y$ — обобщенным адресом результата. (Здесь и в дальнейшем изложении команды машины «Сетунь» записываются в виде $\varepsilon_1 \sigma_2 \sigma_3 \sigma_4$, где ε_1 — троичная цифра, а σ_i ($i = 2, 3, 4, 5$) — девятеричные цифры.)

Работа интерпретирующей программы в этом случае грубо может быть описана следующей схемой (подробно по командам ИП-2 приведена в табл. 2 и 3):

* Зоны магнитного барабана в настоящее время имеют номера $\bar{14}$, $\bar{13}$, ..., $\bar{43}$, $\bar{44}$.



Здесь символ $(\delta)^*$ следует понимать как число, представленное в системе плавающей запятой и образованное длинным кодом с адресом δ и следующим за ним коротким кодом; символ Норм $(\delta)^*$ означает, что это число нормализуется, т. е. к длинному коду (δ) применяется машинная операция нормализации, а число сдвигов N добавляется к короткому коду (порядку числа).

Из этой схемы видно, что аргументом каждой стандартной подпрограммы является величина u , результат выполнения этой подпрограммы посылается на место величины u .

Над величиной v интерпретирующая программа никаких действий не производит, однако с этой величиной может оперировать та или иная подпрограмма, используя ее в качестве второго аргумента или в качестве второго результата.

Из этой же схемы ясно назначение составных частей обобщенного адреса; в частности, при $M_j = 0$ соответствующий обобщенный адрес A_j относится к оперативной памяти. Так, например, величины u и v имеют, соответственно, обобщенные адреса $\bar{1} 00 32$ и $\bar{1} 00 41$, которые можно рассматривать в интерпретирующей системе как адреса двух быстродействующих ячеек.

Таким образом, при обращении к стандартной подпрограмме в общем случае требуется четыре обращения к магнитному барабану, что составляет, с учетом времени работы ИП-2 и стандартной подпрограммы*, 39 000—51 000 мсек. Однако это время будет меньше, если обобщенные адреса A_j относятся к оперативной памяти ($M_j = 0$); например, при

* Время работы подпрограммы полагается равным 4000—8500 мсек. За это время выполняются все арифметические действия в системе плавающей запятой и вычисляются основные элементарные функции.

отсутствии обращений к магнитному барабану время обращения к стандартной подпрограмме и ее выполнения составляет 19 000—23 500 мксек.

С помощью такого обращения к стандартным подпрограммам можно осуществить пересылку вида $x \Rightarrow y$, если положить

$$A_f = \bar{1} \ 00 \ \bar{2}1,$$

что будет означать в процессе работы ИП-2 передачу управления не какой-либо стандартной подпрограмме, а блоку Вх. IV интерпретирующей программы.

При указанном способе обращения к стандартным подпрограммам и пересылки чисел с одного места памяти на другое ИП-2 обеспечивает правильный и своевременный обмен информацией между оперативной памятью и магнитным барабаном. Однако в ряде случаев можно избежать работы некоторых блоков ИП-2, если воспользоваться дополнительными сведениями о размещении информации в оперативной памяти. Так, можно избежать работы блока Вх. I интерпретирующей программы, если известно, что состояние зоны Φ_0 не нужно или не обязательно запоминать на магнитном барабане. Для этого вторую строку (κ_1) обращения к стандартным подпрограммам следует заменить строкой вида

$$(\kappa_1): \bar{1} \ \bar{3}2 \ 00 \quad \text{БП} \ \uparrow \text{Вх. II ИП-2}$$

Если, кроме того, аргумент уже находится на месте величины u , то можно избежать работы и блока Вх. II интерпретирующей программы. В этом случае обращение к стандартным подпрограммам имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} (\kappa_0): \bar{1} \ \bar{4}2 \ 03 & \quad (C) \Rightarrow (\alpha) \\ (\kappa_1): \bar{1} \ \bar{2}2 \ 00 & \quad \text{БП} \ \uparrow \text{Вх. III ИП-2} \\ (\kappa_2): \pi_{\Phi_f} M_f \Delta_f & \\ (\kappa_3): \pi_{\Phi_y} M_y \Delta_y & \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} (\kappa_0): \bar{1} \ \bar{4}2 \ 03 \\ (\kappa_1): \bar{1} \ \bar{2}2 \ 00 \\ (\kappa_2): \pi_{\Phi_f} M_f \Delta_f \\ (\kappa_3): \pi_{\Phi_y} M_y \Delta_y \end{aligned}} \right\} f(u) \Rightarrow y$$

Во всех этих случаях первая строка (κ_0) может быть пропущена, если данное обращение к стандартной подпрограмме непосредственно следует за другим обращением к стандартной подпрограмме (режим сплошной интерпретации).

Следует также отметить, что ряд стандартных подпрограмм может быть организован таким образом, чтобы не требовать при обращении к нему задания последней строки

$$A_y = \pi_{\Phi_y} M_y \Delta_y.$$

В этом случае результат будет получаться только на месте величин u и v .

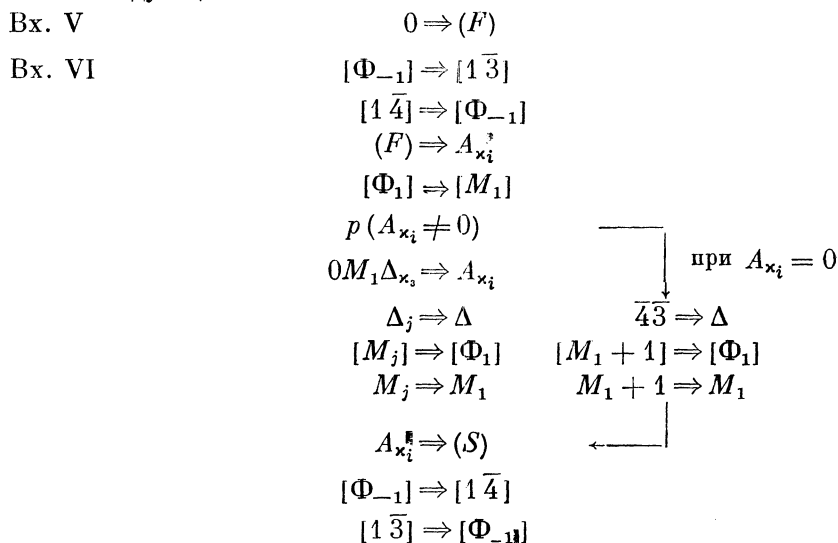
Как уже указывалось выше, для «продолжения» линейных кусков программы не требуется задания какой-либо информации: после выполнения последней команды зоны Φ_1 управление автоматически перейдет к блоку Вх. V интерпретирующей программы. Для выполнения обобщенного перехода требуется написать три следующие строки:

$$\begin{aligned} (\kappa_0): \bar{1} \ \bar{2}3 \ \bar{1} \ 3 & \quad (C) + 3e_A \Rightarrow (F) \\ (\kappa_1): \bar{1} \ \bar{4}2 \ 00 & \quad \text{БП} \ \uparrow \text{Вх. VI ИП-2} \\ (\kappa_2): 0M_j \Delta_j & \end{aligned}$$

где $A_j = 0 M_j \Delta_j$ является обобщенным адресом команды, с которой нужно продолжить дальнейшее выполнение программы. (Здесь 1 и в дальнейшем изложении e_A означает единицу адресной части команды, т. е. единицу 5-разрядного кода. В силу того, что младший разряд π_A адресной части используется для указания длины кода (смотри выше), то имеет место соотношение:

$$\kappa_0 + 3e_A = \kappa_2.$$

Работа интерпретирующей программы в этих случаях грубо описывается следующей схемой:



БП по адресу 1Δ (Возврат к основной программе)

Здесь κ_3 — адрес строки, следующей за обобщенным переходом; он связан с величиной Δ_{κ_3} соотношением

$$\kappa_3 = 1\Delta_{\kappa_3}.$$

Как видно из схемы, внутри зоны переходов в случае обобщенного перехода запоминается величина $A_{\kappa_i} = 0M_1\Delta_{\kappa_3}$, являющаяся обобщенным адресом строки, следующей за обобщенным переходом. Кроме того, эта величина A_{κ} перед выходом из интерпретирующей программы засылается в регистр S и поэтому может быть немедленно использована основной программой, например, для организации обратной связи с той частью программы, в которой был произведен данный обобщенный переход.

При реализации действий, описываемых в данной схеме, производится шесть обращений к магнитному барабану, что составляет с учетом времени работы интерпретирующей программы 50 000—55 000 мксек.

Обобщенный переход может использоваться и для обращения к стандартным подпрограммам. В этом случае в строках (κ_3) , (κ_4) и т. д., следующих за обобщенным переходом, может задаваться информация, необходимая для работы соответствующей подпрограммы.

Для «извлечения» этой информации имеется стандартная подпрограмма, расположенная в зоне переходов ИП-2, обращение к которой в общем

случае производится следующим образом:

$$\begin{aligned} (v_0): \bar{1} \quad \bar{4}\bar{2} \quad 03 \quad (C) \Rightarrow (\alpha) \\ (v_1): \bar{1} \quad \bar{4}\bar{3} \quad 00 \quad \text{БП } \underline{\uparrow} \text{ Вх. 1 ИП-2} \\ (v_2): \pi_{\Phi_x} M_x \Delta_x \\ (v_3): 0 \quad \bar{1}\bar{4} \quad 20 \quad \text{БП } \underline{\uparrow}^6 \text{ зоны переходов ИП-2} \end{aligned}$$

Здесь по-прежнему A_x является обобщенным адресом аргумента. Но так как величина u в данной подпрограмме не используется, то можно положить

$$A_x = \bar{1} 00 \ 32,$$

если только не требуется для дальнейших вычислений занести какое-либо число на место величины u . Все сказанное о других возможных вариантах обращения к стандартным подпрограммам имеет место и в этом случае.

Данная подпрограмма производит засылку в регистр S очередной «извлекаемой» строки (A_{x_i}), где $A_{x_i} = 0 M_{x_i} \Delta_{x_i}$ (первоначально $A_{x_i} = 0 M_1 \Delta_{x_i}$), а на место величины A_{x_i} — обобщенного адреса следующей строки ($0 M_{x_{i+1}} \Delta_{x_{i+1}} \Rightarrow A_{x_i}$).

При этом производятся три дополнительных обращения к магнитному барабану (не считая обращений, производимых интерпретирующей программой).

Последующие обращения к данной подпрограмме, если они не разделяются другими обращениями к ИП-2, можно производить с помощью следующих двух строк:

$$\begin{aligned} (v_0): \bar{1} \ 4 \ \bar{2} \ 03 \quad (C) \Rightarrow (\alpha) \\ (v_1): 0 \ 20 \ 00 \quad \text{БП } \underline{\uparrow} \text{ к подпрограмме} \end{aligned}$$

При этом каждый раз производятся три обращения к магнитному барабану.

После «извлечения» всех строк информации величина A_{x_i} , хранящаяся в ячейке $0 \ 0\bar{3}$ (с обобщенным адресом $0 \ \bar{1}\bar{4} \ 0\bar{3}$), по-прежнему будет означать обобщенный адрес команды основной программы, к которой нужно вернуться по окончании работы подпрограммы, указанной при обобщенном переходе.

Описанная здесь интерпретирующая система значительно облегчает процесс программирования на машине «Сетунь», причем это достигается без заметного увеличения времени счета, ввиду того что в этой системе производятся в большинстве случаев только существенно необходимые обращения к магнитному барабану, а интерпретация тех или иных псевдокоманд осуществляется, как правило, между такими обращениями к магнитному барабану, не вызывая значительного увеличения времени счета.

Дальнейшее расширение возможностей интерпретирующей программы потребовало бы увеличения числа команд, что, в свою очередь, увеличило бы число обращений к магнитному барабану, а тем самым и время счета. В свете этого будут понятны следующие замечания, уточняющие возможности применения интерпретирующей системы.

1. ИП-2 использует в процессе работы все регистры, кроме регистра R , не восстанавливая их содержимого после окончания работы (регистр R

Т а б л и ц а 2

Основная зона ИП-2 (зона МБ 13)

Адреса $\pi_{\Phi}=\bar{1}$	Команды	Комментарии	Адреса $\pi_{\Phi}=\bar{1}$	Команды	Комментарии
$\bar{44}$	$\bar{43}$ $\bar{1}$ $\bar{31}$ $\bar{10}$ $\bar{42}$ $\bar{1}$ $\bar{13}$ $\bar{33}$	$0 \Rightarrow (F) \leftarrow$ Вх. V $[\Phi_{-1}] \Rightarrow [\bar{13}] \leftarrow$ Вх. VI	02	03 $\bar{1}$ $\bar{41}$ 20 04 $\bar{1}$ $\bar{42}$ 33	$0 \ 0\pi_A \ 00 \Rightarrow (S)$ $(S) + (\alpha) \Rightarrow (S)$
$\bar{41}$	$\bar{40}$ $\bar{1}$ $\bar{14}$ $\bar{33}$ $\bar{41}$ 0 01 00	$[14] \Rightarrow [\Phi_{-1}]$ e_A	$\bar{14}$	$\bar{13}$ $\bar{1}$ $\bar{41}$ 33 $\bar{12}$ $\bar{1}$ $\bar{42}$ $\bar{23}$	$(S) + e_A \Rightarrow (S)$ $(S) \Rightarrow (\alpha)$
$\bar{42}$	$\bar{43}$ $\bar{1}$ $\bar{44}$ $\bar{10}$ $\bar{44}$ $\bar{1}$ $\bar{32}$ 10	$M_0 \Rightarrow (F) \leftarrow$ Вх. I УП-0	$\bar{11}$	10 $\bar{1}$ $\bar{23}$ $\bar{10}$ 11 $\bar{1}$ $\bar{23}$ $\bar{13}$	$(\theta) \Rightarrow (F)$ $(F) + 3e_A \Rightarrow (F)$
$\bar{34}$	$\bar{33}$ 0 00 $\bar{34}$ $\bar{32}$ $\bar{1}$ $\bar{23}$ 03	$[\Phi_0] \Rightarrow [M_0]$ $(C) \Rightarrow (\theta) \leftarrow$ Вх. II	12	13 $\bar{1}$ $\bar{23}$ 03 14 $\bar{1}$ $\bar{22}$ $\bar{10}$	$(F) \Rightarrow (\theta)$ $(\beta) \Rightarrow (F)$
$\bar{31}$	$\bar{30}$ $\bar{1}$ $\bar{21}$ 00 $\bar{31}$ 0 00 31	БП \uparrow^1 $X \Rightarrow (S)$	24	$\bar{23}$ 0 00 00 $\bar{22}$ 0 00 00	(θ) (β)
$\bar{32}$	$\bar{33}$ $\bar{1}$ $\bar{32}$ $\bar{23}$ $\bar{34}$ 0 04 34	Норм $(S) \Rightarrow U$; $N \Rightarrow (S)$ $(S) + p_x \Rightarrow (S)$	21	20 0 00 01 21 $\bar{1}$ 00 44	e_F
$\bar{24}$	$\bar{23}$ $\bar{1}$ $\bar{43}$ $\bar{23}$ $\bar{22}$ $\bar{1}$ $\bar{32}$ $\bar{10}$	$(S) \Rightarrow p_u$ $\bar{1} \ \bar{23} \Rightarrow (F) \leftarrow$ Вх. III	22	23 $\bar{1}$ $\bar{23}$ $\bar{23}$ 24 $\bar{1}$ $\bar{32}$ 30	$(S) \Rightarrow (\theta)$ $U \Rightarrow (S)$
$\bar{21}$	20 $\bar{1}$ $\bar{23}$ 03 21 $\bar{1}$ $\bar{42}$ $\bar{10}$	$(F) \Rightarrow (\theta)$ $(\alpha) \Rightarrow (F) \leftarrow^1$	34	$\bar{33}$ 0 00 $\bar{24}$ $\bar{32}$ $\bar{1}$ $\bar{43}$ 30	$(S) \Rightarrow Y$ $p_u \Rightarrow (S)$
$\bar{22}$	$\bar{23}$ 0 03 31 $\bar{24}$ $\bar{1}$ 21 20	$((\alpha) + 3e_A) \Rightarrow (S)$ $\pi_{\Phi_j} 00 \Delta_j \Rightarrow (S)$	31	30 0 04 $\bar{24}$ 31 $\bar{1}$ 00 00	$(S) \Rightarrow p_v$ БП \uparrow^2
$\bar{14}$	$\bar{13}$ $\bar{1}$ $\bar{44}$ $\bar{23}$ $\bar{12}$ $\bar{1}$ $\bar{34}$ $\bar{20}$	$(S) \Rightarrow M_0$ $0 \ \Delta_j \ 00 \Rightarrow (S)$	32	33 0 00 00 34 0 00 00	} U
$\bar{11}$	$\bar{10}$ $\bar{1}$ $\bar{44}$ $\bar{33}$ $\bar{11}$ 0 03 $\bar{11}$	$(S) - M_0 \Rightarrow (S)$ $((\alpha) + 3e_A) \Rightarrow (F)$	$\bar{44}$	$\bar{43}$ 0 00 00 $\bar{42}$ 0 00 00	
$\bar{12}$	$\bar{13}$ $\bar{1}$ $\bar{44}$ $\bar{13}$ $\bar{14}$ $\bar{1}$ $\bar{44}$ 03	$(F) + M_0 \Rightarrow (F)$ $(F) \Rightarrow M_0$	$\bar{41}$	40 0 00 00 $\bar{41}$ 0 00 00	} V
04	03 $\bar{1}$ 00 10 02 0 00 $\bar{32}$	УП-0 \uparrow^2 $[M_j] \Rightarrow [\Phi_0]$	42	43 0 00 00 44 0 00 00	
01	00 $\bar{1}$ $\bar{22}$ $\bar{23}$ 01 $\bar{1}$ $\bar{42}$ 30	$(S) \Rightarrow (\beta) \leftarrow^2$ $(\alpha) \Rightarrow (S)$	Σ	0 00 $\bar{11}$ 1 02 $\bar{12}$	} Контрольная сумма

Примечание: По окончании работы подпрограмма передает управление ИП-2 по стрелке \uparrow^1 .

Таблица 3

Зона переходов ИП-2 (зона МБ 14)

Адреса $\pi_{\Phi} = \bar{1}, 0$	Команды	Комментарии	Адреса $\pi_{\Phi} = \bar{1}, 0$	Команды	Комментарии
$\bar{44}$ $\bar{43}$ $\bar{42}$	$\bar{1}$ $\bar{13}$ $\bar{33}$ $\bar{1}$ $\bar{42}$ $\bar{10}$	$[13] \Rightarrow [\Phi_{-1}] \leftarrow^{13}$ $(\alpha) \Rightarrow (F)$	02 03 04	0 00 01 $\bar{1}$ $\bar{43}$ $\bar{30}$	e_F 0 $\bar{43}$ $00 \Rightarrow (S) \leftarrow^{14}$
$\bar{41}$ $\bar{40}$ $\bar{41}$	0 03 01 $\bar{1}$ 03 03	Выход $(F) \Rightarrow A_{x_i}$	$\bar{14}$ $\bar{13}$ $\bar{12}$	$\bar{1}$ $\bar{44}$ $\bar{33}$ $\bar{1}$ 02 $\bar{23}$	$(S) + 1$ 00 $\bar{34} \Rightarrow (S) \leftarrow^{15}$ $(S) \Rightarrow (\delta)$
$\bar{42}$ $\bar{43}$ $\bar{44}$	$\bar{1}$ $\bar{44}$ $\bar{10}$ $\bar{1}$ 00 $\bar{34}$	$M_1 \Rightarrow (F)$ $[\Phi_1] \Rightarrow [M_1]$	$\bar{11}$ 10 11	1 00 $\bar{32}$ $\bar{1}$ $\bar{44}$ 03	$[M_j] \Rightarrow [\Phi_1]$ $(F) \Rightarrow M_1$
$\bar{34}$ $\bar{33}$ $\bar{32}$	$\bar{1}$ $\bar{32}$ $\bar{13}$ $\bar{1}$ 03 30	$(F) + e_A \Rightarrow (F)$ $A_{x_i} \Rightarrow (S)$	12 13 14	$\bar{1}$ 02 $\bar{10}$ $\bar{1}$ 03 30	$(\delta) \Rightarrow (F)$ $A_{x_i} \Rightarrow (S)$
$\bar{31}$ $\bar{30}$ $\bar{31}$	$\bar{1}$ 04 10 $\bar{1}$ 03 $\bar{10}$	УП-0 \uparrow^4 $A_{x_i} \Rightarrow (F)$	$\bar{24}$ $\bar{23}$ $\bar{22}$	$\bar{1}$ $\bar{14}$ $\bar{33}$ $\bar{1}$ $\bar{13}$ $\bar{33}$	$[\Phi_{-1}] \Rightarrow [14]$ $[13] \Rightarrow [\Phi_{-1}]$
$\bar{32}$ $\bar{33}$ $\bar{34}$	$\bar{1}$ $\bar{32}$ 20 $\bar{1}$ 03 33	$00 \pi_A 00 \Rightarrow (S)$ $(S) + A_{x_i} \Rightarrow (S)$	$\bar{21}$ 20 21	$\bar{1}$ $\bar{13}$ $\bar{33}$ 0 04 $\bar{10}$	$[\Phi_{-1}] \Rightarrow [13] \leftarrow^{16}$ $A_{x_i} \Rightarrow (F)$
$\bar{24}$ $\bar{23}$ $\bar{22}$ $\bar{20}$	$\bar{1}$ $\bar{24}$ 33 $\bar{1}$ 21 $\bar{20}$ $\bar{1}$ $\bar{44}$ 33	$(S) + \bar{1}$ 01 $20 \Rightarrow (S)$ $0 M_1 \Delta_{x_s} \Rightarrow (S)$	22 23 24	$\bar{1}$ 00 $\bar{32}$ 0 03 30	$[M_{x_i}] \Rightarrow [\Phi_{-1}]$ $A_{x_i} \Rightarrow (S)$
$\bar{21}$ $\bar{21}$	$\bar{1}$ 03 $\bar{23}$	$(S) \Rightarrow A_{x_i}$	$\bar{34}$ $\bar{33}$ $\bar{32}$	0 00 $\bar{20}$ 0 01 20	$0 \Delta_{x_i} 00 \Rightarrow (S)$
$\bar{22}$ $\bar{23}$ $\bar{24}$	0 00 31 $\bar{1}$ 01 20	$0 M_j \Delta_j \Rightarrow (S)$	$\bar{31}$ 30 31	0 02 $\bar{23}$ 0 02 $\bar{10}$	$(S) \Rightarrow (\delta)$ $(\delta) \Rightarrow (F)$
$\bar{14}$ $\bar{13}$ $\bar{12}$	$\bar{1}$ 02 $\bar{23}$ $\bar{1}$ 02 $\bar{10}$	$(S) \Rightarrow (\delta)$ $(\delta) \Rightarrow (F)$	$\bar{32}$ 33 34	0 03 30 0 03 20	$A_{x_i} \Rightarrow (S)$ 0 00 $0\pi_F \Rightarrow (S)$
$\bar{11}$ $\bar{10}$ $\bar{11}$	$\bar{1}$ 00 $\bar{20}$ $\bar{1}$ 01 20	$0 \Delta_j 00 \Rightarrow (S)$	$\bar{44}$ $\bar{43}$ $\bar{42}$	0 03 33 0 03 33	$(S) + A_{x_i} \Rightarrow (S)$ $(S) + e_F \Rightarrow (S)$
$\bar{12}$ $\bar{13}$ $\bar{14}$	$\bar{1}$ $\bar{13}$ 00 0 00 00	БП \uparrow^5	$\bar{41}$ 40 41	0 03 $\bar{23}$ $\bar{1}$ 00 31	$(S) \Rightarrow A_{x_i}$ $(\bar{1} \Delta_{x_i}) \Rightarrow (S)$
$\bar{04}$ $\bar{03}$ $\bar{02}$	0 00 00 0 00 00	$A_{x_i} = 0 M_{x_i} \Delta_{x_i}$ (δ)	$\bar{42}$ $\bar{43}$ $\bar{44}$	0 $\bar{43}$ 00 0 $\bar{14}$ 00	БП \uparrow^3 M_1
$\bar{01}$ 00 01	0 04 00 0 44 44	$4e_A$	Σ	0 00 $\bar{10}$ $\bar{1}$ $\bar{21}$ $\bar{44}$	Контрольная сумма

может использоваться только в стандартной подпрограмме). Поэтому при каждом обращении * к ИП-2 информация, содержащаяся в этих регистрах, должна по необходимости запоминаться основной программой.

2. Все строки каждого обращения к стандартным подпрограммам, а также первые три строки каждого обобщенного перехода должны располагаться целиком в какой-либо одной зоне основной программы. Информационные строки, следующие за обобщенным переходом и имеющие последовательные обобщенные адреса, могут занимать строки и в следующих зонах программы.

В заключение следует отметить, что, кроме ИП-2, разработан другой вариант интерпретирующей программы, ИП-3. Эта программа оперирует с числами, имеющими более компактное представление. Здесь также все числа x_i представляются в форме

$$x_i = X_i \cdot 3^{p_i},$$

где X_i и p_i удовлетворяют всегда соотношениям

$$\begin{array}{ll} \frac{1}{2} < |X_i| < \frac{3}{2}, & |p_i| \leq 40 \quad \text{при } x_i \neq 0, \\ X_i = 0, & p_i = 0 \quad \text{при } x_i = 0. \end{array}$$

Величины X_i и p_i записываются в одной длинной ячейке, а именно: в пяти старших разрядах записывается порядок p_i (в виде обычного 5-разрядного кода), а в остальных 13 разрядах — мантисса X_i , причем запятая предполагается после старшего разряда мантиссы.

Такое представление чисел позволяет вести вычисления примерно с шестью верными десятичными знаками в том же диапазоне от 10^{-19} до 10^{+19} .

ИП-3 включает все возможности ИП-2, работает по тем же описанным выше схемам, все обращения к ней производятся с помощью таких же строк, что и к ИП-2, отличающихся, может быть, только конкретным значением адресных частей. Кроме того, обращение к стандартным подпрограммам с помощью ИП-3 допускает один дополнительный частный случай:

$$\begin{array}{l} (\kappa_0): (C) \Rightarrow (\alpha) \\ (\kappa_1): \text{БП} \xrightarrow{\uparrow} \text{Вх. IV ИП-3} \\ (\kappa_2): \pi_{\Phi_y} M_y \Delta_y \end{array}$$

используемый для пересылки вида $u \Rightarrow y$. ИП-3 использует другой вариант библиотеки стандартных подпрограмм.

Поступила в редакцию
14.01.1961

* В том числе и при «продолжении» линейных кусков программы.