

текста и чисел. Программа *AXIS* задает масштаб в декартовой системе координат, вычерчивает координатные оси с разметкой и отводит места на листе для дальнейшей работы программ *GRAF* и *GRAFT*. Программа *GRAF* вычерчивает графики функций, заданных аналитически, а программа *GRAFT* производит аналогичную работу для функций заданных таблично.

**Технические данные комплекса.** Полный объем комплекса графических программ не превышает 1500 машинных слов ЭВМ класса «Минск». Этот объем довольно велик для моделей ЭВМ с двумя кубами памяти. Мониторная система ИФБЭ позволяет производить динамическую загрузку разделов программ, что рекомендуется делать в случае нехватки памяти. Следующие подпрограммы комплекса можно загружать динамически:

<i>DECART</i>	<i>SHCOR</i>	<i>NUMRER</i>	<i>GRAFT</i>
<i>TRAMD</i>	<i>STD</i>	<i>TEXT</i>	
<i>TRAMP</i>	<i>DTS</i>	<i>AXIS</i>	
<i>POLAR</i>	<i>DECOR</i>	<i>GRAF</i>	

**Заключение.** Кроме описанного комплекса процедур на языке Фортран в настоящее время в ИАЭ СО АН СССР разработан набор стандартных программ для ЭВМ «Минск-22» в режиме «Т». Возможно написание комплекса и на подмножествах Алгола для «Минск-22» при использовании блок-схем обсуждаемых подпрограмм. Так как базовые программы и надстройка не зависят от конкретной машины, то переработка комплекса с сохранением описываемых принципов работы для других классов ЭВМ не представляет трудностей.

Важным является то обстоятельство, что разработанное математическое обеспечение ГП «Вектор» первого уровня является удобным инструментом при разработке графических форматов высшего уровня.

*Поступила в редакцию 2 октября 1972 г.*

УДК 681.142.62

**А. Н. ГЕГАМОВ, В. И. КЕКЕЛИЯ, И. С. МИКАДЗЕ**

*(Тбилиси)*

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ОДНОРОДНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ГРАФИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Одним из перспективных направлений, обеспечивающих эффективное решение широкого класса задач, является разработка универсальных вычислительных систем с переменной структурой [1, 2]. В такой системе в процессе или перед началом работы программно могут изменяться ее технические параметры: логические и вычислительные возможности блоков, связи между функциональными блоками и отдельными ячейками, объем памяти, система команд и т. п. Это обстоятельство имеет большое значение, так как на начальных стадиях проектирования средств вычислительной техники весь объект, характеризующийся многими процессами, как правило, полностью не бывает описан и готов к автоматизации.

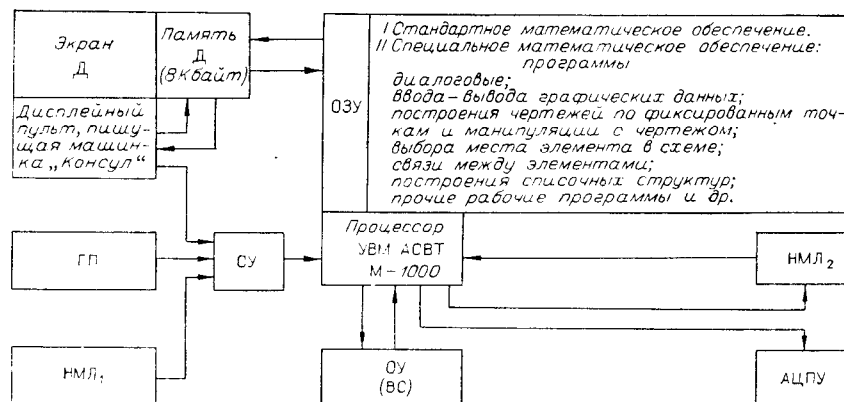


Рис. 1.

В данной статье рассматривается система графического взаимодействия (СГВ), позволяющая автоматически выбирать структуры проблемно-ориентированных специализированных вычислительных машин и устройств (СВМ) на однородных устройствах (ОУ), включающая универсальную вычислительную машину (УВМ), снабженную развитыми устройствами связи с оператором в виде дисплея (Д) со световым пером, графического планшета (ГП) и алфавитно-цифрового печатающего устройства (АЦПУ).

Эта система позволяет на понятном проектировщику языке без специальных навыков программирования вести диалог с УВМ, оперативно изменять и выбирать структуры специализированных устройств вплоть до окончательного их синтеза. Блок-схема предлагаемой СГВ приведена на рис. 1. В качестве центрального вычислителя системы, оказывающего монопольное воздействие на ОУ, используется УВМ АСВТ М-1000, имеющая математическое обеспечение (МО), дополняемое специальными программами. Через согласующие устройства (СУ) накопитель на магнитной ленте НМЛ<sub>1</sub> и ГП непосредственно связаны с дисплеем, а каждое из них — с УВМ. Программа, соответствующая окончательной модификации структуры специализированного автомата, воздействует на ОУ, а также может быть выдана на АЦПУ для документирования результатов обработки или на НМЛ<sub>2</sub> для запоминания, последующего отображения на экране и повторного синтеза автомата без необходимости ввода с ГП информации о настройке ОУ.

Основным узлом системы является ОУ с переменной структурой. Известно два типа однородности: однородность на уровне отдельных блоков, узлов и однородность на уровне стандартного элемента, из которого, в частности, образуется вычислительная среда (ВС). Очевидно, что уровень однородности определяется технологией микроэлектроники. Структуры ОУ, выполненные на потенциальных элементах, работают как в синхронных, так и в асинхронных режимах, обеспечивают более высокое логическое быстродействие и надежнее, чем импульсные и импульсно-потенциальные структуры. В связи с этим будем считать, что рассматриваемые ниже модели ОУ построены на элементной базе потенциального типа. ВС, позволяющие создать любые структуры ЭВМ, в наибольшей степени удовлетворяют требованиям современной технологии, когда они изготавливаются в едином технологическом цикле и стоимость микроэлемента ничтожно мала.

Хотя исследования ВС начались сравнительно недавно, уже созданы теоретические основы построения ВС [1]. В этой работе показано, что в ВС можно реализовать любой граф, выведены оценки сложности любого конечного автомата, реализуемого в ВС, и показано, что при возрастании оборудования в 10—100 раз ВС эффективнее в 100—1000 раз,

чем УВМ, построенная на той же физико-технологической основе. В [3] предложены некоторые принципы классификации и приведено описание общей модели ВС. В зависимости от мощности множества элементов различают ВС континуальные и дискретные, по способу работы — с индивидуальным и коллективным поведением элементов, а по способу управления — с фиксированной и переменной настройкой [1, 2].

В результате совместных исследований инженеров, физиков, технологов и математиков основное внимание было сосредоточено на изучении свойств дискретных ВС с индивидуальным поведением элементов и переменной настройкой. Такого типа ВС рассмотрим в качестве ОУ системы (см. рис. 1).

Общую модель ВС с индивидуальным поведением элементов определим как структуру, состоящую из трех объектов:  $M = \langle a, \Delta, m \rangle$ , где  $a = \langle a_g \rangle$  ( $g > 1$ ) — множество ячеек, называемое элементами модели  $M$ ;  $\Delta \geq 1$  — коэффициент пространства;  $m$  — первая окрестность, определяемая для каждого элемента  $a_g \in a$  как подмножество  $m(a_g)$  (вообще говоря, конечное) множества  $M$ , где  $m(a_g) = \langle a_g^1, a_g^2, \dots, a_g^q \rangle$ . Первая окрестность в основном должна подчиняться следующим двум правилам:

1) каждая первая окрестность содержит ровно  $q$  элементов модели  $M$ ;  $q \geq 1$  задано заранее в зависимости от рассматриваемой частной модели;

2) если  $a_g \in m(a_g)$ , то возможно, что

2а)  $m(a_g) \in a_g$  или 2б)  $m(a_g)$  не принадлежит  $a_g$ .

Как будет показано ниже, условие 2а означает возможность отождествления выходного полюса элемента  $a_g$  с входным полюсом элемента  $a_g^\delta$ , где  $a_g^\delta \in m(a_g)$  ( $\delta = 1, 2, \dots, q$ ). Условие 2б означает, что выходной полюс элемента  $a_g$  можно отождествлять только с входным полюсом элемента  $a_g^\delta$ .

Элементом модели  $M$  назовем структуру, состоящую из пяти объектов  $a_g = \langle \Phi, H, \Theta, W, Z \rangle$ , где  $\Phi$  ( $\Phi = \Phi_1 \cup \Phi_2$ ) — множество функций, называемое базисом элемента ВС, причем  $\Phi_1$  — подмножество множества  $\Phi$ , называемое функциональным, а  $\Phi_2$  — соединительным базисом элемента ВС. Заметим, что базис элемента универсальной ВС функционально и соединительно полный;  $H$  — множество состояний, определяющее возможность выполнения в рассматриваемый момент времени любой одной функции из множества  $\Phi$ ;  $\Theta$  — множество состояний, задающее  $\delta = 1, 2, \dots, q$  — координатную ячейку первой окрестности элемента  $a_g \in a$  ВС;  $W$  и  $Z$  — множества входных и выходных полюсов (каналов) элемента ВС.

Заметим, что существуют модели ВС, отдельные элементы которых могут быть настроены на выполнение функций только из его функционального или только из соединительного базиса. Очевидно, что это влияет лишь на построение структуры отдельных элементов предлагаемых частных моделей ВС [4].

Разработка методов технического синтеза (программирования) автоматов в ВС является важной задачей, решение которой сводится к нахождению настроечной информации для каждого элемента ВС, позволяющей переход, вообще говоря, от микропрограмм автоматов к соответствующим им схемам.

С целью структурной интерпретации настройки ВС рассмотрим два конечных множества символов  $S_1$  и  $S_2$  и два отображения  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ . Пусть  $\Gamma_1$  ( $\Gamma_2$ ) — отображение элемента  $a$  в  $a \times S_1$  ( $a \times S_2$ ), т. е. для каждого элемента ВС  $a_g \in a$  данные отображения можно записать следующим образом:

$$\Gamma_1(a_g) = \langle a_g^\delta, S_1 \rangle, \quad \Gamma_2(a_g) = \langle a_g^\delta, S_2 \rangle.$$

Очевидно, что каждому элементу ВС  $a_g \in a$  может соответствовать  $q$  символов из множества  $S_1$  и один символ из множества  $S_2$ . Заметим, что отображение  $\Gamma_1$  задает настройку элементов ВС на выполнение функций из множества  $\Phi$ , а отображение  $\Gamma_2$  — конфигурацию отождествлений входных и выходных полюсов элементов ВС. Следовательно, настройку ВС можно свести, в частности, к задаче поиска и прокладывания пути.

Пусть  $a_{g_1}$  и  $a_{g_2}$  — два различных элемента множества  $a$ . Назовем путем  $\pi(a_{g_1}, a_{g_2})$  множество элементов  $\langle a_0 = a_{g_1}, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n = a_{g_2} \rangle$ , если  $a_{g_{i+1}} \in a_{g_i}$  или  $a_{g_i} \in a_{g_{i+1}}$  для  $a_{g_i} = 0, 1, \dots, n-1$ . Обозначим через  $\tilde{\pi}(a_{g_1}, a_{g_2})$  множество всех путей между элементами  $a_{g_1}$  и  $a_{g_2}$ .

Пусть  $\Gamma$  — отображение допустимости, переводящее  $\pi(a_{g_1}, a_{g_2})$  в множество из двух элементов  $\{0, 1\}$ . Будем считать, что путь  $\pi(a_{g_1}, a_{g_2})$  является допустимым, если  $\Gamma[\pi(a_{g_1}, a_{g_2})] = 1$ , иначе — недопустимым. Путь  $\pi^*(a_{g_1}, a_{g_2})$  назовем путем минимальной длины из множества  $\tilde{\pi}(a_{g_1}, a_{g_2})$ , если он является допустимым и состоит из минимального числа элементов ВС.

Структуру, состоящую из восьми объектов  $\langle a, \Delta, m, S_1, S_2, \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma \rangle$ , назовем абстрактной моделью ВС с индивидуальным поведением элементов.

Следуя изложенному выше, очевидно, можно построить неопределенное число частных моделей ВС. Поэтому выбор той или иной модели ВС, по-видимому, должен определяться совокупностью задач, для решения которых предназначена проектируемая ВС.

Существуют три основных способа настройки ВС на реализацию синтезируемого автомата: 1) непосредственно УВМ, с которой связана выбранная модель ВС; 2) функциональной схемой автомата, реализованного в рассматриваемой модели ВС; 3) таблицей состояния.

Разрабатываемая система графического взаимодействия позволит настраивать ВС по всем перечисленным способам. Для удобства демонстрации этих способов рассмотрим модель ВС, в частности ВС со следующими параметрами: 1) множество элементов в модели ВС достаточно большое ( $g \gg 1$ ); 2) коэффициент пространства равен двум ( $\Delta = 2$ ); 3) в первой окрестности каждого элемента модели ВС содержится по четыре элемента, причем первая окрестность подчиняется правилу 2а.

В качестве примера на рис. 2 изображена структура ВС, имеющей размеры  $7 \times 7$ . Как показано на этом рисунке, каждый элемент ВС может обмениваться информацией с четырьмя соседними элементами. Следовательно, он имеет четыре приемных и четыре передающих полюса, т. е. каждое из множеств  $W$  и  $Z$  содержит по четыре элемента.

Предположим, что структура элементов удовлетворяет требованиям: элемент ВС  $a_{i,u}$  с координатами  $v = 2v_1 = \text{const}$  и  $u = 2u_1 = \text{const}$

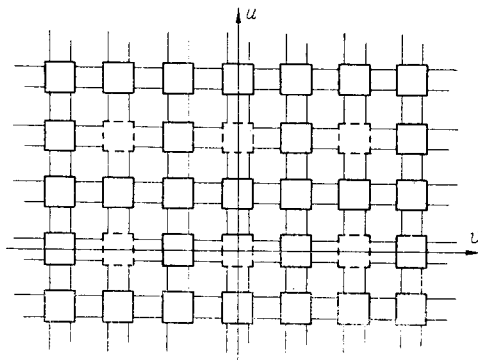


Рис. 2.

( $v_1$  и  $u_1$  — соответственно номера элементов ВС по осям  $v$  и  $u$ ) может быть настроен на выполнение функций только из соединительного базиса ( $\Phi_2$ ), содержащего элемент «крест без точки» (элемент  $D$ , реализующий перекрестное соединение), а остальные элементы ВС — на выполнение функций только из функционального базиса ( $\Phi_1$ ), в частности на реализацию функции алгебры логики «Стрелка Пирса».

Рассматриваемая ВС является автоматом полной, так как

граф, поставленный в соответствие структуре ВС,— неплоский, четыреххроматический, связный (степень графа равна четырем). Макет выбранной нами модели ВС построен в ИМ СО АН СССР [4].

Переход к схеме синтезируемого автомата возможен при определении для каждого элемента ВС настроечной информации одного из видов начального задания автомата: функцией возбуждения и выходов, микропрограммой, логической сетью, соответствующей функциональной схеме автомата (например, с использованием бинарных отношений [5]).

Настроечная информация позволяет устанавливать управляющие триггеры  $T_1 \div T_4$  элемента выбранной нами модели ВС в такие состояния, чтобы в структуре ВС образовались связи, соответствующие логической схеме синтезируемого автомата. Эта информация записывается в запоминающем устройстве УВМ и в дальнейшем используется ею для выборки сигналов настройки ВС на заданную схему автомата.

Настройку ВС графически условно можно показать стрелками, направленными от выходных полюсов элементов соответственно к входным полюсам соседних элементов. С целью структурной интерпретации настройки элементов модели ВС рассмотрим два конечных множества символов

$$S_1 = \langle \leftarrow, \uparrow, \rightarrow, \downarrow \rangle, S_2 = \langle \sqcap \rangle$$

и два отображения  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ . Данные отображения определяются для нечетных значений координат  $v$  и  $u$  следующим образом:

$$\Gamma_1^1(a_{v,u}) = \langle a_{v+1,u}, S_1 \rangle = \leftarrow; \Gamma_1^3(a_{v,u}) = \langle a_{v,u+1}, S_1 \rangle = \downarrow;$$

$$\Gamma_1^2(a_{v,u}) = \langle a_{v-1,u}, S_1 \rangle = \rightarrow; \Gamma_1^4(a_{v,u}) = \langle a_{v,u-1}, S_1 \rangle = \uparrow.$$

Если координата  $v$  — четное число, а  $u$  — нечетное, то имеем:

$$\Gamma_1^5(a_{v,u}) = \langle a_{v+2,u}, S_1 \rangle = \leftarrow; \Gamma_1^7(a_{v,u}) = \Gamma_1^3(a_{v,u}) = \downarrow;$$

$$\Gamma_1^6(a_{v,u}) = \langle a_{v-2,u}, S_1 \rangle = \rightarrow; \Gamma_1^8(a_{v,u}) = \Gamma_1^4(a_{v,u}) = \uparrow.$$

В случае, если  $u$  — четное число,  $v$  — нечетное, имеем:

$$\Gamma_1^9(a_{v,u}) = \Gamma_1^1(a_{v,u}) = \leftarrow; \Gamma_1^{11}(a_{v,u}) = \langle a_{v,u+2}, S_1 \rangle = \downarrow;$$

$$\Gamma_1^{10}(a_{v,u}) = \Gamma_1^2(a_{v,u}) = \rightarrow; \Gamma_1^{12}(a_{v,u}) = \langle a_{v,u-2}, S_1 \rangle = \uparrow.$$

$$\Gamma_1 \ni \Gamma_1^1, \Gamma_1^2, \dots, \Gamma_1^{12}, \text{ а } \Gamma_2(a_{v,u}) = \langle a_{v,u}, S_2 \rangle = \sqcap.$$

Здесь предполагается, что координаты  $v$  и  $u$  — нечетные числа. Настроечное поле ВС можно характеризовать и матрицей состояния [4]

$$\begin{pmatrix} \dots & \Theta_1^{-1,1} & \Theta_3^{-1,1} & \Theta_1^{0,1} & \Theta_3^{0,1} & \Theta_1^{1,1} & \Theta_3^{1,1} & \dots \\ \dots & \Theta_2^{-1,1} & \Theta_4^{-1,1} & \Theta_2^{0,1} & \Theta_4^{0,1} & \Theta_2^{1,1} & \Theta_4^{1,1} & \dots \\ \dots & \Theta_1^{-1,0} & \Theta_3^{-1,0} & \Theta_1^{0,0} & \Theta_3^{0,0} & \Theta_1^{1,0} & \Theta_3^{1,0} & \dots \\ \dots & \Theta_2^{-1,0} & \Theta_4^{-1,0} & \Theta_2^{0,0} & \Theta_4^{0,0} & \Theta_2^{1,0} & \Theta_4^{1,0} & \dots \\ \dots & \Theta_1^{-1,1} & \Theta_3^{-1,1} & \Theta_1^{0,-1} & \Theta_3^{0,-1} & \Theta_1^{1,-1} & \Theta_3^{1,-1} & \dots \\ \dots & \Theta_2^{-1,1} & \Theta_4^{-1,1} & \Theta_2^{0,-1} & \Theta_4^{0,-1} & \Theta_2^{1,-1} & \Theta_4^{1,-1} & \dots \end{pmatrix}$$

Элемент  $\Theta_i^{s,u}$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) матрицы  $\Theta$  может принять значение «0» или «1». Причем «1» означает разрушение, а «0» — запрет прохождения сигнала через соответствующий вход функционального элемента ВС. Соответствие между направлением стрелки, настроечной информацией и элементом  $\Theta_i^{s,u} = 1$  матрицы  $\Theta$  показано в таблице. Таким образом, настрой-

ку ВС по функциональной схеме или матрице состояния можно осуществить с помощью специализированного устройства ввода координат ГП или графического дисплея, снабженного световым пером (см. рис. 1). Чертеж функциональной схемы размещается на планшете, и оператор последовательно обходит элементы ВС по направлению указанных на

Вход, управляемый триггерами	$y_{\omega_1}^v, y_{\nu_1}^u$	$y_{\omega_1}^v, y_{\nu_2}^u$	$y_{\omega_2}^v, y_{\nu_1}^u$	$y_{\omega_2}^v, y_{\nu_2}^u$
Место единицы в коде матрицы	1	2	3	4
Направление передачи сигнала в логическом поле ВС	→	←	↓	↑

чертеже связей. При этом цифратор выдает координаты элементов в модели ВС и определяет направление обхода, которому соответствует настроечная информация (входы и выходы элементов, см. таблицу). Эта настроечная информация в закодированном виде поступает в ЗУ УВМ и используется ею в дальнейшем для окончательной настройки ВС. УВМ служит для управления ВС, а также для решения вычислительных задач как совместно с ВС, так и самостоятельно. Вся информация, предназначенная для настройки ВС и обрабатываемая ВС, и программа работы системы в целом хранится в памяти УВМ, осуществляющей: 1) подготовку и передачу информации о настройке ВС на требуемый автомат; 2) передачу информации, подлежащей обработке, в ВС; 3) вывод обработанной информации из ВС.

Вводимая настроечная информация может быть передана непосредственно с ГП или из УВМ на дисплей для оперативного внесения корректур при исправлении ошибок настройки, подключения резервных при нарушении функционирования отдельных элементов и контроля разработчиком настройки ВС в процессе ее функционирования. Требуемые замены неисправные элементы целесообразно высвечивать на экране дисплея с мерцанием для привлечения внимания оператора. На экране наглядно представлена структура ВС, и проектировщиком легко решаются вопросы резервирования: оператор заменяет неисправный элемент хорошим, устраняя старые и проводя новые связи с помощью светового пера. При этом алгоритмы настройки и программы синтеза автоматов не требуют большого быстродействия, а также большой точности указания расположения элемента и проведения линий связи. Дисплей и ГП в системе взаимодействия с человеком заменяют внешнюю память больших объемов, уменьшают плотность упаковки данных, позволяют использовать знания проектировщика, сокращают время проектирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э. В. Евреинцов, Ю. Г. Косарев. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, «Наука», 1966.
2. И. В. Праггишвили и др. Микроэлектроника и однородные структуры для построения логических и вычислительных устройств. М., «Наука», 1967.
3. В. В. Скоробогатов. Модели вычислительных сред и некоторые принципы их классификации.— В сб. «Вычислительные системы», вып. 3. Новосибирск, 1968.
4. В. И. Мишин. Об одном варианте комбинированной вычислительной системы.— В сб. «Вычислительные системы», вып. 26. Новосибирск, 1967.
5. В. Д. Малюгин. Информационный критерий для оценки реализации схем в средах.— Тезисы докладов II Всесоюзного совещания. М., 1971.

Поступила в редакцию 20 ноября 1972 г.