ОДИН ВАРИАНТ ОДНОРОДНОЙ ДИСКРЕТНОЙ СТРУКТУРЫ С КОЛЛЕКТИВНЫМ ПОВЕДЕНИЕМ ЯЧЕЕК

Т.М. Кокочашвили

(Москва)

Интенсивное развитие микроэлектроники и особенно производство твердых схем позволило по-новому подойти к реализации дискретных управляющих устройств. Несомненный интерес в этом смысле представляют работы [I,2,3,4].

В этих работах показана возможность реализации логических и последовательностных функций в однородных структурах, при этом рассматриваются структуры двух видов.

Однородная структура, в которой логические и последовательностные функции выполняются путем настройки каждой ячейки либо на выполнение логического базиса, который она реализует, либо на коммутацию с соседними ячейками, при этом количество информации, необходимое для моделирования в такой структуре комбинационных и последовательностных функций будет:

$$I = (\log_2 m_1 + \log_2 m_2)\, n ,$$

где m_1 - количество функций $f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, на которое настраивается каждая ячейка;

m_2 - число настраиваемых связей каждой ячейки с окружающими ячейками;

n - количество ячеек, необходимое для моделирования логической и последовательностной функций.

Структуры такого вида условно названы структурами с индивидуальным поведением ячеек [I , 3]. Однородные структуры, в которых каждая из ячеек функционирует по определенному алгоритму, а логические и последовательностные функции выполняются совокупностью ячеек, условно названы структурами с коллективным поведением ячеек.

Количество информации, необходимое для моделирования в такой структуре комбинационных и последовательностных функций, будет

$$I = n \cdot I_0,$$

где I_0 - количество информации, необходимое для настройки каждой ячейки на выполнение своего алгоритма функционирования.

Предлагаемый вариант однородной структуры из коммутирующих элементов (КЭ) относится к структурам с коллективным поведением ячеек [2]. Структура представляет собой совокупность ячеек $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_N$ одного и того же элемента A . Каждая из α_i имеет идентичные связи со своим окружением ρ_{α_i} ,причем каждый выход ячейки соединен не более чем с одной из соседних ячеек. В этом случае говорим, что дана сеть M над A .

Каждая из ячеек, помимо входов, определяемых элементами окружения ρ_{α_i} , имеет собственный настроечный вход V_0.

Моделирование комбинационных и последовательностных функций на структуре из КЭ заключается в подаче на V_0 извне какой-либо переменной из алфавита $X = (\lambda, x_1 \ldots x_n)$,либо константы "I".

Каждая из ячеек α_i имеет Q состояний,где $Q = (\lambda, q_1, \ldots q_n)$ В каждый квантованный отрезок времени $t = (0,1..n)$ на элементы α_i поступает информация от окружения ρ_{α_i} и V_0 . Если в момент времени t произвольный элемент α_i принадлежит какой-нибудь сети M над A и если ρ_{α_i} его окрестность,то в момент $t+1$ элемент α_i переходит в новое состояние согласно таблице переходов, и коммутирует с элементами окружения ρ_{α_i} определенным образом, образуя сеть $\mu_i \in M$, соответствующую моделируемой функции.

Две ячейки α_i и α_j коммутируют, если ячейка α_i подключает свой коммутационный выход $K_p, p = (1,2,\ldots n)$ к ячейке α_j и между ними возникает участок проводимости.

Скажем, что элемент α_i относительно α_j имеет координату V_k , где $k = (1,2,..n)$ если α_i коммутирует с α_j. Величина координаты зависит от количества элементов, с которыми коммутирует α_i.

В предлагаемом варианте однородной структуры моделируются комбинационные функции. Под моделированием понимается следующее: пусть имеется комбинационная схема S_i , соответствующая функции $f(x_1, \ldots, x_n)$, при этом S_i состоит из $\varkappa_i$ элементов. Каждому элементу схемы S_i поставлены в соответствие

конкретные ячейки α_i, причем различным элементам из $\varkappa_i$ соответствуют различные α_i.

Скажем, что сеть $\mu_i \in M$ моделирует схему S_i, если:

1. Функции элементов схемы S_i выполняются конкретными ячейками сети $\mu_i \in M$.

2. Соответствующим входам схемы S_i и сети $\mu_i \in M$ поставлены в соответствие одинаковые переменные из алфавита $X = (\lambda, x_1 \dots x_n)$.

3. Выходам схемы S_i соответствуют выходы сети $\mu_i \in M$, и наоборот.

Из абстрактного рассмотрения однородной структуры из КЭ видно, что каждая ячейка α_i имеет координату, определяющую ее коммутацию с окружающими ячейками. Скажем, что структура состоит из ячеек, имеющих наименьшую координату, если эти ячейки коммутируют только с близлежащими соседями. В предлагаемой структуре каждая ячейка коммутирует с соседом сверху (координата V_1) и соседом слева (координата V_2).

Покажем возможности моделирования комбинационных функций в такой структуре.

Однородная структура, образованная ячейками с наименьшей координатой

Однородная структура, образованная ячейками с координатами V_1, V_2 имеет вид матрицы, в узлах которой расположены идентичные ячейки α_i, каждая из которых реализует один и тот же ограниченно-детерминированный оператор.

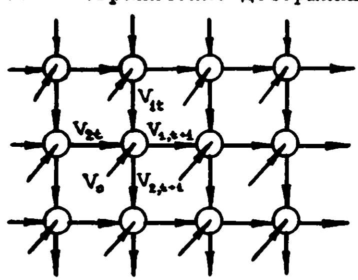

Рис. I.

На рис. I представлена такая структура без коммутационных выходов. Входная информация, поступающая на каждую ячейку, определяется состоянием окружающих ячеек и собственным состоянием ячейки α_i. Состояния каждой ячейки кодируются из алфавита $\{0, 1\}$. Каждая ячейка структуры в зависимости от состояния соседних ячеек и своего собственного состояния в момент времени t переходит в момент времени $t+1$ в новое состояние и коммутирует со своим окружением.

Скажем, что ячейка α_i существует, если на ее вход V_k, где $k = (0,1,2)$ подана какая-нибудь буква из алфавита $X = (\lambda, x_1, \ldots x_n)$ или константа "I". Определим правила коммутации ячейки однородной структуры из КЭ с наименьшей координатой следующим образом.

I. Если существует ячейка α_i и существует такая ячейка β_1, которая имеет относительно α_i координату V_1, и при этом ячейки имеют состояния $\alpha_i(1)$ и $\beta_1(1)$, и не существует ячейки β_2 с координатой V_2, то в момент времени $t+1$ ячейка α_i свой коммутационный выход K_1 подключает к β_1. Если такой ячейки β_1 не существует, то ячейка α_i состояние своего коммутационного выхода K_1 не меняет (рис. 2а).

2. Если существует ячейка α_i и существует ячейка β_2, имеющая относительно α_i координату V_2, и не существует ячейка β_1, с координатой V_1 относительно α_i и собственное состояние α_i в момент времени t – $\alpha_i(1)$, то в момент времени $t+1$ ячейка α_i подключает свой коммутационный выход K_2 к ячейке β_2.

Если такой ячейки β_2 не существует, то ячейка α_i состояние своего коммутационного выхода K_2 не меняет (рис.2б).

3. Если существует ячейка α_i и существуют ячейки β_1, β_2, имеющие относительно α_i соответственно координаты V_1, V_2, то в зависимости от состояния α_i и β_1, β_2 в момент времени t ячейка α_i или подключает свои коммутационные выходы K_1, K_2 к β_1 β_2 при $\alpha_i(0)$ и $\beta_1(1)$, $\beta_2(1)$ соответственно, или оставляет их свободными при $\alpha_i(1)$ и $\beta_1(1)$, $\beta_2(1)$ соответственно (рис. 2в).

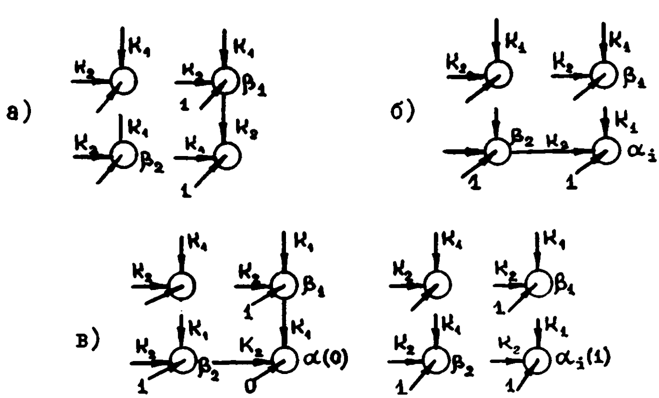

Рис. 2.

Скажем, что ячейка α_i оставляет свои коммутационные выходы свободными, если она не коммутирует со своим окружением.

4. Если в момент времени t в ячейку α_i поступает входная информация, не предусмотренная ни одним из правил I-3, то в момент времени $t+1$ α_i состояние своих коммутационных выходов не меняет.

Функциональная схема каждой ячейки описывается уравнениями I-I и представлена на рис. 3 .

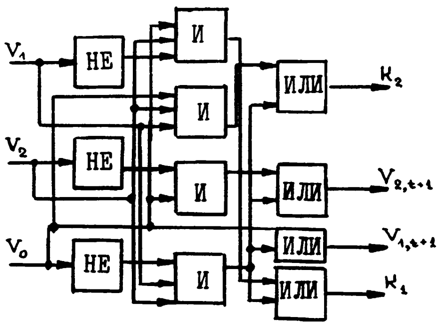

Рис. 3.

Таблица I

V_{2t}	V_{1t}	V_{0t}	$V_{1,t+1}$	$V_{2,t+1}$	K_1	K_2
0	0	0	0	0	0	0
0	0	I	I	I	0	0
0	I	0	0	0	0	0
0	I	I	I	I	0	I
I	0	0	0	0	0	0
I	0	I	I	I	I	0
I	I	0	I	I	I	I
I	I	I	I	0	0	0

$$
\begin{aligned}
V_{1t+1} &= V_{0t} + \bar{V}_0 V_1 V_2 \\
V_{2t+1} &= V_0 \bar{V}_2 + V_1 V_2 \bar{V}_0 \\
K_1 &= \bar{V}_0 V_1 V_2 + V_0 \bar{V}_1 V_2 \\
K_2 &= \bar{V}_0 V_1 V_2 + V_0 V_1 \bar{V}_2
\end{aligned}
\qquad (I.I)
$$

Схема из коммутационных элементов с коммутационными вы - ходами представлена на рис. 4. Каждый из коммутационных выходов $К_р$ подается на базу соответствующего триода. При значении отпирающего потенциала на выходе $К_р$ ячейки α_i соответствующие триоды открываются, создавая участок проводимости между ячейкой α_i и соседними ячейками. Совокупность таких участков образуют сеть $\mu_i \in М$, что соответствует моделируемой комбинационной функции, при этом наличие проводимости интерпретируется как значение $f = 1$, где $f(x_1 \ldots x_n)$- моделируемая функция, а отсутствие проводимости - как значение $f = 0$. Примеры реализации некоторых логических функций представлены на рис.5а, б,в.

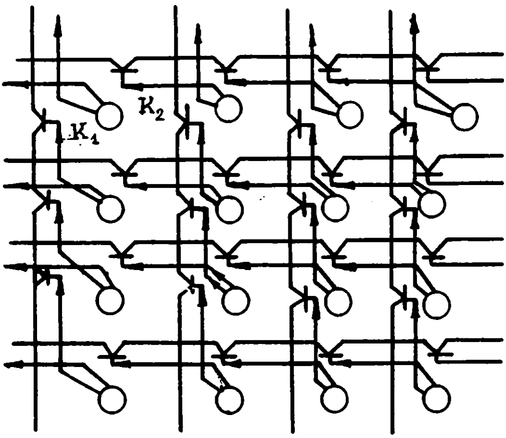

Рис. 4.

Некоторые оценки сложности однородной структуры из КЭ

Наиболее экономичным и технологически выгодным способом получения однородных структур является их изготовление на интегральных схемах. При этом матричным методом на одной подложке общим технологическим процессом получают несколько сот или тысяч однотипных интегральных схем, которые объединятся в однородную структуру.

При таком методе получения однородных структур первостепенное значение, с точки зрения надежности и технологичности, приобретает количество внешних выводов. Так как каждая ячейка должна настраиваться, в простейшем случае координаиным способом, то количество настроечной информации, вводимой извне,является одним из критериев сложности структуры.

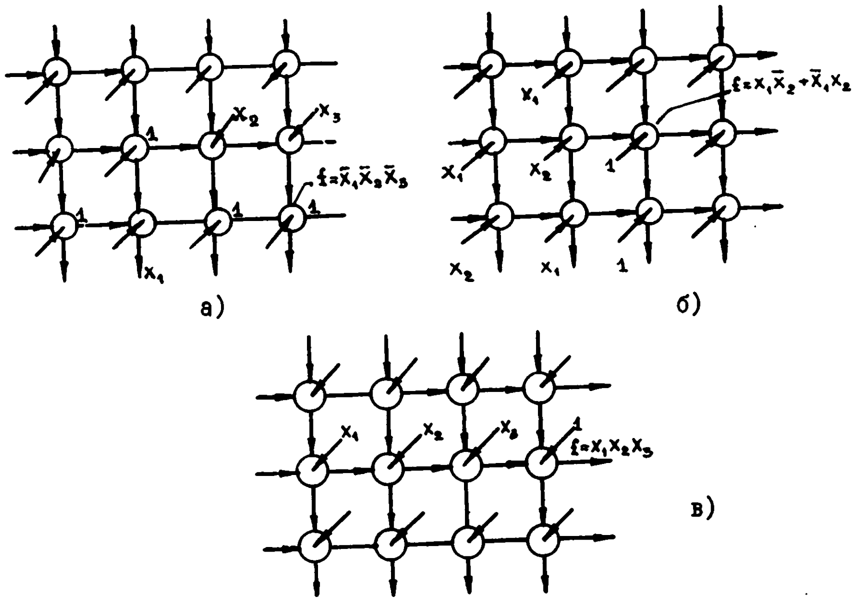

Рис. 5.

В однородной структуре из КЭ количество настроечной информации равно числу ячеек, необходимых для реализации логических функций.

Определение сложности предлагаемого варианта однородной структуры совпадает с определением сложности решетчатых структур [3], но ячейка в отличие от решетчатых структур представляет более сложную комбинационную схему.

Для получения верхней оценки сложности наиболее наглядным является представление логической функции от n -переменных в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (с.д.н.ф.) и в дальнейшем моделирование ее на структуре. Наибольшую сложность в таком представлении функции $f(x_1 \ldots x_n)$ имеют структуры с наименьшей координатой, так как в этом случае для моделирования с.д.н.ф. требуется наибольшее количество настроечной информации.

Очевидно, наименьшая сложность будет у структуры с координатой V_{n-1}, где n - количество переменных. Такую структуру можно образовать, если на ячейку α_i и на ее ок-

ружение ρ_{α_i} подать все n переменных. При моделировании комбинационных функций на структуре из КЭ наибольшее количество ячеек требуется для моделирования отрицания.

Представим поэтому с.д.н.ф. функции $f(x_1 \ldots x_n)=x_1^{\sigma_1} \ldots x_n^{\sigma_n}$ как сумму биномиальных коэффициентов:

$$C_n^0 + C_n^1 + \ldots + C_n^{n-1} + C_n^n ,$$

где n – число переменных, от которых зависит функция $f(x_1 \ldots x_n)$;

i – число отрицательных членов в элементарной конъюнкции при представлении функции $f(x_1 \ldots x_n)$ в с.д.н.ф.

Теперь, если на ячейку α_i и на ее окружение ρ_{α_i} извне подать все n переменных, образуя структуру с координатой V_{n-1}, то на такой сети можно моделировать те элементарные конъюнкции с.д.н.ф., у которых хотя бы два члена не являются отрицательными. Таким образом, для моделирования всех $C_0 + C_n^1 + \ldots + C_n^{n-3} + C_n^{n-2}$ необходимо иметь структуру, содержащую $(\frac{n}{2}+1)$ столбец и $(n+1)$ строку. Для моделирования членов $C_n^{n-1} + C_n^n$ требуется еще $2(C_n^{n-1} + C_n^n)$ строк и $(\frac{n}{2}+1)$ столбцов. Сложность структуры L с координатой V_{n-1}

$$L \leq (n+2)(1+n+C_n^{n-1}+C_n^n).$$

Сложность структуры L^0 с наименьшей координатой V_1, V_2

$$L^0 \leq (n+2)\left[2 \cdot 2^n - (n+1)\right] .$$

Моделирование с.д.н.ф. для $n=2$ показано на рис. 6.

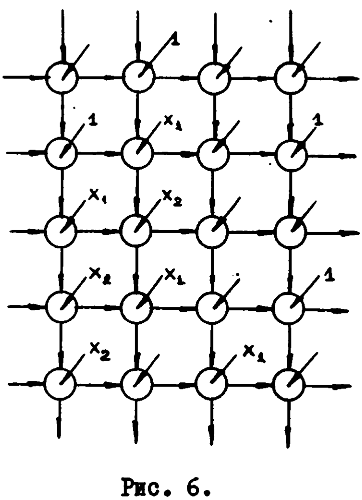

Рис. 6.

Однородная структура из КЭ за счёт увеличения координаты V_k позволяет уменьшить сложность, не увеличивая при этом количество настроечной информации извне на каждую ячейку.

Если подавать на элементы структуры константы "I", то в структуре создаются участки с постоянной проводимостью, которые используются как соединительные каналы. При некотором изменении алгоритма функционирования ячей-

ки можно сделать эти каналы самовосстанавливающимися,т.е. при выходе из строя какой-нибудь ячейки в канале окружающие ее ячейки так меняют свое состояние, что создаются обходные участки проводимости.

Таким образом, всю структуру можно разбить на участки, где реализуются логические функции и участки, где реализуются соединительные каналы. Свойство самовосстановления соединительного канала в структуре из КЭ облегчает контроль и повышает надежность функционирования системы.

Литература

I. Э.В. Евреинов. О микроструктуре элементарных машин вычислительной системы. - Вычислительные системы. Новосибирск, 1962, вып. 4.

2. И.В. Прангишвили, Е.В. Бабичева, В.В. Игнатущенко. Новые принципы реализации логических и вычислительных устройств на основе микроэлектронных однородных структур. Автоматика и телемеханика, 1965, № 10.

3. Э.В. Евреинов. Теоретические основы построения универсальных вычислительных сред. - Вычислительные системы. Новосибирск, 1965, вып. 16.

4. А. Беркс. Клеточные автоматы. Теория конечных и вероятностных автоматов. Труды ИФАК.

5. Я.М. Барздинь. Универсальные пульсирующие элементы. - ДАН, 1964, т. 157, № 2.

6. К. Шеннон. Работы по теории информации и кибернетики. ИЛ., 1963.

7. О.Б. Лупанов. О синтезе некоторых классов управляющих систем. - Проблемы кибернетики.