ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
1973 год Выпуск 54

УДК 681.3.001

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДЫ С ПРОСТЫМИ ЯЧЕЙКАМИ. I

Я.И. Фет

В связи с развитием микроэлектроники в последние годы проблема разработки однородных вычислительных сред (ОВС) приобретает все большее значение. В литературе рассмотрены различные модели ОВС [1,2,3]. Предложены методы синтеза логических сетей в однородных структурах.

Одним из наиболее важных вопросов синтеза ОВС является соотношение между сложностью элементарных ячеек и соединений между ними, с одной стороны, и сложностью и гибкостью вычислительной среды в целом – с другой. Пока не существует единого критерия, позволяющего учитывать эти противоречивые требования. Проще всего оценить сложность элементарной ячейки: она соответствует количеству логических вентилей, входящих в нее. Сложность ОВС обычно измеряют общим числом элементарных ячеек, необходимых для реализации определенной схемы. Что касается внутренних соединений в среде, то наиболее целесообразными с технологической точки зрения являются соединения, выполненные по принципу близкодействия [1].

Известны модели универсальных ОВС, использующие достаточно сложные ячейки. Так, например, в работе [3] предлагается ячейка, которая содержит 9 запоминающих элементов (триггеров) и 30 различных вентилей, в работе [4] – ячейка, имеющая 2 триггера и 32 вентиля.

В специализированных ОВС ячейки гораздо проще. Например, ячейка сортирующей среды [5] содержит всего 1 триггер и 11 вентилей, а коммутирующей среды [6] – 1 триггер и 7 вентилей.

В настоящей работе предлагается модель однородной вычислительной среды (называемая дальше α – средой), которая обладает свойствами, промежуточными между специализированными и универсальными ОВС.

α – среда состоит из простых элементарных ячеек (7 вентилей и 1 запоминающий элемент). Наиболее эффективно она работает в качестве специализированного устройства (например, для сортировки информации). Но в то же время на α -среде можно моделировать произвольные конечные автоматы и схемы вычислительных устройств, что позволяет говорить об её универсальности.

Важной особенностью α -среды является то, что для настройки элементарной ячейки используется всего один двоичный запоминающий элемент. Этот же запоминающий элемент служит для хранения информации в тех ячейках, которые выполняют функции запоминающих устройств.

В разделе 1 рассматривается конкретная задача сортировки информации, которая приводит к построению специализированной α -среды. В разделе 2 проводится анализ α -среды и устанавливается ее универсальность. Результаты этого анализа используются в разделе 3 для построения алгоритмов синтеза в α -среде произвольных функций алгебры логики и конечных автоматов.

1. Синтез сортирующей матрицы

Пусть в прямоугольном массиве запоминающих элементов размерами $N \times n$ хранятся в произвольном порядке N n -разрядных двоичных чисел $a_{i,1} a_{i,2} \dots a_{i,n}$, которые необходимо упорядочить.

Один из известных способов упорядочения состоит в том, что из исходного массива по очереди выделяются максимальные элементы, которые затем исключаются из рассмотрения. Для полного упорядочения требуется не более N таких операций.

Для выделения максимальных элементов можно использовать алгоритм последовательного поразрядного сравнения всех чисел массива. Опишем этот алгоритм следующим образом.

Первый шаг. Просматривается содержимое левого (1-го) столбца матрицы запоминающих элементов (то есть старшие разряды чисел). Если все $a_{i,1} = 0$ или все $a_{i,1} = 1$, то, следовательно, данный шаг не сокращает множество чисел, среди которых могут оказаться максимальные, и на следующем шаге должны проверяться вторые разряды всех N чисел.

Если же для некоторых строк $a_{i,1} = 0$, а для других $a_{i,1} = 1$, то первые дальше не рассматриваются, а последние составляют множество строк, просматриваемых на следующем шаге.

j-й шаг. Просматривается содержимое j-го столбца матрицы запоминающих элементов для выделенного на предыдущем шаге множества строк.

Если все $a_{i,j} = 0$ или все $a_{i,j} = 1$, то на следующем шаге проверяются все числа того же множества.

Если же $a_{i,j} = 1$ только для некоторых строк, то выделяемое для следующего шага множество соответственно сокращается.

Выделенное на последнем (n-м) шаге множество строк (в частном случае оно состоит из одной строки) содержит все (совпадающие) максимальные признаки.

Для аппаратной реализации описанного алгоритма достаточно построить комбинационную логическую сеть, реализующую для каждого разряда $a_{i,j}$ функцию

$$z'_{i,j} = z_{i,j}(a_{i,j} \vee \bar{a}_{i,j}\,\overline{z_{1,j}a_{1,j} \vee z_{2,j}a_{2,j} \vee \ldots \vee z_{N,j}a_{N,j}}), \quad (1)$$

где $z_{i,j}$ – входной сигнал j-го столбца (шага), равный 1 для тех строк, которые входят в проверяемое на j-м шаге множество; $z'_{i,j}$ – выходной сигнал j-го столбца (шага), равный 1 для тех строк, которые выделяются для проверки на (j + 1)-м шаге.

Пусть каждая элементарная ячейка (α-ячейка) построена в соответствии с логической схемой, изображенной на рис. 1.

Рассмотрим прямоугольную матрицу из $N \times n$ элементарных ячеек, каждая из которых соединена двумя каналами с каждой из четырех ближайших соседних ячеек (рис. 2).

Покажем, что данная матрица реализует описанный выше алгоритм.

Из схемы рис. 1 видно, что каждая α-ячейка реализует функции:

$$x' = x \vee za, \quad (2)$$

$$y' = y, \quad (3)$$

$$z' = za \vee z\bar{y} = z(a \vee \bar{y}) = z(a \vee \bar{a}\bar{y}), \quad (4)$$

$$u' = u. \quad (5)$$

Подадим на все входы x верхней строки α-ячеек константы $x_{1,j} = 0$. Тогда на выходах x' верхней строки, согласно

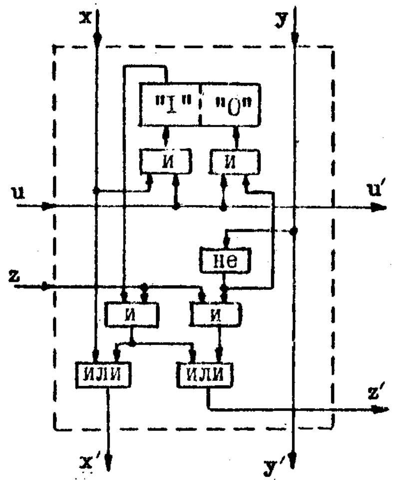


Рис. 1

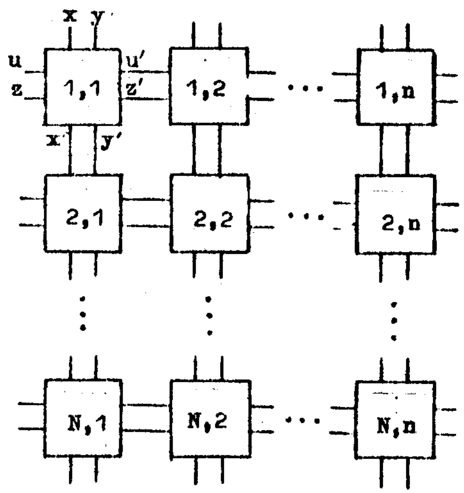


Рис. 2

(2), получим $x'_{1,j} = z_{1,j}a_{1,j}$, а на выходах x' нижней (N-й) строки:

$$x'_{N,j} = z_{1,j}a_{1,j} \vee z_{2,j}a_{2,j} \vee \ldots \vee z_{N,j}a_{N,j}. \quad (6)$$

Соединим во всех ячейках нижней строки выходы x' и y'. Тогда, согласно (3), на входах y всех ячеек каждого столбца получим:

$$y_{i,j} = x'_{N,j} = z_{1,j}a_{1,j} \vee z_{2,j}a_{2,j} \vee \ldots \vee z_{N,j}a_{N,j}. \quad (7)$$

Теперь подадим на все входы z левого столбца матрицы константы $z_{i,1} = 1$. Поскольку в каждой ячейке, согласно (4), $z' = z(a \vee \bar{a}\bar{y})$, а y определяются выражением (7), на выходах z' получим функцию, соответствующую выражению (1).

Итак, для выделения максимального числа необходимо:

а) в каждой ячейке нижней строки соединить выходы x' и y';

б) на вход x каждой ячейки верхней строки подать константу 0;

в) на вход z каждой ячейки левого столбца подать константу 1.

После окончания переходных процессов сигнал $z' = 1$ появится на выходах z' правых ячеек тех и только тех строк, в которых содержатся (совпадающие) максимальные числа.

2. Анализ α -среды

Из выражений (2) - (5) ясно, что функции, реализуемые α -ячейкой, зависят от значений переменных a, x, y, z. Фиксируя некоторые из этих переменных, можно получить различные варианты α -ячеек, выполняющих полезные для синтеза схем функции.

Процесс фиксации переменных (настройка α -среды) состоит из двух этапов. I этап - фиксация переменных a. На этом этапе в запоминающие элементы некоторых α -ячеек записываются необходимые константы (0 или I). П этап - фиксация переменных x, y, z. Эта фиксация производится путем подачи констант 0 или I на некоторые из входов x, y, z верхней и левой границ α -среды. При этом константы y поступают по шинам y непосредственно на входы y всех ячеек соответствующих столбцов. Что касается значений x и z на входах ячеек, расположенных внутри среды, то они, вообще говоря, зависят от настройки других ячеек. Однако по окончании переходных процессов на всех входах каждой ячейки устанавливаются значения, однозначно соответствующие поданным на границы среды (и в запоминающие элементы других ячеек) константам.

2.I Запоминающее устройство

Из описания, приведенного в разделе I, следует, что α -среду можно рассматривать как матричное запоминающее устройство, в котором возможна адресная запись и выборка информации.

Запись осуществляется следующим образом. Предварительно в каждой ячейке верхней строки соединяются входы x и y (либо в каждой ячейке нижней строки - выходы x' и y').

Слово $X = x_{1,1} \dots x_{1,n}$, которое подлежит записи, подается на входы x верхней строки. На вход z каждой ячейки левого столбца подаётся константа $z = 0$. С помощью переменной u указывается адрес записи, а именно: на вход u левой ячейки той строки, в которую необходимо записать слово X, подается сигнал u = I. Поскольку все z равны 0, во всех ячейках $x' = x$, и значения разрядов слова X поступают на вентили записи "I"

всех запоминающих элементов соответствующих столбцов. Так как имеется соединение $x - y$ (либо $x' - y'$), то на шины y всех столбцов также поступают значения разрядов слова X, а следовательно, на вентили записи "0" подаются инверсии этих разрядов.

В результате при подаче в некоторую строку сигнала u = I происходит парафазная запись слова X в запоминающие элементы этой строки. Чтобы слово X записать одновременно в несколько строк, достаточно подать во все эти строки сигнал u = I.

Сброс информации в какой-либо строке (или в любом множестве строк, в том числе общий сброс) производится путем записи слова 00...0.

Для считывания любого слова необходимо предварительно разорвать перемычки $x - y$ ($x' - y'$) и подать на все входы x и y верхней строки сигналы $x = 0$, $y = 0$.

Адрес считываемого слова указывается с помощью переменной z, а именно: сигнал z = I подается на ту строку, содержимое которой необходимо прочитать. Все остальные $z = 0$.

Поскольку все $y = 0$, то сигнал z = I поступит на все ячейки выбранной строки, и, следовательно, на выходах x' нижней строки будет прочитано хранимое в этой строке слово.

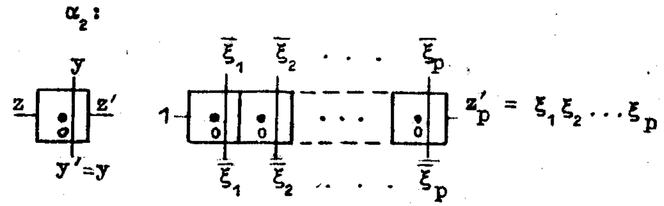
В дальнейшем будем обозначать α -ячейку, выполняющую функции памяти, символом α_1.

2.2. Горизонтальная конъюкция

Настройка: $a = 0$.

Функции: $\alpha_2(x, y, z)$: $x' = x$, $z' = z\bar{y}$.

Ячейка α_2 может быть использована в качестве функционального элемента конъюнкции ($z' = z\bar{y}$). На рис. 3,а приведено условное обозначение ячейки α_2 .



а) б) Рис. 3

Горизонтальная цепочка (строка) из p ячеек α_2 реализует p -входовую конъюнкцию, если на входы $y(y')$ подать инверсии независимых переменных. Значение функции вырабатывается на выходе z' правой ячейки строки (рис. 3,б).

В общем случае на вход z левой ячейки строки необходимо подать константу $z = I$. Однако этот вход можно использовать также для подачи одной из независимых переменных, уменьшив тем самым на одну ячейку необходимую длину цепочки. В ячейке α_2 образуется вертикальная шина $x' = x$, которая может быть использована независимо для передачи каких-либо сигналов в направлении сверху вниз.

Кроме этого, существует обычная шина $y' = y$, несущая в данном случае сигнал независимой переменной. При построении двумерных структур эта шина может быть использована для передачи переменной в ячейки всех других строк данного столбца.

Шина $u' = u$ используется только в процессе настройки α - ячейки. При работе ячейки в качестве функционального элемента на вход u всегда подается константа $u = 0$.

Для упрощения изображения на рис.3 шины u и x не показаны.

2.3. Вертикальная дизъюнкция

Настройка: $a = I$.

Функции: $\alpha_3(x, z)$: $x' = x \vee z$, $z' = z$.

Ячейка α_3 может быть использована в качестве функционального элемента дизъюнкции ($x' = x \vee z$). На рис. 4,а приведено условное обозначение ячейки α_3.

Вертикальная цепочка (столбец) из p ячеек α_3 реализует p -входовую дизъюнкцию, если на входы z подать независимые переменные. Значение функции вырабатывается на выходе x' нижней ячейки столбца (рис. 4,б).

На вход x верхней ячейки необходимо подать константу $x = 0$, однако его можно использовать (аналогично первому входу конъюнктивной строки) и как вход одной из независимых переменных.

В ячейке α_3 образуется горизонтальная шина $z' = z$, по которой проходят независимые переменные. Эту шину можно использовать при построении двумерной структуры. Если же справа от ячейки α_3 переменная z не нужна, то ячейку α_3 надо изолировать (см. 2.7).

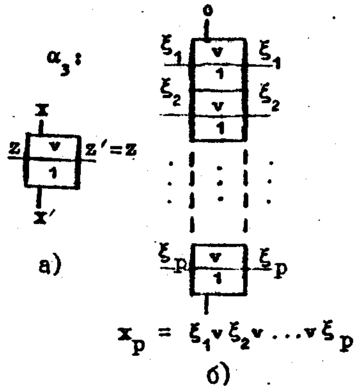


Рис. 4

Функции α_3 не зависят от y, следовательно, шина $y' = y$ также может использоваться независимо.

Роль шины $u' = u$ такая же, как в ячейке α_2. На рис. 4 шины u и y не показаны.

2.4. Проходные шины

Настройка: I этап: $a = 0$; II этап: $y = 0$.

Функции: $\alpha_{21}(x, z)$*): $x' = x$, $z' = z$.

Ячейка α_{21} используется для независимой передачи сигналов в двух взаимно перпендикулярных направлениях: сверху вниз ($x' = x$) и слева направо ($z' = z$). Эта функция аналогична соединительной функции "крест без точки" [I] с той разницей, что здесь сигналы x и z проводятся только в одном направлении. Необходимо учесть, что шина $y' = y$, проводящая сигналы в обоих направлениях, в данном случае несет константу $y = 0$.

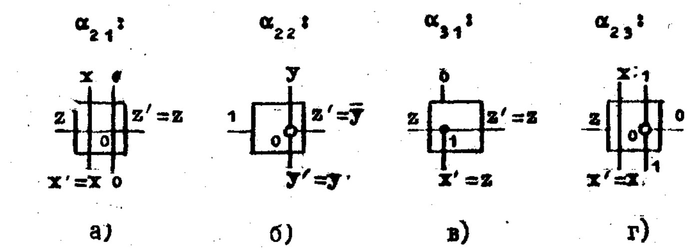


Рис. 5

*) Здесь первая цифра индекса показывает, что настройка на I этапе такая же, как у ячейки α_2. Аналогичная индексация используется и в дальнейшем.

О роли шины $u' = u$ сказано в 2.2.

Условное обозначение ячейки α_{21} приведено на рис. 5,а.

2.5. Поворот направо

Настройка: I этап: $\alpha = 0$, П этап: $z = 1$.

Функция: $\alpha_{22}(x,y)$: $x' = x$, $z' = \bar{y}$.

Ячейка α_{22} позволяет осуществить поворот направо (из столбца в строку) сигнала, идущего по шине y ($z' = \bar{y}$). После поворота сигнал поступает на выход z'. При этом он инвертируется. Инверсию можно использовать по существу, либо учесть при подаче независимой переменной (как это делается и в ячейке α_2).

В данном случае для настройки необходимо фиксировать переменную z ($z = 1$). Если ячейка находится в левом крайнем столбце, то это не вызывает затруднений. В противном случае приходится подводить к ячейке константу $z = 1$. Для этого надо все находящиеся слева от нее ячейки той же строки настроить на функцию α_{21} и подать на самую левую из них константу $z = 1$. В результате много ячеек расходуется непроизводительно на выполнение чисто соединительных функций. Правда, шины $x' = x$ этих ячеек можно использовать для передачи произвольных сигналов.

Условное обозначение ячейки α_{22} приведено на рис. 5,б.

2.6. Поворот вниз

Настройка: I этап: $\alpha = 1$, П этап: $x = 0$.

Функции: $\alpha_{31}(z)$: $x' = z$, $z' = z$.

Ячейка α_{31} осуществляет разветвление сигнала, поступающего на вход z ($x' = z' = z$).

Шину $z' = z$ можно получить также настройкой на α_{21}, но ячейка α_{31} , кроме того, "поворачивает" сигнал вниз (из строки в столбец) и направляет его по цепи x .

Для настройки на α_{31} необходимо фиксировать переменную x ($x = 0$). Если ячейка находится в крайней верхней строке, то подача константы $x = 0$ не вызывает затруднений. В противном случае надо подвести к ячейке константу. Для этого можно, например, все находящиеся сверху от нее ячейки того же столбца настроить на функцию α_{21} и подать на самую верхнюю из них константу $x = 0$.

Так как функция α_{31} не зависит от y , шины $y' = y$ можно использовать для передачи произвольных сигналов.

Условное обозначение ячейки приведено на рис. 5,в.

2.7. Разделительная ячейка

Настройка: I этап: $\alpha = 0$, П этап: $y = 1$.

Функции: $\alpha_{23}(x)$: $x' = x$, $z' = 0$.

Ячейка α_{23} выдает константу $z' = 0$, что позволяет изолировать часть строки, расположенную справа от нее, от переменной z , поступающей слева. Столбец из ячеек α_{23} (разделительный столбец) служит для изоляции всей правой полуплоскости.

Шина $x' = x$ может быть использована независимо.

Условное обозначение ячейки α_{23} приведено на рис. 5,г.

Из проведенного анализа видно, что двумерную однородную среду, состоящую из α -ячеек, можно считать универсальной. При этом существенно, что минимальное общее число состояний элемента среды равно 2, то есть является абсолютно минимальным для настраиваемой структуры.

3. Синтез логических схем

3.1. Реализация функций алгебры логики

Одним из способов реализации функций алгебры логики является моделирование д.н.ф. Известно (см., например, [7]), что любая функция алгебры логики может быть задана в совершенной д.н.ф. в виде:

$$f(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n) = \bigvee_{f(\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_n) = 1} \xi_1^{\sigma_1} \xi_2^{\sigma_2} \ldots \xi^{\sigma_n},$$

причем количество элементарных конъюнкций не превышает $k = 2^n$.

Из 2.2 следует, что всякая элементарная конъюнкция может быть реализована строкой соответствующей длины из ячеек α_2 (конъюнктивной строкой). Поскольку каждая из переменных ξ_i может входить в различные элементарные конъюнкции (в зависимости от значения σ_i) как в прямом виде, так и с отрицанием, для совместной реализации всех элементарных конъюнкций необходимо выделить участок α -среды с длиной строки, равной $2n$. Так как для реализации всех элементарных конъюнкций заданной функции потребуется не более чем 2^n конъюнктивных строк, длина столбца должна быть не более 2^n.

Переменные ξ_i и их отрицания подаются на входы y (или y', что безразлично). В силу коммутативности конъюнкции распределение переменных по столбцам несущественно. Будем считать, что переменные подаются так, как показано на рис. 6.

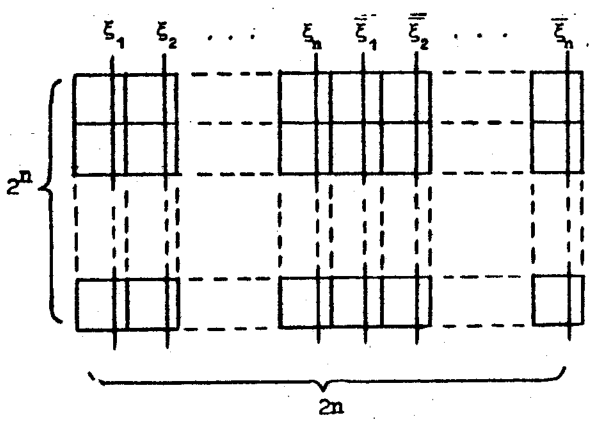


Рис. 6

Для того чтобы конъюнктивная строка реализовала элементарную конъюнкцию, достаточно настроить ее ячейки в соответствии со значениями σ_i, а именно: если $\sigma_i = 0$, то ячейка, соответствующая ξ_i, настраивается на функцию α_2 ($a = 0$); если же $\sigma_i = I$, то на функцию α_2 настраивается ячейка, соответствующая $\bar{\xi}_i$. Все остальные ячейки данной строки настраиваются на функцию α_3 ($a = I$) и служат только для соединения в цепочку (шинами $z' = z$) всех ячеек α_2, которые вычисляют значения элементарной конъюнкции. Из последнего замечания и из построения конъюнктивной строки (см. 2.2) следует, что сигнал $z' = I$ появится на правой границе строки в том и только в том случае, когда для всех переменных, входящих в соответствующую элементарную конъюнкцию, $\xi_i = \sigma_i$, то есть когда она принимает значение I.

Теперь добавим справа к участку среды, реализующему элементарные конъюнкции, один столбец ячеек, настроенных на функцию α_3 ($a = I$), – дизъюнктивный столбец – и подадим на его верхний вход x сигнал $x = 0$. Из 2.3. следует, что на нижнем выходе x' этого столбца реализуется дизъюнкция всех элементарных конъюнкций, то есть заданная функция

$$f(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n).$$

ПРИМЕР. Дана функция

$$f_1(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = \xi_1 \xi_2 \xi_3 \vee \bar{\xi}_1 \bar{\xi}_2 \xi_3 \vee \bar{\xi}_1 \xi_2 \bar{\xi}_3 \vee \xi_1 \bar{\xi}_2 \bar{\xi}_3 .$$
$$(n = 3, \ k = 4.)$$

I. Выделим участок α -среды размером $(2n+1) \times k = 7\text{x}4$.

2. Настроим этот участок так, как показано на рис. 7,а.

3. Подадим на границы среды переменные (и константы) x, y, z так, как показано на рис. 7,б.

На выходе $x'_{4,7}$ реализуется заданная функция $f_1(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$.

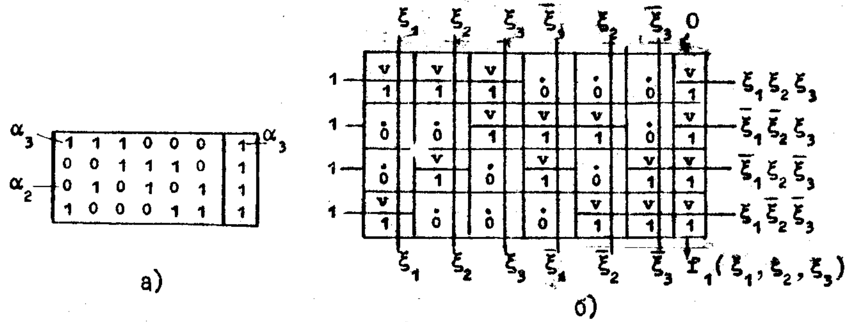


Рис. 7

Отметим, что описанный способ реализации элементарных конъюнкций аналогичен способу синтеза последовательных релейно-контактных схем. Этот способ использован, в частности, в работе [8] для моделирования функций алгебры логики в криотронной ОВС.

При реализации произвольной д.н.ф. в α -среде сохраняются только те столбцы, которые соответствуют присутствующим в данной д.н.ф. переменным. Если д.н.ф. состоит из k элементарных конъюнкций и в них всего содержится n_0 (разных) переменных с отрицаниями и n_1 (разных) переменных без отрицаний, то для ее реализации требуется участок α -среды размером $s=(n_0+n_1+1)\times k$. Достижение минимальной величины s должно быть целью преобразований д.н.ф., если имеется в виду реализация в α -среде.

Верхнюю оценку сложности α -среды, реализующей произвольную функцию алгебры логики, можно получить из следующих соображений. Известно, что самая "сложная" функция n переменных имеет в минимальной д.н.ф. 2^{n-1} элементарных конъюнкций по n переменных, причем каждая переменная входит как с инверсией, так и без нее. Следовательно, $s_{\delta\varphi} \leq (2n+1)\times 2^{n-1}$.

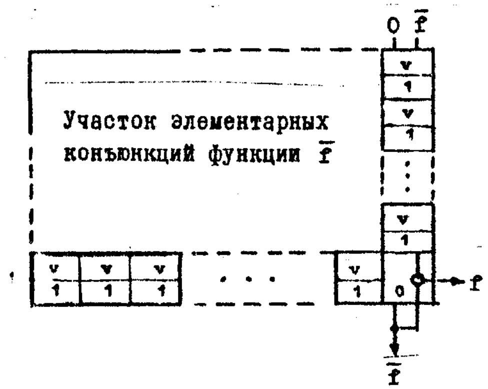


Рис. 8

Один из полезных практических приемов реализации функций в α -среде заключается в том, что вместо функции f реализуется ее отрицание - функция $\bar{f}$ (если возможно - в минимальной форме), которая затем инвертируется. Соответствующая схема приведена на рис. 8. Для многих функций этот прием дает экономию площади α -среды.

3.2. Реализация систем функций

Пусть требуется реализовать в α -среде систему из m функций алгебры логики, зависящих от n переменных.

Если каждая функция системы задана в д.н.ф. и вся система содержит K разных элементарных конъюнкций, в которые входит N_0 (разных) переменных с отрицаниями и N_1 (разных) переменных без отрицаний, то реализация этой системы сводится к следующему.

1. Выделим участок α -среды размером $(N_0+N+m)\times K$.

2. Настроим участок элементарных конъюнкций размером $(N_0+N_1)\times K$ таким образом, что в каждой строке $a=0(\alpha_2)$ для тех и только тех ячеек, которые соответствуют отрицаниям переменных, входящих в реализуемую этой строкой элементарную конъюнкцию, а для всех остальных ячеек a = I (α_3).

Подадим на входы y (или y') всех столбцов этого участка соответствующие переменные (с отрицаниями или без них), а на входы z левой границы константы z = I. Ясно, что на выходах z' правой границы данного участка реализуются все K элементарных конъюнкций системы.

3. Каждый столбец участка дизъюнктивных столбцов (размер: $m\times K$), расположенного непосредственно справа от участка элементарных конъюнкций, завершает реализацию одной из функций системы. Этот участок настраивается следующим образом. Если i -я элементарная конъюнкция входит в j -ю функцию системы, то ячейка с координатами (i,j) настраивается на функцию $\alpha_3\ (a=1)$. Все остальные ячейки этого участка настраиваются на функцию $\alpha_{21}\ (a=0,\ y=0)$, так как они должны обеспечить соединение функциональных ячеек α_3 с входами $x=0$ верхней границы и с выходами z' правой границы участка элементарных конъюнкций.

ПРИМЕР. Система функций (из работы [9]):

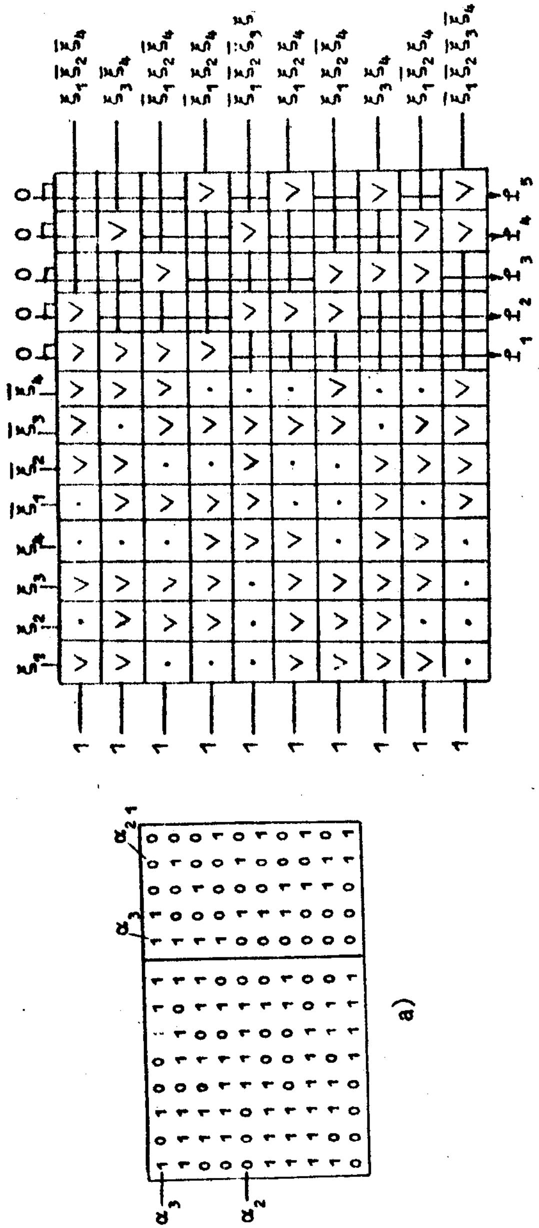
$$f_1 = \xi_1\bar{\xi}_2\bar{\xi}_4 \vee \xi_3\bar{\xi}_4 \vee \bar{\xi}_1\xi_2\bar{\xi}_4 \vee \bar{\xi}_1\xi_2\xi_4\ ,$$
$$f_2 = \bar{\xi}_1\bar{\xi}_2\bar{\xi}_3\xi_4 \vee \xi_1\xi_2\bar{\xi}_4 \vee \xi_1\bar{\xi}_2\bar{\xi}_4 \vee \xi_1\xi_2\bar{\xi}_4\ ,$$
$$f_3 = \xi_3\xi_4 \vee \xi_1\bar{\xi}_2\xi_4 \vee \xi_1\xi_2\bar{\xi}_4 \vee \bar{\xi}_1\xi_2\bar{\xi}_4\ ,$$
$$f_4 = \bar{\xi}_1\bar{\xi}_2\bar{\xi}_3\xi_4 \vee \xi_1\bar{\xi}_2\xi_4 \vee \xi_3\bar{\xi}_4 \vee \bar{\xi}_1\bar{\xi}_2\bar{\xi}_3\bar{\xi}_4\ ,$$
$$f_5 = \xi_3\xi_4 \vee \bar{\xi}_1\bar{\xi}_2\bar{\xi}_3\bar{\xi}_4 \vee \xi_1\xi_2\xi_4 \vee \bar{\xi}_1\xi_2\xi_4\ .$$

$(N_0 = 4,\ \ N_1 = 4,\ \ K =$ IO, $m = 5.)$

I. Выделим участок α -среды размером $(N_0+N_1+m)\times K$=I3xIO.

2. Настроим этот участок так, как показано на рис. 9,а.

3. Подадим на границы среды переменные (и константы) x, y, z так, как показано на рис. 9,б.



б)

а)

Рис.9

На выходах $x'_{10,9} - x'_{10,13}$ реализуются, соответственно, функции $f_1 - f_5$.

Верхняя оценка сложности для системы функций может быть получена следующим образом. Рассмотрим наихудший случай, когда в д.н.ф. функций системы входят все 2^n элементарных конъюнкций n переменных. При этом получается оценка $s_{bc} \leq (2n+m)\cdot 2^n$.

Целью преобразований д.н.ф. системы функций должна быть минимизация площади $s = (N_0 + N_1 + m)\times K$.

3.3. Реализация конечного автомата

Произвольный конечный автомат может быть реализован в α-среде путем моделирования его канонических уравнений. Следуя [7], будем считать, что автомат задан системой:

$$\left.\begin{aligned} \eta_1 &= \Phi_1(\xi_1, \dots, \xi_n, q_1, \dots, q_k),\\ &\dots\dots\dots\dots\\ \eta_\ell &= \Phi_\ell(\xi_1, \dots, \xi_n, q_1, \dots, q_k),\\ q'_1 &= \Psi_1(\xi_1, \dots, \xi_n, q_1, \dots, q_k),\\ &\dots\dots\dots\dots\\ q'_k &= \Psi_k(\xi_1, \dots, \xi_n, q_1, \dots, q_k), \end{aligned}\right\} \qquad (*)$$

где $\xi_1, \dots, \xi_n$ – входные переменные, $\eta_1, \dots, \eta_\ell$ – выходные переменные, $q_1, \dots, q_k$ – внутренние переменные $\Phi_1, \dots, \Phi_\ell$ – функции выхода, $\Psi_1, \dots, \Psi_k$ – функции перехода, $q'_1, \dots, q'_k$ – значения внутренних переменных для следующего такта.

Поскольку используется описанный выше способ реализации функций алгебры логики, нам понадобится реализовать отрицания всех функций перехода $\overline{\Psi}_1, \dots, \overline{\Psi}_k$. Включив эти функции в систему (*), получим систему (**). Далее, необходимо, чтобы каждая из функций Φ, Ψ и $\overline{\Psi}$ была представлена в д.н.ф.

$$\left.\begin{aligned} \eta_1 &= \Phi(\xi_1, \dots, \xi_n, q_1, \dots, q_k),\\ &\dots\dots\dots\dots\\ \eta_\ell &= \Phi_\ell(\xi_1, \dots, \xi_n, q_1, \dots, q_k),\\ q'_1 &= \Psi_1(\xi_1, \dots, \xi_n, q_1, \dots, q_k),\\ &\dots\dots\dots\dots \end{aligned}\right\} \qquad (**)$$

$$
\left.
\begin{aligned}
q_1' &= \Psi_k(\xi_1,\dots,\xi_n,q_1,\dots,q_k), \\
\bar{q}_1' &= \bar{\Psi}_1(\xi_1,\dots,\xi_n,q_1,\dots,q_k), \\
&\dots\dots\dots\dots\dots \\
\bar{q}_k' &= \bar{\Psi}(\xi_1,\dots,\xi_n,q_1,\dots,q_k),
\end{aligned}
\right|
$$

Обозначим общее число разных элементарных конъюнкций, входящих в систему ($**$), через r :

Один из способов реализации автомата состоит в следующем.

I. Выделим участок α -среды размерами $(2n+8k+\ell)\times(r+2)$. Разделим этот участок на блоки так, как показано на рис.IO.

На входы y (или y') блока ЭК подаются входные переменные ξ, а также значения внутренних переменных q, выработанные в предыдущем такте и хранимые в блоке памяти (регистре) П2. На выходах x' правой границы блока ЭК вырабатываются все r элементарных конъюнкций системы ($**$). В блоке Φ реализуются функции выхода $\Phi_1,\dots,\Phi_\ell$. Значения выходных переменных η снимаются с выходов x' нижней границы этого блока. В блоке Ψ реализуются функции перехода $\Psi_1,\dots,\Psi_k$, $\bar{\Psi}_1,\dots\bar{\Psi}_k$. Значения этих функций q' записываются в текущем такте в регистре П1.

Управление работой автомата осуществляется следующим образом. В течение периода T, который должен быть не менее времени установления переходных процессов в схеме, на нижнюю сторону матрицы подаются константы $u = 0$, $z = I$, а на предпоследнюю снизу – константы $u = I$, $z = 0$. Показанные на рис.IO пунктиром перемычки I замкнуты, а перемычки II разомкнуты. На входы y' регистра П2 подаются константы 0. При этом текущие значения q считываются с регистра П2 и поступают на соответствующие входы блока ЭК, а вырабатываемые блоком Ψ значения функций перехода q записываются в регистр П1.

Между двумя соседними тактами производится перепись значений q' из П1 в П2. Для этого на некоторое время перемычки I размыкаются, перемычки II замыкаются, на входы y' регистра П1 подаются константы 0, на нижнюю строку $u = I$, $z = 0$, а на предпоследнюю $u = 0$, $z = I$.

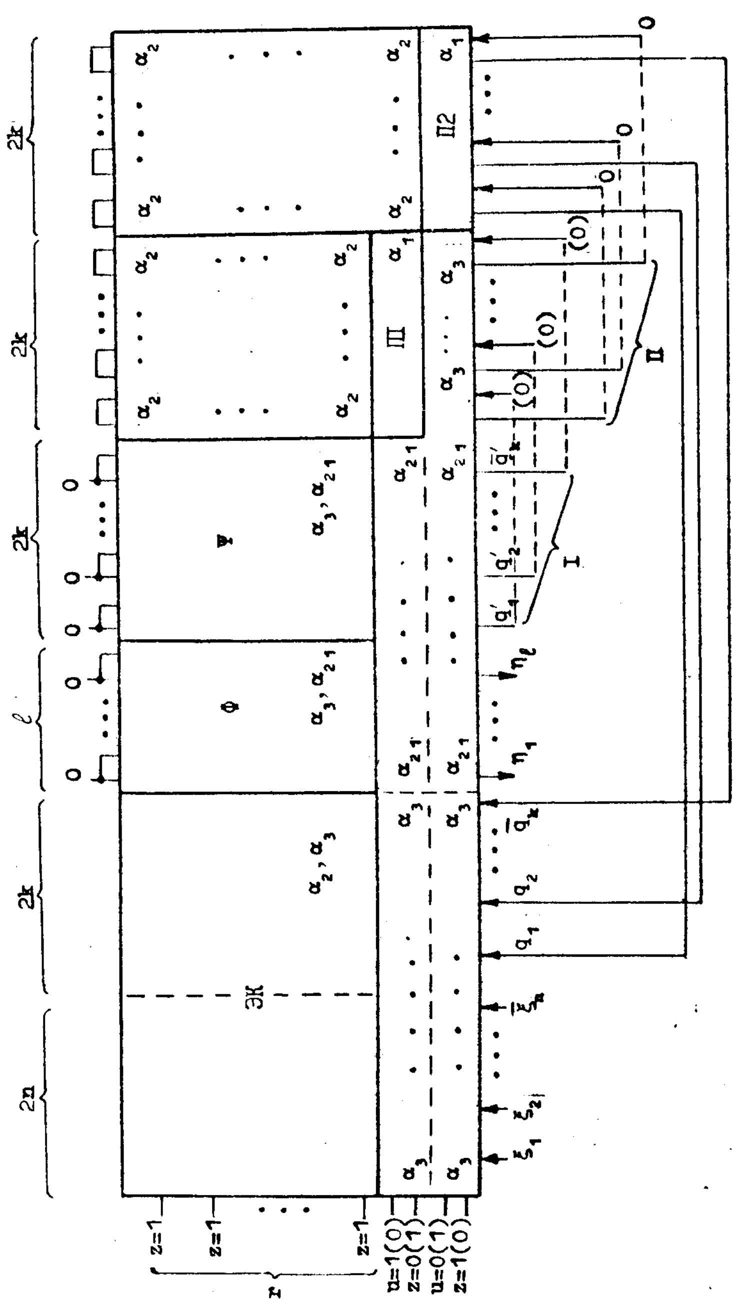


Рис. IO

Минимизация автомата в α -среде, очевидно, сводится к минимизации пл. щади $s = (2n + 8k + \ell) \times (z + 2)$.

Верхняя оценка сложности реализации автомата в α -среде: $s_{b.a} \leq (2n + 8k + \ell) \times (2^{n+k} + 2)$.

Литература

I. ЕВРЕИНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука", 1966.

2. ПРАНГИШВИЛИ И.В. и др. Микроэлектроника и однородные структуры для построения логических и вычислительных устройств. М., "Наука", 1967.

3. ЕВРЕИНОВ Э.В., МИШИН А.И., ХРУЩЕВ В.Г. Элемент вычислительной среды. Авт.свид. СССР № 239661. Бюлл. изобретений, 1969, № II.

4. KAUTZ W.H. An augmented contcnt-addressed memory array for implementation with large-scale integration.- "Journal ACM", 1971, vol. 18, N 1, p. 19-33.

5. KAUTZ W.H. Callular logic-in-memory arrays. - "IEEE Trans.", 1969, vol. C-18, N 8, p. 719-727.

6. KAUTZ W.H., LEVITT K.N., WAKSMAN A. Cellular interconnection arrays. - "IEEE Trans.", 1968, vol. C-17, N 5, p. 443-451.

7. КОБРИНСКИЙ Н.Е., ТРАХТЕНБРОТ Б.А. Введение в теорию конечных автоматов. М., Физматгиз, 1962.

8. БАНДМАН О.Л. Реализация автоматов в криотронной вычислительной среде. - В сб.: Вычислительные системы. Труды I Всесоюзной конференции по вычисл. системам. Новосибирск, 1968, с. 126÷147.

9. HOUSE R.W., RADO T. On a computer program for obtaining irreducible representations for two-level multiple input - output logical systems. - "Journal ACM", 1963, vol. 10, N 1, p. 48-77.

Поступила в ред.-изд.отд.
I марта 1972 г.