

## АЛГОРИТМ НАСТРОЙКИ ОДНОРОДНЫХ КОМБИНАЦИОННЫХ СРЕД

*Б.М. Полосухин*  
(Москва)

Практика проектирования цифровой аппаратуры на интегральных микросхемах показывает, что зачастую мы не получаем тех результатов по сокращению габаритов и веса аппаратуры, по повышению ее надежности, которые, казалось, могли бы быть достигнуты при существующем уровне микроэлектронной технологии.

Одна из причин подобного несоответствия между желаемым и действительным — это попытка использовать при проектировании цифровой аппаратуры на интегральных микросхемах методы, обычно применяемые для систем на дискретных компонентах.

Следует отметить, что при использовании интегральных микросхем существенно возрастает роль конструктивного этапа проектирования. Нередки случаи, когда, казалось бы, удачные решения, полученные на этапе логического проектирования, оказываются трудно выполнимыми или вовсе неприемлемыми при решении конструкторских задач размещения элементов и осуществления соединений между ними. Чтобы преодолеть указанные затруднения, еще на начальном этапе проектирования аппаратуры следует уделять серьезное внимание вопросам координации схемы межсоединений и логической структуры системы с расположением ее элементов. Подобная координация должна осуществляться таким образом, чтобы была обеспечена однородность функциональной структуры системы и достигнута максимальная простота межсоеди-

нений. Эти результаты, например, могут быть получены на основе упорядоченного расположения компонентов в функциональной схеме; при этом существующие принципы, заключающиеся в попытке получить схемы с возможно меньшим числом компонентов, должны быть, вообще говоря, отвергнуты.

Требованию упорядоченности расположения элементов в функциональной схеме, сокращению числа межсоединений, а также их стандартизации в высокой степени удовлетворяют однородные вычислительные среды или структуры.

Несмотря на имеющееся разнообразие однородных вычислительных сред, для всех них характерны два признака.

1. Топологическая упорядоченность расположения элементов (как правило одного типа).

2. Стандартизация и упорядоченность связей между элементами.

Еще одна очень важная особенность однородных вычислительных сред проявляется в том, что разработчик уже на первом, т.е. логическом этапе проектирования, имеет перед собой как схему размещения элементов, так и схему соединений между ними - эти схемы фактически заданы типом выбранной однородной среды. Задача разработчика - найти алгоритмы настройки среды на вычисление заданной системы функции, а если этот алгоритм известен - реализовать его.

В литературе [2,6] рассмотрены различные варианты построения однородных комбинационных сред. Можно указать на некоторые из них: *cutpoint* и *subweb* среды Минника [3,4], двумерные решетки Канедея, построенные из 3 - входовых мажоритарных элементов [5], двухвязные каскады Шорта [6] и т.д. Там же рассмотрены алгоритмы синтеза подобных структур.

Следует указать, что нет единого подхода к методам синтеза комбинационных однородных сред. Каждая конкретная среда требует своего конкретного метода синтеза. Настоящим сообщением преследуется цель рассмотреть некоторый метод, пригодный для синтеза различных однородных комбинационных сред.

Здесь этот алгоритм рассмотрен применительно к прямоугольным однородным средам без памяти с индивидуальным поведением элементов. Однако указанный алгоритм без существенных оговорок может быть обобщен на любую комбинационную однородную среду. Для реализации алгоритма необходимо лишь задать:

1. множество логических операций, выполняемых элементом среды,

2. структуру соединения между элементами среды,

3. объем среды.

Рассмотрим однородную прямоугольную логическую среду без памяти с двумя направлениями распространения информации (см. рисунок). В качестве элемента среды выбран универсальный двух-входовый логический элемент, причем, два логических выхода элемента приняты одинаковыми. Будем рассматривать такую среду как комбинационную часть некоторого цифрового автомата, реализующую заданную функцию возбуждения  $\Psi(x_1, \dots, x_m)$ , где  $x_1, x_2, \dots, x_m$  - входные переменные.

Левые и верхние граничные элементы на рисунке являются входными элементами, на которые может подаваться некоторое распределение входных переменных  $x_1, \dots, x_m$ , а также постоянные сигналы 0 или 1. Назовем упорядоченный по периметру среды набор входных переменных входным граничным распределением. Входным элементом среды является правый нижний элемент среды.

Обозначим входное граничное распределение  $Y_B = x_1, \dots, x_B$ , где символом  $B$  обозначена размерность входного граничного распределения. Очевидно, что  $B = p + q$ , где  $p$  - число горизонтальных, а  $q$  - число вертикальных граничных элементов.

В зависимости от значений  $m$  и  $B$  будем рассматривать среды двух типов.

Среды, для которых справедливо соотношение  $m = B$ , будем называть средами с неизбыточными входами. Если  $m < B$ , имеет место среда с избыточными входами.

Таким образом, предлагаемая однофункциональная среда является обобщением каскада Майтра для двух измерений и для случая, когда происходит взаимное влияние между потоками информации, распространяющимися в горизонтальном и вертикальном направлениях.

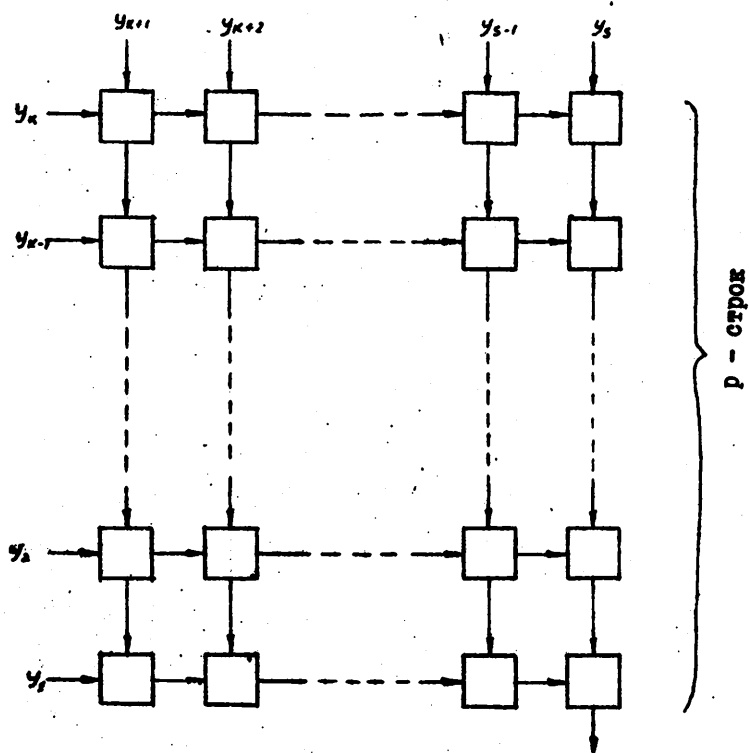
Рассмотрим сначала случай  $B = m$ .

Разложим входную функцию  $\Psi(x_1, \dots, x_m)$  в дизъюнктивную нормальную форму по функциям элементов среды. Так, если на рисунке выходной  $n$ -ый элемент, расположенный в  $p$ -ом столбце и  $q$ -ой строке, реализует функцию  $\Psi(x_1, \dots, x_m)$ , то справедливо разложение:

$$\Psi_{p,q}(x_1, \dots, x_m) = \bar{\Psi}_{p-1,q} \bar{\Psi}_{q-1,p} f_n(0) + \bar{\Psi}_{p-1,q} \Psi_{q-1,p} f_n(1) + \Psi_{p-1,q} \bar{\Psi}_{q-1,p} f_n(2) + \Psi_{p-1,q} \Psi_{q-1,p} f_n(3) \quad (I)$$

где  $\Psi_{p-1,q}$  и  $\Psi_{q-1,p}$  - выходные функции элементов, лежащих в  $(p-1)$ -ом столбце и  $q$ -ой строке и в  $p$ -ом столбце и

$E$  - столбцов



(q-1) -ой строке соответственно, а вектор  $F_n = \{f_n(0); f_n(1); f_n(2); f_n(3)\}$  определяет настройку n-го элемента на выполнение одной из 16-ти функций двух переменных.

Функции  $\Psi_{p-1,q}$  и  $\Psi_{q-1,p}$  также могут быть разложены по функциям настройки и входным функциям этих элементов аналогично разложению (1). Подобный процесс разложения продолжается до достижения левой и верхней границ среды.

Подставляя каждое последующее разложение в предыдущее, в конце концов получим, что

$$\Psi(x_1, \dots, x_n) = \bigvee_{j=1+2^m} A_j \cdot y_1^{\sigma_1} \dots y_1^{\sigma_1} \dots y_n^{\sigma_n} \dots y_n^{\sigma_n}, \quad (2)$$

где  $y_1, \dots, y_n$  некоторое, пока неопределенное, входное граничное распределение,  $A_j$  - коэффициенты, определяющие настройку элементов среды,  $(\sigma_1, \dots, \sigma_n)$  последовательно принимает все двоичные значения от  $(0 \dots 0)$  до  $(1 \dots 1)$ .

Как обычно

$$y_1^{\sigma_1} = \begin{cases} y_1 & \text{при } \sigma_1 = 1, \\ \bar{y}_1 & \text{при } \sigma_1 = 0, \end{cases} \quad (3)$$

В свою очередь коэффициенты  $A_j$  могут быть записаны следующим образом

$$A_j = \bigvee_{i=1}^{n-1} \Phi_{ij}(F_1, \dots, F_n). \quad (4)$$

В (2) приведен общий вид разложения функции  $\Psi(x_1, \dots, x_n)$ . Для того, чтобы представить явный вид такого разложения, в (5) приведено разложение функции  $\Psi(x_1, x_2, x_3, x_4)$  для четырехмерного входного распределения  $x_1, x_2, x_3, x_4$ .

[illegible]

五

;

7.

Так как коэффициенты  $A_i$  могут принимать значения только 0 или 1, соотношение (6) можно рассматривать как систему булевых уравнений, решая которую при некоторых заданных  $A_i$  можно найти значения функций настройки элементов  $F_i$ .

Очевидно, что заданная функция только тогда может быть реализована однородной логической средой, когда система уравнений вида (6), соответствующая данной среде, совместима при всех значениях правой части.

Хотя вопрос о функциональной полноте однородных логических структур здесь не рассматривается, можно показать, что для рассматриваемой структуры с избыточными входами уже при  $m > 2$  система вида (6) при некоторых значениях правой части несовместима.

Гораздо больший интерес с точки зрения своих функциональных возможностей представляют среды с избыточными входами.<sup>х)</sup>

Ввиду того, что для сред с избыточными входами размерность входного граничного распределения больше, чем размерность входных переменных, некоторые конститuenty  $y_1, \dots, y_m$  в (2) становятся равными 0, а количество уравнений в системе (6) сокращается в  $k$  раз, где  $k = 2^{p+q-m}$ .

Будем называть такие системы сокращенными.

Очевидно, что для каждой полной системы может быть получено конечное число  $n$  различных сокращенных систем. Это число зависит как от разности  $\delta = S - m$ , так и от значения сигналов, подаваемых на избыточные граничные входы.

В случае, если на избыточные входы разрешается подавать значения переменных и их инверсий, а также постоянные сигналы

х) Для одномерного каскада Майтра с избыточными входами показано [2], что он хотя и является более мощным относительно каскада с избыточными входами, но функциональной полнотой не обладает.



0 и 1, и если  $(p + q) - m = 1$ , то

$$\eta = \frac{(p + q + 1)!}{(p + q - 1)!}.$$

Таким образом, среде, изображенной на рисунке, соответствует 20 различных сокращенных систем. Список этих систем приведен в таблице. Крестиками отмечены конститuenty тех уравнений, которые входят в ту или иную сокращенную систему.

После вышеизложенного должен быть понятен алгоритм настройки однородной логической среды на выполнение заданной функции.

**Э т а п 1.** Для заданного  $m$  выписывается разложение вида (2). При этом предполагается, что  $S = m$ .

**Э т а п 2.** Реализуемая функция задается своим характеристическим вектором, значения которого присваиваются правым частям уравнений системы вида (6).

**Э т а п 3.** Определяется совместимость полученной системы при заданном значении правой части. Если система совместима, выполняется этап 4. В противном случае следует перейти к этапу 6.

**Э т а п 4.** Осуществляется решение системы, в результате которого определяется входное граничное распределение

$Y_s = y_1, y_2, \dots, y_{m=s}$  и функции настройки элементов среды  $F_i$ .

**Э т а п 5.** Производится переобозначение переменных подстановкой  $x_i \rightarrow y_j$ . Если  $i = j$  и  $\sigma_i = \sigma_j$  для всех  $i = 1, 2, \dots, S$  и  $j = 1, 2, \dots, S$ , то реализуется заданная функция. Если для некоторых  $i$  и  $j$  справедливо  $i \neq j$  и  $\sigma_i \neq \sigma_j$ , среда настраивается на одну из функций, принадлежащую к тому же типу, что и заданная. Выполнение алгоритма заканчивается.

**Э т а п 6.** Выписывается разложение вида (2) для

$S = m + k$ , где  $k = 1, 2, \dots, k$ .

**Э т а п 7.** Последовательно выбирается сокращенная система и ее правой части присваивается значение характеристического вектора заданной функции.

**Э т а п 8.** Определяется совместимость сокращенной системы. Если она совместима, выполняется этап 4, в противном случае следует возвратиться к этапу 7 и выполнять цикл, состоящий из этапов 7 и 8 до тех пор, пока не будут исчерпаны все сокращенные системы для данного  $k$ . После этого следует перейти к этапу 6.

Т а б л и ц а

	$y_1=0$	$y_1=1$	$y_2=0$	$y_2=1$	$y_3=0$	$y_3=1$	$y_4=0$	$y_4=1$	$y_5=0$	$y_5=1$	$y_6=0$	$y_6=1$	$y_7=0$	$y_7=1$	$y_8=0$	$y_8=1$	$y_9=0$	$y_9=1$	$y_{10}=0$	$y_{10}=1$
$\bar{y}_1 \bar{y}_2 \bar{y}_3 \bar{y}_4$	+		+		+		+		+		+		+		+		+		+	
$\bar{y}_1 \bar{y}_2 \bar{y}_3 y_4$	+		+		+			+		+		+	+		+		+			+
$\bar{y}_1 \bar{y}_2 y_3 \bar{y}_4$	+		+			+	+			+	+		+			+		+	+	
$\bar{y}_1 \bar{y}_2 y_3 y_4$	+		+			+		+	+			+	+			+		+		+
$\bar{y}_1 y_2 \bar{y}_3 \bar{y}_4$	+			+	+		+		+			+		+		+	+		+	
$\bar{y}_1 y_2 \bar{y}_3 y_4$	+			+	+			+		+	+			+		+	+			+
$\bar{y}_1 y_2 y_3 \bar{y}_4$	+			+		+	+			+		+		+	+			+	+	
$\bar{y}_1 y_2 y_3 y_4$	+			+		+		+	+			+		+	+			+		+
$y_1 \bar{y}_2 \bar{y}_3 \bar{y}_4$		+	+		+		+		+			+		+	+			+		+
$y_1 \bar{y}_2 y_3 \bar{y}_4$		+	+		+			+		+		+	+	+			+	+		
$y_1 \bar{y}_2 y_3 y_4$		+	+			+	+			+	+			+		+	+			+
$y_1 y_2 \bar{y}_3 \bar{y}_4$		+	+			+		+	+			+		+		+	+			+
$y_1 y_2 \bar{y}_3 y_4$		+	+			+		+	+			+		+		+	+		+	
$y_1 y_2 y_3 \bar{y}_4$		+		+	+		+		+			+	+			+		+		+
$y_1 y_2 y_3 y_4$		+		+	+			+		+	+		+			+		+	+	
$y_1 y_2 y_3 \bar{y}_4$		+		+		+	+			+		+	+		+		+			+
$y_1 y_2 y_3 y_4$		+		+		+		+	+			+		+		+		+		+

Работа алгоритма в этом случае или заканчивается нахождением некоторой совместимой сокращенной системы, или будет продолжаться до тех пор, пока не будут исследованы все сокращенные системы однородной избыточной среды заданного объема.

#### Основные выводы

1. Предложенный алгоритм настройки среды может быть применен к любой комбинационной однородной среде. В этом его универсальность.

2. Алгоритм позволяет найти все функции, которые могут быть реализованы средой данного объема.

3. Алгоритм можно трактовать как метод каскадной декомпозиции заданной булевой функции в произвольном базисе логических элементов.

#### Л и т е р а т у р а

1. А. Свобода и др. К вопросу о решении булевых уравнений с использованием карт Вейча. - Автоматика и телемеханика, 1964, т. XXV, № 3.
2. H.S. Stoue and A.I. Korenjak. Canonical form and Synthesis of Cellular Cascades. - IEEE Trans. on EC-14, N 16, 1965.
3. R.C. Minnick. Cutpoint cellular logic. - IEEE Trans. on EC-13, 1964, Dec.
4. R.C. Minnick. Cutpoint cellular logic. - AFIPS Conference Proc., Vol. 27, pt. I. Washington D.C.; Spartan 1965.
5. R.H. Canaday. Two-dimensional iterative logic. - AFIPS Conference Proc., Vol. 27, pt. I. Washington D.C.; Spartan 1965.
6. R.A. Short. Two-rail cellular cascades. - AFIPS Conference Proc., Vol. 27, pt. I. Washington D.C.; Spartan 1965.