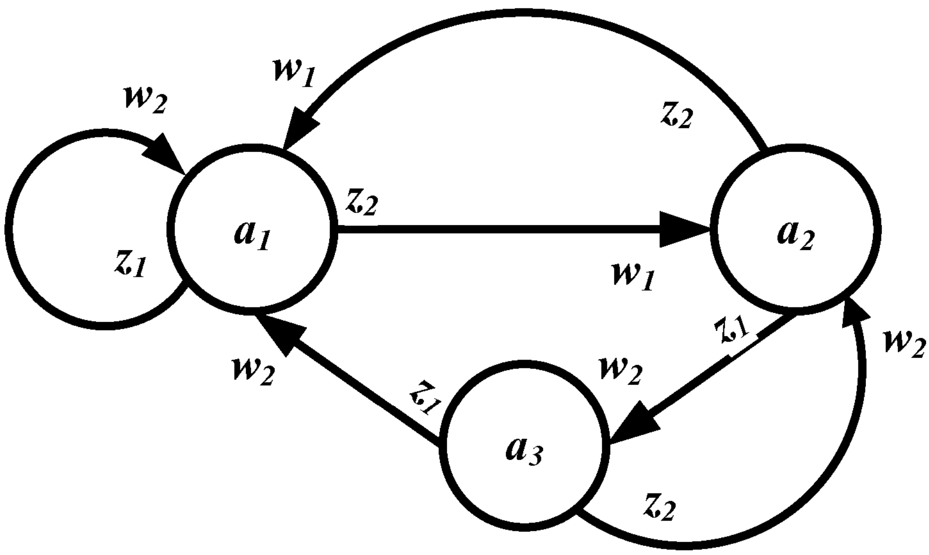
ТЕОРИЯ АВТОМАТОВ

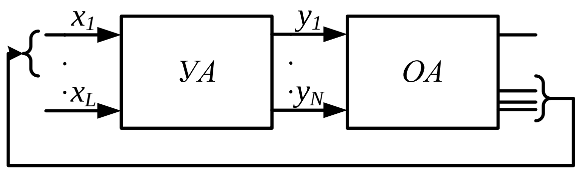
Лекционный материал, разработанный для самостоятельного освоения в условиях удаленной системы обучения

часть 3



3. **Операторные схемы алгоритмов. Микропрограмма**

Элементарный неделимый акт обработки информации в операционном автомате (ОА) называется микрооперацией (МО).



УА - управляющий автомат,

ОА - операционный автомат.

Множество МО, которые могут выполняться в ОА, обозначим через $Y=\{y_1,\ldots,y_n\}$. Эти операции выполняются в ОА под действием сигналов, которые приходят из УА. Для того, чтобы в ОА выполнялась МО y_n, по каналу, соответствующему y_n должен прийти сигнал равный 1, т.е. $y_n= 1$.

Множество МО, которые могут выполняться в ОА одновременно, будем называть микрокомандой (МК). Будем считать, что у нас этих микрокоманд $Y_1,\ldots,Y_T$. Например, пусть $Y_i = \{y_1, y_3, y_8\}$, т.е. $y_1 = y_3 = y_8 = 1$.

Для изменения порядка выполнения микрокоманд используются логические условия, причем множество логических условий $X = \{x_1,\ldots, x_L\}$.

Каждая микрокомандаY_i может содержать множество булевых функций $\alpha_{i1}, \ldots, \alpha_{iT}$ от переменных $x_1,\ldots, x_L$. При этом, если после выполнения команды $Y_j\alpha_{ij} = 1$, то следующей командой будет выполняться команда Y_j. Выражение α_{ij} называется функцией перехода от микрокоманды Y_i к микрокоманде Y_j.

Свойства функции перехода.

1. Ортогональность:$\alpha_{ij} \times \alpha_{it} = 0, j \neq t.$

   Две команды не могут выполняться одновременно.

2. Полнота: $\bigcap_{j=1}^{T} \alpha_{ij} = 1.$

   Хотя бы одна микрокоманда должна выполняться обязательно.

Совокупность микрокоманд и функций перехода образует микропрограмму.

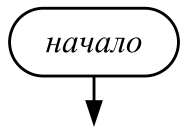
Таким образом, для описания микропрограммы необходимо задать последовательность микрокоманд и функций перехода, определяющих порядок выполнения МК.

Для описания микропрограмм будем использовать язык граф-схем алгоритмов.

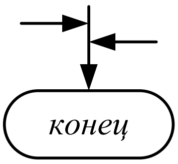
3.1. Граф-схемы алгоритмов

Граф-схема алгоритмов (ГСА) – это ориентированный связанный граф, содержащий вершины 4-х типов:

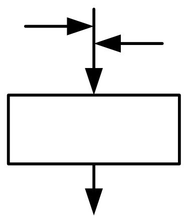
1. Одну начальную вершину с одним выходом и без входа



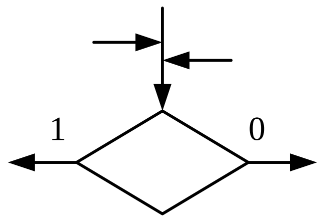
2. Одну конечную вершину



3. Конечное множество операторных вершин



4. Конечное множество условных вершин

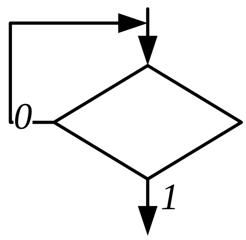


Конечная, операторная и условная вершины имеют по одному входу, начальная вершина входов не имеет. Начальная и операторные вершины имеют по одному выходу, а условные вершины по два выхода, помеченные как 0 и 1. Конечная вершина выходов не имеет.

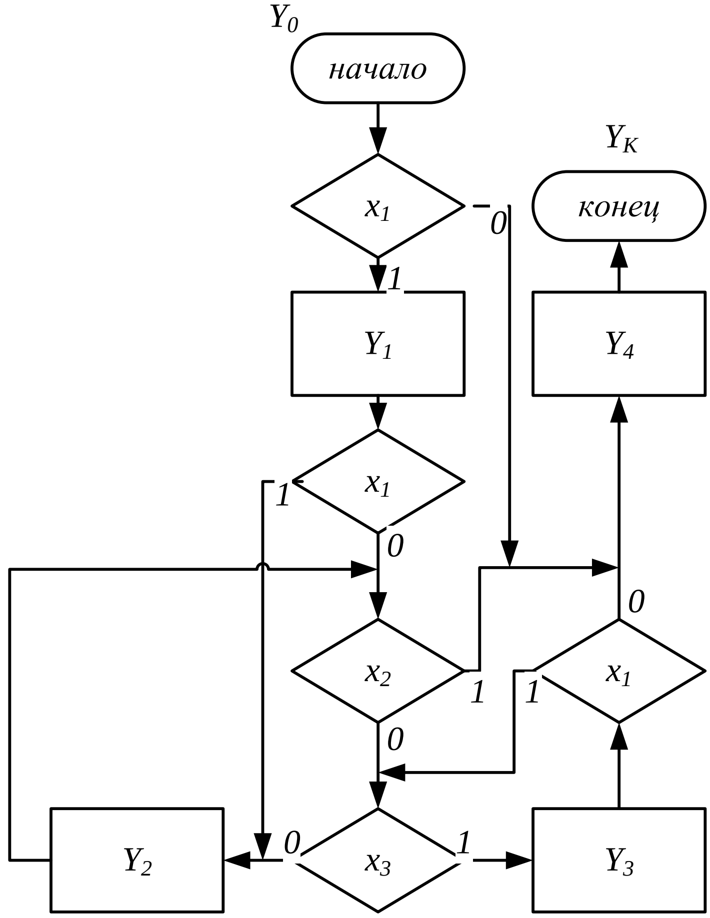
Правила составления ГСА.

1. Входы и выходы вершин соединяются друг с другом с помощью дуг, направленных всегда от выходов ко входу.
2. Каждый выход соединяется точно с одним входом.
3. Каждый вход соединяется, по крайней мере, с одним выходом.
4. Через каждую вершину проходит как минимум один путь из начальной вершины в конечную.

5. В каждой операторной вершине записывается микрокоманда Y_t, т.е. подмножество множества микроопераций: $Y = \{y_1, ..., y_n\}$. Допускается $Y_t=0$.
6. В каждой условной вершине записывается логическое условие - один из элементов множества $X = \{x_1, ..., x_L\}$.
7. Разрешается запись одинаковых микроопераций и одинаковых логических условий в различных операторных и условных вершинах соответственно.
8. Один из выходов условной вершины может быть соединен с ее входом. Такая вершина носит название ждущей вершины.



Пример ГСА



3.2. Выполнение ГСА на определенной последовательности наборов

Иногда возникает задача определения эквивалентности ГСА, описывающих одну и туже микропрограмму. Пусть задана некоторая последовательность переменных x_1, x_2, x_3 (наборы могут и совпадать) из ГСА, приведенной выше.

	x_1	x_2	x_3
w	1	1	1
w	0	0	0
w	0	0	1
	1	1	1
	1	1	0
	0	1	0
	1	1	1

Необходимо определить значение ГСА на заданной последовательности наборов. Это значение определяется с помощью «блуждания» по ГСА.

Определим этот процесс следующим образом.

Выбирается начальный оператор Y_0 и первый набор w. С учетом этого набора производится "блуждание по ГСА". Получаем значения Y_0 Y_1. Затем набор меняется на следующий и т.д. Y_0 Y_1 Y_2 Y_3 Y_2 $Y_4 Y_k$.

То, что мы получили, называется значением ГСА на заданной последовательности наборов.

Процедура "блуждания" заканчивается, когда:

1. исчерпаны все наборы;
2. дошли до оператора $Y_к$.

Если, дойдя до $Y_к$, мы не исчерпали наборов, то надо начинать с оператора Y_0 сначала.

ГСА$_1$ и ГСА$_2$ эквивалентны или равносильны, если их значения совпадают на всевозможных последовательностях наборов: ГСА$_1 \equiv$ ГСА$_2$.

3.3. Система формул перехода

Когда задают путь в ГСА, то перечисляют или последовательность вершин, или последовательность дуг. Напомним, что α_{ij} - функция перехода от оператора Y_i к Y_j. Тогда зададим этот переход с помощью последовательности вершин

$$Y_i x_{i1}^{e_{i1}} \dots x_{iR}^{e_{iR}} Y_j, \text{ где } e_{ir} \in \{0,1\}. \qquad (*)$$

Условимся $e_{ir}^0 = \bar{e}_{ir}; e_{ir}^1 = e_{ir}$. На примере, переход из Y_1 в Y_4 будет выглядеть следующим образом: $Y_1 \bar{x}_1 x_2 Y_4$. Каждому пути вида (*) поставим в соответствие конъюнкцию $\alpha_{ij} = \bigcap_{r=1}^{R} x_{ir}^{e_{ir}}$.

Например, для рассматриваемой ГСА $\alpha_{14} = \bar{x}_1 x_2$.

Если путей перехода несколько, то берется дизъюнкция соответствующих конъюнкций, например, $\alpha_{12} = \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \vee x_1$.

Тот факт, что из оператора Y_1 имеются пути переходов в Y_2, Y_3 и Y_4, записывается следующим образом:

$$Y_1 \to x_1 Y_2 \vee \bar{x}_1 x_2 Y_4 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2 x_3 Y_3 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 Y_2 .$$

Выражение вида $Y_i \to \bigcup_{t=1}^{T+1} \alpha_{it} Y_t$ носит название формулы перехода от оператора Y_i или из оператора Y_i.

Здесь α_{ij} функция перехода от оператора Y_i к Y_j – булева функция двоичных переменных $x_1, \dots, x_L$; $\alpha_{ij} Y_j$ называется отмеченной функцией. Она может принимать следующие значения $\alpha_{ij} Y_j = \begin{cases} Y_j, \text{если } \alpha_{ij} = 1 \\ 0, \text{если } \alpha_{ij} = 0 \end{cases}$.

Над булевыми функциями, входящими в отмеченные функции можно производить все преобразования булевой алгебры, а также пользоваться следующими соотношениями:

1. $\alpha\beta Y_j \vee \alpha \gamma Y_t = \alpha(\beta Y_j \vee \gamma Y_t)$.
2. $\alpha Y_j \vee \beta Y_j = (\alpha \vee \beta) Y_j$.
3. Если $\alpha \equiv \beta$, то $\alpha Y_j = \beta Y_j$.

Здесь α, β и γ- булевы функции переменных $x_1, \dots, x_L$. Множество формул перехода для всех $i=1,\dots,T$ образуют систему формул перехода (СФП). Для ГСА, которая приведена выше, эта система имеет вид:

$Y_0 \to x_1 Y_1 \vee \bar{x}_1 Y_4$.

$Y_1 \to x_1 Y_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 Y_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2 x_3 Y_3 \vee \bar{x}_1 x_2 Y_4$.

$Y_2 \to \bar{x}_2\bar{x}_3 Y_2 \vee \bar{x}_2 x_3 Y_3 \vee x_2 Y_4$.

$Y_3 \to x_1 x_3 Y_3 \vee x_1\bar{x}_3 Y_2 \vee \bar{x}_1 Y_4$.

$Y_4 \to Y_к$.

Представление формулы перехода в виде $Y_i \to x_l A_l \vee \bar{x}_l B$, где $x_l \in \{x_1, \dots, x_L\}$, а A и B – подформулы перехода не зависящие от x_l, носит название разложения формулы перехода по переменной x_l. Приведем пример разложения формулы перехода для оператора Y_1 по переменной x_1:

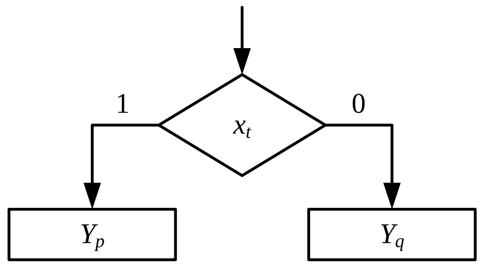
$$Y_1 \to x_1Y_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3Y_2 \vee \bar{x}_1\bar{x}_2x_3Y_3 \vee \bar{x}_1x_2Y_4 =$$
$$= x_1Y_2 \vee \bar{x}_1(\bar{x}_2\bar{x}_3Y_2 \vee \bar{x}_2x_3Y_3 \vee x_2Y_4) =$$
$$= x_1Y_2 \vee \bar{x}_1(\bar{x}_2(\bar{x}_3Y_2 \vee x_3Y_3) \vee x_2Y_4),$$

т.е. произвели разложение по [x_1,x_2,x_3].

Разложение нужно производить до тех пор, пока внутри самых внутренних скобок не окажется выражение вида:

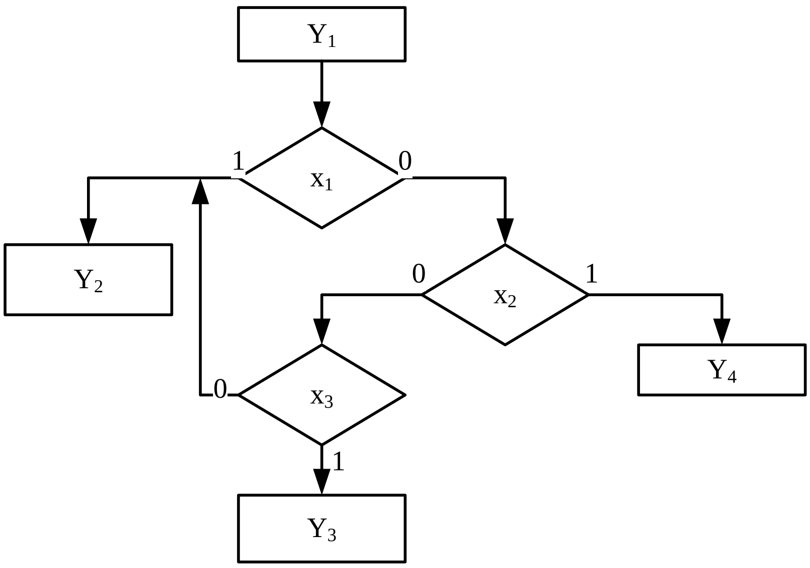
$$(x_tY_p \vee \bar{x}_tY_q)\,, \qquad (**)$$

которому однозначно соответствует следующий фрагмент ГСА



Полученная в результате формула перехода называется скобочной формулой перехода, а система таких формул - системой скобочных формулперехода (ССкФП).

По скобочному виду для оператора Y_1 строим фрагмент ГСА:



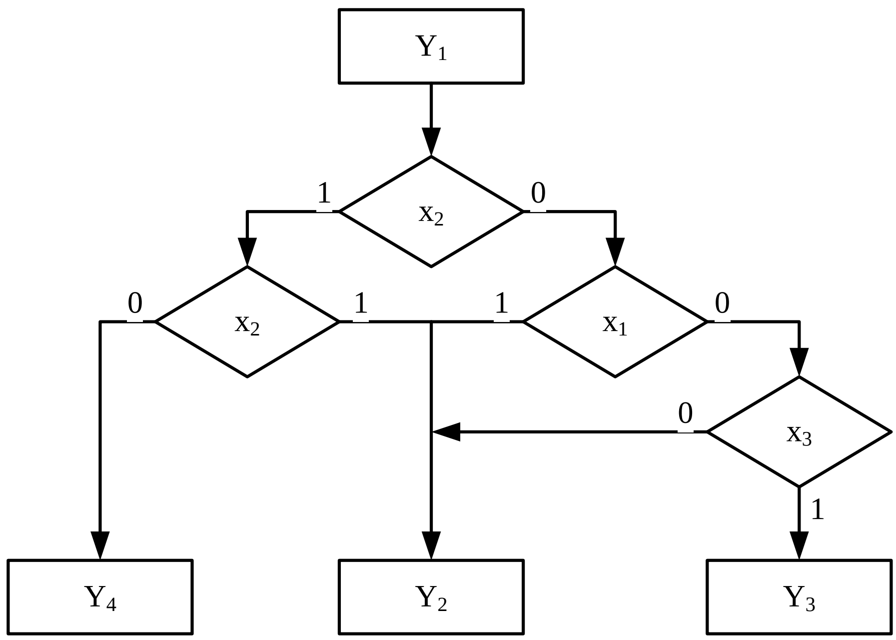
Мы получили подграф для случая разложения оператора Y_1 в последовательности переменных x_1, x_2, x_3.

Если какие-то члены формулы перехода не зависят от x_l, то при разложении по x_lнеобходимо сначала умножить их на выражение $(x_l \vee \bar{x}_l)$. Таким образом, любая формула перехода может быть разложена по любой входящей в нее переменной. Если разложить ту же формулу перехода в другой последовательности переменных x, то получим новую скобочную форму для формулы перехода Y_1.

Сделаем разложение формулы перехода для оператора Y_1 в последовательности x_2, x_1, x_3, принимая во внимание, что $(x_2 \vee \bar{x}_2) = 1$

$$
\begin{aligned}
&Y_1 \to x_1 x_2 Y_2 \vee x_1 \bar{x}_2 Y_2 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 Y_2 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2 x_3 Y_3 \vee \bar{x}_1 x_2 Y_4 = \\
&= x_2 (x_1 Y_2 \vee \vee \bar{x}_1 Y_4) \vee \bar{x}_2 (x_1 Y_2 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_3 Y_2 \vee \bar{x}_1 x_3 Y_3) = \quad . \\
&= x_2 (x_1 Y_2 \vee \vee \bar{x}_1 Y_4) \vee \bar{x}_2 (x_1 Y_2 \vee \bar{x}_1 (\bar{x}_3 Y_2 \vee x_3 Y_3))
\end{aligned}
$$

По полученному скобочному виду для оператора Y_1 строим фрагмент ГСА:



Нетрудно видеть, что фрагменты ГСА, соответствующие различным разложениям формулы перехода Y_1 приводят к различным подграфам. Более того, оказывается, что минимальность ГСА зависит от «удачного» разложения всей системы формул перехода, поскольку желательно при этом разложении максимизировать число подобных членов.

3.4. Матричные схемы алгоритмов

Пусть ГСА Г имеет начальную вершину Y_0, конечную - $Y_к$ и Т операторных вершин с записанными в них различными операторами Y_1, …, $Y_Т$.

Матричная схема алгоритмов (МСА) М, соответствующая ГСА Г, есть квадратная матрица, строки которой отмечены символами Y_0, Y_1, …, $Y_Т$, а столбцы – символами Y_1, …, $Y_Т$,$Y_к$.

В этой матрице на пересечении строки Y_i и столбца Y_j стоит функция перехода α_{ij} из оператора Y_i к оператору Y_j, т.е.

	Y_j	
Y_i	α_{ij}	

Пример МСА, соответствующей ГСА, приведенной выше.

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_k
Y_0	x_1			$\bar{x}_1$	
Y_1		x_1 $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$	$\bar{x}_1\bar{x}_2x_3$	$\bar{x}_1x_2$	
Y_2		$\bar{x}_2\bar{x}_3$	$\bar{x}_2x_3$	x_2	
Y_3		$x_1\bar{x}_3$	x_2x_3	$\bar{x}_1$	
Y_4					1

3.5. Учет распределения сдвигов

Пусть задана матричная схема алгоритма (МСА)

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_k
Y_0	$\overline{x_2}x_1$			$x_2\overline{x_1}$ $\overline{x_2x_1}$	$x_2\ x_1$		
Y_1			$x_2\ x_1$				$\overline{x_2}$ $x_2\overline{x_1}$
Y_2	$\overline{x_2}x_1$				x_2 $\overline{x_2x_1}$		
Y_3				$\overline{x_1}$	x_1		
Y_4						$x_2x_1x_3$	$\overline{x_2}$ $x_2\overline{x_1}$ $x_2\ x_1\overline{x_3}$
Y_5		x_1					$\overline{x_1}$
Y_6							1

Если каждому оператору Y_t поставлено в соответствие множество B_t ($Y_t \rightarrow B_t$) двоичных переменных, которые могут изменяться в процессе выполнения оператора Y_t, то говорят, что задано распределение сдвигов.

Если каждая их двоичных переменных (логических условий) может изменяться любым оператором Y_t, то такое РС называется универсальным. Если B_t=0 для любого оператора Y_t, то такое распределение сдвигов называется пустым.

Пусть для рассматриваемой МСА задано следующее распределение сдвигов:

$$Y_0 \rightarrow B_0 = \{x_1,x_2,x_3\} \quad ; Y_4 \rightarrow B_4 = \{x_2\};$$
$$Y_1 \rightarrow B_1 = \{x_2,x_3\}; \quad Y_5 \rightarrow B_5 = \{x_1,x_2,x_3\};$$
$$Y_2 \rightarrow B_2 = \{x_2\}; \quad Y_6 \rightarrow B_6 = \{x_2\};$$
$$Y_3 \rightarrow B_3 = \{x_1,x_2,x_3\}; \quad Y_к \rightarrow B_7 = \{x_1,x_2,x_3\}.$$

Из анализа столбца Y_1 видно, что в неравных нулю функциях перехода переменная x_1 всегда встречается без инверсии. Это значит, что Y_1 может выполняться только при $x_1 = 1$. Обращаясь к РС, видим, что $x_1 \notin B_1$, т.е. x_1 не изменяется во время выполнения Y_1. Поэтому после выполнения $Y_1 x_1$ остается равным 1. И тогда в строке Y_1 переменную x_1можно заменить на 1, а $\overline{x_1}$ на 0. Аналогичной замены x_2 на 0 сделать нельзя, т.к. $x_2 \in B_1$ и может изменяться в процессе выполнения Y_1.

Продолжаем аналогичным образом анализ всех столбцов. В результате оказывается, что все функции перехода α_{i6}= 0, то есть оператор Y_6 никогда не выполняется. Следовательно, строку и столбец Y_6 из МСА можно удалить.

МСА после минимизации с учетом РС.

	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_k
Y_0	$\overline{x_2} x_1$			$x_2 \overline{x_1}$ $\overline{x_2 x_1}$	$x_2\, x_1$	
Y_1			x_2			$\overline{x_2}$
Y_2	$\overline{x_2}$				x_2	
Y_3				$\overline{x_1}$	x_1	
Y_4						1
Y_5		x_1				$\overline{x_1}$

3.6. Объединение граф-схем алгоритмов

При описании алгоритма работы сложной системы часто представляется целесообразным построение нескольких ГСА, каждая из которых описывает часть общего поведения системы (частные ГСА). Например, при проектировании центрального устройства ЭВМ проще построить граф-схемы выполнения отдельных операций. Очевидно, что в этих ГСА некоторые операторные и условные вершины будут одинаковыми, и если для каждой ГСА синтезировать отдельный автомат управления, то результат синтеза может быть далеко не оптимальным.

В связи с этим возникает задача объединения частных ГСА в единую граф-схему, решение которой позволит минимизировать суммарное число операторных и условных вершин.

Пусть имеются ГСА $Г_1, \ldots, Г_q, \ldots, Г_Q$, в каждой из которых операторы не повторяются, но среди различных граф-схем могут встречаться одинаковые операторы. Требуется построить объединенную ГСА, которая равносильна каждой из ГСА $Г_q$ при тех условиях, когда должна выполняться эта ГСА.

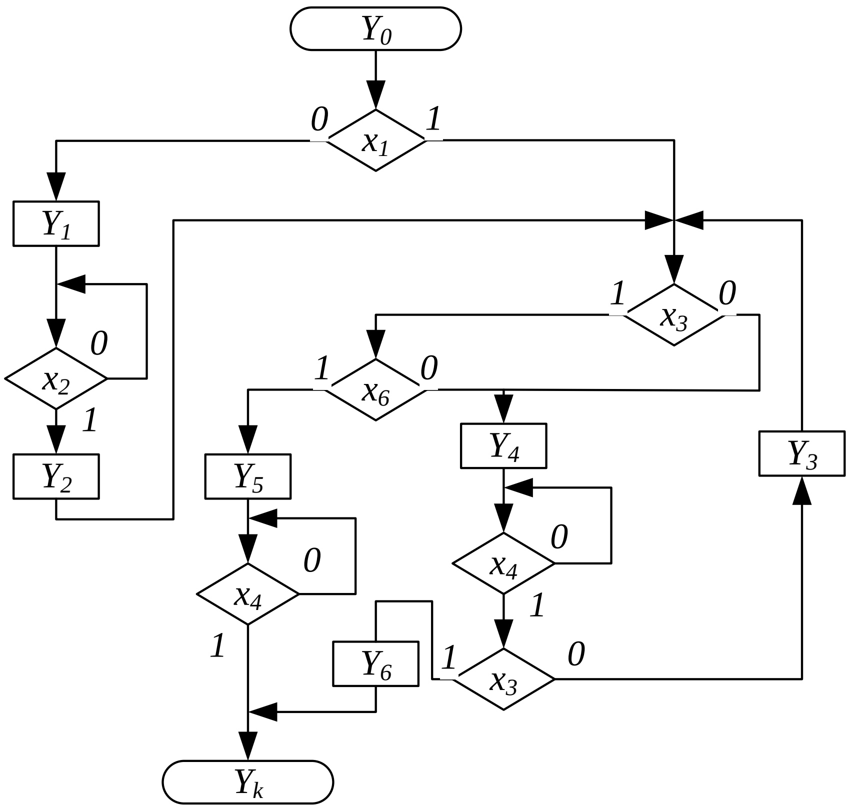
Обычно решение задачи объединения разбивается на ряд этапов:

1. Для каждой ГСА $Г_q$ строится соответствующая ей МСА M_q $(q = 1,\ldots,Q)$.
2. Каждая МСА M_q кодируется вектором $((e_{q_1},\ldots, e_{q_n},\ldots, e_{q_N})$, где $e_{q_n} \in \{0,1\}$, $N =]\log_2 Q[$;] a [- как и ранее, означает наименьшее целое число, больше чем a или равное ему, если a - целое.
3. Каждой МСА M_q ставится в соответствие конъюнкция $P_1^{e_{q_1}} \ldots P_n^{e_{q_n}} \ldots P_N^{e_{q_N}}$, где $(e_{q_1},\ldots, e_{q_n},\ldots, e_{q_N})$ код МСА M_q ($P_n^0 = \overline{P}_n$, $P_n^1 = P_n$).
4. Строится объединенная МСА M, строки и столбцы которой отмечены всеми операторами, входящими в объединение множеств операторов МСА $M_1,\ldots,M_Q$. Элементы α_{ij} МСА M равны $\bigcup_{q=1}^{Q} (\alpha_{ij})_q P_q$, где $(\alpha_{ij})_q$ - элемент МСА M_q, стоящий на пересечении строки Y_i и столбца Y_j.
5. Поскольку P_q ($q = 1, \ldots, Q$) равна единице все время пока МСА M "работает" как МСА M_q, ни один оператор не меняет значения переменных $P_1,\ldots,P_N$ (относительно этих переменных имеем пустое распределение сдвигов), в связи с чем МСА M в некоторых случаях можно упростить. В результате получается сминимизированная с учетом распределения сдвигов МСА M^*.

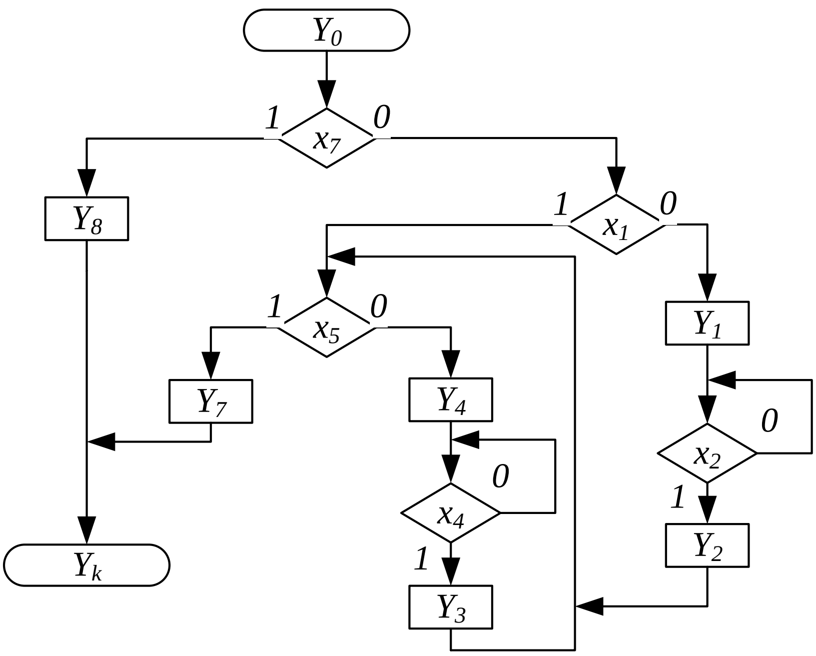
Рассмотрим объединение граф-схем алгоритмов на ***примере.***

Пусть заданы три ГСА $Г_1$, ГСА $Г_2$ и ГСА $Г_3$, которые необходимо объединить.

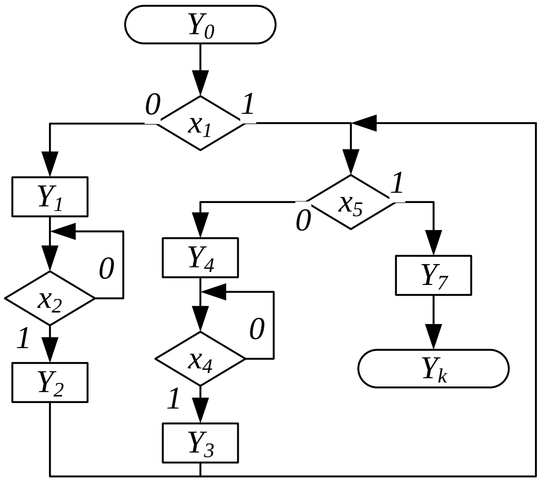
ГСА $Г_1$


Y0
x1
0
1
Y1
x2
0
1
Y2
x3
1
0
x6
1
0
Y5
x4
0
1
Y4
x4
0
1
Y6
x3
1
0
Y3
Yk

ГСА $Г_2$


Y0
x7
1
0
Y8
x1
1
0
x5
1
0
Y7
Y4
x4
0
1
Y3
Y1
x2
0
1
Y2
Yk

ГСА $Г_3$



Для каждой из них построим МСА, т.е. МСА M_1, M_2, M_3.

M_1	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	$Y_к$
Y_0	$\overline{x_1}$			$x_1\overline{x_3}$ $x_1x_3\overline{x_6}$	$x_1x_3x_6$		
Y_1		x_2					
Y_2				$\overline{x_3}$ $x_3\overline{x_6}$	x_3x_6		
Y_3				$\overline{x_3}$ $x_3\overline{x_6}$	x_3x_6		
Y_4			$x_4\overline{x_3}$			x_4x_3	
Y_5							x_4
Y_6							1

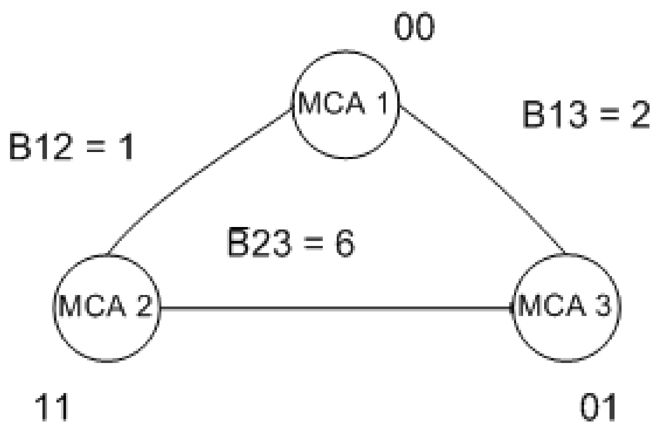
M_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_7	Y_8	$Y_к$
Y_0	$\overline{x_7x_1}$			$\overline{x_7}x_1\overline{x_5}$	$\overline{x_7}x_1x_5$	x_7	
Y_1		x_2					
Y_2				$\overline{x_5}$	x_5		
Y_3				$\overline{x_5}$	x_5		
Y_4			x_4				
Y_7							1
Y_8							1

M_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_7	$Y_к$
Y_0	$\overline{x_1}$			$x_1\overline{x_5}$	x_1x_5	
Y_1		x_2				
Y_2				$\overline{x_5}$	x_5	
Y_3				$\overline{x_5}$	x_5	
Y_4			x_4			
Y_7						1

При кодировании частных МСА M_q определим коэффициент схожести между матрицами M_λ и M_q, $(\lambda, q) \in \{1, 2, \ldots, Q\}$, как $B_{\lambda q} = \Sigma\, \alpha_{ij}$.

Здесь α_{ij} - формула перехода от оператора Y_i к Y_j в матрицах M_λ и M_q. Для примера

$B_{12} = 1$;
$B_{13} = 1 + 1 = 2$;
$B_{23} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 6$.



Соседними кодами закодируем те МСА, которые имеют наибольшую связность, т.е. $МСА_1$– 00, $МСА_2$– 11, $МСА_3$ - 01.

Каждой МСА - M_1, M_2, M_3 поставим в соответствие конъюнкцию, т.е.

$$МСА_1 \rightarrow \overline{P_1}\,\overline{P_2};\ МСА_2 \rightarrow P_1P_2;\ МСА_3 \rightarrow \overline{P_1}P_2.$$

Построим объединенную МСА M, строки и столбцы которой отмечены всеми операторами, входящими в объединение множеств операторов МСА M_1, M_2 и M_3.

M	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	$Y_к$
Y_0	$\overline{P_1 P_2}\,\overline{x_1}$ $P_1 P_2 \overline{x_7 x_1}$ $\overline{P_1} P_2 \overline{x_1}$			$\overline{P_1 P_2} x_1 \overline{x_3}$ $\overline{P_1 P_2} x_1 x_3 \overline{x_6}$ $P_1 P_2 \overline{x_7} x_1 \overline{x_5}$ $\overline{P_1} P_2 x_1 x_5$	$\overline{P_1 P_2} x_1 x_3 x_6$		$P_1 P_2 \overline{x_7} x_1 x_5$ $\overline{P_1} P_2 x_1 x_5$	$P_1 P_2 x_7$	
Y_1		$\overline{P_1 P_2} x_2$ $P_1 P_2 x_2$ $\overline{P_1} P_2 x_2$							
Y_2				$\overline{P_1 P_2}\,\overline{x_3}$ $\overline{P_1 P_2}\, x_3 \overline{x_6}$ $P_1 P_2 \overline{x_5}$ $\overline{P_1} P_2 \overline{x_5}$	$\overline{P_1 P_2} x_3 x_6$		$P_1 P_2 x_5$ $\overline{P_1} P_2 x_5$		
Y_3				$\overline{P_1 P_2} x_3$ $\overline{P_1 P_2}\, x_3 \overline{x_6}$ $P_1 P_2 \overline{x_5}$ $\overline{P_1} P_2 \overline{x_5}$	$\overline{P_1 P_2} x_3 x_6$		$P_1 P_2 x_5$ $\overline{P_1} P_2 x_5$		
Y_4			$\overline{P_1 P_2} x_4 \overline{x_3}$ $P_1 P_2 x_4$ $\overline{P_1} P_2 x_4$			$\overline{P_1 P_2} x_4 x_3$			
Y_5									$\overline{P_1 P_2} x_4$
Y_6									$\overline{P_1 P_2}$
Y_7									$P_1 P_2$ $\overline{P_1} P_2$
Y_8									$P_1 P_2$

Осуществим минимизацию объединенной МСА M с учетом распределения сдвигов. После этого запишем систему формул перехода и приведем их к скобочному виду.

$$Y_0 = \overline{P_1}\,\overline{P_2}\,\overline{x_1} Y_1 \vee P_1 P_2 \overline{x_7}\,\overline{x_1} Y_1 \vee \overline{P_1} P_2 \overline{x_1} Y_1 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2} x_1 \overline{x_3} Y_4 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2} x_1 x_3 \overline{x_6} Y_4 \vee$$

$$\vee P_1 P_2 \overline{x_7} x_1 \overline{x_5} Y_4 \vee \overline{P_1} P_2 x_1 \overline{x_5} Y_4 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2} x_1 x_3 x_6 Y_5 \vee P_1 P_2 \overline{x_7} x_1 x_5 Y_7 \vee \overline{P_1} P_2 x_1 x_5 Y_7 \vee$$

$$\vee P_1 P_2 x_7 Y_8 = \overline{P_1} (\overline{P_2}\,\overline{x_1} Y_1 \vee P_2 \overline{x_1} Y_1 \vee \overline{P_2} x_1 \overline{x_3} Y_4 \vee \overline{P_2} x_1 x_3 \overline{x_6} Y_4 \vee P_2 x_1 \overline{x_5} Y_4 \vee \overline{P_2} x_1 x_3 x_6 Y_5 \vee$$

$$\vee P_2 x_1 x_5 Y_7) \vee P_1 P_2 (\overline{x_7}\,\overline{x_1} Y_1 \vee \overline{x_7} x_1 \overline{x_5} Y_4 \vee \overline{x_7} x_1 x_5 Y_7 \vee x_7 Y_8) =$$

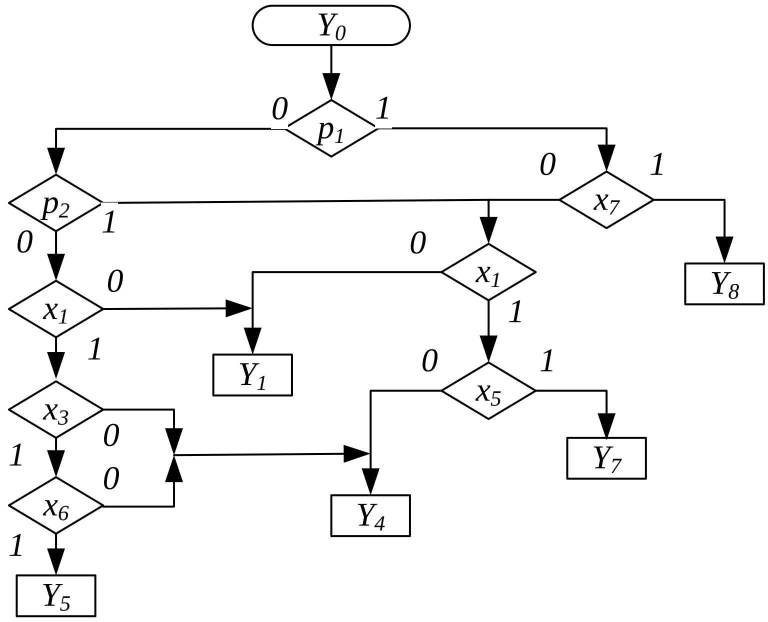
$$= \overline{P_1} (\overline{P_2} (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 \overline{x_3} Y_4 \vee x_1 x_3 \overline{x_6} Y_4 \vee x_1 x_3 x_6 Y_5) \vee P_2 (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 \overline{x_5} Y_4 \vee x_1 x_5 Y_7)) \vee$$

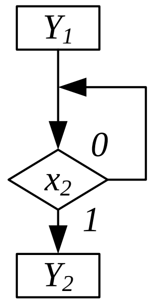
$$\vee P_1 \overline{P_1} (\overline{x_7} (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 \overline{x_5} Y_4 \vee x_1 x_5 Y_7) \vee x_7 Y_8) = \overline{P_1} (\overline{P_2} (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 (\overline{x_3} Y_4 \vee$$

$$\vee x_3 \overline{x_6} Y_4 \vee x_3 x_6 Y_5) \vee P_2 (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 (\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7)) \vee P_1 (\overline{x_7} (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 (\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7)) \vee$$

$$\vee x_7 Y_8) = \overline{P_1} (\overline{P_2} (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 (\overline{x_3} Y_4 \vee x_3 (\overline{x_6} Y_4 \vee x_6 Y_5))) \vee P_2 (\overline{x_1} Y_1 \vee$$

$$\vee x_1 (\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7))) \vee P_1 (\overline{x_7} (\overline{x_1} Y_1 \vee x_1 (\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7)) \vee x_7 Y_8)$$





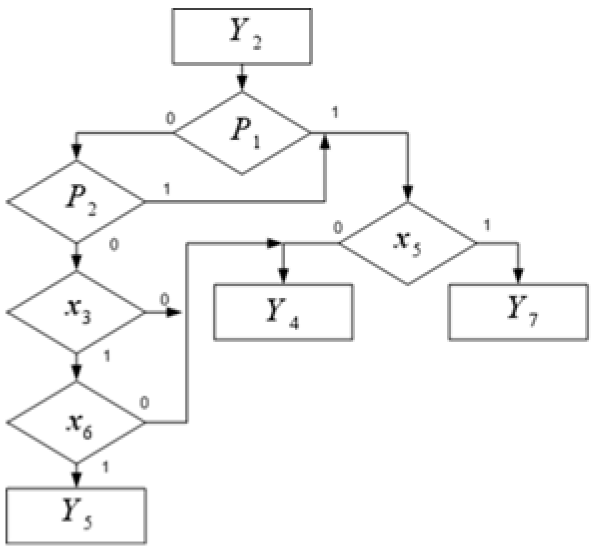
$$Y_1 = \overline{P_1}\,\overline{P_2}\,x_2 Y_2 \vee P_1 P_2 x_2 Y_2 \vee \overline{P_1}\,P_2 x_2 Y_2 \vee (P_1 \overline{P_2}\,x_2 Y_2) = x_2 Y_2$$

$$Y_2 = \overline{P_1}\,\overline{P_2}\,\overline{x_3} Y_4 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2}\,x_3 \overline{x_6} Y_4 \vee P_1 P_2 \overline{x_5} Y_4 \vee \overline{P_1}\,P_2 \overline{x_5} Y_4 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2}\,x_3 x_6 Y_5 \vee P_1 P_2 x_5 Y_7 \vee \overline{P_1}\,P_2 x_5 Y_7 =$$

$$= \overline{P_1}(\overline{P_2}\,\overline{x_3} Y_4 \vee \overline{P_2}\,x_3 \overline{x_6} Y_4 \vee P_2 \overline{x_5} Y_4 \vee P_2 x_5 Y_7 \vee \overline{P_2}\,x_3 x_6 Y_5) \vee$$

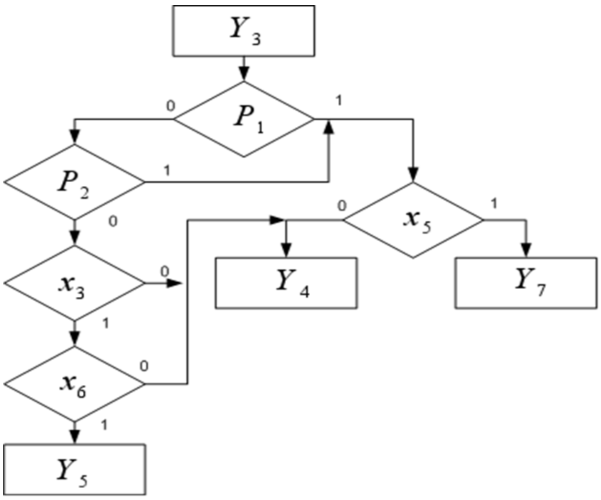
$$\vee P_1 P_2 (\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7) = \overline{P_1}(\overline{P_2}(\overline{x_3} Y_4 \vee x_3 \overline{x_6} Y_4 \vee x_3 x_6 Y_5) \vee P_2(\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7)) \vee P_1 (\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7) =$$

$$= \overline{P_1}(\overline{P_2}(\overline{x_3} Y_4 \vee x_3(\overline{x_6} Y_4 \vee x_6 Y_5) \vee P_2(\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7)) \vee P_1(\overline{x_5} Y_4 \vee x_5 Y_7))$$

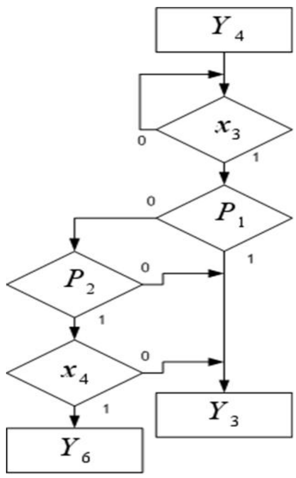


$$Y_3 = \overline{P_1}\,\overline{P_2}\,\overline{x_3}Y_4 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2}x_3\overline{x_6}Y_4 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2}x_3x_6Y_5 \vee P_1P_2\overline{x_5}Y_4 \vee \overline{P_1}P_2\overline{x_5}Y_4 \vee P_1P_2x_5Y_7 \vee \overline{P_1}P_2x_5Y_7 = \overline{P_1}(\overline{P_2}\,\overline{x_3}Y_4 \vee \overline{P_2}x_3\overline{x_6}Y_4 \vee \overline{P_2}x_3x_6Y_5 \vee P_2x_5Y_4 \vee P_2x_5Y_7) \vee$$

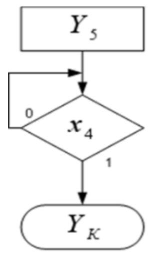
$$\vee P_1P_2(\overline{x_5}Y_4 \vee x_5Y_7) = \overline{P_1}(\overline{P_2}(\overline{x_3}Y_4 \vee x_3(\overline{x_6}Y_4 \vee x_6Y_5)) \vee P_2(\overline{x_5}Y_4 \vee x_5Y_7)) \vee P_1(\overline{x_5}Y_4 \vee x_5Y_7)$$



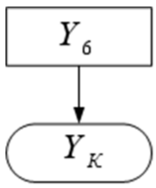
$$Y_4 = \overline{P_1}\,\overline{P_2}x_4\overline{x_3}Y_3 \vee P_1P_2x_4Y_3 \vee \overline{P_1}P_2x_4Y_3 \vee \overline{P_1}\,\overline{P_2}x_4x_3Y_6 = x_4(\overline{P_1}(\overline{P_2}(\overline{x_3}Y_3 \vee x_3Y_6) \vee P_2Y_3) \vee P_1P_2Y_3) = x_4(\overline{P_1}(\overline{P_2}(\overline{x_3}Y_3 \vee x_3Y_6) \vee P_2Y_3) \vee P_1Y_3)$$



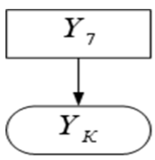
$Y_5 = x_4Y_\kappa$



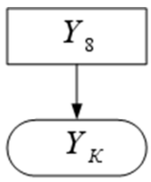
$Y_6 = Y_\kappa$



$Y_7 = P_1Y_\kappa \vee \overline{P_1}Y_\kappa = Y_\kappa$



$Y_8 = Y_\kappa$



3.7. Взаимосвязь алгоритмов

Таким образом, микропрограмма может быть представлена в виде ГСА, СФП, ССкФП или МСА.

Их взаимосвязи и возможные преобразования, отражены на рисунке ниже.