

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ

INFORMATICS,
COMPPUTER ENGINEERING
AND CONTROL

УДК 681.656.25

DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-91-106

Структурная организация управляющих автоматов с изменяемым принципом формирования команд*

Ю.Ф. МУХОПАД^{1,a}, А.Ю. МУХОПАД^{1,b}, Д.Ц. ПУНСЫК-НАМЖИЛОВ^{2,c}

¹ 664074, РФ, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, Иркутский государственный университет путей сообщения

² 634034, РФ, г. Томск, ул. Советская, 99, ООО «Химтех-Юкос»

^a bts48@mail.ru ^b jcmg@mail.ru ^c tomskalina@mail.ru

Рассматриваются вопросы синтеза управляющих автоматов сложных технических систем реального времени. Предварительно граф-схема алгоритма преобразуется за счет ввода пустых операторов в отдельные ветви. Пустые операторы вводятся для ликвидации петель, а также если между логическими операторами нет операторов действия или к одному логическому условию передается управление от двух и более операторов. В структурную схему управляющего автомата Мура вводится дешифратор между регистром состояний и комбинационной схемой переходов. Выбор одного логического условия из всего множества реализуется импульсом, соответствующим номеру состояния автомата. Комбинационная схема переходов реализуется по двухуровневой структуре из логических схем «И» – «ИЛИ». Причем затраты оборудования на такую схему переходов в 2-3 раза меньше, чем для типовых автоматов Мура, так как в новой схеме используются только двухвходовые схемы «И», число которых равно удвоенному числу логических условий. Такой автомат наиболее эффективен для сложных технических систем с числом состояний не более 32, которые используются в мехатронике и технологических процессах контроля транспортного оборудования. Автомат Мура с новой структурной организацией сравнивается с новым автоматом Мухопида, в структурную организацию которого введен логический блок с числом двухвходовых элементов «И», равным числу логических условий. При этом изменено понятие состояния УА с разметкой входа каждого оператора алгоритма управления. Такие автоматы используются в системах с большим числом состояний и логических условий.

Ключевые слова: алгоритм, управление, автомат, кодирование, комбинационные схемы, математическая модель, логические условия, операторы действия

* Статья получена 11 декабря 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Управляющие автоматы (УА) в сложных технических системах мехатроники, технологических процессов и беспилотных летательных аппаратов реализуются по известной структурной схеме Мура (УАМр), математическая модель которой имеет вид

$$a(t+1) = F_1(\alpha_1 \dots \alpha_q x_1 \dots x_m); \quad A(t+1) = F_2(y_1 \dots y_m).$$

Здесь $\alpha_1 \dots \alpha_q$ – входные логические условия; $x_1 \dots x_m$ и $y_1 \dots y_m$ – коды предыдущего $a(t)$ и последующего $a(t+1)$ состояний УА; F_1 и F_2 – системы булевых функций.

По классификации работы [1] УА разделяются на сверхпростые (СП), простые (ПА), средние (СА), сложные (АС), высокосложные (ВС), особо сложные (ОС) и ультрасложные (УС) автоматы.

Методика синтеза УА Мура детально разработана в работах [2–7]. Согласно методике при реализации схемы переходов F_1 на ПЗУ его объем определится как $V = m2^{m+q}$ бит. При использовании типовых промышленных ПЗУ с разрядностью 4 или 8 объем комбинационной схемы определится как $V_p = m_p 2^{m+q}$. При реализации комбинационной схемы на ПЛМ число входов будет равно $(m + q)$, а число выходов равно m .

Наиболее распространены УА класса СП, ПА, СА, но для сложных технических систем алгоритмы управления декомпозируются, а управляющая подсистема представляется в виде взаимодействующих УА меньшей сложности. Но даже для УА класса СА комбинационная схема с числом входов, равным 14, и числом выходов, равным пяти, потребует ПЛМ с характеристиками (16, k , 8). То есть комбинационная схема F_1 не будет простой (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Сравнительный анализ УА

Comparative analysis of CA

№ п/п	Тип	m	q	$m + q$	V_p	m_p
1	СП	3	3	6	256	4
2	ПА	4	6	10	1024	4
3	СА	5	9	14	$128 \cdot 10^3$	8
4	АС	6	12	18	$2 \cdot 10^6$	8
5	ВС	7	15	22	$32 \cdot 10^6$	8
6	ОС	8	18	26	$0,5 \cdot 10^9$	8
7	УС	9	21	30	$12 \cdot 10^9$	12

1. СИНТЕЗ АВТОМАТОВ НОВОГО ТИПА

В работе [1] изменена методика синтеза УА за счет предварительного преобразования ГСА по следующим правилам:

1) между любыми α_i и α_j , не разделенными операторами действия $A_1 \dots A_k$, поставим пустой оператор;

2) пустой оператор ставится также и перед любым $\alpha_j \in \{\alpha\}$, если к нему передается от двух и более других операторов;

3) для ликвидации петель перед оператором, в котором образуется петля, ставится пустой оператор.

На рис. 1 представлена преобразованная ГСА, но исходная ГСА легко восстанавливается, если убрать пустые операторы.

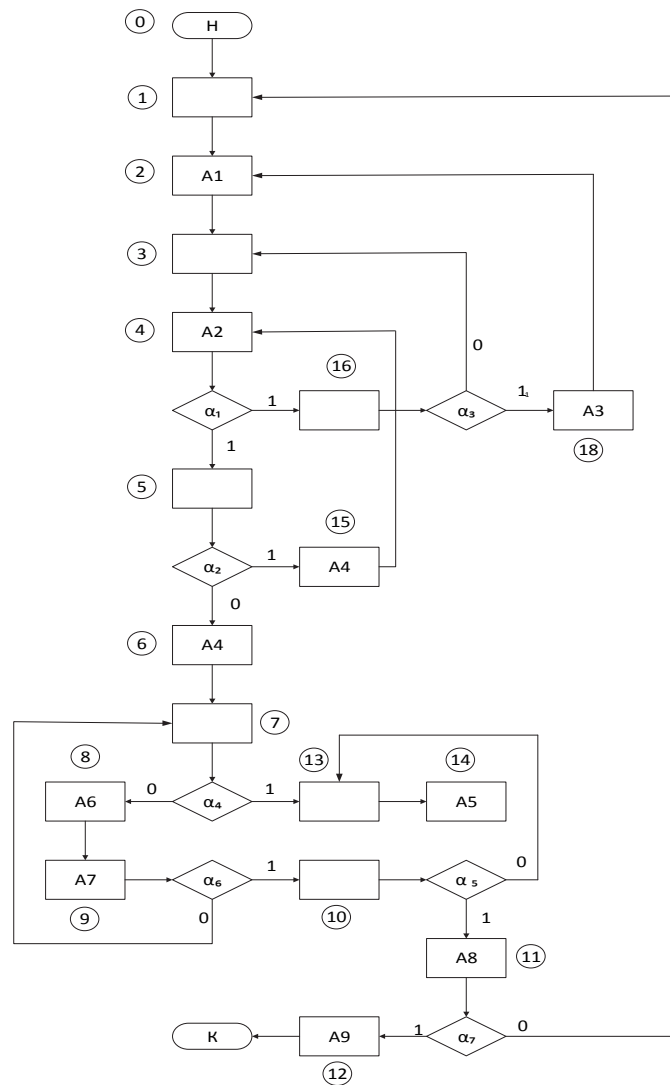


Рис. 1. Алгоритм управления

Fig. 1. Control algorithm

Для упрощения процедуры контроля УА за счет ввода пустых операторов ГСА приводится к виду с операторами действия $A_1 \in \{A\}$, имеющими только два входа.

Этой ГСА соответствует граф переходов рис. 2.

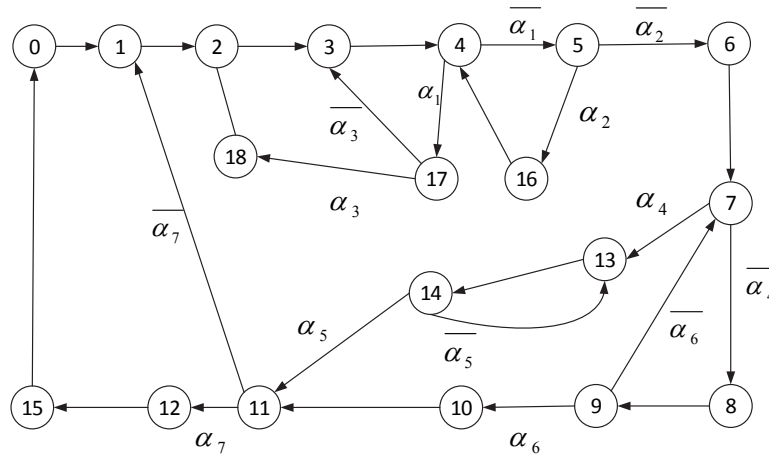


Рис. 2. Граф переходов управляющего автомата

Fig. 2. Transition graph of the control automation

На рис. 3 представлен УАМг с новой структурной организацией. От типового УАМг новая схема отличается двумя особенностями:

– введением $DC(10)$ между $Pg\ a(t)$ и $F_1(2)$;

– введением комбинационной схемы $F_1(2)$ в виде специализированной ПЛМ из $2q$ двухвходовых элементов «И» и элементов «ИЛИ». Схема $F_1(2)$ реализована на основе алгоритма преобразованной ГСА за счет ввода пустых операторов.

$DC(10)$ по сигналу опроса τ_1 выдаст импульс опроса схемы $F_1(2)$ только по одному из выходов $a_i(t) \in \{a(t)\}$ в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Выбор логических условий

The choice of logical terms

α_j	1	2	3	4	5	6	7
$a(t)$	4	5	17	7	14	9	11

Комбинационная схема $F_1(2)$ в предлагаемом управляющем автомате состоит из элементов «И», «ИЛИ». В двухуровневой схеме $F_1(2)$ будет использоваться на первом уровне только $2q$ (в данном случае 14) двухвходовых схем «И».

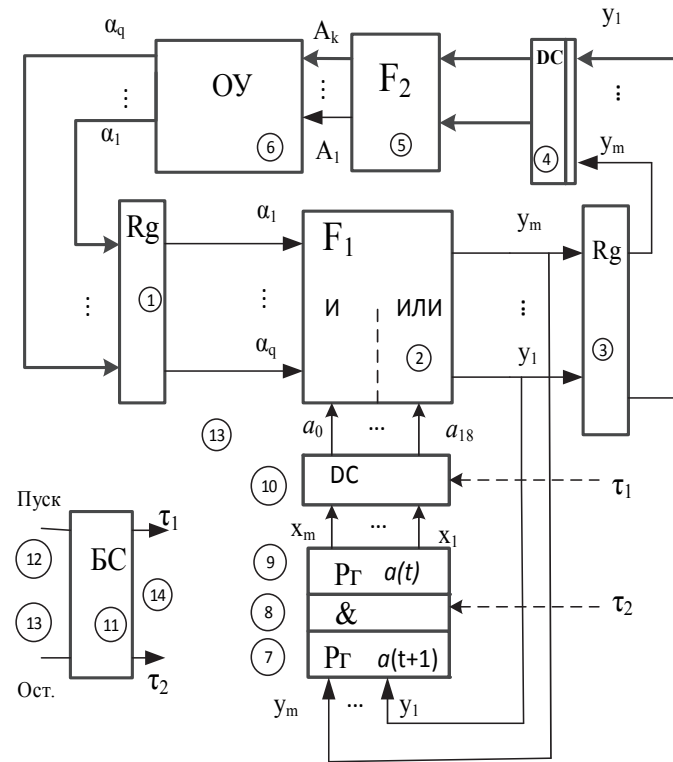


Рис. 3. Структурная схема управляющего автомата

Fig. 3. Structural scheme of the control automation

Рассмотрим граф переходов (рис. 4) типового УАМг, полученный по ГСА без пустых операторов.

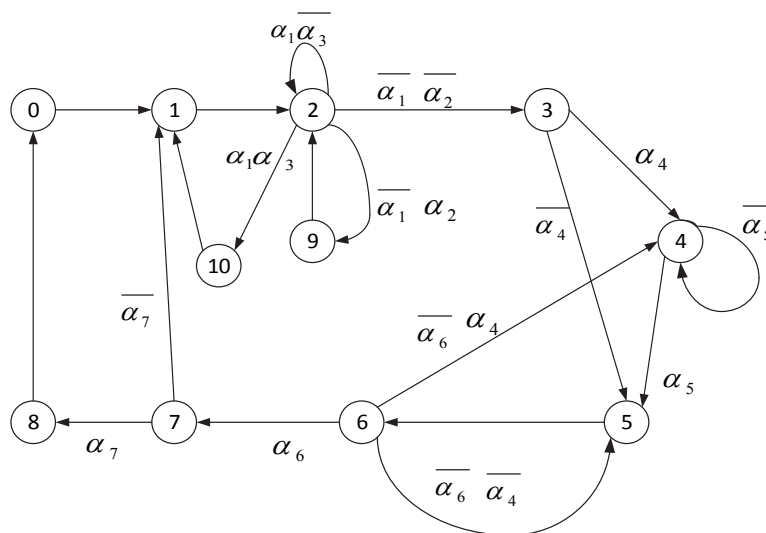


Рис. 4. Граф переходов типового управляющего автомата Мура

Fig. 4. Transition graph of the Moore control automation

Для реализации $F_1(2)$ в этом УАМг потребуется 19 двухвходовых схем «И» (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Количество элементов «И» в УАМг
The number of elements “AND” in CAMr

$a(t)$	2	3	4	6	7	Σ
α	$\overline{\alpha_1 \alpha_3}$ $\overline{\alpha_1 \alpha_2}$ $\overline{\alpha_1 \alpha_2}$ $\alpha_1 \alpha_3$	α_4 $\overline{\alpha_4}$	α_5 $\overline{\alpha_5}$	α_6 $\overline{\alpha_6 \alpha_4}$ $\overline{\alpha_6 \alpha_4}$	α_7 $\overline{\alpha_7}$	
Σ	8	2	2	5	2	19

Кроме того, в графе имеются петли. Схема неоднородна, так как имеются как двухвходовые, так и трехвходовые схемы «И». То есть схема $F_1(2)$ типового УАМг требует более сложной процедуры при контроле правильности функционирования УА. В данном небольшом примере количественная разница в числе двухвходовых схем «И» ~30%. Для УА с количеством логических условий, образующих непрерывные цепочки с большим числом $\alpha_j \in \{\alpha\}$, разница может быть существенной. Но даже для такого примера эффективность ~30% недостижима при использовании известных способов декомпозиции и минимизации систем булевых функций в классическом УАМг.

Унитарное кодирование в УАМг не является новым способом при синтезе [1, 2, 10]. Например, в работе [10] не используются дешифраторы вообще, а вместо $Rr(3)$ и $Rr(7)$ с ДПК используется один регистр $Rr(3)$ с унитарным кодом состояния $a(t)$. Однако совместное использование унитарного кодирования с предварительным преобразованием ГСА за счет ввода пустых операторов ранее не применялось. А именно эти два фактора и обеспечивают преимущества УАМг с новой структурной организацией.

УАМг с унитарным кодированием эффективен при числе состояний ≤ 32 . При большем числе состояний используется два подхода:

– применение оригинальной структуры УА с вводом мультиплексора и схемы адресации для выбора одного $\alpha_j \in \{\alpha\}$ для каждого периода T функционирования (автомат Мухопата – УАМх [1, 8]);

– применение автомата, использующего принципиально новое определение состояний.

2. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ

Целесообразно сравнить новый УА Мура (НУАМг) с автоматами Мухопеда (УАМх) – [1]. В УАМх введены мультиплексор и схема адресации, за счет чего объем ПЗУ схемы $F_1(2)$ снижается в 2^{q-1} раз.

Рассмотрим пример ГСА простого УА (рис. 5), которому через разметку состояний по операторам действия соответствует граф рис. 6.

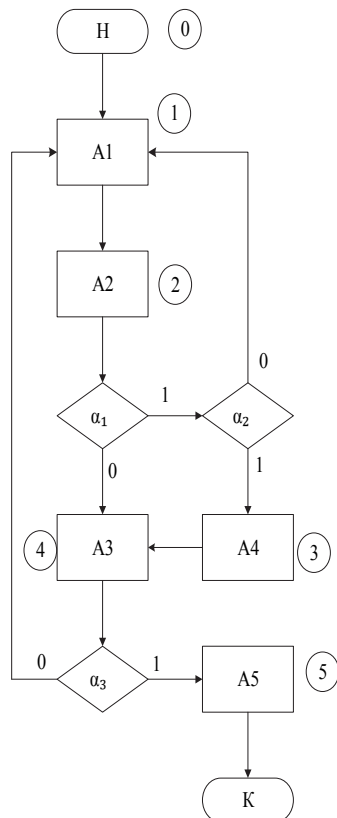


Рис. 5. Нумерация состояний ГСАУАМг

Fig. 5. GCA CAMr states numbering

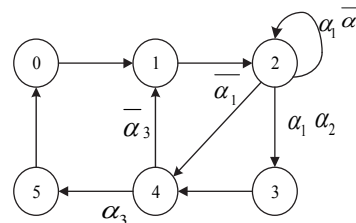
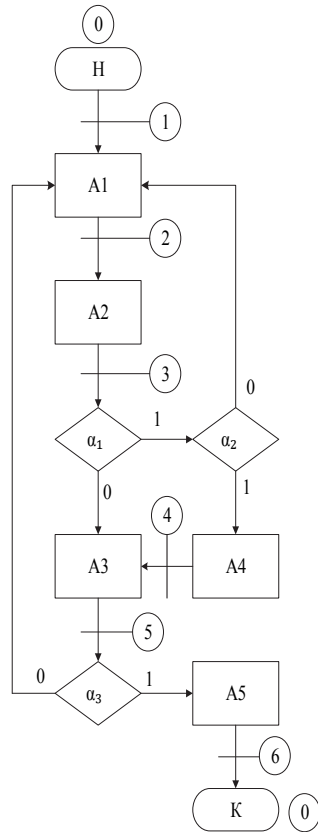
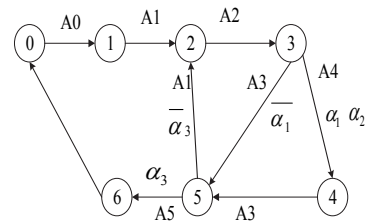


Рис. 6. Граф УАМг

Fig. 6. The CAMr graph

ГСА с разметкой через переходы представлен на рис. 7, а его граф – на рис. 8. Далее для синтеза УА использован новый, ранее не применявшийся способ определения состояний [11].

Рис. 7. Нумерация состояний ГСА УАМ_LFig. 7. GSA CAM_L states numberingРис. 8. Граф УАМ_LFig. 8. The CAM_L graph

Если для УАМ_г и УАМ_х состояния определяются по операторам действия $A_1 \dots A_k$, а для УА Мили (УАМ_L) состояния соответствуют переходам от $a(t)$ к $a(t+1)$, то для новых автоматов (НУАМ_х) на ГСА отмечается начало всех операторов – как операторов действия, так и логических операторов. Новая разметка ГСА приведена на рис. 9, а граф переходов – на рис. 10.

Анализ графа и таблицы переходов позволяют сделать заключение о том, что для НУАМ_х [16] в этом примере целесообразно выбрать структуру памяти со счетчиком вместо регистра $a(t)$. Признак γ как условие прибавления «1» к содержимому счетчика будет вычисляться также в схеме переходов.

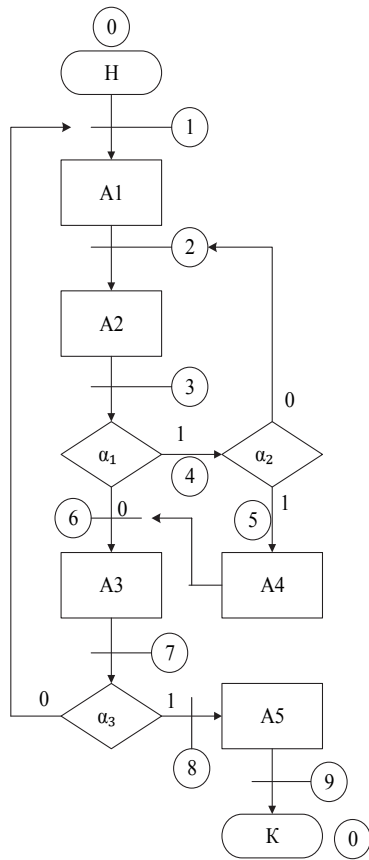


Рис. 9. Нумерация состояний ГСА NYAMx

Fig. 9. Numbering of states GCA CAMkh

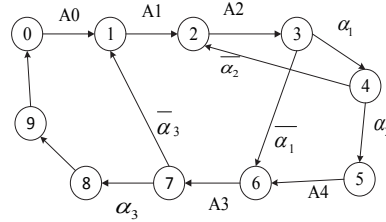


Рис. 10. Граф NYAMx

Fig. 10. The CAMkh graph

Переходы для УАМг представлены в табл. 4, а для NYAMx – в табл. 5.

Таблица 4

Table 4

Переходы УАМг

CAMr transitions

№ п/п	$a(t)$	α	$N(t)$	$a(t+1)$	$N(t+1)$	y_3	y_2	y_1
0			$x_3x_2x_1$		$y_3y_2y_1$			
1	0	–	000	1	001			1
2	1	–	001	2	010		1	
3	2	$\alpha_1\alpha_2$	010	3	011		2	2
4	2	$\alpha_1\overline{\alpha_2}$	010	2	010		3	
5	2	$\overline{\alpha_1}$	010	4	100	1		
6	3	–	011	4	100	2		
7	4	α_3	100	5	101	3		3
8	4	$\overline{\alpha_3}$	100	1	001			4
9	5	–	101	0	000			

Таблица 5

Table 5

Переходы НУАМх
SAMkh transitions

№ п/п	$a(t)$	α	$N(t)$	$a(t+1)$	$N(t+1)$	y_4	y_3	y_2	y_1
0			$x_4x_3x_2x_1$		$y_4y_3y_2y_1$				
1	0	–	0000	1	0001				1
2	1	–	0001	2	0010			1	
3	2	–	0010	3	0011			2	2
4	3	α_1	0011	4	0100		1		
5	3	$\overline{\alpha_1}$	0011	6	0110		2	3	
6	4	α_2	0100	5	0101		3		3
7	4	$\overline{\alpha_2}$	0100	2	0010			4	
8	5	–	0101	6	0110		4	5	
9	6	–	0110	7	0111		5	6	4
10	7	α_3	0111	8	1000	1			
11	7	$\overline{\alpha_3}$	0111	1	0001				5
12	8	–	1000	9	1001	2			6
13	9	–	1001	0	0000				

Тогда в схеме переходов необходимо вычислять систему булевых функций (с.б.ф.) только для трех переходов (табл. 6), а признак γ определяется по формуле

$$\gamma = \alpha_0(a_0 + a_1 + a_2 + a_5 + a_6 + a_9) + \alpha_1a_3 + \alpha_2a_4 + \alpha_3a_7.$$

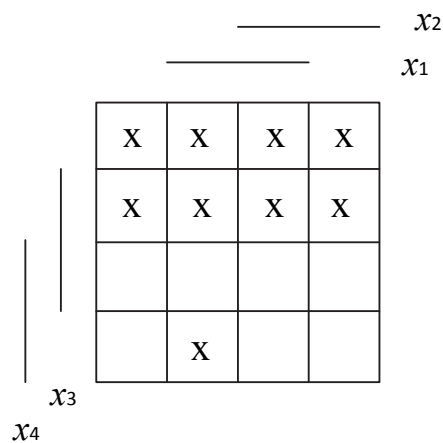
Таблица 6

Table 6

Переходы вне счетчика НУАМх
Transitions outside the counter NCAMkh

№ п/п	$a(t)$	α	$N(t)$	$a(t+1)$	$N(t+1)$	y_3	y_2	y_1
5	3	$\overline{\alpha_1}$	011	6	110	1	1	
7	4	$\overline{\alpha_2}$	100	2	010		1	
11	7	$\overline{\alpha_3}$	111	1	001			1

Так как γ вычисляется только при $\alpha_0\alpha_1\alpha_3$ (которые равны «1»), то карта Карно составляется по значениям переменных $x_4x_3x_2x_1$ (рис. 11).

Рис. 11. Карта Карно для γ Fig. 11. The Karnaugh map for γ

После минимизации получим $\gamma = \overline{x_4} + \overline{x_4x_3x_2x_1}$. По табл. 6 для схемы $F_1(1)$ с.б.ф. примет вид

$$y_3 = \overline{\alpha}x_3x_2x_1,$$

$$y_2 = \overline{\alpha}x_3x_2x_1 + \overline{\alpha_3}x_3\overline{x_2}x_1,$$

$$y_1 = \overline{\alpha}x_3x_2x_1.$$

Для вычисления значений y_3, y_2, y_1 потребуется 9 двухвходовых элементов «И» и 3 элемента «ИЛИ» в схеме $F_1(1)$, тогда как для НУАМг всего

6 элементов «И». То есть для автоматов класса СП и ПА при унитарном кодировании НУАМг проще даже, чем НУАМх с памятью на счетчике.

Хотя для УА более высокого уровня сложности преимущества НУАМх бесспорны. Структурная схема НУАМх приведена на рис. 12.

Анализ графа переходов рис. 10 позволяет сделать заключение о том, что при новом способе определения состояний команды управления в НУАМх формируются на переходах, как и в УАМ_L (рис. 8), но в отличие от УАМ_L в НУАМх не две, а одна схема переходов $F_1(1)$. Если в структуру блока синхронизации ввести таймер для выдержки времени $T \gg \tau$, то без изменения структурной организации НУАМх будут формироваться команды управления, как в УАМг.

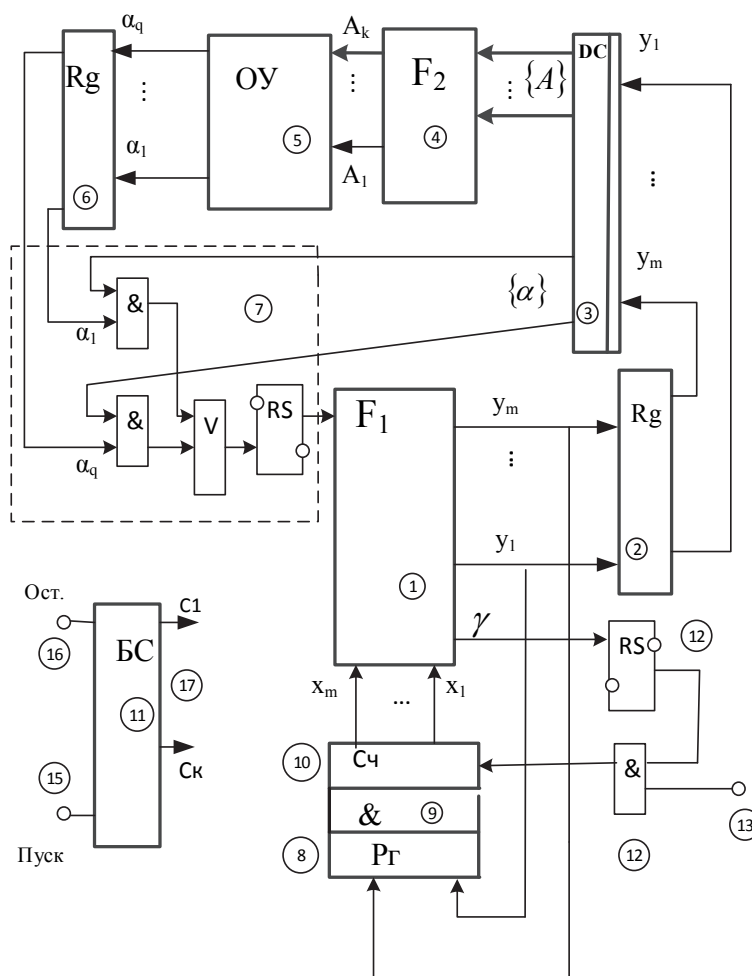


Рис. 12. Структурная схема нового автомата Мухопода

Fig. 12. Structural scheme of a new Mukhopad automaton

Таким образом, в обоих вариантах реализации управляющих автоматов изменены принципы формирования управляющих команд по сравнению с УАМг и УАМ_L.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация управляющих автоматов (УА) с существенным снижением затрат оборудования комбинационных схем переходов достигается двумя способами:

– в автоматах Мура за счет предварительного тождественно эквивалентного преобразования алгоритма через ввод пустых операторов в отдельные ветви граф-схемы и использование унитарного кодирования состояний;

– в оригинальных автоматах Мухопида через новое определение состояний с разметкой начала любого оператора граф-схемы и введения логического блока с числом двухходовых элементов «И», равным числу логических условий. При этом адресация элементов «И» реализуется дешифратором, выходы которого разделены на два непересекающихся подмножества для выбора одного логического условия и выбора операторов действия.

Первый вариант целесообразно использовать для сверхпростых и простых УА (число состояний ≤ 32), а второй – для УА более высокого уровня сложности. Обе структуры УА являются новыми и найдут применение в информационных системах мехатроники, транспорта и для управления критическими технологическими процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухопида А.Ю. Теория управляющих автоматов технических систем реального времени. – Новосибирск: Наука, 2015. – 176 с.
2. Гаврилов М.А., Девятков В.В., Пупырев Е.И. Логическое проектирование дискретных автоматов. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
3. Баранов С.И., Синев В.Н., Янцен Н.Я. Синтез автоматов на элементах с матричной структурой // Проектирование функционально-ориентированных вычислительных систем. – Л.: ЛГУ, 1990. – С. 90–108.
4. Уилкинсон Б. Основы проектирования цифровых схем. – М.; СПб.; Киев: Вильямс, 2004. – 320 с.
5. Закревский А.Д., Поттосин Ю.В., Черемисинова Л.Д. Основы логического проектирования. Кн. 3. Проектирование устройств логического управления. – Минск: Беларусь, 2004. – 226 с.
6. Соловьев В.В., Климович А. Логическое проектирование цифровых систем на основе ПЛИС. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 374 с.
7. Труды по теории синтеза и диагноза конечных автоматов и релейных устройств / под ред. В.В. Сапожникова и Вл.В. Сапожникова. – СПб.: Элмор, 2009. – 894 с.
8. Патент 82888 Российская Федерация, G 06 F 9/00. Микропрограммный автомат / А.Ю. Мухопида, Ю.Ф. Мухопида; заявитель и патентообладатель Иркутский государственный университет путей сообщения. – № 2008149344/22; заявл. 15.12.2008; опубл. 10.05.2009, Бюл. № 13.
9. Патент 2527190 Российская Федерация, МПК G 06 F 9/00. Управляющий автомат / А.Ю. Мухопида, Ю.Ф. Мухопида, Д.Ц. Пунсык-Намжилов; заявитель и патентообладатель Иркутский государственный университет путей сообщения. – № 2013110986/08; заявл. 12.03.2013; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
10. Мухопида Ю.Ф. Проектирование специализированных микропроцессорных вычислителей. – Новосибирск: Наука, 1981. – 162 с.
11. Мухопида Ю.Ф., Мухопида А.Ю., Пунсык-Намжилов Д.Ц. Управляющие автоматы мехатроники с новым определением состояний // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2018. – № 2. – С. 184–190.
12. Хоткрофт Д., Мотвани Р., Ульман Д.Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2016. – 528 с.

13. Кудрявцев В.Б., Алешин Ф.Б., Подколзин А.С. Теория автоматов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2018. – 320 с.
14. Баркалов А.А., Титаренко Л.А. Прикладная теория цифровых автоматов. – Донецк: ДонНТУ: Технопарк ДонНТУ УНИТЕХ, 2013. – 320 с.
15. Ожиганов А.А. Теория автоматов. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 84 с.
16. Патент 183109 Российская Федерация. Управляющий автомат / А.Ю. Мухопад, Ю.Ф. Мухопад, Д.Ц. Пунсык-Намжилов. – Опубл. 11.09.2018, Бюл. № 26.

Мухопад Юрий Федорович, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный профессор кафедры автоматизации производственных процессов Иркутского государственного университета путей сообщения, академик РАН, академик АИИН РФ, академик Академии космонавтики. Область научных интересов: анализ и синтез микропроцессорных систем. Число научных публикаций 392. E-mail: bts48@mail.ru

Мухопад Александр Юрьевич, доктор технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов Иркутского государственного университета путей сообщения. Область научных интересов – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Число научных публикаций 86. E-mail: jcmg@mail.ru

Пунсык-Намжилов Даба Цыренович, кандидат технических наук, доцент, генеральный директор ООО «Химтех-Юкос». Область научных интересов: синтез аналого-цифровых функциональных преобразователей. Число научных публикаций 60. E-mail: dablutf@mail.ru

Mukhopad Yuri Fedorovich, D. Sc. (Eng.), RF Honored Scientist, professor emeritus at the department of industrial process automation, Irkutsk State Transport University. He is academician of RAN, academician of RF AIS and academician of the Russian Academy of Cosmonautics. His main research field includes analysis and synthesis of microprocessor systems. He has published 392 research papers. E-mail: bts48@mail.ru

Mukhopad Alexander Yurievich, D.Sc. (Eng.), an associate professor at the department of industrial process automation, Irkutsk State Transport University. His main research field covers elements and devices of computing hardware and control systems. He is the author of 86 publications. E-mail: jcmg@mail.ru

Punsik-Namzhilov Daba Tsyrenovich, PhD (Eng.), an associate professor, director general of LLC Himtech-Yukos. His research interests are focused on synthesis of analog and digital functional converters. He is the author of 60 publications. E-mail: dablutf@mail.ru

DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-91-106

Structural organization of control automata with a variable principle of instruction formation*

Yu.F. MUKHOPAD^{1,a}, A.Yu. MUKHOPAD^{1,b}, D.C. PUNSIK-NAMZHILOV^{2,c}

¹ Irkutsk State Transport University, 15, Chernyshevsky Street, Irkutsk, 664074, Russian Federation

² LLC Himtech-Yukos, 99, Sovetskaya Street, Tomsk, 634034, Russian Federation

^a bts48@mail.ru ^b jcmg@mail.ru ^c tomskalina@mail.ru

Abstract

The problems of synthesis of control automata of complex real time technical systems are considered. The algorithm flowgraph is first converted by introducing empty operators into separate branches. Empty operators are introduced to eliminate the loops or also if there are no

* Received 11 December 2018.

action statements between logical operators or if control from two or more operators is transferred to one logical condition. The decoder is introduced between the status register and the combinational scheme of the transitions in the structural circuit of the Moore automatic machine (FSM). The choice of one logical condition from the whole set is realized by a pulse corresponding to the state number of the automaton. Matching the navigation scheme is implemented on a two-tier structure of the logic "AND"- "OR". Moreover, hardware costs for such a scheme of transitions is 2-3 times less than for typical Moore automata because a new scheme uses only two-input "and" schemes, the number of which is equal to a double number of logical conditions. This machine is most effective for complex technical systems with a number of states no more than 32. These systems are used in mechatronics and technological processes of transport equipment control. The Moore automatic machine with a new structural organization is compared with a new Muhopad machine, in whose structural organization a logical block with a number of two-input elements "and" equal to the number of logical conditions is introduced. In doing so the concept of the WA state with marking the input of every operator of the control algorithm is changed. Such automata are used in systems with a large number of states and logical conditions.

Keywords: Algorithm, control, automaton, coding, combinatorial schemes, mathematical model, logical conditions, action statements

REFERENCES

1. Mukhopad A.Yu. *Teoriya upravlyayushchikh avtomatov tekhnicheskikh sistem real'nogo vremeni* [Theory of control automata of technical systems of real time]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015. 176 c.
2. Gavrilov M.A., Devyatkov V.V., Pupyrev E.I. *Logicheskoe proektirovanie diskretnykh avtomatov* [Logical design of discrete automata]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 368 p.
3. Baranov S.I., Sinev V.N., Yantsen N.Ya. Sintez avtomatov na elementakh s matrichnoi strukturoi [Synthesis of automata on elements with a matrix structure]. *Proektirovanie funktsional'no-orientirovannykh vychislitel'nykh sistem* [Design of functionally oriented computational systems]. Leningrad, Leningrad State University Publ., 1990, pp. 90–108.
4. Wilkinson B. *The essence of digital design*. London, Prentice Hall Europe, 1998 (Russ. ed.: Uilkinton B. *Osnovy proektirovaniya tsifrovyykh skhem*. Moscow, Williams Publ., 2004. 320 p.).
5. Zakrevskii A.D., Pottosin Yu.V., Cheremisinova L.D. *Osnovy logicheskogo proektirovaniya*. Kn. 3. *Proektirovanie ustroystv logicheskogo upravleniya* [logical design basics. Bk. 3. Design of logical control devices]. Minsk, Belarus' Publ., 2004. 226 p.
6. Solov'ev V.V., Klimovich A. *Logicheskoe proektirovanie tsifrovyykh sistem na osnove programmiruemykh logicheskikh integral'nykh skhem* [Logical design of digital systems based on FPGA]. Moscow, Hotline-Telecom Publ., 2008. 374 p.
7. Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.I., ed. *Trudy po teorii sinteza i diagnoza konechnykh avtomatov i releinykh ustroystv* [Works on the theory of synthesis and diagnosis of finite automata and relay devices]. St. Petersburg, Elmore Publ., 2009. 894 p.
8. Mukhopad A.Yu., Mukhopad Yu.F. *Mikroprogrammnyi avtomat* [Firmware machine]. Patent RF, no. 82888, 2009.
9. Mukhopad A.Yu., Mukhopad Yu.F., Punsyk-Namzhilov D.Ts. *Upravlyayushchii avtomat* [Managing automatic]. Patent RF, no. 2527190, 2014.
10. Mukhopad Yu.F. *Proektirovanie spetsializirovannykh mikroprotsessornykh vychislitelei* [Design specialized microprocessor calculators]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 162 p.
11. Mukhopad A.Yu., Mukhopad Yu.F., Punsyk-Namzhilov D.Ts. *Upravlyayushchie avtomaty mekhatroniki s novym opredeleniem sostoyanii* [Control machines mechatronics with a new definition of the states]. *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika – Mechatronics, automation and robotics*, 2018, no. 2, pp. 184–190.
12. Hopcroft J.E., Motwani R., Ullman J.D. *Introduction to automata theory, languages and computation*. 2nd ed. Boston, Addison-Wesley, 2001 (Russ. ed.: Khopkroft D., Motvani R., Ul'man D.D. *Vvedenie v teoriyu avtomatov, yazykov i vychislenii*. 2nd ed. Moscow, Williams Publ., 2016. 528 p.).

13. Kudryavtsev V.B., Aleshin F.B., Podkolzin A.S. *Teoriya avtomatov* [Theory of automata]. 2nd ed. Moscow, Yurait Publ., 2018. 320 p.
14. Barkalov A.A., Titarenko L.A. *Prikladnaya teoriya tsifrovyykh avtomatov* [Applied theory of digital automata]. Donetsk, Donetsk National Technical University Publ., 2013. 320 p.
15. Ozhiganov A.A. *Teoriya avtomatov* [Automata theory]. St. Petersburg, ITMO University Publ., 2013. 84 p.
16. Mukhopad A.Yu., Mukhopad Yu.F., Punsyk-Namzhilov D.Ts. *Upravlyayushchii avtomat* [Control machine]. Patent RF, no. 183109, 2018.

Для цитирования:

Мухопад Ю.Ф., Мухопад А.Ю., Пунсык-Намжилов Д.Ц. Структурная организация управляющих автоматов с изменяемым принципом формирования команд // Научный вестник НГТУ. – 2019. – № 1 (74). – С. 91–106. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-91-106.

For citation:

Mukhopad A.Yu., Mukhopad Yu.F., Punsik-Namzhilov D.Ts. Strukturnaya organizatsiya upravlyayushchikh avtomatov s izmenyaemym printsipom formirovaniya komand [Structural organization of control automata with a variable principle of the formation of teams]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (74), pp. 91–106. DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-91-106.